



## Paikannus

Esa Mäkelä 18.3.2021

# Sisältö

1. Yleistä
2. Satelliittipaikannus
3. Muita paikannusmenetelmiä
4. Paikannuksen työkaluja
5. Junan paikannus ETCS:ssä
6. Paikannuksen mahdollisuuksia rautateillä

# Esa Mäkelä

- Senior Rail Advisor - WSP Finland ja WSP Nordic Rail Advisory 03/2020 →
- 5 ½ vuotta VR Transpointilla Kalusto- ja teknologiapäällikkönä
- 14 vuotta paikannus- ja telematiikka-yrityksissä (Aplicom and Indagon)
- Diplomi-insinööri Tampereen Teknillisestä Korkeakoulusta

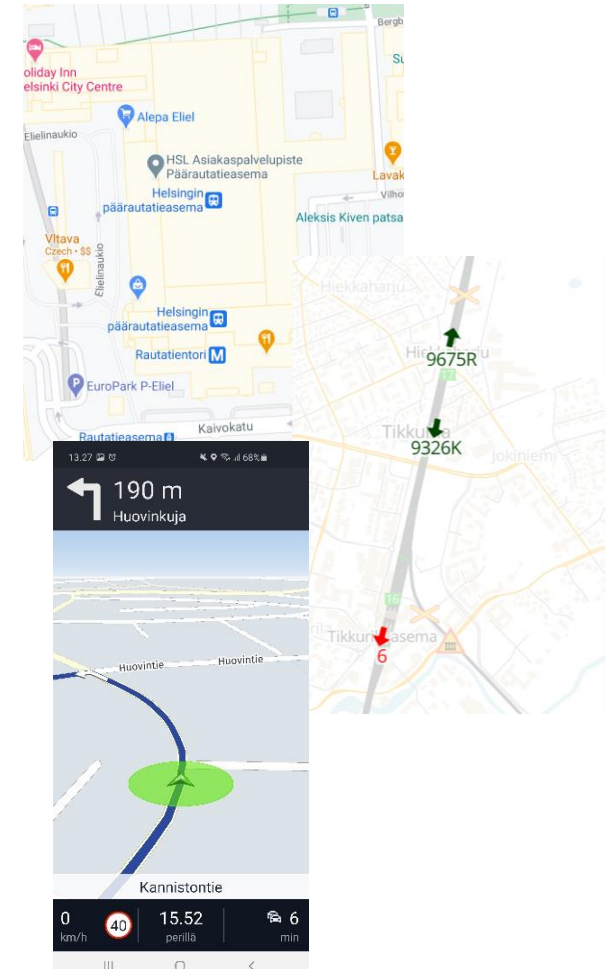




# 1. Yleistä

# Paikkatieto ja navigaatio

- Paikkatieto: Tieto kohteista, joiden paikka Maan suhteen tunnetaan.
  - Esim. rakennuksen sijainti voidaan ilmoittaa muun muassa koordinaateilla, asteilla, pituuksilla ja leveyksillä sekä kohdetta kuvaavilla geometriatiedoilla, värillä tai muilla tunnisteilla.
  - Liikkuvan kohteen paikkatiedossa on sijainnin lisäksi ajankohta sekä mahdollisesti muuta tietoa (esim. suunta, nopeus, tila).
- Navigaatio: Navigointi on minkä tahansa aluksen tai ajoneuvon paikan ja kulkusuunnan määrittämistä eri menetelmillä.





# 2. Satelliittipaikannus

# Satelliittipaikannus

- Maailman laajuisia satelliittipaikannusjärjestelmiä
  - GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS (operoija)	Tarkkuus
Global Positioning System, GPS (US Space Force)	2 - 5 m
Glonass (Roscosmos)	5 m – 10 m
BeiDou / Compass (China National Space Administration)	2,6 – 3,6 m (10 cm)
Galileo (European GNSS Agency, GSA ja European Space Agency, ESA)	1 m – 1,5 m

- Myös joitakin alueellisia satelliittipaikannusjärjestelmiä
  - Japani: Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), 2010 →, 10 m, 1 m, 10 cm
  - Intia: Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS), 2013 →, 1 m (10 cm)

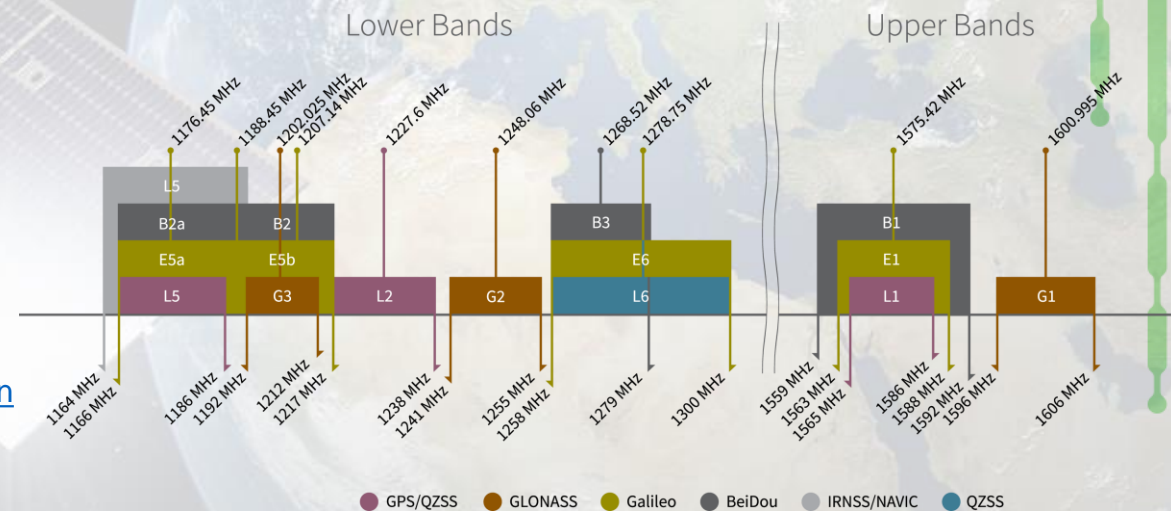
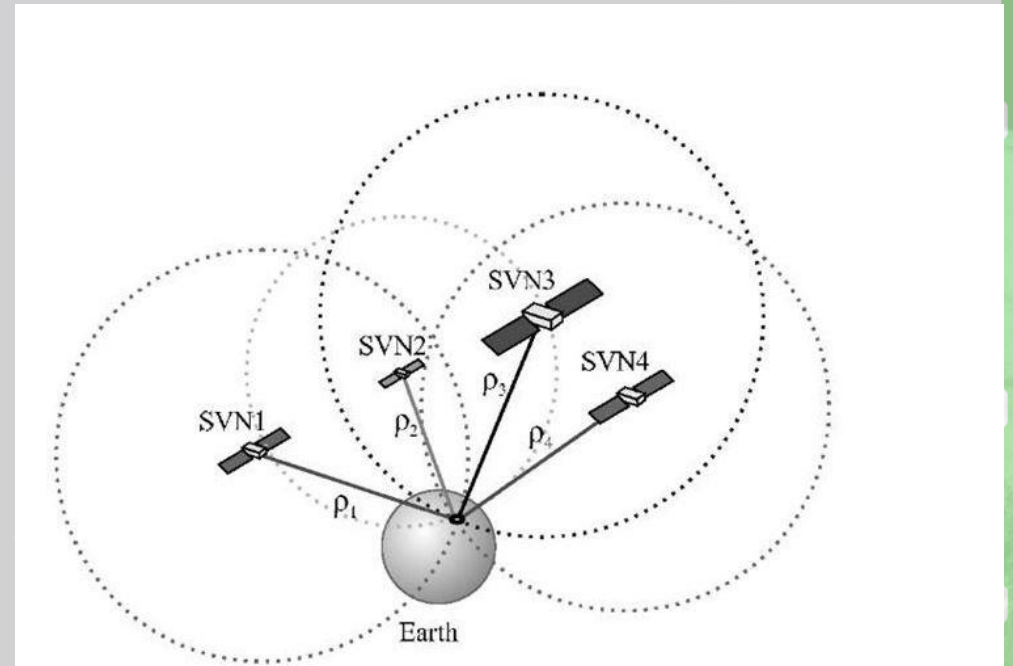
# Satelliittipaikannus

