

Kohti punaista planeettaa

Tero Siili

Planeetta Mars on ollut viime aikoina niin tiedeyhteisön kuin suuren yleisönkin huomion kohteena. Vuoden 1996 jälkipuoliskolla punaista planeettaa kohti laukaistut Mars-96-, Mars Pathfinder- ja Mars Global Surveyor -luotaimet ovat käynnistäneet kouriintuntuvasti parikymmentä vuotta hiljaiselon ja usean epäonnistumisen merkeissä edenneen Mars-tutkimuksen avaruusluotaimilla. Epäonnistumisiakin sattui Mars-96 -luotaimen päädyttyä Marsin sijasta Etelä-Amerikan viidakkoon.

Mars-tutkimuksen odotetaan myös jatkuvan vilkkaissa merkeissä. Pathfinder ja Global Surveyor ovat ensimmäiset luotaimet Yhdysvaltain avaruushallinto NASA:n Mars Surveyor -ohjelmassa. Surveyor-ohjelman johtotähtenä on lähettää seuraavien 10 vuoden aikana 1–2 luotainta kohti Marsia jokaisessa laukaisuikkunassa eli joka kerta, kun Maa ja Mars ovat noin 19 kuukauden välein luotainten laukaisemista ajatellen suotuisassa keskinäisessä asemassa. Ohjelman alkuvaiheen yhtenä päätavoitteena on lähettää Marsiin kopiot niistä Mars Observer -luotaimen havaintolaitteista, joista ei saatu havaintoja yhteyden luotaimen katkettua elokuussa 1993. Seuraavat Surveyor-luotaimet laukaistaan vuodenvaihteessa 1998–99, yksi laskeutumislutain tutkimaan Marsin eteläisen napakalotin reuna-alueita sekä kiertoradalle asettuva luotain kartoittamaan ja seuraamaan Marsin kaasukehän ilmiöitä ja kehitystä. Samassa laukaisuikkunassa myös Japanin avaruustutkimusinstituutti ISAS laukaisee Marsin lähiavaruutta tutkimaan Planet-B -luotaimen.

Mars Pathfinder

*There once was a mission to Mars
That fell with a bounce from the stars
To study the mystery of life's early history
Preserved in the rocks & sand bars.*
– Peter Smith, University of Arizona

*Lähtipä kerran luotain kohti Marsia,
laskeutui taivaista pomppien, loikkien.
Etsiäkseen kiviin ja dyyneihin talletettua
elämän muinaisuuden mysteeriä.*
(– Kirjoittajan vapaa käännös)

Teknologiademonstraatio

Mars Pathfinder on ensimmäinen Marsin pinnalle laskeutunut luotain 21 vuoteen sitten Viking -laskeutumisalusten. Pathfinderin tieteellisiä saavutuksia arvioitaessa on syytä pitää mielessä, että hanke on ollut luonteeltaan ja tavoitteiltaan ensisijaisesti teknologiademonstraatio tulevaisuuden Mars-lentoja silmälläpitäen ja vasta toissijaisesti tiedehanke. Teknologisesti uusia asioita ovat olleet ilmatyynyjen käyttö pehmentämään laskeutumisen loppuvaihetta, aurinkokennojen käyttö sähköntuotannossa ja ensimmäinen toisella planeetalla toiminut autonominen pintakulkija/-mönkijä.

Luotain laskeutui Marsin pohjoisella pallonpuoliskolla sijaitsevalle Ares Valliksen tasangolle 4.7.1997 Marsin pohjoisen pallonpuoliskon kesän lopulla ongelmattoman laukaisun, siirtolennon ja laskeutumisen jälkeen. Laskeutumispaikka on muinaisen virtausuoman purkautumisalue, minkä johdosta alueella odotettiin löytyvän parhaimmillaan varsinainen runsaudensarvi erilaisia virtauksen keräämiä ja alueelle mukanaan tuomia kiviä ja pinta-ainesta. Luotaimen hyötykuorman tärkeimmät laitteet ovat itse luotaimen sijoitetut stereokamera, ja säähavaintolaitteisto sekä Sojourner-mönkijään sijoitetut kamera ja alfa-protoni-röntgenspektrometri (APXS – Alpha Proton X-ray Spectrometer). Luotaimen ensisijaiseksi toimintajaksoksi oli suunniteltu noin kuukausi, mutta luotain oli jakson päättyessä elokuun alkupuolella lähes täydessä toimintakunnossa.

