

Tutkimuskeskus

TERRA Geo
Road
Rail

Tineästi mittaavat vaunut ja niiden käyttö

Riku Varis

Tukemispäivä 5.4.2022



Tutkimuskeskus Terra

Tutkimuskeskus Terra on Suomen johtava infrarakenteiden osaaja.

Toimintamme painopistealueita ovat

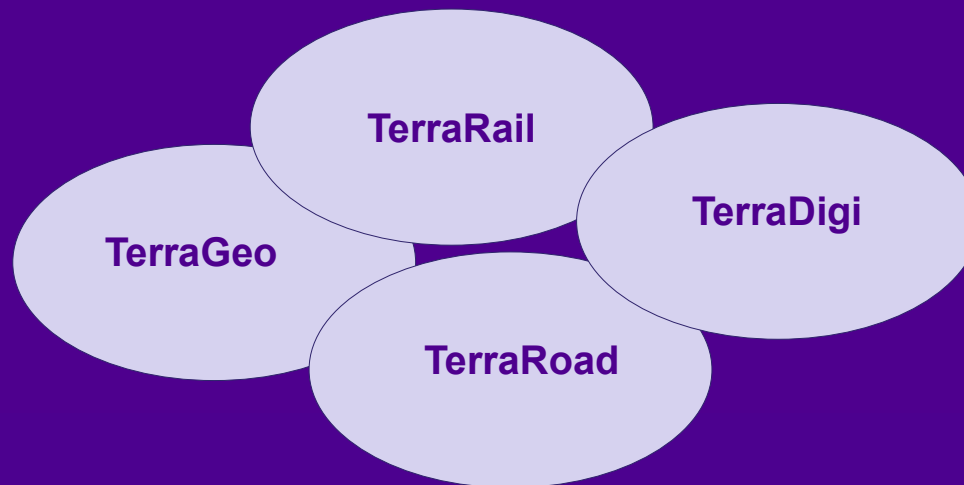
- Geotekniikka
- Maarakenteet
- Ratarakenteet
- Infrarakenteiden digitalisaatio
- Laboratorio- ja mittauspalvelut



research.tuni.fi/terra

Tutkimuskeskus Terra

- Päätehtävänä infrarakenteiden tutkiminen, kouluttaminen infra-alalle ja infra-alan kehittäminen
- Yli 40 työntekijää (3 professoria, tohtoreita, tutkijoita, tutkimusapulaisia, laboratoriotyöntekijöitä)
- Neljä toiminnallisesti keskenään tiiviisti limittyvää tutkimusryhmää:



Tutkimusryhmä TerraRail

- Noin kymmenen tutkijaa
- Tutkimusalueena radan komponentit
 - Kalusto-raide-vuorovaikutus
 - Kiskot, ratapölkkyt ja vaihteet
 - Pengerrakenne
 - Pohjarakenne
- Toiminnan pääpaino kokeellisessa tutkimuksessa
- Lisäksi rakenteiden toiminnan laskennalliset tarkastelut

research.tuni.fi/terrairail



Radan geometrian mittaaminen tukemistyössä

- Tukemistyön yksi oleellisimmista työvaiheista on olemassa olevan sekä lopullisen tuetun radan radan geometrian mittaaminen.
- Nämä kaksi mittausta käytännössä määrittävät sen, kuinka paljon kyseisessä kohdassa on tukemisen tarvetta ja toisaalta myös sen, miten tukemistyössä lopulta onnistuttiin.
- Suomessa pääasiallinen keino radan geometrian mittaamiseen tukemisen yhteydessä on yhä pistemäinen takymetri-pohjainen mittaaminen.
- Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että normaalilla suoralla linjaosuudella otetaan ainoastaan toisesta kiskosta (johtokisko) yksi pistemäinen mittaus 20 metrin välein ja kaarteissa tai muissa erityiskohdissa, kuten vaihteissa, 5-10 metrin välein.
- Tällöin tiettyä esimerkiksi 100 metrin pituista suoraa linjarataosuutta edustaa vähimmillään 6 yksittäistä mittapistettä, jonka perusteella luodaan kummankin kiskon tukemisnuotti koko osuudelle.
- Tämä on kohtuullisen nopea ja yksinkertainen tapa mitata radan geometria tuentaa varten. Normaalin linjaraitteen tapauksessa tämä on myös useimmiten täysin riittävä tapa, jos esimerkiksi EMMA-tulosten pohjalta tiedetään, että radan kaikki geometriamuutokset tapahtuvat hyvin pitkällä matkalla.



