

# Europas märkligaste teleskop

av Garrelt Mellema

Så många gigabyte per dag. Och det ser inte heller ut som ett teleskop. Vad är LOFAR, och varför är det mer framtid än du anar? Garrelt Mellema berättar om ett mycket annorlunda sätt att titta på universum.

Namnet låter nästan skandinaviskt, och det finns faktiskt en dvärg i nordisk mytologi som bär samma namn, men det teleskop som nu börjar ta form i Europa är långt ifrån en dvärg. Man skulle kunna påstå att det är en jätte med en storlek på hela 150 mil. LOFAR kallas det, och det betyder *Low Frequency Array*. LOFAR är mest ett radioteleskop, men inte ett sådant som många skulle känna igen. Komponenterna ser inte ut som stora parabolantennor som t.ex. VLA i USA, utan snarare som små indiantält utan tyg samt mystiska svarta plastlådor liggande på ett fält. För dem som tycker om hårdvara är LOFAR inget vidare, den mest intressanta komponenten är kanske en stor superdator som tar emot alla signaler. LOFAR har därför kallats för ett mjukvaruteleskop, något som inte har varit så populärt hos de ingenjörer som utvecklade alla de små elektroniska komponenter som ingår i LOFAR-antennerna.

Vad kan det här mystiska teleskopet då se? Kostängsel, blixtar, små högenergetiska partiklar som når jorden från rymden, galaxer, svarta hål, signaler från universums ungdom och kanske okända objekt som just ingen vet vad de är. Redan det låter mycket, men andra sensorer i LOFAR-nätverket ska även mäta tektoniska rörelser och mikroklimatet för lantbrukstillämpningar. På så sätt är LOFAR ett innovativt och spännande projekt.

## Historia

LOFAR började som en idé i början av 1990-talet. Radioastronomer i Nederländerna hade upptäckt att ett sätt att

hitta avlägsna galaxer från universums tidiga historia är genom att observera längre och längre radiovåglängder (lägre och lägre radiofrekvenser). Klassisk radioastronomi använder våglängder på ungefär 1–10 centimeter, så för att hitta signaler från ännu tidigare radiogalaxer skulle man behöva observera på våglängder från 1 till 10 meter. Samtidigt höll ingenjörer på att utveckla idén att bygga ett radioteleskop utan rörliga delar. Klassiska radioteleskop består av parabolantennor, helst så stora som möjligt. Den största rörliga parabolantennen i världen står i Tyskland och har en diameter på 100 meter. För att titta i en särskild riktning måste man rikta in parabolerna. Ju större teleskop, desto svårare blir det att rikta det. På samma gång behöver man en stor parabol för att observera långa våglängder, parabolerna måste vara flera gånger större än våglängden man vill studera.

Dessa två idéer slogs ihop, och man började utveckla ett nytt slags radioteleskop som skulle bestå av massor av små antenner utan parabolerna som skulle kunna riktas digitalt. Man insåg snabbt att det skulle kräva ett stort nätverk av fiberkablar som skulle transportera signalerna från alla antennerna. Ett nätverk som då också skulle kunna användas för att transportera resultat från andra sensorer som gör t.ex. geofysiska och jordbruksrelaterade mätningar. Konceptet med LOFAR som ett så kallat sensornätverk uppstod.

Idéerna i Nederländerna presenterades på olika internationella konferenser, och så småningom blev astronomer från andra länder också intresserade. Eftersom basinfrastrukturen skulle byggas i Nederländerna skulle det vara möjligt att placera LOFAR-stationer i andra europeiska länder om man bara skulle kunna skicka signalerna till



BILD: ASTRON

Flygfoto över LOFAR:s huvudstation utanför Exloo i Nederländerna.

Nederländerna. Eftersom det finns ett europeiskt glasfiber-nätverk visades det sig inte vara så svårt, och LOFAR blev därmed ett europeiskt projekt. Sverige var tidigt inblandat i LOFAR och ska under 2010 få en LOFAR-station i Onsala (se rutan "LOFAR i Sverige" på nästa uppslag).

