



# Telemetriakeräimen lähtevän datan optimointi

Pessi Raunio

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2023

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ohjelmistokehitys ja Sulautetut järjestelmät

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sulautetut järjestelmät ja Ohjelmistokehitys

RAUNIO, PESSI:

Telemetriakeräimen lähtevän datan optimointi

Opinnäytetyö 34 sivua  
Toukokuu 2023

---

Työssä optimoitiin telemetriakeräimen datankulutusta siirtämällä laskentaa palvelimelta laitteelle. Laite kerää koneen ohjausjärjestelmän tuottamaa dataa ja lähettää sen palvelimelle jatkokäsittelyä varten. Palvelimelle lähetetään anturidataa jopa yli yhden hertsin näytteenottotaajuudella, joka tarkoittaa merkittäviä kustannuksia tiedosiirrossa. Lähetetyistä telemetriatiedoista muodostetaan laskentoja, kuten kulutettu energia tai kuljettu matka valitulta aikaväliltä. Laskentoja hyödynnetään muunmoassa data-analytiikassa, sekä koneoppimisen sovelluksissa kehittämään uusia ja nykyisiä palveluita. Työ toteutettiin toimeksiantona Cargotec Oyj: lle.

Optimointien kohteena oli Linux pohjainen telemetriakeräin-tietokone, jonka sovellusarkkitehtuuri tukeutui Qt -kirjastoihin. Datan käsittelymenetelmät määriteltiin laitteen konfiguraatiopakettissa. Osana konfiguraatiopakettia käytetään Qt -skriptejä, jotka pohjautuvat ECMAScript-standardiin. Skripteissä tallennettiin laskennoissa tarvittava anturidata muuttujiin, joiden avulla laskennat suoritettiin paikallisesti. Laskentojen lähetyksiväliksi valittiin yksi sykli, joka sisältää kontin noston seuraavaan laskuun saakka, syklin päättyessä valmiit laskennat lähetettiin palvelimelle.

Säästö muodostuu laskennoissa käytetyn anturidatan poistamisesta palvelimelle lähetettävästä datasta. Käytännön tuloksien tarkastelemiseksi valittiin kahdeksan testikonetta eri puolilta maailmaa. Testin ajalta laskettua datankulutusta verrattiin aikaisemmin mitattuihin datankulutuksiin, testit osoittivat että datankulutus väheni keskimäärin 17.78 prosenttia konetta kohden. Lähtevän dataliikenteen säästöt vastasivat toimeksiantajan tavoitteita.

Opinnäytetyössä suoritettiin yhteensä seitsemän laskentaa konttilukkien datalle, tulevaisuudessa laitteella voidaan suorittaa useampia laskentoja. Laskentoja voidaan hyödyntää myös palvelimen datan eheyttämiseen, korvaamalla yhteysongelmien aiheuttamat epätarkat laskennat paikallisilla laskennoilla. On huomioitava että työssä optimoitu telemetriakeräin on käytössä myös muissa Cargotec Oyj:n konetyypeissä, kuten terminaalitraktoreissa ja vastapainokurottajissa, tämä mahdollistaa työssä tehtyjen ratkaisujen hyödyntämisen myös muissa konetyypeissä.

---

Asiasanat: Telemetriakeräin, laskenta, säästöt

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in ICT Engineering  
Software Engineering, Embedded Systems and Electronics

RAUNIO PESSI

Optimizing the Outbound Data of a Telemetry Device

Bachelor's thesis 34 pages  
May 2023

---

This thesis focused on the optimizations done to reduce the outbound data traffic of a telemetry device. The device was installed on container handling equipment manufactured by Cargotec Oyj. The data consists of information gathered from various subsystems and sensors within the machine. The sample rate frequency for some of this information is as fast as one hertz. Which means a large amount of data is transmitted onto an external server for carrying out calculations on the data. This thesis work was done for and carried out by the company Cargotec Oyj.

The telemetry device in question is a Linux based computer which utilizes the Qt framework with its data acquisition applications. This framework enables the use of Qt scripts, which are used to accomplish the optimizations. Information was saved into variables within the scripts, then the variables were used to execute the calculations. The timeframe for sending out these calculations was determined by the placement of a container. Each time a container was placed, the calculations were sent out and a new cycle was initiated. The cycle started with a container set event which included one container pick and ended with another container set.

Date size reduction was achieved by removing the information used in the calculations from the device's outbound data traffic. To compare the results, multiple machines were selected around the world, and data traffic was collected from each machine before and after the optimizations. The results pointed out that the average data reduction per machine was 17.78 percent, which directly reduced the monthly data traffic costs. The results were aligned with the company's expectations.

The thesis work included a total of seven aggregates focusing on the straddle carrier applications. It is worth noting that the same telemetry device is used on many other Cargotec's products such as counterbalanced container handlers and terminal tractors. Even greater data reduction could be accomplished by extending the optimizations to multiple machine types or adding more optimizations for straddle carriers.

---

Keywords: Telemetry device, calculation, reduction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	DATAN KERÄYS JA KÄSITTELY .....	11
	2.1 Laskentojen toteutustapa ennen optimointeja .....	11
	2.1.1 Data antureilta palvelimelle .....	12
	2.2 Telemetriat .....	13
	2.2.1 Kokoelmat ja telemetrioiden rooli liiketoiminnassa .....	14
	2.2.2 Optimointien laskentatavat .....	15
	2.2.3 Qt kehitysympäristö .....	15
3	KOKOELMIEN LAATIMINEN TELEMETRIOISTA .....	16
	3.1 Syklin alkaminen ja päättyminen .....	17
	3.2 Dieselmoottorin jäähdytysnesteen suurin mitattu lämpöarvo .....	17
	3.3 Kuljettu matka kontin kanssa sekä ilman konttia .....	18
	3.4 Kulutettu ja ladattu energia syklin aikana .....	18
	3.5 Akun suurimman lämpöarvon omaavan kennon tunnistenumero .....	19
	3.6 Dieselmoottorin ahtimen tuottaman ahtopaineen keskiarvo .....	20
	3.7 Ajomoottorien yllilämpö varoitus .....	21
	3.8 Akuston ja akuston jäähdytysnesteen yllilämmön varoitus .....	21
4	TULOSTEN TARKASTELU .....	23
	4.1 Teoreettiset säästöt .....	23
	4.2 Tunnisteiden määrän väheneminen .....	26
	4.3 Lähetettyjen datamäärien vertailu aiempaan .....	27
	4.4 Tulosten tarkastelu .....	28
	4.4.1 Suurin säästö .....	28
	4.4.2 Pienin säästö .....	29
5	POHDINTA .....	31
	5.1 Laskentojen laadun parantaminen ja palvelindatan eheyttäminen .....	31
	5.2 Datatunnetiedon esikäsittelyn lisääminen .....	32
	5.3 Reunalaskennan lisääminen ja tuloksien verifiointi .....	32
	LÄHTEET .....	34

## LYHENTEET JA TERMIT

Telemetriakeräin	Koneisiin asennettava dataa keräävä Linux-tietokone.
Tarttuja	Konttilukkien komponentti, jolla tartutaan kiinni merikontteihin.
Telemetria	Telemetriakeräimeltä pilveen lähetetty tunniste tai tapahtuma, esimerkiksi anturin mittaama lukema.
Sykli	Kahden kontin laskutapahtuman muodostama aikaväli.
PLC	Konttilukkien ohjausjärjestelmän käyttämä ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller).
Kara	Tarttujan komponentti, joka lukitsee merikontin kiinni tarttujaan.
Konttikosketustappi	Tarttujan komponentti, joka indikoi karojen tilasta.
Karakotelo	Merikontin kulmissa sijaitseva aukko, johon tarttujan kara kiinnittyy
EPOCH -aika	Tietotekniikassa käytettävä sekuntilaskuri, jonka laskenta aloitettiin 1. Tammikuuta 1970.
Konfiguraatio	Telemetriakeräimen sovelluksen hyödyntämä tiedostopaketti, joka vastaa datan käsittelystä paikallisesti.
Tunniste	Konfiguraatiossa mittaukselle määritelty tunnistenumero.
Tapahtuma	Konfiguraatiossa usean tunnisteiden muodostama kokonaisuus
Metriikka	Palvelimelle lähetetty tunniste tai tapahtuma
DAQ	Datankeräyksestä vastaava sovelluspaketti, nimitys tulee englannin kielisistä sanoista "Data acquisition"
ECMAScript	JavaScript-ohjelmointikielen standardi
Qt	Kirjastoja tarjoava ohjelmointiympäristö.
Konttilukki	Merikontin kuljetukseen ja pinoamiseen tarkoitettu laite.
Terminaalitraktori	Terminaaleissa ja satamissa perävaunun kuljettamiseen tarkoitettu ajoneuvo
Vastapainokurottaja	Konttien pinoamiseen ja kuljetukseen tarkoitettu ajoneuvo

Linux	Viittaus Linux-ytimeen perustuvan avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmälle.
GPS	Yhdysvaltain armeijan kehittämä maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä (Global Positioning System).
Big Data	Kerätty organisoimaton data, jota säilytetään tai kerätään suurissa määrin.

