



# Sulanapitojärjestelmän logiikkaohjaus

Lentokentän pysäytysvaijerin lämmityksen ohjaus- ja valvontajärjestelmän uusiminen

Miikka Raninen

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2020

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

RANINEN MIIKKA:

Sulanapitojärjestelmän logiikkaohjaus

Lentokentän pysäytysvaijerin lämmityksen ohjaus- ja valvontajärjestelmän uusiminen

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Kesäkuu 2020

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksella, Vuoreksen toimipisteessä. Työn tavoitteeksi asetettiin lentokenttien vaijeripysäytysjärjestelmien lämmityksen ohjaus- ja valvontajärjestelmän uusiminen sekä niiden ylläpidon parantaminen. Työ rajattiin prototyypin suunnittelu- ja testaustyöhön, jonka perusteella lopulliset sähköasennukset teetetään ulkopuolisella yrityksellä.

Syynä uusimiseen oli edellisessä järjestelmissä käytetty vanha analoginen säädin, jonka huoltaminen ei enää ollut mahdollista. Lisäksi järjestelmän vikaantumisia haluttiin vähentää ja niiden syistä haluttiin tarkempi indikaatio. Korvaavan järjestelmän prototyypikytkennän rakentaminen, PLC-logiikan ohjelmointi ja lämmityksen säädön testaus tehtiin 3. Logistiikkarykmentin kalibrointilaboratoriossa. Työn edetessä varsinaiset laitteiston ja ohjelmiston tekniset ominaisuudet tarkentuivat ja niiden muuttuneista vaatimuksista sovittiin projektialavereissa. Prototyypin valmistusvaiheessa testattiin soveltuvat komponentit, niiden yhdistelmät ja etsittiin tilaajan ja toimittajan kanssa tarkoituksenmukaiset asennustavat. Järjestelmän lopullinen asentaminen ja testaaminen tehdään kesällä, kun lämmitysjärjestelmää ei tarvita. Kehityskohteiksi jäivät prototyypin monistaminen eri lentokentille sekä eri määrille lämmitysvastuksia.

Tämä työ on julkinen versio opinnäytetyöstä, josta on jätetty pois kaikki yrityksen luottamuksellinen ja Puolustusvoimien turvallisuusluokittelema tieto.

---

Asiasanat: pysäytysvaijeri, sulanapito, PLC-logiikka

## **ABSTRACT**

Tampereen Ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Automation Engineering

MIIKKA RANINEN

Programmable Logic Control for a Heating System  
Airfield runway arresting cable system's heating control- and monitoring system  
upgrade

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 0 pages  
June 2020

This bachelor's thesis was carried out for the Finnish Defense Forces Logistics Command. The objective of this thesis was to upgrade the heating control- and monitoring system for the airfield runway arresting cable system in order to improve its maintenance and life-cycle management. The scope of the work was restricted to developing and testing a prototype for the heating controller using programmable logic control (PLC).

The reason for the upgrade was due to an old analog controller which was no longer supported. Additionally, the faults were difficult to track and troubleshoot and maintenance of the system had become difficult because of this. The replacement system was developed at the calibration laboratory of the 3rd Logistics Regiment and used an industrial PLC by Siemens for controlling and monitoring the heating elements. A project was setup where the different technologies were evaluated and chosen for the final design according to the requirements provided by the end user. Final installation was given to an automation contractor and will occur during summer months when heating from the system is not needed. Final development by the installation company will adapt the prototype to various airfield systems with different sets of heating elements.

This version of the thesis is a public version, omitting any confidential information from the companies involved and any classified information by the Defense Forces.

---

Key words: arresting cable, heating system, PLC-logic control

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tilaaaja-organisaation esittely.....	6
1.2	Puolustusvoimien Logistiikkalaitos .....	7
1.3	Järjestelmäkeskus.....	7
1.4	Tukikohtajärjestelmäsektori.....	7
1.5	Asennuskohteen esittely .....	7
1.6	Pirkkalan lentoasema.....	8
2	TEORIAA.....	9
2.1	Ohjelmoitavat logiikat.....	9
2.2	Induktiivinen virranmittaus.....	11
2.3	Modbus-väyläjärjestelmä .....	11
2.4	Puolijohdereleet .....	12
2.5	Vastuslämpötila-anturi (Pt100).....	14
3	VAIJERIPYSÄYTYSJÄRJESTELMÄ .....	15
3.1	Pysäytysvaijerin käyttö.....	16
3.2	Vaijerilämmitysjärjestelmä.....	17
3.3	Vikavalvontajärjestelmä .....	17
3.4	Vaijerilämmityksen valvontajärjestelmä.....	17
4	SUUNNITTELU.....	19
4.1	Asiakkaan tarve ja lähtökohdat .....	19
4.2	Työn eteneminen ja aikataulu .....	19
4.3	Vaatimusmäärittely.....	20
4.4	Sulanapitojärjestelmän toimintaperiaate .....	20
4.5	Lämmityksenohjaus .....	21
5	PROTOTYYPPI .....	23
5.1	Prototyypin laitevalinnat .....	23
5.2	Ohjauslogiikka.....	24
5.3	Lämpötilanmittaus .....	25
5.4	Vastuskaapelit.....	26
5.5	Prototyypin testaus.....	27
6	POHDINTA .....	29
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET .....	32

**LYHENTEET JA TERMIT**

DC	Direct Current, tasavirta
AC	Alternating Current, vaihtovirta
TRMS	True Root Mean Square, näytteistämällä mitattu tarkempi tehollinen arvo
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, eristehilatransistori
SCR	Silicon-controlled Rectifier, tyristori
DIN	Deutsches Institut für Normung, Saksalainen standardointi-instituutti
LV	Low Voltage, pienjännite
ELV	Extremely Low Voltage, pienoisjännite
AS-i	Actuator Sensor Interface, kenttäväylä-standardi
PLC	Programmable Logic Controller
CPU	Central Processing Unit, prosessori
ABB	Ruotsalais-Sveitsiläinen teollisuuskonserni
VPJ	Vaijeripysäytysjärjestelmä
VR	Vastusryhmä
TVL	Tukivarsilaatikko
VK	Vaijerikanava
IEC	International Electrotechnical Commission
LD	Ladder Diagram
SFC	Sequential Function Charts
FBD	Function Block Diagram
ST	Structured Text
IL	Instruction List

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksella, Vuoreksen toimipisteessä. Työn tavoitteena on lentokenttien vaijeripysäytysjärjestelmien (kuva 1) lämmityksen ohjaus- ja valvonta järjestelmän uusiminen sekä sen ylläpidon parantaminen. Opinnäytetyön tuloksena syntyy prototyyppi, jonka perusteella lopulliset sähköasennukset teetetään ulkopuolisella yrityksellä. Lisäksi tarkoituksena on luoda malliratkaisu kaikkien Ilmavoimien käyttämien kenttien vaijeripysäytysjärjestelmien modernisoinneille, joissa kyseinen järjestelmä pitää uusia.



KUVA 1. Suomen ilmavoimien Hornet laskeutuu pysäytysvaijeriin Lusin suoralle Heinolassa Baana 16 harjoituksessa (Airo 2016).

### 1.1 Tilaaja-organisaation esittely

Työn tilaajana oli Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksen Järjestelmäkeskuksen Tukikohtajärjestelmäsektori. Sen järjestelmävastuulla ovat mm. Ilmavoimien käyttämät pysäytysvaijerijärjestelmät.

## **1.2 Puolustusvoimien Logistiikkalaitos**

Puolustusvoimien Logistiikkalaitos huolehtii kaikkien puolustushaarojen joukkojen, henkilöstön ja järjestelmien toimintakyvystä, materiaalin käyttökelpoisuudesta sekä hallinnoi Puolustusvoimien kumppanuuksia ja sopimuksia. Laitos on Pääesikunnan ja puolustushaarojen esikuntien logistiikan ja materiaalian tekninen asiantuntija ja lisäksi hankkii ja omista lähes kaiken Puolustusvoimien käytössä olevan materiaalin ja järjestelmät. Logistiikkalaitoksen esikunta sijaitsee Tampereella ja sen alaisuuteen kuuluu Järjestelmäkeskuksen ja Logistiikkakoulun lisäksi Räjähdekeskus, Sotilaslääketieteen keskus sekä kolme logistiikkarykmenttiä. Laitoksella on henkilöstöä n. 2200 ja toimipaikkoja 39:llä paikakunnalla.

## **1.3 Järjestelmäkeskus**

Järjestelmäkeskus on suurin Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksen alaisuuteen kuuluva organisaatio 500 työntekijän henkilöstöllään ja sen tehtävä on Puolustusvoimien järjestelmien ja materiaalin teknisen elinjakson hallinnasta, kunnossapidosta, hankintatoiminnan teknisestä valmistelusta, materiaalin suorituskyvyn tarkastuksista sekä toimii materiaalin järjestelmävastuullisena organisaationa.

## **1.4 Tukikohtajärjestelmäsektori**

Tukikohtajärjestelmäsektori vastaa puolustusvoimien lentotukikohtien sotilasilmailuun liittyvistä lentoteknisistä järjestelmistä mukaan lukien kiinteät ja siirrettävät erikoisjärjestelmät.