- Satelliittipaikannus perustuu paikannussatelliittien ja paikannuslaitteen välisen etäisyyden määrittämiseen.
  - 4 satelliittia ja tarkka aika
- Satelliittisignaali
  - Satelliitin paikka ja nopeus
  - Aika ja almanakka
  - Kantoaalto
  - Satelliitin tilatietoja

• Lähteet:

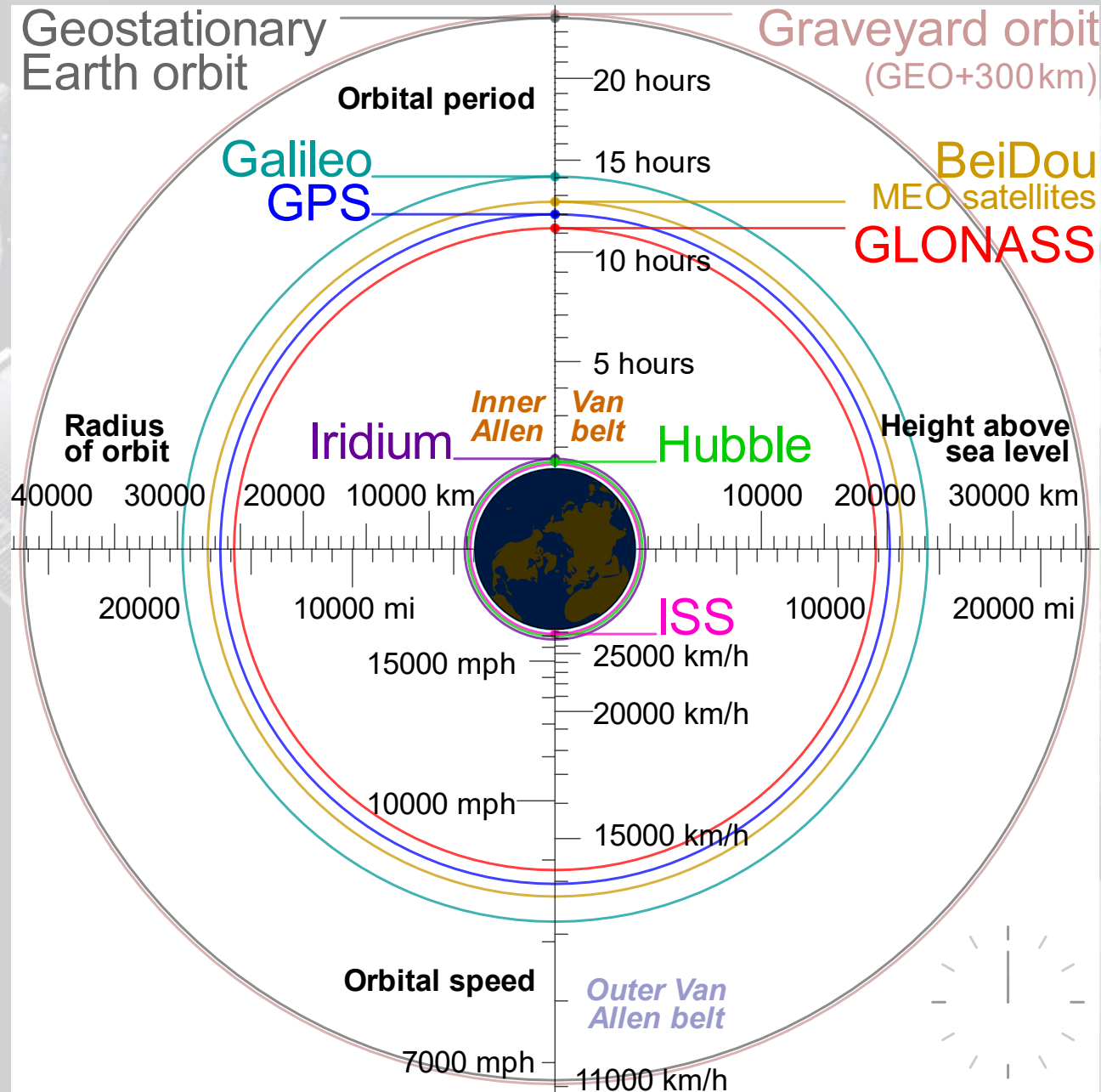
[https://mobacommunity.com/media/moxie/files/b/bm/bma/bmarx/GNSS\\_positioning\\_satellites\\_3.JPG](https://mobacommunity.com/media/moxie/files/b/bm/bma/bmarx/GNSS_positioning_satellites_3.JPG)

<https://www.tallysman.com/gnss-constellations-radio-frequencies-and-signals/>





# GNSS-satelliitit



Lähde: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Comparison\\_satellite\\_navigation\\_orbits.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Comparison_satellite_navigation_orbits.svg)

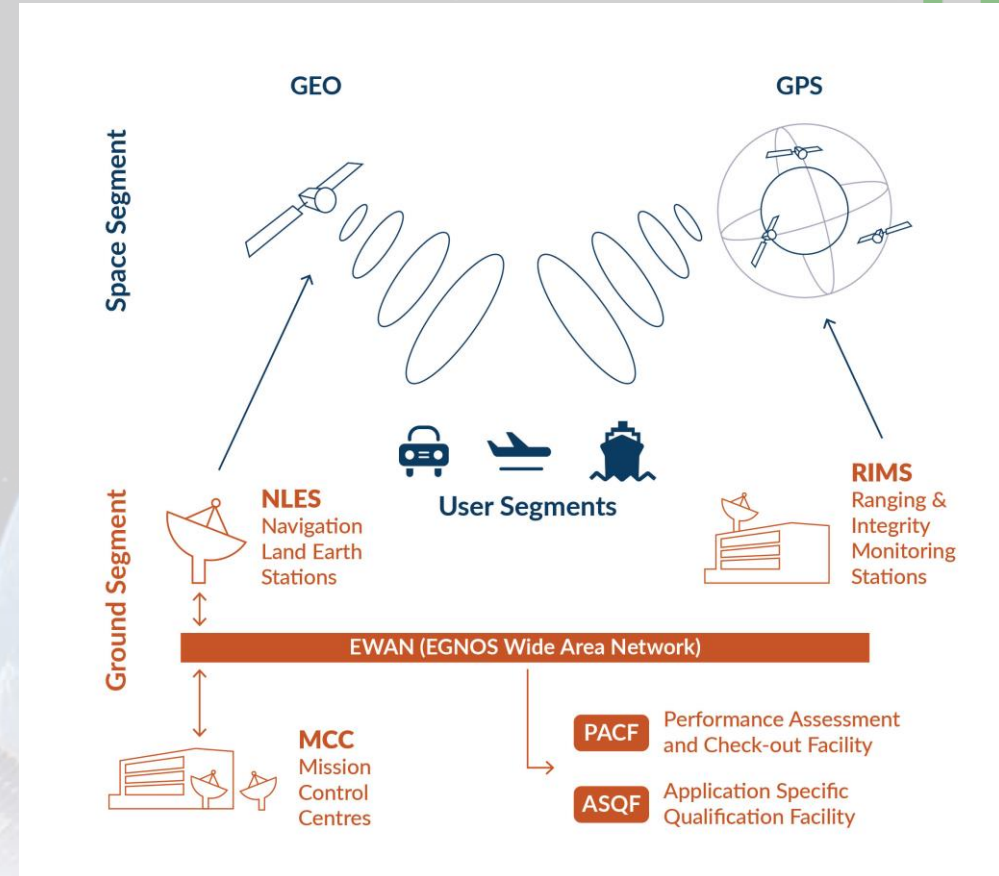
# Satelliittipaikannus – Avusteet

- A-GPS (assisted GPS), nopeuttaa paikkatiedon määrittämistä käynnistettäessä ja katvealueissa.
- DGNSS (differentiaaliavustettu satelliittipaikannus), parantaa tarkkuutta ja luotettavuutta
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), parantaa tarkkuutta ja luotettavuutta
- RTK (Real Time Kinematik), parantaa tarkkuutta ja luotettavuutta