# 1 JOHDANTO

Cargotec on johtava logistiikka-alan ratkaisuihin erikoistunut yritys, jolla on toimintaa ympäri maailman. Cargotecin osana toimiva Kalmar on keskittynyt erityisesti satamien ja logistiikkaterminaalien käyttämään kontinkäsittely-laitteistoon. Tähän laitteistoon kuuluu mm. terminaalitraktoreita, vastapainokurottajia, trukkeja, sekä konttilukkeja.

Osana Cargotecin kontinkäsittelylaitteiston järjestelmää toimii telemetriakeräin, jonka tehtävänä on käsitellä ja lähettää palvelimelle koneen ohjausjärjestelmän keräämää dataa. Ohjausjärjestelmän keräämä data muodostuu yksittäisten antureiden sekä suurempien kokonaisuuksien, kuten moottorinohjauksien tekemistä mittauksista.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään konttilukkeihin (kuva 1) asennetun telemetriakeräimen (kuva 2) keräämään dataan ja sen käsittelyyn. Konttilukit ovat kumipyörillä kulkevia kontin kuljettamiseen ja pinoamiseen käytettäviä ajoneuvoja, jotka kuljettavat konttia pyöriensä välissä konttiin kiinnitettävän tarttujan avulla. Koneiden ohjausjärjestelmä tallentaa kerätyn datan PLC-tietokoneelle josta keräimen applikaatiot lukevat sitä. PLC on erityisesti automaatioissa käytettävä ohjelmoitava logiikka, johon konttilukien ohjausjärjestelmä perustuu.

Työn tuloksena syntyvät optimoidut konfiguraatiot tekevät PLC:n keräämästä datasta reaaliajassa laskelmia, joita yritys hyödyntää mm. data-analytiikassa, tekoälyn sovelluksissa ja muissa koneiden toimintaa ylläpitävissä sovelluksissa. Konttilukien sähköistyessä myös tuotetun datan määrä kasvaa, jolloin on kiinnitettävä huomiota esimerkiksi akuista kerättävään dataan ja sen hyödyntämiseen.

Akkujen nopea lataus ja varauksen purku lyhentävät niiden käyttöikä, etenkin ajoneuvoissa käytettävissä suuren kapasiteetin akuissa. Keräämällä dataa, kuten akun lämpötilaa, varausta, jännitettä, kulutettua energiaa tai huipputehoa latauksessa ja kulutuksessa, voidaan luoda malleja ennustamaan jäljellä olevaa käyttöikä. Tekoälyä voidaan hyödyntää havaitsemaan yhtäläisyyksiä mitattujen

ominaisuuksien väliltä ja ohjata käyttötapoja kestävämpiin ratkaisuihin. (BillyWu, W.Dhammika Widanage, ShichunYang, XinhuaLiu. 2020, 3, 8).

Työssä laaditut laskennat suoritetaan laitteella paikallisesti. Laskennoissa käytetty data vähennetään laitteen lähtevästä dataliikenteestä, näin vähentäen tiedonsiirrosta aiheutuvia kustannuksia. Paikallisesti laskennat kyetään myös toteuttamaan luotettavammin ilman langattomissa yhteyksissä ilmeneviä yhteyskatkoksia.



KUVA 1. Konttilukki tarttuja alas laskettuna ilman kuormaa. (Matti Blume. CC BY-SA. 2019)

Kuvassa 1 kuvattuna konttilukki mallinimikkeeltään ESC350, jollaisen ohjausjärjestelmän keräämää dataa opinnäytetyössä käsitellään.



KUVA 2. Telemetrikeräin pöydälle asetettuna. (Pessi Raunio. 2023)

Kuvassa 2 työssä optimoitu telemetrikeräin. Keräin on alumiinirunkoinen laite, joka on suunniteltu kestävään ulkopuolisiin rasitteisiin, kuten pölyä ja kosteutta.

## 2 DATAN KERÄYS JA KÄSITTELY

### 2.1 Laskentojen toteutustapa ennen optimointeja

Telemetriakeräimen käyttöjärjestelmä perustuu avoimen lähdekoodin Linux-pohjaiseen käyttöjärjestelmäversioon, joka hyödyntää datan keräämisessä ja käsittelyssä sille räätälöityjä sovelluksia. Merkittävä osa datankulkua palvelimelle on sovelluspaketti DAQ (Data acquisition). Yhtenä DAQ:in komponenttinä toimii CHEService, jonka tehtävänä on mm. lukea ja tulkita laitteelle asennettuja konfiguraatiopaketteja.

Konfiguraatiopaketeissa määritellään luettavan datan lähde ja sen mahdolliset esikäsittelyt. Konfiguraatioita on saatavilla konetyypeittäin, erilaisille ohjausjärjestelmille omansa. Tässä työssä optimoitava konfiguraatio on käytössä vain konttilukeissa. Konfiguraatioissa määritellyt tunnisteet luetaan PLC:n paikallisesta muistista, kaikki määritellyt tunnisteet ovat saatavilla laitteella mutta niistä vain osa valitaan palvelimelle lähetettäväksi.

Tunnisteiden lisäksi telemetrioita ovat myös tapahtumat, joilla on samankaltaisia ominaisuuksia kuin tunnisteilla mutta käyttäytyvät hieman eri tavalla. Esimerkiksi tapahtumille on mahdollista saman arvon lähettäminen palvelimelle peräkkäin kun taas tunnisteilla se on estetty.

DAQ-sovelluspaketti perustuu Qt-tukiympäristöön ja näin ollen myös hyödyntää sen tarjoamia ominaisuuksia, kuten tukea ECMAScript standardiin perustuville Qt-skripteille. Skriptien avulla voidaan tallentaa tunnisteiden tai tapahtumien arvoja muuttujiin, luoda uusia ja lähettää niitä eteenpäin. Suurin osa telemetriakeräimen dataliikenteestä muodostuu tunnisteiden lähettämisestä palvelimelle raakadatana, eli niin kutsuttuina telemetriatietoina. Telemetrioiden jatkokäsittely ja tallennus tapahtuu kokonaisuudessaan etäpalvelimella. Palvelimella telemetrioista lasketaan koneen toimintaa ja kuntoa kuvaavia metriikoita, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotekehityksessä tai asiakkaille tarjottavissa sovelluksissa.

