

# MOBIL KOMMUNIKATION OCH RADIOVÅGOR – TEKNIK OCH HÄLSA

De första mobiltelefonsystemen byggdes redan på 50-talet och användes endast för talsamtal från bilar med stora radioutrustningar i bakluckan. I dag använder vi systemen för en rad olika saker som att styra drönare och självgående fordon i gruvor, kommunicera med robotgräsklippare och larmutrustning, betala räkningar och boka biljetter, och koppla upp hushåll till internet på platser där det inte går att bygga fibernät till rimliga priser. Fler i hela världen får tillgång till internet och alla dess tjänster tack vare de mobila näten. Från att ha varit en "lyxprodukt" för ett fåtal utvalda är fler och fler livsviktiga system uppkopplade via mobilnäten och det har blivit så billigt att man kan erbjuda täckning nästan var som helst.

I den här skriften beskrivs hur mobilkommunikation används idag och hur den kan komma att utvecklas i framtiden, men framför allt belyses de frågor och funderingar som finns kring hur vi människor exponeras för de radiovågor som används och vad forskningen lärt oss om eventuella hälsorisker.

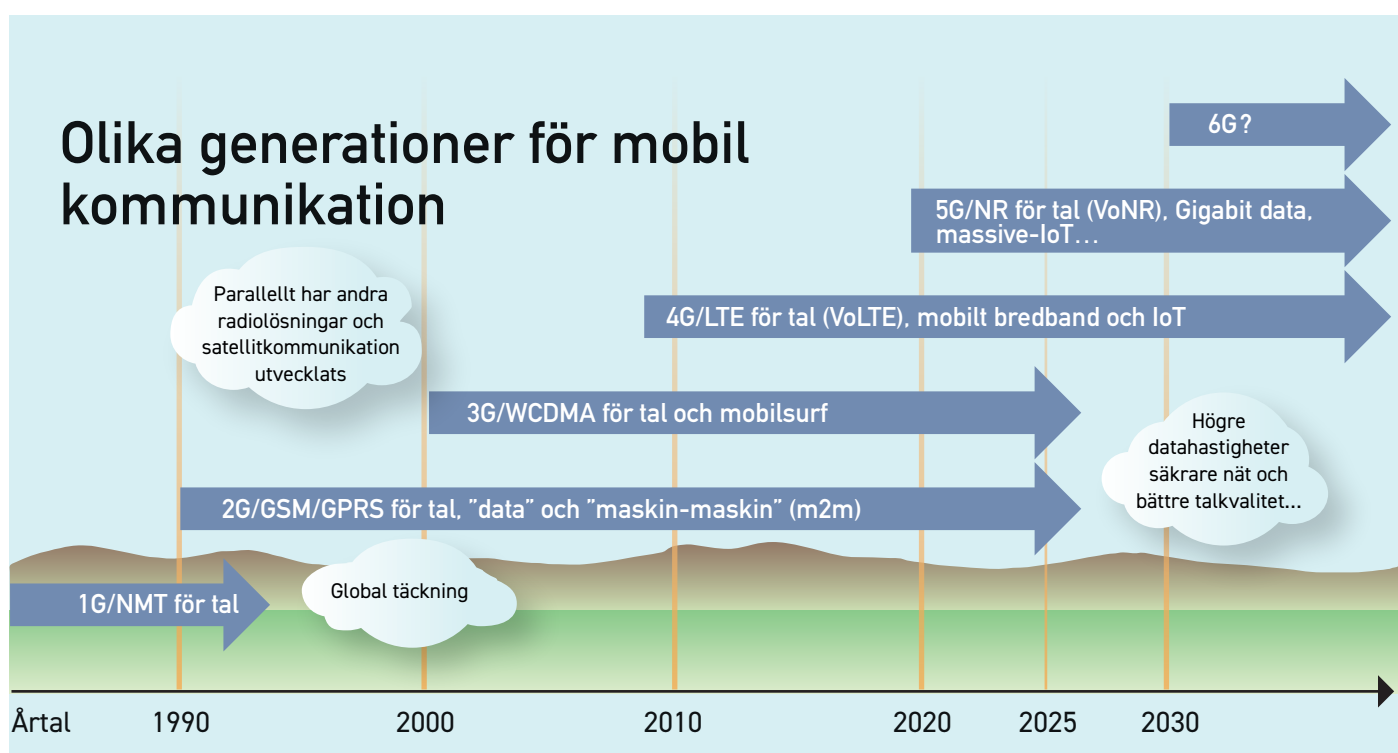


Mobiltelefoni fanns redan på 50-talet men det dröjde ända till 80-talet innan de första systemen som fungerade i flera länder lanserades. De systemen brukar oftast kallas 1G, det vill säga första generationens system, och i Norden hette den tekniken (och systemet) Nordisk Mobiltelefoni eller NMT. Näten byggde på helt analoga radiotekniker men använde sig av avancerad signalering för att koppla upp samtal och hålla dem uppkopplade helt automatiskt. Alla olika 1G-nät i världen ersattes 10 år senare av andra generationens system, 2G, som baserades på digitala radiotekniker för att kunna erbjuda bättre kapacitet och även introducera datatjänster i mobilnäten. I Europa valde man GSM-systemet som gemensam standard och väldigt snart började fler och fler länder utanför Europa också använda GSM så att det så småningom blev en global de facto-standard och vi kunde börja använda våra telefoner var som helst i världen.

När sedan 3G lanserades runt år 2000 var det redan från början en global standard baserad på en teknik som kallas WCDMA. Vi fick ytter-

ligare bättre möjligheter till datatjänster i våra mobiltelefoner och datahastigheterna var till och med så höga att vi började ersätta våra bredbandsuppkopplingar med mobila lösningar. I december 2009 lanserades världens första 4G-nät samtidigt i Sverige och Norge, baserade på den globala LTE-standard. 4G är i sig ett helt IP-baserat system vilket har gjort det väldigt effektivt för att ersätta eller komplettera de fasta fibernäten som utvecklats parallellt. Nu kan man ta nästan vilken tjänst eller lösning som helst som fungerar över fiber och erbjuda samma tjänst över mobilnäten. TV-bolagen ersatte satellituppkopplingar från sina sändningsbussar, tågen fick bra Wi-Fi ombord och många människor som bor på landsbygden fick ordentliga bredbandsuppkopplingar och tillgång till internet.

