

# INDUKTIV LADDNING OCH HÄLSO- EFFEKTER

RAPPORT - OMVÄRLDSANALYS  
KRING ELEKTROMAGNETISKA  
FÄLT VID INDUKTIV LADDNING AV  
ELFORDON

ELLEN ALEXANDERSSON

2013-11-05

## Sammanfattning

Elfordon representerar en av de mest lovande vägarna för att nå en fossiloberoende transportsektor och minska koldioxidutsläpp och luftföroreningar. Induktiv laddning av elfordon öppnar för möjligheten att ladda helt automatiskt vilket många tror kan höja elfordonens attraktionskraft och därmed öka försäljningstakten av elfordon. Dock har diskussioner redan satt igång huruvida läckfält vid energiöverföringen kan påverka människor.

Elektromagnetiska fält finns naturligt i vår omgivning, men beroende på typ av fält, frekvens och fältstyrka interagerar de med kroppen på olika sätt. Fält för induktionsladdning ligger i ett intermediärt frekvensområde, det vill säga frekvensmässigt mellan kraftfrekventa och radiofrekventa fält. För kraft- och radiofrekventa fält har en hel del forskning genomförts kring fältens kopplingar till biologiska interaktioner och eventuell negativ hälsopåverkan. Utifrån resultaten har rekommendationer för högsta exponeringsnivåer för fälten tagits fram, även om många av resultaten fortfarande är tvetydiga. För de intermediära fälten saknas i stort sätt forskning och därför har rekommendationer för dessa fält i stora delar extrapolerats fram från resultat för kraft- och radiofrekvenser.

Frågorna kring huruvida fält från induktiv laddning kan orsaka hälsoeffekter är därmed fortfarande oklara och därför bör försiktighetsprincipen tillämpas. Vi behöver också koppla samman forskning kring teknikutveckling med forskning som utreder eventuella hälsoeffekter för att höja kunskapsnivån. Därmed kan vi förekomma risken att en debatt blossar upp i samhället där vi står utan svar, vilket skulle kunna påverka elfordonens introduktion i Sverige negativt.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	2
Bakgrund .....	4
Strålning och fält .....	5
Strålning .....	5
Elektriska och magnetiska fält.....	5
Statiska och tidsvarierande fält .....	6
Den elektriska kroppen och elektromagnetiska fält .....	6
Biologiska effekter jämfört med hälsoeffekter.....	7
Myndigheter och organisationer.....	7
Strålsäkerhetsmyndigheten.....	7
Världshälsoorganisationen (WHO).....	8
ICNIRP .....	8
IARC.....	8
IARCs klassificeringsgrupper .....	8
Grundläggande begränsningar och referensvärden .....	9
Grundläggande begränsningar .....	9
Referensvärden .....	10
Grundläggande begränsningar för energiabsorption .....	10
Hälsoeffekter och biologisk forskning.....	10
Krafterekventa fält och barnleukemi.....	11
Epidemiologiska studier .....	11
Cell- och djurstudier.....	11
Radiofrekventa fält och mobiltelefoner .....	11
Intermediära fält och induktionsladdning .....	12
Prioriterad framtida forskning.....	12
Forskningsprojekt .....	13
Diskussion .....	14
Litteraturförteckning .....	16

## Bakgrund

Elfordon representerar en av de mest lovande utvecklingsvägarna för att säkra framtida energibehov och att sänka både CO<sub>2</sub>-utsläpp och luftföroreningar. De kommer vara nödvändiga för att nå en fossiloberoende transportsektor och ett koldioxidneutralt samhälle. Även med de riktlinjer som finns idag, med bland annat 20 miljoner elfordon år 2020, kommer det att krävas en än större förändring för att nå ett 2-graders-scenari (2DS) för den globala temperaturökningen. För att nå 2DS behöver vi nå upp till en fordonsförsäljning som består av sammanlagt 75 % pluginhybrider och rena elfordon år 2050 [1].

Idag laddas nästan alla elfordon med en sladd, vilken många gånger är klumpig att hantera och blir smutsig, våt och isig vid regn och vinterklimat. Det har också talats om att plugin-hybrider inte laddas i den mån som de har potential till då användarna inte kopplar in sladden, i stället körs de på fossilbränslen. Genom att öka bekvämligheten vid laddning hoppas man öka antalet laddningstillfällen och göra elbilen mer attraktiv, vilket förhoppningsvis även hjälper till att snabba upp försäljningstakten av elfordon.

Lösningen för att skapa denna bekvämlighet tros av många vara induktiv laddning, även kallad trådlös laddning. Induktiv laddning öppnar nämligen för möjligheten att skapa helt automatisk elfordonsladdning och har därför blivit ett hett samtalsämne inom fordonsindustrin. Det finns idag ett tjugotal utvecklare av induktionsladdningsutrustning, men endast ett företag har hittills släppt en produkt, Evatran ([Plugless Power](#)).

Induktiv teknik tros också av många vara fördelaktigt vid kontinuerlig energiöverföring under färd då den helt och hållet kan grävas ner i vägbanan. Kontinuerlig energiöverföring har lyfts fram att vara en rimlig lösning för att lösa koldioxidminskningen för tunga (fjärr-) transporter. För att maximalt kunna utnyttja investeringen i dyr infrastruktur ser man det som rimligt att förse fordonen med ström nerifrån vägbanan så att även persontransporter kan utnyttja tekniken, vilket också passar väl för den induktiva laddtekniken.

Tekniken som ligger bakom induktiv laddning är energiöverföring via starkt kopplad magnetisk resonans, vilken togs fram på MIT under andra halvan av 00-talet [2]. Det underliggande syftet med tekniken är att överföra energi mellan två enheter av något slag, i detta fall elenergi mellan en sändande enhet på/i mark eller väg till ett elfordon för laddning av batterier.