	Tarkkuus
EGNOS	~ 1 m
D-GNSS	0,4 m – 2 m
RTK	0,0X m – 0,X m

# Satelliittipaikannus – EGNOS

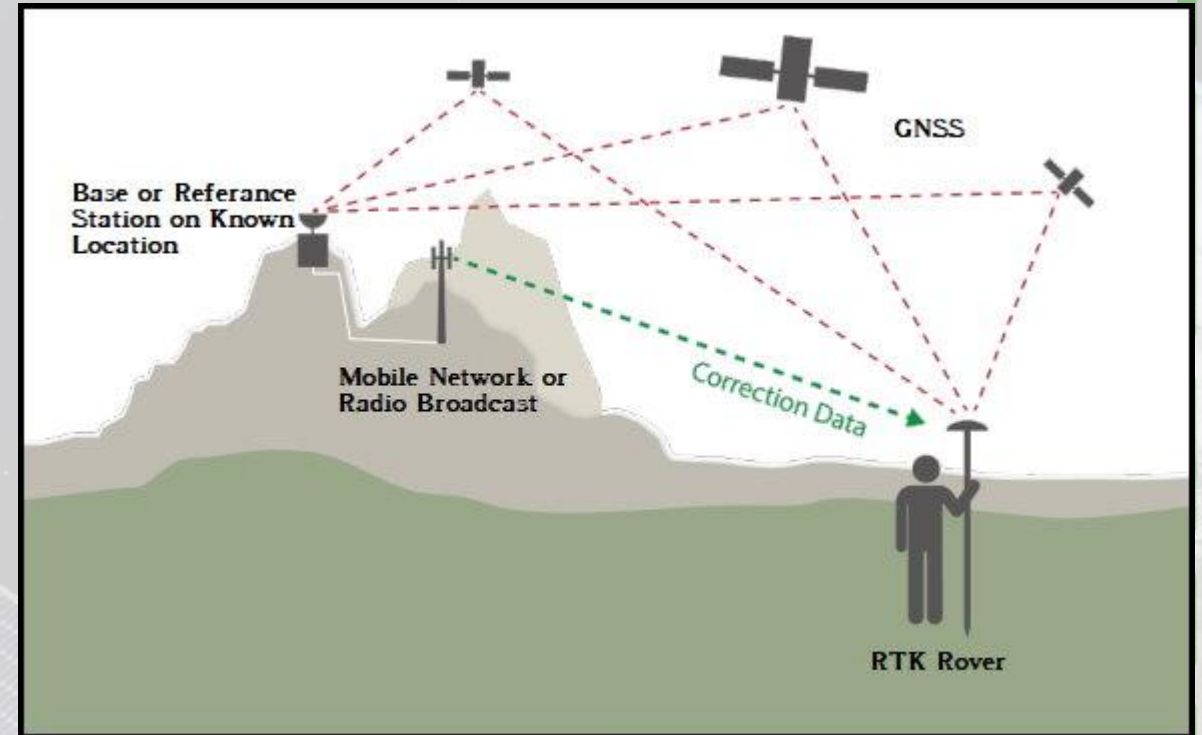
- Euroopan laajuinen satelliittiperusteinen avustejärjestelmä
  - 3 geostationaarista satelliittia ja maatukiasemia ympäri Eurooppaa
- Parantaa GNSS-paikannustietojen tarkkuutta ja luotettavuutta.
- Eheysviesti signaalin jatkuvuudesta ja saatavuudesta
- Satelliitit matalalla Suomesta katsottuna ja siten saatavuus huono
- Ei riitä raidetarkkuuteen.
- Kuva: [https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/egnos-system/about-egnos](https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/egnos-system/about-egnos)





# Satelliittipaikannus – RTK

- RTK-paikannuksessa käytetään kantaaltoa paikan määrittämiseen eikä sen kuljettamaa koodia.
- Maatukiasema välittää kantaallon vaiheen paikannuslaitteille.
  - Suomessa kaupallisia palveluita
  - Maanmittauslaitoksella maan kattava tukiasemaverkko
- Parantaa tarkkuutta ja luotettavuutta
- Tarkkuus cm – dm luokaa → raidetarkkuus
- Kuva: <https://docs.datagnss.com/d303-docs/common/about-rtk/>



# Satelliittipaikannuksen virhelähteet ja ongelma-alueet

- Satelliittilähtöiset virheet
  - Rata- ja kellovirheet
- Signaalin kulusta tapahtuvat virheet
  - Troposfääri, ionosfääri ja heijastukset
- Vastaanotin
  - Kellovirhe, antennin vaihekeskipiste, inhimilliset virheet
- Satelliittinäkyvyys
  - Tunnelit, rakennukset, maasto

# Satelliittipaikannus – häirintä

- Häirintä – jamming
  - Tuotetaan riittävän voimakasta radiosignaalia satelliittipaikannusjärjestelmän taajuudella, jotta GNSS-satelliiteilta tulevien signaalien vastaanottaminen estyy
  - Tässä huomataan, että satelliittipaikannusta ei pystytä määrittämään.
- Harhautus – spoofing
  - Välitetään väärää aika ja sijaintitietoa GNSS taajuudella.
  - Vaikea tai mahdoton havaita, jos ei ole salattua signaalia.
- Spoofing on the high seas: <https://www.youtube.com/watch?v=ctw9ECgJ8L0>



# Satelliittipaikannus – Galileo palvelut

Palvelu	Kuvaus palvelusta
Avoin palvelu <ul style="list-style-type: none"><li>• 2016 →</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Avoin ja ilmainen sijainti- ja aikatietopalvelu, 1 – 1,5 m tarkkuus.</li><li>• Signaali lähetetään satelliiteista kahdella eri taajuusalueella → parantaa järjestelmän häiriösietoisuutta ja paikannustarkkuutta.</li></ul>
Tarkkuuspalvelu <ul style="list-style-type: none"><li>• HAS</li><li>• Arvio 2023</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• High Accuracy Service (HAS) –palvelu: noin 20 cm tarkkuus.</li><li>• Signaali lähetetään satelliiteista kolmannella taajuudella → täydentää avoimen palvelun sijaintitietoa.</li><li>• Avoin ja maksuton palvelu, mutta vaatii yhteensopivan päätelaitteen (3. taajuus).</li></ul>
Todennuspalvelut <ul style="list-style-type: none"><li>• OS-NMA</li><li>• 2023</li> <li>• CAS</li><li>• 20??</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Open Service Navigation Message Authentication (OS-NMA) on avoin todennuspalvelu</li><li>• Commercial Authentication Service (CAS) on kaupallinen todennuspalvelu.</li><li>• Todennuspalvelut tarjoavat salatun satelliittisignaaliin. Varmistetaan, että signaali on muuttumaton ja peräisin tunnetusta lähteestä. → Estetään signaalien väärentäminen ja järjestelmien harhauttaminen.</li></ul>
Viranomaispalvelu <ul style="list-style-type: none"><li>• PRS</li><li>• Arvio 2024</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Julkisesti säännelty palvelu (Public Regulated Service, PRS)</li><li>• Tuottaa sähköisesti ja toiminnallisesti varmistettua, jatkuvaa sijainti- ja aikatietoa EU:n jäsenvaltioille elintärkeisiin toimintoihin kaikissa olosuhteissa.</li></ul>

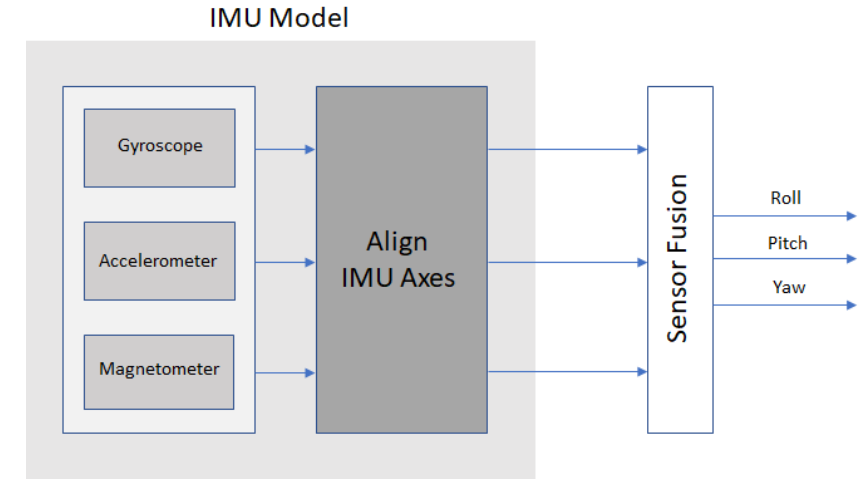


# 3. Muita paikannusmenetelmiä



# Pistemäinen paikannus ja inertia

- Pistemäinen paikannus
  - Jonkin pistemäisen paikkaan perustuva tapahtuma, kuten baliisin, viivakoodin ja RFID tägin lukeminen, jossa pisteen sijainti on tunnettu.
- Inertia-anturi paikannuksessa
  - Kappaleen hitauteen perustuvan anturin hyödyntäminen paikannuksessa.
  - Paikannusjärjestelmissä kulkuneuvojen liiketilaa tarkkaillaan inertia-anturien avulla (IMU, Inertia Measuring Unit) ja anturien mittaustuloksista lasketaan kulkuneuvon sijainti kyseisellä hetkellä.

