

## Piilevä riski

### Kuinka maailmanlaajuisten geodeettisten aineistojen toimitusketjun heikkoudet voivat aiheuttaa katastrofaalisia vaikutuksia kriittiseen infrastruktuuriin ja kansantalouteen

#### JOHDANTO

Nyky-yhteiskunta on riippuvainen satelliiteista. Monissa maissa satelliittien tuottama tieto on välttämätöntä talouskasvulle, kriittisen infrastruktuurin toiminnalle ja on kansallisten puolustusvoimien kulmakivi.

Joissakin tapauksissa riippuvuus on niin vahva, että valtiot ovat kehittäneet omia avaruusjärjestelmiä. Useilla mailla tai alueilla, kuten Euroopan unionilla (EU), on oma satelliittipainajärjestelmä, jolla tuotetaan paikannuksen, navigoinnin ja ajan määrittämisen (PNT, Positioning, Navigation and Timing) palveluita siviili- ja puolustusvoimien sovelluksille. GNSS-järjestelmään (Global Navigation Satellite Systems) kuuluvat GPS (Global Positioning System, Yhdysvallat), GLONASS (Venäjä), Galileo (EU) ja BeiDou (Kiina). Näissä maissa ymmärretään, että PNT-palveluiden menetys joko teknisten vikojen tai haitallisen toiminnan seurauksena aiheuttaisi katastrofaalisia ja kasaantuvia seurauksia niiden talouteen ja kriittiseen infrastruktuuriin. Riippuvuus ja hallinnan tarve eivät rajoitu pelkästään PNT-palveluita tarjoaviin GNSS-satelliitteihin, vaan ne ulottuvat myös tietoliikenne- ja Maata havainnoiviin satelliitteihin.

#### Maan havainnointi

Tärkeitä tietoja puolustus- ja siviilisovelluksille tarjoavat satelliitit ovat riippuvaisia siitä, että niiden sijainti avaruudessa (satelliitin ratatiedot) ja Maan sijainti avaruudessa (muoto, asento, painovoimakenttä ja koordinaattijärjestelmä) ovat jatkuvasti ajan tasalla.

Tietoa Maan ja satelliittien sijainnista avaruudessa kutsutaan yhteisesti geodeettisiksi aineistoiksi. Geodeettisia aineistoja on päivitettävä jatkuvasti, koska Maan ja satelliitit liikkuvat koko ajan. Ilman geodeettisten aineistojen päivityksiä yhteiskunnan itsestäänselvytyksenä pitämät satelliittisovellukset ja niiden tarjoamat hyödyt rappeutuisivat tai ne lakkaisivat toimimasta.

#### MAAILMANLAAJUINEN GEODEETTISTEN AINEISTOJEN TOIMITUSKETJU

Geodeettiset aineistot syntyvät maailmanlaajuisessa toimitusketjussa (kuva 1), joka koostuu seuraavista osista:

