

Ørstedsatellitten

Flemming Hansen, RadioLab Consulting

Ørstedsatellitten, Danmarks første satellit, blev skabt i et enestående, gensidigt inspirerende samarbejde mellem danske rumforskere og dansk rumindustri, og gav Danmark en førerposition inden for forskning i Jordens magnetfelt. Denne position blev videreført med Swarm-satellitterne. Nu 21 år efter opsendelsen er Ørstedsatellitten stadig i live og kan måske bidrage med yderligere videnskabelige data.

Danmark som rumnation

Omkring 1990 begyndte forskere ved Niels Bohr Institutet, Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Dansk Rumforskningsinstitut (DSRI – nu en del af DTU Space) og Danmarks Tekniske Universitet (DTU) samt ledelse og ingeniører hos Computer Resources International (CRI – nu en del af Terma A/S) at udforme idéerne til en dansk videnskabelig mikrosatellit.

DSRI havde været engageret i udvikling af bygning af satellitinstrumenter allerede få år efter rumalderens begyndelse, og dansk rumindustri tog sin spæde begyndelse i første halvdel af 1970'erne. Måling af og forskning i Jordens magnetfelt og magnetosfæren havde i 100 år været forankret på Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og var derfor en dansk styrkeposition. Erfaringsgrundlaget til at bygge en hel satellit og ikke kun små ruminstrumenter var derfor til stede. Derfor foreslog man en mission til kortlægning af Jordens magnetfelt, hvilket ikke var gjort siden NASA's MagSat i 1979–80.

I december 1991 fik man af Forskningsministeriets Rumudvalg bevilget 1,3 mio. kr. til et forstudie, som i oktober 1992 mandede ud i en anbefaling til at fortsætte projektet. Det faldt helt naturligt at navngive satellitten efter H.C. Ørsted.

Et "kludetæppe" af bevillinger fra Erhvervs-, Forsknings- og Trafikministerierne blev stykket sammen i juni 1993, og med egenfinansieringsbidrag fra de implicerede forskningsinstitutter og industrivirksomheder og bidrag fra European Space Agency (ESA), det franske rumagentur CNES, det tyske rumagentur DLR og endelig med en opsendelse og et instrument sponsoreret af NASA, faldt det hele på plads, og der var dækning for udviklingsomkostningerne [1–5].

Ørsted ville blive sendt op med en DELTA-II-raket fra Vandenberg-raketbasen i Californien i september 1995 sammen med ARGOS-satellitten fra U.S. Air Force og en anden ekstrapassager, SUNSAT, fra det sydafrikanske Stellenbosch University.

Der var uhyggeligt kort tid til september 1995, og alle sejl blev sat for at kunne nå i mål. Heldigvis for Ørsted blev den amerikanske satellit forsinket, først til 1996, hvor Ørsted egentlig var klar til opsendelse, men derefter i flere omgange indtil slutningen af 1998, hvor ARGOS endelig var klar.

Opsendelse med komplikationer

Tirsdag den 23. februar 1999 kl. 11:29:55 markerede en milepæl for dansk rumforskning, dansk rumindustri og

Ørstedteamet. Klokken var 02:29:55 californisk tid, da DELTA-II-raketens motorer tændtes og oplyste nattemørket, mens den løftede tre satellitter i kredsløb om Jorden. 100 minutter efter "lift-off" blev Ørsted sat fri og kunne begynde sin mission.

Forud for denne succes gik næsten seks uger med ti forgæves opsendelsesforsøg, hvor nedtællingen blev afbrudt på grund af fejltilstande i raketten, som opstod under nedtællingen, eller vejrliget, som ændrede sig til det værre. Én af gangene var man nået så langt i nedtællingen, at man havde antændt de såkaldte "vernier engines", små raketmotorer, som kontrollerer raketens rulning under opstigningen, hvorefter man konstaterede en fejl og måtte afbryde og slukke motorerne igen, lige før hovedmotorerne skulle tændes. For os, der bed negle under hvert nedtællingsforsøg, blev begrebet "launch scrub" (annulleret eller skrottet opsendelse) en del af dagligsproget. De mange udsættelser gav også anledning til en del satiriske kommentarer i medierne.