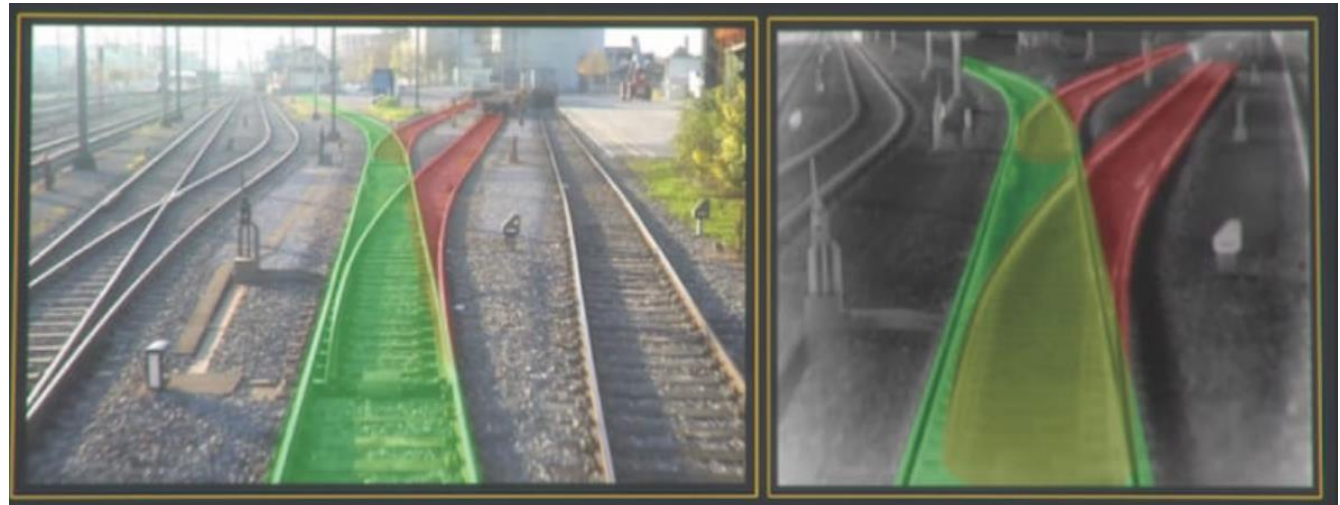


Kuvat: <http://www.railsystem.net/wp-content/uploads/2017/05/balise-transmission-module.jpg>  
<https://la.mathworks.com/help/fusion/gs/model-imu-gps-and-insgps.html>

# Kamerakuvan hyödyntäminen paikannuksessa

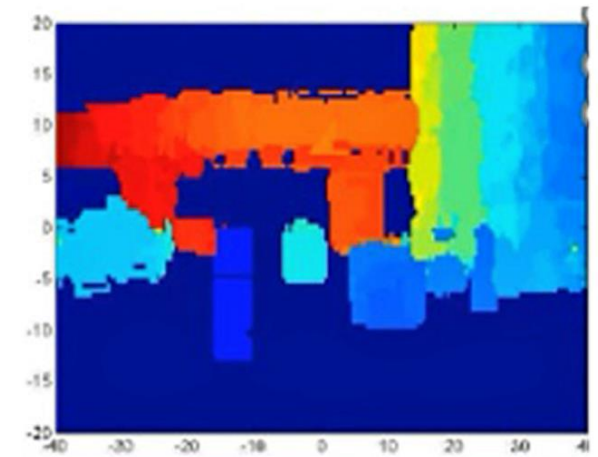
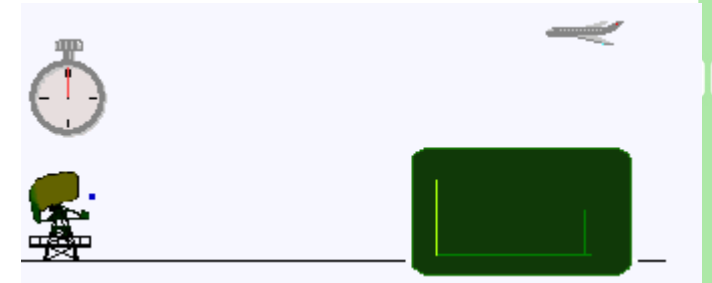
- Kameran ja stereokameran
- Eri taajuuksilla toimivat kamerat
- Vaatii kuvissa olevien asioiden tunnistamista ja mittaamista.
- Tarkkuus: cm-dm luokkaa
- Luminen ympäristö tuo haasteita

Kuvat: <https://railvision.io/> -internetsivut



# Tutkan hyödyntäminen paikannuksessa

- Tutka (RADAR - RAdio Detection And Ranging)
  - Radioaaltojen avulla tapahtuva ilmaisu ja mittaaminen. Sillä voidaan havaita, seurata ja mitata kohteiden suunta, etäisyys, nopeus ja muitakin ominaisuuksia.
- Tarvitsee anturikartan paikannuksessa
  - Tehdään mm. GNSS:n avulla
- Tarkkuus cm-luokkaa

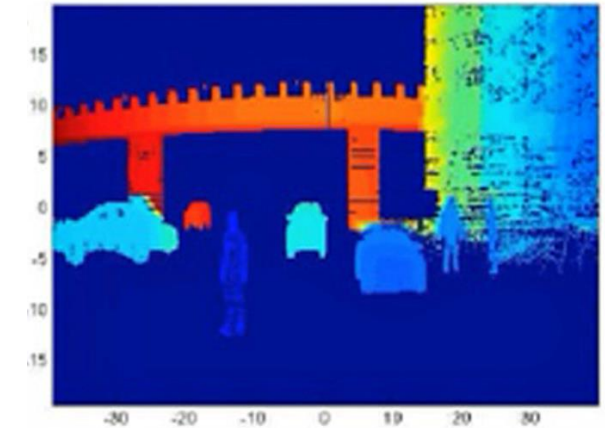
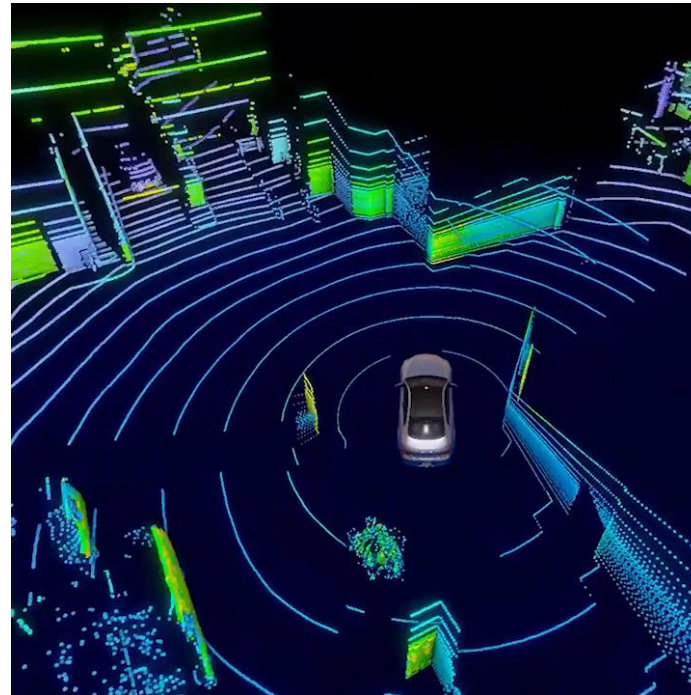


