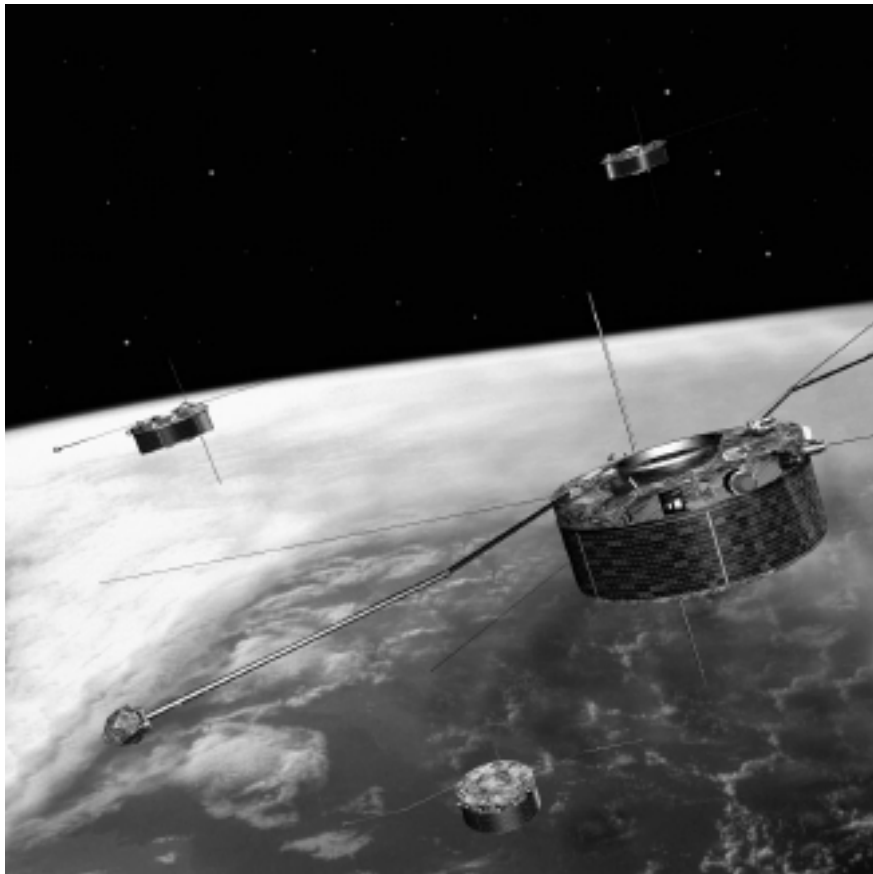


# AVARUUSLUOTAIN – RYMDSONDEN 4/2000



Taiteilijan näkemys Cluster 2 -tekokuuneliköstä, jonka havaintojen odotetaan antavan aivan uutta tietoa Maan lähiavaruuden ilmiöistä sekä Aurinko-Maa --vuorovaikutuksista (Ks. sivu 12; kuva ESA).

Avaruusluotain  
Vol. 35 n:o 4, helmikuu 2001

**Päätoimittaja:** Tero Siili  
**Toimituksen osoite:** C/o Ilmatieteen laitos,  
Geofysiikan tutkimus,  
PL 503, 00101 HELSINKI

**Puhelin:** (09) 19294660  
(050) 5325462

**Telekopio:** (09) 19294603

**Sähköposti:** Tero.Siili@fmi.fi

**ISSN:** 0356-021X

**Painos:** 200 kpl

**Ilmestymistiäisyys:** Neljä kertaa vuodessa

**Vuosikerran tilaushinta:** 130 mk

**Ilmoitushinnat:**  
Tiedustele päätoimittajalta

**Julkaisija:**  
Suomen avaruustutkimusseura – Sällskapet  
för astronautisk forskning i Finland –  
Finnish Astronautical Society,  
PL 507, 00101 HELSINKI

Kauppalantie 6-8, 00320 HELSINKI  
(09) 5874433

<http://netlander.fmi.fi/~sats/>

**Pankkiyhdeys:** Merita 218518-129232

**Aineistopäivät vuonna 2001**

1/2001:	15.3.
2/2001:	31.5.
3/2001:	31.8.
4/2001:	1.12.

