



Ellen Røhne måler elektrisk felt fra en 300 kV kraftledning som en del av hennes hovedfagsoppgave

Biologisk effekt av lavfrekvente elektromagnetiske felt

Arnt Inge Vistnes

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Denne artikkelen finnes i nesten identisk utgave i tidsskriftet "Fra Fysikkens Verden" nr 2 1999 (side 42-47)

Er det farlig å bo nær kraftledninger? Er det farlig å jobbe med en dataskjerm? Er det farlig å ha barn i barnehager med varmekabler i gulvet? Er det farlig å bruke mobiltelefon? Det er lett å stille spørsmålene, men selv etter 20 års forskning, har vi ikke noen virkelig gode, nøyaktige svar på disse spørsmålene. Riktignok viser enkeltundersøkelser svar som kan virke sikre nok, men når en betrakter mange undersøkelser samtidig, får en et mere broket bilde.

Midt i usikkerheten er det likevel noe som er klinkende klart. Meget kraftige 50 Hz (og enkelte typer pulsede) elektrisk eller magnetiske felt inducerer såpass store strømmer i kroppen at nerver og/eller muskler kan aktiveres direkte. Dette gir opphav til muskelrykninger eller synsfenomener som ikke har noe med lys å gjøre (såkalte magnetofosfener). Det er også klart at kraftige felt i radiofrekvensområdet gir betydelig oppvarming av vev. Dette er effekter som kan reproduseres i ethvert laboratorium, - er det noen som vil ha slike effekter demonstrert, er det bare å besøke vårt laboratorium! Dette er effekter som forlengst er tatt i bruk i medisinen, i forbindelse med nevrologiske undersøkelser og i hypertermibehandling av kreft. Slike effekter, de som kommer til syne mer eller mindre øyeblikkelig, kalles *akutte effekter*. På noen få arbeidsplasser i vårt samfunn utsettes arbeidere for slike effekter.

Men hva med de svakere feltene vi finner nær kraftledninger, varmekabler, dataskjermer og mobiltelefoner? Her er usikkerheten stor. De effektene det da snakkes om er økt kreftfare, endret veksthastighet, fosterskader, økt frekvens av spontanabort, depresjon, søvnforstyrrelser, hormonforstyrrelser m.m. I det biokjemiske domenet snakkes det om endringer i melatoninutskillelse om natta (et hormon), om calcium-oscillasjoner over cellemembranen, om endring i enzymaktivitet, om påvirkning av celledeling, om forstyrrelse av kontrollmekanismene i cellecyclus, om ferritinkorn (små magnetiske partikler) og mye mere.

Og når usikkerheten er stor, kaster folk seg gjerne ut i voldsomme diskusjoner med skråsikre meninger om både det ene og det andre. Fysikerne er intet unntak. Det er til tider flaut å se hvordan «kunnskap» i fysikk (mis)brukes, - som oftest for å «bevise» at det ikke *kan* være noen effekt fra f.eks. felter nær kraftledninger. Siden de fleste som leser denne artikkelen vel er fysikere, har jeg valgt å la leserne selv finne ut hvorfor noen av de vanlige oppfatningene som hevdes er kraftig misvisende eller direkte feil. Er du i tvil om «løsningen», kan du sjekke dem opp på internett: <http://www.fys.uio.no/~arntvi/ffvlosng>. Og her følger de misvisende/feilaktige utsagnene:

- “Det er mye verre å oppholde seg i jordens magnetfelt på ca 50 μT enn å bo nær en kraftledning og eksponeres for felter på ca 2 μT .”
- “Du får større induert spenning i kroppen av å reise med fly i jordens magnetfelt enn den spenningen du får induert ved å være nær en kraftledning.”
- “De elektromagnetiske bølgene fra kraftledninger har en så mikroskopisk liten energi ($E=h\nu$) i forhold til vanlig bindingsenergi i molekyler, at ioniseringer umulig kan forekomme.”
- “De elektriske feltene dempes så mye av kroppen (en faktor 10^{-7}) at feltet inne i kroppen blir helt ubetydelige og uten interesse. Til sammenlikning kan det nevnes at det elektriske feltet over en cellemembran er i størrelsesorden $5 \cdot 10^6$ V/m mens det beregnede elektriske feltet inne i kroppen når vi står under en kraftledning, er ca 10^{-3} V/m.”
- “Du kan skjerme vekk feltene fra en kraftledning ved å lage et Faraday-bur. For eksempel kan en legge hønsenetting på taket og jorde dette, så er en kvitt feltene.”

