

# **Raitiotieradan anturointi radan kunnossapidon välineenä**

iTrack-projekti



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Insinööri (AMK), Liikenneala, Riihimäen kampus

Kevät 2021

Vesa Tamminen

---

Tekijä	Vesa Tamminen	Vuosi 2021
Työn nimi	Raitiotieradan anturointi radan kunnossapidon välineenä	
Ohjaajat	Teppo Sotavalta (HAMK), Hannu Stam (HKL), Antti Sipiläinen (Sitowise)	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia raitiotieradan anturoinnin vaikutuksia radan kunnossapitoon ja selvittää sen eri mahdollisuuksia kehittää nykyisiä kunnossapidon työskentelymetodeja. Opinnäytetyö tehtiin HKL:n toimeksiannosta osana iTrack-projektia.

Alussa selvennetään raitiotieradan kunnossapidon nykytilannetta ja sitä, miten raitioteitä huolletaan tällä hetkellä. Tämän jälkeen kerrotaan iTrack-projektin tavoitteista sekä projektiin osaan ottaneista tahoista. Seuraavaksi työssä tutustutaan Helsingissä sekä Ranskan Yutzissa toteutettuihin pilotointeihin sekä projektin eri työvaiheisiin suunnittelusta asennustöihin ja näihin vaiheisiin vaadittaviin laitteistoihin. Lopussa perehdytään tuloksiin sekä laitteiden tuomiin hyötyihin kunnossapidon välineenä.

Lähtöaineistona käytettiin työn tilaajalta Helsingin kaupungin liikennelaitos (HKL) sekä iTrack-projektissa mukana olleilta Forum Virium Helsinki (FVH) sekä ranskalaiselta Institut de Soudure (ISA) saatuja aineistoja. Olin myös itse konkreettisesti läsnä Helsingin kohteissa dokumentoimassa sekä raportoimassa tapahtumista. Osallistuin myös asennustöihin.

Projektin tulosten perusteella voidaan todeta, että tärkein anti tästä tilaajalle oli saada uutta kokemusta ja tietoa tämänkaltaisesta vaihtoehdosta raitiotieverkoston kunnonseurantaan. Tämän projektin pohjalta ultraääniteknologia tässä muodossa ei ollut vielä valmis suoraan käyttöönnottoon raitioteille, mutta iTrack-projektin myötä HKL otti askeleen kohti tulevaisuutta, jolloin tällaista teknologiaa varmasti hyödynnetään monessa eri tarkoituksessa.

Avainsanat Anturointi, iTrack, kunnossapito, pilotointi, raitiotie

Sivut 45 sivua ja liitteitä 1 sivu

---

Author	Vesa Tamminen	Year 2021
Subject	Tramway track sensing as a track maintenance tool	
Supervisors	Teppo Sotavalta (HAMK), Hannu Stam (HKL), Antti Sipiläinen (Sitowise)	

---

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to study the effects of tram track sensing on track maintenance and to find out its different possibilities to develop current maintenance working methods. The thesis was commissioned by HKL as part of the iTrack project.

At the beginning clarifies the current state of tramway maintenance and how tramways are currently maintained are examined. After that, the goals of the iTrack project are detailed as well as the parties involved in the project will be described. Next, the work introduces the pilots carried out in Helsinki, Finland and Yutz, France as well as the various stages of the project, from design to installation work and the equipment required for these stages. At the end, the results and the benefits of the equipment as a tool for maintenance are examined.

The starting material, I used the materials received from the commissioner, the City of Helsinki Transport Authority (HKL) and the Forum Virium Helsinki (FVH) and the French Institut de Soudure (ISA), which were involved in the iTrack project. I was also concretely present at the Helsinki sites to document and report on events. I also participated in the installation work.

Based on the results of the project, it can be stated that the most important contribution to this client was to gain new experience and information from such an option for tramline condition monitoring. On the basis of this project, ultrasonic technology in this form was not yet ready for direct deployment on trams, but with the iTrack project, HKL took a step towards the future, where such technology will certainly be used for many different purposes.

Keywords iTrack, maintenance, pilot, sensor, tramway

Pages 45 pages and appendices 1 page

## Sisälllys

Määritelmiä .....	1
1 Johdanto .....	2
2 Raitiotieliikenteen kunnossapito .....	3
3 iTrack-projekti .....	5
3.1 Projektiin osallistuneet tahot .....	5
3.2 Projektin tavoite .....	6
4 Pilotointi .....	7
4.1 Pilotointi Suomessa .....	7
4.1.1 Koskela .....	10
4.1.2 Kiskon kulumisen manipulointi testi, Koskela .....	14
4.1.3 Arabia .....	16
4.2 Pilotointi Ranskassa .....	22
4.2.1 Yutz 1 .....	23
4.2.2 Yutz 2 .....	26
5 Datan kerääminen .....	28
5.1 Railis-alusta (dashboard) .....	28
5.2 LVDT-anturointi .....	30
5.3 Data analyysi kiskon katkomistestistä .....	35
6 Tulokset .....	37
6.1 Suomen pilotoinnin tulokset .....	37
6.1.1 Asennukset ja anturit .....	38
6.1.2 Datan käsittely ja Railis .....	39
6.1.3 LVDT-anturointi kokeilu .....	40
6.1.4 Ranskan pilotoinnin tulokset .....	42
6.2 Kehitettävää .....	42
7 Yhteenveto .....	44
Lähteet .....	45

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Koskelan pilotointikohde kuvattuna eri suunnista.....	7
Kuva 2 Arabian pilotointikohde .....	8
Kuva 3 Magneettiset kiinnikkeet ja kaapeleiden piillottaminen, Arabia .....	9
Kuva 4 Koskelan varikon pilotointikohteen ilmakehä ja laitteiden sijoituskuva.....	11
Kuva 5 Kiinnityskohdat hiottiin ja puhdistettiin. Lähetin ja vastaanotin, Koskela .....	12
Kuva 6 Sähkökaappi sai virtansa vaihteiden lämmityskeskuksesta, Koskela.....	13
Kuva 7 Uudet anturit ja magneettinen kiinnike asennettuna, Koskela .....	14
Kuva 8 Kiskon kulumisen manipulointi koe toteutettiin pyörösahalla, Koskela .....	15
Kuva 9 Kisko ensimmäisen ja toisen sahauksen jälkeen, Koskela .....	16
Kuva 10 Arabian kohde yön kaivuutöiden jälkeen .....	17
Kuva 11 Sähkökaappi kiinnitettynä sekä lämpötila-anturi, Arabia.....	18
Kuva 12 Aurinkopaneeli sekä sähkökaappi, Arabia .....	19
Kuva 13 Huomioita kiskoista, Arabia .....	20
Kuva 14 Arabian kohde täyttötöiden jälkeen sekä ”stopperi” sähkökaapin ovelta ....	21
Kuva 15 Akun vaihtaminen manuaalisesti, Arabia .....	22
Kuva 16 Aurinkopaneeli, Yutz 1 .....	23
Kuva 17 Magneettinen pidike, aurinkopaneeli ja sähkötarvikkeiden laatikko, Yutz 1 ...	24
Kuva 18 Ympäristön mittausanturit.....	25
Kuva 19 Teräsrakenne ja valvontajärjestelmä, Yutz 1 .....	26
Kuva 20 Toisen prototyypin valvontajärjestelmä, Yutz 2.....	27
Kuva 21 Railis-alustan pikakuvake sekä käynnistysikkuna .....	29
Kuva 22 Railis-alustan näkymä .....	30
Kuva 23 LVDT-anturi .....	30
Kuva 24 LVDT-anturit asennettiin ratapölkkyyn, Koskela .....	31
Kuva 25 Vanerilevy asennettiin tukemaan LVDT-anturia, Koskela .....	31
Kuva 26 Wapicen-laite .....	33
Kuva 27 LVDT-antureiden ja Wapicen-laitteen virranlähteet, Koskela .....	34
Kuva 28 Railis-alusta ennen kiskon leikkuuta.....	36
Kuva 29 Railis-alusta manipulaatio kokeen jälkeen.....	36

Kuva 30 Railis-alustan näkymiä .....	37
Kuva 31 Käyttäjien palaute Railis-alustasta.....	40
Kuva 32 Datakäyriä LVDT-antureista .....	41
Kuva 33 Lämpötilan vaikutus datakäyriin .....	42

## **Liitteet**

Liite 1	Aukean tilan ulottuma
---------	-----------------------

## Määritelmiä

**ATU** - Radan aukean tilan ulottumalla (ATU) tarkoitetaan raidetta pitkin ulottuvaa tilaa, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita. Raitiotien ATU ulottuu sivusuunnassa 950 mm kiskojen ulkopuolelle, jos raide on suora. (Liite 1, Aukean tilan ulottuma).

**FVH** - Forum Virium Helsinki

**HKL** - Helsingin kaupungin liikennelaitos

**ISA** - Institut de Soudure

**Kalalevy** on liitos tai metallinen tanko, joka on pultattu kahden kiskon päähän liittääkseen ne yhteen raiteeseen.

**LVDT** (Linear Variable Differential Transformer) - Sivuttais- ja pystyliikettä mittaava anturi.

**Pietsosähköinen materiaali** laajenee tai supistuu, kun siihen johdetaan sähkövirta ja palaa entiseen muotoonsa, kun virta katkaistaan.

**Pitch-Catch-tekniikka** - Sävelkorkeustekniikka on ultraäänitestauksessa käytettävä menetelmä, jossa säde heijastuu yhden tai useamman kerran ennen kuin se saavuttaa vastaanottimen.

**Pulssikaiku** - Käytetään paksuuden mittaamiseen ja vian koon määrittämiseen ultraäänitarkastuksessa, johon kuuluu indikaatiokaikujen tunnistaminen, kun signaali heijastuu testimateriaalirakenteen epäjatkuvuudesta.

**Vignole kisko** eli leveäjalkainen kiskoprofiili.

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee raitiotieradan anturointia ja mahdollisuuksia hyödyntää sitä kunnossapidon välineenä. Opinnäytetyön aihe valikoitui tilaajan tarpeiden mukaan. Raitiotieliikenteen suosiminen ja sen kehitystyö on ollut viime vuosien trendi Suomessa. Myös kunnossapidon eri keinoja ja välineitä halutaan päivittää sekä kehittää nykypäivän tarpeita vastaaviksi. Tämä voi tarkoittaa muun muassa tehokkuuden terävöittämistä ja sitä kautta myös erilaisiin resursseihin, kuten kustannuksiin.

Keväällä 2018 on aloitettu raitioliikenteen kehittämisohjelman toteuttaminen, joka hyväksyttiin Helsingin kaupunginhallituksessa. Kehittämisohjelmassa ovat mukana Helsingin kaupunki sekä Helsingin seudun liikenne (HSL). Kehittämisohjelma perustuu vuoden 2013-2016 valtuustokauden ratikkaprojektin työhön (Helsingin kaupunki, 2021).

Helsingin kantapungissa raitioliikenne muodostaa joukkoliikenteen perustan yhdessä metro- ja lähijunaliikenteen kanssa. Vuonna 2016 raitioliikennettä käytti 56,6 milj. matkustajaa, raitiotielinjoja oli käytössä 13 ja 140 vaunua kulki kiskoilla. Liikenteen luotettavuus oli 99,5 %. Raitioliikenteen uusi linjasto (10 linjaa) otettiin käyttöön 14.8.2017. Vuonna 2017 matkustajaliikenteessä käytettiin 127 vaunua. Matkustajamäärä oli 60,2 milj. matkustajaa. Matkustajamäärä nousi edellisestä vuodesta 3,6 milj. matkustajalla. Liikenteen luotettavuusaste nousi edellisestä vuodesta 0,34 % ja näin luvuksi saatiin 99,84 %. Ja näin ollen liikenteen luotettavuustavoite täyttyi (Helsingin kaupunki, 2017).

Raitioliikenteen tuotantokustannukset vuonna 2017 olivat 0,39 euroa/matkustajakilometri, mikä on enemmän kuin muulla raideliikenteellä (juna 0,14 euroa/matk.km, metro 0,08 euroa/matk.km) ja bussilla (0,31 euroa/matk.km Helsingin sisäisen bussiliikenteen osalta). Raitiovaunumatkat ovat yleisesti vain muutaman pysäkin mittaisia matkoja, joten tämän vuoksi seurataan, sitä kuinka paljon kustannuksia jokaisesta matkustajanoususta kertyy. Raitioliikenteen kustannukset vuonna 2017 yhtä matkustajanousua kohti oli 0,86 euroa (juna 1,42 euroa/matk.nousu, metro 0,53 euroa/matk.nousu) ja Helsingin sisäisen bussiliikenteen 1,47 euroa/matk.nousu (Helsingin kaupunki, 2017).



Jo käynnissä olevat suuret raitiotiehankeet kuten Raide-Jokeri sekä Kruunusillat todistavat, että raitioliikenteeseen on varattu huomattava määrä varoja ja tulevaisuudessa pääkaupunkiseudun kaupunkikuvaa koristaa yhä useampi raitiovaunu. Tampereen raitiotie todisti, että myös muualle päin Suomea suunnitellaan ja toteutetaan raitiotiehankeita. Tämän vuoksi iTrack-projektin kaltaiset tulevaisuuteen tähtäävät pilotointiprojektit ovat kullan arvoisia – vähintään kokemuksen ja uuden oppimisen myötä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Helsingin kaupungin liikennelaitos (HKL). Tilaajan toiveena oli saada kirjallinen raportti iTrack-projektin kulusta. Tämä opinnäytetyö toimii kyseisenä raporttina. Minä olin Helsingin kohteissa avustamassa sekä myös konkreettisesti asentamassa laitteita sekä dokumentoimassa ja raportoimassa tapahtumista. HKL omistaa Helsingin raitiotiet, metroradat ja -asemat sekä raitiovaunut ja metrojunat. Lisäksi HKL:n vastuualueeseen kuuluu Suomenlinnan lautta sekä kaupunkipyöräpalvelut. HKL:n raitioliikenne vastaa Helsingin raitioliikenteen operoinnista, raitiovaunujen kunnossapidosta, korjaamisesta sekä sen uudistamisesta.