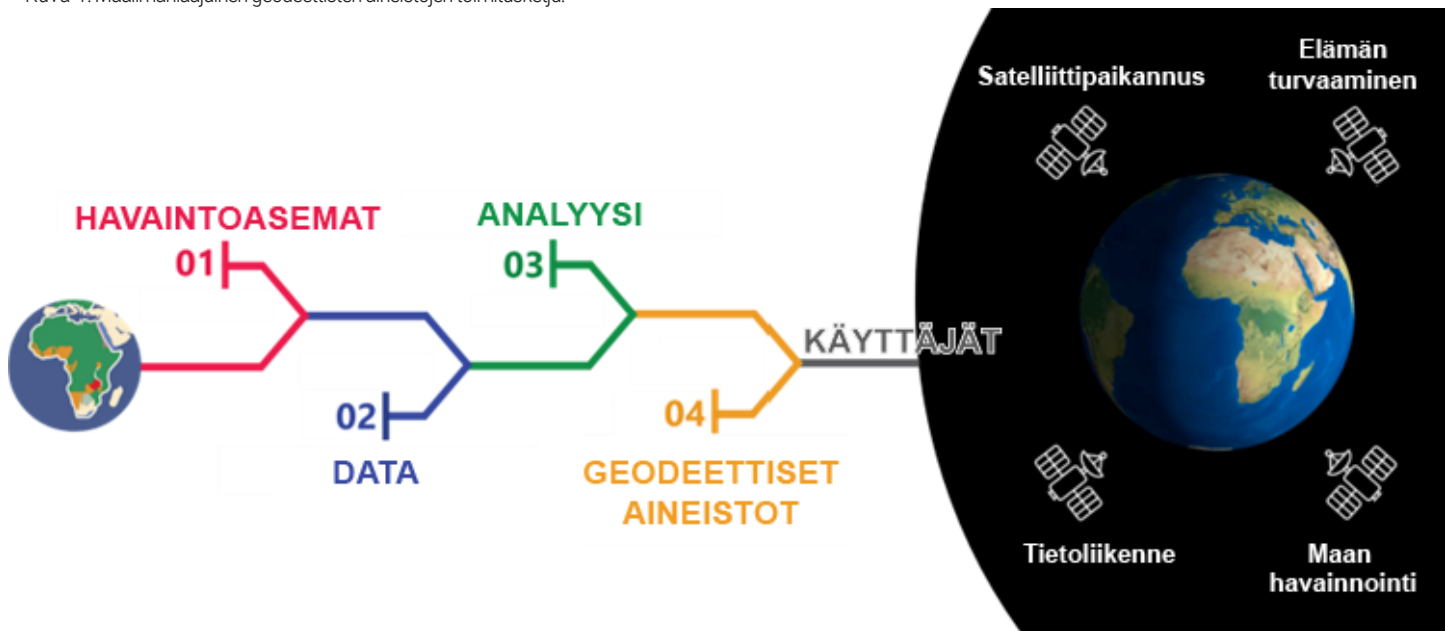
- havaintoasemat ja tutkijat, jotka jatkuvasti havainnoivat Maan ja satelliittien liikkeitä

#### Keskeiset viestit

- » Yhteiskunnat ovat hyvin riippuvaisia satelliittipalveluista ja tämä riippuvuus lisääntyy nopeaa tahtia. Satelliittipalveluita tarvitaan muun muassa talouden kehittämiseen, kriittisen infrastruktuurin toimintaan ja puolustussovelluksissa.
- » Satelliittipalveluiden rappeutuminen tai toimimattomuus on todellinen riski maailmanlaajuisen geodeettisten aineistojen toimitusketjun puutteellisten resurssien vuoksi.
- » Satelliittien tarkka ja luotettava toiminta edellyttää, että niiden ja maapallon sijaintia avaruudessa havainnoidaan ja analysoidaan jatkuvasti. Tiedot jaetaan maailmanlaajuisen geodeettisten aineistojen toimitusketjun välityksellä.
- » Geodeettisten aineistojen toimitusketju koostuu havaintoasemista, datakeskuksista, analysointikeskuksista ja korkeasti koulutetuista asiantuntijoista, jotka havainnoivat Maata ja muuntavat havainnot geodeettisiksi tuotteiksi. Ne ovat välttämättömiä, jotta viestintä satelliittien kanssa toimii tarkasti ja luotettavasti.
- » Toimitusketju on avaruusalan perusta, mutta silti se on suhteellisen tuntematon ja siksi aliresursoitu. Alle 0,05 % GNSS- ja maanhavainnointipalveluiden tuotoista sijoitetaan takaisin geodeettisten aineistojen toimitusketjuun.
- » Jäsenvaltiot ja kumppanit laativat parhaillaan yhteistä kehityssuunnitelmaa, jossa kuvataan, miten ne pyrkivät yhdessä vahvistamaan toimitusketjua, jotta geodeettisten tuotteiden luotavuutta ja eheyttä voidaan parantaa.
- » Jäsenvaltioiden keskeisiä toimia ovat muun muassa geodesian kansallisen tietoisuuden ja hallinnon vahvistaminen, geodeettisten aineistojen toimitusketjun tunnistaminen kansalliseksi kriittiseksi infrastruktuuriksi sekä osallistuminen kahden- ja monenvälisiin sopimuksiin muiden jäsenvaltioiden kanssa.

