

Einari Peltoniemi

COMBITROL RAJA-ARVOLAITTEIDEN TESTAUSLAITTEEN
TOIMINNAN SELOSTUS & DOKUMENTAATION LAADINTA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2020

COMBITROL-RAJA-ARVOLAITTEIDEN TESTAUSLAITTEEN TOIMINNAN SELOSTUS & DOKUMENTAATION LAADINTA

Peltoniemi, Einari
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2020
Sivumäärä: 34
Liitteitä: 4

Asiasanat: raja-arvot, testaus, testauslaitteet, käyttöohjeet, kalibrointi

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Combitrol-analogijärjestelmän raja-arvolaitteiden raja-arvojen testaukseen käytettävän testauslaitteen toiminta ja laatia sille kattava dokumentaatio, jota voidaan hyödyntää testauslaitetta tutkittaessa sen käyttöön, huoltoon ja kalibrointiin liittyvissä toimenpiteissä. Dokumentaatio pitää sisällään käyttö- ja kalibrointiohjeet, osaluettelon, layout-kuva ja piirikaaviot.

Opinnäytetyössä perehdytään Analogijärjestelmän rakenteeseen, moduulien jaotteluun ja laitekaappien rakenteeseen sekä tutkitaan raja-arvolaitteiden tehtävää järjestelmässä ja niiden toimintaperiaatetta. Opinnäytetyössä selostetaan kattavasti testauslaitteen tarkoitus sekä sen sisältämät komponentit ja niiden toimintaperiaatteesta, ominaisuuksista ja tehtävistä testauslaitteen toiminnassa. Opinnäytetyössä esitellään sen osana tuotettu dokumentaatio sekä sen tuottamisessa ja validoinnissa käytetyt menetelmät.

SUMMARY OF FUNCTIONALITY & COMPILATION OF DOCUMENTATION OF TESTING EQUIPMENT FOR COMBITROL-SYSTEMS LIMIT VALUE DEVICES

Peltoniemi, Einari

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

March 2020

Number of pages: 34

Appendices: 4

Keywords: limit values, testing, testing equipment, instruction manuals, calibration

The purpose of this thesis is to examine the functionality of testing equipment for Combitrol analogue systems limit value devices and to compile a comprehensive documentation for said equipment. The documentation includes an instruction manual for the usage and calibration of the equipment, as well as a parts list, a layout drawing and circuit diagrams. The documentation is meant for the usage, calibration and maintenance of the equipment.

The module division and the structure of the analogue system and equipment cabinets, as well as the limit value devices operating principles and function as a part of the system were investigated. The thesis includes a comprehensive study of structure, operating principle and function of the testing equipment and the components it contains. The thesis also introduces the documentation that was compiled as a part of the thesis and explores the methods used to ensure their validity.

SISÄLLYS

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ	7
3 COMBITROL	8
3.1 Yleistä	8
3.2 Combi Family	9
3.3 Laitekaappien rakenne	11
4 RAJA-ARVOLAITTEET	12
4.1 Yleistä	12
4.2 Raja-arvolaitteiden toiminta.....	13
4.3 Raja-arvojen tyypit.....	13
4.4 Raja-arvolaite QAPL 210	14
4.5 Raja-arvolaite QAPL 211	16
5 RAJA-ARVOVAUNU	17
5.1 Yleistä	17
5.2 Komponentit ja niiden toiminta	19
5.2.1 Integraattori QALB 232	19
5.2.2 Summain QALA 211.....	21
5.2.3 Muut komponentit	23
5.3 Käyttöliittymä	24
6 DOKUMENTAATIO.....	26
6.1 Ohjeet.....	26
6.1.1 Hyvien ohjeiden käytännöt.....	26
6.1.2 Käyttö- ja kalibrointiohjeet.....	28
6.2 Dokumenttien validointi	29
7 YHTEENVETO	31
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	

LYHENTEET

Lyhenne	Selite
+/-	Positiivinen tai negatiivinen
A	Operaatiovahvistimen vahvistuskerroin
C	Kapasitanssi
EPR	Eurooppalainen painevesireaktori
Hz	Hertsi
I	Virta
m	Metri
mA	Milliampeeri
MW	Megawatti
OL1	Olkiluoto 1
OL2	Olkiluoto 2
OL3	Olkiluoto 3
BWR	Kiehutusvesireaktori
R	Resistanssi
t	Aika
TTL	Transistor–transistor logic
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
TVONS	TVO Nuclear Services Oy
V	Jännite
V	Voltti
Ω	Ohmi