En förutsättning för att tekniken ska fungera är att de två enheterna är resonanta, vilket betyder att de tillsammans självsvänger. Självsvängningen sker med en specifik frekvens, resonansfrekvensen, vilken bland annat beror på enheternas utseende och materialegenskaper. De två enheterna ska ha mycket lika självsvängningsegenskaper för att energi ska kunna överföras. Enheterna måste även vara kopplade till varandra så att svängningar i den ena enheten, sändarenheten, kan överföras till den andra enheten, mottagarenheten. I ett idealt fall kommer all energi som tillförs den sändande enheten överföras till den mottagande enheten. All sändarens energi lagras i den resonanta svängningen och mottagaren plockar inte upp någon annan energi utom den som tillförs den

egna resonanta svängningen. I verkligheten är inte systemen ideala och detta ger upphov till förluster av energi som kommer att spridas eller tas upp av andra föremål/material/biologisk vävnad.

Förlusterna som fås kan bero på ett flertal faktorer såsom omatchade resonansfrekvenser hos sändande och mottagande enhet, resistiva förluster i ingående komponenter, utstrålad energi och felaktig positionering av enheterna i förhållande till varandra [3]. Närvaron av yttre objekt såsom människor, angränsningsytor och fordon kan också påverka energiöverföringen.

Vad händer då om man får förluster i form av utstrålad energi, så kallade läckfält, som träffar en människa? Absorberas energin av den biologiska vävnaden och genererar värme eller kan strålningen skapa andra biologiska effekter som kan påverka hälsan?

## Strålning och fält

Strålning förekommer naturligt i naturen och har därför alltid funnits på jorden. Alla utsätts för strålning i vardagen, både naturlig strålning exempelvis från rymden och strålning som människor själv skapat, exempelvis från apparater i våra hem. Den påverkan som strålning kan ha på kroppen beror på vilken typ av strålning det är, vilka frekvenser strålningen innehåller och fältstyrkan. Likväl är exponeringstiden en viktig faktor.

### Strålning

Strålning delas vanligtvis in i joniserande strålning och icke-joniserande strålning. Joniserande strålning sker vid höga frekvenser och har så pass hög energi att den kan slå loss elektroner från atomer den träffar, vilket efterlämnar positivt laddade atomer (joner). Till denna typ av strålning räknas bland annat radioaktiv strålning, kosmisk strålning och röntgenstrålning.

Icke-joniserande strålning sker vid lägre frekvenser, har inte lika hög energi och kan därför inte jonisera material. Optisk strålning, det vill säga synligt ljus, och elektromagnetiska fält från apparater, mobiltelefoner och kraftledningar ingår i denna grupp. Hit hör även de elektromagnetiska fälten som används vid induktiv energiöverföring, vilka därmed inte har tillräckligt mycket energi för att exempelvis bryta bindningar i molekyler och skapa jonisering i celler [4].

### Elektriska och magnetiska fält

Elektricitet genererar både elektriska och magnetiska fält. Beroende på vilken egenskap hos elektriciteten som skapar fältet kan fälten delas in i olika typer. Elektriska fält härrör från en spänningsskillnad, en elektrisk potentialskillnad, och mäts i enheten volt per meter (V/m). Fältets styrka minskar med avståndet från källan och kan relativt lätt skärmas av. Magnetfält resulterar från en elektrisk ström, det vill säga laddningar som rör sig. Fältet minskar snabbt med avståndet från källan, men är svårt att skärma och går obehindrat genom de flesta material [5]. Fältets flödestäthet mäts i enheten mikrot Tesla ( $\mu\text{T}$ ) och fältstyrkan i ampere per meter (A/m).

### Statiska och tidsvarierande fält

Vid statiska fält, det vill säga fält som inte förändras med tiden, är det elektriska och magnetiska fältet i princip oberoende av varandra och därför kan de behandlas var för sig. Tidsvarierande elektriska och magnetiska fält, det vill säga fält som varierar i tiden med en viss frekvens, är däremot beroende av varandra. Tidsvarierande magnetiska fält ger upphov till tidsvarierande elektriska fält och vice versa. Denna sammanlänkning gör att man behandlar sådana fält som så kallade elektromagnetiska fält.

I fallet med induktiv energiöverföring via starkt kopplad magnetisk resonans har vi tidsvarierande fält där man i dagsläget främst talar om ett frekvensområde på mellan 20 kHz och 140 kHz, vilket motsvarar en våglängd på över 2 kilometer. Nära källan där energimängden är som störst kommer vi därmed alltid befinna oss i det så kallade närfältet, vilket betyder inom en våglängd från strålkällan. Här är det elektriska och magnetiska fältet ännu inte så starkt sammankopplade, och därför kan man inte behandla dem som rena elektromagnetiska fält utan man behöver se till både elektriska, magnetiska och elektromagnetiska egenskaper [6].

### Den elektriska kroppen och elektromagnetiska fält

Elektriska strömmar förekommer naturligt i kroppen och är en viktig aktivitet för att kroppen ska fungera normalt. Vårt nervsystem använder sig av elektriska impulser för att skicka nervsignaler, men även många av de andra biokemiska reaktioner som sker i kroppen involverar elektriska processer.

Elektromagnetiska fälts påverkan på kroppen beror främst på fältets frekvens och styrka. Vid låga frekvenser passerar fältet genom kroppen medan vid högre frekvenser absorberas delar av fältet. Den absorberade energin tränger vanligtvis endast in i den yttersta vävnaden och skapar där rörelser hos molekylerna vilka övergår till värme, precis på samma sätt som när mat värms i en mikrovågsugn. Värmeeffekter börjar ske i kroppen vid fält över 100 kHz. Normalt sätt har fälten vi utsätts för i vardagen inte tillräckligt med energi för att temperaturhöjningen ska orsaka några allvarliga hälsoeffekter [4]. Temperaturkänsligheten för olika vävnader skiljer sig kraftigt, men för att orsaka irreversibla effekter till och med i de känsligaste vävnadstyperna krävs under normala förhållanden nivåer större än 4 watt per kilo vävnad [7].