## 2 Raitiotieliikenteen kunnossapito

Kunnossapidon tavoitteena on parantaa sekä kehittää radan vaihteiden ja radalla käytettävien laitteiden elinkaarta, nostattaa radan käyttövarmuutta ja ratalaitteiden käytettävyyttä, optimoida rata- ja ratalaitteiden käytettävyyssennustetta, vähentää radalla havaittuja häiriöitä ja tehdä raitioteistä mahdollisimman kustannustehokas. Raitioteiden kunnossapidossa on voimassa standardi, *BOStrab §57, DIN 31051, EN 13306*, joka määrittelee raitioteiden kunnossapidon huollon perusteet ja sen vuotuisien kunnossapitotarkastuksien määräajat (Raitiotietekniikan täydennyskoulutus, 2020-2021).

Kävin opinnäytetyö prosessin aikana HAMKin järjestämän raitiotietekniikan täydennyskoulutuksen. Luennot järjesti raitiotietekniikan pitkänlinjan asiantuntija Pentti Myllymäki.

Raitiotieradan kunnossapito voidaan jakaa neljään eri osioon:

## Huolto

Erilaiset huoltotoimenpiteet, joiden tarkoituksena on tehdä radan- ja vaihteidenrakenteiden elinkaaresta mahdollisimman pitkäikäinen. Huoltojen päämääränä on lähtötilan säilyttäminen. Tavallisimmat huoltotoimenpiteet ovat radan sekä kiskourien, että vaihteiden puhdistaminen ja voitelu, nurmiratojen kunnossapito, lehtikelitorjunta, vesakon torjunta, liukkauden torjunta, lumen ja jään poisto sekä erilaiset mittaustyöt ja raportointi (Raitiotietekniikan täydennyskoulutus, 2020-2021).

## Tarkastus

Erilaiset toimenpiteet, joiden tehtävänä on määrittää radan- ja vaihteiden kuntoluokitus. Tarkastuksien päämääränä on arvioida radan- sekä vaihteiden lähtötilan tasojen luokitus. Yleisimmät tarkastustoimenpiteet ovat erilaiset mittaukset ja tutkimukset, joiden perusteella voidaan luokitella radan- ja vaihteiden kuntoarvio. Tarkastuksiin kuuluu myös radan tarkastuskäynnit- ja ajot. Mittauksiin sisältyy ratageometrian sekä vaihteiden mittaamiset, kiskojen ja vaihteiden NDT-tarkastus (Non-Destructive Testing) eli rikkomaton aineenkoetus sekä myös dokumentointi ja raportointi (Raitiotietekniikan täydennyskoulutus, 2020-2021).

## Korjaava kunnossapito

Erilaiset kunnossapitotyöt, joiden tavoitteena on jälleen korjata rata- ja vaihderakenteet toimintakuntoon. Korjaavan kunnossapidon päämääränä on palauttaa rata- ja vaihteidenrakenteet lähtötilaan tai vähintään maksimoida rakenteiden elinkaaren pitkäikäisyys. Yleisimmät korjaustoimenpiteet ovat pienempien häiriöiden korjaaminen, osien kunnostaminen tai pienosien uusiminen, rikkoutuneiden ratapäällysteiden ja kiskojen tilapäiskorjaus/hitsaus/hionta, rikkoutuneiden ratalaitteiden korjaaminen (kiskot, vaihteet, kääntölaitteet, kiskonliikuntalaitteet, vaihteenohjaus), raportointi sekä dokumentointi (Raitiotietekniikan täydennyskoulutus, 2020-2021).

## Parantava kunnossapito

Erilaiset toimenpiteet, joilla pyritään nostamaan rata- ja vaihderakenteiden sekä laitteiden toimintavarmuutta teknisesti esimerkiksi radan päällysrakenteen rikkoutuessa sen

korjaaminen tai organisaatiotasolla esimerkiksi tehtävien uudelleenjärjestäminen/vuorojenjärjestely. Parantavan kunnossapidon päämääränä on nostattaa toimintavarmuutta niin teknisesti että organisaatiotasolla muuttamatta itse vaadittuja toimintatapoja. Yleisimmät toimenpiteet parantavassa kunnossapidossa ovat erilaiset suunnittelutyöt sekä tutkimukset, kuluneen radan uudelleen päällystys, esiasetustoimet, toteuttaminen ja dokumentointi (Raitiotietekniikan täydennyskoulutus, 2020-2021).

### **3 iTrack-projekti**

#### **3.1 Projektiin osallistuneet tahot**

iTrack on EIT Digitalin projekti, joka toteutettiin 1.1.-31.12.2020. Projektin tavoitteena oli saada markkinoille ultraääniteknologiaan perustuva tuote raiteiden kunnan seurantaan ja siitä kertyvän datan analysointiin. Projektiin osallistuneet tahot olivat:

EIT Digital - European Institute of innovation and Technology (EIT) on Euroopan digitaalista muutosta innovaatiotoiminnallaan ja yrittäjäkoulutuksellaan edistävä organisaatio (EIT Digital, 2021).

Institut de Soudure - Ranskalainen yritys, joka tarjoaa ratkaisuja hitsaus-, liittämisen- ja siihen liittyviin testaus- sekä koulutusaloihin Ranskassa ja muualla maailmassa (Institut de Soudure, 2021). Projektin vetovastuu kuului ISAlle sekä tuotteiden kehittäminen ja suunnittelu.

Forum Virium Helsinki - Helsingin kaupungin innovaatioyhtiö, jonka tavoitteena on tehdä Helsingistä maailman toimivin älykaupunki (Forum Virium Helsinki, 2021). FVH toimi kansainvälisen iTrack tuotekehitysprojektin paikallisena projektin vetäjänä.

Helsingin kaupungin liikennelaitos - HKL vastaa Helsingin metro-, raitiovaunu- ja lauttaliikenteen liikennöinnistä. HKL:n kunnossapito vastaa joukkoliikenteen infrastruktuurista ylläpitämisestä sekä huoltamisesta (Helsingin kaupunki, 2020). HKL:n vastuulla projektissa oli pilotoinnin toteuttaminen sekä kehitystyön tekeminen.

British Steel France Rail SAS - Merkittävä eurooppalainen rautateiden valmistaja ja British Steel -konsernin tytäryhtiö. Liberty Steel osti France Railin liiketoiminnan British Steeliltä projektin aikana elokuussa 2020 (Onstad, 2020). Rooli projektissa oli antaa yhteistyökumppaneille tietoja erilaisista kiskovaurioista ja -häiriöistä, muuttaa visuaalisia valintaperusteita laskettavaan muotoon, varmistaa käyttöliittymä loppukäyttäjien kanssa sekä mainostaa tuotetta.

### **3.2 Projektin tavoite**

Kiskon anturoinnin tarkoituksena oli, että raitiotiekiskoon asennetaan ultraäänellä mittaavia antureita ennalta määritetylle matkalle ja selvittää missä kunnossa kiskot ovat. Anturit kiinnitetään kiskoihin kiinni siten, että ne eivät aiheuta mitään haittoja tai vahinkoja kiskoon tai raitiovaunuihin. Projektin tavoitteena oli selvittää anturitekniikan eri mahdollisuuksia raitiotieradan kunnan seuraamisessa ja näin ollen mahdollisesti edistää raitioteiden ennakoivaa kunnossapitoa. Tehtävässä asennetaan anturit ratakiskoon ja antureiden lähettämät signaalit muodostavat dataa, joka siirtyy tietokoneohjelmaan, jonka perusteella voidaan tulkita kiskoon syntyvää tärinää ja sen vaikutuksia. Mittaukset suoritetaan raitiotieradalla, joka tulisi olla jo valmiiksi heikossa kunnossa sekä aktiivisessa käytössä. Pilotointia seurattiin vuoden 2020 loppuun saakka. Tulokset saadaan ohjelmallisesti näkyville ISAn kehittämään alustaan. iTrack-projektin pohjimmainen tavoite on mahdollistaa vaurioituneiden tai rikkoutuneiden kiskojen jatkuva seuranta, ja sen myötä tulevat hyödyt kunnossapidon ennakoivaan työskentelyyn. Tällä hetkellä raitiolinjojen kunnossapito kerryttää suuria kustannuksia. Kiskojen heikko kunto tai rikkoutumiset heikentävät matkustajan matkustuskokemusta tai voivat jopa aiheuttaa vaaratilanteita kiskon rikkoutuessa. Projektin suuri tavoite on parantaa raitiolinjanverkoston kuntoarviointia ja nostattaa verkoston elinkaarta. Uuden teknologian avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä sekä nostaa kunnossapidon tehokkuutta ja tuoda uusia työkaluja kiskojen kunnonseurantaan.

## 4 Pilotointi

### 4.1 Pilotointi Suomessa

Helsingin pilotointikohteiksi valikoitui Koskelan varikko sekä Arabian alueella kulkeva raitiotien pätkä Hämeentiellä. Koskelan varikon piha-alueella sijaitsee Helsingin ainoa paikka, jossa raitiovaunun kiskot eivät ole maan alla tai päällystetty (kuva 1.). Kyseiset kiskot ovat hyvin vanhoja, joten ne soveltuivat mainiosti tämän projektin testiraiteeksi. Piha-alue on erittäin rauhallinen eikä siellä ole raitiovaunujen lisäksi muuta liikennettä kuin henkilönkunnan ajoja. Raitiovaunut ajetaan Koskelan varikolle säilöön yöksi, niitä myös huolletaan sekä korjataan tarvittaessa varikolla. Projektin edetessä Koskelan varikolta syntyi muutamia haasteita, jotka olivat kuitenkin jo ennen paikan valitsemista tiedossa. Ensimmäiseksi ongelmaksi muodostui riittämätön sähkövirran saanti testikohtassa. Tämä ratkaistiin johtamalla virtakaapelit kymmenien metrien päässä sijaitsevaan vaihteiden lämmityskeskukseen. Toinen havaittu ongelma oli liian vähäinen liikenne testiraiteella. Tämän ratkaisuksi raitiovaunukuljettajia kehoitettiin ajamaan testiraiteen kautta aina kuin se oli mahdollista.

Kuva 1. Koskelan pilotointikohde kuvattuna eri suunnista (Vesa Tamminen, 2020).



Koskelan varikon antureiden asennustyön suoritti NRC Groupin sähköasentaja avustajineen. Alun alkaen tarkoituksena oli, että Institut de Souduren (ISA) insinöörit saapuisivat Suomeen, Helsinkiin ja osallistuisivat sekä avustaisivat asennustöissä. COVID-19 pandemian vuoksi ISAn insinöörien matka peruttiin ja asennustöiden ohjeistukset suoritettiin etäyhteyden avulla Ranskasta. ISAn rooli Ranskan päästä oli tärkeää myös sen suhteen, koska he valvoivat ja informoivat datan kulusta sieltä kautta.

Arabian pilotointikohte valittiin ensisijaisesti sen vilkkaan liikenteen vuoksi, mutta myös lyhyt etäisyys Koskelan varikolle sekä se, että pilotointikohteessa ei ole jalankulkijoita vaikuttivat päätökseen suuresti. Kohteen vieressä kulkee myös vilkasliikenteinen Hämeentie ja näin voidaan saada selville vaikuttaako esimerkiksi raskaan kuorma-auton kulkeminen radan vierellä tuloksiin. Kohteen ohitse kulkee myös kaksi vilkasta raitiovaununlinjaa. Yksi merkittävä tekijä myös paikan valintaan oli, että kiskojen välillä on soraa, nurmikkoa ja kiviä, joten kisko oli helppo kaivaa esiin antureiden asennustöitä varten.

Kuva 2. Arabian pilotointikohte (FVH, 2020).



Arabian pilotointikohteen asennustöiden suunnittelussa kävin yhdessä projektin muiden asianomaisten FVH:n, HKL:n sekä asennustyön toteuttavan NRC Groupin kanssa tarkastelemassa pilotointikohdetta. Tarkoituksena oli varmistaa, että kaikki näkökulmat ovat otettu huomioon asennustöiden suunnittelussa. Alkuperäistä sijaintia päätettiin vaihtaa,



koska kyseisessä sijainnissa olisi pitänyt poistaa asfalttia n. 8 metrin verran. Paikkaa siirrettiin n. 100 metriä Helsingin keskustan suuntaan alkuperäisestä paikasta. Sähkökaappi ja aurinkopaneeli asennettiin liikennevalotolppaan kiinni (kuva 2.), josta anturijärjestelmä sai virtansa. Alkuperäisessä suunnitelmassa anturit pystytettiin asentamaan vain 4 metrin etäisyydelle toisistaan, mutta uudessa sijainnissa asennus pystytettiin tekemään n. 20 metrin etäisyydelle toisistaan. Myös aurinkopaneelin sekä sähkökaapin asennus liikennevalotolpan taakse lisäsi laitteiden huomaamattomuutta vilkkaan tien laidalla. Arabian kohteen asennustöiden valmistelevat suunnittelut ja työt olivat helpompi tehdä, koska aiemmin tehdystä Koskelan varikon asennustöistä mukaan oli tarttunut paljon ennakkotietoa ja kokemusta laitteiden asennukseen. Näiden oppien myötä asennustyöt suoritettiin saman NRC Groupin sähkömiehen kanssa kuin Koskelan varikon asennukset suoritettiin. Minä toimin sähkömiehen apuna HKL:n puolelta sekä etäyhteydellä Ranskasta auttoi ISAn työntekijä. Toinen prototyypiversio anturista mahdollisti helpomman asennustyön, koska uuden anturin kiinnitystapa muuttui kiskon alla olevasta kannattimesta magneetiksi (kuva 3. vasemmalla). Tämän myötä kiskoa ei tarvinnut kaivaa kokonaan esiin vaan kiskon ulkosivureunan esiin kaivaminen riitti antureiden asentamiseksi. Yksi ennakkoon mietitty mahdollinen ongelma oli, että minne laitteeseen kuuluvat erilaiset kaapelit saataisiin suojattua ja piilotettua. Pulma ratkesi asennustöiden edetessä, kun todettiin, että kaapelit saataisiin piilotettua maan alle kiskon vierelle (kuva 3. oikealla).