Lähde: <https://www.sitech.fi/fi/solutions/tyoemaan-paikannusjaerjestelmaet-1/tcu-ohjausyksikkoe-1-1>

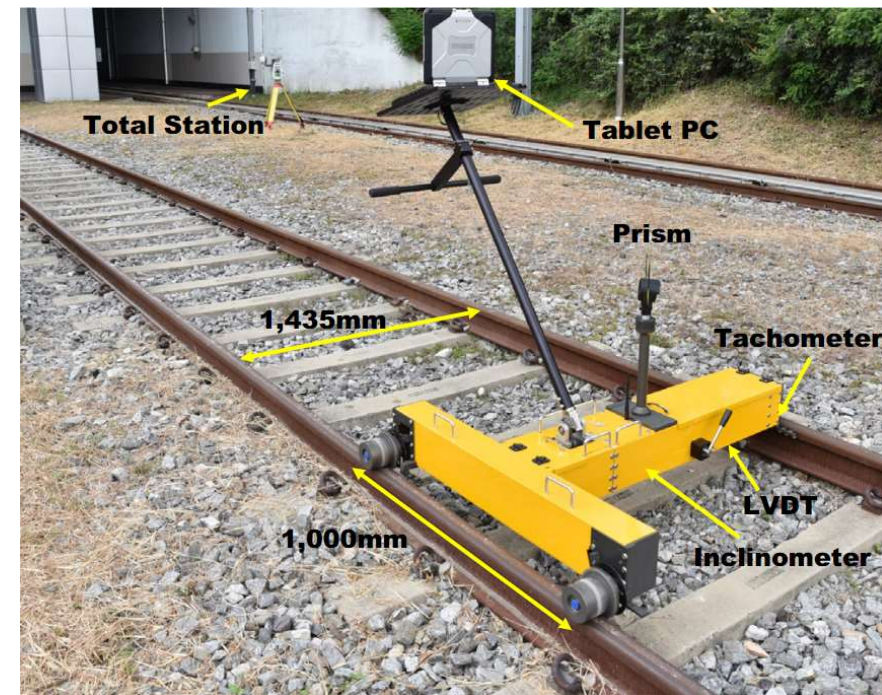
Radan geometrian jatkuva mittaaminen

- Tuennassa on kuitenkin usein kyse jonkun tietyn virheen tai monien yksittäisten virheiden sekalaisen summan korjaamisesta, jolloin kyseisen kohdan geometrian paremmasta tuntemisesta voi olla merkittävä hyöty tukemiselle.
- Lisäksi kunnossapidossa saattaa olla monesti joidenkin havaittujen ongelmien takia tarve tuntea jonkin radan yksittäisen erityisen kohdan geometria mahdollisimman tarkasti, jotta osataan arvioida, mistä ongelma todellisuudessa johtuu.
- Kaikkia geometriavirheitä ei voida aina korjata tukemisen avulla, joten tarkempi tieto saattaisi auttaa useissa tilanteissa turhan tukemisen välttämiseksi.
- Tällaisissa tilanteissa nykyinen pistemäinen mittaaminen ei ole enää riittävän tehokasta ja tarvitaan radan geometrian jatkuvaa mittaamista.
- Radan geometrian jatkuva mittaaminen voidaan hoitaa tiheästi mittaavien geometriavaunujen avulla, joita löytyy nykyään hyvin monilta valmistajilta (Trimble, Amberg, Pandrol, Geismar, yms.)