Som sagt, slå opp på angitt internettside dersom du er usikker på hvorfor disse utsagnene er misvisende/feilaktige.

«Hvilke?» og «Hvor?» om felter

La oss nå se på hvilke felter vi utsettes for under ulike sammenhenger. Med mindre det ikke er spesifisert noe annet, er det bare 50 Hz felter vi snakker om. Feltstyrkene er da gitt som effektivverdier.

Elektriske felt

50 Hz elektriske felt får vi nær nesten enhver gjenstand koblet til lysnettet. (En interessant detalj er at feltet nær f.eks. en bordlampe ofte er nesten uavhengig av om lampen er slått av eller på - så lenge kontakten er i.) De kraftigste feltene finner vi ofte nær høyspenningskilder, men også der spenningen er moderat, dersom avstanden mellom «kilden» og «jord» er liten. De kraftigste 50 Hz elektriske felt som folk flest utsettes for, finner vi under store overføringslinjer på kraftnettet (300 og 420 kV linjer). Her kan feltene en meter over bakken være typisk opptil 5 - 10 kV/m. 50 Hz elektriske felt i vanlige bolighus ligger gjerne på ca 1-10 V/m i snitt, men variasjonsområdet er gjerne 0.1 - 300 V/m. I hus med såkalt ESWA-varmefolie, kan det elektriske feltet bli vesentlig høyere enn i andre hus.

Det elektriske feltet nær bakken under kraftledninger er relativt nær opp til feltverdier som gir akutte effekter. Forslag til grenseverdier er ofte 10 kV/m, og det har vært vurdert om grensen faktisk burde senkes noe. Jeg har hørt e-verksfolk fortelle om en episode der en ku som beitet under en kraftledning fikk krampe i beina som følge av de induerte strømmene. Spenningen på kraftledningen måtte faktisk skrues av en periode for å få kua fjernet! Dette eksemplet kan være en nyttig påminning om at det indueres 50 Hz strømmer i kroppen så lenge vi står under en kraftledning, - strømmen varierer med hvor godt isolert en er fra bakken, men strøm blir det uansett.

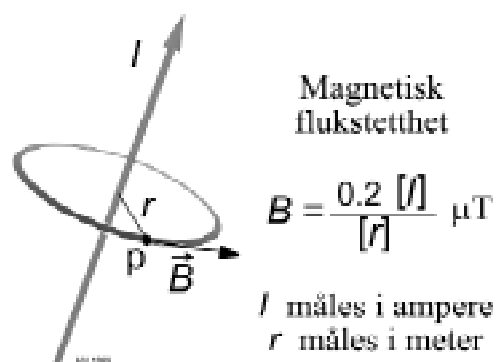
Elektriske felter kan lokalt bli betydelige når vi f.eks. legger en lampettledning inn mot kroppen og samtidig holder i en jordet gjenstand. Denne type situasjoner er det svært få som har engasjert seg i. I det hele tatt er arbeid med elektriske felt vanskelig fordi feltet så lett perturbteres av mer eller mindre ledende gjenstander i mer eller mindre god kontakt med jord. Selv om fysikken bak fenomenene i *prinsippet* er såre enkel, er den ofte ganske så vanskelig å anvende i praksis i reelle, sammensatte situasjoner!

Magnetiske felt

For lavfrekvente magnetfelt og statiske felt bruker vi tradisjonelt å oppgi B -feltet (magnetisk induksjon eller magnetisk flukstetthet), målt i tesla, mens en heller bruker H -feltet (magnetisk feltstyrke), målt i A/m ved høyere frekvenser (radiofrekvensområdet og oppover).