Lågfrekventa elektriska fält bygger främst upp laddningar på ytan av kroppen, men skapar även ett flöde av elektriska strömmar i kroppen. Lågfrekventa magnetfält inducerar cirkulerande strömmar i kroppen. Hur starka dessa strömmar blir beror av magnetfältets styrka, men även av fältets kurvatur. När strömmarna blir tillräckligt starka kan de orsaka nervstimulering vilket i sin tur kan påverka nervsignaler, muskelaktivitet och hjärtmuskulatur. Nervstimulering sker då det elektriska fältet i vävnaden överstiger potentialen över cellmembranet. Detta startar en aktionspotential, det vill säga en snabb förändring av spänningen över cellmembranet på grund av ett flöde av natrium- och kaliumjoner vilket ger en nervimpuls som fortplantas genom cellen. Värdet på cellens membranpotential

beror på celltyp, storlek och form på cellen samt på signalens frekvens, längd och vågform [4].

Frekvensområdet för induktiv laddning ligger i ett mellanfrekvensområde, det vill säga mellan det lågfrekventa och högfrekventa området och därför är det svårare att veta vilka effekter som är relevanta för dessa så kallade intermediära frekvenser.

#### *Biologiska effekter jämfört med hälsoeffekter*

En biologisk effekt är en organisms eller cells respons till en förändring i miljön. Att reagera på yttre förändringar i miljön är helt naturligt. Under människans utveckling har vi lärt oss att reagera på yttre omständigheter och anpassat oss till många av dessa genom att skapa kompenserande mekanismer. Denna anpassning tar dock mycket lång tid, så för vissa miljöförändringar och stressfaktorer har vi inte hunnit utveckla någon skyddande mekanism och därför kan miljöförändringen eller stressfaktorn påverka hälsan negativt. Det är dock viktigt att påpeka att även om en ny typ av miljö- eller stressfaktor har en biologisk effekt betyder inte det att den behöver vara kopplad till en hälsoeffekt.

## **Myndigheter och organisationer**

Ett flertal organisationer och myndigheter arbetar med elektromagnetiska fält och hur människor ska skyddas från eventuella hälsorisker.

### **Strålsäkerhetsmyndigheten**

I Sverige är det strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) som är ansvarig för strålning och elektromagnetiska fält. SSM arbetar förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning. Bland annat genomför de mätningar, gör riskbedömningar, följer forskning och utfärdar rekommendationer och föreskrifter då en strålrisk har blivit identifierad.

För att skydda allmänheten för exponering av elektromagnetiska fält tog SSM fram "Allmänna råd" [8] vilka anger grundläggande begränsningar och referensvärden för elektromagnetiska fält som inte bör överskridas där allmänhet vistas. Råden bygger på rekommendationer från Europeiska unionens råd. Begränsningarna säkerställer att elektriska och magnetiska fenomen som kan uppträda i kroppen inte stör funktioner i nervsystemet eller ger upphov till skadlig värmeutveckling. Referensvärdena utgör storheter som är mätbara utanför människokroppen och är härledda ur de grundläggande begränsningarna.

SSM förespråkar att försiktighetsprincipen ska tillämpas, vilket betyder att all onödig exponering för strålning bör undvikas. Bland annat tillämpar de principen inom två specifika områden, allmänhetens exponering för magnetfält från kraftledningar och användning av mobiltelefon, då forskning inom områdena inte kan utesluta negativa hälsoeffekter.

I och med att induktionsladdning är ett så pass nytt område har SSM ännu inte utfärdat några specifika föreskrifter eller rekommendationer för tekniken.

### Världshälsoorganisationen (WHO)

"International EMF Project" är ett världsomspännande paraplyprojekt för att koordinera forskning på en global nivå kring potentiella hälsoeffekter från elektromagnetiska fält. WHO har satt upp en forskningsagenda [9] som många av de stora forskningsfinansiärerna använder sig av. I denna pekas bland annat området intermediära fält ut, vilket här klassas som frekvenser mellan 300 Hz och 100 kHz, som ett område där forskning saknas och till vilket fälten för induktionsladdning hör. De flesta studier som gjorts kring hälsoeffekter har fokuserat på kraftfrekventa fält. Det finns väldigt lite kunskap kring hälsorisker kring intermediära fält och de resultat som finns är inkonsekventa. För att skapa en tillräckligt stor databas kring hälsoeffekter med intermediära fält och därmed kunna genomföra en pålitlig riskbedömning behöver man komplettera med exponeringsstudier, epidemiologiska studier, laboratoriestudier på människor, djur- och cellstudier. Samtidigt pekar de på vikten att även genomföra samhällsvetenskapliga studier för att bättre förstå allmänhetens uppfattning kring risker och hur man ska kommunicera med allmänheten i frågor som rör fältexponering och hälsa [9].

### ICNIRP

"International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection" (ICNIRP) är ett offentligt finansierat organ som arbetar på internationell nivå med frågor kring eventuella negativa effekter på människors hälsa orsakat av exponering för icke-joniserande strålning. ICNIRP:s främsta syfte är att sprida information och råd om de potentiella hälsoriskerna, där all icke-joniserande strålning omfattas. Mycket av informationen sprids via vetenskapliga artiklar, rapporter och konferenser. Det samlade resultatet kombinerat med riskanalyser gjorda av världshälsoorganisationen (WHO) publiceras i skriften "ICNIRP Guidelines" [7], vilken bland annat innehåller referensvärden för exponeringsnivåer vid olika typer av fält.

### IARC

"International Agency for Research on Cancer" (IARC) är en underorganisation till WHO och som arbetar med att främja internationellt samarbete inom cancerforskning. Organisationen är tvärvetenskaplig och sammanför kunskap i epidemiologi, laborietvetenskap och biostatistik för att identifiera orsakerna till cancer. Ett viktigt arbete IARC utför är att klassificera olika ämnen, molekyler, kemikalier och miljöfaktorer, efter hur stor cancerrisk de medför. IARC klassificerar cancerrisker i fyra nivåer [6] [10].