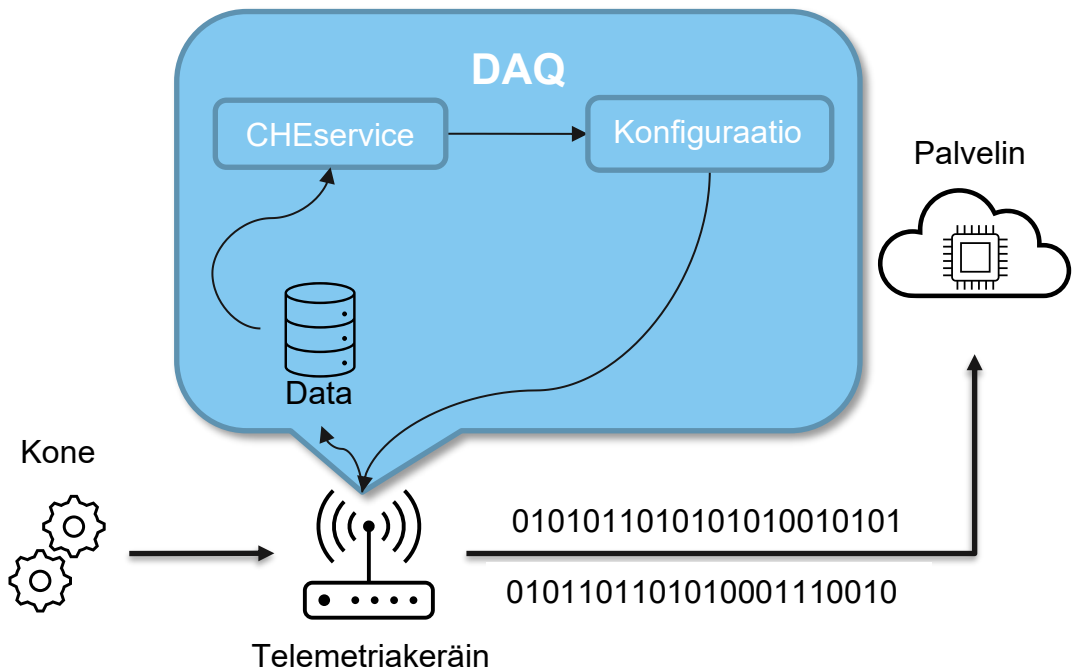
### 2.1.1 Data antureilta palvelimelle

Telemetriakeräin hyödyntää tiedonsiirrossa saatavilla olevaa mobiiliverkkoa. Tekniikkana käytetään 4G-verkkoa, erityistapauksissa telemetriakeräimen voi hyödyntää myös WiFi- ja Bluetooth-yhteyksiä.

Työssä käsiteltävän konttilukin konfiguraatiossa lähetetään yhteensä noin 664 tunnistetta, riippuen konfiguraation ja ohjausjärjestelmän versiosta. Palvelimelle saapuessaan suurin osa telemetroista lasketaan osaksi kokonaisuutta, joka esimerkiksi havainnollistaa koneen tehokkuutta tai toimintakykyä. Laskennat suoritetaan kerätystä datasta palvelimella, jossa myös laskennoissa käytetty data säilytetään.

Koneen ohjausjärjestelmä tallentaa mitatun arvon osoitetulle muistialueelle PLC:llä aina, kun sellainen on saatavilla. Näytteenottotaajuus vaihtelee mittauksesta riippuen alle yli yhden hertsin taajuudesta useaan minuuttiin. Erittäin nopea näytteenottotaajuus tuottaa ongelmia palvelimella suoritetuissa laskennoissa, sillä verkkoyhteyden aiheuttama latenssi ja katkokset aiheuttavat aukkoja dataan, joka johtaa epätarkkoihin laskelmien tuloksiin.

Telemetriakeräin poimii osoitetulta muistialueelta mitatut arvot tunnisteisiin konfiguraatiossa määritellyllä tavalla, ja lähettää ne telemetriatietoina palvelimelle. Muutamia telemetroita käytetään sellaisenaan ilman jatkokäsittelyä, kuten käyttötunteja, kuljettajan tunnistusnumeroa, kiihtyvyyssanturien raportoimia iskuja, sekä kontin nostoja ja laskuja.



KUVIO 1. Datan kulku. Yksinkertaistettu näkymä datan kulusta koneelta telemetriakeräimelle ja sieltä palvelimelle.

Yllä havainnollistava kuvio 1 datan kulusta ennen työssä suoritettuja optimointeja. Data kulkee koneen ohjausjärjestelmästä telemetriakeräimelle, jossa DAQ käsittelee määritellyt tunnisteet. CHEService tulkitsee ja muokkaa dataa konfiguraatiossa määritellyllä tavalla lähettämällä ne telemetrioina palvelimelle jatkokäsittelyyn.

## 2.2 Telemetriat

Telemetrioiden arvot ovat usein reaali maailmasta fyysisiä mittauksia, kuten lämpötila, energia tai kuljettu matka. Telemetria voi olla myös koneen tyyppi, moottorin malli tai totuusarvomuuttuja esimerkiksi hälytyksen tilasta.

Telemetriaksi voidaan määritellä myös tapahtuma. Tapahtuman tarkoitus on kuvata useamman tunnisteiden muodostamaa kokonaisuutta, jossa tarkastellaan useamman tunnisteiden tilaa ennen sen lähettämistä. Esimerkki tällaisesta tapahtumasta on kontin nosto. Siinä tarkastellaan useamman eri tunnisteiden tilaa, joiden avulla määritellään kontti nostetuksi.

## 2.2.1 Kokoelmat ja telemetrioiden rooli liiketoiminnassa

Nyky-yhteiskunnassa kerätyn datan hyödyntäminen on osa menestyksekkään yrityksen perustaa. Niiden avulla voidaan kehittää nykyisiä ratkaisuja, luoda simulaatioita tai ennustaa tulevaa tekoälyn avulla. Datan avulla voidaan myös tarjota palveluita asiakkaille, joiden avulla asiakas voi kehittää ja ylläpitää omaa toimintaansa.

IoT-laitteiden tuottama Big data tarjoaa tehokkaita työkaluja liiketoiminnan kehittämiseen. Kerätystä datasta voidaan havaita malleja tai yhtäläisyyksiä muuttujien välillä, joita voidaan hyödyntää prosessien ohjauksessa kestävämpiin ratkaisuihin. Suurien datamäärien analysointi mahdollistaa sellaisten yhtäläisyyksien havaitsemisen, jotka eivät pienemmällä datamäärällä olisi havaittavissa. (Andrea Sestino, Maria Irene Prete, Luigi Piper, Gianluigi Guido. 2020, 4).

Cargotecillä data on valjastettu näihin kaikkiin osa-alueisiin, kivijalkana tähän kokonaisuuteen on palvelimelle lähetettävät telemetriat. Koneiden kehittyessä myös datan määrä lisääntyy, esimerkiksi koneiden sähköistyessä telemetriatietoja lähetetään huomattavasti enemmän kuin tavallisessa dieselhybridi lukissa. Myös datan laatu ja luotettavuus on jatkuvana kehityskohteena datan yleistyessä osana liiketoimintaa. Suuremmat datamäärät tarkoittavat suurempia kustannuksia tiedonsiirrossa, infrastruktuurin kehittämisessä, datan säilyttämisessä ja käsittelyssä. Toisaalta suuret datamäärät myös mahdollistavat kattavien laskelmien laatimisen joka parantaa tuloksien tarkkuutta. Kustannukset tulee huomioida järjestelmiä kehittäessä ja laatia järjestelmät mahdollisimman tehokkaiksi niin, että kerätyn datan määrä ja laatu ei kärsisi mutta kustannukset pysyisivät maltillisina.

Tässä työssä tehtävä optimointi tapahtuu kokonaisuuksien laatimisella, joiden laskentaan on käytetty yhtä tai useampaa telemetriatietoa. Nämä kokonaisuudet sisältävät oleellisen tiedon esimerkiksi komponentin lämpötilasta, kulutetusta energiasta tai kuljetusta matkasta. Kokonaisuudet mahdollistavat datan hyödyntämisen data-analytiikassa ja yrityksen palveluissa samalla vähentäen tiedon-

siirrosta koituvia kustannuksia. Laskennat on laadittu vastaamaan tuloksiltaan aiemmin suoritettuja laskentoja.

## **2.2.2 Optimointien laskentatavat**

Osana konfiguraatioita toimii taustaskriptit, jotka ovat suunniteltu toimimaan ajoympäristössä reaaliaikaisesti. Näissä taustaskripteissä hyödynnetään Qt-kirjastoihin tukeutuvia työkaluja tunnisteiden ja tapahtumien käsittelyssä. Muuttuja saa tunnisteelta uuden arvon aina, kun taustaskripti ajetaan. Taustaskriptien ajoon on olemassa erilaisia menetelmiä, esimerkiksi tunnisteiden saadessa uusi arvo tai tietyin aikavälein. Arvot kerätään tunnistenumeroiden avulla muuttujiin, jonka jälkeen muodostetaan funktiot haluttujen arvojen laskemiseen. Laskennoissa on hyödynnetty aritmeettisiä laskumenetelmiä.

