

AVARUUSLUOTAIN – RYMDSONDEN 4/2004



Kuvasarja/kooste SMART-1:n AMIE-kameralla kuvatusta täydellisestä kuunpimennyksestä 28.10.2004. SMART-1 oli tuolloin n. 290000 km Maasta ja n. 660000 km Kuusta ja kykeni ensimmäistä kertaa kuvaamaan sekä Maan että Kuun pimennyksen aikana. Maan ja Kuun keskinäinen etäisyys ei ole oikeassa mittakaavassa, Maa ja Kuu eivät mahtuneet AMIE:n näkökenttään samanaikaisesti, joten erikseen otetuista kuvista on koostettu kuvasarja (kuva ESA/SMART-1/Space-X). SMART-1:stä lisää sivulta 12 alkaen.

Sisältö	
55th Astronautical Congress – Kanada	2
Pääkirjoitus	3
Puheenjohtajalta	4
55th Astronautical Congress – Kanada (jatkuu)	4
Avaruusuutisia	6
<i>Hyppyportti</i> eli Webbiuutisia	6
Delta-kantoraketti (osa 1).....	7
Seuran syyskokous.....	10
Svensk resumé	11
SMART-1: Vuosi ja vartti avaruudessa, kohta Kuussa.....	12
Contents	
55th Astronautical Congress – Canada	2
Editorial.....	3
The President’s section.....	4
55th Astronautical Congress – Canada (continued).....	4
Space News.....	6
The Delta launcher (part 1).....	7
Society’s Fall meeting	10
Swedish abstracts	11
SMART-1: a year and a quarter in space, soon at the Moon.....	12

Pääkirjoitus

Vuosi 2004 on ohi ja tämän numeron myötä Avaruusluotaimen 39. vuosikerta on koossa. Tämä numero on sivumäärältään tavanomaisempi eli hieman lyhyempi, mutta vaikka tekstin määrä olisikin pienempi, uskon, ettei laatu suinkaan ole heikompi. Vakiopalstojen lisäksi tarkastellaan teksteissä niin Yhdysvaltain avaruusohjelman yhden työhevosen eli Delta-kantoraketin taustaa ja historiaa, kuin aivan tuoretta tietoaakin ESA:n SMART-1 –kuuluotaimen tilanteesta.

Vuosi 2005 onkin lehden 40. vuosikerta ja siten ainakin pienimuotoinen juhlavuosi. Sen myötä lehden ulkoasu saattaa hieman muuttua, tosin enemmänkin pienten askeleiden politiikalla kuin vallankumouksellisesti.

Materiaalia lehteen on harvemmin ollut liikaa, joten laittakaapa tekstejä ja kuvia tulemaan. Mielessä pyörii vähemmän esillä olleena aihepiirinä esimerkiksi avaruustoiminta ja taide – esimerkiksi avaruuden ja avaruuslentojen inspiroima musiikki. Löytyisikö aiheesta kirjoittajaa...?

Hyvää vuoden 2005 alkua, terveisin

Tero Siili, päätoimittaja

Päätoimittaja: Tero Siili – **Toimituksen osoite:** C/o Ilmatieteen laitos / AVA, PL 503, 00101 HELSINKI – **Puhelin:** (09) 19294660 – **Telekopio:** (09) 19294603 – **Sähköposti:** Avaruusluotain@sats-saff.fi

ISSN: 0356-021X – **Painos:** 240 kpl – **Ilmestymistaajuus:** neljä kertaa vuodessa – **Vuosikerran tilaushinta:** 22 € – **Ilmoitushinnat:** tiedustele päätoimittajalta.

Julkaisija:

Suomen avaruustutkimusseura – Sällskapet för astronautisk forskning i Finland – Finnish Astronautical Society, PL 507, 00101 HELSINKI. Kauppalaantie 6-8, 00320 HELSINKI, (09) 5874433, <http://www.sats-saff.fi/>. **Pankkiyhteys:** Nordea 218518-129232

Aineistopäivät vuonna 2005

1/2005 28.2.

2/2005 15.5.

3/2005 31.8.

4/2005 30.11.

Nimellä tai nimimerkillä kirjoitetuissa artikkeleissa esitetyt mielipiteet ovat kirjoittajan henkilökohtaisia käsityksiä eivätkä välttämättä vastaa seuran tai lehden virallista kantaa.

