

ELEKTROMAGNETISKA FÄLT OCH RADIOAMATÖREN

INLEDNING

En amatörradiostation genererar signaler för att kommunicera trådlöst med hela världen. Detta sker med signaler som kallas elektromagnetiska fält (EMF). Runt alla sändande antenner bildas EMF av den energi som skickas in i dem från sändaren och kallas vanligen radiovågor.

Radiovågorna (EMF) är klassificerade som icke-joniserande strålning.

Icke-joniserande elektromagnetisk strålning, vilket är samma sak som elektromagnetiska fält (EMF), uppträder i många former. De kan uppträda som radiovågor, mikrovågor, infraröd strålning, synligt ljus, ultraviolett strålning. Det som skiljer är våglängden, där radiovågor har längst våglängd och ultraviolett kortast.

En amatörradiostation genererar enbart icke-joniserande strålning och får inte blandas ihop med vad som kallas joniserande strålning. Det är däremot mycket viktigt att förstå skillnaden mellan dem.

Joniserande strålning är så energirik att den kan rycka loss elektroner från de atomer som den träffar och förvandla dem till positivt laddade joner, jonisering. Exempel på joniserande strålning är röntgenstrålning och strålning från radioaktiva ämnen. Energin hos den joniserande strålningen kan vara så hög att den kan tränga in i och påverka cellstrukturen i biologiskt material.

Energin hos icke-joniserande strålning, som optisk strålning och elektromagnetiska fält, är normalt inte lika energirik som hos joniserande och kan därför inte jonisera material utan orsakar enbart uppvärmning av kroppens vävnad. I allmänhet har studier visat att de nivåer av EMF som allmänheten utsätts för ligger långt under de värden där kroppstemperaturen skulle öka.

Inom World Health Organization (WHO) finns ett program som kallas 'The International EMF Project' där all vetenskaplig information som finns om biologiska effekter av elektromagnetiska fält samlas. 'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection', (ICNIRP) är en fristående organisation (erkänd av WHO) som bland annat utnyttjar denna information för att utveckla riktlinjer för exponering av EMF som används av många länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) är den myndighet som arbetar med ovanstående frågor i Sverige och har tagit fram allmänna råd vilka är en tolkning av ett EU-direktiv som bygger på ICNIRP:s riktlinjer för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält.

Eftersom grunden i amatörradioutövändet är att generera elektromagnetiska fält för att kommunicera via radio så är kunskapen om EMF viktig. Med de befogenheter radioamatörer har, måste de allmänna råden för EMF följas och förståelsen för hur fält uppstår och hur de kan begränsas är fundamentala.

FÄLT

Antennens uppgift är att omvandla den ledningsbundna signalen i matarkabeln på ett så effektivt sätt som möjligt till en elektromagnetisk våg som utbreder sig i luften.

Den elektromagnetiska vågen uppträder inte direkt vid antennen utan uppstår efter ett visst avstånd från antennen som man kallar fjärrfältet. Detta sker genom växelverkan mellan det elektriska och magnetiska fältet som antennen genererar.

Teorierna som beskriver hur denna växelverkan fungerar är komplicerade men det viktiga att förstå är att det finns en gräns mellan vad man kallar fjärrfältet längre bort från antennen och närfältet nära antennen. Av denna anledning måste man mäta både det elektriska och magnetiska fältet nära antenner för att utvärdera maximal fältstyrka. I fjärrfältet kan man på grund av växelverkan mellan dem mäta antingen det ena eller det andra.

Beroende på den antenntyp som genererar fältet är det antingen ett elektriskt eller magnetiskt fält som dominerar närfältet.

Elektrisk fältdominans genereras av antenntyper som bygger på spänningsskillnader (tex dipol) och magnetisk fältdominans av antenner med strömflöde (tex. små loopar).

Det elektriska fältet (E) anges i "volt per meter" (V/m) och det magnetiska fältet (H) i "ampere per meter" (A/m).

I och med att fältet utbreder sig i luften åt alla håll samtidigt så avtar styrkan i fältet. Detta beror på att effekten som genererar fältstyrkan täcker ett större och större tänkt klot runt antennen ju längre bort man kommer. Effekten per ytenhet blir då mindre ju längre från antennen man kommer.

