

TEKNISK PROGNOIS

5G OCH 6G – NY TEKNIK FÖR TOTALFÖRSVARET



EXPERTEN OCH MILITÄREN

Sid 4. 5G innebär ett omvälvande teknikskifte för Försvarsmakten.



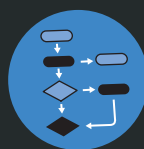
STARTUP OCH STORFÖRETAG

Sid 15. I Kista utvecklas framtidens mobilnät.



SÅ FUNKAR DET

Sid 8. Högre frekvenser ger högre datahastigheter.



SCENARIER

Sid 18. Ett digitalt slagfält från mark till rymd.



TOTALFÖRSVARET

Sid 12. Övergången från Rakel till 5G väntas ta flera år.



FRAMTIDEN

Sid 20. Global täckning och radarfunktion i nätet.

Välkomna till ett uppdaterat koncept för Teknisk prognos

Genom detta nummer om 5G och 6G introducerar vi även ett nytt koncept för Teknisk prognos. En kortare och mindre omfattande prognos. Syftet är att möjliggöra för en genomgång av flera teknikområden under året. Målsättningen är fortfarande att genom intervjuer presentera olika perspektiv på teknikutvecklingen för att erbjuda läsaren en känsla av vart tekniken är på väg och vilka möjligheter den medför. Genom ett kortare format blir den tekniska prognosen mer tillgänglig och lättläst.

Från Radio 180 till 5G – ett paradigmskifte

Mobilnätet har länge betraktats som en civil infrastruktur som inte kan användas av det militära försvaret. Det perspektivet håller på att ändras.

5G är inte bara ett snabbare mobilnät. Det är en plattform som i grunden förändrar förutsättningarna för militär kommunikation och ledning. Den är mjukvarudefinierad, AI-driven och skalbar.

Försvarsmakten har valt att inte bygga ett eget parallellt nät från grunden – ett pragmatiskt beslut. I stället samverkar man med kommersiella operatörer och lägger ett militärt kärnnät ovanpå den befintliga infrastrukturen. Resultatet är ett system med global räckvidd och stora upphandlade volymer, som möjliggör en teknisk uppdateringstakt som inget nationellt försvarsspecifikt alternativ kan matcha i kostnadshänseende.

Men beroendet av fast civil infrastruktur innebär också en sårbarhet. Erfarenheterna från Ukraina är tydliga: mobilmaster skjuts ner, noder slås ut, elförsörjningen störs. Svaret är portabla basstationer, satellitlänkar och på sikt drönarburen radioutrustning som kan agera relästationer vid fronten.

Särskilt spännande är integrationen av satelliter i mobilnätet som möjliggör koppling mellan det markbaserade nätet och rymden. EU:s IRIS²-konstellation och forskning vid KTH:s SMART 6GSAT-center syftar till att erbjuda suverän och garanterad uppkoppling oberoende av kommersiella plattformar som Starlink. Ur ett suveränitets- och resiliensperspektiv är detta centralt.

6G kan komma att tillföra ytterligare en dimension som militärt sett är lika intressant: integrated sensing and communication (ISAC). Radiosignalerna används inte bara för datatransport utan samtidigt som radar – för att detektera rörelsemönster, drönare och objekt i omgivningen. Ju högre frekvens, desto högre upplösning. Med 6G-noder på satelliter kan denna sensorförmåga bli globalt täckande. Det öppnar möjligheter för att skapa en lägesuppfattning som tidigare krävt dedikerade sensorsystem. Det väcker också legitima frågor om integritet och risken för att fienden utnyttjar samma kapacitet.

Det mest genomgripande skiftet är kanske det kognitiva: AI integreras på alla nivåer i nätet, från resurstilldelning och frekvensstyrning till anomalidetektion och nätverksautomation. Nätet börjar styra sig självt och minskar behovet av manuell konfiguration.

Vi befinner oss i ett paradigmskifte när den civila mobilnätstekniken knyts ihop med rymden och dessutom blir ett sensornätverk. Det intelligenta och självkonfigurerande nätet kommer att bli en viktig förutsättning för den framtida AI-drivna och autonoma striden. □

»Särskilt spännande är integrationen av satelliter i mobilnätet som möjliggör koppling mellan det markbaserade nätet och rymden.«



Mikael Schönström, fil.dr, FMV
mikael.schonstrom@fmv.se
Projektledare, Omvärldsbevakning med teknisk prognos.

Foto: Tomas Arlemo

ETT OMOVÄLVANDE SKIFTFTE

I år rullar Försvarmakten ut 5G hela vägen till soldaten som ska strida i fronten. Teknikskiftet väntas revolutionera den militära förmågan. Den svenska modellen väcker nu också stort intresse i Nato, berättar Carl Lundqvist, chefsarkitekten bakom det civil-militära 5G-systemet.

Text: Kajsa Skarsgård
Foto: Tomas Ärlemo

Déjà vu. Så beskriver Carl Lundqvist känslan när han för fem år sedan klev in på Högkvarteret efter en karriär från tekniker till strateg inom telekombranschen. Han som arbetat i de fasta och mobila nätens framkant kunde nu inte surfa ut på en nyhetssajt på arbetsplatsen.

– Jag hade jobbat med att fasa ut gammal teknik och främst drivit projekt med fokus på utveckling och innovation. I Försvarmakten står man inför en liknande transformation, men mycket mer komplex, säger Carl Lundqvist som nu är chefsarkitekt i Förvarsstaben.

Skiftet som Försvarmakten står inför kan liknas vid ett hopp direkt från andra till femte generationens mobilnät: från att kunna ringa och skicka textmeddelanden, till att kunna dela data och med

hjälp av mobila sensorer och andra uppkopplade enheter skapa lägesbilder.

– Den framtida soldaten kommer att kunna använda och dela stora mängder information i realtid. Man ser sin position, var vännerna är, man kan markera mål. Det är egentligen bara fantasin som sätter gränser för vad man kan göra.

5G:s snabba uppkoppling öppnar inte minst upp möjligheten att använda AI och autonoma system. Framtidens krig. Pandoras ask.

Civil-militärt samarbete

Försvarmaktens 5G-utrustning vänder upp och ner på flera traditioner i det militära. I stället för att bygga en helt egen infrastruktur samarbetar Försvarmakten med kommersiella mobiloperatörer som redan har tiotusentals basstationer med täckning över större delen av Sverige.

– Jag ser ingen möjlighet att Försvarmakten snabbt skulle kunna etablera en förmåga och bygga upp ▶

»Den framtida soldaten kommer att kunna använda och dela stora mängder information i realtid. Man ser sin position, var vännerna är, man kan markera mål. Det är egentligen bara fantasin som sätter gränser för vad man kan göra.«

På under tio minuter har Carl Lundqvist fått upp masten som stärker den mobila täckningen.



»Alla trådlösa system kan upptäckas och störas. Det är bara frågan om på vilket avstånd och under vilka förhållanden. Så du måste alltid ha alternativ.«

en organisation som kan både planera, bygga och drifva mobilnät. Sverige har redan mobiloperatörer som är i världsklass. Varför inte samarbeta med dem? Tillsammans med dem kan vi göra det på ett sätt där vi också kan skaffa oss en viss rådhighet över de centrala delarna, säger Carl Lundqvist.

Försvarmakten får sitt eget kärnnät och moln för sina användare och applikationer, medan de civila masterna utgör grunden i täckningen (se grafik på s. 7). För att stärka upp nätet där basstationerna är få, skjuts bort eller störs ut, har Försvarmakten bland annat egna portabla mobilmaster. De kan användas i hela världen. De går också att ansluta till operatörernas stora nät via Försvarets telenät, internet eller satellit, och kan användas över hela världen.

5G ska inte ersätta övriga kommunikationsvägar, utan komplettera dem. Däremot tror Carl Lundqvist att mobilnätet snabbt kommer att bli den primära kommunikationskanalen i de flesta situationer.

Storlek ger styrka

Valet att använda de kommersiella mobilnäten som grund innebär också att svenska Försvarmakten – tvärtemot många andra länder och traditionellt militärtänk – inte ska bygga öar av autonoma mobilnät. Bara som en sista utväg om inget annat fungerar.

– Bubblor, nej! säger Johan Falk med emfas och formar sina armar till ett kryss. Han är chef för enheten för robust radiokommunikation på Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) och har bidragit till Försvarmaktens 5G-strategi.

– Har man bara uppkoppling till en basstation och fienden skjuter bort den, då kan vi inte prata med varandra längre. Har man 10 000 basstationer och de skjuter bort en, då tar telefonen en annan

basstation tills vi har ersatt den bortskjutna. Mobilnätet måste vara stort för att det ska kunna motstå störning och fysisk påverkan.

Strategin utgår från Sveriges geografiska läge och hotbild – stridsfronten antas inte ligga i Sverige i första hand. Mobilnätet är mer sårbart än den traditionella militära radion, men nyttan kan ibland överväga, menar Johan Falk. Han har jobbat med både civil och militär radiokommunikation och har erfarenhet av vilka hoten är från fiendens telekrig.

– Alla trådlösa system kan upptäckas och störas. Det är bara frågan om på vilket avstånd och under vilka förhållanden. Så du måste alltid ha alternativ.

– Det är ju upp till den militära befälhavaren att välja kommunikationssystem för det aktuella uppdraget. I vissa fall överväger det positiva med att använda mobilnät, men ibland behöver man välja ett annat radiosystem, till exempel om fienden troligen kommer störa eller skjuta bort våra basstationer. Vi offrar lite skärpa, men vi överlever och är tillräckligt farliga ändå.