År 2020 lanserades de första 5G-tjänsterna i Sverige och återigen har hastigheterna och funktionaliteten uppgraderats och nu kan man styra robotar, drönare och annan uppkopplad utrustning genom mobilnäten. Även om den nya



Figur 1. Historisk utveckling av olika generationer för mobil kommunikation.

tekniken precis har lanserats så har man runt om i världen redan börjat planera för nästa generations system, 6G, som förväntas introduceras någon gång kring 2030. Fem år innan dess räknar man med att de sista 2G- och 3G-näten stängs av.

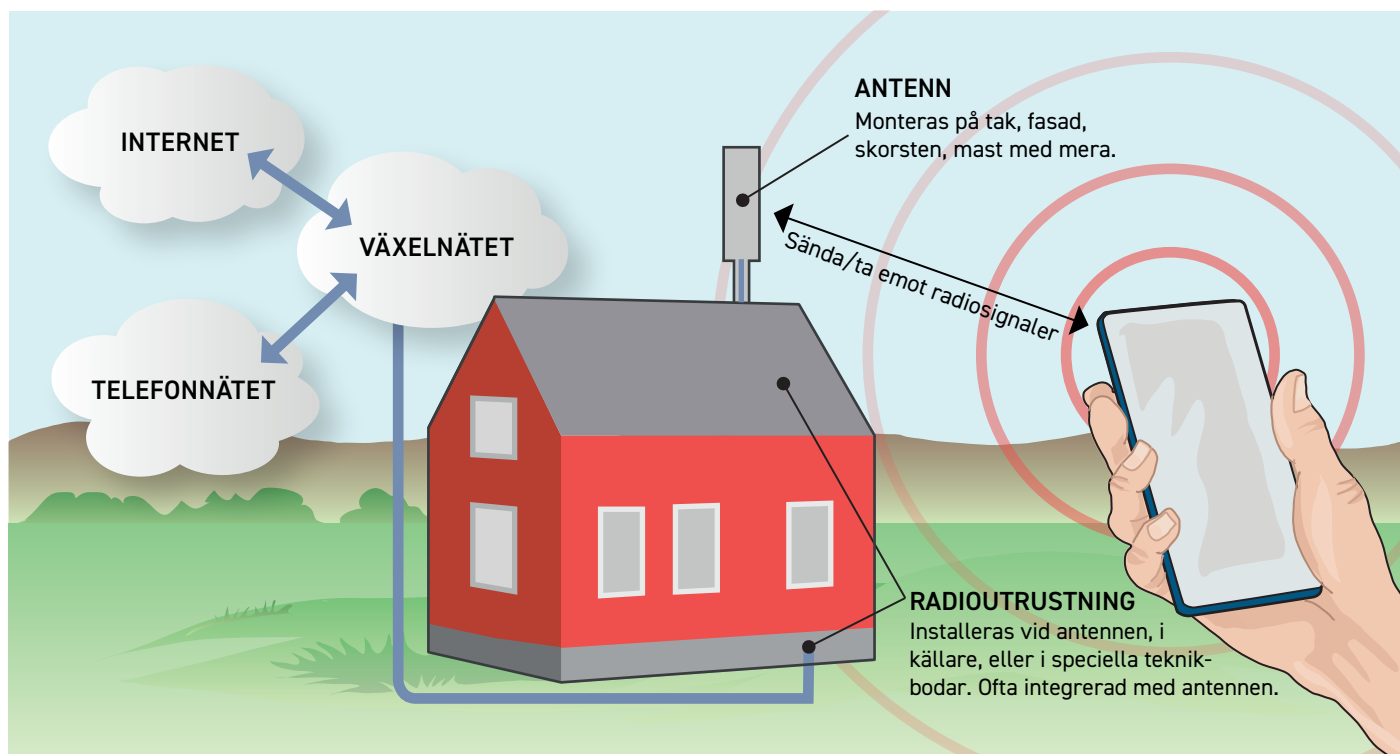
### SÅ HÄR FUNGERAR DET

Oavsett om vi pratar om 2G eller 5G så fungerar i grunden alla mobilsystem ungefär likadant. Förutom att uppkopplade produkter, till exempel mobiltelefoner, innehåller en sändare och en mottagare så behövs det så kallade basstationer som kopplar ihop prylarna/telefonerna med internet med hjälp av radiosignaler. Med hjälp av avancerad teknik så kan mottagaren i basstationen och i telefonerna ta emot svaga radiosignaler och urskilja rätt signaler bland alla andra som finns i luften. En viktig del i den utveckling som skett mellan de olika generationernas system är just hur man med signalbehandling på bästa sätt kan urskilja de rätta signalerna.

Mobiltelefonsystemen idag använder många olika frekvensband, från 450 MHz till 3,5 GHz och i

vissa länder till och med 24–40 GHz. De högre frekvensbanden har oftast även större bandbredd (frekvensomfång) vilket ger ytterligare kapacitet. För 4G och 5G, planerar man att använda alla de olika frekvensband som myndigheterna gett tillstånd till. För att öka kapaciteten ytterligare, förväntas 2G- och 3G-näten därför stängas senast under 2025 i Sverige för att dess frekvensband ska kunna användas till 5G i stället.

Operatörerna som bygger näten använder de frekvensband som på bästa sätt kombinerar bra täckning och hög kapacitet, det vill säga många användare eller hög datahastighet, beroende på hur man förväntar sig att de ska användas. De kan dessutom kombinera ihop olika band för en användare för att höja kapaciteten. I glesbefolkade områden, där det inte behövs lika mycket kapacitet, använder man färre basstationer och lägre frekvenser, till exempel 700 MHz som kan täcka ett större område. Inne i städer där det är viktigast med hög kapacitet använder man oftast högre frekvenser, till exempel 2,6 GHz och 3,5 GHz med kort avstånd mellan basstationerna.



Figur 2. Mobil kommunikation - så fungerar det i praktiken.



Dagens basstationsutrustningar kan användas för flera av de frekvensband som operatörerna fått tillgång till. Operatörerna behöver därför inte byta utrustning eller bygga nya basstationsplatser när de ska utöka kapaciteten genom att tillföra nya frekvensband. Eftersom det är dyrt att hyra plats för basstationer så försöker operatörerna bygga så få basstationer som möjligt men utrusta dem med hög kapacitet. Samtidigt är elförsörjningen av en basstation dyr och operatörerna försöker att använda så lite eleffekt som möjligt. Det gör de genom att basstationerna anpassar den utsända effekten till att vara så låg som möjligt och genom att minimera sändningen då ingen använder basstationen.