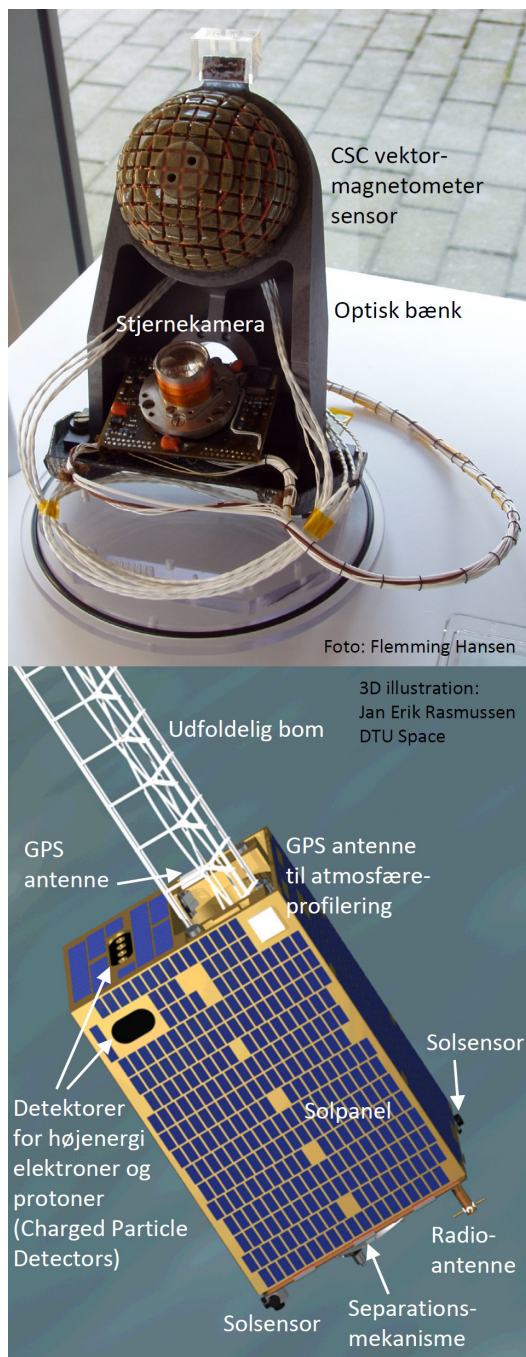
Ørstedsatellittens anatomi

Inden historien foldes ud, skal Ørstedsatellittens konstruktion lige beskrives. Se illustration i figur 1 og på forsidebilledet. Med en masse på 61 kg og en størrelse som et par rammer øl: $34 \times 45 \times 72$ cm var Ørsted absolut blandt de allermindste videnskabelige satellitter i 1999, men faktisk rummer den fire videnskabelige instrumenter:

- Compact Spherical Coil (CSC)-vektormagnetometer, opfundet og bygget af forskere på DTU og DSRI.
- Overhauser-skalarmagnetometret (OVH), som måler styrken af Jordens magnetfelt uanset magnetfeltets retning. OVH-magnetometret er udviklet og bygget af det franske institut LETI og betalt af det franske rumagentur CNES. OVH-magnetometret er langtidsstabil og bruges til at kalibrere CSC-vektormagnetometrets målinger, og bruges som videnskabeligt instrument i perioder, hvor stjerneameraet er faldet ud.
- Charged Particle Detectors (CPD) er detektorer for højenergetiske elektroner og protoner, som findes i van Allen-strålingsbælterne rundt om Jorden, og som har stor betydning for levetiden af elektronik i kredsløb om Jorden. CPD er bygget af forskere på DMI.

- TurboRogue-GPS-modtageren er udviklet af forskere ved NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) specielt til at måle profiler af temperatur og vandindhold i atmosfæren ved at observere GPS-satellitterne, når de går ned mod horisonten set fra Ørstedes kredsløb.

Stjernekameraet (Star Imager – SIM), ligeledes opfundet og bygget af forskere på DTU, er for så vidt ikke et videnskabeligt instrument, men er nødvendigt for præcist at bestemme vektormagnetometrets orientering, så den tredimensionelle måling kan placeres korrekt i rummet. Det samme gælder GPS-modtagerne, som giver satellittens præcise position i rummet for hver magnetfeltsmåling.



Figur 1. Ørstedsatellitten.

For at opnå den høje nøjagtighed af kortlægningen af Jordens magnetfelt, var det nødvendigt at placere magnetometrene så langt fra satellitkroppen som muligt. Derfor blev der af ingeniørerne på Per Udsen Aircraft Industries i Grenå (nu en del af Terma A/S) udviklet en 8 meter lang udfoldelig bom bestående udelukkende af umagnetiske materialer (glasfiber, epoxy og plastic) – se forsidebilledet. Yderst på bommen sid-

der Overhauser-skalarmagnetometret, og 2 meter derunder sidder gondolen med CSC-vektormagnetometret og stjernekameraet. Dertil kommer, at der under satellittens konstruktion omhyggeligt blev taget vare på magnetisk renhed af alle elektroniske kredsløb, ledningsføring og materialer, så magnetiske forstyrrelser fra satellitkroppens systemer blev holdt på et absolut minimum.

En detaljeret beskrivelse af Ørstedmissionen findes i ref. [1].

Panik-telekonference

Efter den nervepirrende opsendelse lod Ørsted høre fra sig allerede under andet omløb, hvor den passerede over Danmark omkring kl. ca. 14:30, og alt syntes OK om bord. Sådan gik det også de følgende par dage, men ved den forventede passage fredag morgen, der skulle begynde kl. 04:16, forblev Ørsted tavs. Hurtigt bredte tvivlen sig: Havde vi tabt satellitten, var der noget galt med radioen om bord, var computerne gået ned og ikke automatisk genstartet, som de var bygget til ... og utallige andre spekulationer. I løbet af lørdagen begyndte panikken at snige sig ind. Min familie og jeg var ved at pakke til skiferie i La Plagne i de franske alper. Vi ankom dertil stærkt forsinket ved 01-02-tiden natten til søndag, og mens jeg slæbte kufferter op til vores lejlighed med den ene hånd, var der med mobilen i den anden hånd krise-telekonference om, hvad vi skulle gøre.

