



Navigointia tulevaisuuden Kuussa

Cygnus 2022
Kouvola

Harri Haukka

Kehityspäällikkö

Avaruustutkimus ja havaintoteknologiat

Ilmatieteen laitos

harri.haukka@fmi.fi



Sisältö

1. Taustaa

- MiniPINS - Miniature Planetary IN-situ Sensors
- MiniPINS LINS – Lunar IN-situ Sensors

2. ESA HME (Human Spaceflight, Microgravity and Exploration)

3. ESA OSIP (Open Space Innovation Platform)

4. Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS) – haku ideoista ja esimerkkitapauksista

- LUNINA - Lunar In-situ Navigation Beacon and communication node





FMI

Muistutuksena: IL:n kohokohtia avaruudessa

Planeettoja, komeettoja sekä aurinkotuulta



Rosetta & Philae



Permittivity Probe (Philae)



SWAN (SOHO)



SOHO



COSIMA (Rosetta)



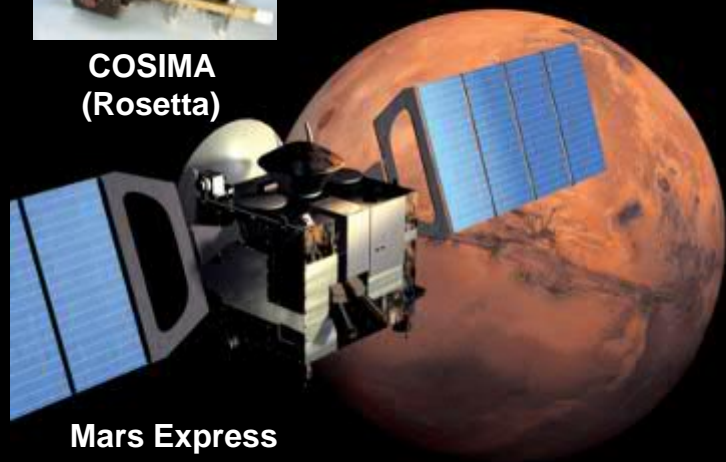
ICA (Rosetta)



ASPERA-3 (MEx)
ASPERA-4 (VEx)



SERENA (BepiColombo)



Mars Express

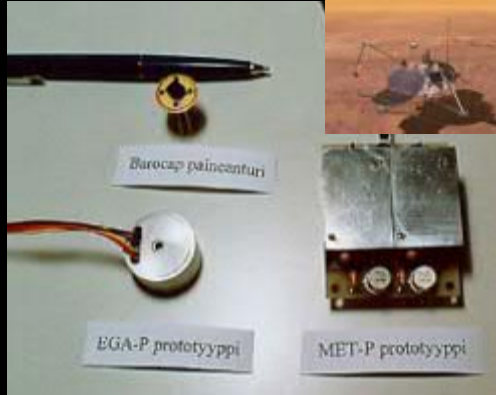


Venus Express



BepiColombo

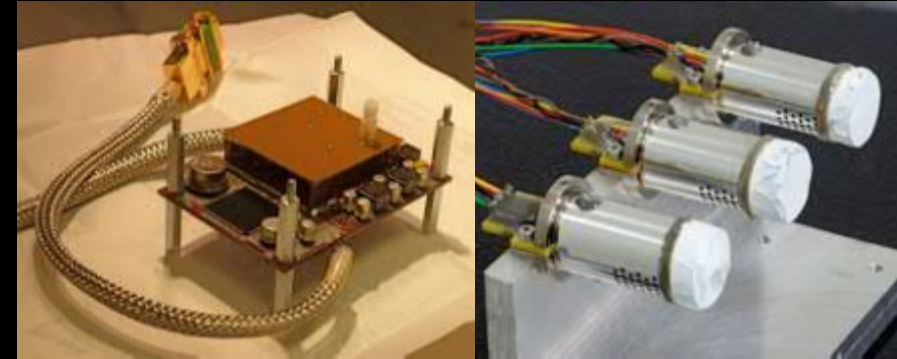
... sekä tietysti Marsia



Mars Polar Lander



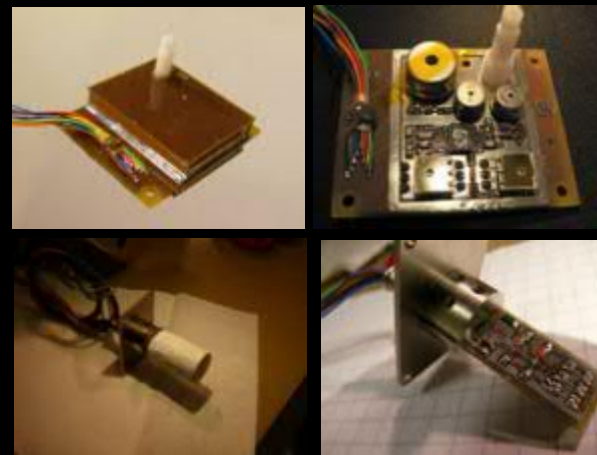
PHX on NASA Phoenix Lander



DREAMS-H and DREAMS-P on Exomars 2018 / Sciapparelli EDL
METEO-H and METEO-P on Exomars 2020