Mittavaunun rakenne ja toimintaperiaate

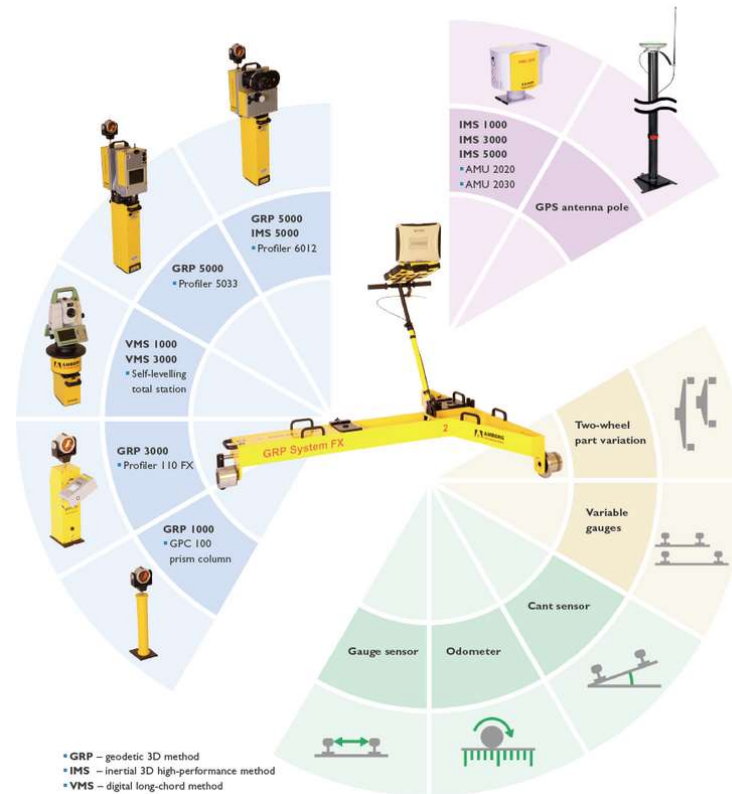
- Käytännössä kaikkien jatkuvasti mittaavien mittavaunujen toimintaperiaate perustuu niin sanottuun sisäiseen ja ulkoiseen mittaamiseen.
- Mittavaunu itsessään sisältää normaalisti siirtymäanturin (LVDT), inklinometrin ja mittapyörän pulssianturin. Näiden anturien avulla pystytään määrittämään raideleveys, raiteen kallistus sekä vaunun mittapyörän kulkema matka.
- Laitte asetetaan tallentamaan mittaustuloksia mittapyörän etenemisen mukaisesti, eli tulokset voidaan tallentaa halutessa vaikka 10 cm välein.
- Raideleveys ja raiteen kallistus voidaan siis mitata hyvinkin nopeasti ilman mitään muuta laitteistoa missä tahansa radalla käyttämällä ainoana koordinaattina vaunun etenemää radalla.
- Monissa tilanteissa ainoastaan jo nämä kaksi parametria auttavat tunnistamaan tiettyjä ongelmia ja helpottavat mahdollisesti kunnossapitoa.
- Usein on kuitenkin tarve tietää myös kiskojen korkeussuuntainen ja poikittaissuuntainen asema, jotka vaativat takymetrin tai vastaavan, koordinaatteihin sidotun, järjestelmän käyttämistä.
- Normaalisissa takymetriin perustuvassa mittauksessa vaunuun pitää lisätä prisma, jonka avulla takymetri pystyy aktiivisesti seuraamaan vaunun liikkumista ja kertomaan sen sijainnin takymetriin nähden.
- Vaunun sisäisten kallistus- ja raideleveysanturien ansiosta riittää, että ainoastaan johtokiskon asema sidotaan näihin koordinaatteihin, sillä toisen kiskon tarkka asema voidaan laskea matemaattisesti kallistuksen ja raideleveyden avulla.



Lähde: Lee et al. 2016. Kinematic modeling of a track geometry using an Unscented Kalman Filter. Measurement, Volume 94, December 2016. Elsevier.