Jeg husker ikke, hvad konklusionen blev, men efter nogle dage fandt man ud af, at der var en trådningsfejl i Ørstedes ur-kredsløb, som bevirkede, at det nulstillede hvert ca. 2½ døgn. Hvis der stod kommandoer i kø til eksekvering, når det nulstillede, gik der kuk i proceduren, og Ørsted kunne ende i en udefineret tilstand. Kuren var nede på jorden at holde nøje kontrol med urets visning og undlade at have kommandoer i kø på det kritiske tidspunkt.

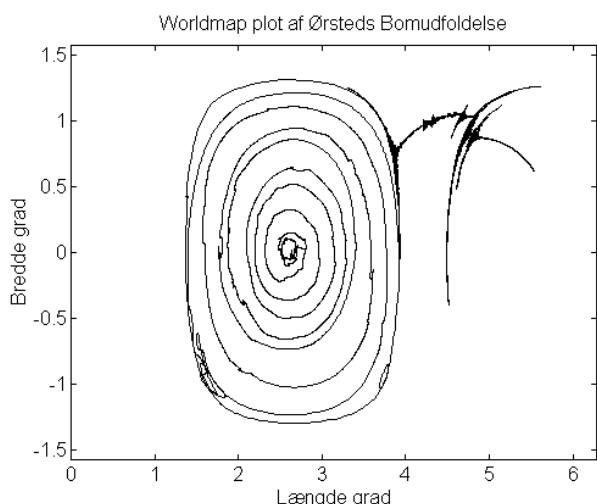
Udfoldelse af bommen

Herefter gik det strygende med opstartsfasen, at checke at alle delsystemer og instrumenter fungerede og gøre klar til udfoldningen af den 8 meter lange bom. Det vil sige med hensyn til magnetometre og stjernekamera, kunne man kun konstatere, at de var i live, men ikke lave målinger, da de sammen med bommen var stuvet i en cylinder i Ørstedes krop.

Den 14. marts kl. 13:05 startede bomudfoldningen, mens Ørsted passerede ækvator for nordgående på vej mod Danmark. 12 minutter senere var den manøvre overstået med succes. Ørsted lå under bomudfoldningen vandret, hvorefter den rejstes til lodret stilling med kroppen nederst, så radioantennerne vendte mod Jorden. Denne stilling er stabil og kaldes tyngdegradient-stabilisering, se faktaboks med forklaring.

Selve bomudfoldelsen blev overvåget ved hjælp af CSC-vektormagnetometret, og dets målinger er vist på figur 2. Under udfoldelsen roterer cylinderen med stjernekamera og CSC-vektormagnetometer. Selv om retningen af Jordens magnetfelt med tilnærmelse er konstant under processen, kommer målingerne i plottet

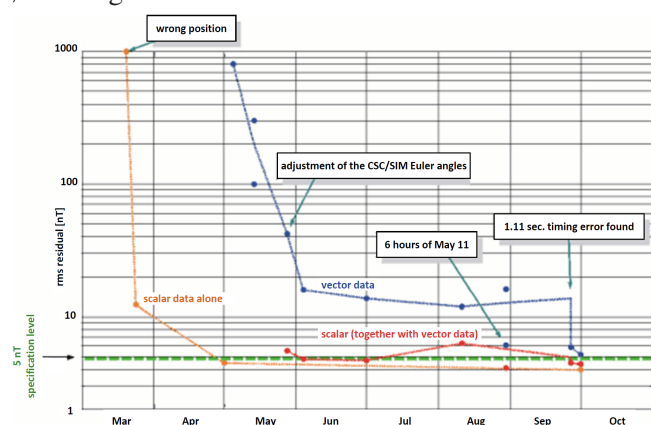
til at ligne en spiral. Efter ca. 10 omdrejninger er bommen udfoldet, og de “spjæt”, man ser i kurven yderst, skyldes, at det giver et sæt i bommen i det øjeblik, den retter sig helt ud, indtil den falder til ro.



Figur 2. CSC-magnetometrets “spiral” under udfoldningen.

Ørstedes pirouetter – datakvalitet

Kvalerne var endnu ikke overstået. Ørstedes attitudekontrollsystem havde problemer med at få satellitten til at lade være med at rotere omkring sin akse, og undgå at solen skinnede ind i stjerneameraet. Efter nogen tid lykkedes det at få attitudekontrollsystemet til at fungere som ønsket og fastholde Ørstedes orientering i rummet. Der var dog andre kvaler med kvaliteten af de magnetfeltsdata, der kom ned. Oprindeligt havde man regnet med, at to måneder til opstartsfasen, “commissioning phase”, var nok til at få alle systemer til at makke ret og få magnetfeltsdata med den forventede kvalitet. Sådan gik det ikke. Det tog syv måneder. Udviklingen i målefejlene i magnetfeltsdata er vist i figur 3. Først med udgangen af september 1999 var alt på plads, alle fejl forstået og afhjulpnet/omgået, og datakvaliteten som ønsket og forudset.



Figur 3. Udviklingen i fejlene i Ørstedes magnetfeltsdata under “commissioning phase” i 1999.