1 JOHDANTO

TVO:n 1970-luvulla rakennetuilla OL1- ja OL2-ydinvoimalaitosyksiköillä on käytössä raja-arvovaunu nimiset testauslaitteet, joita käytetään Combitrol-analogijärjestelmän raja-arvolaitteiden määräraikaistarkastukseen. Yksi käytössä olevista raja-arvovaunuista kuitenkin hajosi, ja dokumentaation puute teki tilanteesta hankalamman. Dokumentaation puute vaikeuttaa huomattavasti vaunun korjausta ja on johtanut siihen, että vaunuja ei ole voitu kalibroida.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on perehtyä raja-arvovaunun toimintaan ja tuottaa sille kattava dokumentaatio. Dokumentaatio sisältää vaunun käyttöä ja kalibrointia koskevat ohjeet, osaluettelon, layout-kuvat ja piirikaaviot. Lopuksi nämä dokumentit koetaan yhdeksi kokonaisuudeksi, jota voidaan hyödyntää raja-arvovaunuun perehtyessä, sen vikoja tunnistessa tai kalibroinnissa sekä mahdollisesti uutta vastaavaa testauslaitetta suunniteltaessa.

Opinnäytetyön alussa tutustutaan Combitrol-analogijärjestelmään ja sen raja-arvolaitteiden tehtävään ja toimintaan. Tämä antaa hyvän perustan tutustua itse raja-arvovaunun toimintaan, käyttöön sekä sen sisältämiin komponentteihin ja niiden toimintoihin ja ominaisuuksiin. Lopuksi opinnäytetyössä perehdytään sen osana luotuun dokumentaatioon sekä sen luomisessa ja validoinnissa käytettyihin menetelmiin.

Liian laajan opinnäytetyön välttämiseksi sen aiheita on rajattu, ja se sisältää tietoa vain yleisestä analogijärjestelmästä, raja-arvovaunusta ja testattavista raja-arvolaitteista. Opinnäytetyö ei sisällä yksityiskohtaista tietoa OL1- ja OL2-laitosten järjestelmistä ja laitekokonaisuuksista, joiden osana testattavat laitteen toimivat.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi TVO. Ohjaajana TVO:lla toimi Ville Savolainen ja Satakunnan ammattikorkeakoulun ohjaajana toimi Jari Saarinen. Opinnäytetyön liitteitä ei ole sisällytetty julkisesti esitettävään versioon TVO:n salassapitoluokituksen vuoksi.

2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

TVO on vuonna 1969 perustettu suomalainen osakeyhtiö, joka omistaa Eurajoen Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköt. TVO toimii omakustannusperiaatteella (Mankala-periaate). Eli TVO:n tavoitteena ei ole tuottaa voittoa. Kustannukset veloitetaan osakkailta sähkön hinnassa, joten tilikauden tulos on lähtökohtaisesti nolla. Osakkaat maksavat TVO:n kustannukset suhteessa omistukseensa riippumatta siitä, onko teho-osuus ollut käytössä. Kuvassa 1 on havainnollistettu Mankala-periaatetta. TVO:n osakkaat ovat suomalaisia teollisuus- ja energiayhtiöitä, joita omistaa myös 132 kuntaa. TVO:n suurin omistaja on Pohjolan Voima Oy 58,5 % osuudella. (Teollisuuden Voima Oyj:n intranet 2019.)

Teollisuuden Voima -konserniin kuuluvat tytäryhtiö TVONS ja ydinjätehuolto-yhtiö Posiva Oy. TVONS on kokonaan TVO:n omistama tytäryhtiö, joka hyödyntää TVO:n henkilöstön osaamista konsultointi- ja kehityspalveluissa. Posiva Oy taas on TVO:n ja Fortumin omistama yhteisyritys, joka keskittyy ydinjätteen loppusijoittamiseen. TVO:n osuus Posiva Oy:stä on 60 %. (Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut 2019.)

Ydinvoimalaitosyksiköt OL1 ja OL2 ovat identtisiä BWR-laitoksia, joiden molempien nykyinen nettosähköteho on 890 MW. OL1 alkoi tuottaa ensimmäisen kerran sähköä vuonna 1978 ja OL2 vuonna 1980. TVO:n vuosituotanto on yli 14TWh, mikä on 21 % Suomessa tuotetusta sähköstä ja 16 % Suomen sähkön tarpeesta. Uusi ydinvoimalaitosyksikkö OL3 sijaitsee Olkiluodon saaren länsipäässä, OL1- ja OL2-yksiköiden vieressä. OL3:lla on tarkoitus aloittaa sähköntuotanto vuonna 2020. Laitosyksikön nettosähköteho on n. 1600 MW. OL3 on EPR-laitos, joka on tilattu konsortiolta, jonka perustivat AREVA GmbH, AREVA NP SAS ja Siemens AG. OL3:n valmistuttua TVO:n osuus suomen sähkön tarpeesta tulee olemaan lähes 30 %. (Varmaa voimaa vihreästi 2018.)