Beagle-2



REMS-P and REMS-H on
Mars Science Laboratory /
Curiosity



MEDA HS and MEDA PS on NASA Mars 2020 Rover



FMI

MiniPINS - Miniature Planetary IN-situ Sensors

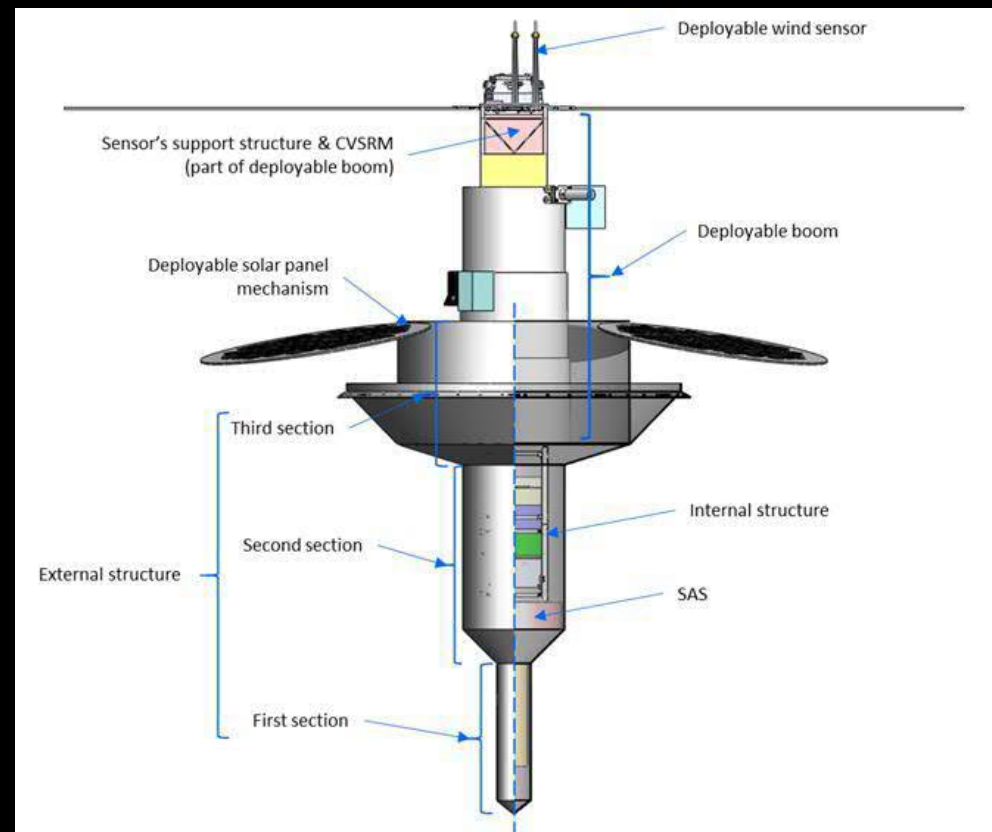
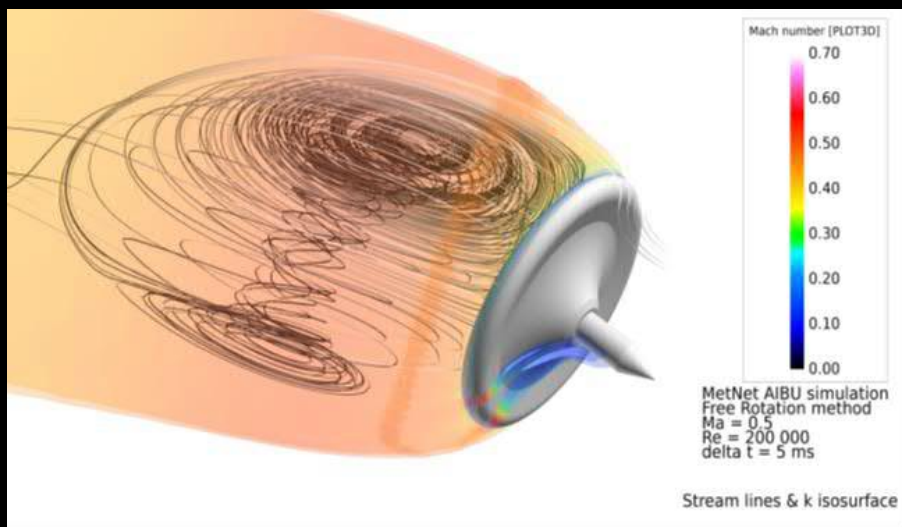


MiniPINS MINS

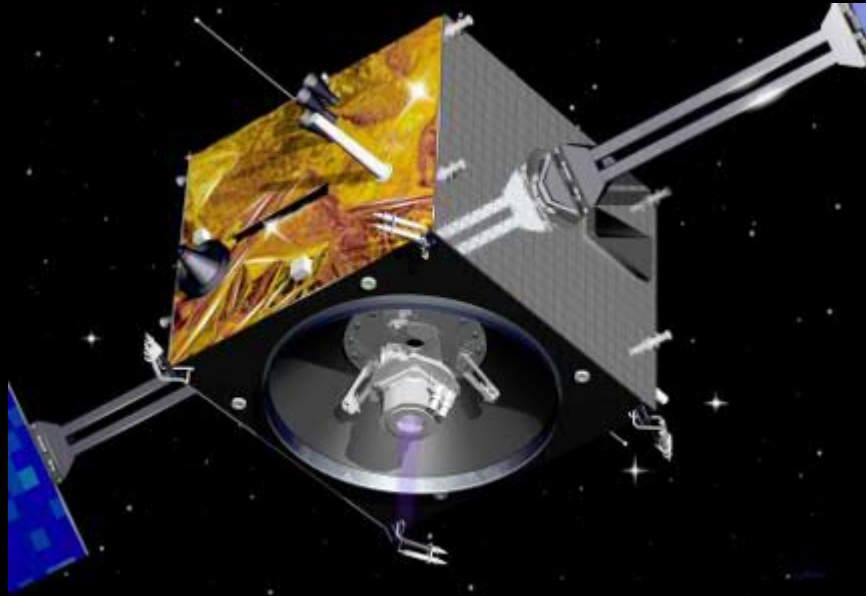
Suomalais-espanjalainen ESA-hanke (päättyy loppuvuodesta 2022). Evoluutio Mars MetNet - laskeutujsta

Mars MetNet

Läheisessä yhteistyössä INTA:n (Esp) kanssa



IL:n kuututkimusta

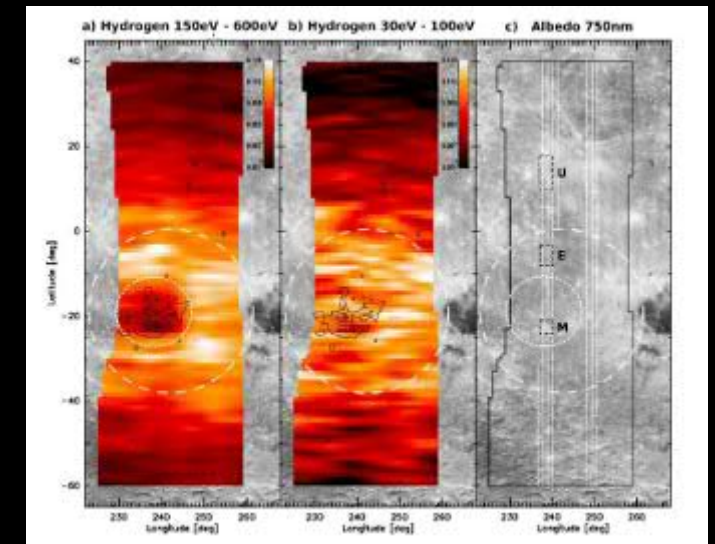


ESA L-DEPP (Lunar Dust, Plasma, Waves and Fields Package for Lunar Exploration)