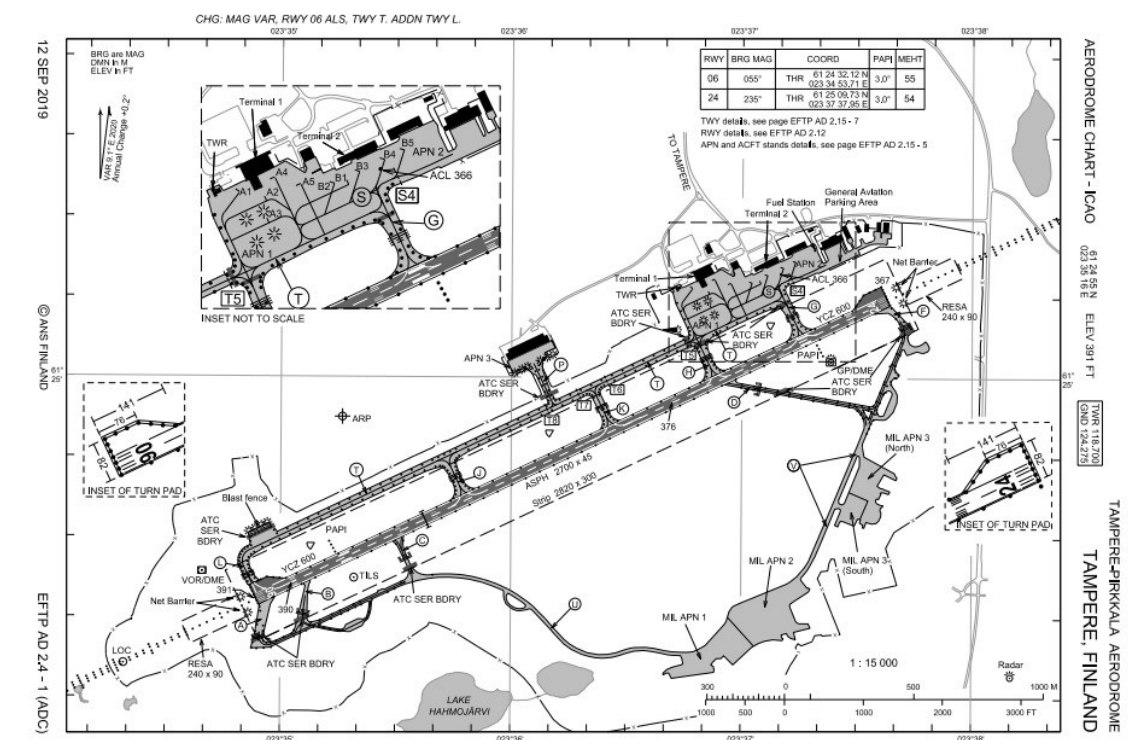
## **1.5 Asennuskohteen esittely**

Työn tilaajana oli Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksen Järjestelmäkeskuksen Tukikohtajärjestelmäsektori. Sen järjestelmävastuulla ovat mm. Ilmavoimien

käyttämät pysäytysvaijerijärjestelmät. Asennus suunniteltiin toteutettavaksi Pirkkalan lentoaseman vaijerijärjestelmään.

## 1.6 Pirkkalan lentoasema

Tampere-Pirkkala (kuva 2) on Finavian ylläpitämä vuonna 1979 valmistunut lentoasema, joka korvasi 1939 toimineen Tampere-Härmälän lentoaseman, joka ei enää pystynyt vastamaan kasvavan matkustajaliikenteen vaatimuksiin. Lentoasemalla on yksi 2700 metriä pitkä kiitotie (Finavia 2020).



KUVA 2. Pirkkalan lentoasema (ANS FINLAND 2019).



## 2 TEORIAA

Lämmitysjärjestelmän toiminta perustuu lämmitysvastuksille vietyyn tehoon, joka saadaan epäsuorasti laskettua mitatusta virrasta. Myös järjestelmän valvonta perustuu virran mittaamiseen ja ohjaus taas logiikalta tuotavan digitaalisen signaalin muuntamiseen analogiseksi toimilaitteelle sopivaksi sähköksi. Lisäksi logiikalle vietävä mittausinformaatio kulkee dataväylissä.

### 2.1 Ohjelmoitavat logiikat

Ohjelmoitavat logiikat (PLC) sisältävät mikroprosessorin (CPU), joka pystyy lukemaan muistipaikkoihinsa loogisia tiloja ja analogisia mittausarvoja sisääntuloistaan ja muuttamaan vastaavasti ulostulojensa arvoja ohjelmointinsa mukaan. Ohjelmoitavat logiikat ovat luonteeltaan sulautettuja järjestelmiä eli ne sisältävät kaiken tarvittavan toimiakseen itsenäisesti: virtalähteen, muistin ohjelmistolleen, sisääntulo- ja ulostulokanavia ja adaptereita eri tyyppisille sähköisille ja digitaalisille signaaleille ja dataväylille.

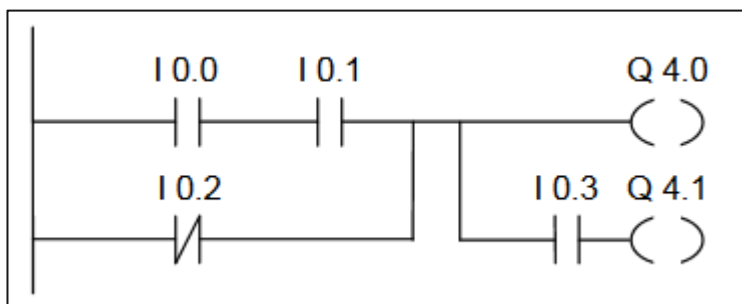
Yleisesti sulautetulla järjestelmällä tarkoitetaan täysin itsenäiseen ja automatisoituun toimintaan tarkoitettua kokonaisuutta, joka ei vaadi toimiakseen ulkopuolisia toimenpiteitä: virran päälle kytkentää, aloitusnapin painallusta tai muita ihmisen toimia. Ne on rakennettu jatkuvaan toimintaan ja usein osaavat palauttaa itsensä vikatilanteesta ja jatkaa toimintaansa siitä mihin viimeksi jäivät. Ne toimivat, kunhan se saavat virtaa. Esimerkkejä sulautetuista järjestelmistä ovat raha-automaatit, auton jarrujen säätö ja imurin moottorin säätö imutehon mukaan.

PLC-logiikat ovat usein myös reaaliaikajärjestelmiä. Reaaliaikajärjestelmät poikkeavat muunlaisista yleistietokonejärjestelmistä prosessorin ja ohjelmiston ohjauksen osalta. Muun tyyppisissä tietokoneissa mikä tahansa prosessi saattaa viivyttää tai keskeyttää muita prosesseja tai voi syntyä kilpailutilanteita prosessien kesken resursseista. Tällöin prosessien ajoitus ei ole enää determinististä eikä varmaa. Reaaliaikajärjestelmät on alusta-alkaen rakennettu niin, että jokaiselle prosessille on oma ajanjakso, milloin se tulee suoritetuksi, eikä sen tar-

vitse kilpailla resursseista, tai ainakin keskeyttämissä ja prosessien viiveitä kontrolloidaan hallitusti niin, että niiden suoritus aika ja varmuus pysyy ennakoitavissa rajoissa. Esimerkiksi reaaliaikajärjestelmällä toteutetussa moottorinjauksessa kierroslukuanturin lukemiselle annetaan oma ajanjakso, jossa ei tapahdu mitään muuta. Tällöin kierrosluku tulee varmasti aina mitatuksi ja sen suorittamiseen on järjestelmällä riittävästi aikaa.

PLC logiikkojen ohjelmointikielien määrittelyä IEC (International Electrotechnical Commission) standardissa 61131-3. Yleisin näistä on Ladder Diagram (LD) jossa ideana on kuvata sähköpiirejä yksinkertaisella sähköpiirustusta muistuttavalla kaaviolla, jossa vasemmalta tulevat sähkösyöttöjä kuvaavat sisääntulot pääsevät aktivoimaan oikealla olevat ulostulot, sähköä tarvitsevat asiat, tietyin ehdoin, välissä olevien kytkimien ollessa oikeissa asennoissa.

Kuvassa 3 on esimerkki, jossa kahta ulostuloa (Q 4.0 ja Q 4.1, vaikkapa moottorin ohjausta ja venttiiliä) kontrolloidaan loogisilla sisääntuloilla (I 0.0, I 0.1, I 0.2, I 0.3) jotka voivat tulla kytkimiltä tai antureita. Esimerkissä tulot 0.0 ja 0.1 kytkevät sähkön eteenpäin niiden ollessa aktiivisia. Tulo 0.2 taas katkaisee virran kulun eteenpäin omasta haarastaan, jos se tulee aktiiviseksi.



KUVA 3. Esimerkki Ladder Diagram -kielestä (Siemens, 2020)

Muita standardin määrittelemiä ohjelmointikieliä ovat Sequential Function Charts (SFC), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST) ja Instruction List (IL) (Realpars, 2020).