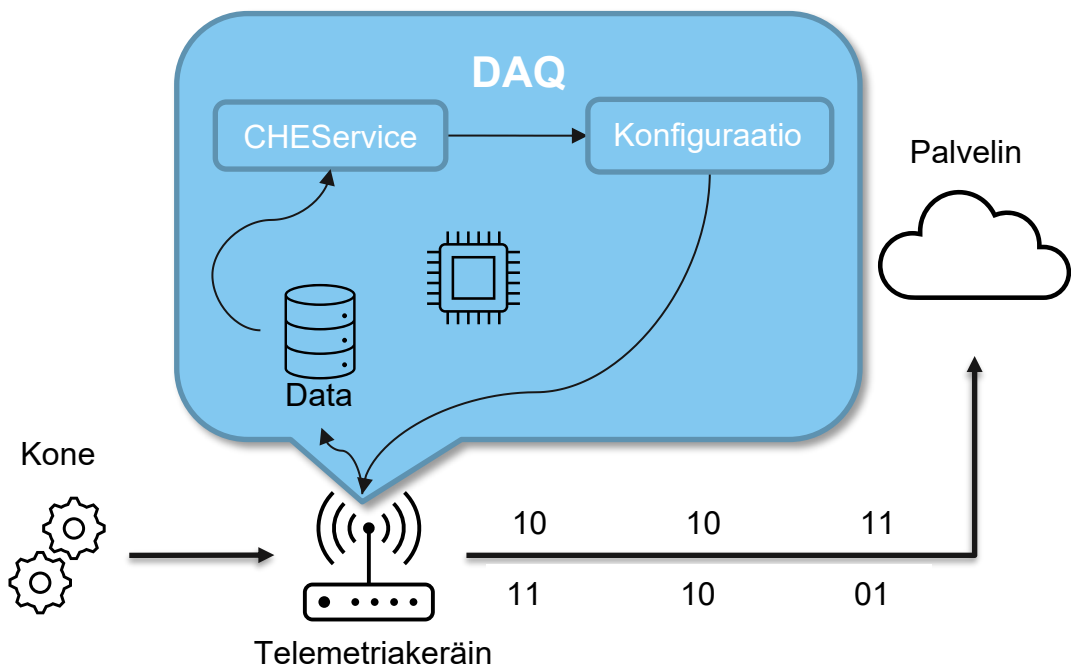
## **2.2.3 Qt kehitysympäristö**

Qt on alustariippumaton C++-ohjelmointikielellä kirjoitettu kehitysympäristö joka on tuettu usealla eri käyttöjärjestelmällä. Sen kehityksen aloitti norjalainen ohjelmoija Eirik Chambe-Eng ja Haavard Nord vuonna 1990. Qt on tunnettu sen tarjoamista graafisten käyttöliittymien kehitystyökaluista, mutta sen kirjastoja voidaan hyödyntää myös monessa muussa sovelluskehityksessä. (About Qt 2023).

### 3 KOKOELMIEN LAATIMINEN TELEMETRIOISTA

Kokoelmissa käytettävien tunnistetietojen keräykselle on määritetty aikaväli, jonka ajalta kerättyjä tietoja hyödynnetään kokoelmien laskennoissa. Aikaväliksi on valittu yksi sykli, se alkaa kontin laskemisesta maahan ja kestää seuraavaan kontin laskuun saakka, sisältäen yhden noston. Tällä tavalla sykliin sisällytetään koneen telemetriatietoa kontin kuljetuksen aikana, sekä tyhjänä ajaessa. Näin voidaan vertailla kuorman vaikutusta tunnisteiden arvoihin.

Tähän työhön on valittu seitsemän kokoelmaa, jotka muodostuvat yhdestä tai useammasta telemetriatiedosta. Telemetrioita kerätään syklin aikana ja jokaisen syklin päättyessä valmiit lasketut arvot lähetetään palvelimelle.



KUVIO 2. Konfiguraatioiden optimointi. Datan käsittely laitteella ja näin ollen palvelimelle lähetettävien tietojen väheneminen.

Kuviossa 2 kuvattuna datan kulku optimointien jälkeen. Kuvio havainnollistaa datan prosessointia paikallisesti laitteella, jolloin palvelimelle lähetetään valmiiksi laskettua dataa syklien päättyessä.

### **3.1 Syklin alkaminen ja päättyminen**

Koneen nostaessa konttia se asettaa tarttujan kulmat kontin kulmien kanssa linjaan. Tämän jälkeen tarttujan karat kääntyvät kontin kulmissa sijaitsevilla karakoteloissa, samalla lukittautuen konttiin kiinni. Jokaisen karan yhteydessä on konttikosketustappi, joka varmistaa onnistuneen lukittautumisen. Mikäli lukitus on epäonnistunut, karat avataan ja lukittautumista yritetään uudelleen. Vastaavasti konttia laskettaessa, karat avataan ja tarttuja nostetaan kontin päältä, jolloin konttikosketustappi vapautuu. Laskeminen ja nosto havaitaan karojen ja konttikosketustappien tunnisteiden avulla. Kukin tunniste raportoi totuusarvo-muuttujan konttikosketustappien ja karojen asennon mukaan. Totuusarvo-muuttujien vaihtuessa arvoon tosi, raportoidaan kontin kiinnitys ja vaihtuessa arvoon epätosi, raportoidaan kontin laskeminen.

### **3.2 Dieselmoottorin jäähdytysnesteen suurin mitattu lämpöarvo**

Moottorin jäähdytysnesteen suurin lämpötila syklin ajalta.

Telemetriakeräin lähettää jäähdytysnesteen lämpötilan aina kun tunniste saa edellisestä mittauksesta poikkeavan arvon. Diesel-moottorin jäähdytysnesteen lämpötila saattaa vaihdella käytön aikana muutamia celsius-asteita kuitenkin pysytellen moottorille ominaisella lämpötila-alueella. Muutaman lämpöasteen muutoksien toistuva raportointi lisää tietoliikenteen kustannuksia mutta ei edesauta moottorin toimintakyvyn tarkkailua.

#### **Muutokset**

Lämpötilan arvon mittaus toteutetaan yhden syklin ajalta. Syklin aikana jokainen anturilta vastaanotettu lämpöarvo tallennetaan muuttujaan ja verrataan aiemmin mitattuun arvoon. Mikäli uusi arvo on edellistä suurempi, se tallennetaan suurimpana mitattuna arvona.

Syklin päättyessä, suurin mitattu lämpöarvo lähetetään palvelimelle ja muuttujan arvo alustetaan arvoon nolla. Näin jokaiselta sykliltä saadaan mitattua suurin arvo johon voidaan tarvittaessa reagoida, samalla vähentäen epäoleelliset lukemat.

### **3.3 Kuljettu matka kontin kanssa sekä ilman konttia**

Kuljettu matka kontin kanssa, sekä ilman konttia. Telemetriakeräin lähettää koneen matkamittarilukeman kilometreinä yhden senttimetrin tarkkuudella.

#### **Muutokset**

Kumulatiivisesta kuljetusta matkasta tallennetaan otos muistiin aina kun kontti lasketaan tai nostetaan. Konttia nostaessa, saadaan ilman konttia kuljettu matka vähentämällä nostohetkellä kuljettu matka, kuljetusta matkasta edellisellä laskuhetkellä. Laskiessa konttia saadaan kuljettu matka kontin kanssa, vähentämällä kuljettu matka kuljetusta matkasta viimeksi mitatulla nostohetkellä. Muista kokoelmista poiketen tämä arvo lähetetään palvelimelle kahdessa erässä. Ilman kuormaa kuljettu matka lähetetään konttia nostaessa ja kuorman kanssa kuljettu matka laskiessa.

### **3.4 Kulutettu ja ladattu energia syklin aikana**

Koneen kuluttamat ja lataamat kilowattitunnit syklin aikana.

Telemetriakeräin lähettää hetkellisen tehonmittauksen kilowatteina noin 600 millisekunnin välein. Konttilukki kykenee lataamaan omia energiavarastojaan hyödyntämällä kineettistä energiaa esimerkiksi jarrutuksissa, tämä ladattu energia raportoidaan palvelimelle negatiivisina kilowattilukemina.

#### **Muutokset**

Telemetriakeräimen vastaanottamasta hetkellisestä tehonmittauksesta lasketaan kulutettu ja ladattu energia hyödyntämällä mittauksien välille jäävää aikaeroa. Mittauksien näytteenottotaajuuden ollessa yli yhden hertsin, on laskennassa pitänyt käyttää millisekunteja aikayksikkönä. Energian laskenta on toteutettu tallentamalla EPOCH-aika millisekunnin tarkkuudella kahteen muuttujaan. Toiseen muuttujaan tallennetaan aikaleima mittauksen yhteydessä ja toisessa muuttujassa on aikaleima edellisestä mittauksesta. Ajan muutos eli mittauksien välillä kulunut aika lasketaan vähentämällä vastaanotetun mittauksen aikaleima edellisen mittauksen aikaleimasta.