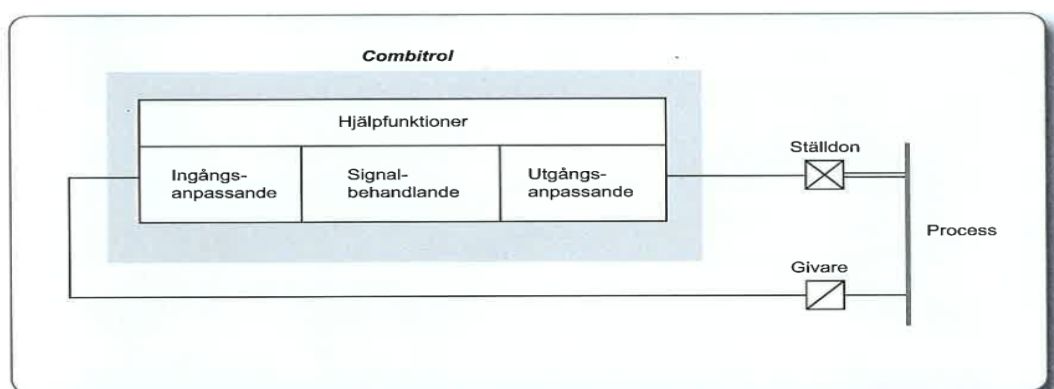
3 COMBITROL

3.1 Yleistä

Combitrol on ASEA:n valmistama elektroninen järjestelmä, joka sisältää funktiopohjaisia laitteita analogisten signaalien käsittelyyn ohjaus- ja säätöjärjestelmissä teollisuudessa. Combitrol-laitteet on suunniteltu Combiflex-moduulijärjestelmään liitettäviksi moduuleiksi. Combitrol kuuluu Combi Family -tuoteperheeseen. (YL 26-1 1973, 1.)

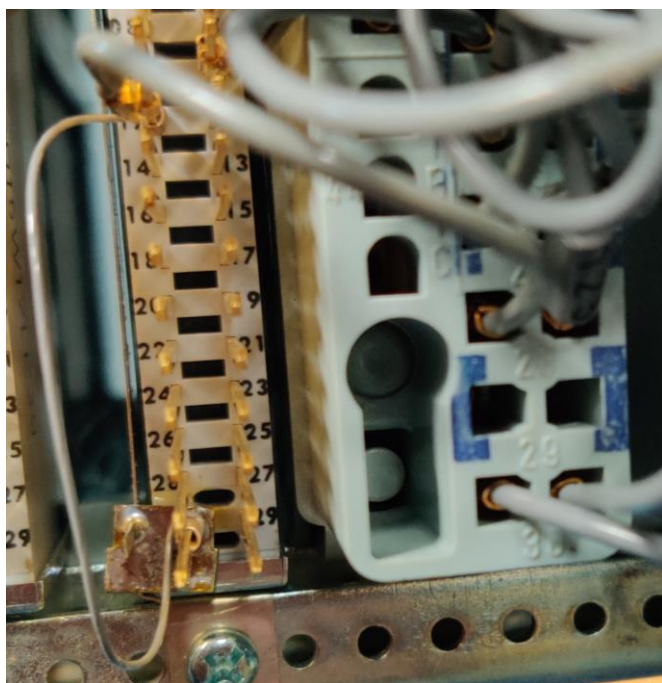
Combitrol-moduulit on suunniteltu ja jaoteltu niiden toiminnan mukaan mittaus-, hallinta- ja ohjausjärjestelmissä neljään ryhmään:

- Tulosignaali-moduulit, joilla signaalit voidaan muuntaa standardisoidulle signaalitasolle.
 - Signaalinkäsittelymoduulit, jotka pystyvät käsittelemään signaaleja eri tavoilla, kuten esim. suorittamalla niille erilaisia matemaattisia funktioita.
 - Syöttömoduulit, joiden lähtösignaalit on sovitettu ohjattaville objekteille.
 - Apufunktiomoduulit, jotka helpottavat esim. prosessin tiedonantoa.
- (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 7.)



