

Mobilstråling i skolegården

Frygten for mobilantenner sættes i relief, når man tager i betragtning, at den stråling, man modtager fra sin egen mobiltelefon, langt overstiger strålingen fra sendemasterne. Faktisk vil man i mange tilfælde betragteligt kunne nedsætte den mængde af stråling, man udsættes for, hvis sendemasterne stod lige i nærheden.

Af Morten Sørensen

■ Opsætningen af antenner til de såkaldte 3. generations mobiltelefoner har medført en hed debat om mulige sundhedsfarer ved at opholde sig i nærheden af antennerne. Denne debat har fået nogle kommuner, bl.a. Århus Kommune, til at indføre et forbud mod opsætning af nye antenner. Men spørgsmålet er, om kommunerne ikke gør borgerne en bjørnetjeneste ved at rette fokus på strålingen fra basisstation-antennen i stedet for selve mobiltelefonerne.

Det viser sig nemlig, at den mængde stråling, man bliver udsat for fra ens egen mobiltele-

fon er 100 til 1.000.000 gange større end fra en antenne på taget – også selvom man befinder sig i umiddelbar nærhed af antennen. Endvidere er mængden af stråling fra basisstationerne 1.000 til 1.000.000 gange mindre end de internationalt fastsatte grænseværdier.

Stråling fra antenner

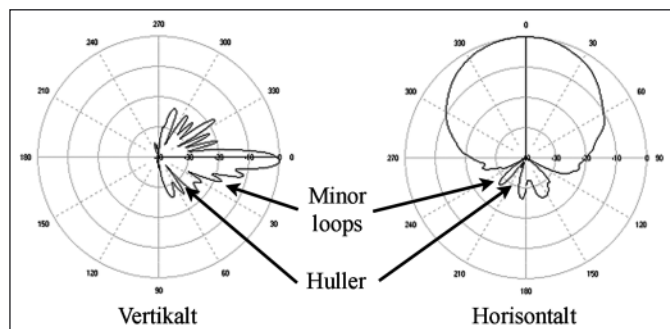
For at opnå den mest ensartede dækning af mobiltelefon-nettet anvender man antenner med en meget retningsbestemt udstråling. En typisk mobil-antenne udsender således sit signal i en sektor på ca. 120° horisontalt

(figur 1). Derfor består basisstationer for det meste af tre antenner, der hver dækker 120°. Vertikalt er signalet endnu mere retningsbestemt. Der er jo ikke behov for, at antennen sender stråling opad, og direkte nedad skal der ikke sendes med særlig stor effekt, da brugerne her jo er nær antennen.

Den mest ensartede dækning får man ved at lade den primære stråling udgå i en smal stribe, der er rettet lidt nedad. I nogle tilfælde vippes antennerne tillige nogle få grader. Alt i alt opnår man på denne måde en retningsforstærkning på 20 til 100 gange i forhold til en antenne, der sender jævnt i alle retninger.

Antennens opbygning medfører, at der opstår nogle såkaldte "minor-loops" og huller, hvor en retningsændring på nogle få grader kan give en meget stor intensitetsændring (se figur 1). Dette forklarer, hvorfor man ved at flytte sin mobiltelefon nogle få meter kan opleve et skift fra dårlig til god dækning.

3G-antennen sender med en lidt lavere effekt end 2G-



Figur 1. Typisk udstrålingsdiagram for en mobilantenne. Sendestyrken er vist på en dB-skala i de forskellige retninger.





Eksempel på en "3G"-antenne på en husfade i den indre by.

Sendestyrke

Boks 1: Sendestyrken for 2G-antennor (GSM) varierer i spring af 3 dB med 2,5 W som laveste og 320 W som højeste. Typisk sendes der ved fuld belastning med 40 W pr. kanal. En operatør vil have 1-5 kanaler, og der kan være flere operatører på en mast. Normalt er der højst 3-4 kanaler i hver sektor på 120°. Den samlede sendeeffekt bliver så summen af effekten fra hver kanal.