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (1)$$

Näin saadaan mittauksien välillä kulunut aika millisekunteina. Tämän jälkeen aika muutetaan sekunneiksi ja lasketaan kulutettu energia kilowattisekunteina.

$$kWs = \frac{\Delta t}{1000} \cdot kW, \quad (2)$$

Muutos kilowattitunneiksi tapahtuu jakamalla kilowattisekunnit sekuntien määrällä tunnissa.

$$kWh = \frac{kWs}{3600s}, \quad (3)$$

Lasketut kilowattitunnit summataan ladatun tai kulutetun energian kumulatiiviseen laskuriin riippuen siitä, oliko mittauksen arvo negatiivinen vai positiivinen.

Energialaskureita on yhteensä neljä kappaletta. Kulutettu ja ladattu energia konttia kantaessa, sekä kulutettu ja ladattu energia ilman konttia. Syklin päättyessä laskureihin kertyneet arvot lähetetään palvelimelle, jonka jälkeen paikalliset laskurit alustetaan seuraavan syklin mittauksia varten.

Laskentojen myötä palvelimelle lähetettävistä telemetrioista poistetaan koneen hetkellinen tehonkulutus. Tehonkulutuksen nopean näytteenottotaajuuden myötä dataa poistuu määrällisesti paljon.

### **3.5 Akun suurimman lämpöarvon omaavan kennon tunnistenumero**

Akuston kennon tunnistenumero, josta suurin lämpötila on mitattu syklin aikana.

Telemetriakeräin vastaanottaa akuston suurimman lämpötilalukeman aina arvon muuttuessa, vaihtelevasti noin yhdestä sekunnista muutamaan sekuntiin. Lämpötilan lisäksi vastaanotetaan kennon tunnistenumero jossa mitattu arvo on havaittu. Tunnistenumero lähetetään vain silloin kun suurimman mittauksen omaava kenno vaihtuu.

## **Muutokset**

Akuston lämpötila tallennetaan muuttuinaan 30 sekunnin välein tai aina lämpötilatunnisteen arvon muuttuessa. Skriptin käynnistyessä suurin lämpötila on asetettu arvoon nolla. Mikäli seuraavalla mittauskerralla lämpötila on suurempi kuin aiemmin mitattu arvo, tallennetaan sen hetkisen kennon tunnistenumero paikalliseen muuttuinaan. Syklin päättyessä kennon tunnistenumero lähetetään palvelimelle ja suurin lämpötila asetetaan takaisin arvoon nolla seuraavan syklin mittauksia varten. Palvelimelle lähetettävistä telemetrioista poistetaan akuston lämpötila ja tunnistenumeron raportointi.

### **3.6 Dieselmoottorin ahtimen tuottaman ahtopaineen keskiarvo**

Diesel moottorin tuottaman ahtopaineen keskiarvo syklin ajalta kilopascaleina. Osana koneiden järjestelmää toimii turboahdettu diesel-moottori yhdistettynä sähkögeneraattoriin. Tämän generaattorijärjestelmän tarkoitus on vastata koneen vaatimaa energiansaantia ja ylläpitää akustojen varausta. Sähkögeneraattoriin kohdistuva kuorma kasvaa koneen sähkömoottorien energian kulutuksen kasvaessa, esimerkiksi nostoissa, laskuissa tai kiihdytyksissä. Dieselmoottorin turboahdin ahtaa imuilmaa syöttäen tiheämpää ilmaa tehostaen moottorin hyötysuhdetta ja samalla kasvattaen imusarjan sisäistä painetta. Imusarjan sisäinen paine, eli ahtopaine lähetetään pilveen aina, kun mittauksessa on havaittu uusi lukema. Mittauksien näytteenottoväli saattaa olla taajuudeltaan jopa yli yhden hertsin.

## **Muutokset**

Taustaskripti ajetaan aina, kun ahtopaineen tunniste saa uuden arvon. Arvo summataan kumulatiiviseen laskuriin, samalla kasvattaen laskuria otoksien määrästä yhdellä. Näin saadaan syklin ajalta näytteiden kokonaismäärä, sekä mitattujen ahtopaineiden summa.

$$ka = \frac{a}{n}, \quad (4)$$

Kirjaimen n ollessa näytteiden määrä ja a mitattujen ahtopaineiden summa kaavassa 4. Mitattu keskiarvo syklin ajalta lähetetään palvelimelle syklin päättyessä, samalla kumulatiivisen ahtopainemittauksen ja näytteiden lukumäärän laskurit alustetaan arvoon nolla.

### **3.7 Ajomoottorien yllämpö varoitus**

Koneen ajomoottoreina toimii neljä sähkömoottoria, joita käytetään ajoneuvon liikuttamiseen. Jokaisesta sähkömoottorista mitataan lämpötila erikseen joka raportoidaan palvelimelle aina arvon muuttuessa. Palvelimelle lähetetään myös koneen ympäristön lämpötila aina mittauksen muuttuessa.

#### **Muutokset**

Taustaskripti ajetaan 30 sekunnin välein tai aina, kun jokin moottoreiden lämpötilatunnisteista saa uuden arvon. Jokaisen moottorin lämpötilamittaus tallennetaan taulukkoon moottorin numeroa vastaavaan indeksiin. Ympäristön lämpötila tallennetaan erilliseen muuttujaan. Taulukon jokainen arvo syötetään parametrina funktioon, joka tarkistaa ylittääkö lämpötilat funktiossa asetetut reunaehdot. Mikäli moottorin lämpötila ylittää tietyn lämpötilaraja-arvon suhteessa ympäristön lämpötilaan, lähetetään kyseisen moottorin tunnistenumeroilla hälytys palvelimelle. Hälytys lähetetään palvelimelle totuusarvomuuuttujana, tosi tai epätosi riippuen siitä, havaittiinko hälytystä syklin aikana vai ei.

### **3.8 Akuston ja akuston jäähdytysnesteen yllämmön varoitus**

Akuston jäähdytyksessä käytetään kiertovesijärjestelmää, jäähdytysnesteen sekä akuston lämpötila lähetetään palvelimelle havaittaessa muutosmittauksissa.

#### **Muutokset**

Taustaskripti ajetaan 30 sekunnin välein tai aina, kun akuston jäähdytysnesteen tai akuston lämpötilatunnisteet saavat uuden arvon. Lämpöarvot tallennetaan muuttujiin joiden avulla arvoja vertaillaan keskenään. Mikäli arvot ylittävät hälytysrajoiksi asetetut lukemat, palvelimelle lähetetään hälytys. Tieto

hälytyksestä lähetetään totuusarvomuuttujana riippuen siitä, onko lämpötiloja ylitetty syklin aikana. Syklin päättyessä hälytyksen havainto alustetaan takaisin arvoon "epätosi" valmiiksi seuraavan syklin mahdollista varoitusta varten.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa tarkastellaan telemetrioiden optimoinneista koituvia säästöjä lähtevän tietoliikenteen datamäärissä. Vertailuun valittiin yhteensä kahdeksan konetta ympäri maailman, jotta saataisiin mahdollisimman paljon diversiteettiä dataan.

Koneen lähtevän dataliikenteen määrissä saattaa olla pieniä vaihteluita riippuen sen käyttöympäristöstä ja käyttötavasta. Joissakin terminaaleissa koneella saattaa olla useita eri kuljettajia erilaisin työskentely tottumuksin, kun taas toisaalla koneella voi olla vain muutama eri kuljettaja. Myös terminaalin pohjapiirros vaikuttaa kuljettuun matkaan ja nostojen määrään, jotka lisäävät lähetettäviä telemetriatietoja. Keräämällä aineistoa ympäri maailman nämä aluekohtaisien muuttujien vaikutukset mittauksiin tasoittuivat.

Vertailuun valittiin sopiva aikaväli, jolloin kone on ollut mahdollisimman aktiivinen. Normaalin ja optimoidun datan vertailuvälit pyrittiin löytämään niin, että koneen käyttötunnit ja aktiivisuus vastaisivat mittauksien välillä mahdollisimman paljon toisiaan. Täsmälleen identtistä toimintaa uuden ja vertailudatan välillä on mahdotonta saada, mutta samasta koneesta laaditut mittaukset lähes identtisillä käyttötunneilla tarjoavat vertailukelpoista dataa.