Sällskapets höstmöte

Ari-Matti Harri Mötet hölls i Meteorologiska Institutet lokaliteter 23.11.2004. Programmet bestod av ett intressant föredrag av prof. Risto Pellinen om Marsforskingens historia och nuläge, varefter stadge-enliga ärenden behandlades. Styrelse, revisorer och en del funktionärer valdes enhälligt. Den nya styrelsen består av: Petri Makkonen (ordf.), Bernt Hoffren, Ari-Matti Harri, Päivi Jukola, Sini Kivi och Matti Anttila. Suppleanter är Aapo Puhakka ja Bo Fagerström. Till revisorer valdes Simo Tauriainen och Juhani Westman, med Jan Fagerström och Asko Ström som suppleanter. Verksamhetsplan och budget godkändes enligt styrelsens förslag. Ett sammandrag av verksamhetsplanen presenteras i artikeln.

SMART-1: Ett och ett kvarts år i rymden, snart vid Månen

Anssi Mälkki, SPEDE-instrumentets ansvarige forskare

Den europeiska månsonden SMART-1 är nu i bana runt månen och närmar sig nu den bana där den vetenskapliga delen av missionen skall utföras. Projektet är inriktat på såväl raketeknologisk testning som vetenskapliga försök. Teknologibiten börjar nu vara framgångsrikt undanstökad. SMART-1 har drivits till månbanan med en jonraketsmotor av Hall-effekttyp, som får sin elenergi (1,3 kW) från solpaneler. Drivkraften är blygsamma 70 mN, men på grund av den höga strålhastigheten (20 km/s) kan ett ansenligt drivbehov tillfredsställas med en måttlig drivmedelsförbrukning, bara motorn körs tillräckligt länge. Tre av de vetenskapliga instrumenten i SMART-1 innehåller finländska bidrag. Plasmainstrumentet SPEDE (Meteorologiska institutet) är givetvis artikelns "huvudperson". Instrumentets huvudsakliga vetenskapliga uppgift är att studera månens och solvindens återverkan på varandra. Under drivfasen har SPEDE varit påkopplat för att följa med jonmotorns inverkan på sondens plasmaomgivning och har därmed en viktig uppgift också i projektets teknologidel.

SMART-1: Vuosi ja vartti avaruudessa, kohta Kuussa

Anssi Mälkki, SPEDE päätutkija, Ilmatieteen laitos, Avaruuden ja yläilmakehän tutkimus

ESA:n kuuluotain SMART-1 laukaistiin avaruuteen Kourousta 28. tai 29.9.2003, riippuen siitä, käytetäänkö paikallista vai UT-aikavyöhykkeen aikaa. Suomalaisilla on osuuksia kolmessa SMART-1:n mittalaitteissa, XSM (aurion röntgensäteilyä mittaava X-ray Solar Monitor, Helsingin Yliopiston Observatorio), AMIE (näkyvän aallonpituuden kamera Advanced Moon micro-Imager Experiment – myös HY/Obs), sekä SPEDE-plasmainstrumentti (Spacecraft Potential, Electron and Dust Experiment, Ilmatieteen laitos). Nyt, noin vuosi ja kolme kuukautta myöhemmin, voi katsoa, mitä on jo saavutettu. Koska tunnen SPEDE:n parhaiten, kommentoin tieteellisiä tuloksia lähinnä sen kan-

nalta. Tulevaisuuden ennustaminen on myös sen verran vaativa laji, että jätän sen suosiolle minua rohkeammille. Lisätietoja sekä täsmennyksiä voi hakea esimerkiksi ESA:n WWW-sivuilta <http://sci.esa.int/>.

SMART-1

SMART-1 on sekä teknologia- että tiedemissio. Ensisijainen teknologinen haaste on ollut testata ionipropulsion toimintaa käytännössä. Sekä Yhdysvaltojen että Neuvostoliiton/Venäjän satelliiteissa erilaisia sähköisiä moottoreita on käytetty ennenkin, mutta ESA:lle SMART-1 on ensimmäinen oma avaruusalus, joka kulkee sähköisellä propulsiol-

la. SMART-1:n ionimoottori on tyypiltään ns. Hall Effect Thruster, jossa ionisoitua Xenonia kiihdytetään ristikkäisten sähkö- ja magneettikenttien voimalla haluttuun suuntaan. Xenonin massa on noin 131 atomimassayksikköä, ja kun riittävä määrä näitä ioneja kiihdytetään 1,3 kW teholla noin 20 km/s nopeuteen, saadaan aikaan pyöreästi 70 mN työntövoima. Ei paljon, mutta riittävästi kiihdyttämään luotain Maata kiertävältä radalta kuuhun.