#### *IARCs klassificeringsgrupper*

- Grupp 1: Ämnen, blandningar och faktorer som man **med säkerhet** vet är cancerframkallande (exempelvis bensen, asbest, UV-strålning, tobak).
- Grupp 2A: Ämnen, blandningar och faktorer som **troligtvis** är cancerframkallande (exempelvis akrylamid, blyblandningar, malaria).
- Grupp 2B: Ämnen, blandningar och faktorer som **möjligen** är cancerframkallande (exempelvis diesel, bensin, lågfrekventa magnetfält, radiofrekventa elektromagnetiska fält, svetsångor).
- Grupp 3: Ämnen, blandningar och faktorer där **bedömningsunderlag ej är tillräckligt** (exempelvis koffein, kolesterol, statiska magnetfält).



- Grupp 4: Ämnen, blandningar och faktorer som **troligtvis inte** är cancerframkallande.

Extremt lågfrekventa magnetfält, vilket är fält med frekvenser upp till 300 Hz och dit kraftledning hör, klassificeras som 2B, det vill säga möjligen cancerframkallande [10]. Samma klassning gäller radiofrekventa elektromagnetiska fält, såsom fält från mobiltelefoner. Cancerrisken för intermediära fält har ännu inte bedömts eller klassificerats av IARC, då forskning, framförallt epidemiologiska studier, saknas.

## Grundläggande begränsningar och referensvärden

Referensvärdena som Strålsäkerhetsmyndigheten har i sina allmänna råd och som även används internationellt bygger på ICNIRPs rekommendationer. ICNIRP publicerade år 1998 sina rekommendationer för begränsning av exponering för tidsvarierande elektriska, magnetiska och elektromagnetiska fält upp till 300 GHz [7]. Rekommendationerna bygger på bevisade akuta hälsoeffekter, det vill säga korttidseffekter som man direkt kan observera i kroppen såsom stimulering av nerver och muskler, chock- och brännskador, och förhöjd vävnadstemperatur på grund av absorbering av energi från fälten.

Utifrån de akuta hälsoeffekterna har man satt upp grundläggande begränsningar vilka för de lägre frekvenserna utgår från en inducerad strömtäthet i det centrala nervsystemet (hjärna och ryggmärg). För yrkesmässig exponering ligger dessa 10 gånger under den nivå där effekten dokumenterats. Grundläggande begränsningar för allmänhet är satta ytterligare 5 gånger lägre för att ta hänsyn till individer i olika åldrar med varierande hälsa och även för att allmänheten oftast inte är medveten om sin exponering för fält. Utifrån de grundläggande begränsningarna har ICNIRP tagit fram referensvärden då de grundläggande begränsningarna är svåra att mäta. Referensvärdena antar ett homogent fält över kroppens utsträckning i rummet och kan mätas utanför kroppen.

År 2010 uppdaterade ICNIRP rekommendationerna för elektriska och magnetiska fält i frekvensområdet 1 Hz – 100 kHz. I de nya rekommendationerna [11] bygger de grundläggande begränsningarna på den inducerade elektriska fältstyrkan i kroppen istället för den inducerade strömtätheten, vilket har medfört att referensvärdet för den magnetiska flödestätheten för fält mellan 3 kHz och 10 MHz har ändrats från tidigare 6,25  $\mu\text{T}$  till 27  $\mu\text{T}$ . Ett medelvärde av det lokala inducerade elektriska fältet beräknas över en volym på  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ . I frekvensområdet beräknas riskerna främst på nervstimulering, vilket inkluderar både stimulering av det centrala nervsystemet och det perifera nervsystemet (resterande delar av nervsystemet som inte hör till hjärna och ryggmärg).

### Grundläggande begränsningar

Nedan begränsningar gäller för fält mellan 3 kHz och 10 MHz där  $f$  är fältets frekvens i hertz.

- Yrkesmässig exponering:  $(2,7 \cdot 10^{-4} \cdot f) \text{ V/m}$  (27 V/m för 100 kHz)
- Exponering allmänhet:  $(1,35 \cdot 10^{-4} \cdot f) \text{ V/m}$  (13,5 V/m för 100 kHz)

## Referensvärden

Nedan referensvärden gäller för fält mellan 3 kHz och 10 MHz.

- Yrkesmässig exponering
  - Elektrisk fältstyrka (E): 0,17 kV/m
  - Magnetisk fältstyrka (H): 80 A/m
  - Magnetisk flödestäthet (B): 100  $\mu$ T
- Exponering allmänhet
  - Elektrisk fältstyrka (E): 0,083 kV/m
  - Magnetisk fältstyrka (H): 21 A/m
  - Magnetisk flödestäthet (B): 27  $\mu$ T

För fält med frekvenser över 100 kHz bör man även beakta högfrekventa effekter, såsom värmeeffekter. För induktiv laddning är detta viktigt då man talar om frekvenser upp till 140 kHz. ICNIRP har satt upp grundläggande begränsningar för uppvärmning av hela eller delar av kroppen som en följd av energiabsorption från fält över 100 kHz. Energiabsorptionen mäts i SAR (specific energy absorption rate) med enheten W/kg.

## Grundläggande begränsningar för energiabsorption

Nedan begränsningar för energiabsorption gäller för fält mellan 100 kHz och 10 MHz.

- Yrkesmässig exponering
  - SAR, medelvärde hela kroppen: 0,4 W/kg
  - SAR, lokal exponering huvud och bål: 10 W/kg
  - SAR, lokal exponering övrig kropp: 20 W/kg
- Exponering allmänhet
  - SAR, medelvärde hela kroppen: 0,08 W/kg
  - SAR, lokal exponering huvud och bål: 2 W/kg
  - SAR, lokal exponering övrig kropp: 4 W/kg

Riktlinjerna för exponering av intermediära fält, de fält där frekvenser för induktionsladdning ingår, har delvis fastställs genom de forskningsresultat som finns kring negativa hälsoeffekter i detta frekvensområde. Men då dessa forskningsresultat är få har man till stora delar också använt resultat från låg- och radiofrekventa fält och extrapolerat fram gränsvärden utifrån dem [12].