Syyskuun lopun jälkeen laskeutujaan saatiin radioyhteys ainoastaan satunnaisesti eikä näiden yhteyksien aikana saatu enää vastaanotetuksi enempää havaintoaineistoa. Pathfinderin toiminnan Marsin pinnalla katsotaan siten kestäneen 83 Marsin vuorokautta eli *solia* ajalla 4.7.–27.9.1997. Todennäköinen syy luotaimen toiminnan loppumiseen on ollut akkujen pettäminen, minkä seurauksena laitteisto ei ole toiminut yöaikaan ja lämpötilat ovat – etenkin syksyn edetessä – kylmien öiden aikana laskeneet laitteiden alarajalämpötilojen alle vaurioittaen niitä. Sojourner saattaa edelleen kiertää laskeutujaa ohjelmistonsa ohjaamana aurinkopaneeliensa päivällä tuottamalla energialla, mutta ilman radioyhteyttä laskeutujaan mönkijää ei kyetä ohjaamaan eikä sen havaintoja lähetyttämään Maahan. Laskeutujaan koetetaan aika ajoin ottaa vielä yhteyttä siltä varalta, että laitteet eivät vain olosuhteiden vuoksi toimi suunnitellulla tavalla, mutteivät ole lopullisesti toimintakyvyttömiä. Marsin kesän koittaessa loppuvuodesta 1998 laskeutuja saattaisi lämpötilojen noustessa kyetä heräämään henkiin ainakin päiväsaajaksi.

Laskeutuja ja Sojourner lähettivät syyskuun loppuun mennessä Maahan kaikkiaan yli 2,6 gigabittia (Gb) havaintoaineistoa, mukaan lukien yli 16 000 laskeutujan ja 550 Sojournerin ottamaa valokuvaa, 15 kemiallista analyysiä kivistä ja pinta-aineksesta sekä huomattava säähavaintoaineisto (paine-, lämpötila- ja tuulimittauksia). Kuva-aineiston joukossa on runsaasti stereokuva pareja, yksi kokonainen panoraama ja 83 % suuresoluutiopanoraamasta. Mars Pathfinderin havainnoista ovat hiljattain ilmestyneet ensimmäiset tieteelliset julkaisut *Science*-lehden Pathfinder-teemanumerossa.

Tieteellisten julkaisujen lisäksi Pathfinder tulee vieraillemaan ympäri maailmaa myös postimerkin muodossa – USA:n postilaitos julkaisi Pathfinder-aiheisen 3 USD -arvoisen erikoispostimerkin 10.12.1997.

Kaasukehä ja sääolot

Pathfinderin laskeutumisalue on samalla leveysastealueella kuin Viking 1 -laskeutujan (VL-1). Pathfinderin laskeutumisvaiheessa havaitsema kaasukehän pystyrakenne sekä pinnalla havaitut sääolot ja kaasukehän pölyisyys poikkeavat ennen Pathfinderia tehtyjen maanpäällisten mikroaalto- ja Hubble-havaintojen viitteistä siitä, että kaasukehän pölysisältö olisi pienentynyt ja lämpötilat laskeneet Vikingin ajoista; havainnot ovat siis suurelta osin VL-1:n samaan vuodenaikaan tekemien havaintojen kaltaisia ja näyttää siltä että planeetan ilmasto ei ole kuluneiden 21 vuoden aika kokenut suuria muutoksia. Merkillepantavaa on, että Pathfinderin pystyrakennehavainto on ensimmäinen yöllä tehty – kummankin Viking-laskeutumisaluksen saapuminen osui päiväsaikaan – mikä yhdessä Vikingien profiilien kanssa antaa lisätietoa pystyrakenteen vuorokautisvaihtelusta. Pinta-lämpötilojen vaihtelu oli useita kymmeniä Kelvineitä ja hyvin säännöllistä Vikingin tapaan. Lämpötilojen vuorokausikeskiarvot olivat noin 10 K korkeampia kuin VL-1:n tapauksessa, mikä selittyi laskeutumispaikan pinnankorkeuden, pinnan albedon ja pinta-aineksen termisten ominaisuuksien eroista.