Det er gjort langt flere og bedre målinger av 50 Hz magnetfelt enn av elektriske felt, og slike målinger er forholdsvis enkle å gjennomføre siden mennesker og måleinstrumenter nesten ikke forstyrrer feltene. Til og med ikke-magnetiserbare metallgjenstander forstyrrer statiske og lavfrekvente magnetfelter bare i moderat grad.

Magnetfeltene er avhengig av strømstyrken. Vi kjenner den enkle sammenhengen mellom strøm og magnetfelt fra en «uendelig lang rett leder» med strøm I , se figur 1. I praksis finner vi aldri en enslig leder som vist i figuren. Strømmen går jo i sluttete kretser slik at vi også må ha en returleder.



Figur 1: Magnetfelt fra en «uendelig lang rett leder» med strøm I er lett å beregne.

Og returlederen setter opp et magnetfelt som tenderer til å slukke ut magnetfeltet fra den første (se figur 2). Hadde de to lederne vært koaksiale, ville magnetfeltet fra de to fullstendig slukket hverandre ut (utenfor ledere), men ligger lederne parallelt og ved siden av hverandre, vil kanselleringen av feltet ikke i noe punkt bli fullstendig. Likevel, jo tettere de to lederne ligger inntil hverandre, desto lavere blir magnetfeltet i omgivelsene (utenfor lederne).

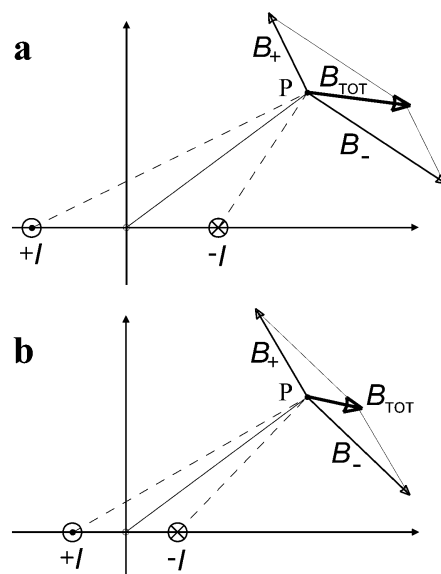
Vi kan lett vise at feltet et stykke borte fra lederne er tilnærmet proporsjonalt med avstanden mellom lederne. Denne egenskapen representerer det desidert beste midlet vi rår over for å redusere magnetfelder fra forskjellige kilder. Det er denne effekten som gjør at magnetfelt fra toleder varmekabler er svært mye mindre enn for enleder kabler. Ved enleder kabler legges «fram-» og «tilbake-ledning» med ca 12-15 cm avstand, mens avstanden i toleder kabler bare er 2-3 mm (ligger innenfor samme kappe). Det er ikke uten grunn at magnetfeltene på gulvnivå kan komme opp i ca 30 μT i barnehager med enleder varmekabler, mens feltene er maksimum ca. 0.2 μT ved toleder kabler. Feltene avtar så med avstand fra gulvet.

Like under en stor kraftledning kan magnetfeltene en meter over bakken gjerne komme opp i ca 10 μT i de periodene da det overføres mye energi (f.eks. vinterstid). I hus nær kraftledninger kommer vi sjelden høyere enn ca 4 μT , mer vanlig er feltet ca 1 μT og lavere.

Tett ved motorer eller små transformatorer kommer en gjerne opp i magnetfelder på ca 100 μT . Nær komfyrer og andre elektriske apparater finner vi gjerne felter på opp i 1-10 μT i vanlig bruk-savstand. Gjennomsnittsnivået i norske bolighus er ca 0.01-0.02 μT . Dataskjermer setter opp 50 Hz magnetfelder i vanlig arbeidsavstand (til kroppen og hodet) på ca 0.1-0.5 μT , og noe høyere på hendenes plass (men feltene fra dataskjermer inneholder mange frekvenskomponenter!).