Jos ja kun moottoria pidetään mission tärkeimpänä elementtinä, voidaan SMART-1:ä jo nyt pitää menestyksenä. Laite on toiminut odotusten mukaisesti: SMART-1 saavutti Kuun kiertoradan marraskuun puolivälissä ja on 16.1.2005 alkaen lopullisella Kuuta lähietäisyydellä kiertävällä radalla. Toki uusi tekniikka on aiheuttanut jonkin verran yllätyksiä, mutta kukaan tuskin on muuta odottanutkaan. Esimerkkinä opetuksista mainittakoon lokakuussa Helsingin Sanomienkin uutiskynnyksen ylittänyt moottorin automaattinen virrankatkaisu katodin ylikuumentemisen seurauksena. Tapahtuman jälkeen eräät toimittajat soittelivat jo perään ja olivat huolissaan koko mission tulevaisuudesta. Kriisi oli tässäkin tapauksessa ylimitoitettu ilmaus: tilanne analysoitiin ESTEC:issä pian (moottorista tulee valtava määrä teknistä telemetriatietoa operoinnin käyttöön), ja ohjaamalla satelliitin asentoa sekä moottorin käyttöä toisin on vastaavat ongelmat sittemmin voitu välttää. Kokonaisuudessaan moottori on siis toiminut vaatimusten mukaisesti ja sen antama teho ja impulssi vastaavat ennusteita.

SMART-1:n tiedeosuus alkaa tammikuussa 2005, kun saavutaan lopulliselle Kuun kiertoradalle. Virallinen tieteellinen vaihe kestää kuusi kuukautta (koko missio siis laukaususta kaksi vuotta eteenpäin). Jo nyt on kuitenkin varauduttu siihen, että mittauksia voidaan jatkaa, mikäli ESA myöntää jatkooperaointiin tarvittavat lisämäärärahat. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rata on valittu

siten, että ratakorkeutta voidaan vielä myöhemmin nostaa ja tätä varten on myös ajoainetta (so. Xenon-kaasua) jäljellä.

Tieteellisiä mittauksia varten on tehty runsaasti valmisteluja ensin ns. Pre-Commissioning, sitten Commissioning, ja myöhemmin vielä Lunar Phase Commissioning -vaiheissa. Kussakin vaiheessa jokainen instrumentti on käynyt läpi testejä, joilla halutaan varmistaa suunnitelmien mukainen toiminta tieteellisessä vaiheessa. Testien tuloksena on myös viimeistelty mittaushjelmia laitteiden todellisen suorituskyvyn mukaisiksi. Operaointi tulee olemaan haasteellista, kun noin neljän tunnin kiertoaikaan (josta suurin osa vielä korkealla sekä sellaisessa kulmassa, josta kuvaavat instrumentit eivät juurikaan saa mittauksia) on yhdistettävä kahdeksan eri mittalaitteen mittaatgeometrian ja kuvauskohteiden, luotaimen telemetrian, maa-asemien käytettävyyden sekä aurinkopaneelien asennon ja satelliitin ja mittalaitteiden termisten vaatimusten asettamat rajoitukset. Onneksi vastuulleni ei kuulu lopullisten komentosekvenssien tarkistaminen.

SPEDE

SPEDE aloitti mittaukset laukausun jälkeisenä päivänä ja on siitä asti ollut toiminnassa käytännöllisesti katsottuna tauotta. SPEDE:n teknologiatehtävä on monitoroida ionimoottorin toimintaa ja sen vaikutusta satelliittiin, joten instrumentti on ollut päällä aina kun ionimoottorikin. Ensimmäisen toimintavuoden aikana tämä on tarkoittanut suurinta osaa ajasta. Magnetosfäärifyysikolle kiinnostavaa mittaussaineistoa on siis kertynyt varsin vähän, mutta jos otetaan näkökulmaksi plasmavuorovaikutukset yleisemmin ja lisätään vielä mittaustekniikka, on Ilmatieteen laitoksen tietokoneille kertynyt todella mielenkiintoista dataa.

