



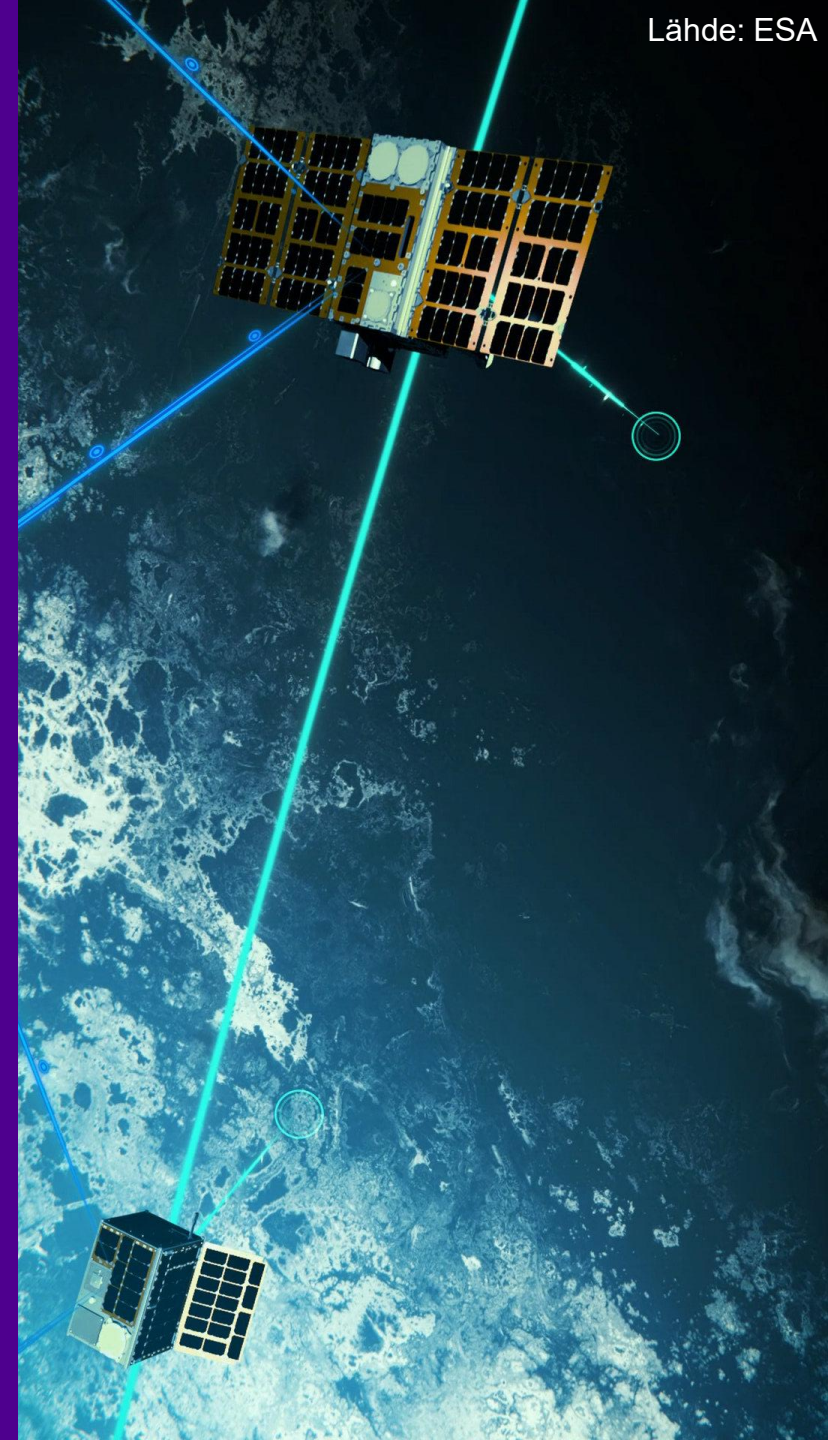
Avaruudesta toimintakykyä: resilientti paikannus, avaruusdata ja yhteydet turvallisuuden perustana

Prof. Heidi Kuusniemi

Tampereen yliopisto

(Tampere Wireless Research Center
& TAU Space Group)

Satelliittiteknologiat ja avaruusdata –
seminaari 25.8.2026



Avaruustoiminta on olennainen, tosin osittain näkymätön osa yhteiskuntaa

Avaruustaloudella tarkoitetaan kaikkea avaruustoimintaa sekä siitä johdettuja sovelluksia

Avaruustalouden arvon ennustetaan ylittävän 1 600 miljardia euroa (1,8 biljoonaa USD) vuoteen 2035 mennessä. (World Economic Forum/McKinsey)

Satelliitti- ja avaruusteknologioiden käyttökohteita:



Häiriötilanteiden/ katastrofien seuranta

Maanjäristykset,
metsäpalot,
tulvat, öljyvahingot



Tietoliikenne ja viestintä

Matkapuhelimet,
satelliitti-TV,
internet-yhteys
syrjäseuduilla



Kuljetus & liikenne

Navigointi maalla,
merellä, ilmassa,
turvallisuuden
seuranta



Viljely & maankäyttö

Maa- ja metsätalous,
kalakantojen
seuranta yms



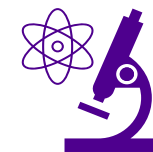
Ympäristön seuranta

Kasvillisuus,
merivirrat, veden
laatu, ilmakehä



Turvallisuus ja varautuminen

Pelastustoimet,
tilannekuvat,
häätätilanteisiin
reagointi



Tiede ja tutkimus

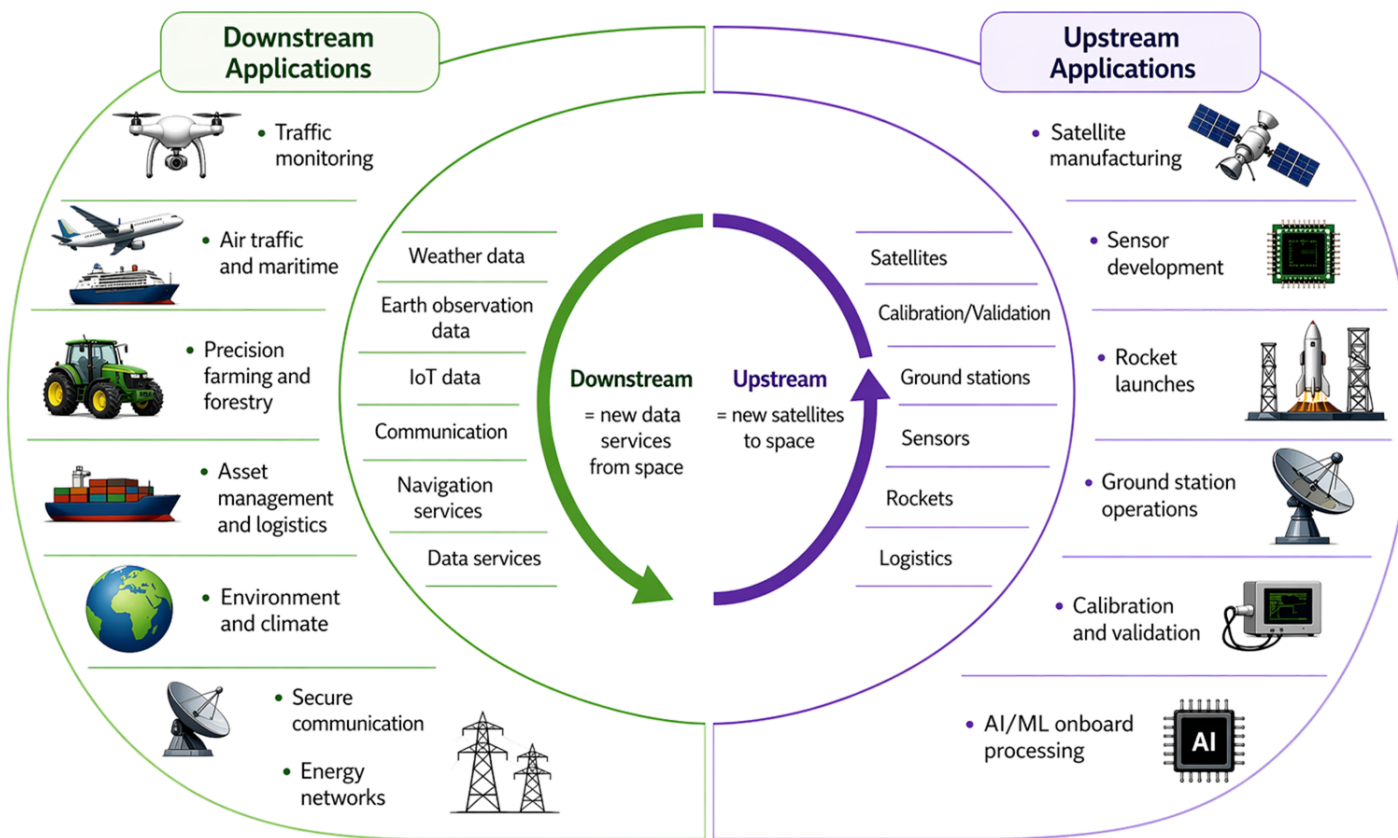
Perustutkimus ja
soveltava tutkimus,
innovaatiot



Kaupunki-suunnittelu

Kestävyys ja päästöjen
seuranta, maankäyttö,
infrastruktuurien kunto ja
sijainti, kaavoitus

Arvo on tällä hetkellä datassa



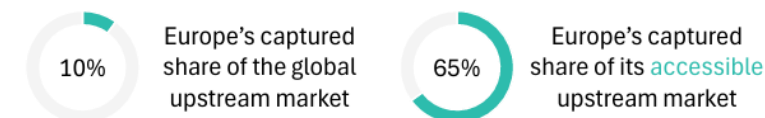
Kasvumahdollisuudet

- Downstream-markkinat (satcom, navigointi, EO)
- Datatalous
- Kasvavat upstream-markkinat (valmistus, laukaisu)
- Turvallisuussovellukset
- Kiertoratalous

Upstream Markets

Global
75b€ +20%
78% **Manufacturing**
22% **Launch**

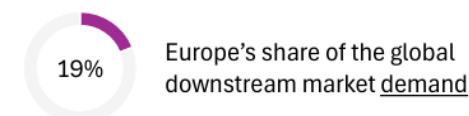
Europe's position in the upstream (supply view)



Downstream Markets

Global
489b€ +7%

Europe's position in the downstream (demand view)



77% **GNSS** (incl. enabled services)

22% **Satcom** (incl. video services)

1% **Earth observation** (incl. value-added services)

Miksi puhumme juuri nyt avaruudesta ja turvallisuudesta?

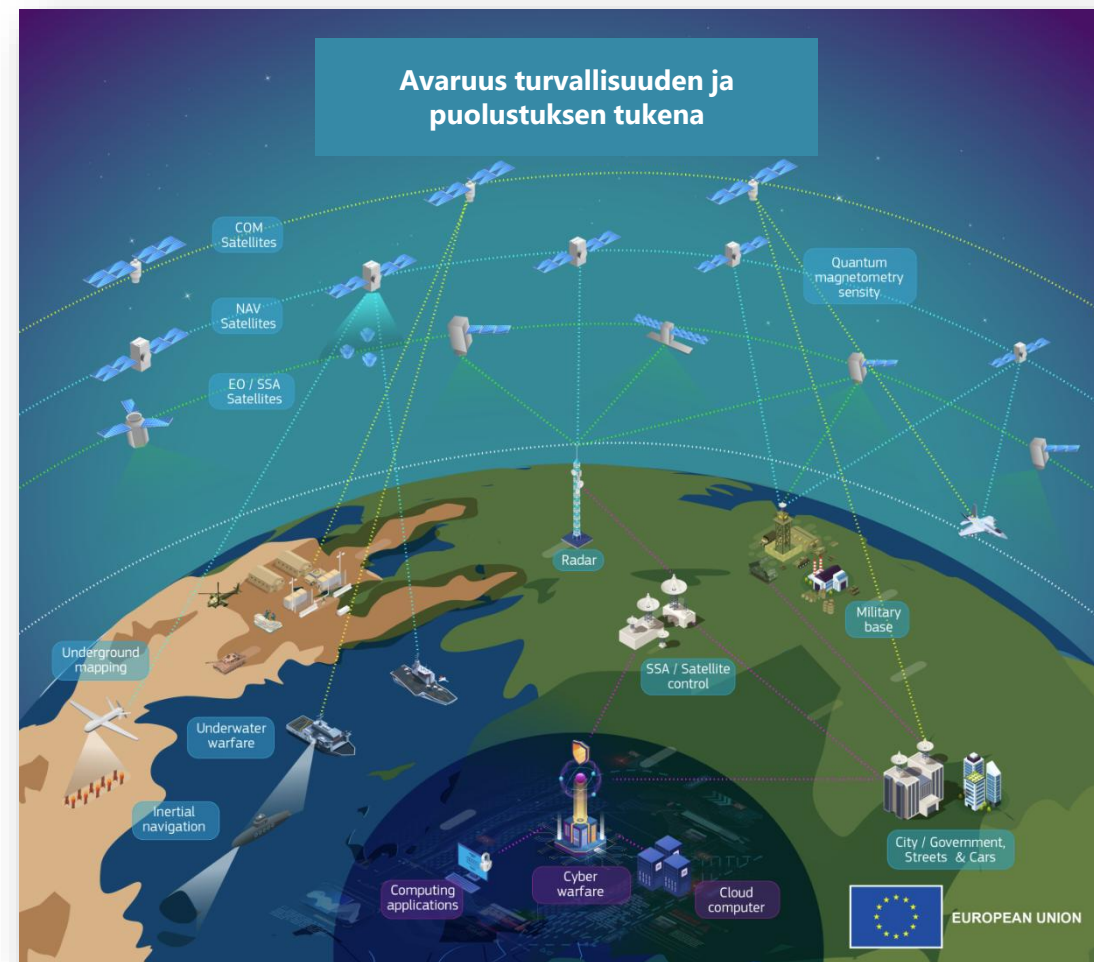
- Yhteiskuntamme tärkeimmät palvelut ovat yhä riippuvaisempia digitaalisista ja erityisesti satelliittipohjaisista järjestelmistä
- Esimerkiksi GNSS-häirintä vaikeuttaa liikennettä, pelastustoimea, energiahuoltoa ja maanviljelyä
- Yhdysvallat ja Kiina investoivat teknologiaan nopeasti, ja Eurooppa uhkaa jäädä jälkeen
- Euroopan pitää kehittää omia teknologioitaan ja varajärjestelmiään, jotta yhteiskunta toimii myös häiriötilanteissa



Miksi avaruus on tärkeää turvallisuudelle?

