

NO8800052

Sis - 1988:2 .

LAVFREKVENTE ELEKTRISKE OG MAGNETISKE
FELT - SPØRSMÅLET OM KREFT

En litteraturstudie 1982 - 1987

Georg Thommesen

STATENS INSTITUTT FOR STRÅLEHYGIENE

Sis - 1988:2

LAVFREKVENTE ELEKTRISKE OG MAGNETISKE
FELT - SPØRSMÅLET OM KREFT

En litteraturstudie 1982 - 1987

Georg Thommesen

National Institute of Radiation Hygiene
Østerndalen 25
N-1345 Østerås
Norway

1988

I N N H O L D

	side
FORORD	2
SUMMARY	4
SAMMENDRAG	5
INNLEDNING	6
- TOLKNING AV VITENSKAPELIGE ARBEIDER	7
- OM RISIKO OG GRENSEVERDIER	10
- VÅRT ELEKTRISKE OG MAGNETISKE MILJØ	11
- TABELL OVER MAGNETISKE FLUKSTETTHETER	13
- ELEKTRISKE OG MAGNETISKE FELT FRA HØYSPENTLEDNINGER	14
- FORSKRIFTER OG RETNINGSLINJER	18
VITENSKAPELIGE UNDERSØKELSER	19
- EPIDEMIOLOGISKE UNDERSØKELSER	21
- - Eksponering i bolig nær kraftledninger	21
- - Eksponering i arbeidsmiljø	24
- - Kreft knyttet til bestemte yrker	25
- - Andre helseundersøkelser	26
- - Diskusjon av de epidemiologiske arbeidene	27
- EKSPERIMENTELLE UNDERSØKELSER	28
- - Utvikling av kreft	29
- - Kromosomforandringer	31
- - Virkninger på immunsystemet	33
- - Diskusjon av de eksperimentelle arbeidene	37
SLUTTORD	39
LITTERATURLISTE	
TABELLARISK OVERSIKT OVER FORSKNING SARBEIDER	Vedlegg 1

F O R O R D

Denne SIS-rapporten er den første i en planlagt serie og tar sikte på ut fra litteraturstudier å presentere noe av den kunnskapen vi har idag for å kunne vurdere mulige biologiske og medisinske virkninger av lavfrekvente elektriske og magnetiske felt. Tidligere arbeid med dette stoffet ble avsluttet i 1982 etter utgivelsen av SIS-rapportene 1981:6, 1981:7, 1982:5, 1982:6 og 1982:7 av M. Waskaas. Nylig er dessuten utkommet SIS-rapport 1987:3, "Stråling fra dataskjermer" av S. Backe og M. Hannevik.

Arbeidet er utført som et prosjektarbeid ved Statens institutt for strålehygiene og har vært ledet av en styringsgruppe bestående av direktør dr. philos. J. Baarli, dr. philos. T. Christensen, cand. real. M. Hannevik, overlege J.B. Reitan, cand. real. G. Saxebøl og dr. philos. Georg Thommesen, alle ansatt ved SIS. Foreliggende rapport er i sin helhet utarbeidet av Georg Thommesen på vegne av Instituttet. Manuskriptet ble avsluttet 14. aug. 1987.

Arbeidsoppgavene med biologiske og medisinske virkninger av elektriske og magnetiske felt og denne rapporten har vært mulig takket være bevilgninger fra Statkraft, Norsk Hydro, Norges Energiverkforbund og Konsesjonsavgiftsfondet.

Østerås 3.februar 1988

Johan Baarli
Direktør

Jeg vil takke direktør J. Baarli og overlege J.B. Reitan for verdifulle kommentarer og råd, bibliotekar A.K. Carelius for hennes innsats med litteraturinnsamlingen, første-sekretær A. Mortensen for hennes store tålmodighet med mine manuskripter og rettelser og samtlige for det inspirerende kollegiale samarbeid. Videre vil jeg takke Statkrafts representanter for verdifulle forslag til presiseringer.

Georg Thommesen

S U M M A R Y

Low frequency electric and magnetic fields: The topic of cancer
A literature survey covering 1982 - august 1987.

Powerlines and other installations carrying an electric current are surrounded by electric and magnetic fields. Nuisance in their vicinity is mainly due to occurrence of spark discharges.

It is still an unsettled question whether extremely low frequency (ELF) magnetic fields, may increase the incidence of cancer.

Children living near high current overhead powerlines, and therefore exposed to relatively high magnetic fields, are reported to have increased incidence of leukemia in Colorado, USA, and increased incidence of brain tumors in Stockholm (Sweden). Nowhere else has the incidence of childhood cancer been significantly correlated to proximity of powerlines. The suspicion of increased cancer incidence by adult has been weakened, except of leukemia from presumed exposure in "electric" occupations.

Experimental works indicate so far that:

- magnetic fields alone do not damage chromosomes, but induced currents from oscillating fields may enhance the action of mutagenic agents including ionizing radiation, and spark discharges may damage chromosomes in the cells struck.
- direct current or induced pulses, above the current densities caused by the activity of muscle and nerve tissue, may inhibit proliferation of cancer, but current pulses are also reported to enhance proliferation under certain circumstances.
- magnetic fields or induced current pulses may interact in complex ways with chemical activation of immunocompetent cells, thus producing conflicting results.

The experimental data arise mainly from exposure to field strengths or frequencies seldom or never encountered by people. The results give no clear explanation to the increase in cancer incidence reported in epidemiological works. The spectre of possible mechanisms imply that no simple dose/effect relationship should be expected, as conflicting mechanisms may dominate at different exposure levels. There is therefore no basis at present for giving numerical value to cancer risk from exposure to low frequency electric or magnetic fields.

S A M M E N D R A G

Kraftledninger og andre strømførende installasjoner omgir seg med elektriske og magnetiske felt. Særlig ubehag i forbindelse med f.eks. naboskap til en høyspentledning synes å være knyttet til gnistutladninger p.g.a. det elektriske feltet.

Det er fortsatt usikkert om lavfrekvente magnetiske felt som overstiger det man normalt kan finne i boliger fører til overhyppighet av visse former for kreft.

Hos barn som bor eller har bodd nær luftledninger med store strømbelastninger og som dermed har vært utsatt for høyere magnetfeltstyrker enn vanlig i boliger, er det funnet en overhyppighet av leukemi i Colorado, USA. og av hjernekreft i Stockholm. Andre steder er overhyppighet av kreft hos barn i boliger nær kraftledninger ikke påvist. Mistanke om overhyppighet av kreft hos voksne er stort sett avkreftet, bortsett fra leukemi hos personer som antas eksponert i "elektriske" yrker.

Eksperimentelle arbeider tyder på at

- magnetfelt alene neppe vil skade kromosomer, men induserte strømmer fra oscillerende felt synes å kunne øke virkningen av mutagene stoffer og ioniserende stråling, og gnistutladninger synes å kunne skade kromosomene i celler som gnisten treffer.
- likestrøm eller induserte strømpulser større enn de strømtettheter som muskel- og nerveaktivitet forårsaker, kan hemme utviklingen av kreft, men strømpulser er også rapportert å kunne øke veksten av kreftceller i vevskultur under bestemte forhold.
- magnetfelt eller induserte strømpulser synes å kunne samvirke på kompliserte måter med stoffer som aktiviserer immunkompetente celler, og gi ulike motstridende resultater.

De eksperimentelle resultatene er stort sett fremkommet med feltstyrker eller frekvenser som folk vanligvis sjelden eller aldri utsettes for. Eksperimentene gir ingen forklaring på de overhyppighetene av kreft man mener å ha funnet i epidemiologiske undersøkelser. Mangfoldet av mulige virkningsmekanismer medfører at man ikke kan forvente enkle dose/effektrelasjoner, ettersom motstridende mekanismer vil kunne dominere ved ulike eksponeringsnivåer. Det finnes derfor ikke grunnlag idag for å angi noe konkret tall på eventuell økt risiko for kreft p.g.a. eksponering for lavfrekvente elektriske eller magnetiske felt.

I N N L E D N I N G

Foreliggende rapport og de følgende utgjør en serie som har et generelt siktemål og vil søke å ta for seg de forskningsarbeider som er publisert siden forrige serie ble avsluttet ved instituttet i 1982. Det har i denne tiden frem til d.d. blitt publisert ca. 500 arbeider innenfor dette fagområdet. De fleste gjelder originale forskningsarbeider. Anslagsvis 10 % må anses som oversiktsarbeider. Blant forskningsarbeidene er det en god del dobbelpublisering, som dels skyldes at mange arbeider først blir presentert i form av kongress-abstracts eller korte notiser før den endelige publikasjonen av arbeidet foreligger, dels at samme arbeid ofte blir publisert både som original tidskriftartikkel og senere som bidrag til et symposium over en avgrenset del av fagområdet.

Materialet er systematisert med hensyn på typen av helsemessige effekter. Denne første rapporten i serien tar for seg kreftproblematikken i forhold til eksponering for elektriske og magnetiske felt. Den dekker epidemiologiske undersøkelser over forekomst av kreft, eksperimentelle studier på levende dyr med kreft (in vivo) og på kreftceller i vevskultur (in vitro), virkninger på cellenes arvestoff (kromosomene) og eksperimenter som søker å belyse immunsystemets evne til å bekjempe kreft. En tabellarisk oversikt over disse er gjengitt i vedlegg 1. Rene oversiktsarbeider er ikke tatt med. Tid og ressurser har ikke tillatt fullstendig evaluering av arbeidenes vitenskapelige kvalitet, enn si etterprøving. I den store mengden av publikasjoner fra ulike, dels konkurrerende forskningsmiljøer ligger imidlertid også en viss kvalitetskontroll. I den grad en vurdering er foretatt bygger denne på et naturvitenskapelig grunnlag.

TOLKNING AV VITENSKAPELIGE ARBEIDER

Epidemiologiske arbeider

I epidemiologiske studier er man primært på jakt etter å finne og sette tall på sammenhengen mellom gitte påvirkninger og bestemte effekter (sykdommer). For å undersøke dette kan man studere hvordan hyppigheten eller styrken av effekten (f.eks. antall sykdomstilfeller) varierer i forhold til påvirkningens størrelse (f.eks. styrke og varighet av en stråleeksponering). Om sammenhengen er alori så sterk, kan man med denne metodikken bare fastslå en statistisk sammenheng, en samvariasjon, aldri et årsaksforhold. En sterk samvariasjon kan allikevel støtte en antagelse om et årsaksforhold.

Når man skal sette tall på samvariasjonen mellom sykdom og påvirkning er det vanlig å benytte standard uttrykk som f.eks. "relativ risiko" om forholdet mellom observert hyppighet og forventet hyppighet. Bruk av ordet "risiko" innebærer i daglig tale en antydning om at man er kjent med årsakssammenhengen. Journalistisk er denne ordbruken spesielt betenkelig. "Risiko" forbinder folk lett med "fare". En økt forekomst av en sykdom observert i et bestemt bo-område, beskrevet som en "risiko" blir lett oppfattet som at det innebærer en konkret fare for å få vedkommende sykdom om man bor akkurat der.

Ofte er dette ikke tilfelle. En samvariasjon (korrelasjon) mellom to variable (f.eks. sykdomsforekomst og magnetfelt) betyr ikke nødvendigvis at det er en årsakssammenheng. Den kan f.eks. bety at begge de observerte variable er påvirket av en tredje variabel, som man ikke har identifisert. I denne sammenheng betyr altså uttrykket "økt risiko" bare en økt sannsynlighet for å finne flere tilfeller enn normalt forventet.

De sykdomsformer det er tale om er gjerne sjeldne. Det vil si at man må se spesielt kritisk på statistikken. Om en sykdom er så

sjelden at den i et gitt område gjennomsnittlig forekommer bare en gang pr. 10 år, er det i hver tiårs periode 37 % sannsynlighet for at det dukker opp akkurat ett tilfelle, samme sannsynlighet (37%) for at det ikke dukker opp noen, 18 % sannsynlighet for at det blir 2, og 8 % sannsynlighet for fler enn to. 3 - 4 tilfeller av en alvorlig sykdom i et område hvor man forventer gjennomsnittlig 1 tilfelle oppleves dramatisk, men er ikke i seg selv noe bevis for at dette området innebærer en spesiell risiko (fare) for vedkommende sykdom. Bare hvis dette mønsteret gjentar seg i område etter område og samme påvirkning er tilstede i alle disse områdene kan man snakke om en signifikant korrelasjon (betydningsfull samvariasjon). Årsakssammenhengen, og dermed risikoen, kan man ikke utlede av dette. Det er også lett å glemme å se etter områder hvor den samme påvirkningen finnes, men hvor sykdomsforekomsten er normal eller kanskje lavere enn forventet.

Eksperimentelle arbeider

Skal årsaksforholdet mellom påvirkning og effekt studeres, må man oftest gjøre eksperimenter hvor flest mulig variable er under kontroll, og hvor man leter frem hvilke mekanismer som ligger til grunn for at påvirkningen gir den effekten man observerer. Vitenskapelig settes det strenge krav til troverdigheten av slike forsøk. Ingeniørsvetenskapsakademien (1983) i Sverige benytter følgende klassifisering av arbeidene med synkende grad av pålitelighet:

1. Samme resultat er oppnådd av andre forskere med bruk av uavhengig teknikk eller metode.
2. Samme resultat er oppnådd av andre forskere med samme teknikk.
3. Forsøkene er ikke gjentatt av andre forskere, men metodikken og resultatene er beskrevet så nøyte at en nøyaktig repetering av forsøket er fullt mulig.
4. Forsøket er gjentatt med motstridende resultat.
5. Rapporten er mangelfull, slik at nøyaktig repetering av arbeidet er umulig.

Det må vurderes om påvirkningen er presist beskrevet, hvordan forstyrrende faktorer er kartlagt, om den anvendte metodikken er egnet i forhold til hva som skulle undersøkes, om resultatene er samstemte eller spriker, og om forfatterne har vist tilstrekkelig kritisk holdning til sitt eget arbeid og diskutert det i lys av tidligere kunnskap.

Et pålitelig vitenskapelig tidsskrift vil ikke godta arbeider under pkt. 5. Man vil stille seg kritisk til arbeider under pkt. 4. Disse kan likevel være verdifulle korrektiv til tidligere oppfatninger dersom de belyser årsaken til ulikheten i resultater. Det vil styrke ethvert forskningsarbeid om resultatene kan forklares utfra kjente eller sannsynlige mekanismer. De fleste gode forskningsarbeider faller inn under pkt. 1 og 3. Forskere har behov for å vise kreativitet og originalitet. Å repetere andres arbeid uten å innføre ny teknikk eller endrede betingelser gir liten vitenskapelig kreditt, men burde antagelig gjøres oftere.

Et annet forhold er at det ofte er lettere, både å beskrive og å få publisert en positiv sammenheng enn negative resultater. Heri ligger det en tendens til at betydningsfulle opplysninger om mangel på sammenheng eller negativ sammenheng mellom påvirkning og effekt forblir upublisert.

Enkeltobservasjoner har også sin verdi. Enkeltobservasjoner er ofte det umiddelbare resultatet av den nysgjerrigheten som er drivkraften i menneskets intellektuelle utvikling. De bidrar dels til å rette oppmerksomheten mot mulige forhold og problemer, dels kan de være med på å understøtte eller avsvække konklusjoner basert på mer eller mindre sviktende grunnlag.