## 2.2 Induktiivinen virranmittaus

Aikaisemmin virranmittaus tehtiin muuntajalla indisoimalla virta toisiopiiriin, johon asetettiin kiertokelamittari, jonka osoitinneulaa tämä virta poikkeutti. Uudempi mittausmenetelmä perustuu Hall-ilmiöön, jossa virran aiheuttama magneettikenttä luo virta-arvoon suoraan verrannollisen jännitteen, jota voidaan mitata kuormittamatta mitattavaa piiriä.

Hall-ilmiöön perustuva anturi käyttää hyväkseen johtimessa kulkevan virran aiheuttaman magneettikentän synnyttämän jännitteen mittaamista, joka saadaan aikaan Indium-Antimoni kristalliin. Kaava Hall-jännitteelle kristallin yli on

$$V_H = \frac{-I_x B_z}{nqt},$$

missä  $I_x$  on johteessa kulkeva virta,  $B_z$  magneettivuon voimakkuus,  $n$  elektronien tiheys,  $q$  elektronin varaus ja  $t$  on aika. (ABB, 2020)

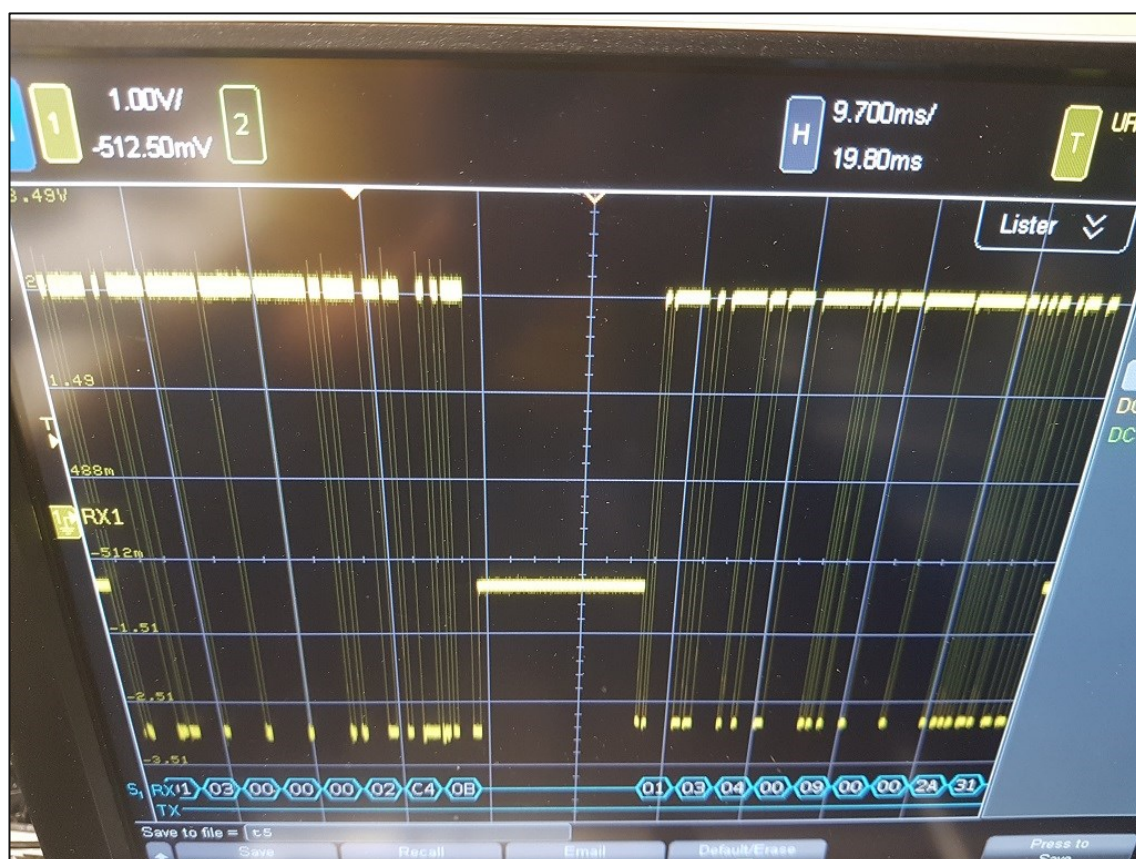
## 2.3 Modbus-väyläjärjestelmä

Modbus on kommunikaatio-protokolla, jota käytetään tyypillisesti tiedon keräämiseen rakennusautomaatiossa ja PLC-ohjatuissa järjestelmissä. Väylässä on yksi hallitseva Master-laite, joka kontrolloi väylän liikennettä ja maksimissaan 127 hallittavaa Slave-laitetta, joilta tieto kerätään. Esimerkiksi PLC, joka toimii Master laitteena ja kyselee väylässä olevilta antureilta mittaustietoa.

Modbus voi toimia TCP/IP ethernet paikallisverkon yli pelkkänä kommunikaatio-protokollana, mutta tyypillisesti teollisuuslaitteissa se kytketään omaan sarjapäätelyväyläänsä, jolloin se käyttää RS-485 standardin mukaista sähköistä väylää. RS-485 määrittää kaksi johdinta, A ja B johtimet, joiden välistä jännite-eroa vaihtelemalla siihen koodataan ykköset ja nollat. Jännitteen nolloreferenssinä toimii Master-laite. Koska väylän toiminta perustuu jännite-eroihin eikä absoluuttisiin jännitetasoihin, sen toimintaetäisyys on huomattavasti pidempi, jopa kilometri

verrattuna tavanomaisen RS-232 väylän pariin kymmenen metriin. Se on myös siten vähemmän altis häiriöille, koska väyläjohtoon indusoituvat virrat ja jännitepiikit eivät vaikuta johtimien väliseen jännite-eroon (Continental Control Systems, 2019).

Kuvassa 4 on esimerkki ABB:n CMS-600 ja Siemensin CB1241 RS485 -yksiköiden välillä kulkevan modbus-väylän johtimien A ja B välisistä jännite-eroista. Mittaus on tehty oskilloskoopilla, joka osaa myös esittää siitä sarjamuotoisen tiedon hexadesimaalilukuina.



KUVA 4. Oskilloskooppikuva modbus-väylän jännite-eroihin koodatusta sarjadatasta.

## 2.4 Puolijohdereleet

Puolijohdereleissä sähkönkytkentä tehdään mekaanisen kontaktin sijasta puolijohteella, jonka päälle-tilaa voidaan ohjata jännitteellä tai pienellä virralla. Puoli-

johdereleet ovat pääosin kahdentyyppisiä riippuen niiden aktiivisesta kytkettävästä elementistä: kenttäefektiä käyttävät MOSFET:t sekä tyristorilla (SCR) ohjatut puolijohdereleet.

Modernin SCR-releen olennaisia ominaisuuksia on ns. 'Zero Cross' joka tarkoittaa, että kytkentä tehdään, kun kytkettävä vaihtojännite käy lähellä nollaa kaksi kertaa vaihtosähkön jakson aikana. Viidenkymmenen hertsin järjestelmässä näin tapahtuu 100 kertaa sekunnissa. Tällä tavalla vältetään virran katkaisu, koska jännitteen käydessä nollassa virtaa ei hetkellisesti kulje. Tällöin nopean virranmuutoksen aiheuttamia häiriöitä ei pääse syntymään.

Puolijohderele Scheider Electricin SSM1A312BD (kuva 5) on tyristorikytkentäinen (SCR) puolijohderele, jonka tila on normaalisti ei-johtava (normally open). Se on suunniteltu kytkemään 48-600VAC jännitteitä 12 ampeerin virtaan asti ja se voidaan kytkeä päälle esimerkiksi 5VDC, 12VDC tai 24VDC ohjausjännitteellä (4-32VDC).



KUVA 5. Puolijohderele SSM1A312BD (Schneider Electric 2020).

Releiden asento on NO (Normally Open) eli alle 1V ohjausjännitteellä rele ei johda (vuotovirta on tällöin maksimissaan 0,2mA). Yli 4V ohjausjännitteellä SCR

puolijohde on kokonaan päällä ja sen yli oleva jännitehäviö on maksimissaan 1,3V (vastaa noin kaksinkertaista diodin jännitehäviötä). Tämä jännitehäviö aiheuttaa tehollisen lämpiämisen, joka riippuu kytkettävästä virrasta. Esimerkiksi releen 12A maksimi virralla se voi olla  $1,3V \times 12A = 15,6 \text{ W}$  per rele. Tämä lämpöteho johdetaan pois releiltä sähkökeskuksen tuulettimilla. Releissä itsessään on jäähdytyselementti kyljessä ja ne on ohjeistettu asennettaviksi niin että DIN-kiskoon asennettaessa jätetään seuraavaan komponenttiin noin sormen levyinen (n. 8mm) rako ilmanvaihdon turvaamiseksi.

SCR-releen tyypillinen vikaantumismekanismi on puolijohteen oikosulkuun meneminen. Tällöin rele jää pysyvästi johtavaan tilaan. Releen päällä on Input-status ledivalo, joka palaa, kun ohjausjännite on päällä. Se ei kuitenkaan kerro johtaako rele oikeasti. Virran mittaaminen ja sen vertaaminen ohjausjännitteen tilaan on ainoa keino, jolla voidaan varmistaa releen oikea toiminta sekä havaita vikaantuneet releet.