- Luotettava paikannus- ja aikatieto
 - Paikannus, navigointi ja ajanmääritys (PNT/GNSS)
 - Euroopassa: Galileo, EGNOS ja tuleva ESA:n Celeste LEO-PNT -demonstraatiomissio
 - LEO-PNT-palveluja kehittävät myös kaupalliset toimijat
- Luotettava tilannekuva
 - Ilmakehästä, maasta ja vesistöistä saatava havaintotieto (EO)
 - Euroopassa: Copernicus
 - Kaupallisia toimijoita, meillä mm. ICEYE ja Kuva Space
- Luotettavat yhteydet
 - Kaksisuuntainen puhe-, data- ja videoviestintä
 - Euroopassa kehitteillä: IRIS²
 - Kaupallisia toimijoita: Starlink, OneWeb ja Iridium, jne

Modernin puolustuksen ja kriittisen infrastruktuurin digitaalinen selkäranka



Miksi PNT:llä on merkitystä?

PNT on kriittinen infrastruktuuri - GNSS tukee modernia yhteiskuntaa kaikilla aloilla

- Tietoliikenne: verkon synkronointi
- Rahaliikenne: jäljitettävissä oleva globaali ajanmääritys
- Energia: vaiheen synkronointi/verkon vakaus
- Kuljetus: ilmailu, maa- ja meriliikenne, logistiikka
- Jokapäiväinen elämä: navigointi, autonomiset järjestelmät



PNT perustuu suurelta osin luottamukseen

- GNSS-vastaanottimet olettavat:
 - Signaalit ovat aitoja
 - Signaalit tulevat avaruudesta

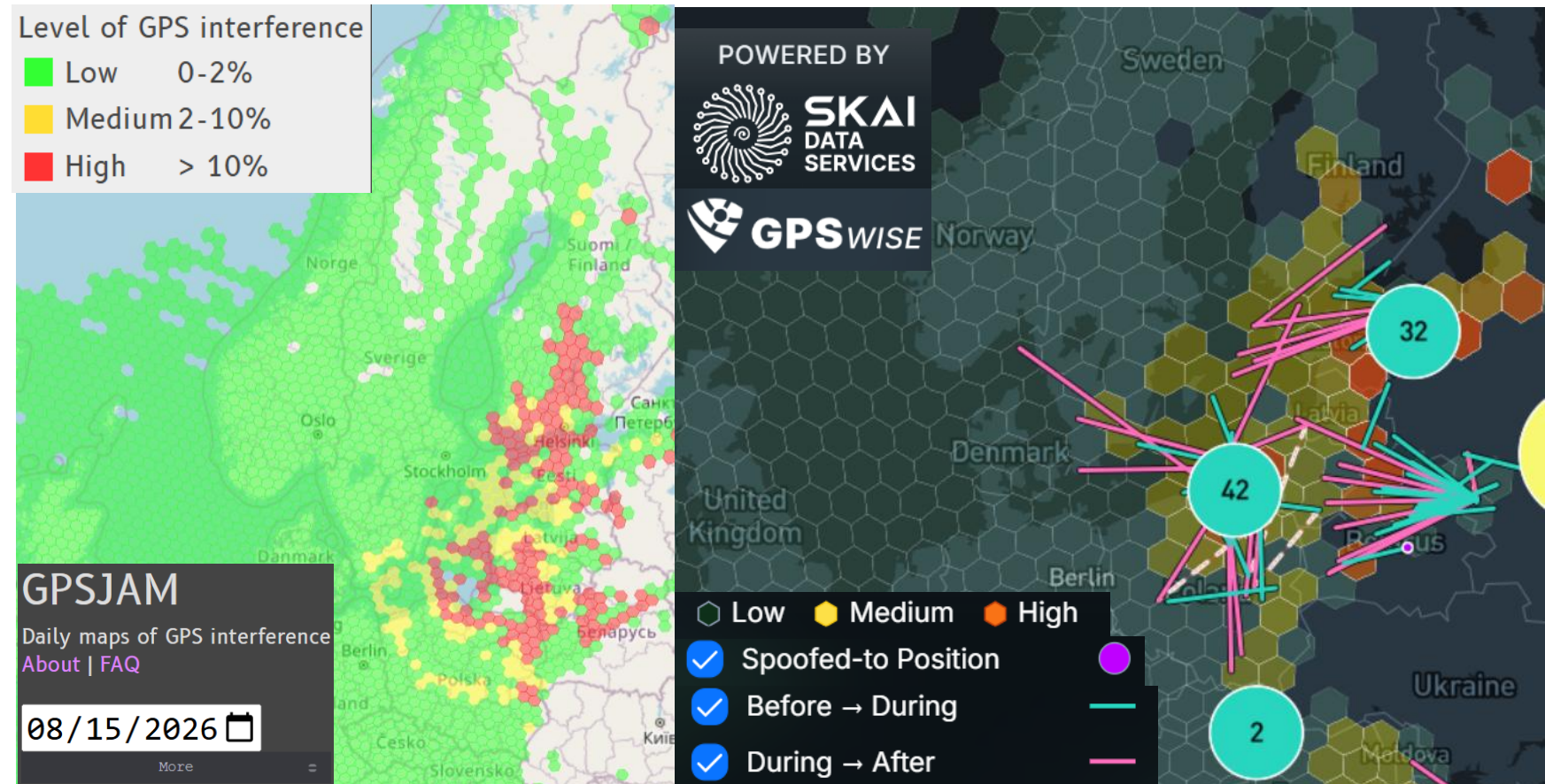
PNT-häiriöiden taloudelliset vaikutukset laajalti tunnustettu (jamming, spoofing, meaconing)



Todelliset PNT-häiriöiden seuraukset

Lähteet: <https://gpsjam.org/> & <https://gpswise.aero/map>

- GNSS-häirintä ei ole enää teoreettista - vaikka se on laitonta, se on operatiivista, yleistä ja jopa strategista
- Ilmailuhäiriöt Euroopassa, meriliikenteen poikkeamat Itämerellä, kasvavat GNSS:n häiriöalueet: turvallisuus- ja taloudelliset riskit



Euroopassa esiintyy nyt pysyviä GNSS-häiriöhotspotteja

Viimeaikaisia esimerkkejä GNSS-haavoittuvuudesta Euroopassa

Liikenne

Kaksi Finnairin konetta joutui palaamaan Virosta takaisin Suomeen GPS-häirinnän takia

GPS-häirintä on yleistä, mutta useimmiten se ei aiheuta lentojen kääntymistä takaisin, kertoo Finnairin viestintäjohtaja.