Vi vil gjerne ha svar på våre spørsmål. Derfor kan det være fristende å trekke konklusjoner på bakgrunn av enkeltobservasjoner. Da er det lett å gå feil. Vi ser ikke alltid det vi tror vi ser. Vi vet heller ikke alt vi tror at vi vet. Styrken i den vitenskapelig anerkjente forskningen ligger i at den følger et system for pålitelig innsamling og bearbeidelse av observasjoner som danner et grunnlag for sikrere tolkninger av disse.

OM RISIKO OG GRENSEVERDIER

En levende organisme, og særlig et menneske, er et komplisert system med en rekke reguleringsmekanismer som har til funksjon å opprettholde organismens livsprosesser eller tilpasning til tross for ytre påvirkninger. En sykdom fysiologisk sett, kan skyldes at disse reguleringsmekanismene ikke strekker til. En sykdomsrisiko vil derfor være den samlede risiko for at så mange reguleringsmekanismer svikter mer eller mindre at organismens livsprosesser eller tilpasning forstyrres. Bare hvis en bestemt påvirkning er så sterk eller påvirker så mange reguleringsmekanismer at andre påvirkninger blir mindre vesentlige, kan man snakke om at denne påvirkningen er en hovedårsak til sykdommen. Som regel vil en enkelt ytre påvirkning bare være en medvirkende årsak, og kanskje bare den "dråpen som får begeret til å flyte over".

I hygiene-sammenheng vil man søke å begrense hver enkelt påvirknings innflytelse slik at sannsynligheten for at den skal utløse sykdom eller skade blir så liten som det er praktisk mulig å gjøre den. Et av de virkemidlene man har til dette er å sette grenseverdier for påvirkningens utbredelse eller styrke. En slik grenseverdi er i seg selv ingen garanti for at påvirkning under denne verdien er uskadelig. Den medfører heller ikke at sykdom eller skade er uunngåelig dersom verdien overskrides. Sannsynligheten er bare lavere under grenseverdien enn den er over, og grenseverdien er satt som et mål for hvor meget man med rimelighet må kunne forventes å tåle utfra foreliggende kunnskaper.

For enkelte typer av skader som følge av bestemte påvirkninger kan finnes en terskel-verdi, under hvilken ingen effekt vil foreligge. Det vil si at risikoen for en sykdom eller skade fra slike påvirkninger er da lik null. Det ideelle ville vel vært om man kunne finne slike terskelverdier for alle mulige skadelige påvirkninger og sette grenseverdiene der. Problemet er at slike terskelverdier oftest er forskjellige fra individ til individ, eller at terskelverdiene er så lave at de er umulige å oppnå i praksis. Grenseverdiene setter man derfor på grunnlag av de beste opplysninger man har. Har man for få eller for usikre opplysninger kan det beste ofte være å ikke angi noen grenseverdi i det hele

tatt, men heller søke å gi informasjon.

VÅRT ELEKTRISKE OG MAGNETISKE MILJØ

Naturlige og menneskeproduserte elektriske og magnetiske felt

Vi er til daglig omgitt av et mer eller mindre statisk elektrisk felt på ca. 100 V/m (0,1 kV/m). Dette skyldes en positiv elektrisk ladning av atmosfæren i forhold til bakken. Feltet vedlikeholdes av tordenværssystemene, og forandrer seg vesentlig når slike nærmer seg.

Jorden har et magnetfelt. Dette er nesten statisk og varierer over jordkloden fra ca 25 til ca 70 μT (mikroTesla). I Norge er intensiteten (flukstettheten) gjennomsnittlig ca. 50 μT . Retning og styrke på dette feltet kan forandre seg noe med f. eks. forekomster av jernmalm.

Tidsvariable elektromagnetiske felt dekker et stort spekter av frekvenser som bl.a. omfatter radiobølger, lys, røntgenstråler og gammastråler. Ved de høyeste frekvensene (korteste bølgelengdene) er strålingen så energirik at den forårsaker dannelse av frie ioner. Den kalles derfor ioniserende stråling eller populært kalt "radioaktiv stråling" og røntgenstråling. Ved lavere frekvenser (større bølgelengde) har strålingen ikke denne evnen, og kalles derfor ikke-ioniserende stråling.

I dagliglivet utsettes vi for elektriske og magnetiske felt fra menneskeproduserte installasjoner. Disse er ikke-ioniserende felt og har altså helt andre egenskaper enn "radioaktiv" stråling. Som en samlebetegnelse brukes ofte uttrykket "elektromagnetiske felt". Hvorvidt de kan kalles "stråling" er et spørsmål om hvordan man definerer ordet "stråling".

En type elektromagnetisk stråling vi gjerne setter pris på er radiobølgene. Disse dekker elektromagnetiske felt fra 300 GHz og ned mot 3 kHz. Felt med frekvens under 3 kHz vil vi her for enkelhets skyld betegne som ekstremt lavfrekvente (ELF) felt. Dette er ingen internasjonalt vedtatt definisjon, og "ELF" benyttes også som betegnelse på mindre frekvensbånd i dette frekvensområdet (f.eks. 300-30Hz).

Særlig i forbindelse med høyspentledninger og dataskjermer er det i det senere blitt reist spørsmål om hvorvidt feltene som disse forårsaker kan påvirke helse eller miljø. En del vesentlige prosesser i levende celler er ledsaget av elektriske fenomener. Elektriske impulser er f.eks. med på å bearbeide og formidle informasjon i nervesystemet. Elektriske og magnetiske felt fra omgivelsene kan forårsake elektriske spenninger og strømmer i kroppen og kan derfor tenkes på ulike måter å påvirke vevene og livsprosessene.

Mulige effekter av feltene fra dataskjermer er behandlet i SIS-rapport 1987:3. I denne rapporten vil vi derfor legge mer vekt på feltene fra elektrisitets-forsyningen. Til sammenligning har vi derfor tatt med en tabell som viser magnetfeltene fra en del vanlig elektrisk materiell (tabell 1). Dette gjelder magnetfelt med frekvensen 50 Hz. I tillegg kommer høyere frekvenskomponenter p.g.a. elektroniske regulatorer eller små gnist-dannelser i elektromotorer. Disse vil være svakere, men kan av og til gi betydelige induksjonsspenninger p.g.a. sin høyere frekvens.

Tabell 1

Magnetiske flukstettheter (50 Hz) i tilnærmet vanlige minimums arbeids/oppholdsavstander fra elektrisk apparatur og installasjoner. Flukstetthetene er oppgitt i mikrotesla (μT).

	Avstand	Flukstetthet	
Høyspentledninger (300-420 kV)	10 m	1 - 10	μT
Elektriske ovner	30 cm	0.15 - 0.5	"
Mikrobølgeovner	30 cm	4 - 8	"
Oppvaskmaskiner	1 m	0.07 - 0.3	"
Kjøleskap	1 m	< 0.01	"
Vaskemaskiner	30 cm	0.15 - 3	"
Kaffetraktere	30 cm	0.08 - 0.15	"
Brødrister	30 cm	0.06 - 0.7	"
Strykejern	30 cm	0.12 - 0.3	"
Miksmastere	30 cm	0.6 - 10	"
Støvsugere	1 m	0.13 - 2	"
Hårtørrere	30 cm	< 0.01 - 7	"
Barbermaskiner	3 cm	15 - 1500	"
Fjernsynsapparater	1 m	< 0.01 - 0.15	"
Lysstoffrø	1 m	0.01 - 0.3	"
Håndsirkelsager	30 cm	1 - 25	"
Elektriske driller	30 cm	2 - 3.5	"
Elektriske skrivemaskiner	30-3 cm	2.5 - 9	"
Varmekabel i badegulv	5 cm	0.2	"
Vannseng	15-5 cm	0.4 - 2.5	"
Batterieliminatør	30 cm	0.6	"
Fotbad	10 cm	200	"
Vanligvis innendørs	-	0.01 - 0.3	"

ELEKTRISKE OG MAGNETISKE FELT FRA HØYSPENTLEDNINGER

De fleste høyspentledninger i dag består i prinsippet av tre ledere som hver fører en vekselstrøm med frekvens på 50 Hz. Strømstyrken måles i ampere (A). Strømmen drives av en vekselspenning, som følgelig også varierer med 50 Hz. Måleenhet for spenningen er volt (V). I høyspentanlegg er det mer praktisk å anvende kilovolt (kV=1000 V). Spenningen og dermed også strømmen i hver av de tre lederne er faseforskjøvet i forhold til de to andre slik at summen av spenningen og summen av strømmen i den samlede ledningen regnet vektorielt, til enhver tid er null. De enkelte lederne i ledningen betegnes også som "faseliner" eller for korthets skyld "faser".

Spenningen på hver faseline setter opp et elektrisk felt mot omgivelsene. Feltstyrken øker med spenningen på faselinen, og avtar med avstanden til den og er ellers avhengig av den elektriske ledningsevnen til materiale i nærheten av der hvor feltstyrken måles. Det elektriske feltet skjerms derfor til en viss grad av f.eks. høy vegetasjon og bygninger, men effekten varierer med fuktigheten. Det trenger i svært liten grad inn i kroppen, men på overflaten kan det bli oppladning. Praktisk enhet for elektrisk feltstyrke i forbindelse med høyspentinstallasjoner er kilovolt pr. meter (kV/m).

Strømmen gjennom hver faseline setter opp et magnetfelt som øker med strømstyrken og avtar med avstanden til faselinen. Magnetfeltet påvirkes i liten grad av materiale i omgivelsene bortsett fra sterkt magnetiserbart materiale som f.eks. jern og stål. Magnetfeltet svekkes derfor i liten grad ved skjerming, og trenger lett gjennom kroppen. Praktisk enhet for intensiteten av magnetfeltet (magnetisk flukstetthet) er mikrotesla (μT).

Da spenningen på og strømmen i de ulike faselinene er faseforskjøvet slik at den vektorielle sum til enhver tid er null, vil også det elektriske feltet og det magnetiske feltet fra hver av faselinene delvis motvirke hverandre. Feltet fra den samlede ledningen vil derfor være mindre enn feltene fra hver av faselinene isolert sett. For en gitt høyspentledning vil det

elektriske feltet i praksis være særlig avhengig av spenningen på ledningen, opphengningsgeometrien, ledningens høyde over terreng på det aktuelle sted, den lokale topografi og vegetasjon og avstanden til ledningen. Magnetfeltet vil i praksis være særlig avhengig av strømstyrken (belastningen) på ledningen til enhver tid, opphengningsgeometrien, avstanden mellom faselinene og avstanden til ledningen.

Begge typer felt vil som regel være sterkest der ledningen henger lavest. Ved planoppheng vil det elektriske feltet være sterkest ca. 2 m utenfor hver av de ytre faselinene. På oppstikkende terrengformasjoner nær midten på enkelte spenn vil avstanden mellom ledningen og terrenget kunne komme ned mot forskriftenes minstekrav (6 - 8,3 m avhengig av spenningen). På bakkenivå slike steder vil den elektriske feltstyrken kunne komme opp i ca. 8 kV/m ved en 420 kV-ledning, ca. 5 kV/m ved en 300 kV-ledning og som regel under 2 kV/m ved en 132 kV-ledning. Feltet avtar med avstanden til ledningen. Målt fra ytterste leder vil det i en avstand på 15 m fra en 420 kV-ledning eller 10 m fra en 300 kV-ledning som regel være under 2 kV/m på flat mark. Bakkekammer eller oppstikkende terrengformasjoner vil gjerne påvirke feltet og konsentrere det. På slike steder kan man måle inntil den dobbelte feltstyrke av hva man ville fått på flat mark ved samme avstand til ledningen.

Strømstyrken (belastningen) på en høyspentledning er i prinsippet uavhengig av driftsspenningen og varierer meget både over døgnet og over året. De mest høyspente ledningene vil imidlertid som regel være dimensjonert for de sterkeste strømmene. Typiske strømstyrker kan være 1000 A på en 420 kV-ledning, 500 A på en 300 kV-ledning og nedover til 200 A på en 22 kV-ledning. Dette, sammen med at faseavstanden er størst på de mest høyspente ledningene, gjør at man også som regel vil finne de største magnetfeltene ved disse.

Ved bakken inntil en 420 kV-ledning kan man f.eks. måle en magnetisk flukstetthet på over 20 μT ved grensen av byggeforbuds-sonen, og over 1 μT mer enn 50 m fra ledningen. Ved en 300 kV-ledning kan man finne omtrent de halve verdiene. Feltet avtar omtrent med kvadratet av avstanden til ledningen, uavhengig av

terrengformasjoner.

Både elektriske og magnetiske vekselfelt kan forårsake (indusere) elektriske strømmer i ulike materialer inkludert levende vev. Strømmene vil være avhengig av feltenes frekvens, styrke og retning og den aktuelle gjenstandens størrelse, form og elektriske ledningsevne. Sterke elektriske felt kan dessuten være opphav til gnistutladninger, dels mellom gjenstander, dels direkte fra linene mot luften omkring (coronautladninger). Coronautladninger kan høres som en knitring og vil forårsake en viss dannelse av ozon fra luftens oksygen. Alle høyspentinstallasjoner kan også avgi en lavfrekvent dur, som særlig skyldes magnetfeltenes virkning på installasjonens metalleder, f.eks. transformatorer.

Noen effekter av elektriske og magnetiske felt kan forklares på grunnlag av strømmer som feltene forårsaker i kroppen, dersom disse er større enn de strømmer som kroppens egne livsyttringer forårsaker. Dette gjelder særlig virkninger på sanser, sentralnervesystem og hjertefunksjon, samt akutte vevs- og celledskader. Slike effekter er vesentlig funnet ved strømtettheter på mer enn 10 mA/m^2 (milliampere pr. kvadratmeter). De er ikke funnet ved strømtettheter under 1 mA/m^2 . Dette er også den maksimale strømtetthet forårsaket av kroppens egne livsfunksjoner, som hjerteaktiviteten (EKG) og annen muskel- og nerve-aktivitet. Ved 50 Hz kan en strømtetthet på 1 mA/m^2 i en menneskekropp være forårsaket av enten et elektrisk felt på over ca. 5 kV/m eller et magnetfelt på over ca. 500 μT (Bernhardt et al. 1986). Et elektrisk felt på 5 kV/m vil kunne forekomme nær aktuelle høyspentledninger hvor disse henger lavt over terrenget. Magnetfelt på 500 μT er ikke aktuelt på noe tilgjengelig sted ved kraftledninger.

Likestrømsoverføringer er fremdeles lite i bruk i Norge, men kan bli mer aktuelle i fremtiden i forbindelse med energioverføringer over lange strekninger. Feltene fra en likestrømsledning er statiske som de naturlige elektriske og magnetiske feltene, men med omtrent de samme intensitetene som vi finner omkring 3-fase-ledningene. Det elektriske feltet vil derfor kunne være adskillig større enn det naturlige luftelektriske feltet er i

gjennomsnitt (ca. 0,1 kV/m), men vil i likhet med dette ikke indukere noen strøm fordi det er statisk.

Det magnetiske feltet fra en likestrømsledning vil komme i tillegg til det jordmagnetiske feltet som er på ca. 50 μ T. Det vil i enhver normalt tilgjengelig avstand fra ledningen være svakere enn jordmagnetfeltet, av størrelsesorden 10 % eller mindre, og vil bare kunne registreres som en beskjedne endring av jordmagnetfeltets retning og/eller styrke. Da feltet er statisk, vil heller ikke dette indukere strømmer i stillestående gjenstander omkring.

