



TEKNIikka JA LIIKENNE

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

INSINÖÖRITYÖ

NIVELRAITIOVAUNUN LÄMMITYKSEN SÄÄTÖYKSIKÖN MODERNISOINTI

Työn tekijä: Tomi Kivelä
Työn ohjaajat: Heikki Hasari
Ollipekka Heikkilä

Työ hyväksytty: 5. 5. 2011

Heikki Hasari
yliopettaja



ALKULAUSE

Tämä insinööriytyö tehtiin HKL-Raitioliikenteelle Vallilan Varikolla. Kiitän työn ohjaajia kehittämisspäällikkö Ollipekka Heikkilää ja yliopettaja Heikki Hasaria joustavasta projektin ohjauksesta sekä projektiin osallistuneita varikon työntekijöitä. Erityisesti kiitän vanhempaa sähköasentajaa Tommi Långia terävistä havainnoista ja käytännön neuvoista prototyypin suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä perhettäni, joka on ollut tukena ja apuna tämän työn tekemisessä.

Helsingissä 2.5.2011

Tomi Kivelä

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Tomi Kivelä	
Työn nimi: Nivelraitiovaunun lämmityksen säätöyksikön modernisointi	
Päivämäärä: 2.5.2011	Sivumäärä: 72 s. + 36 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka
Työn ohjaaja: Yliopettaja Heikki Hasari Työn ohjaaja: Kehittämispäällikkö Ollipekka Heikkilä	
<p>Tämä insinööri työ tehtiin HKL-Raitioliikenteelle. Työssä modernisoitiin II-sarjan nivelraitiovaunun matkustamon lämmityksensäätöyksikkö. Työn tarkoituksena oli etsiä korvaava säätöyksikkö sekä parantaa lämmityksen toimintaa ja turvallisuutta.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä alkuperäisen säätöjärjestelmän toimintaan ja komponentteihin. Sen jälkeen selvitettiin järjestelmän ja komponenttien toiminnan ongelmakohdat. Tämän perusteella lähdettiin etsimään ratkaisuvaihtoehtoja korvaaviksi säätimiksi ja toimintojen parantamiseksi. Esitettyjen ratkaisuvaihtoehtojen pohjalta työn tilaaja teki päätöksen, mistä vaihtoehdosta rakennetaan prototyyppi ja tehdään koeasennus vaunuun.</p> <p>Työn tuloksena saatiin toimiva lämmityksensäätöjärjestelmä, joka pitää matkustamon lämpötilan asetellussa arvossa ja parantaa lämpömukavuutta. Järjestelmän kenttätestauksen jälkeen tilaaja voi tehdä päätöksen, otetaanko tämä järjestelmä käyttöön vai etsitäänkö jokin muu ratkaisu.</p>	
Avainsanat: nivelraitiovaunu, lämmityksensäätö, lämmityksensäätöyksikkö, IQAN MC2	



ABSTRACT

Name: Tomi Kivelä

Title: Heating control unit modernization of articulated tram

Date: 2 May 2011

Number of pages: 72 + 36 appendices

Department:

Mechanical Engineering

Study Programme:

Production Engineering

Instructor: Heikki Hasari, Principal Lecturer

Supervisor: Ollipekka Heikkilä, Development Manager

This engineering project was carried out for HKL Tram Transport. The goal in this project was to modernize the cabin heating control unit in a series II articulated tram. This was implemented by finding and replacing the control unit with a newer and better one to improve functionality and safety.

The work required exploring the original system, its operation and components. The system was examined for obvious component and functional problems. Based on the findings, the search for alternative solutions was started in order to find a new controller and to enhance the operation. The customer made the decisions about the components of the prototype based on the solutions offered and gave the permission to install it in the tram.

This study was successful in building a functioning heating control system, which keeps the cabin temperature at the adjusted value, thus improving thermal comfort. Once the eventual field tests are complete the customer can make a decision about whether to use this system or find some other solution.

Keywords: Articulated tram, Heating Control, Heating Control Unit, IQAN MC2

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	NRV II:N LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET	3
2.1	Lämmönsäädön toiminta	4
2.2	Toimintakuvaus ehtokomponenteille	5
2.3	Lämmönsäädön komponentit	6
3	LÄMPÖVIIHTYVYYS JA LÄMPÖOLOT	11
3.1	Lämpöviihtyvyys	11
3.2	Veto	11
3.3	Raitiovaunun lämpöolot	11
3.4	Raitiovaunun lämpöolojen säätely	13
4	SÄÄTÄMISEN PERUSTEET	14
4.1	Säädintyypit	15
4.1.1	<i>Kaksipistesäätö</i>	15
4.1.2	<i>P-säädin</i>	15
4.1.3	<i>I-säädin</i>	16
4.1.4	<i>PI-säädin</i>	17
4.1.5	<i>PID-säädin</i>	18
4.1.6	<i>Säädintyyppien käyttö ilmanvaihtoratkaisuissa</i>	19
4.2	Säätöjärjestelmän viritys	19
5	ALKUPERÄISEN LÄMMÖNSÄÄTÖJÄRJESTELMÄN VIAT	21
5.1	Järjestelmän komponenttien viat	21
5.2	Säädön toiminnan puutteet	23
5.3	Yhteenvedo vioista ja toiminnan puutteista	23

6	LÄHTÖKOHDAT RATKAISUILLE	24
6.1	Säädinyksikön valinta	25
6.2	Yliämpösuojaus	27
6.3	Peltimoottorin rajakytkimet	29
6.4	Kylmäpuhallussuoja	31
6.5	Ratkaisumallien yhteenveto	32
7	PARKER IQAN MC2	33
7.1	IQAN-konsepti	33
7.2	IQAN MC2	34
8	LISÄLÄMPÖ- JA JARRUVASTUSTEN MITTAUKSET	35
9	PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN	37
9.1	Lämpöanturit ja lämmön mittaus	38
9.2	Peltimoottorin pääteaste	40
9.3	Säädön rakentaminen	45
9.4	Järjestelmän simulointi	48
9.5	Säädön ohjelman toimintaselostus	50
9.6	NRV II:n lämmityksen toiminnankuvaus toteutettuna MC2:lla	54
10	PROTOTYYPIN VAUNUUN ASENNUS JA TESTAUS	56
10.1	Käyttöönotto	58
10.2	Säädön viritys	60
10.3	Vikatilanteiden testaus	61
10.4	Matkustamon lämpötilamittaukset	62
10.4.1	Lämpötilan mittaus vaunu paikallaan	63
10.4.2	Lämpötilan mittaus vaunu ajossa	63
10.4.3	Lämpötilan mittaus vaunu ajossa, ovia avaten	63
10.4.4	Mittaukseen vaikuttavat tekijät	64
11	KUSTANNUSLASKENTA	65
12	YHTEENVETO, POHDINTA JA JATKOSUUNNITELMAT	67
12.1	Yhteenveto	67
12.2	Pohdinta	68
12.3	Jatkosuunnitelmat	69
	VIITELUETTELO	70
	LIITELUETTELO	72

1 JOHDANTO

HKL:n tärkein tehtävä on tuottaa ympäristöystävällisiä joukkoliikenteen palveluita ja edistää pääkaupunkiseudun liikenteen toimivuutta. Se työllistää noin tuhat henkilöä moninaisissa työtehtävissä eri puolilla organisaatiota. HKL:n liikevaihto vuonna 2010 oli noin 140 miljoonaa euroa. Sen toiminta jakautuu metro-, raitio- ja vesiliikenteen tuottamiseen. [1.]

HKL-Raitioliikenne tuottaa Helsingin Seudun Liikenteen tilaamaa raitioliikennettä. Raitioliikenne on tärkein julkisen liikenteen muoto kantakaupungissa, ja sitä käyttää päivittäin noin 200 000 matkustajaa. Vuonna 2009 raitiovaunuilla tehtiin noin 54,9 miljoonaa matkaa. Raitioliikenneyksikkö vastaa kaluston kunnossapidosta ja uudistamisesta. [2.]

Raitioliikenteen perustana ovat I- ja II-sarjan nivelraitiovaunut (NRV) sekä matalalattiavaunut. Liikenteessä on myös muutamia "Mannheim"-vaunuja, joista osa on mainosteipattuja. Lisäksi on erikoisvaunuja tilausajokäytössä.

II-sarjan raitiovaunut (kuva 1) on valmistettu 1983 - 1987. Väliosallisen vaunun pituus on 26,5 m, leveys 2,3 m ja paino 33,5 t. Istumapaikkoja on 49 ja seisomapaikkoja 120, matalalattioväliosään mahtuu kaksi pyörätuolia tai kahdet lastenvaunut. 2000-luvulla vaunusarja on peruskorjattu ja siinä yhteydessä tekniikkaa ja sisusta on modernisoitu. Viimeisin uudistus oli väliosien lisääminen alkaen vuodesta 2006. Sillä parannettiin esteetöntä liikkuamista ja lisättiin vaunun kuljetuskapasiteettia. Väliosien lisääminen mahdollisti Lumikko Oy:n valmistaman ilmastointijärjestelmän sijoittamisen väliosään, millä pyritään parantamaan matkustusmukavuutta ja kuljettajan työoloja kesäheiteillä. Näillä korjauksilla ja muutoksilla vaunun käyttöikätaavoitteeksi on asetettu vähintään 20 vuotta. [3.]

II-sarjan matkustamon lämmönsäätöyksikkö on alkuperäinen ja tullut käyttökänsä päähän. Vikatilastoissa tämä näkyy lisääntyneinä vikoina, joista yleisimmät ovat liian kuuma tai kylmä matkustamo. Tämä vähentää matkustusmukavuutta ja huonontaa kuljettajan työolosuhteita. Säättöyksikön ja valvontakomponenttien epävarma toiminta vaikeuttaa myös väliosään asennettun ilmastointijärjestelmän toimintaa. [4.]

Tässä insinööriyössä keskityttiin II-sarjan nivelraitiovaunun matkustamolämmityksen säätöyksikön ongelmiin. Työssä oli tarkoitus etsiä ratkaisu korvaavaksi lämmityksensäätöyksiköksi ja parantaa turvatoimintoja sekä käyttövarmuutta.

Työ toteutettiin kolmessa vaiheessa, joista ensimmäisessä etsittiin korvaava säädinratkaisu. Toisessa vaiheessa rakennettiin valitusta ratkaisusta prototyyppi, jolla kehitettiin ja tutkittiin järjestelmän toimintaa sekä soveltuvuutta raitiovaunuun. Kolmannessa vaiheessa prototyyppi asennettiin oikeaan toimintaympäristöönsä keräämään tietoa ja käyttökokemuksia, joiden perusteella tullaan päättämään mahdollisesta säätöyksikön laajamittaisesta käytöstä vaunusarjassa.



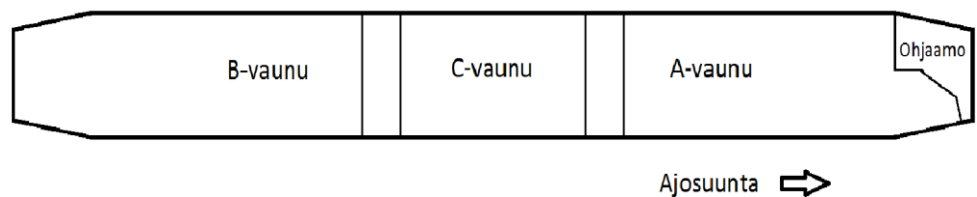
Kuva 1. Matalalattiaosalla varustettu II-sarjan nivelraitiovaunu.

2 NRV II:N LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

Lämmönsäädön toiminnan kuvaus on esitetty NRV II:n korjaamokirjassa luvussa Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet [5, s. 1 - 10].

A- ja B- vaunut ovat alkuperäisillä tunnuskirjaimillaan. Jälkeenpäin lisätty matalalattiainen väliosa on C-moduuli, joka sijaitsee vaunun keskellä. Niiden järjestys näkyy kuvassa 2.

A- ja B- vaunuissa on samanlaiset, mutta toiminnaltaan itsenäiset lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet. Katolle on sijoitettu kanavapuhaltimet, jarruvastukset sekä lisälämpövastus. Lämmityksen säätöyksikkö sijaitsee sivukilpikotelossa. Lämmityksessä pyritään käyttämään mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi vaunun jarrutusenergian tuottama lämpö. Jarruvastuspuhallin jäähdyttää jarruvastuksia, ja lämmennyt ilma johdetaan tarpeen mukaan joko ulos tai lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen imukanavaan. Lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen imuilma on sopiva sekoitus ulkoilmaa ja lämmintä jarruvastusilmaa. Kylmänä vuodenaikana lisälämpövastus kytkeytyy päälle, jos jarruvastusten tuottama lämpö ei riitä. Sopivaksi lämmitetty ilma johdetaan kanaviston kautta matkustamoon. Jarruvastuspuhaltimen tuottama ilmamäärä on 1500 m³/h. Lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen ilmamäärä on lämpimällä säällä (18 °C) 1800 m³/h ja muulloin (alle 15 °C) 1200 m³/h. Molemmat puhaltimet ovat kaksoissiipipyörällä varustettuja keskipakopuhaltimia, puhaltimet ovat moottorin kanssa samalla akselilla. Puhallin ja moottori on asennettu kehikkoon, joka kiinnittyy vaunun runkorakenteisiin tärinänvaimentimilla. Puhallin ja kanavisto on liitetty yhteen joustavalla kangaspalkeella. Puhaltimet ovat vaihtokelpoisia A- ja B- vaunujen kesken, koska laitteet on sijoitettu toistensa peilikuvaksi.



Kuva 2. A-, B- ja C-osan sijoittuminen vaunuun.

2.1 Lämmönsäädön toiminta

Säädin C1A1 (Satchwell CRX) säätää peltimoottoria (B5M2) lämpöanturin (C3S1) mittauksen perusteella vertaamalla sitä asetusarvoihinsa. Jos vaunun lämpöanturin mittauksen perusteella lämpötila on laskenut alle asetusarvon (18 °C) ja hystereesialueen alaraja on saavutettu, pyytää säätöyksikkö lisää lämpöä. Tällöin peltimoottori avaa säätöpeltiä ja jarruvastuskanavan lämpimämpää ilmaa pääsee virtaamaan sisään. Säätöpeltiä avataan niin kauan, kunnes saavutetaan aseteltu lämpötila tai kanava-anturin antama mittatieto ylittää asetteluarvonsa.

Kanavatermostaatti (D1S1) toimii kompensatioelimenä siten, että sen avulla säätöyksikkö muodostaa kanavalämpötilan ja vaununlämpötilan suhteen. Säätöyksikön suhdeasetuksella ($\Delta t_1 / \Delta t_2$) saadaan aseteltua kanavalämpötilan ja vaunun lämpötilan suhde sopivaksi, esim. suhdeasetuksella 12 astetta, nousee kanavalämpötila 12 astetta vaunun lämpötilan laskiessa 1 asteella.

Kanavatermostaatti toimii lisäksi alilämpösuojana estäen asetusarvoaan kylmemmän ilman puhalluksen vaunuun. Säätimessä on myös integrointiasettelu (ia) jolla saadaan suhdesäätöön tehtyä viivettä, jotta saavutetaan huojumaton, mutta nopeatoiminen säätö.

Säädin C1A1 ja termostaatit C3S1 ja D1S1 hoitavat matkustamon lämmönsäädön säätöpellin ja lisälämpövastuksen avulla. Lisäksi lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmässä on termostaatteja ja antureita, jotka luovat ehtoja järjestelmän toiminnalle. Ehtokomponentit on asennettu samalle asennuslevylle säätöyksikön ja invertterin kanssa (kuva 3), asennuslevy komponentteineen on vaunun sivukilpikotelossa.



Kuva 3. Vanhan lämmönsäätöyksikön asennuslevy komponentteineen.

2.2 Toimintakuvaus ehtokomponenteille

Suojaustoiminnot ovat säädöstä täysin erillään toimivia komponentteja, joilla on tarkoitus suojata järjestelmän osia yliämpötilanteissa. Ehtoja muodostavat komponentit valitsevat lämmityksen toimintatilan (kesä/talvi) ja ohjaavat lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen pyörimisnopeutta.

- B1B1, C1S1 ovat jarruvastuskanavan lämpötila-anturi ja elektroninen termostaatti, jotka mittaavat jarruvastuskanavan yliämpöä. Asetusarvo on 150 °C, jonka ylitys aiheuttaa hälytyksen kuljettajalle summerilla ja merkkivalolla.
- B3B2, C1S2 ovat ulkolämpötila-anturi ja elektroninen termostaatti, jotka mittaavat ulkolämpötilaa. Asetusarvo on 18 °C, jonka ylittyessä lämmitys- ja ilmanvaihtopuhallin B5M1 vaihtaa tilansa suuremmalle nopeudelle. Aliettaessa asetusarvo, palataan alhaisemmalle puhallusnopeudelle.
- B3B3, C1S3 ovat ulkolämpötila-anturi ja elektroninen termostaatti, jotka mittaavat ulkolämpötilaa. Asetusarvo on 15 °C. Ulkolämpötilan ollessa alle asetusarvon, antaa elektronisen termostaatin lähtö vetoluvan lisälämpökontaktorille. Lisälämpökontaktori vetää säätöpellin ollessa täysin auki ja lisälämpövastus B5R1 alkaa lämmitä edellyttäen, että lämpökanavan lämpötila on alle 80 °C ja lisälämpövastuksen B5R1 yliämpösuoja (200 °C) ei ole toiminut.
- D1B1, C1S4 ovat kanava-anturi ja elektroninen termostaatti. Asetusarvo on 80 °C. Asetusarvon ylittyessä sulkeutuu pelti B5M2 ja lisälämpövastus B5R1 kytkeytyy pois päältä kontaktori C1K1:n avautuessa.
- B3S1 on paine-eroanturi, joka valvoo lämmitys- ja ilmanvaihtopuhaltimen toimintaa. Asetusarvon alittuminen aiheuttaa hälytyksen kuljettajalle merkkivalolla.
- Lisälämpövastus on suojattu yliämpösuojuella, joka katkaisee lisälämpövastuksen 600 V:n piirin avaamalla lisälämpökontaktorin lämpötilan ylittäessä 200 °C.

Vaunun lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän piirustukset ja osaluettelot ovat liitteinä 1 - 7. Säädin C1A1 ja elektroniset termostaatit C1S1, C1S2, C1S3 ja C1S4 sijaitsevat sivukilpikotelossa (LIITE 4). Vaunun lämpötila-anturi C3S1 sijaitsee sivukilpikotelon kyljessä (LIITE 5). Kanavatermostaatti D1S1 ja kanava-anturi sijaitsevat välikaton kanavassa (LIITE 6). Muut toimilaitteet ja anturit sijaitsevat raitisilmakanavassa (LIITE 2).

2.3 Lämmönsäädön komponentit

Tässä luvussa esitellään lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden keskeisimmät komponentit ja kerrotaan niiden tärkeimmät ominaisuudet. Ominaisuuksista käy ilmi, että komponentit on tarkoitettu alun perin kiinteistöjen lämmönsäätökäyttöön. Komponenttien toiminta ja tehtävät on kerrottu edellisessä kappaleessa.

Säätöyksikkö

Säädin C1A1 (kuva 4) on tyyppiä CXR 3801, Satchwell Control Systems Ltd:n valmistama kiinteistöihin tarkoitettu lämmityksensäätöyksikkö. Säätimessä on aseteltavat säädöt seuraaville toiminnoille: suhdealue, integrointi-aika, sisälämpötila ja kanavalämpötila. Suhde on aseteltavissa 1/2:n ja 1/18:n välillä. Integrointi-aika on asetettavissa 1 ja 10 sekunnin välille. Sisä- ja kanavalämpötilaa voidaan säätää 10 ja 40 °C:n välillä. Säätimellä ohjataan toimilaitetta, joka on yleensä peltimoottori. Säätimessä on mahdollisuus kolmiportaiseen toimilaittekytkentään. Yksikkö kykenee antamaan toimilaitteille käyttösähköä 18 VA / 24 V AC, lähtö on suojattu 1 A:n sulakkeella. Säätimen käyttöjännite on 230 V AC, taajuus 50 - 60 Hz ja tehontarve 35 VA. Säätimen käyttölämpötila-alue on 0 - 50 °C. [6.]



Kuva 4. Vanha säätöyksikkö.

Pistokantarele

Pistokantareleellä C1K1 on tehty kanavaylilämmön suojaustoiminto, joka kytkee ylilämpötilanteissa lisälämmön pois ja pakko-ohjaa pellin kiinni. Releen tilaa ohjataan elektronisella termostaatilla C1S4. Releen käyttöjännite on 24 V DC. Kolmesta vaihtokärjestä on käytössä kaksi.

Elektroninen termostaatti

Elektroniset termostaatit (kuva 5) ovat OJ Elektronik AS:n valmistamia, C1S1 - C1S3 ovat tyyppiä ETU 1221 ja C1S4 on tyyppiä ETU 1111. Molemmissa termostaateissa on asetettava lämpötila-alue, tyypissä ETU 1221 se on 10 °C - 110 °C ja tyypissä ETU 1111 alue on 50 °C - 200 °C. Kummassakin tyypissä on hystereesin säätö. Termostaatin käyttöjännite on 220 V AC. Ulostulona on kärkitieto, joka voidaan ulkoisella kytkennällä valita avautuvaksi tai sulkeutuvaksi.



Kuva 5. ETU termostaatit.

Invertteri

Invertteri 24 V DC / 230 V AC (Kuva 6) tuottaa säätöyksikön ja elektronisten termostaattien tarvitseman vaihtojännitteen. Käytössä on ollut useita eri valmistajien eri malleja, yleisin korvaava malli on tällä hetkellä Mascot 150.



Kuva 6. Mascot 24 V:n invertteri.

Anturit

Vaunussa käytetyt anturit on esitetty kuvassa 7 luettelman mukaisessa järjestyksessä.

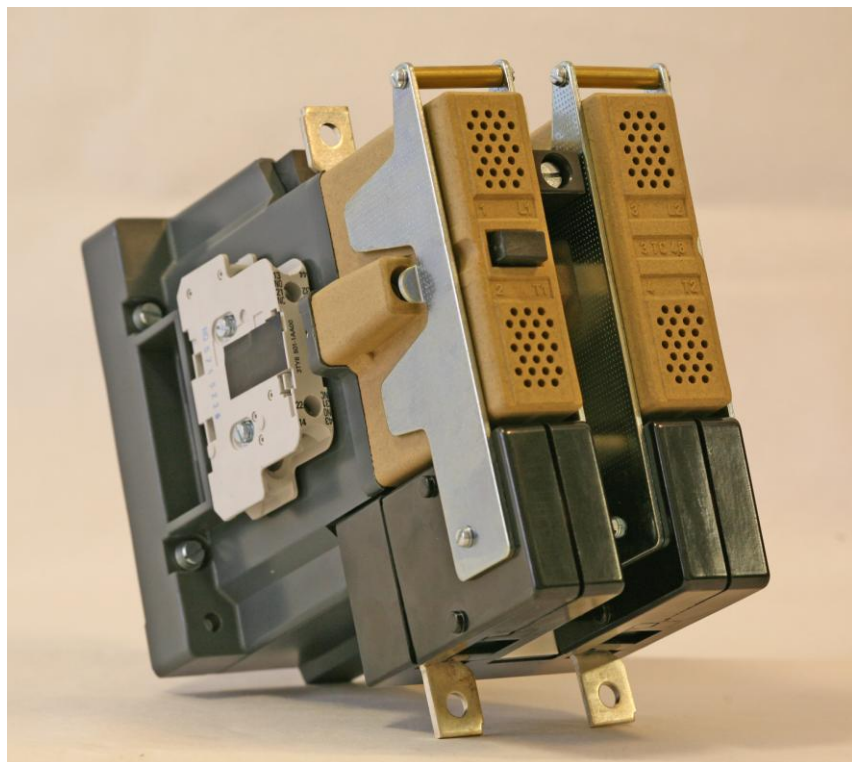
- Sisälämpöanturi DR 3253
- Kanavalämpöanturi DD 1401
- Jarruvastusten yllämpöanturi ETF 411
- Kanavaylilämpöanturi ja ulkolämpöanturit ETF 422
- Painevahti LGW 3 A2



KUVA 7. Vaunussa käytetyt anturityypit.

600 V:n kontaktori

Lisälämpövastuksen kontaktori on Siemens 3TC48 (kuva 8). Kontaktorin mekaaninen käyttöikä on 10 miljoonaa päälle – pois-kytkentää. Kärkien suurin käyttöjännite on 600 V DC, kärkien virrankesto 75 A ja kelan vetojännite 24 V DC. Kontaktorin molemmat kärjet on kytketty sarjaan suuremman jännitteen keston saavuttamiseksi. Suurin sallittu määrä päälle - pois-kytkentöjä tunnissa on 1000 kpl resistiiviseen kuormaan ja 600 kpl induktiiviseen kuormaan. Käyttölämpötila-alue on -25 °C ...+55 °C. [7, s. 2/202 - 203.]



Kuva 8. 600 V kontaktori.

Peltimoottori

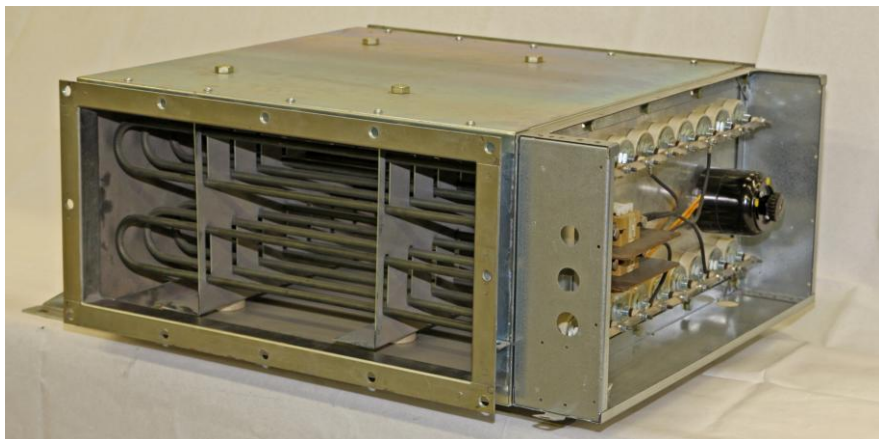
Peltimoottori on Satchwell AX 2701 (kuva 9), jonka vääntömomentti on 5,6 Nm ja liikenopeus äärirajasta toiseen 160 s. Moottorin käyttöjännite on 24 V AC sekä tehontarve 5 W.



Kuva 9. Peltimoottori.

Lisälämpövastus

Lisälämpövastuksen valmistaja on Loval Oy. Vastukset ovat kotelorakenteen sisällä (kuva 10), jonka läpi kanavan ilma puhalletaan. Vastusten nimellinen käyttöjännite on 600 V DC ja teho 18 kW.



Kuva 10 Lisälämpövastus.

3 LÄMPÖVIIHTYVYYS JA LÄMPÖOLOT

3.1 Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyys on mielentila, millä ihminen ilmaisee tyytyväisyytensä ympäröivään lämpötilaan. Hyvä lämpöviihtyvyys on saavutettu silloin, kun ihminen ei osaa sanoa, haluaisiko hän kylmempää vai kuumempaa. [8, s. 4.]

Optimilämpötila on sellainen, missä suurin osa ihmisistä tuntee lämpöolot miellyttäväksi. Tähän vaikuttavat pukeutuminen ja ihmisen yksilöllinen lämmöntuotto. Ihmisen ruumiinlämmön pysyminen vakiona on yksi fysiologisten toimintojen edellytys. Keho pyrkii pitämään lämpötilan vakiona erilaisin keinoin. Lämmön säätely aiheuttaa ihmiselle epämukavaa tunnetta (palelua tai hikoilua), joka pahenee mitä lähemmäksi tullaan säätelykyvyn äärirajaa. [9, s. 34.] Ihminen aistii pienetkin lämpötilan muutokset ja muodostaa niistä lämpötuntemuksen. Nopea lämpötilan vaihtelu lisää tyytymättömyyttä lämpöoloihin, vaikka keskiarvoisesti lämpötila pysyisikin asetellulla alueella. [10, s. 7.]

3.2 Veto

Vedon tunteen aiheuttaa ihon paikallinen jäähtyminen. Ihmiset aistivat eri lailla ilmvirtausten aiheuttaman jäähtymisen, toisen henkilön mielestä voi olla hyvinkin vetoisaa ja toinen ei huomaa juuri minkäänlaista vedon tunnetta. Eri kehon osat aistivat vetoa eri lailla. Niska on kaikista herkin vedolle ja edestäpäin tulevaa ilmvirtausta siedetään huomattavasti paremmin. [8, s.25.] Lämpöolosuhteet vaikuttavat vedontunteeseen: jos ollaan lämpökavuusalueen alarajalla, on vedon aistiminen todennäköisempää jo pienilläkin ilmvirtauksilla. Vedon tunnetta aiheuttaa myös säteilemällä tapahtuva lämmönsiirto. Esimerkiksi kädestä siirtyvä lämpösäteily kylmään pintaan aiheuttaa kylmäaistimuksia. [10, s. 10.]

3.3 Raitiovaunun lämpöolot

Raitiovaunussa vallitsevat lämpöolot on tärkeä merkitys kuljettajan työympäristön ja matkustajien viihtyvyyden kannalta. Standardi EN 14750-1 määrittää keskeisimmät lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat tekijät, jotka ovat ilman lämpötila, virtausnopeus, kosteus sekä vallitseva sisälämpötila. [11, s.10.] Kuljettajalla on ohjaamossa mahdollisuus säädellä työympäristönsä lämpöti-

laa ohjaamolämmittimen, tuulilasinpuhaltimen ja ohjaamon katonrajassa olevan säädettävän suuttimen avulla. Näillä säädöillä voidaan lämmittää ohjaamoa kunkin kuljettajan mieltymysten mukaan. Tuulilasinlämmityspuhaltimen ensisijainen tehtävä on pitää tuulilasi huurteettomana, mutta samalla sitä käytettäessä se lämmittää ohjaamoa. Ohjaamon katonrajassa on säätösuutin, joka on kytketty matkustamon ilmanvaihtokanavaan, josta johdetaan lämpimällä ilmalla jäähdytettyä ilmaa ohjaamoon, ja lämmityskaudella sieltä puhalletaan lämmintä ilmaa. Tämän ratkaisun tarkoituksena on parantaa kuljettajan lämpöoloja lämpimillä ilmoilla laskemalla ohjaamon lämpötilaa. Kuljettaja voi säätää viileän tai lämpimän ilman määrää ja suuntaa suuttimen avulla.

Matkustamon lämpötila on pyrittävä pitämään talvikaudella mahdollisimman vakiona, ja sen asetusarvoksi on sovittu 18 °C. Lämpötilassa on otettu huomioon vuodenaikojen vaihtelut ja pyritty siten löytämään asetus, joka palvelisi mahdollisimman hyvin matkustajien viihtyvyyttä. Kesällä matkustamon lämpötila nousee korkeammaksi ilmanlämpötilan mukaan, mutta matkustamoa pyritään kuitenkin viilentämään C-osaan asennetuilla kylmäkoneilla.

Matkustamoa ei saa lämmittää liian lämpimäksi, koska talvella ihmiset ovat pukeutuneet sään mukaan ja liian lämmin matkustamo yhdistettynä paksuun vaatetukseen aiheuttaa matkustajalle tuskaisen matkustuskokemuksen ja valituksia liiasta lämmöstä.

Kuljettajan kannalta liian lämmin matkustamo ei aiheuta niin suuria ongelmia, koska ohjaamon lämmitykset voi kytkeä pois ja matkustamon lämpö voi jopa riittää pitämään työskentelylämpötilan mukavana.

Kylmä matkustamo ilmiönä korostuu matkustajien kannalta lähinnä alkusyksystä ja loppukeväästä, jolloin vaatetus on keveämpää, silloin voi puhallus tuntua viileältä ja matkustajat voivat valittaa liian alhaisesta lämpötilasta.

Kuljettajalle matkustamon liian alhainen lämpötila on haitallisempi. Vaikka ohjaamon lämmitystä voidaan lisätä, niin lämpötilaerojen kasvaessa vedon tunne lisääntyy. Tämä johtuu siitä, että eri tilojen välinen lämpötilaero saa ilman virtaamaan ja aiheuttaa vedontunnetta. Käytännössä ovien puoleinen käsivarsi tuntuu saavan kylmää vaikka muutoin ohjaamossa on sopivan lämmintä.

3.4 Raitiovaunun lämpöolojen säätely

Asetetun lämpötilan pitäminen raitiovaunussa on haasteellista, koska olosuhteet vaihteleva jatkuvasti. Tilanne, jossa vaunu seisoo ovet kiinni ulkona paikallaan, on lämpötilan säätämisen kannalta kaikkein helpoin. Vaunun rakenteiden lämpötilojen tasaannuttua eli noin tunnin kuluessa, ei systeemissä ole häiriötekijöitä, koska ulkolämpötila harvoin vaihtelee kovin monta astetta lyhyen aikayksikön sisällä. Säätö pystyy pitämään lämpötilan asetellussa arvossaan helposti, koska lämmitykseen käytetään lisälämpövästusta, jonka käyttäytyminen tunnetaan, ja ongelmia ei ole kuin kaikkein kovimmilla pakkasilla (-20 °C ja alemmat lukemat), jolloin lisälämpövästuksen teho ei välttämättä riitä tavoitelämpötilan saavuttamiseen.

Ajossa olevan vaunun lämmönsäätäminen ei ole enää niin helppoa, koska muuttuvia tekijöitä on runsaasti. Matkustajien määrän vaihtelu muuttaa matkustamon ilmatilavuutta, ja ihmiset myös lämmittävät tilaa. Ovien avaaminen ja siinä yhteydessä tapahtuva lämmön karkaaminen sekä ilman vaihtuminen muuttavat matkustamon lämpötilaa voimakkaasti. Ilmiö voi entisestään tehostua, jos ulkona vallitsee tuulinen sää. Standardissa EN 14750-1 on määriteltä muun muassa ovien avaus syklien määrä ja kesto suhteessa lämpötilan muuttumiseen ja palautumiseen avaus syklien aikana ja sen jälkeen. [11, s. 12 - 15.]

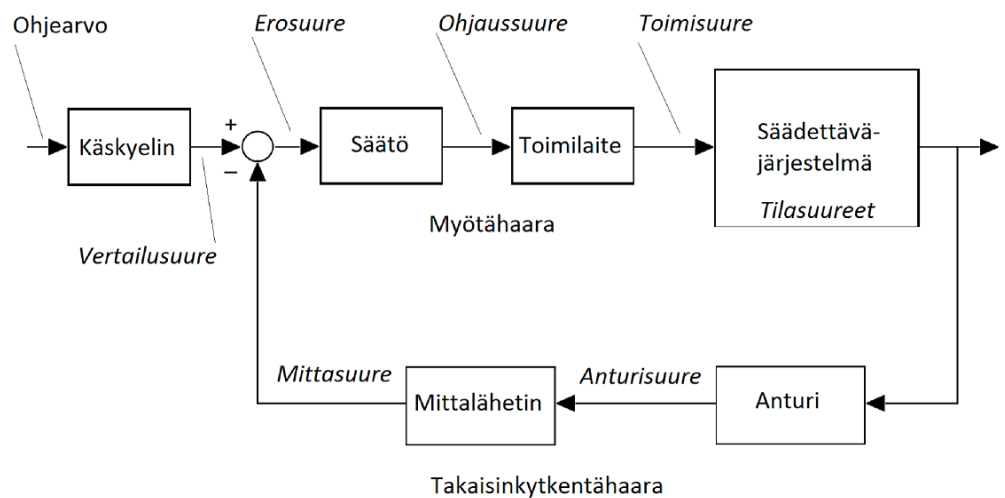
Ensisijainen lämmitysteho otetaan jarruvastuksilta kanavassa olevan säätöpellin asentoa säätämällä. Jarruvastusten lämpötila vaihtelee jarrutusten mukaan, ja jos ne eivät kykene tuottamaan riittävästi lämpöä, kytketään tarvittaessa lisälämpövästus päälle. Sisälämpötila vaihtelee myös ajon seurauksena ilmassan liikkeessä ja sekoituessa vaunun sisällä kiihdytyksissä ja jarrutuksissa aiheuttaen jonkin verran lämpöheilahtelua.

Matkustamon lämpötilan vaihtelua hillitsee onneksi melko suuri massa, joka on sitonut itseensä lämpöä ja tasaa siten lämmönvaihtelua. Esimerkiksi ovien avaaminen saattaa laskea matkustamon lämpötilan käytävän keskiosassa 15 °C, mutta hetken kuluttua ovien sulkemisesta lämpötila palautuu ovien avaamista edeltävään tilaan.

4 SÄÄTÄMISEN PERUSTEET

Säätimen perustehtävä on pitää ohjattava prosessi käyttäjän antamassa asetusarvossa. Säätöjärjestelmän perusrakenneosa on yksittäinen säätöpiiri. Monimutkainen prosessinohjausjärjestelmä sisältää useita säätöpiirejä ja toimilaitteita, joita säätöjärjestelmä ohjaa. Säädin voi rakentua erillisistä komponenteista, joilla mitataan, vertaillaan ja ohjataan prosessia tai se voi olla yksi yksittäinen komponentti, johon on integroitu kaikki säätämiseen tarvittavat toiminnot (kuva 11). Olkoon säädin toteutettu miten tahansa, niin siinä on säätämisen kannalta samat perustoiminnot.

Prosessin säätämiseen tarvitaan käyttäjän antama *ohjearvo*, prosessista saatu mittaustieto, joka on *mittasuure*, sekä *ohjearvon* ja *mittasuureen* vertailemiseen *eroelin*, jonka vertailutuloksena saadaan *erosuure*. Säätämisen suorittaa säätö, *erosuureen* ja *säätöalgoritmin* perusteella. Säätö ohjaa toimilaitetta *ohjaussuureella*, joka vaikuttaa säädettävän prosessin tilaan.



Kuva 11. Suljettu takaisinkytketty säätöjärjestelmä [lähde 10, s. 16 mukailen].