Fältet avtar alltså i styrka på samma sätt som att jämföra ytan på två klot med olika radier. Genom matematisk analys av dessa klots ytor med olika radier kommer man fram till att om avståndet dubblas halveras fältstyrkan.

Det spelar ingen roll om antennen är helt rundstälände eller koncentrerar effekten i en riktning så avtar fältet på samma sätt i alla fall.

Eftersom alla elektriska ledare kan betraktas som antenner kommer dessa att kunna generera fält, oavsett om det är tänkt att det ska vara en antenn eller inte. Detta är tydligt då både apparater och ledningar kan leda högfrekvent ström och genom detta generera fält. Man bör ha detta i åtanke vid installation av matarledning till antennen för att undvika att ström flyter tillbaka till stationen på utsidan av ledningen. Även de apparater man använder för att generera de signaler man vill skicka ut kan ha dålig skärmning och leda högfrekvent ström på utsidan.

Det finns alltså en risk att fältstyrkorna i närheten av sändare, och framför allt slutsteg med tillhörande kablage, kan vara betydande.

ALLMÄNNA RÅD

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) är den myndighet som är sammanhållande för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. Dess allmänna råd, SSMFS 2008:18, anger vilka referensvärden som gäller i Sverige. Se diagram 1 och 2.

Syftet med de allmänna råden är att skydda allmänheten från akuta skadliga biologiska effekter vid exponering för elektromagnetiska fält. De allmänna råden är en svensk anpassning av ett EU-direktiv som grundar sig på ICNIRP:s riktlinjer.

Riktlinjerna baseras på hur kroppen värms upp av radiovågorna och definieras som hur stor effekt per kilogram kroppsvikt som absorberas under en definierad tid. Den tekniska benämningen på detta värde är 'Specific Absorption Rate' (SAR) och mäts i W/kg.

De grundläggande begränsningarna är, enligt internationella rekommendationer, satta vid ungefär två procent av de nivåer vid vilka akuta biologiska effekter är vetenskapligt säkerställda.

Då uppvärmningen av kroppsvävnad inte går snabbt räknar man med den medeleffekt som under en viss tid orsakar uppvärmning. De allmänna råden definierar SAR-värdet som medelvärdet under en sexminutersperiod.

Eftersom ett elektromagnetiskt fält inte går att mäta i enheten W/kg innehåller de allmänna råden även en tabell på referensvärden framräknade för att motsvara SAR-värdet. Referensvärdena utgörs av storheter som är mätbara utanför människokroppen.

Referensvärdena är angivna i bland annat elektrisk- och magnetisk-fältstyrka, vilka är mätbara storheter. De är också de värden som en amatörradiostation inte bör överskrida i områden där allmänheten kan vistas.

Vid frekvenser som är nära kroppens egen resonansfrekvens absorberas effekten lättast och maximal uppvärmning uppstår. Hos vuxna ligger den frekvensen på ungefär 35 MHz om personen är jordad och vid ungefär 70 MHz om personen är isolerad från jord. Även de olika kroppsdelarna kan vara resonanta. T ex är en vuxens huvud resonant vid ca 400 MHz medan ett mindre barns huvud är resonant vid ca 700 MHz.

Kroppens storlek avgör alltså vid vilken frekvens den absorberar mest effekt och vid frekvenser över och under resonansfrekvensen så minskar uppvärmningen från fältet.

Referensvärdena tar hänsyn till detta faktum och det mest restriktiva frekvensområdet ligger inom 10 till 400 MHz vilket är där effekten absorberas lättast av kroppen.