Kuva 3. Arabia. Anturit pysyvät kiskossa kiinni magneettisella kiinnikkeellä. Kaapelit piilotettiin hiekan alle kiskon vierelle (Vesa Tamminen, 2020).



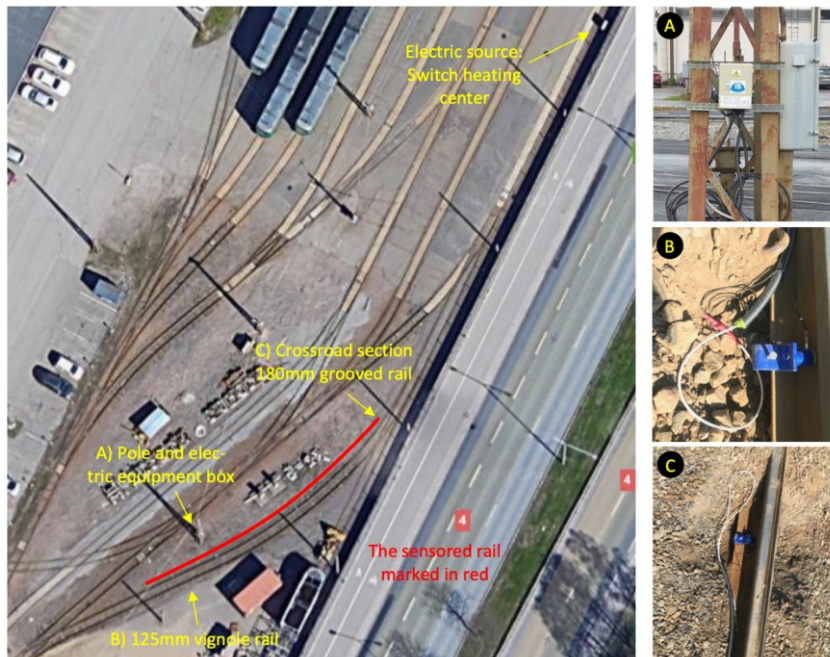
Koskelan varikko on suljettu alue, jossa on hyvin vähän liikennettä, kun taas Arabian pilotointikohte on julkisella alueella, siellä on vilkas raitiovaunuliikenne ja testauskohdan ohitse ajaa päivittäin kymmeniätuhansia autoja. Tämän vuoksi Arabian turvallisuusasioita oli tarkasteltava monesta näkökulmasta. Asennustyötä tehneen tiimin turvallisuustyötä tehtäessä, auto- sekä raitiovaunuliikenteen mahdollisimman vähäinen häirintä mahdollisuuksien mukaisesti, laitteiden turvaaminen sekä huomiota herättämättömyys. Laitteet ja työt oli tehtävä niin, että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän huomiota kansalaisissa, jotta laitteet eivät houkuttelisi mahdollisia ilkeivallantekijöitä. Joten ainoa mahdollinen antureiden asennukseen vaadittava ajankohta, jotta kaikki edellä mainitut turvallisuusvaatimukset täyttyisivät, oli klo 1:00-4:00 jolloin kohteessa ei ole määritettyä raitiovaunuliikennettä sekä autoliikenne on vähäistä.

#### **4.1.1 Koskela**

Asennustyöt aloitettiin Koskelan varikolla 24.6.2020. ISA toimitti laitteiden asennusohjeen, jota noudatettiin asennuksen aikana. Ensimmäiseksi sähkökaappi kiinnitettiin pylvääseen. Laitteiden mukana toimitetut kiinnikkeet eivät sopineet pylvääseen, joten sähkökaappi lopulta pultattiin pylvääseen kiinni. Tämän jälkeen kiskot kaivettiin esiin ja kaapelit asennettiin kulkemaan kiskon laita pitkin. Kaapelit putkitettiin koko matkalta sääsuojauksen vuoksi. Ensimmäiset anturit asennettiin kiskoon n. 30 metrin etäisyydelle toisistaan. Lähetin asennettiin etelään ja vastaanotin pohjoiseen pylvästä (kuva 4.). Tässä Koskelan varikon pilotointi kohteen osassa käytetään 125 mm Vignole kiskoa lukuun ottamatta raiteiden risteyskohtaa, jossa käytetään 180 mm urakiskoa. Ensimmäiset tiedot lähetettiin ja vastaanotettiin ISAlle Ranskaan. Datan siirrossa käytettiin Telian IoT-datayhteyttä ja se toimi koko pilotoinnin ajan hyvin.



Kuva 4. Koskelan varikon pilotointikohteen ilmakuva sekä laitteiden sijoituskuva (Vasemmalla: Google Maps. Muokattu: Vesa Tamminen. Oikealla: FVH, 2020).



Asennuksen jälkeen ISA ilmoitti Ranskasta HKL:lle, että datan laatu ei ollut riittävän laadukasta tuntemattomasta syystä. Dataongelman ratkaisemiseksi seuraavana päivänä 25.6.2020 antureiden kiinnityskohdat hiottiin ja puhdistettiin (kuva 5. vasemmalla). Anturien kiinnityskohtia muutettiin ja vian tutkimista jatkettiin. Lähettimen ja vastaanottimen toiminta varmistettiin asettamalla ne vastakkain (kuva 5. oikealla). Seuraavana päivänä todettiin, että signaalissa havaittiin jokin tietty taustahäiriö, joka häiritsi datan luotettavuutta. Laitteen virtalähteen maadoitusta säädettiin, erilaisia puristusvoimia kokeiltiin kiinnityskappaleilla. Näiden testauksien jälkeen päätettiin, että antureiden pitää olla tehokkaampia luotettavamman laadun saavutettavaksi.

Uudet tehokkaammat anturit lähetettiin Ranskasta ja vastaanotettiin 1.7.2020. Aluksi näytti siltä, että uusilla antureilla ei ollut vaikutusta datan laatuun. Antureiden kiinnikkeiden puristusvoimaa säädettiin uudelleen, jotta häiritsevä melu saataisiin pois. Anturit päätettiin kokeiluna asentaa vain kolmen metrin päähän toisistaan, minkä seurauksena data parani huomattavasti. Antureiden etäisyyttä toisistaan muutettiin viiden metrin välein aina 20 metriin saakka. Antureiden kiinnityskohdat hiottiin ja puhdistettiin aina ennen uutta kiinnitystä. Lopulta sovimme, että ISA lähetettiin vielä uusia antureita, joissa on matalampi taajuus, koska toivottuja tuloksia ei saavutettu 20 metrin etäisyyksillä.

Kuva 5. Vasemmalla: Antureiden kiinnityskohdat hiottiin ja puhdistettiin ennen kiinnitystä. Oikealla: Lähettimen ja vastaanottimen toimivuus tarkastettiin asettamalla ne vastakkain (FVH, 2020).



Uudet matalataajuisemmat anturit vastaanotettiin 3.7.2020. Anturit kytkettiin 20 metrin etäisyydelle toisistaan ja data parani merkittävästi aikaisemmasta. Uusia kokeiluja suoritettiin. Viimeisimpänä lähetetyt anturit olivat kooltaan suurempia kuin edelliset, joten niiden asentaminen oli hankalaa. Vaadittiin lisää kaivuutöitä kiskon viereltä. Kookkaampia antureita ei pystytty asentamaan ohuempaan Vignole kiskoon kokonsa vuoksi. Testejä tarvittiin lisää paksummasta 180 mm urakiskosta. Testit jatkuivat 6.7.2020 180 mm urakiskolla, jossa oli kaksi anturia kiinni, koska kookkaammat anturit eivät mahtuneet Vignole kiskoon. 180 mm kiskoon rakennettiin kiinnittimiä ja anturit kiinnitettiin siihen magneettisella pidikkeellä. Datan laatu oli riittävän hyvää ja näin päätettiin jättää suuremmat anturit kiinni 20 metrin etäisyydelle toisistaan. Kokeita jatkettiin 22.7.2020 ja päivän päätteeksi edellinen anturisarja asennettiin takaisin 125 mm Vignole kiskoon 20 metrin etäisyydelle toisistaan. Datan laatu todettiin laadukkaaksi. Pilotoinnin aikana havaittiin Koskelan varikon kohteessa datakatkoksia 1.-2.9.2020 klo 10:48-10:46 ja 19.-21.9. kello 9:51-9:48. HKL tutki syyn ja sen perusteella pääteltiin, että vaihteiden lämmityskeskus oli käynnistetty uudelleen edellä mainittuihin aikoihin. Sähkökaapin virta tulee vaihteiden lämmityskeskuksesta (kuva 6.). Asennustyön suoritti NRC Groupin sähköasentaja ja hänen tiiminsä. Mukana myös oli Suomen osan projektipäällikkö FVH:sta sekä etäyhteydellä hankkeen projektipäällikkö ISasta Ranskasta.

Kuva 6. Sähkökaappi sai virtansa vaihteiden lämmityskeskuksesta (Vesa Tamminen, 2020).



Koskelan varikon kohteen datan laatu heikkeni 11.11.2020 ja ongelman korjaamiseksi minä kävin kiristämässä antureiden pidikkeiden pultteja. Pulttien kiristäminen ei tuonut toivottua tulosta, vaan datan laatu oli edelleen heikkoa. Tämän takia ISAlta lähetettiin samanlaiset magneettiset pidikkeet ja anturit kuin Arabian kohteessa käytettiin onnistuneesti. Uudet anturit ja magneettiset pidikkeet saapuivat Helsinkiin 13.11.2020 ja minä asensin ne Koskelan varikon testikiskoihin (kuva 7.) ISAn avustaessa etänä Ranskasta. Anturien ja kiinnikkeiden vaihdon jälkeen datan laatu oli taas hyvä.

Pilotoinnin aikana HKL oli myös kiinnostunut seuraamaan kiskon pitkä- sekä lyhytaikaista liikettä, koska ne vaikuttavat ratavaurioihin. Siksi iTrack-laitteiden lisäksi Koskelan pilotointi kohteeseen asennettiin testiksi LVDT-antureita (Linear Variable Differential Transformer). LVDT-anturit asennettiin Koskelan varikolle 4.11.2020. Asennuksen suorittivat FVH:n työntekijä minun avustuksellani. Lisää LVDT-antureista ja niiden asentamisesta sekä testien tuloksista luvussa 5.2 LVDT-anturointi.



Kuva 7. Uudet anturit ja magneettinen kiinnike asennettuna Koskelassa (Vesa Tamminen, 2020).



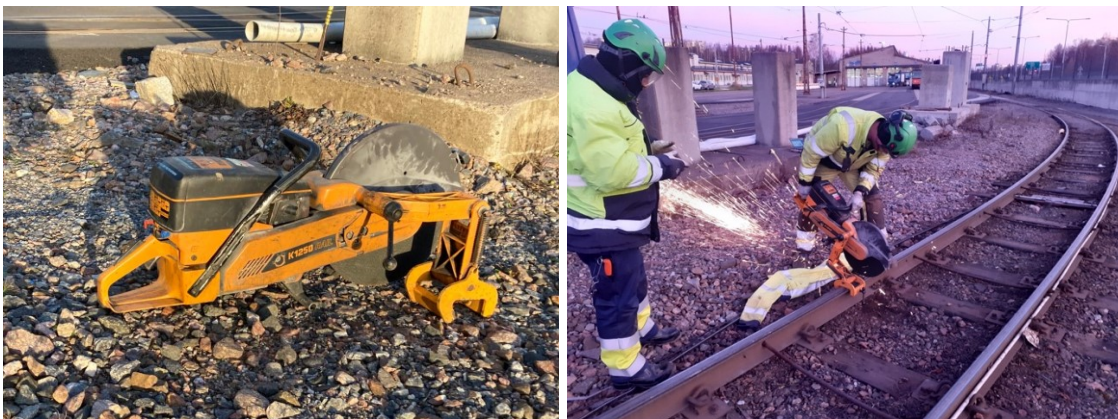
#### 4.1.2 Kiskon kulumisen manipulointi testi, Koskela

ISA ja Liberty Steel (ennen France Rail Industry) ovat aiemmin testanneet ultraäänitekniikkaa kiskon kunnan seuraamiseen. Kokeet tehtiin sekä laboratorio-olosuhteissa että oikealla kiskolla Ranskassa. Kiskon vaiheittaisella katkomisella oli tarkoituksena manipuloida kiskon kulumisen eli teoriassa nopeuttaa kiskon kulumista sahaamalla sitä vaiheittain poikki. Jokaisen leikkausvaiheen jälkeen ISA tutki havaintojaan kiskonvalvontajärjestelmästä. Samantapainen koe oli tarkoitus järjestää myös Koskelan varikolla, Helsingissä. Koskelan varikko valittiin kohteeksi useista eri syistä, kuten siksi, että kokeen suorittaminen suljetulla yksityisellä ratapihalla oli paljon helpompaa ja turvallisempaa kuin vilkkaassa sekä julkisessa Arabian kohteessa. Koskelan varikolla oli myös mahdollista järjestää kyseinen koe päiväsaikaan sulkemalla testikisko käytöstä kokeen ajaksi, kun taas Arabian kohteessa koe olisi pitänyt järjestää yöllä. Koskelan varikon kiskot olivat myös maanpinnan yläpuolella, joten kaivantotöitä tai muita toimenpiteitä ei tarvittu tehdä. Näin säästyttiin ylimääräisiltä kuluilta. Koskelan varikon kiskot ovat myös vanhat ja ne olisi vaihdettu joka tapauksessa vuoden 2021 aikana.