ICNIRPs uppsatta referensvärdena utesluter inte att fälten kan generera störningar eller effekter på medicintekniska produkter som proteser av metall, pacemakers, defibrillatorer och hörapparater. Exempelvis kan störningar på pacemakers ske vid nivåer under referensvärdena [11].

## Hälsoeffekter och biologisk forskning

Biologisk forskning och forskning kring hälsoeffekter kopplat till elektromagnetiska fält görs inom flera områden och omfattar olika typer av studier såsom epidemiologiska studier, laboratoriestudier, studier på frivilliga försökspersoner,

cancerstudier, kardiovaskulära studier, studier på nervsystemet, studier kring reproduktion och utveckling, studier kring kroniska effekter, cell- och djurstudier [7]. Mer uppmärksammade resultat inkluderar studier kring kraftfrekventa fält kopplat till barnleukemi och mobiltelefonanvändning.

### **Kraftfrekventa fält och barnleukemi**

Mycket av den forskning som gjorts kring kraftfrekventa fält och barnleukemi har involverat epidemiologiska studier, cell- och djurstudier.

#### *Epidemiologiska studier*

I epidemiologiska studier studeras hälso- och sjukdomstillstånd hos en definierad population och riskfaktorer för ett visst tillstånd identifieras. Epidemiologiska studier kan inte klart fastställa **att** en riskfaktor orsakar en effekt utan visar på att riskfaktorn **kan** orsaka hälso- eller sjukdomstillståndet. Ett stort antal epidemiologiska studier [13] [14] ligger bakom forskningsresultat som kopplar samman kraftfrekventa elektromagnetiska fält och barnleukemi, en typ av blodcancer hos barn. Resultaten pekar på att exponering under lång tid för magnetfält i frekvensområdet 50-60 Hz i bostaden kan vara associerat med en förhöjd risk för denna typ av cancer. Redan vid en medalexponering mellan 0,3-0,4  $\mu\text{T}$  ses effekter, vilket kan jämföras med ICNIRPs referensvärden som ligger runt 200  $\mu\text{T}$  vid dessa frekvenser [11]. Man kan dock inte helt utesluta att selektionsbias (urvalsproblematik), confounding (okända variabler som kan samverka med ingående variabler) och slumpen har påverkat resultatet.

#### *Cell- och djurstudier*

Det finns idag ingen lämplig djurmodell för den vanligaste formen av barnleukemi [11]. I de djurstudier som gjorts kring kraftfrekventa fält och barnleukemi har olika gnagare använts som modeller. Ett flertal storskaliga långtidsstudier har gjorts på gnagare, men resultaten har inte kunnat påvisa en förhöjd risk av någon typ av cancer. Inte heller har någon biofysiologisk mekanism kunnat påvisas. De cellstudier som genomförts stödjer generellt resultaten från djurstudierna, men är något mer tvetydiga [11].

WHO rekommenderar att högprioritera forskning som tar fram en lämplig transgen musmodell för barnleukemi för att lösa de tvetydiga resultaten mellan de epidemiologiska och experimentella studierna [9].

### **Radiofrekventa fält och mobiltelefoner**

Radiofrekventa fält brukar definieras som fält i frekvensområdet 30 kHz till 300 GHz av det elektromagnetiska spektrumet och sänds bland annat ut av enheter för trådlös kommunikation såsom mobiltelefoner, trådlösa telefoner, Wi-Fi, Bluetooth, radios, etc.

Allmänheten exponeras framförallt för radiofrekventa fält vid mobiltelefonanvändning. Energin tas då till stor del upp i hjärnan i form av värme. Mängden beror på designen och positionen av telefonen och antennen, huvudets anatomi och hur bra anslutningen till basstationen är, det vill säga hur hög sändareffekten är. Hos barn som använder mobiltelefon kan energidepositionen vara dubbelt så hög i hjärnan och tio gånger så hög i benmärgen av skallen än hos

vuxna. Genom att använda hands-free kan man sänka medelexponeringen till en tiondel [15].

Det finns resultat från en internationell studie, INTERPHONE, som tyder på en ökad risk av hjärntumör (gliom och ponsvinkeltumör) vid höga exponeringsnivåer av fält från mobiltelefonanvändning, men bevisen är begränsade [16] [17]. En stor svensk studie visar också den på en förhöjd risk av malign hjärntumör [18], men även här är bevisen begränsade [15]. På grund av de otydliga bevisen klassas därför radiofrekventa elektromagnetiska fält som möjligen cancerogena, det vill säga möjligen cancerframkallande [10].

### **Intermediära fält och induktionsladdning**

Exponering för fält i det intermediära frekvensområdet har bland annat varit associerat med radiokommunikationssystem, säkerhetssystem vid flygplatser med magnetisk detektering, elektriska apparater i hemmet med snabb elektronisk switchning, motorer som roterar med hög hastighet, och olika typer av skärmar för data/video [19]. Därutöver exponeras industriarbetare för olika utrustningar som genererar fält i kHz-området. Under de sista åren har också induktionsspisar i hemmen blivit vanligt förekommande. Fältextponeringen från de flesta av dessa källor håller sig under ICNIRPs referensvärden förutom för vissa kategorier av industriarbete [12].

Även om de intermediära frekvenserna, där induktiva laddningsfrekvenser ingår, ibland räknas in i både det lågfrekventa och det radiofrekventa området har inte mycket forskning skett kring just dessa intermediära frekvenser. Ett flertal av de studier som dock har genomförts involverar framförallt studier på frekvenser i den lägre delen av kHz-intervallet.