- datakeskukset ja datakeskusoperaattorit, jotka tarkistavat havaintoasemilta saatujen tietojen laadun ja tarjoavat ne geodeettisten analyysikeskusten käyttöön
- analysointikeskukset, korrelaatiokeskukset ja analytiikat, jotka muuntavat raakatiedot geodeettisiksi aineistoiksi ja tuotteiksi.

Toimitusketju on *maailmanlaajuinen*, koska havaintoasemien täytyy sijaita ympäri maailman. Niihin tarvitaan myös korkeasti koulutettuja asiantuntijoita, jotta geodeettiset aineistot ovat riittävän tarkkoja ja luotettavia.



Yhdistyneiden kansakuntien yleiskokous on tunnistanut toimitusketjun rappeutumiseen liittyvän riskin ja hyväksyi vuonna 2015 päätöslauselman 69/266 "A Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development" (Kestävän kehityksen maailmanlaajuinen geodeettinen koordinaattijärjestelmä). Päätöslauselmassa jäsenvaltioita kehoitetaan yhdessä ylläpitämään ja vahvistamaan geodeettisten aineistojen toimitusketjua. Päätöslauselman hyväksymisestä huolimatta monet eivät edelleenkään ole tietoisia rappeutumiseen liittyvästä riskistä.

## KASVAVA RIIPPUVUUS GEODESIASTA

### Kriittisen infrastruktuurin toiminta

GNSS tunnetaan parhaiten paikannus- ja navigointijärjestelmänä, mutta GNSS-satelliittien tarkat atomikellot mahdollistavat myös tarkan ajan määrittämisen. GNSS on maailmanlaajuinen, jatkuvasti toimiva ja (käyttäjälle) ilmainen resurssi. Niinpä GNSS:tä (ensisijaisesti GPS:stä) on tullut pääasiallinen tarkan ajan (alle mikrosekunnin tarkkuudella) jakelujärjestelmä. Näin vahva riippuvuus GNSS:n ajanmäärittämisestä herättää huolta maailmanlaajuisen geodeettisten aineistojen toimitusketjun mahdollisista heikkouksista.

Yhdysvaltain sisäisestä turvallisuudesta vastaava ministeriö (Department of Homeland Security) havaitsi, että 15 kriittisen infrastruktuurin ja keskeisten resurssien toimialaa 18:stä oli riippuvainen GPS-järjestelmästä. Näitä toimialoja ovat muun muassa televiestintä, pelastuspalvelut ja pörssit.

Ilman GNSS:n ajanmäärittäystä matkapuhelinverkkojen toiminta olisi mahdotonta, pörssien sijoittajille tarjoama suojaus heikkenisi ja sähköverkkojen päivittäinen toiminta olisi hankalampaa ja vaatisi enemmän työvoimaa.

### Taloudelliset hyödyt

Kansantaloudet ovat yhä enemmän riippuvaisia satelliittipalveluilla tuotetuista tuloista. Seuraavan vuosikymmenen aikana GNSS-jälkimarkkinoiden tulojen odotetaan kasvavan

keskimäärin 9,2 % vuodessa ja nousevan maailmanlaajuisesti 492 miljardiin euroon vuoteen 2031 mennessä. Yli 82 % tuloista tulee suurilta käyttäjämarkkinasegmenteiltä (esimerkiksi mobiililaitteet, matkailu, terveys ja autoala) sekä maataloudesta, kaupunkirakentamisesta ja infrastruktuurista.

Samalla aikavälillä EO-markkinan (Maan havainnointi) tulojen uskotaan kaksinkertaistuvan noin 2,8 miljardista eurosta yli 5,5 miljardiin euroon. Suurimman vaikutuksen tähän kasvuun uskotaan tulevan ilmastopalveluista, kaupunkirakentamisesta ja maataloudesta.

Satelliittiviestinnän markkinoiden arvioitiin olevan 193 miljardia Yhdysvaltain dollaria vuonna 2024, ja sen uskotaan nousevan 297 miljardiin dollariin vuoteen 2029 mennessä. Kasvuvauhti olisi noin 9 % vuosina 2024–2029. Kasvua vauhdittavat suurelta osin nopean internetin, tietoliikennepalveluiden ja tiedonsiirron kysynnän kasvu eri aloilla.