Med en design-levetid på 14 måneder for Ørsted var der nu kun halvdelen tilbage til at nedtage videnskabelige data, men heldigvis viste Ørsted sig særdeles sejlivet, så den videnskabelige ambition med kortlægning af Jordens magnetfelt blev opfyldt langt ud over forventningerne.

Ørstedes attitudekontrollsystem fungerer ved, at der er indlagt tre magnetpoler langs perimeteren af hver af kroppens tre sider, så der er en X-, en Y- og en Z-spole. Styringen af satellittens attitude (orientering i rummet) kan ses som en omvendt udgave af H.C. Ørstedes forsøg i 1820. Han fik en kompasnål til at dreje sig ved at påvirke den med et magnetfelt, skabt ved at sætte strøm på en ledning i nærheden af kompasset. Ved at styre strømmene i X-, Y- og Z-spolerne kan man lave en “kompasnål” der peger i en vilkårlig retning i forhold til satellitkroppen. Denne “kompasnål” vil så rette sig ind efter Jordens magnetfelt, der hvor satellitten befinder sig, og på denne måde kan man styre og stabilisere satellittens attitude.

International Geomagnetic Reference Field (IGRF) Model

Siden 1965 har International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA) hvert femte år udgivet en matematisk model af Jordens magnetfelt, International Geomagnetic Reference Field (IGRF), [6], og den stod til opdatering i 2000. Ambitionen hos Ørstedforskerne var naturligvis, at årgang 2000 af IGRF skulle baseres på Ørsteddata, og i et kapløb med tiden lykkedes det. Ørstedmodellen af Jordens magnetfelt blev indsendt til IAGA inden tidsfristen, og IGRF2000, gældende fra 1. januar 2000, er for langt størstedelen produceret ud fra Ørsteddata, og repræsenterede et kvantespring i nøjagtighed. Siden 2000 er alle IGRF-modeller blevet til med Ørsteddata og sidenhen med data fra dens efterfølgere: Swarm-satellitterne.

Ørstedes 20 års fødselsdag -- død eller levende?

I sommeren 2018, da Ørstedesatellittens 20-års fødselsdag i februar 2019 nærmede sig, begyndte jeg at spekulere på, om der mon stadig var liv i Ørsted. Uden en brugbar jordstation, måtte der tænkes kreativt.

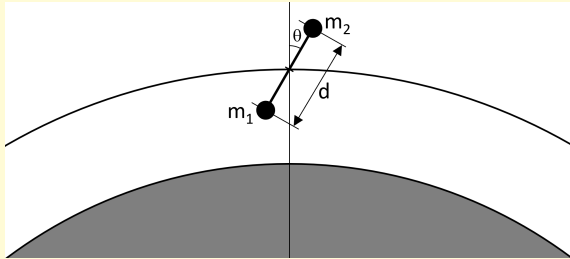
Jeg byggede derfor en såkaldt helix-antenne, som består af en cirkulær plade (reflektor) og en spiralsnoet kobbertråd, der peger ud fra reflektorpladen, se figur 4 og ref. [14]. Det er relativt enkelt at fremstille den ud fra materialer, der kan købes i ethvert byggemarked, undtagen konnektoren, som fås hos firmaer, der sælger elektronikkomponenter.

Da Ørstedjordstationen blev udviklet, krævede det mange kilogram elektronik og mange måneders udviklingsarbejde at få det hele til at spille. I vore dage består en satellitmodtager, foruden en god antenne, af en lavstøjsforstærker, der sikrer et godt signal-støjforhold af det modtagne signal. Denne efterfølges af et såkaldt Software Defined Radio (SDR)-modul og en computer, der kan være en almindelig Windows-PC. Lavstøjsforstærkeren koster ca. 1.000 kr, SDR-modulet cirka det samme og dækker frekvensområdet 10–3500 MHz, hvilket er mere end rigeligt til en Ørstedjordstation. Resten af jordstationen er software, der foretager dataprocesseringen for at demodulere, dekode og udpakke data.

Den 30. august 2018 lykkedes det at fange signalet fra Ørsted på dens sendefrekvens 2215 MHz, men signalet var svagere end beregnet, og derfor var systemet

Tyngdegradientstabilisering

Ørstedsatellitten kan holde sig oprejst, dvs. med bommen i lodret stilling, pegende væk fra Jorden ved hjælp af tyngdegradientstabilisering. Satellitten består simplificeret set af to klumper m_1 og m_2 med en stang imellem med længden d . Kroppen er den ene klump og de to instrumenter på bommen den anden. Den simplificerede model er vist på figuren, og vi nøjes med at betragte en cirkulær bane, selv om den elliptiske bane er det generelle tilfælde.



Satellitbanen bestemmes af dens tyngdepunkt. For en cirkulær bane er Jordens tyngdekraft altid i perfekt balance med centrifugalkraften. Hastigheden i banen er bestemt af:

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{r}} \quad (1)$$

Hvor μ er den geocentriske gravitationskonstant, $\mu = 3,986004418 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$, og r er banens radius.

Den geocentriske gravitationskonstant μ er produktet af Jordens masse m_e og den universelle gravitationskonstant G , som forekommer i Newtons gravitationslov. Hver for sig er de kun kendte med 5-6 betydende cifre, mens produktet er bestemt uhyre præcist med 10 betydende cifre.