Epidemiologiska studier kring exponering för intermediära fält inkluderar effekter på gravida kvinnor och åkommor på ögat kopplat till dataskärmar. Resultaten från dessa studier har inte visat på någon koppling [12]. En annan studie har studerat kvinnliga radio- och teleoperatörer, med ett resultat som pekar på en förhöjd risk av bröstcancer. På grund av en stor biologisk variabilitet och för många andra påverkande faktorer, saknar resultatet tillräcklig statistisk signifikans [12]. Musstudier har inte visat på en ökad sjuklighet, beteendeförändringar eller utveckling av cancer vid exponering för svaga magnetfält i kHz-området. Det finns djurstudier som antyder om små skelettförändringar, men bevisen är otillräckliga [12]. Studie på råttor för exponering av 20 kHz (200  $\mu$ T) och 60 kHz (100  $\mu$ T) har inte visat på någon ökad risk för utvecklingsstörningar [20] [21]. Exponering av musfoster för 20 kHz (30  $\mu$ T) orsakar inga observerbara skadliga effekter på fostrets utveckling [22]. Råttor exponerades för 20 kHz (6,25  $\mu$ T) i 90 dagar. Inga signifikanta skillnader kunde ses i analyser av urin, blod och vävnader [23]. Kycklingar exponerades för fält genererat av videaskärmar (15-80 kHz) där resultaten visade på skadliga effekter på fosterutvecklingen [24].

### *Prioriterad framtida forskning*

Forskning kring intermediära fält har tidigare inte alls varit prioriterad, vilket har gjort att kunskapen är låg om huruvida fälten orsakar hälsoeffekter eller inte. Därför finns ett stort behov av ny högkvalitativ forskning inom området enligt WHO, där ett

antal typer av studier pekats ut [12]. Epidemiologiska studier rekommenderas, men endast om pilotstudier visar på möjlighet att samla högkvalitativ data från en lämplig grupp exponerade individer. Fältexponeringen behöver bli bättre kategoriserad, exempelvis genom att mäta upp fälten ofta och noggrant för att vara säker på att nivåerna ligger under ICNIRPs gränsvärden. Framtida djurstudier bör efterlikna mänsklig exponering så mycket som möjligt och följas upp med studier på cell- och vävnadsnivå. För att kunna förfinas riktlinjerna behövs en mer omfattande förståelse för underliggande biologiska interaktioner som sker vid exponering. Datamodelleringsmetoder finns idag som möjliggör beräkningar av de inducerade fälten i kroppen. I de mest avancerade simuleringarna används anatomiskt realistiska modeller av människokroppen. Datamodelleringsstudier är av stort värde vid riskbedömning som bygger på uppmätta intermediära fält.

## Forskningsprojekt

Projekt som pågår alternativt nyligen avslutats kring hälsoeffekter kopplat till elektromagnetiska fält fokuserar främst på andra frekvensområden än vad som är intressant ur ett induktionsladdningsperspektiv. Nedan listas några av de stora projekten.

- *COSMOS – Cohort study of mobile phone use and health*  
Forskningsprojekt som studerar möjliga hälsoeffekter av långvarig mobiltelefonanvändning [25].
- *EMFWELD*  
EU-projektets övergripande mål är att reducera kostnader för bedömning av exponering för elektromagnetiska fält genom att bland annat förbättra kunskapen kring elektromagnetiska fält vid svetsning och beräkna arbetarnas verkliga exponering för fälten.
- *The INTERPHONE Study*  
Ett WHO-projekt vars mål är att studera om mobiltelefonanvändning ökar risken för cancer tumörer i huvud och hals [26].
- *MOBI-KIDS*  
Ett projekt som utreder kopplingen mellan teknologier för kommunikation, såsom mobiltelefoni, och hjärncancer hos barn [27].

Det pågår ett flertal projekt kring induktiv laddning för elfordon, både nationella och internationella. Några av de stora listas nedan.

- *BIPoLplus*  
Ett tyskt projekt vilket testar induktiv stationär laddning för elfordon med målet av en laddare som levererar 22 kW [28].
- *FABRIC*  
Forskningsprojekt som studerar användbarhet av och tekniska lösningar för laddning av elfordon under färd [29].

- *FastInCharge*  
Ett EU-projekt med målet att främja införandet av elbilar i stadsmiljö genom att utveckla induktionsladdning, både statisk och dynamisk [30].
- *Flanders' Drive – Inductive Charging*  
Projektet har undersökt induktiv laddning med fokus både på stationära applikationer för bilar och bussar, och på dynamiska applikationer för bussar [31].
- *On-Line Electric Vehicle (OLEV)*  
OLEV är ett projekt som drivs på KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology) där induktiv dynamisk laddning testas i bussar [32].
- *Slide-in Electric Road System*  
Slide-in utvärderar konduktiva och induktiva elvägar. Fokus i den induktiva delen av projektet har varit att se om det ur ett tekniskt perspektiv är möjligt att bygga induktiva elvägar [33].
- *UNPLUGGED*  
Ett EU-projekt vars mål är att undersöka hur induktiv elfordonsladdning kan underlätta introduktionen av elfordon. Projektet är mycket brett och tar sig an statisk och dynamisk laddning ur både ett tekniskt perspektiv och ett användarperspektiv. Ett delområde som de pekar ut är minimering av hälsorisker från magnetfälten [34].
- *WEVC Trials in London*  
I London testar Qualcomm sin teknik för stationär induktiv laddning av elbilar [35].
- *WiCh – Wireless Charging of Electric Vehicles*  
Projektet är ett svenskt forsknings- och demonstrationsprojekt som studerar induktiv laddning ur ett användarperspektiv [36].

Inget av projekten har fokuserat på hälsoeffekterna med tekniken. Ett mål för de flesta av projekten är dock att hålla sig under ICNIRPs befintliga gränsvärden för gällande frekvenser.

## Diskussion

Frågorna kring huruvida elektromagnetiska fält från induktiv laddning kan skapa biologiska effekter och negativa hälsoeffekter är oklara. Mycket av den forskning kring elektromagnetiska fält som har utförts har fokuserat antingen på lågfrekventa fält, såsom fält från kraftledningar, eller på radiofrekventa fält från framförallt mobiltelefoner, och endast ett fåtal studier har hittills tittat närmare på de intermediära frekvenserna där frekvenser för induktionsladdning ingår.