Paineen vaihtelu jopa 0,2–0,3 mbar solin jaksossa johtuu termisestä vuorovesi-ilmiöstä, joka aiheutuu ohuen kaasukehän nopeasta vasteesta lämmityksen – esimerkiksi auringonsäteilyn – vaihteluihin. Havaitut puolen vuorokauden jakson ja nopeammat paineen vaihtelut viittaavat siihen, että kaasukehässä on runsaasti pölyä varsinkin laajoilla alueilla ainakin korkeusalueella 10–20 kilometriä. Paineen vuorokausikeskiarvon laskeva suuntaus kohti sol 20:n minimiä johtuu kaasukehän hiilidioksidin hämmentymisestä eteläisellä napajäätiköllä – tuolloin jäätikkö on ollut suurimmillaan eli sisältänyt eniten hiilidioksidia. Hyvin lyhyen jakson paineenvaihtelut liittyvät pölypyörteisiin (dust devils), joiden oletetaan liittyvän pölyn nousumekanismiin pinnasta kaasukehään ja siten Marsin pölymyrskyjen syntyyn. Suorat pölypyörrehavainnot ovat ensimmäiset laatuaan ja joissakin valokuvissa näkyvät pyörteiden varjot vahvistavat pyörteiden kuljettavan pölyä

mukanaan.

Pöly on kaasukehän tärkein auringonsäteilyä absorboiva komponentti, mikä vaikuttaa suoraan kaasukehän lämpötilarakenteeseen ja virtausilmiöihin. Pathfinder havaitsi, kuten Vikingitkin, taivaan himmenevän aamuisin. Himmeneminen ei johdu pinnanläheisestä udusta, kuten Vikingien tulosten perusteella on arveltu, vaan korkeammalla esiintyvistä, luultavasti hiilidioksiidi- ja jääkidepilvistä.

Pinta ja sisärakenne

Pinta-aineksen ja kivien kemialliseen analysointiin APXS-laitteen mittaamista energiaspektreistä voidaan kalibrointiongelmien vuoksi käyttää toistaiseksi luotettavasti vain röntgenspektrejä. Mittausten perusteella pinta-aines on koostumukseltaan Vikingien laskeutumisalueiden kaltaista, eli pinta-aines lienee hyvin liikkuvaa ja edustaa siten keskiarvoa laajalta alueelta – mahdollisesti koko planeetan pinnasta. Pinta-aineksen liikkuvuudesta todistavat myös useimpien kivien pinnalla nähtävät pölykerrostumat. Kivet saattavat olla koostumukseltaan basalttisia andesiitteja ja poikkeavat sekä pinta-aineksen että Maahan pudonneiden Mars-meteorittien koostumuksista.

Laskeutumisalueen kivien kokojakauma on yhtäpitävä sen kanssa, että aluetta on pyyhkinyt tulva joskus menneisyydessä. Pinta-aineksesta otetuissa kuvissa näkyy pyörityneitä pikkukiviä, jotka viittaavat joko siihen, että alueella on ollut veden virtausta kauemmin kuin vain episodisen tulvan muodossa tai siihen, että pikkukivet ovat esimerkiksi tuulieroosion vaikutuksesta irronneet veden läsnäollessa muualla muodostuneista yhdistelmä- eli konglomeraattikivistä.