## Hur fungerar LOFAR?

LOFAR ska utföra olika typer av mätningar: radioastronomiska mätningar, geofysiska mätningar och jordbruksmätningar. Dessa tre typer av mätningar använder olika slags sensorer. Om man tittar på radioastronomiska mätningar är basen så kallade stationer. En station består av två typer av antenner, LBA (*low band antenna*) för frekvenser 30–80 Mhz och HBA (*high band antenna*) för frekvenser 110–240 Mhz. Det finns 96 LBA:er i en station. De ser ut som indiantält (tipier) fast utan tyg: fyra pålar på en liggande metallstomme. Hela strukturen är ungefär 1,5 meter hög. Den mest komplexa delen är en liten dosa som sitter på toppen och innehåller elektroniska komponenter för att ta emot signalerna. HBA-antennerna är mindre och sitter ihop i grupper om 16 i en struktur täckt med svart plast. En sådan grupp kallas för ett kakel (*tile* på engelska). Ute i fältet ser de ut som platta svarta lådor. En station innehåller 48 eller 96 sådana kakel. Som sagt finns det inga rörliga delar i den här designen, teleskopet riktas digitalt genom att elektroniskt manipulera antennsignalerna. Förutom fördelen att det inte finns mekaniska utmaningar betyder det också att LOFAR kan observera väldigt stora fält på himlen. Den mest avancerade delen av en station

är ett skåp med en stor mängd elektronik och datorer. Där samlas alla signaler från antennerna och skickas via optisk fiber till den centrala LOFAR-datorn.

Stationerna skickar en stor mängd signaler till centraldatorn, och denna behöver vara väldigt kraftig för att kunna ta hand om alla dessa signaler. För att ge en uppfattning om hur mycket data det handlar om: en inte särskilt stor mätning med LOFAR kan producera 5 000 gigabyte på en timme. Därför anskaffades en speciell dator utvecklad av IBM, av typen BlueGene, som står i staden Groningen i Nederländerna. Den här datorn som fick namnet Stella består av mer än 6 000 processorer som tillsammans tar hand om alla data som strömmar in. För att kunna göra någonting med alla signaler som stationerna producerar krävs det en stor mängd beräkningar, och hanteringen av tusen- till miljontals gigabyte innebär en stor utmaning, men till sist får man en bild som om alla stationer tillsammans fungerade som ett stort teleskop.

Sensorerna som gör geofysiska mätningar sitter i marken och lyssnar på ljud som går genom jordlager. De så kallade geofonerna ser ut som fyrverkeriraketer, men är osynliga eftersom de är nergrävda i marken. Eftersom de ska mäta lokala geologiska strukturer finns de bara i norra delen av Nederländerna, men annars är det generella syftet detsamma som i det astronomiska fallet, nämligen att kombinera signaler från många håll för att i det här fallet kartlägga jordlager. Signalerna ska alltså också skickas till den centrala LOFAR-datorn.

Jordbruksmätningar ska kartlägga mikroklimatet i olika fält. Små sensorer mäter temperatur, fuktighet, lufttryck och ljusstyrka. I det här fallet bestämdes att data inte ska

BILD: ASTRON



En enda LBA-antenn. Den är ungefär 1,5 meter hög.

skickas över nätverket, utan ska samlas in genom trådlös kommunikation. Syftet är att uppnå så kallat precisionsjordbruk, där man t.ex. bara tar till åtgärder mot mögel i grödor där omständigheterna kräver det.

Kombinationen av dessa tre tillämpningar är unik och visar att nya tekniker som utvecklas för någonting onyttigt, som att förstå universum, leder till nya utvecklingar inom områden som berör oss människor mer direkt.

LOFAR-projektet också har en icke-vetenskaplig ekologisk sida. Det centrala området där nästan hälften av alla nederländska stationer ska placeras köptes av LOFAR med löfte att så småningom göra om det till ett naturreservat. Detta före detta lantbruksområde ska förvandlas till det naturliga tillstånd som det hade tidigare. Redan nu kan man se effekterna av det. Visserligen finns det LOFAR-stationer där, men de små antennerna stör inte naturen särskilt mycket, och byggarbetet lades faktiskt ner under fåglarnas kläckningsperiod.