Tarton lentokenttä on erityisen altis GPS-häirinnälle, sillä siellä lähestyminen vaatii GPS-signaalia. Arkistokuva. Kuva: Sami Jumppanen / Korpipaja

LAURA KANGAS
27.4. 9:15 • Päivitetty 27.4.10:05

Maatalous

Traktorit sekosivat itärajalla – piirtävät nyt peltoon vihreitä raitoja

Viljely itärajalla on ongelmassa, koska traktorit eivät saa oikeaa paikkatietoa GPS-paikkansijärjestelmästä. Häirintä tulee ilmeisesti Venäjältä.



Kari Pekosen pellolla jää vihreitä raitoja satelliittipaikkauksen ongelmien vuoksi.

KALLE SCHÖNBERG
7.6. 8:51 • Päivitetty 7.6.10:34

Långvariga GPS-störningar över Gotland

TT

Publicerat 2025-01-17

Meja



Flygfartyg och sjöfartyg påverkas av GPS-störningarna som har pågått sedan i början av januari. Flygfartyg har varit påverkat i större utsträckning än sjöfartyg.

Gotland och delar av Öland har i minst 60 dagar i rad omfattats av stundtals kraftiga GPS-störningar som påverkar fartyg och flygtrafik, skriver Expressen.

Merenkulku

Venäjän varjolaivaston outo ympyräleikki lähellä Suomen merirajaa hämmentää

Meriliikennekarttoilla näyttää siltä, kuin alukset tanssisivat letkajenkkaa Suomen merirajan tuntumassa. Oikeasti aluksia ei paikalla ole.



Kuvakaappaus MarineTrafficin sivustolta tiistai-ilta 20.5.2023. Kuvassa näkyy venäjän varjolaivaston muodostama ympyrä Suomenlahdella. Kuva: Kuvakaappaus MarineTrafficin sivustolta.

Suomessa "ennennäkemättömiä" gps-häiriöitä – tänne ne keskittyvät

Häiriöiden määrä on kasvanut Suomessa kahden viime vuoden aikana.

JAA

TALLENN



Gps-häiriöitä seuraavan sivuston ylläpitäjä pitää häiriöiden määrää poikkeuksellisen suurena. KUVA: BOMI BEKKMAN / LEHTIKUVA, KUVAANÄYTMYS / X, ANNA DAMMERT / ITASOON

SIT-15
2.1.1448

SATEELLIITIPAIKANNUSJÄRJESTELMÄ gps:ssä esiintyi suunnattomia häiriöitä

Itä- ja Kaakkois-Suomessa, Liikenne- ja viestintävirasto Traficomista kerrotaan.

Häiriöt tulivat aiemmin ilmi avoimen lähtöiden gps-datan keräysalalla GPS-jam-sivustolta. Samaisen sivuston mukaan häiriöitä ilmeni muun muassa Savon ja Pohjois-Karjalan seudulla maanantaina.

Tiedot häiriöistä perustuvat lentokoneiden tekemiin ilmoituksiin, joita tuli suunnattomaan kohtalaiseen laajuuteen alueelta, ilmasta vastaava johtaja Jari Pöntinen Traficomista kertoo.

19 aug. 2025
Läsnä idag: 142 075

Dagens nyheter

Rekordmånga GPS-störningar i Östersjön – seglare utan signal i 24 timmar



10.000 for tillfälliga GPS-häiringer i Östersjön under måndagen 19 augusti. Bild: Blandad. FOTO: SEBASTIAN RALLSTAD / NTB

GPS-jamming er den nye hverdagen over Finnmark

Frekvensforstyrrelser skjønnerst daglig i Finnmark. Politimesteren sier situasjonen er alvorlig.



V-reporter fra Øst-Finnmark. Publisert 15. aug. kl. 08:50. Oppdatert 15. aug. kl. 08:50.

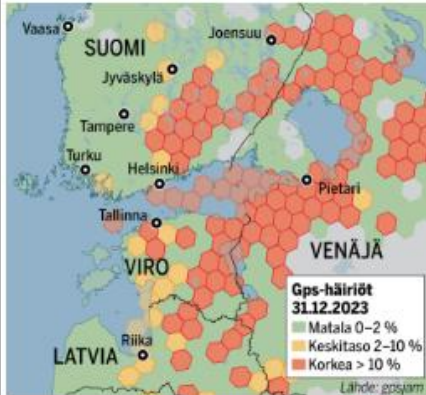
Ryanair flight diverted from Vilnius due to GPS interference, Lithuania says

By Andrius Sytas

January 17, 2025 5:40 PM GMT+2 • Updated January 17, 2025



A Ryanair aircraft lands at the airport in Maastricht near Warsaw, Poland November 15, 2018. Picture taken November 15, 2018. REUTERS/Kacper Pompek/File Photo Purchase Licensing Rights



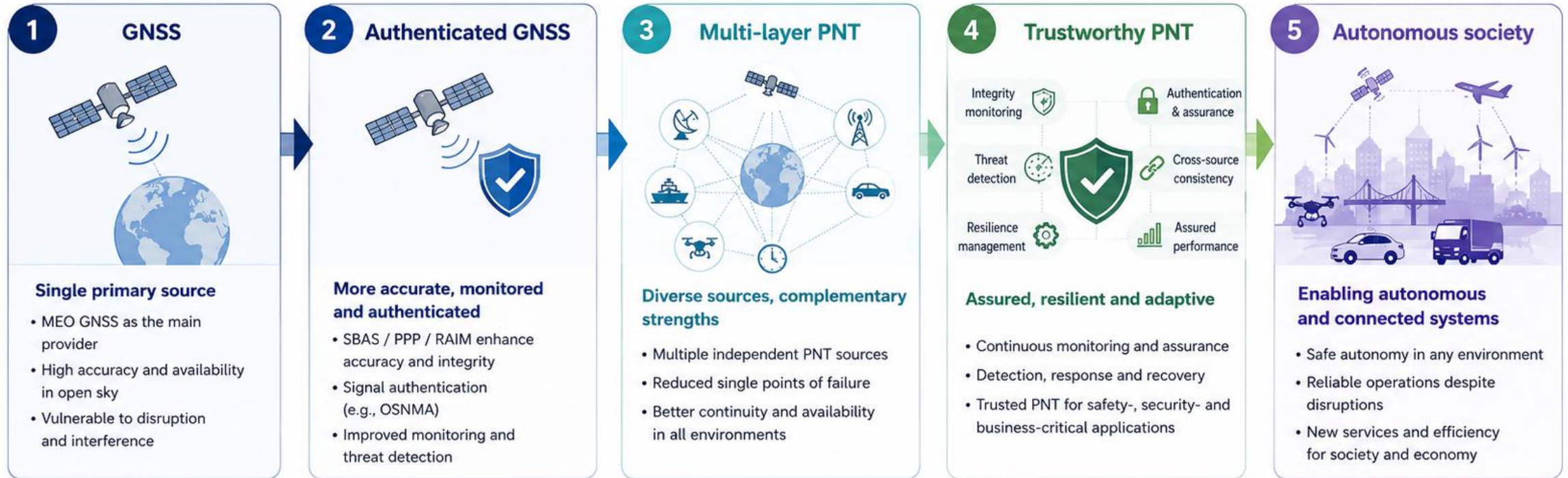
Gps-häiriöt
31.12.2023

- Matala 0–2 %
- Keskitaso 2–10 %
- Korkea > 10 %

Lähde: gpsjam

Pöntinen mukaan häiriöt eivät vaikuttaneet lentoturvallisuuteen, koska koneilla on käytössä vaihtoehtoisia navigointijärjestelmiä. Pöntinen ei halunnut ottaa kantaa häiriöiden syyniin.