**Sisältö**

Pääkirjoitus	3
Puheenjohtajan palsta	3
Avaruus uutisia	5
<i>Hyppyportti</i> eli Webbi uutisia	7
Lähitulevaisuuden Marsmissioita	8
Avaruussäästä	12
Om rymdfart (del 2)	16

**Contents**

Editorial	3
Chairman's corner	3
Space news	5
Jumpgate or WWW News	7
Mars missions in the near future	8
On space weather	12
On space travel (part 2)	16
Nimellä tai nimimerkillä kirjoitetuissa artikkeleissa esitetyt mielipiteet ovat kirjoittajan henkilökohtaisia käsityksiä eivätkä välttämättä vastaa seuran tai lehden virallista kantaa.	

ensimmäinen mahdollisuus laukaisuun tulee olemaan vuonna 2007.

NASA:n nykyinen Mars-ohjelma käsittää hyvin paljon yhteistyötä ja jopa yhteismissioita muiden kansallisten avaruusjärjestöjen, kuten italialaisten ja ranskalaisien kanssa. Kansainvälisen yhteistyön mukana myös suomalaiset saavat osansa tulevaisuuden Mars-missioista, joista NetLander ja Beagle 2 ovat hyviä esimerkkejä.

<sup>1</sup>Solar System Exploration: Missions: Mars: M01ORB [online]. JPL [viitattu 27.1.2000]. Saatavissa WWW formaatissa: <URL: [http://sse.jpl.nasa.gov/missions/mars\\_missions/m01orb.html](http://sse.jpl.nasa.gov/missions/mars_missions/m01orb.html)>

<sup>2</sup>Mars Exploration: Mars Surveyor 2001 [online]. Kirk Goodal <EMAIL: [kirk.goodal@jpl.nasa.gov](mailto:kirk.goodal@jpl.nasa.gov)>, JPL 5.1.2000

[viitattu 27.1.2000]. Saatavissa WWW formaatissa: <URL: <http://mars.jpl.nasa.gov/2001/index.html>>.

<sup>3</sup>Esa Science: Mars Express [online]. ESA [viitattu 28.1.2000]. Saatavissa WWW formaatissa: <URL:

<http://sci.esa.int/missions/marsexpress/>>

<sup>4</sup>NASA Facts [online]. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, CA 91109. 24.10.2000 [viitattu 20.12.2000]. Saatavissa PDF formaatissa: <URL: <http://www.jpl.nasa.gov/facts/mars03rover.pdf>>.

<sup>5</sup>Mars Network [online]. Doug Abraham <EMAIL: [douglas.s.abraham@jpl.nasa.gov](mailto:douglas.s.abraham@jpl.nasa.gov)>, California Institute of Technology 24.11.1999 [viitattu 28.1.2000]. Saatavissa WWW formaatissa: <URL: <http://marsnet.jpl.nasa.gov/>>.

<sup>6</sup>Beagle 2: A Lander for Mars [online]. The Open University [Viitattu 28.1.2000]. Saatavissa WWW formaatissa: <URL: <http://beagle2.open.ac.uk/index.htm>>.

## Avaruussäästä

*Ari Viljanen (Ilmatieteen laitos, Geofysiikan tutkimus)*

### Johdanto

Avaruussää on vain hieman yli 10 vuotta vanha käsite, jolla yleisesti tarkoitetaan sellaisia Maan lähiavaruuden ajasta riippuvia ilmiöitä, joista voi olla häirtä avaruudessa tai Maan pinnalla oleville teknologisille järjestelmille. Vaikka avaruussää tutkimusalana on nuori, havaintoja siitä on tehty kautta historian, kun revontulet otetaan huomioon. Niihin on liittynyt erilaista taikauskoa alueilla, joilla revontulia esiintyy vain harvoin. Tällainen ei kuitenkaan kuulu pelkästään meneisi aikoihin. Vuonna 2000 huhtikuun 6. ja 7. päivän välisenä yönä nähtiin mahdollisesti komeimmat revontulet vuosikymmeniin Keski-Eurooppaa myöten. Tällöinkin uutisoitiin huolestuneista ihmisistä, jotka ilmoittivat poliisille erikoisista valolmiöistä.

