

Stjernenykker

- eksplosioner på Solen giver forstyrrelser på Jorden

En kraftig opblussen af solpletter i oktober og november måned gav sig udslag i nordlys samt forstyrrelser af elnettet, satellitter og telekommunikationen rundt om i Verden. Vi oplevede bl.a. det største soludbrud, der nogensinde er registreret.

Af Peter Stauning

■ Bedst som alle troede, at Solen nu var godt på vej mod en stille periode med minimum aktivitet i sin 11-årige solpletcyclus, ja, så fik vi en række fantastiske soleksplosioner. Voldsommere og voldsommere blev det i slutningen af oktober i år (2003). Og den 4. november kulminerede aktiviteten med det hidtil kraftigste udbrud målt efter styrken af den røntgenstråling, der blev skabt under udbruddet og detekteret ved Jorden.

Er Solen da gået helt amok? Nej, forløbet er helt normalt for Solens aktivitet gennem solpletperioden. Ved maksimum

er der flest solpletter og hyppigst soludbrud. Det seneste solpletmaksimum havde vi i år 2000, og netop det år oplevede vi som ventet adskillige store soludbrud. Men efter et maksimum sker det ofte, at Solen samler kræfter til nogle sidste store brag, inden den går i dvale i et par år med minimum solaktivitet.

Er Solen ustabil?

Nu kunne man få det indtryk, at Solen er temmeligt ustabil siden den veksler så voldsomt mellem maksimum og minimum aktivitet. Betragter man Solen ved maksimum, og sam-

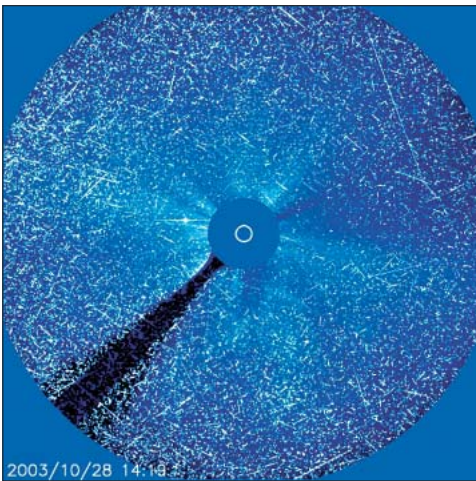
menligner de mange mørke solpletter, der nu er spredt over solskiven med den jævnt ensfarvede og uplettede solskive ved minimum, så kunne man godt få det indtryk, at Solen gennemgår voldsomme forandringer i løbet af sin 11-årige solpletperiode. Men denne aktivitet er nu kun – bogstaveligt talt – krusninger på overfladen. Ved målinger af den totale energi, Solen udsender, har man hidtil kun observeret forandringer på omkring 0,1%.

Solen "eksploderer"

De store soludbrud i oktober og november i år var knyttet

til to kolossalt store og meget komplekse solpletområder. Den 17. oktober kunne en aktiv region netop anes lidt over midten af solskivens venstre kant. Den blev tildelt no. 484 i den løbende nummerering af solpletområder. Da Solen roterer med en omløbsperiode på ca. 27 dage vil solpletter set fra Jorden tilsyneladende bevæge sig hen over solskiven i løbet af 14 dage og så forsvinde ved den højre kant.

Solpletregion 484 var i starten ikke særligt stor og heller ikke videre aktiv. Men området voksede hurtigt i dagene efter sin tilsynkomst, og allerede den



Figur 2. Soludslip (CME). Sekvensen af billeder af UV-strålingen fra Solens corona viser udsendelsen af en gas-sky (det lysende område) fra Solen. Bemærk "sne" på det sidste billede. Det skyldes heftig stråling af energirige solpartikler, der laver lysende spor i CCD-kredsen. (Foto: SOHO-LASCO, NASA)

19. oktober var regionen aktiv med et moderat stort og to mindre udbrud. I de følgende dage mellem 20. og 31. oktober var den meget aktiv med flere store soludbrud, indtil den forsvandt bag højre kant af solskiven.

Et nyt og endnu mere aktivt solpletområde var i mellemtiden dukket op ved venstre kant af solskiven. Det var region 486, som var pænt stor og aktiv allerede, da den kom til syne den 22. oktober. Den 23. oktober kom det første helt store udbrud fra region 486. Soludbruddet gav en kraftig røntgenstråling og kort efter en kraftig protonstråling ved Jorden, og det var tillige ledsaget af et udslip af store mængder af den glødende solatmosfære – et såkaldt CME-udslip (som står for Corona Mass Ejection). Dette var dog ikke direkte rettet mod Jorden (se boks).