Paremmasta GNSS:stä monikerroksiseen PNT-järjestelmään



Enabling technologies and complementary PNT sources



MEO GNSS

Global coverage and high accuracy (e.g., GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou)



SBAS / PPP / RAIM

Augmentation for accuracy and integrity



LEO-PNT

Resilient alternative and complementary coverage



5G / 6G / NTN

Connectivity-based positioning and timing via networks and satellites



eLoran / R-Mode

Terrestrial PNT for regional resilience



Wi-Fi / UWB

Local positioning in indoor and urban areas



Inertial (INS)

High update rate and continuity (stand-alone)



Vision

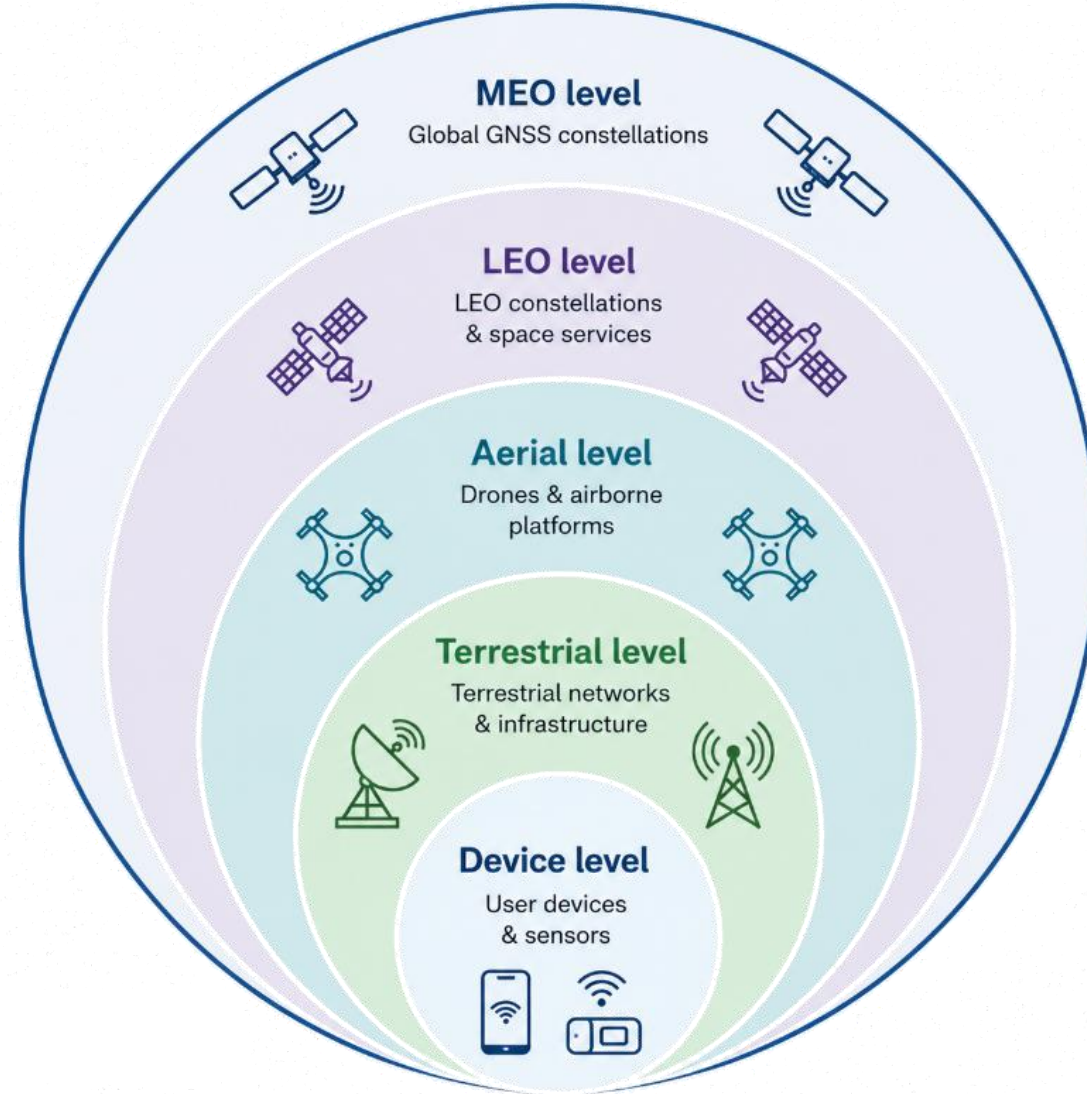
Environment understanding and positioning (visual odometry)



Collaborative navigation

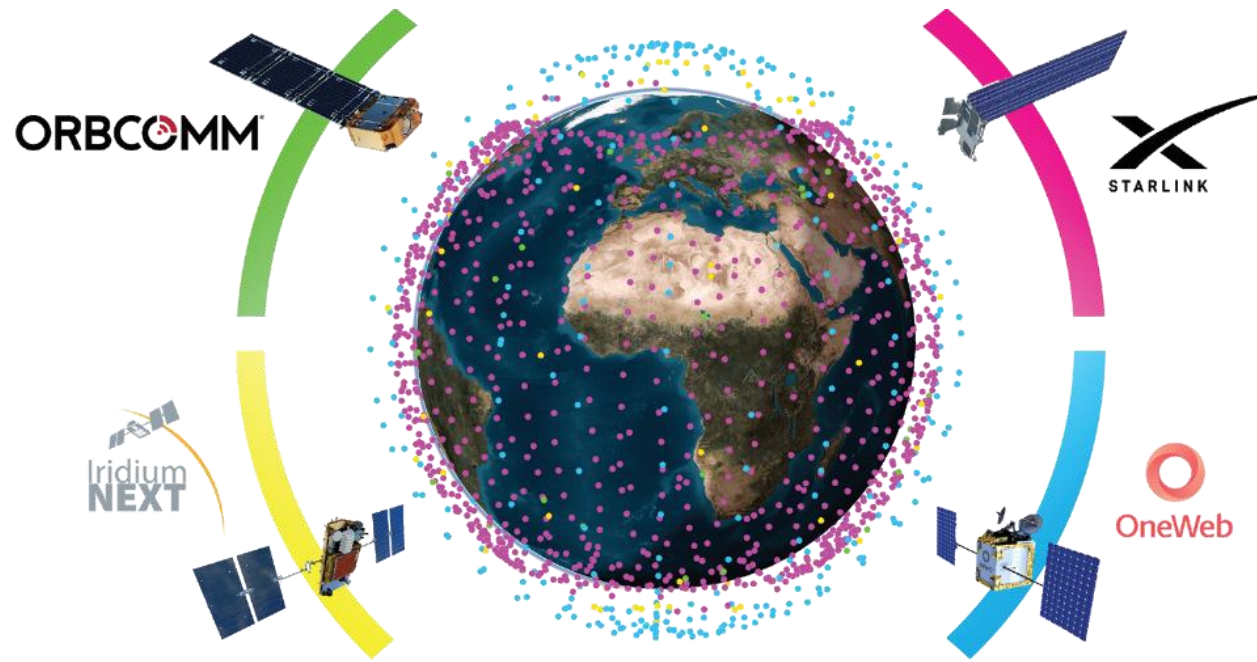
Cooperative positioning and crowdsourced data

Mitä on monikerroksinen PNT?