Mittavaunun erilaisia konfiguraatioita

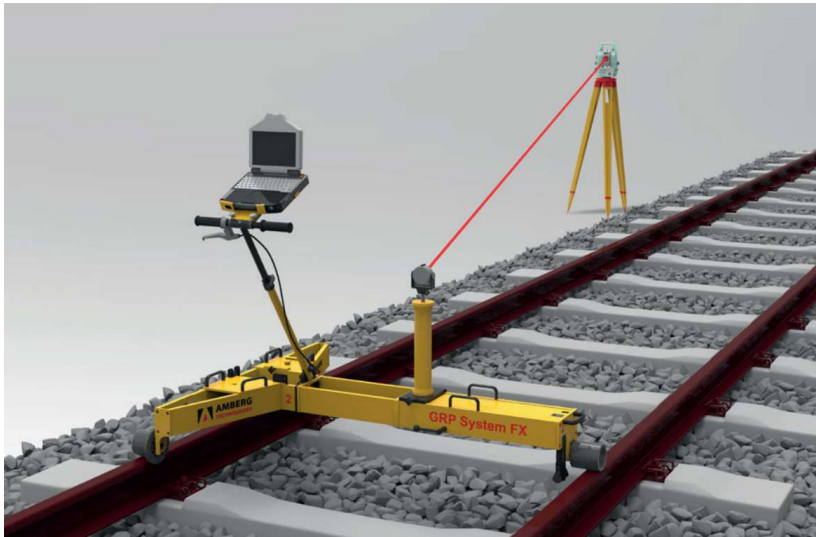
- Radan geometrian kaikkien parametrien saamiseksi vaunun asema tulee aina sitoa jollakin tapaa paikalliseen tai absoluuttiseen koordinaatistoon. Tähän on monia erilaisia keinoja.
- Vaunulla on mahdollista mitata myös radan ympäröivien rakenteiden sijaintia.



Lähde: https://amberggroup.com/fileadmin/user_upload/brochures/Systems/00_Amberg_Rail_EN_lowres.pdf

Puhtaasti takymetriin perustuva radan mittaaminen

- Normaalein tapa mittausvaunun käytölle on mitata radan geometriaa puhtaasti takymetriin perustuen.
- Niin kutsuttu yhden vaunun tekniikka tarkoittaa sitä, että takymetri seisoo staattisesti kolmijalalla ja mittausvaunun prisma liikkuu radalla suhteessa tähän.
- Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kahden vaunun tekniikkaa, jossa takymetri asetetaan toiseen mittavaunuun ja mittaus perustuu vaunujen välisen eron mittaamiseen.
- Kahden vaunun mittaustekniikalla takymetrin liikuttelu on nopeampaa ja saatetaan päästä suurempaan etenemään, mutta takymetrin radan tasolla olevien asemapisteen muodostaminen vaatii usein enemmän valmistelua mittapisteverkon luomisvaiheessa.



Lähde: https://amberggroup.com/fileadmin/user_upload/brochures/Systems/00_Amberg_Rail_EN_lowres.pdf



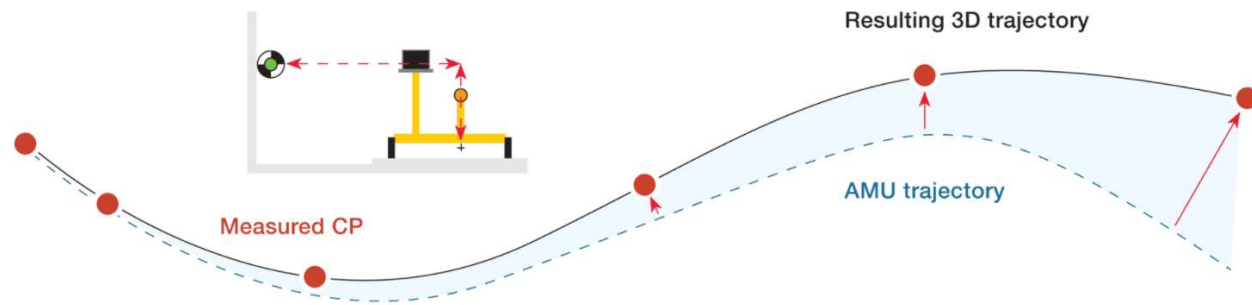
Lähde: http://itesvia.com.mx/sites/default/files/Maquinaria/mark%204/RAIL-7229_Mestemaker-RAIL-7229_Moss-RAIL_7229_Moss_GEDO%20VORSYS%20PRESENTATION.pdf