Kivissä nähdään piirteitä – simpukanmuotoisia painaumuksia ja pitkänomaisia uurteita – jotka mitä todennäköisimmin ovat tuulieroosion tulosta. Vastaavia piirteitä ei havaittu Viking-laskeutumisalueiden kivissä. Pathfinderin kuvissa nähdään myös kivien suojanpuolella hiekkakertymiä. Kertymien suunta vastaa erinomaisesti Viking-tekokuiden kiertoradalta otamissa kuvissa nähtyjä tummien juovien suuntaa sekä Marsin kaasukehän yleisen virtausmallin ennustetta Pathfinderin laskeutumisalueen vallitsevasta tuulensuunnasta.

Marsin sisärakenne – sulan ytimen olemassaolo ja sisäosien kemiallinen koostumus – on tunnettu tähän asti varsin huonosti. Analysoimalla huolellisesti Pathfinderin ja Viking-laskeutumisalueiden radiosignaalien kulkuaikaa ja Doppler-siirtymiä arvioita sisärakenteesta on kyetty parantamaan huomattavastikin. Marsilla näyttää olevan tiheä ydin, jonka säde lienee välillä 1300–2000 kilometriä – ydin on Maan vastaavaa suhteellisesti ottaen huomattavasti pienempi. Lisävalaistusta sisärakenteeseen saataaneen Mars Global Surveyorin magneettikenttämittausten, mutta tarkimmat arvot saavat odottaa seismometriverkon laskemista Marsin pinnalle, kenties jo vuonna 2004.

Mars Global Surveyor

Marraskuussa 1996 laukaistun Mars Global Surveyorin (MGS) hyötykuormana on ensimmäinen osa Mars Observeria varten suunnitelluista mittalaitteista: kamerajärjestelmä (Mars Observer Camera, MOC), laserkorkeusmittari (Mars Observer Laser Altimeter, MOLA), infrapuna-alueen lämpösäteilyemissiospektrometri (Thermal Emission Spectrometer, TES) sekä magnetometri/elektronirefleksometri (MAG/ER).

MGS asettui Marsia kiertävälle radalle 11. syyskuuta 1997. Koska luotaimen ensisijainen tehtävä on planeetan pinnan kartoitus, sen lopullinen kiertorata on napojen kautta kulkeva aurinkosynkroninen rata eli luotain ylittää päiväntasaajan aina samaan paikalliseen aikaan. Massa- ja kustannussyistä mukaan oli mahdollista laittaa vain sellainen jarruraketti, joka kykeni hidastamaan luotaimen elliptiselle radalle. Radan korkeinta kohtaa lasketaan vähitellen alaspäin laskemalla luotain radan alimmassa kohdassa kaasukehän yläkerrokseen (noin 260 km korkeudelle), jolloin kaasukehän vastus hidastaa luotainta hieman joka kierroksella. Menetelmää kutsutaan *kaasukehäjarrutukseksi* (aerobraking). Kaasukehäjarrutus alkoi hyvin, mutta lokakuun alkupuolella Marsin kaasukehä oli radan alimmassa kohdassa ennakoitua tiheämpi ja toinen – laukaisun jälkeen puutteellisesti avautunut – aurinkopaneeli liikkui jopa lukituskohtansa ohi. Jarrutus keskeytettiin ja radan alin kohta nostettiin kaasukehän yläpuolelle selvitysten ja jatkosuunnitelmien ajaksi. Jarrutusta on päätetty jatkaa, mutta alkuperäistä suunnitelmaa varovaisemmin ja hitaammin; samalla planeetan varsinaisen kartoituksen alkamista on lykätty alkuvuodesta 1998 puolella Marsin vuodella (noin yhdellä Maan vuodella) maaliskuuhun 1999.