## **2.5 Vastuslämpötila-anturi (Pt100)**

Pt100 lämpötila-anturin toiminta perustuu vastusmittausperiaatteeseen. Vastusmateriaalina on platinalanka, jonka koko on säädetty niin että lämpötilan ollessa 0 °C sen vastuksen arvo on 100 ohmia. Platinalla on positiivinen resistanssinlämpökerroin, joka tarkoittaa, että sen arvo kasvaa lämpötilan funktiona 0,39 ohm/1 °C. Jalometallina platina ei hapetu ja sen vuoksi sen resistanssi arvon pitkäaikaisstabiilisuus on hyvä.

Järjestelmään kuuluu kaksi anturia, joista toinen on sijoitettu kaapelikaivoon ja toinen kaapelikanavaan. Anturit ovat tyypiltään 4-johdin antureita. Anturiin menee neljä johdinta, kaksi kumpaankin päähän platinavastusta. Tämä mahdollistaa anturin 4-johdinmittauksen, jossa toista johdinparin johtimista käytetään syöttämään virta anturille ja toista mittaamaan jännite. Tällä tavoin saadaan poistettua johtimista aiheutuva virhe, joka muuten summautuisi mittaustulokseen ja olisi johtimien resistanssin funktio.

### 3 VAJERIPYSÄYTYSJÄRJESTELMÄ

Vaijeripysäytysjärjestelmä koostuu BAK-12 jarrulaitteesta, sekä BAK-14 vaijerinostojärjestelmästä. Vaijeripysäytysjärjestelmän tarkoitus on pysäyttää lentokone lentokentän kiitotien yli menevään vaijeriin, johon lentokoneessa oleva koukku laskukiidon aikana osuessaan tarttuu. Järjestelmän vaijeria syötetään keloilta, joita jarruttamalla kone saadaan hallitusti pysähtymään lyhyellä matkalla.

Järjestelmä on toimintaperiaatteeltaan samantyyppinen lentotukialuksissa käytettävän järjestelmän kanssa (kuva 6) mutta se on tarkoitettu lentokentän kiitotielle asennettavaksi. Järjestelmästä on olemassa sekä kiinteä kiitotien pinnan alle asennettava versio sekä kuljetettava ja väliaikaiseen asennukseen tarkoitettu versio. Kiinteää versiota käytetään ilmavoimien käytössä olevilla lentokentillä. Liikuteltavaa versiota voidaan käyttää väliaikaisilla maantiekentillä. Suomen Ilmavoimien käytössä olevista lentokoneista ainoastaan FA-18 Hornet hävittäjässä on järjestelmää hyödyntävä pysäytyskoukku.



KUVA 6. USA:n merivoimien F/A-18F Super Hornet laskeutuu USS Enterprise (CVN 65) lentotukialuksen kannelle ja tarttuu koukullaan jarrutusvaijeriin. (Morris 2007)



Vaijeripysäytysjärjestelmän sähköjärjestelmiin kuuluu paineilmajärjestelmä, jarruvaijerin noston ja laskun ohjausjärjestelmä, AS-i- väyläjärjestelmä, UPS- järjestelmä, magneettilukkojärjestelmä, vikavalvontajärjestelmä, pysäytysvaijerin kiitotiealueen valot sekä vaijerilämmityksen valvontajärjestelmä. Kaikkia näitä järjestelmiä syötetään kiitotien vieressä olevasta maanalaisesta päälaitesuojasta.

Järjestelmistä laitesuojissa sijaitsevat paineilmajärjestelmä, jarruvaijerin noston ja laskun ohjausjärjestelmä, AS-i- väyläjärjestelmän ohjausosat, UPS- järjestelmä, vikavalvontajärjestelmä, pysäytysvaijerin kiitotiealueen valojen ohjaus sekä vaijerilämmityksen valvontajärjestelmä. Kiitotien pinnassa kaapelikairoissa, kaapelikanavissa ja tukivarsilaatikoissa sijaitsevat jarruvaijerin noston ja laskun tukivarret, magneettilukkojärjestelmä sekä vaijerilämmitysjärjestelmän lämmitysvastukset.

Itse pysäytysvaijeri sijaitsee kiitotien pinnassa sille asennetussa metallikanavassa, jonka yli lentokoneen laskutelineiden renkaat tai huoltoajoneuvot (ml. lumiaurat) kulkevat esteettä, kun järjestelmä ei ole käytössä. Kun järjestelmä otetaan käyttöön, metallikanavan yhteydessä sijaitsevat nostovarsilaatikoissa olevat nostovarret nostavat kaapelin paineilmalla n. 10cm korkeuteen kiitotien pinnan yläpuolelle. Nostovarsien paineilmasylinterit joustavat väliaikaisesti alasentoon, mikäli lentokoneen rengas osuu nostovarteen tai vaijeriin. Myöskään huoltoajoneuvon rengas ei vahingoita niitä.

### **3.1 Pysäytysvaijerin käyttö**

Pysäytysvaijerin nostoa ja laskua voidaan ohjata sähköisesti joko lennonjohtotornista tai kannettavalla paikallisohjaimella. Lennonjohdolla on lisäksi ohjaustaulu, jonka valoista näkee vaijerin asennon. Lennonjohtotornin ohjaustaulussa on lisäksi varoitusvalot, jotka palavat, jos järjestelmään on tullut toiminta- tai laitevalvontahäiriö jostain sen alijärjestelmästä.



### 3.2 Vaijerilämmitysjärjestelmä

Vaijerilämmitysjärjestelmä koostuu kaapelikaivoissa, kaapelikanavissa ja tukivarsilaatikoissa sijaitsevista lämmityskaapeleista ja vastuksista sekä vaijerilämmityksen valvontajärjestelmästä. Järjestelmän tehtävä on pitää kaapelikaivot, kanavat ja tukivarsilaatikat sulina, estää lumen ja jään kerääntymistä kaapelikanavaan sekä estää tukivarsien ja kaapelin jäätymistä paikoilleen. Vaijerilämmitysjärjestelmä kytkeytyy päälle, jos yksi sen kahdesta lämpöanturista näyttää alle +4C. Käytännössä lämmitysjärjestelmä käydään kytkemässä kokonaan virrattomaksi sähkökeskuksesta käsin kesän ajaksi ja maan jäätyessä talvella se on päällä lähes koko ajan automaation ohjaamana.

### 3.3 Vikavalvontajärjestelmä

Päälaitesuojassa oleva hälytyskeskus valvoo pohjavesikaivoja (pintakytkimet pohjavesikaivoissa), paineilmajärjestelmää (alipaine), UPS-järjestelmää (vika-tila), AS-i järjestelmän häiriötä, tukivarsien vääriä asentoja sekä vaijerilämmityksen hälytystä.

Vaijerilämmitysjärjestelmän on tarkoitus hälyttää, jos jokin vastuksista ei jostain syystä lämpene. Käytännössä lämmityksen oikea toiminta mitataan vastuksille menevästä virrasta.

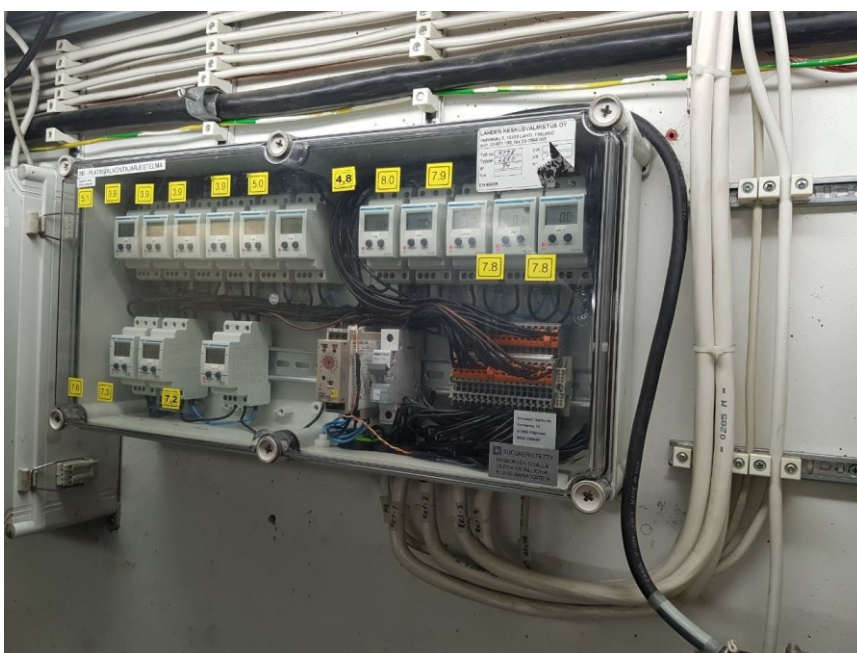
### 3.4 Vaijerilämmityksen valvontajärjestelmä

Vanha korvattava ME-PLATIN säädin (kuva 7) ohjasi ja valvoi lämmitysryhmille menevää virtaa valvontareleillään. Kussakin lämmitysryhmässä oli valvontarele, joka valvoi kyseisille lämmityselementeille menevää virtaa. Jos lämmityselementeille menevä virta laski alle valvontareleeseen säädetyn raja-arvon, vaihtoi rele asentoa. Esimerkiksi 300 W:n vastuksilla yhden vastuksen vikaantuminen laski virtaa noin 1,2 A.