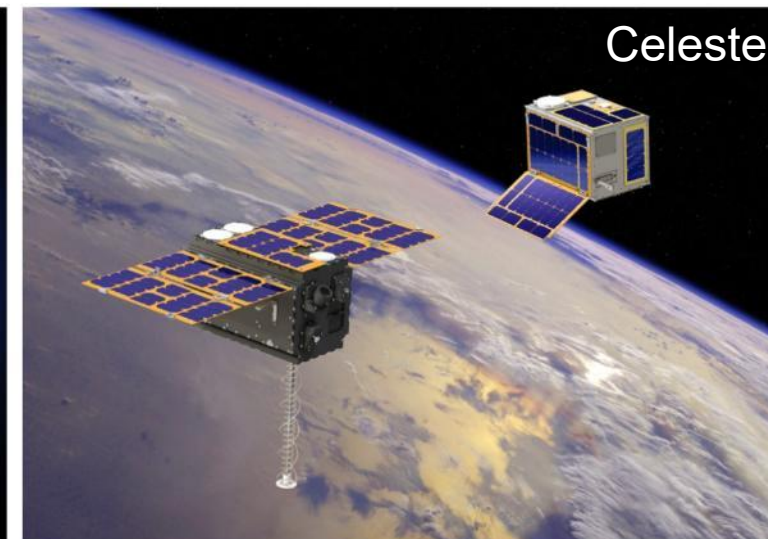
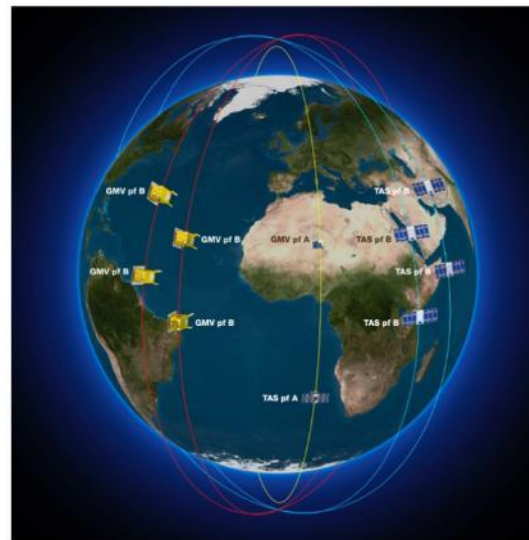


LEO-PNT muuttaa paikannuskenttää

- Lähempänä olevat satelliitit tarkoittavat vahvempia vastaanotettuja signaaleja
- Nopeampi matala rata tuo nopeasti muuttuvan geometrian
- Taajuusmonimuotoisuus voi parantaa häiriönsietoa
- Satcom-signaalit tuovat lisää PNT-mahdollisuuksia (signals of opportunity)

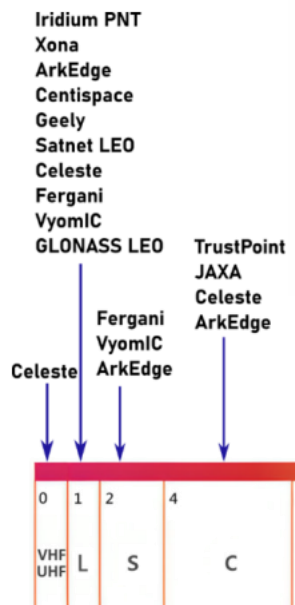


Lähde: Inside GNSS, 2023



Lähde: Prieto-Cerdeira ym., ION
GNSS+ 2025

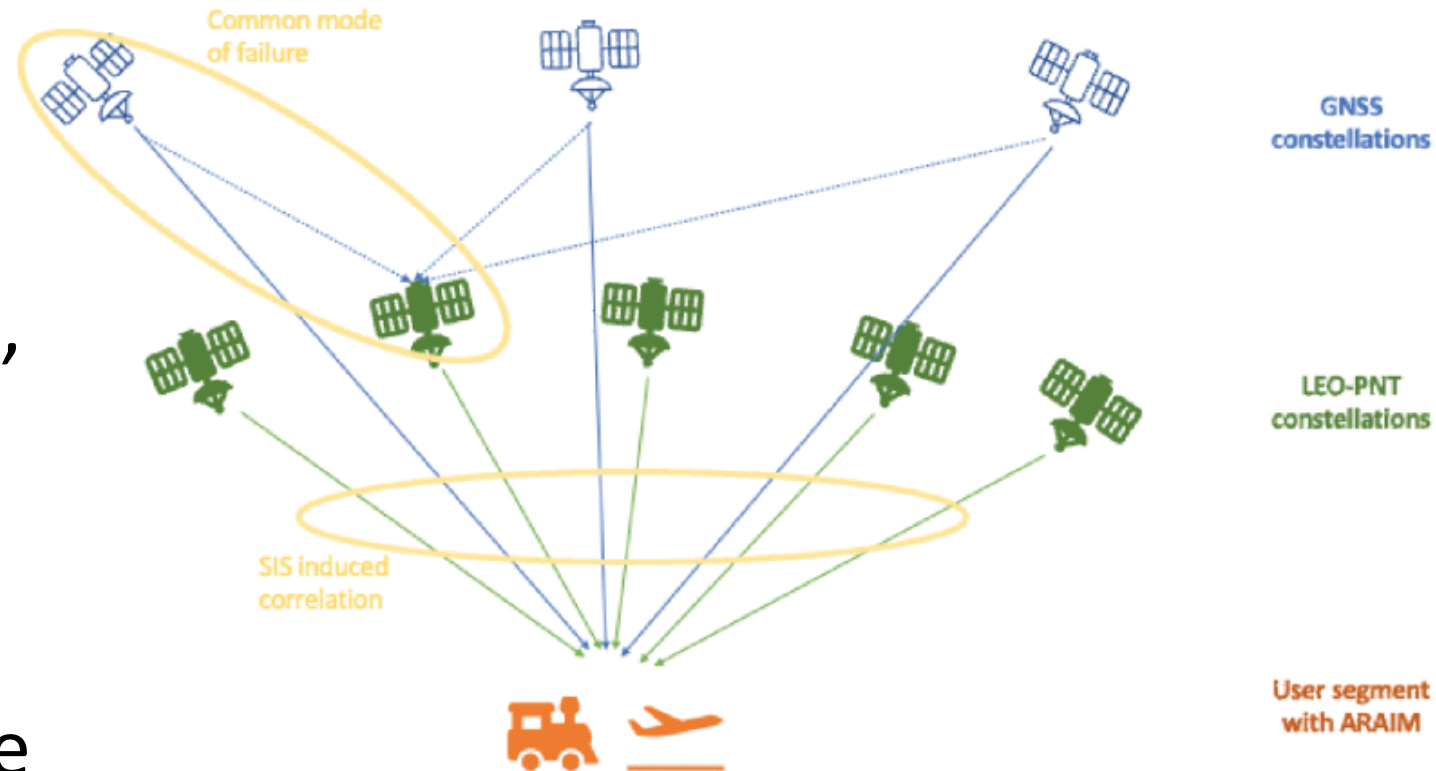
Nykyiset ja tulevat LEO-PNT-palveluntarjoajat