SPEDE:n kannalta merkittävin yllätys on ollut SMART-1:n voimakas varautuminen ympäröivään plasmaan nähden. Avaruudessa

vallitsee melko hyvä tyhjiö, mutta käytännössä liikkeellä on aina vapaita varauksia eli plasmaa. Plasmassa "uiva" satelliitti (tai mikä tahansa muukin sähköä johtava esine) hakeutuu aina tasapainotilaan, jossa siihen ja siitä pois suuntautuvat sähkövirrat summautuvat nollassa. Satelliitti hakeutuu siis potentiaaliin, jossa eri virrat tasapainottavat toisensa. Tavallisesti auringon säteilyn tuottamien fotoelektronien aiheuttama virta on komponentti, joka määrää satelliitin tasapainopotentiaalin plasmaan nähden. Koska elektronit kuljettavat negatiivista varausta pois päin, on satelliitti siis tyypillisesti "hiesman" (eli noin 2-3 V) positiivisesti varautunut.

SMART-1 on osoittautunut tässä suhteessa hyvin persoonalliseksi ja sen tasapainotila vaihtelee -18 ja -25 V välillä ympäröivään plasmaan verrattuna. Syy ei ole vielä täysin selvillä (mallitus on monimutkaista...), mutta vartenotettavana kandidaattina pidetään aurinkopaneeleja, joita ei kustannussyistä ole etupinnaltaan päällystetty johtavalla kerroksella. SMART-1:ssä on siis pinta-alaltaan laaja vain osittain johtava ja samaan aikaan kohti aurinkoa oleva elementti, joka voi olla eri potentiaalissa kuin satelliitin muu pinta ja muun pinnan on siis vastaavasti tasapainotettava sähkövirrat varautumalla sopivasti. SPEDE:n kannalta satelliitin varautuminen on erittäin merkittävää, koska kaikkien mittausten referenssinä on satelliitin maa-doituspiste (eli satelliitin potentiaali) ja instrumentti rakennettiin oletuksella, että tämä poikkeaa korkeintaan muutaman voltin plasman potentiaalista (mikä yleensä pitää paikkansa). Voimme edelleen tehdä mittauksia, mutta esimerkiksi eniten plasmasta yleensä tietoa antava ns. Langmuir-käyrän karakterisointi jää vajaaksi ja sen tulkinta haastavaksi.

Instrumentilla on mitattu pääasiassa sensorien kautta kulkevaa virtaa. Tämä parametri on edellämäin mainitun satelliitin potentiaalin, plasman tiheyden sekä sen lämpötilan funk-

tio. Sivun 15 kuvassa Y esitetään virran vaihtelu viiden päivän aikana.

Esitettynä ajanjaksona ionimoottori on ollut jatkuvasti päällä, joten ympäröivä plasma on Xenon-ionien (ja niitä vastaavien elektronien) dominoima. Moottorin teho on ollut vakio, joten periaatteessa plasman tiheyden ja lämpötilan vaihtelut ovat hyvin pieniä. Kuvasta nähdään, että virta vaihtelee kuitenkin periodisesti. Vaihtelun periodi vastaa SMART-1:n rataperiodia maan ympäri ja suurimman ja pienimmän virran erotus on noin 250 nA (2.1.2004 iltapäivällä näkyvä piikki aiheutuu ionimoottorin lyhytaikaisesta toimintahäiriöstä). Instrumentin kalibrointikertoimet ovat vielä alustavat, joten virran arvoon (noin 3 mikroampeeria) ei tule kiinnittää liikaa huomiota.

Luotaimen sijainnin sinänsä ei tulisi vaikuttaa mittaukseen niin kauan kuin moottori on päällä ja vaihtelun syy onkin todennäköisesti SMART-1:n asento aurinkoon nähden. Yllä selostetun mukaisesti fotoelektronien virta riippuu satelliitin (ja esim. aurinkopaneelien) asennosta ja tätä kautta haetaan selitystä vaihteluun. SPEDE:n mittausten lisäksi käytetään ionimoottorin toimintaa monitoroivia mittauksia (mm. sisäisiä potentiaalieroja ja virtoja eri komponenttien välillä) sekä SMART-1:ssä olevan toisen plasmainstrumentin (italialainen EPDP – Electric Propulsion Diagnostics Package) ja mallituksen tuottamaa dataa. Kuuta lähestyttäessä SPEDE:n mittauksissa on siis vielä piirteitä, joita ei täysin ymmärretä, mutta havaintojen keruu toimii ja kaikki talletetaan myöhemmä analyysiä varten.