MGS:n mittalaitteet ovat jo tehneet havaintoja, varsinkin aluksen ollessa lähimpänä Marsia. Mm. kamerajärjestelmä on kuvannut aiemmin havaitsemattomia geologisia muodostelmia ja hieman kuivuneen suolajärven pohjaa muistuttavan tasankoalueen *Schiaparelli*-kraaterin eteläpuolella. Jos suolajärvi-havainto osoittautuu paikkansapitäväksi, saattaa se siten antaa lisävahvistusta oletuksiin Marsin lämpimämmästä ja vetisemmästä menneisyydestä. MOLA on mitannut ensimmäiset topografiaprofilinsa, joista jo nähdään aineiston erinomainen tarkkuus ja laatu. TES-instrumentti on mitannut pinnan lämpötiloja, joiden avulla on voitu mm. seurata eteläisen napakalotin koon muuttumista pallonpuoliskon talven edetessä.

Tutkijoiden varmasti osittaista pettymystä MGS:n kartoitusvaiheen viivästyisestä kompensoinee se, että toukokuusta marraskuuhun 1998 jarrutuksessa pidettävän tauon aikana luotain tekee havaintoja radan lähinnä Marsia olevalla osuudella. Luotain on jarrutusvaiheen radan alimmissa osissa itse asiassa lähempänä Marsia kuin lopullisella radallaan, mistä johtuen mm. kamerajärjestelmä kykenee erottamaan vieläkin pienempiä yksityiskohtia. Luotaimen rata myös läpäisee tuolloin Marsin ionosfääriin mahdollistaen Marsin magneettikentästä ja lähiavaruudesta sellaisten havaintojen teon, joita ei lopulliselta radalta käsin kyettäisi tekemään.

Lähtilevyyden Mars-lennot

Vuonna 1998 NASA:n lähettämässä kiertoradalle asettuvassa aluksessa on tärkeimpänä hyötykuorman osana kaasukehää havainnoiva infrapuna-alueen painemoduloin radiometri (Pressure Modulated Infra-Red Radiometer, PMIRR). Mukana on myös MGS:n vastaavasta poikkeava kamerajärjestelmä.

Laskeutumisalue eli Mars Volatiles and Climate Surveyor (MVACS) laskeutuu Marsin eteläiselle napa-alueelle tutkimaan jäätikköalueen terassimaisia kerrostumia sekä etenkin vesi- ja hiilidioksidijään esiintymistä kerrostumissa. Luotaimessa on kameralla varustettu robotikkäsivarsi, joka kykenee kaivamaan pinta-ainesta ainakin muutaman kymmenen senttimetrin syvyyteen, valokuvaamaan pinnanalaista kerrostumia ja tuomaan näytteitä luotaimessa analysoitaviksi. Hyötykuorma – mm. massaspektrometri ja terminen kaasuanalyysiaattori – saattavat vastata kysymyksiin siitä, onko pinnan alla vettä routana ja jos on, kuinka lähelle pintaa routakerrostumat ulottuvat. Hyötykuormassa ovat mukana lisäksi kamerajärjestelmä, säähavaintolaitteisto, jossa mukana puolijohdelaserin perustuva kosteusmittauslaite sekä ylöspäin katsova LIDAR pöly- ja aerosolihavaintoja varten. MVACS:sin säähavainnot yhdessä tekokuun PMIRR- ja kamerahavaintojen kanssa antanevat huomattavasti lisätietoa etenkin eteläisen napa-alueen sääoloista. Ilmatieteen laitos toimittaa MVACS:iin paineantureita sekä elektroniikkaa ja saa siten käyttöönsä kaikki luotaimen havainnot.

Seuraavat laukaisuikkunat ovat vuosina 2001, 2003, 2005 ja 2007. Mars Surveyor -ohjelmassa vuonna 2001 lähetetään tekokuu saattamaan loppuun planeetan peruskartoitus; aluksen päähyötykuormana on Mars Observerin gammaspektrometri. Samassa ikkunassa lähetetään Sojourneria kookkaampi ja kehittyneempi pintakulkija, jonka toimintamatka tulee olemaan kilometrien tai kymmenien kilometrien luokkaa ja joka jo kerää näytteitä laajemmalla alueella myöhemmin Maahan palautettaviksi. Vuoden 2003 ikkunassa lähetetään vastaava tekokuu/laskeutuja-pintakulkija - pari.

