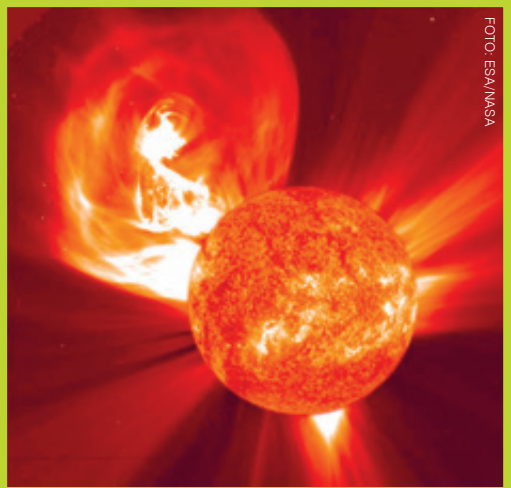


Når nordlyset herjer som verst:

Skal avsløre farlige solstormer med tusenvis av nye antenner

10 000 nye antenner til 680 millioner kroner skal overvåke hva som skjer når solstormene treffer atmosfæren og skaper kaos. Målet er bedre romværvarsler.



VAKKERT SKADEVERK: Eksplosjoner på sola sender enorme skyer med ladde partikler mot jorda. Når partikkelskyene kolliderer med jordatmosfæren, får vi det vakre nordlyset. Samtidig kan solstormene skade både navigasjon og satellitter.



I DAG: Forskerne har ennå ikke forstått alle mekanismene i nordlyset. I dag observeres nordlyset fra den 40 år gamle vitenskapelige radarstasjonen Eiscat på Svalbard, her fotografert i mørketiden. Og ikke la deg lure av lyset på himmelen. Det er fullmånen..

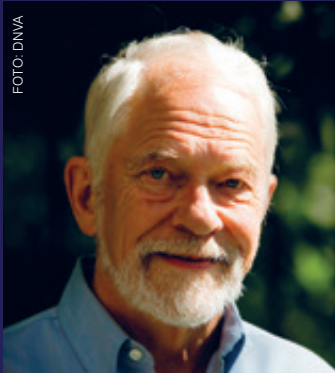


FOTO: DNVA
JANN HOLTET: – Det er viktig å kunne varsle romvær slik at satellittene kan settes i hvilemodus.



FOTO: UIB
KJELLMAR OKSAVIK: – Vi bruker det siste nye av alt. Det finnes ikke noe lignende i verden.



FOTO: OLA SÆTHER
ALV EGELAND: – Solstormene kan endre kompassretningen i nord med opptil femten grader.

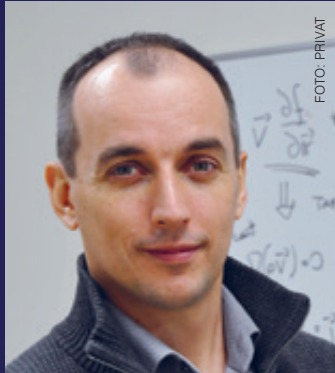


FOTO: PRIVAT
WOJCIECH MIŁOCH: – Vår hellige gral er å forstå turbulensen når energien overføres fra solstormen til atmosfæren.

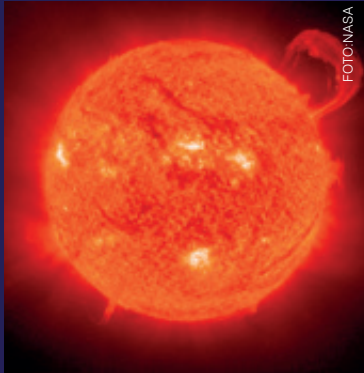


FOTO: NASA
SOL-EKSPLOSJONER: Voldsomme soleksplosjoner kan i verste fall lamme kraftforsyningen på jorda.

Tekst: Yngve Vogt

Voldsomme solstormer kan i ytterste konsekvens slå ut radiokommunikasjon, navigasjonssystemer og elektronisk utstyr i rommet. I verste fall kan kraftforsyningen vår bryte sammen. Jo mer følsom teknologien vår blir, desto mer sårbare blir vi.

I begynnelsen av september 1859 skjedde den verste solstormen i moderne tid. Telegraflinjene i USA glødet i mørket og brant opp.

For elleve år siden, i juli 2012, kunne katastrofen ha blitt langt større. En voldsom eksplosjon på sola sendte milliarder av tonn med ladete partikler ut i solsystemet. Vi hadde flaks. Jorda ble ikke truffet. Akkurat som jorda, snurrer sola rundt sin egen akse. Hadde solstormen kommet ni dager tidligere, den dagen eksplosjonen på sola hadde pekt mot jorda, kunne vår moderne verden ha blitt lammet.