3G-antennor (UMTS) sender med maximalt 20 W pr. frekvensbånd (1-2 pr. operatør), typisk 10-15 W pr. frekvensbånd for fuld belastning. Ved mindre belastning helt ned til 2 W, men ikke mindre da antennen udsender en konstant kontrol-kanal på 10% af den maksimale intensitet. Indendørs-antennor kan sende helt ned til 0,05 W.

3G-antennor sender altså med en lidt lavere effekt end 2G-antennor. Til gengæld vil 3G-antennor stå tættere end 2G-antennor, når systemet er færdigudbygget.

Man kan overføre data meget hurtigere i 3G-systemet end i 2G-systemet, men det skyldes altså ikke større sendeeffekt, men i stedet, at der anvendes både frekvens- og amplitudemodulering af signalet, samt nogle mere effektive protokoller.

Kilde

2.G-basisstation (alt i alt)
3.G-basisstation (alt i alt)
Søsterhøj, Århus:
5 FM-sendere + 1 TV-sender
TV2, Hadsten
Walkie-talkie
Trådløst netværk
Radioamatør

Typisk udgangseffekt

20 W - 120 W
10 W - 40 W
30.000 W
20.000 W
4 W
0,1 W
Op til 1.000 W

Sammenligning af sendeeffekt for forskellige kilder.

System	2G - GSM (900 MHz)	2G - GSM (1800 MHz)	3G - UMTS (2100 MHz)	Trådløs telefon
Max udgangseffekt	2 W	1 W	0,25 W	0,05 W - 0,1 W
Middel udgangseffekt	0,0004 W - 0,25 W	0,0001 W - 0,125 W	0,002 W - 0,25 W	-

Tabel 1. Den maksimale og gennemsnitlige sendeeffekt for 2G og 3G. Til sammenligning er vist sendeeffekten for en trådløs telefon

antennor (se boks 1). Til gengæld vil 3G-antennor stå tættere end 2G-antennor, når systemet er færdigudbygget.

Stråling fra mobiltelefoner

Hvis man ser på strålingen fra antennen i en mobiltelefon, udviser denne også en retningsafhængighed, men det er ikke nær så udpræget som for basisstationen – faktisk kan man antage, at mobiltelefonens antenne udstråler ens i alle retninger. Der arbejdes dog på at lave mobiltelefoner med et udstrålingsdiagram, der vender væk fra hovedet, så hjernen bestråles mindst muligt. En mobiltelefon har den vigtige egenskab, at den selv justerer sendestyrken, alt efter hvor god dækningen er. I 2G-systemet sker det ca. 2 gange i sekundet, mens en 3G telefon gør det 1.500 gange i sekundet for at sikre, at basisstation-antennen modtager signaler med samme feltstyrke fra alle telefoner. Jo bedre dækningen er, jo mindre effekt skal mobiltelefonen sende med. Effektreguleringen sker i spring af 2dB for begge systemer.

I 2G-systemet deles en kanal af 8 brugere, hvorfor 2G-telefoner kun sender 1/8 af tiden. Når en telefon sender med sin maksimale effekt på 2 W, sender den altså i gennemsnit kun $2 \text{ W} / 8 = 0,25 \text{ W}$. Som det fremgår af tabel 1, kan der være mere end en faktor 500 i forskel på sendestyrken, alt efter hvor god dækningen er. Det er dog ikke alle telefoner, der kan sende med de laveste sendeeffekter. Som det fremgår af tabel 1 sender mobiltelefonen med en meget mindre effekt end en basisstation, men til gengæld holder man jo mobiltelefonen lige ud for hjernen. Da intensiteten af strålingen falder med kvadratet på afstanden, medfører dette, at man modtager 100

En af de nye 3G-telefoner...

Foto: Hi3G Denmark



til 1.000.000 gange mere stråling fra ens egen mobiltelefon end fra en basisstation-antenne – selv hvis basisstation-antennen er lige i nærheden.