Af formelen ser man, at banehastigheden aftager med baneradius. Således vil den yderste klump i den simplificerede Ørstedmodel have for meget fart på og den inderste klump for lidt fart på i forhold til tyngdepunktets bane. Derfor vil den yderste klump have "overskud" af centrifugalkraft og den inderste klump et "underskud". Er stangen ikke lodret, vil der komme et drejningsmoment, som prøver at rette satellitten op i lodret stilling.

Hertil kommer, at den yderste klump påvirkes af en lidt mindre tyngdekraft end den inderste, hvilket også virker til at rette satellitten op. Under påvirkning af de to kræfter vil der være et samlet træk i stangen, og dette kan i andre sammenhænge udnyttes således, at man faktisk kan nøjes med en line mellem de to klumper.

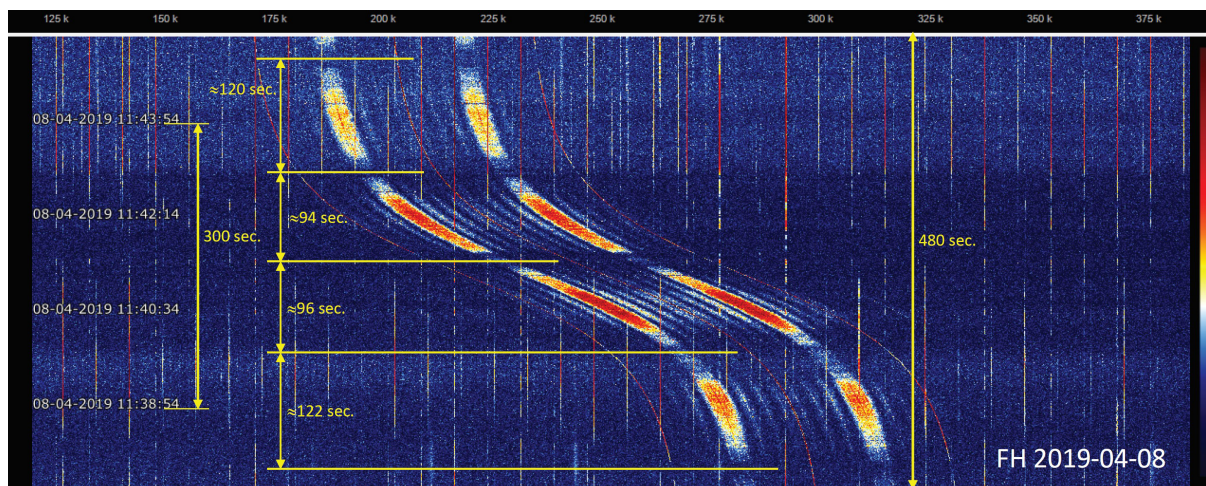
På denne måde virker Ørsted som et pendul, der også vil rette sig op til lodret stilling, hvis det slippes løs i en vinkel væk fra lodret, men der er en afgørende forskel: Pendulet oplever sin største "restoring force", den kraft, der prøver at få det tilbage til lodret, når det er i vandret stilling. Med vores satellitmodel i vandret stilling er der ingen "restoring force". Derfor er det principielt også forkert at tale om en pendulbevægelse af Ørsted, da kræfterne ikke virker på samme måde. På engelsk kalder man satellittens bevægelser under tyngdegradientstabilisering for "librations". En detaljeret analyse af tyngdegradientstabilisering findes i ref. [13].

ikke følsomt nok til at vise, om der også var modulation på bærebølgen og dermed data, der kunne afkodes. Yderligere forsøg i efteråret 2018 under passager, hvor Ørsted gik gennem Zenith, viste, at forløbet af Dopplervariationen af signalfrekvensen nøje svarede til det forventede, så der var ingen tvivl om at det var Ørsted jeg modtog, og at den var i live.



Figur 4. Modtagning af Ørsted signaler med håndholdt helix-antenne (privatfoto).

I foråret 2019 fik jeg hjælp af Jesper Abildgaard Larsen, Satlab A/S i Aalborg, der på taget af NOVI Science Park, hvor de bor, havde en nyopstillet 2,4 meter parabol, som kunne modtage Ørsteds frekvens. Den 8. marts 2019 nedtog de data fra en zenithpassage, og dels gav den datapakker, som kan udpakkes, når jeg får den gamle jordstationssoftware til at fungere, og dels bekræftede den, hvad jeg fik mistanke om under modtagelse med den håndholdte antenne: Signalstyrken varierer periodisk.



Figur 5. Signalstyrkevariationer over 8 minutter under zenithpassage den 8. marts 2019.

Gyngerne og karrusellerne

Hvor Ørsted i starten af sit liv var lidt for glad for karruselture, ser det nu ud til, at den foretrækker gyngerne. Figur 5 viser signalstyrkevariationerne. Diagrammet er et såkaldt “waterfall plot”. X-aksen repræsenterer frekvensen, og man skal forestille sig en papirbane, der kører nedad, og som der sprøjtes farve på alt efter signalstyrken ved en given frekvens: Blå for svagt eller intet signal og via hvidt, gult og over i rødt alt efter signalstyrken. De to farvede spor skyldes Ørstedssignalets modulationsform, som frembringer to sidebånd. Kigger man godt efter, kan man midt imellem de to sidebånd se bærebølgen som en tynd rød streg. Dopplerforløbet af signalfrekvensen passer igen fuldstændigt med det forudberegnete, men det er tydeligt, at signalstyrken varierer periodisk.