Å overføre elektrisitet via høyspentledninger i luftspenn synes fortsatt i mange år fremover være en hensiktsmessig metode for å transportere større energimengder over lengre avstand. I Norge benyttes spenninger inntil 420 kV, i andre land, f.eks. USA inntil 765 kV. Av tekniske og økonomiske årsaker planlegges det flere steder å bygge ledninger for høyere spenninger enn de som brukes normalt idag. Man planlegger også å benytte likestrøm i større utstrekning på særlig lange overføringer da dette gir mindre energitap.

Av bygningstekniske, estetiske eller andre grunner legges høyspentledninger over kortere avstander noen ganger i jordkabel. Metoden er vesentlig mer kostbar enn luftspenn. Man unngår imidlertid eventuelle problemer med elektriske felt, da disse vil være skjermet av jorden. En jordkabel er isolert, og faselederne kan derfor legges meget tettere sammen enn i et uisolert luftspenn. Dette er med på å redusere det samlede magnetfeltet betydelig. På den annen side kan man komme nærmere inntil en jordkabel enn til en luftledning. Man kan derfor finne kraftigere magnetfelt i nærmeste tilgjengelige avstand fra en jordkabel enn fra en luftledning, men feltstyrken taper seg raskere med avstanden.

FORSKRIFTER OG RETNINGSLINJER VEDRØRENDE FERDSEL OG BEBYGGELSE NÆR HØYSPENTLEDNINGER.

Det foreligger ingen generelle norske eller internasjonale retningslinjer eller anbefalinger for eksponering for 50 Hz elektriske og magnetiske felt. Ved eksponering for 50 Hz felt i arbeidssituasjon anbefaler Verdens Helseorganisasjon (WHO) at man iverksetter enkelte beskyttelsestiltak ved elektriske feltstyrker over 10 kV/m, og ved magnetiske flukstettheter over 500 μT . (WHO/IRPA 1984, 1987).

Enkelte land har foreslått eller vedtatt retningslinjer for maksimal elektrisk feltstyrke i kanten av byggeforbudssonen omkring en høyspentledning. Disse forslagene og retningslinjene ligger fra 1 - 4 kV/m. I noen land er det ingen byggeforbudssone.

I Storbritannia og Forbundsrepublikken Tyskland (Vest-Tyskland) foreligger det nye forslag til grenseverdier for eksponering til både elektriske og magnetiske felt. Det britiske forslaget angir for bosted og steder med årlig ferdsele at 50 Hz-felt ikke bør overstige h.h.v. 2,6 kV/m og 174 μT . Disse verdiene tilsvarer en maksimal induert strømtetthet på omtrent 0,5 - 1 mA/m² i brystregionen i en menneskekropp. Det vest-tyske forslaget legger opp til noe høyere grenseverdier, men er vesentlig innrettet mot tidsbegrenset yrkesmessig eksponering. Elektrisk feltstyrke på 2,6 kV/m kan overskrides i visse tilfelle ved høyspentledninger. 174 μT i magnetisk flukstetthet oppnås ikke i normalt tilgjengelig avstand fra noen eksisterende høyspentledning.

De forskrifter for bebyggelse og ferdsele nær høyspentledninger som gjelder i Norge pr. d.d. forvaltes av NVE (Energidirektoratet) og finnes i Forskrifter for elektriske anlegg. Forskriftene refererer i denne sammenheng kun til ledningenes spenning og avstandene til dem, og ikke til eventuell helsefare forårsaket av de elektriske og magnetiske feltene som omgir ledningene. Disse forskriftene blir fulgt ved anlegg av ledningstraseen.

VITENSKAPELIGE UNDERSØKELSER

Kreft er ikke en enkelt sykdom, men en samlebetegnelse på sykdommer som bare har det til felles at visse grupper av celler endres i modningsgrad og begynner å vokse og dele seg uten normal kontroll samt vokser inn i annet vev. Ved de fleste kreftformene utvikler det seg svulster. Da ligger kreftcellene i klumper som vokser inn i og fortrenger kroppens øvrige vev. Ved blodkreft (leukemi) derimot, produseres det et økt antall av umodne hvite blodlegemer (leukocyter), som sirkulerer som vanlig i blodbanene. Leukemi-formene klassifiseres etter om de utvikler seg raskt eller langsomt, og etter hvilke typer celler som er overtallige (f.eks.: kronisk lymfocytisk leukemi, akutt myeloid leukemi og annet). De ulike kreftformene kan ha høyst forskjellige årsaker, og bare i svært få tilfeller er årsaken(e) kjent. Man antar at i de fleste tilfeller har flere årsaker og mekanismer vært virksomme.

For en mer systematisk analyse av kreftproblemet i forbindelse med elektromagnetiske felt, kan det være fruktbart å se på utviklingen av kreft i lys av en tre-trinns modell:

- et initierings-stadium, hvor en celle blir forandret (transformert) til en latent kreftcelle, antagelig ved at informasjonsbærerene som styrer cellens liv og utvikling (kromosomene i cellekjernen) får en skade.
- et fremvekst-stadium (promosjons-stadium) hvor latente kreftceller blir vekket til vekst og deling ved at de viser evne til å unndra seg de vanlige kontrollmekanismene som ellers regulerer vekst og modning av vevene.
- et bekjempelses-stadium hvor kroppens forskjellige forsvarsmekanismer, bl.a. immunsystemet, søker å begrense sykdommen, men er satt mer eller mindre ut av spill, delvis fordi kreftcellene stammer fra kroppens eget vev.

Elektriske og magnetiske felt, dersom de har noen betydning, kan i utgangspunktet tenkes å virke via flere forskjellige mekanismer, på samme måte som en rekke farmaka. Det er ikke gitt at disse mekanismene i tilfelle virker i samme retning eller med samme

forhold mellom påvirkning (dose) og virkning (effekt). Den samlede dose/effekt-relasjonen kan derfor meget vel ha et komplisert forløp. Man kan ikke ut fra en bestemt effekt ved høyere doser uten videre beregne seg frem til effekten ved en lavere. Man kan heller ikke forutsette at om høy dose er uten effekt, så vil også lavere dose være det. Dette i motsetning til virkning ved ioniserende. Ved slik stråling vet man at små doser gir lavere sannsynlighet for kreft enn større doser. Oftest antas en lineær sammenheng slik at effekten er proporsjonal med dosen, men andre typer sammenhenger er også foreslått.

I det etterfølgende er det referert en rekke vitenskapelige arbeider som belyser spørsmålet om kreft og elektriske og magnetiske felt ut fra ulike synsvinkler. De epidemiologiske studiene søker å avklare hvorvidt det er grunn til å mistenke elektriske og magnetiske felt for å ha noen betydning for hyppigheten av kreft i sine ulike former. De eksperimentelle arbeidene er utført med tanke på å avdekke eventuelle virkningsmekanismer. Av disse grunnene er betingelsene forskjellige. De epidemiologiske studiene tar utgangspunkt i de eksponeringsnivåer som folk er blitt utsatt for i sine hjem eller i arbeidet. De eksperimentelle studiene benytter seg helst av spesielt konstruerte betingelser og eksponeringsforhold som antas å være særlig egnet til å avdekke en bestemt mekanisme uten forstyrrende innflytelse fra eventuelle andre.

Resultatene fra disse to typene av undersøkelser er derfor vanskelig å sammenligne, og kan ofte synes å føre til motstridene konklusjoner. Dette innebærer ikke nødvendigvis at noen av undersøkelsene er vitenskapelig mindreverdige. Det illustrerer først og fremst at man har å gjøre med et komplekst system, og at en rekke faktorer gjør seg gjeldende, kanskje faktorer man hittil ikke har vært klar over.

EPIDEMIOLOGISKE UNDERSØKELSER OVER KREFTFOREKOMST OG EKSPONERING FOR ELF ELLER RADIOFREKVENTE FELT

Epidemiologisk underbygde, men ikke fysiologisk forklarte overhyppigheter av visse sykdommer, spesielt visse kreftformer er rapportert hos mennesker med bosted eller langvarig opphold i slike felt. Sammenhengen mellom felt og sykdom er i disse tilfellene av rent statistisk art, men har ikke vist seg å være konsekvent. Ulike forsker-grupper med ulike geografiske undersøkelsesområder rapporterer forskjellige resultat.

Fra og med 1982 til og med november 1987 er det publisert tilsammen 34 epidemiologiske undersøkelser over eventuell sammenheng mellom elektriske og magnetiske felt og helsepåvirkning. Av disse har 8 undersøkelser tatt for seg boliger i nærheten av elektriske luftledninger og 1 gjelder spesielt radioamatører. De øvrige 25 undersøkelsene gjelder antatt eksponering i arbeidssituasjon.

Eksposering i bolig nær kraftledninger

Opptakten til disse undersøkelsene var Wertheimers og Leepers undersøkelse fra 1979 over forekomsten av kreft hos barn samt Fulton og medarbeideres tilsvarende undersøkelse fra 1980. Disse er tidligere omtalt i SIS-rapport 1981:6 (Waskaas 1981). For helhetens skyld er likevel disse to undersøkelsene tatt med i oversikten her. Av disse, tilsammen 11 studiene, dekker 4 alle kreftformer hos barn, 1 dekker bare leukemi hos barn, 3 dekker alle kreftformer hos voksne, 3 dekker bare leukemi hos voksne.

3 av studiene konkluderer med at det er en overhyppighet av kreft hos barn i boliger nær sterkt strømførende ledninger. "Relativ risiko" varierer fra under 2 og til over 5 (det vil si h.h.v. 100 % og 400 % overhyppighet) delvis avhengig av hvordan de undersøkte gruppene deles opp.

Wertheimer og Leeper (1979) konkluderte med en signifikant overhyppighet både av leukemi og av kreft i hjernen. Savitz (1986) fant også en signifikant overhyppighet av leukemi, men ikke noen

signifikant overhyppighet av hjerne-kreft. I disse undersøkelsene er analysen av dataene basert på en klassifikasjon av boligene i forhold til ledningene i den lokale elektrisitetsforsyning, som omfatter både høyspente og lavspente luftledninger.

Boligene er klassifisert etter hvorvidt ledningene i nærheten fører stor eller liten strøm. Disse to undersøkelsene er utført på samme sted (Denver-Boulder-området i Colorado, USA) og under ganske like forutsetninger, slik at den siste kan sees på som kontroll av den første.

Savitz' medarbeidere, Wachtel og Barnes, foretok samtidig målinger av magnetfeltene i boligene, for å kunne kontrollere verdien av å klassifisere boligene etter avstand til ledningene og strømstyrken på disse, slik Wertheimer og Leeper gjorde. Man fant at Wertheimer og Leepers klassifisering stemte ganske godt med gjennomsnittsverdier av magnetfeltmålingene (Barnes et al. 1986). Likevel er de observerte overhyppighetene av kreft vesentlig dårligere korrelert med de målte verdiene av magnetfeltene enn med boligklassifiseringen. (Savitz, 1986. Ahlbom 1987, Wachtel & Barnes 1987).

Tomenius (1986) fant bl.a. at hos barn som under oppveksten bodde nærmere enn ca 150 m fra 200 kV høyspentledninger i Stockholms län var det ca 4 ganger så høy hyppighet av hjerne-svulster som normalt, men ingen overhyppighet av leukemi. Avstanden på 150 m tilsvarte omtrent en magnetisk flukstetthet på 0.3 μT fra ledningen. Hyppigheten av hjernesvulst ble funnet å være like godt korrelert med magnetfeltet som med avstanden. Hyppigheten av leukemi er vesentlig mindre enn normalt om man korrelerer den til magnetfeltet, men derimot som normalt om man korrelerer til avstanden til ledningen (Ahlbom 1987).

I de øvrige 2 undersøkelser av kreft hos barn (Fulton et al. 1980, Myers et al. 1985) fant man ingen signifikant overhyppighet av kreft hos barn i bolig nær kraftledninger.

Fulton og medarbeidere (1980) gikk ut fra leukemifall i alderen 0-20 år i arkivet ved Rhode Island Hospital (USA) og sammenlignet boligen til disse med kontrollboliger med hensyn på avstand til nærmeste kraftledning (innenfor 46 m = 50 yards). Boligen ble forsøkt klassifisert på samme måte som i Wertheimer

og Leepers arbeid (1979). Antallet personer (boliger) undersøkt var ca. halvparten av det i Wertheimer og Leepers arbeid, og i sammenligningen mellom tilfeller og kontroller ble det ikke i samme grad tatt hensyn til flytting og barnas alder.

Materialet til Fulton og medarbeidere er i ettertid revurdert av Wertheimer og Leeper (1980) utfra de samme kriterier som de selv hadde benyttet i 1979. De fant da at også Fultons materiale til en viss grad støttet deres egne tidligere konklusjoner. De konkluderer imidlertid bl.a. med at det antagelig er lite fruktbart å undersøke en eventuell sammenheng mellom elektromagnetiske felt og kreft på denne måten, medmindre man kan sammenligne med klart "ueksponerte" kontroller og tar nøye hensyn til alle mulige forstyrrende faktorer.

Myers og medarbeidere (1985) gikk ut fra kreft-tilfeller og kontroller, tilsammen 81 barn (0-14 år) i Yorkshire, England, alle med adresse innenfor en avstand på 100 m fra nærmeste kraftledning. Hyppigheten av kreftsvulster og leukemier ble sammenlignet med tilsvarende tall for adresser mer enn 100 m fra nærmeste kraftledning. Materialet viser en svak, men ikke signifikant overhyppighet av kreft hos barn i 100 m-sonen. Dette skyldtes særlig tale 13 tilfeller av leukemi (mot forventet 8-9) i boliger som til tross for sin beliggenhet i 100 m-sonen hadde lavere magnetfelteksponering enn det vanlige bakgrunnsnivået utenfor sonen (10 nT). Adresser med magnetfelt over 10 nT viste nøyaktig de forventede krefthyppighetene, både for leukemi og for faste svulster.

Av de 6 studiene som omhandler kreft hos voksne, fant Wertheimer og Leeper (1982) en signifikant, men svak (ca 30 %) overhyppighet av kreft i boliger nær ledninger utfra samme klassifikasjon som tidligere (1979). Undersøkelsen dekker 4 lokaliteter i Colorado, USA. Hvilke krefttyper det er tale om spesifiserer de i en senere publikasjon (Wertheimer & Leeper 1987). De finner her de klareste overhyppighetene for livmorkreft og brystkreft.

Coleman og medarbeidere (1985) fant en ikke signifikant overhyppighet (3 tilfeller mot forventet 1-2) av leukemi hos voksne med bolig i avstand opp til 50 m fra høyspentledning. Rodvall og

medarbeidere (1985) fant 18 kreft-tilfeller tilsammen i en avstand på inntil 200 m fra to høyspentledninger, mot forventet ca.20 tilfeller. De fant ingen tilfeller hos barn og ingen tilfeller av leukemi, men bl.a. et tilfelle av hjerne-svulst (forventet antall 0.5). McDowall (1986) og Stevens (1986) fant ingen korrelasjon mellom hyppighet av leukemi (begge forfattere) eller andre kreftformer (McDowall) og boligens avstand til høyspentledning eller magnetfeltene fra disse.

Milham (1985) fant at akutt myeloid leukemi var overrepresentert som dødsårsak hos amerikanske radioamatører. Eksponerings-situasjonen for disse kan imidlertid best sammenlignes med eventuell eksponering i arbeidssituasjon og vil bli diskutert i den sammenheng.