I perioden 24.-27. oktober, hvor region 486 var på vej mod midten af solskiven, var der mange pænt store udbrud fra regionen.

Så kom det helt store udbrud fra region 486 den 28. oktober. Røntgenstrålingen toppede kl. 12:10 dansk tid. Udbruddet gav tillige en ekstremt kraftig stråling af energirige protoner. Styrken nåede op på samme niveau som under den såkaldte "Bastille-2 storm" den 14. juli 2000, det hidtil kraftigste soludbrud i indeværende solpletperiode. Udbruddet var ledsaget af et meget kraftigt CME-udslip.

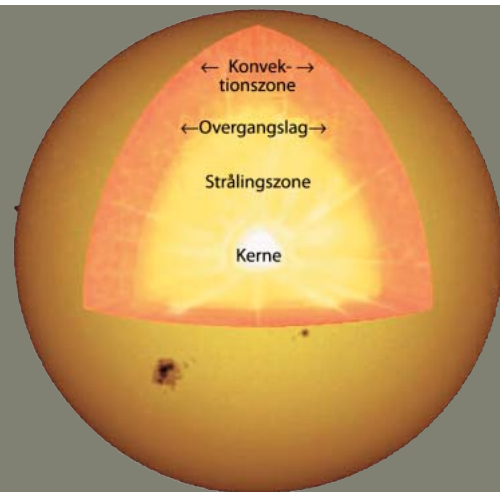
Hastigheden ved udslippet blev målt til over 2000 km/s. Med den hastighed skulle udbruddet kunne nå Jorden på ca. 20 timer, og det kom til at passe.

Magnetisk storm og nordlys på Jorden

Tidligt om morgenen, kl. 07:15 den 29. oktober startede en meget kraftig magnetisk storm, som toppede en lille time senere. Som følge af stormen blev nordlys set over hele Nordamerika, der havde nat på det tidspunkt, helt ned til Californien. På DMI observerede vi den magnetiske storm ved udslaget på et lille nøgleringskompas. Vi troede ikke vore egne øjne, men en gennemgang af de magnetiske målinger fra Brorfelde i Vestsjælland viste, at magnetfeltet inden for få minutter havde ændret retning med over 5 grader på netop samme tid.

Om aftenen var den magnetiske storm ved at løje af og magnetfeltet i solvinden havde drejet mod nord. Men så drejede det pludseligt mod syd, og nu tog stormen fat igen. Det gav flotte nordlys over hele landet i flere perioder. Vejret var ikke helt godt og mange steder var det overskyet eller diset. Men nordlyset blev set af rigtig mange mennesker, og der blev taget mange flotte nordlysbilleder.

Solen holdt aktiviteten ved lige og senere samme dag, den 29. oktober kl. ca. 22:00, kom



Solen

Solen er en ganske almindelig stjerne, hverken ung eller gammel – hverken særligt stor eller lille. Den har fungeret som kilde for lys og varme bl.a. til planeten Jorden i nogle milliarder år, siden den blev dannet, og den vil fungere i nogle milliarder år endnu, før den brænder ud og går til grunde. I den indre kerne ud til ca. en fjerdedel af Solens radius på omtrent 700.000 km foregår kernereaktioner ved ekstremt høje tryk og ved temperaturer på over 10 mio. grader, hvor brintkerner smelter sammen (fusionerer) til helium-atomkerner. Energien skabt ved processerne i kernen udbredes ved stråling (lys-, røntgen- og gammastråling) gennem strålingszonen.

I de sidste ca. 200.000 km op til overfladen af Solen udbredes energien ved konvektion, hvor skyer af solgas opvarmes ved overgangslaget mellem strålings- og konvektionszonerne, bobler op gennem konvektionszonen til Solens synlige overflade, fotosfæren, afkøles og falder ned mod overgangslaget i en stadigt gentaget proces.