Gränslös kommunikation

Traditionellt har de olika försvarsgrenarna löst sina egna behov av kommunikation. Det har ibland gjort det svårt för dem att prata sinsemellan. Mobilnät rullas nu ut centralt ifrån. Sedan är det upp till flygvapnet, marinen och armén att använda den nya förmågan på bästa sätt.

Målet är att soldaten inte ska behöva välja bland flera radioapparater, utan använda en enhet som automatiskt väljer lämplig kommunikationsväg. Enheten ska sömlöst kunna byta från till exempel mobilnät till militär taktisk radio eller satellitkommunikation. Som när vi lämnar hemmet med vårt wifi, och mobilen då automatiskt byter till mobilnätet.

– Skulle det bli krig har man ju inte



Johan Falk på FOI är en av hjärnorna bakom Försvarmaktens 5G-strategi.



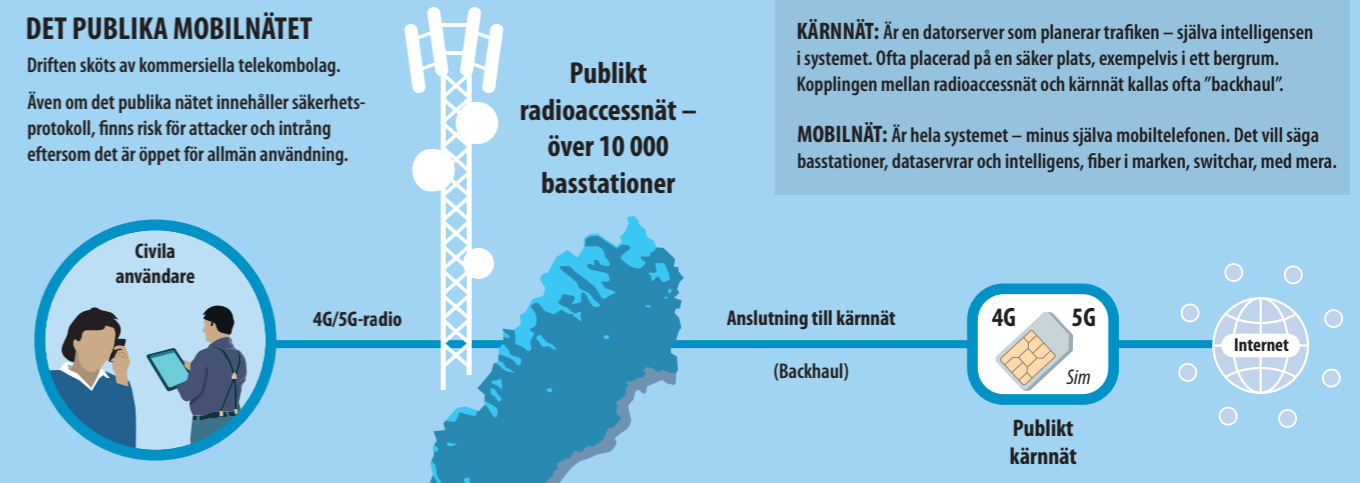
Försvarmaktens mobila mast kan enkelt packas ihop och användas i hela världen.

PUBLIKT vs MILITÄRT MOBILNÄT

Det finns tydliga skillnader mellan det publika och det militära kärnnätet avseende säkerhet, infrastruktur och anpassningsförmåga. Det som är gemensamt är nyttjandet av den fysiska infrastrukturen i form av de över 10 000 basstationer som redan står på plats i landet, det så kallade publika radioaccessnätet.

DET PUBLIKA MOBILNÄTET

Driften sköts av kommersiella telekombolag. Även om det publika nätet innehåller säkerhetsprotokoll, finns risk för attacker och intrång eftersom det är öppet för allmän användning.



MOBILNÄTETS UPPBYGGNAD

Det är många begrepp att hålla reda på inom telekom. Här är några som förekommer ofta och hur de förhåller sig till varandra.

RADIOACCESSNÄT: Är det vi ser. Basstationer, med master och antenner men även tillhörande byggnader och containers.

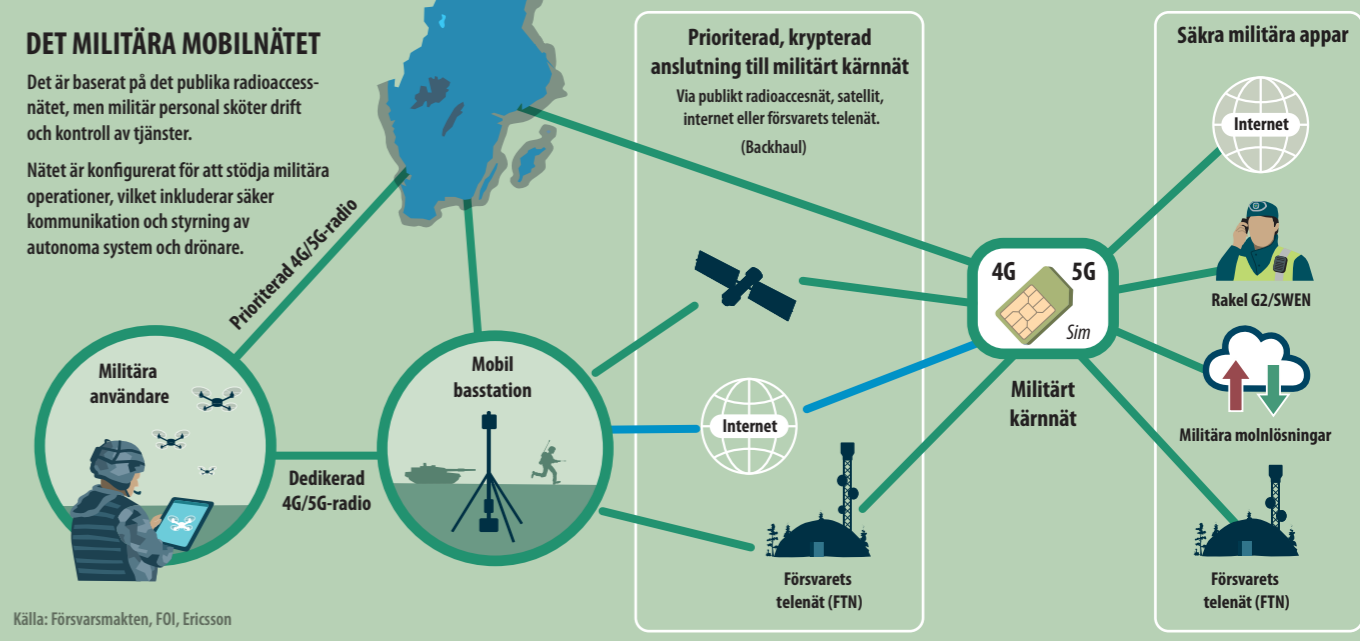
KÄRNNÄT: Är en datorserver som planerar trafiken – själva intelligensen i systemet. Ofta placerad på en säker plats, exempelvis i ett berggrum. Kopplingen mellan radioaccessnät och kärnnät kallas ofta "backhaul".

MOBILNÄT: Är hela systemet – minus själva mobiltelefonen. Det vill säga basstationer, dataservrar och intelligens, fiber i marken, switchar, med mera.

DET MILITÄRA MOBILNÄTET

Det är baserat på det publika radioaccessnätet, men militär personal sköter drift och kontroll av tjänster.

Nätet är konfigurerat för att stödja militära operationer, vilket inkluderar säker kommunikation och styrning av autonoma system och drönare.



Källa: Försvarmakten, FOI, Ericsson

tid att i månader utbilda oss alla på komplexa militära radiosystem. Du får vapen, skor och så får du en padda. Bra, nu är jag också farlig!

Johan Falk berättar att Norge har valt en ännu enklare modell.

– I Hemvärnet i Norge tar du med din egen privata mobil, scannar en QR-kod till ett e-simkort, och sedan är du med i det norska försvarsnätet.

I Natos framkant

Svenska Försvarmakten har däremot mer rådhighet över sitt nät. Det ökar

säkerheten. Det gör det också lättare att styra kapaciteten i spektrumet om trupper från flera länder ska förflyttas genom Sverige. Ordning och reda i spektrumet är ytterligare ett skäl till att inte ha massa taktiska bubblor som alla ska ha sin frekvens.

Efter att ha legat efter Norge i teknikskiftet menar Carl Lundqvist på Försvarmakten att det är Sverige som nu börjar ligga i framkant. Natos intresse för detta är stort.