Säätötekniikassa käyttäjän antamaa ja haluamaa arvoa, esimerkiksi huoneen lämpötilaa kutsutaan asetusarvoksi tai ohjearvoksi. Mittasuure tai takaisinkytkentäviesti on mitattu arvo säädettävästä prosessista, joka viedään eroelimeen vertailua varten. Erosuure on eroelimen muodostama suure, joka on asetusarvon ja takaisinkytkennän erotus. Ohjausviesti tai ohjaussuure on säädön säätöalgoritmista ja eroarvosta muodostama ohjaus toimilaitteelle. Toimisuure on toimilaitteen ohjaus prosessiin, millä lopulta vaikutetaan prosessin tilaan.

Avoin järjestelmä tai avoin ohjausjärjestelmä on järjestelmä, jossa ei ole takaisinkytkentää. Se toimii ainoastaan prosessin ohjauksena. Suljettu järjestelmä on järjestelmä, jossa takaisinkytkennän kautta lähetetään tietoa säädölle, joka ohjaa prosessin kulkua mittaustulosten ja asetusarvon perusteella. [12, s 10 - 15.]

4.1 Säädintyyppit

Seuraavaksi perehdytään eri säädintyyppien rakenteeseen ja toimintaan sekä niiden tärkeimpiin ominaisuuksiin. Kunkin säätimen kohdalla kerrotaan, mihin käyttöön ne soveltuvat parhaiten. Luvun lopussa on lueteltu ilmanvaihtoratkaisuissa käytettävät säädintyyppit.

4.1.1 Kaksipistesäätö

Kaksipistesäätö tai on/off -säätö on kaikkein yksinkertaisin takaisinkytketty säätömuoto. Siinä on kaksi tilaa, joko päällä tai pois, ja tavoitteena säädössä on pitää säätösuure ennalta asetelluissa rajoissa. Säädössä voi olla välystä, jolloin se on vällyksellinen säätö, ja silloin siinä sallitaan pieni poikkeama asetetusta ylä- ja alarajasta. Säädölle on tyypillistä, että se "sahaa" ylä- ja alarajan väliä. Kyseisen tyyppinen säätö on erittäin yksinkertainen ja soveltuu sellaisiin ratkaisuihin, joissa säädön sahausliikkeestä ei ole haittaa. Kyseistä säätöä käytetään muun muassa uunien lämpötilansäädössä, vesiautomaateissa, painesäädössä ja termostaateilla toteutetuissa lämmitysratkaisuissa. [10, s. 33; 13, s. 131.]

4.1.2 P-säädin

P-säätö on suhteellinen säätö. P-säädössä ohjaussignaalin muutos on suoraan verrannollinen tulosignaalin muutokseen. Säädin tunnistaa erosuureen muutoksen suunnan ja suuruuden. P-säädön toiminta vastaa vahvistinta, vahvistus on P-säädön keskeisin viritysparametri. P-säätimen yhteydessä voidaan puhua vahvistuksesta tai sen käänteisarvosta suhdealueesta. Tapauksesta riippuen käytetään sitä, joka kuvaa paremmin säädön toimintaa ja on helpommin mitattavissa oleva suure. Suhdealueen määrittelee muutos, joka tarvitaan säätimen toiminnan muuttamiseen ääriarvosta toiseen. [10, s. 250.] Vahvistus määrää kuinka voimakkaasti ohjaus muuttuu erosuureeseen nähden. Mitä suurempi vahvistus, sitä suuremmaksi ohjaus kasvaa. Asetusarvon ja oloarvon lähestyessä toisiaan ohjausarvo pienenee eikä se välttämättä riitä ohjaamaan prosessia riittävästi, jotta haluttu tulos saavutettaisiin.

siin. Siksi tarvitaan vahvistuserrointa, millä pyritään korjaamaan virhettä. Esimerkiksi lämmityspatterin ohjauksessa 10 °C-asteen ero antaa täyden ohjauksen, mutta 1 asteen ero antaa vain 10 %:sen ohjauksen, joka ei välttämättä enää riitä halutun lämpötilan saavuttamiseen. Vahvistuserrointa kasvattamalla saadaan ohjaus suuremmaksi, jolloin patteri lämpiää isommalla teholla ja haluttu lämpötila saavutetaan varmemmin. Vahvistuksen kasvattaminen eli suhdealueen kaventaminen parantaa säädön kykyä reagoida muutokseen ja korjata poikkeamaa, mutta liiallinen vahvistuksen kasvattaminen voi johtaa säädön värähtelyyn. [12, s. 54.]

P-säädölle on ominaista pysyvä poikkeama asetusarvosta. Poikkeama johdetaan siitä, että ohjaus on sidottu erosuureeseen ja erosuure on nollassäädön toimialueen puolivälissä. Tämä ehto toteutuu vain tietyllä kuormituksella, jolle säädin on viritetty. Poikkeaminen tästä tasapainotilanteesta saa säätimen korjaamaan tilannetta niin voimakkaasti kuin sen vahvistuserroin sitä ohjaa. Muuttuneissa olosuhteissa säädin saavuttaa jossain vaiheessa tasapainotilan, joka on alkuperäistä asetusarvoa suurempi tai pienempi. Poikkeaman korjaaminen vaatisi säätimen uudelleen virityksen jokaisen tapahtuman jälkeen. Säättömuoto soveltuu silloin, kun halutaan helposti viritettävä ja rauhallisesti käyttäytyvä säätö, jonka pieni säätöpoikkeama ei haittaa. [10, s. 250.]

Matemaattisesti esitettyä säädin on muotoa

$$u(t) = K_p e(t) \tag{1}$$

$u(t)$ = säätimen ulostulo hetkellä t
 $e(t)$ = erosuure hetkellä t
 K_p = vahvistuserroin

4.1.3 I-säädin

I-säädin toimii siten, että vakio erosuure saa lähdön muuttumaan lineaarisesti erosuureta pienentävästi ja lähdön muutosnopeus on integrointiajan suuruinen. Säädin säätää niin kauan, kunnes erosuureta ei ole, minkä jälkeen se jää vakioarvoon. Integraattorin ulostulo on suoraan verrannollinen sisään tulevan signaalin suuruudesta ja kestoajasta sekä vakiokertoimesta K_I . Integrointikertoimen käänteisarvo on integrointiaikavakio T_I . T_I on aika, jossa lähtö muuttuu tulon suuruiseksi. I-säätimellä saavutetaan hyvä tarkkuus, mutta sitä käytetään hyvin harvoin yksin, koska se vaikuttaa säädettävään prosessiin hitaasti. I-säädin yhdistetään yleensä P-säätimeen, millä saadaan poistettua säätöpoikkeama. [12, s. 55 - 56.]

4.1.4 PI-säädin

PI-säätöyhdistelmä on yhdistelmä P- ja I-säädöstä. PI-säädin reagoi erosuureeseen aluksi samalla tavalla kuin P-säädin, I-termi alkaa välittömästi integroida erosuuretta ja kasvattaa ohjausta tasaisesti aina siihen pisteeseen, kunnes se on toisessa äärilaidassaan tai erosuure on nolla. Ohjauksen kasvunopeus on suoraan verrannollinen erosuureeseen, P-osan vahvistukseen ja integrointiaikaan. Säädössä integraaliosa poistaa P-säätimen pysyvän poikkeaman. I-termi säätää integrointiajan määrämällä nopeudella ulostuloa niin suureksi ja kauan, kunnes eroarvo on nollassa. Eroarvon lähestyessä asetusarvoa piirin toiminta hidastuu, mutta jatkuu niin kauan, kunnes eroarvo on nollassa. Säädön ylittäessä asetusarvonsa se toimii vastaavalla tavalla, mutta etumerkki vaihtuu. Säätö pyrkii aina palauttamaan toiminnan muutosta edeltävään tilaan. PI-säätimen viritysparametreja on P-säätimen vahvistus tai suhdealue ja I-termin integrointiaika T_I . Integrointiajan lisääminen pienentää vahvistusta ja rauhoittaa piirin toimintaa. Integrointiajan lyhentäminen nopeuttaa piirin toimintaa ja lisää värähtelyherkkyyttä. PI-säädin muuttuu P-säätimeksi asettamalla integrointiaika äärettömäksi. I-termin vaikutus käytännön säätöpiireissä tulee huomioida niissä tapauksissa, joissa säätö ei suoraan pysty vaikuttamaan mittaamaansa suureeseen. On olemassa riski, että säätö ajautuu toiseen äärilaitaan, kun se pyrkii korjaamaan pientä eroarvoa. Jos syystä tai toisesta säätö ei saavuta käyttäjän antamaa asetusarvoa, niin ajan kanssa säädin ajaa itsensä siihen äärilaitaan, jonka asetukseen pääseminen vaatisi. [12, s. 57; 10, s. 252.]

Matemaattisesti esitettynä PI säädin on muotoa

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d(\tau) \right] \quad (2)$$

$u(t)$ = säätimen ulostulo hetkellä t

$e(t)$ = erosuure hetkellä t

K_p = vahvistuskerroin

T_I = integrointiaika

4.1.5 PID-säädin

PID-säädin (Kuva 12) sisältää PI-säätimen lisäksi D-termin, joka on derivaattaosa. PID-säädin reagoi muutokseen nopeasti D-terminsä ansiosta, säädin derivoi tulosignaalia ja havaitsee nopeat muutokset käyrässä (käyrän kulmakerroin). Nopeat muutokset saavat D-osan heräämään, ja mitä voimakkaampi muutos, sitä voimakkaampi muutosta korjaava ulostulosignaali. Mittapiirin ollessa tasapainotilassa ei derivaattaosalla ole vaikutusta, koska vakana pysyvän mittaussignaalin kulmakerroin on nolla. PID-säätimellä voidaan tehdä ennakoiva säätö, joka korjaa vaikkapa mittausprosessin hitautta tai torjuu voimakkaiden muutosten aiheuttamaa värähtelyä. Esimerkiksi vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän säädössä, jonka muutokset ovat hitaita, voidaan ennakoida ulkolämpötilan nopea muuttuminen D-termillä. Erosuureen ollessa askelmainen aikaderivaatta on sen muutoshetkellä ääretön, mikä puolestaan saa ulostulon säätymään hetkellisesti ääriarvoonsa. Erosuureen pienentyessä derivaatan vaikutus vähenee ja prosessi siirtyy PI-säädön säädettäväksi. Säätimen viritettävät parametrit ovat suhdealue, integrointiaika ja derivointiaika T_D . T_D ilmaisee ajan, jonka kuluessa säätö saa lisävahvistusta nopean erosuuremuutoksen tapahtuessa. Säätöpiiri "liioittelee" ohjausta säätöpoikkeaman korjaavaan suuntaan, ja näin häiriöt mittasignaalis- sa voivat saada herkäksi viritetyn säädön sekaisin. Liian voimakas derivaatan korostaminen voi saattaa säätöpiirin värähtelemään. [12, s. 61 - 64; 14, s. 57 - 58.]

Matemaattisesti esitettynä PID säädin on muotoa

$$u(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d(\tau) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3)$$

$u(t)$ = säätimen ulostulo hetkellä t

$e(t)$ = erosuure hetkellä t

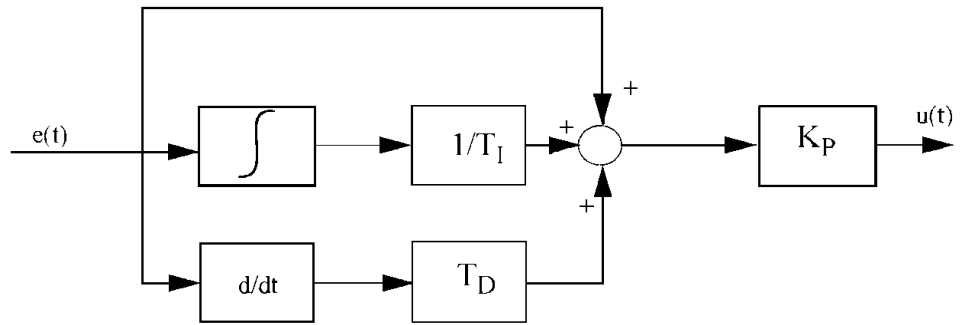
K_p = vahvistuskerroin

T_I = integrointiaika

T_D = derivointiaika

K_D = derivointivahvistus

$T_I = K_p/K_I$, $T_D = K_D/K_P$



Kuva 12. PID- säätimen lohkokkaavio.

4.1.6 Säädintyyppien käyttö ilmanvaihtoratkaisuissa

Kiinteistöjen ilmanvaihtoratkaisuissa käytetään edellä esitettyjä säädintyyppisiä seuraavan luettelman mukaisesti. [10, s. 253]:

- Huonelämpötilan säätö P ja PI
- Poistolämpötilan säätö P ja PI
- Tuloilman lämpötilan säätö PI ja PID

4.2 Säätöjärjestelmän viritys

Säätöpiirin virittämisen tarkoituksena on saada säädin toimimaan prosessissa oikein. Virittäminen voidaan suorittaa mallintamalla prosessia matemaattisesti soveltuvilla ohjelmistoilla tai kokeellisesti tarkkailemalla prosessin käyttäytymistä. Yleisimmät kokeelliset menetelmät ovat Ziegler-Nicholsin askelvaste- ja värähtelymenetelmä. Askelvastemenetelmässä tehdään askelmainen muutos ohjaukseen, prosessiin joka on normaalilla toiminta-alueellaan tasapainotilassa. Kokeesta saadaan arviot määräävälle aikavakiolle ja viiveelle. Niiden avulla voidaan laskea säädölle viritysparemetrit. Värähtelymenetelmässä tehdään säädöstä ensin P-säätö, minkä jälkeen ohjataan prosessi tasapainotilaan halutulle toiminta-alueelle. Tämä jälkeen kasvatetaan vahvistusta niin kauan, kunnes saavutetaan kriittinen värähtely. Järjestelmä alkaa värähdellä vakio amplitudilla, siitä saadaan kriittinen vahvistus ja kriittinen jaksonpituus eli aika. Näiden tietojen avulla voidaan kaavoista laskea viritysparemetrit kyseiselle prosessille. Ilmastoinnin säätöpiirit viritetään usein ”sormituntumalla” seuraamalla säädön toimintaa eri olosuhteissa. Prosessi on lineaarinen, jos sen vahvistus ja aikavakiot eivät ole riippuvaisia toimintapisteestä. Ilmastoinnin säätö on harvoin lineaarinen ja aikavakiot riippuvat usein toimintapisteestä. Tästä seuraa se, että leudolla säällä

viritetty järjestelmä ei välttämättä toimi toivotulla tavalla pakkasella. Säätöä täytyy siis seurata eri tilanteissa ja pyrkiä virittämään se ”kireäksi” niissä olosuhteissa, joissa vahvistus on suuri ja aikavakiot ovat lyhyitä. Näin viritettynä se toimii useimmissa tilanteissa tyydyttävällä tavalla ja reagoi riittävän nopeasti ja tarkasti lämpötilan muutoksiin. [12, s. 43 - 46; 10, s. 254 - 255; 13. s. 136 - 143.]

5 ALKUPERÄISEN LÄMMÖNSÄÄTÖJÄRJESTELMÄN VIAT

Seuraavaksi esitettävät yleisimmät viat ja esiintymistiheydet ovat Sporatotietokannasta [4].

Lämmönsäädön toimintaa tutkittiin korjaamokirjasta, piirustuksista ja kytkentäkaavioista, ja siinä todettiin olevan toimintavarmuuden kannalta arveluttavia kohtia. Ensinnäkin säätö ja elektroniset releet on tarkoitettu kiinteistöasennuksiin eikä niitä ole suunniteltu käytettäväksi ajoneuvokäytössä. Kyseiset komponentit ovat eniten vikaantuneita ja vaihdettuja. Vaunun tärinä saa elektroniset releet ajan myötä rikki, jolloin niistä irtoaa muun muassa piirikorttimuuntaja juotoksistaan, minkä jälkeen toiminta on epävarmaa. Lisäksi niissä on muitakin kontaktivikoja.

Käyttölämpötila-alue ei ole riittävä ajatellen sitä, että vaunu on esimerkiksi seisonut yön yli ulkona -20 °C :n pakkasessa. Kyseisillä releillä on kuitenkin toteutettu tärkeitä suojaustoimintoja yllilämmön varalle. Suojaustoimintojen pettäessä voivat kanavan lujitemuoviset ilmanjakokappaleet vaurioitua ja vastaavasti jarruvastusten yllilämpö saada jarruvastukset vaurioitumaan ja pahimmillaan sytyttää joitain vaunun rakenteita palamaan.

Kesä/talvivalinnan tapauksessa voi tulla epäjohdonmukaisia tilanteita, jos talvella ei tulekaan lämmityslupaa, vaikka olisi tarve lämmittää. Kyseisten releiden asettelutarkkuudessa on myös toivomisen varaa, sillä asteikko on melko harva. Ulkolämpötilojen 15 °C ja 18 °C asettelu on haastavaa, koska asetusten välinen ero on vain 3 astetta ja asteikon säätöalue on $10\text{ °C} - 110\text{ °C}$.

5.1 Järjestelmän komponenttien viat

Säätöyksikössä vikaantuvat säätötrimmerit, joilla tehdään lämpötilojen asetukset. Niitä on vuosien aikana käännelty useaan otteeseen sopivan lämpötilan saavuttamiseksi. Tämä säätäminen on osin seurausta elektronisten releiden virheellisestä toiminnasta, joka on saanut vaunun muuttumaan kylmäksi tai kuumaksi. Ikä on tehnyt tehtävänsä säätöyksikön elektroniikalle, joten vikaantuminen on lisääntynyt myös sitä kautta.

Inverttereissä on ollut vikoja, tosin vikaantumisherkkyys riippuu invertterin mallista. Toiset mallit kestävät vaihtelevia olosuhteita paremmin kuin toiset.

Vikojen määrä on vähentynyt Mascotin inverttereillä. Jos jännitteen muunnosta ei tarvittaisi, olisi tämäkin vikakohde poissa.

Peltimoottoreissa on jonkin verran vikoja, joita pääsääntöisesti aiheuttaa vivuston väärä säätö tai moottorin sisäisten rajakytkinten vastepalojen lukitusruuvien löystyminen. Tästä aiheutuu rattaiston vaurioituminen, jonka seurauksena pelti ei enää liiku. Riippuen pellin asennosta peltimoottorin vikaantuessa, ei vaunu välttämättä enää lämpene. Rajakytkinten säätö on erittäin hankalaa, koska ne sijaitsevat peltimoottorin sisällä ja peltimoottori on asennettu katolla pieneen "lokeroon" (kuva 13). Asentajan on oltava polvillaan katon reunalla ja tähystettävä pää alaspäin peltimoottorin sisään, jotta säätö onnistuisi ja samalla säädettävä 2 mm:n kuusiokoloavaimella vasteita kohdilleen. Oikein säädettynä ja asennettuna peltimoottori vaikuttaa hyvin toimivalta ja pitkäikäiseltä komponentilta.



Kuva 13. Peltimoottorin sijoitus katolla.

Painevahdeissa on ollut vähän vikoja, yleisin vika on väärä säätö. Painevahti säädetään liian herkäksi, jolloin suodattimien vähäinenkin likaantuminen saattaa aiheuttaa turhia hälytyksiä.

5.2 Säädön toiminnan puutteet

Vaunun lämmityksen säädössä todettiin kylmäpuhallussuojan toiminnassa seuraavanlainen ilmiö. Ajettaessa vaunu ulos lämpimästä hallista puhaltaa ilmastointikanavasta luvattoman pitkään kylmää ulkoilmaa, ennen kuin toimintatila muuttuu talveksi. Tämän jälkeen kylmäpuhallussuojan pitäisi toimia ja estää kylmän ilman puhaltaminen matkustamoon. Vaunun matkustamon ollessa lämmin (yli 18 °C) se ei luonnollisestikaan pyydä lämmitystä päälle, silloin pitäisi kuitenkin kylmäpuhallussuojan estää kanavalämpötilaa laske-
masta liian alas. Useissa vaunuissa kanava puhalsi kuitenkin lähes yhtä kylmää ilmaa kuin ulkoilma. Tästä pääteltiin, että kylmäpuhallussuoja ei toiminut oikein tai lämpötila oli säädetty liian alas. Asetusarvoja tarkastettaessa olivat säädöt ainakin näennäisesti kohdillaan, mutta silti kanavasta puhalsi kylmää matkustamoon. Kylmän ilman puhaltaminen matkustamoon vähentää matkustusmukavuutta, erityisesti niillä paikoilla, mihin kylmä ilmavirtaus osuu suoraan.

Hyvin toimivia komponentteja ovat puolestaan lisälämpövastus, lisälämpökontaktori, kanavapuhaltimet ja lämpöanturit. Näissä ei ole ollut juurikaan vikoja tai niitä on tarvinnut vaihtaa vain harvakseltaan.

5.3 Yhteenveto vioista ja toiminnan puutteista

Tiedostetut ongelmat, joiden pohjalta lähdettiin etsimään ratkaisua, olivat seuraavat.

- Säätyyksikkö oli käyttökänsä päässä, ei ollut suunniteltu kiskokalustokäyttöön.
- Säätyyksikön käyttöjännite oli väärä (230 V AC) käytettävissä oleviin jännitteisiin nähden.
- Turhat jännitteen muunnokset aiheuttivat ylimääräisiä komponentteja (invertteri).
- Suojaus- ja ehtokomponentit olivat säädöstä erillisiä komponentteja, rajallinen mahdollisuus tehdä toimintoja.
- Ylilämpösuojaukset olivat epävarmoja, luotettiin elektroniikkaan suojauksen toteutuksessa.
- Peltimoottorin rajakytkimet olivat hankalasti säädettävissä, väärin säädettyinä vikaantuivat, moottorin käyttöjännite 24 V AC.
- Kylmäpuhallussuoja toimi puutteellisesti, matkustusmukavuus väheni.

6 LÄHTÖKOHDAT RATKAISUILLE

Korvaavaa järjestelmää etsittäessä täytyi ensin määritellä, mitä parannuksia toimintoihin haluttiin. Sen jälkeen oli mahdollista vertailla, voisiko jokin ratkaisu toimia paremmin kuin toinen. Luvun 5 luetelmasta saatiin keskeisimmät parannusta vaativat kohdat. Sopivaa ratkaisua etsittäessä täytyi pitää mielessä myös tilaajan asettamat vaatimukset ja toiveet, sekä mahdolliset turvallisuuteen vaikuttavat seikat. Työn tilaajan keskeisimmät vaatimukset olivat laitteiston riittävä kylmänkesto (-30 °C), mahdollisimman vähäiset vauvuun tehtävät muutostyöt ja vanhojen komponenttien mahdollisimman suuri hyväksikäyttö.

Tilaajan vaatimusten lisäksi oli säätöjärjestelmän komponentteja valittaessa hyvä tutustua standardiin EN50155, vaikka työn tilaaja ei edellyttänytkaan kyseisen standardin noudattamista. Standardi EN50155 määrittelee kiskokaluston sähköisten komponenttien ominaisuuksia. Siinä käsitellään muun muassa komponenttien toimintalämpötiloja, häiriönsietoa, yli- ja alijännitekestoisuutta sekä otetaan kantaa ohjelmointiin ja järjestelmän diagnosointiominaisuuksiin. [15.]

Vanhan järjestelmän vakavimpia heikkouksia olivat jarruvastus- ja kanavayli- lämmön toteaminen ja toiminta niissä tilanteissa. Lämmön täsmällinen asettaminen antoi myös toivomisen varaa, kuten edellä on esitetty. Lämpömukaus ei myöskään täytynyt kaikilta osin eri toimintatilanteissa. Vikatilanteissa ei ollut mitään korvaavaa toimintaa, millä pystyttäisiin pitämään lämpötila edes jollain tarkkuudella asetellussa. Turhista jännitteenmuunnoksista ja komponenteista, joita ei välttämättä tarvita, oli myös syytä pyrkiä eroon. Edellä esitettyjen ongelmien lisäksi suunnittelussa tärkeimpänä lähtökohtana ja vaatimuksena oli asetetun lämpötilan pitäminen vaihtelevissa olosuhteissa tasaisena. Kiskokaluston ilmanvaihdolle on asetettu vaatimuksia jotka on koottu standardiin EN 14750-1. Tilaaja ei edellyttänyt standardin täyttämistä, mutta siitä saatiin viitteitä, mitä vaatimuksia laitteistolle ja sen toiminnalle asetetaan.

6.1 Säädinyksikön valinta

Kun tutkittiin eri valmistajien luetteloita lämmönsäädöistä ja mittauksesta, löydettiin samantyyppisiä, mutta uudenaikaisempia säädinyksiköitä kuin mitä vaunuissa on jo käytetty. Esimerkiksi Satchwell CXR5805 ei parantaisi tilannetta juurikaan, ainoastaan elektroniikan ikääntymisen tuomat kontaktihäiriöt poistuisivat. Tämä säätöyksikkö on tarkoitettu kiinteistöjen lämmönsäätötarpeiden tyydyttämiseen, eikä sen käyttölämpötila-alue 0 °C - 50 °C täytä tilaajan vaatimuksia. Lisäksi käyttöjännite 220 - 240 V AC vaatii jännitemuunnoksia, mistä pyrittiin pääsemään eroon. Ehtojen, toimintatilan ja suojaustoimintojen suorittamiseen tarvittaisiin edelleen erillisiä komponentteja samaan tapaan kuin vanhassakin järjestelmässä. Tällä säädöllä toteutettu järjestelmä voisi korvata vanhan säädön melko helposti edellyttäen, että vanhat anturit kelpaavat sellaisenaan johdotuksineen ja erilliset komponentit eivät myöskään vaatisi suuria muutoksia. Näin toteutettuna päivitetäisiin vanha järjestelmä ainoastaan 2010-luvun komponenteilla toteutetuksi ilman, että toimintaan ja turvallisuuteen saataisiin merkittäviä parannuksia. [16, s. 6; 17, s. 336 - 351.]

Tutkittiin myös erilaisia liikkuvan kaluston ilmanvaihto- ja ilmastointiratkaisuja erityisesti kiskokaluston osalta. Yksittäisen säätimen löytäminen ratkaisuksi vaikutti melko toivottomalta. Tarjontaa kyllä oli kohtalaisen runsaasti, mutta tarjolla oli vain täydellisiä ilmanvaihtoratkaisuja tai yrityksiä, jotka olisivat räätälöineet järjestelmän asiakkaan tarpeisiin.

Tiedossa oli, että metrossa oli uusittu joitakin vuosia sitten säätöjärjestelmä, joten päätettiin tutustua kyseiseen järjestelmään paremmin. Metrossa käytettiin aiemmin saman valmistajan toisentyypisiä säätimiä kuin II- sarjan vaunuissa, järjestelmä on kuitenkin hyvin samankaltainen. Metron lämmönsäätimen on suunnitellut Atmostech Oy ja suunnitelma pohjautuu Invensysin valmistamaan Micronet MN 500 logiikkapohjaiseen säätimeen. Tämäkin säädin on alun perin tarkoitettu kiinteistöjen ilmanvaihtoratkaisuihin, ja näin ollen sen käyttölämpötila, jännite ja ääriolosuhteita vaatimukset eivät täytä vaatimuksia aiotussa toimintaympäristössä. Metrossa käytettävästä järjestelmästä pystyttiin kuitenkin ottamaan oppia, ja sen keskeisin sisältö oli, että yhdellä logiikkapohjaisella yksiköllä voidaan toteuttaa kaikki halutut toiminnot. [18.]

Sillä perusteella lähdettiin etsimään sopivia logiikoita, joilla toteuttaa lämmönsäätö. Ennen kuin päästiin valitsemaan sopivaa logiikkaa, täytyi määrittellä alustava I/O-lista (taulukko 1) ja tarvittavien analogisten kanavien määrä.

Taulukko 1. Tarvittavat digitaaliset sisään- ja ulostulot, sekä analogiset tulot.

Digitaalinen sisääntulo	Digitaalinen ulostulo	Analoginen sisääntulo
painevahti jarruvastukset	lisälämpökontaktori	ulkolämpötila-anturi
painevahti ilmanvaihto	ilmanvaihtohälytys	kanava-anturi
pelti auki	jarruvastushälytys	matkustamon lämpöanturi
pelti kiinni	puhallinnopeus 30/40 Hz	jarruvastus ylilämpö
lisälämpövastuksen ylilämpö	pellin ohjaus auki	kanava yililämpö
600 V sulake lauennut	pellin ohjaus kiinni	

Sopivan logiikan etsimiseen antoi lähtökohdan tieto siitä, että tarvitaan vähintään kolme analogiatuloa, joilla suorittaa lämmön mittaus. Lisäksi tarvittiin vähintään taulukossa esitetty määrä tuloja/lähtöjä toimintojen toteuttamiseksi. Usealta valmistajalta löytyi soveltuvia logiikoita, joita olisi voinut käyttää tulojensa ja lähtöjensä puolesta, mutta muiden reunaehtoien täytyminen ei ollut niinkään varmaa. Tutkitut logiikat on suunniteltu valtaosin teollisuuden käyttöön ja käyttölämpötilat ja jännitteet eivät täyttäneet asetettuja vaatimuksia. Muutamalta valmistajalta löytyi kuitenkin tarkoitukseen sopiva logiikka, joista esimerkiksi Omron-CPM1A sarjan logiikoita olisi voinut ajatella käytettäväksi. [17, s.13.] Omronin tuotteita on käytetty aiemminkin menestyksekkäästi raitio- ja työvaunuissa. Tilaajan kanssa pidetyssä palaverissa esitettiin ajatus käyttää logiikkaa säädön toteutuksessa ja esiteltiin valittuja logiikoita. Logiikan käytölle tuli puolto sen monipuolisen ohjelmoitavuuden ja muunneltavuuden takia. Lisäksi kyseisellä ratkaisulla voitaisiin vähentää ulkoisten komponenttien määrää ja tehdä parempia suojaustoimintoja. Logiikkaratkaisulla toivottiin myös päästävän parempaan lämmön asettelutarkkuuteen.

Koska säätöratkaisussa päätettiin käyttää logiikkaa, päätti tilaaja, että siinä käytetään samaa logiikkaa kuin Lumikko Oy:n toimittamassa väliosan ilmastointilaitteessa. Käytetty logiikka on Parkerin valmistama IQAN MC2. Perus-

teluna valinnalle oli muun muassa se, että varastoon ei tarvitse hankkia kuin yhdenlaista varaosaa. Lisäksi kyseinen logiikka oli todettu raitiovaunuun soveltuvaksi ja se täyttää standardi EN 50155:n asettamat vaatimukset. Se on suunniteltu ajoneuvokäyttöön ja Lumikko Oy käyttää sitä myös Patrian valmistamissa AMV:issä (Armoured Modular Vehicle; panssaroitu modulaarinen ajoneuvo) ilmastointilaitteen ohjainyksikkönä. Säädön rakentaminen aloitettiin Parkerin IQAN MC2 -logiikan ympärille.

6.2 Ylilämpösuojaus

Alkuperäisessä järjestelmässä ylilämpösuojaus oli toteutettu erillisillä ehto-komponenteilla eikä niillä ollut varsinaista yhteyttä itse säätöön. Kanavayli- lämpö vaikutti välillisesti säätöön siten kuin on esitetty luvussa 2. Jarruvastusylilämpö puolestaan antaa ainoastaan hälytyksen kuljettajalle, eikä sillä ole muita toimintoja.

Koska päädyttiin käyttämään IQAN MC2:ta lämmönsäädössä ja ohjaustoiminnoissa, voisi sillä toteuttaa ylilämpöjen valvonnan käyttämällä yhtä analogiatuloa lisää mittaamaan jarruvastusten lämpötilaa. Kanavayli- lämpö mitattaisiin samalla anturilla, jolla mitattaisiin säätämiseen tarvittava lämpötila. Jos haluttaisiin varmistaa kanavayli- lämmön mittaus, voitaisiin käyttää toista analogiatuloa ja anturia lisänä. Mahdollinen anturirikko ei vähentäisi luotettavuutta, jos lämpötilaa mitattaisiin molemmilla antureilla. Logiikalla mitattaessa voitaisiin käyttää eri lämpötilatasoja määrittämään milloin aletaan suorittaa suojauksia ja lopulta hälyttää, jos lämpötila edelleen kohoaisi. Hystereesin tekeminen olisi myös erittäin helppoa, sillä lämpötilan pitäisi laskea riittävän alas ylilämmön jälkeen ennen kuin hälytys poistuisi ja toimintaa voitaisiin jatkaa.

Pelkästään elektroniikkaan luottamisessa on omat riskinsä. Logiikat ovat nykyään erittäin luotettavia, mutta käyttäjän tekemä ohjelmointivirhe voi johtaa tilanteeseen, jota ei ole pystytty ennakoimaan simuloinnista ja lukuisista testeistä huolimatta. Aina on olemassa mahdollisuus, että logiikan ohjelma kaa- tuu tai itse logiikkaan tulee toimintahäiriö tai siltä puuttuu vaikkapa käyttö- jännite. Silloin se ei mittaa mitään, eikä pysty välttämättä tekemään ohjel- maan suunniteltuja toimintoja. Mahdollista on myös, että kytkevä kompo- nentti vikaantuu, silloin se voi jäädä esimerkiksi vetäneeksi ja ohjelmoitu

suojaustoiminta ei hyödytä mitään. Siinä tilanteessa mahdollisesti ainoastaan hälytys toteutuisi, mutta suojaus ei.

Ratkaisuksi tähän voidaan käyttää yksinkertaista sähkömekaanista komponenttia, jonka toimintaa eivät ohjelmalliset säädöt tai sähkön puute haittaa. Käytettäessä kaasukapillaaritermostaattia, jossa on aseteltava lämpötila-alue ja hystereesi, voidaan sillä toteuttaa yllämpösuojaus jarruvastuksille ja lämpökanavaan. Jarruvastusyllämpösuojana se toimii kuten vanhassakin järjestelmässä kytkimenä, jonka tilan muuttuminen saa aikaan hälytyksen. Sen tilaa voidaan lisäksi valvoa logiikalla ja tehdä tarvittavat toimenpiteet yllämpötilanteissa. Kanavayllämpösuojana käytettäessä kierrätetään lisälämpökontaktorin ohjaussähkö kaasukapillaaritermostaatin kärkien kautta. Näin meneteltäessä katkeaa lisälämmönkontaktorilta sähkö, vaikka logiikan lähtö olisi jäänyt vetäneeksi tai ohjausrele jumiin. Termostaatin tilaa voidaan valvoa logiikalla ja tehdä tarvittavia suojaustoimintoja. Jos logiikalla valvotaan myös kanavayllämpöä, kanava-anturin avulla tulee valvonta tuplavarmistettua.

Edellä esitettyjen perusteluiden pohjalta valitaan kaasukapillaaritermostaatti esimerkiksi Trafag 419 (kuva 14.) tai vastaava yllämpösuojaukseksi jarruvastuksille sekä lämpökanavaan.



Kuva 14. Trafag-kaasukapillaaritermostaatti.

6.3 Peltimoottorin rajakytkimet

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmässä on säätöpelti, jolla ohjataan ulkoilman ja esilämmitetyn ilman suhdetta kuten on esitetty kappaleessa 2.1 vanhan järjestelmän säädön toimintaselostuksessa.

Peltimoottorin suurimmat ongelmat ovat hankalasti säädettävät rajakytkimet ja siitä aiheutuvat toimintahäiriöt, kuten kappaleessa 5.1 on esitetty. Helpoin ratkaisu olisi vaihtaa uusi tasa- ja vaihtosähköllä toimiva peltimoottori vanhan tilalle, jossa rajat on toteutettu toisella tavalla ja helpommin luokse päästävissä. Korvaava moottori voisi olla esimerkiksi Johnson Controlsin M9108-AGA-1N. Tarkemmat tiedot moottorista löytyvät valmistajan datalehdistä, jotka ovat liitteenä 8.

Toiveena oli kuitenkin käyttää vanhoja komponentteja mahdollisimman paljon, ja toisaalta peltimoottori on oikein säädettynä hyvin toimiva. Vanhan moottorin käyttäminen edellyttää rajakytkinten uudelleen miettimistä. Tilannetta tarkasteltaessa voidaan todeta, ettei rajakytkinten tarvitse sijaita peltimoottorin sisällä, vaan toiminnan kannalta parempi sijaintipaikka olisi suoraan pellin yhteydessä.

Pellin käyttöakselille sijoitetut kytkimet antavat tiedon pellin todellisesta asennosta eikä vivuston kautta välittyneestä asentotietoa. Rajojen säätö helpottuu merkittävästi, kun ne ovat paremmin esillä ja asentajan on mahdollista säätää pellin asento, vaikka moottori tai moottorin ja pellin välinen vivusto ei olisi paikallaan. Rajakytkiminä voitaisiin käyttää mikrokytkimiä, sillä niihin ei kohdistu erityisiä sähköisiä vaatimuksia. Niiden läpi ei mene virtaa vaan ainoastaan jänniteviesti, jonka logiikka tulkitsee asentotiedoksi. Mekaaniset kytkimet kuluvat ajan myötä, jolloin syntyy huoltotarve. Tämän vähentämiseksi kannattaakin valita kytkintyyppi, jossa ei ole mekaanisia kuluvia osia. Käyttökohteeseen parhaiten soveltuva kosketukseton anturi on induktiivinen anturi, sillä se sietävää likaa, lämpötilanvaihteluita ja tärinää. Induktiivisia antureita löytyy useilla eri lukuetaisyysillä ja osa sietää pintaan upotetun asennuksen. Käytettäväksi valittiin pitkän lukuetaisyyden anturi sen takia, että vähennetään anturin ja vastepalan törmäysriskiä ja siten anturirikkoja. Pitkä lukuetaisyys helpottaa säätämistä, koska anturin ja vastepalan ei tarvitse olla millin tarkasti oikealla etäisyydellä toisiinsa nähden. Käytettäväksi anturiksi valittiin Omronin E2A3-tyyppiä oleva induktiivinen anturi (LIITE 9), jossa lukuetaisyys on 6 mm. Anturi on sylinterinmuotoinen ja sen runko on koko

matkalta M12 kierrettä, joten sille on suhteellisen helppo tehdä tarvittava kiinnike asennusta varten. [17, s. 221; 19, s. 62 - 65.]