Arbeidere i smelteverk utsettes gjerne for ca 50-100 μT 50 Hz magnetfelt i kontrollrommet nær ovnene, men under inspeksjon av ovner kan en komme opp i ca 1000 μT , av og til enda høyere. Folk i elektrolyseverk har en moderat eksponering for 50 Hz magnetfelt, men her er det først og fremst det statiske magnetfeltet som dominerer (opp i ca 10.000 μT). I den sammenheng kan vi også nevne at helsepersonell som jobber med magnetisk resonans tomografi (MR), kan utsettes for felter helt opp i tesla-området, men også dette er statiske felt. Sveisere er også en arbeidstaker-gruppe som utsettes for store (lokale) magnetfelt, iblant «statiske», iblant 50 Hz, avhengig av om en bruker likestrøm eller vekselstrøm ved sveisingen.

For å få såkalte akutte effekter, må vi opp i størrelsesorden 1.000-10.000 μT ved 50 Hz. Så sterke felter finnes bare noen få steder i industrien, f.eks. ved transformortesting og inne mellom led-



Figur 2: Magnetfelt fra to «uendelig lange rette ledere» med motsatt like stor strøm I . Lederne står vinkelrett på figurplanet. Bidragene fra de to lederne virker delvis mot hverandre *utenfor* lederne, og totalfeltet blir da tilnærmet proporsjonalt med avstanden mellom lederne. Avstanden mellom lederne er dobbelt så stor i a (øverst) som i b (nederst).

ningene som fører fram til elektrodene på smelteverk. Arbeidere på slike steder har rapportert om spesielle synsforstyrrelser, muskelrykninger og om hodeverk.

Kreftfare?

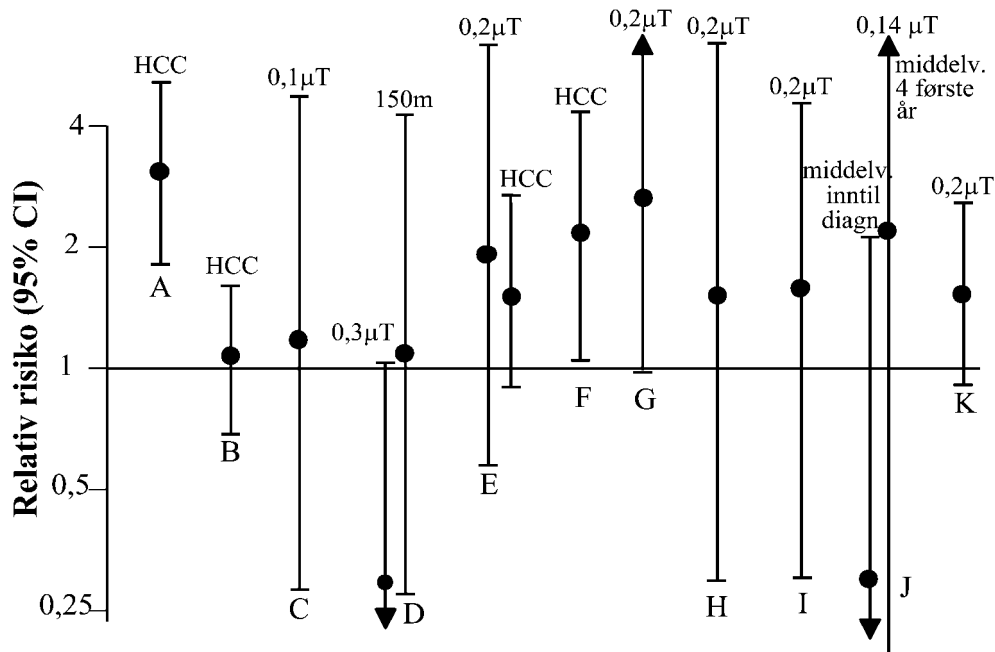
Det er relativt lett å gjøre forskning på kreft, både fordi det eksisterer en del gode registre for kreft, og fordi det er lettere å få forskningsmidler innen dette fagfeltet enn på mange andre. Og det er gjennomført mange (!) undersøkelser om mulig sammenheng mellom eksponering for lav-frekvente elektromagnetiske felt og kreft. De siste tiårs store interessebølge startet med Leeper og Wertheimer som i 1979 fant en økt risiko for leukemi blant barn som vokste opp i hus nær kraftfordelingsnettet i Denver i USA. Etter den tid er mange undersøkelser gjennomført, og figur 3 viser i kortversjon de viktigste resultatene for leukemi blant barn.