### 4.1 Teoreettiset säästöt

Työssä laadittiin yhteensä seitsemän optimointia eli kokoelmaa, tässä kappaleessa tarkastellaan kokoelmien tuottamia teoreettisia säästöjä. Teoreettisten säästöjen laatimista varten, kerättiin palvelimelle lähetettyjen tunnisteiden ja tapahtumien kokonaislukumäärä. Pyysin myös raportin operaattorilta laitteen tiedonsiirron kokonaiskulutuksesta samalta aikaväliltä.

Näiden tietojen avulla laskettiin arvio tavumäärästä tunnistetta kohden. Näytteenoton ajalta laite oli lähettänyt palvelimelle yhteensä 316 257 telemetriatietoa ja hälytyksiä 200 kappaletta. Operaattorin raportin mukaan lähtevää tiedonsiirtoa laitteelta oli kertynyt 59 591 607 tavua, eli noin 188 tavua tunnistetta, tapahtumaa tai hälytystä kohden.

Optimoinnit muodostuivat yhteensä neljästätoista lähetettävästä tunnisteesta. Teoreettisten laskelmien laatimiseksi tunnisteet jaettiin neljään eri luokkaan näytteenottotaajuuden perusteella. Tämän avulla tehtiin arvio tunnisteiden lukumäärästä yhden käyttötunnin ajalta.

Ensimmäiseen luokkaan eli tiheimmin lähetettäviin tunnisteisiin luokiteltiin noin yhden hertsin näytteenottotaajuuden omaavat tunnisteet. Näihin tunnisteisiin kuului, moottorien lämpötilatiedot, moottorin käyntinopeus, hetkellinen tehon käyttö ja ahtopaineen määrä. Näitä tunnisteita kokoelmassa oli yhteensä seitsemän kappaletta.

Toiseen luokkaan laskettiin kuljettu matka, joka lähetettiin kymmenen senttimetrin välein. Tunnisteen näytteenottotaajuus on siis suoraan riippuvainen koneen hetkellisestä nopeudesta, sillä kulkiessa nopeasti myös mittauksien näytteenottoväli tihenee. Näytteestä selvisi, että mittauksien aikana keskimääräinen näytteenottoväli oli noin 1,3 sekuntia.

Kolmanteen luokkaan määriteltiin kymmenien sekuntien välillä raportoitavat tunnisteet kuten, jäähdytysnesteen, akuston veden, akun kennon ja ympäristön lämpötilamittaukset. Nämä arvot lähetettiin palvelimelle keskimäärin 30 sekunnin välein.

Neljänteen luokkaan laskettiin harvoin lähetettävät tunnisteet, kuten akun yllilämmön kennon tunnistenumero ja akuston lämpötila. Näytteen perusteella nämä tunnisteet lähetettiin palvelimelle keskimäärin 150 sekunnin välein. Otetaan tarkasteluun kulutus yhden käyttötunnin ajalta, jossa optimointien myötä poistetut tunnisteet on jaettu omiin luokkiinsa.

TAULUKKO 1. Taulukko optimoinneissa poistettujen tunnisteiden teoreettisesta määrästä yhden käyttötunnin ajalta.

Luokka	Näytteenottoväli	Tunnisteiden määrä	Määrä tunnissa
1.	0.8s	7	$\left(\frac{3600s}{0,8s}\right) * 7 = 31500$
2.	1.3s	1	$\frac{3600s}{1,3s} = 2769$
3.	30s	4	$\left(\frac{3600s}{30s}\right) * 4 = 48$
4.	2.5min	2	$\left(\frac{3600s}{150s}\right) * 2 = 48$
<b>Yhteensä</b>			= 34797 tunnistetta

Kokoelmien lähetys tapahtuu vain konttia laskiessa, joka tapahtuu näytteestä tehtyjen havaintojen perusteella noin 150 sekunnin välein. Optimoitu konfiguraatio sisältää seitsemän kokoelmaa, jotka lähettävät yhteensä 14 tunnistetta syklin päättyessä. Tämä tarkoittaa 150 sekunnin sykleillä

$$\frac{3600s}{150s} = 24$$

lähetykskerta, joka vastaa

$$24 \times 14 = 336$$

tunnistetta tunnissa.

Lasketaan erotus vähentämällä kokonaisuudessa mitattujen tunnisteiden määrästä optimointien myötä poistettujen tunnisteiden määrä ja lisäämällä tulokseen optimoitujen tunnisteiden määrä tunnissa.

$$(316257 - 34787) + 336 = 281\ 806$$

Tulokseksi saadaan teoreettinen tunnisteiden määrä yhden käyttötunnin ajalta optimointien jälkeen.

Laskelmien perusteella tunnin ajon aikana poistettuja tunnisteita on 34 461 kappaletta joista jokainen vastaa noin 188 tavua datansiirtoa. Tästä voidaan laskea

$$34\,461 \times 188 = 6\,478\,668$$

Joka tarkoittaa noin 6,5 megatavua lähtevää datansiirtoa tuntia kohden. Tämä vastaa kahdeksalta käyttötunnilta noin 52 megatavua, eli viitenä päivänä viikossa kahdeksan tunnin työpäivillä säästöä kertyy 260 megatavua.

On otettava huomioon että reaali maailmassa tunnisteiden määrän pysyminen yhtäjaksoisesti vakiona on käytännössä mahdotonta. Koneen aktiivisuus ja eri toiminnot määrittelevät kuinka paljon tunnisteita lähetetään. Siksi luotettavien laskelmien saamiseksi tulisi valita usealta eri koneelta pidemmän aikavälin keskiarvoja tunnisteiden määrästä. Myös telemetrioiden lähetystiheys vaihtelee koneen käyttötavan mukaan. Nämä teoreettiset laskut laadittiin olettamuksella, että telemetrioiden määrä pysyisi vakiona tarkasteluun valitulla aikavälillä.

Myös hälytyksien osuus lähetettävistä tavuista vaikuttaa laskettuun tavumäärään telemetriaa tai lähetystä kohden. Tähän vertailuun valittiin vain pieni otos havainnollistamaan optimoinnin teoreettisia säästöjä.

## **4.2 Tunnisteiden määrän väheneminen**

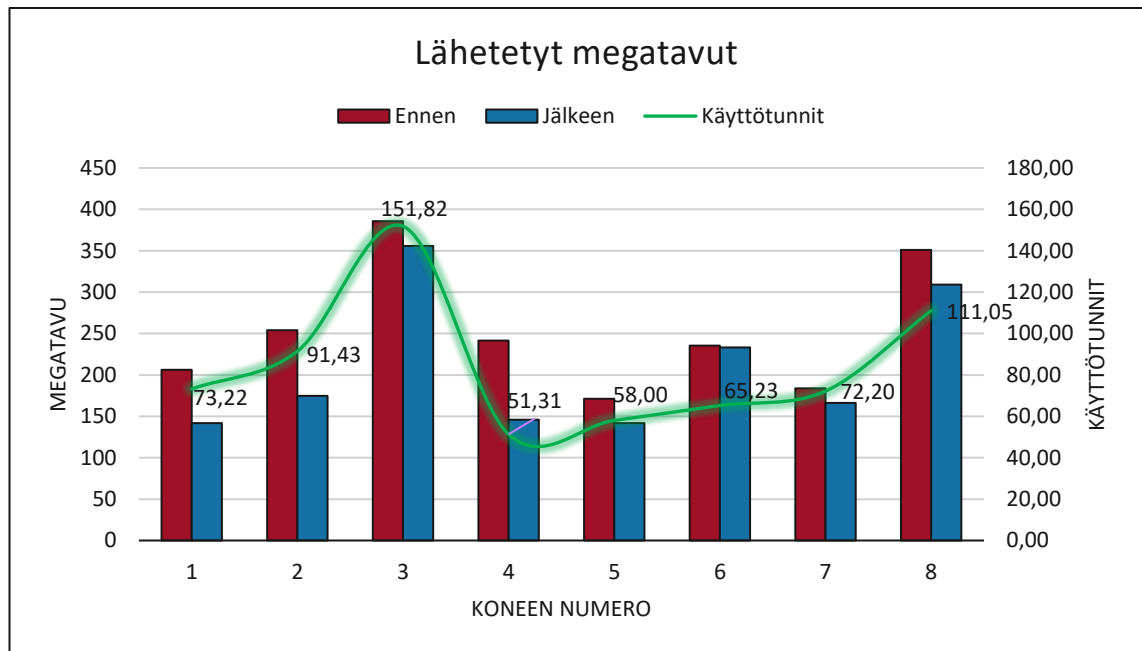
Samasta datanäytteestä laskettiin palvelimelle lähetettyjen tunnisteiden määrä, josta vähennettiin optimoinneissa poistetut tunnisteet. Näytteestä ilmeni, että kokonaisuudessa lähetetyistä 316 257 tunnisteesta poistettujen tunnisteiden jälkeen jäljelle jäi 299 182, eli palvelimelle lähetettävien telemetrioiden määrä väheni noin 5,399 prosenttia.