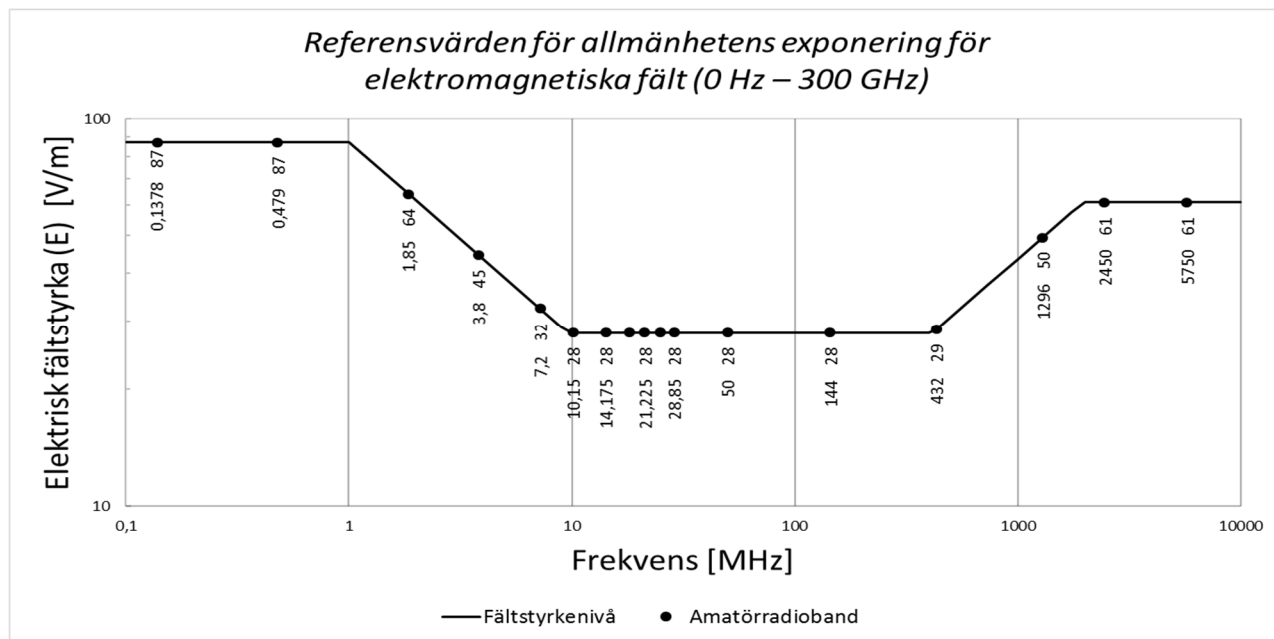


Diagram 1. Referensvärden ur SSMFS2008:18, elektrisk fältstyrka (amatörradioband, nivå).

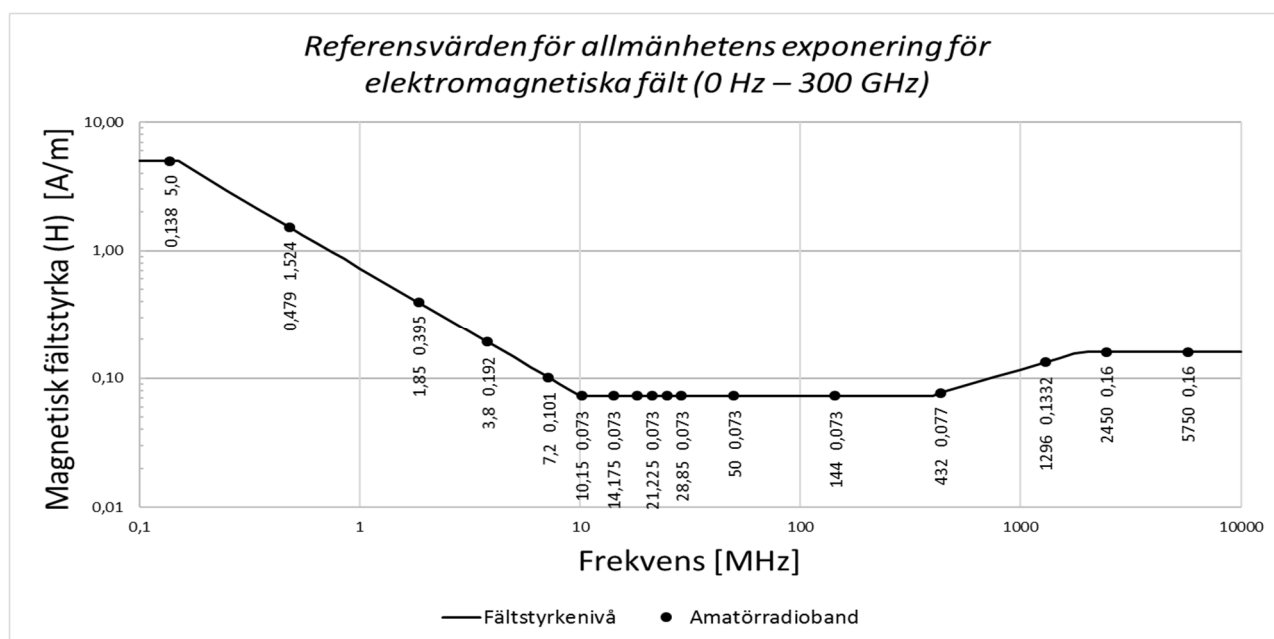


Diagram 2. Referensvärden ur SSMFS2008:18, magnetisk fältstyrka (amatörradioband, nivå).