KUVA 7. ME-PLATIN säädin.

Virranvalvontareleet (kuva 8) oli kytketty sarjaan ja minkä tahansa releen asennon vaihto katkaisi vikavalvontajärjestelmälle menevät silmukan ja aiheutti hälytyksen vaijerilämmitysjärjestelmän viasta. Vikaantumistapa, jota tällä valvottiin, oli vastusten poikki palaminen. Oikosulkua järjestelmässä ei valvota vaan ylivirta tapauksissa luotetaan ryhmän virransuojakatkaisijan toimintaan. Vikavirtasuojia ei ole käytössä.



KUVA 8. Virranvalvontareleet.

## 4 SUUNNITTELU

Suunnitteluprosessi aloitettiin tutustumalla järjestelmän dokumentaatioon, vierailulla asennuskohteessa ja haastatteleamalla käyttäjiä ja asiakasta heidän tarpeistaan. Työ eteni vaatimusmäärittelyn kautta teknologiavalintoihin ja testattaviin komponenttien valintaan, joista lopullinen prototyyppi koottiin.

### 4.1 Asiakkaan tarve ja lähtökohdat

Työn tilaaja Puolustusvoimien Logistiikkalaitoksen Tukikohtajärjestelmäsektori määritteli tarpeen ja vaatimukset korvaavalle järjestelmälle. Vanhaa ME-PLA-TIN vaijerilämmityksen valvontajärjestelmää ei enää haluttu ylläpitää, eikä asenna uusia vikavirtareleitä koska niiden ylläpito oli hankaloitunut mm. tuotetuen päätyttyä. Korvaavalta järjestelmältä haluttiin parempaa luotettavuutta, huollettavuutta ja tarkempaa vikaindikaatiota. Lisäksi järjestelmä haluttiin koostuvan yleisesti käytössä olevista sähkö- ja automaatiokomponenteista. Samaa järjestelmää tulisi pystyä asentamaan eri lentokentille, joissa on eri levyisiä kiitoratoja ja siten eri määrä ja eri tavalla ryhmiteltyjä vastusryhmiä.

Sähkösuunnittelu ja urakointi tilattiin ulkopuoliselta yritykseltä. 3.Logistiikkarykmentin Lentotekniikkakeskus valmisti laitteen automaation prototyypin, testasi sen ohjelmiston ja dokumentoi sen pienoisyännite puolen osalta.

### 4.2 Työn eteneminen ja aikataulu

Vaijeripysäytysjärjestelmän BAK-14 lämmityksenohjausjärjestelmän uusimishankkeen aloituskokous pidettiin 1.2.2018 Tampereella. Kokouksessa sovittiin vastuunjaosta eri osapuolten välillä. Prototyypin ja dokumentoinnin toimittaa 3.Logistiikkarykmentin Lentotekniikkakeskus, tilaaja rahoittaa hankinnat sekä tilaa varsinaisen sähkösuunnittelun yritykseltä. Kesällä 2018 Pirkkalan lentokentän ollessa kiinni mm. kiitoratojen uudelleenASFaltoinnin takia, nykyisen asennuksen kytkennät käytiin tarkastamassa paikan päällä sekä tehtiin tarvittavia mittauksia Satakunnan lennoston avustuksella.

Ensimmäisen prototyypin valmistuttua 7.3.2019 sitä ja sen toteutusajatusta esiteltiin asiakkaalle sekä sähkösuunnitteluyrityksen edustajalle ja keskusteltiin vaatimusten toteutumisesta ja tarvittavista muutoksista. Palaverissa sovittiin laiteluettelossa olleiden komponenttien testaamisesta sekä dokumentaation tarkemmasta sisällöstä. Vaatimusmäärittely tarkentui ja laitteen toimintaa yksinkertaistettiin jättämällä pois turhia ominaisuuksia. Alustavat sähkökuvat valmistuivat 4.9.2019, jonka jälkeen pienoisyännitekuviin tehtiin viimeiset muutokset.

### **4.3 Vaatimusmäärittely**

Korvaavan järjestelmän vaatimukset määräytyivät suurelta osin aikaisemman järjestelmän toiminnan mukaan. Muutoksia tehtiin vuorottelusykhin, jolla kytkentävirtaa saatiin pienennettyä sekä lisättiin sykhin virraton osuus, jonka aikana piirissä ei tulisi kulkea virtaa. Tätä valvomalla voidaan havaita ja antaa vikahälytys myös oikosulkuun menneestä ohjausreleestä. Pakko-ohjausominaisuus toteutetaan ohjelmiston asetuksella ja virrattomaksi järjestelmä saadaan sähkökeskuksen virransuojakatkaisijoista.

### **4.4 Sulanapitojärjestelmän toimintaperiaate**

Jotta vaijerien tukivarsilaatikot ja kaapelikanavat pysyisivät sulina ja kuivina kaikkina vuodenaikoina, niihin on asetettu lämmitystä ja sulana pitoa varten lämmitysvastuskaapelit. Kaapelikanavista mitataan hahdella lämpöanturilla lämpötilaa ja lämmitys kytketään päälle sen ollessa alle +4C.

Kaapelit ovat eri mittaisia ja eri tehoisia riippuen asennuskohteesta ja pituudesta ja ovat jokaisella lentokentällä erilaisia. Pirkkalan lentoaseman vaijeripysäytysjärjestelmässä, jonka mukaan prototyyppi on suunniteltu, on 20 tukivarsilaatikkoa, joissa kussakin on 300-400 wattiset lämmitysvastuskaapelit. Kaapelien virransyöttö on jaettu kuuteen syöttöryhmään niin että kunkin ryhmän maksimiteho on 900-1200 wattia. Kaapelikanavissa on yhteensä 23 eri pituista 630 watin lämmityskaapelia, joita syötetään kahdeksassa ryhmässä. Yhden ryhmän teho on silloin maksimissaan  $3 \times 630 = 2890$  wattia. Koko järjestelmän lämmitysteho on maksimissaan 22 kilowattia.

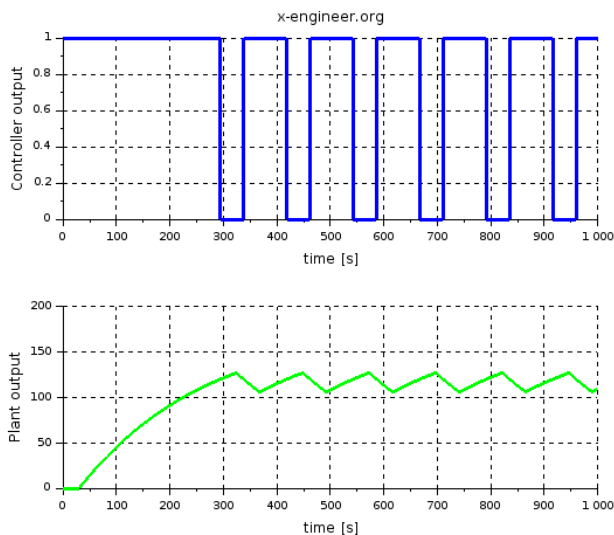
Ryhmien virtaa mittaamalla on mahdollista todeta yksittäisen tai usean lämmitysvastuskaapelin katkos tai poikki palaminen, koska vastukset on kytketty rinnakkain kentällä. Virranmittaukselle voidaan täten määrittää hälytysraja, joka on yhden vastuksen vaatiman virran pudotus. Esimerkiksi kolmen 300 watin ryhmään tulisi mennä tehoa noin 900 wattia ja siten virran olla noin 3,9 ampeeria. Hälytysraja voidaan asettaa siten niin, että esimerkiksi yhden ampeerin pudotus indikoi vikaa järjestelmässä.

Vikaindikaatio aiheuttaa hälytyksen vaijerijärjestelmässä, joka näkyy sekä lentotaseaman lennonjohdolle ja kenttähuoltohenkilöstölle. Korjaaja näkee virranpudotuksesta missä ryhmässä vika on ollut ja osaa lähteä tutkimaan oikeita kaapelikaivoja tai tukivarsilaatikoita.

#### **4.5 Lämmityksenohjaus**

Yksinkertaisimmillaan kaikki lämmitys kytkettäisiin päälle, kun lämpötila olisi alle +4C ja pois kun se on yli sen. Järjestelmään haluttiin kuitenkin säätömahdollisuuksia, koska kaiken lämmityksen päällä olo lämmittää liikaa osia järjestelmästä ja kaiken kuorman samanaikainen päälle kytkentä kuormittaa sähkökeskusta.

Tämä saatiin aikaan kytkemällä puolijohdereleillä yksittäisiä ryhmiä päälle vuorotellen ja pitämällä osaa niistä pois päältä syklissä, jolloin vuorottelusta muodostuu on-off tehon säätö tai ns. bang-bang säätö (Kaavio 1). Esimerkiksi 50% tehon säätö tarkoittaisi että 10 sekunnin syklin aikana vastusryhmään menee virta 5 sekunnin ajan ja se on pois päältä 5 sekunnin ajan.



KAAVIO 1. Esimerkki uunin lämmityksen bang-bang säädöstä, jossa 'controller output' on lämmitysvastus, jota kytketään päälle ja pois halutun 'plant output' -lämpötilan aikaansaamiseksi. (X-Engineering 2007).