Hva som menes med «å vokse opp nær en kraftledning» varierer fra undersøkelse til undersøkelse, - iblant tar en utgangspunktet i midlere magnetfelt, iblant bare avstand i meter. For store kraftledninger kan «nær» bety avstander på opp til 75 m fra senterleder (byggeforbudssonen i Norge er ca 19 m fra senterleder). For mindre kraftledninger må en kanskje bo mindre enn 10 m fra senterleder for at eksponeringen skal være spesiell.

Det er svært mye å si om disse resultatene gitt i figur 3, og vi kan ikke gå i detaljer i denne artikkelen. Men hovedfunnet, slik det ble vurdert i en norsk «ekspertgruppe» i 1994/95, og også av de fleste andre ekspertgruppene rundt om i verden, er at det er påfallende at den såkalte «relative risiko» har en tendens til å ligge over 1.0 (dvs økt risiko), selv om bare et fåtall av undersøkelsene har vist en statistisk *signifikant* økt forekomst av leukemi blant barn eksponert for 50 Hz magnetfelt.

Konklusjonen som er trukket om og om igjen er at «det kan synes som det faktisk eksisterer en økt forekomst av leukemi blant barn som har vokst opp nær kraftledninger», men usikkerheten er stor. Siden vi ikke skjønner hvordan denne effekten kan oppstå, blir ofte funnet ytterligere bagatellisert. Videre, siden det er svært få som bor nær kraftledninger (i Norge bare mellom 1 og 5 % av befolkningen), og siden leukemi blant barn er en sjelden sykdom, er det ytterst få barn som eventuelt får sykdommen som følge av slik påvirkning. Det er jo nettopp dette som gjør at det er så vanskelig å få god statistikk i undersøkelsene (se f.eks. det enormt store konfidensintervallet i den norske undersøkelsen («J» i figur 3)). På den annen side, blant de barna som vokser opp nær kraftledninger, representerer den økte risikoen for å få leukemi (dersom den er reell og har en relativ risiko på ca 1.5-2.0), omtrent samme risiko som for mange andre skader/dødsfall blant barn, f.eks. dødsfall eller alvorlig skade i trafikken. Av den grunn kan en likevel ikke moralsk sett se helt bort fra denne mulige risikoøkningen. Samtidig er det klart at det heller ikke er snakk om så dramatiske forhold at det legitimerer at samfunnet bruker enorme summer for å legge om store deler av kraftledningsnettet.

LEUKEMI HOS BARN



Figur 3: Resultater fra epidemiologiske undersøkelser av leukemi hos barn som har vokst opp nær kraftledninger. Relativ risiko er gitt sammen med 95 % konfidensintervallet. Navn på forfatterne av originalartiklene er gitt nedenfor sammen med årstall for publisering. En kort kode er gitt for å antyde klassifisering som «eksponert» som ble brukt. HCC står for «high current configuration», et kvalitativt mål som bare delvis korrelerer med høyt magnetfelt. For Tynes's norske undersøkelse (J) er det gitt to ulike klassifiseringer, men hovedfunnet er det første. Det er interessant å se at Linet's resultater som sommeren 1997 ble fremstilt i massemedia som et endelig bevis på at det ikke var noen effekt av kraftledninger på leukemi hos barn, ikke har endret totalbildet noe vesentlig når alt kommer til alt. [Koder for undersøkelser: A: Wertheimer og Leeper, 1979; B: Fulton et al., 1980; C: Myers et al., 1985; D: Tomenius, 1986; E: Savitz, 1988; F: London et al., 1991; G: Feychting og Ahlbom, 1993; H: Olsen et al., 1993; I: Verkasalo et al., 1993; J: Tynes og Haldorsen, 1996; Linet et al., 1997.] Resultatene fra den kanadiske undersøkelsen som ble offentliggjort juni 1999 vil bli lagt inn i denne figuren så snart vi har fått de nødvendige detaljer.