Organisation	Country	First Launch	Operational	Frequency Band	Total Planned
Iridium	USA	Block 1 – 1997-2002, NEXT – 2017-2019	66	L	66
Xona Space	USA	2022	1	L	258
TrustPoint	USA	2023	1	C	300+
JAXA	Japan	-	0	C	240
ArkEdge Space	Japan	2028-2029	0	L6, S, C	300+
Centispace	China	unknown	unknown	L	190
Geely	China	unknown	unknown	L	240
SatNet LEO	China	unknown	unknown	L	504
ESA	Europe	2026	0	L, S, C, UHF	10 demos (≤263)
Fergani Space	Türkiye	2025	2 demos	L, S, Ku, Ka	100+
NSSTC LEONAV	UAE	-	0	unknown	unknown
KASA	South Korea	-	0	unknown	unknown
VyomIC	India	-	0	L, S	240
GLONASS LEO	Russia	-	0	L, Ku	240

Enemmän kerroksia ei automaattisesti tarkoita parempaa luottamusta

- Ovatko virheet itsenäisiä vai korreloituneita?
- Mihin lähteeseen luotetaan, kun lähteet ovat eri mieltä?
- Miten luotettavuustasot lasketaan?
- Miten järjestelmä heikkenee ja palautuu häiriöistä?

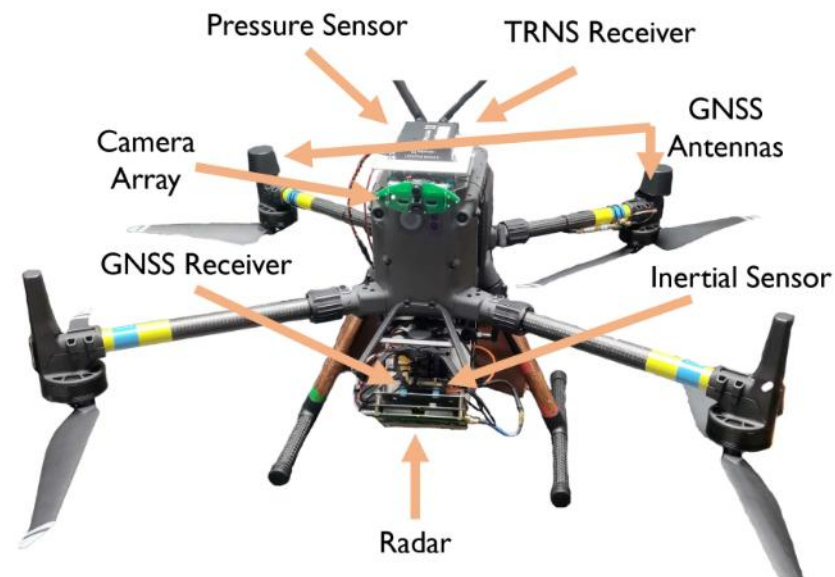


Lähde: J. Duník ym. (2024). Multi-layer GNSS and LEO-PNT Positioning: Integrity under Constellations' Correlation, FUSION 2024,10.23919/FUSION59988.2024.10706420.

Hybridi monikerrostoteutus - drone-esimerkki

Toisiaan tukevat mutta itsenäiset navigointijärjestelmät yhdistetään tarkkuuden ja toimintavarmuuden parantamiseksi

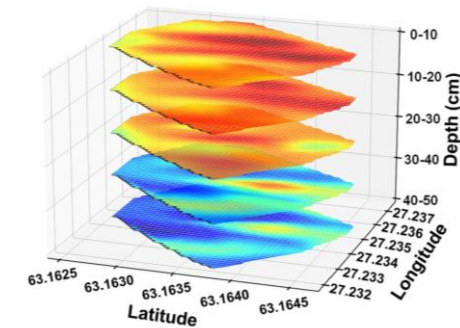
- (1) Vision-based
- (2) Radar-based
- (3) TRNS (terrestrial radionavigation system)
- (4) Communication systems
- (5) LEO PNT
- (6) Signals of Opportunity
- (7) GNSS
- (8) Inertial and self-contained sensors



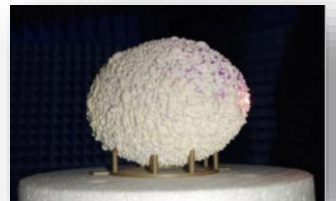
Humphreys, Todd E. et al. (2023). [Resilience and Validation of GNSS PNT Solutions](#) and Tenny & Humphreys (2023), [Robust Navigation for Urban Air Mobility](#), Inside GNSS.

Avaruuteen liittyvä tutkimus Tampereen yliopistossa: signaaleista järjestelmiin

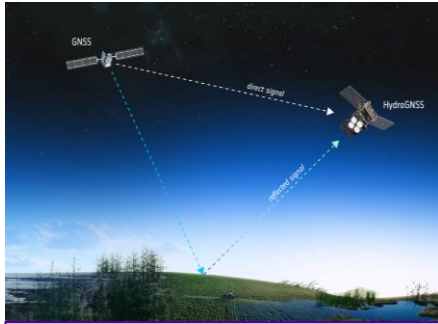
- TAU:n **ydin** vahvuudet avaruudessa – TAU Space Group
 - Resilient PNT ja GNSS
 - Langattomat järjestelmät ja 6G
 - Tekoäly ja sensorifuusio
 - Kuvantaminen ja tilannetietoisuus
 - Puolijohde- ja SoC-teknologiat
 - Turvalliset sulautetut järjestelmät
- **EU Space Academy -yhteistyö**
 - Avoin kurssi "Fundamentals of Space Economy"
- **EU Cassini ja NASA Space Apps** -hackathonit
- ESERO-yhteistyö **TAU:n Juniversityn** kautta lasten ja nuorten kanssa
- Kansallisen **SpacEconomy**n koordinointi (vuoteen 2031 asti) ja yhteistyö uudessa **Space Nordic -klusterissa** Nordic Innovationin hankkeessa (2026–2029)
- Introduction to Satellite Positioning ja GNSS Technologies –kurssit avoimesti **FiTechissä**



EU Space for Peace and Resilience



TAU Space Groupin keskeiset tutkimusteemat



Resilientti paikannus,
navigaatio ja aikatieto

- Luotettava navigointi ja aikatieto signaalihäiriöiden alaisissa ja haastavissa toimintaympäristöissä