Simulering af mobilstråling i en skolegård

Debatten om stråling fra 3G-antennor har været særligt optaget af opsætning af antenner i nærheden af skoler. Som eksempel har jeg derfor valgt at simulere intensiteten af stråling i en skolegård i situationer både med og uden en antenne på skolens tag. Simuleringerne går ud fra en situation med 30 mobiltalende elever i en 50×50 meter stor skolegård. Der er benyttet udstrålingsdiagrammet fra figur 1, og der er set bort fra refleksioner fra nærliggende bygninger. I boks 2 kan ses en nærmere beskrivelse af de forskellige situationer.

En tankevækkende konklusion, der kan drages ud fra disse simuleringer er, at man ved at opsætte en antenne på taget kan nedsætte middelintensiteten (stammende fra 3G-stråling) i skolegården, så den bliver 8 gange mindre. Under de givne betingelser vil selv elever uden mobiltelefon være bedst stillet med en basisstation på taget, fordi disse elever vil blive udsat for betydeligt mere stråling fra deres kammeraters mobiltelefoner, hvis disse må sende med fuld styrke på grund af stor afstand til en mobilantenne. For de elever, der selv taler i mobiltelefon, vil fordelene ved en antenne på taget være meget større, idet eksponeringen fra deres egen mobiltelefon vil blive 80 gange mindre, og eksponeringen fra deres egen mobiltelefon er mange gange større end eksponeringen fra antennen på taget.

Målinger af felter

Der er i praksis foretaget flere målinger af intensiteten af elektromagnetiske felter fra basisstation-antennor. Et fælles træk

for alle målinger er, at intensiteterne ligger langt under grænseværdierne – typisk mellem 1.000 og 1.000.000 gange under grænseværdien i realistiske afstande og højder. Som eksempel skal nævnes:

◆ 3 m under og 25 m væk fra en 3G-antenne på et tag målte Jørgen Bach Andersen og Gert Frølund fra Aalborg Universitet, en maksimal intensitet på 100 mW/m^2 , svarende til 1% af grænseværdien. I en lejlighed med 10 m til en 3G-antenne målte de maksimalt 4 mW/m^2 , svarende til 0,04% af grænseværdien.

◆ Statens strålskyddsinstitut, Sverige, målte ved jorden i nærheden af en 2G-antenne en maksimal intensitet på $0,03 \text{ mW/m}^2$ dvs. 0,0003% af grænseværdien. Intensiteten var størst 60 m fra antennen.

◆ Målinger udført af både Aalborg Universitet og Statens strålskyddsinstitut, Sverige, viser, at i bymiljøer er intensiteten af den samlede påvirkning af elektromagnetiske felter delt ligeligt mellem radio/tv-sendere og mobilmaster.

Jeg har også selv foretaget målinger af felter i nærheden af mobiltelefoner og basisstation-antennener med en intensitetsmåler lånt på Aalborg Universitet. Apparatet adderer al intensitet i området fra nogle få MHz til 18 GHz med mindst målbare intensitet på 10 mW/m^2 svarende til 0,1% af grænseværdien. Selv i nærheden af masten på fotoet var det ikke muligt at få apparatet til at give et udslag, så intensiteten dér er under 0,1% af grænseværdien.

Til gengæld var der ingen problemer med at få apparatet til at give udslag ved at holde det helt tæt på en mobiltelefon, svarende til eksponeringen, man udsættes for ved at holde mobiltelefonen op til øret. Yderligere kunne jeg konstatere, at intensiteten steg en faktor 100 ved at gå fra altanen på 7. sal ned i kælderen (se tabel 2). De målte intensiteter er 100 til 1.000.000

Tabel 2.

Egne målinger af eksponeringen fra en 2G-mobiltelefon på hhv. altanen på 7. etage og i kælderen på Institut for Fysik, Aarhus Universitet. Intensiteten er målt i Watt pr. m^2 . Målemetoden er simpel, derfor tages der forbehold.

	Med tale $I / \text{W/m}^2$	Uden tale $I / \text{W/m}^2$	Afstand hvor $I < 10 \text{ mW/m}^2$
På 7. sal udendørs - fuld dækning (5 pinde)	0,10-0,15	< 0,01	< 20 cm
I kælderen - dårlig dækning (1 pind)	10-15	0,1	70 cm

gange større end gennemsnitlige intensiteter stammende fra basisstationer.