Den tilsynelatende økte kreftforekomsten blant barn er forsøkt forklart på mange alternative måter enn via elektriske eller magnetiske felt, - spesielt fra kraftprodusenter i USA. Det er hevdet at skjeve sosiale forhold, forurensing fra trafikk, forskjeller i røykemønster osv kan forklare funnene, men foreløpig har ikke disse alternative forklaringene vært så godt begrunnet at de er blitt tatt helt alvorlig.

En detalj bør nevnes i forbindelse med alle kreftundersøkelsene. Praktisk talt alle studier bruker den såkalte «Time Weighted Average» (TWA) som mål for eksponering, enten direkte eller indirekte (f.eks. i form av såkalt «Line Configuration»). Men så lenge vi ikke kjenner til virkningsmekanismen, er dette eksponeringsmålet kun en «første gjetning», og det kan jo komme til å vise seg i fremtiden at målet er uheldig valgt. Det er altså en reell mulighet for at vi ville finne en klarere økt risiko for kreft dersom vi brukte et bedre eksponeringsmål. Dette er rene spekulasjoner, men det er likevel en viktig usikkerhetsfaktor som ikke bør glemmes.

Det bør også nevnes at alle undersøkelsene av kreft blant voksne i såkalte «elektriske yrker» viser en enda større variasjon enn for barn som bor nær kraftledninger. Blant voksne er det heller ikke en tydelig tendens til at relativ risiko ligger over 1.0 når vi betrakter funn fra mange undersøkelser. Generelt sett konkluderes det derfor oftest med at eksponering for lavfrekvente elektromagnetiske felt ikke synes å gi økt kreftforekomst blant voksne. På den annen side må en være klar over at dette er en høyst sammensatt gruppe når det gjelder eksponering, og det er på ingen måter gitt at det ikke senere kan vise seg å være spesielle grupper arbeidere, med spesielle eksponeringsforhold, som kan ha en høyere kreftrisiko enn andre. Selv har jeg vært med på et par undersøkelser blant arbeidere i såkalte «høyspenningslaboratorier» som utsettes for en høyst spesiell eksponering. Vi mener å ha påvist en økt mengde kromosomskader blant denne arbeidsgruppen, men det er så få personer her i landet som jobber i slike laboratorier at det er vanskelig å få en god statistikk. (Disse undersøkelsene er forøvrig initiert og ledet fra bedriftsleger og Statens Arbeidsmiljøinstitutt.)

Virkningsmekanismer

Hvordan kan det tenkes at lavfrekvente elektriske eller magnetiske felt kan virke inn på menneskekroppen?

Det er vel etablert at kraftige 50 Hz ytre elektriske felt ($> 10 \text{ kV/m}$) og sterke 50 Hz magnetiske felt ($> 1.000\text{-}10.000 \text{ } \mu\text{T}$) inducerer såpass sterke strømmer i kroppen at nerver aktiveres. Dette skyldes at vi får tilstrekkelig store spenningsforskjeller langs nerver til at vi får utløst aksjonspotensialer.

De induserte strømmene vil også i prinsippet sette opp elektriske felt langs cellemembranene som kan føre til «*in situ* elektroforese», det vi si sidelengs forflytning av enkelte membrankomponenter. Effekten er vist i modellsystem, men hvorvidt den vil kunne forekomme under reelle eksponeringsforhold, er et åpent spørsmål.

Magnetfelt kan påvirke magnetiske partikler i kroppen. Det er påvist at det finnes små magnetittkorn i duer, bier, mennesker og en del andre arter. «Korn» av denne typen benyttes av såkalte magnetotaksiske bakterier for å orientere seg i jordens magnetfelt (det finnes ulike bakterier på den nordlige og den sydlige halvkule!). Det er også spekulert i hvorvidt disse partiklene benyttes i en eventuell magnetfeltsans hos duer, og om partikler kan være knyttet til viktige proteiner («porter» i membraner) hos mennesker. I så fall vil tidsvariable magnetfelt kunne påvirke funksjonene til disse proteinene.