Kiskojen manipulointitutkimus toteutettiin 7.12.2020. Sen tarkoituksena oli selvittää Railis-alustan toimivuutta ja kerätä dataa kiskon kunnosta. Kiskojen vaihtaminen on aikaa vievää työtä, joten vaihtotyöt oli suoritettava yöllä riskien ja muiden haittojen minimoimiseksi. Jouduimme suorittaa Koskelan varikon kiskon leikkaamisen vain kahdessa osassa aikarajoituksen vuoksi. Alkuperäisen suunnitelman mukaan leikkauksia olisi ollut kuusi. FVH:n Helsingin osan projektipäällikkö valvoi tutkimusta ja osallistui dokumentointiin. Kiskon leikkaamisen ja myöhemmin vaihtamisen suoritti HKL:n kunnossapitotiimi. Minä dokumentoin kaikki leikkaukset ja kuvasin sekä videoin kaikki vaiheet eri toimenpiteistä. Seurasin myös Railis-alustan toimintojen sujuvuutta kokeen aikana. HKL:n laatuinsinööri oli mukana ensimmäisessä leikkausosuudessa ja osallistui myös dokumentointiin. Laatuinsinööri myös valvoi Railis-alustan toimintoja ja seurasi muutoksia verkossa, kun ei ollut enää paikalla toisen leikkauksen aikana.

Kiskon leikkaus suoritettiin pyörösahalla (kuva 8.) Railis-alustan toimivuuden ja käytettävyyden testaamiseksi. Sahaus oli tarkoitus aloittaa klo 8:00 Suomen aikaa, mutta alku viivästyi melkein tunnilla Railis-alustan odottamattomien teknisten ongelmien vuoksi. Alun perin minun piti jakaa oman tietokoneen näyttöä, jossa Railis-alusta olisi ollut avoinna HKL:n laatuinsinöörille Google Meet- videopuhelun kautta, koska Railis-alustan käyttöoikeudet rajoittuvat kahteen samanaikaiseen käyttäjään ISA:n ulkopuolella. Tuntemattomasta syystä Railis ei toiminut. Tilanne ratkaistiin, kun FVH:n projektipäällikkö ajoi FVH:n toimistolle ja käynnisti Railiksen toimiston pöytätietokoneella ja aloitti jakamaan näyttöä muille Google Meet -videopuhelun avulla. Kello 8:56 kiskon manipulointi koe pystyttiin aloittamaan.

Kuva 8. Kiskon manipulointi koe toteutettiin pyörösahalla (FVH, 2020).



Ensimmäiseksi kiskoa leikattiin noin 50 % (kuva 9. vasemmalla). Tämän jälkeen tiimi odotti kello 11:40 asti, jotta dataa ehti kertyä tarpeeksi vaurioituneesta kiskosta. Data kulki aina puolen tunnin syklein järjestelmään. Toinen leikkaus aloitettiin kello 11:42. Pyörösahan terä oli löystynyt ensimmäisestä leikkauksesta ja yritys epäonnistui. Myös toinen yritys epäonnistui, koska terä ei kestänyt leikkaamaan vanhaa leikkausuraa pitkin vaan rikkoontui. Tämän takia päätettiin sahata muutama sentti vanhan leikkausuran vierestä. Kisko saatiin lopulta sahattua kokonaan poikki klo 11:54 kolmannella yrittämällä (kuva 9. oikealla). Tämän jälkeen jälleen täytyi odottaa, jotta data ehti kertyä järjestelmään. Päätettiin odottaa yhteensä viisi datalähetystä eli yhteensä 2,5 tuntia, jotta tarpeeksi datakertymää kertyisi. Railis-alustan käyttökokemuksesta ja sen tuloksista on esitetty lisää luvussa 5.1 Railis-alusta. Tämä kokeilu päätti Koskelan varikon pilotoinnin ja HKL:n sähköasentajat sammuttivat virrat laitteista klo 15:00. Leikkauksien ja kokeen päättymisen jälkeen minä ja FVH:n työntekijä poistettiin iTrack- ja LVDT-laitteet, jotta HKL:n kunnossapitotiimi pystyi aloittamaan kiskon vaihtamistyöt.

Kuva 9. Vasemmalla: Kisko ensimmäisen sahauksen jälkeen. Oikealla: Kisko toisen sahauksen jälkeen (Vesa Tamminen, 2020).



#### 4.1.3 Arabia

Arabian pilotointikohteen asennuksen alustavat työt suoritettiin 10.-11.9.2020 välisenä yönä. Työt oli suoritettava yöllä Arabian kohteen vilkkaan raitiovaunu- ja autoliikenteen



vuoksi. Kiskon ulkoreunusta kaivettiin esiin, jotta anturit voidaan asentaa magneettipidikkeiden avulla ja kaapelit saadaan suojaan maan alle. Kaivuutyön suoritti HKL:n kunnossapitotiimi (kuva 10.).

Kuva 10. Arabian kohde yön kaivuutöiden jälkeen (HKL, 2020).



Asennustyöt aloitettiin 14.-15.9.2020 välisenä yönä. ISA toimitti uuden asennusohjeen tälle sijainnille. Ensimmäiseksi sähkölaatikko kiinnitettiin liikennevalotolppaan kannattimien avulla. Sähkökaappia piti tukea lisää pienillä putkikappaleilla, mutta se ei riittänyt pitämään sähkökaappia tukevasti paikoillaan. Siksi liikennevalotolpan ja sähkökaapin väliin asennettiin paksumpi putken palanen vielä pienempien tuki putkikappaleiden lisäksi. Tämän jälkeen sähkökaappi pysyi tukevasti kiinni liikennevalotolpassa (kuva 11. vasemmalla). Seuraavaksi antureiden kiinnityskohtat hiottiin ja puhdistettiin kiskosta. Sähkökaapin johdot asennettiin kulkemaan putken sisällä liikennevalotolppaa pitkin maahan, näin johdot pysyivät suojassa. ISAn tarrat kiinnitettiin seuraavaksi sähkökaappiin ISAn antamien ohjeiden mukaisesti. Seuraavaksi lämpötila-anturit kiinnitettiin kiskoon. Lämpötila-anturin asennuksessa ilmeni pieniä hankaluuksia. Teippi, jolla anturi oli tarkoitus kiinnittää ei tarttunut kiskoon kunnolla liian vuoksi. Lämpötila-anturin kiinnityskohtaa hiottiin ja puhdistettiin, jonka jälkeen teippi tarttui kiskoon ja anturi onnistuttiin asentamaan paikoilleen. Tämän jälkeen anturi suojattiin peittelemällä se hiekalla ja soralla (kuva 11. oikealla).

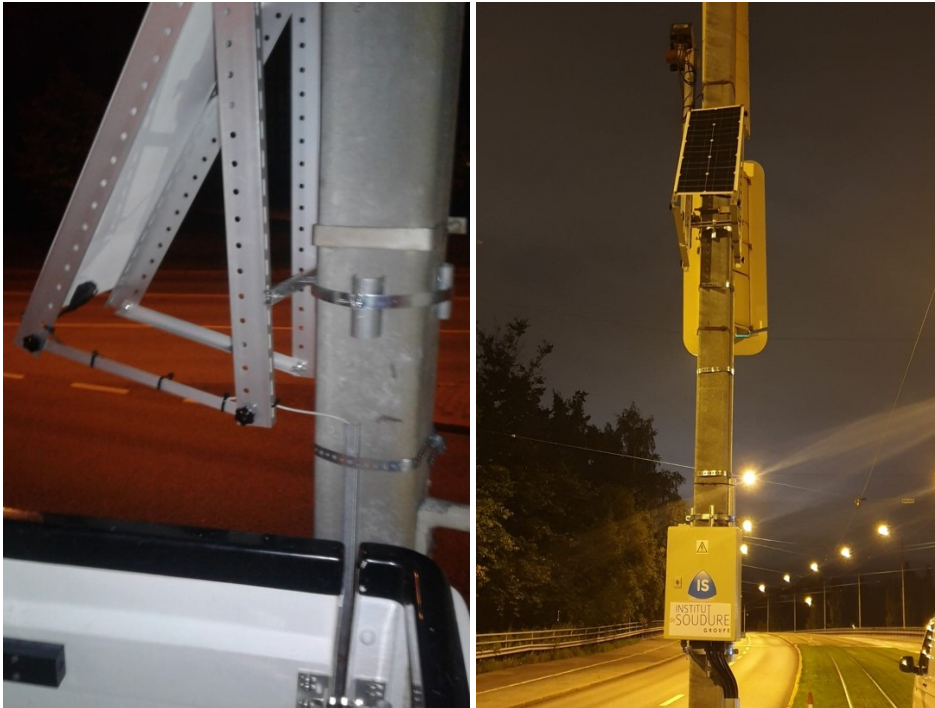
Kuva 11. Vasemmalla: Sähkökaappi kiinnitettyä liikennevalotolppaan. Putkenpalat varmistavat tukevan kiinnityksen. Oikealla: Lämpötila-anturi asennettiin kiskon alareunaan teipillä (Vesa Tamminen, 2020).



Aluksi anturit asennettiin 10,3 metrin etäisyydelle toisistaan. Virta kytkettiin päälle sähkökaapista ja datan siirto vahvistettiin Ranskasta onnistuneeksi. Sähkökaappia vielä siirrettiin liikennevalotolpan toiselle sivulle, jotta sähkökaappi pysyisi ATU-rajoissa (kuva 12. oikealla). ATU-rajan mitat (Liite 1.).



Kuva 12. Vasemmalla: Aurinkopaneelin kiinnityksessä käytettiin samaa metodia kuin sähkökaapin. Oikealla: Sähkökaappi käännettiin 90°, jotta se pysyisi ATU:n rajoissa (Vesa Tamminen, 2020).



Seuraavana yönä aurinkopaneeli kiinnitettiin liikennevalotolppaan liikennevalojen taakse. Aurinkopaneelin kiinnityksessä käytettiin samaa metodia kuin sähkökaapin kiinnityksessä (kuva 12. vasemmalla). Myös aurinkopaneelin tukevan kiinnityksen varmistamiseksi tarvittiin pieniä putken kappaleita tueksi. Aurinkopaneelin anturi sääsuojattiin teipillä ja sen kaapeli sijoitettiin sähkökaappiin liikennevalotolppaa pitkin kulkevan putken sisälle. Data kokeet suoritettiin ja datan kulku onnistui. Tämän jälkeen laskettiin antureiden välillä olevan kiskon reikien, pulttien ja hitsauksien lukumäärä, koska ne voivat vaikuttaa tuloksiin. Testaus välillä oli kaksi reikää, 24 pulttia ja yksi hitsausauma (kuva 13.). Kun työryhmä sai työn tehtyä, anturit ja kaapelit peitettiin hiekalla. Asennustyön suoritti sama NRC Groupin sähköasentaja kuin Koskelan varikon asennustyöt ja hänen apumiehensä, HKL:ltä minä avustin asennuksissa ja dokumentoin toimenpiteet myös projektin projektipäällikkö ISasta avusti ja tarkasti datan laatua etäyhteydellä Ranskasta.

Kuva 13. Arabian pilotointikohteessa kiskossa oli yksi hitsausauma, kaksi reikää ja 24 pulttia (Vesa Tamminen, 2020).



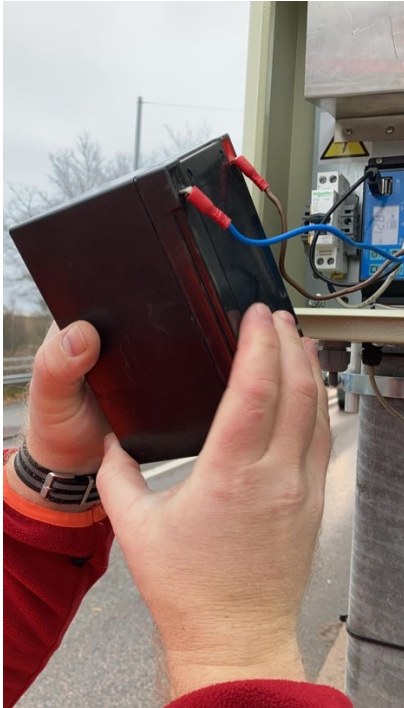
HKL:n kunnossapitotiimi suoritti Arabian kohteen täyttötöyt 17.9.2020 (kuva 14. vasemmalla). Täyttöjen jälkeen suoritettiin datankulku testit ja datan laatu oli hyvä. NRC Groupin sähkömies asensi sähkökaappiin "stopperin", jotta ovi ei pääse avautumaan ATU-ajan ylitse vahingossakaan (kuva 14. oikealla).

Kuva 14. Vasemmalla: Arabian kohde täyttötöiden jälkeen. Oikealla: Sähkökaappiin asennettiin "stopperi", jotta ovi ei aukea ATU:n rajojen yli (Vesa Tamminen, 2020).