Heldigvis er kraftige solstormer sjelden kost. I snitt dukker de opp bare en gang hvert hundrede år. Men uheldigvis er det slik at selv høyst ordinære solstormer, og dem er det mange av, kan lage kaos for oss jordboere. Satellitter kan skades og GPS-navigasjonen – og det gjelder særlig i nordområdene – kan slås ut i flere timer. Det har skjedd at flyene over polarområdene har mistet radioforbindelsen i flere timer. Og tankskip kan slite med navigeringen. Det er uheldig. For å unngå ulykker og oljesøl er det viktig med finnavigering.

For å være føre var prøver forskerne å forstå fysikken når solstormer treffer jorda. Målet er presise romværvarsler.

Romværvarslingen er viktig for å kunne forutsi når navigasjonssystemene og kommunikasjonen

med satellittene ikke fungerer som de skal.

– Hvis satellitter blir truffet av kraftige solstormer med høyenergipartikler, kan de bli ødelagt. Det er derfor viktig å kunne varsle romværet, slik at satellittene kan settes i hvilemodus, poengterer professor emeritus *Jann Holtet* på Fysisk institutt.

Solstormer kan også skade astronauter. Med romværvarsler vil astronautene kunne få beskjed om at de må være ekstra forsiktige.

Og for alle dem som navigerer i polarområdene, uansett om vi snakker om båt eller fly, er det greit å vite når navigasjonen ikke fungerer som den skal.

Fysikken bak. Hva er det som egentlig skjer på jorda når det skjer eksplosjoner på sola? Sola slenger ut plasmaskyer i en voldsom hastighet. Her snakker vi om hastigheter på flere hundre til et par tusen kilometer i sekundet. Plasmaskyene er gasser med ladde partikler, slik som elektroner, protoner og ladde heliumatomer.

Takket være magnetfeltet på jorda blir plasmaskyene dratt inn mot polarområdene. Her kolliderer de med ionosfæren, som er den øverste delen av jordatmosfæren, 80 til 500 kilometer over bakken. Når de ladde partiklene i plasmaskyene kolliderer med de ladde partiklene i ionosfæren, får vi det vakre, sagnomsuste *nordlyset*.

Romforskerne bruker nordlyset som et verktøy til å studere hva som skjer når gassene fra sola dunderer inn i jordatmosfæren.

Ionosfæren er viktig i radiokommunikasjonen fordi den reflekterer radiobølgene tilbake til jorda. Når solstormene herjer med ionosfæren, går radiokommunikasjonen bananas.

Før i tiden var ionosfæren svært viktig for radiokommunikasjonen. Radiobølgene ble sendt til



– Hadde solstormen i 2012 kommet ni dager tidligere, kunne vår moderne verden ha blitt lammet.

ionosfæren og reflektert tilbake. På denne måten var det mulig å sende radiosignaler, fra punkt til punkt, rundt jorda.

– Den gangen forsket vi på ionosfæriske forstyrrelser for å kunne forutsi hvilke radiofrekvenser man skulle bruke, forteller Jann Holtet.

I dag har satellittene overtatt mesteparten av kommunikasjonen.

– Bølgelengden på radiosignalene måtte reduseres svære mye for at de skulle kunne trenge igjennom ionosfæren, forklarer professor emeritus *Alv Egeland* på Fysisk institutt.

Det nære verdensrommet og spesielt ionosfæren er viktig for alt som har med det elektromagnetiske feltet å gjøre. – Noen ganger blir magnetfeltet så forstyrret av solstormer at kompassretningen i nordlysområder må justeres med opptil femten grader. Det er mye. I nordområdene ligger GPS-satellittene lavt på himmelen. Da må signalene

gjennom mye ionosfære. Det forsterker navigasjonsproblemene.

For å kunne varsle bedre når radiosamband og navigasjon står i fare for å bryte sammen, trenger forskerne mer informasjon om hva som skjer når solstormene treffer jorda. – I dag er ikke modellene gode nok, poengterer Alv Egeland.

Turbulens. Nå kommer vi til et viktig poeng. Når solstormen treffer ionosfæren, dannes det *turbulens*. For å kunne lage gode romværvarsler må forskerne forstå fysikken bak turbulens. Det gjør de ikke i dag. I dag er turbulens et av de siste store, uløste problemene i klassisk fysikk.