UTVÄRDERING AV EMF

Hur är det då med den egna stationen, hur överensstämmer fältstyrkorna som den kan generera med referensvärdena?

För att kunna utvärdera detta måste man känna till vilka parametrar som är avgörande vid beräkning av fältstyrkan. Mycket beror på vilken antenn man använder och hur den är placerad. Man måste även förstå egenskaperna signalen från sändaren har.

Antennen

Antennen tar emot signalen från sändaren via en matningskabel och omvandlar denna signal till ett elektromagnetiskt fält. Hur denna omvandling går till är komplicerat men kan enklast förklaras med begreppet förstärkning eller antennvinst. Man måste alltså känna till förstärkningen antennen har i den riktning där man vill bestämma fältstyrkan. Det kan vara både direkt i huvudloben men ofta även under en riktantenn sittandes i en mast. Vanligen anges förstärkningen enbart i den i riktningen som har maximal förstärkning. Förstärkning i andra riktningar kan enklast läsas ut från antennens riktningdiagram.

Formeln som används för uträkning av fältstyrkan förutsätter att man benämner antennens förstärkning relativt en isotrop antenn (dBi) och inte en dipolantenn (dBd), samt att man räknar med linjära värden (gångar) och inte logaritmiska (dB).

dB	0	1	2	2,15	3	2	4	5	6	7	8	9
Gångar	1,0	1,3	1,6	1,64	2,0	1,6	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	7,9
dB	10	11	12	13	14	14,92	15	16	17	18	19	20
Gångar	10,0	12,6	15,8	20,0	25,1	31,05	31,6	39,8	50,1	63,1	79,4	100

För en antenn med förstärkningen 7 dBi ska alltså värdet 5,0 användas.

G = Antennens förstärkning i linjära termer

Sändarsignalen

Då referensvärdet enligt de allmänna råden är definierade som medelvärden under en sexminutersperiod är det medeleffekten som ska användas vid beräkningarna.

Effektens medelvärde under en sexminutersperiod beror på två olika saker.

Modulationsfaktor:

Beroende på trafiksätt så blir medeleffekten olika. Används FM så ger det modulationssättet att man använder max uteffekt kontinuerligt jämfört med SSB där medeleffekten beror på hur man talar.

Nedanstående tabell är värden för att räkna ut medeleffekten på grund av moduleringen. Dessa återfinns i FCC riktlinjer som radioamatörer i USA använder (OET Bulletin 65 Supplement B).

Trafiksätt	Modulationsfaktor
SSB	0,2
CW	0,4
SSB med kompression	0,5
FM	1,0
MGM (tex RTTY, PSK)	1,0
Bärvåg	1,0

Intermittensfaktor:

Vid vanlig amatörradioanvändning sänder man inte kontinuerligt utan både lyssnar och sänder växelvis. Sänder man och tar emot lika mycket under en sexminutersperiod så blir faktorn 0,5 men om man lyssnar mycket mer och sänder sällan blir faktorn mindre.

Sändning (minuter]	Mottagning (minuter)	Intermittensfaktor
1	5	0,17
2	4	0,33
3	3	0,50
4	2	0,67
5	1	0,83
6	0	1,00

Medeleffekt:

För att räkna ut vilken medeleffekt som används ska man ta hänsyn till både modulationsfaktorn och intermittensfaktorn enligt följande

$$\text{Medeleffekten} = \text{Maxeffekten} \cdot \text{Modulationsfaktor} \cdot \text{Intermittensfaktor}$$

P = Medeleffekten i Watt under en sexminutersperiod

Kabeldämpning

När uteffekten mäts vid sändaren och fältet genereras av effekten som når antennen måste även den dämpning som matarledaren har vara känd, eftersom den genererade fältstyrkan annars överskattas.