Eksponering i arbeidsmiljø

25 rapporter omhandler epidemiologiske undersøkelser av helse i arbeidsmiljø hvor arbeidere bl.a. er eksponert for elektriske og magnetiske felt, 26 om man teller med Milhams arbeid (1985) på radioamatører. 2 av arbeidene beskriver virkninger på barn av de aktuelle arbeiderne.

20 av undersøkelsene interesserer seg spesielt for en eller flere former for kreft. Ett arbeid har sett på fosterskader, to har sett på kromosomskader i blodceller, ett har tatt for seg en rekke fysiologiske parametre, ett arbeid har sett på den generelle helsetilstand og ett har sett spesielt på ulike dødsårsaker.

Felles for disse undersøkelsene er at eksponeringen er svært dårlig definert. Eksponeringsforholdene er svært forskjellige, og dekker f.eks. alt fra statiske til radio-frekvente felt, trolig i noen tilfelle også mikrobølger. Et fellestrekk er også at foruten elektriske og magnetiske felt kan disse arbeiderne også ha vært utsatt for en rekke kjemiske påvirkninger som f.eks. avgasser fra arbeidsstedet eller generelt forurenset arbeidsatmosfære.

Kreft knyttet til bestemte yrker

9 av de nevnte rapportene antyder en særlig overhyppighet av leukemi (ulike former) korrelert med arbeid som antas å medføre eksponering for elektriske og magnetiske felt utover det vanlige (vedlegg 1, side 4-7). Det dreier seg i disse tilfellene både om elektrikere, elektronikk-arbeidere, telekommunikasjonsarbeidere, radio- og TV-reparatører, linjearbeidere og aluminiumsarbeidere.

Sverdlow (1983) fant en økt forekomst av kreft, antagelig vesentlig melanomer, i øynene hos elektro- og elektronikk-arbeidere.

2 arbeider beskriver overhyppighet av kreft i hjernen hos elektrisitets- og elektronikk-arbeidere. Lin og medarbeidere (1985) fant at hyppigheten var korrelert med eksponeringen for elektriske og magnetiske felt, mens Thomas og medarbeidere (1987) fant økt hyppighet hos personer som håndterte elektronisk materiell, men ikke hos personer som bare var utsatt for mikrobølger og andre radiobølger.

Spitz og Johnson (1985) fant en statistisk signifikant overhyppighet av neuroblastom hos barn av elektronikk-arbeidere, selv om antallet var lite. Det var også en korrelasjon med at faren var eksponert for en blanding av hydrokarboner.

Vågerø og Olin (1983) fant en overhyppighet av flere kreftformer hos arbeidere i elektronisk industri, men hverken av leukemi eller kreft i nervesystemet, og en lavere hyppighet av lappkreft. Wertheimer & Leeper (1987) fant derimot tydeligst overhyppighet for kreft i nervesystemet og i urinveiene, men også en viss overhyppighet av leukemi og lymfom, samt av lungekreft, men lavere hyppighet enn forventet av kreft i munnhulen.

Tre arbeider har korrelert en rekke yrker til forekomsten av ulike kreftformer. Hos tele- og kraftlinje-arbeidere fant Howe og Lindsay (1983) spesiell økning av mage- og tarmkreft. Coggon og medarbeidere (1986) fant en overhyppighet av ulike kreftformer deriblant kreft i hjernen, hos elektrisitetsarbeidere, men

samtidig en lavere hyppighet enn forventet av 8 andre kreftformer. McLaughlin og medarbeidere (1987) fant derimot ingen overhyppighet av hjernekreft hos elektrikere, linjemontører eller telekommunikasjonsarbeidere.

Eneste norske undersøkelse er utført av Lund (1983). Han fant at medlemmene av Norsk elektriker- og kraftstasjonsforbund hadde en lavere hyppighet av leukemi enn forventet, men tallene er meget små, og gir ikke grunnlag for noen sikker konklusjon.

Også Barregård og medarbeidere (1985) fant en lavere hyppighet av kreft blant arbeidere eksponert til statiske magnetfelt i en kloralkalifabrikk, men heller ikke dette resultat er statistisk signifikant.

Andre helseundersøkelser

Broadbent og medarbeidere (1985) undersøkte helsetilstanden hos 390 ansatte i arbeid med høyspentlinjer og fordelingsanlegg. De fant ingen signifikant korrelasjon mellom eksponering for elektriske felt og sykdom, men store variasjoner korrelert med stress på arbeidsplassen.

Baroncelli og medarbeidere (1986) undersøkte en rekke fysiologiske parametre hos over 600 arbeidere i høyspentstasjoner tilhørende jernbanen. De fant ingen signifikant variasjon mellom kontrollgruppen og grupper eksponert i opptil 20 timer pr uke for elektriske og magnetiske felt. Budinger og medarbeidere (Budinger 1985) fant heller ingen overhyppighet av sykdom hos arbeidere eksponert for sterke statiske felt (0,5 mT - 2 T).

2 arbeider rapporterer om økt forekomst av kromosomskader i sirkulerende lymfocytter hos arbeidere ansatt i h.h.v. koblingsstasjoner (Nordenson et al. 1985) og et høyspentlaboratorium (Yang et al. 1985). I begge tilfelle er skadene (h.h.v. kromosombrudd og søsterkromatidutbytting) søkt forklart som virkninger av gnistutladninger (Nordenson et al. 1984).

Nordstrøm og medarbeidere (1983) fant en signifikant høyere forekomst av fosterskader når faren arbeidet i høyspente

koblingsstasjoner. Disse arbeiderne opplevde også nedsatt fruktbarhet. Forfatterne foreslår at disse forhold kan skyldes kromosomskader ved gnistutladninger (se Nordenson et al. 1984).

Diskusjon av de epidemiologiske arbeidene

Epidemiologien alene gir ikke sikre holdepunkter for en sammenheng mellom eksponering for elektriske eller magnetiske felt og sykdom. En del undersøkelser rapporterer om økte forekomster særlig av kreft i spesielt eksponerte boliger eller knyttet til antatt eksponerte arbeidsplasser. En rekke andre undersøkelser konkluderer med at det ikke er noen sammenheng.

Sammenhengen mellom visse kreftformer og visse yrker, særlig mellom leukemi og arbeid med elektronikk er verd å undersøke nærmere. Her er imidlertid eksponeringsdataene svært ufullstendige idet hverken frekvenser eller feltstyrker er kjente, og heller ikke hvilke kreftfremkallende stoffer disse gruppene ellers kan ha blitt utsatt for. Det kan være verd å nevne at Digernes og Astrup (1982) fant at visse dataterminaler avga små mengder PCB (polyklorete bifenyler), formodentlig mest ved fordampning fra små kondensatorer hvor PCB fortsatt brukes som isolasjon mellom platene.

Mistanken om en påvirkning fra kraftledninger knytter seg til langvarig, særlig permanent eksponering og derfor til de felt man kan finne innendørs. Det elektriske feltet dempes (skjermes) effektivt av husvegger, mens det magnetiske feltet stort sett trenger uhindret igjennom. Det er derfor særlig det magnetiske feltet man knytter mistanken til.

Det dreier seg i disse undersøkelsene om boavstander inntil 150 m fra ledningen og magnetiske felt ned til ca. 0,25 μT , som er over det gjennomsnittsnivå man ellers finner i de fleste norske hus med elektriske installasjoner. På den annen side er disse feltene alt for svake til at man kan forklare eventuelle helsemessige effekter utfra kjente mekanismer. Det finnes også i tallmaterialet fra de tre siste undersøkelser på kreft hos barn. (Tomenius 1985, Myers et al. 1985 og Savitz et al. 1986) visse forhold som kan tyde på at det ikke er magnetfeltene som er årsak til de

overhyppighetene av kreft som disse undersøkelsene antyder.

Samlet kan likevel rapportene gi grunn til å mistenke at det kan være en svak overrisiko for visse kreftformer hos barn i boliger nær de største høyspentledningene. Dersom arbeidene til Wertheimer og Leeper (1979), Tomenius (1986) og Savitz og medarbeidere (1986) skulle vise seg å ha almen gyldighet, vil forekomst av kraftledninger nær boliger kanskje medføre en fordobling av den naturlige forekomsten av leukemi og/eller hjernekreft hos barn i disse boligene. På basis av tallene i Savitz' undersøkelse har det videre vært antydning at gjennomsnittlig ca. 10 % av alle krefttilfeller hos barn i USA kan skyldes bosted nær kraftledninger (Ahlbom et.al. 1987). Det er forøvrig uklart hvorvidt disse tallene er overførbare til norske forhold. WHO anbefaler derfor videre forskning på området (WHO/IRPA 1987).

EKSPERIMENTELLE UNDERSØKELSER

Eksperimentelt har man undersøkt en rekke forskjellige delproblemer knyttet til observerte eller mistenkte effekter av elektriske og magnetiske felt.

Flere av de observerte effektene er fremkalt med større feltstyrker og andre frekvenser enn det man normalt blir utsatt for ved vanlig ferdsel nær høyspentledninger. De er derfor av mindre praktisk betydning for folk flest. I noen arbeider er det benyttet felt som er for svake til at effektene uten videre kan forklares på grunnlag av de induerte strømmene. Det er heller ikke funnet noen annen troverdig virkningsmekanisme. Bare et fåtall av disse forsøkene har gitt konsistente svar som er reproduisert av andre uavhengige forskergrupper. Observasjonene kan likevel ha betydning for forståelsen av hvordan disse feltene kan tenkes å påvirke levende vev.

Av de reproduerte effekter er ingen hittil vist å ha varige biologiske konsekvenser for intakte organismer eller føre til helsemessig påvirkning av betydning.

Utvikling av kreft

17 studier beskriver eksperimentelle undersøkelser over virkningen av elektriske eller magnetiske felt på ulike typer kreftceller.

I 3 av disse er det anvendt direkte stimulering av kreftcellene med likestrøm (David et al. 1985, Marino 1986, Sisken et al. 1986). Alle 3 arbeidene tyder på at stimuleringen har en hemmende effekt på kreftcellene i form av redusert vekst, økt nekrose (celledød) eller økt differensiering av cellene, som igjen tas som tegn på nedsatte maligne egenskaper.

I 4 arbeider er det brukt 60 Hz elektriske eller magnetiske felt eller de to i kombinasjon. (60 Hz er den vanlige nettfrekvensen i USA.) Leung og medarbeidere (1986) fant at rotter som var født og oppvokst i et 60 Hz elektrisk felt på 40 kV/m lettere fikk induisert melkekjertel-kreft av DMBA (7,12-Dimetylbenz(a)antracen) enn ueksponerte eller rotter eksponert for konstant lys. Resultatet var imidlertid ikke statistisk signifikant. Phillips og medarbeidere (1986) fant at dyrkede celler av tykktarmskreft viste økt kolonidannelse og økt mengde av et tumor-assosiert antigen i et 60 Hz magnetfelt på 100 μT alene eller i kombinasjon med elektrisk strøm (300 mA/m²), men ikke med strøm alene. Frazier og medarbeidere (1985b) fant ingen effekt av et langt sterkere magnetfelt (2,4 mT), eller et rent elektrisk felt hverken på normale celler eller kreftceller av flere typer, men redusert kolonidannende evne av CHO-celler ved kombinert eksponering (Frazier et al. 1985a).

Bellosi (1984) viste at induksjon av kreft med metylcholantren ikke ble påvirket av statiske magnetfelt i området 25-800 mT. I 2 arbeider (1986a og b) fant han heller ingen virkning av statiske magnetfelt på mus med transplantert Lewis' tumor eller spontan leukemi, unntatt ved en flukstetthet på minst 0,6 T som økte overlevelsestiden for leukemiske mus.

I de øvrige 7 studiene er det anvendt pulsede magnetfelt av forskjellig karakter (vedlegg 1, side 8-10). Disse har induisert

betydelige elektriske strømpulser i dyret eller preparatet. En av rapportene (Akamine et al. 1985) beskriver en stimulerende effekt av feltet i form av en økt vekst av embryonale kreftceller sammen med en hemming av den differensierende virkningen som vitamin A har på slike celler. 5 av de øvrige arbeidene viser motsatt resultat så som hemmet vekst og økt differensierende virkning av vitamin A-syre (tretinoin) eller DMSO (dimetylsulfoksid) på kultur av leukemi-celler (Silverman 1985, 1986), økt virkning av kjemoterapeutikum (BCNU) på lymfomer (Smith & Feola 1982) avhengig av kjønn og stimuleringsperioder (Smith & Feola 1985) og i ett tilfelle økt overlevelse p.g.a. hemmet metastase av melkekjertel-kreft (Bellossi et al. 1986).

Jones og medarbeidere (1986) har kunnet vise at kontinuerlig stimulering med pulser nedsetter tyrosinaseaktiviteten i melanomceller, mens avbrutt stimulering øker aktiviteten og hemmer delingen av cellene på samme måte som f.eks. det melanocytstimulerende hormon (MSH), og forsterker virkningen av MSH.

Ut fra disse undersøkelsene kan det med få unntak se ut som om likestrøm eller induserte strømpulser kan ha en hemmende virkning på utviklingen av kreft, både alene og i form av en økt effekt av farmaka som hemmer formeringen av kreftceller eller induserer økt differensiering av cellene. Statistiske magnetfelt ser ikke ut til å ha noen effekt under 0,6 T. Ved denne flukstettheten og høyere vil det imidlertid induseres spenningsfelt av størrelsesorden over 1 mV/m i blodbanene, og dermed strømtettheter som i størrelsesorden kan sammenlignes med de likestrømmer som bl.a. har gitt økt differensiering av neuroblastomceller (Sisken et al. 1986). Kreftceller suspendert i blodet, som ved leukemi, kan tenkes å være særlig utsatt for denne påvirkningen.

I 4 av rapportene antydes at den elektriske eller magnetiske påvirkningen kan ha aksellerert utviklingen av kreft. I en av disse (Leung et al. 1986) var de eksponerte rottene åpenbart utsatt for stress, og det er holdpunkter for at psykisk stress kan forårsake et nedsatt immunforsvar (Martin 1987). To av de øvrige, av Akamine og medarbeidere (1985) og Phillips og medarbeidere (1986), står i direkte motstrid til resultatene til

h.h.v. Silvermann og medarbeidere (1985, 1986) og Frazier og medarbeidere (1985a,b). Alle disse omhandler forsøk med cellekulturer h.h.v med og uten differensierende farmaka, og h.h.v. med pulsede magnetfelt og 60 Hz sinusfelt. Forskjeller i forsøksbetingelsene kan være årsak til at vekststimulerende prinsipper får overtaket hos de førstnevnte forfattere og veksthemmende prinsipper hos de to sistnevnte. F.eks. kan konsentrasjonen av farmaka være av betydning (Conti et al. 1986).

Arbeidet til Jones og medarbeidere (1986) kan tyde på at magnetfeltstimuleringen nedsetter hormonreseptorenes følsomhet midlertidig som ved en adaptasjon. Når påvirkningen opphører øker dermed reseptorenes følsomhet til over det normale for en tid (deadaptasjon, "off-respons").