SPEDE
(Spacecraft
Potential,
Electron and
Dust
Experiment)
onboard ESA
SMART-1



ESA DPEM (Dusty plasma environments:
near-surface characterisation and
Modelling)

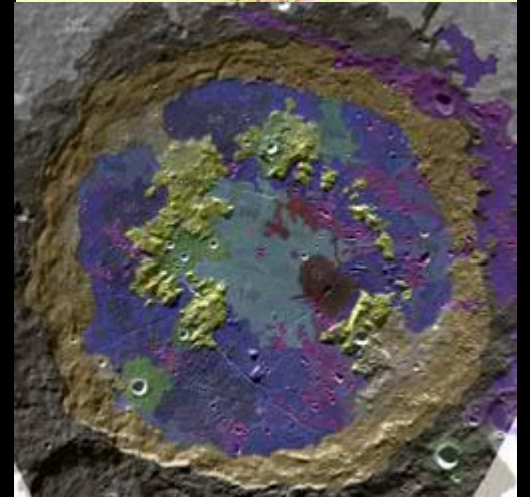
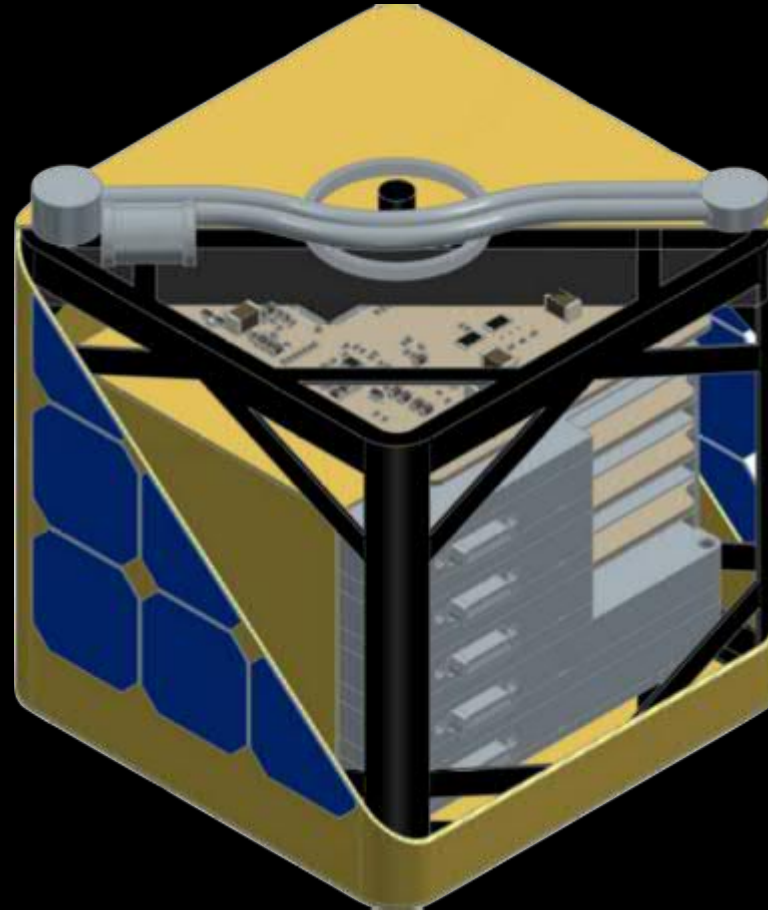
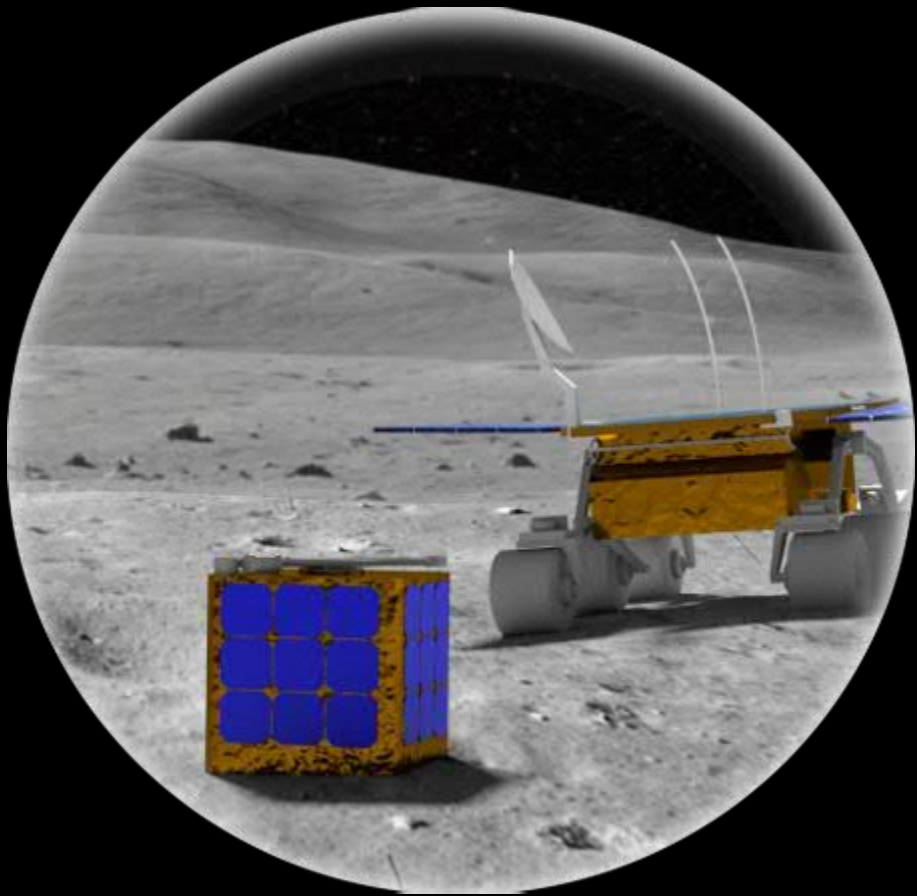


ESA MiniPINS

IL, INTA (Esp) ja AWS (Esp)

LINS

Lunar In-Situ Sensors



Hyötykuorma koostuu seismologia, ympäristön ja magneettikentän mittalaitteista. Sisältää myös RHU-yksikön.