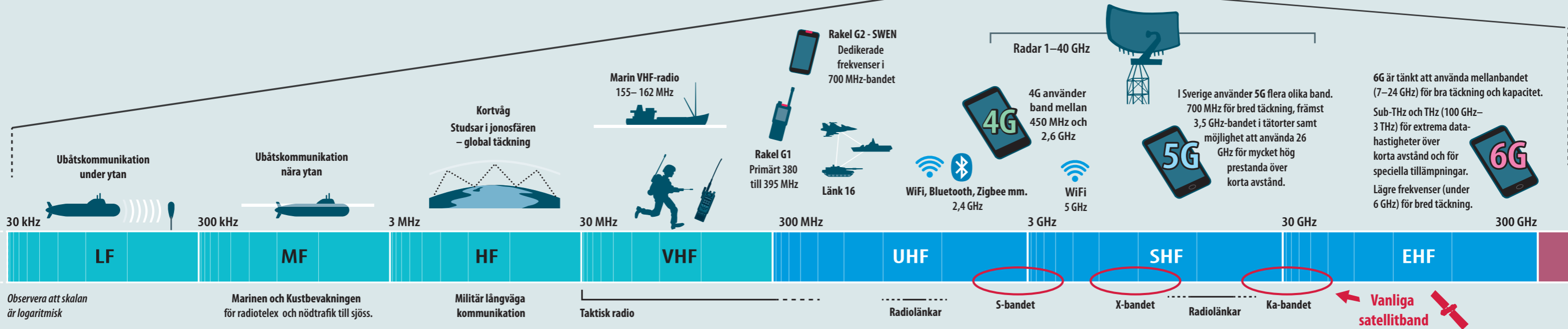
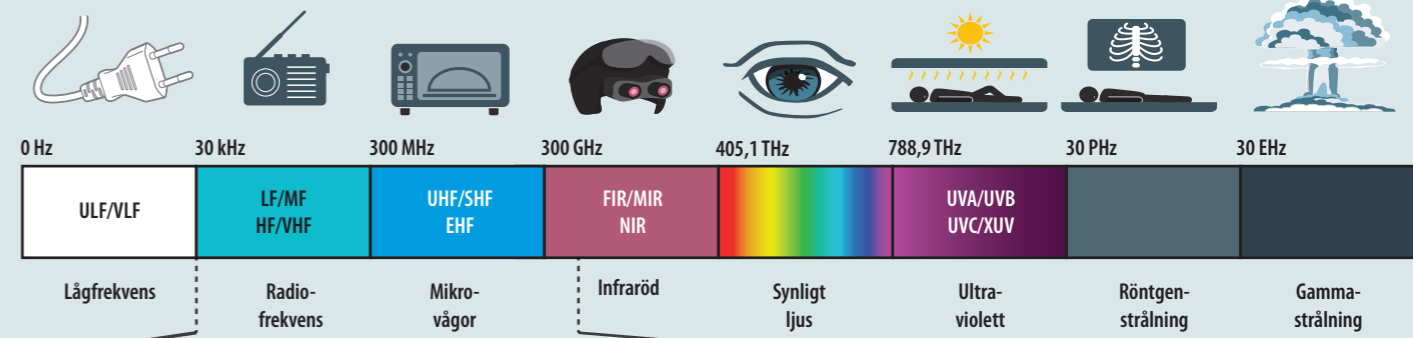
Eftersom det finns mobilopera-

törer som verkar i såväl Norden som Baltikum kan länderna skapa sömlös uppkoppling för trupper som rör sig över gränserna. Infrastrukturen är också byggd av tillräckligt betrodda leverantörer – Ericsson och Nokia – till skillnad från i en del andra länder i Europa.

– Nu tar vi ett stort kliv mot den moderna Försvarmakten där 5G inte bara skapar nytta för Sverige utan kommer att ge operativ effekt för hela Norden och Baltikum till gagn för hela Nato, säger Carl Lundqvist. □

DET ELEKTROMAGNETISKA SPEKTRUMET

Det elektromagnetiska spektrumet är en ändlig resurs. Det moderna samhällets utveckling skapar allt större konkurrens inom många frekvensband. Det medför att det blir allt mer utmanande att säkerställa spektrum för Försvarsmaktens behov av kommunikation och funktionalitet. Vägen framåt är samarbeten mellan civila och militära aktörer samt tekniska lösningar som exempelvis dynamisk frekvensallokering.



DAGENS MILITÄRA NATIONELLA KOMMUNIKATIONSSYSTEM

FÖRSVARETS TELENÄT (FTN)

Ett fast landsomfattande, robust sambandssystem som utgör ryggraden i Försvarsmaktens fasta infrastruktur för telefoni och datatrafik. Använder främst kabelburna förbindelser (fiber/optokabel), men även radiolänkar. Byggt för att tåla vapenverkan, telekrig, sabotage, och elektromagnetisk puls (EMP).

TAKTISK RADIO

Försvarsmaktens radiosystem uppgraderas kontinuerligt för att möta nya hotbilder. Utvecklingen är inriktad på mjukvarubaserad radio som går att uppdatera utan att byta ut hårdvaran. Här ingår system som Radio 570 och Radio 1513.

TAKTISKA DATALÄNKAR

Försvarsmakten använder avancerade datalänkar (som Länk 16 och liknande) för att överföra måldata och taktisk information i realtid mellan stridsflygplan, fartyg och markförband.

FOKS-SYSTEMET

Försvarsmaktens optiska kommunikationssystem bygger på fiberkablar som snabbt kan rullas ut och koppla samman noder i Försvarsmaktens kommunikationsnät, både fasta installationer (t.ex. ledningscentraler, flygbaser, skyddsobjekt) och mobila ledningsplatser och andra enheter i fält.

SATELLITKOMMUNIKATION (SATCOM)

Används för långdistanskommunikation, där olika satellitlösningar kan ge militära förband täckning över hela världen.

RADIKOMMUNIKATION FÖR EFFEKTIV LEDNING (RAKEL)

Det nationella kommunikationssystemet för samhällsviktig verksamhet. Används av över 700 aktörer i Sverige, bland annat alla blåljusaktörer. Raket används för säker tal- och datakommunikation. Ska mellan åren 2028–2030 stegvis ersättas av Raket G2/SWEN som kommer använda 4G/5G teknik.

MILITÄRT MOBILNÄT

Genom att utnyttja det publika mobilnätets infrastruktur får Försvarsmakten tillgång till höga datahastigheter och god täckning i större delen av Sverige. Det finmaskiga nätverket med tusentals basstationer och många frekvensband är svårt att slå ut och ger en naturlig resiliens.

Försvarsmaktens mobilnät utvecklas tillsammans med industrin (flera operatörer och Ericsson) för att utveckla taktisk mobilförmåga. Målet är snabb överföring av stora mängder sensordata på slagfältet.

TUSENTALS MASTER GER RESILIENS

Publikt mobilnät

DET KOMMERSIELLA NÄTETS BASSTATIONER I FÖRSTA HAND

Tanken är att utnyttja det befintliga mobilnätet i första hand. Men tillfälliga basstationer kan användas där delar av nätet slås ut eller om extra täckning behövs.

Källa: Försvarsmakten, FMV, FOI, FHT, MCF, Induo, Micropol

MOT FRAMTIDENS SMARTA NÄT

Industrins vision för 6G är att förvandla mobilnätet från en effektiv transportled för data, till ett alltmer AI-drivet system som också kan tolka sin omgivning.

Text: Kajsa Skarsgård

Mobilnätet består både av radio-accessnät med basstationer som syns i form av master med antenner, och av kärnnät i form av servrar med mjukvara (se grafik s. 7). I början av 2026 fanns 5G-master med täckning över större delen av Sverige. Men trafiken körs fortfarande mest över 4G-kärnnätet (LTE). Lanseringen av kommersiella 5G-kärnnät (5G Stand Alone) är ännu i sin linda i Sverige.

5G-masterna har gett konsumenterna snabbare uppkoppling, men det är det mjukvaran i 5G-kärnnätet som ger nya, viktiga funktioner. En sådan funktion är network slicing, nätverksskivning. Mobilnätet delas då upp i flera virtuella nät, där varje del får egna regler för hastighet, fördröjning, tillförlitlighet och säkerhet. Det gör också att till exempel datatrafik från blåljuspersonal eller Försvarsmakten kan få prioritet framför vanliga mobilanvändare.

I ett separat militärt 5G-kärnnät kan slicing användas för att ge fordon, sensorer, ledningssystem och enskilda soldater skräddarsydd prestanda och prioritering som snabbt kan ändras efter behov.

När det finns både 5G-radioaccessnät

och 5G-kärnnät ger detta ännu bättre hastighet, säkerhet och energieffektivitet. 6G väntas bli en vidareutveckling av 5G-kärnnätet och kunna börja lanseras kommersiellt i världen från tidigast 2030. En osäkerhet är däremot om det finns en tillräckligt stor marknad som tycker att den extra nyttan med 6G är tillräcklig för att betala priset för tekniskskiftet.

AI är en central möjliggörare för 5G- och 6G-tekniken. Den snabba uppkopplingen ger i sin tur användare möjlighet att nyttja nya funktioner som använder AI i allt större utsträckning.

I 6G väntas precisionen i positionering med hjälp av mobilsignalen förbättras från flera meter till några centimeter. Det kan bli ett komplement till GPS, särskilt inomhus och under jord. Men på grund av risken att illasinnade aktörer hackar sig till informationen är funktionen inte alltid lämplig att använda. (Se s. 18 för fler framtida möjligheter med 6G).

Ju mer komplext mobilnätet blir, desto fler sårbarheter och attackytor uppstår. Sensorer och mjukvara kan bli ingångar till sabotage. AI kan manipuleras. Data kan läcka. Korta 5G- och 6G-vågor är extra känsliga för hinder och störning. Basstationer är synliga och beroende av el. Marknätet har några få, kritiska noder.

En stor fördel, ur Försvarsmaktens perspektiv, är att mobilnätet ger möjlighet att kommunicera med mycket höga

dataakter över långa avstånd, såväl mellan försvarsgrenar som inom Nato.