Även här måste linjära enheter användas (gångar).

dB	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
k	1,00	0,89	0,79	0,71	0,63	0,61	0,56	0,50	0,45	0,40	0,35	0,32

För en kabel med dämpningen 2,5 dB ska alltså värdet 0,56 användas.

k = Matarkabels dämpning i linjära termer

Avstånd

På vilket avstånd är det intressant att veta vilken fältstyrka som genereras?
SSM:s allmänna råd definierar detta på följande sätt.

"1.3 Dessa allmänna råd omfattar områden där allmänheten kan vistas under sådana tider att begränsningarna är av betydelse."

Ett bra utgångsläge är då att utvärdera området där antennen är placerad och bedöma var människor kan exponeras.

d = Avståndet i meter från antennen till platsen där fältstyrkan ska bestämmas

Beräkning

Beräkning av det elektromagnetiska fältet kan med enkelhet bara genomföras i fjärrfältet från en antenn. I fjärrfältet vet vi sedan tidigare att man antingen kan utvärdera det elektriska eller magnetiska fältet. Av denna anledning beskrivs enbart beräkning av det elektriska fältets del av det elektromagnetiska fältet.

Ett vedertaget avstånd från antennen, därifrån fjärrfältberäkningar kan genomföras, är $\lambda/6$ vilket gäller för enklare antenner (sådana med låg antennvinst).

Följande formler gäller enbart för beräkning av korrekt fältstyrka i fjärrfältet men kan för enklare antenner approximeras (eller överskattas) den fältstyrka som uppträder i närfältet.

Korrekt analys av fältstyrkan i närfältet av mer komplicerade antenner (tex små loopar) kräver mätningar eller mer komplicerade beräkningar.

Amatörradioband [m]	160	80	40	30	20	17	15	12	10	6
Fjärrfältsgrens ($\lambda/6$) [m]	27	13	6,7	5	3,3	2,8	2,5	2	1,7	1

E = Det elektromagnetiska fältets nivå i V/m i fjärrfältet

Det elektromagnetiska fältets storlek (i fjärrfältet) räknas ut från effekten (medelvärde), antennförstärkningen, mataledningens dämpning och avståndet enligt följande förenklade formel.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot k}}{d}$$

Man kan förändra formeln för att räkna ut på vilket avstånd man genererar en viss fältstyrka enligt:

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot k}}{E}$$

Exempel 1:

Vilken medelfältstyrka genererar man på ett visst avstånd från antennen?

En riktantenn för 144 MHz med förstärkning enligt databladet på 14,92 dBi (31 gånger).
Uteffekten är 1000 W.

Trafiksättet är MGM (tex RTTY, PSK), modulationsfaktor är då 1.

Vid detta trafiksätt användes 30 sekunders intervaller (intermittensfaktor är 0,5).

Den valda matarledningen har en dämpning på 2,5 dB (0,56 gånger).

Avståndet från antennen till beräkningspunkten är 15 m.

$$G = 31$$

$$P = W_{pep} \cdot \text{modulationsfaktor} \cdot \text{intermittensfaktor} = 1000 \cdot 1 \cdot 0,5 = 500$$

$$k = 0,56$$

$$d = 15$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot k}}{d} = \frac{\sqrt{30 \cdot 500 \cdot 31 \cdot 0,56}}{15} = 34,02 \text{ V/m}$$

Då referensvärdet på denna frekvens är 28 V/m, överskrider amatörradiosändningen referensvärdet på detta avstånd.

Exempel 2:

På vilket avstånd från antennen når man referensvärdet?

En riktantenn för 144 MHz med förstärkning enligt databladet på 14,92 dBi (31 gånger).

Uteffekten är 1000 W.

Trafiksättet är MGM (tex RTTY, PSK), modulationsfaktor är då 1.

Vid detta trafiksätt användes 30 sekunders intervaller (intermittensfaktor är 0,5).

Den valda matarledningen har en dämpning på 2,5 dB (0,56 gånger).