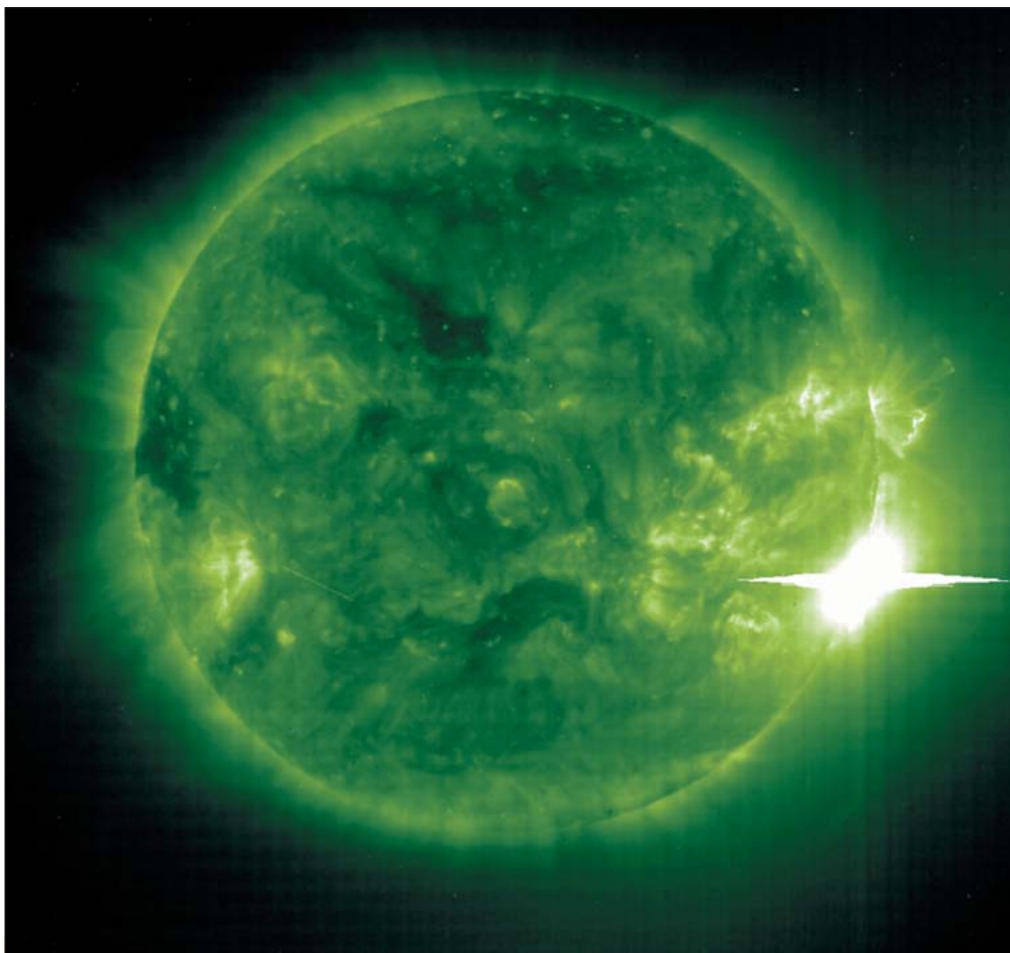
Mange forskere mener nu, at Solens magnetfelt dannes ved elektriske strømme i overgangslaget og gennemtrænger konvektionszonen. Magnetfeltet og den ioniserede solgas udgør sammen et såkaldt magnetiseret plasma, et medium, som styres af særlige fysiske love, der endnu ikke er helt forstået. Er magnetfeltet stærkt, styrer det plasmaets bevægelse, og den ioniserede gas vil fortrinsvis strømme i magnetfeltets retning. Er bevægelsen i plasmaet kraftig, så flyttes magnetfeltet med den ioniserede gas.

Solpletter

Solens magnetfelt er ikke jævnt i styrke og ikke helt indesluttet i konvektionszonen. Forskellen mellem Solens rotation fra ækvator, hvor den med en omdrejningsperiode på ca. 25 dage roterer hurtigst, til polerne, hvor rotationsperioden er over 30 dage, medvirker til at skabe en kompliceret magnetisk struktur inde i konvektionslaget under solens overflade. Magnetfeltet kan lokalt blive meget stærkt, bryde gennem fotosfæren og danne magnetiske sløjfer ud i den tyndere kromosfære og korona, hvor solgastemperaturen stiger til op mod en million grader. Så har man nu en mørk solplet i Solens lysende overflade, hvor temperaturen her er væsentligt lavere end normalt, da det kraftige magnetfelt bremser konvektionen og dermed energitilførslen fra Solens indre.

Fakta om Solen

Solens radius: 695.990 km (109 x jordradius)
 Masse: $1.989 \cdot 10^{30}$ kg (333.000 x jordens masse)
 Udstråling: $3.864 \cdot 10^{26}$ watt
 Overfladetemperatur: 5.500 °C (Fotosfæren)
 Overfladetæthed: $2.07 \cdot 10^{-7}$ g/cm³ (0.00016 x jordatmosfære)
 Overfladesammensætning: 70% brint, 28% helium
 Kernetemperatur: 15 millioner grader
 Kernesammensætning: 35% brint, 63% helium
 Solens alder (anslået): $4.57 \cdot 10^9$ år
 Solens omløbsperiode ved ækvator: ca. 25 dage
 Omløbsperiode ved polerne: ca. 30 dage