Datan laatu oli hyvä Arabian kohteessa, mutta valitettavasti datan kulku loppui ISAn palvelimelle 26.9.2020. Asiaa tutkittiin ja todettiin, että aurinkopaneeli ei tuota tarpeeksi virtaa virtalähteen ylläpitämiseksi. Paneeli täytyi suunnata kohti pohjoista, joka ei ole auringon valon keräämisen suhteen ihanteellisin suunta kohteessa. Aurinkopaneelin sijaintia ei voitu muuttaa, koska muuten se ei olisi enää liikennevalojen takana piilossa eikä paneelia myöskään voinut kääntää, koska silloin paneelin kiinnitysteline ylittäisi ATU-rajan. Jotta akku kestäisi kauemmin, ISA lähetti uuden, tehokkaamman aurinkopaneelin. Sama NRC Groupin sähköasentaja kuin aikaisemmin asensi minun kanssani uuden aurinkopaneelin 7.-8.10.2020 välisenä yönä. Jo seuraavana päivänä voitiin todeta, että edes uusi aurinkopaneeli ei tuota tarpeeksi virtaa akun jatkuvaan ylläpitoon. Koska laitteiden suora sähkövirran saanti ei ollut mahdollista Arabian kohteessa, ISA lähetti uuden vastaavan akun vaihtoakuksi ja akkua vaihdettaisiin aina tarvittaessa manuaalisesti (kuva 15.). Tästä voitiin todeta, että syksyllä/talvella Helsingissä pohjoiseen osoittava aurinkopaneeli ei tuota tarpeeksi aurinkovoimaa, jotta akku latautuisi tarpeeksi päivisin. Keskimääräisesti akkua täytyi vaihtaa manuaalisesti kuuden päivän välein virtalähteen ylläpitämiseksi.

Kuva 15. Akun vaihtaminen manuaalisesti Arabian kohteessa (FVH, 2020).



## 4.2 Pilotointi Ranskassa

Institut de Soudure (ISA) kehitti ja asensi kaksi iTrack-laitteen prototyyppiä ISAn Yutzin-keskukseen Ranskassa. Ensimmäinen prototyyppi kehitettiin enimmäkseen ympäristöparametrien huomioon ottamiseksi. Pitkäaikaisessa seurannassa ympäristöolosuhteet vaihtelevat usein ja aiheuttavat suuria muutoksia anturin antamiin mittaustuloksiin. Toisen prototyypin kehityksessä on keskitytty pääasiassa pitkien kaapeliyhteyksien toimivuuteen. Lähetin-/vastaanottoanturi tulee sijoittaa kiskoon siten, että ne pystyvät muodostamaan/vastaanottamaan rakenteita pitkin ultraääniaaltoja. Pitkien rakenteiden, kuten kiskojen vuoksi myös elektroniikkalaitteiden virtakaapelit tulee olla hyvin pitkiä, jotta laitteet ja anturit voidaan liittää toisiinsa. Toinen prototyyppi koostuu kahdesta moduulista: Lähetinmoduuli ja vastaanotinmoduuli. Lähetinmoduuli asennetaan lähettimen viereen ja vastaanotinmoduuli anturin viereen. Ranskan pilotoinnissa käytetyt kiskot saatiin France Rail Industry:ltä. Molemmista Ranskan piloteissa kiskojen pituudet olivat n. 9 metriä.



#### 4.2.1 Yutz 1

Ensimmäinen prototyyppi kehitettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa elektroniset laitteet asetettiin ABS-polymeerilaatikkoon, joka on IP 65 luokituksen kosteiden tilojen kytkentärasia. Aurinkopaneelia käytettiin järjestelmän virtalähteenä akun välityksellä. Aurinkopaneelin teho on 20 W ja akun kapasiteetti on 12 Ah ja nimellisjännite 12 V. Kuten (kuva 16.) on esitetty, kaksi kiskoa asetetaan vierekkäin. Tässä pilotoinnissa aurinkopaneelin sijoitettiin kiskojen viereen.

Kuva 16. Ranskassa Yutzin 1 pilotissa aurinkopaneeli asennettiin maahan kiskojen viereen (ISA, 2020).



Ennen kuin anturit asennettiin kiskoon, kiskon pintaa hiottiin karkealla hankausaineella, jotta ruostuneen materiaalin pinnasta tulisi tasainen ja puhdas. Näin anturin ja kiskon välille saadaan parempi yhteys. Datan laatu heikkenee, jos anturin kiinnityskohta on ruosteinen tai likainen. Anturit kiinnitettiin kiskoon magneettipidikkeiden avulla (kuva 17. vasemmalla). Tämä järjestely on samanlainen kuin pulssikaiussa, koska anturin oletetaan vastaanottavan kiskosta tulevia heijastuneita ultraääniaaltoja, jonka datajäljestä voi päätellä, että onko kiskossa vikoja. Lisäksi kiskoon kiinnitettiin lämpötilamittari kiskon lämpötilojen seuraamiseksi. Lämpötila-anturin mittausalue on  $-40\text{ °C}$  -  $+220\text{ °C}$ .

Järjestelmän ensimmäinen asennustyö alkoi 20.5.2020. Aurinkoenergian perusteella järjestelmä oli jatkuvasti käynnissä 23.7.2020 asti, jolloin järjestelmä keskeytettiin, jotta pystyttiin tekemään korjaus/parannus toimenpiteitä.

Kuva 17. Vasemmalla: Magneettinen pidike Yutzin 1 pilotissa. Oikealla: Aurinkopaneeli ja sähkötarvikkeiden laatikko (ISA, 2020).



Toisessa vaiheessa ensimmäiseen prototyyppiin lisättiin useita ympäristöä mittaavia antureita:

Kuvassa (18. vasemmalla) on anturi, jota käytetään ilman lämpötilan ja kosteuden mittaamiseen. Lämpötilan mittausalue on  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja kosteuden mittausalue on 0-100 %. Kosteuden mittaustarkkuus on n. 3 %.

Kuvassa (18. keskellä) on kirkkausanturi. Kirkkauden mittausalue on 0-500 luxia.

Kuvassa (18. oikealla) on sade- /lumianturi. Anturit on kytketty releen kytkentään. Rele sammuu, jos anturin pinta kastuu. Anturit ovat pölytiivisiä ja roiskesuojattuja IP54 luokituksella (pölytiivis, roiskesuojattu).

Kuva 18. Ympäristön mittaus anturit (ISA, 2020).



Lisäksi seurantajärjestelmää varten on suunniteltu ja valmistettu rakennelma. Rakennelma koostuu neljästä elementistä (kuva 19.):

**Pohjateräslevy:** Kiinnitetään maahan neljällä halkaisijaltaan 10 mm pultilla. Levyn mitat ovat 250x250 mm ja 10 mm paksu. Pohjalevyn kiinnittämiseksi maahan valettiin betonilaatta.

**Teräsputki:** Hitsataan pohjalevyn keskelle. Se on rakennelman tukipilari. Ulkohalkaisija on 50 mm ja sisähalkaisija 40 mm. Pituus 1700 mm.

**Yläteräslevy:** Hitsataan levyn keskiosasta teräsputken päähän. Levyn reunoille porataan neljä halkaisijaltaan 8 mm reikää aurinkopaneelin kiinnittämistä varten. Levyn mitat ovat 350x250mm ja 6 mm paksu.

**Teräskulmatangot:** Hitsataan kohtisuoraan teräsputkeen. Kunkin elementin pituus on 250 mm. Kuhunkin elementtiin porataan kaksi reikää sähkörasian kiinnittämiseksi.

Kuva 19. Vasemmalla: Teräsrakenne. Oikealla: Valvontajärjestelmä (ISA, 2020).



Hitsausprosessissa käytettiin suojattua metallikaarihitausta rakenteiden ja elementtien liittämiseen toisiinsa. Teräsrakenteet maalattiin korroosio-ongelmien ehkäisemiseksi. Tässä toisessa vaiheessa elektroniikkalaitteet asetettiin teräslaatikkoon, joka oli päällystetty epoksipolyesterijauheella (jauhemaalattu). Teräslaatikon IP-luokitus on IP66 (pölytiivis, vahvasti vesitiivis). Kaikki sähköjohdot suojattiin joustavin putkin estääkseen johtojen mahdollisen murskautumisen tai sääolosuhteista syntyviä vahinkojen ehkäisemiseksi. Tämän prototyypin ensimmäinen asennus rakenteeseen alkoi 9.9.2020. Aurinkopaneeli kallistettiin 45 astetta optimaalisen suorituskyvyn saavuttamiseksi. Järjestelmää voidaan kuitenkin käyttää myös suoraan sähköverkosta, jos aurinkoenergiaa ei ole riittävästi järjestelmän ylläpitämiseksi. Sähkökotelon sisällä on kytkin, joka mahdollistaa virtalähteen tyyppin valinnan.

#### 4.2.2 Yutz 2

Toinen prototyyppi (kuva 20.) koostuu kahdesta moduulista, lähettimestä sekä vastaanottimesta. Jokainen moduuli asennettiin siihen suunniteltuun rakenteeseen. Rakenne on sama kuin ensimmäisessä prototyypissä, käytetty materiaali on vain eri. Toiseen prototyypin materiaaliksi valittiin alumiini sen hyvän korroosionkestävyyden ja myös esteettisyyden vuoksi. Hitsausprosessissa käytettiin volframikaasu (TIG) hitausta



rakenteiden liittämiseksi toisiinsa. Ensimmäisen prototyypin tavoin kiskoon kiinnitettiin ultraääni- ja lämpötila-anturi kiskon pinnan käsittelyn jälkeen. Lähettimen ja vastaanottimen välillä käytettiin langatonta radiotaajuutta (RF). Lähettimen ja vastaanottimen anturi asennettiin kumpikin kiskon yhdelle reunalle. Lämpötila-anturi asennettiin vastaanottimen anturin viereen. RF-tiedonsiirron ansiosta kaapeleiden pituus ei enää riipu tarkastusetaisyudesta. Näin ollen lähettimen ja vastaanottimen välinen yhteys on validi, niin kauan kuin hyväksyttävää signaalia vastaanotetaan. Kuten Yutz 1 pilottikohteessa kaikki sähköjohdot suojattiin joustavin putkin. Eri kaapeleita on:

Yksi kaapeli, joka yhdistää lähetinmoduulin lähettimen anturiin. Kaapelin pituus n. 4 metriä.

Kaksi kaapelia, jotka yhdistävät vastaanotinmoduulin vastaanottimen anturiin ja lämpötila-anturiin. Molemmat kaapelit ovat n. 4 metriä.

Tämä prototyypin datan seuranta alkoi 26.10.2020. Laitteita ei ole kuitenkaan vielä tällä päivämäärällä asennettu alumiinirakenteeseen.

Kuva 20. Toisen prototyypin valvontajärjestelmä, Yutz 2 (ISA, 2020).



## 5 Datan kerääminen

### 5.1 Railis-alusta (dashboard)

Koneoppimisalgoritmeihin perustuva Railis-alusta kehitettiin kiskon kunnon visuaaliseen esittämiseen reaaliajassa. Railis-alusta oli koko ajan yhteydessä ISAn palvelimiin ja keräsi sieltä iTrack-laitteiden lähettämiä data tietoja talteen. Järjestelmä ohjelmoitiin keräämään ultraäänialtoja 30 minuutin välein kiskosta. Toisin sanoen Railiksessa datatiedot päivittyivät 30 minuutin sykleinä. Sopivilla algoritmeilla käsiteltiin jokainen kerätty data, jotka muunnettiin sitten vaurioindeksikaavioon, joka kuvastaa kiskon kuntoa. Kiskojen rikkoutumistaso lasketaan vertailusignaaleista muodostettujen arvojen mukaisesti. Railis-alustan käyttö rajoittui Koskelan varikon kokeilussa vain kiskojen rikkoutumisen havainnointiin.

Railis-alustan käyttöönottamiseen vaaditaan seuraavia vaatimuksia laitteelta:

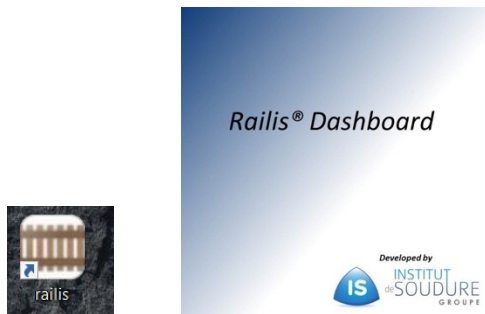
Järjestelmänvalvojan oikeudet

Windows 10

64 bittinen tietokone

Kun nämä ehdot täyttyvät ja Railis-alusta on asennettu laitteelle, työpöydälle ilmestyy Railiksen pikakuvake. Alustan käynnistyessä aukeaa ikkuna (kuva 21.) mukaisesti.

Kuva 21. Vasemmalla: Railis-alustan pikakuvake työpöydällä. Oikealla: Railis-alustan käynnistysikkuna (FVH, 2020).



Railiksen avauduttua (kuva 22.) näyttää alustan passiivisen näkymän auenneessa ikkunassa näkyy viisi eri elementtiä:

Vahinkoindeksi sekä lämpötilan vaihtelu ajan ja radan rikkoutumiskynnyksen mukaan.

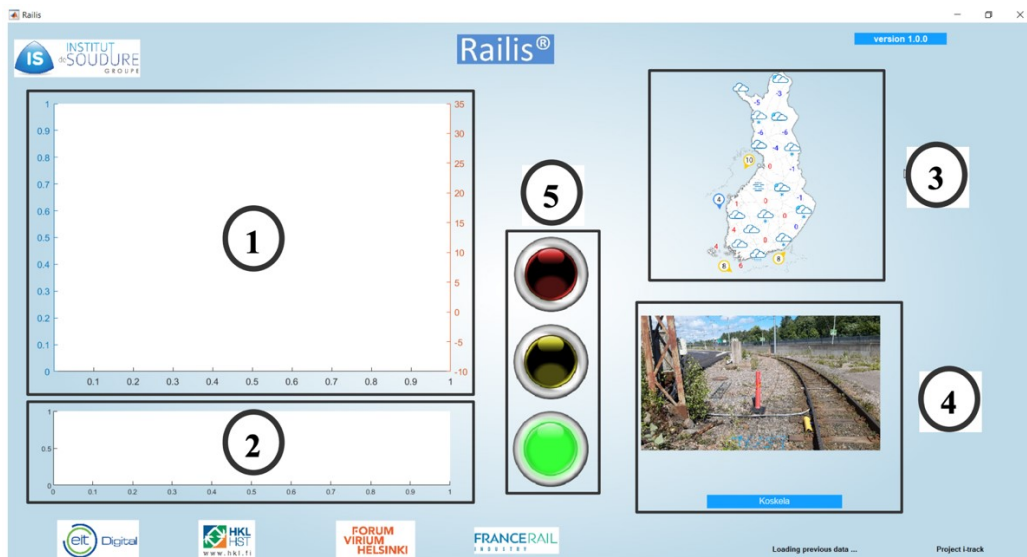
Ultraäänisignaalin seuranta aikajaksollisesti.