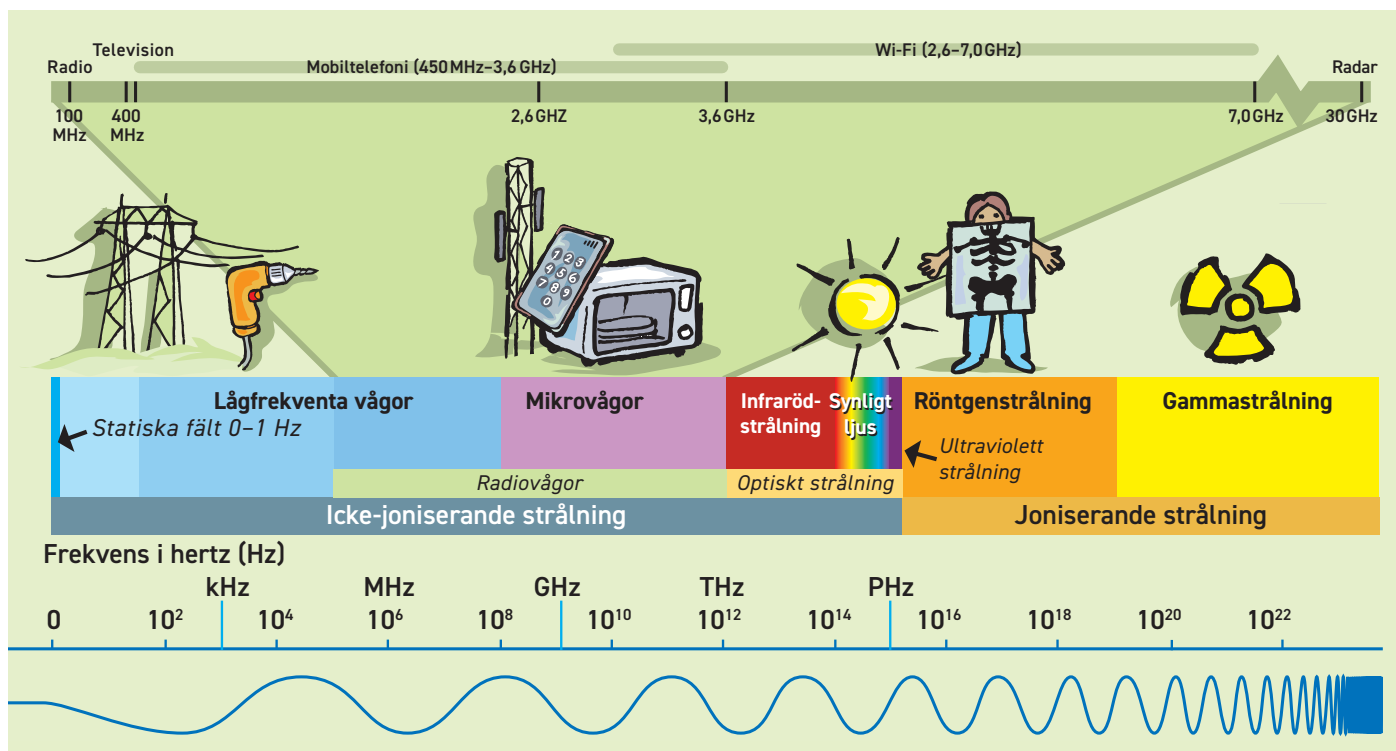
För att förbättra täckningen och kapaciteten kan man även använda sig av mer avancerad antennteknik. Med 5G introduceras till exempel så kallad "massive MIMO" (mMIMO), där man använder sig av basstationsantennerna som egentligen består av många små antenner som tar emot alla olika signaler,

### FAKTA OM RADIOVÅGOR

I det elektromagnetiska spektrumet ingår både icke-joniserande strålning och joniserande strålning. Om man förflyttar sig till höger i spektrumet ökar energin och också frekvensen hos strålningen och blir till sist så pass hög att jonisationer är möjliga. Joniserande strålning kan orsaka skador i celler genom jonisationer av atomer, vilket inte icke-joniserande strålning såsom till exempel radiovågor kan göra. Icke-joniserande strålning kan dock vid hög intensitet orsaka andra hälsoeffekter och för radiovågor handlar det om uppvärmningseffekter som orsakas av att radiovågor tränger in i exponerad vävnad till ett djup som beror på frekvensen och vävnadens elektriska egenskaper – upp till några centimeter vid de frekvenser som utnyttjas av mobiltelefoner.

Radiovågornas intensitet avtar snabbt med avståndet, man brukar beskriva det som att om man fördubblar avståndet till till exempel en basstation så kommer exponeringen att sjunka till ungefär en fjärdedel. Det betyder att exponeringen avtar kvadratisk med avståndet.

Radiovågornas frekvens påverkar hur djupt in i vävnaden fältet når. Ju högre frekvens, desto ytligare absorption. Är frekvensen riktigt låg som till exempel hos lågfrekventa magnetfält i vår omgivning med frekvens kring 50 Hz passerar fältet lätt igenom kroppen. Radiovågor från mobiltelefoner absorberas ytligare, till exempel är inträngningsdjupet cirka 2,4 cm vid 450 MHz, 1 cm vid 3500 MHz och cirka 1 mm vid 26 GHz.



Figur 3. Det elektromagnetiska spektrumet.

#### FAKTA OM MOBILTELEFONERS UTEFFEKT

Teknologi	Högsta uteffekt (mW)	Typisk uteffekt i förhållande till den maximala
2G (GSM)	125-250 mW	20–50 %
3G (WCDMA)	250 mW	1–2 %
4G (LTE)	200 mW	1–2 %
5G (NR)	200 mW	1–2 %

de som gått direkt från till exempel mobiltelefonen och de som studsat på till exempel husväggar innan de når basstationen. Med högre frekvenser blir antennerna dessutom mindre och man kan ha en mängd små antenner i ett hölje som ser ut att vara lika stort eller mindre än de gamla antennerna.