On huomioitavaa, että tunnisteiden määrä ei suoraan kerro säästetystä dataliikenteestä. Eri datatyypit ovat tiedonsiirrollisesti eri kokoisia, esimerkiksi liukuluku on kahdeksan tavua ja kokonaisluku on arvosta riippuen 1-4 tavua.

Tunniste voi olla myös tieto kuten koneen malli, moottorin malli tai totuusarvomuuttuja, joiden koot myös vaihtelevat.

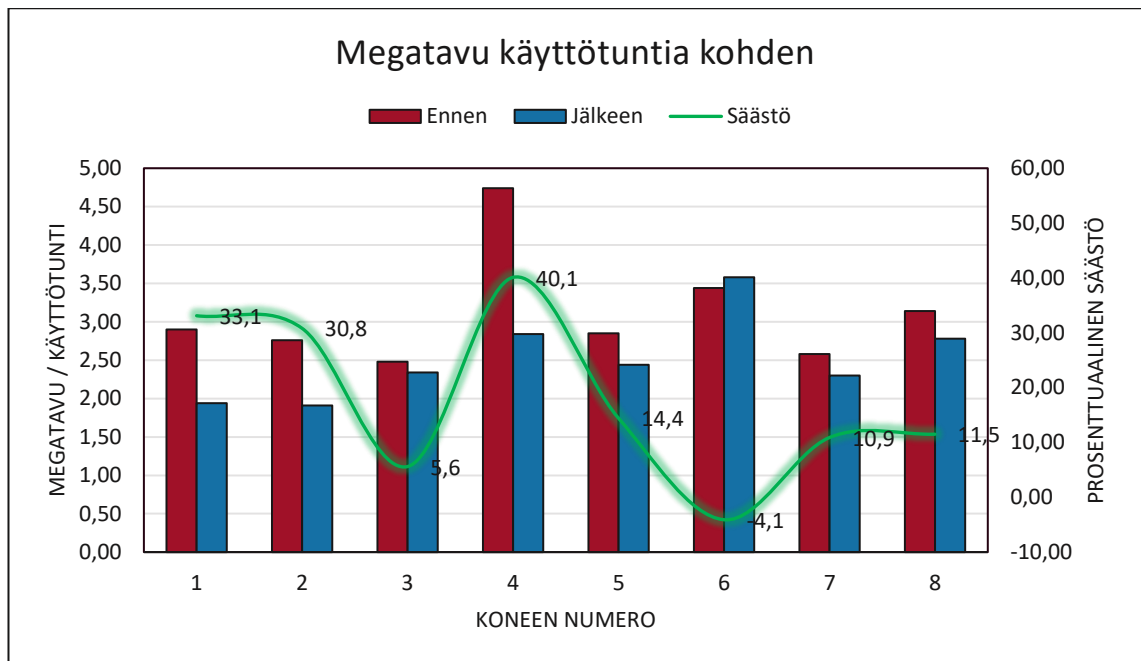
### 4.3 Lähetettyjen datamäärien vertailu aiempaan

Tässä kappaleessa vertaillaan alkuperäisen konfiguraation datankulutusta optimoituun konfiguraatioon.



KUVIO 1. Lähetetyt megatavut ennen ja jälkeen optimointien.

Yllä KUVIO 1. josta ilmenee optimoinneista koituneet säästöt lähtevässä dataliikenteessä. Uuden sekä vanhan datanäytteiden käyttötunnit vastaavat toisiaan vähintään viiden käyttötunnin tarkkuudella. Kuviossa näkyvät käyttötuntilukemat ovat uuden näytteen käyttötunteja. Kokonaiskäyttötunnit sisältävät operatiiviset ja joutokäyntitunnit, jotka on valittu vastaamaan toisiaan enintään kolmen käyttötunnin eroilla.



KUVIO 2. Megatavu käyttötuntia kohden ennen ja jälkeen optimointien.

Yllä KUVIO 2. jossa kuvattuna lähtevä dataliikenne yksikkönä Megatavu kokonaiskäyttötuntia kohden. Prosenttuaalinen säästö on kuvattu vihreän viivan datapisteissä lukuina, sekä Y-akselilla oikealla.

Kuvioista ilmenee datankulutuksen olevan pääsääntöisesti laskevaa. On kuitenkin muutama poikkeustilanne, jossa datasäästö on erittäin suurta (kone 4) tai jossa kulutus on jopa lisääntynyt (kone 6), näitä tarkastellaan tarkemmin myöhemmässä kappaleessa. Vertailussa olleiden koneiden lähtevän dataliikenteen keskimääräinen säästö oli 17,78 prosenttia.

#### 4.4 Tulosten tarkastelu

Tuloksien yhteneväinen trendi oli tavoitteiden mukaisesti datan kulutuksen kannalta laskeva, vertailuissa ilmenneitä ääripäitä on kuitenkin viisasta tarkastella aiheuttajien selvittämisen vuoksi.

##### 4.4.1 Suurin säästö

Ensimmäisenä tarkasteltiin neljännen koneen noin 40 prosentin säästöä. Koneen ohjausjärjestelmän tuottama data on riippuvainen monesta eri tekijästä jolloin

lähetetty datamäärä saattaa satunnaisesti vaihdella hyvinkin paljon. Yhtenä datankulutusta lisäävänä tekijänä on hälytyksien määrä.

Hälytyksiä lähetetään useasta eri aiheesta. Yleisimpinä mainittakoon kovat iskut, esimerkiksi kuorman kanssa tai kuopasta ajaessa, rengaspaineiden väheneminen tai muu koneen havaitsema järjestelmän vajaatoiminta. Uuden datanäytteen ajalta palvelimelle oli saapunut 3813 hälytystä ja vanhan datanäytteen ajalta 5337. Tämän varjolla voidaan todeta uuden datanäytteen ajalta lähtevän dataliikenteen olleen jo valmiiksi pienempi, vaikka optimoinneista koituneita säästöjä ei olisi otettu huomioon.

Toinen vaikuttava tekijä oli kuljettu matka. Koneen kulkiessa se lähettää palvelimelle GPS paikkatietoa, sekä kuljettua matkaa 10 senttimetrin välein. Suurempi kuljettu matka tarkoittaa enemmän telemetriatietoja matkan raportoinnista. Uuden datanäytteen ajalta kuljettua matkaa oli kertynyt 191 kilometriä ja vanhan näytteen ajalta 355 kilometriä. Kuljettu matka oli siis 86,68 prosenttia suurempi vanhan näytteen ajalta kuin uuden, joka suurensi mittauksien lähtevän dataliikenteen eroa entisestään.

Näiden seikkojen varjolla tunnistettiin poikkeuksellisen suuren datasäästön johtuvan yllä mainituista muuttujista. Valitsemalla näytteiden käyttötuntimäärät mahdollisimman lähelle toisiaan, saadaan todennäköisesti myös lähetetyt telemetriat vastaamaan melko lähelle toisiaan. Tämä tarkastelu todistaa kuitenkin telemetrioiden määrän saattavan vaihdella erittäinkin paljon erinäisistä muuttujista johtuen.

#### **4.4.2 Pienin säästö**

Tarkastellaan seuraavaksi kuudennetta konetta, jossa lähtevän datan määrä kasvoi entisestään verrattuna optimoituun dataan. Ensimmäisenä tarkasteltiin aiemmin todettuja datansiirtoon vaikuttavia tekijöitä, kuten kuljettua matkaa. Tarkasteluissa kävi ilmi, että kuljetun matkan mittaus puuttui kokonaan kyseisen koneen palvelindatasta. Kone kuitenkin raportoi GPS-paikkatietoa, jolla on vaikutusta datasiirtoihin.