High Resolution Radar

Kuvat: <https://www.fierceelectronics.com/components/lidar-vs-radar>  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Tutka>

# LiDARin hyödyntäminen paikannuksessa

- LiDAR (*Light Detection and Ranging*) eli valotutka
- Vaatii anturikartan paikannuksessa
- Tarkkuus cm-luokkaa



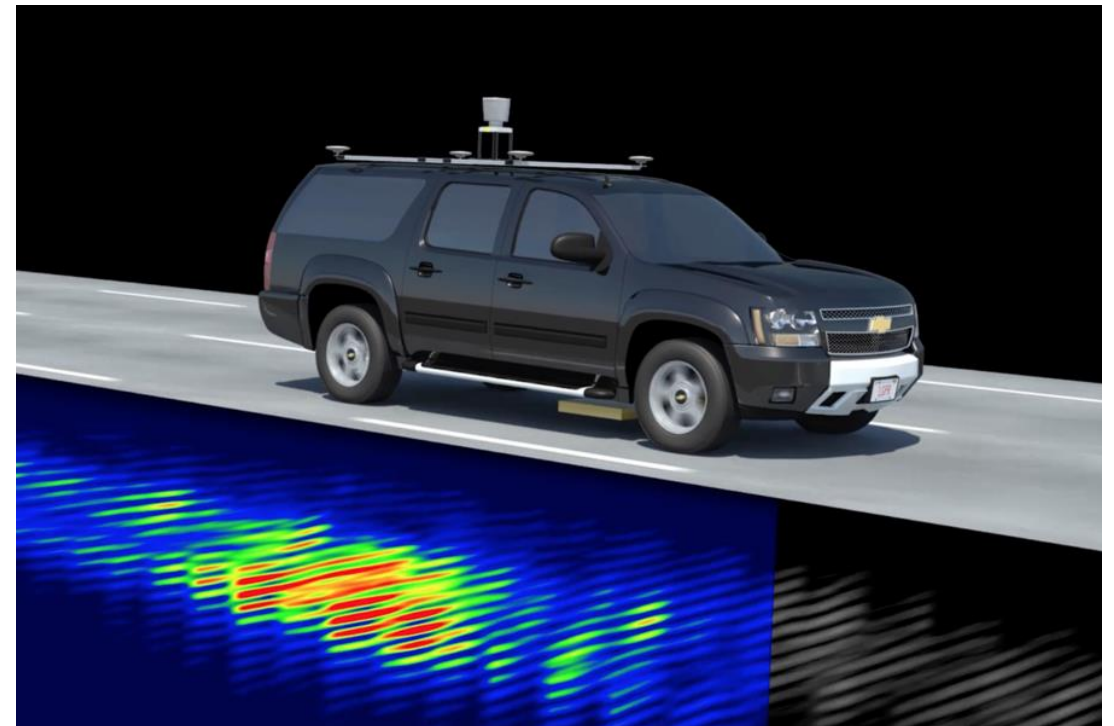
Lidar

Kuva: <https://www.fierceelectronics.com/components/lidar-vs-radar>

Video: <https://velodynelidar.com/products/ultra-puck/>

# Maatutkan hyödyntäminen paikannuksessa

- Maatutka (GPR – Ground Penetrating Radar)
- Radiosignaali maaperään
- Vaatii anturikartan
- Tarkkuus cm luokkaa
- Haasteena maaperän muutokset eri vuodenaikoina



Kuva: <https://news.mit.edu/2016/pinpointing-vehicles-with-high-precision-under-adverse-weather-conditions-0623>

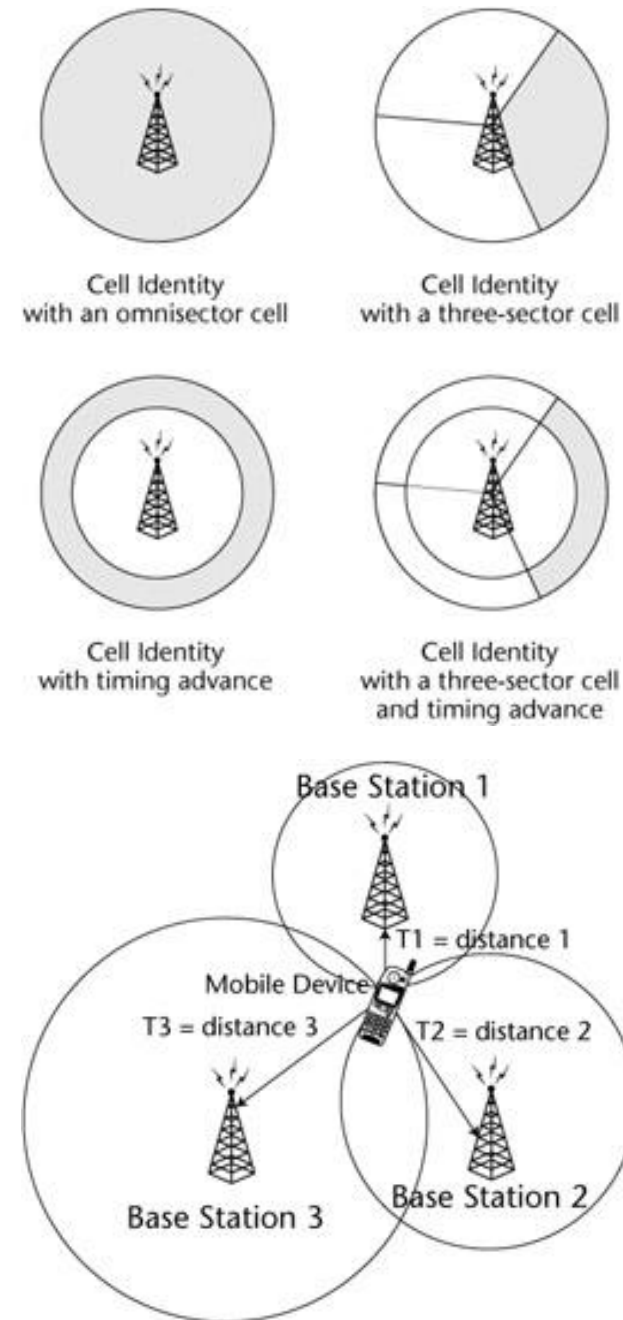


# Verkkopaikannus

- Verkkopaikannus on saatavilla, jos operaattorin verkko tukee sitä.
- Tarkkuuteen ja luotettavuuteen vaikuttaa
  - Verkon rakenne, tukiasemaratkaisut, tukiasemien etäisyys ja taajuudet sekä ympäristö
  - 5G mahdollisesti parantaa tarkkuutta
- Ongelmana ollut sijainnin luotettavuus
- Voidaan tehdä myös päätelaitteen päästä
  - Tarvitsee tarkat koordinaatit tukiasemista tai
  - Muutoin muodostetun tiedon tukiasemien sijainneista.

Kuvat:

<http://etutorials.org/Mobile+devices/mobile+wireless+design/Part+Four+Beyond+Enterprise+Data/Chapter+17+Location+Based+Services/Mobile+Positioning+Techniques/>



# Sensorifuusion hyödyntäminen paikannuksessa

- Sensorifuusiossa useista antureista tuleva tieto yhdistetään siten, että saadulla tuloksella on vähemmän epävarmuutta kuin mitä olisi antureita erikseen käytettäessä. Saadaan tarkempaa, täydellisempää ja luotettavampaa tietoa.
- Paikannuksessa käytetään mm. satelliittipaikannusta, tutkia, LiDAReita ja inertia-antureita.
- Tuloksena on tarkempi ja varmempi paikka, kun voidaan hyödyntää eri antureiden vahvuuksia.