Med mMIMO-antennerna behöver man inte bygga basstationerna tätare utan kan utnyttja de basstationsplatser man redan använder idag. En annan närbesläktad teknik som används är så kallad "beamforming", det vill säga att man ser till att radiovågorna från basstationen till respektive användare endast sänds ut i den riktning som ger bäst signal för användaren. Samtidigt som förutsättningarna förbättras för användarna minskar utsänd effekt i alla andra riktningar där ingen användare finns. Riktningen för utsänd effekt ändras under delar av sekunder för alla uppkopplade användare inom basstationens täckningsområde.

#### MOBILTELEFONER OCH ANNAN UPPKOPPLAD UTRUSTNING

Som nämns ovan så använder basstationer, mobiltelefoner och annan utrustning som är uppkopplade i mobilnäten en stor mängd olika frekvensband, från 450 MHz till cirka 3,5 GHz och snart i Sverige också 26 GHz. Dessutom används en mängd olika tekniker i en mobiltelefon förutom de som kommunicerar med basstationerna. De flesta telefoner idag har möjlighet till uppkoppling mot Wi-Fi-nät, Blue-

tooth för hörlurar, så kallad närfältskommunikation (NFC) för betalningar etc och så klart 2G/3G/4G och 5G-teknikerna. Alla dessa tekniker använder någon av de radiofrekvenser som nämns ovan. Detta innebär också att dagens telefoner har flera olika antenner, placerade runt om i telefonen. Oberoende av vilket system som är uppkopplat så använder telefonen låg uteffekt, typiskt mindre än några mW.

Ett viktigt mål för operatörerna är som sagt att både basstationer och telefoner ska sända med så låg effekt som är möjligt. Det görs bland

#### FAKTA OM ATT MÄTA RADIOVÅGOR

Vid mätningar av radiovågor i omgivningen mäter man det elektriska och det magnetiska fältet var för sig med olika typer av mätinstrument. Det är viktigt att instrumentet man använder är avpassat till det aktuella frekvensområdet. Om frekvensen är hög och avståndet till källan är stort i förhållande till våglängden kommer de elektriska och magnetiska fälten att vara tydligt kopplade till varandra och man kan i stället mäta effekttätheten i watt per kvadratmeter ( $W/m^2$ ). Mätning eller beräkning av fältstyrka eller effekttäthet är ett alternativ till att bestämma SAR-värden som är en betydligt mer komplicerad process då det handlar om hur mycket av effekten som absorberas i kroppen. För detta krävs antingen numeriska beräkningar och simuleringar eller mätningar i en fantom som motsvarar hela eller delar av människokroppen.

Eftersom gränsvärdena är tidsmedelvärden, behöver man också ta hänsyn till detta vid själva mätningen eftersom nivån av radiovågor kan variera över tid. Det är dock ganska vanligt att man mäter det högsta värdet som ett maximalt fall och då till viss del överskattar exponeringen något i förhållande till gränsvärdet.

annat för att telefonernas batteri ska räcka längre, för att minska störningar så att kapaciteten inom täckningsområdet kan öka och för att spara elkostnader för operatörerna.

Mobiltelefoner och annan utrustning som är uppkopplad mot de mobila näten sänder med låg effekt, maximalt 0,25 watt (250 mW). De sänder inte radiosignaler hela tiden utan endast då data behöver överföras, exempelvis då ett meddelande skickas, ett samtal genomförs eller en bild laddas upp till sociala medier. Själva sändningen är inte kontinuerlig utan data skickas oftast i pulser, vars längd beror på tekniken som används och mängden data som behöver skickas. 3G, 4G och 5G har mycket effektiv effektreglering och använder ofta extremt låg sändningseffekt. I faktarutan om telefonernas uteffekter visas typiska uteffekter för de olika teknikerna. Mätningar har visat att i medeltal är uteffekten endast någon procent av den maximala.

Användaren av en mobiltelefon exponeras för en del av radiosignalerna som sänds ut från antennerna. Ju närmare kroppen apparaten hålls, desto högre är exponeringen i de flesta fall. Det finns gränsvärden för hur mycket av energin i radiosignalen som får tas upp i en liten del av kroppen (10 gram vävnad).

Temperaturökningen i vävnaden beror på effekten och ofta används "Specific Absorption Rate" (SAR) som mäts i watt per kilogram vävnad som ett mått på hur stor temperaturökningen kan bli. Om temperaturökningen blir för stor i kroppen kan man få feber eller brännskador så därför regleras exponering för radiovågor av gränsvärden som är satta med marginal för att skydda för just detta. Det betyder att alla produkter, som sänder ut radiovågor till exempel mobiltelefoner och basstationer, måste uppfylla de gränsvärden som gäller. Eftersom temperaturökningen också påverkas av kroppens termoregulatoriska system som relativt effektivt kan

#### FAKTA OM SAR-VÄRDET

Det så kallade SAR-gränsvärdet (SAR = Specific Absorption Rate) är 2 W/kg och betyder att högst 20 mW får tas upp i 10 gram kroppsvävnad. Eftersom uteffekten i de allra flesta fall är betydligt lägre än 20 mW och endast en liten del av effekten tas upp i kroppen så är exponeringen oftast mycket lägre än SAR-gränsvärdet vid användning av en mobiltelefon. Tester görs dock vid den maximala uteffekten och vid användning direkt mot örat eller nära kroppen för att säkerställa att exponeringen inte ens i extrema fall kan nå gränsvärdet. Internationella standarder beskriver hur dessa SAR-mätningar ska utföras och sådana krävs för att produkten ska få säljas på marknaden.

transportera bort värme ska absorptionen av radiovågor beräknas över en 6-minutersperiod, ett så kallat tidsmedelvärde.

#### BASSTATIONERNA

Basstationerna sänder också med relativt låg uteffekt. Den maximala effekten varierar från mindre än 1 watt för basstationer som används i kontor och andra inomhusmiljöer, upp till några hundra watt för basstationer i master och på höga byggnader vilka används för att ge täckning i större områden.