Magnetfelt er vist å kunne påvirke kjemiske reaksjoner gjennom den såkalte radikal-par mekanismen. Like etter at et molekyl er spaltet i en kjemisk reaksjon, er produktene ofte radikaler (har et elektron med uparret spinn). Produktene er da oftest svært reaktive, men det er en høy sannsynlighet for at produktene faktisk bare reagerer tilbake med hverandre slik at reaksjonen i realiteten ikke fører med seg noe som helst. Det er vist at magnetfelteksponering påvirker sannsynligheten for at reaktantene skal reagere med hverandre igjen. Magnetfelt vil derfor kunne påvirke reaksjonshastigheten i kjemiske reaksjoner. Dette er vist i modellsystemer, men ikke hos menneske eller

dyr. Siden reaksjonene vanligvis er meget raske i forhold til 50 Hz feltets periodetid på 20 ms, spiller det liten rolle for *denne* effekten hvorvidt vi har statiske felt eller lavfrekvente felt, - men det kreves relativt sterke felt for at effekten lett skal kunne påvises i modellsystemene (ca 10.000 μ T og oppover).

Spørsmålet om signal-støy-forhold er et meget sentralt punkt når ulike virkningsmekanismer diskuteres. Dette er blitt fysikernes tveeggede sverd. Prinsippet er ufravikelig, men når alt for forenklede modeller benyttes i utregningene, blir argumentasjonen pinlig svak. En menneskekropp er som bekjent ganske så forskjellig fra en sekk med saltvann, også elektrisk og magnetisk sett! Og det dukker opp overraskelser:

En eksotisk effekt basert på diamagnetisk anisotropi, ble nylig publisert. Befruktede froskeegg ble utsatt for meget sterkt homogent statisk magnetfelt (i størrelsesorden 10 T). Det viste seg da at de første celledelingene ble sterkt påvirket av feltet. Av de tre første celledelingene etter befruktning, skjer de to første vertikalt mens den tredje normalt skjer horisontalt. Under det sterke magnetfeltet skjedde imidlertid også den tredje delingen vertikalt! Effekten kommer av at biomolekyler som er viktige for celledelingen ble orientert i magnetfeltet på grunn av den *diamagnetiske anisotropien*! I utgangspunktet skulle en forvente at en så spesiell effekt var så liten at den neppe ville å ha noen betydning i virkeligheten, men eksperimentene viser faktisk noe annet!

Det kan i den sammenheng nevnes for kuriositetens skyld, at det også er foretatt magnetisk levitasjon (løfting) av en biologisk organisme. En slik levitasjon skyldes ikke induerte strømmer i en supraleder (slik som levitasjon vanligvis gjør), men levitasjonen har sin årsak i kraften vi får når et (svakt) diamagnetisk materiale utsettes for et meget kraftig inhomogent magnetfelt.

Når det snakkes om virkningsmekanismer innen lavfrekvente elektromagnetiske felt, trekker en ofte inn mye mer sammensatte fenomener enn det fysikere vanligvis betrakter. For eksempel sier en at én "mekanisme" er redusert melatonin-produksjon (melatonin er et hormon). Hvilken fysisk prosess som ligger bak denne effekten, dersom den er reell, er helt uvisst, men det kunne i prinsippet tenkes å være en eller flere av de som allerede er diskutert. Melatonin-hypotesen er forøvrig blitt meget populær siden den har potensialet i seg til å forklare flere tilsynelatende urelaterte fenomen, så som påvirkning av døgnrytme, endring av kreftforekomst (spesielt brystkreft), hvorfor eksponering om natta synes viktigere enn eksponering om dagen, og mulig økt forekomst av depresjon. Mange laboratorier studerer idag virkningen av elektriske og magnetiske felt på melatonin-utskillelsen fra pineal-legemet (en liten kjertel i den sentrale delen av hjernen), men forskningen blir blant annet vanskeliggjort av at hormonet melatonin utskilles i så små mengder at det vanskelig kan påvises med stor nøyaktighet ved hjelp av eksisterende laboratorieteknikker.