Ilmatieteen laitoksen sääennustus Suomesta.

Staattinen kuva seuranta kohteesta (Koskelan varikkopihalta).

Kolme merkkivaloa. Railis-alustan versio 1.0.0:ssa oli käytössä kaksi valoa: Vihreä valo kuvasti kiskon kunnossa oloa ja punainen valo taas osoitti kiskon rikkoutumista.

Kuva 22. Railis-alustan näkymä (FVH, 2020).



## 5.2 LVDT-anturointi

HKL on kiinnostunut tutkimaan kiskon pitkä- ja lyhytaikaista liikettä sekä pysty- että vaakasuunnassa. Kiskon mahdollinen liike suuntaansa voi vahingoittaa radan perustuksia sekä lisätä tai nopeuttaa kiskovaurioiden syntyä. ISAn iTrack-laitteet eivät havaitse tämänkaltaista liikehdintää, ainakaan tässä prototyypissä. Tämän vuoksi Koskelan varikolla päätettiin toteuttaa ylimääräinen kiskon liikkeen seuranta kokeilu, joka tukee iTrack-projektin kehitystä. Liikkeen mittaamistavaksi valikoitui lineaarisesti muuttuva differentiaalimuuntaja-anturi (LVDT). Laite mittaa tarkasti ankkurin, toisin sanoen liikkuvan osan liikettä suhteessa runkoon johon anturi on kiinnitetty (kuva 23.).

Kuva 23. LVDT-anturi (FVH, 2020).



Alkuperäisenä suunnitelmana oli rakentaa rakennelma LVDT-anturille, jossa toinen anturi kaivetaan kiskon alle pystyyn mittaamaan pystysuuntaista liikettä ja toinen anturi sijoitetaan vaakasuuntaisesti kiskon sivuun. Loppujen lopuksi tämän toteuttaminen olisi vaatinut paljon ylimääräisiä kustannuksia sekä asentaminen olisi ollut vaikeaa ja aikaa vievää muun projektin

puitteissa. Lopulta molemmat LVDT-anturit asennettiin vaakasuuntaisesti ratapölkkyihin kiskojen väliin (kuva 24.).

Kuva 24. LVDT-anturit asennettiin vaakasuuntaisesti ratapölkkyyn (Vesa Tamminen, 2020).



Anturit asennettiin ratapölkkyihin pulteilla ja niiden tukemiseen käytettiin vanerilevyä. Kaksi anturia asennettiin, yksi kuhunkin kiskoon (kuva 25.).

Kuva 25. Vasemmalla: Ratapölkkyyn asennettiin vanerilevy tukemaan LVDT anturia. Oikealla: LVDT anturit asennettuna (Vesa Tamminen, 2020).



LVDT-anturit eivät välitä dataa, vaan anturit ovat itsessään vain liiketunnistimia ja siksi anturit vaativat laitteen, joka pystyy välittämään halutut datat valitulla yhteydellä. Wapice Intelligent IoT Edge Device WRM247+ (Wapice) valittiin tähän toimeen (kuva 26.). Wapice on kauko-ohjattava laite, jonka vuoksi siihen voidaan liittää erilaisia antureita ja dataa voidaan ohjata haluttuun palvelimeen WLAN- tai 3G-yhteyksillä. Tähän projektiin valittiin 3G-yhteys, IoT SIM-kortti teleoperaattori Telialta. Ennen kuin antureiden asennusta pystyttiin suorittamaan, LVDT-anturit täytyi kytkeä ja konfiguroitava toimimaan halutulla tavalla. Myös SIM-kortti oli asennettava ja testattava datayhteyden varmistamiseksi. Vaikka Koskelan varikolla oli käytettävissä oleva kiinteä sähköverkko laitteille, LVDT-anturoinnissa päätettiin käyttää aurinkovoimaa virran ylläpitämiseksi. Näin saatiin uutta tietoa ja tutkimusaineistoa aurinkopaneelitekniikasta ja mitä vaaditaan Suomen syys- talviolosuhteissa.

LVDT-antureiden tekniset tiedot (RDP Electronics Ltd – anturityyppi DCWC2000A/3/25M):

lineaarinen alue  $\pm 50$  mm

herkkyys 0,159 mA/mm

lineaarisuus 0.31 %

lämpötila kalibroinnin aikana 20 °C

kalibroitajännite 24 V (kalibroinnin epävarmuus 32,5 mikronia)

arvoalue 4-20 mA



Kuva 26. Wapicen-laite (Vesa Tamminen, 2020).



Ensimmäiseksi anturit asennettiin Wapicen 4-20 mA:n tuloportteihin, joissa ne toimivat hyvin 24 V:n virtalähteen kanssa laboratorio-olosuhteissa. Anturit kalibroitiin 4-20 mA:n alueelle Wapicen-laitteen kanssa. Yksi laitteen 4-20 mA:n sisääntuloporteista vaurioitui melkein heti asennuksen jälkeen Koskelan varikolla ja toinen jäljellä jäänyt sisääntuloportti hajosi seuraavana päivänä. Vahingon syyksi epäiltiin oikosulkua. Antureiden kytkennät vaihdettiin 0-30 V:n analog-portteihin. Muunnos 4-20 mA:sta tehtiin lisäämällä 410  $\Omega$  vastus jännitteeksi sarjaan anturin ja akun kanssa. Jännite vahvistettiin toimintovahvistinkytkimellä, jotta saataisiin resoluutio vastaamaan alkuperäisen asennuksen tasoja.

Lopulliset arvot 410  $\Omega$ :n vastuksella ja vahvistuksella:

4,88 V (4 mA) -> 0 mm

24,2 V (20 mA) -> 100 mm

Joista Wapice-asetukset:

Kerroin: 5176

Kompensaatio: -25,259

Koskelan varikolla käytettiin suurta aurinkopaneelia, jonka tarkoitus oli ladata akkuja (kuva 27.). SZ-180-36M 180W aurinkopaneeli kiinnitettiin samaan pylvääseen, johon ISAn

sähkökaappi asennettiin. Aurinkopaneeli asennettiin kiinni pylvääseen kiinnitettyyn telineeseen.

Kuva 27. LVDT-antureiden ja Wapicen-laitteen virranlähteet (Vesa Tamminen, 2020).



Antureita ei ollut tarkoitus asettaa mihinkään tiettyyn arvoon, vaan tarkoitus oli seurata arvojen muutosta. Alun perin anturit valittiin tarkoituksena asentaa ne kiskon alle ja näin pystysuuntaistaliikettä olisi pystytty seurata. Asennus kiskon alle osoittautui liian haastavaksi, joten päätettiin seurata vain vaakasuuntaista liikehdintää. Valittuja antureita voidaan käyttää jopa 100 mm:n liikkeen tarkkailuun siksi anturin koko oli pidempi kuin tähän käyttötarkoitukseen olisi ihanteellisesti tarvittu kiskon liikkeen seuraamiseksi. Anturi vaatii vähintään 600 mm:n käyttötilan: putki 500 cm, ankkuri (liikkuva osa) 50 mm ja kaapelin kiinnityskohta 50 mm. Lyhyemmän kantaman anturi olisi ollut riittävä tähän kokeiluun, mutta myös pelkästään kooltaan lyhyempi anturi olisi ollut lähempänä optimaalista tulosta kiskon vaakasuuntaisen liikkeen mittaamiseksi.

Kiskon liikkumisen seuranta tehtiin LVDT-antureilla, jotka oli asennettu puiseen ratapölkkyyn. Anturit mittasivat kiskojen vaakasuuntaisen siirtymän ratapölkkyyn nähden. Mittauksessa ei kuitenkaan otettu huomioon ratapölkkyjen liikehdintää maassa. Kiskon pystysuuntaista siirtymää ei myöskään ollut mahdollista mitata valitulla 500 mm:n pituisella anturilla. Tästä olisi saatu tärkeää dataa kokeiluun ja tuleviin tutkimuksiin. Tämä oli HKL:n



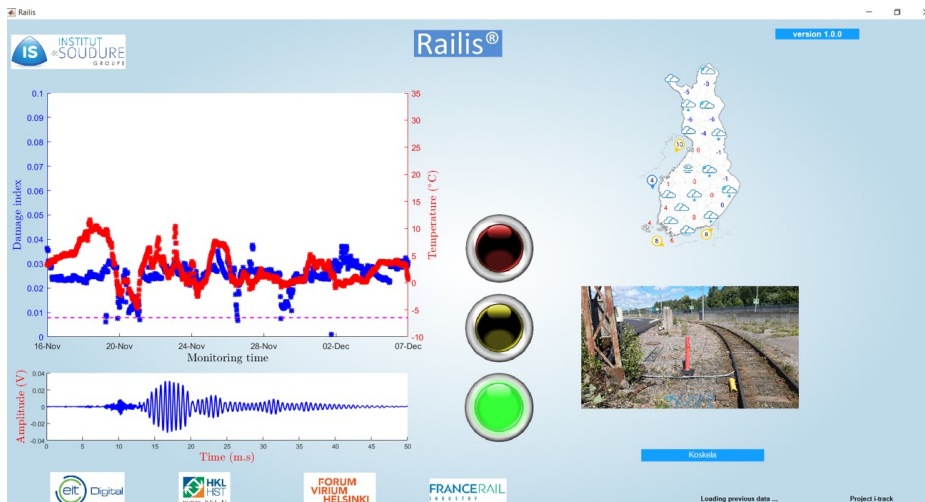
ensimmäinen kokeilu, jossa mitattiin kiskon siirtymää suuntaansa vaunun ylittäessä testikohdan, tulokset olivat siis hyödyllisiä sekä mielenkiintoisia. HKL käyttää yleisesti tukevaa betonilaattaa radan perustana Koskelan varikolla käytetyn puisen ratapölkyn sijaan. Mittauskokeilu oli helpompi toteuttaa avoin rakenteisen ratapölkkyrakenteen kanssa kuin betonisen rakenteen, koska betonilaattaa olisi ollut vaikeampi työstää tarvittavien johtojen saamiseksi paikoilleen.

### **5.3 Data analyysi kiskon katkomistestistä**

Railis-alustan sekä iTrack-laitteiden kykyä havaita kiskojen rikkoutumista kokeiltiin järjestämällä kiskojen manipulointi kokeilu 7.12.2020 Koskelan varikon pilotointikohteessa. Kiskoa sahattiin kahdessa vaiheessa pyörösahalla, ensin noin puoleen väliin ja lopulta poikki. Kyseinen kokeilu on kuvattu tarkemmin luvussa 4.2.2 Kiskon kulumisen manipulointi testi, Koskela.

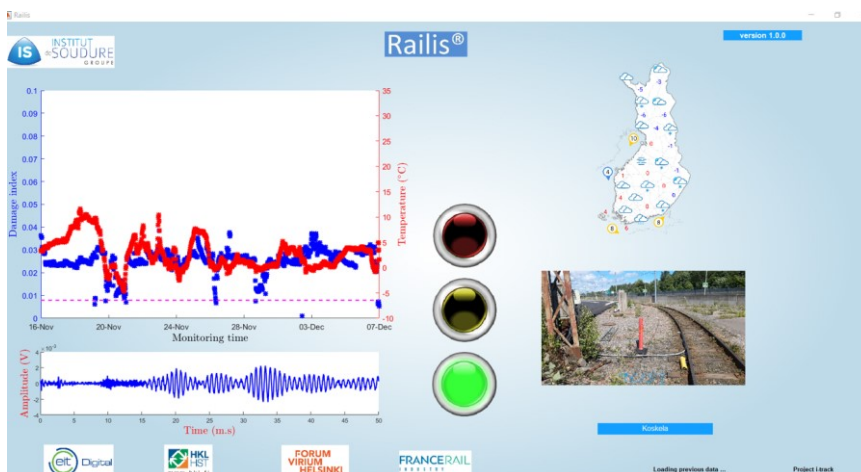
Kuvasta (kuva 28.) näkee Railis-alustan näkymä ennen kiskonleikkausta. Merkkivalo on vihreänä, joka tarkoittaa, että laitteista saadun datan mukaan kisko on ehjänä. Siniset pisteet kuvastavat kiskon vaurioindeksiä (Damage index, DI) ja ne ovat kiskon rikkoutumisesta kertovan rajan yläpuolella. Rajan alapuolella on kuitenkin joitakin pisteitä, kuten alla olevasta kuvasta näkee 20.11.2020 kohdalta. Railis-alustan algoritmit tulisi mukauttaa siten, että huonon signaalin data pystytään erottamaan rikkoutuneen kiskon datasta.

Kuva 28. Railis-alusta ennen kiskon leikkuuta (Vesa Tamminen, 2020).



Kuvassa (kuva 29.) Railis-alustan näkymä kiskon täydellisen rikkoutumisen jälkeen. Tästä voidaan nähdä, että DI on alle rikkoutumisen rajan, mutta siitä huolimatta merkkivalo on vihreänä. Tämä johtui siitä, että vaaditaan viisi peräkkäistä data muutosta, jolloin DI menee alle rikkoutumisen rajan. Tämän asetuksen tarkoitus on varmistaa kiskon vahingoittumisesta syntyneen datan todellisuus.