Den verkliga uteffekten beror på hur många användare som är uppkopplade och hur mycket data som skickas till dessa, och är vanligtvis avsevärt lägre än den maximala. Antennerna som används med de större basstationerna har i allmänhet större riktverkan (Figur 4), och radiosignalerna sänds främst bort från masten eller byggnaden och inte nedåt. Radiovågsexponering som basstationerna ger upphov till beror på uteffekten, riktningen och avståndet till antennerna. Tillverkarna av basstationsutrustningen tillhandahåller så kallade driftzoner som beskriver områden runt antennerna utanför vilka radiovågsexponeringen alltid är lägre än de gränsvärden (referensnivåer) för allmänheten och arbetare som föreskrivs av myndigheterna. Operatörerna anpassar uteffek-

ten från basstationerna så att man med säkerhet inte överskrider gränsvärdena på platser där människor kan vistas. Figur 5 visar ett exempel på driftzoner för en basstation för 2G, 3G, 4G och 5G som är installerad på ett hustak i stadsmiljö. Normalt ligger nivåerna på marken runt en basstation lägre än cirka 1 procent av gränsvärdena. I basstationer som placeras högt upp i höga master kan man använda högre effekter än till exempel inomhus där basstationen normalt sänder med ungefär samma effekt som en telefon. Från dessa basstationer är man under gränsvärdena redan någon centimeter från antennen.

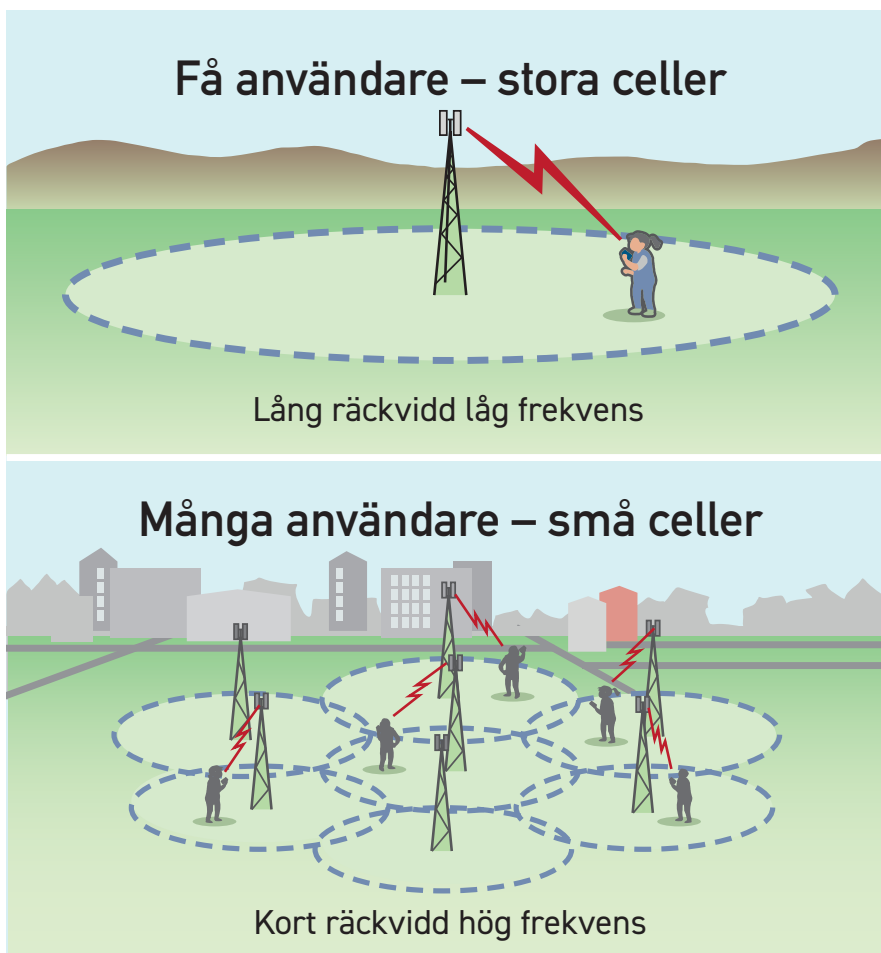
Strålsäkerhetsmyndigheten genomförde 2012 till 2020 nära 300 000 mätningar av exponering för radiovågor runt om i Sverige. Resultatet visar att mätvärdena vanligtvis är lägre än en tusendel av referensvärdet (se vidare faktaruta om gränsvärden). Större tätorter har högre exponering för radiovågor, främst från basstationer för mobiltelefoni, och det finns ett tydligt samband mellan befolkningstäthet och exponering. Expo-

### FAKTA OM GRÄNSVÄRDEN

Det är flera olika regelverk som begränsar exponeringen från mobiltelefonsystemen: ett som rör själva telefonen och ett som rör exponering från basstationer. För mobiltelefoner gäller en produktstandard som anger hur mycket av energin i radiosignalen som fås tas upp i en liten del av kroppen (10 gram vävnad). Det så kallade SAR-gränsvärdet (SAR = Specific Absorption Rate) är 2 W/kg och betyder att högst 20 mW får tas upp i 10 gram kroppsvävnad. Detta värde kommer från de riktlinjer som ICNIRP angav 1998 (och uppdaterade 2020) som högsta tillåtna värde för allmänheten, och det har gällt som standard för telefoner som får säljas i EU. I USA gäller ett något annorlunda värde på 1,6 W/kg men då över endast 1 gram vävnad. Tillverkaren ska kontrollera att mobiltelefonerna uppfyller kraven innan de kommer ut på marknaden.

För exponering från till exempel en basstation för mobiltelefoni gäller för yrkesmässig exponering en föreskrift från Arbetsmiljöverket som är baserat på ett EU direktiv från 2013. Exponering för allmänheten regleras av en föreskrift från Strålsäkerhetsmyndigheten från 2008. För yrkesmässig exponering tillåts ett helkroppsmedelvärde på 0,4 W/kg tidsmedelvärdesbildat över en 6-minuters period och för allmänheten tillkommer en säkerhetsfaktor 5 så värdet blir 0,08 W/kg. Dessa värden omvandlas sedan till insatsvärden för elektriska och magnetiska fält vilka är mätbara storheter.