## Vad kommer LOFAR att upptäcka?

Den astronomiska delen av LOFAR kommer att vara det första teleskopet som kartlägger himlen i lågfrekvent radiostrålning. Efter LOFAR kan vi säga att vi har tittat på himlen från den mest högenergetiska gammastrålning till den mest lågenergetiska radiostrålning. Bara det gör LOFAR unikt, och eftersom det inte finns några tidigare observationer är det svårt att förutse allting som LOFAR kommer att upptäcka. Man hoppas faktiskt upptäcka saker som vi ännu inte har en aning om. Likväl kan man på grund av observationer vid kortare våglängder få en uppfattning om vad LOFAR kommer att se. Så förväntas t.ex. LOFAR upptäcka tusentals nya pulsarer och kartlägga alla pulsarer som finns närmare än 2 kiloparsec (6 500 ljusår). Också andra objekt som är kända för att vara varierande med tiden ska studeras, bl.a. aktiva galaxkärnor och svarta hål. Det finns också en chans att LOFAR kommer att upptäcka Jupiterliknande planeter kring andra stjärnor; Jupiter är på vissa långa våglängder det mest ljusstarka objektet i vårt solsystem.

Skälet att man förväntar sig upptäcka så många tidsvariabla objekt är att LOFAR kan observera stora delar av

BILD: ASTRON



Nyifkna italienska forskare får titta på vad som döljs i ett HBA-kakel.

himlen på en gång. Det är en av fördelarna med att inte ha parabol. Den egenskapen är också viktig för att kartlägga stora mängder av radiogalaxer. Förhoppningen är att bland dem hitta radiogalaxer från universums tidiga historia och så bättre förstå hur de första galaxerna och deras centrala svarta hål bildades.

Ett annat sätt att studera det tidiga universum är att hitta signaler från den så kallade återjoniseringen av universum. Under den period då de första stjärnorna och sedan galaxer bildades var all materia mellan galaxerna neutral. Så småningom joniserades denna intergalaktiska materia av strålningen från just de här första galaxerna. Den neutrala materien förväntas producera radiostrålning, och ett delprojekt inom LOFAR försöker mäta den signalen. Den är väldigt svag, men genom att upptäcka den skulle vi lära oss mycket om vårt universums tidiga historia, en period som vi ännu inte vet mycket om. Många anser att upptäckten av universums återjonisering skulle kunna bli LOFAR:s största upptäckt.

Det är nästan omöjligt att ge en komplett lista över allting som LOFAR kommer att studera. Ett område där Sverige traditionellt har varit aktivt är observationer av solen och så kallat rymdväder, effekter som solaktiviteten har på jordens jonosfär. Här skulle LOFAR också samarbeta med det svenska LOIS-projektet, som byggs nära Växjö och har som mål att mäta rymdväder och jonosfärisk aktivitet.

Intressant nog kommer LOFAR inte bara att observera avlägsna objekt. Ett delprojekt ska studera radiostrålning som uppstår i jordens atmosfär när högenergetiska partiklar av kosmiskt ursprung kolliderar med jorden. Man ska här inte använda LOFAR för att göra bilder av himlen, utan snarare som en detektor för att med nanosekundprecision kartlägga fingeravtrycket av radiostrålning som når jordens yta. Inom samma projekt ska man också titta på radiostrålning som produceras av blixnar vid åskväder.

Den underliggande bilden är en karta över hur en LOFAR-station är uppbyggd. HBA-systemet ligger nere till vänster, diameter 62 m, och LBA-delen uppe till höger är 70 m i diameter. Färgerna motsvarar olika längder på de kablar som för signalerna till centralenheten, vilken ligger uppe till vänster, vid ordet "naturen".

FOTO: JOCHEN EISCHOFFEL



Den nyinstallerade LOFAR-stationen i tyska Tautenburg är identisk med den som kommer att installeras vid Onsala våren 2010.

## LOFAR i Sverige

LOFAR utökas bortom Nederländernas gränser till ett antal europeiska länder, inklusive Sverige, där det nu byggs en station vid den svenska nationella faciliteten för radioastronomi, Onsala rymdobservatorium.

En utökning i europeisk skala för hela LOFAR-nätverket behövs på grund av de extremt långa våglängder, upp till 10 meter, som LOFAR observerar vid. För att kunna få en bildupplösning som liknar den man får med markbaserade optiska teleskop (en bågsekund) måste separationen mellan mottagarstationerna vara av storleksordningen 1 000 kilometer. Utöver den internationella stationen som byggs vid Onsala byggs det även fem stationer i Tyskland och en vardera i Storbritannien och Frankrike. Andra länder som hoppas få en station är Italien, Polen och Irland. Stationen vid Onsala har ett strategiskt läge som gör att teleskopnätverket sträcker sig tillräckligt långt i nord-syd-riktning för att dess seeing ska bli nästan cirkulär.