Seuraava ratkaistava asia oli vanhan peltimoottorin ajaminen logiikalla. Haasteena oli peltimoottorin käyttöjännite 24 V AC. Helpoin ratkaisu olisi ollut vaihtaa peltimoottorit uuteen tasa- ja vaihtosähköllä toimivaan malliin. Kuten edellä antureiden yhteydessä todettiin, se ei ollut ratkaisuna ensisijainen vaihtoehto, vaan vanhaa moottoria täytyi kyetä ajamaan.

Vaunun alkuperäisessä lämmityksen ohjausjärjestelmässä peltimoottoria ohjaa Satchwelin oma säätöyksikkö, jolle sähkönsyöttö on järjestetty vaunun 24 V DC -järjestelmästä Mascotin tai jonkin muun valmistajan DC/AC-invertterillä, jossa 24 V DC muutetaan jännitteeksi 230 V AC. Säätöyksikön sisällä on muuntaja, joka muuntaa jännitteen peltimoottorin tarvitsemaksi 24V AC.

Toteutukseen olisi voinut käyttää olemassa olevaa 24 V DC / 230 V AC-invertteriä ja soveltuvaa muuntajaa, joka olisi alentanut jännitteen takaisin peltimoottorin käyttämäksi 24 V AC-jännitteeksi. Logiikalla olisi ohjattu releiden tai triakkien kautta saatua jännitettä peltimoottorille halutun liikesuunnan mukaan. Kyseinen ratkaisu ei kuitenkaan tuntunut mielekkäältä; muuntaa jännitteitä edestakaisin halutun käyttösähkön saamiseksi. Lisäksi inverttereiden kanssa on ollut ongelmia järjestelmässä alusta asti. Vikatilastoja tarkasteltaessa, kuten luvussa 5 on esitetty, paljastui invertteri yksittäiseksi vikoja aiheuttavaksi komponentiksi, jonka vikaantumistiheys oli melko suuri riippuen sen tyypistä. Ongelmaksi oli myös muodostunut löytää käytetyssä teholuokassa sopiva korvaava invertteri, joka toimisi halutulla tavalla ja mahtuisi kokonsa puolesta edellisen tilalle.

Käyttökelpoinen toteutustapa olisi voinut olla DC/AC-muunnin suoraan halutulla jännitealueella. Ohjaus olisi voitu järjestää samaan tapaan kuin muuntajaa käyttämällä.

Markkinoilta ei löytynyt valmiita DC 24 V/AC 24 V -inverttereitä, vaikka tarvittava teho olikin pieni. Sellaisen invertterin teettäminen ei kustannusten kannalta ollut järkevää, koska sarja olisi ollut kuitenkin verrattain pieni, varaosakappaleetkin huomioiden noin 100 kpl. Mahdollisia ongelmia olisi tuottanut myös inverttereiden myöhempi korjaustarve, jos toteutukseen olisi käy-

tetty erikoisempia komponentteja. Tätä ongelmaa olisi todennäköisesti voitu vähentää suunnittelullisin keinoin.

Koska logiikassa oli käytettävissä pulssinleveysmodulaatio (PWM) ja sen pulssisuhdetta pystyttiin muuttamaan halutuksi. Niin syntyi ajatus, että sillä ohjattaisiin suoraan peltimoottoria. Lähdön ohjauskyky riittäisi tehonsa puolesta helposti ohjaamaan 5 W:n moottoria. Siksi käytettäväksi ratkaisuksi valittiin peltimoottorin ajaminen logiikan PWM-lähdöllä. Pulssinleveysmodulaatiolla on mahdollista tehdä 50 Hz:n pulssitusta ja sen suunta on ohjelmallisesti vaihdettavissa, joten moottorin ohjaamisen pitäisi olla mahdollista tällä tavalla.

6.4 Kylmäpuhallussuoja

Kylmäpuhallussuojan toimimattomuus voidaan todennäköisesti ratkaista nopeammalla lämmön mittauksella ja täsmällisemmällä toiminnalla. Logiikan ohjelman kehittämisessä voidaan ottaa huomioon toiminta ristiriitatilanteessa paremmin. Jos matkustamo on lämmin tai jopa reilusti yli asetteluarvonsa, se ei pyydä lämpöä. Vaikka matkustamo ei tarvitse lämmitystä, täytyy kanava pitää niin lämpimänä, ettei puhallettava ilma tunnu kohtuuttoman kylmältä. Kanavasta tuleva ilma ei kuitenkaan saa lämmittää matkustamo entisestään. Ohjelmallisessa ratkaisussa saadaan helposti tehtyä säädettävät asettelurajat kaikille tarvittaville toiminnoille.

6.5 Ratkaisumallien yhteenveto

Seuraavassa on esitetty ratkaisumallien yhteenveto, jonka pohjalta prototyyppiä ja vaunuun asennettavaa laitteistoa ruvettiin rakentamaan.

- Säätyyksiköksi valittiin Parkerin IQAN MC2 -logiikka, koska se on ajoneuvokäyttöön tarkoitettu ja soveltuu näin ollen myös raitiovaunuun. Logiikka täyttää raitiovaunun toimintaympäristönä asettamat vaatimukset ja soveltuu käytettäväksi vaunussa myös käyttöjännitteiden puolesta.
- Yliämpösuojauksen toteutukseen valittiin kaasukapillaaritermostaatti, koska mekaaninen kytkin ei ole riippuvainen elektroniikasta. Logiikalla voidaan tehdä lisäksi ohjelmallinen valvonta ja suojaus.
- Peltimoottorin rajakytkimet sijoitetaan pellin akselille ja kytkintyypiksi valittiin Omronin E2A3 induktiivinen anturi. Alkuperäisen peltimoottorin ajamiseen ratkaisuksi valittiin logiikalta saatava PWM-ohjaus.
- Kylmäpuhallussuojan lämpötilarajaa nostettiin ja toiminnasta tehdään täsmällisempää.
- Tilaajan vaatimuksien huomioiminen uusia komponentteja valittaessa (komponenttien käyttölämpötilat ja soveltuvuus vaunukäyttöön). Ratkaisu- ja keksitään vanhojen komponenttien hyödyntämiseksi.

7 PARKER IQAN MC2

Parker Hannifin Oy on yksi maailman johtavista hydraulikka-, pneumatiikka- ja automaatioteknologiatuotteiden valmistajista. Yhtiön tuotekehitys ja tuotanto jakautuu kahdeksaan eri tuoteryhmään: ilmailu, automaatio, prosessitekniikka, suodatustekniikka, letkut ja liittimet, hydraulikka, instrumentointi, sekä tiivistetekniikka. Se tuottaa ja myy sekä tarjoaa ratkaisun, lähes kaikkeen mitä tarvitaan liikkeen, paineen ja virtauksen hallinnassa. Yhtiöllä on maailmanlaajuinen jälleenmyyntiverkosto takaamassa tuotteiden hyvän saatavuuden. [20; 21.]

7.1 IQAN-konsepti

IQAN-tuotesarjan on kehittänyt Parker Hannifin Oy, ja se on suunniteltu raskaan kaluston liikkeenohjausratkaisuihin. IQAN-järjestelmässä keskusyksikkö kommunikoi esimerkiksi moottoreiden, vaihteistojen ja muiden siihen liitettyjen laitteiden kanssa. Keskusyksikkö saa tietoa järjestelmän kunnosta ja pystyy ohjaamaan toimilaitteita. Järjestelmästä saatu tieto voidaan esittää käyttäjälle näytöllä, jos sellainen on järjestelmään liitetty. IQAN-tuoteperheen komponentit ovat helposti käyttöön otettavissa, koska niiden tiedot löytyvät valmiiksi graafisen suunnitteluohjelman kirjastoista. Iqanin ohjelmointityökaluista löytyy seuraavat ohjelmat: IQANdesign järjestelmän suunnitteluun, IQANsimulate ohjelman simulointiin sekä IQANrun toiminnassa olevan järjestelmän tarkkailuun ja säätöön.

IQANdesign ei ole standardin IEC-61131-3 mukainen ohjelma, vaan se on Parkerin kehittämä graafinen ohjelmointiympäristö. Ohjelman luominen perustuu funktioyhmien hallintaan, ja funktioiden sisälle kirjoitetaan varsinainen ohjelma. Funktion sisällä voi olla ehtoja, kaavoja tai niiden yhdistelmiä. Graafisella käyttöliittymällä (LIITE 10) ohjelmointi on kohtuullisen helppoa ja peruseriaatteiden omaksumisen jälkeen sillä voi luoda monimutkaisiakin ohjelmia helposti. [20; 21.]

7.2 IQAN MC2

IQAN MC2 (kuva 15) on monipuolisesti muunneltavissa oleva ohjausyksikkö. Se voi toimia väylään kytketyille laitteille isäntä- tai orjayksikkönä ja sitä voidaan käyttää, myös itsenäisenä ohjausyksikkönä. Siinä on viisi analogista jännitetuloa, jotka voidaan ohjelmallisesti muuttaa ON/OFF-tuloiksi tai taajuustuloiksi. MC2:ssa on kaikkiaan 13 vapaasti konfiguroitavaa tuloa ja 24 lähtöä. Lähdöistä kahdeksan on proportionaaliohjaukseen eli venttiilien ohjaamiseen tarkoitettua lähtöä, loput 16 lähtöä ovat digitaalisia ON/OFF-lähtöjä. Proportionaalilähtö antaa 2 A:n virtaa, joten sillä voidaan ohjata suoraan venttiilin kela. Kaikkia tuloja ja lähtöjä ei saada yhtä aikaa käyttöön, vaan valittaessa jokin toiminto, esimerkiksi pulssinleveysmodulaatio (PWM), se varaa ulostulokanaviensa lisäksi osan vapaista kanavista käyttöönsä.



Kuva 15. IQAN MC2.

MC2:n järeä alumiinikotelo on työkoneympäristöön suunniteltu ja se suojaa elektroniikkaa kolhuilta, kosteudelta sekä ympäristön rasituksilta. MC2:lle on tehty ISO-standardin mukaisia testejä muun muassa häiriönsieto, ESD- ja ympäristötestit. [22; 23.]

8 LISÄLÄMPÖ- JA JARRUVASTUSTEN MITTAUKSET

Lisälämpövastuksesta suoritettiin myös käytännön mittauksia, jotta saataisiin käsitys sen lämmitystehosta sekä lämmönvarauskyvystä. Koejärjestelyt olivat seuraavanlaiset: ohitettiin säätöjärjestelmä ja ohjattiin lisälämpövastuksen kontaktoria suoraan kytkimellä, jolloin se saatiin pysymään päällä niin kauan kuin oli tarvetta. Ensimmäisessä kokeessa vaunu oli sisällä lämpimässä hallissa, jonka lämpötila oli noin 18 °C. Vaunun puhaltimet toimivat normaalisti ja puhallusnopeutena oli nopeampi kesäasetus. Mittavälineinä käytettiin Fluke 179 -yleismittareita, jotka oli varustettu termoelementeillä. Mittapaikkoina olivat kanava, matkustamo, ylätuuletusritilä ja alatuuletusritilä sekä lisäksi mitattiin ulkolämpötilaa.

Kokeessa kytkettiin lisälämpövastus päälle 5 minuutin ajaksi ja katsottiin, kuinka korkealle kanavalämpötila nousi. Lämmityksen jälkeen seurattiin, kuinka kauan lisälämpövastuksen jäähtyminen kesti. Tuloksista (LIITE 11) nähdään, että viidessä minuutissa kanavalämpötila nousi 30 astetta ja lämpeneminen pysähtyi lähes välittömästi kytkettäessä lisälämpövastus pois päältä. Lisälämpövastuksen ja kanaviston jäähtyminen takaisin alkulämpötilaan kesti noin 15 minuuttia. Kanavistolla ja lisälämpövastuksella on lämpötilan muutoksessa hitautta suhteessa lämmityksenohjaukseen. Lämmönvarauskyky ja muutosnopeuden hitaus täytyy huomioida säätöä kehitettäessä.

Sama koe toistettiin ulkona, jolloin ulkolämpötila oli -1 °C. Ennen kokeen aloitusta annettiin lämpökanaviston jäähtyä lähelle ulkolämpötilaa. Kokeessa käytettiin samaa 5 minuutin aikaa kanaviston lämmitykseen, jonka jälkeen jäähtyminen mitattiin. Tulokset tästä mittauksesta on esitetty liitteenä 12 olevassa taulukossa, josta nähdään kylmän ilman vaikutus lämpenemiseen. Huippulämpötila ei noussut yhtä korkealle kuin sisällä, mutta lämpötilan muutos oli noin 26 astetta. Tämä oli vain muutaman asteen vähemmän kuin sisällä tehdyssä mittauksessa. Jäähtyminen kylmän ilman vaikutuksesta oli nopeampaa, mutta siinä ei kuitenkaan tapahtunut mitään romahdusta. Käyrän muoto verrattuna edelliseen mittaukseen on lähes samanlainen. Tällä perusteella säädön rakentaminen on helpompaa, koska muutosnopeuksissa ei ole suuria eroja. Tästä voidaan päätellä, että kaikkein kovimmilla pakkasilla lämpeneminen noudattaa loivempaa käyrää ja jäähtyminen puolestaan muuttuu jyrkemmäksi kylmästä ilmasta johtuen.

Jarruvastuksille suoritettiin koe, jossa selvitettiin niiden lämmöntuottokykyä. Kokeessa käytettiin samoja mittapisteitä kuin edellisissä mittauksissa. Ennen kokeen aloittamista vaunun annettiin jäähtyä lämmitys poiskytkettynä lähelle ulkolämpötilaa. Kokeessa vaunulla ajettiin keskimääräistä linja-ajoa pyrkien jäljittelemään kuljettajan ajotapaa matkustajaliikenteessä. Kokeen suoritusaikana ulkolämpötila oli $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kokeessa kävi ilmi, että jarruvastukset tuottavat keskimääräisessä ajossa noin $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpimämpää ilmaa ulkoilmaan verrattuna. Kokeen mittaustulokset on esitetty liitteessä 13. Ulkoilman lämpötilalla on merkitystä saatavaan huippulämpöön. Tästä voidaan olettaa, ettei jarruvastuksilta saatava lämpö muutu lineaarisesti ulkolämpötilan mukaan.

Kokeiden yhteydessä kiinnitettiin huomiota myös seuraaviin ilmiöihin. Vaunun lämpötilan muutokset ovat hitaita ja lämpötilan asettuminen saattaa kestää yli tunnin. Myös sisälämpöanturin mittaama lämpötila muuttuu hyvin hitaasti, vaikka muualla vaunussa olisi tapahtunut voimakkaita lämpötilan muutoksia. Anturin sijoittelu on todennäköisesti ratkaisevassa asemassa tässä tapauksessa.

9 PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN

Säätimen prototyypin rakentaminen aloitettiin keräämällä lisää tietoa Parker IQAN MC2 -logiikasta ja ohjelmointiympäristöstä. Logiikkaa valittaessa oli alustavasti selvitetty MC2:n tärkeimpiä ominaisuuksia, muun muassa käyttäjännitealue ja käytettävien kanavien lukumäärä. Logiikan ja ohjelmiston saapumista odottaessa tutkittiin datalehtiä, jotta tärkeimmät liitynnät ja toiminnot logiikasta selviävät ja MC2:n saapuessa päästäisiin heti töihin. Ohjelmoinnista ei tahtonut alkuun löytyä muuta tietoa kuin muutama esimerkki siitä, miltä ohjelman ulkoasu näyttää.

Kehitystyö saatiin kunnolla käyntiin tarvittavien ohjelmistojen asentamisen ja logiikan tietokoneeseen kytkemisen jälkeen. Ohjelmointiohjelmana on edellä esitelty IQANdesign, jonka toimintaan tutustuttiin seuraavaksi, jotta päästiin kokeilemaan ohjelmointia ja logiikan toimintaa. IQANdesignista löytyi ohjelman käyttöohje sekä esimerkkiohjelmia, joista oli apua ohjelmointiympäristöön perehdyttäessä. Ohjelmoinnin harjoittelu MC2:lla aloitettiin tekemällä helppoja pieniä ohjelmia, joissa käytettiin yhtä tai kahta sisääntuloa sekä yksinkertaisia ehtoja, millä saatiin lähtöön haluttu tila. Ymmärryksen lisääntyessä kokeiltiin monimutkaisempia ohjelmia ja opittiin, mitä kaikkea kyseisellä logiikalla on mahdollista toteuttaa. Harjoittelun edetessä todettiin, että oli edelleenkin tehty vain pieni pintaraapaisu mahdollisuuksiin, joita logiikkaa tarjoaa.

Kokeilujen edetessä päätettiin rakentaa protolevy tulevia kytkentöjä helpottamaan. Asennuslevyyn kiinnitettiin riittävä määrä riviliittimiä kaikkien lähtöjen ja tulojen kytkemiseksi. Varattiin myös tilaa kytkimille, releille ja komponenteille, joita tarvitaan vaunuun aiotun kytkennän rakentamiseen. Säädön rakentamisen kannalta tärkeitä asioita olivat lämpöantureiden lukeminen, mittautiedon käyttäminen ja peltimoottorin ohjaaminen MC2:lla.

9.1 Lämpöanturit ja lämmön mittaus

Lämpöanturin tehtävä on muuttaa mitattu lämpötilatieto joko jännitteeksi tai virraksi. Lämpöantureita on erityyppisiä niin mittaustekniikaltaan kuin koteloinniltaankin. Käytettävän anturityypin valinta suoritetaan mittaushetken, käytettävän laitteiston sekä halutun mittaustarkkuuden mukaan. Yleisimmin lämpötilan mittaukseen käytetään vastusantureita ja termoelementtejä. Muitakin menetelmiä on, mutta niitä ei tässä tarkemmin käsitellä, koska ne eivät yleensä ole käytössä ilmanvaihdon lämmönmittauksissa.

Lämpöanturin valinnassa on tärkeintä valita anturi, joka on mahdollisimman lineaarinen halutulla mittausalueella. Anturin on myös täytettävä asennuspaikan asettamat fyysiset vaatimukset.

Ensimmäinen tehtävä lämpöantureiden käyttöönotossa oli etsiä niiden tiedot ja selvittää vastusarvon muutos lämpötilan muutoksen suhteen. Taulukkolaskennan avulla piirrettiin lämpötilariippuvuudesta kuvaaja ja laskettiin logiikan käyttämälle referenssijännitteelle sovitussvastus, sekä laadittiin jännitteen ja lämpötilan sovituskäyrä logiikalle. Sovitussvastus valittiin siten, että anturin käyrä oli mahdollisimman lineaarinen aiotulla mittausalueella.

Työssä käytetyt anturit olivat vaunun alkuperäisiä antureita. Lisäksi käytettiin niille aiottua korvaavaa anturityyppiä PT1000. Antureiden sovitussvastuksien arvot ja käyrät on esitetty liitteessä 14.

Analogisen tulon mitta-alue on 0 - 5 V ja mittatarkkuus noin 1 mV. Ulostulosta saadaan lämpöanturin jännitettä vastaava luku 0:n ja 5000:n väliltä. Saatu lukuarvo vietään tilakoneelle, jolle on funktionarvona asetettu käytettävä anturityyppi. Tilakone valitsee käytettävät raja-arvot, joita käytetään anturin valvomiseen. Raja-arvoina ovat minimi ja maksimi, joiden välissä anturi toimii normaalisti. Arvot ylittävälle osalle siirryttäessä tulee anturihälytys esimerkiksi katkenneesta anturinjohdosta. Tilakone valitsee myös anturin kanssa käytettävän sovituskäyrän. Käyrä on tehty multivektorilla, johon voidaan syöttää useita arvoja lämpöanturin datalehden käyrältä. Korjauspisteiden määrän lisääntyessä mittaustarkkuus paranee.

Heti alkuun ilmeni ongelmia lämpötilan mittauksessa, lukeman ja todellisen lämpötilan välillä oli huomattavan paljon eroa. Mitattaessa anturin ohmiarvoja yleismittarilla lämpötilan muuttuessa kuumasta kylmään, se noudatti val-

mistajan ilmoittamia arvoja. Vertailtaessa sitä laadittuun sovituskäyrään noudatti sekin laskettuja arvoja kyseisillä ohmiarvoilla. Logiikkaan kytkettäessä näyttämä oli kuitenkin väärä anturityypistä riippumatta. Pääteltiin, että jonkin täytyi kuormittaa antureita tai kytkennässä oli jokin tuntematon tekijä. Iqanin käyttöohjeesta ei löytynyt apua, koska sen esimerkkikytkennöissä oli käytetty anturityyppejä, joka antaa lämpötilan suoraan jännitetietona.

Analogiatuloista ei selvinnyt muuta tietoa, kuin että se oli ”highimpedans-tulo”, sen tarkkaa ohmiarvoa ei ilmoitettu missään. Mittaustulosten perusteella tultiin siihen tulokseen, että kyseinen tulo ei ollutkaan niin korkeaohminen, kuin mihin yleensä oli vastaavissa anturoinneissa totuttu. Lopulta kokeiden ja mittausten tuloksena saatiin määritettyä tulon impedanssiksi noin 36 k Ω , kun yleensä vastaavissa mittauskytkennöissä se on satoja kilo- tai megaohmeja, jottei se kuormita anturia. Oikean tuloimpedanssin selvittyä muutettiin sovitusvastukset ja sovituskäyrät vastaamaan todellista tuloimpedanssia. Lämpötilalukemat vastasivat tämän jälkeen todellisia lämpötila-arvoja muutamien desimaalin tarkkuudella.

Alusta asti oli selvää, että mitattua jännitetietoa täytyisi suodattaa, koska vaunussa esiintyy häiriöitä, jotka ilman suodatusta vähentäisivät mittaustarkkuutta. Antureiden kaapelit eivät myöskään olleet armeerattuja vaan ne olivat tavallista asennusjohtoa, jotka risteilivät muiden johtimien seassa. Suodatukseen käytettiin Iqanin omaa keskiarvostavaa suodatinta, joka vähensi häiriöitä ja lämpötilan desimaalien rauhattomuutta. Suodatuksen jälkeen saatua jännitetietoa verrataan sovituskäyrään, joka muuttaa jännitteen lämpötilaksi säädön käyttöön.

Lämpötilan mittauslohkoon tehtiin vielä lämpöantureiden valvonta, jonka tarkoituksena on valvoa, jos anturi menee maihin tai anturin johto katkeaa. Valvonta perustuu siihen, kuten edellä jo kerrottiin, että analogiatuloon voidaan määrittää toiminta-alueen lisäksi ylä- ja alaraja, jonka ylittäminen antaa hälytyksen. Tieto välitetään eteenpäin suojaustoiminnoille ja korvaaville toiminoille.

Myöhemmin lisättiin keskiarvoistavan suodatuksen jälkeen näyteenottoon perustuva lisäsuodatus, millä pyrittiin rauhoittamaan lämpötilan mittausta entisestään häiriöisissä olosuhteissa. Tämän edut korostuvat käytettäessä PT1000-tyyppisiä antureita, joissa on melko kapea mittausalue, jolloin pie-

netkin häiriöt muuttavat mittaustulosta pahimmillaan usean asteen verran. Näytteenottomenetelmässä otetaan kerran sekunnissa mittausarvo muistiin ja viiden mittauksen keskiarvosta lasketaan jännitetieto, jota verrataan sovituskäyrään. Tällä menetelmällä mittaus rauhoittuu entisestään.

Kun säätämisen tärkein edellytys lämpötilanmittaus oli saatu hallintaan riittävän hyvin, voitiin siirtyä seuraavaan ongelmaan, joka oli peltimoottorin ohjaaminen.

9.2 Peltimoottorin päätteaste

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmässä on säätöpelti, millä ohjataan ulkoilman ja esilämmitetyn ilman suhdetta, kuten on esitetty kappaleessa 2.1 vanhan järjestelmän toimintaselostuksessa. Vaunun alkuperäisessä lämmityksen ohjausjärjestelmässä peltimoottoria ohjaa Satchwelin oma säätöyksikkö, jolle sähkönsyöttö on järjestetty vaunun 24 V DC:n järjestelmästä Mascotin tai jonkin muun valmistajan DC/AC invertterillä 24 V DC / 230 V AC. Säätöyksikön sisällä on muuntaja, joka muuntaa jännitteen peltimoottorin tarvitsemaksi 24 V AC:ksi.

Seuraava ratkaistava asia oli vanhan peltimoottorin ajaminen MC2:lla, jossa haasteena oli peltimoottorin toimintajännite 24 V AC:n. Helpoin ratkaisu olisi ollut vaihtaa peltimoottorit uuteen tasasähköllä toimivaan malliin, mutta koska tilaajan toive oli käyttää vanhoja komponentteja mahdollisimman paljon, ei uusi peltimoottori ensisijaisena vaihtoehtona käynyt.

Alkuun ajatuksena oli ajaa moottoria MC2:n PWM-lähdöillä, mutta moottorin ominaisuudet estivät tämän. Moottori tarvitsee askeltaakseen myös negatiivisen puolijakson, jotta magneettikentän muutos toteutuu ja moottori askeltaa valittuun suuntaan. Satchwelin peltimoottoreissa käytetyt Crouzetin valmistamat moottorit ovat kaksoiskäämitettyjä 24 V AC:n moottoreita, joissa molemmille liikesuunnille on oma kääminsä. Käämityksellä on yhteinen keskipiste ja liikesuunnan mukaan valitaan kumpaan kääminpäähän kytketään vaihtojännite moottorin ajamiseksi.

Toteutukseen olisi voitu käyttää olemassa olevaa 24 V DC / 230 V AC-invertteriä ja siihen soveltuvaa muuntajaa, joka olisi alentanut jännitteen takaisin peltimoottorin käyttämäksi 24 V AC:n jännitteeksi. Logiikalla olisi ohjattu releiden tai triakkien kautta saatua jännitettä peltimoottorille halutun lii-

kesuunnan mukaan. Ei kuitenkaan tuntunut mielekkäältä ratkaisulta muuntaa jännitteitä edestakaisin halutun käyttösähkön saamiseksi. Lisäksi inverttereiden kanssa on ollut ongelmia järjestelmässä alusta asti. Vikatilastoja tarkasteltaessa, niin kuin kappaleessa 5.1 on esitetty, paljastui invertteri yksittäiseksi vikoja aiheuttavaksi komponentiksi, jonka vikaantumistiheys oli melko suuri riippuen sen tyypistä. Ongelmaksi oli myös muodostunut löytää käytetyssä teholuokassa sopiva korvaava invertteri, joka toimii halutulla tavalla ja mahtuu kokonsa puolesta edellisen tilalle.

Valmiita moottorinohjainpääteasteita oli melko vähän tarjolla etenkin kolmi-johtimisille moottoreille. Niistäkin puuttui ohjauslogiikka, joka olisi siihen kuitenkin pitänyt itse rakentaa. Vaihtoehdoksi jäi suunnitella sopiva pääteaste, joka pystyy ohjaamaan Satchwelin peltimoottoria ja valittua korvaavaa peltimoottoria.

Tavoitteena oli tehdä kohtuullisen yksinkertaisesti tasasähköstä vaihtosähköä peltimoottorille kelpaavalla ulostulojännitteellä. Aaltomuoto ei ollut erityisen kriittinen moottorin toiminnan kannalta, joten siniaallon sijaan voitiin käyttää kanttiaaltoa. Pääteaste suunniteltiin tavanomaisia ja yleisesti saatavilla olevia komponentteja käyttäen. Näin helpotetaan mahdollisia tulevia korjauksia ja saadaan pääteasteelle mahdollisimman pitkä huollettavuus.

Oman pääteasteen suunnittelu auttoi toteuttamaan tilaajan vaatimuksen logiikan lähtöjen suojauksesta moottorinohjauksessa. Logiikan moottorinohjaukseen käytettävät lähdöt suojataan erottamalla ne galvaanisesti moottoria ohjaavista komponenteista.

Pääteastekortille voitiin sijoittaa lämpöantureiden tarvitsemat sovitusvastukset ja ledit, jotka indikoivat toimintatiloja sekä käyttöhäiriöitä. Lisäksi kortille sijoitettiin kytkennässä tarvittavat oheiskomponentit ja tehtiin tilavaraus lo-puille analogiatuloille.

Alkuun ajatuksena oli tehdä vaihtosähköä käyttämällä logiikan I/O-lähtöjä ohjaamaan suoraan ohjelmallisesti viiveitä säätämällä kolmea puolisoltaa. Mittaukset kuitenkin paljastivat, että MC2-logiikka ei ole tarpeeksi nopea ohjelmalliseen ohjaukseen. Vaikka ohjelman suoritusajaa lyhennettiin, ei seäkään riittänyt puolisoltojen ohjaukseen, jotta olisi saatu 50 Hz:n kanttiaaltoa. Lisäksi havaittiin suoritusajan lyhentyessä äärimmilleen logiikan toiminnassa

epävarmuutta, joten ratkaisu oli hylättävä jo pelkän luotettavuusnäkökohdan takia.

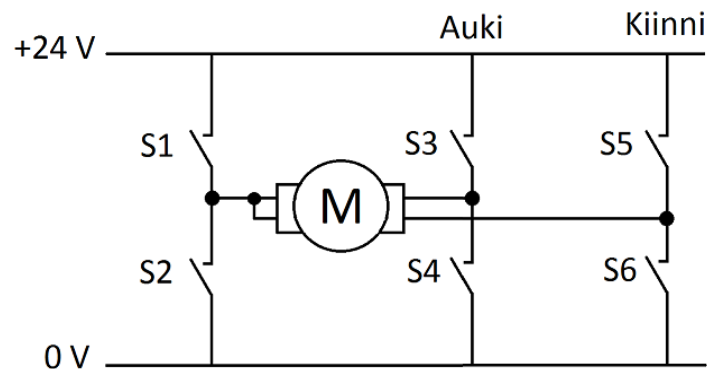
Edellä suoritettujen mittausten yhteydessä havaittiin MC2:n PWM-lähtöjen kykenevän riittävän suuriin taajuuksiin ja olevan tarpeeksi hyvin taajuusvakaituja. PWM on toteutettu MC2:ssa omalla piirillään, joka kykenee ohjaamaan suurillakin taajuuksilla PWM-lähtöjä hitaammin toimivan ohjelman pyyntien mukaan. Tämän havainnon perusteella päätettiin käyttää PWM-lähtöä 50 Hz:n oskillaattorina puolisoliloille ja suunnanvalinnan ohjaukseen kahta digitaalilähtöä.

Siltakytkennällä moottorinohjauksessa tarkoitetaan tyypillisesti puolijohteilla toteutettua kytkentää, millä kytketään moottorille sen ajamiseen tarvittavat jännitteet. Yleisimmin käytetyt kytkennät ovat puolisolilta ja täysisilta sekä näiden eri yhdistelmät. Pelkän päälle-pois-kytkennän lisäksi siltakytkennöillä voidaan säätää kuorman menevää tehoa käyttämällä ohjauksessa pulssinleveysmodulaatiota. Siltakytkentöjä käytetään myös muun muassa vahvistimien ja teholahteiden pääteasteissa

Puolisilta koostuu kahdesta sarjaan kytketystä kytkinelementistä, jossa kuorman toinen syöttö on kytketty niiden liitospisteeseen. Puolisillalla voidaan tehdä suunnanvaihto- ja/tai jarrutuskytkentä. Moottorin nopeutta voidaan säätää, jos käytetään pulssinleveysmodulaatiota ohjaukseen.

Kytkenässä käytetty moottori oli nelijohtiminen, ja sitä olisi voitu ohjata kahdella kokosillalla. Alkuperäisessä kytkennässä oli moottorin käämit yhdistetty toisesta päästä, jolloin siitä tuli kolminapainen moottori. Vaunun peltimoottorin johdotus on toteutettu kolmella johtimella ja lisäkaapeloinnin tekeminen vaunuun aiheuttaisi kohtuuttomasti töitä. Korvaavaksi peltimoottoriksi ajatellut moottorit ovat myös kolminapaisia moottoreita. Nämä tekijät huomioiden kolmen puolisolilan käyttäminen pääteasteen kytkennässä on perusteltua. Tällä toteutuksella säästyi myös komponentteja ja kytkentä yksinkertaistui.

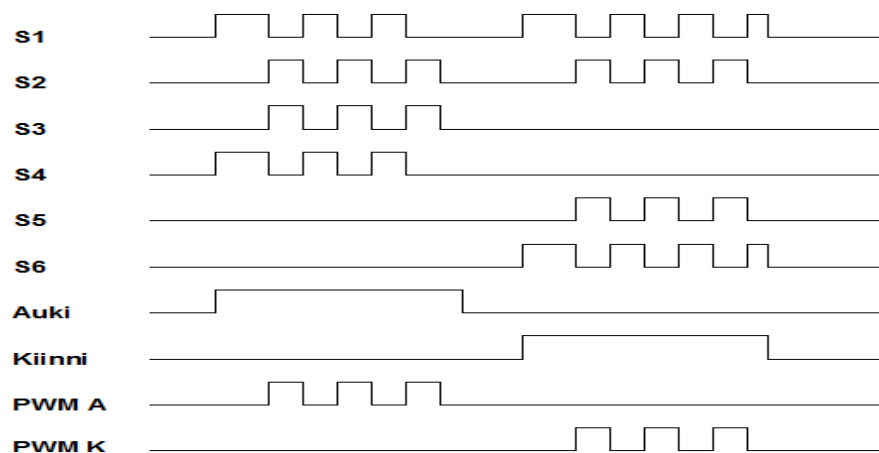
Pääteasteessa käytetty kolmen puolisillankytkentä toimii kuvan 16 osoittamalla tavalla.



Kuva 16. Pääteasteen toiminnan esitys kytkimien avulla.

Suunnan valinnan tapahtuessa menevät kytkimet S1 ja S4 kiinni, muut kytkimet ovat lepotilassa. Auki-suunnan PWM-ohjeen tuloa aktiiviseksi kytkimet S1 ja S4 ja kytkimet S2 ja S3 vaihtavat tilaansa 50 Hz:n tahdissa niin kauan kun moottoria ajetaan auki. Lopetettaessa ajaminen kytketty PWM pois ja 200 ms:n viiveen jälkeen kytketty suuntaohje pois ja kytkimet S1 ja S4 päästävät. Kiinni-suunta toimii samalla tavalla, mutta kytkimien S3 ja S4 tilalle vaihtuu kytkimet S5 ja S6.

Kuvasta 17 nähdään havainnollisesti suuntaohjeen ja PWM-ohjeen vaikutus kytkimiin S1 - S6.



Kuva 17. Kytkimien toiminta aikatasossa esitettynä.

Pääteasteen kytkentäkaavio on liitteessä 15 ja osaluettelo hintoineen liitteessä 16. Pääteasteessa on kaksi kappaletta Toshiba valmistamaa TLP521-4-nelikko-optoerotinta. Niiden tehtävä on tehdä galvaaninen erotus logiikan ja pääteasteen välille. Optoerottimien kautta ajetaan 50 Hz:n pulssi ja suuntaohje puolisiltapiireille. Optoerottimella tehdään myös vastavaiheistus, koska yhteinen silta on vastavaiheessa valittuun puolisiltaan nähden. Puolisiltapiireillä ohjataan päätefettipareja, piireillä vaihdellaan napaisuutta 50 Hz:n oskillaattorin tahdissa. Silloin moottori näkee päätefettien lähdöstä vaihtojännitteen. Ohjattaessa peltiä auki muuttuu logiikan suunnanvalinnan aukilähtö aktiiviseksi ja se ohjaa pääteasteessa optoerottimen kautta yhteisen puolisillan ja auki-suunnan puolisillan päälle poistamalla puolisiltapiirin lukituksen. 200 ms:n viiveen jälkeen logiikka kytkee auki-suunnan PWM-lähdön aktiiviseksi. Oskillaattorisignaalina toimiva PWM kulkee optoerottimen kautta aukisuunnan puolisiltapiirin ohjausnastaan sekä yhteisen puolisiltapiirin ohjausnastaan. Puolisiltapiirit ohjaavat päätefettejä T1 - T6 vastavaiheessa 50 Hz:n tahdissa, jolloin ulostulossa on kanttiaalto moottorin käämien yhteisen pisteen ja auki-suunnan käämin välissä. Pysäytettäessä moottori kytkeytyy ensin PWM-signaali pois ja 200 ms:n viiveellä suuntaohje pois. Ohjattaessa peltiä kiinni on toiminta yhtenevä muutoin, kuin että valittuna on yhteinen silta ja kiinni-suunnan puolisilta.

Pääteasteella on optoerottimien tuloissa suojana diodit D1 - D4, joiden tehtävä on estää optoerottimen rikkoutuminen, jos virhekytkennän seurauksena optoerottimen tuloon tulisi jännite väärinpäin. Optoerottimen estosuuntainen jännitekestoisuus on melko vaatimaton verrattuna käytettäviin jännitetasoihin. Optoerottimen transistorilähdössä suunnanvalinta on kahden diodin D5 ja D6 muodostama logiikka. Logiikka on muotoa OR, jolla saadaan yhdellä tulolla ohjattua kahta lähtöä päälle. Ohjattavat piirit ovat yhteinen puolisilta ja päälle halutun suunnan puolisilta. Suunnanvalintojen sisääntuloissa on lisäksi 3.3 V:n zenerdiodit Dz1 ja Dz2 estämässä optoerottimen ”vuotamista”. Logiikan ulostulon ollessa pois päältä, ei tulon ylös veto täysin riittänyt sammuttamaan optoerotinta, vaan havaittavissa oli ohjauspuolelle vuotoa, joka teki toiminnan epävarmaksi. Ongelma saatiin poistettua zenerdiodien lisäyksellä.

Yhteisen puolisillan yläpuolen fetin T1 ajurille oli lisättävä pienitehoinen kelluva virtalähde. Virtalähdettä tarvitaan takaamaan yläpuolen fetin toiminta käynnistystilanteessa, jolloin pulssitusta ei vielä ole ja varaus on purkautunut kondensaattorista C1. Kondensaattori C1 varautuu fetin T2 johtaessa, ja tämä tapahtuu silloin, kun siltaa ohjataan PWM:lla. Toisin sanoen taataan, että yhteisen puolisillan yläpuolen fetin T1 johtaa varmasti käynnistystilanteessa. Jos pääteasteella on tarkoitus ajaa tasasähkömoottoria, on suositeltavaa lisätä jokaisen puolisiltapiirin yläpuolen fetinohjaukseen samanlainen kelluva virtalähde varman toiminnan takaamiseksi.