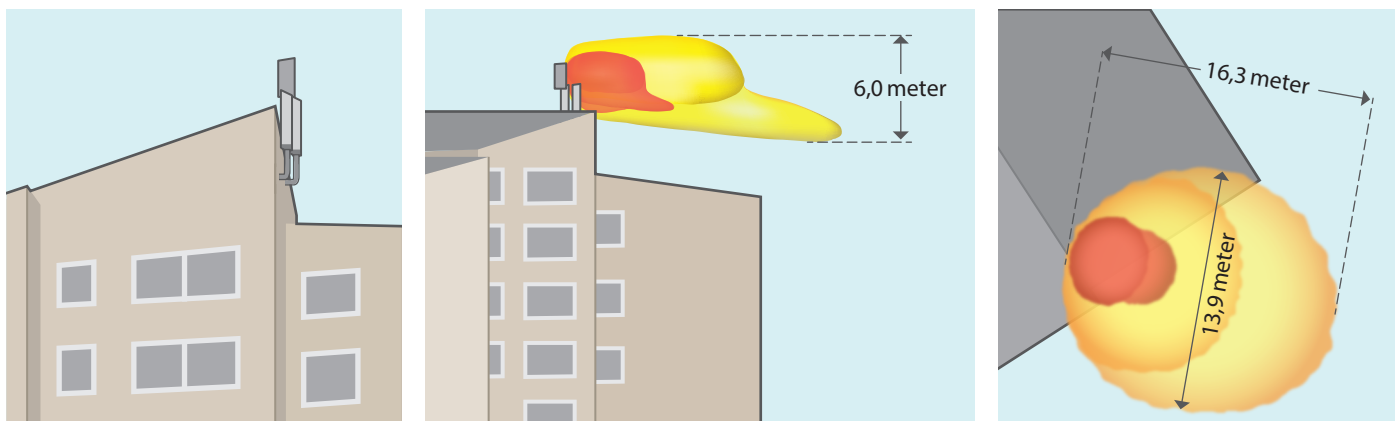
Gränsvärdena bygger på internationella rekommendationer och EU-direktiv och är förhållandevis lika över hela världen. Inom större delen av frekvensområdet (100 kHz – 10 GHz) regleras SAR-värdet och för högre frekvenser (10 GHz–300 GHz) regleras hur stor effekt som får träffa kroppens yta ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), det senare på grund av att radiovågor/mikrovågor med högre frekvenser inte tränger in i kroppen, utan absorberas ytligt i huden.



Figur 4. Exempel på räckvidd från olika typer av basstationer.

neringsnivåerna har ökat de senaste åren främst i tätorter, vilket till stor del beror på utbyggnaden av mobilnäten. På enstaka allmänna platser börjar nivåerna närma sig referensvärdet. Det är dock fortfarande ovanligt och förekommer än

så länge bara i undantagsfall. Den högsta nivå myndigheten har mätt var på Järntorget i Stockholm hösten 2019. Exponeringen var där cirka 20 procent av referensvärdet vilket berodde på en lågt placerad basstationsantenn.



Figur 5. Driftzoner för en basstation för 2G, 3G, 4G och 5G för allmänheten (gul) respektive yrkesmässigt (röd) från sidan respektive uppifrån.

## TERMER OCH BEGREPP

**Radiovågor:** Elektromagnetiska fält med frekvens inom området 3 kHz till 300 GHz

**Mikrovågor:** Radiovågor med högre frekvens (GHz)

**Frekvens:** Hur snabbt det elektromagnetiska fältet svänger per sekund, mäts i hertz (Hz).  
1 MHz = 1 000 000 Hz. 1 GHz = 1 000 000 000 Hz

**Effekt:** Hur mycket energi som omvandlas per sekund, mäts i watt (W)

**SAR:** Specific Absorption Rate. Energi per tidsenhet som absorberas i vävnaden, mäts i watt per kilogram (W/kg)

**Effektthet:** Mått enhet för radiovågor som anger effekten per yta, dvs watt per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>)

**Massive MIMO (mMIMO):** Antennteknik som kombinerar signalen från många olika antennelement, såväl vertikala som horisontella, kopplade till olika sändare/mottagare i basstationen för att få bättre signal och högre datahastigheter

**Driftzon:** Det område framför en basstationsantenn där gränsvärdena kan komma att överskridas och allmänheten resp yrkesverksamma inte ska kunna vistas.

**Elektrisk fältstyrka:** Anger storleken på det elektriska fältet, mäts i volt per meter (V/m)

**Magnetisk fältstyrka:** Anger storleken på magnetfältet, mäts i ampere per meter (A/m), ibland anges magnetisk flödestäthet som mäts i mikrottesla  $\mu T$ . 1 A/m  $\sim$  1,25  $\mu T$  i luft.

## HÄLSOEFFEKTER AV RADIOVÅGOR

Ett antal expertorgan har under det senaste decenniet utvärderat eventuella hälsoeffekter av radiovågor. Utvärderingarna bygger på analys av publicerade vetenskapliga arbeten och kan skilja sig åt avseende den tidsrymd som studierna omfattar, de biologiska och medicinska variabler som inkluderats, samt omfattningen av den litteratur som utvärderingarna baseras på. Trots dessa skillnader i arbetssätt har mer eller mindre samtliga dessa utvärderingar kommit till liknande slutsatser. Den sammanfattande bedömningen är att radiovågor från mobiltelefoner och andra mobila kommunikationsredskap eller de tillhörande sändaranläggningarna inte utgör någon fara för mänsklig hälsa så länge exponeringar befinner sig under de maximala värden som rekommenderas av ICNIRP.

Vissa av utvärderingarna har noterat biologiska effekter vid exponeringar i nivå med gränsvärdena, framför allt rörande några specifika effekter på hjärnan, på så kallad oxidativ stress och på cellmembran i cellstudier. Trots



det har ingen av expertbedömningarna dragit slutsatsen att sådana effekter medför negativa hälsoeffekter. Flera av bedömningarna betonar dock att det finns oklarheter om eventuella långtidseffekter och att det inte finns kända verkansmekanismer som skulle kunna förklara sådana effekter. Därför har också rekommendationer rörande fortsatt forskningsbehov publicerats. Trots det relativt stora antal studier som publicerats fastslår flera expertorgan också att många publicerade arbeten inte kan bidra till säkerhetsbedömningar då de brister i studieansats och kvalitet i genomförandet.

## RISK OCH RISKBEDÖMNING

För att bedöma hälsorelaterade effekter av ett kemiskt ämne eller ett fysikalisk exponering integreras vanligen studieresultat från olika områden: studier på människor, djur, celler och datorbaserade modelleringsstudier.

Baserat på ovannämnda typer av studier och med fokus på de angivna hälsorelaterade tillstånden har expertgrupperna utfört dels en bedömning av faropotentialen, och dels en riskbedömning. I princip föreligger en hälsorisk endast om ett farligt ämne eller ett farligt fysikaliskt agens förekommer i en tillräckligt hög dos.