Kromosomforandringer, skader på cellenes arvestoff

I forbindelse med spørsmålet om kreft kan utvikles ved eksponering til elektriske og magnetiske felt har det vært gjort en del undersøkelser på påvirkninger av cellenes informasjonsbærere, kromosomene og deres arvestoff DNA (deoksy-ribonukleinsyre). Dette er også av en viss interesse i forbindelse med spørsmålet om fosterskader. 17 rapporter er funnet som dekker dette problemet. Det er sett på kromosombrudd, søsterkromatidutbyttinger, unormale kromosomformer og manifestasjon av mutasjoner. Man har vesentlig benyttet ekstremt lavfrekvente felt, i to tilfeller i kombinasjon med h.h.v. ioniserende stråling og et kjemisk mutagen.

9 av rapportene beskriver forsøk hvor det ikke er funnet signifikante tegn til økt forekomst av kromosomskader av noen art (vedlegg 1, side 11-13). Det er i disse arbeidene benyttet elektriske og magnetiske felt på inntil h.h.v. 100 kV/m (60 Hz) og 1 T (statisk) eller 2 mT (60 Hz), og i to tilfeller pulser, antagelig av sterrelsesorden noen få mT, gitt med inntil 640 Hz (Pino et al. 1984, 1985). I ett av arbeidene er det også undersøkt om feltet forsterker virkningen av et kjemisk mutagen (Juutilainen & Liimatainen 1986).

En gruppe (d'Ambrosio et al. 1985, 1986) har funnet økt forekomst av kromosombrudd ved eksponering for 50 Hz felt. Ved rent

sinus-felt (uten overharmoniske komponenter) fant de økt forekomst av kromosombrudd ved en strømtetthet på 1 mA/cm^2 ($= 10 \text{ A/m}^2$). Dette er en strømtetthet som normalt vil gi en energiabsorpsjon på ca. 1 W/kg . (Bernhard et al. 1986). Dersom feltet også hadde overharmoniske var en strømtetthet på $2,4 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$ (24 mA/m^2) tilstrekkelig. En gruppe (Ardito et al. 1984) fant økning av kromosombrudd ved eksponering for et statisk felt på 74 mT i 48 timer sammen med en forsinkelse av delingscyklusen. Begge disse gruppene har imidlertid benyttet en kjemisk markør som er kjent for å kunne fremkalle kromosombrudd. Man kan derfor ikke se bort fra at den observerte økningen av kromosombrudd i de eksponerte cellene kan skyldes et samvirke mellom magnetfelt og dette stoffet.

McCormack og Swenberg (1985) fant at et elektrisk felt på 240 kV/m økte tendensen til kromosombrudd forårsaket av ioniserende stråling. Dumbadze (1981) fant økt mengde kromosombrudd i lymfocytter som var blitt eksponert i tilsammen 35 timer over 6 døgn for et $88 \text{ } \mu\text{T}$ magnetfelt ved $3,2 \text{ kHz}$.

Nordenson og Mild (1987) har funnet at stimulering av kulturer av fibroblaster fra humane fostervannsprøver (avstøtte bindevevsceller) med 20 kHz sagtannpulser eller med 50 Hz sinus og en flukstetthet på inntil $30 \text{ } \mu\text{T}$ kan øke forekomsten av kromosombrudd i disse cellene.

Tidligere fant Nordenson og medarbeidere (1984) imidlertid at en elektrisk strøm på 1 mA/cm^2 gjennom blodprøver ikke ga kromosombrudd, men at strømstøt på $3 \text{ } \mu\text{s}$ (gnistutladninger) forårsaket av et felt på 350 kV/m ga kromosombrudd i lymfocytene av samme type som de som var fremtredende hos arbeider i høyspente koblingsstasjoner (stillverk).

Stefan (1985) fant ingen økning av kromosombrudd i lymfocytter ved eksponering av forsøkspersoner med statiske magnetfelt på inntil 1 T i inntil ca. $1/2$ time. Khandelwal (1985) fikk derimot induisert kromosombrudd hos en bregne ved 1 times eksponering for 16 T .

Ca. halvparten av arbeidene finner altså at ekstremt lavfrekvente elektriske og magnetiske felt som sådan ikke forårsaker kromosom-

skader. Dette er også hva man kunne forvente utfra feltenes energiinnhold. Man kan imidlertid ikke utelukke at feltene kan forsterke virkningen av mutagene stoffer (Ardito et al. 1984, d'Ambrosio et al. 1985, 86) eller ioniserende stråling (McCormack & Swenberg 1985).

Det må anses som sikkert at gnistutladninger kan forårsake kromosomskader i lymfocytter som gnisten treffer. Selv om dette funnet ennå ikke er reprodusert eksperimentelt av noen uavhengige grupper, støttes det av to epidemiologiske undersøkelser (Nordenson et al. 1985, Yang 1985). Dersom resultatene til Nordenson og Mild (1987) kan reproduseres, kan det tyde på at fosterceller kan være mer følsomme for elektromagnetisk påvirkning enn andre celler.

Etter hva man mener å vite idag er det intet som tyder på at ferdig differensierte celler, som lymfocytter, kan utveksle sitt genetiske materiale med kjønnscellene eller deres forstadier. Det er derfor ikke grunn til å tro at de beskrevne kromosomskadene i lymfocytter har noen som helst konsekvenser for forplantningen eller avkommet. På den annen side kan man ikke utelukke lignende kromosomskader i kjønnscellene dersom gnistutladningen skulle treffe kjønnskjertlene. Det er en teoretisk mulighet for at en indusert kromosomskade, i f.eks. en lymfocyt, kan transformere cellen til en kreftcelle. Det er hittil ikke gjort forsøk som kan bekrefte eller avkrefte en slik hypotese. Sannsynligheten for et slikt hendelsesforløp er i alle fall forsvinnende liten. Dersom lavfrekvente elektriske eller magnetiske felt virkelig kan bidra til utvikling av kreft, skjer det sannsynligvis via andre mekanismer.

Virkninger på immunsystemet

24 arbeider omhandler eksperimenter som tar sikte på å undersøke virkninger av elektriske og magnetiske felt på immunreaksjoner eller på immunkompetente celler in vitro. I 11 av arbeidene er det stimulert bare med elektriske og/eller magnetiske felt. I 13 arbeider er det sett på hvorvidt pulsede elektriske og magnetiske felt påvirker effekten av kjemiske stoffer som fremkaller celledeling hos lymfocytter in vitro.

Elektromagnetisk stimulering

To arbeider er utført med statiske felt in vivo:

Bellossi (1983) fant ingen effekt på sovesyke hos mus av et statisk magnetfelt på inntil 60 mT. Mincheva og medarbeidere (1985) fant at eksponering med et statisk magnetfelt på 120 mT med 1 time pr. dag i 3 måneder førte til nedsatt dannelse av antistoff mot en bakterieinfeksjon hos rotter.

Stierschneider og Fisher (1986) stimulerte med firkantpulser, 10 Hz, 0,5 mT og fant at magnetfeltet økte immunreaksjonen hos mus. Reale og medarbeidere (1986) fant at preinkubering av mononukleære blodceller (som omfatter lymfocytter og monocytter) med 5 mT pulstog økte cellenes evne til å bekjempe fremmede celler (cytotoksiske egenskaper).

I to rapporter er det beskrevet stimulering med modulerte radiofrekvente felt: Lyle og medarbeidere (1983) fant at et 450 MHz felt hemmet de cytotoksiske egenskapene til T-lymfocytter, sterkest når modulasjonsfrekvensen var 60 Hz (mellom 40 og 80 Hz). Cleary og medarbeidere (1985) fant at et 100 MHz felt modulert med 20 Hz ikke påvirket fagocytose-aktiviteten til neutrofile granulocytter.

I 5 arbeider har man studert virkningen av 60 Hz sinusformede elektriske og magnetiske felt på ulike lymfocyt-kulturer. Det er stimulert med magnetfelt fra 5 μ T - 2 mT, elektriske felt fra 0,1 - 10 V/m eller direkte strøm injeksjon med en strømtetthet på inntil 300 mA/m². Dette tilsvarer ved denne frekvensen maksimal strømtetthet i et menneske i et ytre elektrisk felt på ca 1000 kV/m eller et magnetfelt på ca 1 T (Bernhardt et al. 1986).

Winters og medarbeidere (1984, 1986) har dels funnet at høye feltstyrker kan påvirke DNA-, RNA- og proteinsyntesen og antigen-reseptoraktiviteten hos lymfocytter, dels at stimuleringen (80 Hz, 100 μ T) øker den cellulære motstandskraft mot virusinfeksjon. Resultatene er foreløpig bare publisert som kongressabstracts, og derfor vanskelige å vurdere.

Morris og McClanahan (1986) fant en redusert mitogen respons i lymfocytter ved stimulering med 5 μT , ingen effekter med sterkere magnetfelt eller med elektriske felt.

Phillips (1986) har funnet at når et magnetfelt på 100 μT (60 Hz) har økt antallet transferrinreseptorer på overflaten av Colo 205-celler blir de mindre utsatt for cytolyse (ødeleggelse) fra T-lymfocytter.

Lyle og medarbeidere (1986) fant at preeksponering av cytotoxiske T-lymfocytter med 60 Hz elektrisk felt på over 10 mV/m hemmet cellenes cytotoxiske egenskaper med opptil 30 %.

Eksposeringen i disse arbeidene er ikke direkte sammenlignbare så lenge man ikke kjenner eksponeringssystemet og dimensjonene på cellekulturene. De anvendte magnetfeltene synes å være for svake til å indusere strømtettheter på 300 mA/m², men ville være tilstrekkelige til å indusere et elektrisk felt i en menneskekropp på ca. 10 mV/m og dermed en strømtetthet på ca. 1 mA/m² som tilsvarer omtrent strømtettheten forårsaket av kroppens egen muskel- og nerveaktivitet.

Kombinert kjemisk og elektromagnetisk stimulering

Kroppens immunreaksjon er en komplisert prosess. Bl.a. består den i at en viss gruppe av hvite blodlegemer (lymfocytter) gjenkjenner et smittestoff som et fremmed element (antigen). Dette stimulerer cellene til å dele seg, og en undergruppe (B-lymfocytter) produserer antistoffer i store mengder mot antigenet. En annen gruppe lymfocytter (T-lymfocytter) kan dele seg tilsvarende og mer direkte ødelegge fremmede celler.

Denne stimuleringen av celledeling og produksjon av forsvarstoffer kan etterlignes ved hjelp av stoffer som i sin virkning ligner på antigener. Slike kjemiske stoffer kalles lectiner. De vanligste lectinene å bruke i eksperimenter er concanavalin A (ConA) og phytohemagglutinin (PHA).

13 arbeider beskriver forsøk der man har sett på hvorvidt pulset elektromagnetisk stimulering påvirker en kjemisk stimulert

aktivisering av lymfocytter i kultur (vedlegg 1, s. 16-18). Arbeidene er vanskelige å sammenligne fra en forsker-gruppe til en annen, da det ikke er noen felles standard for den kjemiske stimuleringen. Man har tidligere funnet tilsynelatende sterkt motstridende resultater. Disse konfliktene er i 1985 og 1986 blitt tydeligere belyst ved arbeidene av h.h.v. Cadossi og medarbeidere (1985 b) og P. Conti og medarbeidere (1986).

Cadossi og medarbeidere fant at ved en gitt kjemisk stimulering kunne en svak elektromagnetisk stimulering forsterke virkningen av den kjemiske stimuleringen, mens en sterkere elektromagnetisk stimulering kunne virke hemmende. Contis gruppe har vist at en gitt elektromagnetisk stimuleringsstyrke forsterker virkningen av den kjemiske stimuleringen når denne virkningen er svak, men hemmer den når virkningen av den kjemiske stimuleringen er sterk. D.v.s. at med elektromagnetisk stimulering stiger den kjemiske dose/responskurven raskere til å begynne med, men har et flatere forløp.

Forsøkene referert ovenfor har ikke gått inn på hvorvidt magnetfeltene behøver å være pulset. Alesse og medarbeidere (1986) har da også funnet at såvel 3 Hz som 9 Hz sinusformet stimulering har tilsvarende effekt som 3 Hz firkantpulser.

Disse observasjonene sammen med de tidligere nevnte "off"-responsene på kreftceller (Jones et al. 1986) kan tyde på at elektromagnetiske felt kan virke som en slags uspesifikk stimulator/blokker på cellenes reseptorer for kjemiske stimuli som hormoner eller andre signalstoffer. Denne typen reseptor-blokkering er vel kjent innen farmakologien og nevro- og sansefysiologien hva angår kjemiske påvirkninger. Ulik effekt av ulike pulsformer og frekvenser kan i denne sammenheng skyldes tidsforløpet av de enkelte faser i adaptasjonsmekanismen til de kjemiske reseptorene.

Det er i praksis umulig å fjerne all kjemisk påvirkning av celler i kultur, og i den intakte organisme vil cellene være under stadig skiftende kjemisk påvirkning. De forsøkene som har vært utført med "bare" elektromagnetisk påvirkning innebærer nødvendigvis en viss kjemisk påvirkning i tillegg. De immunologiske forsøkene viser derfor tilsammen at elektromagnetisk påvirkning under visse

forhold kan forandre cellenes reaksjoner på kjemisk styrte funksjoner. Dette er særlig tydeliggjort på kulturer av immunkompetente celler, som lymfocytter.

Diskusjon av de eksperimentelle arbeidene

Elektrisk strøm synes å kunne hemme utviklingen av kreft enten alene eller sammen med krefthemmende farmaka. Statiske magnetfelt ser ikke ut til å ha noen virkning på kreftceller direkte. Ved tilstrekkelig intensitet kan statiske og lavfrekvente magnetfelt indukere strømmer i blodbanene, som igjen vil kunne påvirke kreftceller, kanskje særlig i forbindelse med leukemi. Gnistutladninger kan gi kromosomskader i de cellene som gnisten treffer. Det er foreløpig intet som tyder på at disse kromosomskadene har helsemessige konsekvenser. Ekstremt lavfrekvente eller statiske elektriske og magnetiske felt alene later ikke til å gi kromosomskader. Det er likevel mulig at slike felt via foreløpig ukjente mekanismer kan forsterke virkningen av mutagene stoffer og ioniserende stråling. Det er visse indikasjoner på at fosterceller kan være mer følsomme for elektromagnetiske påvirkninger enn andre celler i likhet med hva man ofte antar for ioniserende stråling.

Flere arbeider tyder på at elektromagnetiske felt kan påvirke cellenes reseptormekanismer for ulike kjemiske påvirkninger. Delvis kan det dreie seg om en uspesifik hemming, dels om en kortvarig økning av cellenes følsomhet idet påvirkningen fra feltet opphører. Slike kombinasjonseffekter er vist på flere systemer, bl.a. på kulturer av lymfocytter.

Resultatet av den samlede påvirkningen kan ikke forutsies på noen enkel måte. Det er avhengig både av den kjemiske og den elektromagnetiske påvirkningens art og styrke. Man kan ikke utelukke at elektromagnetisk påvirkning under noen omstendigheter vil virke gunstig og forsterke immunsystemet, under andre omstendigheter svokke det. Særlig komplisert blir tolkningen hvor kreftcellene selv stammer fra immunkompetente celler som ved en leukemi.

De effektene på immunsystemet som er beskrevet er imidlertid alle fremkommet med feltstykker eller frekvenser som folk vanligvis

sjelden eller aldri blir eksponert for, og i hvert fall aldri over lengre tid. Det er derfor liten grunn til å anta at immunsystemet blir påvirket av vanlig forekommende elektriske eller magnetiske felt i en slik grad at ellers friske mennesker blir syke.