Även om forskningen kring lågfrekventa och radiofrekventa fält är utbredd finns även här många frågetecken kvar att utreda. De rekommendationer för exponering som ges av ICNIRP bygger på bevisade effekter, såsom akuta effekter på nervsystemet och uppvärmningseffekter, och inkluderar därför inte de resultat som finns kring en ökad risk av barnleukemi vid långvarig exponering för kraftfrekvenser [11].

Den ökade risken för barnleukemi som påvisats i epidemiologiska studier sker redan vid en exponeringsnivå på 0,3-0,4  $\mu\text{T}$  vilket är betydligt lägre än referensvärdet, vilket ligger på 100  $\mu\text{T}$ . Dock visar djur- och cellstudier inte på någon ökad risk. Otydligheterna i resultaten kring fältens cancerogenitet gör att det krävs mer forskning inom området. Tillsvidare klassas därför lågfrekventa elektriska och magnetiska fält som möjligen cancerogena. Likaså otydligheter kring hälsoeffekter och mobiltelefonanvändning gör att även de radiofrekventa fälten hamnar i klassen möjligen cancerogena. För de intermediära fälten saknas fortfarande klassning på grund av att för få forskningsstudier har genomförts.

Om det visar sig att elektriska eller magnetiska fält har negativ hälsopåverkan så bör det finnas en bakomliggande biofysiologisk interaktion där någon mekanism skapar en biologisk effekt. Tyvärr så finns det stora begränsningar i förståelsen kring ett flertal områden som kan vara viktiga för att förstå mekanismerna, såsom nervsystemets nätverk, magnetiska partiklar i kroppen och fria radikaler, där ospecifika signaler många gånger överöstar de intressanta signalerna i experimentet och därmed döljer responsen från de mekanismer man letar efter [9]. Utöver fler utredningar som fastställer fältens cancerogenitet behövs även utredningar huruvida fält kan fungera som en co-carcinogen, det vill säga att fält tillsammans med andra riskfaktorer ökar risken för cancer [9]. Många gånger är inte riskfaktorer additiva utan flera riskfaktorer som samverkar kan skapa en mångdubbel effekt. Det är dock ofta mycket svårt att hitta dessa samband.

Det är inte ovanligt i experimentella studier att fält endast beskrivs med frekvensen och fältets intensitet, såsom volt per meter för elektriska fält och tesla för magnetfält. Genom att tydliggöra fältens karaktäristik, exempelvis fältets vågform, kan förståelsen av resultaten öka [6].

Forskningsresultat från det intermediära frekvensområdet, där induktiva laddningsfrekvenser ingår, är otillräckliga för att kunna fastställa effekter på människor och djur, och därför behövs fler studier. Epidemiologiska studier pekas ut som mycket viktiga vid riskbedömningar även om det många gånger är svårt att hitta en lämplig population där statistiskt signifikanta resultat kan åstadkommas. När epidemiologiska studier planeras bör man därför samarbeta internationellt för att maximera det statistiska underlaget och därmed kunna bedöma små risker [9]. Genom internationellt samarbete kan man också se på exponeringsmönster för olika länder. Även andra typer av studier pekas ut som viktiga för att möjliggöra en mer korrekt bedömning av fältens biologiska effekter och hälsoeffekter, exempelvis cell- och djurstudier samt datamodelleringsstudier.

Det finns en risk att de obesvarade frågorna kring fältens eventuella hälsoeffekter kan skapa oro bland allmänheten om de inte alls besvaras, och detta inte minst

kring ny typ av teknik, såsom induktiv elfordonsladdning. Stora summor som läggs på teknikutveckling av induktiva system är till ingen nytta om användarna i slutändan väljer bort produkten på grund av att de känner oro för sin säkerhet. Dessutom kan induktiv elfordonsladdning få ett dåligt rykte även om det på sikt skulle visa sig att fälten inte har några allvarliga hälsoeffekter. Scenariot skulle även kunna ge dåligt rykte för elbilar i helhet och därmed innebära att en massintroduktion av elbilar i Sverige skjuts längre framåt i tiden. Chansen finns dock att förekomma, i stället för att stå passiv, genom att vara med och utveckla hållbara lösningar och att höja kunskapsnivån kring om människor påverkas av eventuella läckfält.

Även om fokus ligger på att eliminera fältexponering hos människor bör man även se till djurs exponering. Genom att skärma och rikta fälten vid elfordonsladdning kan exponeringen av människor sänkas drastiskt. Problem kan dock uppkomma om djur, exempelvis katter, lägger sig under fordonet mellan den sändande och den mottagande enheten och därmed exponeras för höga fältstyrkor.

Vi behöver koppla samman forskning inom teknikutveckling av induktiv laddning med kunskap om biologiska aspekter och elektromagnetiska fält. Detta gäller alla viktiga aktörer och myndigheter som arbetar inom elfordonsområdet. Problematiken är aktuell för både personbilar, lastbilar och bussar som ska laddas induktivt och gäller såväl stationär som dynamisk laddning. Så länge resultaten kring hälsoeffekter är otydliga alternativt obefintliga måste vi vidta försiktighetsprincipen och arbeta för att minska fältexponeringen samtidigt som vi höjer kunskapsnivån kring fältens eventuella hälsoeffekter.