## SUURIA HEIKKOUKSIA MAAILMANLAAJUISESSA GEODEETTISTEN AINEISTOJEN TOIMITUSKETJUSSA

### Riittämättömät todistusaineistot

- Päätöksentekijöille on saatavilla vähän tai ei lainkaan ymmärrettävässä muodossa olevaa aineistoa, josta kävisi selvästi ilmi, mikä maailmanlaajuinen geodeettisten aineistojen toimitusketju on, miksi resurssihin investoimista tarvitaan ja mitkä ovat riskit, jos resursseja ei vahvisteta.

### Riittämättömät resurssit

- Maailmanlaajuisen geodeettisten aineistojen toimitusketjuun osoitetun rahoituksen arvioidaan olevan 60–90 miljoonaa euroa vuodessa. Se on alle 0,05 % GNSS- ja EO-palveluiden tuottamista tuloista.
- Noin puolet havaintoasemista eivät pysty toimimaan tarvittavalla tehokkuudella tai tarkkuudella niiden iän tai niiden toiminnan puutteellisen rahoituksen vuoksi.

- Havaintoasemien tuottamat datat, niiden laadun tarkistus, analysointi ja tuotteiden kehittäminen eivät perustu sitoviin sopimuksiin ja toiminta tapahtuu omien resurssien rajoissa vastikkeetta.

## Riittämättömät hallintomekanismit

- Geodesian alalla ei ole esimerkiksi Maailman ilmatieteen järjestön kaltaista kansainvälistä hallintoelintä, joka vastaisi siitä, että maailmanlaajuinen geodeettisten aineistojen toimitusketju täyttäisi jäsenvaltioiden vaatimukset, myös kriittisten elämää turvaavien tarkkojen ja luotettavien geodeettisten tuotteiden osalta.

## Heikkenevät valmiudet

- Osassa maailmaa geodesian ammattilaisten määrä vähenee. Asiantuntijat ovat luokitelleet tämän kriisiksi. Kriisiluokitukseen johtaneita tekijöitä ovat geodesian heikko tunnettuus uramahdollisuutena, vähentynyt geodesian koulutustarjonta yliopistoissa ja työntekijöiden pitämisen vaikeus, kun muiden alojen parempi tulotaso aiheuttaa kilpailua.

## Heikko tunnettuus

- Geodesiasta vastaavissa julkishallinnon, tiede- ja puolustusorganisaatioissa geodesian tunnettuus ja sitoutuminen on vakavasti puutteellista.
- Satelliittipalvelujen PNT-sovelluksista riippuvilla aloilla ei olla tietoisia geodeettisten aineistojen toimitusketjusta, sen rappeutumisen riskeistä eikä sidosryhmiin kohdistuvasta riskistä.

## TOIMINTAKEHOTUS

Yhdistyneiden kansakuntien yleiskokouksen päätöslauselman 69/266 täytäntöönpanemiseksi jäsenvaltiot ja kumppanit laativat yhteisen kehityssuunnitelman, joka on tarkoitettu julkaista elokuussa 2024. Kehityssuunnitelmassa kuvataan, miten osapuolet pyrkivät yhdessä vahvistamaan toimitusketjua, jotta geodeettisten aineistojen luotettavuutta ja eheyttä voidaan parantaa. Jäsenvaltioita kehoitetaan ryhtymään toimeen. Esimerkkejä toimista:

### Kansallisen yhteistyön ja koordinoinnin vahvistaminen:

- Perustetaan geodesian työryhmä, jossa on edustajia julkishallinnosta (esimerkiksi puolustusvoimista, tieteen alalta ja politiikasta) ja teollisuudesta. Painopisteitä voisivat olla esimerkiksi:
  - geodeettisten aineistojen toimitusketjun rappeutumisesta tai toimimattomuudesta yhteiskunnalle, ympäristölle ja taloudelle aiheutuvien riskien arviointi
  - riskien esittäminen aineistoina, joita voidaan käyttää päätöksentekijöihin vaikuttamiseen
  - kansallisten strategioiden laatiminen resurssien liittyvien riskien hallitsemiseksi

- Tunnistetaan geodeettisten aineistojen toimitusketju kriittiseksi kansalliseksi infrastruktuuriksi ja osoitetaan sille tarvittavat resurssit.
- Kehitetään ohjelmia, joilla lisätään toimitusketjun yhteiskunnallista näkyvyyttä.