Dersom flere av kroppens reguleringsmekanismer er presset til sitt ytterste, kan man imidlertid ikke utelukke at elektriske eller magnetiske felt av nær sagt en hvilken som helst art og styrke kan være den lille "dråpen som får begeret til å flyte over". Heller ikke kan man utelukke at elektriske eller magnetiske felt kan bidra til å dempe kroppens reaksjoner på visse andre påvirkninger. Hvorvidt bestemte elektriske eller magnetiske felt vil ha virkninger på en særlig disponert organisme kan vi ikke forutse idag.

S L U T T O R D

Denne utredningen har behandlet spørsmålet om hvorvidt utviklingen av kreft kan påvirkes av elektriske eller magnetiske felt, særlig av felt med frekvensen 50 Hz og med feltstyrker (flukstettheter) som man kan bli eksponert for i enkelte hjem eller arbeids-situasjoner. Hverken de epidemiologiske eller de eksperimentelle studiene som er offentliggjort hittil kan gi noe entydig svar.

Kreft er i seg selv en komplisert gruppe av sykdommer, som bare har det til felles at visse grupper av forandrete celler begynner å vokse og dele seg uten kontroll. Samlet er gruppen kreftsykdommer blant de dominerende som dødsårsak. Hvert år får gjennomsnittlig 4 av 1000 nordmenn diagnosen kreft i en eller annen form.

Vi vet lite om hvilke mekanismer som ligger til grunn for utvikling av de ulike kreftsykdommene. Det er grunn til å tro at små endringer i cellenes arvestoff i visse tilfelle kan gi opphav til en kreftutvikling. Kroppen har visse forsvarsmekanismer mot sykdommer, men vi har grunn til å tro at flere av disse mekanismene av en eller flere grunner er ute av stand til å virke effektivt fordi kreftcellene ikke egentlig er fremmedelementer i kroppen, men stammer fra kroppens egne celler. Vi har grunn til å tro at visse påvirkninger kan sette fart i en latent kreft, "vekke sovende kreftceller", og at visse påvirkninger kan bidra til å svekke kroppens forsvar mot kreft.

For å kunne vurdere hvilke faktorer som kan spille en rolle i denne sammenhengen og hvilke forskningsresultater som kan bidra til en dypere forståelse av disse problemene, kreves omfattende kunnskaper i biofysikk, fysiologi og medisin. Våre kunnskaper så langt sier oss at de feltstyrker og frekvenser som vi normalt møter f.eks. i nærheten av kraftledninger antagelig har liten helsemessig betydning, om noen betydning i det hele tatt. Mennesket er imidlertid så komplisert at vi ikke skal utelukke at faktorer vi idag ikke har oversikt over kan spille en rolle, at påvirkninger som ennå ikke er kartlagt, eller at virkningsmekanismer som vi foreløpig har liten kjennskap til, kan ha en helsemessig betydning.

L I T T E R A T U R

- Ahlbom, A. 1987. Långtidseffekter. I: Biologiska effekter av kraftfrekventa elektriska och magnetiska fält. Ingeniörvetenskapsakademien, Rap. nr. 323:21-23.
- Ahlbom, A., Albert, E.N., Fraser-Smith, A.C., Grodzinsky, A.J., Marron, M.T., Martin, A.O., Persinger, M.A., Shelanski, M.L. & Wolpow, E.R. 1987. Biological effects of power line fields. New York State Power Lines Project scientific advisory panel final report.
- Akamine, T., Muramatsu, H., Hamada, H. & Sakou, T. 1985. Effects of pulsed electromagnetic field on growth and differentiation of embryonal cancer cells. *J. Cell. Physiol.* 124:247-254.
- Alesse, E., Reale, M., Fiore, S., Eugenio, R. Di, Cirone, R., Gualtieri, G., Altamura, A. & Cifone, M.G. 1986. Effeto de campi elettromagnetici pulsati sinusoidalmente a bassa frequenza su linfociti umani stimolati con lectine mitogeniche. Risultati preliminari. *Boll. Soc. It. Biol. Sper.*, 62(6):757-762.
- Ardito, G., Lamberti, L., Bigatti, P. & Prono, G. 1984. Influence of a constant magnetic field on human lymphocyte cultures. *Boll. Soc. It. Biol. Sper.* 60(7):1341-1346.
- Backe, S. & Hannevik, M. 1987. Stråling fra dataskjermer. Statens institutt for strålehygiene. Rapport 1987:3.
- Barnes, F., Savitz, D., Wachtel, H., Fuller, J., Feldt, W. Van & Brown, K. 1986. On the relationship between wiring configuration and endogenous 60 Hz fields. *Contractors Rev.* Nov 1986.

- Baroncelli, P., Battisti, S., Checcucci, A., Comba, P., Grandolfo, M., Serio, A. & Vecchia, P. 1986. A health examination of railway high-voltage substation workers exposed to ELF electromagnetic fields. *Am. J. Industr. Med.* 10:45-55.
- Barregård, L., Järholm, B. & Ungethüm, E. 1985. Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields. *Lancet* Oct. 19, 1985: 892.
- Bellossi, A. 1983. No-effect of a static uniform magnetic field on mouse trypanosomiasis. *Radiat. Environ. Biophys.* 22:311-313.
- Bellossi, A. 1984. The effect of a static uniform magnetic field on mice - a study of methylcholanthren carcinogenesis. *Radiat. Environ. Biophys.* 23:107-109.
- Bellossi, A. 1986a. Effect of static magnetic fields on survival of leukemia-prone AKR mice. *Radiat. Environ. Biophys.* 25:75-80.
- Bellossi, A. 1986b. The effect of a static non-uniform magnetic field on mice - a study of Lewis tumor graft. *Radiat. Environ. Biophys.* 15:231-234.
- Bellossi, A., Desplaces, A. & Murin 1986. Effect of low frequency pulsed magnetic fields on tumoral C3H mice - preliminary study. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. NG.
- Bernhardt, J.H., Haubrich, H.J., Newl, G., Krause, N. & Schneider, K.H. 1986. Limits for electric and magnetic fields in DIN VDE standards - considerations for the range 0 to 10 kHz. CIGRE Report 36-10. (International Conference on Large High Voltage Electric Systems)

- Broadbent, D.F., Broadbent, M.H.P., Male, J.C. & Jones, M.R.L. 1985. Health of workers exposed to electric fields. *Br. J. Industr. Med.* 42:75-84.
- Budinger, T.F. 1985. Health effects of in vivo nuclear magnetic resonance. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* Sept. 1985: 31-38.
- Cadossi, R., Emilia, G., Torelli, G., Ceccherelli, G., Ferrari, S. & Ruggeri, P. 1985a. The effect of low-frequency pulsing electromagnetic fields on the response of human normal lymphocytes to phytohaemagglutinin (PHA). *Bioelectrochem. Bioenerget.* 14:115-119.
- Cadossi, R., Ceccherelli, G., Emilia, G., Torelli, G., Ruggeri, M., Monari, P. & Bersani, F. 1985b. Effect of low frequency pulsing magnetic fields (PEMFs) on the response human cultured normal and leukemic lymphocytes to the lectins. *IEE Conf. Publ.* 257:4-8.
- Cadossi, R., Ceccherelli, G., Emilia, G. & Torelli, G.M. 1986. Effect of ELF electromagnetic fields on lectin induced lymphocyte proliferation. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. 15.
- Calle, E.E. & Savitz, D.A. 1985. Leukemia in occupational groups with presumed exposure to electrical and magnetic fields. *New Engl. J. Med.* 313(23):1476-1477.
- Cantini, M., Cossarizza, A., Bersani, F., Cadossi, R., Ceccherelli, G., Tenconi, R., Gatti, C. & Franceschi, C. 1985. Enhancing effects of low frequency pulsed electromagnetic fields on lectin-induced human lymphocyte proliferation. *J. Bioelectr.* 5(1):91-104.

- Carsten, A.L. & Benz, R.D. 1986. Effects of 60 Hz, 50 kV/m - 10 Gauss electric - magnetic fields on dominant lethal mutations, multigeneration prosperity and bone marrow sister chromatid exchanges and cell cycle time in two strains of mice. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. 16.
- Cleary, S.F., Liu, L.-M. & Garber, F. 1985. Viability and phagocytosis of neutrophils exposed in vitro to 100-MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics* 6:53-60.
- Coggon, D., Pannett, B., Osmond, C. & Acheson, E.D. 1986. A survey of cancer and occupation in young and middle aged men. II. Non-respiratory cancers. *Br. J. Industr. Med.* 43:381-386.
- Cohen, M.M., Kunska, A., Astemborski, J.A., McCulloch, D. & Paskewitz, D.A. 1986a. Effect of low-level, 60 Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells: I. Mitotic rate and chromosome breakage in human peripheral lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 7:415-423.
- Cohen, M.M., Kunska, A., Astemborski, J.A. & McCulloch, D. 1986b. The effect of low-level 60 Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells. II. Sister-chromatid exchanges in peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Mutation Res.* 172:177-184.
- Coleman, M., Bell, J. & Skeet, R. 1983. Leukemia incidence in electrical workers. *Lancet*, April 30.: 982-983.
- Coleman, M., Bell, C.M., Taylor, M.L. & Thornton-Jones, H. 1985. Leukemia and electromagnetic fields: A case-control study. *IEE Conf. Publ.* 257:122-125.
- Conti, P., Gigante, G.E., Cifone, M.G., Alessi, E., Ianni, G., Reale, M. & Angeletti, P.H. 1983. Reduced mitogenic stimulation of human lymphocytes by extremely low frequency electromagnetic fields, *FEBS Lett.* 162(1):156-160.

- Conti, P., Gigante, G.E., Alesse, E., Cifone, M.G., Fieschi, C., Reale, M. & Angeletti, P.U. 1985 a. A role for Ca^{2+} in the effect of very low frequency electromagnetic field on the blastogenesis of human lymphocytes. *FEBS Lett.* 181(1):28-32.
- Conti, P., Gigante, G.E., Cifone, M.G., Alesse, E., Fieschi, C. & Angeletti, P.U. 1985b. Effect of electromagnetic fields on two calcium dependent biological systems. *J. Bioelectr.* 4(1):227-236.
- Conti, P., Gigante, G.E., Cifone, M.G., Alesse, E., Fieschi, C., Bologna, M. & Angeletti, P.U. 1986: Mitogen dose-dependent effect of weak pulsed electromagnetic field on lymphocyte blastogenesis. *FEBS Lett.* 199(1):130-134.
- d'Ambrosio, G., Scaglione, A., Berardino, D. Di, Lioi, M.B., Ianuzzi, L., Mostacciulo, E. & Scarfi, M.R. 1985. Chromosomal aberrations induced by ELF electric fields. *J. Bioelectr.* 4(1):279-284.
- d'Ambrosio, G., Berardino, D. Di, Lioi, M.B., Mostacciulo, E., Scaglione, A. & Scarfi, M.R. 1986. Cytogenetic observations on 50 Hz electric field exposed bovine lymphocytes. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. X15.
- David, S.L., Absolom, D.R., Smith, C.R., Gams, J. & Herbert, M.A. 1985. Effect of low level direct current on in vivo tumor growth in hamsters. *Cancer Res.* 45:5625-5631.
- Digernes, V. & Astrup, E.G. 1982. Are datascreen terminals a source of increased PCB-concentrations in the working atmosphere? *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 49:193-197.
- Dumbadze, G.G. 1981. {Action of electromagnetic field of sound-wave frequency on the chromosomes of the cultivated human lymphocytes.} *Izv. Akad. Nauk Gruz. SSR Ser. Biol.* 7:457-460.

- Emilia, G., Torelli, G., Ceccherelli, G., Donelli, A., Ferrari, S., Zucchini, P. & Cadossi, R. 1985. Effect of low-frequency low-energy pulsing electromagnetic fields on the response to lectin stimulation of human normal and chronic lymphocytic leukemia lymphocytes. *J. Bioelectr.* 4(1):145-161.
- Flodin, U., Fredriksson, M., Axelson, O., Persson, B. & Hardell, L. 1986. Background radiation, electrical work, and some other exposures associated with acute myeloid leukemia in a case-referent study. *Arch. Environ. Health* 41(2):77-84.
- Franceschi, C., Bersani, F. & Mario, C. 1986. Extremely low frequency electromagnetic fields (EMF) affect phytohaemagglutinin (PHA) induced blastogenesis of human lymphocytes. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. 13.
- Frazier, M.E., Samuel, J.E. & Kaune, W.T. 1985a. Viabilities and mutation frequencies of CHO-K1 cells following exposure to 60 Hz electric fields. *Hanford Life Sciences Symp.*, Richland Wash., CONF-8510225-3:1-30.
- Frazier, M.E. og medarbejdere 1985b. Cellular and molecular models for measuring Effects of 60 Hz AC electromagnetic fields. Ref. i *Transmission/Distribution Health and Safety Rep.* March 1986.
- Fulton, J.P., Cobb, S., Preble, L., Leone, L. & Forman, E. 1980. Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Islands. *Am. J. Epidemiol.* 111(3):292-296.
- Grattarola, M., Ciabrera, A., Bonanno, G., Viviani, R. & Raveane, A. 1985. Electromagnetic field effects on phytohaemagglutinin (PHA) induced lymphocyte reactivation. I: Interactions between electromagnetic fields and cells (eds.: Chiabrera, A., Nicolini C. & Schwan, H.P.). *NATO ASI Series A: Life sciences vol 97 (Plenum).*

- Howe, G. & Lindsay, J.P. 1983. A follow-up study of a ten-percent sample of the Canadian Labor Force. I. Cancer mortality in males, 1965-73. JNCI 70(1):37-44.
- Ingeniörvetenskapsakademien (IVA) 1983. Biologiska effekter av högspänningsledningars elektromagnetiska fält. IVA-rapport 240.
- Ingeniörsvetenskapsakademien (IVA) 1987. Biologiska effekter av kraftfrekventa elektriska och magnetiska fält. IVA-rapport 323.
- Jones, D.B., Pedley, R.B. & Ryaby, J.T. 1986. The effects of pulsating electromagnetic fields on differentiation and growth in Cloudman S91 murine melanoma cells in vitro. J. Bioelectr. 5(2):145-169.
- Juutilainen, J. & Liimatainen, A. 1986. Mutation frequency in Salmonella exposed to weak 100-Hz magnetic fields. Hereditas 104:145-147.
- Khandelwal, S. 1985. Effect of magnetic field on chromosomal behaviour of Ophioglossum Linn. Cytologia 50:899-906.
- Le Bars, H., Andre, G., Pupin, F. & Labie, Ch. 1983. Les effets biologiques des champs électriques; effets sur le rat, la souris, le cobaye. Recueil de Médecine Vétérinaire Oct. 1983: 823-837.
- Leung, F.C., Romerheim, D.N., Stevens, R.G. & Anderson, L.E. 1986. Effects of electric field or constant light on rat mammary tumor development induced by 7,12-dimethylbenz(a)-anthracen (DMBA). Contractors Rev. Nov. 1986.
- Lin, R.S., Dishinger, P.C., Conde, J. & Farrell, K.P. 1985. Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumors. J. Occup. Med. 27(6):413-419.