Soludbrud (X28) ved region 486 den 4. november 2003. (Foto: SOHO-EIT, ESA-NASA)

Soludbrud

Soludbrud er en slags eksplosioner i den øvre sol-atmosfære over aktive solpletregioner. Ved sådanne eksplosioner kan der skabes byger af meget energirige solpartikler – hovedsagelig elektroner og brintkerner (protoner). Lokalt vil disse solpartikler skabe et kraftigt glimt af lys og røntgenstråling. Lokalt vil disse solpartikler skabe et kraftigt glimt af lys og røntgenstråling, en såkaldt sol-fakkel (Solar Flare). Den kan ses fra Jorden, når strålingen med lysets hastighed har tilbagelagt afstanden på 150 millioner km mellem Solen og Jorden på 8,3 minutter. De mest energirige partikler fra udbruddet vil ankomme til Jorden 15-20 minutter efter eksplosionen og kan give en kraftigt forøget stråling i rummet. Denne stråling er farlig for satellitter og astronauter.

En anden mulig effekt af disse eksplosioner er udslip af store mængder af den glødende sol-atmosfære. Det kaldes på engelsk en Coronal Mass Ejection (CME). Et sådant udslip sker oftest i form af en stor sky af ophedet sol-gas, der slynges direkte bort fra Solen med hastigheder normalt på 500-1000 km/s.

Når denne sky rammer Jordens magnetfelt – sædvanligvis efter 2-4 dage – kan der blive "magnetisk storm" over store dele af kloden. Virkningen afhænger i stor udstrækning af retningen af magnetfeltet i solvinden. Jordens magnetfelt er nordrettet ved grænsen til solvinden. Er magnetfeltet i solvinden også nordrettet, vil solvinden frastødes og have ringe effekt. Et sydrettet magnetfelt i solvinden vil smelte sammen med Jordens magnetfelt og give solvindens partikler og elektriske felter adgang til Jordens nærmeste omgivelser. Det giver stor effekt på Jorden i form af magnetiske forstyrrelser, nordlys, radioforstyrrelser, udfald af højspændingslinier i nordlige egne osv.

der et nyt udbrud fra region 486 ledsaget af kraftig røntgen- og proton-stråling og et stort CME-udslip. Denne gang med en CME-udgangshastighed på lidt under 2000 km/s, men igen rettet mod Jorden. Vi kunne nu forudsige, at den magnetiske storm ville komme om aftenen den 30. oktober. Og det kom

også til at passe. Desværre var vejret rigtig dårligt i Danmark, så nordlyset blev kun set enkelte steder gennem huller i skydækket.

Men helt nede i Mannheim i Tyskland blev det lokale UFO-center kimet ned af ængstelige folk, der havde set mærkeligt lys på himlen og nu mente, at

marsmændene var ankommet. Men det var altså nordlyset, der i øvrigt nåede helt ned til Wien i Østrig denne nat.

Årsag til stømafrydelser

Når Jordens magnetfelt påvirkes af den magnetiserede og elektrisk ledende solvindssky fra et udbrud, skabes der meget kraf-

tige elektriske strømme i den øvre atmosfære i områder nær nordlyszonerne. Disse strømme i stor højde inducerer sekundære strømme og spændinger i udstrakte lederstrukturer som f.eks. højspændingslinier på jorden. Når der er tale om el-net med meget lange luftledninger – som f.eks. i Sverige, Canada og USA – kan der opstå meget store overspændinger, der kan få liniesikringer til at kippe, og kraftige fejlstrømme, der kan bevirke overhedning af transformatorer på kraftværker og fordelstationer.

Ved den magnetiske forstyrrelse om morgenen den 29. oktober havde mange områder i det nordlige USA strømsvigt. Og om aftenen blev det for meget for svenske Sydkraft. Et linieudfald ved en meget kraftig impuls fra oven skabte strømsvigt for ca. 50.000 elkunder i de centrale og østlige dele af Malmø.

Satellitter blev skadet i solstormen

Satellitter i rummet nyder ikke godt af samme beskyttelse mod den hårde protonstråling som mennesker og systemer på jorden har i kraft af Jordens atmosfære. Satellitter kan i bogstavelig forstand dø af en overdosis af strålingen. Således førte soludbruddene sidst i oktober til omfattende skader på satellitter i milliardklassen. Japanerne miste kontakten med deres Midori 2 – en miljøovervågningssatellit, der var mindre end ét år gammel. Vejr-satellitterne, som er så vigtige for meteorologerne, klarede sig nogenlunde. Dog stoppede et af de vigtigste instrumenter på vejr-satellitten NOAA 17 som følge af strålingen.