### Alueellisen ja maailmanlaajuisen yhteistyön ja koordinoinnin vahvistaminen:

- Perustetaan geodesian työryhmä, jossa on alueellisia ja globaaleja edustajia julkishallinnosta (esimerkiksi puolustusvoimista, tieteen alalta ja politiikasta) ja teollisuudesta. Painopisteitä voisivat olla esimerkiksi:
  - Keskusteleminen geodeettisten aineistojen toimitusketjun rappeutumisesta tai toimimattomuudesta yhteiskunnalle, ympäristölle ja taloudelle aiheutuvista riskeistä
  - riskien esittäminen aineistoina, joita voidaan käyttää päätöksentekijöihin vaikuttamiseen
  - alueellisten ja maailmanlaajuisen strategioiden laatiminen resurssien saatavuuteen ja hyödyntämisen liittyvien riskien hallitsemiseksi
  - tietojen ja osaamisen jakaminen sekä kyvykkyyden kehittäminen.
- Laaditaan muodollisia kahden- tai monenkeskisiä sopimuksia, joilla kurotaan umpeen toimitusketjun aukkoja.
- Tutkitaan mahdollisuuksia kansainvälisen tuen rahoitusmekanismille, jolla tuettaisiin maailmanlaajuisia geodesian toimitusketjua ulkomailla.
- Selvitetään yhteistyössä YK:n maailmanlaajuisen geodeettisen osaamiskeskuksen (UN-GGCE) kanssa mahdollisuuksia vahvistaa geodeettisten aineistojen toimitusketjua.

## LÄHTEET

Euroconsult, 2022, Euroconsult arvioi, että maailman avaruustalouden arvo oli yhteensä 370 miljardia dollaria vuonna 2021, <https://www.euroconsult-ec.com/press-release/euroconsult-estimates-that-the-global-space-economy-totaled-370-billion-in-2021/> haettu 28.5.2024.

John Garamendi et al., 2015, kirje Yhdysvaltain kongressille, <https://rntfnd.org/wp-content/uploads/Congressional-Letter-to-PNT-Executive-Committee.pdf> haettu 28.5.2024.

London Economics, 2023, GNSS:n toimintahäiriön vaikutukset Yhdistyneen kuningaskunnan talouteen, [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/652eb0446b6fbf000db7584e/20231018\\_London\\_Economics\\_Report\\_GNSS.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/652eb0446b6fbf000db7584e/20231018_London_Economics_Report_GNSS.pdf) haettu 28.5.2024.

Stephen Bartlett et al., Laaja-alainen, usean sovelluksen PNT-järjestelmän kriisinkestävyysratkaisu (*GPS World*, 23 Nov. 2015), <http://gpsworld.com/innovation-enhanced-loran/> haettu 28.5.2024.

Yhdistyneen kuningaskunnan hallitus, 2023, kansallinen riskirekisteri, [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64ca1dfe19f5622669f3c1b1/2023\\_NATIONAL\\_RISK\\_REGISTER\\_NRR.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64ca1dfe19f5622669f3c1b1/2023_NATIONAL_RISK_REGISTER_NRR.pdf) haettu 28.5.2024.

YK:n yleiskokouksen päätöslauselma 69/266, 2015, [https://ggim.un.org/documents/a\\_res\\_69\\_266\\_e.pdf](https://ggim.un.org/documents/a_res_69_266_e.pdf) haettu 28.5.2024.

UN-GGCE, 2024, maailmanlaajuisen geodesian tarpeiden arvio, [https://ggim.un.org/UNGGCE/documents/20240509-Global\\_Geodesy\\_Needs\\_Assessment.pdf](https://ggim.un.org/UNGGCE/documents/20240509-Global_Geodesy_Needs_Assessment.pdf) haettu 28.5.20