Biologi versus fysikk

For en fysiker er det en ekstra utfordring å bli konfrontert med biologiske system fordi de er så komplekse. Vi er vant med å kunne trille kuler ned et skråplan og finne en pen gauss-fordeling for tiden som kulen bruker på strekningen. Enkle lover, enkle relasjoner, - klare fordelinger av årsaksforhold.

I biologien er det totalt forskjellig. Ta et eksempel: Når en fysiker tenker på en due, sier vi ofte: «Bruker dua jordens magnetfelt, eller bruker den det *ikke* når den navigerer fra et sted til et annet?» Men virkeligheten synes å vise at dua bruker *en hel rekke* forskjellige metoder når den navigerer; sol, stjerner, lukt, magnetfelt, gjenkjenning av terreng m.m. Den velger metoden som passer best i øyeblikket. Med andre ord, biologien er full av «redundans», duger ikke det ene, så velges det neste. Vi kjenner jo dette fra vårt eget liv som menneske, - *vi* har også oftest flere ulike måter vi kan løse oppgaver på, måter å reagere på etter ytre stimuli.

Noe liknende synes å skje helt ned på cellenivå. Utsettes cellen for en eller annen fysisk påvirkning, kompenserer den ofte relativt raskt på en slik måte at cellen lever omtrent uforstyrret videre. Kan dette være grunnen til at så mange forsøk med magnetfelt på mennesker, dyr og celler faktisk ikke viser noen klar effekt?

Iblant virker det som om at første gang noen gjennomfører et forsøk, under lite gunstige betingelser, finner de en effekt av magnetfeltet, men så snart forsøket gjennomføres på ny, med optimale betingelser, så er effekten mer eller mindre borte.

Vi planlegger nå, i tråd med disse tankene, eksperimenter ved biofysikkgruppen ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, der vi ønsker å stresse cellene på en eller annen måte slik at de er langt fra optimale vekstbetingelser. Cellene vil da ikke så lett kunne kompensere for ytre påvirkninger. Vi ønsker under slike betingelser å eksponere cellene for magnetfelt og se om vi *da* kan påvise sikre effekter. Celledyrkingslaboratoriet som prof. Erik O. Pettersen har bygget opp de siste årene, er en viktig del av forsøkene. Det blir spennende!

I denne artikkelen har jeg gitt noen få smakebiter på et forskningsfelt i skjæringspunktet mellom fysikk, biologi og medisin. I fremstillingen har jeg måttet utelate en mengde detaljer. Nedenfor er det gitt noen referanser for de som ønsker å gå nærmere inn i materien. Husk bare at følelsene er sterke i fagfelt med stor usikkerhet, og da blir stoffet svært sjeldent fremstilt nøytralt. Du vil f.eks. kunne finne at Becker «*tror*» på effekt av relativt svake felter, mens f.eks. Moulder «*tror*» at det ikke finnes noen slike effekter. Og kanskje noen og enhver vil måtte innrømme at det iblant kan være vanskelig nok å være objektiv og la følelsene ligge i et fagfelt som dette! Den store interessen for fagfeltet i samfunnet er en blandet velsignelse. Men spennende er det, ingen tvil om det!

Forslag til videre lesing:

NOU 1995:20: Elektromagnetiske felt og helse. Forslag til en forvaltningsstrategi (se spesielt vedlegg 4). Denne er også tilgjengelig på internett: <http://odin.dep.no/nou/1995-20/index.htm>.

SoS rapport 1995:1 (Socialstyrelsen): Elektriska och magnetiska fält och hälsoeffekter. 231 sider. ISBN 91-7201-004-5. (Mer omfattende enn den norske NOU-rapporten.)

R.O. Becker og G. Selden: *The Body Electric, Electromagnetism and the foundation of life*. Quill, William Morrow, New York, 1985.

P.A. Valberg, R. Kavet og C.N. Rafferty: Review: Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? Radiation Research 148 (1997) 2-21.

J. Moulder: Power Lines and Cancer FAQs: Internett: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/powerlines-cancer-FAQ/QandA.html>.