# Paikannusteknologioiden vertailu

	RTK-GNSS	GNSS-EGNOS	Inertia	Radio	Kamera	RADAR	LiDAR	Ultra-ääni	RFID
Tarkkuus	cm...dm	dm...m	cm...m	m...km	dm...m	dm...m	cm...dm	dm...m	dm..m
Lumi (kylmä)	+	+	+	+	-	+	-	+	+
Sumu	+	+	+	+	-	+	-	+	+
Rankkasade	+	+	+	+	-	+	-	+	+
Kirkas valo	+	+	+	+	+ / -	+	+	+	+
Tunnelit	-	-	(+)	+ / -	+	+	+	+	+
Helppo häiritä	x	x							
Vaatimukset infralle	x	x		x	Vaatii tunnistettavia kohteita	Vaatii tunnistettavia kohteita	Vaatii tunnistettavia kohteita	Vaatii tunnistettavia kohteita	x
Anturi hinta €	€€€-€€€€	€€€-€€€€	0-€€€	€€€	€€€	€€€€-€€€€€	€€€-€€€€€	€€€	€€€€

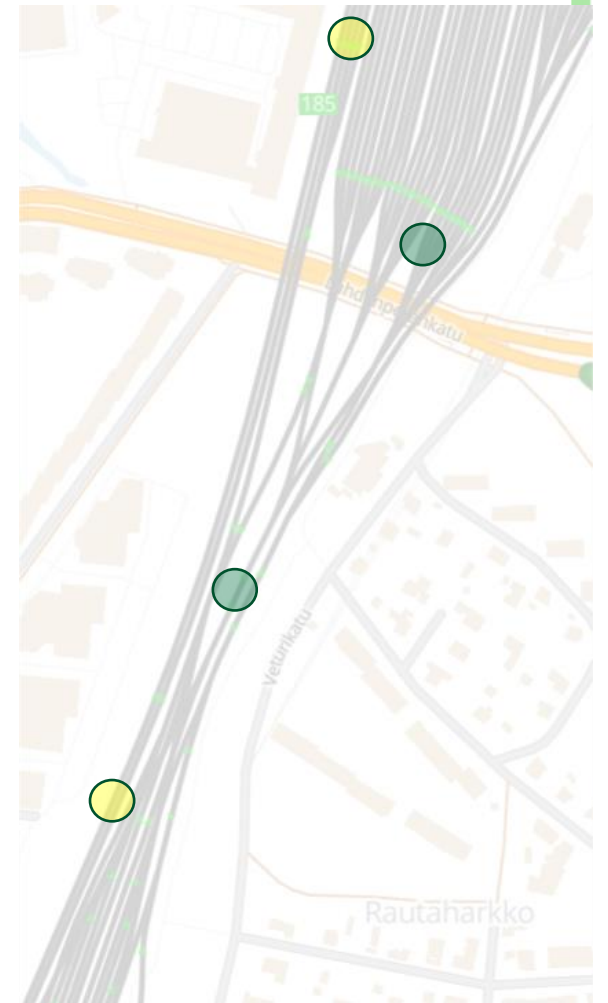




# 4. Paikannuksen työkaluja

# Point of Interest (POI)

- Kiinnostava piste kartalla, johon voidaan määrittää säde sekä elinikä
- Voi käynnistää erilaisia tapahtumia, kun liikkuva paikannusyksikkö saapuu säteen sisään tai poistuu sieltä.
- Navigaatioon asetettu kohde
  
- Esim.
  - Rajoitettu liikennöinti nopeus (virtuaalibaliisit) keltaisten pisteiden välillä.
  - Automaattisessa laskumäkitoiminnossa POI:lla varmistetaan vaunun meneminen oikeaan kohteeseen.



# Geofence

- Kiinnostava alue kartalla, joka voidaan määrittää vapaasti ja antaa elinikä
- Voi käynnistää erilaisia tapahtumia, kun paikannettava yksikkö saapuu tai poistuu Geofence alueelta
- Esim. asiakkaan informointi ja laskuttaminen
  - Vaunu on toimitettu siniselle alueelle,
  - Vaunu on saapunut tai poistunut vihreältä alueelta  
→ Mahdollinen laskutusperuste ajasta, jonka vaunu on asiakkaan alueella.
- Esim. rajattu alue vaihto- tai ratatyölle



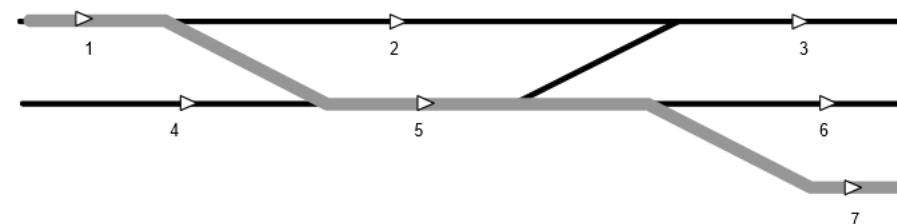


# 5. Junien paikannus ETCS:ssä

# Junan sijainti ETCS:ssä tasoilla 1 – 3

- Junan sijainti ilmoitetaan aina pituussuuntaisesti kuljettua reittiä pitkin.
- Junan sijainnissa määritetään junan etuosan sijainti suhteessa viimeiseen määräävään baliisi-ryhmään (LRBG, Last Relevant Balise Group)

## Junan todellinen kulkureitti



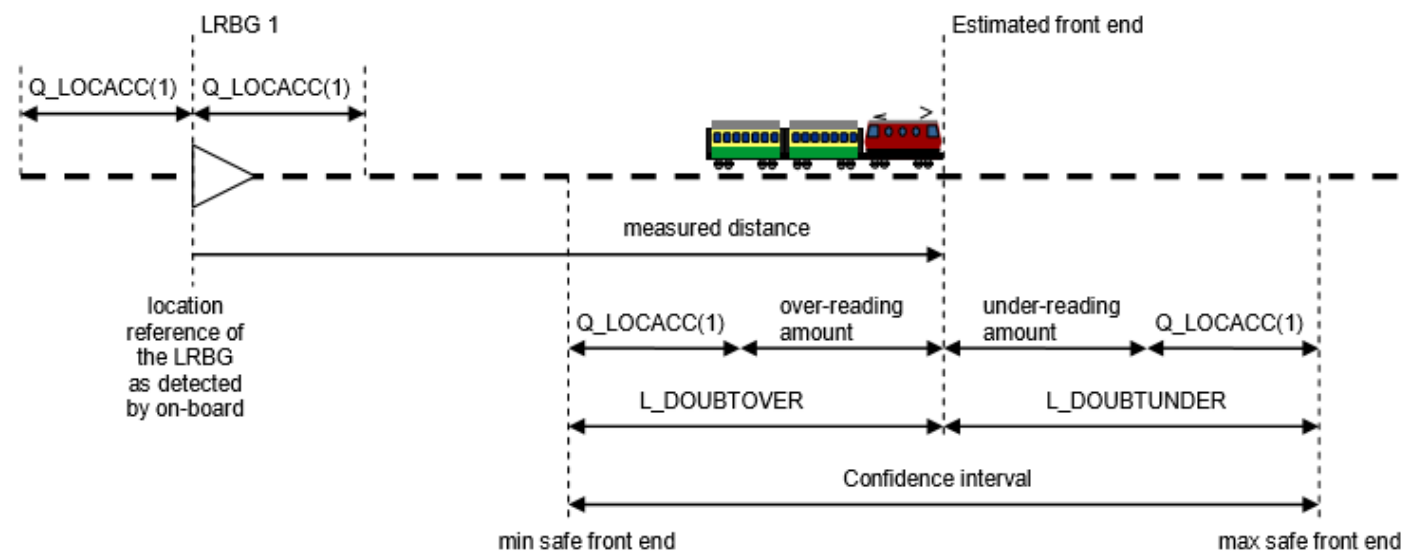
## Junan näkemä kulkureitti



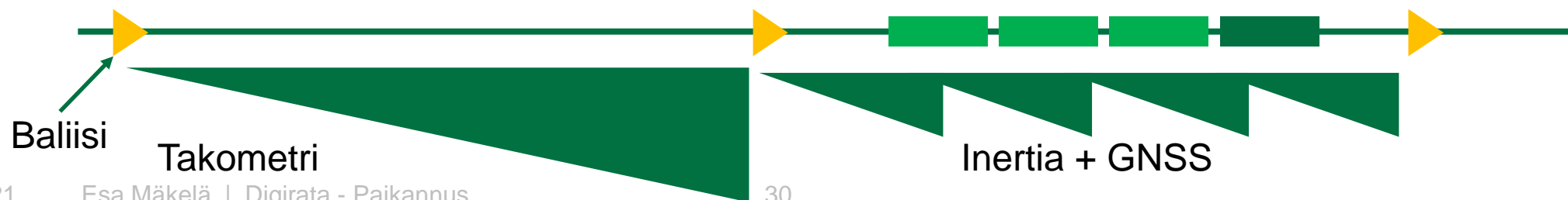
Kuvat: ERTMS/ETCS System Requirements Specification, Subset 26-3

# Junan sijainti ETCS:ssä tasoilla 1 – 3

- Sijainti määritetään takometritä saatavan tiedon perusteella tai esim. satelliittipaikannusta ja inertiaa hyödyntäen.