Interessant er det også, at jeg målte intensiteten helt tæt på en babyalarm til 1 W/m^2 – altså meget kraftigere end intensiteten fra en basisstation på taget.

Uskadelige antenner

I forhold til de internationale

fastsatte grænseværdier er eksponeringen fra både 2G og 3G mobilsendemaster uskadelig.

Hvis man er bange for mobilstråling, bør man koncentrere sig om at nedsætte eksponeringen fra mobiltelefonen, for den er flere størrelsesordner større end eksponeringen fra basisstation-antennener. Ved at få flere antenner opsat på stærkt befær-

dede områder, opnår man en bedre og mere nyttig dækning, og dermed nedsættes mobiltelefonernes sendeeffekt. Samtidig forlænges den tid, mobiltelefonen kan benyttes uden opladning.

Det skal dog understreges, at eksponeringen fra basisstation-antennener finder sted hele tiden og over hele kroppen. Græn-

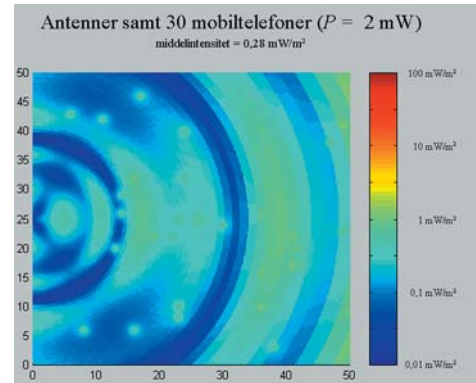
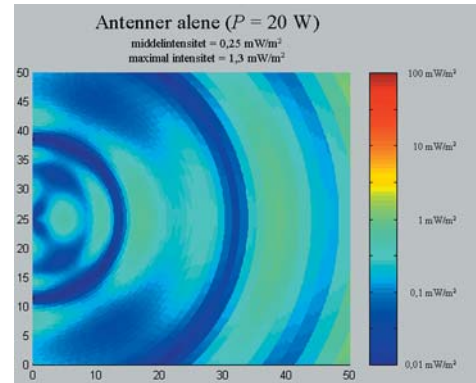
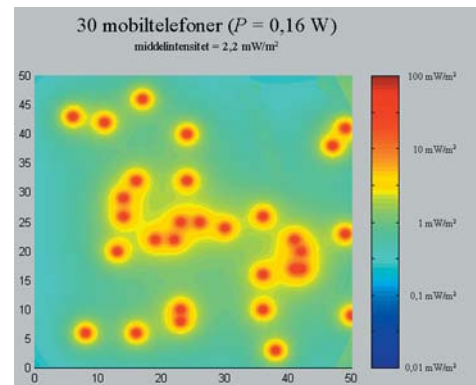
Simulering af stråling i en skolegård (boks 2)

Til simuleringerne er benyttet udstrålingsdiagrammet fra figur 1, og der er set bort fra refleksioner fra nærliggende bygninger.

På figuren øverst ses en skolegård på $50 \times 50 \text{ m}$, hvor de første 5 m på x-aksen er en bygning. I denne situation er der langt til den nærmeste 3G-basisstationantenne. I modellen bruger 30 elever hver deres 3G-mobiltelefon, som grundet den dårlige dækning sender med næsthøjeste sendestyrke, $0,16 \text{ W}$, i halvdelen af tiden, hvor brugeren taler. (Når brugeren ikke taler, sender telefonen ikke.) Det ses, at den lysegrønne farve er dominerende, hvilket stemmer overens med den beregnede middelinintensitet på $2,2 \text{ mW/m}^2$. Denne intensitet stammer udelukkende fra de anvendte mobiltelefoner.