Pääteastekortilla olevalla 12 V:n reguloinnilla muodostetaan puolisiltapiirien ja optoerottimien tarvitsema käyttö sähkö. Päätefettien suojana on 1 A:n sulake, joka suojaa fettejä moottorinlähtöjen oikosulkutilanteessa.

Peltimoottoriin tehtiin muutostyö, jossa moottorin alkuperäiset päätyraja- ja asentotietomikrokytkimet poistettiin. Samassa yhteydessä peltimoottori huollettiin. Näin tullaan menettelemään, jos vaunuihin tehdään tämä kyseinen lämmityksen säätöyksikön muutostyö.

Alkuperäiset rajakytkimet korvataan induktiivisilla antureilla, jotka sijoitetaan säätämisen kannalta parempaan paikkaan, pellin akselille.

Pääteastetta testattiin testiohjelmalla viikon ajan työpäivien aikana. Ohjelma ajoi edestakaisin peltimoottoria, jonka akselille oli kiinnitetty vipu, millä ohjattiin rajakytkimiä. Tällä testillä haluttiin selvittää, kestäkö pääteaste jatkuvaa käyttöä ja ilmeneekö siinä ongelmia.

Testin tulos oli hyvä, sillä pääteaste ei lämmennyt testin aikana ollenkaan ja se toimi moitteetta koko testin ajan. Näin saatiin varmuus siitä, että sitä voitiin käyttää vaunussa peltimoottorin ohjaamiseen.

9.3 Säädon rakentaminen

Kun säätöjärjestelmän rakentamisen kannalta suurimmat esteet lämpöantureiden lukeminen ja peltimoottorin ohjaus oli saatu ratkaistua, voitiin keskittyä itse säädön rakentamiseen. MC2:ssa on valmiita toimintoja erilaisten ohjausten ja säätöjen tekemiseen. Siitä löytyy muun muassa PID-säätö, mutta koska sen toimintatavasta ei saatu täyttä varmuutta ja koko säädön toteuttaminen sillä vaikutti hankalalta, sitä ei käytetty. Lämmönsäätö täytyi toteut-

taa ilman valmiita algoritmeja eli vastaava toiminta täytyi rakentaa omaan ohjelmaan. Tällä tavalla tehtynä voitiin päättää, mitkä tekijät vaikuttavat säätöön ja millä tavalla.

Suunnitteluun otettiin mallia vanhasta järjestelmästä, jossa oli käytössä PI-säätö ja päätettiin tehdä vastaavanlainen säätökäyrä kuin siinä oli käytössä. Sitä käytettiin lähtökohtana säädön rakentamisessa.

Vanhassa säädinyksikössä aseteltavia arvoja olivat matkustamon lämpötila ja kanavan alarajalämpötila sekä säätösuhde, mikä määrittää säätimen vahvistuksen kuten luvun 4 teoriaosuudessa on kerrottu.

Näistä asetuksista säädin muodostaa lämmityksen ohjauksen, mikä voidaan esittää myös havainnollisemmin säätökäyrästä. Oltaessa säätökäyrän alueen alapuolella lämmitetään käyrän määräämällä kanavalämmöllä niin kauan, kunnes saavutetaan asetettu arvo. Oltaessa yli säätökäyrän asetuksen ei lämmitetä ennen kuin lämpötila on laskenut asetellulle alueelle.

Säätökäyrä on matkustamon ja kanavalämmön suhde. Mitä kylmempi matkustamo, sitä korkeammalle sallitaan kanavalämmön nousta ja matkustamon lämmitessä vähennetään kanavalämpöä käyrän mukaan. Käyrän muodostamisen lähtökohtana oli se, että tiedettiin kanavalämpötilan maksimiarvo 60 °C. Tämä tieto saatiin vanhasta järjestelmästä, lisäksi standardi EN 14750-1 määrittelee, kuinka kuumaa ilmaa voi matkustamoon kanavasta kuumimmillaan puhalttaa. Korkein sallittu lämpötila standardin mukaan oli 60 °C. Käyrän toisen pään määritti se, kuinka kylmää ilmaa sieltä sallitaan puhallettavaksi. Vanha kylmäpuhallussuojan asetusarvo oli 12 °C, mikä tuntui turhan kylmältä, joten alarajaksi määritettiin 16 °C.

Käyrän keskipisteen määrittäminen tehtiin sillä perusteella, että siihen saatiin riittävästi jyrkkyyttä eli vahvistusta, jotta se pystyy lämmittämään matkustamon riittävän nopeasti haluttuun arvoon. Määrittämisessä käytettiin hyväksi lisälämpövastuksesta tehtyjen mittausten tuloksia sekä vaunun lämpiämisenopeudesta tehtyjä havaintoja.

Keskipiste asetettiin parametriksi, jotta vahvistusta voidaan helpommin säätää myöhemmässä vaiheessa eikä koko käyrää tarvitse käydä muuttamassa vahvistusta säädettäessä.

MC2:n käyrän (LIITE 17) syöttäminen oli mahdollista käyttämällä multivektoria, johon voidaan asettaa useita toimintapisteitä, eikä käyrän tarvitse olla lineaarinen. Tämän käyrästä avulla säädetään kanavasta puhallettavan ilman lämpötilaa ja sitä kautta matkustamon lämpötilaa. Säätokäyrästä toimii runkona koko säädölle.

Lämmönsäätö jakautuu toimintansa puolesta kahteen eri tilaan. Silloin, kun ei ajeta ja jarruvastukset eivät tuota lämpöä, toimii lämmitys samaan tapaan kuin kaksipistesäätö, minkä toiminta on esitetty teorian yhteydessä kappaleessa 4.1.1. Ajettaessa vaunun lämmitys on yhdistelmä jatkuvasta lämmönsäädöstä ja kaksipistesäädöstä. Vaunun lämmityksen ollessa pelkästään lisälämpövästuksen varassa täytyi säätökäyrän määräämään kanavalämpötilaan tehdä "vällys" eli toiminta-alue, jolla lämpötila sai vaihdella, jotta lisälämpöpyyntiä ei tule liian usein. Tämä sen takia, että lisälämpövästuksen teho on 18 kW ja tehon säätöön ei ole käytettävissä muuta menetelmää kuin päälle/pois-kytkentä. Tämä säätö tehtiin ohjelmassa parametriksi, jotta sitä on helpompi säätää käyttöönottovaiheessa. Lisälämpövästuksen kontaktorilla on tietty käyttösykli (esitetty kappaleessa 2.3), jonka ylittäminen lyhentää kontaktorin ikää. Vaihteluvälin lisäksi säätöön tehtiin kontaktorin ohjaukseen viiveitä siksi, ettei missään tilanteessa käyttösykli pääse kasvamaan liian tiheäksi.

Vaunulla ajettaessa ja jarruvastusten tuottaessa lämpöä säädetään kanavan lämpötilaa pellin asentoa säätämällä. Matkustamon tai kanavan pyytäessä lisää lämpöä avataan säätöpeltiä ja kanavalämmön noustessa liian korkealle suljetaan peltiä, jotta lämpötila laskee. Peltiä ohjataan auki tai kiinni säätökäyrän ohjeen mukaan. Jos jarruvastuksilta tuleva lämpöteho ei riitä, kytketään lisälämpövästus päälle ja silloin toiminta on kuten edellä pelkällä lisälämpövästuksella lämmittäessä.

Pelkällä säätökäyrästä ei voida lämmittää vaunua, vaan säätölohkossa on lisäksi matkustamon lämmön pyynnit, peltimoottorin ohjaus, kylmäpuhallussuoja ja yllilämpöjen valvonta. Lohkoon tuodaan kanavalämpötila, sisälämpötila, pelti auki/kiinni -tieto, ilmastointivika ja kesä/talvi -tieto. Näiden tietojen ja säätökäyrästä perusteella lohkossa muodostetaan ohjeet lämmön säätämiseksi. Loogisen toiminnan ja turvallisuuden takaamiseksi täytyy säädössä olla ehtoja ja määrittelyitä, joiden mukaan se toimii. Ehdoissa määritellään esimerkiksi se, että pellin pitää olla auki ennen kuin lisälämpövästus kytke-

tään päälle. Siten varmistetaan, että jarruvastusten tuottama lämpö käytetään varmasti hyväksi lämmityksessä. Turvallisuuteen vaikuttavia ehtoja on puolestaan esimerkiksi se, ettei lisälämpöä voida kytkeä päälle, jos järjestelmässä on yllilämpö tai puhallin ei pyöri. Tarkempi toimintaan vaikuttavien ehtojen kuvaus on säädön toimintaselostuksessa.

Toiminnan parantamiseksi säätöön ohjelmoitiin korvaavat toiminnot vikatilanteiden varalle. Säätö pystyy käsittelemään yhden vikatilanteen ja tekee sen vaatiman korvaavan toiminnon. Jos tulee toinen vika, niin silloin järjestelmä menee vikatilaan, jossa pelti ajetaan kiinni ja lämmitystä ei tapahdu. Vikatila antaa kuljettajalle hälytyksen ja tilanne rekisteröityy vikalokiin. Korvaavat toiminnot on suunniteltu anturivikojen ja antureiden kaapeloinneissa olevien vikojen varalle.

Esimerkiksi ulkoanturivika pakottaa järjestelmän talvitilaan ja tekee häiriöilmoituksen. Tämä ratkaisu toimii suurimman osan vuotta optimaalisesti, mutta kesällä se estää ilmastoinnin toimimisen. Siitä ei ole kuitenkaan suurta haittaa, koska järjestelmä ei kuitenkaan lämmitä kesällä ja kuljettaja tekee vikalapun, jonka perusteella vika korjataan nopeasti.

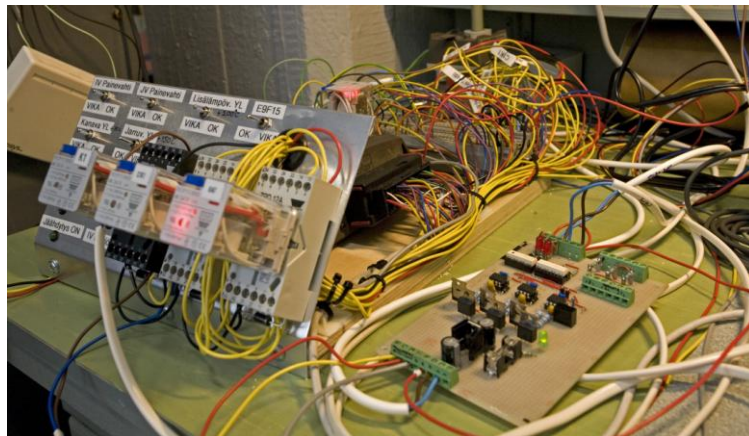
Vikalokiin tallennetaan säätöjärjestelmän ja logiikan viat. Kirjattaviksi vioiksi valittiin kaikki vika- ja häiriöilmoituksen antavat viat. Esimerkiksi yllilämpö- ja anturiviat, lisäksi lokiin kirjataan logiikan toiminnassa ilmenevät viat sekä yli- ja alijännite.

9.4 Järjestelmän simulointi

Ohjelmaversioita syntyi runsaasti prototyypin rakentamisen aikana, koska toiminnassa havaittiin usein jokin puutos tai epäloogisuus. Vaikka haluttuja toimintoja oli hahmoteltu ja listattu paperille, ei kaikkia vaikutuksia aina pystynyt ennakoimaan. Ohjelmaa simuloitiin IQANsimulate-ohjelmalla aina, kun jokin lohko tai toiminto saatiin ohjelmoitua ja ennen kuin sitä edes siirrettiin MC2:een. Sillä saatiin poistettua kaikkein karkeimmat virheet ja epäloogiset toiminnot ohjelmasta. Simuloinnilla pystyttiin selvittämään säädön toimintaa vikatilanteissa ja ristiriitatilanteissa. Yksittäisen toiminnon simuloiminen oli melko helppoa, ja sillä saatiin varsin hyviä tuloksia lohkon aiotusta toiminnasta, mutta ehtojen lisääntyessä ja ohjelman mutkistuessa alkoi simulaattorilla testaaminen muuttua haastavaksi. Pelkästään kolmen lämpötilan säätäminen yhtä aikaa siten, että saataisiin jotenkin järkevä muutos lämmityk-

sen ohjauksessa, osoittautui liian vaikeaksi. Oli keksittävä muu ratkaisu säädön testaamiseksi. Testauksen helpottamiseksi rakennettiin protolevylle vaunussa olevat ehtoja luovat anturit kytkimillä. Hälytysulostuloihin laitettiin ledit indikoimaan vikatilanteita. Järjestelmän testaaminen helpottui huomattavasti ja pystyttiin kokeilemaan nopeasti jokaisen yksittäisen ja usean vian aiheuttama toiminto ja toiminnot. Näillä testeillä saatiin varmuutta ohjelman toimintaan ja pystyttiin korjaamaan suojauksissa havaittuja puutteita

Tämä ei kuitenkaan riittänyt selvittämään miten säätökäyrä ja lämmönsäätö toimisivat. Päätettiin rakentaa kytkentä vastaamaan vaunun aiottua kytkentää niin pitkälle kuin se olisi mahdollista. Protolevylle (kuva 18) lisättiin pistokantareleet kuvaamaan lämmityksen kontaktoria ja sen turvapiiriä. ”Lisälämpökontaktorin” kärkien kautta ohjattiin pientä lämpöpuhallinta, millä simuloitiin lisälämpövastusta. Lämpöanturit olivat myös kytkettynä, jolloin säätö oli takaisinkytketty ja vastasi toimivaa säätöjärjestelmää.



Kuva 18. Protolevy ja peltimoottorin pääteaste.

Prototyyppiä koekäytettiin noin kahden viikon ajan työpäivien aikana ja sille tehtiin jatkuvasti pieniä testejä ja tarkkailtiin, kuinka se selviytyy niistä. Koska säätöjärjestelmä toimi halutulla tavalla normaalitoiminnassa sekä vikatilanteissa, se voitiin esitellä työntilajalle. Järjestelmän ominaisuuksiin perehtytään antoi tilaaja asennusluvan järjestelmän vaunuun asentamiseksi.

9.5 Säädön ohjelman toimintaselostus

IQANin ohjelma on jaettu viiteen toiminnalliseen lohkoon. Ohjelmalohkot ovat seuraavat: lämpöantureiden luku, kesä/talvitoiminnon valinta ja puhaltimen sekä jäähdytysluvan ohjaus, peltimoottorin- ja lisälämpökontaktorin ohjaus, lämmönsäätö ja vikatilanteiden valvonta. Liitteissä 18 - 23 on IQANdesign ohjelmasta, kunkin toimintalohkon näkymä.

Lämpöantureiden luku

Luetaan logiikan viidestä analogiatulosta kolmea ensimmäistä, joihin on kytketty vaunun lämpötila-anturit. Käytössä on erityyppisiä antureita, joille on täytynyt tehdä kullekin anturille oma korjauskäyrä. Antureilta luettu jännitetieto muutetaan korjauskäyrien avulla asteiksi. Saatua tietoa suodatetaan keskiarvoistuksella mittaustuloksen ”elämisen” rauhoittamiseksi.

Anturityypin valinnalla asetetaan kyseisen anturin jänniterajat, joilla mahdolliset vikatilanteet tunnistetaan. Tällä hetkellä tuettuja antureita ovat vaunun alkuperäiset Satchwell :in kanava- ja matkustamoanturit, ETF-422-ulkoanturi sekä korvaavaksi anturityypiksi valittu PT-1000-tyyppiset anturit.

Kesä/talvi toiminnon valinta ja puhaltimen sekä jäähdytysluvan ohjaus

Normaalisti toimiessaan järjestelmä suorittaa kesä/talvivalinnan ulkolämpötilan perusteella. Ulkolämpötilan ollessa 18 °C tai yli valitaan toimintatilaksi kesä ja ulkolämpötilan ollessa 16 °C tai alle valitaan talvi. Käynnistyshetkellä valitaan näiden kahden lämpötilan keskiarvon (17 °C) ylittävästä lämpötilasta kesä ja alittavasta talvi. Käynnistyksen jälkeisen toimintatilan muuttamiseksi täytyy lämpötilan muuttua asettelurajan kesä 18 °C tai talvi 16 °C yli, jotta valinta muuttuu. Ulkoanturin vikaantuessa ohjelma valitsee toimintatilakseen talven. Kesätilassa suljetaan pelti ja pellin sulkeuduttua valitaan suurempi puhallusnopeus (40 Hz) käyttöön, pienen viiveen jälkeen annetaan jäähdytyslupa ulos.

Lohkossa valvotaan myös painevahtien tiloja, yli 10 sekunnin kestoiset viat aiheuttavat hälytyksen ja aktivoivat suojaustoiminnot. Ilmanvaihdon painevahtivika poistaa jäähdytysluvan, mutta ei muuta puhallusnopeutta.

Peltimoottorin ja lisälämpökontaktorin ohjaus

Ohjataan peltimoottorin pääteastekortin tuloja pyyntien mukaan. Kun peltiä ajetaan kiinni tai auki, suunnanvalinta aktivoituu ja 50 Hz:n oskillaattorina toimiva PWM- lähtö käynnistyy. Peltiä ohjataan sykleittäin: kääntö 4 s ja tauko 1 s, jotta lämpö ennättäisi tasaantua kanavistossa ja säätäminen olisi vaakaampaa.

Lohkossa on pellin pakko-ohjaustulo, millä ohjataan pelti tietyissä vikatilanteissa suoraan ilman syklitystä kiinni. Tätä toimintoa käytetään myös, kun toimintatilaksi on valittu kesä ja pelti suljetaan. Lisälämpökontaktorin päälleohjaus estetään, kun pellin pakko-ohjaus on aktiivinen.

Lämmönsäätö

Tässä lohkossa tehdään kaikki lämmönsäätöön liittyvät toiminnot. Tähän lohkoon tulevat antureilta saadut lämpötilatiedot, joita verrataan säätökäyrän arvoihin, mistä muodostetaan lämmönsäädön ohjeet. Ohjeilla ohjataan peltimoottoria ja lisälämmitysvastuksen kontaktoria. Sisälämpötilasta muodostetaan kanaviston lämpötilaohje säätökäyrän avulla siten, että mitä kylmempi on matkustamon lämpötila, sitä korkeammaksi sallitaan lämmittää kanavisto. Rajat elävät matkustamon lämpötilan mukaan, alaraja on 80 % ylärajasta. Ylärajan lämpö on rajoitettu noin 60 °C:seen.

Lämmönsäädön lohkot on jaettu useisiin rinnakkaisiin ehtoihin, jotka yhdistetään lopuksi lopulliseksi säätöohjeeksi. Osa ehdoista on toimintoja sallivia osa estäviä. Esimerkiksi lämmönpyynti ei voi olla aktiivinen, jos pelti ei ole auki. Estävänä ehtona on kesä tai jos joku tietty vika on aktiivinen. Lämpötilahystereesien avulla on pyritty pitämään pyynnit vakaina, ettei tapahdu välitöntä tilanvaihtoa, jos esimerkiksi jokin ehto ei enää toteudukaan.

Matkustamon pyynnit

Matkustamon lämpötila pyritään pitämään 18 °C:ssa. Lämpötilan alittaessa 17,5 °C pyydetään peltiä auki ja, jos jarruvastusten tuottama lämpö ei riitä lämmittämään matkustamoa, kytketään lisälämpövastus. Matkustamon lämpötilan ollessa yli 18 °C lisälämpövastus kytketään pois päältä, ja jos lämpötila on 18,5 °C tai yli, pyydetään peltiä kiinni.

Kanaviston pyynnit

Kanavalla on muuttuva-arvoinen säätökäyrä, jonka arvo muodostetaan sisälämpötilan avulla. Toimintapisteet muodostetaan lisäämällä tai vähentämällä kiinteä lämpötila-arvo. Näin saadaan säädölle hystereesiä, jota tarvitaan lisäälämpövastuksen aiheuttaman ”hitauden” kompensoimiseksi.

Kanavan lämpötilan noustessa ja kanavan lämpötilan saavuttaessa muuttuvan ylärajan T_{my} vähennettynä yhdellä asteella, kytketään lisälämmön pyynti pois. Lämpötilan ylittäessä muuttuvan ylärajan $T_{my} + 3$ astetta pyydetään peltiä kiinni. Kanavan lämpötilan laskiessa alle muuttuvan alarajan T_{ma} lisättynä yhdellä asteella, pyydetään peltiä auki. Lämpötilan ollessa muuttuva alaraja T_{ma} vähennettynä yhdellä asteella kytketään lisälämpö päälle.

Matkustamon lämpötilan ollessa asettelun alueensa sisällä pyrkii kanavansäätö ja kylmäpuhallussuoja pitämään kanavistossa riittävää lämpöä avaamalla peltiä ja pyytämällä lisälämpöä tarvittaessa.

Vikatilanteet

Vikatilannetaulukosta näkyy korvaava toiminta ja hälytykset, taulukko liitteenä 24. Kanavan ylärajan ylittävä lämpötila 63 °C aiheuttaa pellin pakko-ohjauksen kiinni ja lisälämpöpyynnin eston. Vika aiheuttaa ilmanvaihto (IV)-häiriöilmoituksen ja kirjataan vikalokiin. Toiminta palautuu normaaliksi kanavalämmön laskiessa riittävän alas. Varsinainen kanavan yllämpö 80 °C aiheuttaa saman suojaustoiminnon, jos jostain syystä alempi kanavalämmön yläraja ei ole toiminut. Sitä mitataan myös mekaanisella yllämpöanturilla, joka tekee hälytyksen suoraan kuljettajalle ja sen tilaa valvotaan myös IQANilla.

Lisälämpöpyynnin tullessa aktiiviseksi luetaan sen hetken lämpötilatieto muistiin ja verrataan sitä aikaviiveen jälkeen uuteen mittaukseen. Jos lämpötila ei ole noussut riittävästi mittausjakson aikana, tulee siitä IV-häiriöilmoitus ja tapahtuma kirjataan vikalokiin. Lämmön nousunopeuden valvonta ei aiheuta hälytystä, jos lisälämmön pyynti poistuu ennen ajastinta.

Peltiä ohjattaessa aktivoituu 3 minuutin ajastin. Jos tuona aikana ei saavuteta haluttua rajaa, pelti pysähtyy ja hälytys aktivoituu. Ajastin pysähtyy, kun peltiä ei ohjata ja nolaa itsensä, kun haluttu päätyraja saavutetaan tai ohja-

ussuunta muuttuu. Molempien rajojen ollessa yhtä aikaa aktiivisia yli 2 minuutin ajan lopetetaan pellin ajaminen. Vika aiheuttaa IV-häiriöilmoituksen ja tapahtuma kirjataan vikalokiin.

Ulkoanturivian ollessa aktiivinen siirtyy ohjaus käyttämään talvitilaa. Lämmönsäätö toimii normaalisti, mutta kesällä anturivian ollessa päällä ei voida käyttää ilmastointia ja puhallusnopeus on alhaisempi. Vika aiheuttaa ilmanvaihto (IV)-häiriöilmoituksen ja tapahtuma kirjataan vikalokiin.

Kanava-anturiviassa siirtyy ohjaus pelkästään matkustamon lämpötilatietojen varaan. Matkustamon pyynnit pysyvät entisellään, mutta lisälämmön kontaktoria ohjataan syklisti. Sykli on maksimissaan 30 s päällä ja 30 s pois. Kaikki kanavalämpötilaan perustuvat ehdot poistuvat käytöstä. Vika aiheuttaa IV-häiriöilmoituksen ja tapahtuma kirjataan vikalokiin.

Matkustamoanturin viassa otetaan käyttöön kanavan uudet ylä- ja alarajat, joiden välissä kanaviston lämpötilaa pidetään. Lämpötilan ollessa alle 15 °C avataan peltiä ja alle 14 °C:ssa pyydetään lisälämpöä. Lisälämmön pyynti poistuu kanavalämmön saavuttaessa yli 24 °C ja peltiä ajetaan kiinni yli 26 °C:ssa. Kaikki matkustamon lämpötilaan perustuvat ehdot poistetaan käytöstä. Vika aiheuttaa IV-häiriöilmoituksen ja tapahtuma kirjataan vikalokiin.

Vikatilanteiden valvonta

Valvonta kerää vikatietoja säätöön liittyvistä vioista ja ohjaa niiden mukaan vikalähtöjä. Viasta riippuen aktivoidaan sisäinen vika ja/tai Ilmanvaihto (IV)-häiriölähtö tai IV-vikalähtö. Valvonnan alla ovat myös logiikan omat vikatilat. Tätä lohkoa muokataan vielä sen jälkeen, kun on päästy tekemään käytännön kenttätestejä.

9.6 NRV II:n lämmityksen toiminnankuvaus toteutettuna MC2:lla

A- ja B-vaunussa on samanlaiset, mutta toiminnaltaan itsenäiset katolla sijaitsevat lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet. C-vaunun katolla sijaitsee kolme ilmastointikoneikkoa, joilla jäähdytetään kesällä vaunuun puhallettavaa ilmaa. C-osan katolla on lisälämpövastus, millä lämmitetään C-osaa.

Vaunun lämmitys perustuu pitkälti jarruvastusenergian hyväksikäyttöön. Jarruvastuspuhallin jäähdyttää jarruvastuksia ja jarruvastusten kuumentama ilma ohjataan pelillä joko ulos tai lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen imukanavaan. Lämmitys ja raitisilmapuhaltimen imuilma on sopivassa suhteessa sekoitettua jarruvastusten lämmittämää ilmaa ja kylmää ulkoilmaa. Kylmänä vuodenaikana, jos jarruvastusten tuottama lämpö ei riitä, kytketään ilmanvaihtokanavassa oleva lisälämpövastus päälle. Sopivaksi lämmitetty tai viilennetty ilma johdetaan matkustamoon välikatossa sijaitsevan kanaviston kautta

Jarruvastuspuhaltimen tuottama ilmamäärä on 1500 m³/h ja lämmitys- ja raitisilmapuhaltimen ilmamäärä on kesäasetuksella 1800 m³/h ja talviasetusella 1200 m³/h. Puhaltimet ovat kaksoissiipipyörällä varustettuja keskikapuhaltimia. Puhallinrumpu on kiinnitetty kehikkoon ja puhaltimen siipipyörä on suoraan kiinni moottorin akselilla, kehikossa on moottorin kiinnityspaikat ja kehikko kiinnittyy tärinän vaimentimilla vaunun runkoon. Puhaltimen ja kanaviston välissä käytetään joustavaa kangasliitosta, joka kestää korkeitakin lämpötiloja. A ja B-vaunun jarruvastuspuhaltimet ja raitisilmapuhaltimet ovat vaihtokelpoisia keskenään johtuen siitä, että laitteistojen sijoittelut ovat toistensa peilikuvia.

Jarruvastusten ja raitisilmakanavassa sijaitsevan lisälämpövastuksen rakenne on selostettu sähkölaitteiden yhteydessä. Lämmönsäädön toiminta on esitetty liitteessä 25 olevassa toimintakaaviossa. Kaavion laitteet on merkitty A-vaunutunnuksin, B-vaunun lämmitys- ja ilmanvaihto laitteiden toiminta on täysin samanlainen kuin A-vaunussa.

IQAN MC2 logiikka ohjaa lämmityksen ja ilmanvaihdon toimintaa ja suorittaa varsinaista lämmönsäätöä ohjaamalla peltiä ja käyttämällä lisälämpövastusta pyyntien mukaan.

Ulkoanturilta saadun lämpötilatiedon perusteella valitaan toimintatilaksi joko kesä tai talvi. Kesätilassa ajetaan pelti kiinni ja vaihdetaan suurempi puhallusnopeus sekä annetaan jäähdytyslupa ilmastointikoneikoille. Valvonta toimii kesätilassa normaalisti ja hälytys tehdään normaalista poikkeavasta toiminnasta.

Talvitilassa puhallinnopeus pienentyy ja matkustamon ja kanavan säätöpyynnit tulevat merkitseviksi. Matkustamon pyytäessä lämpöä alkaa säätöpelti avautua ja sitä avataan niin kauan, kunnes haluttu lämpötila saavutetaan tai se on täysin auki. Jos jarruvastusten tuottama lämpö ei riitä, kytketään lisälämpövastus päälle ja sillä tuotetaan tarvittava lämpö. Tämä toteutuu, jos yksikään ylilämpösuoja ei ole aktiivinen. Matkustamon pyynnistä huolimatta kanava ”valvoo” matkustamon lämpötilasta muodostetun säätökäyrän ehtojen toteutumista. Matkustamon lämpötilan perusteella saadaan kanavan muuttuva yläraja ja alaraja, joiden välissä lämpötilan pitää pysyä. Matkustamolämpötilan ollessa rajojen sisällä on ohjaus kanavalla, joka pyrkii pitämään lämpötilan asetusarvojen sisällä.

Matkustamon ollessa liian kuuma kytketään lisälämpö pois, jos se ei riitä, ajetaan peltiä kiinni. Sisälämpötilan ollessa reilusti asetusarvoa korkeammalla ja ulkolämpötilan ollessa kylmä, aletaan matkustamon lämpötilaa laskea kanavan ”ehdoilla”. Kanavalämpötilan ei anneta kuitenkaan laskea alle kylmäpuhallussuojan asettaman rajan. Kanavaa siis lämmitetään vaikka matkustamo olisi liian kuuma.

Järjestelmässä ilmenevät viat kirjataan vikalokiin ja säätö siirtyy kyseisen vian edellyttämään toimintatilaan. Vikalokia ja vikoja voidaan tarkastella säädön monitorointiin tarkoitetulla IQANrun-ohjelmalla.

10 PROTOTYYPIN VAUNUUN ASENNUS JA TESTAUS

Uuden säätöjärjestelmän vaunuun asentamisessa ensimmäinen vaihe oli vanhan järjestelmän purkaminen sivukilpikotelosta.

Seuraavaksi selvitettiin johdotustaulukon (LIITE 26) ja kytkentäkaavioiden (LIITTEET 27 - 31) avulla kytkentään tarvittavat lisäjohtimet ja kytkentöihin tehtävät muutokset. A-vaunussa sijaitsevan E9-kaapin ja sivukilpikotelon riviliittimen C1 välillä oli varakaapeleita, jotka otettiin käyttöön kytkentämuutoksessa, jotta saatiin uuden järjestelmän vaatimat muutokset toteutettua.

Katolla tehtiin muutoksia, jotka näkyvät kuvassa 19. Peltimoottori vaihdettiin modifioituun ja huollettuun peltimoottoriin. Pellin akselille asennettiin säädettävät ”nokat,” joilla asetellaan pellin auki- ja kiinniasento. Nokkia luetaan induktiivisilla antureilla, jotka kiinnitettiin asennuspelillä (LIITE 32) kotelon seinään. Induktiivisille antureille täytyi järjestää sähkönsyöttö, mutta koska katolle ei tullut ylimääräisiä johtimia, täytyi sähkönsyöttö kuitenkin järjestää jollain tavalla.



Kuva 19. Modifioitu peltimoottori ja Induktiiviset anturit paikalleen asennettuna.

Sähkönsyöttö katolle järjestettiin C-osaan asennetun ilmastointijärjestelmän kaapeleiden vapaita johdinpareja käyttäen. Syöttö otettiin kilpikotelon riviliittimeltä C1 ja vietiin A-vaunun toisten ovien kohdalle käyttämällä C-osan ilmastointijärjestelmän lämpöanturin kaapelia, joka tulee sivukilpikoteloon. Sil-

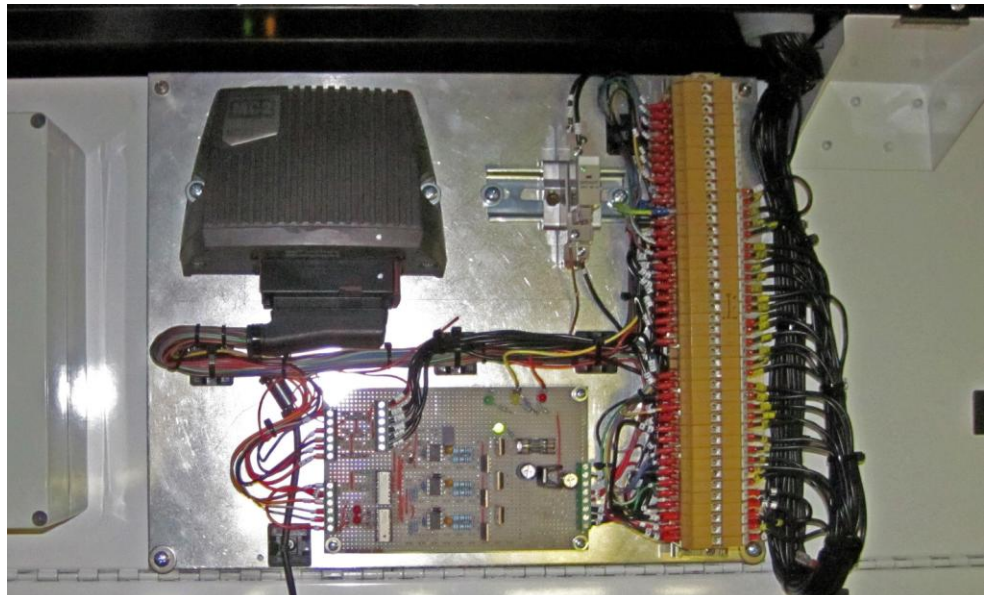
lä saatiin antureiden käyttösähkö tuotua matkustamon läpi. Katolle sähkö saatiin samasta pisteestä lähtevää jäätymissuoja-anturin kaapelia pitkin. Jäätymissuoja-anturin kytkentärasiasta täytyi vielä vetää johto asentoantureiden kytkentärasiaan.

Pellin asentotiedot tuotiin säätölogiikalle alkuperäisen auki-tiedon rajakytkimen johtimia pitkin.

Katolla tehty viimeinen muutostyö oli jarruvastusten yllämpöanturin vaihtaminen kapillaaritermostaattiin, joka kiinnitettiin asennusraudalla (LIITE 33) kotelon kylkeen. Termostaatin kytkintieto syötettiin säätölogiikalle alkuperäisen jarruvastusyllämpöanturin johtimilla.

Matkustamon puolella asennettiin ilmakehään vanhan kanavaylilämpöanturin tilalle samanlainen kapillaaritermostaatti kuin katolle valvomaan kanavaylilämpöä.

Tehtyjen muutostöiden jälkeen asennettiin uusi säätöyksikkö (kuva 20) asennuslevyineen kilpikoteloon, minkä jälkeen kytkettiin riviliittimelle tulevat johdot kiinni.



Kuva 20. Uusi säätö asennettuna pakalleen.

10.1 Käyttöönotto

Kytkenän jälkeen käynnistettiin vaunu ja seurattiin miten järjestelmä toimii. Koska suurempia hälytyksiä ei tullut ja oireita virhekytkennöistä ei ilmennyt, uskallettiin jatkaa järjestelmän toiminnan tutkimista. Ensimmäiset virheet havaittiin heti, kun katsottiin IQANrun-ohjelmalla, miten logiikka toimii. Jarruvastus- ja raitisilmapuhaltimen painevahdit hälyttivät, etteivät puhaltimet olisi pyörineet vaikka ne olivat käynnissä. Tämä näkyi myös kuljettajanpaneelissa molempien puhaltimien vikailmoituksena. Syytä tutkittaessa havaittiin toiminnon olevan päinvastoin kuin oli ajateltu. Painevahdeilla ei ollut jännitettä silloin, kun puhaltimet pyörivät. Tarkoitus kuitenkin oli, että painevahdilla on jännite puhaltimen pyöriessä ja jos se häviää, niin tilanne tulkitaan viaksi 10 s:n jälkeen. Tällä järjestelyllä voidaan paremmin taata suojaus, vaikka johdin menisi poikki. Tilanne saatiin korjattua kytkemällä painevahdeilla johtimet uudelleen siten, että niissä on käytössä kärjet, jotka ovat kiinni silloin, kun on painetta.

Toinen vika, joka havaittiin oli se, että peltimoottori kävi jatkuvasti lyhyitä syklejä. Toimintatilaksi säätö oli valinnut kesän, koska hallissa oli tarpeeksi lämmintä siihen. Kesätilassa pitäisi pellin olla kiinni eikä sitä pitäisi ajaa päätyrajasta ohi. Ilmiötä tutkittaessa havaittiin, että peltimoottori ajoi jatkuvasti saamaan suuntaan rajoista välittämättä. Pelti meni auki ja kiinni moottorin pyöriessä jatkuvasti samaan suuntaan. Todettiin, että oikein säädetyllä vivustolla peltimoottorin akselin on mahdollista pyöriä ympäri ilman, että mikään menee rikki. Syy miksi peltimoottori ei pysähtynyt rajatietoon oli se, että moottori pyöri väärään suuntaan, eikä näin ollen koskaan saanut oikeaa päätyrajatietoa. Korjaukseksi tähän vikaan riitti johtimien kääntäminen pääteasteen riviliittimillä.

Seuraavaksi kokeiltiin kaikki vikatoiminnot tekemällä yksi vika kerrallaan ja katsottiin, oliko toiminta halutun mukaista. Vikatestauksissa ei löytynyt mitään ei toivottuja toimintoja ja kaikki toimi niin kuin oli ajateltu. Päästiin siis jatkamaan järjestelmän kokeilemista kun tiedettiin, että suojaustoiminnot toimisivat.