Inertiaan perustuva radan mittaaminen

- Radan geometrian mittaamista voidaan tehdä myös ilman vaunuun kiinnitettävää prismaa inertiayksikön avulla.
- Inertiayksikkö sisältää hyvin tarkat asento, kaltevuus ja kiihtyvyyssanturit, joiden avulla se pystyy määrittämään johtokiskon relatiivisen aseman mittauksen aikana.
- Tämä tarkoittaa siis käytännössä sitä, että inertiayksikkö tarvitsee mitataksaan ainoastaan mittauksen alku- ja loppupisteen koordinaatit, joilla mittaustulokset sidotaan maailmaan.
- Relatiivisessa koordinaatistossa mitattaessa ei tarvita edes alku- ja loppupistettä.
- Inertiamittauksessa tapahtuu kuitenkin jatkuvasti pientä matkan suhteen kasvavaa virhettä, joten relatiivinen mittaus toimii luotettavasti vain kohtuullisen lyhyillä etäisyyksillä (<50 m).
- Pidemmällä mittausetäisyyksillä alku- ja loppupisteet kannattaa aina sitoa joihinkin tunnettuihin koordinaatteihin.



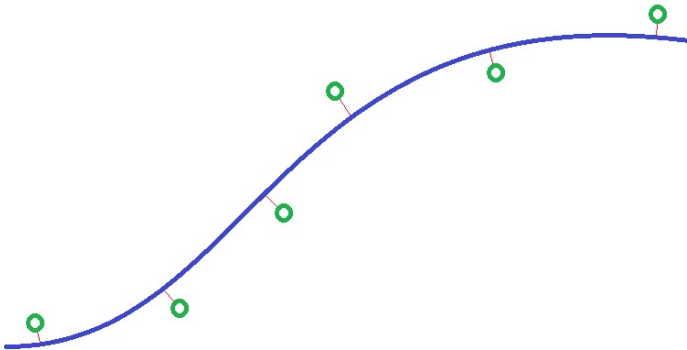
Lähde: https://twitter.com/KOREC_Rail/status/1006113929867808772



Lähde: <https://www.sccsurvey.co.uk/amberg-rail-ims.html>

Inertiamittauksen alku- ja loppupisteiden sitominen

- Mittauksen alku- ja loppupisteen sitomiseen tarkoitettuja koordinaatteja voidaan tarjota mittausjärjestelmälle joko vaunuun kiinnitettävän takymetrin, profilerin tai GNSS-antennin avulla.
- Profiler on käytännössä laser-toiminen etäisyysmittari, jolla avulla voidaan laskea johtokiskon koordinaatit radan välittömässä läheisyydessä (< 5 m) olevan yksittäisen prisman avulla. Tämä on nopea tapa saada kohtalaisen tarkka arvo (tarkkuus noin 2-5 mm) mittauksen alku- tai lopetuspisteelle, mutta vaatii paljon esivalmistelua. Radalta täytyy löytyä vähintään noin 100 metrin välein radan läheisyydessä oleva prisma.
- Vaunuun kiinnitetyn GNSS-antennin avulla mittaustulokset saadaan sidottua absoluuttiseen koordinaatistoon hyvin nopeasti ja ilman esivalmistelua noin 7-10 mm tarkkuudella. Inertialaitteiston sisäinen tarkkuus on kuitenkin huomattavasti sitä parempi (noin 1-3 mm).



Lähde: <https://www.korecgroup.com/product/trimble-gedo-ims/>

Radan ympäröivien rakenteiden mittaus

- Profilerin tai takymetrin avulla on mahdollista mittauksen yhteydessä määrittää myös radan ympäröivien rakenteiden (ratapylväät, sähkökaapit, yms.) koordinaatteja, jotka saattavat auttaa myös itse radan geometrian ymmärtämisessä.
- Näihin rakenteisiin täytyy siis kiinnittää jonkinlainen prisma, jonka avulla lasketaan niiden koordinaatit suhteessa rataan.
- Yleisemmin radan ympäröivien rakenteiden mittauksia tehdään kuitenkin vaunuun kiinnitetyn erillisen laserkeilaimen avulla, jolla pystytään tutkimaan esimerkiksi aukean tilan ulottuman riittävyttä erilaisissa tunnelikohteissa.