– Vår hellige gral er å forstå hvordan turbulensen påvirker energitransporten fra solstormen til atmosfæren. Vi må forstå de grunnleggende prosessene i plasmafysikk. Ionosfæren er det største plasmalaboratoriet som finnes. Disse studiene kan

MONTERES: Nå skal alle mekanismene i nordlyset finstudies med ti tusen antenner, fordelt på Skibotn i Norge, Kiruna i Sverige og Kaaresuvanto i Nord-Finland. Monteringen er godt i gang. Her er de første hundre antennene montert i Skibotn.

– Hastigheten på romsøppel kan være opp til ni ganger farten til en geværkule!

også brukes til å forstå plasmaet i verdensrommet, fremhever professor *Wojciech Miloch* på Fysisk institutt. Han er leder for forskningsgruppen *Plasma- og romfysikk* ved Universitetet i Oslo.

Når det er nordlys, dannes det en spesiell, elektrisk strøm som blant annet bidrar til irregulariteter i plasmaet. Denne elektriske strømmen ble i 1967 døpt *Birkelandstrømmen*, oppkalt etter den kjente nordlysforskeren professor *Kristian Birke-land* (1867–1917).

– Problemet er at Birkelandstrømmen befinner seg et annet sted enn der vi forventer. Det å kunne lokalisere disse irregularitetene vil være banebrytende.

Wojciech Miloch ønsker med andre ord å lage en fysisk beskrivelse av turbulens. – Fysiske modeller er langt mer presise enn statistiske modeller.

Du kan sammenligne dette med oppdagelsen av Newtons andre lov. Da Isaac Newton observerte det berømte eplet som falt fra treet, kunne han i første runde ha formulert en statistisk modell for gravitasjonskraften. Newton klarte i stedet å definere en helt presis lov som beskrev hva som skjedde.

– Statistiske modeller inneholder usikkerhet. Med en presis beskrivelse kan vi fjerne denne usikkerheten, forklarer Miloch.

For å forstå hva som skjer når solstormen treffer jorda, skal forskerne også studere elektrontettheten i ionosfæren, hvordan plasmaet beveger seg og hvor mye temperaturen stiger.

I dag har forskerne muligheten til å gjøre dette på tre måter. Ingen av metodene er gode nok. Den ene metoden, som er en svært så kostbar fornøyelse, er å måle det hele fra raketter. Det har fysikerne allerede gjort i en årrekke. Hver rakettoppskyting koster rundt ti millioner kroner. Pytt-pytt!

Den andre metoden er å gjøre målinger fra satellitter 300 kilometer lenger vekk fra jorda, men satellittene svever langt over de områdene som forskerne ønsker å undersøke.

Den tredje metoden er å bruke den vitenskapelige radarstasjonen Eiscat, som består av svære parabolantennar med en bredde på opptil førti meter. Eiscat, som har vært i bruk i 40 år, har dessverre en stor svakhet. Kollisjonsområdene mellom solstormen og ionosfæren endres hele tiden. Uheldigvis er det svært krevende å endre retningen på de store parabolantennene.

– Problemet med så store antenner er at de er svært tunge å vri på. De kan ikke dreies like fort som nordlyset forflytter seg. Dessuten er det bare mulig å måle hva som skjer i ett enkelt punkt. Det er ikke nok, poengterer professor *Kjellmar Oksavik* på Birkelandsenteret for romforskning ved Universitetet i Bergen.

Eiscat 3D. Nå bygges det et supermoderne anlegg, Eiscat 3D, med ti tusen antenner, både i Skibotn i Troms, ved Kiruna i Sverige og nær Kaaresuvanto i Nord-Finland, til den nette sum av 680 millioner kroner. Forskningsrådet har bidratt med 218 millioner. De svenske, finske og britiske forskningsrådene har spyttet inn resten.

– Dette er det største bakkebaserte forskningsprosjektet på nordlys i verden og den største forskningsinfrastrukturen på norsk jord noen gang. Det er dessuten tidenes største bevilgning fra Forskningsrådet, forteller Kjellmar Oksavik.

Antennene er bevisst plassert i tynt befolkete områder. Forklaringen er at mobilsendere, som vi moderne mennesker er blitt så avhengige av, kan forstyrre målingene.

Ved å måle hva som skjer fra tre retninger samtidig er det mulig å få tredimensjonale kart av elektrontettheten og temperaturen i ionosfæren. Dessuten vil målingene få en langt bedre tidsoppløsning enn hva som er mulig i dag. Og som om dette ikke er nok: Det er også mulig å endre retningene på de ny antennene svært fort.

– Det gir langt flere muligheter enn vi har i dag. Med de nye målingene kan vi se på de små skalene, temperaturendringene og hvordan energien blir avsatt. Det er kjempespennende. Vi kan dessuten, for første gang, få kontinuerlige målinger, forteller Wojciech Miloch.