Testejä jatkettiin ulkona, jotta saataisiin tietää miten lämmitys toimisi. Hallissa oli päästy kokeilemaan vain kesätilan ja vikatilojen toiminta, jotka toimivat oikein. Kesä-/talvitilan vaihtuminen tapahtui riittävän nopeasti, joten ilmanvaihtokanavasta ei puhaltanut kylmää ilmaa tilanvaihtoa odotettaessa. Seu-

raavaksi havaittiin kuitenkin kylmäpuhallussuojan toimivan ei toivotulla tavalla. Vaunun ollessa lämpimämpi kuin asetusarvo, ei matkustamo enää lämmitetä ja lämmityksen ohjaus on kanavan varassa. Kanavan lämpötila pääsi laskemaan liian alas ja matkustamoon puhallettiin aivan liian kylmää ilmaa. Tämä ilmiö johtui siitä, että matkustamo oli reilusti yli asetusarvon sen takia, että vaunu oli ajettu lämpimästä hallista ulos.

Matkustamo halusi sulkea pellin, jottei matkustamo lämpiäisi lisää jarruvastusten tuottamasta lämpimästä ilmasta. Mutta koska vaunulla ei ollut ajettu ja suoritettu jarrutuksia, eivät jarruvastukset todellisuudessa olleet lämpimiä. Ilmiö poistui vaunun matkustamolämpötilan laskettua lähelle asetusarvoa, silloin kylmäpuhallussuoja toimi halutulla tavalla ja esti kanavalämmön laskemisen alle 16 °C:n. Ilmiön syy alkoi vähitellen selvitä, kun vertailtiin tilanteita, missä se ei toiminut ja missä se toimi. Sääto on rakennettu siten, kuten kappaleessa 9.5 on selostettu, että pellin täytyy olla täysin auki ennen kuin voidaan kytkeä lisälämpö päälle.

Silloin, kun matkustamo on liian lämmin, syntyy ristiriitatilanne matkustamon ja kanavan ohjauksen välillä. Matkustamo halusi jäädyttää ja sulkee pellin, jotta lämmintä jarruvastus ilmaa ei tulisi matkustamoon sisälle ja matkustamo jäähtyisi. Kylmäpuhallussuoja pyrkii pitämään kanavan lämpötilan vähintään 16 °C:ssa, jotta matkustusmukavuuden edellytykset täyttyisivät.

Kylmäpuhallussuoja avaa peltiä, mutta koska jarruvastuksilta ei tule lämpöä, täytyy kytkeä lisälämpövastus päälle. Kuten jo edellä todettiin, ennen lisälämpövastuksen päälle kytkemistä täytyy pellin olla täysin auki. Peltiä ajettiin syklittämällä, joten pellin avaaminen kesti niin kauan, että kanava ennätti jäähtyä liian kylmäksi. Ratkaisuksi tähän kokeiltiin syklinajan muuttamista siten, että se avautuu ja sulkeutuu nopeammin. Syklityksen tarkoitus oli alun perin antaa aikaa kanavan lämpötilan tasaantumiselle, jottei peltiä ajettaisi edes takaisin auki ja kiinni. Tilanne parantui, muttei kuitenkaan riittävästi, joten ohjelmaan oli tehtävä muutos. Ohjelmaa muutettiin siten, että kylmäpuhallussuojan saavuttaessa asetusrajansa kytketään lisälämpövastus päälle välittömästi ja avataan peltiä samaan aikaan. Tällä tavalla toteutettuna kylmäpuhallussuoja toimi toivotulla tavalla ja kanavasta ei puhaltanut asetusarvoa kylmempää ilmaa.

10.2 Säädön viritys

Testejä voitiin jatkaa, kun kylmäpuhallussuoja saatiin toimimaan halutulla tavalla. Ovia avattaessa runsaammin laskeutunut lämpötila vaunussa ja se tuntui nousevan takaisin asetusarvoonsa laiskan oloisesti. Pääteltiin, että säätökäyrää täytyi muuttaa jyrkemmäksi, jotta se lämmittäisi vaunua nopeammin. Säättökäyrän keskipisteen nostaminen jyrkensi käyrää ja vaunu lämpeni nopeammin asetettuun arvoonsa 18 °C:seen. Säättökäyrän jyrkkyyden muutos on sama asia kuin säädön vahvistuksen muuttaminen, jota on käsitelty teoriaosuudessa luvussa 4. Säättökäyrää muuteltiin jotta saataisiin selville milloin se olisi parhaimmillaan. Varsinaista säädön värähtelyyn (Ziegler-Nicholsin värähtelymenetelmä) perustuvaa viritystä ei pystytty suorittamaan, koska selvää värähtelyä ei saatu aikaan, vaikka vahvistusta kasvatettiin voimakkaasti. Mahdollisesti säännöllinen värähtelykuvio olisi voinut näkyä tehtäessä riittävän pitkän ajan mittaus vaunun lämpötilasta. Viritys perustui enemmän aistin havaintoihin ja mitattuun matkustamon lämpötilaan, joka vahvistusta lisäämällä lähti nousemaan reilusti yli asetusarvon. Kanavasta puhallettava ilma tuntui liian lämpimältä ja matkustamoon tuli lämpimän ilman kerrostumia. Säättökäyrä (LIITE 17) viritettiin sellaiseksi, että se kykeni lämmittämään matkustamon riittävän nopeasti tavoitelämpötilaan menemättä kuitenkaan paljoa yli asetellun.

Säättökäyrän asettelun jälkeen kokeiltiin, kuinka hyvin se toimii, jos tavoitelämpötilaa nostetaan tai lasketaan. 17 °C:ssa ei toiminnassa ollut mitään eroa, joten lämpötila nostettiin 20 °C:seen, jonka säätö pystyi pitämään erittäin hyvin. Tavoitelämpötila asetettiin 25 °C:seen ja katsottiin, pystyykö säätökäyrä antama ohje pitämään lämpötilan asetetussa. Lämpötila nousi hyvällä nopeudella 24 °C:seen, minkä jälkeen nousu hidastui selvästi ja tavoitteen saavuttaminen kesti kauemmin kuin edellisissä mittauksissa. Nousun nopeuttamiseksi nostettiin säätökäyrän alarajan prosenttia muutamalla yksiköllä, jotta kanavan lämpötila ei laskisi niin alas, jolloin se lämmittää matkustamoja enemmän. Tämä koe osoitti, että säätökäyrästä pitäisi olla jyrkempi, jos haluttaisiin lämmittää matkustamoja vielä lämpimämmäksi. Vahvistus tälle saatiin asettamalla lämpötila pyynti 27 °C:seen, johon lämpötilan nouseminen kesti todella kauan. Säätö toimi kuitenkin tavoitellulla lämpötila-alueella riittävän hyvin, joten vaunulla voitiin lähteä ajamaan, jotta nähtäisiin kuinka säätö toimii ajossa.

Koeajossa matkustamon lämpötila pysyi asetelluissa rajoissa ja säätö käytti jarruvastuksien tuottamaa lämpöä lämmitykseen erittäin hyvin eikä lisälämpöä juurikaan tarvittu. Voimakkailla jarrutuksilla nostettiin jarruvastukset huomattavan kuumiksi ja katsottiin miten säätö reagoi, kun kanavaan tulee erittäin lämmintä jarruvastusilmaa. Säätö pystyi pitämään kanavalämpötilan säätökäyrän määräämässä arvossa ajamalla peltiä auki kanavan jäähtyessä ja kiinni lämpötilan kohotessa. Aistinvaraisesti havainnoituna ja mittauksilla voitiin todeta matkustamon lämpötilan olevan miellyttävä ja pysyvän asteen osien tarkkuudella asetellussa.

10.3 Vikatilanteiden testaus

Ennen varsinaisia mittauksia kokeiltiin vielä, miten lämmitys toimii vikatilanteissa ja toimivatko korvaavat toiminnot oikein. Ulkolämpötila-anturin vika ei luonnollisestikaan muuttanut toimintaa, koska toimintatilana oli jo talvi. Säätö ilmoitti toimintahäiriöstä keltaisella ledillä ja siirtyi pakotettuun tavitilaan. Matkustamon lämpöanturin vika indikoitiin myös toimintahäiriönä ja ohjaus siirtyi kanavalle, jonka lämpötila sai vaihdella 14 ja 22 °C:n välillä. Tällä ohjauksella matkustamon lämpötila alkoi hitaasti laskea. Jos ovia olisi availtu normaaliin tapaan kuten linjaliikenteessä tehdään, ei lämmitys olisi riittänyt alkuunkaan. Sen takia piti asetusarvoja nostaa ja uusiksi rajoiksi tuli 16 - 26 °C. Kanava-anturiviassa ohjaus on matkustamolla, joka pyytää lämpöä kun se alittaa asetusarvonsa ja lopettaa lämmön pyynnin matkustamon saavutettua asetusarvonsa. Koska ei tiedetä kanavan lämpötilaa, ei turvallisuussyistä voida lisälämpövastuksella lämmittää niin pitkään, kunnes saavutettaisiin asetteluarvo. Lisälämmön päällä oloaika on rajoitettu. Alkuun asetus oli 30 s päällä ja saman verran pois, mutta silloin kanavasta ei tullut tarpeeksi lämmitä ilmaa, jotta matkustamo olisi lämmennyt pyynnin ollessa aktiivinen. Aikaa jouduttiin muuttamaan siten, että lisälämpö oli päällä 40 s ja pois 20 s. Aikaa muuttamalla saatiin kanavasta tuleva ilma niin lämpimäksi, että se pystyi nostamaan matkustamon lämpötilaa.

Viimeinen testi ennen mittauksia oli ylälämpösuojien toiminnan testaus. Vauvu oli testin aikana hallissa sisällä, jotta lämpötila nousisi kanavassa nopeammin ja korkeammalle kuin mihin ulkona päästäisiin. Säätö huijattiin talvitilaan kytkemällä ulkolämpöanturi irti, jotta päästiin näkemään kuinka säätö toimisi kanavaylilämpötestissä. Lisälämpövastuksen kontaktori pakko-ohjattiin päälle ja tarkkailtiin kanavan lämpötilan nousua. Lämpötilan nous-

nessa kanavassa 65 °C:n säätö pakko-ohjasi pellin kiinni ja kytki lisälämmön pois, lisäksi annettiin häiriöilmoitus. Koska kontaktori oli pakotettu päälle, jatkoi lämpötila nousemistaan ja 80 °C:n kohdalla säätö antoi yllämpöhälytyksen kuljettajan paneeliin. Hetkeä myöhemmin lämpötilan noustua 83 °C:seen avautuivat kapillaaritermostaatin kärjet katkaisten lisälämpökontaktorin virtapiirin. Suojaukset olivat toimineet odotetulla tavalla ja riittävällä tarkkuudella. Testi kesti noin 20 minuuttia, jonka aikana matkustamon lämpötila oli kohonnut 46 °C:seen. Nousuajasta ja huippulämpötilasta voitiin päätellä, ettei 18 kW:n lämmitysteho ollut mitenkään tavattoman suuri teho vaunun lämmitykseen. Siitä johtuen ei kaikkein kylmimmillä ilmoilla vaunu välttämättä lämpe ne riittävästi pelkällä lisälämpövastuksella. Toisaalta vikatilanteissa ei yllämmön seurauksena tapahdu hetkessä mitään vaurioita.

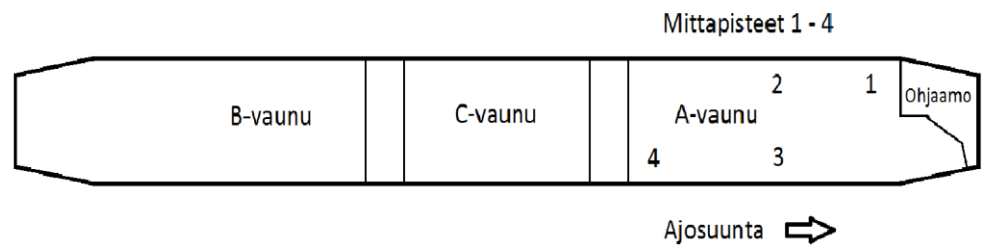
Jarruvastusten yllämpötermostaatti testattiin lämmittämällä kuumailmapuhaltimella se noin 150 °C:seen. Kyseinen toimenpide aiheutti hälytyksen kuljettajanpaneeliin, lisäksi ohjaamossa oleva summeri soi niin kauan kun oltiin yllämpötermostaatin hystereesialueella. Suojaustoiminnot toimivat halutulla tavalla ja rekisteröityivät säädön vikalokiin.

10.4 Matkustamon lämpötilamittaukset

Järjestelmä näytti toimivan testien ja säätämisten jälkeen suunnitellusti, joten sen lopullista toimivuutta voitiin alkaa mitata. Käytännön mittaukset toteutettiin mittapisteiden osalta samalla tavalla kuin vaunun valmistajan käyttöön-otossa oli tehty. Mittapisteitä oli neljä kappaletta, jotka sijaitsivat lattiatasosta 1,5 metrin korkeudella (kuva 21). Ensimmäinen oli ohjaamon takana, toinen katkojatuulettimen imuilmanaukossa, kolmas puolella välissä matkustamoa ja viimeinen mittapiste oli kakkosovien jälkeisellä istumapaikalla. Mittareina käytettiin Fluken 189 -yleismittareita termomittapäillä varustettuina. Näillä mittareilla pystyttiin mittaamaan ja tallentamaan lämpötilatietoja asetellun näytteenottovälin mukaan.

Kokeiden suoritusajankohtana ulkona vallitsi normaali kuiva pakkasilma, lämpötilan ollessa -3 °C. Mittauksia tehtiin kolme, joista ensimmäisessä mitattiin mihin lämpötilaan vaunu oli asettunut seistytään pihalla reilusti yli tunnin ja lämmityksen ollessa ainoastaan lisälämpövastuksen varassa. Toisessa mittauksessa vaunulla ajettiin keskimääräistä linja-ajoa ja pysähdyttiin hetkeksi pysäkeille, mutta ovia ei avattu. Viimeisessä kokeessa ajettiin sa-

maa keskimääräistä linja-ajoa, mutta joka pysäkillä ovet avattiin noin 10 - 15 s:n ajaksi, jotta saatiin matkustajien vaunuun nousu ja poistuminen simuloitua. Kokeet suoritettiin myöhään illalla, koska hiljaisen liikenteen aikana oli mahdollista ajaa riittävän rauhallisesti ja pysähtyä pysäkeille ilman, että se häiritäisi muuta liikennettä. Mittauksista piirrettiin kuvaajat (LIITEET 34 - 36), joista nähdään miten lämpötila muuttuu eri tilanteissa.



Kuva 21. Mittapisteiden sijainti vaunussa.

10.4.1 Lämpötilan mittaus vaunu paikallaan

Ensimmäisessä mittauksessa vaunu oli paikallaan ja lämpötila oli nostettu asetettua 18 °C:ta korkeampaan lämpötilaan, jotta vaunussa oli mukavampi työskennellä valmisteltaessa mittauksia. Tuloksista nähdään, että lämpötila pysyy vakaasti asetellussa. Ylä- ja alaritilän kuvaajissa näkyy tyypillinen kaksipistesäädön ”sahasliike”.

10.4.2 Lämpötilan mittaus vaunu ajossa

Toisessa kokeessa, jossa vaunulla ajettiin ovia avaamatta, pysyi lämpötila myös vakaana. Lievää lämpötilan laskua oli havaittavissa mittauksen alussa, koska lämpötila säädettiin takaisin 18 °C:seen. Jarruvastusten tuottama lämpö näkyy vähäisenä lämpötilan elämisenä.

10.4.3 Lämpötilan mittaus vaunu ajossa, ovia avaten

Kolmannessa kokeessa, jossa ovia avattiin matkustajien vaunuun nousua ja poistumista jäljitellen, on kuvaajissa nähtävissä selkeitä lämpötilan muutoksia. Lämpötila laskee hetkellisesti matkustamoon tulevan kylmän ilman seurauksena ja palaa jälleen asetettuun arvoonsa. Mittapisteen sijainnista riippuu, kuinka paljon lämpötila muuttuu ovien ollessa auki. Kanavan puhalta-

masta ilmasta tehtiin mittaukset myös ajon aikana. Niissä näkyy edelleen sahausliike, mutta se ei ole enää niin säännöllinen kuin pelkällä lisälämpövastuksella lämmitettäessä.

10.4.4 Mittaukseen vaikuttavat tekijät

Mittausten yhteydessä havaittiin, että C-vaunun lämmitys sotki jonkin verran neljännen mittapisteen tuloksia nostamalla mitattua lämpötilaa. C-vaunussa lämpötila oli asetusarvoa huomattavasti korkeammalla noin 23 °C, johtuen C-vaunun säätöyksikön epätäsmällisestä toiminnasta. Mittausten ja kokeiden jälkeen vaunu luovutettiin katsastukseen ja edelleen liikenteen käyttöön.

11 KUSTANNUSLASKENTA

Kustannuslaskelman tarkoituksena on antaa kokonaiskuva paljonko prototyypin kehittäminen tuli maksamaan. Prototyypin kehittämisen tarkkaa kustannusta oli vaikea laskea, koska osa tarvikkeista löytyi jo valmiiksi. Suurimmat hankintakustannukset tulivat säätöön tarvitusta logiikasta sekä pääteasteen komponenteista. Loput osat olivat varastotavaraa, joita menee vaunuihin korjaus ja huoltotoimien yhteydessä. Osa tarvikkeista oli pelkästään lainassa prototyypin kehittämisen ajan. Taulukosta 2 selviää, että palkkakulut näyttävät erittäin suurta osaa kehityskuluissa. Mittausajoissa on huomioitu ylityöt suoraan tehtyihin tunteihin. Palkkakuluissa täytyi ottaa huomioon myös palkansivukulut, jotka huomioiden antavat todellisen työnantajalle koituneen kulun. Palkansivukuluna käytettiin laskenta-arvoa 11,80€/h, joka on ehkä hieman yläkanttiin kunta-alaa ajatellen. [22.]

Taulukko 2. Prototyypin kustannukset

Prototyypin kustannukset			
Nimike	Määrä/laatu	Yksikköhinta/€	Yhteensä €
IQAN MC2	1	727,30	727,30
Pääteasteen komponentit	2	74,47	148,94
Induktiivisetanturit	4	23,45	93,80
Sunnittelu (h)	22,17	16,79	372,23
Asennus (h)	17,78	16,79	298,53
Käyttöönotto (h)	31,25	16,79	524,69
Mittausajot/kaksi henkilöä (h)	33,14	16,79	556,42
Palkansivukulut €/h	104,34	11,80	1231,21
Kokonaiskustannus			3953,12 €

Taulukossa 3 on esitetty kustannusarvio, jos järjestelmä otetaan käyttöön II-sarjan vaunuissa. Arvioon on laskettu mukaan prototyypin kehittämisestä aiheutuneet kulut ja ne on jaettu kaikkien 42 vaunun kesken. Laskelmassa ei ole otettu huomioon vaunun seisontapäiviä, koska oletuksena on, että muutos tehdään jonkun toisen työn yhteydessä. Laskelmassa on esitetty erillisinä pääteasteen tilausmäärän vaikutus hintaan. Siitä voidaan päätellä, että tarvittavat komponentit kannattaa tilata kerralla. Pääteasteen komponenttien hinnat ovat listahintoja yksittäin ostettuna, joten niiden aiheuttama kustannus alenee hankittaessa komponentit kerralla. Tarvittavien työtuntien määrä on arvio kahden asentajan työtunneista ja se sisältää asennukseen sekä testaamiseen tarvittavan ajan.

Taulukko 3. Kustannusarvio 10 ja 42 vaunun sarjoille

Kustannusarvio 10 ja 42 vaunun sarjoille.			
Nimike	Määrä/laatu	Yksikköhinta/€	Yhteensä €
IQAN MC2	2	727,30	1454,60
Pääteaste 20 kpl	2	57,34	114,68
Pääteaste 100 kpl	2	52,32	104,64
Induktiivisetanturit	4	23,45	93,80
Trafag termostaatti	4	124,00	496,00
Tarvikkeet/materiaalit	1	25,00	25,00
Asennus (h)	36,76	16,79	617,20
Palkansivukulut €/h	36,76	11,80	433,77
Prototyypin kustannukset 10 vaunulle	1	395,32	395,32
Prototyypin kustannukset 42 vaunulle	1	94,12	94,12
Yhden vaunun hinta, jos tehdään 10 vaunua			3630,37
Yhden vaunun hinta, jos tehdään 42 vaunua			3319,13

12 YHTEENVETO, POHDINTA JA JATKOSUUNNITELMAT

12.1 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin eri lämmityksen ohjausyksiköiden soveltuvuutta raitiovaunukäyttöön. Vanhan järjestelmän toiminnan ja ongelmakohtien pohjalta lähdettiin etsimään soveltuvaa säätöyksikköä, jonka ympärille rakentaa säätöjärjestelmä. Työn tilaaja oli määritellyt tärkeimmät lähtökohdat korvaavan laitteen ominaisuuksiksi. Lisäksi laitevalintaa tehtäessä olivat ohjaavina tekijöinä standardit EN 50155 ja EN 14750-1, jotka määrittävät kiskokaluston elektronisten laitteiden käytön ja ilmanvaihtojärjestelmän vaatimukset. Työn tilaaja ei kuitenkaan suoraan edellyttänyt kyseisten standardien käyttämistä laitevalinnoissa ja suunnittelussa. Teoriaosuudessa perehdyttiin yleisimpiin säädinmalleihin, sekä lämpöviihtyvyyteen ja lämpöolosuhteisiin, jotka tuli ottaa huomioon säätöä rakennettaessa.

Selvitystyön tuloksena suoritettiin laitevalinta, jonka pohjalta lähdettiin rakentamaan prototyyppiä. Ennen prototyypin rakentamista oli selvitetty halutut toiminnot ja aiotut parannukset, joita lähteä uudella säädöllä tavoittelemaan. Tavoitteet ja parannukset oli pystyttävä rakentamaan prototyypissä toimivaksi kokonaisuudeksi. Prototyypin rakentamisessa vaikein vaihe oli vanhojen komponenttien sovittaminen uuteen järjestelmään. Kaikkein haastavinta oli peltimoottorin ohjaaminen valitulla MC2-logiikalla. Koska tilaajan toive oli vanhojen komponenttien mahdollisimman suuri hyväksikäyttö, ei pelkkä uuden moottorin valitseminen tullut kysymykseen, vaan täytyi kehittää ratkaisu moottorin ohjaamiseksi. Rakennetulla moottorinohjain pääteasteella voitiin toteuttaa vaatimukset muidenkin vanhojen komponenttien käyttämisestä sijoittamalla niiden tarvitsemat oheiskomponentit samalle piirilevyille.

Prototyyppi rakennettiin vastaamaan täysin vaunuun aiottua kytkentää, jotta saatiin riittävät testaustulokset toiminnasta. Tulosten perusteella työn tilaaja myönsi luvan järjestelmän vaunuun asentamiseksi.

Työn lopputuloksena saatiin matkustamon lämmitykseen soveltuva säätöjärjestelmä. Siinä on parannetut turvatoiminnot ja nopeasti muutoksiin reagoiva säätö, millä saavutetaan parempi lämpömukavuus. Säätöjärjestelmä pitää matkustamon lämpötilan asetellussa arvossa normaaleissa käyttötilanteissa. Säätöjärjestelmä on tätä kirjoitettaessa koekäytössä vaunussa 103 ja vaunu

on päivittäisessä liikenteessä eikä sen toiminnassa ole toistaiseksi ilmentynyt ongelmia.

12.2 Pohdinta

Työssä onnistuttiin hyvin, asetetut tavoitteet uuden säädön löytämiseksi ja säädön toiminnan parantamiseksi täyttyivät. Samoin prototyyppi ja vaunuun asennettu testiversio toimivat odotetulla tavalla. Mittaustulokset ja aistinhavainnot matkustamon lämpöoloista tukevat tätä. Tilaajan asettamiin vaatimuksiin ja pyyntöihin pystyttiin vastaamaan, muun muassa vanhojen toimivien komponenttien käyttämisestä järjestelmässä. Näiden tulosten pohjalta ja testijakson jälkeen on tilaajalla riittävät tiedot päätöksentekoon: otetaanko järjestelmä käyttöön ja aloitetaan sarjavalmistus sekä vaunuihin asennus, vai tehdäänkö järjestelmään muutoksia tai etsitäänkö jokin toinen ratkaisu.

Lämmönsäätöön olisi voitu käyttää jonkin toisen valmistajan logiikkaa, joka olisi voinut olla hinnaltaan edullisempi ja ohjelmoitavissa standardikielellä. Lämmönsäätö olisi myös voitu rakentaa käyttäen erillistä säädintä ja tehdä tarvittavat ehdot erillisillä komponenteilla. Sillä toteutuksella muunneltavuus ja monipuolisuus eivät kuitenkaan olisi olleet samaa luokkaa kuin nyt kehitetyssä. Kokonaisuuden kannalta oli työn tilaajan tekemä päätös jo käytössä olevan logiikan käyttämisestä täysin oikea. Päätöksen myötä varastonimikkeiden määrä ei lisääntynyt ja selvittää yksillä ohjelmistoilla. Henkilöstöä ei tarvitse kouluttaa kuin yhdenlaiseen ohjelmaympäristöön. Kehitetyn säätöjärjestelmän käyttövarmuus on huomattavasti parempi jo tarkasteltaessa pelkästään komponenttien toimintavarmuutta. Lisäksi järjestelmän vikatilanteiden varalle tehdyt korvaavat toiminnot vähentävät vaunun turhaa linjalta poistuloa vähäpätöisissä vikatilanteissa. Kuljettajan paneeliin tulevat muutostyöt parantavat tilannetta entisestään, kun häiriöille ja vioille saadaan omat hälytyskenttänsä.

12.3 Jatkosuunnitelmat

Säätöjärjestelmää tullaan jatkossa kehittämään kokeilujakson aikana saadun tiedon perusteella, jos sille ilmenee tarvetta.

Seuraavanlaisia muutoksia tullaan kokeilemaan joka tapauksessa ennen varsinaisen sarjatuotannon käynnistystä. Lämmönsäätökäyrää tullaan muuttamaan siten, että sen jyrkkyys on riippuvainen ulkolämpötilasta. Ajatuksena on muuttaa säätökäyrän keskipistettä ulkolämpötilan muutoksen suhteen. Näin menetellen pyritään varmistamaan, että kaikkein kylmimmilläkin ilmoilla matkustamo varmasti lämpenee riittävästi ja riittävän nopeasti.

Vikalokista pyritään kehittämään mahdollisimman monipuolinen, jotta se tulisi palvelemaan huoltoa mahdollisimman hyvin. IQANrun-ohjelma tullaan räätälöimään huollon tarpeita vastaavaksi. Ohjelmasta tehdään eritasoisia versioita käyttötarpeiden mukaan. Jotta riski väärin toimintojen toteuttamiseksi vähenisi, ei kaikilla tasoilla ole oikeuksia muuttaa järjestelmän asetuksia.

Järjestelmää tullaan mahdollisesti käyttämään myös I-sarjan nivelraitiovau-
nuissa korvaamaan vaunun alkuperäinen kaasukapillaaritermostaateilla toteutettu lämmönsäätöjärjestelmä. I-sarjan säätöjärjestelmään ei löydy enää varaosia, joten sen uusiminen tulee ajankohtaiseksi lähiaikoina. I- ja II-sarjan vaunujen lämmitysjärjestelmän komponentit olisivat vaihtokelpoisia keskenään, jos molemmissa vaunusarjoissa käytettäisiin samaa järjestelmää.

VIITELUETTELO

- [1] HKL verkkosivu, *Tietoja HKL:stä* [verkkosivusto, viitattu 30.3.2011]. Saatavissa: http://www.hel.fi/hki/hkl/fi/Tietoja+HKL_sta
- [2] HKL verkkosivu, *HKL-Raitoliikenne* [verkkosivusto, viitattu 30.3.2011] Saatavissa: <http://www.hel.fi/hki/hkl/fi/HKL-Raitoliikenne>
- [3] HKL verkkosivu, *HKL-Raitoliikenne* [verkkosivusto, viitattu 30.3.2011] Saatavissa: <http://www.hel.fi/hki/hkl/fi/HKL-Raitoliikenne/Kalusto>
- [4] HKL-Raitoliikenne, *Sporatop* [vikatietokanta, viitattu 4.8.2010], HKL-Raitoliikenne intranet.
- [5] NR II Korjaamokirja, *Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet*. Valmet Oy Tampereen Tehdas. 1983.
- [6] *DS 2.3.*, esite. Satchwell. Heinäkuu 1979.
- [7] *Industrial Controls Catalog*. Siemens Energy & Automation, Inc. Siemens 2010.
- [8] Seppänen, Olli, *Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto*. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy. 1996.
- [9] Kara, Reijo - Virtanen Reijo, *Sähkölämmityksen käsikirja*. Espoo: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry. 1988.
- [10] Seppänen, Olli, ym. *Ilmastoinnin suunnittelu*. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy. 2004.
- [11] *EN 14750-1*, SIS. juni 2006. Railway applications - Air conditioning for urban and suburban rolling stock- Part 1: Comfort parameters
- [12] Savolainen, Jari - Vaittinen, Reijo, *Säätötekniikan perusteita*. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy. 2003.
- [13] Kippo, Asko K. - Tikka Aimo, *Automaatiotekniikan perusteet*. Helsinki: Edita Prima Oy. 2008.
- [14] Piikkilä, Veijo, ym. *Rakennusautomaatiojärjestelmät*. ST-Käsikirja 17. Espoo: Sähkötieto ry. Tammer-Paino Oy. 2001.
- [15] *EN 50155*, CENELEC 2001. Railway applications - Electronic equipment used on rolling stock
- [16] Satchwe II Product Catalogue - Stand-alone Controllers - Room reset controller [verkkoluettelo, viitattu 16.11.2010]. Saatavissa: <http://www.tac.com/data/internal/data/07/02/1211998265925/Satchwell+Product+Catalog.pdf>
- [17] *Industrial Automation -opas 2008*. Omron. 2008.
- [18] *I/A SERIES® MICRONET MN 500-SÄÄTIMET*. Atmostech Oy. 2000.

- [19] Siivon, Markku, *Teollisuuden instrumentointi*. Helsinki: AEL. 1995.
- [20] Parker verkkosivu, *Parker Hannifin tietoja yhtiöstä* [verkkosivu, viitattu 30.4.2011]. Saatavissa: <http://www.parker.com/portal>
- [19] Locomec verkkosivu, *Parker Hannifin -konserni* [verkkosivu, viitattu 30.4.2011]. Saatavissa <http://www.locomec.fi/konserni.html>
- [21] *IQAN-MC2 Instruction book*, ParkerHannifin, 2007.
- [22] *IQAN-design User manual version 2.08*, ParkerHannifin, 2011.
- [23] Saukkonen Seppo, *Tehdyn työtunnin hinta 29 euroa* [verkkoartikkeli]. 12.6.2009 [viitattu 25.4.2011]. Saatavissa: <http://ek.ip-finland.com/www/fi/tyoelama/palkat>.

LIITELUETTELO

LIITE1	Piirustus 7R1036000L
LIITE 2	Piirustus 7R1036000
LIITE 3	Piirustus 1R1036660
LIITE 4	Piirustus 1R1053020
LIITE 5	Piirustus 2R1053240
LIITE 6	Piirustus 2R1037620
LIITE 7	Piirustus 3R1051110C
LIITE 8	Peltimoottori Johnson Controls
LIITE 9	Omron induktiivinen anturi E2A3
LIITE 10	IQANdesign 2.08 ohjelman näkymä
LIITE11	Lisälämpövastusmittaus sisällä
LIITE 12	Lisälämpövastusmittaus ulkona
LIITE 13	Jarruvastusten lämmöntuottomittaus
LIITE 14	Lämpöantureiden sovituskäyrät
LIITE 15	Peltimoottorin päätteeseen kytkentäkaavio
LIITE 16	Peltimoottorin päätteeseen osaluettelo
LIITE 17	Säätökäyrästä
LIITE 18	Lämmönsäätölohkot
LIITE 19	Lämpöantureiden luku
LIITE 20	Kesä/talvi toiminnon valinta ja puhaltimen sekä jäähdytysluvan ohjaus
LIITE 21	Peltimoottorin ja lisälämpökontaktorin ohjaus
LIITE 22	Lämmönsäätö
LIITE 23	Vikatilanteiden valvonta

- LIITE 24 IQAN MC2 lämmityksensäädön vikatilannetaulukko
- LIITE 25 Uuden lämmönsäädön toimintakaavio
- LIITE 26 Johdotustaulukko
- LIITE 27 A-vaunun lämmitys ja ilmanvaihto, piirikaavio (3R1051110A) IQAN MC2
- LIITE 28 A-vaunun lämmitys ja ilmanvaihto, piirikaavio (3R10511308) IQAN MC2
- LIITE 29 A-vaunun lämmitys ja ilmanvaihto, piirikaavio 3R1051110A
- LIITE 30 A-vaunun lämmitys ja ilmanvaihto, piirikaavio 3R10511308
- LIITE 31 A-vaunun lämmitys ja ilmanvaihto, piirikaavio 600 V 3R1051131B
- LIITE 32 Asennuspelti induktiiviselle antureille
- LIITE 33 Asennuspelti kaasukapillaaritermostaatti
- LIITE 34 Lämpötilan mittaus vaunu paikallaan
- LIITE 35 Lämpötilan mittaus vaunu ajossa, ei ovien avausta
- LIITE 36 Lämpötilan mittaus vaunu ajossa, ovien aukaisulla

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

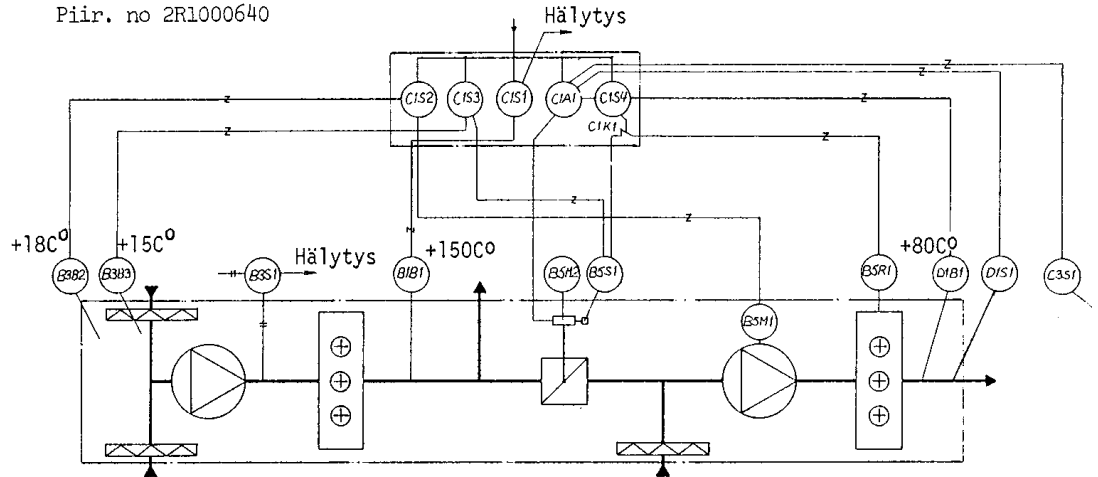
1984-06-11

Sivu 3

KORJAAMOKIRJA

LÄMMÖNSÄÄDÖN TOIMINTAKAAVIO

Piir. no 2R1000640



RAITISILMAKANAVAT, OSALUETTELO

Piir. no 7R1036000L (A-vaunu)

Viite	Piir. no	Tavaran nimi	kpl
1	7R1036020	Ilmakanavat välikatossa	1
2	1R1032570	Kansi	1
3	1R1032510	Kansi	1
4	2R1032560	Kansi	4
5	2R1036630	Ilmasäleikkö	1
6	3R1036650	Ilmasäleikkö	1
7	2R1036640	Ilmasäleikkö	1
8	1R1601000	Ilmanohjain	1
9	2R1036720	Ilmakanava	1
10	2R1036700	Palje	1
10/1	3R1036620	Laippa	1
10/2	4R1036730	Laippa	1
10/3		Messinkilanka 3 Ms 63 35-kova l=1090	1
10/4		Putki 5x1 Cu-DHP-04 SFS 2250 l=30	1
10/5		Nailo-peite lev. 1,7 Tampella	1
11		Säätösäleikkö	1
12		Ilmanvaihtokanava	1
13	4R1036780	Palje	1
13/1	4R1036730	Laippa	2
13/2		Nailo-peite Tampella	1
14	2R1036770	Suojus	1
15	4R1036690	Riviliitin	1
16	2R1036760	Suojus	1
18		Lisälämmitysvastus B3R1	1
19		Jarru- ja maadoitusvastus B1R1-R2	1
20		Verkkokuristin B1L1	1
21		Maasulkurele B1F1	1
22		Verkkodiodi B1V1	1

Jatkuu sivulla 4

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

1984-06-12

Sivu 4

KORJAAMOKIRJA

RAITISILMAKANAVAT, OSALUETTELO (alkuosa s. 3)

Piir. no 7R1036000L (A-vaunu)