Koneen palvelindataa tutkiessa selvisi, että kone ei ole aiemminkaan lähettänyt palvelimelle useampaa optimoinneissa käytettyä tunnistetta. Esimerkiksi ympäristön lämpötilasta, moottorin käyntinopeudesta, ahtopaineesta, hetkellisestä tehosta, akun kiertovesiveden lämpötilasta tai jäähdytysnesteen lämpötilasta. Suurimman osan optimoiduista telemetrioista puuttuessa koneen palvelindatasta jo entuudestaan, ei optimointien avulla saavuteta juurikaan datasäästöjä.

Näiden tietojen varjolla voidaan todeta yhtenevän tai jopa pienen datamäärän kasvun johtuvan kyseisen koneen ohjausjärjestelmän versiosta. Pienen kasvun datakulutukseen on saattanut aiheuttaa aiemmin mainitut satunnaiset hälytykset, GPS paikannusdata tai kuljettajan aktiivisempi toiminta esimerkiksi kontin käsittelyssä.

## 5 POHDINTA

### 5.1 Laskentojen laadun parantaminen ja palvelindatan eheyttäminen

Laskentojen tuloksissa oli havaittavissa pieniä eroja palvelimen ja laitteen kesken. Pienet erot johtuivat langattomien yhteyksien häiriöistä, tämä ilmeni vertailemalla palvelimella ja laitteella havaittuja datapisteitä. Löydös osoittaa, että laskentoja on mahdollista hyödyntää myös datan laadun parantamisessa. Paikallinen laskenta ei ole riippuvainen palvelimen dataliikenneyhteydestä, joka mahdollistaa saumatonta laskentaa, laskentojen tulokset voitaisiin siirtää palvelimelle vasta yhteyden ollessa riittävän hyvä.

Laadukkaan datan on katsottu vaikuttavan positiivisesti yrityksen prosessien tehokkuuteen. Raakadatan käsittely voi viedä jopa 90 prosenttia data-analytiikka tiimin työajasta. Tuottamalla laadukkaampaa dataa lähteestä, vapautetaan aikaa muille merkittävillä työtehtävillä, kuten koneoppimisen mallien kehitykselle. J.Y. Xiangin (2013) empiirisen tutkimuksen mukaan, laadukkaan datan avulla voidaan kasvattaa yrityksen tehokkuutta usealla eri mittarilla. Laadukkaan datan myötä, tutkimuksen kohteena olleet yritykset paransivat myyntiä 33,7 prosenttia, tuottoa 64,4 prosenttia ja yrityksen arvoa 26,2 prosenttia. (Nadine Côte-Real, Pedro Ruivo, Tiago Oliveir. 2020, 6).

Esimerkkinä laivaan asennetun nosturin telemetriakeräin. Sen datayhteys saattaa olla merenkulun aikana heikko tai poikki jopa viikkoja. Telemetriakeräin suorittaisi laskentaa paikallisesti, kunnes riittävät yhteydet mahdollistaisivat laskentojen siirron palvelimelle, esimerkiksi satamaan saapuessa. Viiveellä kerättyä dataa voi edelleen hyödyntää esimerkiksi koneoppimisen mallien kehityksessä.

Datan eheyttäminen on hyödyllistä myös normaalitilanteessa tapahtuvien langattomien yhteyksien aiheuttamissa datakatkoksissa. Kansainvälisen tekniikan alan järjestön IEEE:n julkaisemassa kyselyssä (D. R. Bhadra ym. 2015, 5-6) koottiin yhteensä 24 eri teosta, joissa tutkittiin pakettien putoamista aiheuttavia tekijöitä ja niiden todennäköisyyksiä tapahtua tiedonsiirron aikana. Kyselystä selviää että langattomien yhteyksien datakatkoksiin vaikuttavia tekijöitä

on useita ja suurimmalta osalta ei käytännössä voida välttyä. Langattomassa tietoliikenteessä esiintyy pieniä häiriöitä erityisesti, kun kyseessä on liikkuva laite. Telemetriakeräimen on liikkuvaan laitteeseen asennettu ja tukeutunut täysin langattomaan yhteyteen, pienet häiriöt dataliikenteessä ovat siis väistämättömiä.

Laskentaa voi suorittaa saman aikaisesti telemetriakeräimellä, sekä palvelimella. Telemetriakeräin tarkkailee signaalin vahvuutta ja tekee laskentaa paikallisesti signaalin ollessa heikko. Tämän jälkeen tietyn aikavälein tai yhteyden ollessa riittävän vahva vain häiriöistä kärsineet näytteet lähetetään palvelimelle. Palvelimella paikallisesti suoritettujen laskennan tulokset yhdistetään palvelimella tehtyihin laskentoihin. Tämä lisää tiedonsiirron kustannuksia mutta erityistapauksia varten, tekee laskentojen tuloksista lähes saumatonta.

## **5.2 Datan esikäsittelyn lisääminen**

Lähetettävän datan optimointia voi edelleen parantaa poistamalla totuusarvomuuuttujen epätosi-arvot. Palvelimella epätosi totuusarvomuuuttuja esiintyy tyhjänä arvona tai nollana, joten sitä ei ole tarpeellista raportoida. Tässä ratkaisussa arvojen käsittelyä tulee tarkkailla paikallisesti ja raportoida tieto mahdollisesta ongelmatilanteesta palvelimelle. Muutoin ongelmatilanne jossa laskelmia ei lähetetä, tulkittaisiin palvelimella laitteen normaalina käyttäytymisenä.

## **5.3 Reunalaskennan lisääminen ja tuloksien verifiointi**

Jatkokehityksenä kartoitetaan tiedonsiirrollisesti raskaimmat telemetriatiedot ja niillä tehtävät laskennat palvelimella. Tämän jälkeen laaditaan luotettava ratkaisu laskelmien suorittamiseen laitteella. Konttilukkien konfiguraatioiden optimointien jälkeen, siirrytään optimoimaan terminaalitraktoreita ja vastapainokurottajia. Mainittuja konetyyppejä on käytössä konttilukkeja enemmän, joten optimoinnit vaikuttaisivat konekantaan laajemmin. Tuloksien oikeellisuuden tarkastamiseksi suoritetaan ajanjaksoja, joissa vertaillaan alkuperäisten palvelinlaskentojen tuloksia paikallisesti suoritettuihin laskentoihin. Tuloksien ollessa kyllin hyviä, siirrytään käyttämään vain paikallisesti suoritettuja laskentoja.

Kokonaisuudessaan palvelimelle lähetetään päivittäin noin 1,1 miljardia telemetriatietoa, joka osoittaa esimerkiksi 10 prosentin säästöllä olevan merkittäviä vaikutuksia tiedonsiirron kustannuksiin.

Osa datan avulla tehtävästä kehitystyöstä vaatii raakadatan sellaisenaan, näihin tarkoituksiin valittaisiin muutamat yksittäiset koneet ja muissa tuotannon koneissa hyödynnettäisiin optimoituja konfiguraatioita.

## LÄHTEET

Kuva 1. Matti Blume. 2019 CC BY-SA 4.0 Osoitteesta:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Straddle\\_carrier,\\_Eurokai,\\_WPAhoi,\\_Hamburg\\_\(P1080589\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Straddle_carrier,_Eurokai,_WPAhoi,_Hamburg_(P1080589).jpg)

BillyWu, W.Dhammika Widanage, ShichunYang, XinhuaLiu. 2020. Battery digital twins: Perspectives on the fusion of models, data and artificial intelligence for smart battery management systems. 9.7.2020. Viitattu 8.5.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546820300161>

Andrea Sestino, Maria Irene Prete, Luigi Piper, Gianluigi Guido. 2020. Internet of Things and Big Data as enablers for business digitalization strategies. 11.8.2023 Viitattu 8.5.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497220300456>

The Qt Company. About Qt. 2022. Verkkosivu. Viitattu 8.5.2023

[https://wiki.qt.io/About\\_Qt](https://wiki.qt.io/About_Qt)

Nadine Côte-Real, Pedro Ruivo, Tiago Oliveir. 2020. Leveraging internet of things and big data analytics initiatives in European and American firms: Is data quality a way to extract business value? 1.1.2023. Viitattu 8.5.2023.

Viitattu 8.5.2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720617308662>

D. R. Bhadra, C. A. Joshi, P. R. Soni, N. P. Vyas, R. H. Jhaveri, 2015. Packet loss probability in wireless networks: A survey. International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP) 2.4.2015.

Viitattu 28.04.2023. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7322729>