Mobilnätet bygger på globala standarder. Därför går det att beställa små eller stora mängder av den senaste tekniken till en bråkdel av vad egenutvecklade militära system skulle kosta. Teknikföretag och mjukvaruutvecklare kan lättare bidra med att lägga på ytterligare säkerhet och funktioner i de kommersiella terminalerna och systemen. Det gör att innovationstakten kan öka. □

TRE POLICYFRÅGOR SOM PÅVERKAR 6G-UTVECKLINGEN

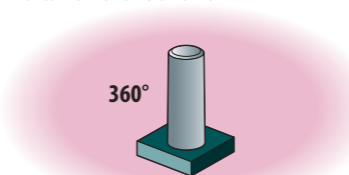
- **Spektrum.** Europa ligger efter USA och Kina i spektrumtilldelning för 6G, vilket är en teknisk, ekonomisk och strategisk nackdel.
- **Standarder.** Global standardisering är avgörande för att 6G ska bli interoperabelt över gränser. Kina ligger i framkant med 5G och 6G och kan därför påverka standarder till sin fördel.
- **Säkerhet.** Ramverk för cybersäkerhet och dataskydd behöver anpassas och hänga med i den snabba utvecklingen.

ANTENNTEKNOLOGIER FÖR 5G/6G

5G- och kommande 6G-nätverk ställer allt högre krav på moderna antennsteknologier, som gruppantenner. Detta på grund av behovet av bättre prestanda och förbättrad nätverkseffektivitet. Däremot försvinner inte de äldre antennkoncepten som rundstrålande antenner och sektorantenner. Gruppantenner har relativt kort räckvidd på höga frekvenser jämfört med på låga frekvenser. Det ger behov av både gruppantenner för toppkapacitet och rundstrålande eller sektorantenner för en basförmåga med lägre frekvenser, längre räckvidder och lägre dataatak.

Rundstrålande antenn

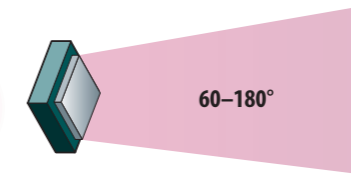
Signalerna sänds i alla riktningar horisontellt. Det innebär att signalen sprids jämnt runt antennen i en cirkulär form.



Lämplig för att täcka breda områden då signalen inte behöver riktas. Används sällan vid behov av höga dataakter.

Sektorantenn

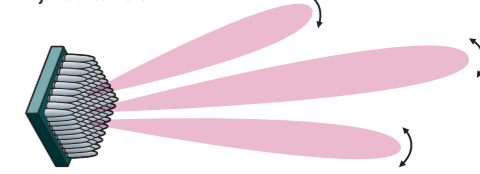
Signalerna sänds inom en specifik sektor eller vinkel, ofta mellan 60 till 180 grader.



Ger bra signalstyrka och räckvidd inom den riktade sektorn eftersom energin är mer fokuserad. Flera antenner kan tillsammans skapa rundstrålande förmåga, men måste justeras noga för att täcka önskade områden.

Gruppantenn

Antenn med flera (upp till hundratals) individuella antenn-element som arbetar tillsammans för att forma en enda, eller flera individuella, fokuserade antennlobber, vilket ökar räckvidden. Lobberna kan riktas elektroniskt utan att fysiskt flytta eller vinkla själva antennen.



Klarar höga dataakter med mycket hög riktverkan och kan anpassas för att fokusera signalen mot specifika mål. Nackdelen är att antenntypen är en komplex och dyr konstruktion.

Gruppantenner används i huvudsak på två sätt:

M-MIMO (Massive Multiple Input Multiple Output)

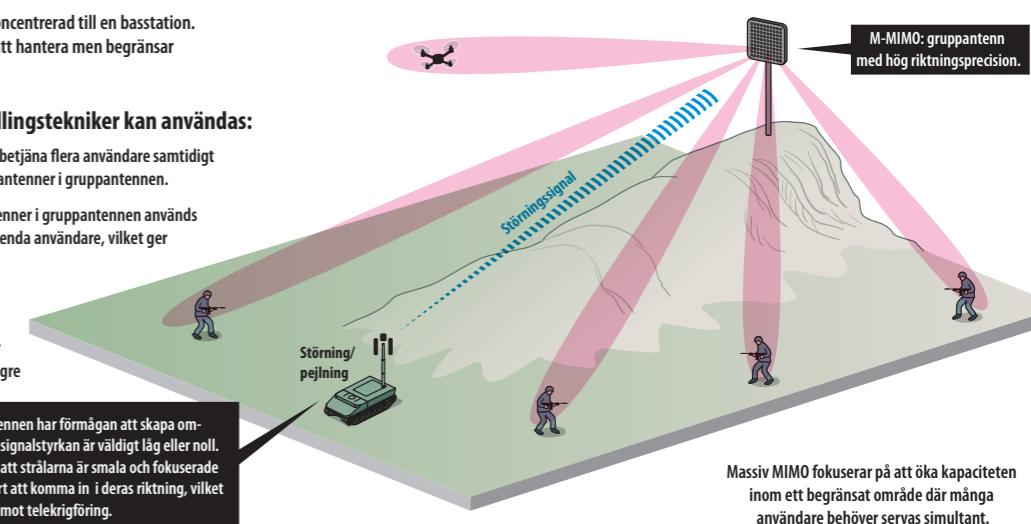
Hela antennuppsättningen är koncentrerad till en basstation. Det gör uppsättningen enklare att hantera men begränsar mobilnätets räckvidd.

Flera olika signalbehandlingstekniker kan användas:

Multi-user MIMO – syftar till att betjäna flera användare samtidigt med hjälp av samma uppsättning antenner i gruppantennen.

Single-user MIMO – många antenner i gruppantennen används till att öka datahastigheten för en enda användare, vilket ger ökad datahastighet.

Spatial multiplexing – flera antenner används för att överföra flera dataströmmar samtidigt över samma frekvensband vilket ger högre datahastighet.



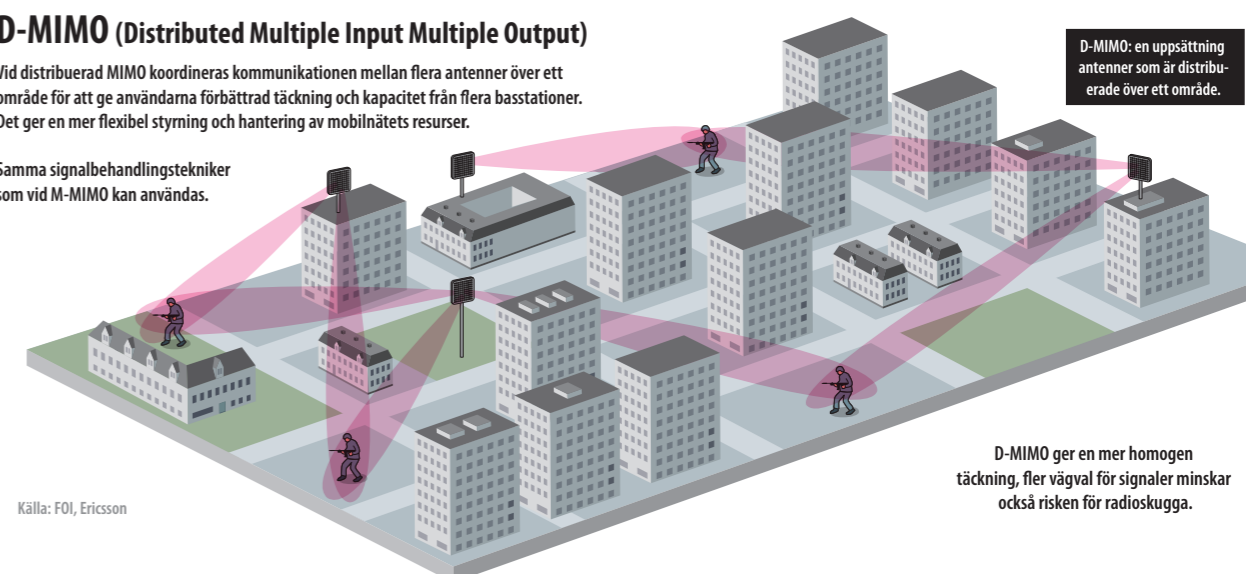
Gruppantennen har förmågan att skapa områden där signalstyrkan är väldigt låg eller noll. I och med att strålarna är smala och fokuserade är det svårt att komma in i deras riktning, vilket ger skydd mot telekrigföring.

Massiv MIMO fokuserar på att öka kapaciteten inom ett begränsat område där många användare behöver servas simultant.

D-MIMO (Distributed Multiple Input Multiple Output)

Vid distribuerad MIMO koordineras kommunikationen mellan flera antenner över ett område för att ge användarna förbättrad täckning och kapacitet från flera basstationer. Det ger en mer flexibel styrning och hantering av mobilnätets resurser.

Samma signalbehandlingstekniker som vid M-MIMO kan användas.



D-MIMO: en uppsättning antenner som är distribuerade över ett område.

D-MIMO ger en mer homogen täckning, fler väglag för signaler minskar också risken för radioskugga.

Källa: FOI, Ericsson

FRÅN RAKEL TILL 5G

Rakelsystemet ska bytas ut mot 5G. Aktörerna i totalförsvaret kommer då inte bara kunna prata sinsemellan utan också dela videos och annan data i realtid. Men det gäller att alla håller takten i övergången.

Text: Kajsa Skarsgård

Foto: Tomas Ärlemo

Stockholm, år 2035. Hammarby har just kvitterat 1-1 mot AIK inför 30 000 personer när något exploderar på hemmaläktaren. Panik utbryter. Hundratals kroppar ligger kvar när röken skingras.