- Lund, E. 1983. Risiko for leukemi (blodkreft) blant medlemmer av Norsk Elektriker- og Kraftstasjonsforbund. Rapport fra Kreftregisteret.
- Lyle, D.B., Schechter, P., Adey, W.R. & Lundak, R.L. 1983. Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated fields. Bioelectromagnetics 4:281-292.
- Lyle, D.B., Ayotte, R.D., Sheppard, A.R. & Adey, W.R. 1986. Proliferation of myeloid leukemia cell lines, and allogeneic cytotoxicity in the presence of 60 Hz sinusoidal fields. Contractors Rev. Nov. 1986.
- Marino, A.A., Morris, D. & Arnold, T. 1986. Electrical treatment of Lewis lung carcinoma in mice. J. Surgical Res. 41(2): 198-201.
- Martin, P. 1987. Psychology and the immune system. New Scientist. 9. Apr. 1987: 46-50.
- McCormack, P.D. & Swenberg, C.E. 1985. Increase in ϕ X174 DNA radiation sensitivity due to electric fields. Radiat. Res. 104:293-302.
- McDowall, M.E. 1983. Leukemia mortality in electrical workers in England and Wales. Lancet Jan. 29, 1983: 246.
- McDowall, M.E. 1986. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. Br. J. Cancer 53:271-279.
- McLaughlin, J.K., Malaker, H.S.R., Blot, W.J., Malaker, B.K., Stone, B.J., Weiner, J.A., Ericsson, J.L.E. & Fraumeni, J.F., Jr. 1987. Occupational risks for intracranial gliomas in Sweden. JNCI 78(2): 253-257.

- Milham, S., Jr. 1982. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *New Engl. J. Med.* 307(4): 249.
- Milham, S., Jr. 1985. Silent keys: Leukemia mortality in amateur radio operators. *Lancet*, Apr. 6. 1985: 812.
- Mincheva, T., Ishev, V. & Genkov, D. 1985. Influence of a constant magnetic field on antibody formation in experimentally immunized white rats. *Folia Medica* 27(4):44-47.
- Mooney, N.A., Smith, R.E. & Watson, B.W. 1986a. Effect of extremely-low-frequency pulsed magnetic fields on the mitogenic response of peripheral blood mononuclear cells. *Bioelectromagnetics* 7:387-394.
- Mooney, N.A., Smith, R., Brostoff, J. & Watson, B. 1986b. The effect of pulsed magnetic field exposure on human lymphocyte stimulation by Pokeweed mitogen and concanavalin A. *IRCS Med. Sci.* 14:781-782.
- Morris, J.E. & McClanahan, B.J. 1986a. In vitro exposure of lymphocytes to 60-Hz electric and magnetic fields. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. X16. & *Contractors Rev.* Nov. 1986.
- Myers, A., Cartwright, R.A., Bonnell, J.A., Male, J.C. & Cartwright, S.C. 1985. Overhead power lines and childhood cancer. *IEE Conf. Publ.* 257:126-130.
- Nordenson, I., Mild, K.H., Nordström, S., Sweins, A. & Birke, E. 1984. Clastogenic effects in human lymphocytes of power frequency electric fields: In vivo and in vitro studies. *Radiat. Environ. Biophys.* 23:191-201.
- Nordenson, I., Mild, K.H., Ostman, U. & Ljungberg, H. 1985. Kromosomförändringar hos 400 kV-ställverksarbetare. *Arbete och Hälsa* 1985 (39):1-22.

- Nordenson, I. & Mild, K.H. 1987. Clastogenic effects of low-intensity magnetic fields. 9th ann meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. P-B10.
- Nordström, S., Birke, E. & Gustavsson, L. 1983. Reproductive hazards among workers at high voltage substations. *Bioelectromagnetics* 4:91-101.
- Pearce, N.E., Sheppard, R.A., Howard, J.K., Fraser, J. & Lilley, B.M. 1995. Leukemia in electrical workers in New Zealand. *Lancet* Apr. 6. 1985: 811.
- Phillips, J.L. 1986. Transferrin receptors and natural killer cell lysis. A study using Colo 205 cells exposed to 60 Hz electromagnetic fields. *Immunol. Lett.* 13:295-299.
- Phillips, J.L., Winters, W.O. & Rutledge, L. 1986. In vitro exposure to electromagnetic fields: changes in tumor cell properties. *Int. J. Radiat. Biol.* 49(3):463-469.
- Pino, A., Ricci, R. & Serra, G. 1984. Absence of DNA fragmentation in CHO cell cultures in therapeutic magnetic fields. *IRCS Med. Sci.* 12:853.
- Pino, A., Ricci, R. & Piombo, G. 1985. Absence of DNA damage in liver, spleen and kidney of rats after exposure to therapeutic magnetic fields. *IRCS Med. Sci.* 13:257-258.
- Reale, M., Fieschi, S., Fiore, S., Eugenio, R. Di, Gualtieri, G., Cirone, R. & Alesse, E. 1986. L'effetto di campi elettromagnetici usati a bassa frequenza sull'attività NK di cellule mononucleate di sangue periferico umano. Risultati preliminari. *Boll. Soc. It. Sper.* 62(6):743-747.
- Reese, J., Morris, J.E., Jostes, R.F., Kaune, W.T. & Frazier, M.E. 1986. Examination of growth rates, transformation frequencies and DNA damage in mammalian cells exposed to 60 Hz electromagnetic fields. *Contractors Rev.* Nov. 1986.

- Rodvall, Y., Feychting, M. & Ahlbom, A. 1985. En utredning av cancersjukligheten i Alftaområdet. Statens Miljömedicinska Lab., Epidemiol. Enh., Rap. nr. 10/85.
- Savitz, D.A., Wachtel, H. & Barnes, F. 1986. Results of a case control study of childhood cancer and exposure to electromagnetic fields. Contractors Rev. Nov. 1986. & ref. i Transmission/Distribution Health & Safety Rep. Nov./Dec 1986. & ref. av Ahlbom et al. 1987.
- Silverman, L.R., Norton, L., Ohnuma, T., Pilla, A.A., Takemura, Y. & Holland, J.F. 1985. Enhancement of differentiation of HL-60 cells by pulsatile electromagnetically induced currents (PEMIC). Proc. Am. Ass. Cancer Res. 26: abstr. no. 143.
- Silverman, L.R., Norton, L., Ohnuma, T., Pilla, A.A., & Holland, J.F. 1986. Syngery between trans retinoic acid (RA) and pulsatile electromagnetically-induced current (PEMIC) in differentiation of promyelocytic leukemia cells HL-60. Proc. Am. Ass. Cancer Res. 27: abstr. no. 179.
- Sisken, B.F., Mazzoleni, A. & Estes, R.S. 1986. Correlation of electric fields and current density magnitude with differentiation of neuroblastoma cells. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc.
- Smith, S.D. & Feola, J.M. 1982. Pulsed magnetic field modulation of LSA tumors in mice. J. Bioelectr. 1(2):207-229.
- Smith, S.D. & Feola, J.M. 1985. Effects of duty-cycle distribution on pulsed magnetic field modulation of LSA tumors in mice. J. Bioelectr. 4(1):15-41.
- Spitz, M.R. & Johnson, C.C. 1985. Neuroblastoma and paternal occupation. A case control analysis. Am. J. Epidemiol. 121(6):924-929.

- Stefan, G. 1985. Chromosomenuntersuchungen in peripheren Lymphozyten nach NMR Exposition. BGA Tätigkeitsbericht 1985: 4.3.
- Stern, F.B., Waxweiler, R.A., Beaumont, J.J., Lee, S.T., Rinsky, R.A., Zumwalde, R.D., Halperin, W.E., Bierbaum, P.J., Landrigan, P.J. & Murray, W.E., Jr. 1986. A case-control study of leukemia at a naval nuclear shipyard. *Am J. Epidemiol.* 123(6):980-992.
- Stevens, R.G., Severson, R.K., Kaune, W.T. & Thomas, D.B. 1986. Epidemiological study of residential exposure of ELF electric and magnetic fields and risk of acute non-lymphocytic leukemia. *Contractors Rev.* Nov. 1986 & ref. av Ahlbom et al. 1987.
- Stierschneider, R. & Fisher, G. 1986. Untersuchungen über den Einfluss eines schwachen magnetischen Wechselfeldes auf immunbiologische Reaktionen. *Zbl. Bakt. Hyg. B* 182:352-359.
- Swerdlow, A.J. 1983. Epidemiology of eye cancer in adults in England and Wales, 1962-1977. *Am. J. Epidemiol.* 118(2): 294-300.
- Thomas, T.L., Stolley, P.D., Stemhagen, A., Fontham, E.T.H., Bleeker, M.L., Stewart, P.A. & Hoover, R.N. 1987. Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: a case-control study. *JNCI* 79(2):233-238.
- Tomenius, L. 1986. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county. *Bioelectromagnetics* 7:191-207.
- Vågerö, D. & Olin, R. 1983. Incidence of cancer in the electronics industry: using the new Swedish Cancer Environment Registry as a screening instrument. *Br. J. Industr. Med.* 40:186-192.
- Wachtel, H. & Barnes, F. 1987. Two alternative interpretations of the Denver-Boulder ELF epidemiology study. 9th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no. N2.

- Waskaas, M. 1981. Biologiske virkninger av elektriske og magnetiske felt fra kraftledninger - med vurdering av mulig helsefare. Statens institutt for strålehygiene. Rapport 1981:6.
- Wertheimer, N. & Leeper, E. 1979. Electrical wiring configuration and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 109(3):273-284.
- Wertheimer, N. & Leeper, E. 1980. Re: "Electrical wiring configuration and childhood cancer in Rhode Island". Am J. Epidemiol. 111(4):461-462.
- Wertheimer, N. & Leeper, E. 1982. Adult cancer related to electrical wires near the home. Internat. J. Epidemiol. 11(4): 345-355.
- Wertheimer, N. & Leeper, E. 1987. Magnetic field exposure related to cancer subtypes. Ann. N.Y. Acad. Sci. 502:43-54.
- Whitson, G.L., Carrier, W.L., Francis, A.A., Shih, C.C., Georghiou, S. & Regan, J.D. 1986. Effects of extremely low frequency (ELF) electric fields on cell growth and DNA repair in human skin fibroblasts. Cell Tissue Kinet. 19:39-47.
- WHO/IRPA 1984. Extremely low frequency (ELF) fields. Environmental health criteria 35. World Health Organization, Geneva.
- WHO/IRPA 1987. Magnetic fields. Environmental health criteria 69 World Health Organization, Geneva, under trykking.
- Winters, W.D., Young, R.J. & Crawley, R.R. 1984 Bioeffects of 60 Hz electromagnetic fields on canine leukocytes. In Vitro 20(3):259-260.
- Winters, W.D., Brune, J.L. & Darnell, B. 1986. Virus suppressor factors induced in cells by exposure in vitro to 60 Hz AC magnetic fields. 8th ann. meeting of the Bioelectromagnetics Soc., abstr. no 17

Wright, W.E., Peters, J.M. & Mack, T.M. 1982. Leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. Lancet Nov. 20.: 1160-1161.

Yang, B. 1985. An analysis of sister chromosome exchange in the lymphocytes in peripheral blood stream of the staff in high-voltage laboratories. Chonqing Univ. Acta 1:33-38.

V E D L E G G 1

LAVFREKVENTE ELEKTRISKE OG MAGNETISKE FELT
SPØRSMÅLET OM KREFTFARE

Tabellarisk oversikt over
forskningsarbeider 1982 - aug. 1987

Epidemiologiske arbeider:

- Boligmiljø, kreft hos barn
- Boligmiljø, kreft hos voksne
- Eksponering i arbeidsmiljø

Eksperimentelle arbeider:

- Utvikling av kreft
- Kromosomforandringer
- Immunologiske mekanismer

EPIDEMIOLOGISKE UNDERSØKELSER:

Boligmiljø, kreft hos barn

Eksponering	Observasjon	Referanse
50 Hz Boligmiljø 1 nT-1,7 µT	Ingen korrelasjon mellom feltstyrke og forekomst av kreft hos barn.	Myers et al. 1985
50 Hz Bolig inn- til 150 m fra 200 kV ledning B > 0.3 µT	Økt forekomst av kreft hos barn som har bodd nær høyspentledning. Uklar korrelasjon med eksponering.	Tomenius 1986
60 Hz Boligmiljø	Økt forekomst av leukemi hos barn i boliger nær sterkt strømførende ledninger. Uklar korrela- sjon med målte magnetfelt.	Savitz et al. 1986

Boligmiljø, kreft hos voksne

60 Hz Boligmiljø	Økt forekomst av flere typer kreft korrelert med antatt magnetisk vekselfelt. Forfatterne antyder virkning via cancer-promosjon.	Wertheimer & Leeper 1982, 1987
50 Hz Bolig nær høyspentledning	Svakt økt forekomst av leukemi med bolig < 50 m fra høyspentledning, ikke signifikant på 5 % nivå. (foreløpige data. Kontroller: Pasienter med svulster).	Coleman et al. 1985
50 Hz Bolig nær høyspentledning	Ingen overhyppighet for noen undersøkt krefttype. (Meget lite antall)	Rodvall et al. 1985
60 Hz Bolig nær høyspentledning	Ingen sammenheng mellom eksponering for elektriske eller magnetiske felt og forekomst av akutt myeloid leukemi.	Stevens et al. 1986
50 Hz Bolig <50 m fra koblingsstasjon <30 m fra høyspentledning	Lavere dødelighet totalt enn forventet. Høyere dødelighet av lungekreft hos kvinner. Ingen signifikant korrelasjon til leukemi.	McDowall 1985
ELF Hobby/ -RF fritid	Akutt myeloid leukemi overrepresentert som dødsårsak hos amerikanske radioamatører.	Milham 1985

Eksposering i arbeidsmiljø

Eksposering	Observasjon	Referanse
ELF og diverse gasser	Økt dødelighet p.g.a. leukemi blant elektrikere, radio/TV-reparatører og aluminiumsarbeidere, signifikant på 1% nivå. Minskhet hyppighet hos sveisere.	Milham 1982
ELF Linjearbeid	Økt hyppighet av leukemi, signifikant på 5% nivå for linjearbeidere (kraft og telefon), men meget lave tall.	Wright et al. 1982
50 Hz Monter- og RF operatørarbeid	Økt hyppighet av leukemi (ulike former).	Coleman et al. 1983
60 Hz Linjearbeid - RF	En rekke yrker og kreftformer korrelert. Økt hyppighet av mage- og tarmkreft.	Howe & Lindsay 1983
50 Hz	Lavere hyppighet av leukemi blant elektrikere og kraftstasjonsarbeidere. (For lave tall til å underbygge noen som helst konklusjon)	Lund 1983

ELF		Økt relativ hyppighet av leukemi blant elektrisitetsarbeidere høyest for tele-kommunikasjonsarbeidere	McDowall 1983
50 Hz Høyspent-anlegg		Økt forekomst av fosterskader når faren arbeider i høyspentanlegg. Små tall.	Nordström et al. 1983
50 Hz Elektronikk - RF		Særlig høy hyppighet av øye-kreft. Også noe økt i administrative og kunstneriske yrker.	Swerdlow 1983
50 Hz Elektronisk - RF industri		Svak overhyppighet av en rekke typer kreft, spesielt lunge-kreft, ikke leukemi. Bare leppe-kreft under-representert.	Vågerø & Olin 1983
ELF	Elektrolyse Statisk + 100 Hz overharmoniske	Lavere hyppighet av kreft blant eksponerte, ikke signifikant på 5% nivå.	Barregård et al. 1985
50 Hz opp til 242.6 kV/mh, gjennomsnittlig 6.32 kV/mh		Ingen signifikant korrelasjon mellom helsetilstand og felteksponering totalt. Store variasjoner m.h.p. stress på arbeidsplassen.	Broadbent et al. 1985