Kjellmar Oksavik kaller teknologien for banebrytende.

– Vi kan bytte retning på antennene hundrevis av ganger i sekundet. Da kan vi dekke hele himmelen og få et tredimensjonalt kart over bevegelsene og dynamikken i ionosfæren. Slike kart har vi aldri hatt før. Det er nettopp denne tredimensjonale forståelsen vi mangler når vi skal lage de modellene som kan beskrive romværet i atmosfæren, altså hvordan solstormer avsetter energi i atmosfæren, sier Oksavik.

Det forskerne blant annet lurer på, er hvor hurtig ting endrer seg i atmosfæren, hvordan de elektriske strømmene er inne i og rundt nordlysbuene og hvordan de varierer over tid.

Frem til nå har forskerne bare antatt at det er et tynt strømsjikt der nordlyset er.

– Det skjer også ekstremt spennende fysikk både noen titalls kilometer over og under nordlyset. Ioner og elektroner får ulike bevegelser i forskjellige høyder. Ulike typer gasser dominerer i ulike høyder. Med den nye radaren vil vi få langt større muligheter til å studere romværet.

Radarene vil gi så gode målinger at forskerne også kan studere hva som skjer i plasmaet når meteoritter kolliderer med atmosfæren.

Det fascinerende er at målingene også kan bety noe for de meteorologiske værvarslingene.

– Når det blåser kraftige vinder over fjelltopper, dannes det bølger som kan sendes 100 kilometer til værs. Med de nye målingene vil vi kunne se hvordan disse forstyrrelsene forplanter seg, forteller Oksavik.

Høyenergiske partikler fra solstormen kan dessuten trenge ned i atmosfæren og avsette energi i samme høyde som ozonlaget og danne nye molekyler.

– Da kan ozonlaget bli skadet, påpeker Wojciech Miloch.

De nye målingene vil også gjøre det mulig å forstå hvordan solstormens oppvarming av den øvre atmosfæren kan påvirke resten av atmosfæren over hele jorda. Det kan forbedre klimamodellene.

Romsøppel. Det er kjent at radarer kan brukes til å oppdage andre båter i tåkehavet. Alle har vel fått med seg hva som skjedde da Forsvarets prestisjeskip «Helge Ingstad» slo av radaren og kolliderte med et tankskip en kald november natt i 2018. Tabben kostet fjorten milliarder kroner. Selv Forsvaret er smertelig klar over hvor enkel radarteknologien er. Skrog reflekterer radarbølger. Det gjør det mulig å se skip i både mørke og tåke. Såfremt radaren er på.

Det samme prinsippet skal nå brukes til å spore opp romsøppel.

– Eksempler på søppel kan være skruer, muttere og fragmenter fra satellitter, forteller Kjellmar Oksavik.

Beklageligvis er det mye søppel i rommet. Det kommer stadig mer. Noe skyldes restene etter satellittoppskytninger. Romsøppel kan også komme fra kollisjoner eller eksplosjoner.

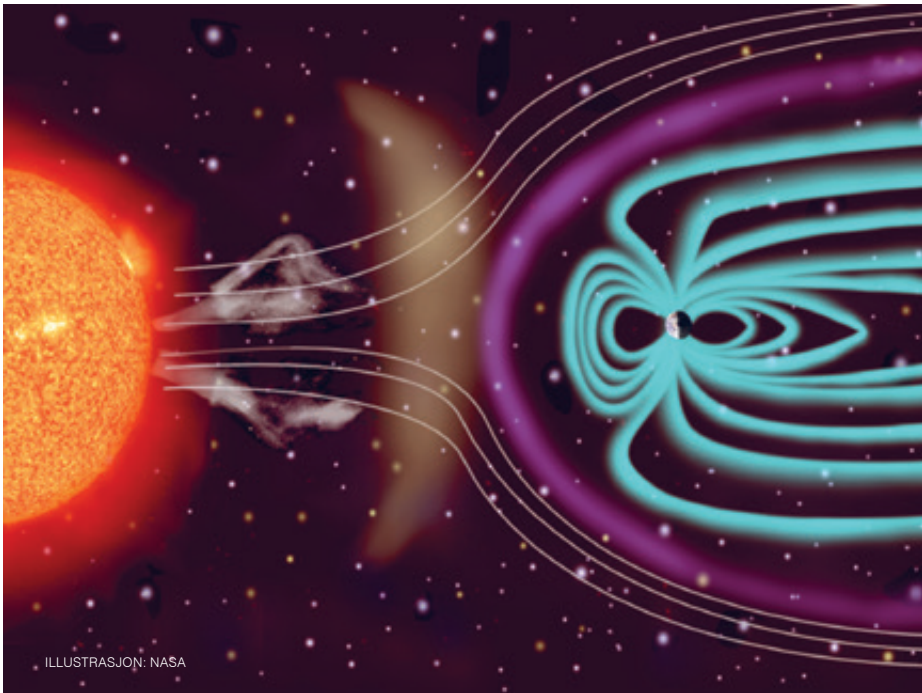
Det finnes hundretusenvís av fragmenter som er større enn noen centimeter. De er godt kjent.