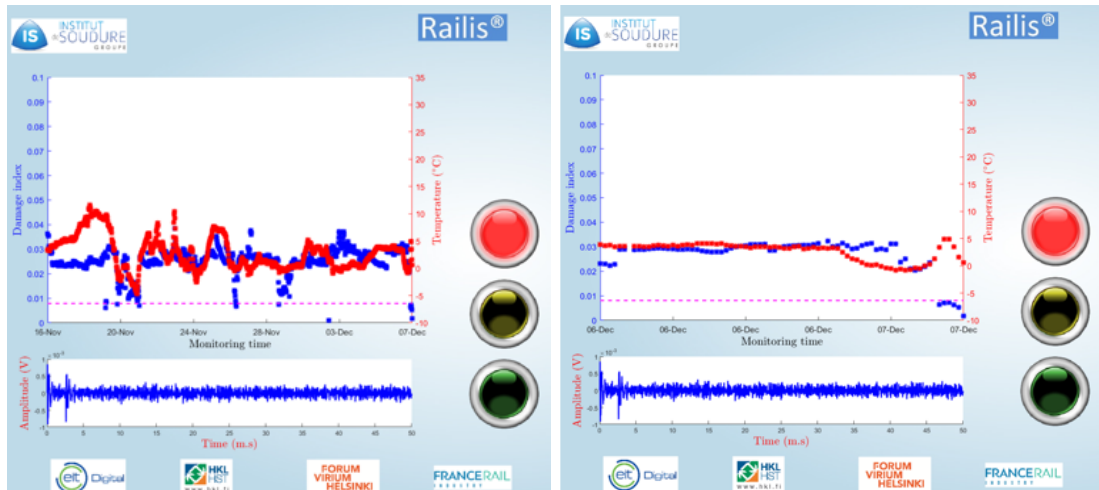
Kuva 29. Railis-alusta manipulaatio kokeen jälkeen (Vesa Tamminen, 2020).



Kuvassa (kuva 30. vasemmalla) näkyy, että merkkivalo on muuttunut punaiseksi tämän jälkeen, kun DI on osunut viidesti peräkkäin alle rikkoutuneen rajan. Kuvassa (kuva 30. oikealla) näkyy Railis-alustan vaurioindeksin näkymä kiskon manipulointi kokeilun ajalta,

7.12.2020 Koskelan varikon pilotointikohteesta, josta pystyy havaitsemaan selvästi DI:n vaihtelun sahuksen seurauksesta.

Kuva 30. Vasemmalla: Railis-alusta, kun DI on osunut viidesti rikkoutuneen rajan alle. Oikealla: Zoomattu näkymä kiskon manipulointi kokeen ajalta (FVH, 2020).



## 6 Tulokset

### 6.1 Suomen pilotoinnin tulokset

Projektin tapahtumien ja tuloksien läpikäymiseksi sekä käyttäjien palautteen keräämiseksi järjestettiin kaksi erillistä työpajaa 8.12.2020. Ensimmäiseksi järjestettiin iTrack-laitteiden ja Railis-alustan käyttökokemukseen perustuva työpaja. Työpajaan osallistui minun lisäksi 4 jäsentä FVH:sta ja 6 jäsentä HKL:ltä. Työpaja toteutettiin Google Meetillä. Osanottajat jaettiin kahteen ryhmään heidän asiantuntemuksensa tai projektin työtehtävän perusteella. Ryhmissä osallistujat pohtivat projektin kulkua, pilotin perustamista ja sen toteutumista sekä keskustelivat yleisesti kunkin odotuksista ja pilotoinnista saadusta kokemuksesta.

Ensimmäinen ryhmä keskittyi laitteiden ja antureiden toimintoihin sekä niiden asennustoihin. Toinen ryhmä paneutui data-asioihin sekä Railis-alusta toimintoihin. Tämän työpajan lisäksi pidettiin erillinen kokous LVDT-kokeen tulosten analysoinnista. Kokoukseen osallistui minun lisäksi 3 henkilöä FVH:sta ja 4 henkilöä HKL:sta. Kokouksen agendana oli avata HKL:lle LVDT-antureista saatuja tuloksia ja datakäyriä sekä keskustella mahdollisesta

tulevaisuuden kehitystyöstä kyseisen aiheen tiimoilta. Työpajojen tärkeimmät tulokset sekä johtopäätelmät kuvataan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

### 6.1.1 Asennukset ja anturit

HKL:n ja FVH:n välillä järjestetyssä työpajassa osallistujat jaettiin kahteen ryhmään ja ensimmäinen ryhmä keskittyi kokemuksiin pilotin ja antureiden asentamisesta Koskelan varikon ja Arabian pilotointipaikoille. Yleisesti laitteen katsottiin olevan erittäin helposti asennettavissa sekä helppokäyttöinen. Laitteiden asentamiseen vaaditaan ammattitaitoinen sähköasentaja sähköistyksen asentamiseksi ja johdotuksien varmistamiseksi säädösten mukaisesti. Muutoin asennustyöhön ei vaadita erikoisosaamisia. HKL:n mukaan Koskelan varikolla ensimmäisenä järjestetty asennustyö toimi arvokkaana oppimiskokemuksena ja mahdollista paremmat valmiudet Arabian kohteen asennustöihin. Arabian pilotointikohteen asennuksen onnistuttiin toteuttaa onnistuneesti tiukalla aikataululla tämän ansiosta. Vaikka Koskelan varikon ensimmäinen asennustyö vei paljon enemmän aikaa ja odottamattomia kustannuksia yhteydet toimivat moitteettomasti heti laitteen päälle kytkemisen jälkeen ja laite alkoi lähettämään dataa välittömästi Ranskaan.

Kuten aikaisemmissa luvuissa on jo mainittu, virtalähteen kanssa kohdattiin muutamia ongelmia. Aurinkopaneeleja pidettiin mielenkiintoisina ja nykyaikaisina vaihtoehtoina kokeiltavaksi, mutta ne jouduttiin toteamaan soveltumattomiksi Suomen olosuhteisiin syys-/talvikaudella. Akkujen lataaminen ja vaihtaminen manuaalisesti osoittautui paremmaksi vaihtoehdoksi pilotoinnin aikana, mutta se ei ole kestävää pitkällä aikavälillä. Akun manuaalinen vaihtaminen koettiin myös aikaa vieväksi ja kalliiksi.

Pilotoinnin valmisteluun käytettiin huomattava määrä aikaa ja resursseja, mutta projektin edetessä valkeni, että valmisteluprosessi olisi voitu valmistaa vieläkin perusteellisemmin askel askeleelta esim. alusta alkaen tulisi olla selvää kuka vastaa mistäkin osasta tai ainakin niiltä osin kuin se on mahdollista. Osa syy valmisteluiden haurauteen johtui COVID-19 pandemiasta, joka pakotti siirtämään pilotointivaiheen aloitusta ja sen vuoksi lyhentämään varsinaista pilotointi-aikaa. Matkustusrajoitukset sekä joidenkin HKL:n sisäisten haasteiden vuoksi hankkeeseen oli käytettävä aikaa ja työtunteja ilman ISAn asiantuntemusta.

### 6.1.2 Datan käsittely ja Railis

Työpajan toinen ryhmä keskittyi tunnistamaan mitä tietoja tarvitaan, missä muodossa ja miten ne tulisi esittää. Ryhmä käsitteli myös Railis-alustan ensimmäisen prototyypin käytettävyyttä. Tärkeimmät datat, joita HKL etsi olivat tietyn kiskon käytön määrä ja sen vaikutus kiskon kuntoon. Datat tulisi olla JSON API-muodossa. Datan pitää olla myös yksinkertaisia ja esikäsiteltyjä. Suodattamalla dataa jo varhaisessa vaiheessa niitä voitaisiin käyttää paikantamaan raitiotien vahinkojen tarkka sijainti ja mahdollisesti jopa ilmoittamaan millaisesta vahingosta on kyse. Datan visuaalisen näkymän tulisi olla niin yksinkertaista ja helposti luettavaa, että Railis-alustan elementit eivät tarvitse mitään lisäselvityksiä sen ymmärtämiseen.

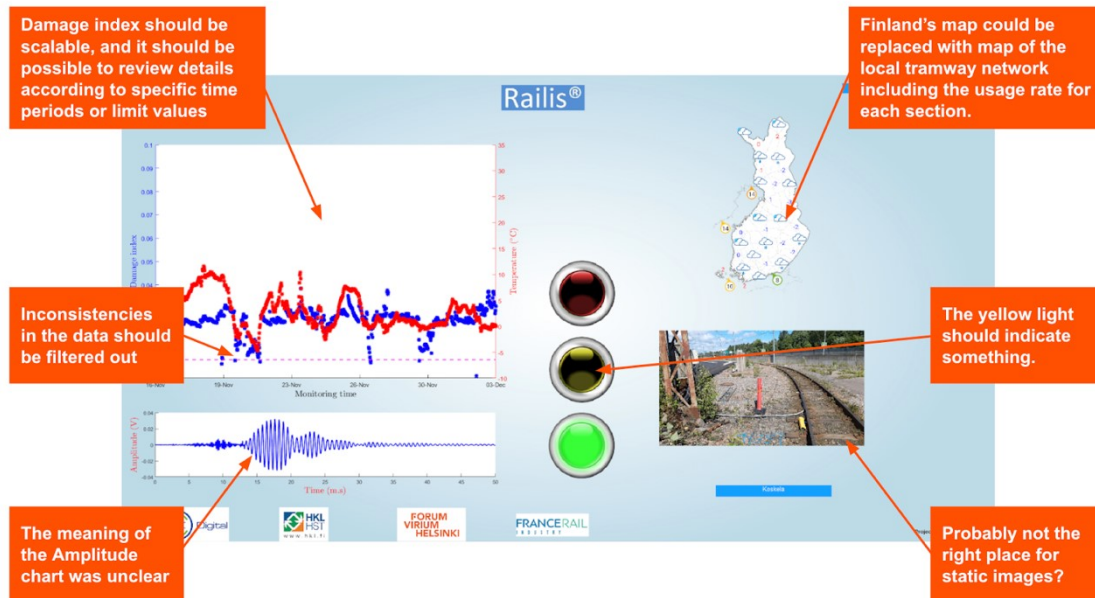
Käytettävyyden kannalta tärkeintä olisi mahdollistaa Railiksen käyttö mahdollisimman helpoksi ja vaivattomaksi. Työpajan osallistujat arvioivat, että Railista ei tultaisi käyttämään jatkuvalla seurannalla vaan Railikseen kirjauduttaisiin sisään vain harvoin tarkistaakseen nykytilanteen. Valituille käyttäjille halutaan myös tulevan ilmoitus esimerkiksi sähköpostiin tai SMS-viestinä jos Railis havaitsee kriittisen vian tai datassa tapahtuu merkittäviä muutoksia. Myös verkkopohjainen käyttömahdollisuus tai mobiilisovellus lisäisi Railis-alustan käytettävyyttä merkittävästi. Tällöin alustaa olisi mahdollista käyttää myös, jos ei ole toimisto-olosuhteissa.

Railis-alustan näkymän vahinkoindeksikaavio oli mielenkiintoinen, mutta se myös herätti paljon kysymyksiä ja epäselvyyksiä. Nykyisen näkymän perusteella tiedot näyttävät epäjohdonmukaisilta ja vaikeasti ymmärrettäviltä. Kaavioon saataisiin lisää selkeyttä, jos sitä pystyisi lähentämään tai kohdentamaan haluttuun kohtaan vaivatta. Esimerkiksi zoomaamalla kaaviota näkymä muuttuisi aluksi vuorokausikohtaiseksi ja tämän jälkeen lisää zoomaamalla näkymästä tulisi tuntikohtainen. Tällä tavoin kaaviosta saataisiin yksityiskohtaisempi ja olisi mahdollista tarkastella tiettyjä ajanjaksoja näin halutessaan. Alla olevan amplitudikaavion hyödyllisyyttä kyseenalaistettiin, koska HKL:n edustajat eivät ymmärtäneet sitä. Myös muihin Railis-alustan visuaalisiin elementteihin tulisi tehdä muutoksia, kuten liikennevalojärjestelmän keltaisen valon tulisi osoittaa esimerkiksi kiskon vähäistä vaurioitumista. Myös Suomen karttanäkymän tilalla voisi olla kartta Helsingin



raitiotieverkostosta, josta näkisi esimerkiksi kunkin rataosuuden käyttöaste. Työpajassa ilmi tulleet tärkeimmät huomautukset esitettynä kuvassa (kuva 31.).

Kuva 31. Käyttäjien palaute Railis-alustasta HKL:n edustajilta (FVH, 2020).



### 6.1.3 LVDT-anturointi kokeilu

Kiskon liikkumisen kokeilu toteutettiin kiskon lyhyen ja pitkän aikavälin liikkeen ymmärtämisen avuksi. Tämän kokeilun Linear Variable Differential Transformer (LVDT) -tunnistuskokeen myötä tulokset eivät olleet täydellisiä, koska pystysuuntaista liikettä ei ollut mahdollista mitata. Syy tähän oli liian suuret anturit, joita ei pystytty asentamaan vaadittaviin paikkoihin ilman suuria toimenpiteitä. Anturit pystyttiin asentamaan vaakasuuntaisesti ja niiden liiketietoja pidettiin erittäin mielenkiintoisina. Tämän yhdessä sijainnista tehdyn kokeen perusteella näyttää siltä, että raitiovaunukiskon liike on hyvin pientä. Projektiryhmä piti tätä hyvänä tuloksena, koska suurempi liike voisi vahingoittaa kiskoja.