Viite	Piir. no	Tavaran nimi	kpl
23		Puhallin Koja	1
24		Puhallin Koja	1
26		Ilmansuodatin Pliotron HD 24x245x245	1
27		Ilmansuodatin Pliotron HD 24x245x500	3
28		Kiristyssalpa Widney 403A	5
29		Peltimoottori AX 2701	1
30		Moottorin kulmahylly 1401	1
31		Moottorin vipu CA 31	1
32		Joustinvarsi S 500/10	1
33		Kuulanivel SK10	2
34		Pellinvipu Regin A12	1
35		Muoviletku 4x6 kirkas	1
37		Kanava-anturi ETF 0222	2
38		Kanava-anturin laippa L 1625	3
39		Kanava-anturi ETF 0211	1
40		Paine-erokytkin LGW 3	1
41		Salpa palokitti n.o 7 purso	
42		6-ruuvi M8x25 m8.8 SFS 2064 Zne	32
43		Lukitusmutteri NM8 DIN 980 Zne	24
44		6-ruuvi M5x12 m8.8 SFS 2064 Zne	28
45		Jousialuslevy M5 TES 212-38 Zne	22
46		6-ruuvi M6x10 m8.8 SFS 2064 Zne	12
47		Jousialuslevy M6 TES 212-38 Zne	36
48		6-ruuvi M6x16 m8.8 SFS 2064 Zne	24
49		Sokkon. POP-TLP/D/BS 630 4.8x7.6	20
50		Uppokr. M3x12 SFS 2977-4.8 Zne	4
51		6-mutteri M3 m8.8 SFS 2064 Zne	10
52		Jousialuslevy M3 TES 212-38 Zne	6
53		Uppokr. ruuvi M3x25 SFS 2977-4.8 Zne	2
54		Täptiteruuvi M6 SF-TT M5x16	14
56		6-ruuvi M10x20 m8.8 SFS 2064 Zne	20
58		Jousialuslevy M10 TES 212-38 Zne	20
59		Holkkitiiviste P9	1
60		Vastamutteri P9	1
61		6-ruuvi M8x20 m8.8 SFS 2064 Zne	4
62		Jousialuslevy M8 TES 212-38 Zne	12
63		Vastus GWS 500 SS AC/D Leim. 600V	2
64		Vastus GBS 45/370 Leim. 600V	4
65		Etuvastus RRYB 227	1
66		Etuvastus RRYB 227	1
67	3R1036790	Vastustuki	1
68	3R1036800	Vastustuki	1
71		Levyruuvi AB 4,8x13 SFS 2759 28 Zne	20
74		Lukitusmutteri NM5 DIN 980 Zne	4
75		6-ruuvi M12x30 m8.8 SFS 2064 Zne	4
76		Lukitusmutteri NM12 DIN 980 Zne	4
77	2R1036870	Väliseinä	1
78	3R1036910	Vastustuki	1
79	3R1036920	Vastustuki	1
80		Peltimoottorin lisäkytkin S1207	1
81		Tiivistenauha 6x15 Tesamol 761	1
82		Venttiilisuoja	1
83		Rengassokka W93/D	24
84		Kiinn.korvake FORM A401547 DN 104	4
85		Kiinn.korvake FORM A401547 DN 104	8
86		Ketju jäähd. verhoon L= 0,125	25
87		6-ruuvi M6x25 m8.8 SFS 2064 Zn A2	18
88		6-ruuvi M6x45 m8.8 SFS 2063 Zn A2	2
89		Lukitusmutteri NM6 DIN 980 Zn A2	18
90		Putki 13,5x2,9 DIN 2448 3t 35 L=15	2
91	4R1036930	Korvake	1
92	4R1036940	Korvake	1
93		Neopreenisoluk.nauha Listex 3x8 mm	1

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

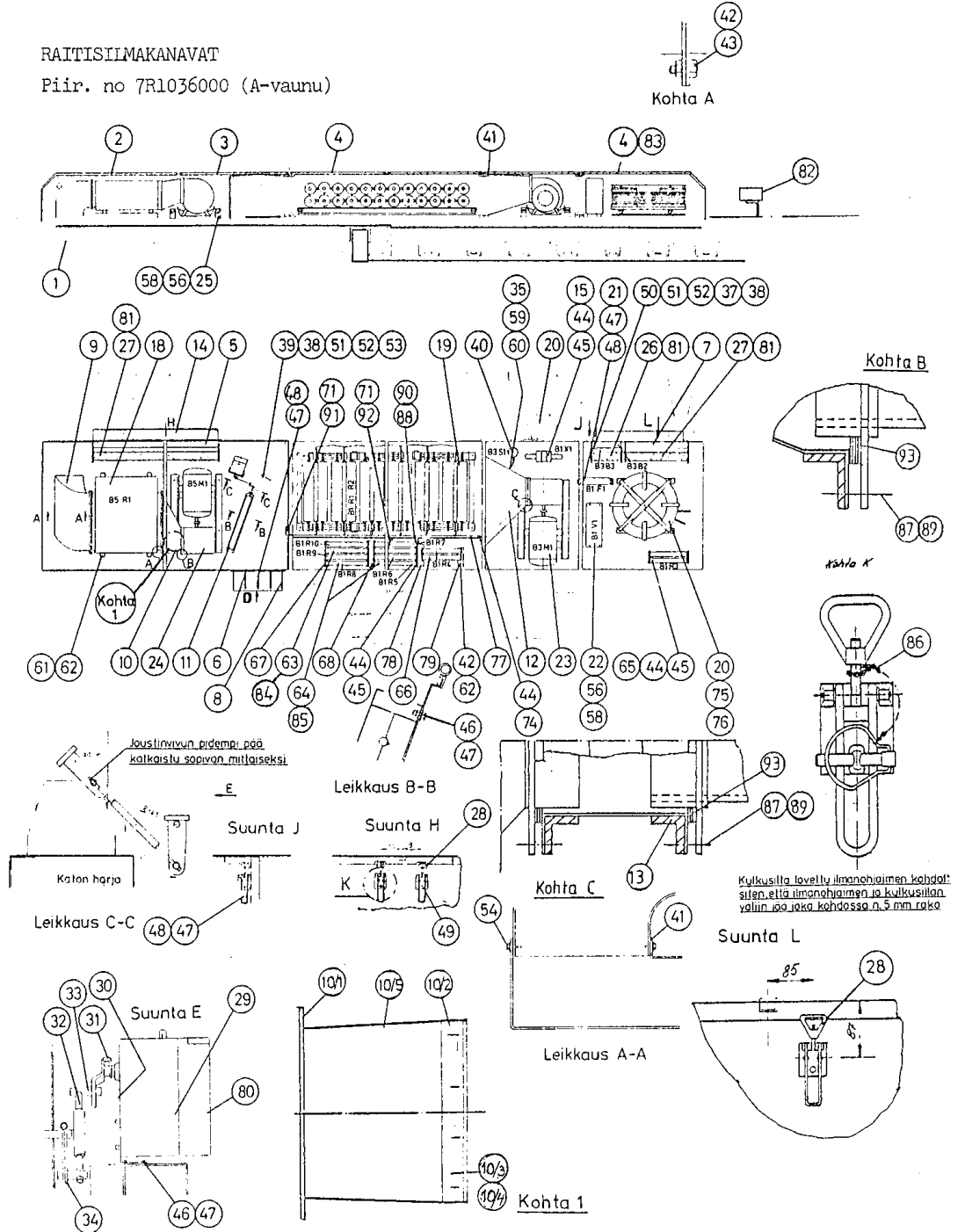
LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

1984-06-11

Sivu 5

KORJAAMOKIRJA

RAITISILMAKANAVAT
Piir. no 7R1036000 (A-vaunu)



VALMET OY
Tampereen Tehdas

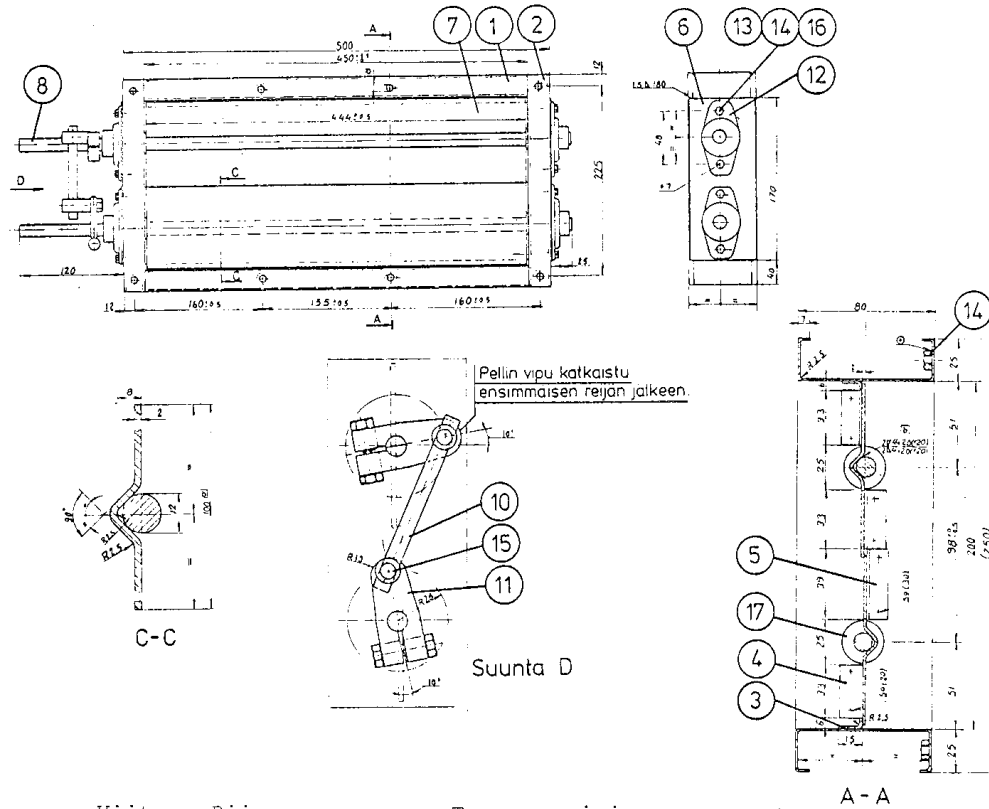
Nivelraitiovaunu Nr II
LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET
1983-05-02

Sivu 6

KORJAAMOKIRJA

SÄÄTÖSÄLEIKKÖ

Piir. no 1R1036660



Viite	Piir.no	Tavaran nimi	kpl
1		Levy	2
2		Levy	2
3		Levy	2
4		Levy	6
5		Levy	2
6		Levy	2
7		Levy	2
8		Pyörötanko 12h 11x645 Fe 37 k	2
9			
10		Pyörötanko 10h 11x110 Fe 37 k	1
11		Pellinvipu Regin A12	2
12		Laippalaat.yksikkö UFL 001 ASAHI	4
13		Gruuvi M6x16	8
14		Hitsattava mutteri M6	8
15		Kuulanivel SK10	2
16		Kehäloh.aluslevy A6.4	8
17		Aluslaatta 13	4

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

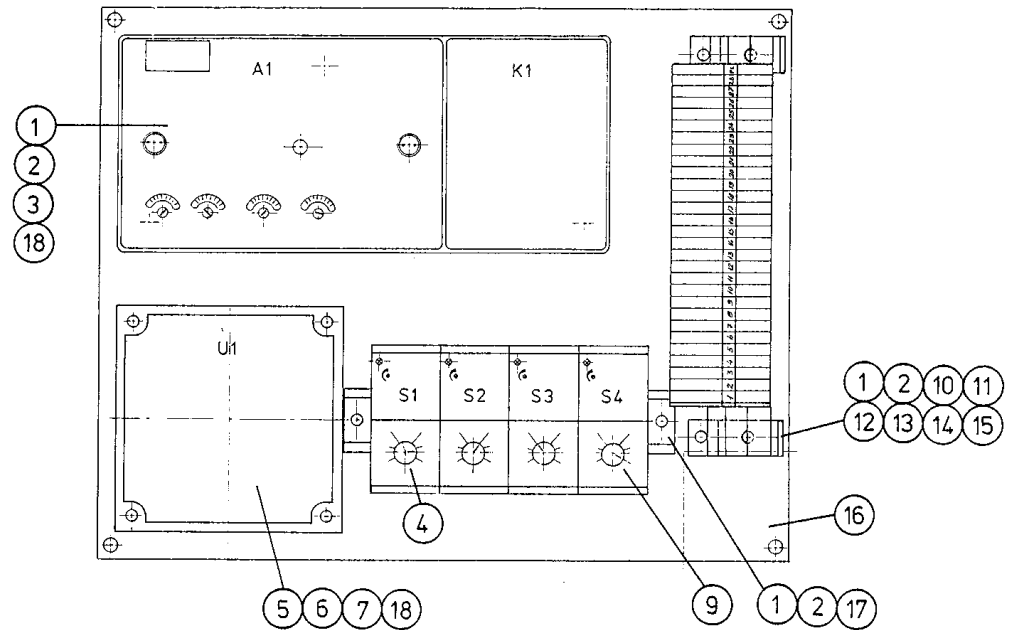
1984-06-12

Sivu 7

KORJAAMOKIRJA

LÄMMITYS JA ILMANVAIHTOSÄÄTÖYKSIKÖN (C1) VARUSTELU

Piir. no 1R1053020



Viite	Piir. no	Tavaran nimi	kpl
1		Kupuk. ruuvi M5x10 SFS 2976-4.8 Zne	9
2		Jousialuslevy 5 DIN 7980 Zne	9
3		Säädin CXR 3821	1
4		Termostaatti ETU 3112 +50/+200	1
5		Muuttaja 24V DC/220V AC/50Hz	1
6		Kupuk.ruuvi M4x20 SFS 2976-4.8 Zne	5
7		Jousialuslevy 4 DIN 7980 Zne	4
9		Termostaatti ETU 1221 +10/+110	3
10		Kannatin	2
11		Asennuskisko TS32 1228.0 pit. 232 mm	1
12		Päätypuristin EWK 1 2061.6	2
13		Päätylevy AP KrG 1179.2	1
14		Riviliitin SAK 4SS KrG 3529.2	29
15		Merkintäkortti BSFW 3328.0 l...50	1
16	2R1053030	Pohjalevy	1
17		Asennuskisko TS35 3834.0 pit. 182 mm	1
18		Läpivientikumi No: 91/2	4
19		Kumimutteri M4 Rawlpulg 4	1
20		Putki 12,8x1,6 AlMgSi-T6 L= 97	1

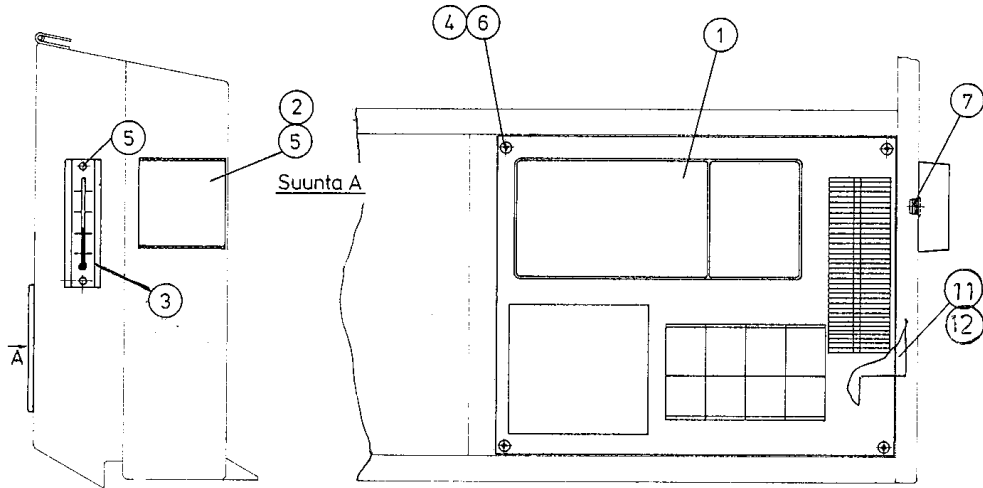
VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET
1984-06-07 Sivu 8

KORJAAMOKIRJA

LÄMMÖNSÄÄTÖLAITTEET SIVUKILPIKOTELOSSA
Piir. no 2R1053240 (A-vaunu)



Viite	Piir. no	Tavaran nimi	kpl
1	1R1053020	Lämmitys- ja ilmanvaihtoyksikön C1 varust.	1
2		Huonetuntoelin DR 2253	1
3		Sisälämpömittari N:o 106	1
4		Kupuk. ruuvi M6x20 SFS 2759 Zne	4
5		Levyruuvi AB 3,5x9,5 SFS 2759 Zne	4
6		Jousialuslevy M6 DIN 7980 Zne	4
7		Putkipäätte Pp 13,2	1
11	3R1076790	Säätöyksikön suojus	1
12		Levyruuvi AB 4,2x9,5 SFS 2759 Zne	6

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II

LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET

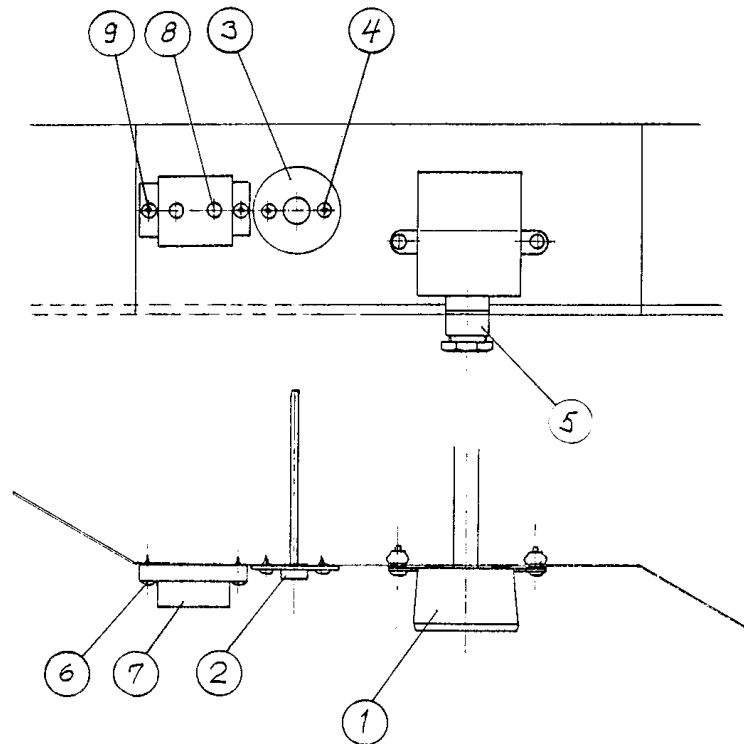
1984-06-07

Sivu 9

KORJAAMOKIRJA

KANAVA-ANTURIEN ASENNUS

Piir. no 2R1037620



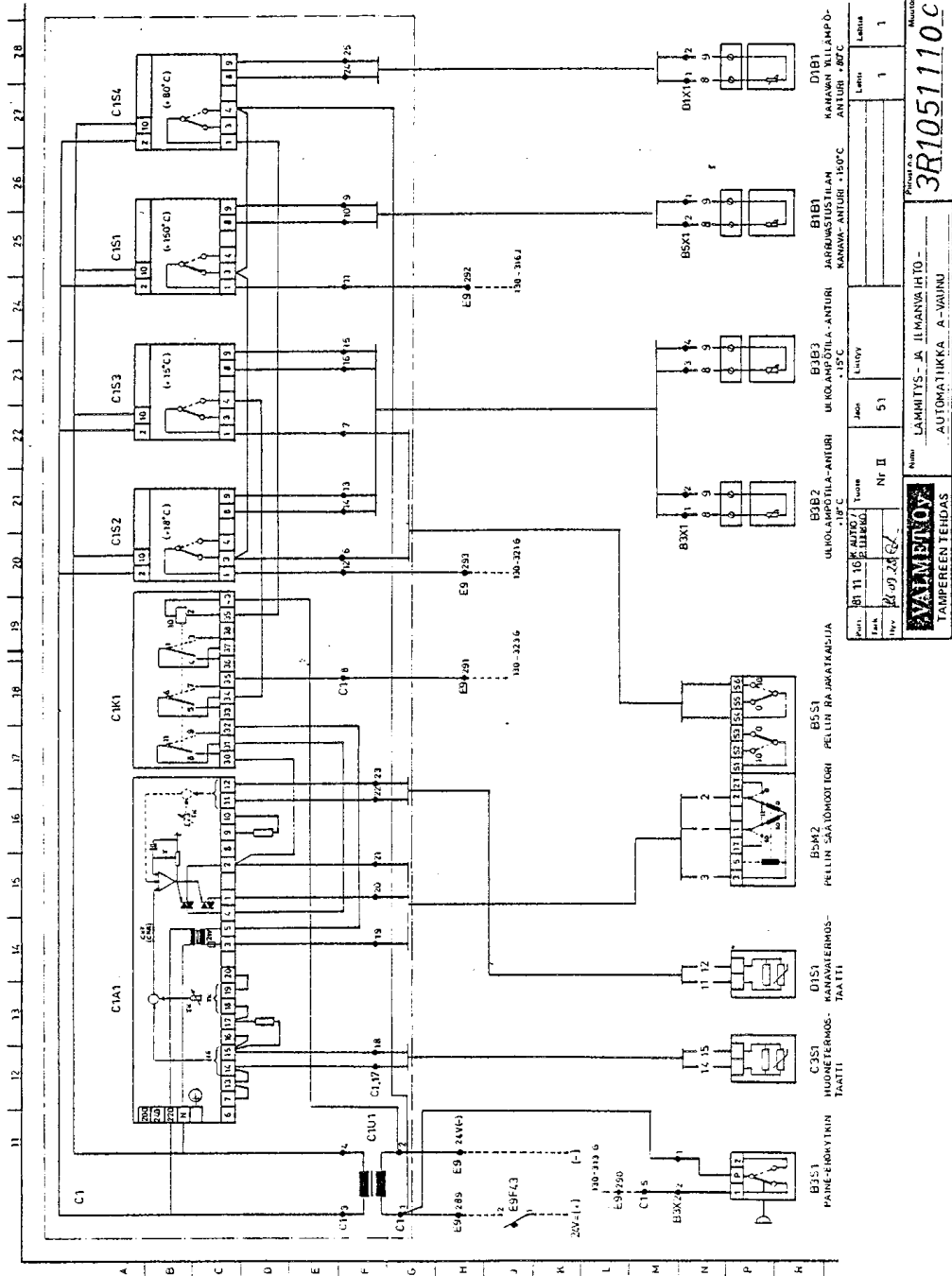
Viite	Piir. no	Tavaran nimi	kpl
1		Kanavatuntoelin DD 1401/300 mm	1
2		Kanava-anturi ETF 422	1
3		Kanava-anturin asennuslaippa L1625	1
4		Levyruuvi AB 3,5x9,5 SFS 2761 Zne	2
5		Holkkitiiviste P13,5	1
6		Riviliitin Weco 4-nap. 3070 PCM 5.022	1
7		Kansi N:o 4 3070 A Weco	1
8		Naula rivil. Weco L 3070/18	2
9		Levyruuvi AB 4,2x19 SFS 2759 Zne	2

VALMET OY
Tampereen Tehdas

Nivelraitiovaunu Nr II
LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTOLAITTEET
1983-05-02

Sivu 10

KORJAAMOKIRJA



D1S1		KÄNNYTERMOUS- TARTTI	
C3S1		KÄNNYTERMOUS- TARTTI	
B5S1		PÄINE-ERIKYNTÄIN	
B5K2		PELLIN SÄÄDÖROOTTORI	
B5S1		PELLIN RAJAKATKAS/LA	
B5B2		UULO-AMMOTILA-ANTURI	
B5B3		UULO-AMMOTILA-ANTURI	
B5B1		SÄÄDÖMÄSTÖILAJI ÄÄNTIPI-ANTURI -150°C	
D1B1		LÄMPÖ- KÄNNYTERMOUS- ANTURI -200°C	

Lehti	1	1
Lehti	1	1

Yhtiö	Valmet Oy
Proj. nro	3R1051110C
Nimi	LÄMMITYS- JA ILMANVAIHTO- AUTOMATIikka A-VAUNU
Yhtiö	Tampereen Tehdas

Standard

M91xx-Axx-1N - 1/3 pages

Page 16

ON/OFF and Floating Actuators

The standard electric damper actuator series is designed to operate air dampers in ventilation and air conditioning systems.

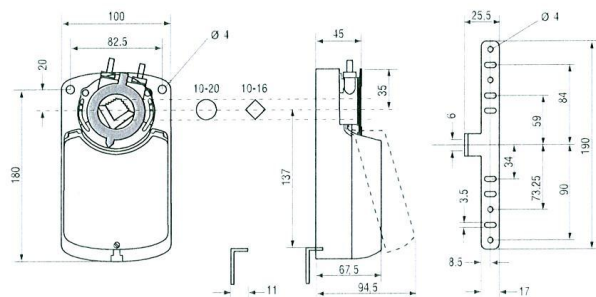
The compact design and universal adapter fitted with limitation of rotation angle make this actuator highly versatile.

Features

- ON/OFF and Floating control
- Up to 5 actuators in parallel operation possible
- Plug-in terminal block connection
- Simple direct-mount with universal adapter on \varnothing 10 mm to 20 mm shaft or square shaft from 10 mm to 16 mm
48 mm minimum damper shaft length
- Selectable direction of rotation
- Limitation of rotation angle
- Manual release button
- 2 adjustable auxiliary switches
(See next page for settings)
- Automatic shut-off at end position (overload switch)
- Energy saving at end positions
- Actuators available with 1 m halogen-free cable
- Customized versions available

Accessories

- M9000- ZK damper linkage selection
- M9000- ZKG ball joints



Dimensions in mm

ROTARY ACTUATORS

For further information and additional models see Product Installation Guide

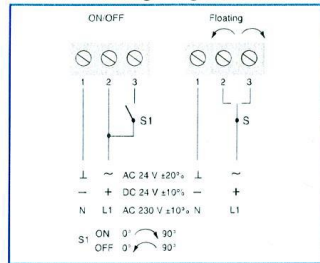
Standard

M91xx-Axx-1N - 2/3 pages

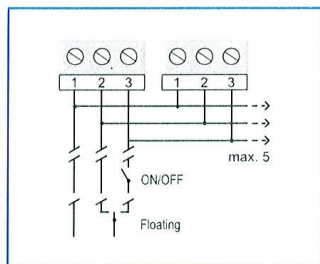
Page 17

ON/OFF and Floating Actuators

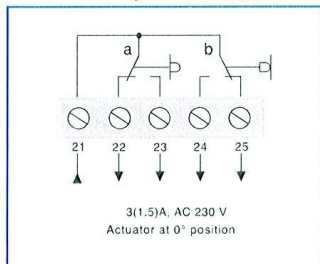
Wiring Diagrams



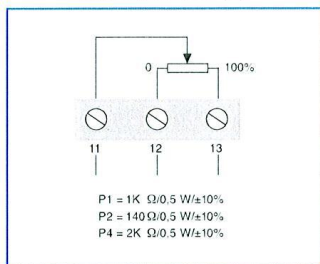
Parallel Connections



Auxiliary Switches (S)



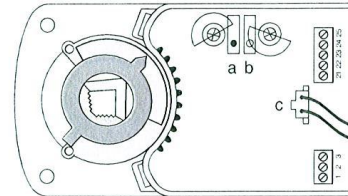
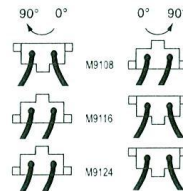
Potentiometer (P)



Changing the direction of rotation

The direction of rotation can be changed by reversing plug c

Factory setting:



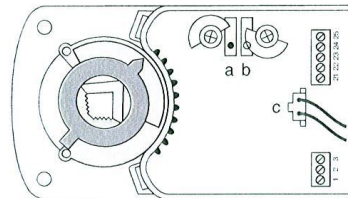
Setting the auxiliary switches

Factory setting:

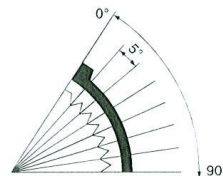
Switch a at 10°

Switch b at 80°

The switching position can be manually changed to any required position by turning the ratchet.



Limitation of Rotation angle



Adapter release



ROTARY ACTUATORS

For further information and additional models see Product Installation Guide



Standard

M91xx-Axx-1N - 3/3 pages

Page 18

ON/OFF and Floating Actuators

Technical Specifications

Actuator	M9108-AGx-1N	M9116-AGx-1N	M9124-AGx-1N	M9108-ADx-1N	M9116-ADx-1N	M9124-ADx-1N
Torque	8 Nm	16 Nm	24 Nm	8 Nm	16 Nm	24 Nm
Damper area*	1.5 m ²	3.0 m ²	4.5 m ²	1.5 m ²	3.0 m ²	4.5 m ²
Running Time OPEN	30 s	80 s	125 s	30 s	80 s	125 s
Running Time CLOSE	30 s	80 s	125 s	30 s	80 s	125 s
Supply Voltage	AC/DC 24 V			AC 230 V		
Frequency	50-60 Hz			50-60 Hz		
Power Consumption						
- Running	2.5 W			3.0 W		
- At end position	0.5 W			0.5 W		
Dimensioning	5.0 VA / 3.4 A @ 2 ms			3.6 VA / 0.5 A @ 2 ms		
Control Signal	ON/OFF or Floating					
Position Signal	Potentiometer 0.5 W / ±10%					
Angle of rotation/ Working range	90° (93°mech.)					
Angle of rotation/Limitation	5°...85° in 5° < steps					
Auxiliary Switches	3(1.5) A, AC 230 V					
- S1 setting range	5°...85° < adjustable					
- S2 setting range						
Cable	1.0 m halogen-free					
- Motor	3-Wire 1-2-3					
- Switches	5-Wire 21-22-23-24-25					
- Potentiometer	3-Wire 11-12-13					
Life time	60.000 rotations					
Noise level	45 dB (A)					
Protection Class	II					
Degree of Protection	IP 54					
Mode of Action	Type 1					
Ambient conditions						
- Operating temperature	-20...+50 °C / IEC 721-3-3					
- Storage temperature	-30...+60°C / IEC 721-3-2					
- Humidity	5...95% r.F. no condensed					
Weight	1.1 Kg			1.2 Kg		
Service	Maintenance-free					
Standards						
- Mechanics	EN 60 529 / EN 60 730-2-14					
- Electronics	EN 60 730-2-14					
- EMC Emissions	EN 50 081-1:92 / IEC 61000-6-3:96					
- EMC Immunity	EN 50 082-2:95 / IEC 61000-6-2:99					

*Caution: Please note damper manufacturer's information concerning the open/close torque.

Ordering Codes

Codes	Descriptions
M91xx-AGA-1N	AC/DC 24 V
M91xx-AGC-1N	AC/DC 24 V, with 2 auxiliary switches
M91xx-AGE-1N	AC/DC 24 V, with 1000 Ω feedback potentiometer
M91xx-AGD-1N	AC/DC 24 V, with 140 Ω feedback potentiometer
M91xx-AGF-1N	AC/DC 24 V, with 2000 Ω feedback potentiometer
M91xx-ADA-1N	AC 230 V
M91xx-ADC-1N	AC 230 V, with 2 auxiliary switches
M91xx-ADE-1N	AC 230 V, with 1000 Ω feedback potentiometer
M91xx-ADD-1N	AC 230 V, with 140 Ω feedback potentiometer
M91xx-ADF-1N	AC 230 V, with 2000 Ω feedback potentiometer

ROTARY ACTUATORS

For further information and additional models see Product Installation Guide



E2A3

Inductive sensors

Long (triple) distance inductive sensor in cylindrical brass housing



The E2A3 family features an optimised sensing performance to achieve triple sensing distance for quasi flush mounting requirements.

- Triple distance for enhanced sensor protection from mechanical damage
- IP67 and IP69k

Ordering information

Pre-wired

(For different cable materials and lengths, special housing length or special connectors, please refer to complete datasheet.)

Size	Sensing distance		Thread length (overall length)	Output configuration	Order code (for pre-wired types with 2m cable length)	
	Operation mode: NO	Operation mode: NC				
M8	3.0 mm	27 (40) mm	PNP	E2A3-S08KS03-WP-B1 2M	E2A3-S08KS03-WP-B2 2M	
M12	6.0 mm	34 (50) mm	PNP	E2A3-S08KS03-WP-C1 2M	E2A3-S08KS03-WP-C2 2M	
			NPN	E2A3-M12KS06-WP-B1 2M	E2A3-M12KS06-WP-B2 2M	
M18	11.0 mm	39 (60) mm	PNP	E2A3-M12KS06-WP-C1 2M	E2A3-M12KS06-WP-C2 2M	
			NPN	E2A3-M18KS11-WP-B1 2M	E2A3-M18KS11-WP-B2 2M	
M30	20.0 mm	44 (65) mm	PNP	E2A3-M18KS11-WP-C1 2M	E2A3-M18KS11-WP-C2 2M	
			NPN	E2A3-M30KS20-WP-B1 2M	E2A3-M30KS20-WP-B2 2M	
				E2A3-M30KS20-WP-C1 2M	E2A3-M30KS20-WP-C2 2M	

Connector versions (M12)

Size	Sensing distance		Connection	Thread length (overall length)	Output configuration	Order code (for M12 connector types)	
	Operation mode: NO	Operation mode: NC					
M8	3.0 mm	27 (44) mm	M12 Connector	PNP	E2A3-S08KS03-M1-B1	E2A3-S08KS03-M1-B2	
M12	6.0 mm	34 (49) mm	M12 Connector	NPN	E2A3-S08KS03-M1-C1	E2A3-S08KS03-M1-C2	
				PNP	E2A3-M12KS06-M1-B1	E2A3-M12KS06-M1-B2	
M18	11.0 mm	39 (54) mm	M12 Connector	NPN	E2A3-M12KS06-M1-C1	E2A3-M12KS06-M1-C2	
				PNP	E2A3-M18KS11-M1-B1	E2A3-M18KS11-M1-B2	
M30	20.0 mm	44 (59) mm	M12 Connector	NPN	E2A3-M18KS11-M1-C1	E2A3-M18KS11-M1-C2	
				PNP	E2A3-M30KS20-M1-B1	E2A3-M30KS20-M1-B2	
					E2A3-M30KS20-M1-C1	E2A3-M30KS20-M1-C2	

Specifications

Item	M8	M12	M18	M30
	E2A3-S08KS03	E2A3-M12KS06-	E2A3-M18KS11	E2A3-M30KS20
Sensing distance	3 mm ±10%	6 mm ±10%	11 mm ±10%	20 mm ±10%
Response frequency	700 Hz	350 Hz	250 Hz	80 Hz
Power supply voltage (operating voltage)	12 to 24 VDC. Ripple (p-p): 10% max. (10 to 32 VDC)			
Protective circuit	Power supply reverse polarity protection, surge suppressor, short-circuit protection	Output reverse polarity protection, power supply reverse polarity protection, surge suppressor, short-circuit protection		
Ambient temperature	Operating: -25 to 70°C, storage: -25 to 70°C			
Degree of protection	IP67 after IEC 60529; IP69K after DIN 40050 part 9			
Material Case	Stainless steel	Brass-nickel plated		
Sensing surface	PBT			

For longer sensing distance see E205

For cable connectors see page 19

General purpose

Accessories

OMRON

Specifications

DC 3-wire Models

Size		M8	M12	M18	M30
Type		Shielded	Shielded	Shielded	Shielded
Item		E2A3-S08KS03-□□-B□ E2A3-S08KS03-□□-C□	E2A3-M12KS06-□□-B□ E2A3-M12KS06-□□-C□	E2A3-M18KS11-□□-B□ E2A3-M18KS11-□□-C□	E2A3-M30KS20-□□-B□ E2A3-M30KS20-□□-C□
	Sensing distance	3 mm ± 10%	6 mm ± 10%	11 mm ± 10%	20 mm ± 10%
Setting distance	Ambient temp. of -25 to 70°C	0 to 2.1 mm	0 to 4.2 mm	0 to 7.7 mm	0 to 14 mm
	Ambient temp. of -10 to 60°C	0 to 2.4 mm	0 to 4.8 mm	0 to 8.8 mm	0 to 16 mm
Differential travel		20% max. of sensing distance			
Target		Ferrous metal (The sensing distance decreases with non-ferrous metal.)			
Standard sensing object		9 × 9 × 1 mm	18 × 18 × 1 mm	33 × 33 × 1 mm	60 × 60 × 1 mm
Response frequency (See note 1.)		700 Hz	350 Hz	250 Hz	80 Hz
Power supply voltage (operating voltage range)		12 to 24 VDC. Ripple (p-p): 10% max. (10 to 32 VDC)			
Current consumption		10 mA max.			
Output type		-B models: PNP open collector -C models: NPN open collector			
Control output	Load current	200 mA max. (32 VDC max.)			
	Residual voltage	2 V max. (under load current of 200 mA with cable length of 2 m)			
Indicator		Operation indicator (Yellow LED)			
Operation mode		-B1/-C1 models: NO -B2/-C2 models: NC For details, refer to the timing charts.			
Protection circuits		Power source circuit reverse polarity protection, Surge suppressor, Short-circuit protection	Output reverse polarity protection, Power source circuit reverse polarity protection, Surge suppressor, Short-circuit protection		
Ambient air temperature		Operating: -25°C to 70°C, Storage: -25°C to 70°C			
Temperature influence		±20% max. of sensing distance at 23°C within temperature range of -25°C to 70°C -10% to +20% of sensing distance at 23°C within temperature range of -10°C to 60°C			
Ambient humidity		Operating: 35% to 95%, Storage: 35% to 95%			
Voltage influence		±1% max. of sensing distance in rated voltage range ±15%			
Insulation resistance		50 MΩ min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case			
Dielectric strength		1,000 VAC at 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case			
Vibration resistance		10 to 55 Hz, 1.5-mm double amplitude for 2 hours each in X, Y, and Z directions			
Shock resistance		500 m/s ² , 10 times each in X, Y, and Z directions	1,000 m/s ² , 10 times each in X, Y and Z directions		
Standards and listings (See note 2.)		IP67 after IEC 60529 IP69K after DIN 40050 EMC after EN60947-5-2			
Connection method		-WP models: Pre-wired Models (4-mm dia. PVC cable with length of 2 m) -M1 models: M12 4-pin Connector Models -M5 models: M8 3-pin Connector Models			
Weight (packed state)	Pre-wired Models	Approx. 65 g	Approx. 85 g	Approx. 160 g	Approx. 280 g
	Connector Models	M12 Connector Models: Approx. 20 g	Approx. 35 g	Approx. 70 g	Approx. 200 g
Material	Case	Stainless steel	Brass-nickel plated		
	Sensing surface	PBT			
	Cable	PVC			
	Clamping nut	Stainless steel	Brass-nickel plated		

Note 1. The response frequency is an average value. Measurement conditions are as follows: standard sensing object, a distance of twice the standard sensing object length between sensing objects, and a set distance of half the sensing distance.
2. For USA and Canada: use class 2 circuit only.