## SAMMANFATTNING AV RISKER FÖR UPPKOMST AV HÄLSOEFFEKTER

När det gäller cancer anser de olika expertgrupperna att det för närvarande finns "otillräckliga epidemiologiska bevis" för ett samband med användning av mobiltelefoner eller exponering för radiovågor från sändare. Det gäller i olika typer av tumörer i huvudet och leukemi, hos såväl vuxna som hos barn och unga personer. Sporadiskt observerade samband, vilka huvudsakligen noterades på personer som använde de första två generationerna av mobiltelefoni, är inte förenliga med faktumet att sjukdomsfrekvensen inte har ökat under de senaste åren, vilket man skulle kunna

förvänta sig om mobiltelefonanvändning var en tumörrisk. Med de tillgängliga uppgifterna kan man dock inte helt utesluta små risker, särskilt inte vid långvarig och intensiv användning av mobiltelefoner eller i samband med sällsynta tumörer. Djurförsök och cellstudier ger inte heller några övertygande bevis för cancerframkallande effekter av radiovågor.

Beteendeeffekter och kognitiva funktioner tillhör också de bäst undersökta tillstånden. När det gäller beteendeeffekter bedöms bevisen från epidemiologiska studier som otillräckliga för att kunna dra vittgående slutsatser, även om det finns bevis för att beteendeproblem leder till ökad användning av mobiltelefoner och inte tvärtom. Ibland är de observerade sambanden inkonsekventa och visar på både skadliga och möjligtvis

### PUBLICERADE UTVÄRDERINGAR

Översikt av publicerade utvärderingar rörande RF-EMF och hälsoeffekter utförda av expertgrupper utsedda av nationella eller internationella offentliga institutioner under perioden 2011–2022.

**AGNIR** (Advisory Group on Non-ionising Radiation), Storbritannien) 2012.

**ANSES** (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail), Frankrike. 2013, 2016, 2018 och 2019.

**ARPANSA** (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency), Australien. 2014.

**FDA** (Food and Drug Administration), USA. 2020.

**Health Council of the Netherlands**, Nederländerna. 2014, 2016, 2020.

**Norwegian Institute of Public Health**, Norge. 2012.

**SCENIHR/SCHEER** (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks/Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Health Risks). 2015 och 2022.

**SSK** (Strahlenschutzkommission), Tyskland. 2011 och 2022.

**SSM** (Strålsäkerhetsmyndigheten), Sverige. 2013, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019, 2020 och 2021.

**UVEK** (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation), Schweiz. 2019.

godartade effekter. Det är oklart om det rör sig om tillfälliga upptäckter eller om det är så kallad "bias" i undersökningsresultaten som är orsaken till dessa isolerade observationer.

Det finns många experimentella studier på människor rörande kognitiva funktioner. Effekter har observerats i ungefär en tredjedel av alla experimentella studier på människor. Dessa effekter gäller olika kognitiva funktioner som testats med olika tester och under olika förhållanden. På grund av de få "positiva" studierna och deras heterogena genomförande klassificeras bevisningen som "otillräcklig/begränsad" av expertgrupperna. Dessutom observerades effekter i olika riktningar. Ungefär hälften av studierna med effekter visade på en försämring av den kognitiva förmågan, medan den andra hälften beskriver en förbättring.

En utvärdering av radiovågors möjliga påverkan på den elektriska hjärnaktiviteten görs för olika aktiveringstillstånd i hjärnan, till exempel när hjärnan är i viloläge (sömn) eller om hjärnan är i avslappnat eller aktiverat vakenstillstånd. Några studier har visat på effekter på EEG-mönster och på sömnstruktur, men studieresultaten är inte konsekventa. Studierna har många metodologiska skillnader vilket kan ha lett till inkonsekventa resultat. Huruvida de

observerade effekterna på EEG är relevanta för hälsan, och i så fall om de är positiva eller negativa, beror på sammanhanget för studien. Några klara slutsatser kan inte dras i nuläget.

Det finns inga bevis för akuta effekter på människors autonoma nervsystem och hjärtakär. Det finns endast ett fåtal epidemiologiska studier om långtidseffekter och bevisen anses vara "otillräckliga".

På grund av de få epidemiologiska studierna om neurodegenerativa sjukdomar bedöms bevisen för en risk i detta avseende som "otillräckliga". Majoriteten av djurstudier visade ingen effekt eller positiva effekter på minnet och olika relevanta biomarkörer, vilket tolkas som att det är mest troligt att det inte finns någon effekt.

Experimentella studier på människor har inte visat att akuta symtom uppstår i samband med radiovågsexponering. Ett eventuellt samband har undersökts i många studier, varav vissa omfattade personer som uppgav att de var särskilt känsliga för sådana fält. Däremot är förekomsten av så kallade placebo-effekter i experimentella studier oomtvistad. Det innebär att när personer förväntar sig att bli exponerade rapporterar de fler symtom. Om radiovågseffekterna var lika uttalade som placebo-effekterna skulle de ha kunnat bevisas utan tvekan. När det gäller långtids-



effekter bedöms bevisningen som "otillräcklig". Symtom, särskilt huvudvärk, i samband med användning av mobiltelefoner har observerats i flera studier, men bedöms bero på stress hos mobiltelefonanvändare snarare än på radiovågor.

Det epidemiologiska underlaget för en effekt på fertiliteten har bedömts som "otillräckligt". Det finns knappt några studier om kvinnors fertilitet. När det gäller mäns fertilitet finns det i flera studier ett samband, särskilt när det gäller minskad spermierörlighet. Kvaliteten på dessa studier är dock så låg att inga slutsatser kan dras om effekten av radiovågor. De få epidemiologiska studierna om fosterutveckling visar inte på några samband i detta avseende.

Studierna om skador på DNA (så kallad genotoxicitet) efter exponering för radiovågor är inte samstämmiga. Några få epidemiologiska studier visar på gentoxiska effekter, men studiernas kvalitet är ofta bristfällig. Vissa djur- och cellstudier visar på gentoxiska effekter, oftast vid exponeringar över gränsvärdena. Majoriteten av de tillgängliga, relevanta studierna ser dock inte något samband mellan exponering för radiovågor under gränsvärdena och DNA-skador.

Fria radikaler är mycket reaktiva syreformer (ROS) som uppstår som mellanprodukter i

ämnesomsättningen. Kroppens antioxidanter neutraliserar eller rensar bort de fria radikalerna. Så kallad oxidativ stress uppstår när balansen mellan dessa molekyler inte längre finns och koncentrationen av ROS ökar. Ett stort antal djur- och cellstudier visar att oxidativ stress induceras efter exponering för radiovågor. Den biologiska och hälsomässiga relevansen av dessa effekter är oklar.