Koska lentokentän kaikkien kaivojen ja laatikoiden lämpötilojen mittaaminen kahdella anturilla on mahdotonta, tyydyttiin siihen, että säätöarvot asetetaan vakioiksi riippuen siitä, onko jokin laatikko liian kuuma tai ei pysy sulana. Kun sopivat vakiosäätöarvot on löydetty yksittäisten ryhmien säätöä ei enää tarvita vaan säädöksi riittää koko järjestelmän bang-bang säätö kentän yleislämpötilan mukaan. Kaaviossa 2 on esitetty esimerkki prototyyppiin kehitetyn vuorottelusäädön periaatteesta

Vuorottelulogiikka:																								
Taulukko:		VCounter (counter tick on 0,5 sekuntia)																						
kanavientila:		C																						
0 = pois päältä		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19																						
1 = päällä		c																						
0	1	PL	VM	PS	NM																			
1	2		2																					
1	3			4																				
0	4			c					6															
0	5			c																				
0	6			c																				
0	7			c																				
0	8			c				Pois		Päälle														
1	9					PS	NM			PL	VM	säätöarvo = 16												
0	10			c																				
0	11			c																				
0	12			c																				
1	13			c																				
1	14			c																				
1	15			c																				
1	16			c																				
1	17			c																				
1	18			c																				
1	19			c																				
1	20		VM	PS	NM							säätöarvo = 2											PL	

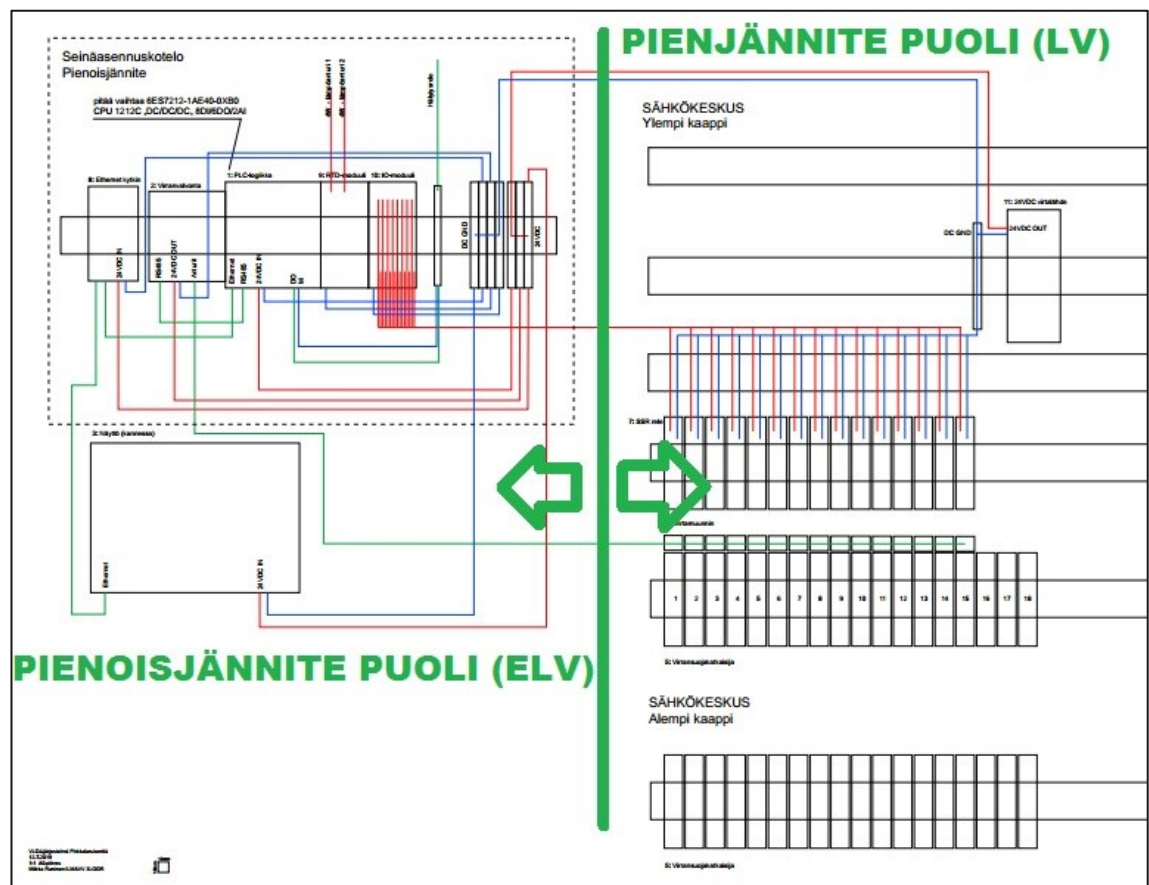
KAAVIO 2. Suunnitelma vuorottelulogiikan periaatteesta PL=Päälle kytkentä, VM=Virran mittausta, PS=Pois kytkentä, NM=Nolla mittausta.

## 5 PROTOTYYPPI

Prototyyppi koottiin valituista komponenteista 3. Logistiikkarykmentin kalibrointi-laboratorioon, jossa sille pystyttiin tekemään tarvittavat sähköiset testit ja sen ohjelmistokehitys voitiin aloittaa. Prototyypillä oli tarkoitus demonstroida teknologiavalintojen sopivuus ja luoda ympäristö ohjelmistokehitykselle, jossa ohjelmistoa voi testata osana toimivaa järjestelmää.

### 5.1 Prototyypin laitevalinnat

Prototyypin valmistuksessa otettiin lähtökohdaksi erottaa laitteisto pienoislännite (ELV) ja pienlännite (LV) osioihin (kuva 9) niin, että varsinaiseen sähkökeskukseen ei tarvitse viedä vierasta ohjauslännitettä ja mahdollisimman vähän huollettavia osia on sijoitettu sinne. Tämä lisää sekä käyttöturvallisuutta että helpottaa järjestelmän suunnittelua ja tarvittavia mittauksia.



KUVA 9. Jakoperiaate järjestelmän pienoislännite (ELV) ja pienlännite (LV) osioihin.

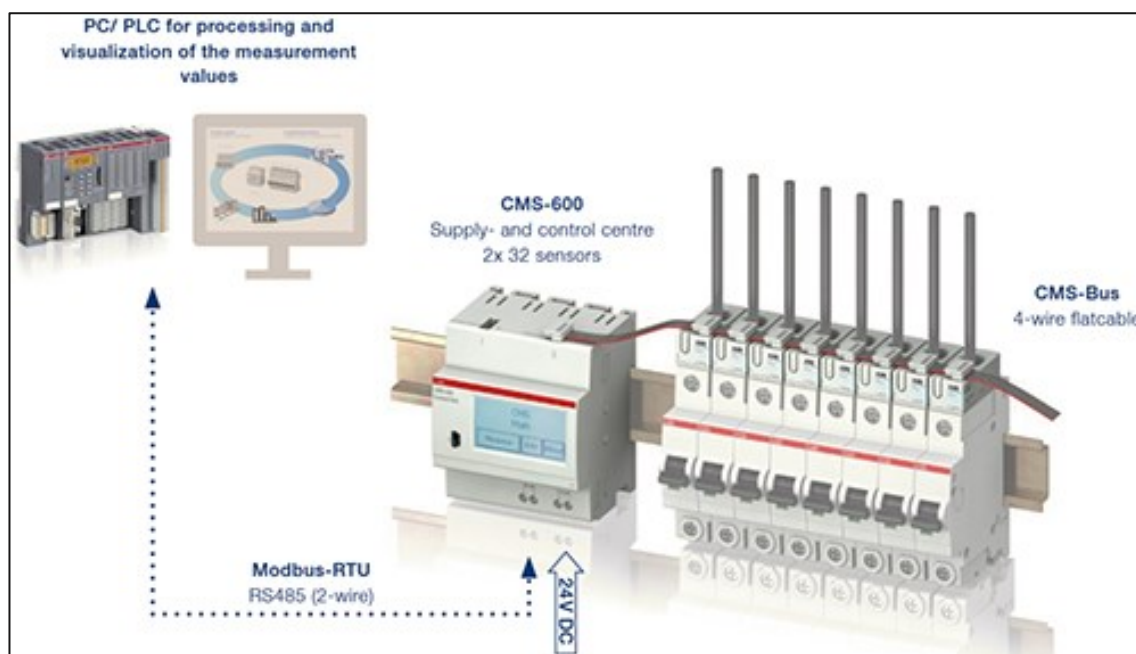
Pienoisjänniteosat tullaan sijoittamaan omaan pölysuojattuun laatikkoon sähkökeskuksen viereen ja niiden välille kytkettiin ainoastaan releiden ohjaukset ja virranmittausanturien väyläjohto. Tarvitsemansa 24VDC käyttövirran pienoisjänniteosat saavat sähkökeskuksen virtalähteestä (SIEMENS SITOP PSU100S).