På figuren i midten ses samme skolegård; men denne gang er der på taget en basisstation bestående af 3 antenner, der hver især dækker en sektor på 120° , og hver især sender med 20 W . Basisstationen er placeret i midten af bygningen 20 m over skolegården. Antennerne er vipet 3° mod jorden. Eleverne har time, så skolegården er tom. Det ses, at middelinintensiteten fra antennerne alene kun er $0,25 \text{ mW/m}^2$, og den maksimale intensitet er $1,3 \text{ mW/m}^2$. Bemærk, at grænseværdien for 3G-stråling er 10 W/m^2 eller 7.700 gange større end den maksimale intensitet i skolegården. Læg i øvrigt mærke til de mørke cirkeludsnit på figuren med relativ lille intensitet, som stammer fra huller i udstrålingsdiagrammet (se figur 1).

På figuren nederst er antennen anbragt på taget, og de 30 brugere er igen placeret tilfældigt i skolegården. Nu har brugerne imidlertid god dækning, hvorfor mobiltelefonerne sender med laveste styrke (2 mW). Middelinintensiteten i skolegården er nu $0,28 \text{ mW/m}^2$ mod $0,25 \text{ mW/m}^2$ med masten alene. Telefonerne bidrager altså i denne situation ikke væsentligt til middelinintensiteten.



Grænseværdier

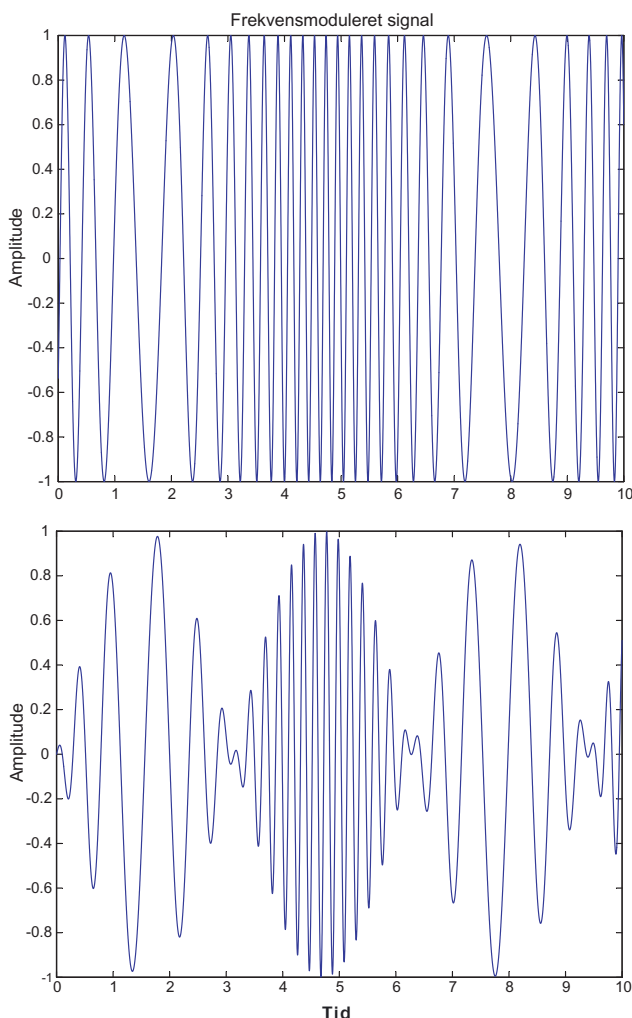
Boks 3. Når man snakker om stråling fra mobilantenner og sundhedsfare, er det i dag den dominerende opfattelse, at det er mobilstrålingens effekt afsat inde i kroppen (den absorberede effekt), der kan være skadevoldende. Grænseværdien for kilder mindre end 5 cm fra kroppen angives med en SAR-værdi (Specific Absorption Rate) og måles i W/kg. Den er fastsat på baggrund af lokale temperaturstigninger i kroppen. Grænseværdierne for radiobølger fra mobiltelefoni er fastlagt således, at den er en faktor 50 lavere end den effekt, der kan fremkalde en temperaturstigning på 1 °C lokalt i et menneske (dvs. typisk i hjernen). SAR-værdien kan ikke måles direkte, men er i stedet fastsat på baggrund af beregninger, målinger på modeller og dyreforsøg. SAR-værdien afhænger af strålingens frekvens, hovedets anatomi, mobiltelefonens konstruktion, m.v.