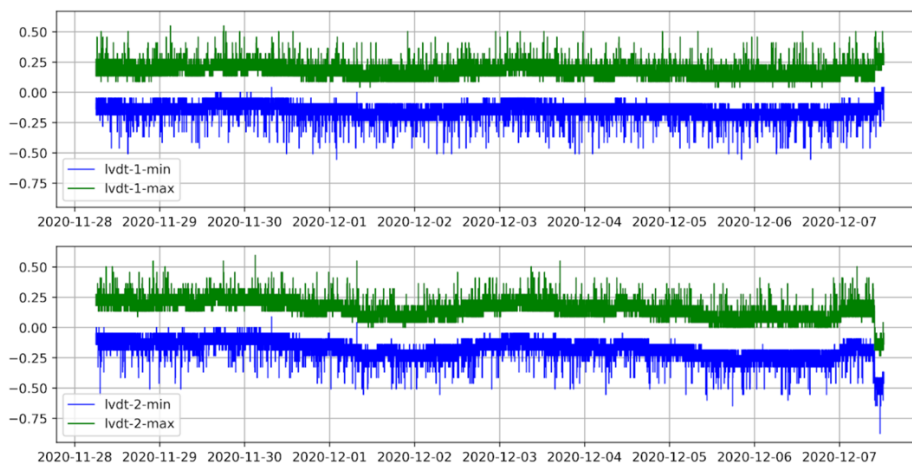
FVH:n data-asiantuntijan tekemässä analyysissä havaittiin mediaaniarvojen pitkän ajan poikkeamat sekä anturin minimi – ja maksimiarvojen muuttuvat standardipoikkeamat yhdessä lämpötila-arvojen kanssa kiskojen liikkeiden havaitsemiseksi. Koskelan varikolla sijaitsevan testikiskon käyttö on melko vähäistä, eikä testauskohdan ohitse kulje

raitiovaunuja säännöllisesti. Tämän vuoksi raitiovaunujen tarkkaa testauskohdan ohitusaikaa oli vaikea arvioida saadusta datasta. Kiskojen liikehdintä oli hyvin pientä ja siksi sitä oli hankala tunnistaa muista tekijöistä. Kiskojen vähäinen liike on hyvä asia HKL:lle, mutta se vaikeutti datan analysointia ja tuloksien saantia.

Kiskot Koskelan varikon kohteessa ovat yhdistetty toisiinsa puisella ratapölkkyllä. Kuviosta (kuva 32.) voidaan nähdä, että molemmilla kiskoilla näyttäisi olevan samankaltainen pitkäaikainen liike lähes identtisinä aaltomuotoina. Aaltomuodot voidaan perustella lämpötilan aiheuttamalla kiskon laajenemisella. Kun kiskon manipulointi kokeilu suoritettiin 7.12.2020, pystyttiin havaitsemaan selkeä vaakasuuntainen siirtymä kiskon sisäisten jännitysten vapautuessa.

Kuva 32. Sekä 1. että 2. kiskolla on samanlainen käyttäytyminen pitkällä aikavälillä. Kiskon leikkaamisen voi nähdä selvästi 7.12.2020 (FVH, 2020).

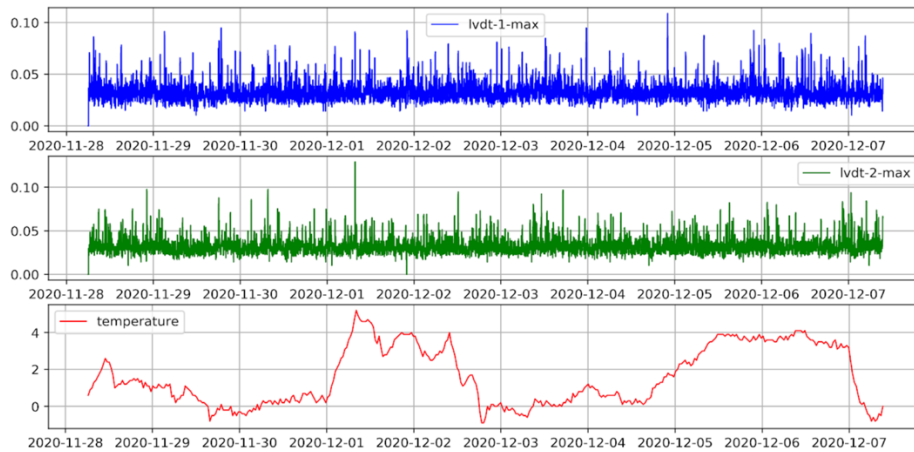
## 28.11-7.12.2020 deviations from baseline



Alla olevasta kuviosta (kuva 33.) voidaan päätellä, että raitiovaunuliikenteestä aiheutuvat keskihajonnan huiput eivät ole varmoja. Kun katsotaan lämpötiläkäyrää, voidaan huomata liikehuippujen tapahtuneen silloin kun lämpötila on noussut.

Kuva 33. Liikehuippu 1.12.2020 näyttää tapahtuneen lämpötilan nousun vuoksi (FVH, 2020).

## Moving standard deviation while outdoor temperature varies



### 6.1.4 Ranskan pilotoinnin tulokset

Kaksi prototyyppiä asennettiin onnistuneesti ISAn Yutzin keskuksen Ranskaan. Molemmissa prototyypeissä käytettiin pietsosähköisiä antureita ultraääniohjattujen aaltojen muodostamiseksi ja vastaanottamiseksi kiskoja pitkin. Anturit lähettivät automaattisesti 30 minuutin välein dataa ISAn palvelimelle. Railis-alustan ohjelmistoa kehitettiin kommunikoimaan pilotin edetessä jatkuvasti palvelimen kanssa datan käsittelyyn reaaliajassa sopivilla koneoppimisalgoritmeilla. Ensimmäisen prototyypin tavoitteena oli ottaa huomioon ympäristöparametrit, kuten kirkkaus, sade ja lumi sekä kosteus ja lämpötila. Toinen prototyyppi kehitettiin ratkaisemaan liian pitkien kaapeleiden aiheuttaman yhteysongelman, kun käytetään Pitch-Catch-tekniikkaa. Korjausmenetelmäksi valikoitui radiotaajuinen tiedonsiirto lähettimen ja vastaanotinmoduulin välille.

### 6.2 Kehitettävää

iTrack-tuote kehitettiin havaitsemaan kiskojen rikkoutuminen automaattisesti ja tuomaan apuja kunnossapidon työtaakkaan kiskojen kunnan seurannan suhteen. iTrackin-tuote koostuu:

Lähetinyksikkö ja siihen liittyvä virtalähde, kaapelit ja kiskoon kiinnitettävät anturit

Vastaanotinyksikkö ja siihen liittyvä virtalähde, kaapelit ja kiskoon kiinnitettävät anturit

Tämän järjestelmän tarkoituksena oli tuoda merkittävästi lisätietoa kiskojen kunnosta sekä luoda lisäksi kiskojen elinkaaren selvittämiseen. Lähettämiä tulisi parantaa antureiden jännityksen vahvistamiseksi. Kuten Koskelan pilotoinnissa todettiin, anturin tyyppi vaikuttaa datan laatuun. Tämän vuoksi antureiden ominaisuuksia tulisi vielä tutkia ja kokeilla perusteellisesti lisää. Myös vastaanotinyksikköä pitää tutkia lisää signaali-kohinasuhteen lisäämiseksi. Lisäksi muut mahdolliset ongelmat, kuten anturoimattomat kiskon kohdat, maanvyörymät, tulvat, vääristyneet kiskot, kalalevyjen irtoaminen jne. voivat johtaa raitiovaunun suistumiseen. Raitioteiden turvallisuuden varmistamiseksi ultraäänitarkastusjärjestelmällä yhdistettyjen antureiden ja sopivien koneoppimisalgoritmien yhdistäminen olisi mukautettava edellä mainittujen ongelmien ratkaisemiseksi. Järjestelmän tulisi myös pystyä erottamaan eri laiteviat toisistaan sekä tunnistamaan onko kyseessä laitevika vai rikkoutunut kisko.

Railis-alusta on tiedonhallintatyökalu, joka seuraa, analysoi ja näyttää käyttäjälle tärkeimmät suorituskykyymittarit visuaalisesti kiskojen kunnan seuraamiseksi. Railis-alustaa tulisi kehittää useille eri parannuskeinoin, kuten:

Käyttäminen verkkoselaimella. Käyttäjien tulisi pystyä muodostamaan yhteys suoraan Railiksen hallintapaneeliin tietokoneen, älypuhelimien tai muun vastaavan laitteen kautta oli käyttäjä toimistotiloissa tai radan varrella.

Saadun datan visualisoinnin parantaminen.

Keltaisen merkkivalon käyttöönotto vikojen havaitsemiseksi.

Sopivan kiskotilan esittämistyylin valitseminen: käyrät, viiva-, pylväs-, pistekaaviot, mittarit, kartat.

Raporttien luominen ohjelman keräämästä vanhasta datasta.

Reaaliaikainen sää informaatio anturin sijainnista.

## 7 Yhteenveto

Pilotointijaksosta tuli lyhyempi kuin ajatuksena oli, mutta se antoi kokonaiskuvan siitä, miten iTrack-tuote ja Railis-alusta voivat toimia paikallisissa olosuhteissa Helsingissä. Tärkeitä ajatuksia ja oivalluksia kerättiin myös LVDT-anturointi kokeilusta. Kaiken kaikkiaan HKL näki pilotoinnin arvokkaana kokemuksena ja sai näin erittäin arvokasta tietoa ja oppia erilaisesta tavasta seurata raitioteiden kiskojen kuntoa.

Suurimmat haasteet pilotoinnin aikana syntyivät aikataulun viivästymisestä COVID-19 myötä tulleista olosuhteiden muuttumisesta. Haasteeksi havaittiin myös alun tiedottomuus tuotteista. Yksityiskohtaisemmat tiedot kaikista tuotteista alusta alkaen olisivat helpottaneet paremman vaiheittaisen suunnittelun projektin edetessä. Pilotointiin valmistautuminen sujui yleisesti katsottuna hyvin, mutta oikeiden henkilöiden löytäminen tiettyihin rooleihin oli hankalampaa kuin ennakkoon osattiin arvata. Tähän osaksi oli syynä projektin tuntemattomuus joissakin määrin. Tämän vuoksi yhteistyön tekeminen eri yksiköiden välillä oli hankalaa. Tuleviin kehityshankkeisiin pyritään valitsemaan oikeat avainhenkilöt heti projektin alkaessa.

## Lähteet

Forum Virium Helsinki. (2021). *Helsingin kaupungin innovaatioyhtiö*.

<https://forumvirium.fi/esittely/digitaalisten-palveluiden-kehittaja/>

EIT Digital. (2021). *About us*. <https://www.linkedin.com/company/eit-digital>

Helsingin kaupunginhallitus. (2018). *Raitoliikenteen kehittämisselitys*.

<https://dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2017-010566/khs-2018-11/>

Helsingin kaupunki. (2017). *Ratikkaprojektin loppuraportti*.

[https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los\\_2017-2.pdf](https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/los_2017-2.pdf)

Helsingin kaupunki. (2018). *Raitioteiden suunnitteluohje*. s. 12 [https://www.e-](https://www.e-julkaisu.fi/hkl/raitioteiden_suunnitteluohje/mobile.html#pid=12)

[julkaisu.fi/hkl/raitioteiden suunnitteluohje/mobile.html#pid=12](https://www.e-julkaisu.fi/hkl/raitioteiden_suunnitteluohje/mobile.html#pid=12)

Helsingin kaupunki. (2020). *Tämä on HKL*. <https://www.hel.fi/hkl/fi/tama-on-hkl/>

Helsingin kaupunki. (2021). *Raitoliikenteen kehittäminen*.

<https://www.hel.fi/helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/joukkoliikenne/joukkoliikenteen-suunnittelu/raitioliikenteen-kehittaminen/>

Institut de Soudure. (2021). *Our purposes and values*.

<https://www.isgroupe.com/en/presentation-a-propos>

Onstad, E. (14.8.2020). Liberty Steel buys former British Steel's French rail business. *Reuters*

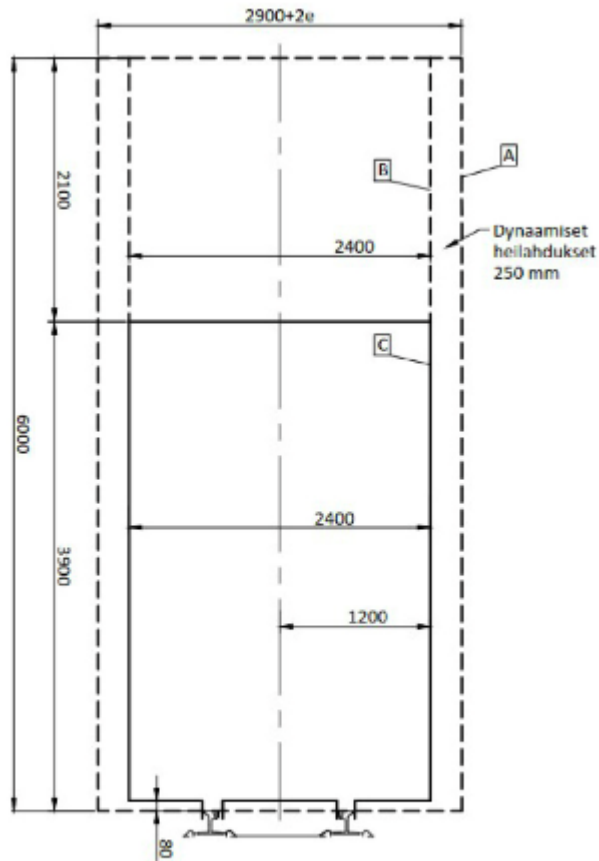
<https://www.reuters.com/article/uk-liberty-steel-france-idUKKCN25A1FH>

Väylävirasto. (2010). *RATO 2 Radan geometria. Aukean tilan ulottuma*. 2.7, ss. 47-54.

[https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2010-03\\_rato\\_2\\_radan\\_geometria\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf)



Liite 1: Aukean tilan ulottuma (Helsingin kaupunki, 2018, s. 12)



- A Aukean tilan ulottuma (ATU)
- B Virroittimen alue
- C Raitiovaunun rungon äärimat