Avaruussään teknologiset vaikutukset laitteisiin alkoivat sähkömagnetismin käytännön sovellutusten myötä 1800-luvun puolivälissä. Vanhin tunnettu tapaus on vuodelta 1847, jolloin Englannissa lennätinlaitteet sähköttivät omia aikojaan magneettisen myrskyn aikana. Myös puhelinlinjoissa alkoi esiintyä häiriöitä 1800-luvun lopusta alkaen. Näiden ilmiöiden syynä ovat Maan magneetikentän nopeiden vaihteluiden synnyttämät induktiovirrat maaperässä, josta ne kulkeutuvat myös maadoitettuihin johdinjärjestelmiin.

Tekniikan kehittyessä 1900-luvun loppua kohti telelaitteet eivät enää ole olleet herkkiä avaruussäälle, mutta sen sijaan korkeajänniteverkoissa on havaittu vakaiviakin vahinkoja. Tunnetuin magneettisen myrskyn aiheuttama vaurio Maan pinnalla on Kanadan Québecin osavaltion useiden tuntien täydellinen sähkökatkos

maaliskuussa 1989. Samaan aikaan Yhdysvaltojen New Jerseyssä paloi korkeajännitemuuntaja sähköverkkoon induoituneiden suurten virtojen takia. Suomessa vastaavilta tapahtumilta on välttytty, koska sähköverkko ei rakenteensa vuoksi ole altis avaruussäähäiriöille.

Satelliiteissa havaitut häiriöt liittyvät energieettisten ja varauksellisten hiukkasten aiheuttamaan sähköiseen varautumiseen satelliitin rakenteissa. Riittävän korkeaenergiset hiukkaset voivat jopa läpäistä useiden senttimetrien paksuisen metallikerroksen ja osua elektronisiin laitteisiin. Miehitetyillä lennoilla ei tällaisissa tilanteissa luonnollisestikaan lähdetä avaruuskävelylle. Myös matalaenergiset hiukkassuihkut voivat olla haitallisia. Vaikka ne eivät tunkeudu pinnan läpi, ne voivat synnyttää suuria jännitteitä esimerkiksi aurinkopaneeleissa. Tästä voi syntyä rakenteen nopean palamisen aiheuttava sähkökaari.

Napa-alueilla yläilmakehä kuumenee avaruussäähäiriöiden aikana, jolloin ilmakehän vastus kasvaa. Tästä seuraa radan mataloituminen, joka pahimmassa tapauksessa voi johtaa aluksen putoamiseen tiheään ilmakehään ja tuhoutumiseen, ellei rataa pystytä korjaamaan.

Koska suurin osa satelliiteista on kaupallisessa tai sotilaskäytössä, niiden mahdollisesti kärsimistä avaruussäävaurioista ei välttämättä ole tietoa saatavilla. Kuitenkin esimerkiksi 1990-luvulta tunnetaan useita tapauksia (ANIK E-1, ANIK E-2, AT&T Telstar 401), joissa tietoliikennesatelliittien toiminnassa on ollut pitkiä katkoksia suurten avaruusmyrskyjen aikana.

Vaikka avaruussään määritelmä ja edellä mainitut esimerkit korostavat sen haitta-vaikutuksia, siihen liittyvät ilmiöt ovat sinänsä erittäin kiinnostavia ja tutkijoille

haasteellisia. Lisäksi korkeilla leveysasteilla elävät ihmiset voivat käytännössä kaikesta huolimatta turvallisesti nauttia magneettisten myrskyjen aikaisista revontulista.

## Avaruussäähavainnot

Avaruussäätieteiden havainnointi on luonnollisesti kytkeytynyt yleiseen teknologiseen kehitykseen. Systemaattisia havaintoja on olemassa 1700-luvulta alkaen (auringonpilkkuluvut ja revontulet). Magneettisiin mittauksiin perustuvia avaruussään aktiivisuustietoja on olemassa 1840-luvulta lähtien. Nykyisin Maan pinnalta havaitaan lähiavaruuden ilmiöitä useilla laitteilla (esimerkiksi magnetometrit, ionosfääritutkat, revontulikamerat), jotka tyypillisesti muodostavat alueellisesti kattavia mittausverkkoja. Satelliiteista huolimatta myös Maasta käsin tehtävät aurinkohavainnot ovat edelleen tärkeitä.

Avaruusteknologian kehittyessä myös avaruussään havainnointi on aloitettu "paikan päällä". Perustutkimuksen kannalta tärkeitä ovat magnetosfääriä luotavat satelliitit. Erityisesti neljän satelliitin ryhmästä muodostuvaan kesällä 2000 laukaistuun Euroopan avaruusjärjestön ESA:n Cluster II:een kohdistuu suuria odotuksia.