Danmark og de fleste andre industrilande følger grænseværdierne anbefalet af ICNRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, www.icnirp.de) - en privat tværfaglig non-profit-organisation, bestående af ingeniører, fysikere, biologer, læger m.v. Organisationen arbejder tæt sammen med WHO. Grænseværdierne tager ikke hensyn til eventuelle ikke-termiske biologiske effekter.

SAR skal lokalt være mindre end 2 W/kg midlet over 10 g og midlet over 6 minutter. Fabrikterne skal oplyse telefonernes SAR-værdi. For tiden ligger værdierne mellem 0,22 og 1,94 W/kg. For kilder mere end 5-10 cm væk fra kroppen angives grænseværdierne med en maksimal intensitet. I det frekvensområde, mobiltelefoner benyttes, er grænseværdien frekvensafhængig (se tabel):

Frekvens (MHz)	Intensitet (W/m ²)
400 - 2.000	frekvensen / 200 MHz
2.000 - 30.000	10

Grænseværdierne for den maksimale intensitet af kilder mere end 5-10 cm væk fra kroppen (f.eks. mobilsendemaster). Til sammenligning bliver en lørdagskylling i en mikrobølgeovn udsat for ca. 20.000 W/m², og eksponeringen fra solen er ca. 800 W/m².



Figur 5. 2G-signalet er kun frekvensmoduleret som illustreret på figuren øverst. 3G-signalet er både frekvens- og amplitudemoduleret som illustreret på figuren nederst. Modulationen af virkelighedens signaler er dog meget mere avanceret end vist på figurerne.



Om forfatteren

Morten Sørensen er speciale-studerende
Institut for Fysik og Astronomi
Aarhus Universitet
e-mail: mortens@phys.au.dk

Læs videre

"Stråling fra Mobilmaster - et teknisk responsum", J. Bach Andersen og Gert Frølund, Aalborg Universitet, februar 2004: www.aau.dk/fak-tekn/mobilmast.doc

Exponering fjrradiofrekventa fält och mobiltelefoni, Statens strålskyddsinsitut, Sverige, april 2001: www.ssi.se/lickejoniserande_stralning/Magnetfaelt/SSI_rapp2001_09.pdf

EMF publications and information resources: www.who.int/peh-emf/publications/en/
"Sundhedsrisici ved mobiltelefoni", resumé og redigeret udskrift af høring i Folketinget den 10 marts 2004: www.tekno.dk/pdf/projekter/p04_mobiltelefoni_rapport.pdf

Programkoden til artiklens simuleringer (MATLAB) kan downloades på: www.phys.au.dk/~mortens, og med det kan man så selv arbejde videre med simuleringerne.

seværdierne tager ikke hensyn til effekter, der ikke er termisk betinget – dvs. de tager ikke hensyn til eventuelle biologiske effekter, der ikke skyldes opvarmning af kroppen (se boks 3). Modulationen af 3G-signalet er anderledes end 2G-signalet, f.eks. varierer 3G-signalets intensitet hurtigere end 2G-signalets, hvilket nogle forskere mener kan være sundhedsskadeligt (se figur 5). Der har været enkelte undersøgelser, der påviser gener, der ikke er termisk betinget, men disse undersøgelser har ikke indtil videre kunnet bekræftes med gentagne, uafhængige forsøg.

Vi har i mere end 80 år været udsat for menneskeskabte elektromagnetiske bølger – både frekvens- og amplitudemodulerede – uden at vi endnu har kunnet konstatere nogen sundhedsmæssig påvirkning. Især de sidste 50 år har vi i Danmark været udsat for de kraftige elektromagnetiske bølger fra TV- og FM-sendere. Fuldstændig frikendelse, som visse politikere, grønne organisationer og forbrugerorganisationer forlanger, kan naturligvis ikke lade sig gøre. Hvis alle beskrevne menneskesygdomme skulle langtidskorreleres med alle tænkelige radiofrekvenser og moduleringer, så kikker vi ind i uendeligheden. ■