ESA HME (Human Spaceflight, Microgravity and Exploration)

- Ts. ”mediaseksikkäästi” sanottuna ESA:n astronauttiohjelma (on toki paljon muutakin).
- ESA:n miehitettyjen avaruuslentojen ja avaruuden tutkimuksen ohjelman tavoitteena on vahvistaa Euroopan keskeistä roolia tulevaisuuden avaruustutkimuksessa ja -hankkeissa. Ohjelman päämääränä on myös inspiroida tulevia sukupolvia avaruuden tutkimuksen saralla ja erityisesti syvän avaruuden kohteiden saavuttamisessa.
- Suomi on Viron lisäksi ainoa Euroopan avaruusjärjestön jäsenmaa, joka ei ole toistaiseksi osallistunut valinnaiseen miehitettyjen avaruuslentojen ja avaruuden tutkimuksen ohjelmaan.

ESA HME (Human Spaceflight, Microgravity and Exploration)

- Suomi on ollut Euroopan avaruusjärjestön (ESA) täysjäsen vuodesta 1995 alkaen. Suomen viimeaikainen (vuodet 2020-2022) rahallinen kontribuutio Euroopan avaruusjärjestön pakollisiin ja vapaaehtoiisiin ohjelmiin on ollut vuosittain noin 28 miljoonaa euroa.
- Työ- ja elinkeinoministeriön 18.2.2022 julkaisema asiantuntijaraportti ehdottaa, että Suomi osallistuu Euroopan avaruusjärjestön ESA:n miehitettyjen avaruuslentojen ja avaruuden tutkimuksen ohjelmaan (E3P-ohjelma).
- Osallistuminen mahdollistaisi Suomelle laajemman pääsyn kansainvälistä avaruusasemaa, kuulentoja ja kuun kiertoradalle suunniteltua avaruusasemaa sekä Mars-lentoja koskeviin hankkeisiin.

ESA HME (Human Spaceflight, Microgravity and Exploration)

- Selvityksen mukaan jättäytyminen ohjelman ulkopuolelle rajoittaisi pääsyä uuden avaruustalouden kehityksen alkuvaiheisiin. Globaali avaruustalous on kasvanut voimakkaasti viimeisen vuosikymmenen aikana ja kasvun ennustetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa.
- Suomessa on kehitetty useita innovatiivisia tuotteita, sovelluksia ja palveluita, jotka voisivat olla merkityksellisiä myös miehitettyjen avaruuslentojen ja muun avaruuden tutkimuksen näkökulmasta
- Selvityksen tuloksia hyödynnetään, kun Suomi määrittelee vuonna 2022, mihin ESA:n seuraavan ohjelmakauden ohjelmiin se osallistuu. Päätös ESA:n tulevan ohjelmakauden ohjelmista tehdään marraskuussa 2022 Euroopan avaruusjärjestön ministerineuvoston kokouksessa.

ESA OSIP (Open Space Innovation Platform)

- **Mikä on OSIP?** ESAn Open Space Innovation Platform (OSIP) organisoii kampanjoita ja väyliä uusien ja innovatiivisten ideoiden keräämiseksi.
- OSIP on tarkoitettu tehokkaaksi, virtaviivaiseksi on-line -työkaluksi kaikenikäisille uusille, mahdollisesti avaruuteen tavalla tai toisella liittyville konsepteille ja teknologian kehitysideoille.
- **Kuka voi lähettää idean?** Ideoita voivat lähettää kaikki, jotka ovat oikeutettuja rekisteröitymään ja jotka hyväksyvät OSIP-alustan käyttöehdot sekä kunkin kampanjan tai kanavan erityisehdot. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kuka tahansa (oikeustoimikelpoinen) henkilö voi lähettää ehdotuksen.

ESA OSIP (Open Space Innovation Platform)

- Kampanjat sisältävät yleensä seuraavat vaiheet:
 - "idean jättämisen" -vaihe, jossa osallistujat voivat syöttää uusia ideoita;
 - "yhteisökeskustelu ja -äänestys" -vaihe, jossa osallistujat voivat muokata ideaa ja keskustella yhteisön kanssa;
 - "arviointi" -vaihe, jonka aikana ideoita arvioidaan, joten niitä ei voi enää muokata;
 - "kampanjan loppu" -vaihe, jossa kaikki ideat käsitellään ja joko johdetaan toteutuspolulle tai arkistoidaan, ja kampanja suljetaan ja arkistoidaan.
- ESA voi järjestää ja käynnistää kampanjoita ja kanavia ideoiden etsimiseksi OSIP:n kautta
 - Kampanjat kohdistuvat tiettyihin aiheisiin ja niillä on määräaika ideoiden toimittamiselle.
 - Kanavat etsivät ideoita yleisistä teemoista, eikä niillä yleensä ole määräaikaa.

Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS) - taustaa

- Kuuhun on suunniteltu tuleville vuosikymmenille huomattavasti enemmän avaruuslentoja kuin 60 ja 70 –lukujen taitteessa tehtiin.
- Yksi keskeisistä eroista tällä kertaa on, että merkittävä osa näistä tehtävistä on tuettu **yksityisillä pääomasijoituksilla ja niissä on mukana toimijoita, jotka eivät perinteisesti liity avaruussektoriin.**
- Kuun viestintä- ja navigointiinfrastruktuuria ei ole vielä saatavilla. Tämän seurauksena jokainen yksittäinen hanke suunnittelee omaa räätälöityä ratkaisuaan Direct-To-Earth (DTE) ja/tai omaa tiedonvälitysviestintää ja maanläheiseen navigointiin → päällekkäisyys, joka on luonnostaan tehoton ja johtaa monimutkaisiin ja kalliisiin ratkaisuihin.