Monipuolisia aurinkohavaintoja tekee ESA:n ja NASA:n yhteinen SOHO-satelliitti, joka sijaitsee Lagrangen pisteessä (L1) Maan ja Auringon välissä noin 1.5 miljoonan kilometrin päässä Maasta. SOHO sisältää kymmenkunta mittalaitetta, joilla tutkitaan Auringon seismisiä ilmiöitä, koronaa ja aurinkotuulta. Avaruussään kannalta erityisen mielenkiintoisia ovat havainnot koronan massapurkauksista (CME, coronal mass ejection; kuva 1), jotka Maahan osuessaan voivat aiheuttaa suuria magneettisia myrskyjä.

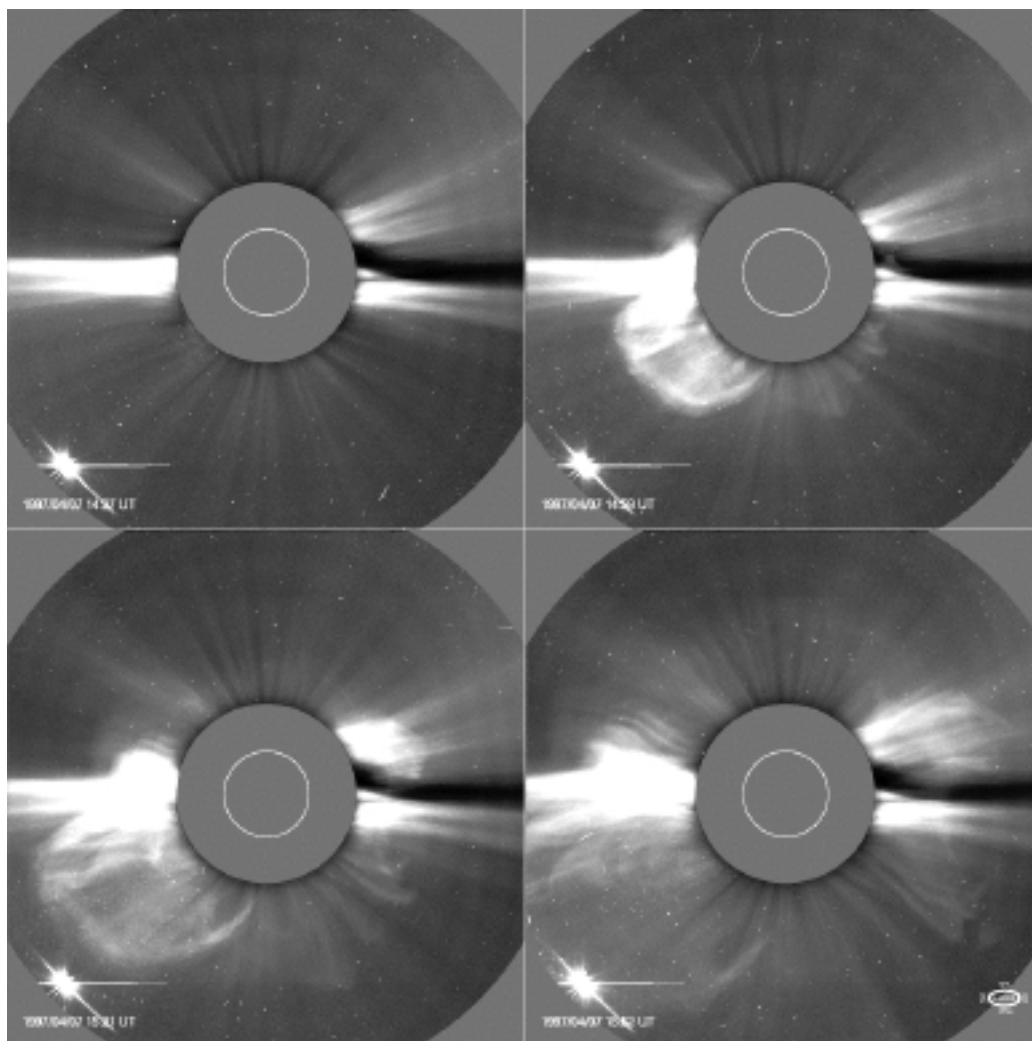
Massapurkaus voidaan havaita pari-kolme päivää ennen sen saapumista Maan etäisyydelle, joten mahdolliseen avaruussäähäiriöön voidaan varautua ajoissa.