En tyngdegradientstabiliseret satellit som Ørsted har som nævnt visse ligheder med et pendul. Dette kunne forklare variationerne, hvis Ørsted var kommet i svingninger, men perioderne i plottet har ikke samme varighed: De to midterste er ca. 95 sek. og de to yderste ca. 120 sek. Et pendul har en konstant periode, så pendulforklaringen kan ikke stå alene. Jeg har foretaget en simulering af de geometriske forhold mellem jordstation og satellit, som ændrer sig konstant under passagen, og en Ørsted, der gynger med en amplitude på omkring 35° og en periode på 122 sek., og den kan forklare den tilsyneladende ændring i periodetiden – men det kræver, at Ørsted “står på hovedet” med bommen pegende nedad! Der er ikke noget fysisk i vejen for dette, men det er højst bizart. Det kan også forklare, hvorfor jeg ikke fik så kraftigt signal som beregnet på den håndholdte antenne, hvis Ørstedes antenne peger væk fra Jorden.

Hvis vi igen kan få kontakt med Ørsted og nedtage attitudedata fra solsensorerne (såfremt de stadig virker) kan vi verificere, om min analyse er korrekt. En anden mulighed er at observere Ørsted med et teleskop under en passage, hvor der er nat hernede og sol på Ørsted, og under geometriske forhold, hvorunder Ørsted ses delvist fra siden. Da Ørstedes 8 meter bom ses under en vinkel på et par buesekunder, vil det kræve et teleskop

med en apertur på mindst 25 cm og helst det dobbelte, og som automatisk kan tracke Ørsted.

Ørsted som et smukt stjernes kud – ikke i vores levetid

I en artikel i Ingeniøren i den 8. februar 2010, [7], falder udtalelsen: “Når den [Ørsted] om 25 til 30 år brænder op i atmosfæren, vil det ligne et stjernes kud”. Det er 10 år siden nu, og det holder ikke. I Ørstedes banehøjde med apogæum (det fjerneste punkt) 831 km, perigæum (det nærmeste punkt) 632 km, er der vakuum i jordisk forstand, men der er alligevel en lille bitte smule luft, som bremser Ørsted, så den langsomt spiraliserer indad og en dag brænder op som et stjernes kud.

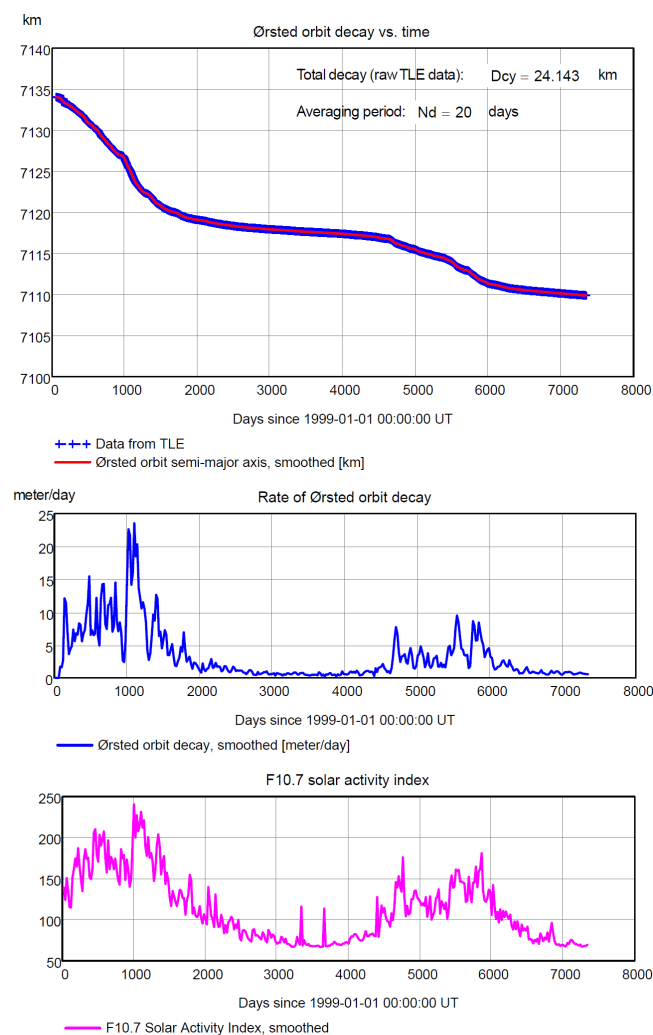
Tætheden af atmosfæren i satellithøjder varierer med solaktiviteten over den 11-årige solpletcyklus. Når solen er meget aktiv og har mange solpletter, tilføres der energi til den øverste atmosfære, som svulmer op og giver højere tæthed i en given højde. Dermed taber satellitterne hurtigere højde end under solpletminimum. Ørsted blev opsendt ca. $2\frac{1}{2}$ år inde i solcyklus 23 og mærkede ret hurtigt dette i form af højdetab. For at få en idé om tidspunktet for Ørstedes endeligt, lavede jeg op til 20-års fødselsdagen en analyse af 20 års banedata, som er vist i figur 6.