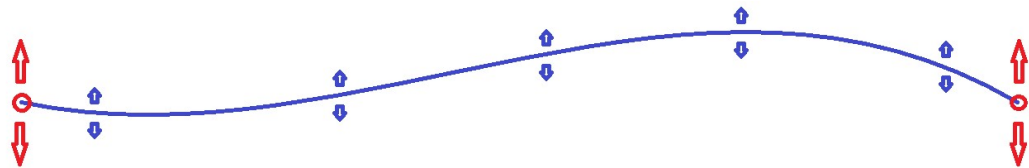
Lähde: https://ambergtechnologies.com/fileadmin/user_upload/amberg-technologies/downloads/Rail/Amberg_Rail_Brochure_en_2021.pdf

Oikean konfiguraation valitseminen

- Tiheästi mittaavat vaunut voidaan siis varustaa hyvin monenlaisilla erilaisilla laitteilla, jotka kaikki pyrkivät tarjoamaan omanlaistansa dataa radan ja sen ympäröivien alueiden geometriasta.
- Yleisenä ohjeena eri mittalaitteiden käytölle pätee se, että mitä tarkempia tuloksia haluaa, sitä kauemmin mittaamiseen menee aikaa sekä esivalmistelu- että itse mittausvaiheessa.
- Oikean konfiguraation valitsemisessa on siis aina kyse siitä, mikä on kyseisen mittauksen vaadittava tarkkuustaso ja kuinka paljon aikaa on käytettävissä.
- Mittaustarkkuutta mietittäessä pitää vielä pohtia sitä, onko tarve absoluuttiselle vai ainoastaan relatiiviselle tarkkuudelle.

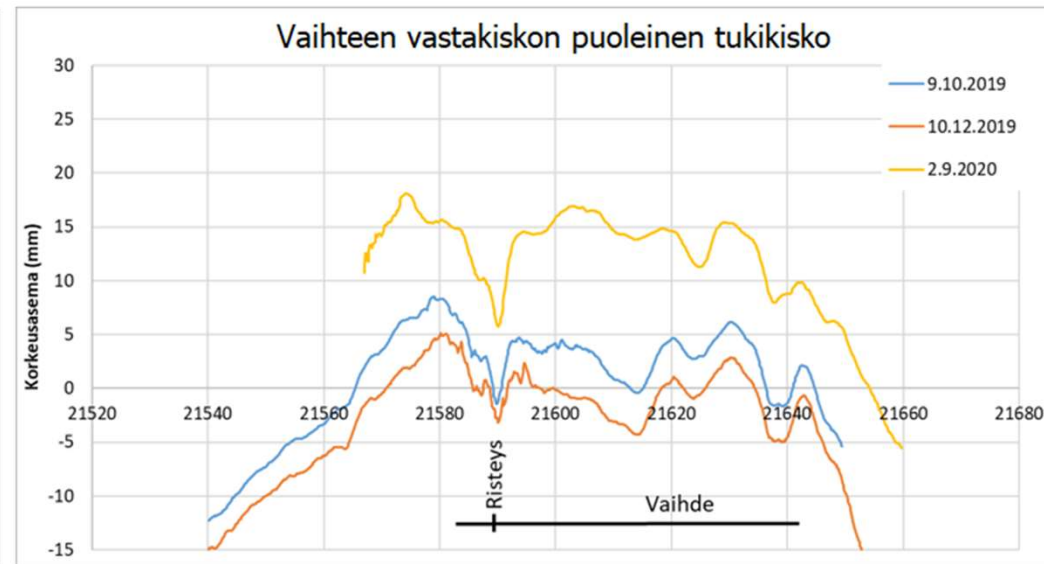
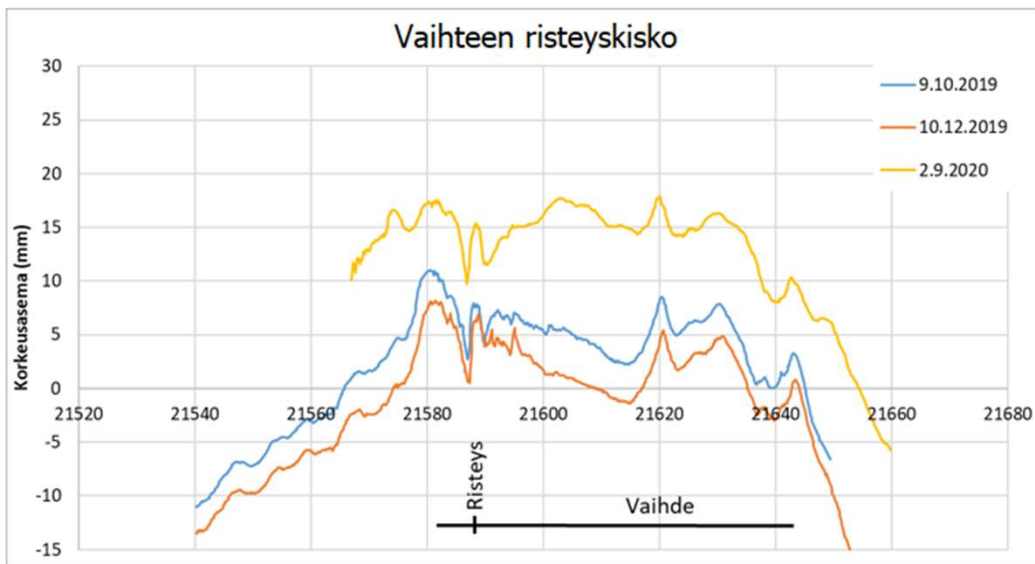