Toinen L1-pisteessä sijaitseva NASA:n ACE-satelliitti mittaa muun muassa aurinkotuulen nopeutta, tiheyttä ja magneettikenttää. Koska aurinkotuulen hiukaset saavuttavat magnetosfäärin vajaassa tunnissa L1-pisteen jälkeen, ACE-

havainnot voidaan käyttää viime hetken avaruussäähäiriöiden antamiseen.

### Ennustaminen

Avaruussäähäiriöiden sanotaan olevan samalla tasolla kuin tavallisen sään ennustamisen noin 50 vuotta sitten. Kuvaa-va esimerkki on NOAA:n Space Environment Centerin (SEC) 24 tunnin magneet-



Kuva 1. Koronan massapurkauksen kehittyminen 7.4. 1997. Kuvat on otettu ESA:n ja NASA:n yhteisen SOHO-satelliitin LASCO-instrumentin koronagraafilla, joka peittää Auringon kiekon (valkoinen ympyrä kuvan keskellä). Ensimmäinen kuva vasemmalla ylhäällä on otettu juuri ennen purkausta (14:27 UT), ja kuva oikealla ylhäällä on purkaushetkeltä (14:59). Alarivin kuvat ovat hetkiltä 15:21 ja 15:52. Havainnoista voitiin ennakoida, että purkaus osuu Maahan, kuten kävikin noin kolme vuorokautta myöhemmin. Tässä tapauksessa purkaus ei ollut kovin voimakas, mutta 10.–11.4. 1997 havaittiin silti jonkin verran tavallista kirkkaampia revontulia. (Lähde: SOHO:n LASCO-instrumentin kuva-arkisto. WWW: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/current/19970407/>)

tisten myrskyennusteiden osuvuus vuosina 1989–1991. Tuolloin oli 30 myrskypäivää, joista 7 pystyttiin ennustamaan etukäteen, mutta 23 myrskyä tuli varoittamatta. Toisaalta turhia varoituksia annettiin 12 kertaa. Nykyisten satelliittihavaintojen ansiosta tilanne on kuitenkin selvästi parempi kuin 1990-luvun alussa ainakin lyhytaikaisten ennusteiden osalta.

Avaruussäähän liittyy joka tapauksessa piirteitä, jotka tekevät sen ennustamisen tavallista säätä paljon hankalammaksi. Avaruussäätä on aina tarkasteltava koko planeetan mittakaavassa aurinkotuulen ja magnetosfäärin plasmailmiöiden ajallisten ja pituuskaalojen suuruuden vuoksi. Tapahtumien kestot vaihtelevat minuu-teista jopa vuosiin. Edellisestä esimerkkinä on Auringon massapurkauksen osuminen magnetosfääriin, joka näkyy magneettikentän nopeana muutoksena kaikkialla maapallolla. Pitkäaikaisiin ilmiöihin kuuluvat säteilyvöiden hiukkasjakaumien muutokset. Lisäksi avaruussäähavaintojen riittävyys on paikallisista tiheämmistä maanpintaverkoista huolimatta vielä varsin rajoitettu. Erityisesti avaruudessa suoraan tehtävät mittaukset perustuvat vain muutamaaan satelliittiin.

Varsinaisina operatiivisina avaruussäikeskuksina pidetään nykyisin vain yhdysvaltalaisia SECiä ja ilmavoimien The 55th Space Weather Squadronia. Tämän lisäksi erityisesti WWW:stä löytyy useita lähinnä tiedemaailman tarjoamia ennustesivustoja. Näistä monipuolisin lie-nee kanadalainen Solar Terrestrial Dispatch. Yhdysvalloissa toimii myös puhtaasti kaupallinen yritys, joka tarjoaa ennusteita sähköverkkoihin indusoituista virroista.

## Tutkimus Suomessa

Varsinaisen avaruussäätutkimuksen voidaan katsoa alkaneen Suomessa 1970-luvun lopussa, jolloin Imatran Voiman ja Ilmatieteen laitoksen välisenä yhteistyönä alettiin tarkastella magneettisten myrskyjen aiheuttamia virtoja sähköverkossa. Tämä työ on jatkunut näihin päiviin asti ja laajentunut käsittämään myös maa-kaasuputken, jossa induktiovirrat voivat häiritä korroosiosuojausta.