Människor som följt matchen över teve och radio försöker ringa nära och kära på plats. Trafiken i mobilnätet prioriteras snabbt om för att säkra kapacitet till SWEN, Swedish Emergency Network.

Genom SWEN får sambandsledningen gemensamma lägesbilder i realtid från olika kameror, sensorer och loggar. Vart människorna rör sig, var räddningsresurserna befinner sig och hur skadeläget ser ut. De uppkopplade ambulanserna ger sjukhusen en realtidsbild av tillståndet för varje patient som är på väg in.

Orsaken till explosionen är oklar, och ett samband upprättas mellan SWEN och Försvarsmakten. Då larmas det om ytterligare explosion, under konserten som pågår i Globen ett par hundra meter bort.

Så skulle ett framtida krisscenario kunna se ut när totalförsvaret har lämnat Rakel för det mobilnätbaserade systemet SWEN.

– Du skulle till exempel kunna filma patienten och visa skadan för att på plats få tips och råd av akutläkare, säger Joakim Jarnryd som är beredskapsstrateg på Region Stockholm och ansvarig för införandet av SWEN inom sjukvården och kollektivtrafiken.

– Vi går från en kom-radio till att helt plötsligt ha en datamaskin i handen, slarvigt uttryckt.

Skifte steg för steg

SWEN-terminalerna blir specialvarianter av Android-telefoner. På toppen av det förstärkta skalet finns en röd nödknapp. På sidorna finns knappar för att enkelt använda push-to-talk, likt en kom-radio. Skärmen har appar för bland annat samtal, chattar, video och kartor. Men av säkerhetsskäl har SWEN inte uppkoppling mot internet.

I det första skedet, från 2028, kommer SWEN bara ha samma funktioner som dagens Rakel, såsom gruppsamtal

och positionering. När de är säkrade kan det gamla Rakelsystemet överges stegvis. De nya funktionerna i SWEN byggs på från 2030, och det blir då möjligt att dela mer data i realtid.

– På en olycksplats idag skickar till exempel brandförsvaret upp en drönare, polisen en drönare, och vi en drönare. Så kommer vår helikopter och ska hämta patienter. Det blir tajt uppe i luftrummet, konstaterar Joakim Jarnryd.

Det stora skiftet från Rakels så kallade Tetra-teknik till 5G pågår även runt om i Europa. I Sverige är det 105 000 användare i drygt 700 olika organisationer som ska byta system. Joakim Jarnryd berättar att det finns en oro för att alla aktörer inte har råd att hålla takten i övergången.

Det är Myndigheten för civilt försvar (MCF) som håller i taktpinnen, men inte i användarnas budgetar. Finansieringsoran är lyft till regeringen.

Egna frekvenser

Liksom Försvarsmakten ska MCF använda kommersiella basstationer >

Foto: Getty Images, Jeremy Hogan

och operatörer för SWEN. Ett eget kämnät och simkort ska öka säkerheten. Täckning är prioriterat över robusthet och MCF bygger egna bastationer där kommersiella nät inte har täckning.

– SWEN har dedikerade frekvenser reserverade i 700 MHz-bandet och det gör att vi kan komplettera med egna basstationer och täckning där kommersiella aktörer inte finns idag, säger Ronny Harpe som leder SWEN-projektet och är biträdande chef för MCF:s avdelning för cybersäkerhet och samhällsviktiga kommunikationer.

– Rakel är statiskt, det är radio-kommunikation. Mobilteknologin öppnar upp för helt nya risker, som cyberangrepp, som vi måste stärka vår förmåga att kunna hantera.

Att lämna Rakel för att kunna dela data och använda AI-verktyg bedöms ändå som nödvändigt.

– De som använder tjänsten idag behöver bredbandiga lösningar för att klara sina uppdrag under normal kriser eller höjd beredskap. Vi måste hitta ett sätt att digitalisera det civila försvaret, och det här är ett.

Rakelsystemets radiomaster kan klara en vecka utan el med hjälp av reservkraftsaggregat. De kommersiella näten har krav på en till fyra timmars batteribackup, beroende på om masten står i storstad eller i glesbygd.

– På Gotland har Post- och telestyrelsen gjort jättestora investeringar och det finns nu en väldigt väldimensionerad energiförsörjning på de mobilnät som finns där. Men sedan har du ju resten av Sverige som behöver följa efter, säger Ronny Harpe.

Förändrad hotbild

När både det militära försvaret och det civila satsar på att öka sin förmåga genom det kommersiella mobilnätet, ökar motståndarens intresse av att slå mot det.

– Därför pratar vi om att bygga robusthet, redundans, diversitet. Förmåga till reparationsberedskap. Alla nyttjare utav den här typen av kommunikationslösningar måste dessutom jobba med en egen kontinuitetshandling, säger Ronny Harpe.

»Mobilteknologin öppnar upp för helt nya risker, som cyberangrepp, som vi måste stärka vår förmåga att kunna hantera.«



Joakim Jarnryd förbereder Region Stockholm för ett skifte från Rakel till 5G.

SWEN kan använda sina egna frekvenser om det kommersiella nätet får störningar, och Forsvarsmakten har andra kommunikationssystem. Befolkningen får i värsta fall förlita sig på fiberuppkoppling, marksänd teve eller FM-radio.

Av kommersiella skäl har bassta-

tioner för mobilnätet främst byggts där människor bor och rör sig. När militär makter använder basstationerna kan de bli legitima militära mål enligt folkrätten. MCF har inte bedömt hur det pågående tekniskiftet inom Forsvarsmakten och civilförsvaret påverkar skyddet av civilbefolkningen. □



Ronny Harpe på Myndigheten för civilt försvar leder arbetet med att byta ut Rakel mot 5G.

Foto: Martin Ek



HÄR BYGGS FRAMTIDENS KRIGSNÄT

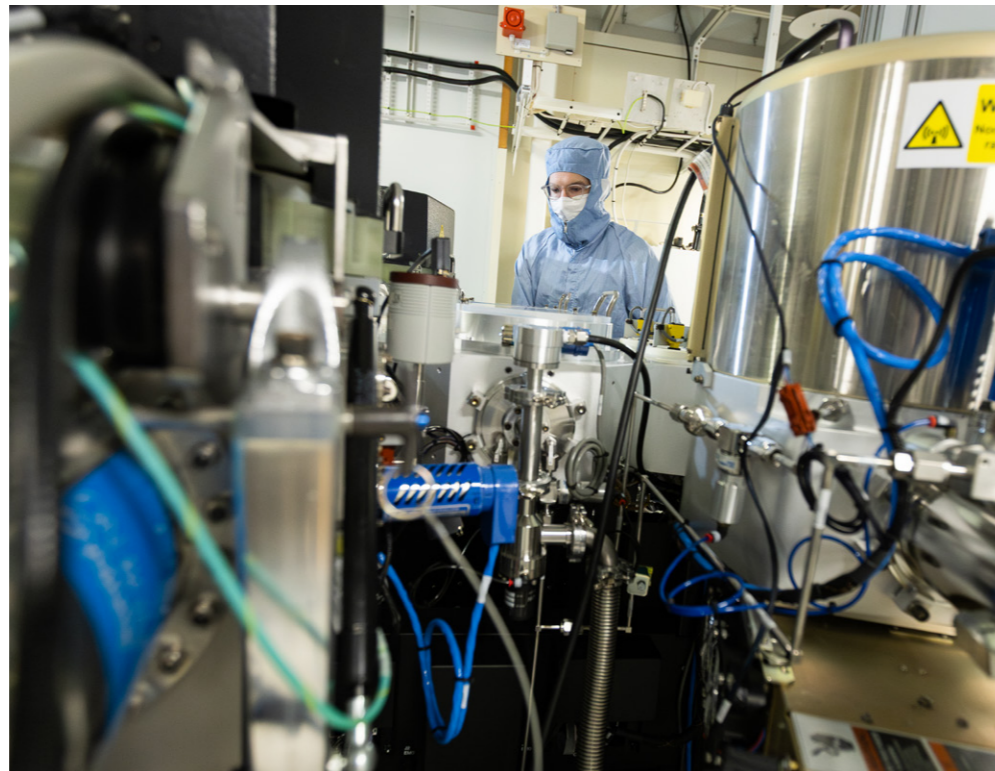
I ett labb i Kista skapar en startup svårstörda radioenheter som kan sättas på drönare och ge uppkoppling vid fronten. Ett kvarter bort utvecklar giganten Ericsson sina 5G-system – och bidrar till den styrande standarden.

Text: Kajsa Skarsgård

Foto: Tomas Ärlemo



James Campion, vd för deeptechbolaget Terasi.



Etsmaskinen är en nyckeldel i Terasis produktionsprocess.



Den etsade skivan innehåller delar av en millilitervägsantenn till Terasis radioenhet.



Freddie Södergren på Ericsson tror starkt på mobilnätets framtid inom totalförsvaret.

Med utsikt över FOI och runt hörnet från Ericsson har start-uppen Terasi sitt kontor. Pentryt erbjuder cold brew-kaffe på kran, men i den svenska vintern är det främst bryggkaffet som går varmt.

Vd:n James Campion var doktorand på KTH och forskade på terahertz-mikrosystem när han startade bolaget för fem år sedan. Nu har det ett 15-tal anställda och bygger små radioenheter för frekvenser från 70 GHz, betydligt högre än där den mesta 5G-trafiken går idag.

Bolagets produkter kan agera som direkta kommunikationslänkar mellan två eller flera noder i ett större 5G-nätverk eller i ett självständigt taktiskt nätverk.