C:\IQAN\Dropbox\Iqan\NRV2_Lämmönsäätö_v2_8_14_anturi_tuusiksiida - IQANdesign 2

File Edit Application Measure Simulate View Tools Communication Help

Inputs/Outputs Calculation Miscellaneous Interface CAN

VIN DIN FIN DFIN DAC COUT PWM DOUT SOUT

Function group: Application

Application

- ... Lämpötila-anturien lu
- ... Kesä/Talvi Valinta + P
- ... Lämmön Pyynti Ylös/
- ... Peltimoottorin ja Lisä

Channels

Modules

Measure groups

Adjust groups

Logs

Languages

Display pages

Images

Security

Property Inspector - File

Property	Value
Name	NRV11 Lämmityksen säätö
Description	
Version	2.8.12
Comment	
Author	{Tomi K., HKL - RLY / Lumi
⊞ Last change	

File

The file component is used to define properties related to the file, such as author, version and comment.

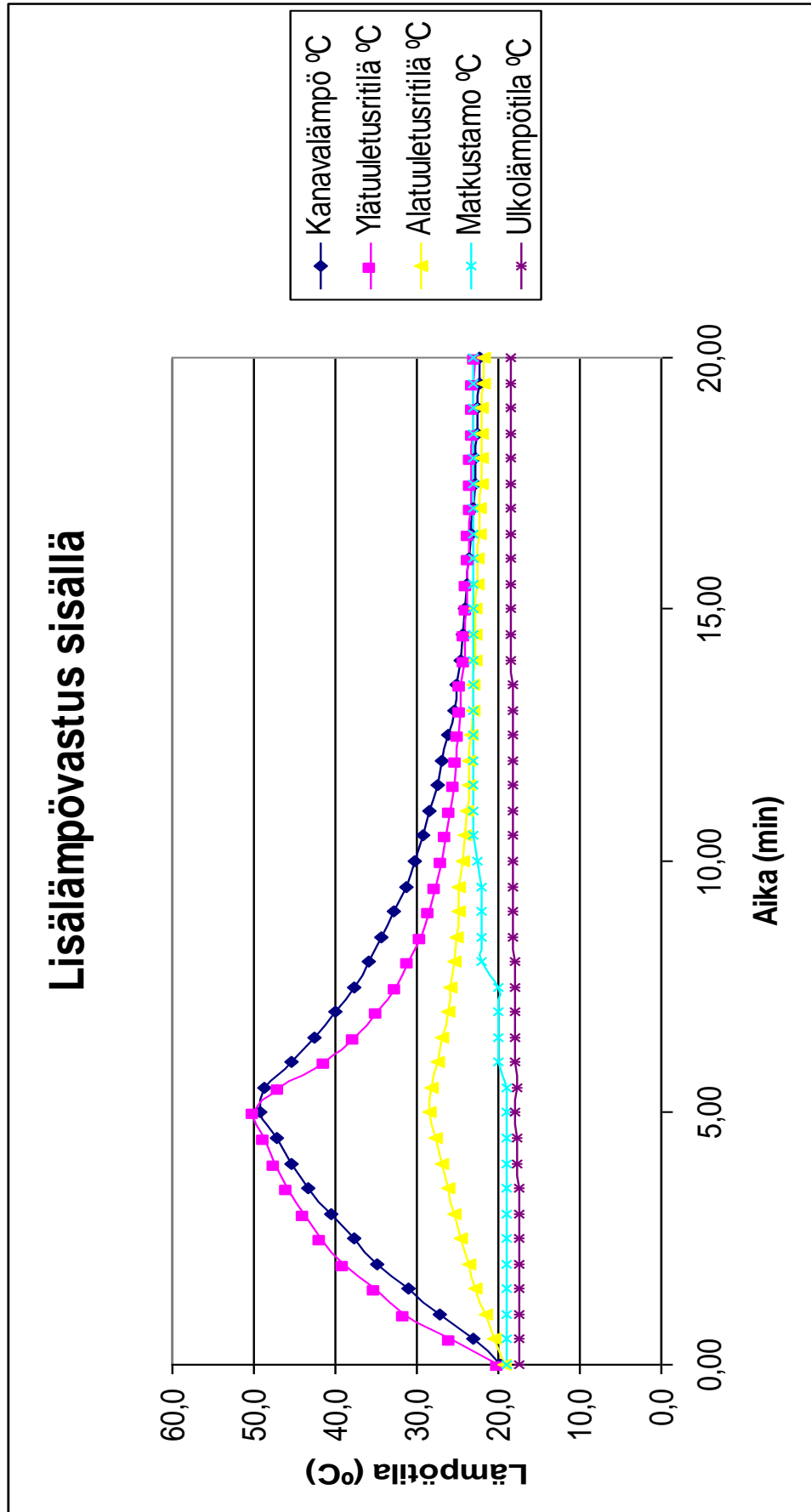
Not used

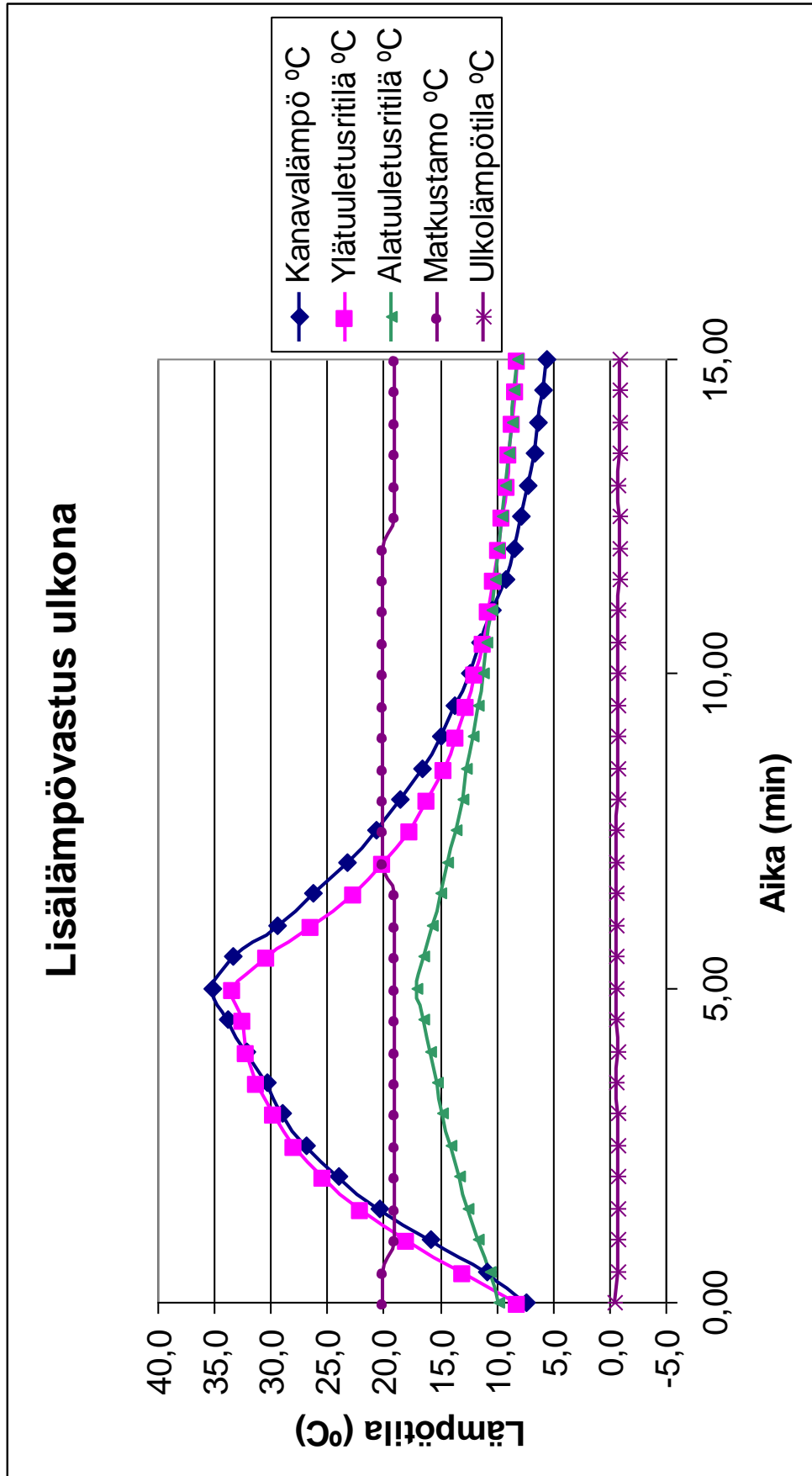
Not used

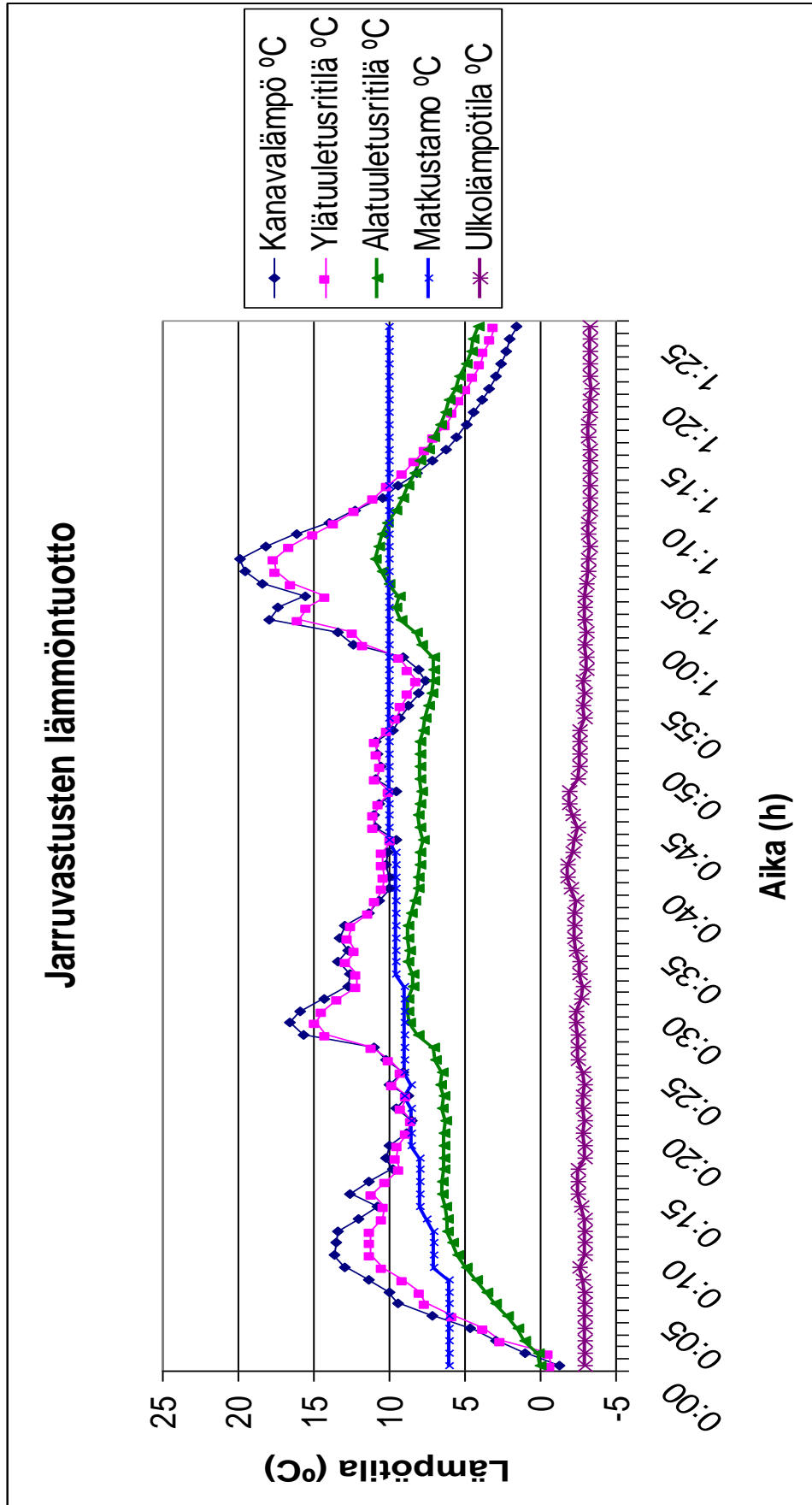
Not used

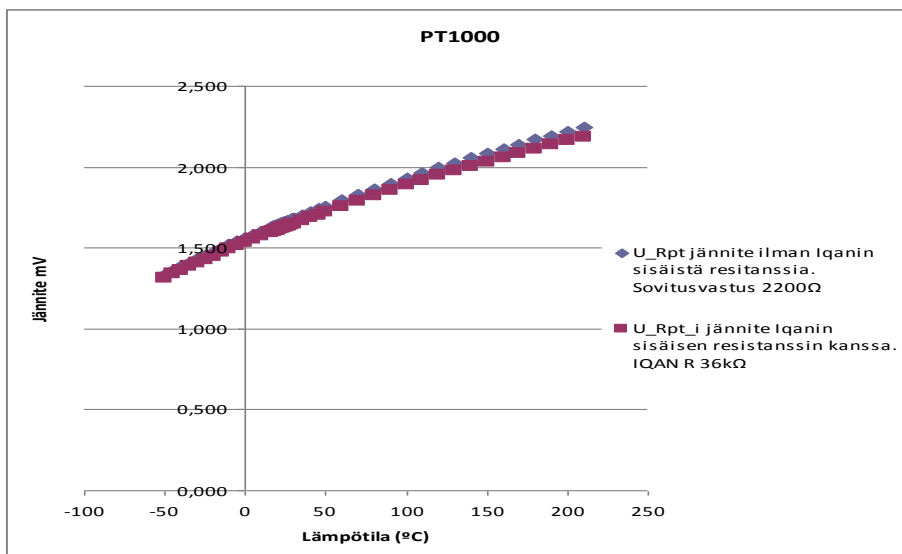
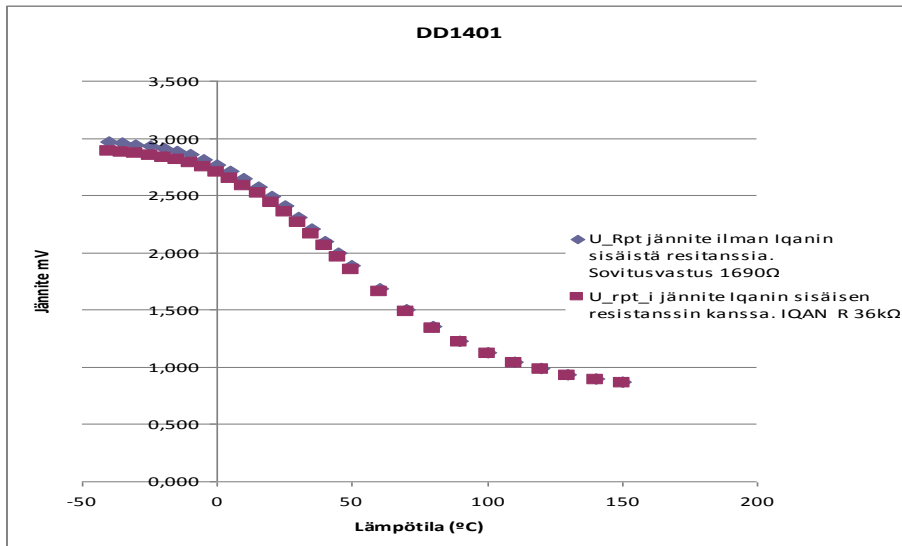
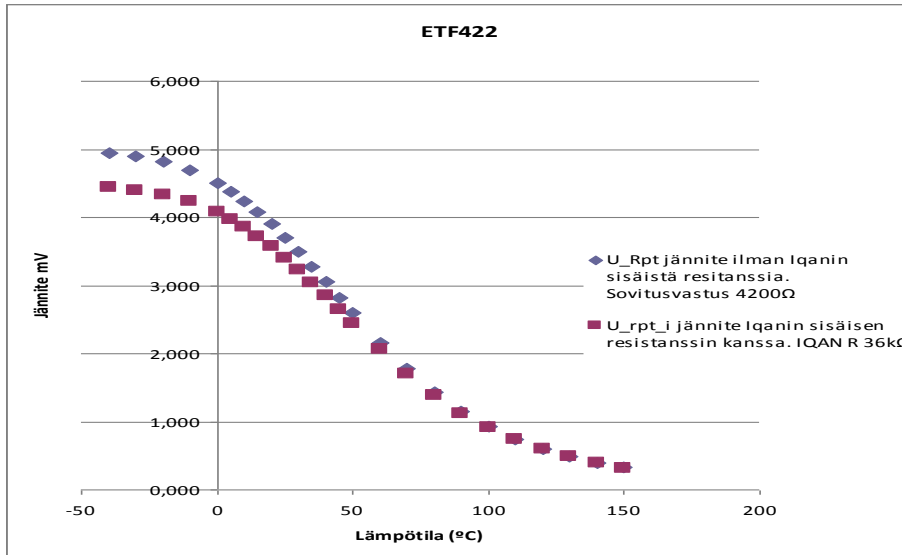
NRV11 Lämmityksen säätö 2.8.12

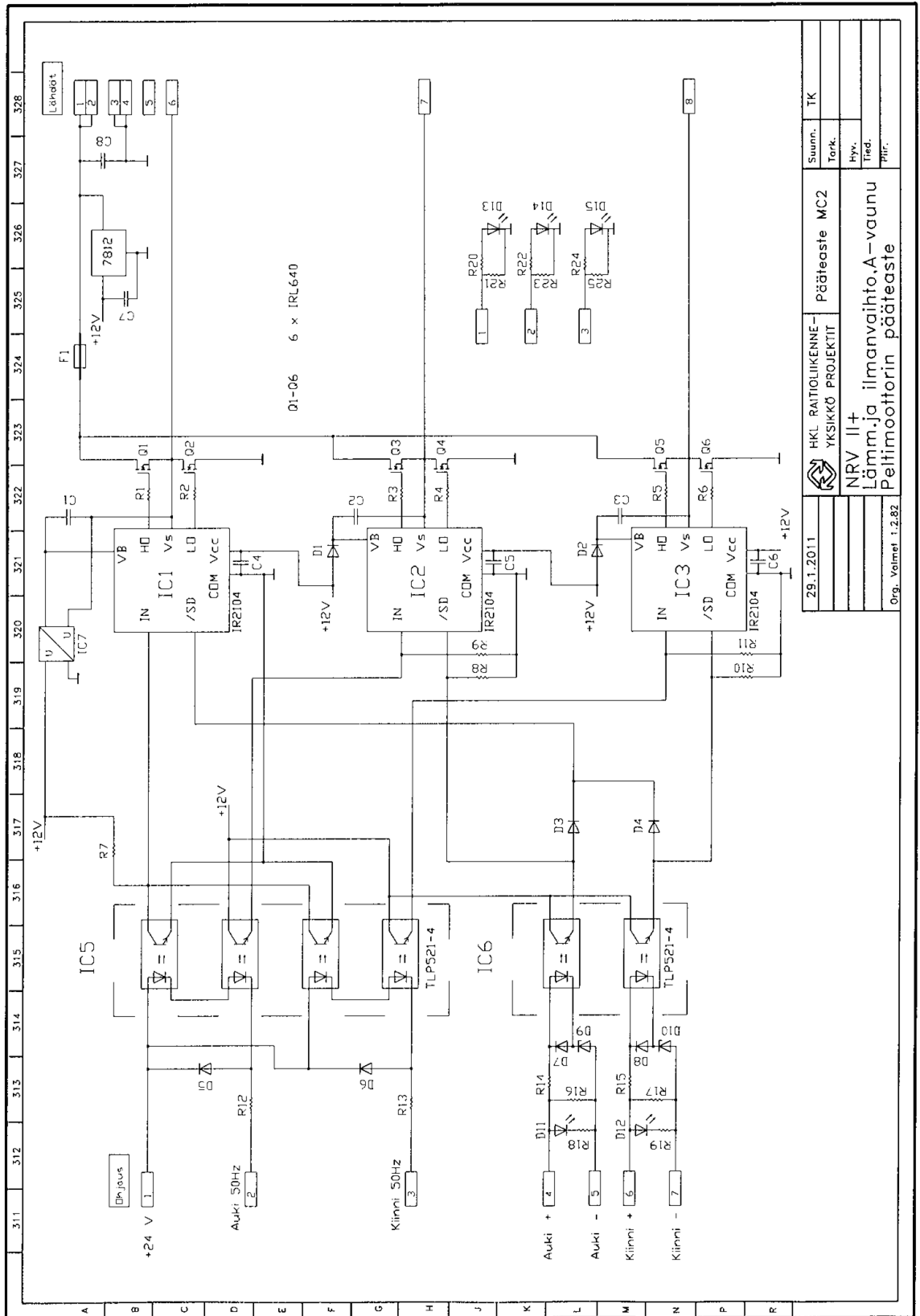
USB: No device attached (Offline)







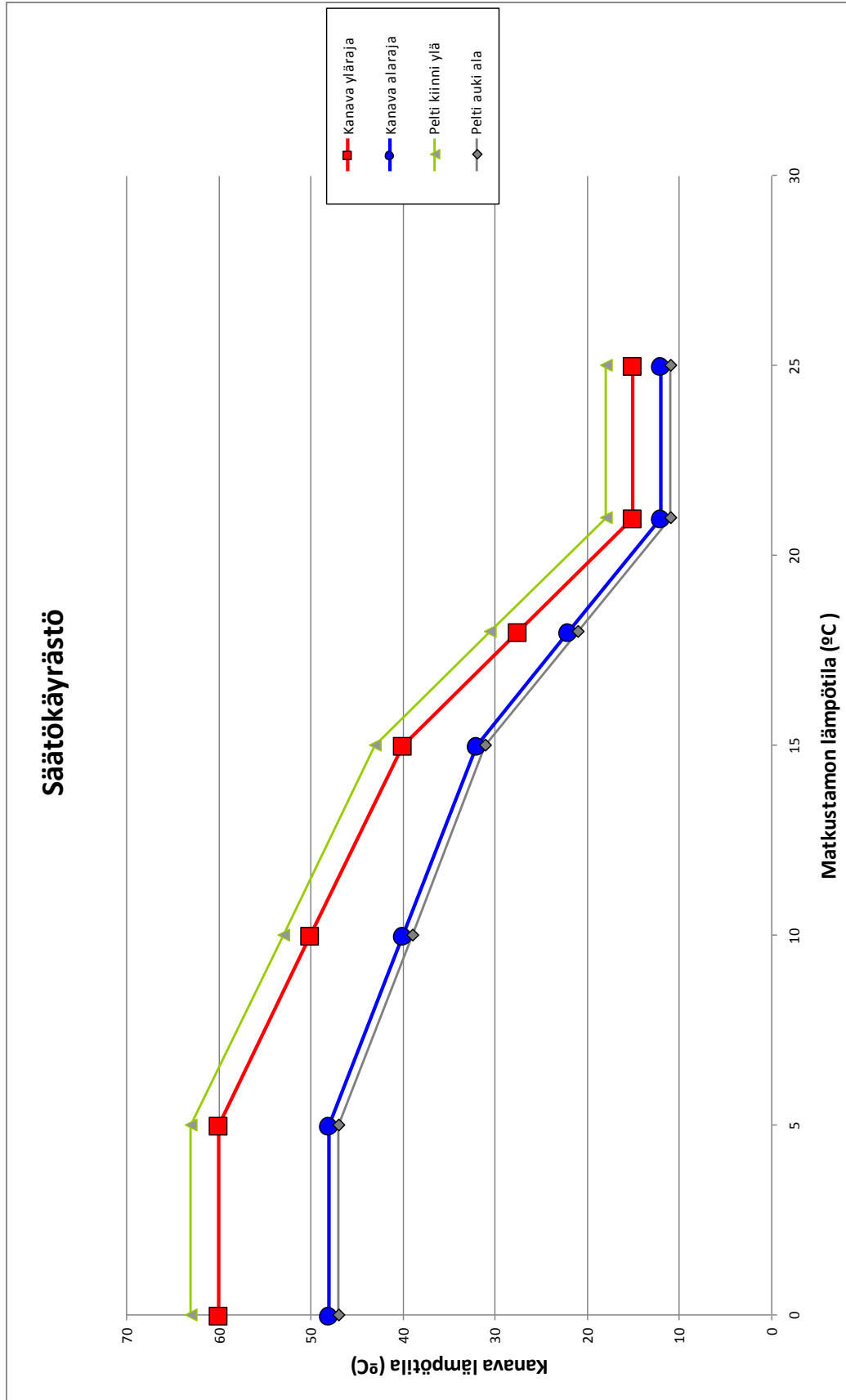




Moottorin ohjainkortin komponentit

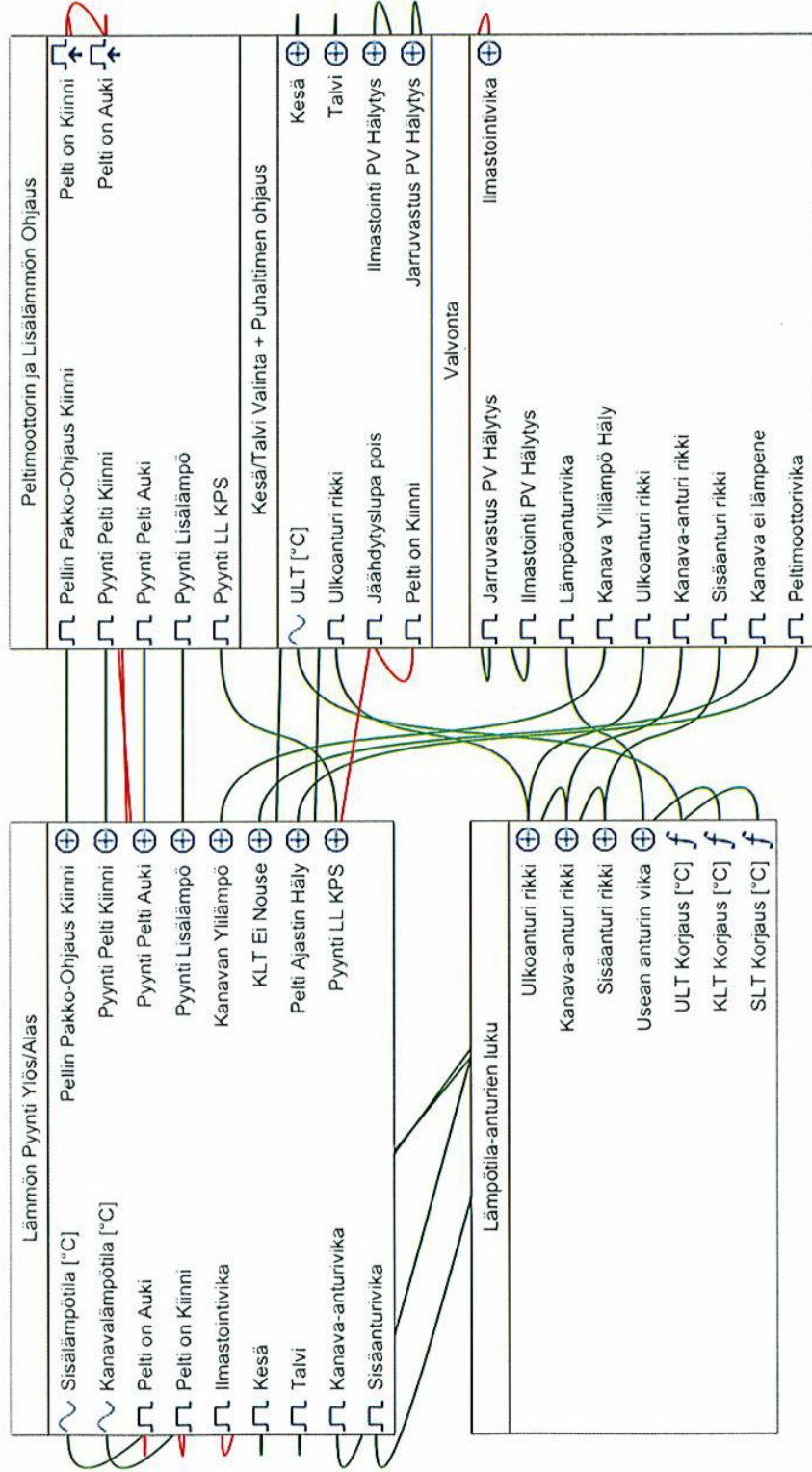
Tilaus: Elfa

Komponentti	Elfa numero	hintaa / kpl.	tarvittava määrä / pääteaste	tilattava määrä	tilattavan määrä	tilattavan hinta	tilattavan hinta
AM1P-1212S	Partco	9,72	1	1	1	9,72	9,72
IR 2104	73-430-64	3,59	3	6	6	10,77	21,54
TLP 521-4	75-356-43	1,96	2	4	4	3,92	7,84
IRL 640	71-152-30	1,33	6	12	12	7,98	15,96
L7815CV	73-264-81	0,79	1	2	2	0,79	1,58
FK 242 SA 220	75-586-04	0,72	1	2	2	0,72	1,44
Lämpöä johtava kalvo TO-220	75-599-88	0,59	6	12	12	3,54	7,08
Eristysholkki TO-220	75-602-37	0,08	6	1 pussi / 100 kpl.	8,08	0,48	8,08
Sulakepidin	33-160-31	0,45	1	2	2	0,45	0,9
Sulake 1A	33-177-40	0,23	1	10	10	0,23	2,3
4,7µF/35V tant.	67-784-01	1,46	3	6	6	4,38	8,76
100µF/50V Alu	67-187-38	0,4	2	4	4	0,8	1,6
470µF/50V Alu	67-187-79	0,9	1	2	2	0,9	1,8
1N4934	70-024-79	0,11	5	10	10	0,55	1,1
47Ω/1W	60-598-70	0,21	3	6	6	0,63	1,26
10Ω/1W	60-598-62	0,21	6	12	12	1,26	2,52
Lämpöantureille 2,2kΩ/0,1%	60-223-21	2,37	3	3	3	7,11	7,11
* 3,3kΩ/0,1%	60-526-98	0,66	1	2	2	0,66	1,32
* 3,32kΩ/0,1%	60-596-03	0,52	1	2	2	0,52	1,04
Riviliitin 4 nap.	48-450-48	1,31	3	6	6	3,93	7,86
Riviliitin 6 nap.	48-450-50	1,93	2	4	4	3,86	7,72
Piirilevy	48-313-84	6,65	1	2	2	6,65	13,3
Piirilevy	48-320-10	8,55	1	2	2	8,55	17,1
	Pääteasteen hinta	78,4	€	Tilauksen hinta	148,93	€	

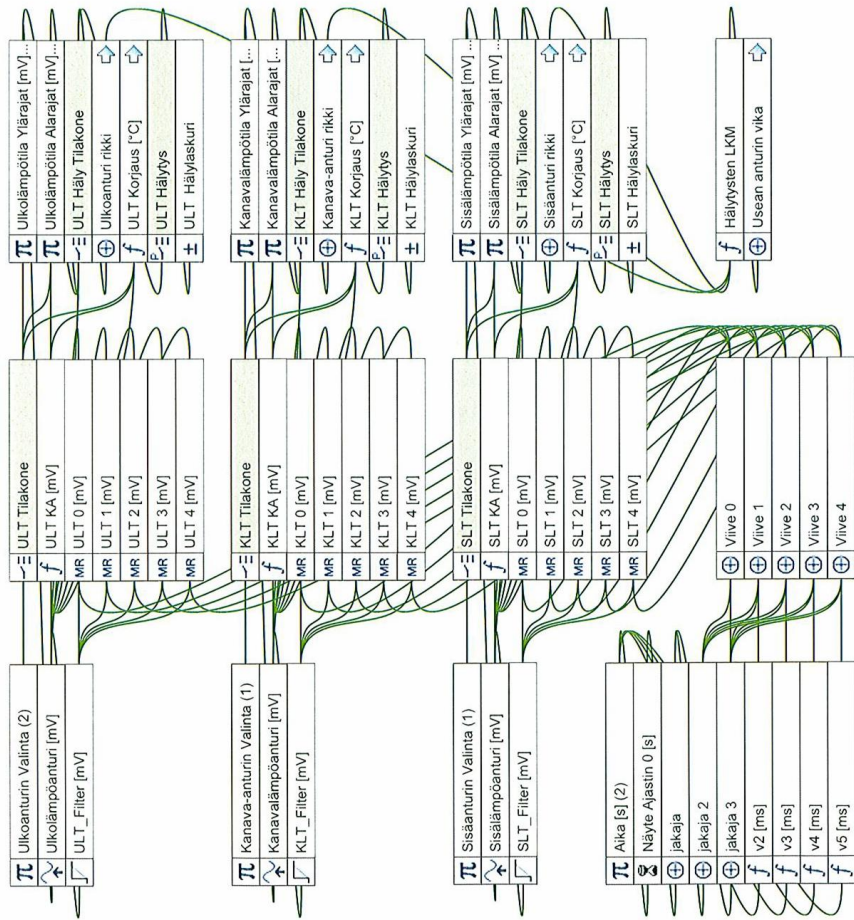


Function group: Application

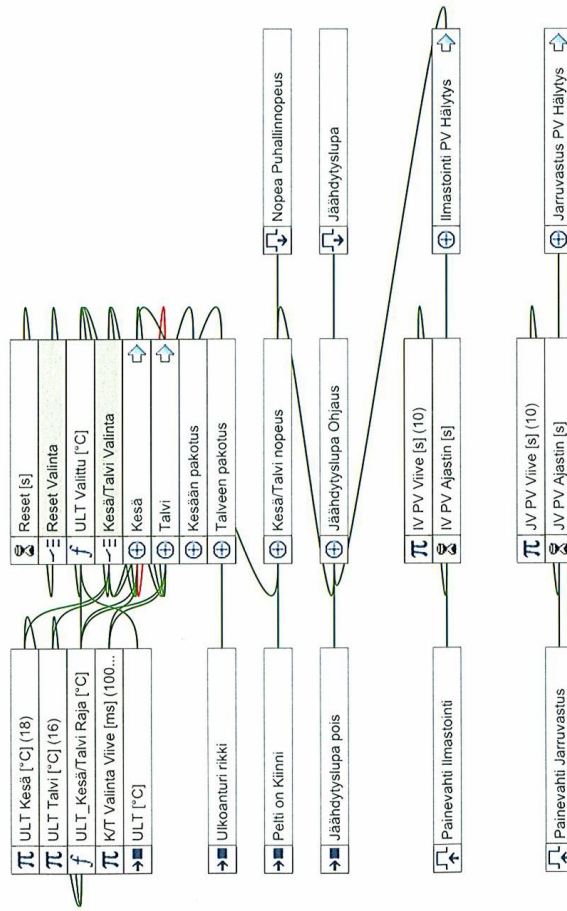
This is the main function group. It contains all channels in this application.



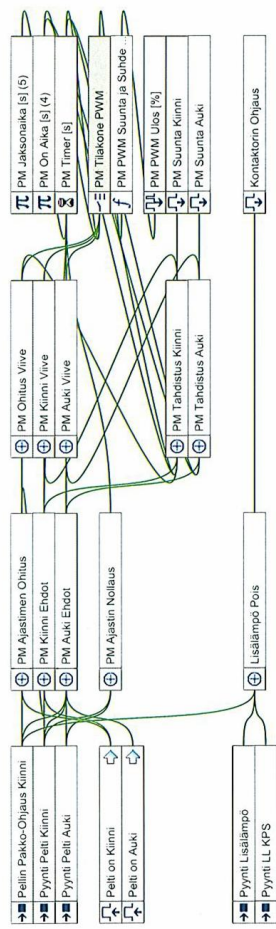
Function group: Lämpötila-anturien luku



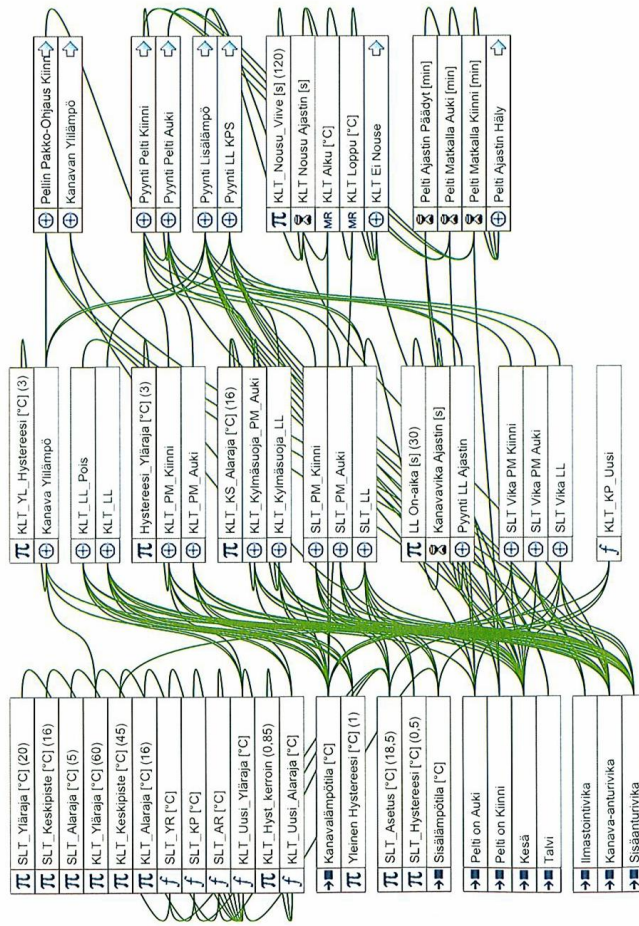
Function group: Kesä/Talvi Valinta + Puhaltimen ohjaus



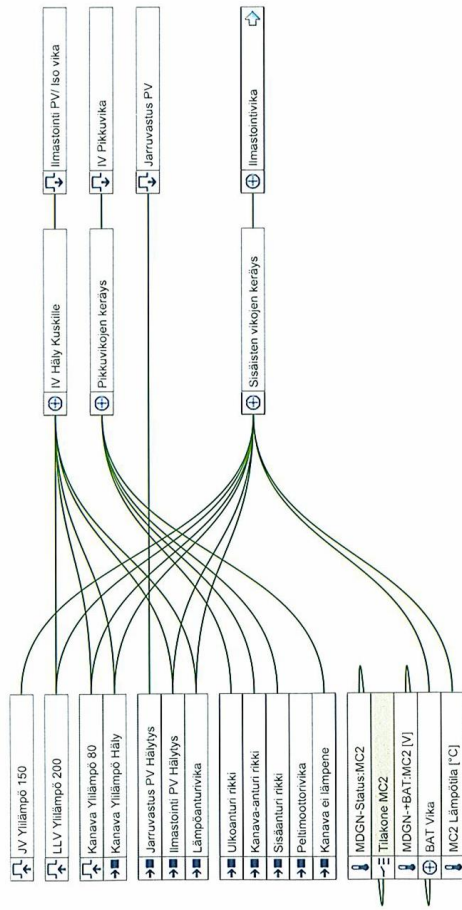
Function group: Peltimoottorin ja Lisälämmön Ohjaus



Function group: Lämmön Pyynti Ylös/Alas



Function group: Valvonta



Vikatilannetaulukko IQAN MC2

Vikaantunut komponentti	Vika	Häiriö	Ei Indikoi	Ei toivottu toiminta	Korvaava toiminta	Soujaus	Lyhyt luonnehdinta toiminnasta
Keskusyksikkö	X ⁽¹⁾		X ⁽²⁾			X	Kaikki mekaaniset yllilämpösuojaukset toimivat +80 °C, +150 °C ja +200 °C
Ulkoanturi		X			X		Valitaan toiminta muodoksi talvi, lämmitys toimii normaalisti.
Kanava-anturi		X			X		Ohjaus matkustamolla, lisälämpö sykklisellä käytöllä.
Matkustamoanturi		X			X		Ohjaus kanavalla, kanavan ulostuloilma keskimäärin +18 °C
Peltimoottori tai raja	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾			X		Kesällä vika, jos pelti ei ole kiinni. Talvella häiriö peltin asennosta riippumatta.
Painevahdit (puhallinmoottorin indikointi)	X					X	Häilyttää jarruvastuksista, suojaustoiminta lämmityksessä.
Lisälämpövastus tai sen 600V piiri poikki		X			X		Lisälämpövastus ei lämpene, yrittää lämmittää jarruvastuslämmöllä.
Lisälämpövastuksen sulake 600V	X					X	IV-hälytys ja suojaa 600V piiriä.
Yllilämpö, kanava +80 °C	X					X	Kytkee lisälämmön pois, pelti kiinni.
Yllilämpö, jarruvastus +150 °C	X					X	JV-hälytys, ajaa peltin kiinni
Yllilämpö, lisälämpövastus +200 °C	X					X	IV-hälytys, lisälämpö pois ja pelti kiinni.