Mars Surveyor -ohjelmassa on vuosien 2005 ja 2007 ikkunoihin kaavailtu näyteenpalautuslentoja, jotka palauttaisivat Maahan 2001 ja

2003 pintakulkijoiden keräämiä näytteitä pinta-aineksesta, kivistä, kaasukehästä ja kenties myös vesi- ja/tai hiilidioksidijäätä. Luotaimista tulee joka tapauksessa hyvin massiivisia, koska niiden on vietävä mukanaan paluuraketti ja kaikki tai osa paluuseen tarvittavista ajoaineista. Massavaatimusten helpottamiseksi kenties jo vuosien 2001 tai 2003 lennoilla testataan laitteistoja, joilla tuotettaisiin pinta-aineksesta tai kaasukehästä ainakin osa paluualuksen tarvitsemasta ajoaineesta.

ESA suunnittelee parhaillaan työnimellä *Mars Express* vuonna 2003 ikkunassa laukaistavaa tekokuun ja pinta-asemaverkon yhdistelmä lentoa. Tekokuun mittalaitteet olisivat Mars-96:a varten ESA:n jäsenmaissa rakennettuja laitteita – esimerkiksi saksalainen stereokamerajärjestelmä – tai niistä hieman edelleenkehitettyjä versioita.

ESA:ssa tehdään parhaillaan sisäistä selvitystä tekokuusta ja mm. Ilmatieteen laitoksen johdolla toteutettavuustutkimusta pinnalle laskettavasta ainakin kolmen tutkimusaseman verkosta. Pinnalle on tarkoitus laskea kahdentyyppisiä havaintoasemia: yksi eksobiologia- ja ainakin kaksi geofysiikka painotteista asemaa. Eksobiologia-asema jatkaisi ja täydentäisi Viking-laskeutujien havaintoja ja pyrki osaltaan vastaamaan kysymykseen nykyisen tai menneen elämän olemassaolosta. Geofysiikka-asemat yhdessä muodostaisivat pinnalle ensimmäisen seismo- ja magnetometri- sekä sääasemaverkon planeetan sisärakenteen ja kaasukehän ilmiöiden havainnoimiseksi.

Vasta Mars Expressin seismometrit kykenevät vastaamaan kunnolla avoimiin kysymyksiin Marsin nykyisestä tuliperäisyydestä ja planeetan sisärakenteesta. Hankkeen toteutuksesta päätetään alkuvuodesta 1998. Jos päätös on myönteinen, suomalaista huipputekniikkaa laskeutunee pinnalle jälleen vuonna 2004 selvittämään Punaisen planeetan mysteerejä!

LISÄÄ AIHEESTA:

Science 5.12.1997 vol. 278, ss. 1734–1774.

Lähimmät NASA:n Mars-ohjelman Web-sivujen rinnakkaiskopiot löytyvät Tanskasta palvelimelta <http://sunsite.auc.dk/>.

Seuraavassa muutamia kiinnostavia linkejä:

Mars Surveyor-ohjelma:

<http://sunsite.auc.dk/mars/nav.html>

Mars Surveyor 2001 pintakulkija:

<http://astrosun.tn.cornell.edu/athena/index.html/>

Planet-B:

<http://www.isas.ac.jp/info/future/planetB-e.html/>

Ilmatieteen laitoksen Geofysiikan tutkimus:

http://www.geo.fmi.fi/index_fi.html/

http://www.geo.fmi.fi/PLANETS/index_fi.html/

Tekn. lis. Tero Siili työskentelee tutkijana Ilmatieteen laitoksen Geofysiikan tutkimuksen planeettatutkimuksen ryhmässä ja valmistelee väitöskirjaa Marsin kaasukehän keskisuuren skaalan sääilmiöistä. Kirjoitus perustuu Tähtitieteellinen yhdistys Ursassa marraskuussa 1997 pidettyyn esitykseen.