Avaruustutkimuksen laajentuminen viimeisten parinkymmenen vuoden on antanut Suomelle merkittävän aseman Euroopassa myös avaruussäälalla. Suomalaisilla on johtava asema Pohjoismaat kattavassa ionosfäärin havaintoverkossa (MIRACLE) ja suomalaisia laitteita on mukana esimerkiksi SOHO- ja Cluster-satelliiteissa. Korkealuokkaisten havaintojen lisäksi vahva panostus perustutkimukseen antaa mahdollisuudet myös tietojen soveltamiseen avaruussäailmiöihin.

Suomalaiset johtivat ESA:n rahoittamaa SPEE-projektia vuosina 1996–98, jossa tutkittiin avaruusluotaimien varautumisilmiöitä. Suomi on myös mukana parhailaan käynnissä olevassa ESA:n selvitystyössä, jossa tarkastellaan eurooppalaisen avaruussäätötoiminnan edellytyksiä.

## Ilmastollinen näkökohta

Säähän liittyy läheisesti myös ilmasto ja samanlaista käsitteistöä käytetään myös avaruussäätä puhuttaessa. Tunnetuin avaruusilmastoon liittyvä jaksollisuus on 11 vuoden auringonpilkkujakso. Tämän lisäksi tunnetaan esimerkiksi auringonpilkkuluvun 90 vuoden jaksollisuus, jota esimerkiksi revontulien esiintyminen seuraa hyvin tarkasti. Koko 1900-luvun Auringon aktiivisuudessa oli nähtävissä

nouseva suuntaus, joka saattaa parhailaan olla kääntymässä laskevaan suuntaan. On myös esitetty tuloksia, joiden mukaan osa ilmaston lämpenemisestä 1900-luvulla johtuisi Auringon aktiivisuudesta.

## Tulevaisuus

Seuraavien 10 vuoden aikana avaruussäilienee yksi magnetosfääri- ja aurinkotutkimuksen pääkohteista. Pääpaino on perustutkimuksessa, mutta operatiivinen ennustaminen kehittyy samalla huomattavasti, vaikka tavallisten sääennusteiden osuvuuteen ei vielä päästä. Ehkäpä TV-meteorologit kuitenkin vuonna 2010 antavat myös seuraavan yön revontuliennusteen.

## Avaruussäätaiheisia WWW-sivuja

Kirjoituksessa mainittujen laitosten tai projektien sivuja:

Space Environment Center (SEC):

<http://www.sec.noaa.gov/today2.html>

Solar Terrestrial Dispatch (avaruussäennusteita):

<http://www.spacew.com/>

ACE-satelliitin reaaliaikaiset aurinkotuulimittaukset:

[http://sec.noaa.gov/ace/ACERTsw\\_data.html](http://sec.noaa.gov/ace/ACERTsw_data.html)

SOHO-satelliitti:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

SPEE-projekti:

<http://www.geo.fmi.fi/spee/>

Suomenkielistä tietoa avaruussäätä:

[http://www.fmi.fi/tutkimus\\_avaruus/avaruus\\_2.html](http://www.fmi.fi/tutkimus_avaruus/avaruus_2.html)

Edellisen yön revontulet Suomessa:

<http://www.geo.fmi.fi/MIRACLE/NYT/>

Kattava linkkiluettelo WWW:n avaruussäätisivuista:

<http://www.geo.fmi.fi/spee/links.html>

## Lisälukemista

Jansen, F., R. Pirjola and R. Favre, 2000: Space weather. Hazard to the Earth? Swiss Re Publishing, 40 s.

WWW-versio (PDF):

<http://www.swissre.com/e/issues/spaceweather.html>

Koskinen, H. and T. Pulkkinen, 1998: State of the art of space weather modelling and proposed ESA strategy. *Finnish Meteorological Institute Reports*, 1998:4, 66 p.

WWW-versio (PDF):

[http://www.geo.fmi.fi/spee/docs/wp310\\_tn.pdf](http://www.geo.fmi.fi/spee/docs/wp310_tn.pdf)

Siscoe, G., 2000: The space-weather enterprise: past, present, and future. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62, 1223-1232.

## Om rymdfart (del 2)

av Arthur Brehmer (johdanto Bo Fagerström)

Jatkoa numerossa 3/2000 alkaneeseen uudelleenjulkaisuun (TFiF:n luvalla).