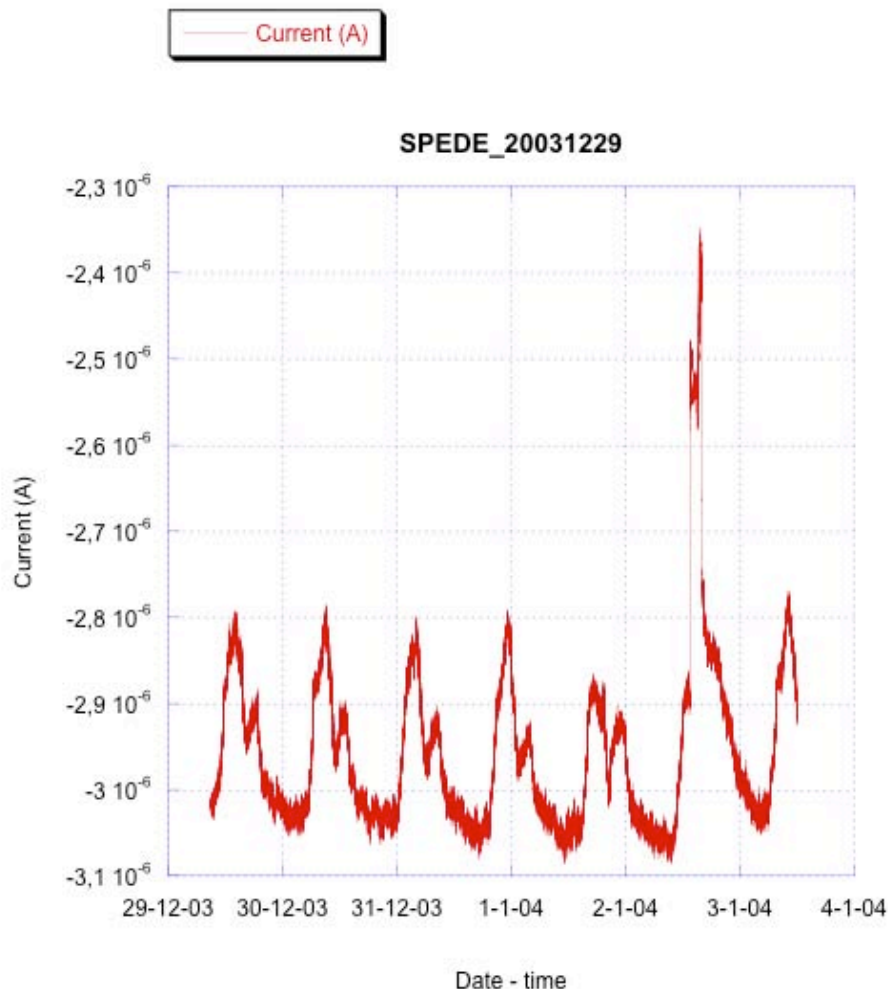
Lopullisella kiertoradalla SPEDE:n mittauskohteena on aurinkotuulen vuorovaikutus Kuun kanssa. Sekä Kuun taakse muodostuva pyörrevyö että aurinkotuulen mahdollisesti Kuun pinnasta nostamien pölyhiukkasten törmäykset SMART-1:n kanssa ovat erityisesti suurennuslasin alla. Operointi on optimoitu näitä ilmiöitä silmälläpitäen ja

havaintojen analysointiin panostetaan tuoreeltaan tulevan kevään kuluessa.

Lopuksi...

ESA:n ensimmäinen kuuluotain on edennyt runsaassa vuodessa lopulliseen kohteeseensa ja valmistautuu tieteellisiin mittauksiin. Teknologiaosuutta voidaan jo nyt sanoa me-

nestykiseksi ja kokemus sähköisestä propulsiosta antaa uskoa vastaavan moottorin käyttöön vuonna 2012 Merkuriusta kohti lähtevässä BepiColombossa. SMART-1:n Kuun pintaa kuvaavien instrumenttien työ on vasta alkamassa – toivotetaan heillekin onnea kiivaaksi muodostuvan mittausvaiheen aikana.



SPEDE:n mittaama sensorin sähkövirta 29.12.2003–4.1.2004. Kuvassa näkyvät negatiiviset arvot vastaavat virtaa instrumenttiin, eli satelliitin negatiivisen potentiaalin puoleensa vetämiä ioneja. Kalibrointi on alustava.