(1) Logiikan sisäinen toimintahäiriö, logiikan diagnostiikka kykenee antamaan IV-häilytyksen.

(2) Sähkönsyöttö puuttuu, mekaaniset suojat toimivat ja häilytykset tulevat sitä kautta kuljettajalle.

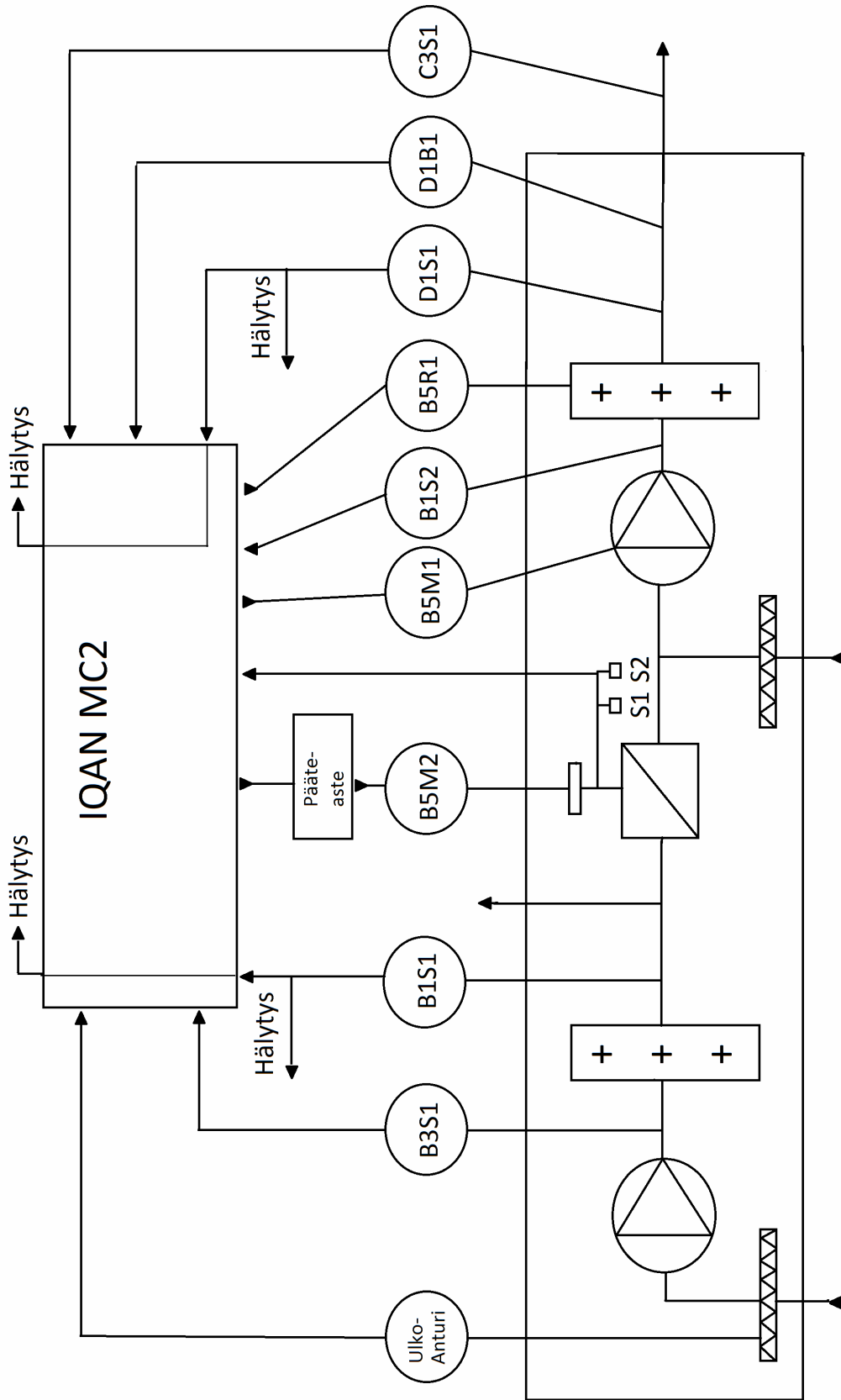
(3) Luokitus väiksi tai häiriöiksi tulee ohjauksen tilan mukaan, olanko talvi- vai kesä-asennossa.

Järjestelmä sallii ainoastaan yhden häiriön, kaksi häiriötä aiheuttaa vikahäilytyksen ja suojaustoiminnon.

Vikatilanne selostuksesta löytyy tarkka kuvaus mitä kyseisessä vikatilanteessa tapahtuu, mahdollisine variaatioineen.

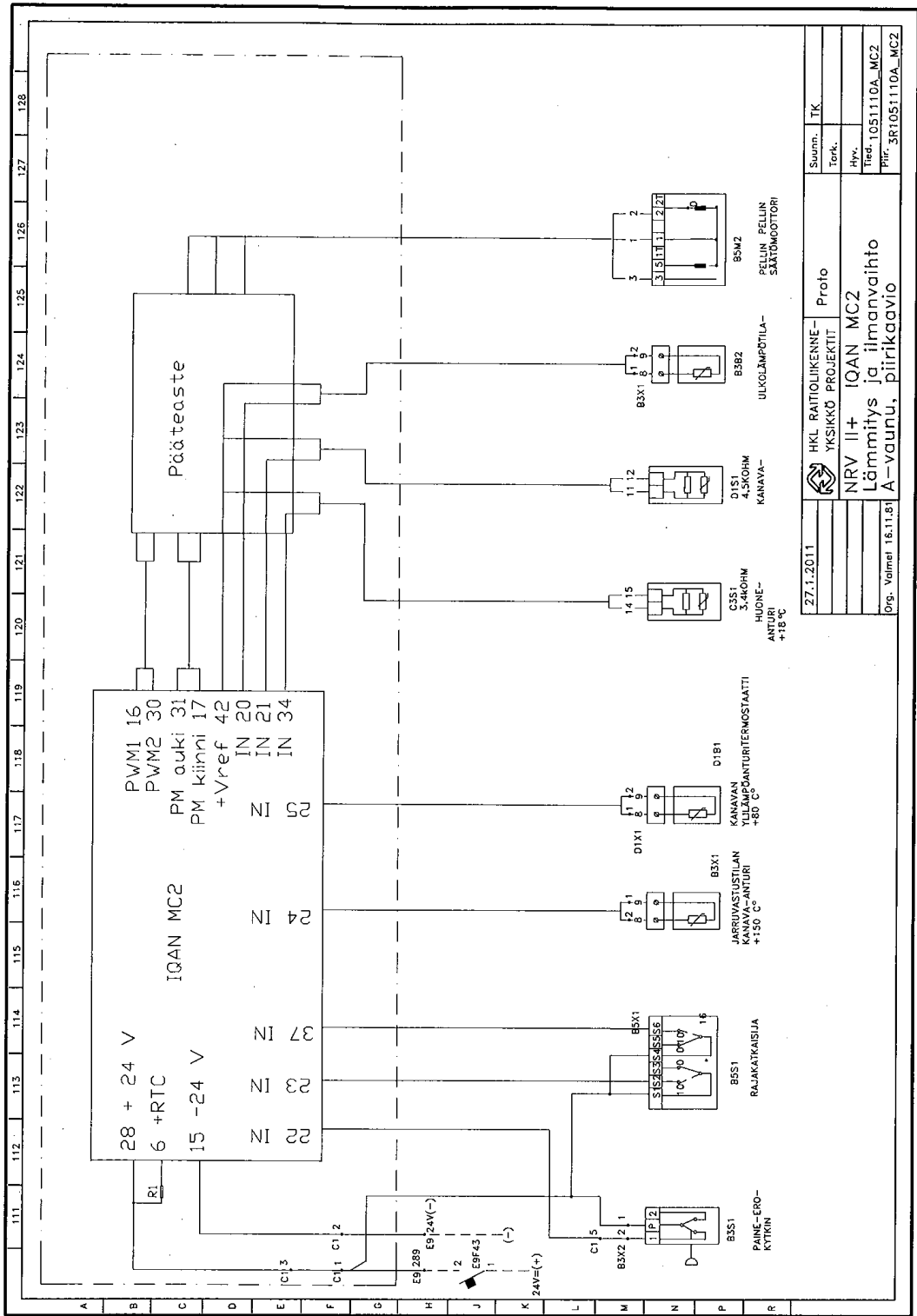
Vika ja Häiriö indikoidaan kuljettajalle, ei toivottu toiminta aiheuttaa joko vaunun kylmenemisen tai yllilämpölämmittämisen. Korvaava toiminta pyrkii paikkaamaan vikaantuneen komponentin aiheuttamaa häiriötilannetta.

Suojauksen tarkoitus on suojata vaunun laitteita virhetilanteissa ja taata matkustajien turvallisuus.

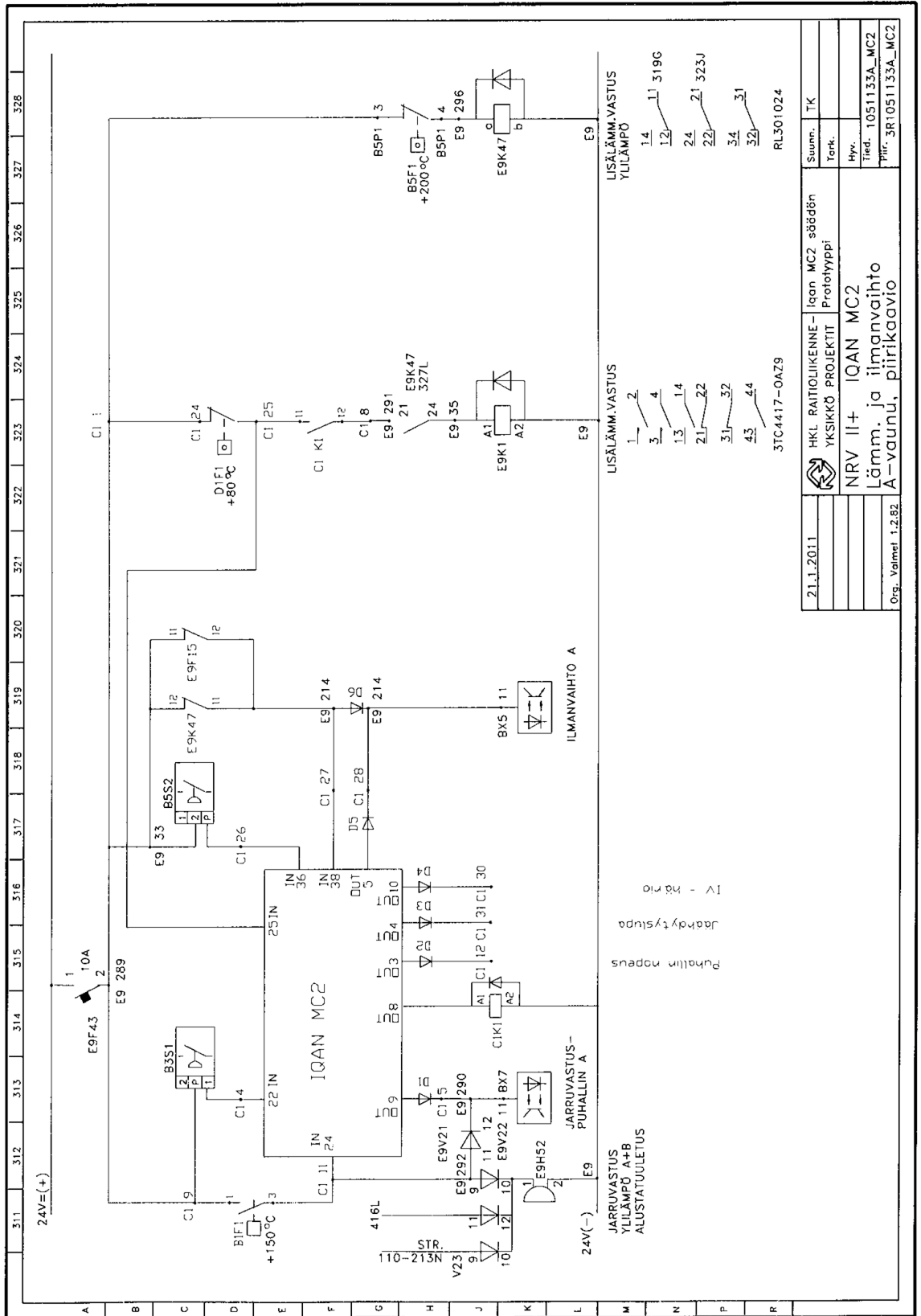


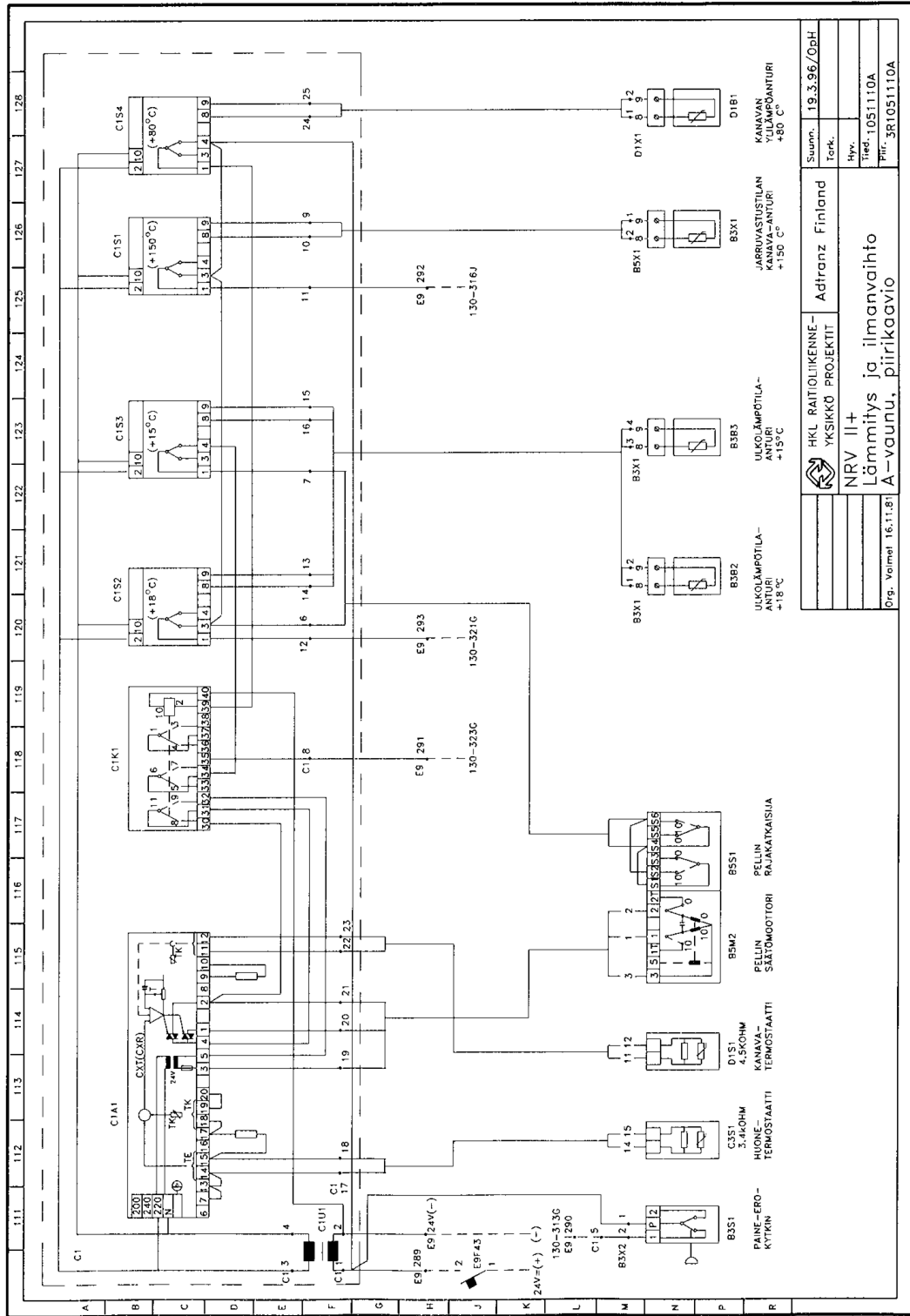
Kaapeli Osoite	N: o Koje Tunnus	Johdin mm2 Liitin	Huom Ketj.		Riviliitin N: o	Koje Ketj.	Huom Tunnus	Liitin	mm2
E9.289	561	1	1,5			5	S4	4	1,5
B3S1.P	565	1	1,5		1		U1 24V(+)	4	1,5
E9.24V=(-)	561	5	1,5				U1 24V(-)	3	1,5
					2		K1	10	1,5
	S1	2	1,5				U1 220V	1	1,5
					3		A1	220	1,5
	S1	10	1,5				U1 220V	2	1,5
					4		A1	N	
E9.290	561	2	1,5						
B3S1.1	565	2	1,5		5				
B5S1.S4	570	1	1,5			1	S2	3	1,5
					6				
B1S1.S6	570	2	1,5				S3	1	1,5
					7				
E9.291	561	3	1,5				K1	7	1,5
					8				
B5X1.1	566	1	1,5				S1	9	1,5
					9				
B5X1.2	566	2	1,5				S1	8	1,5
					10				
E9.292	561	4	1,5				S1	1	1,5
					11				
E9.293	561	6	1,5				S2	1	1,5
					12				
B3X1.2	567	2	1,5				S2	9	1,5
					13				
B3X1.1	567	1	1,5				S2	8	1,5
					14				
B3X1.4	567	4	1,5				S3	9	1,5
					15				
B3X1.3	567	3	1,5				S3	8	1,5
					16				
C3S1.1	571	1	1,5				A1	14	1,5
					17				
C3S1.2	571	2	1,5				A1	15	1,5
					18				
B5M2.3	569	3	1,5				A1	3	1,5
					19				
B5M2.1	569	1	1,5				A1	1	1,5
					20				
B5M2.2	569	2	1,5					8	1,5
					21				
D1S1.1	572	1	1,5				A1	11	1,5
					22				
D1S1.2	572	2	1,5				A1	12	1,5
					23				

D1X1.1	573	1	1,5		24		S4	8	1,5
D1X1.2	573	2	1,5		25		S4	9	1,5
E9.294	561	7	1,5		26		S2	3	1,5
E9.294	561	8	1,5		27				
E9.294	561	9	1,5						
E9.295	561	10	1,5		28				
E9.295	561	11	1,5						
E9.PE	561	kevi	1,5		PE				
B5M2.PE	569	4	1,5				A1	Runko	1,5



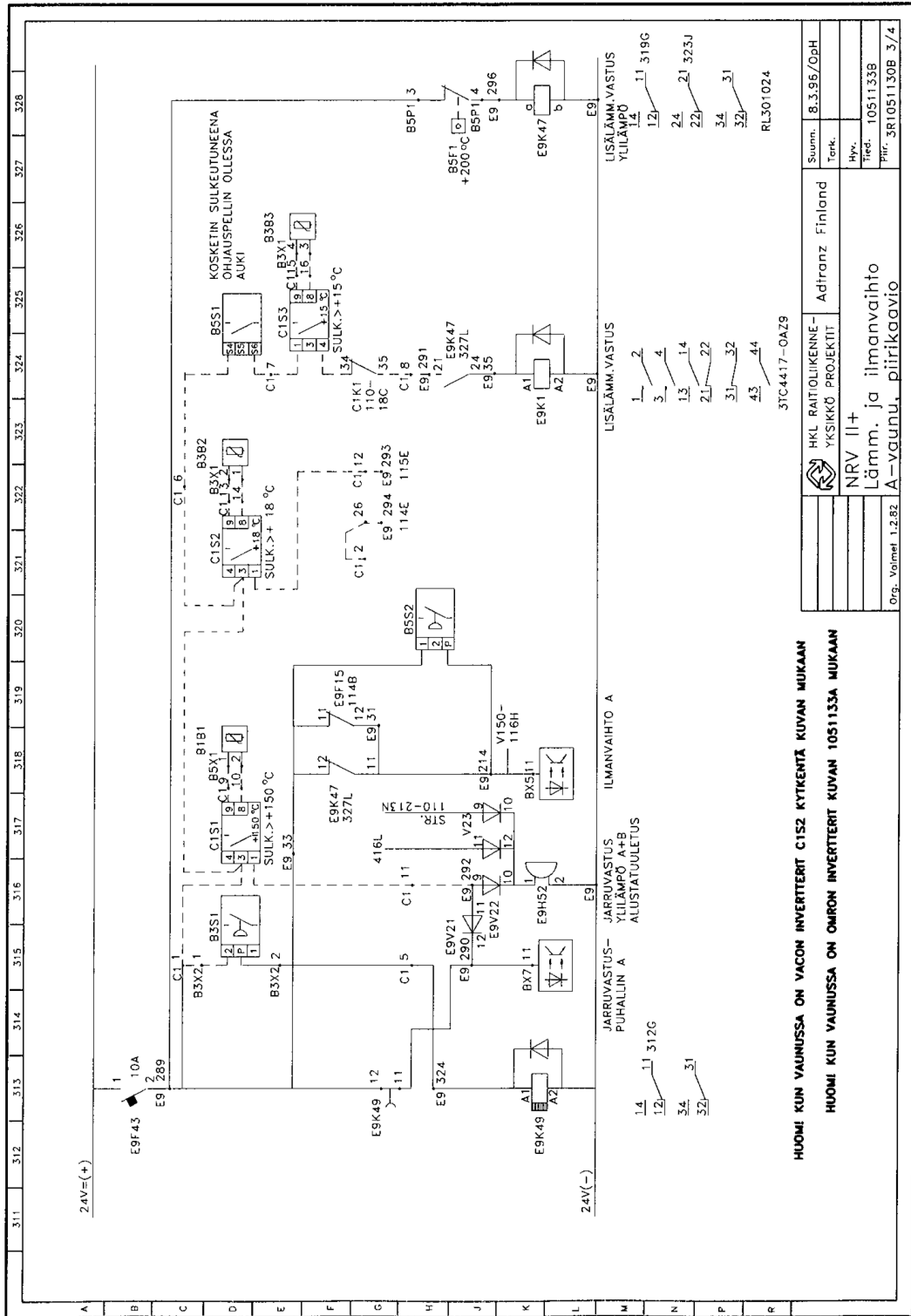
27.1.2011	HKL RAITILIIKENNE- YKSIKKÖ PROJEKTIT	Proto	Suunn. TK
			Tork.
			Hyy.
			Tied. 1051110A_MC2
			Piir. 3R1051110A_MC2





Suunn. 19.3.96/OpH	
Tark.	
Hyv.	
Proj.	1051110A
Proj.	3R1051110A

HKL RAITOLUKKENNE- YKSIKKÖ PROJEKTIIT		Adtranz Finland
NRV II+		Lämmitys ja ilmanvaihto
A-vaunu, piirikaavio		
Org. Voimel 16.11.81		



Org. Voimel 1.2.82	NRV Il+ Lämm. ja ilmanvaihto A-vaunu, piirikaavio	HKL RAITOUKSEN- YKSIKKÖ PROJEKTIIT	Adranz Finland	Suom. 8.3.96/OJH
				Tark.
				Hyv.
				Tied. 10511338
				Piir. 3R10511308 3/4

HUOMI KUN VAUNUSSA ON VACON INVERTERT C1S2 KYTKENTÄ KUVAN MUKAAN
HUOMI KUN VAUNUSSA ON OMRON INVERTERT KUVAN 1051133A MUKAAN

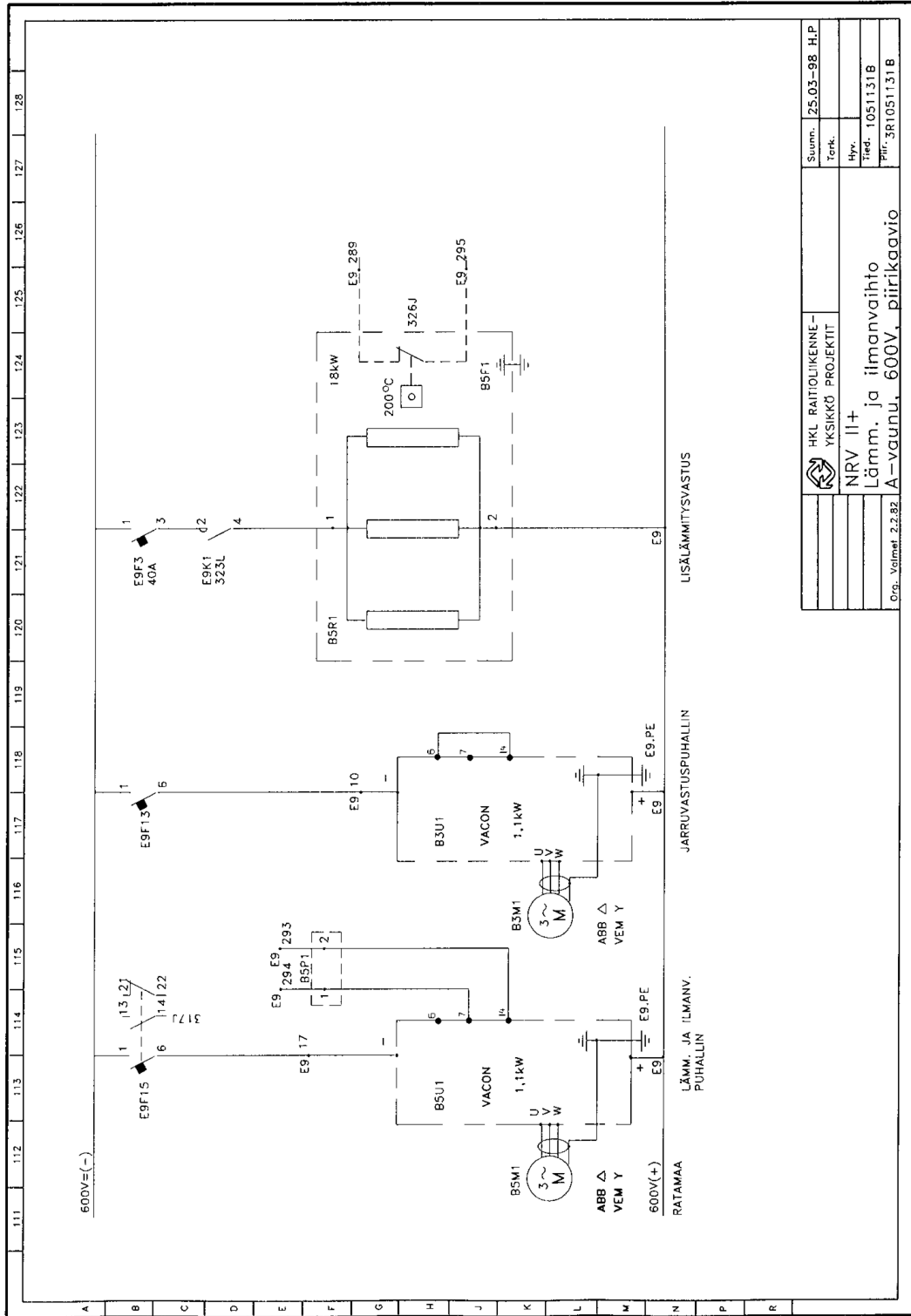
- LISÄLÄMM.VASTUS
YLILÄMPÖ
- 1, 2
 - 3, 4
 - 13, 14
 - 21, 22
 - 31, 32
 - 43, 44
- 3TC4417-OA29
RL301024

- LISÄLÄMM.VASTUS
- 1, 2
 - 3, 4
 - 13, 14
 - 21, 22
 - 31, 32
 - 43, 44

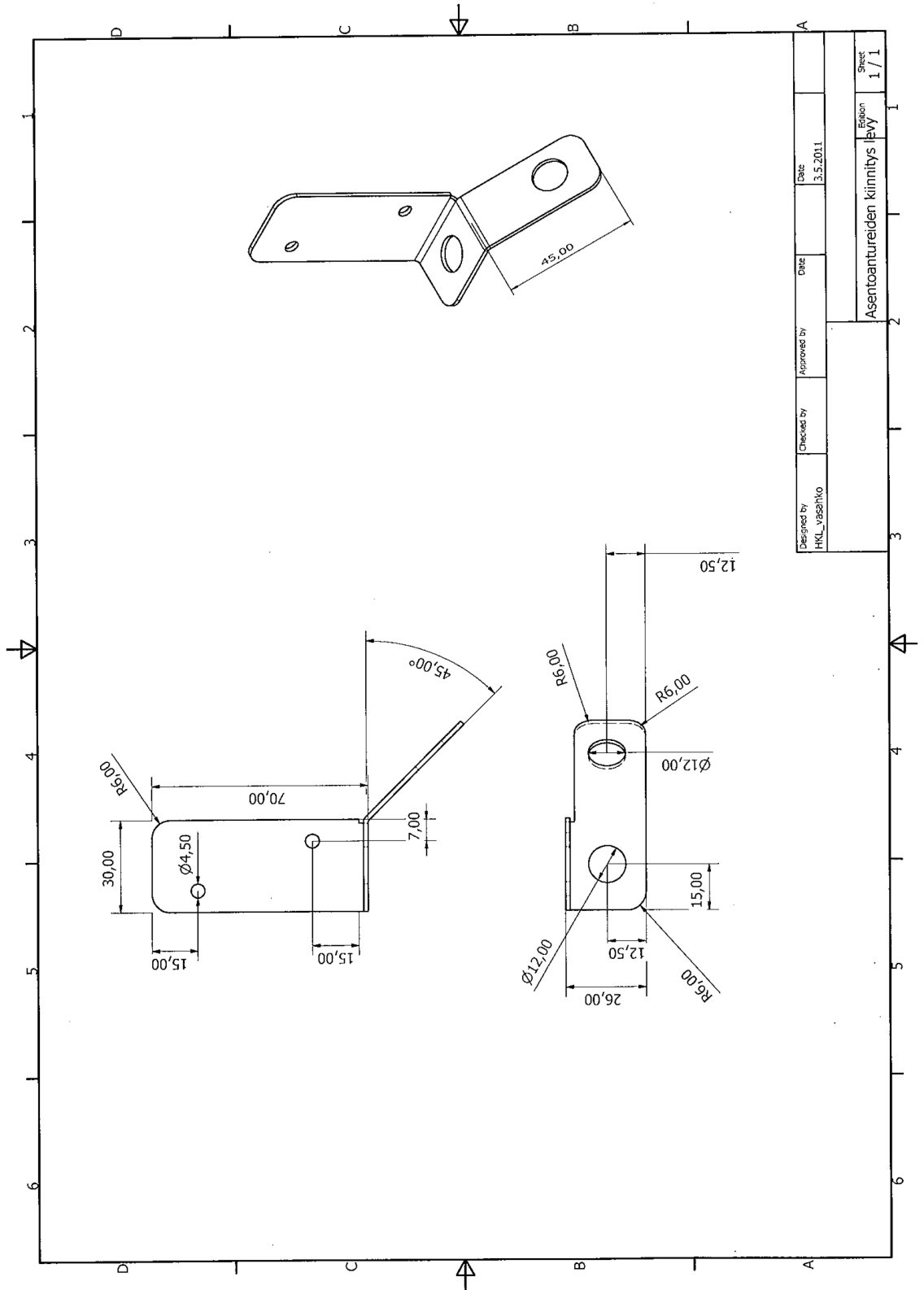
- JÄRRYVÄSTUS-
PUHALLIN A
- 1, 11 312G
 - 12, 31
 - 34, 32

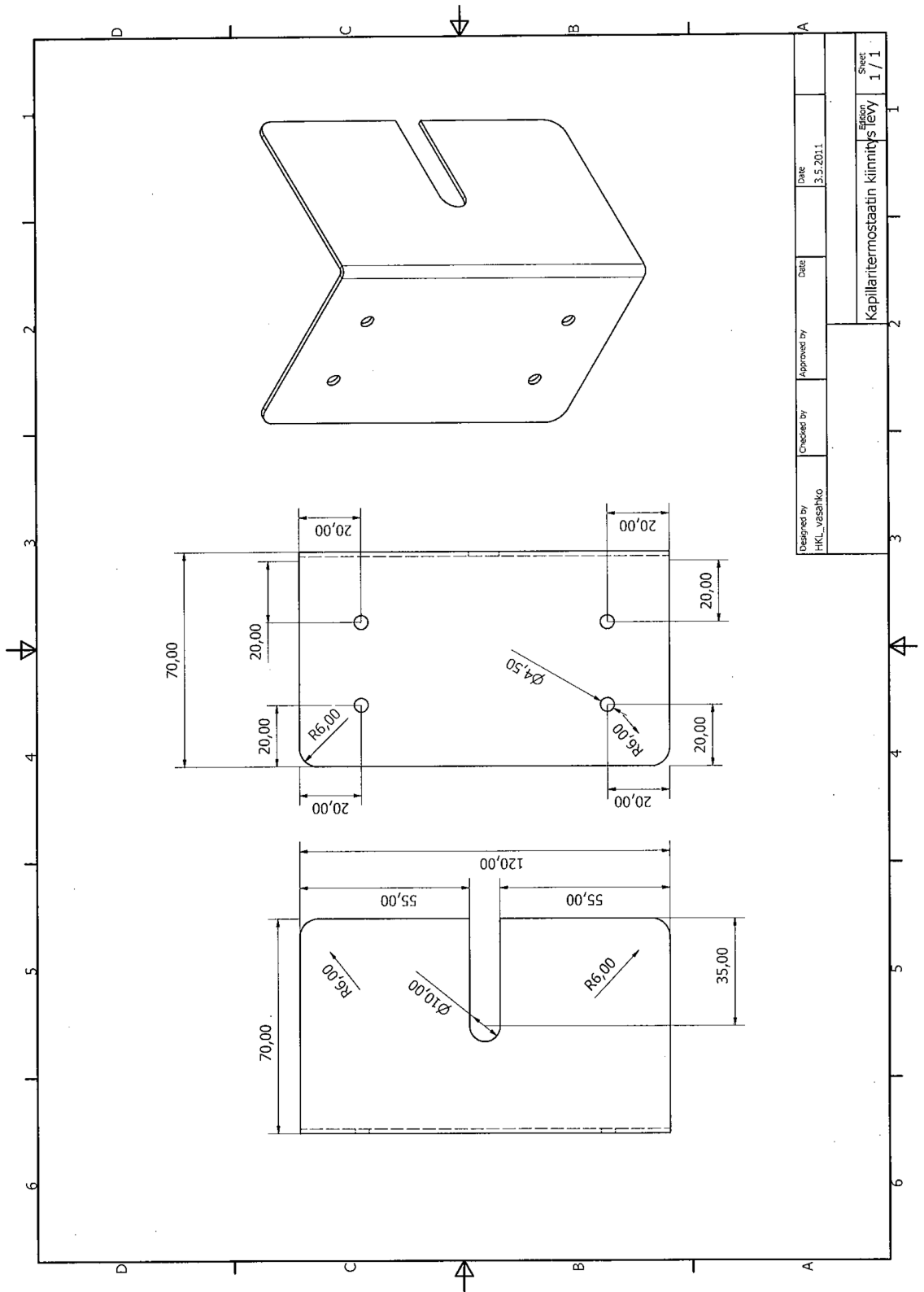
- JÄRRYVÄSTUS-
YLILÄMPÖ A+B
ALUSTATUULETUS

- ILMANVAIHTO A



		Suunn. 25.03-98 H.P. Toim. Hyr. Tied. 1051131B Piir. 3R1051131B
NRV II + Lämm. ja ilmanvaihto A-vaunu, 600V, piirikaavio		Org. Valmet 2.2.82





Designed by HKL_vasahko	Checked by	Approved by	Date 3.5.2011	Sheet 1 / 1
Kapillaaritermostaatin kiinnitys levy				Sheet 1 / 1