Tampere
Wireless
Research
Center



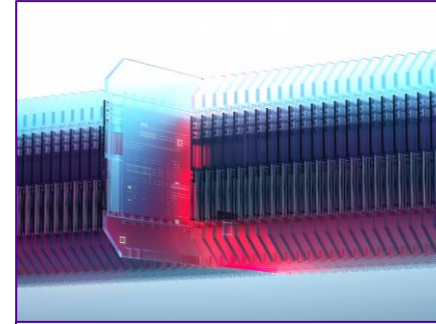
Satelliitti- ja muut ei-
maanjäätävät
viestintäratkaisut

- Viestinnän ja havainnoinnin yhdistävät järjestelmät
- Järjestelmien turvallisuus ja toimintavarmuus



Avaruuspohjainen data,
ja tilannetietoisuus

- Tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntäminen datan analysoinnissa
- Monisensoridatan yhdistäminen



Mahdollistavat
teknologiat

- Mikroelektronikka, sirujen suunnittelu
- Kehittyneet materiaalit
- Sulautetut järjestelmät ja energiatehokas laskenta



Avaruustalous,
turvallisuus ja
strategiset ulottuvuudet

- Kaksikäyttöteknologiat
- Innovaatioekosysteemit ja yritysyhteistyö
- Digitaalinen suvereniteetti

TAU Space Group on yliopistotasoinen yhteistyöalusta, joka kokoaa yhteen yli 50 tutkijaa teknologian, datan, materiaalien, turvallisuuden ja talouden aloilta. Ryhmän teemat tukevat vahvasti puolustuksen ja kaksikäyttöteknologioiden tarpeita sekä pitkäjänteistä teollista yhteistyötä.

Tampere Wireless Research Center - painopistealueet

6G

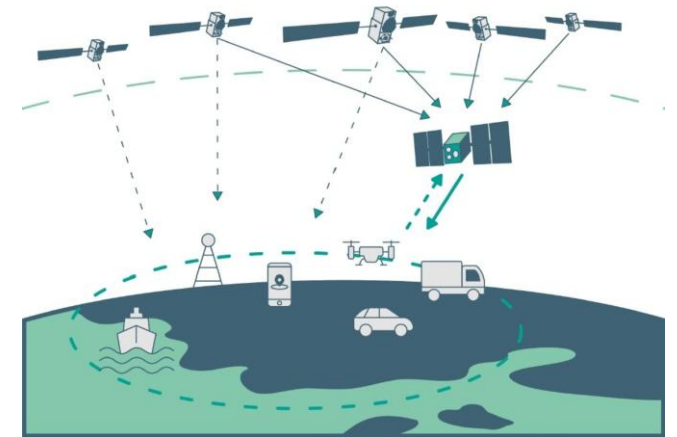
- Kestävyys, energiatehokkuus ja kattavuus
- Integroitu tunnistus ja viestintä (ISAC)
- AI/ML-integraatio kaikilla protokollakerroksilla
- Resilienssi laajassa merkityksessä
- Uusia suuntia, kuten metaversumi ja kvanttiviestintä

Avaruus

- Terrestrial ja non-terrestrial -järjestelmien integrointi
- Dronet ja muut ilma-alukset: yhteydet ja tunnistus
- Matalan maan kiertoradan järjestelmät (LEO) yhteyksiin sekä tarkkaan navigointiin ja ajanmääritykseen (PNT)

Puolustus ja kaksoiskäyttöteknologia

- Sähkömagneettinen spektri on osa nykyaikaista taistelukenttää
- Tutkat ja anturiteknologia elektroniseen sodankäyntiin (EW)
- Fyysisen kerroksen turvallisuus ja kvanttiavainten generointitekniikat



Kuva ©: Lockheed Martin



Tampereen yliopiston vetämä SpacEconomy-hanke

Kestävää talouskasvua avaruustalouden kautta: hanke yhdistää **teknologian ja avaruustieteen, kauppätieteet, hallintotieteet, yhteiskuntatieteet ja viestinnän.**

SpacEconomy-konsortioon kuuluvat:

- Tampereen yliopisto (koordinaattori, Heidi Kuusniemi ym.)
- Vaasan yliopisto (Helka Kalliomäki ym.)
- Ilmatieteen laitos (Jouni Pulliainen ym.)
- Helsingin yliopisto (Minna Palmroth ym.)
- Aalto-yliopisto (Jaan Praks ym.)
- Turun yliopisto (Marikka Heikkilä ym.)
- Maanmittauslaitos (Hannu Koivula ym.)
- Kupla Productions Oy (Jari Mäkinen)

Ensimmäinen rahoituskausi kestää lokakuusta 2025 syyskuuhun 2028 (3 miljoonaa euroa), ja siihen sisältyy mahdollisuus toiselle kaudelle lokakuusta 2028 syyskuuhun 2031 (3 miljoonaa euroa). Rahoittajana **Strategisen tutkimuksen neuvosto/Suomen Akatemia.**

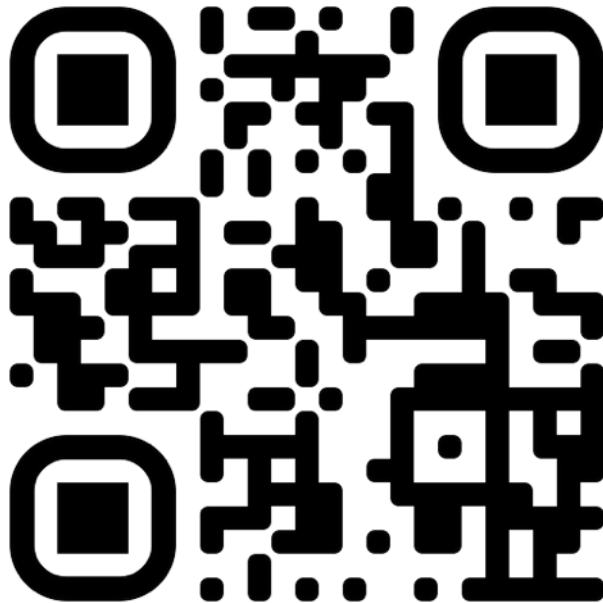
Hanke on yksi kymmenestä SKILLS- ja WELEC-ohjelmien hankkeesta (kokonaisrahoitus 29 miljoonaa euroa).



Lisätietoa SpacEconomystä

SpacEconomy rakentaa Suomessa avaruustalouden tutkimus–yritys–koulutus–resilienssi -ekosysteemiä

SPACEECONOMY



 strategicRESEARCH
www.spaceeconomy.fi

Project Principal Investigator

Heidi Kuusniemi

heidi.kuusniemi@tuni.fi

Project Coordinator

Ia Hyttinen

ia.hyttinen@tuni.fi

Interaction Coordinator

Jari Mäkinen

jari@kupla.com

Social media (mostly in Finnish)

LinkedIn / Instagram / X / BlueSky

Yhteystiedot

Heidi Kuusniemi

Professori, langattomat järjestelmät
(yhteisprofessuuri Paikkatietokeskuksen
kanssa/Maanmittauslaitos)

heidi.kuusniemi@tuni.fi

puh. +358 50 352 1085

Tampereen yliopisto,
Hervannan kampus,
Tietotalo TE408