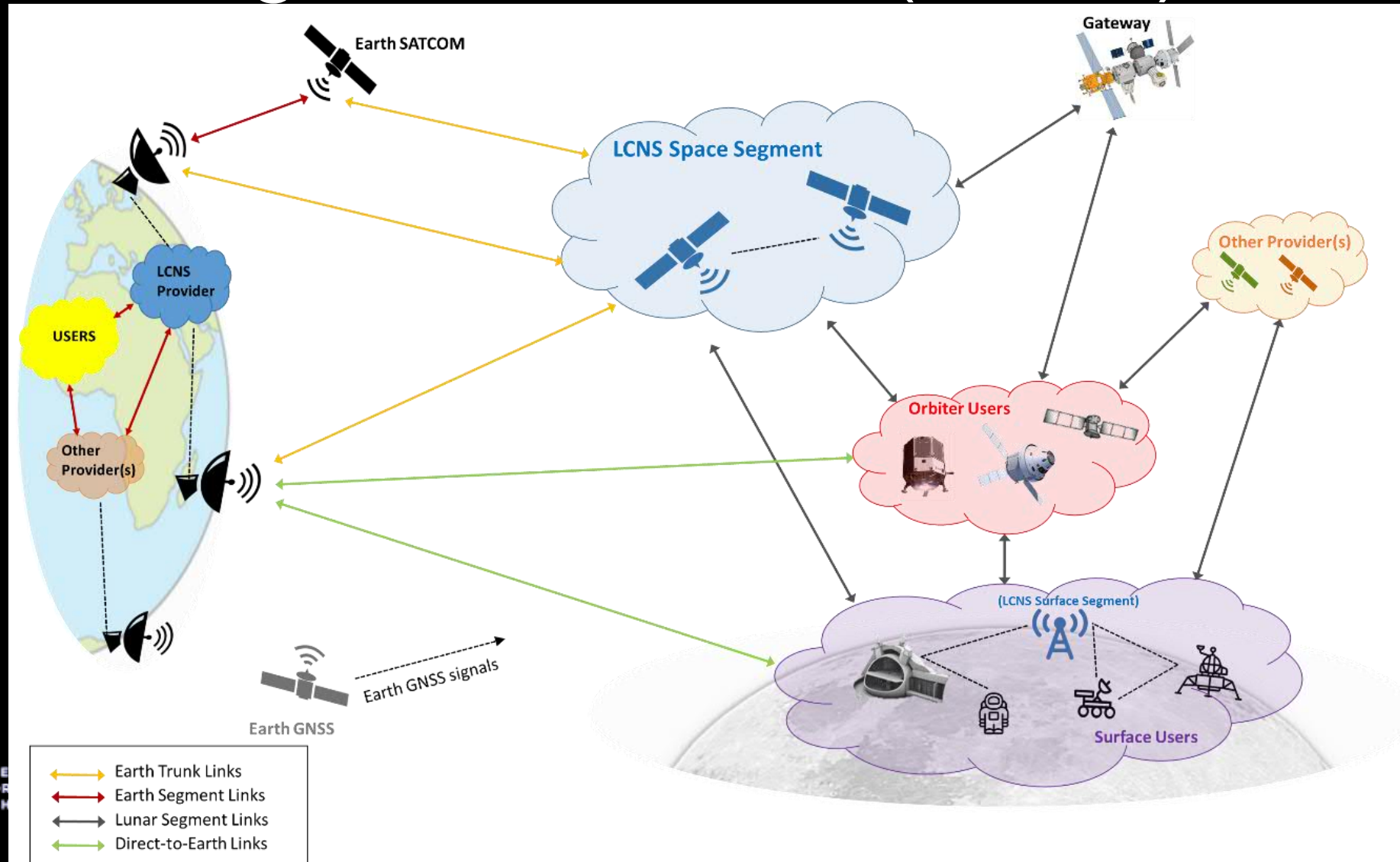
Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS) - taustaa

- Kuun viestintä- ja navigointipalvelut mahdollistaisi lentojen kustannustehokkaamman suunnittelun ja kannustaisi uusia liiketoimintamalleja, mikä rohkaisisi lisää yksityisiä investointeja.
- **Tarkka ja luotettava kuun viestintä- ja navigointipalvelu** mahdollistaisi laskeutumisen minne tahansa. Radioastronomit voisivat perustaa observatorioita Kuun toiselle puolelle. Mönkijät voisivat liikkua Kuun pinnalla nopeammin.
- Yhteisen viestintä- ja navigointipalvelun käyttö vähentäisi yksittäisten hankkeide suunnittelun monimutkaisuutta ja tekisi niistä kevyempiä, vapauttaen tilaa tieteellisille instrumenteille tai muulle hyötykuormalle.

Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS) - taustaa

- **Mikä LCNS on?** ESan Moonlight-hankkeessa esitetty visio mahdollistaa Eurooppalaisten viestintä- ja navigointipalvelujen kehittämisen, jotka tukevat seuraavan sukupolven kuuntutkimustehtäviä, mukaan lukien tällä hetkellä määriteltävissä olevien tehtävien suorituskyvyn parantaminen.
- ESA on käynnistänyt kaksi rinnakkaista toimintoa/hanketta, joissa tutkitaan LCNS:n käyttöönoton toteutettavuutta ja määritellään siihen liittyvä infrastruktuuri.
- Tavoitteena on edistää Euroopan johtavan palveluntarjoajan asemaa, joka voi kaupallistaa viestintä- ja navigointipalveluja näkyvän Kuun alueella ja edistää "New Moon" -taloutta. Osana meneillään olevaa työtä määritellään LCNS:n tehtävät ja koko järjestelmän peruskonsepti.

Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS) – koko kuva



Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS)

- Mahdolliset LCNS-käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa eri LCNS-segmenttien kanssa palvelun tarjoamiseksi, mukaan lukien Kuun avaruussegmentti, Kuun pintasegmentti ja Maan maasegmentti (esim. suoraan Maahan tai Maan GNSS:ään). Lisäksi LCNS Maamaa-segmentti hyödyntää käytettävissä olevaa SATCOM-infrastruktuuria (avaruus/maa).
- **LCNS:n kommunikaatiopalvelut.** Kolmenlaisia suunnitteilla olevia:
 - **Tiedonsiirto** (tiedonsiirtoa Kuu-Kuu, Kuu-Maa tai Maa-kuu)
 - **Datan suoratoisto** (reaaliaikainen ääni molempiin suuntiin, osittain myös kuva ts. videolinkki)
 - **Teleoperaatio palvelut** (mm. mönkijöiden reaaliaikainen operointi)

Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS)