Den øverste graf viser udviklingen i ellipsebanens halve storakse (semi-major axis). Det er tydeligt, at højdetabet ikke er konstant. Midterste graf viser højdetabet pr. dag. Den nederste graf, som viser F10.7-solaktivitetsindekset, en stedfortræder (proxy) for solplettallet, indikerer, at højdetabet er kraftigt korreleret med solaktiviteten. Solcyklus 23 var kraftigere end solcyklus 24, som vi for nyligt har lagt bag os, og højdetabet tilsvarende kraftigere i solcyklus 23 end i 24.

Over Ørstedes første 20 år i kredsløb og næsten to solcykler er højdetabet 24 km. Siden den 12. februar 2019, hvor analysen slutter, til primo august 2020, har Ørsted tabt 282 m højde. Når Ørsted kommer ned i omkring 300 km højde, går det rigtigt stærkt, og den har så kun uger eller få måneder tilbage at leve i.

Ørstedes middelbanehøjde på grundlag af den halve storakse er i dag ca. 731 km. Der er således ca. 430

km for nedadgående, til banehøjden bliver kritisk. Med ca. 12 km højdetab pr solcyklus, vil der gå ca. 36 solcykler eller 396 år, før vi når dertil. Dette er dog stærkt simplificeret. Jo længere Ørsted kommer ned, jo hurtigere går højdetabet, så det er en accelererende effekt. Skulle det så kun tage halvdelen af de 396 år, bliver det under alle omstændigheder ikke i dette århundrede, at vi kommer til at se Ørsted som et stjernes kud. Der findes endnu ikke modeller, som med sikkerhed kan forudsige solaktiviteten i de kommende cykler, så den er en stor ubekendt i en simulering af højdetabet og tidspunktet for en satellits endeligt.



Figur 6. Ørsteds højdetab fra opsendelsen frem til 12. februar 2019.

Ørsteds bedrifter og efterfølger

Ørsted blev i december 2000 af medlemmerne af Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) kåret som det 20. århundredes fjerdestørste ingeniørbedrift [8]. Det er ganske godt gået af en mikrosatellit, og dens betydning for Danmark som rumnation kan næppe overdrives. Der skal ikke her bruges plads på at opliste alt, hvad der er kommet ud af Ørstedmissionen, men det er på sin plads at nævne, at Ørstedteamet også kom til at sætte scenen for dens efterfølger. Allerede i december 1998, nogle måneder inden opsendelsen af Ørsted, indleverede et internationalt konsortium under ledelse af Danmarks Rumcenter (tidligere DSRI og nu en del af DTU Space)

et forslag til ESA om Ørsteds efterfølger: Swarm med tre satellitter. De to satellitter flyver side om side i 450 km højde og den tredje i et andet baneplan og 530 km højde, og alle i polært kredsløb. Efter flere udvælgelsesrunder i ESA blev satellitterne designet og bygget, og nu med næste generations vektormagnetometre og stjernekameraer fra DTU Space [9–12]. Satellitterne blev opsendt den 22. november 2013 med en Rockot-løfteraket fra Plesetsk Kosmodromen ca. 800 km nord for Moskva.

Ørsted fungerede stadig efter, at Swarm-satellitterne kom i drift, således at der var et langt overlap i magnetfeltdata fra de to missioner indtil maj 2015, hvor de sidste Ørsteddata blev nedtaget. Dette sikrede kontinuiteten i tidsserierne.

Uddrag af H.C. Ørsteds tale ved indvielsen af Polyteknisk Læreanstalt 5. nov. 1829

(Overskrifterne er forfatterens påfund)

Forskningens betydning for erhvervslivet

I de fleste tilfælde er det videnskabsmanden, der skal gøre de store og vidtudseende opfindelser for næringsbrugeren; men denne må have videnskabelig indsigt for at forstå disse opfindelser og påskønne deres værdi; og han må selv gøre en mængde små efteropfindelser.

Hvis man vil være på forkant, må man selv forske

Aldrig vil et folk kunne nå et andet ved blot efterligninger, skal det stå ved siden af dem, som forbedrer næringsvejene ved opfindelser, må det selv opfinde, ellers bliver det altid en menneskealder tilbage.

Videnssamfundet

De mænd, som udgår herfra, vil hver på sit sted i fædrelandet, selv om de ikke lægger an derpå, danne nye udgangspunkter for nyttige kundskabs udbredelse. Nationalånden vil efterhånden få en mere praktisk retning. Opfindelsesånden vil hæve sig, fædrelandets naturfrembringelser vil bedre udnyttes, fremmede opdagelser hurtigere komme i omløb. Derved vil velstanden mere og mere blomstre, fædrelandskærligheden og borgersindet næres og vokse.