60 Hz - RF	Elektrisitetsarbeidere viser økt forekomst av hjernetumor korrelert med økt eksponering.	Lin et al. 1985
50 Hz og gnist- utladninger	Koblingsstasjons- arbeidere har uvanlig høy forekomst av kromosombrudd i lymfocytter.	Nordenson et al. 1984, 1985
50 Hz Elektronikk - RF ?	Økt forekomst av leukemi.	Pearce et al. 1985
60 Hz	Barn av elektrisitets- arbeidere har økt fore- komst av neuroblastom. (Meget lite antall)	Soitz & Johnson 1985
50 Hz Gnist- utladn. Høyspent- laboratorium	Økt forekomst av kromosomforandringer (søsterkromatidut- bytting) i lymfocytter.	Yang 1985
0- 50 Hz Typisk: 1-5 kV/m 4-15 µT.	En rekke fysio- logiske parametre undersøkt. Ingen signifikant variasjon.	Baroncelli et al. 1986
60 Hz Elektronikk. og RF Radio og tele- operatører	Høyere relativ dødelig- het av akutt leukemi.	Calle & Savitz 1985

ELF		Økt hyppighet av 10 kreftformer, minsket risiko for 6 kreftformer hos elektrisitetssarbeidere.	Coggon et al. 1986
ELF		Elektrisitetsarbeidere (div. fag) viser økt forekomst av akutt myeloid leukemi (Meget lite antall).	Flodin et al. 1986
60 Hz ?		Elektrikere og sveisere viser økt hyppighet av leukemi, høyest for h.h.v. lymfatisk og myeloid.	Stern et al. 1986
Statisk 0,5 - 2 mT, over 1 time		Ingen signifikant forskjell i forekomst av sykdom mellom 792 eksponerte og kontroller.	Budinger et al. 1984 (Budinger 1985)
50 Hz - RF	Elektro og tele-kommunikasjon	Ingen økt forekomst av hjernekreft	McLaughlin et al. 1987
DC - 120 med overharmoniske		Økt relativ hyppighet særlig av kreft i nervesystem, urinveiene og lungene.	Wertheimer & Leeper 1987
Mikrobølger og andre radiobølger - diverse hjemisk eksponering		Økt hyppighet av kreft i hjernen hos personell som håndterer elektronisk utstyr, dårlig korrelert med strålingseksponering	Thomas et al. 1987

EKSPERIMENTELLE ARBEIDER:

Utvikling av kreft

Eksponering	Observasjon	Referanse
5 ms pulstog à 200 μ s, repetert med 15 Hz. Peak: 2 mT. Strømtetthet: ca 10 mA/m ²	Innavlede mus med LSA-lymfom: Feltet alene påvirker ikke levetiden, men øker virkningen av kjemo- terapeuticum (BCNU).	Smith & Feola 1982
Som ovenfor	Innavlede mus med LSA- lymfom. Ulik effekt av ulike stimulerings- perioder, også kjønns- avhengig.	Smith & Feola 1985
Statisk, 25 - 600 mT 2 h/d, 5 d/uke eller 300-800 mT 5 - 60 min/d, 5 d/u	Ingen effekt av magnet- feltet på kjemisk induksjon av kreft.	Bellossi 1984
Statisk 4,6 mT eller 400 mT h/d i 5 d	Ingen effekt på spontant leukemiske AKR-mus.	Bellossi 1986 a
600 - 800 mT, 2 h/d	Økt overlevelsestid.	- " -
Statisk, ikke uni- formt opp til 900 mT, 3 T/m	Ingen effekt på transplantert Lewis- tumor på mus. Ingen endring i miltens størrelse.	Bellossi 1986 b

4,5 eller 6 mT pulset med 12, 100, eller 460 Hz	C3H-mus (med mamma-cancer) viste lenger overlevelse, mindre metastase, ingen endring i leukocyt-tall.	Bellossi et al. 1986
Forvrengte fir-kantpulser (nesten sagtann) 0,1 og 1 mT, 100 Hz	Økt vekst av embryonale kreftceller, hemming av Vit.A-indusert differensiering. Økt effekt med økt eksponering.	Akamine et al. 1985
Strøm induisert av pulset magnetfelt $E = 0,15 \text{ V/m}$	Feltet hemmer vekst av HL-60-løukemi-celler og forsterker differensierende effekt av DMSO.	Silverman et al. 1985
Som ovenfor	Feltet øker Vit.A- syre-indusert differensiering i HL-60-løukemi-celler. Ingen effekt av feltet alene.	Silverman et al. 1986
0,1 - 2,4 mA DC 1 h/d under anestesi	Minsket tumor-masse, økt tumornekrose hos hamstere sammenlignet med kontroll.	David et al. 1985
2 mA i 1 h, 1 - 3 ganger direkte stimulering	Høyet vekst av implantert lungetumor på mus.	Marino et al. 1986
Likestrøm. 44 - 362 $\mu\text{A/m}^2$. sterkest nær katoden	Strømmen øker differensieringen av neuroblastom-celler (M18).	Sisken et al. 1986

60 Hz, 40 kV/m	Økt forekomst av DMBA-indusert kreft hos rotte, sammenlignet med ueksponerte og lys-eksponerte. Ikke signifikant.	Leung et al. 1986
60 Hz, 100 μ T eller 300 mA/m ² eller kombinert	Magnetfeltet øker koloni-antall og tumor-assosiert antigen i Colo 205 og Colo 320 DM in vitro.	J.L. Phillips et al. 1986
60 Hz opp til 2,4 mT, E-felt opp til 3,5 V/m eller kombinert	Ingen effekt av rene felt på en rekke celletyper, normale og transformerte in vitro. Magnetisk induert E-felt gir CHO-celler nedsatt antall kolonier.	Frazier et al. 1985a, b
50 Hz, 50 kV/m 8 - 18 h/d eller 0,2 - 0,5 mT 18 h/d	Spontan leukemiske mus (AKR): Eksponerte lever gjennomsnittlig lenger enn kontroller.	LeBars et al. 1983-1986
Pulstog 5Hz eller enkeltpulser repetert med 15 Hz. Max induksjon h.h.v. 200 mV og 15 mV	Avbrutt stimulering øker tyrosinaseaktiviteten i melanocytter og hemmer celledelingen. Kontinuerlig stimulering minsker tyrosinaseaktiviteten. Virkning trolig via GTP-binding-protein.	Jones et al 1986

Kromosomforandringer

Eksposering	Observasjon	Referanse
3,2 kHz, 88 μ T 20 h 1. dag + 5 h/d	Humane lymfocytter viser økt frekvens av kromosombrudd.	Dumbadze 1981
Statisk 74 mT i 48 h	Temporært forsinket mitotisk aktivitet, ingen effekt på søsterkromatidut- bytting, økt mengde kromosombrudd i lymfocytter.	Ardito et al. 1984
50 Hz gnist- utladninger	Samme type kromosom- brudd i lymfocytter som hos koblings- stasjonsarbeidere kan frembringes in vitro ved gnist- utladninger.	Nordenson et al. 1984
Magnetterapi- apparat. 20 - 840 Hz pulser inntil 24 h	Ingen tegn til endret fragmentering av DNA på CHO-celler i kultur.	Pino et al. 1984
Magnetterapi- apparat, 840 Hz pulser inntil 3 h eller inntil 30 min/d i 15 d	Ingen tegn til endret fragmentering av DNA i vevskulturer av lever, nyre og milt.	Pino et al. 1985

Opptil 240 kV/m sammen med ioniserende stråling	Økt mengde DNA-brudd ved kombinert eksponering in vitro.	McCormack & Swenberg 1985
NMR-apparatur 350 mT i 2 h eller 1 T i 0,45 h	Ingen endring i kromosombildet i perifere lymfocytter fra mennesker eksponert in vivo.	Stefan 1985
16 T, 1 h, DC ?	Kromosomforandringer indusert hos en bregne.	Khandelwal 1985
50 Hz, 24 mA/m ² (med overharmoniske)	Lymfocytter (i kultur) viser økt tendens til kromosomforandringer.	d'Ambrosio et al. 1985
50 Hz uten over- harmoniske, 10 A/m ²	Økt forekomst av unormale kary- otyper i metafase.	d'Ambrosio et al. 1986
100 Hz, 126 nT - 126 µT	Ingen signifikant endring av mutasjons- frekvensen hos Salmonella, med eller uten kjemisk mutagen.	Juutilainen & Liimatainen 1986
60 Hz, 100 kV/m	Ingen virkning funnet på cellevekst, over- levelse eller DNA-repara- sjon hos fibroblaster in vitro.	Whitson et al. 1986

60 Hz, 300 mA/m ² , 0,1 - 0,2 mT i 69 h	Ingen effekt på mitotisk aktivitet, ingen økning av kromosombrudd i humane lymfocytter in vitro.	Cohen et al. 1986 a
60 Hz, 300 mA/m ² 0,1 - 0,2 mT i 69 h	Ingen signifikant økning i søster-kromatidutbytting i lymfoide celler in vitro.	Cohen et al. 1986 b
60 Hz, 50 kV/m, 1 mT inntil 28 uker	Ingen signifikant effekt på søster-kromatidutbytting eller midlere generasjonstid på benmarg hos mus in vivo.	Carsten & Benz 1986
60 Hz, opptil 2 mT og/eller opptil 38 V/m	Ingen økning av transformasjonsfrekvensen, ingen synlig induksjon av kromosomskader på CHO-celler eller NIH-3T3-celler.	Reese et al. 1986
20 kHz sagtann et 45 µs/5µs, 16 µT eller 50 Hz sinus inntil 30 µT i 3 d.	Økt forekomst av kromosombrudd i fibroblaster fra fostertransplanter.	Nordenson & Mild 1987

Immunologiske mekanismer

Eksposering	Observasjon	Referanse
Statisk 200-600 mT i 10-90 min. i inntil 4 d.	Ingen forandring i immun- reaksjon ved trypanosomi- asis (sovesyke) hos mus målt som overlevelsestid.	Bellossi 1983
Statisk 120 mT 1 h/d i 3 mnd	Nedsatt dannelse av antistoff mot Trichomonas vaginalis hos rotter.	Mincheva et al. 1985
450 MHz modulert med 0 - 100 Hz sinus	Cytotoksiske T-lymfoc- cyter blir hemmet. Sterkest v/60 Hz. Ikke hemmet av umodulert bærebølge.	Lyle et al. 1983
60 Hz sinus E 0,01-1 V/m	Cytotoksisitet av lymfocytter mot kreft- celler redusert etter 48 h preeksposering. Doseavhengig respons	Lyle et al. 1986
100 MHz modulert med 20 Hz sinus 250-410 V/m	Ingen forandring i fagocytose-aktivitet hos neutrofile granulocytter.	Cleary et al. 1985
60 Hz, inntil 300 mA/m ² og/ eller inntil 100 µT	Høye feltstyrker på- virker syntesen av DNA, RNA, protein, og antigen-aktivitet i leukocytter.	Winters et al. 1984

60 Hz 100 μ T i minst 24 h	Økt cellulær mot- standsdyktighet mot virus-replikasjon og injeksjon fra visse vira via produksjon av hemmende stoff.	Winters et al. 1986
60 Hz E-felt med 5 μ T	Redusert delingshastighet av lymfocytter fra milt in vitro.	Morris & McClanahan 1986
Rent 60 Hz E-felt inntil 10 V/m.	Ingen effekt	- " -
Rent 60 Hz B-felt 2 mT	Ingen effekt.	- " -
60 Hz, 100 μ T og/eller 300 mA/m ²	Virkningen av dreper-T- lymfocytter nedsatt over- for Colo 205- celler inkubert med transferrin.	J.L. Phillips 1986
Pulstog 5 mT	Lymfocytter (og monocytter?) viser økt cytotoxicitet etter preincubering i magnetfelt.	Reale et al. 1986
Firkantpulset 10 Hz, 0,5 mT med og uten skjerm mot E-felt	Økt immunreaksjon hos mus eksponert in vivo.	Stierschneider & Fischer 1986

Kombinert kjemisk og elektromagnetisk stimulering

Sagtannpulset magnetfelt. 4,5 mT, 5 ms, 3 Hz	Svakt økt mitogen effekt av feltet alene. Hemming av effekten av kjemisk mitogen.	Mooney et al. 1986 a
3 Hz pulser, 5 ms, 4,5 mT	Feltet hemmer deling av T-lymfocytter stimulert med ConA. Store individuelle variasjoner.	Mooney et al. 1986 b
Firkantpulser 1, 3, 50 og 200 Hz inntil 72 h	Feltene hemmer den stimulerende effekten på lymfocytter av PHA, ConA og PWM. Transient effekt. 3Hz mest effektiv.	P. Conti et al. 1983
Firkantpulser 2,3 - 6,5 mT 1, 3, 50 og 200 Hz	DNA-syntese og Ca ⁺⁺ -influks hemmet i transformerte lymfo- cyter. Feltet virker synergistisk med Ca ⁺⁺ -blokker.	P. Conti et al. 1985 a og b
Tog av firkant- pulser, 3 Hz stigetid 30 ms, B _{max} = 5 mT	Magnetfeltet forsterker DNA-syntesen i lymfo- cyter stimulert med Con-A, PHA eller Ca- ionofor i lave konsen- trasjoner, men minsker responsen til kjemisk stimulering i høye konsentrasjoner.	P. Conti et al. 1986

Sinus 3 og 9 Hz 5 mT	Begge frekvenser nedsetter PHA- eller ConA-stimulert DNA-syntese i lymfocytter. Ingen effekt av feltet alene.	Alesse et al. 1986
Pulset 4 kHz 5 ms ad gangen hvert 65 s + PHA	Demper den mitotiske effekten av PHA på leukocytter i submaksimale doser.	Grattarola et al. 1985
75 Hz, 1,3 ms pulset magnetfelt, induksjon: 3,5 mV	Økt effekt av mitogen og økt Ca^{+} influks i leukemi-lymfocytter, via B-celle-vekstfaktor fra T-celler.	Emilia et al. 1985
Pulset magnetfelt 75 Hz, 1,3 ms $dB/dt \max = 0,5 \text{ T/s}$	Øker antallet lymfocytter som stimuleres av PHA.	Cadossi et al. 1985 a
75 Hz pulser, 1,3 ms, 2 mT	Ingen effekt av feltet alene. Feltet øker eller minsker virkningen av PHA-stimulering av lymfocytter avhengig av feltstyrke.	Cadossi et al. 1985 b
Pulset 75 Hz, 1,3 ms $B_{\max} = 2.0 \text{ mT}$	Pulset magnetfelt øker lectin-stimulert proliferasjon av lymfocytter.	Cadossi et al. 1986

Sagtannpulset 50 Hz
stigetid 2 ms,
 $B_{\max} = 2,5 \text{ mT}$

Magnetfeltet øker
PHA-stimulert proli-
ferasjon av
lymfocytter.

Cantini
et al.
1986

Pulset 50 Hz,
3,3 ms
 $B_{\max} = 2,8 \text{ mT} ?$

Magnetfeltet øker
PHA-stimulert
blastogenese i
lymfocytter ved høye
konsentrasjoner, hemmer
responsen ved lave
konsentrasjoner.

Franceschi
et al.
1986