- **LCNS:n navikaatiopalvelut.** Kahdenlaisia suunnitteilla olevia:
 - **Yksisuuntainen**
 - Samantyylinen kuin Maassa käytetty (mm. GPS) ja perustuu satelliitin lähettämään signaaliin tietylle alueelle ja käyttäjä laskee tästä paikan, nopeuden ja ajan.
 - **Kaksisuuntainen**
 - Aktiivinen lähetys-vastaanotto. Jompikumpi (asiakas tai toimittaja) aloittaa lähetyksen ja vastaanottava taho vastaa vastalähetyksenä. Tällä lasketaan asiakkaan sijainti ja tämä voitaisiin toteuttaa telekommunikaatiolinkin ”kyljessä”

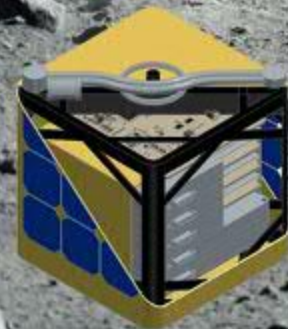
Moonlight Initiative: Lunar Communications and Navigation Services (LCNS)

- Taulukko kuvaa navigointipalvelujen tärkeimpiä vaatimuksia. On tärkeää huomata, että kuten viestintäpalveluissa, suorituskyky riippuu tietyistä LCNS-toteutuksesta, joten tarkkoja lukuja ei tässä vaiheessa voida antaa.

Title	Performance
LCNS navigation one-way service coverage	The LCNS navigation one-way service will provide service in the following service volumes: <ul style="list-style-type: none">• For orbital users: every orbit with maximum altitude up to 1000km from the Moon surface• For surface, lander and ascent users: 75-90 degree Southern latitudes
LCNS navigation service availability	The LCNS one-way navigation service will be available on the lunar surface, within 75-90 degree Southern latitudes, at least 3 to 5 hours continuous window over 24 hours and at least 6-10 hours non-continuous window over 24 hours.
LCNS navigation service performances - LLO	<ul style="list-style-type: none">• 100-300m 3-sigma (3D position accuracy)• 0.5-1 m/s 3-sigma (3D velocity accuracy)• 15-50ms 3-sigma (absolute time accuracy w.r.t to LCNS time)
LCNS navigation service performances - Descent and landing	<ul style="list-style-type: none">• Horizontal Position 30-100m (3-sigma)• 0.5-1 m/s 3D (3-sigma) absolute velocity
LCNS navigation service performances - Lunar Surface	<ul style="list-style-type: none">• Horizontal Position 10-50m (3-sigma)• 0.1-1 m/s 3D (3-sigma) absolute velocity

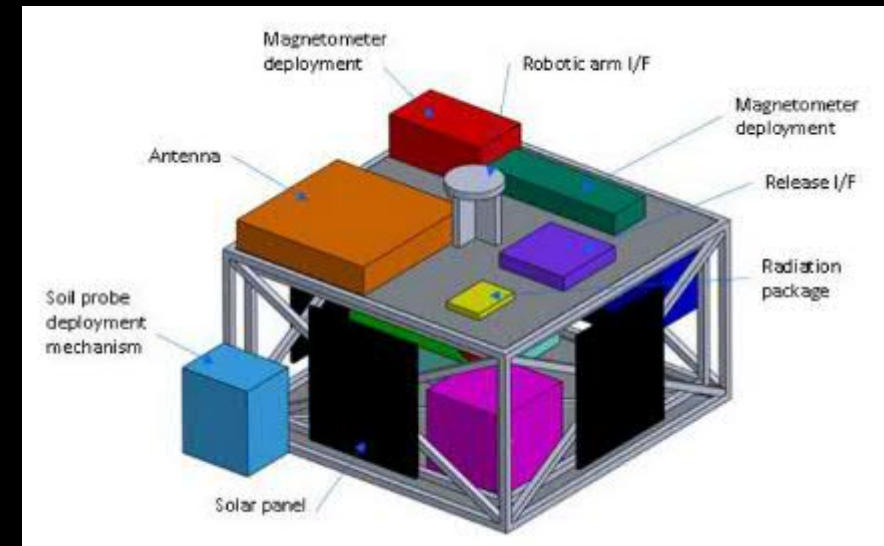
LUNINA

Lunar In-situ Navigation Beacon and Communication Node



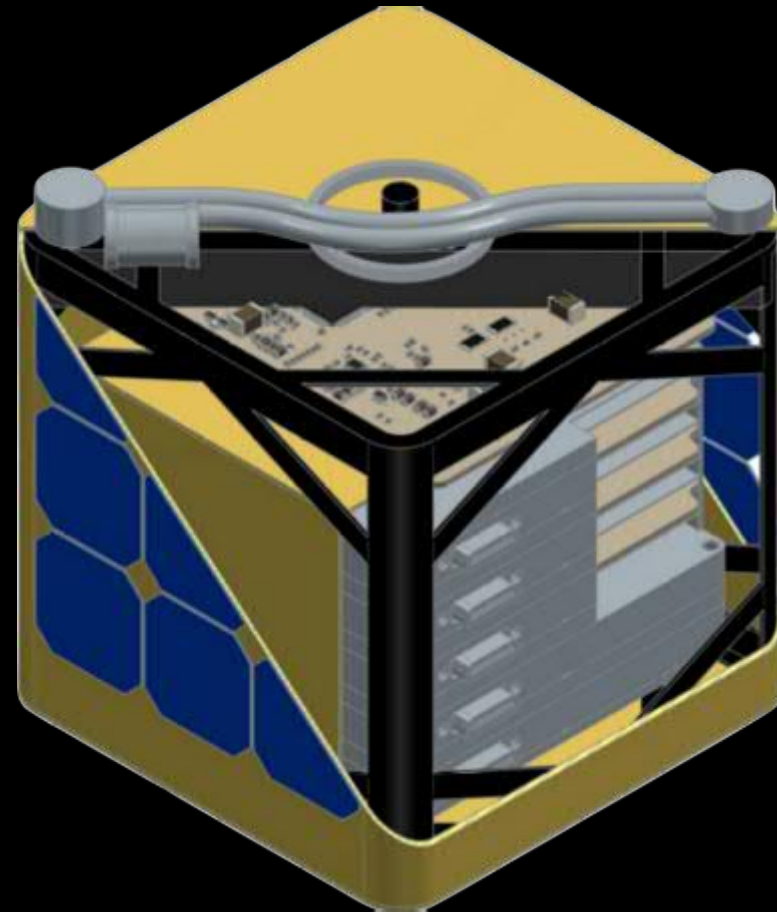
LUNINA – Lunar In-situ Navigation Beacon and communication node