Referensvärdet för 144 MHz är 28 V/m.

$$G = 31$$

$$P = W_{pep} \cdot \text{modulationsfaktor} \cdot \text{intermittensfaktor} = 1000 \cdot 1 \cdot 0,5 = 500$$

$$k = 0,56$$

$$E = 28$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot k}}{E} = \frac{\sqrt{30 \cdot 500 \cdot 31 \cdot 0,56}}{28} = 18,22 \text{ m}$$

För att följa de allmänna råden bör människor inte vistas i huvudloben närmare än 19 m från denna antenn då sändning utförs enligt exemplet.

Exempel 3:

På vilket avstånd från antennen når man referensvärdet?

En dipolantenn för 3,75 MHz utan förstärkning innebär 2,15 dBi (~1,6 gånger).

Uteffekten är 100 W.

Trafiksättet är SSB (med kompression), modulationsfaktor är då 0,5.

Vid detta trafiksätt användes normala TX/RX intervaller (intermittensfaktor är 0,5).

Den valda matarledningen har en dämpning på 0,5 dB (0,89 gånger).

Referensvärdet för 3,75 MHz är 45 V/m.

$$G = 1,6$$

$$P = W_{pep} \cdot \text{modulationsfaktor} \cdot \text{intermittensfaktor} = 100 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 25$$

$$k = 0,89$$

$$E = 45$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot k}}{E} = \frac{\sqrt{30 \cdot 25 \cdot 1,6 \cdot 0,89}}{45} = 0,73 \text{ m}$$

Här konstaterar vi att det uträknade avståndet ligger i närfältet från antennen (inom 13 meter). En dipol är en enklare antenntyp så antar vi att värdet är tillräckligt nära för att kunna utvärdera exponeringen.

För att följa de allmänna råden bör människor inte ha tillträde till någon del av antennen närmare än 0,74 m då sändning utförs enligt exemplet.

Om man i exemplet höjer uteffekten till 1000W blir avståndet 2,3 meter

EGENKONTROLL

För att utvärdera sin egen station så finns det några olika vägar att gå.

- Räkna ut fältstyrkan eller säkerhetsavståndet med sina egna parametrar enligt exemplen ovan.
- Använda mjukvara som är speciellt gjort för att räkna ut på vilket avstånd referensvärdet nås under givna förutsättningar enligt exempel 2 ovan.
- Använda värden från tabeller där olika typiska antenner är beskrivna.
- Använda antenssimuleringsprogram som har möjlighet att även beräkna fältstyrka.
- Mäta fältstyrkan (speciellt då man utvärderar i närfältet från antennen)

Man bör då tänka på vilket avstånd man har till platser där allmänheten har tillträde, sin effektanvändning, vilka antenntyper och vilka trafiksätt man använder.

Räkna manuellt

Enligt exemplen ovan är det ganska enkelt att göra en uppskattning av de fältstyrkor som genereras av sin egen amatörradioanvändning.

Räkna med specialprogram

Istället för att själv använda miniräknaren kan man använda program som är speciellt framtagna för detta ändamål.

Ett exempel på ett sånt program är IncirpCalc som är framtaget av en representant från den tyska amatörradioföreningen (DARC). I programmet finns redan olika antenntyper och det finns även möjlighet att lägga in egna antenner för att göra korrekta beräkningar.

Detta program finns att ladda ner från SSA web plats för EMC/EMF frågor.

Tabellvärden

Utifrån den typ av antenn man själv använder kan man jämföra med typiska värden från andras beräkningar och göra en hyfsad uppskattning av sin egen situation.

Antenssimulering

Vissa program för antenssimulering har även funktioner för att beräkna fältstyrkenivåer runt antennen och kan i vissa fall beräkna fältstyrkan även i närfältet.

Mäta fältstyrka

Att istället för att räkna ut vilken fältstyrka man genererar låter det enkelt att mäta upp den med ett enkelt mätinstrument. Problemet med detta är att det är svårt att få tillgång till mätutrustning som är kalibrerad och noggrant nog att korrekt kunna bestämma fältstyrkenivån.

SAMMANFATTNING

Enligt ett nu gällande EU direktiv som är omsatt av Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) till svenska allmänna råd finns det referensvärden som gäller allmänhetens exponering av elektromagnetiska fält (EMF).

Dessa nivåer och sändaramatörens befogenheter att generera elektromagnetiska fält innebär att vi som sändaramatörer måste förstå och kunna hantera området elektromagnetiska fält.