### **KUNSKAPSLUCKOR OCH FORSKNINGSBEHOV FÖR EFFEKTER AV FÄLT MED HÖGRE FREKVENSER**

5G finns i två olika frekvensområden, ett med lägre frekvenser som redan nu används för mobil kommunikation och trådlösa nätverk, och ett med högre frekvenser ("millimetervågor") som tidigare inte använts för allmänt bruk. I den mån radiovågs-exponering från 5G-system har unika riskegenskaper är det i så fall i det högre frekvenserna. Effekter på biologiska system och i synnerhet hälsoeffekter har dock i mycket liten grad studerats avseende dessa frekvenser. De studier som hittills är gjorda är få, och är inte nödvändigtvis lämpade för riskbedömningar. Därmed är underlaget för en specifik riskbedömning otillräckligt.

Exponering hos människor från 5G-enheter med högre frekvenser utsätter främst huden och i mindre utsträckning ögonen. Därför är det viktigt att undersöka om det finns några hälsorelaterade effekter på huden och/eller effekter som är förknippade med detta organ. Eftersom många 5G-enheter kommer att installeras i miljön är det också viktigt att undersöka hur millimetervågor påverkar organismer som insekter, växter, svampar och bakterier. Generellt har få studier genomförts som studerar effekter av radiovågor som används för mobil telekommunikation på organismer i deras livsmiljö. Särskilt relevant är frågan om temperaturökning i mycket små organismer, eftersom millimetervågors penetrationsdjup kan värma upp hela organismen.

#### **FAKTA OM RADIOVÅGORS PÅVERKAN PÅ BIOLOGISKT MATERIAL**

Det är klarlagt i många studier utförda i laboratorier att radiovågsexponering kan orsaka så kallad dielektrisk uppvärmning i celler och vävnader från alla typer av organismer. Uppvärmningen är proportionell till den mängd energi som tillförs och kan orsaka en temperaturökning i organismer eller enskilda celler. En högre temperatur har i sin tur olika biologiska effekter, beroende på magnitud och vilken celltyp, vävnad eller organism som är utsatt för exponeringen. Dessa effekter är vad man kallar termiska och välkända sedan många decennier. Effekter av RF-EMF vid frekvenser som används för mobiltelefoni och som inte kan hänföras till dielektrisk uppvärmning är omdiskuterade och inte belagda i experimentellt väl genomförda studier.

## SAMMANFATTNING

I dag finns fler mobiltelefoner än människor på jorden. Mobiltelefonsystem har funnits i flera decennier och är vanligt förekommande sen åtminstone 1990-talet i Sverige. Under denna period har flera "generationer" mobiltelefonsystem införts och vi är i dag i full färd med att införa den femte generationen, 5G. Själva telefonen använder sig av radiovågor för kommunikation med en basstation som kan sända och ta emot signaler från andra telefoner eller andra enheter som också kommunicerar med radiosignaler. Generationerna 1G–4G har använts sig av många frekvenser från 450 MHz till cirka 3,5 GHz. För 5G kommer en del av de lägre frekvenserna också fortsättningsvis att användas, men också högre frekvenser, bland annat planerar både Sverige och andra länder att använda frekvenser runt 26 GHz. Med hjälp av förbättrad antennteknik kommer effektivitet och kapacitet i mobiltelefonsystemen att nå en högre nivå som möjliggör att betydligt mer data kan överföras jämfört med tidigare system.

För både gemene man och för de som arbetar med radiovågor finns det olika regelverk som begränsar exponeringen från mobiltelefonsy-

stemen, så kallade "gränsvärden" för exponering har formulerats som både apparattillverkare och operatörer måste förhålla sig till. Gränsvärdena bygger på internationella rekommendationer och EU-direktiv och är förhållandevis lika över hela världen. Dessa värden är satta till en exponeringsnivå långt under de som kan orsaka säkerställda negativa hälsoeffekter.

En stor mängd studier har undersökt om exponering för radiovågor av den typ som hittills använts för mobiltelefoni innebär en hälsorisk. Många både internationella och nationella expertorgan har granskat tillgängliga vetenskapliga studier och dragit slutsatsen att radiovågor från mobiltelefonsystem inte utgör någon fara för människans hälsa så länge exponeringar befinner sig under exponeringsgränsvärdena. För de högre frekvenser som kommer att användas längre fram för 5G är forskningsunderlaget begränsat både vad gäller hälsoeffekter och eventuella effekter på organismer i miljön vilket gör det svårare att dra tydliga slutsatser. Det pågår och planeras omfattande forskning som fokuserar just på dessa frekvensområden.

### Detta material har arbetats fram av en arbetsgrupp inom SNRV sektion K

Svenska Nationalkommittén för radiovetenskap, SNRV, består under mandatperioden 2021–2023 utav 20 av Kungl. Vetenskapsakademien valda ledamöter samt två av SNRV valda hedersledamöter. Ordförande är professor Daniel Sjöberg, Lunds universitet, och sekreterare är docent Joakim Johansson, RUAG.

**Jonna Wilén**, docent, universitetslektor, institutionen för strålningsvetenskaper, Umeå universitet, ordförande SNRV sektion K.

**Jimmy Estenberg**, vetenskaplig sekreterare i Strålsäkerhetsmyndighetens expertråd om Elektromagnetiska fält och hälsorisker, ledamot SNRV sektion K.

**Kjell Hansson Mild**, docent, konsult vid institutionen för strålningsvetenskaper, Umeå universitet, ledamot SNRV sektion K.

**Tommy Ljunggren**, Ljunggren Consulting Team AB, ordinarie ledamot i SNRV.

**Mats-Olof Mattsson**, professor, SciProof International AB och Strömstad akademi, ledamot SNRV sektion K

**Daniel Sjöberg**, professor, Institutionen för elektro- och informationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, ordförande SNRV.

**Christer Törnevik**, Ericsson AB, ledamot SNRV sektion K.

Foto: Shutterstock: Maksim Safaniuk (omslagsbild), Chalermphon Tiam (sid 10).

Illustrationer och grafisk formgivning:  
Gunilla Guldbrand, Guldbrand & Guldbrand AB.  
2023



## SVENSKA NATIONALKOMMITTÉN FÖR RADIOVETENSKAP