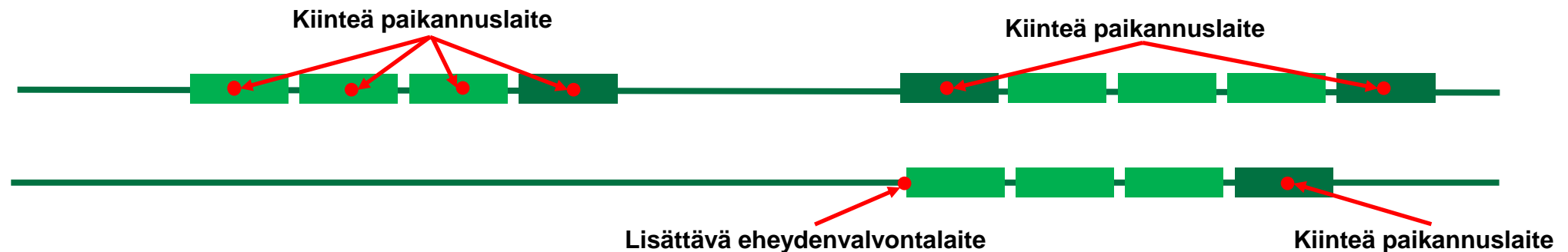


Kuva: ERTMS/ETCS System Requirements Specification, Subset 26-3



# Junan eheyden valvonta

- Subset 26: Junan välittää ETCS – RBC rajapinnassa paikannusviestissä junan eheystiedon.
  - Junan molemmissa päissä on paikannuslaitteet, joiden avulla määritetään junan eheystieto.
  - Junan läpi kulkee väylä, jota voidaan hyödyntää eheyden valvontaan.
  - Erillinen viimeisen vaunun eheydenvalvontalaite kytketään vaunun paineilmaletkuun.
  - Kaikissa vaunuissa on kiinteä paikannuslaite.



# Paikannuksen haasteita tällä hetkellä

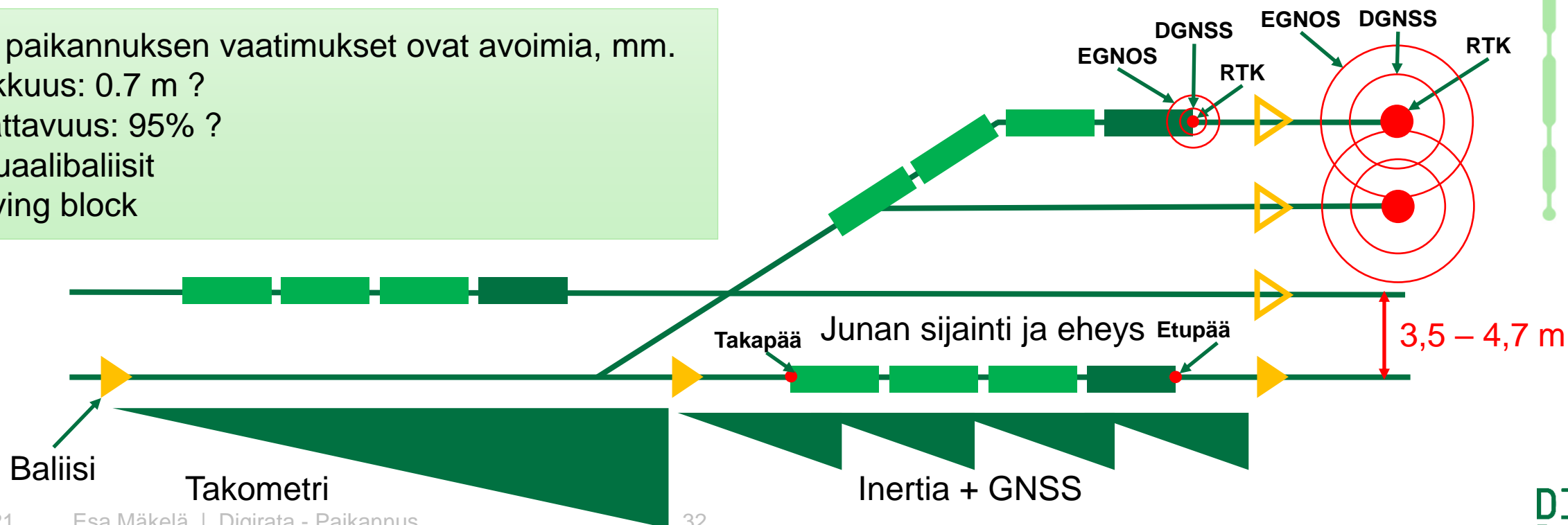
Tarkkuus	Osumat ~ R 50%	Osumat: ~ R 99,7%	Eheys
GALILEO	1 – 1,5 m	4,4 m	?
EGNOS	1 m	2,9 m	Kyllä
DGNSS	0,4 – 0,6 (...2) m	1,2 – 1,8 m	Ei
RTK	(0,01...) 0,2 m	0,6 m	Ei

## GALILEO TULEVAT PALVELUT

- Tarkkuuspalvelu (HAS): 0,2 m
- Todennuspalvelut (OS-NMA ja CAS)
- Viranomaispalvelut (PRS)

GNSS paikannuksen vaatimukset ovat avoimia, mm.

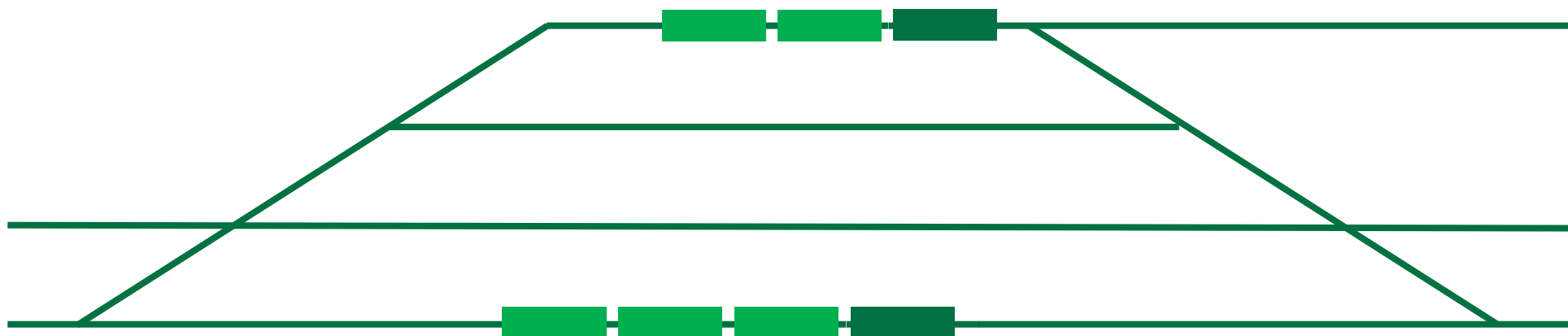
- Tarkkuus: 0.7 m ?
- Saattavuus: 95% ?
- Virtuaalibaliisit
- Moving block