## 5.2 Ohjauslogiikka

Ohjauslogiikaksi valittiin Siemensin SIMATIC sen yleisyyden ja pitkän elinkaaren vuoksi. Lisäksi järjestelmän tukivarsien ohjaukseen käytetään jo nyt Siemensin logiikkaa AS-i kenttäväylässä, joten automaatiojärjestelmien ylläpito helpottuu, jos järjestelmissä on saman valmistajan logiikat. Valittuun Siemensin S7-1200 mallin CPU-yksikköön voitiin liittää laajennusmoduuleita, joilla kanavien määrä saadaan tarvittaessa kasvatettua riittäväksi. CPU-yksikkö itsessään sisälsi jo kahdeksan DC-tasoista tuloa ja lähtöä sekä kaksi analogista sisääntuloa. Näiden lisäksi DC-lähtöjä saatiin 16 kpl lisää SM-1222 moduulilla.

CPU:n runkoon väylä-laajennusmoduuleiksi valittiin CB1241-laajennusmoduuli, jolla saatiin yhteys RS485 Modbus-väylään. Modbus-väylään yhdistetään ABB:n CMS-600 Control Unit -yksikkö, joka kerää tiedon virta-antureilta (kuva 10). CMS-102PS virta-anturit ovat digitaalisia virtamuuntimia, jotka asennetaan jokaisen lämmitysvastusryhmän vaihejohtoon ja ne kommunikoivat CMS-600:n kanssa sen omaa lattaapelia pitkin. Anturit mittaavat sekä TRMS AC, että DC virtaa suunnasta riippumatta 0-20A alueella ja tarkkuudella  $\leq \pm 0,5\%$  FS ja resoluutiolla 0.01A ja niiden sisäinen päivitysnopeus on 5kHz. Tosin niiden lukeman vakaantumiseen menee 250ms. Tämä kuitenkin riittää koska järjestelmässä antureita on tarve lukea vain noin sekunnin välein. Anturien tarkkuuden riittävydestä tehtiin erillinen tarkastelu sekä koemittaukset.





Kuva 10. ABB:n CMS-600 virranmittausjärjestelmä (ABB, 2020).

### 5.3 Lämpötilanmittaus

DC-lähtöjen laajennusmoduulin lisäksi kiitotien lämpötilaa mittaamaan valittiin SM 1231 RTD moduuli. Sen toiminnallisuutena on kaksi analogista nelijohdinmittauskanavaa, jotka ovat ohjelmoitavissa eri tyyppisille vastusresistanssiantureille. Nelijohdinmittaus on tarpeen sillä kaapelikaivoissa ja kanavissa sijaitsevat Pt100 anturit ovat kymmenien metrien pituisten kenttäkaapeleiden päässä.

Pirkkalan kentälle jo asennettujen anturien tarkka tyyppi oli tuntematon ja niiden toimintakunto käytiin tarkistamassa mittaamalla niiden vastusarvo kaapelikaivon kytkentälaatikosta ja vertaamalla sitä kanavan lämpötilaan. Tarvittava tarkkuus oletettiin saavutetun, sillä järjestelmän  $+4\text{ °C}$  rajan tarkkuudelle ei ole erityisiä vaatimuksia ja kaikkien tarkasteltujen markkinoilla olevien Pt100 anturien tarkkuus oli alle yksi astetta. Tämän tarkkuuden katsottiin riittävän sulana pitämiseen. Järjestelmä on ohjelmoitu säätämään sulanapitolämmitysvastukset päälle, kun jompikumpi antureista näyttää alle  $+4\text{ °C}$  lämpötilaa. Järjestelmä palaa virrattomaan tilaan vasta kun molemmat anturit ovat ylittäneet  $+6\text{ °C}$ .

## 5.4 Vastuskaapelit

Pirkkalan kentän järjestelmän vastuskaapelit (sulanapitokaapelit) olivat kentälle valmiiksi asennettuja tyypiltään tuntemattomia vastuskaapeleita. Vain kytkentäryhmien nimelliset tehot sekä mitatut virrat tunnettiin. Näistä voitiin kuitenkin päätellä riittävällä tarkkuudella montako minkäkin kokoista vastusta oli missäkin ryhmässä.

Pirkkalan kentän vaijeripysäytysjärjestelmän (VPJ) vastusryhmät (VR) on jaettu kymmenen tukivarsilaatikon (TVL, taulukko 1) ja vaijerikavana-ryhmän (VK, taulukko 2) välille.

TAULUKKO 1. Tukivarsilaatikoiden vastusryhmät

Uusi numero	Vanha merkintä	Vastuksien määrä	Kokonais-teho (Wattia)	Keskuksen ryhmä	Laatikat
1	VR1	3 x 400W	1200	29 L1	1,4,7,10
2	VR2	3 x 300W	900	29 L2	2,5,8
3	VR3	3 x 300W	900	29 L3	3,6,9
4	VR4	3 x 300W	900	30 L1	11,14,17
5	VR5	3 x 300W	900	30 L2	12,15,18,20
6	VR6	3 x 400W	1200	30 L3	13,16,19

TAULUKKO 2. Vaijerikanavien vastusryhmät

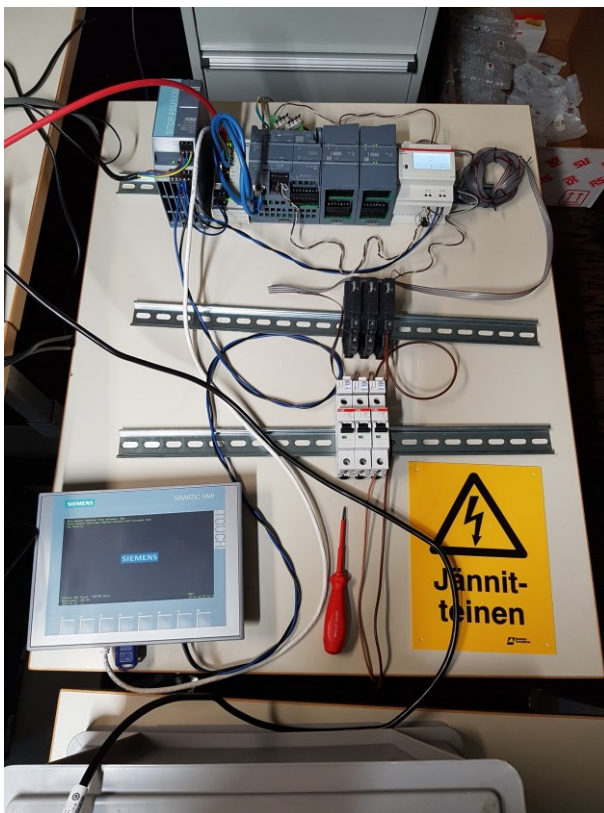
Uusi numero	Vanha merkki	Vastuksia	Kokonais-teho (Wattia)	Keskuksen ryhmä	Kanavat
7	VR8	3(1*)	1070	32 L1	1.1 - 1.2, 11
8	VR9	3x630W	1890	33 L1	2,5,8
9	VR10	3x630W	1890	33 L2	3,6,9
10	VR11	3x630W	1890	33 L3	4,7,10
11	VR12	3x630W	1890	34 L1	12,15,18
12	VR13	3x630W	1890	34 L2	13,16,19
13	VR14	3x630W	1890	34 L3	14,17,20
14	VR18	2(2*)	1600	36 L3	21.1 - 21.2

Joitakin epäselvyyksiä jäi liittyen Pirkkalan kentän vanhan asennuksen dokumentointiin:

1. Vanhassa keskuskaaviossa VR8:lle oli vain tehomerkintä 800W+270W mutta kentän piirustuksissa kanavissa pitäisi olla kolme eri vastusta.
2. Vanhassa keskuskaaviossa VR18:sta ei ole vastusten tehoa. Vanhan virtareleen asetusarvon perusteella arvioitiin vastusten olevan 800W+800W.