– Radioenheten byggs upp av flera olika lager. Lite som en kaka som vi stoppar kretsar inuti, och där vi bygger luftfyllda kanaler som är vägledare för de här höga frekvenserna. Signalen går genom väldigt små hål på 10–400 mikrometer, och då behöver man väldigt hög precision i tillverkningsen, förklarar James Campion.

Fördelen med att sända på 70 GHz är att datakapaciteten blir extremt hög. De millimeterkorta radiovågorna gör däremot att signalen har kort räckvidd.

»Det som vi egentligen försöker leverera är samma förmåga som Starlink, men utan massa satelliter.«

Radioenheten kompenserar det med gruppantennor och ett filter. Signalen blir då som en laserstråle. Den når längre och är svårare att detektera och störa ut.

– Med dagens varianter är räckvidden 60 kilometer. Vi ser möjligheten att gå upp till 90–100 kilometer om det är klar sikt och inget regn.

I stället för Starlink

Byggnader och skog blir hinder för signaler på 70 GHz. Tanken är därför att sätta radioenheterna på drönare, och även kunna använda reläer på ännu högre höjd som skickar vidare signalen.

– Det blir som en flygande basstation som kan kopplas upp mot vad som helst, och sen har man privata länkar som går ut. Det som vi egentligen försöker leverera är samma förmåga som Starlink, men utan massa satelliter.

Bolagets utvecklingstänk drivs av de militära behoven så som de formuleras i krigets Ukraina. Därför är James Campion lite förvånad över att Forsvarsmak-

tens 5G-strategi bygger så starkt på de kommersiella basstationerna.

– Ukraina kan inte förlita sig på fast infrastruktur längre. Alla radiotorn skjuts ner väldigt, väldigt fort. Det är därför de var tvungna att bli beroende av Starlink. Ukraina vill i stället bygga upp ett nätverk med massa olika system.

– Ukrainarna vill inte heller ha konventionell 5G som fungerar i den andra delen av radiobandet, där all radio i princip hela tiden skriker.

På frekvensbanden över 70 GHz är det svårare och dyrare att störa med brus.

I början av bolagets resa var tanken att sälja in sin teknik till Ericsson. James Campion upptäckte sedan att hans nischade produkt inte platsade i Ericssons affärsmodell och kultur av att utveckla sin teknik inom företaget.

– Det är nog en större sannolikhet att vi samarbetar med Nokia för de har ett annat tankesätt inom taktisk kom-

munikation och samarbetar mer med bra leverantörer så att de inte behöver göra allting själva, säger James Campion.

Ericssons bubbla

I skuggan av varslat av 1600 personer håller Ericsson en pressträff om sina satsningar på mobilkommunikation. Det är fler Ericssonchefer än journalister på plats. En är Freddie Södergren, Head of Mission Critical Networks.

– Vi vill se 5G som huvudstandard för kommunikation i försvarssektorn. Ju fler länder som använder 5G i flera scenarier, desto större kommer marknaden för 5G i försvarssektorn bli, säger han.

En radioenhet för mobilnätet i samma lilla format som Terasi är inget som Ericsson har i sin produktkatalog. Ericsson utvecklar teknik mot större marknader.

– Pratar man om mindre nät, speciella frekvenser, då blir det ju lägre volymer. Det blir då också mindre fokus på hur mycket beräkningskraft du kan trycka in. Du behöver inte så mycket om du ska ha

20 användare, men om du ska ha 2000 användare behöver du ha ett mycket mer sofistikerat system. Ska du bygga en radio med lång räckvidd och hög prestanda så pratar vi om produkter som väldigt få kan bygga, säger Freddie Södergren och syftar på vad Ericsson ser som sin egen styrka på marknaden.

Han är nyss hemkommen från en övning med den italienska marinen. De testade att skapa en 5G-bubbla på öppet hav, dit kommersiella nät inte når. Ericssons kärnät, i form av servrar, placerades i amfibiefartyget. Via antenner kommunicerade det sedan i realtid med ett attackfartyg och fick videoströmmar från tolv obemannade system.

Så vitt Freddie Södergren vet var det första gången som 5G användes på detta sätt, och enligt honom var testet framgångsrikt.

Sätter standarden

Det är inte bara den snabba uppkopplingen som öppnar helt nya

dörrar för militärmarkerna. Eftersom mobilnätet är byggt på globala, öppna standarder blir det möjligt att köpa, kombinera och justera färdiga produkter på ett sätt som inte har varit möjligt inom försvarssektorn tidigare. Det öppnar upp för snabbare och mer innovation.

– Vår industri har jobbat i 30–40 år med att säkerställa att allting fungerar globalt. Som konsument reflekterar man inte kring detta. Att företag som Huawei och Ericsson kontinuerligt faktiskt röstar fram hur det ska fungera. Att vi fortsätter komma överens, säger Freddie Södergren.

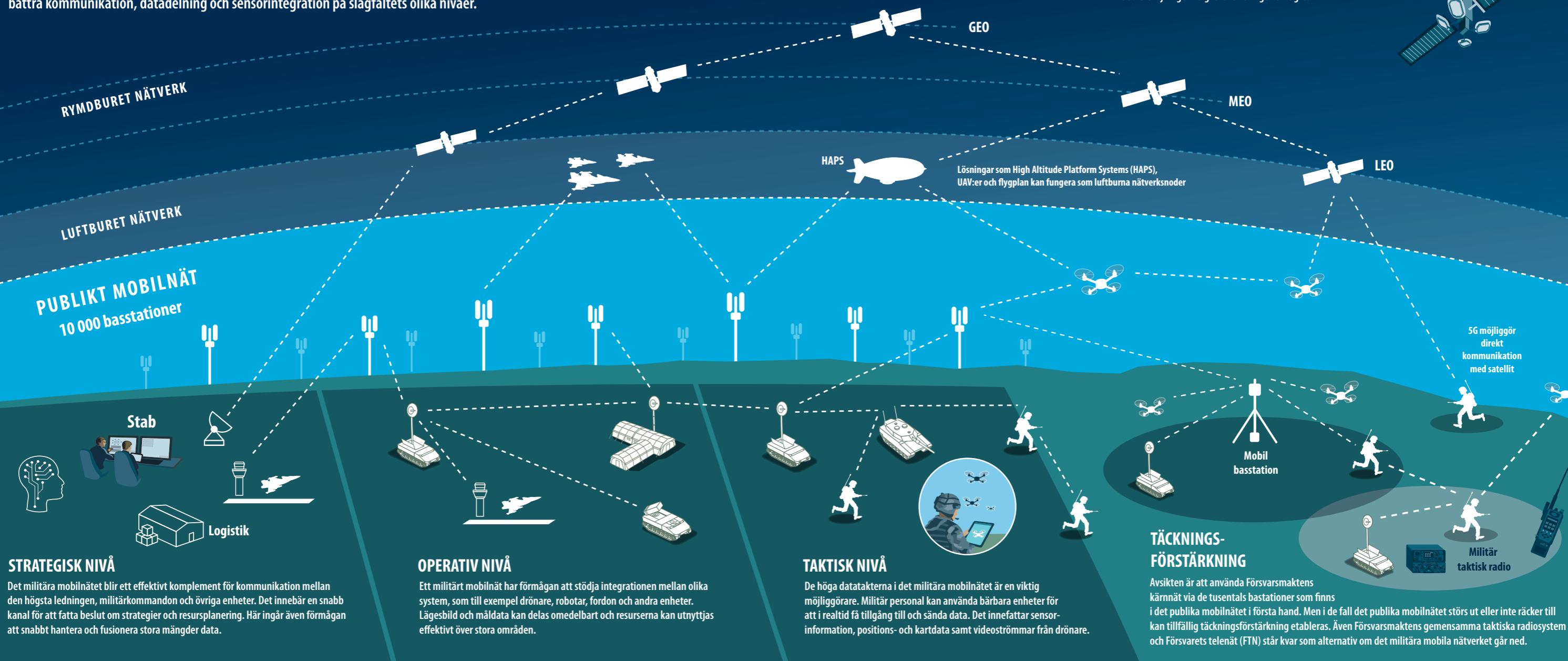
De närmaste åren ska standarderna sättas för 6G genom det globala samarbetet 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Det ryms mycket affärsintressen och geopolitik i det, och det finns en risk att samarbetet spricker. Kina som ligger i framkant tekniskt och har en enorm inhemsk marknad förlorar minst på om interoperabiliteten i världen minskar.

– Vi har ju flera gånger varnat för att det skulle kunna hända. Nu är vi så pass nära 6G och än så länge så håller det ihop, så jag är mindre orolig nu än vad jag var för ett antal år sedan, Freddie Södergren. □

»Ju fler länder som använder 5G i flera scenarier, desto större kommer marknaden för 5G i försvarssektorn bli.«

MOBILNÄT PÅ DET DIGITALA SLAGFÄLTET

Mobilteknologin kan bli ett värdefullt komplement för militära operationer genom att förbättra kommunikation, datadelning och sensorintegration på slagfältets olika nivåer.



NON TERRESTIAL NETWORK (NTN)

Satellitäckning är viktig för mobil nätverksförmåga, inte minst vid internationella uppdrag. Sverige har tillgång till olika satellitsystem, både i GEO (Geostationary Earth Orbit) och LEO (Low Earth Orbit), där särskilt LEO är viktig eftersom tidsfördröjningen i signalöverföringen är lägre.