- ESA:lla oli alkuvuodesta 2022 uusien ideoiden haku
- IL:n toimesta päätettiin tehdä oma ehdotus eli LUNINA. Tämä perustuu MiniPINS LINS-alustaan, jossa tieteellinen hyötykuorma on korvattu 4G LTE-järjestelmällä
- LINS-spesifikaatio joka on suhteellisen vapaasti muokattavissa LUNINAlle
 - Koko n. 10 x 10 x 30 cm (skaalautuva).
 - Paino 7,5 kg, noin 1 kg hyötykuormalla ja 4,1 W keskim. sähköä aurinkopaneeleista.
 - **ESA:n tilaama ja hyväksymä.**



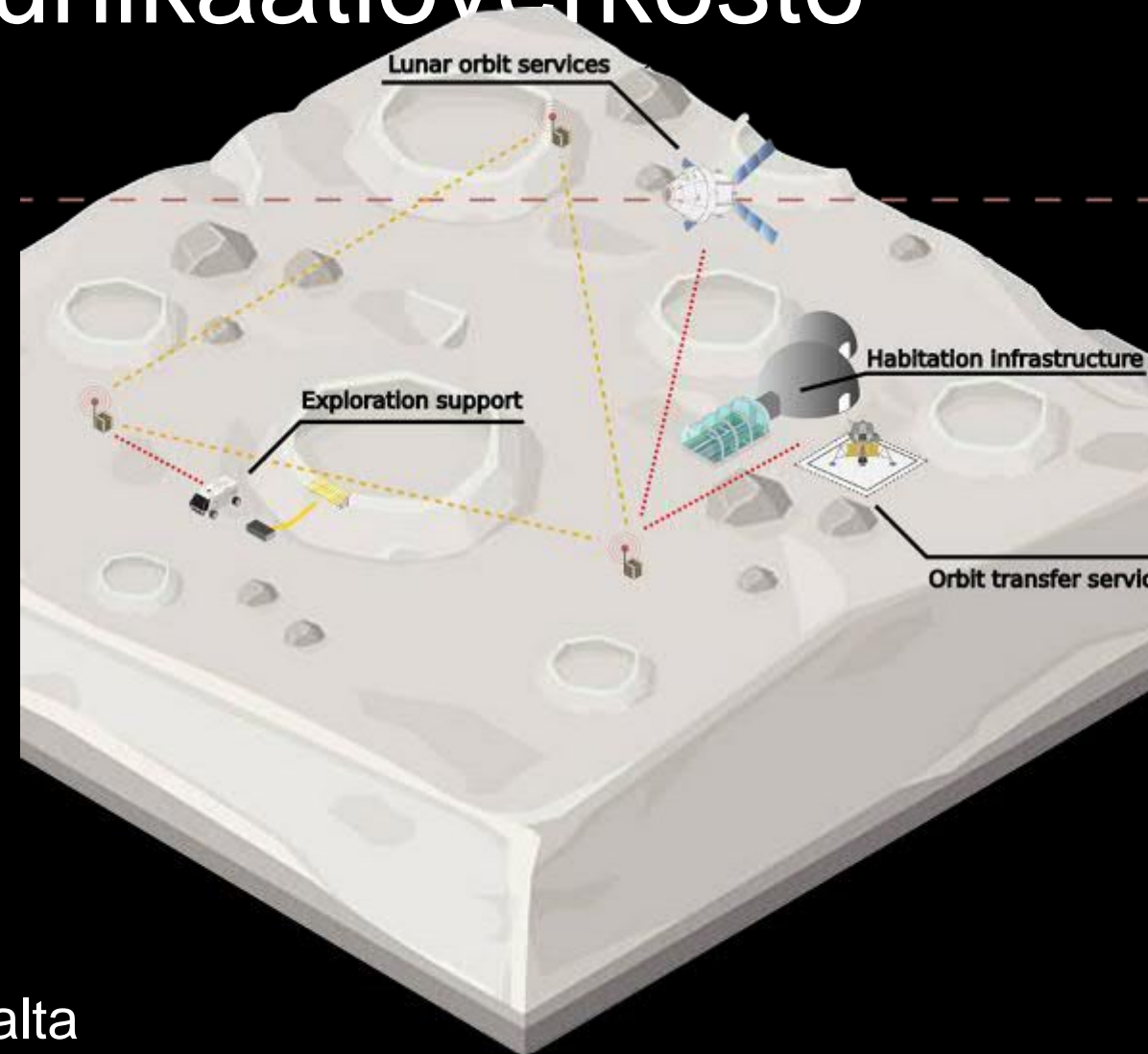
LUNINA – Lunar In-situ Navigation Beacon and communication node

- Sisältää RHU:n
- Suunniteltu keskipäivän ja keskiyön lämpötiloihin.
- Aurinkopaneelit tuottavat sähköä akkuposkurilla.
- Kyky toimia yöaikaan akun kapasiteetin ansiosta.



Navikaatio. ja kommunikaatioverkosto

- Pääasialliset tehtävät
 - Navigointiapu
 - Viestintäverkko
- Hyödyt Kuun infrastruktuurille
 - Kestävä ja pitkä käyttöikä
 - Monikäyttöinen
 - Kustannustehokas
- LUNINAN palvelut ja palvelukohteet
 - Maaperän tutkimustehtävät
 - Palvelut lähellä asutusta ja tukikohtia
 - Kuun kiertorata ja siirto kiertoradalle/radalta palvelut