Alla sändande antenner kommer att ha ett elektromagnetiskt fält runt sig. Detta elektromagnetiska fält är beroende på vilken typ av antenn man använder och den signal man skickar in i antennen. Hur man bedömer storleken på dessa fält är avgörande för att kunna begränsa exponeringen från sin amatörradiostation.

En egenkontroll bör genomföras för att kunna bedöma den fältbild som amatörradioutövandet orsakar runt sin station. Eftersom amatörradio är en experimentell verksamhet så måste alla förstå hur olika förändringar i sin installation och användning påverkar denna fältbild.

Vilken metod man än väljer för sin egenkontroll är det lämpligt att göra den tydligt och lättförståelig. Detta är viktigt eftersom man bör spara sina resultat och då ha möjlighet att göra om sin utvärdering när man har förändrat något eller några av de värden som skulle kunna påverka resultatet.

Praktisk hantering

Vid all användning av amatörradioutrustning måste man göra en bedömning av vilka fältstyrkor man genererar och vilka som blir exponerade. Det kan vara frågan om människor i sin omedelbara närhet eller människor på längre håll. I alla fall bör man fundera på om man väljer rätt sätt att generera den fältstyrka som man behöver för att kommunicera eller om det finns ett bättre sätt som innebär att fältstyrkan effektivast möjligt når motstationen och inte exponerar någon annan.

Det finns alltså vissa installationer som bör undvikas eller förordas för att hålla nivåerna på exponering så låga som möjligt.

- Antenner som sitter nära människor, exempelvis balkongantenner, kan ge mycket högre exponering än antenner som sitter högt monterade i en mast.
- Riktantenner för höga frekvenser har ofta hög förstärkning, och kan ge höga fältstyrkor i huvudriktningen. Då måste man se till att det inte är möjligt att rikta denna typ av antenn mot platser där människor kan exponeras.
- Inomhusantenner hamnar alltid nära människor och bör enbart användas med låg effekt då de kan ge mycket hög exponering. De kommer också ta emot störningar från hemelektronik (nätadapttrar, datorer, belysning etc.) vilket också gör antennplaceringen mycket olämplig.
- Antenner ovanför huskroppar bör endast användas med låg effekt. Tråd-antenner för lägre frekvenser rakt ovanför bostadshus kommer att vara nära människor i byggnaden.
- Om man har behov av att använda hög effekt så måste man också se till att effekten används så bra som möjligt. Det är direkt olämpligt att kompensera en dålig antenn med högre effekt då det oftast resulterar i höga fältstyrkor på fel ställe.
- Högre fältstyrka kan för det mesta enklast åstadkommas med en antenn som riktar signalen i den riktning man vill kommunicera. Det är oftast mycket dyrare och mer komplicerat att öka uteffekten för att nå samma resultat.
- Osymmetriska antenner kan ge mantelströmmar på matningsledningen. Det innebär att HF-ström flyter tillbaka på matarledningens utsida och kan ge höga fältstyrkor längs hela kabellängden. Bättre är det då att använda symmetriska antenner, exempelvis en mittmatad halv vågsdipol, och använda tekniker som förhindrar mantelströmmar (tex en balun).

- Även symmetriska antenner kan ha strömmar på utsidan av matarledningen. Dra därför matarledningen så långt bort från människor som möjligt.
- Använd inte effektförstärkare eller antennavstämningseenhet utan hölje då fältstyrkorna runt utrustningen kan nå höga nivåer.
- Vid antennplaceringar nära människor så kan det vara omöjligt att använda hög effekt.

Det finns som synes många sätt att göra rätt men också många sätt att göra fel när det gäller att hantera den fältstyrka vi vill generera för att upprätthålla radiokommunikation.

Innan man börjar sin amatörradiosändning är det viktigt att ha förståelse för de fält som genereras och kunna begränsa dem där så behövs.

Detta ämne är mycket komplicerat och omfattande då det krävs hög utbildning inom främst matematik och antenteori för att förstå alla detaljer. Detta innebär att det finns stort utrymme för vidareutbildning inom området om man vill fördjupa sig mer.

Referenser

1999/519/EG, Rådets rekommendation av den 12 juli 1999 om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält (0 Hz-300 GHz)

SSMFS 2008:18, Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält

OET Bulletin 65 Supplement B, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, *Additional Information for Amateur Radio Stations*