NÄTVERKSSTRUKTUR

Det militära mobilnätet delar fysisk infrastruktur med det publika mobilnätets över 10 000 basstationer, men har ett eget dedikerat och krypterat kärnnät. Hur försvarnets kärnnät förhåller sig till det publika kärnnätet beskrivs närmare på sidan 7.

MÅNGA ALTERNATIV

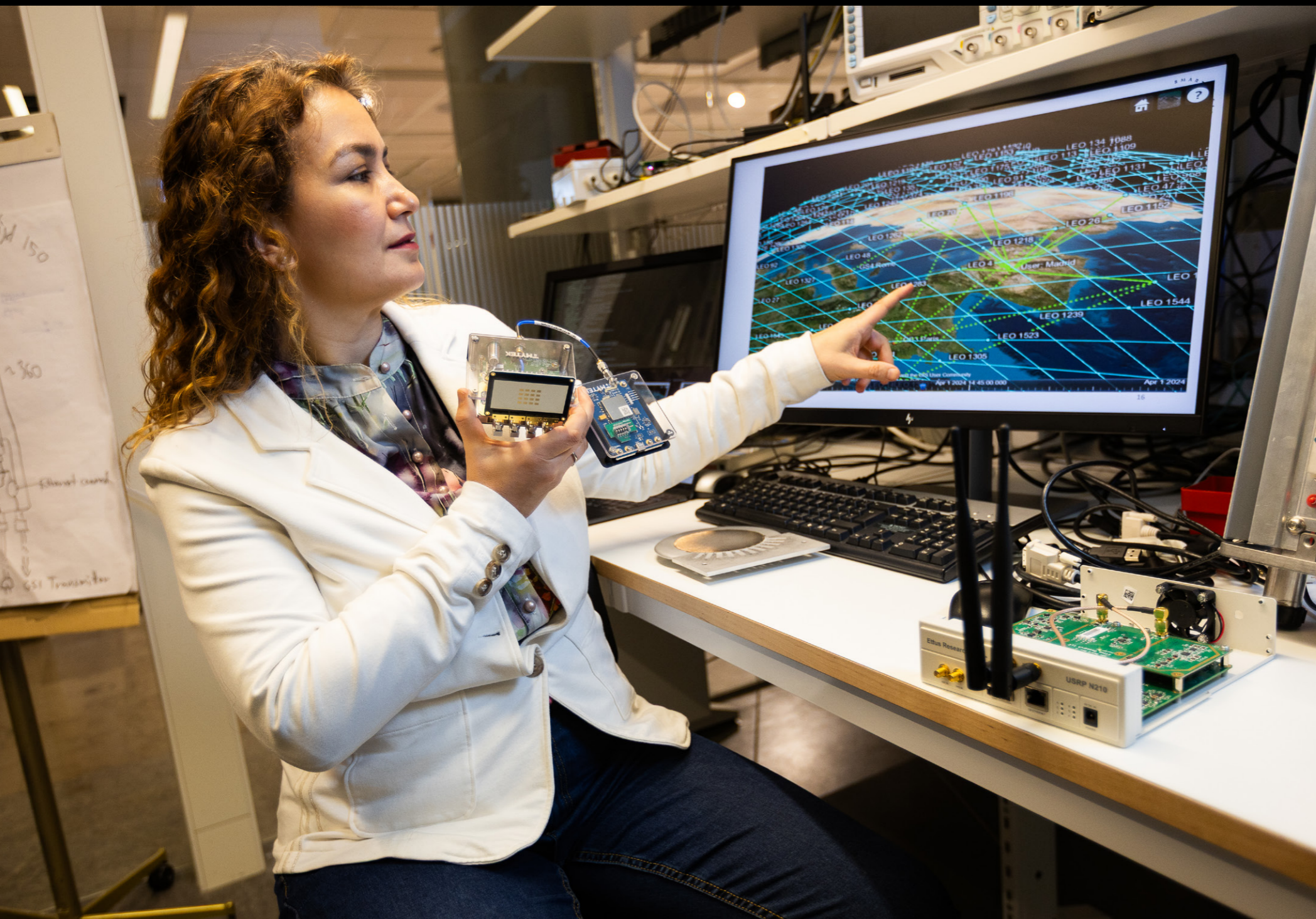
Ett militärt mobilnät kan erbjuda mycket höga datahastigheter och förbättra redundans och säkerhet för militära kommunikationsbehov. Robustheten åstadkoms genom det stora antalet basstationer och frekvensband som redan är tillgängliga. Om det militära mobilnätet angrips är det möjligt att falla tillbaka på det civila mobilnätet, om behovet av höga datahastigheter anses större än maximal säkerhet. Militär taktisk radio och Försvarnets telenät (FTN) finns alltid som alternativ, men där är datahastigheterna lägre.

Militärt mobilt nätverk – eget kärnnät – även kopplat till Försvarsmaktens telenät (FTN)

Publikt mobilt nätverk

Gemensam teknisk infrastruktur (fiber, datalänkar, satelliter)

Militära
taktiska
radiosystem



TOTAL TÄCKNING – OCH ÖVERVAKNING?

Cicek Cavdar visar KTH:s digitala tvilling av megakonstellationer av LEO-satelliter i rymden.

Inom fem år kommer satelliter kunna ge uppkoppling med hög datatakt direkt till mobiltelefoner. I framtiden kommer radiosignalerna också kunna göra mer än att bära mobildata. De kommer kunna fungera som en radar som detekterar drönare, hur vi rör oss i hemmet och hur våra hjärtan slår.

*Text: Kajsa Skarsgård
Foto: Tomas Ärlemo*

dag räcker det med att åka ut i ytterskärgården eller upp i fjällen för att mobilen ska tappa sin uppkoppling. Där mobilnätet är mer utbyggt kan det räcka med att en storm slår ut elen för att basstationerna ska sluta fungera efter några timmar.

Därför satsas det nu globalt på att utveckla teknik för att koppla samman det markbaserade mobilnätet med satelliter. En mobil ska då sömlöst kunna gå över till satellituppkoppling om täckning saknas från marken.

I Sverige pågår utvecklingen bland annat på det nystartade forskningscentret SMART 6GSAT. Det leds av KTH-professorn Cicek Cavdar, som under sina 20 år inom kommunikationsforskningen själv gjort resan från trådbundet till trådlöst, och sedan till satellit.

– Vårt mål är att till 2030 först kunna erbjuda direkt satellitbaserad mobil uppkoppling till försvaret och till terminaler i fordon, eftersom de har färre energibegränsningar och kan stödja större gruppantennor än vanliga mobiltelefoner, säger hon.

Detta är ett stort tekniskifte. Traditionellt har satellitkommunikation och

mobilkommunikation nämligen varit två helt skilda världar. Tekniskt, standardmässigt och företagskulturellt.

För EU:s del är det en konstellation av 290 satelliter inom initiativet IRIS² som ska förse medlemsstaterna med säker och robust kommunikation. Forskningscentret SMART 6GSAT bygger vidare på tidigare innovationer inom LEO-satelliter, såsom Starlink. Men en viktig skillnad är att det inte kommer att krävas en specifik leverantörs terminaler för att få uppkoppling.

– Vi vill bygga en suverän, tillgänglig och garanterad konnektivitet utan extrema kostnader, säger Cicek Cavdar.

Centret jobbar därför med hela kedjan av nödvändig teknikutveckling, från mark till rymd, från hårdvara till mjukvara.

Mobilnätet som radar

På Linköpings universitet jobbar lektorn Diana Moya Osorio med en annan eftertraktad möjlighet i framtidens mobilnät: att integrera en radarliknande sensorcapacitet i det (eng. integrated communication and sensing – ISAC).

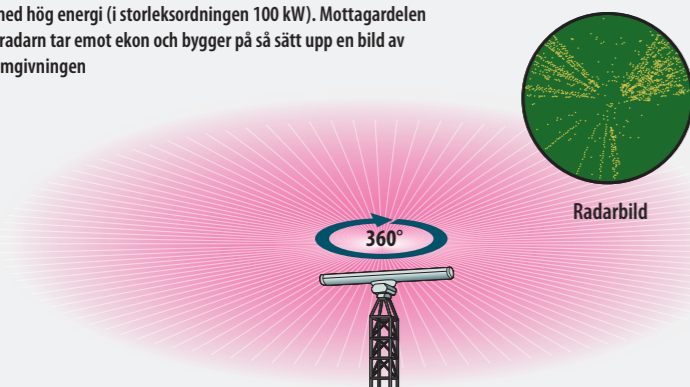
Radiovågorna som vi använder för kommunikation ska då samtidigt kunna scanna av omgivningen och hur den förändras i realtid. Ju högre frekvens, ju bättre upplösning. Eftersom ▷

INTEGRATED SENSING AND COMMUNICATION (ISAC)

ISAC är en potentiell teknik för 6G-nätverk där mobilnätet inte bara kommunicerar utan även kan fungera som radar. Det gör det möjligt att lokalisera objekt och att läsa av miljön.