Mange satellitter rapporterede om problemer med instrumenter og målinger under stormen, og strålingen kan give langtidsskader bl.a. på solpaneler, der leverer strøm til instrumenter og systemer, og hvis levetid – og dermed satellittens nytteviden – kan blive betragteligt forkortet. Den lille, seje danske Ørsted-satellit overlevede solstormene, og dens detektorer har givet fine målinger af strålingen. Ørsted har i øvrigt

25.000 omløbs jubilæum den 23. november i år og kan fejre sit 5-års jubilæum i rummet den 23. februar næste år.

Flys radiokommunikation forstyrres

Den kraftige protonstråling ledes af Jordens magnetfelt ned i den øvre atmosfære over polarområderne, hvor feltet åbner sig mod solvinden. Her giver strålingen black-out for HF radiokommunikation. Som konsekvens heraf flyttes fly-ruter væk fra det nordlige polarområde, hvorved luftrummet længere sydpå bliver mere belastet. Disse omlægninger og ledsagende trafikproblemer gav under solstormen sidst i oktober omfattende forsinkelser, som berørte tusinder af flypassagerer. Det skal pointeres, at strålingen i sig selv ikke er til fare for besætning og passagerer i fly i luften over polarområderne. Selv i flyhøjde er strålingen dæmpet så meget af atmosfæren, at den ikke er en sundhedsmæssig risiko. Det samme kan ikke siges til astronauterne i rumstationen. De måtte pænt holde sig indendørs under solstormen og søge dækning mod strålingen i et særligt skærmet modul.

Foto: Henrik Nordvig.



Nordlys over Danmark set fra Risskov ved Aarhus. Optaget natten mellem den 29. og 30. oktober i år.

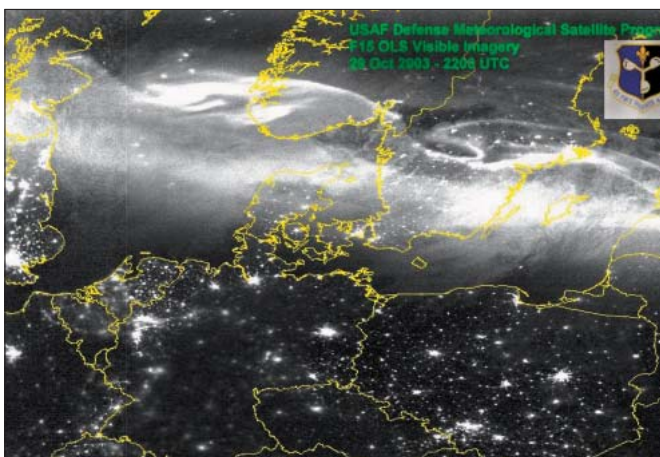
Et (foreløbigt) sidste brag fra solplet 486

Mens solpletregion 486 netop var ved at forsvinde bag højre kant af solskiven kom der endnu et stort udbrud om aftenen den 4. november. Denne solekspllosion gav en så kraftig røntgenstråling, at den overstyrede detektorerne på de satellitter, der anvendes ved overvågning af Solen. Ved en nærmere beregning af styrken af dette udbrud viste det sig at være det kraftigste udbrud, der nogensinde er registreret.

Hvad nu?

I skrivende stund har vi haft en mere stille periode i 2 uger, mens de meget aktive regioner er drejet om på bagsiden af solskiven. Men de to regioner, 484 og 486, er stadig aktive og kommer igen frem sidst i november måned i år. Så bliver der atter store muligheder for nye solud-

Foto: USAF DMSP



Nordlys over Danmark set fra satellit i ca. 1000 kms højde. Bemærk i satellitbilledet lysstyrken fra by-lysene i forhold til nordlyset.



Om forfatterne

Peter Stauning er seniorforsker ved DMI og videnskabelig projektleder for Ørstedsatellitten

Danmarks Meteorologiske Institut (DMI)
Lyngbyvej 100
2100 København Ø
e-mail: pst@dmi.dk

brud med risiko for forstyrrelser på Jorden og skader på kostbare satellitter, men også med nye chancer for at observere smukke nordlys over Danmark. Det er usædvanligt at have kraftig akti-

vitet fra en solpletregion i mere end én solrotationsperiode, så vi kan vente, at den nuværende høje solaktivitet snart klinger ud, så vi for alvor går mod solpletminimum. ■

Hjemmesider:
Gennemelt om Solen:
www.rummet.dk/39000c

Om SOHO:
<http://soho.estec.esa.nl>