– Derimot er de mindre fragmentene ikke like kjent, beklager Oksavik.

Romsøppel er ikke noe spøke med. Hastigheten kan være opptil sju kilometer i sekundet. Ja, du leste riktig. Det betyr at hastigheten på søppelet kan være opptil 25 000 kilometer i timen. Det er ni ganger raskere enn en geværkule. Ikke rart at romsøppel kan forårsake store skader.

– Hvis det er en risiko for at en satellitt eller annet romfartøy kan kolliderer med søppel, må banen endres, forteller Wojciech Miloch.

Den nye radaren vil kunne måle banene til romsøppelet. Det er nyttig, ikke minst for den europeiske romfartsorganisasjonen ESA når de skal styre satellittene sine. Eller for Andøya Space ved Andenes i Nordland, som er blitt det norske,



nasjonale oppskytingsfeltet for både satellitter og raketter.

Når solstormene treffer atmosfæren, varmes atmosfæren opp. Da endres banene til romsøppelet.

– For å unngå kollisjoner gjelder det å ha gode kart over banene til alt romsøppelet. Alle disse banene er ferskvare. Det er derfor fint at vi kan bruke den nye radaren til å følge med på dette.

Teknisk krevende. De siste tiårene har det vært en enorm utvikling i elektronikk og antennteknologi.

– Vi bruker det siste nye av alt. Det finnes ikke noe lignende i verden, sier Kjellmar Oksavik.

Ettersom antennene kan peke i hundrevis av ulike retninger samtidig og ettersom de skal kunne skifte retninger flere hundre ganger i sekundet, må forskerne ty til svært avansert matematikk. Beregningene skjer på tungregnemaskiner som er ti tusen ganger raskere enn pc-en din.

Når ti tusen antenner skal måle hva som skjer, må de dessuten kommunisere sammen i svært høy hastighet.

– Hvert sekund blir det generert flere hundre gigabyte med data. Her snakker vi om mange petabyte per år. Det tilsvarer lagringsplassen på en million vanlige PC-er.

Alle dataene blir sendt til to helt nye datasentre, det ene i Sverige, det andre i Norge.

– Det er ikke mulig å lagre alle rådataene med dagens teknologi, forteller Oksavik.

– Vi må derfor beregne der og da hvilke data som skal lagres for ettertiden. ●

FAKTA

Eiscat

• For å observere hva som skjer i og rundt nordlyset, har forskerne de siste førti årene brukt Eiscat. Den ene radaren er på Svalbard. Dette er radarstasjoner med tretti til førti meter brede parabolantennar. Det er svært tungt å skifte retning på antennene. Det er veldig uheldig, ettersom nordlyset stadig skifter posisjon. Med dagens Eiscat er det dessuten bare mulig å måle hva som skjer i ett punkt.

• I det nye anlegget, Eiscat 3D, med ti tusen antenner, vil det være mulig å endre retningen på antennene opptil hundre ganger i sekundet. Da kan forskerne få langt mer presise målinger. Målingene blir dessuten tredimensjonale. Da kan forskerne få tredimensjonale kart av elektrontettheten og temperaturen i ionosfæren.

MAGNETFELT: En kraftig solstorm på jorda kan ødelegge satellitter og skape en rekke problemer for oss jordboere. Fordelen for oss er at jorda gudskjelov har et magnetfelt som tar unna mesteparten av bombarderingen.

Solstorm

• Eksplosjoner på sola sender ut plasmaskyer i en hastighet på mellom flere hundre og et par tusen kilometer i sekundet.

• Når de ladde partiklene i plaskaskyene kolliderer med de ladde partiklene i ionosfæren, som er den øverste delen av atmosfæren vår, får vi nordlys.

• Solstormer kan skade satellitter og skape navigeringskaos. Det er derfor viktig med romværvarsler for å vite når dette skjer.

• Voldsomme solstormer kan ødelegge kraftforsyningen på jorda.

• For å kunne lage gode romværvarsler, må forskerne løse fundamentale fysiske problemer.

FAKTA