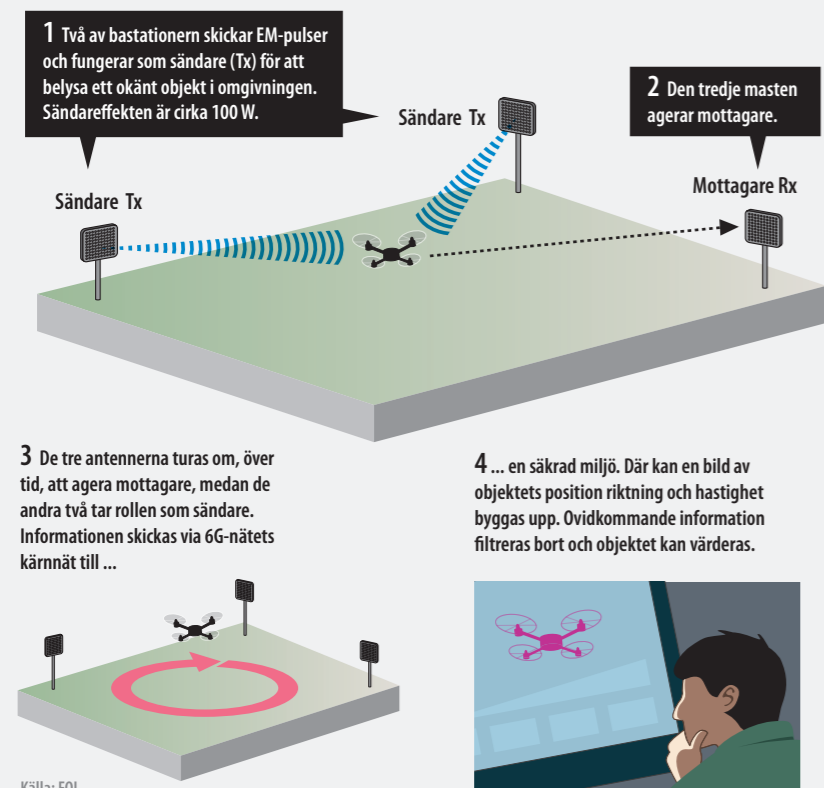
TRADITIONELL RADAR

Traditionell radar är ofta monostatisk, det vill säga sändare och mottagare sitter i samma enhet. Radarantennen roterar och skickar ut radarpulser med hög energi (i storleksordningen 100 kW). Mottagardelen i radarn tar emot ekon och bygger på så sätt upp en bild av omgivningen



MULTISTATISK RADAR

Vid multistatisk radar är det olika antenner som sänder och tar emot radareköt. Antalet sändare och mottagare kan variera – det kan vara 1 till 10, eller fler, som sänder och 1–10, eller fler, som tar emot. Nedan ett scenario för att använda 6G-sensing utifrån tre bastationer och skapa en 3D-modell av ett givet luftrum.



mobilmaster finns utbrett, och fler noder enkelt kan sättas upp både ute och inne, kan en finmaskig virtuell bild av verkligheten skapas. Början till denna funktion finns redan i 5G, men att fullt utveckla tekniken kan ta ett tiotal år.

Funktionen skulle kunna ge självkörande bilar information om barn som leker på gatan runt hörnet, och hjälpa robotar att röra sig bland människor. Även drönardetektering väcker alltmer intresse.

– Det är inte bara en militär fråga. Vi skulle också vilja skydda kritisk infrastruktur och flygplatser, säger Diana Moya Osorio, som forskade inom den finska flaggskeppssatsningen för 6G på Oulo universitet innan hon flyttade till Linköping.

– I framtiden kommer vi också ha drönare som levererar olika typer av service och det finns inte kapital för att installera radar överallt, så jag tror att det är drönardetektering som kommer att driva på utvecklingen av ISAC.

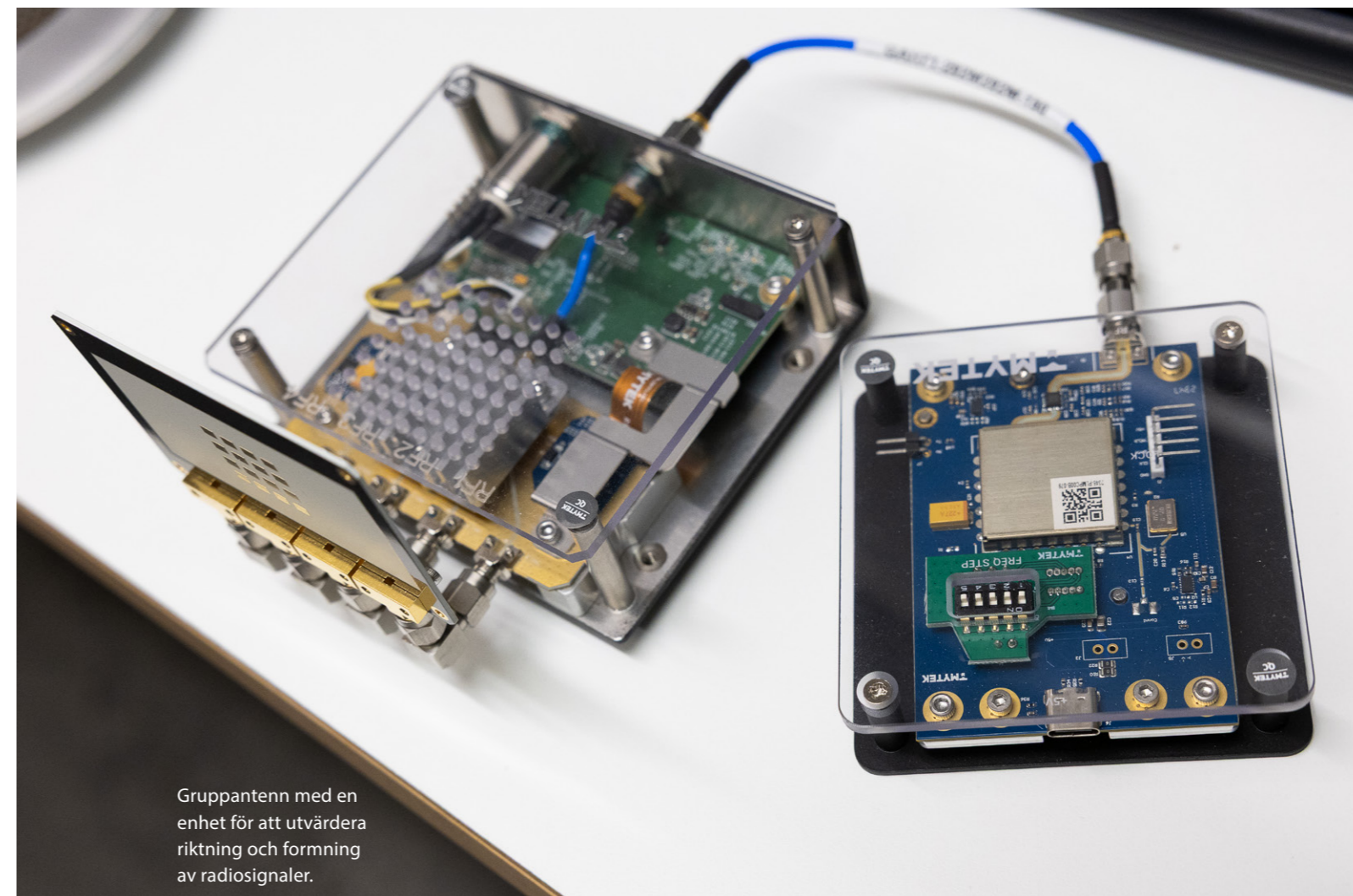
Övervakningens risker

Mobilmaster skulle då kunna fungera som ett utbrett system för tidig förvarning, som flaggar misstänkt aktivitet i luftrummet så att andra system kan undersöka den närmare. Från satelliter kan radarfunktionen användas för att följa trupprörelser, även i mörker och genom moln. På nära håll kan signalerna fånga ett hjärtas slag.

Men det finns en risk att också en motståndare eller kriminell aktör



Diana Moya Osorio. Foto privat.



Gruppantenn med en enhet för att utvärdera riktning och formning av radiosignaler.

»Men jag vet inte vem som kommer att använda den här teknologin som vi utvecklar. Vi vill ju inte att storebror övervakar alla våra rörelser utomhus och inomhus.«

lyckas skapa sig en bild utifrån det allseende systemets signaler. I värsta fall skulle mobilnätet också kunna användas som ögon i ett totalitärt övervakningssamhälle. Inte minst om tekniken även byggs in i de smarta telefonerna, klockorna och glasögonen som vi bär med oss överallt.

– Allt reflekterar signaler och med det kan du rekonstruera miljön. I framtiden om det sker en olycka vill vi kunna aktivera folks mobiltelefoner för att få en karta över miljön och se om någon är begravd under något. Men samma teknik kan användas inuti ett hem, säger Diana Moya Osorio.

– Vill vi verkligen ha den möjligheten? Kommer folk att veta om det?

Förklarbarhet och transparens är väldigt viktigt, men vad som i slutändan hamnar i 6G-standarden är det som sakägarna kräver. Min vision är att det ska finnas delaktighet från användare i frågor som rör personlig information och att bli avläst hela tiden.

Även Cicek Cavdar är betänksam över radarfunktion i mobilnäten.

– Min nyfikenhet har alltid gjort mig väldigt positiv till teknikutveckling, och jag såg framför mig hur vi kan förhindra att ett litet barn blir påkört. Men jag vet inte vem som kommer att använda den här teknologin som vi utvecklar. Vi vill ju inte att storebror övervakar alla våra rörelser utomhus och inomhus. □





FÖRSVARSMAKTEN

**Rapporten är sammanställd av FoT-projektet
Omvärldsbevakning med teknisk prognos.**

FMV dokumentbeteckning: 24FMV2096-40

TEXT: Kajsa Skarsgård

FOTO: Tomas Årlemo om inte annat anges

GRAFIK: Martin Ek

GRAFISK FORM: Peter Ehrlin

FAKTAGRANSKARE GRAFIK: Johan Falk, FOI