## Litteraturförteckning

- [1] T. Trigg och P. Tellen, "Global EV outlook - understanding the electric vehicle landscape to 2020," International Energy Agency (IEA), Electric Vehicles Initiative, 2013.
- [2] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. Joannopoulos, P. Fisher och M. Soljačić, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Science*, vol. 317, pp. 83-86, 2007.
- [3] A. Karalis, J. Joannopoulos och M. Soljačić, "Efficient wireless nonradiative mid-range energy transfer," *Annals Physics*, vol. 323, pp. 34-48, 2008.
- [4] World Health Organization, Radiation and environmental health department of protection of the human environment, "Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields," 2002.
- [5] Strålsäkerhetsmyndigheten, "Magnetfält och hälsorisker," 2009.
- [6] International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, "IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human, Non-ionizing radiation part 1: Static and extremely low-frequency electric and magnetic fields," vol. 80, 2002.
- [7] ICNIRP publication, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, nr 4, pp. 494-522, 1998.
- [8] Strålsäkerhetsmyndigheten, "Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält, SSMFS 2008:18," 2008.
- [9] World Health Organization, "WHO research agenda for extremely low frequency fields," 2007.
- [10] International Agency for Research on Cancer, "Agents classified by the IARC Monographs, volume 1-108," 2013.
- [11] ICNIRP publication, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and



- magnetic fields (1 Hz - 100 kHz)," *Health Physics*, vol. 99, nr 6, pp. 818-836, 2010.
- [12] International EMF project, "Electromagnetic fields and public health intermediate frequencies, information sheet," 2005.
- [13] A. Ahlbom, N. Day, M. Feychting, E. Roman, J. Skinner, J. Dockerty, M. Linet, M. McBride, J. Michaelis, J. Olsen, T. Tynes och P. Verkasalo, "A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia," vol. 83, nr 5, pp. 692-698, 2000.
- [14] L. Kheifets, A. Ahlbom, C. M. Crespi, G. Draper, J. Hagihara, R. M. Lowenthal, G. Mezei, S. Oksuzyan, J. Schüz, J. Swanson, A. Tittarelli, M. Vinceti och V. Wunsch Filho, "Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia," *British Journal of Cancer*, vol. 103, pp. 1128-1135, 2010.
- [15] International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, "IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human, Non-ionizing radiation part 2: Radiofrequency electromagnetic fields," vol. 102, 2013.
- [16] The INTERPHONE study group, "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study," *International journal of epidemiology*, vol. 39, pp. 675-694, 2010.
- [17] The INTERPHONE study group, "Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case-control study," *Cancer Epidemiology*, vol. 35, pp. 453-464, 2011.
- [18] L. Hardell, M. Carlberg och K. Hansson Mild, "Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003," *Int Arch Occup Environ Health*, vol. 79, pp. 630-639, 2006.
- [19] N. Chernoff, J. M. Rogers och R. Kavet, "A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields," *Toxicology*, vol. 74, pp. 91-126, 1992.
- [20] I. Nishimura, A. Oshima, K. Shibuya och T. Negishi, "Lack of teratological effects in rats exposed to 20 or 60 kHz magnetic fields," *Birth defects research*, vol. 92, pp. 469-477, 2011.
- [21] I. Nishimura, A. Oshima, K. Shibuya, T. Mitani och T. Negishi, "Absence of reproductive and developmental toxicity in rats following exposure to a 20-kHz or 60-kHz magnetic field," *Regulatory toxicology and pharmacology*, vol. 64, pp. 394-401, 2012.
- [22] H.-J. Lee, J.-K. Pack, Y.-M. Gimm, H.-D. Choi, N. Kim, S.-H. Kim och Y.-S. Lee, "Teratological evaluation of mouse fetuses exposed to a 20 kHz emf," *Bioelectromagnetics*, vol. 30, pp. 330-333, 2009.
- [23] S.-H. Kim, H.-J. Lee, S.-Y. Choi, Y.-M. Gimm, J.-K. Pack, H.-D. Choi och Y.-S. Lee, "Toxicity bioassay in Sprague-Dawley rats exposed to 20 kHz triangular magnetic field for 90 days," *Bioelectromagnetics*, vol. 27, pp. 105-111, 2006.
- [24] B. Youbicier-Simo, F. Boudard, C. Cabaner och M. Bastide, "Biological effects of continuous exposure to embryos and young chickens to electromagnetic fields emitted by video display units," *Bioelectromagnetics*, vol. 18, pp. 524-523, 1997.
- [25] "COSMOS homepage," [Online]. Available: <http://www.ukcosmos.org/faqs.html>. [Använd 25 oktober 2013].
- [26] "World Health Organization - The Interphone Study," [Online]. Available: <http://www.who.int/features/qa/30/en/index.html>. [Använd 25 oktober 2013].
- [27] "Mobi-Kids homepage," [Online]. Available: <http://www.mbkds.com/>. [Använd 25 oktober 2013].
- [28] "Stuttgart Universität - Projekt BIPoLplus," [Online]. Available: [http://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2013/020\\_e\\_mobil.html?\\_\\_locale=de](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2013/020_e_mobil.html?__locale=de). [Använd 25 oktober 2013].
- [29] "Green Cars Initiative - FABRIC project," [Online]. Available: <http://www.green-cars-initiative.eu/funding/ppp-information-days-2012/4%20CRF.pdf>. [Använd 25 oktober 2013].
- [30] "FastInCharge homepage," [Online]. Available: <http://www.fastincharge.eu/>. [Använd 25 oktober 2013].
- [31] Flanders' DRIVE, "Feasibility research of wireless power transfer for electric vehicles," 2012.
- [32] Kaist, "On-Line Electric Vehicle (OLEV)," [Online]. Available: <http://olev.kaist.ac.kr/en/>. [Använd 25 oktober 2013].
- [33] Viktoria Swedish ICT on behalf of Volvo GTT and Scania CV, "Slide-in Electric Road System -

inductive project report, draft from project phase 1," 2013.

- [34] "UNPLUGGED FP7 project - inductive charging for electric vehicles," [Online]. Available: <http://unplugged-project.eu/wordpress/>. [Använd 25 oktober 2013].
- [35] Qualcomm, "Qualcomm WEVC Trials," [Online]. Available: <http://www.qualcommhalo.com/index.php/wevc-trials.html>. [Använd 25 oktober 2013].
- [36] "WiCh - Wireless Charging of Electric Vehicles," [Online]. Available: <http://www.wich.se/>. [Använd 25 oktober 2013].