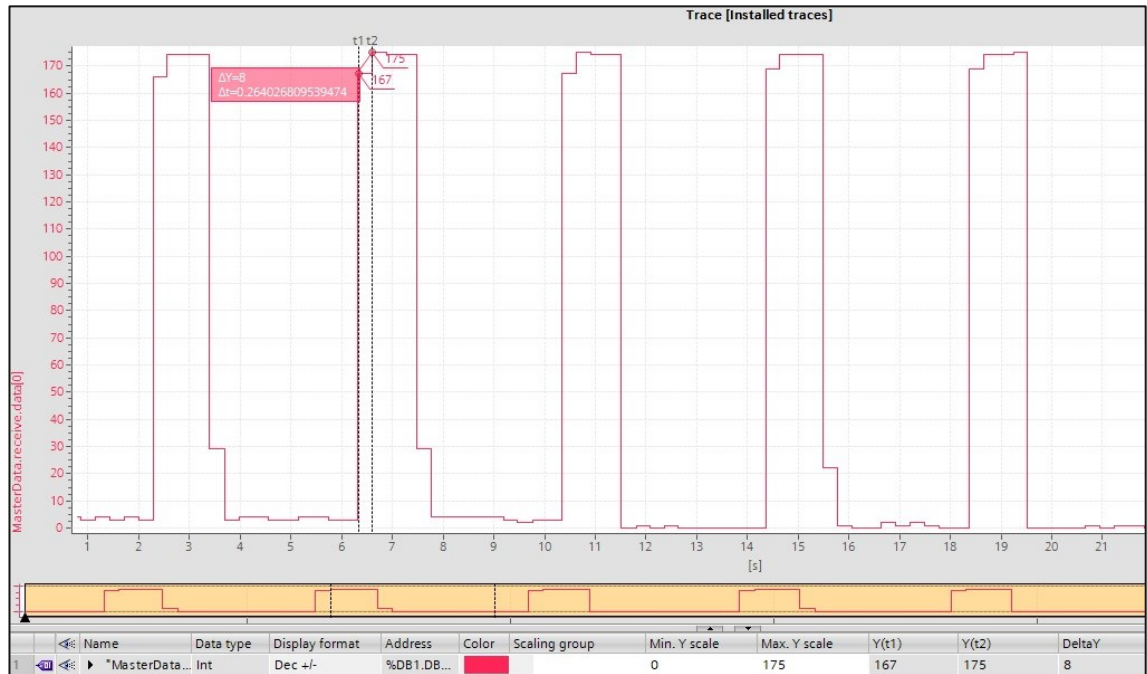
## 5.5 Prototyypin testaus

Prototyypillä (kuva 11) pyrittiin todentamaan ohjelmiston oikea-aikainen toiminta sekä sähköisten rajapintojen yhteensopivuus ja niiden riittävä tarkkuus. Todennus tehtiin testein, jossa järjestelmän virtalukemaa verrattiin tarkan yleismittarin antamaan lukemaan. Lisäksi virranmittauksen ajoitus tarkistettiin vertaamalla oskilloskoopilla mitattua virtakäyrää ja järjestelmän antamia näytteitä ajan funktiona.



Kuva 11. Järjestelmän toimintaperiaatteen testaamiseen tehty prototyyppi, jolla voitiin mitata ja ohjata kolmea eri vastusryhmää.

Kuvassa 12 on ruudunkaappaus testistä, jossa CMS-102PS virta-anturilta tallennettiin Modbus-väylän yli luettua tietoa ajan funktiona. Tästä havaittiin, että anturi ei anna vielä tarkkaa virta-arvoa sille valmistajan määrittämän 250ms alkuviiveen sisällä.



Kuva 12. Siemensin TIA-kehitysympäristöstä saatu virta-arvoa kuvaavassa muistipaikassa oleva mittaustieto ajan funktiona.

Tämä näkyy virtaa kuvaavassa trace-käyrässä viiveenä, jossa liian aikaisin luetun mittausarvon lukeminen voisi aiheuttaa 5% virheen mittaukseen. Tämä virhe saadaan poistettua, kun ohjelmassa valitaan esimerkiksi vasta 500ms virrannouksen jälkeen mitattu arvo todelliseksi virta-arvoksi.

## 6 POHDINTA

Työ oli mielenkiintoinen ja antoi uuden näkökulman miten yksinkertaiseltakin näyttävästä järjestelmästä, kaapelista johon koukku tarttuu, löytyy yllättävää laajuutta, sekä riippuvuusketjuja kun kaikki sen osajärjestelmät ja sitä tukevat järjestelmät pitää ottaa huomioon. Työn tavoite selkeni, kun järjestelmän pääsi näkemään omin silmin ja sai haastatella sen käyttäjiä. Kaapelin on oltava sula talvella, jotta se toimii. Sulanapitojärjestelmän toiminta on turvattava ja sen vikaantumisesta on saatava hälytys lentoturvallisuuden takaamiseksi. Jokainen osajärjestelmä on yhtä tärkeä kokonaisuuden toiminnan kannalta.

Suurimmat haasteet työn toteutuksessa itselle olivat Siemensin ohjelmistoympäristön hallinta. Sen joutui kantapäänkautta opettelemaan itse, koska koulun kurseista saatu kokemus siitä oli hyvin pinnallinen. Kompromisseja joutui tekemään ohjelmiston rakenteessa ja toteutuksessa, koska osasi tehdä asiat vain tietyllä tavalla tai sai ne toimimaan vain erehdysten ja kokeilujen kautta.

Työ osoittautui kuitenkin käyttökelpoiseksi. Lopullinen ratkaisu korvaa ja yksinkertaistaa alkuperäisen järjestelmän ideaa tavalla, jolla saavutetaan halutut vaatimukset: jatkuva luotettava valvonta, vikaantumisen tarkempi indikointi ja huolto-toimenpiteiden tarkempi kohdentaminen. Mitään kompromissia ei tarvinnut tehdä sähköturvallisuuden osalta ja harkituilla teknologiavalinnoilla turvataan järjestelmälle pitkä elinkaari.

Jatkokehitystä voisi tehdä loputtomasti, mutta esimerkiksi käyttöliittymän ja huoltovalikon toiminnallisuudet jäivät kesken. Myös ohjelmiston tekniseen dokumentointiin olisi varmasti löytynyt työkaluja ja best-practice -menettelyjä. Nyt oletetaan, että seuraava ohjelmoija saa riittävän kuvan ohjelmiston toiminnasta kommentoidusta lähdekoodista Siemensin TIA ympäristöstä.

Tämän työn jälkeen prototyypilaitteisto ja ohjelmisto luovutetaan automaatioon erikoistuneelle insinööritoimistolle, joka tutustuu siihen, dokumentoi sen ja ottaa sen huoltovastuulle. Järjestelmän lopullisen asennuksen toiminnan pääsee näkemään vasta lentokentällä. Tässä vaiheessa tiedetään vain, miten prototyyppi toimii laboratoriossa.

## LÄHTEET

Tampere-Pirkkalan lentoasema lyhyesti, Finavia 2020.

Luettu 7.5.2020. <https://www.finavia.fi/fi/lentoasemat/tampere-pirkkala/lentoasemalla/lyhyesti>

Airo, Reserviläinen -lehti 2016, Näin Ilmavoimat toimisi, jos Suomeen hyökättäisiin. Luettu 7.5.2020. [https://www.reservilainen.fi/uutiset/nain\\_ilmavoimat\\_toimisi\\_jos\\_suomeen\\_hyokattaisiin\\_tavoite\\_on\\_etta\\_ei\\_kannata\\_koska\\_taalla\\_tulisi\\_pataan](https://www.reservilainen.fi/uutiset/nain_ilmavoimat_toimisi_jos_suomeen_hyokattaisiin_tavoite_on_etta_ei_kannata_koska_taalla_tulisi_pataan)

Morris 2007 U.S Navy photo. Luettu 8.5.2020. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FA-18\\_Train.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FA-18_Train.jpg)

X-Engineering, On-off control system. Luettu 14.5.2020. <https://x-engineer.org/graduate-engineering/signals-systems/control-systems/on-off-control-system/>

Realpars, PLC Programming languages. Luettu 14.5.2020. <https://realpars.com/plc-programming-languages/>

Siemens, Ladder Logic (LAD) for S7-300 and S7-400 Programming Reference Manual, 05/2010, A5E02790079-01. Luettu 14.5.2020. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/822/45523822/att\\_82001/v1/s7kop\\_\\_b.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/822/45523822/att_82001/v1/s7kop__b.pdf)

ABB, Current sensors and voltage sensors, Luettu 14.5.2020. [https://library.e.abb.com/public/8eb5d20c5efc439c923f51804742b3f7/1SBC140152C0207\\_TechnicalCatalog%20Current-Voltage%20sensors.pdf](https://library.e.abb.com/public/8eb5d20c5efc439c923f51804742b3f7/1SBC140152C0207_TechnicalCatalog%20Current-Voltage%20sensors.pdf)

Continental Control Systems, Modbus Protocol and the RS-485 Serial Bus Standard, Luettu 14.5.2020. [https://ctlsys.com/support/modbus\\_protocol\\_and\\_the\\_rs-485\\_serial\\_bus\\_standard/](https://ctlsys.com/support/modbus_protocol_and_the_rs-485_serial_bus_standard/)

Schneider Electric SSM1A312BD solid state relay. Luettu 15.5.2020. <https://www.se.com/us/en/product/SSM1A312BD/solid-state-modular-relay%2C-12-a%2C-zero-voltage-switching%2C-input-4%E2%80%A632-v-dc%2C-output-48%E2%80%A6600-v-ac/?range=60278-zelio-relays-solid-state&node=791940409-solid-state-relay&filter=business-1-industrial-automation-and-control>

TAMPERE-PIRKKALA AERODROME CHART EFTP AD, ICAO, ANS FINLAND 2018, Luettu 7.5.2020.

[https://www.ais.fi/ais/aip/ad/eftp/EF\\_AD\\_2\\_EFTP\\_ADC.pdf](https://www.ais.fi/ais/aip/ad/eftp/EF_AD_2_EFTP_ADC.pdf)  
EF\_AD\_2\_EFTP\_ADC.pdf

ABB, CMS Current Measurement System User Manual, Document ID: 2CCC481002M0202. Luettu 14.5.2020. [https://library.e.abb.com/public/04f356a013954f4683257d19002ceba3/2CCC481002M0202\\_User%20Manual\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/04f356a013954f4683257d19002ceba3/2CCC481002M0202_User%20Manual_EN.pdf)

Siemens, 2016. SIMATIC HMI HMI devices Basic Panels 2nd Generation Operating Instructions A5E33293231-AB.

Siemens 2014. SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual A5E02486774-AF.

SFS 6000 2017 Pienjännitesähköasennukset, 2017. Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 19.5.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

**LIITTEET**