# Avoimia asioita ETCS tasolla 3

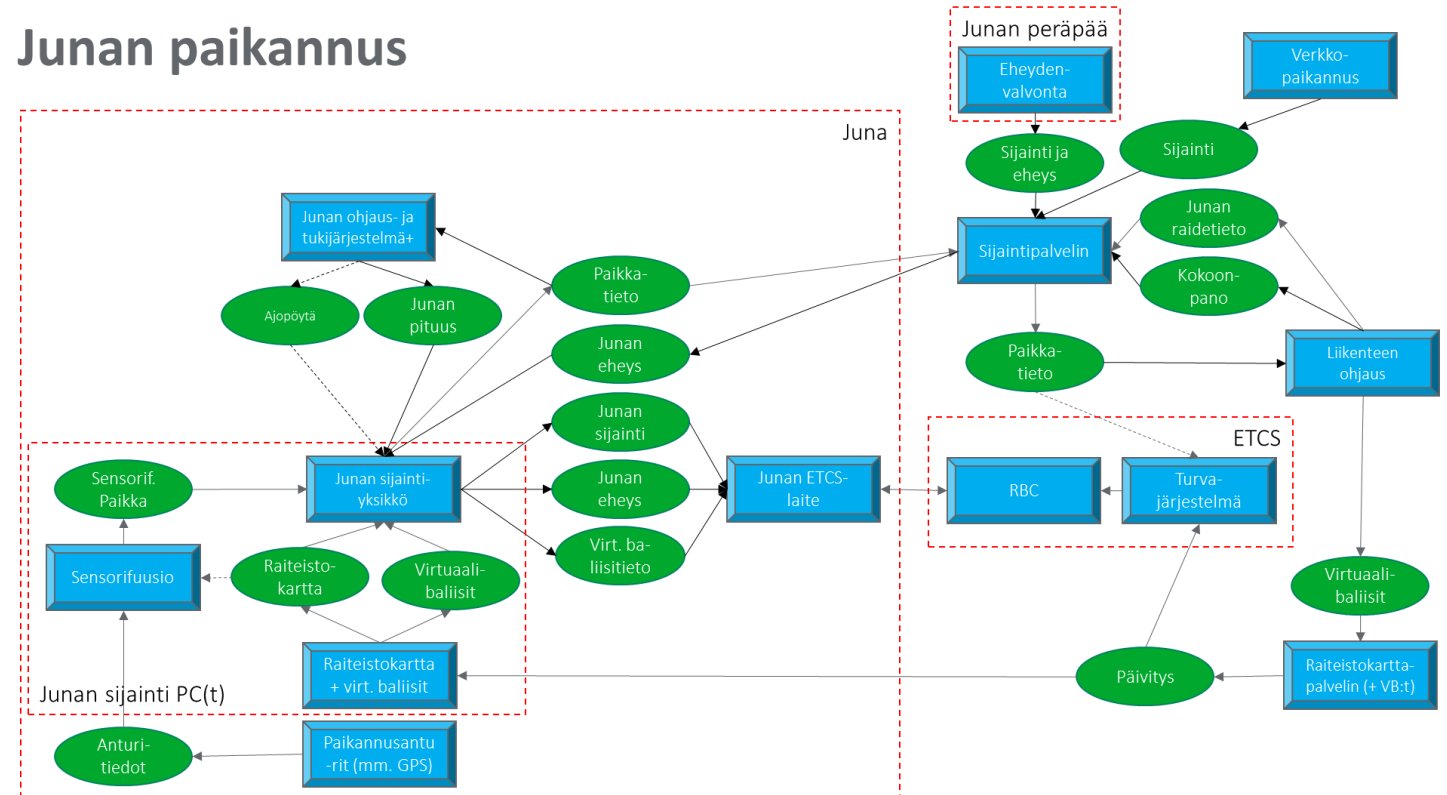
- Miten tiedetään onko raide vapaa vai varattu, jos ei ole akselilaskureita ja raidevirtapiirejä?
  - Junan tullessa määränpäähän ja veturi lähtee pois
  - Vaihtotyöyksikkö tuo vaunuja lähtöraiteelle



# Paikannusarkkitehtuuri

- Tarjotaan junan ETCS-laitteelle sen tarvitsemat paikka- ja eheystiedot.
- Paikannusarkkitehtuurissa huomioitu erilaiset tarpeet ja mahdollisuudet.
  - Virtuaalibaliisit
  - Paikkatiedon välittäminen muihin järjestelmiin

## Junan paikannus



# Rautatiepaikannuksessa huomioitavia asioita

- Paikannusjärjestelmien ominaisuudet, virheet ja häirittevyys
  - Mikä on riittävän tarkka ja luotettava turvalliseen liikennöintiin
- Tiedonsiirto
  - Tiedonsiirto on merkittävässä roolissa paikannuksessa.
  - Tiedonsiirron luotettavuus vaikuttaa suoraan paikannusjärjestelmän luotettavuuteen.
- Viiveet
  - Liikkuvan yksikön paikkatieto tulee aina viiveellä tarvitsijoiden käyttöön
  - Viive voidaan ja pitää huomioida turvaväleissä
- Turvallisuus
  - SIL4 luokitus tarvitaan, kun anturipaikannusjärjestelmä on osa kulunvalvonnan turvalaitetta





# 6. Paikannuksen mahdollisuuksia rautateillä

# Paikannuksen asettamia vaatimuksia

## Taustajärjestelmän tietojen hyödyntäminen paikannuksessa

- Tarkat digitaaliset raidekartat
  - Saadaan junan tarkka sijainti kartalle
  - Koordinaattitietojen hyödyntäminen → tunnistettavia pisteitä infrastruktuurissa voidaan käyttää baliisien sijaan sijainnin varmistamisessa
- Kokoonpanotiedot paikannusjärjestelmään
  - voidaan parantaa eheyden valvonnan luotettavuutta
  - Myös kaluston pituustietoja voidaan hyödy

# Paikannuksen tuomia mahdollisuuksia

## ETCS-järjestelmään

- Mahdollisimman tarkat paikannuslaitteet jokaisessa kalustoyksikössä
  - Tiedetään tarkasti kunkin kalustoyksikön varaama tila raiteistolta kaikissa tilanteissa
- Infrassa olevien teknisten laitetarpeiden väheneminen
  - Baliisien, akselilaskureiden ja raidevirtapiirien poistaminen
- Ratakapasiteetin parantaminen
  - Moving block – juna varaa vain sen tarvitseman tilan mukaan luettuna jarrutusmatkat ja turvaetäisyydet

# Paikannuksen tuomia mahdollisuuksia

## Liikenteenohjaukseen

- Erilaiset rajoitukset liikennöintiin, vaihtotyöhön ja ratatyöhön
  - Helposti lisättävät työkaluin, kuten virtuaalibaliisit, geofence
  - Alueen määrittäminen digitaaliseen karttaan
  - Kaluston paikkatiedosta mahdollisia hälytyksiä tai automaattisia toimenpiteitä rajojen ylityksistä
- Paikka- ja navigointitiedon hyödyntäminen
  - Jatkuva automaattinen liikenteen optimointi

# Paikannuksen tuomia mahdollisuuksia

## Kaluston omistajalle

- Kaluston kunnossapidon parantaminen
- Kaluston kunnon tarkempi seuraaminen yhdessä muun anturoinnin kanssa

## Rautatieoperaattorille

- Operaattorin toiminnan kehittäminen
- Kaluston käytön tehostaminen
- Uudet hinnoittelumallit – esim. maksut kaluston seisonta-ajasta
- Paikannuslaitteet kaikissa kalustoyksiköissä tarvitaan autonomiseen vaihtotyöhön



# Paikannuksen tuomia mahdollisuuksia

## Muita mahdollisuuksia

- Yksin tai yhdessä muun anturoinnin kanssa
  - Radan kunnan jatkuva seuraaminen ja ongelmakohtien tarkka informointi
  - ATO toiminnot GoA4
- Anturidatan analysointi – historiatiedon hyödyntäminen
  - Kaluston kunnossapito

## Palvelut matkustajille ja kuljetusten tilaajille

- Opastus istumapaikalle tai missä vaunussa on paremmin tilaa
- Parempi kuva, missä kuljetukset menevät

# Kuulijoiden kommentteja mahdollisuuksista

- Matkustajatiedotus junan sijainnista
- Joukkoistettu ratainfraan kunnan monitorointi kaupallisten junien instrumentoinnilla
- Kalustonhallinta (kalustokierrot)
- Raiteisto- / laitteistotietokantojen paikkatietojen ylläpidossa
- Ennakoiva huolto paikannukseen perustuvan kulun/seisonnan perusteella
- Kyydissä olevan rahdin seuranta
- Kaluston ajon optimointi
- Tasoristeysturvallisuus paranee, kun junien tuloaika voidaan ennustaa sekunnin tarkkuudella.
- Junien liikkeiden analysointi (esim. toistuvat mäkeen jäännit)



# Kiitos!