När det är klart kommer arrayen vid Onsala att bestå av två antennfält på 60 m i diameter som används för att observera i LOFAR:s långa och korta våglängder. Varje fält består av 96 element. Kraven på fältens platthet är ganska hårda, vilket har gjort att det har tagit tid att hitta en lämplig plats i Onsalas klippiga terräng.

Nu när platsen har valts bygger vi upp infrastrukturen för att kunna koppla till kraftnätverk och optiska fibrer. Antennerna ska levereras och installeras under våren. Det nya teleskopet är tänkt att vara i drift i maj 2010. Under tiden testas datalänkarna som behövs för att skicka data från stationen med hastigheter på 5 gigabit per sekund till centraldatorn i Groningen i Nederländerna. Ett konsortium av intresserade svenska astronomer har bildats för att kanalisera det vetenskapliga intresset i projektet och för att besluta om hur den tid ska allokeras som Sverige har erhållit som gengäld för att ha investerat i projektet.

John Conway, Onsala rymdobservatorium

## Utmaningar

Eftersom LOFAR kommer att göra så många nya saker finns det en hel del utmaningar att ta itu med. En stor del är radiostrålning som produceras av människor. LOFAR kommer att vara blind inom frekvensområdet 80–1 110 Mhz, som man kanske känner igen som FM-radions frekvenser. På dessa frekvenser finns det allför starka signaler för att kunna göra mätningar. Men på de frekvenser där LOFAR kommer att göra mätningar finns det andra signaler, t.ex. televisions- och radarsignaler. Man tror att det är möjligt att filtrera bort dem, eftersom de är relativt skarpa. Farligare är signaler som uppstår i gnistor, som t.ex. i generatorer och även i elektriska boskapsstängsel.

En helt annan utmaning är att jordens jonosfär har samma, fast större effekt på lågfrekvent radiostrålning som atmosfären har på vanligt ljus: radiokällor kommer att tyckas röra på sig på himlen och variera i ljusstyrka. Det har jämförts med att placera ett vanligt optiskt teleskop på botten av en simbassäng. Inom LOFAR-projektet utvecklas nu metoder för att korrigera för de effekterna, ett slags adaptiv optik för radiostrålning.

Eftersom LOFAR-antennerna inte har några parabolser en antenn hela himlen hela tiden. Digitalt kan man beräkna från vilken riktning en viss signal som når alla antenner kommer, men väldigt starka signaler från en annan riktning kan fortfarande komma in som en störning. Det måste man ta hänsyn till när man arbetar med LOFAR-data, och det är en ny utmaning för radioastronomerna eftersom det var inte så med tidigare radioteleskop. Som så ofta motsvaras varje fördel av en nackdel.

## När är framtiden här?

Förberedelser för LOFAR-projektet började för mer än tio år sedan, men den verkliga utvecklingen började 2003 när projektet fick stora pengar från nederländska regeringen. Nu, senhösten 2009, finns sex helt fungerande och testade stationer och ytterligare sju nästan färdiga i Nederländerna och två i Tyskland. Man förväntas börja med de första mätningarna under den kommande vintern med ungefär hälften av alla nu planerade stationer. En stor del av de första observationerna kommer att handla om att kartlägga alla ljusstarka radiokällor på himlen. Den resulterande listan förväntas innehålla närmare en miljon radiogalaxer, och den katalogen är nödvändig för att kunna leta efter svagare radiosignaler.

Nästa sommar ska andra hälften av stationerna placeras ut för att kunna börja med riktiga observationer under vintern 2010–2011. Många har jobbat i åratal för att se den här drömmen blir verklighet. Om man råker vandra förbi en LOFAR-station skulle man aldrig ana det, men den utgör en del av en av ett högtekniskt projekt som innebär en revolution inom radioastronomi, och kanske även inom hela astronomin. ★

GARRETT MELLEMA är professor i astronomi vid Stockholms universitet