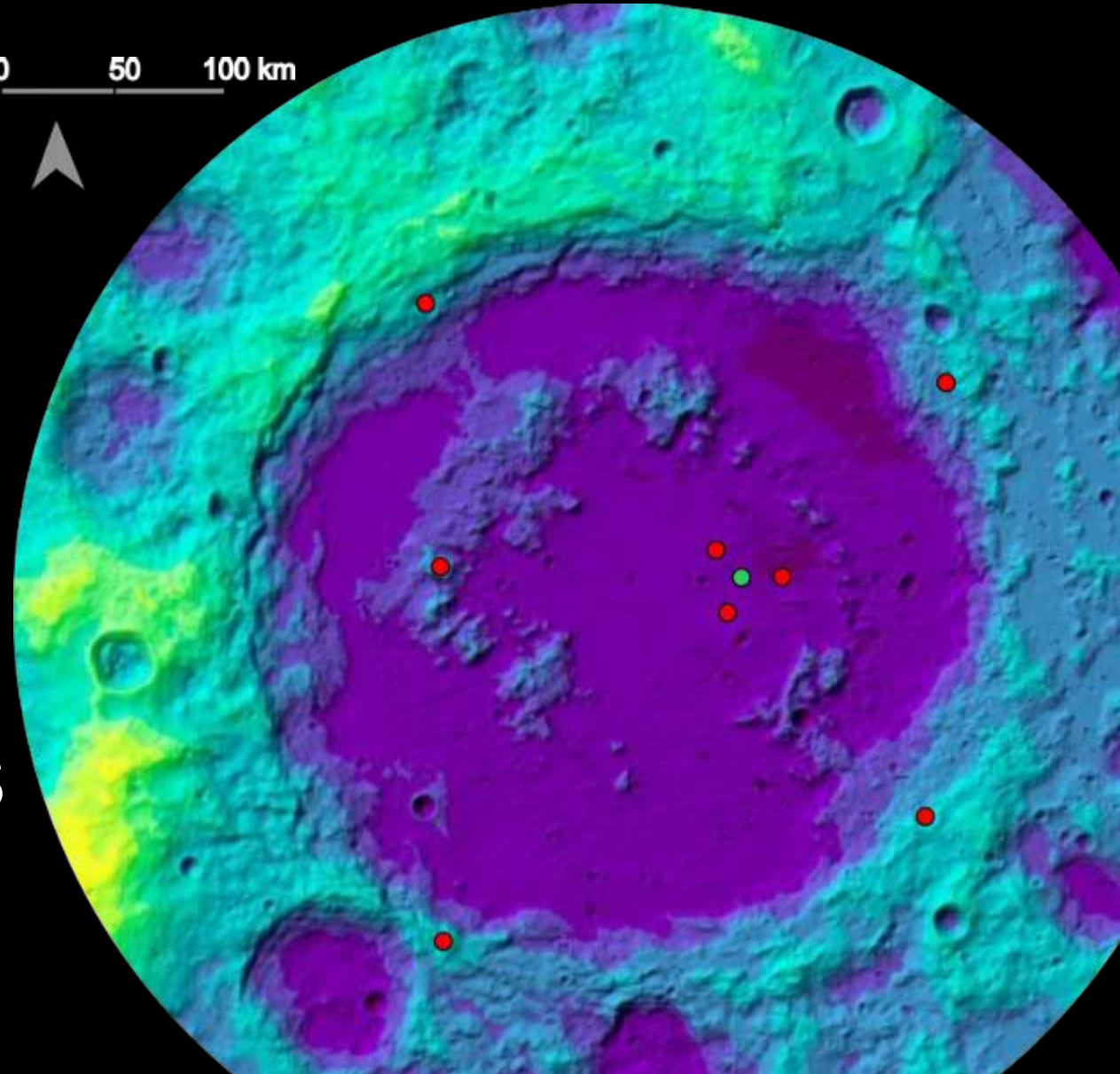
Navikaatio. ja kommunikaatioverkosto

0 50 100 km

- Käyttöpaikat ja -alueet ▲

- Korkea maaperä
- Kraatterin reunat
- Kuun tukikohtien ja muun infrastruktuurin ympärillä

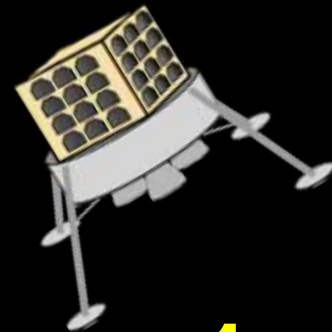
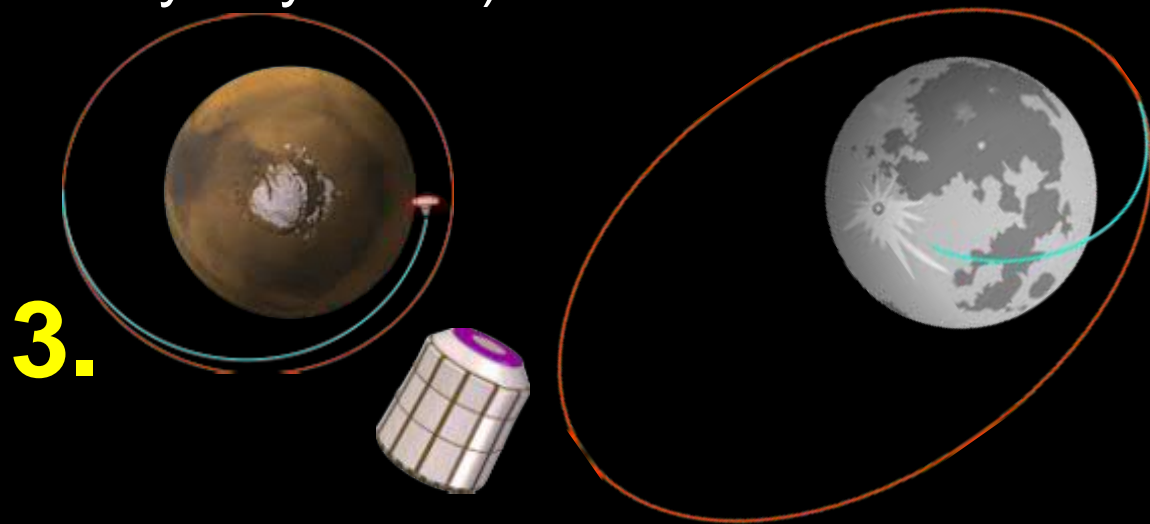
Esimerkkinä MiniPINS LINS
Schrödingerin kraatteri



LUNINAN toimittaminen Kuuhun

Kolme pääasiallista tapaa toimittaa LUNINA Kuuhun

1. Mönkijä (kuten MiniPINS LINS)
2. Vakioliitännöillä kaupallisiin laskeutujiin (kaikki laskeutujatyypit)
3. Pidempi aikaväli: oma kertakäyttöinen laskeutumisjärjestelmä lisähyötykuormilla (lähestymisen periaate suunniteltu jo MiniPINS MINS yhteydessä)



1.



Kiitokset kaikille Onko kysymyksiä tai ajatuksia aiheesta

Cygnus 2022
Kouvola

Harri Haukka

Kehityspäällikkö

Avaruustutkimus ja havaintoteknologiat

Ilmatieteen laitos

harri.haukka@fmi.fi