Lähde: <https://www.korecgroup.com/product/trimble-gedo-ims/>

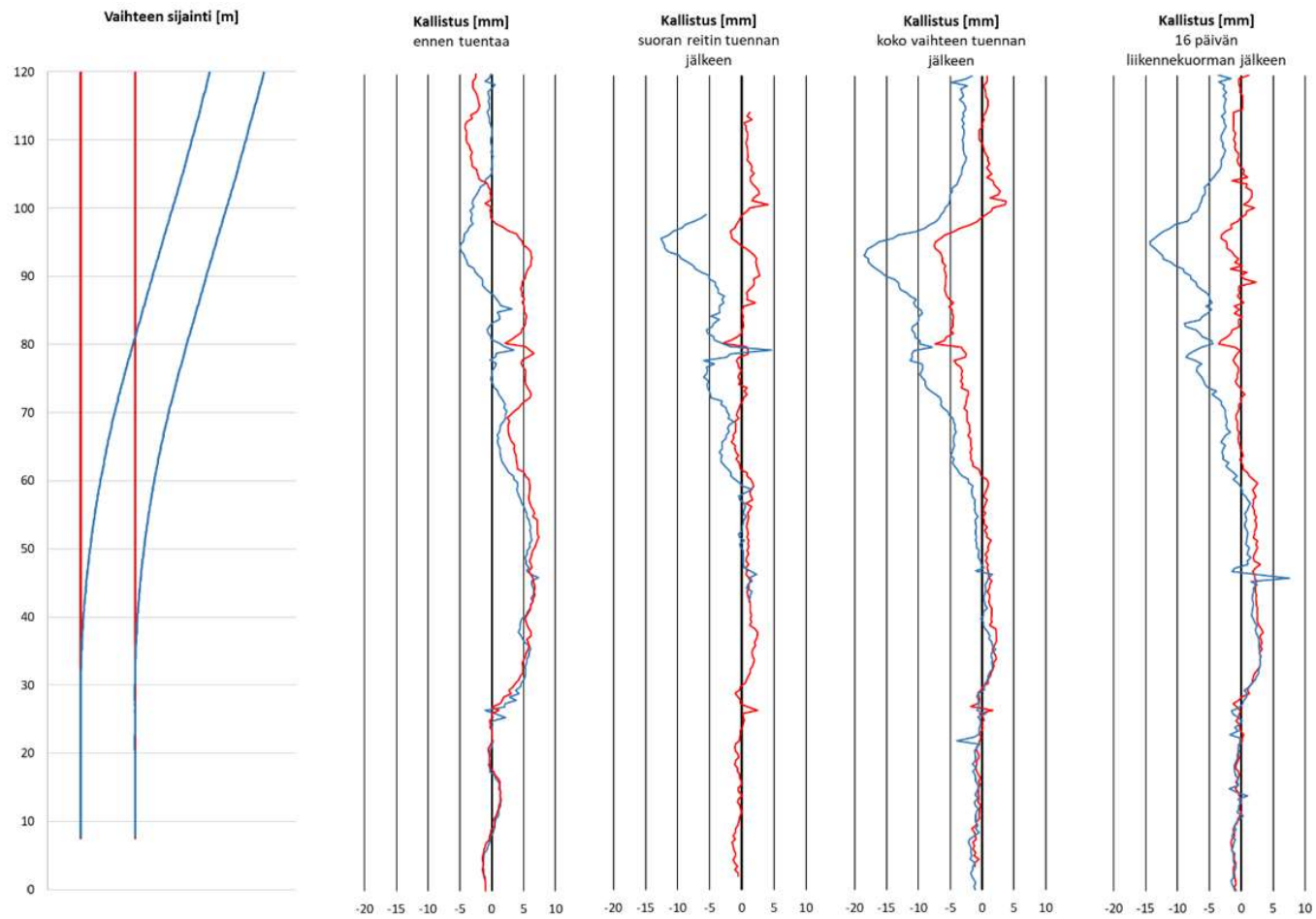


Mittaustulosten hyödyntäminen

- Vaunulla pystytään siis mittaamaan radan geometriaparametrit tarpeen vaatiessa vaikka 10 cm välein, jolloin tuloksena saadaan jatkuva geometriakäyrä niin pysty- kuin poikittaissuunnassakin.
- Varsinkin erityisgeometrioiden kohdalla tämä jatkuva käyrä antaa pistemäiseen mittaukseen verrattuna huomattavasti enemmän tietoa radan geometrisesta kunnosta.
- Tuentanuotti voidaan tämänkin jälkeen tehdä harvemmalla pistevälillä, mutta jatkuva geometriakäyrä antaa tiedon siitä, mistä kohdasta rataa nämä tietyt pisteet tulee antaa ja tuleeko pisteväliä kenties tihentää ongelmakohtien ympäristössä.
- On myös hyvin olennaista tietää, miten tuenta lopulta onnistui ja minkälainen geometria tuennassa saavutettiin suhteessa edeltävään tilanteeseen.



Mittaustulosten hyödyntäminen



Yhteenveto

- Nykyisin tukemisen yhteydessä tehtävä radan geometrian mittaaminen hoidetaan pääosin pistemäisen takymetrimittauksen avulla.