Fremtiden for Ørsted

Efter at Ørsted i 2015 blev overladt til sig selv i stærkt alderdomssvækket tilstand, er spørgsmålet, om den nu bare er et stykke rumskrot. Stjernekameraet ophørte med at fungere flere år tidligere på grund af strålingsskader fra soludbrud og højenergetiske protoner og elektroner i van Allen-bælterne. CSC-vektormagnetometret var også delvist defekt, men Overhauser-skalarmagnetometret fungerede og ligeledes Charged Particle Detectors. De første forsøg med modtagelse af Ørsteds signal viser, at den er aktiv, men da vi endnu ikke har kunnet pakke de modtagne data ud, kender vi endnu ikke til fulde Ørsteds helbredstilstand.

Jordstationen på DMI's tag fejlede i 2016 på grund af mekanisk svigt i de motorer, der drejer parabolantennen og henstod derefter uvirksom. I februar 2019 overtog DTU Space jordstationen minus antennen, da DMI skulle flytte til en ny adresse på Østerbro i København. Al sender/modtager-elektronikken og de gamle computere ser ud til at fungere, og vi håber i løbet af efteråret at få en 1,2 meter styrbar parabol på taget af DTU bygning 348 rigget til som antenne.

Hvis det lykkes, og Ørstedes instrumenter og systemer viser sig at have det nogenlunde godt, som beskrevet ovenfor, er der mulighed for stadig at nedtage videnskabelige data og at benytte Ørsted som platform for studenterprojekter.

Hvad ville H.C. Ørsted sige?

Når man læser de tre uddrag af H.C. Ørstedes tale til indvielsen af Polyteknisk Læreanstalt den 5. november 1829 i faktaboksen, tror jeg, at Ørsted ville nikke anerkendende til Ørstedteamet og tænke: "Ja, de har lyttet til mine formaninger og handlet derefter. De gør mit navn ære". H.C. Ørsted var uhyre fremsynet i sin indvielsestale, og citaterne holder den dag i dag, selv om sproget er lidt anderledes, end vi ville udtrykke os på nutidigt dansk.

Forskningen, der er udført på grundlag af Ørsted-satellitens data og senere Swarm-satellitterne, satte Danmark i en førende position i den geomagnetiske forskning. Alle firmaer og forskningsinstitutioner, der deltog i projektet, fik et gevaldigt løft af deres kompetencer inden for rumteknologi, som blev omsat til kontrakter på leverancer til store satellitmissioner. Alle forskere, ingeniører og studerende, der deltog i projektet og bidrog på hver sin måde, fik også et kæmpe kompetenceløft, som de har båret videre ud i samfundet, og som har medvirket til både at styrke Danmark som rumfartsnation og løfte kompetencerne i de virksomheder og institutioner, de har deres virke i. Referencerne [1–5] giver en mere detaljeret beskrivelse af Ørstedes resultater og nøglepersonerne i Ørstedprojektet.

Litteratur

- [1] Ørsted: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/o/orsted>
- [2] P. Stauning (2004) Ørsted – 5 års succes i rummet, *Vejret*, bind 100, august 2004, side 37–48.
<https://docplayer.dk/14059894-Oersted-5-aars-succes-i-rummet.html>
- [3] P. Hoffmeyer (2000) The Ørsted Satellite Project, *Air & Space Europe*, bind 2, nr. 5, side 74–79.
- [4] P. Stauning (2013) Ørsted Satellite – The Danish Miracle in Space, <https://nordicspace.net/wp-content/uploads/2013/07/NSA189.pdf>.
- [5] C. Autzen (2004) Den lille seje satellit, (Bog + DVD video) ISBN 87-91592-01-1, 87-91592-00-3, STV Education, Geografforlaget.
- [6] International Geomagnetic Reference Field https://en.wikipedia.org/wiki/International_Geomagnetic_Reference_Field.
- [7] Skrantende Ørsted-satellit bliver selv til rumskrot næste år, <https://ing.dk/artikel/skrantende-orsted-satellit-bliver-selv-til-rumskrot-naeste-ar-106166>.
- [8] 20. århundredes største danske ingeniørbedrifter https://da.wikipedia.org/wiki/20._%C3%A5rhundredes_st%C3%B8rste_danske_ingeni%C3%B8rbedrifter.
- [9] Swarm – satellit-sværmm måler Jordens magnetfelt <https://www.space.dtu.dk/Forskning/Projektliste/Swarm>.
- [10] Swarm (Geomagnetic LEO Constellation) <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swarm>.
- [11] Swarm <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/swarm>.
- [12] Exploring Earth's Magnetic Field – Three make a SWARM, *Spatium*, No. 43, June 2019, http://www.issibern.ch/publications/pdf/spatium/spatium_43.pdf.
- [13] R.B. Kershner og R.E. Fischell (1965) Gravity-Gradient Stabilization of Earth Satellites, *Proceedings of the First IFAC Symposium on Automatic Control in the Peaceful Uses of Space*, 21.-24. juni, Stavanger, Norge, side 249–267 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147466701769092X>.
- [14] Helical (Helix) Antenna https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna.



Flemming Hansen er ph.d. og seniorkonsulent indenfor satellitkommunikation, satellitnavigation og rumteknologi. Indehaver af RadioLab Consulting.

PFEIFFER  **VACUUM**

Vacuum pumper



To-trins olielamelpumper
Promotionpris fra DKK 8.000

Tlf. 3166 8708
Lars.Scholte@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com