- Tämä on edelleen äärimmäisen hyvä keino selkeiden ja yksinkertaisten geometrioiden hallitsemiseen.
- Hankalampien rakenteiden kohdalla (vaihteet, jatkokset, sillat yms.) tarvitaan kuitenkin usein enemmän tietoa radan geometrian äkillisemmistä muutoksista, jolloin voidaan käyttää tiheään mittaamiseen kykenevää mittavaunua.
- Mittausvaunun potentiaali tulee parhaiten esille nimenomaan äkillisten geometriaongelmien havaitsemisessa ja niiden juurisyiden tunnistamisessa ja selvittämisessä.
- Mittavaunun käyttäminen ei siis automaattisesta paranna tukemisen laatua vaan se lisää ymmärrystä radan geometriasta, jolloin on mahdollista tehdä parempia valintoja tukemisessa.
- Mittavaunu voidaan varustaa useilla erilaisilla mittalaitteilla, jotka perustuvat hieman erilaiseen mittaustekniikkaan (takymetri, inertia, GNSS, laserkeilaus).
- Mitä tarkemmin mitataan, sitä enemmän aikaa kuluu.
- Oikean konfiguraation valitsemisessa on siis tärkeää tunnistaa, mitkä on vaadittava tarkkuustaso ja kuinka paljon aikaa on käytettävissä.



www.research.tuni.fi/terrarail

riku.varis@tuni.fi