Kuva 1. Combitrol-järjestelmän moduulien ryhmittely. (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 7.)

Combitrol-moduulit on jaettu näiden ryhmien lisäksi myös kahteen eri tyyppiin, Combitrol A ja Combitrol B. Combitrol A -moduulit ovat toiminnaltaan yksinkertaisia ja hyvin määriteltyjä, mistä johtuen laitteissa on tiheästi komponentteja. Tämän tiheyden vuoksi laitteet tarvitsevat paljon kytkentöjä rajatussa tilassa, joten laitteet tulee kytkeä johdottamalla laitteen pinnit ohuilla Wire-wrap johdoilla. Combitrol B -moduulit sen sijaan ovat pistokeyksikköjä, jotka liitetään Combiflex-kytkentäpistukkaan, jonka jousiliittimistä ne voidaan johdottaa. Combitrol B -moduulit soveltuvat standardisoituihin virtapiireihin, joiden toiminnalliset vaatimukset ovat hyvin määriteltyjä. Combitrol B -moduulien parametreja voi säätää niiden etuosassa sijaitsevista komponenteista, mikä helpottaa niiden sovittamista eri toimintoihin. (YL 26-1 1973, 2.)

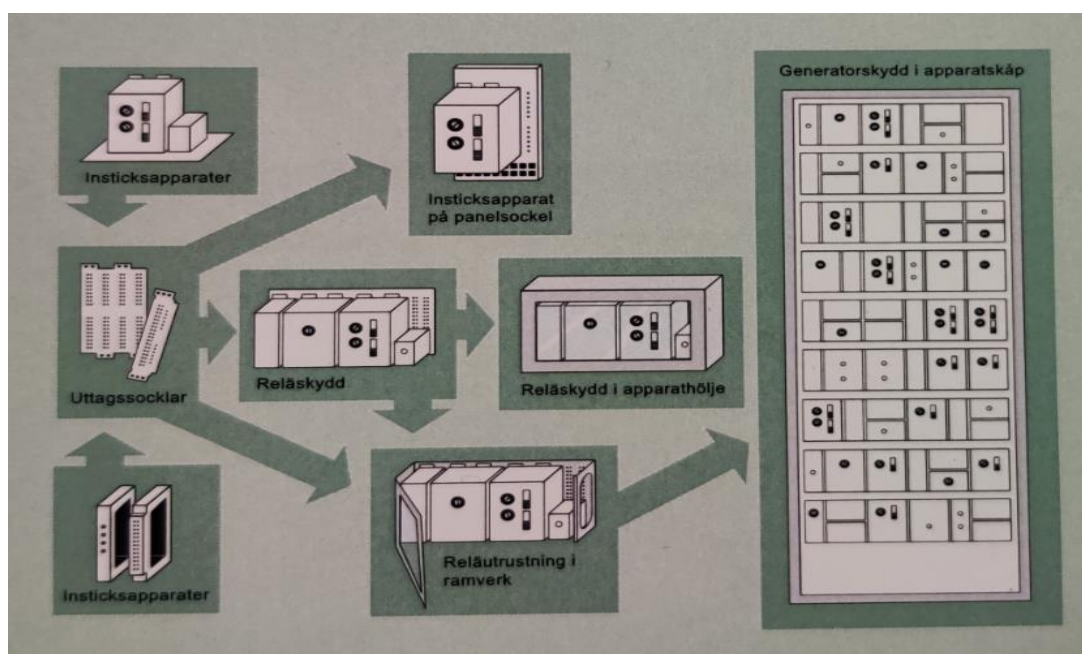


Kuva 2. Wire-wrap johdotus vasemmalla, ja jousiliitin johdotus oikealla. (Peltoniemi 2020.)

3.2 Combi Family

Combi Family on automaatiojärjestelmä tuoteperhe, johon kuuluu Combitrolin lisäksi Combiflex, Combimatic ja Combilogic. Combi Familyn on kehittänyt ASEA, ja nykyään sen valmistajana toimii ABB.

Combiflex on moduulijärjestelmä, joka toimii alustana, jonka tarkoitus on releiden ja Combitrol-, Combimatic- sekä Combilogic-laitteiden yhdistäminen kokonaisuuksiksi, joita voidaan käyttää suojaus-, valvonta- ja hallintajärjestelmissä esim. voimalaitoksilla. Nämä laitteet sijoitetaan laitekaappien käännettävään laiterunkoon, jossa ne voidaan johdottaa. (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 5.)



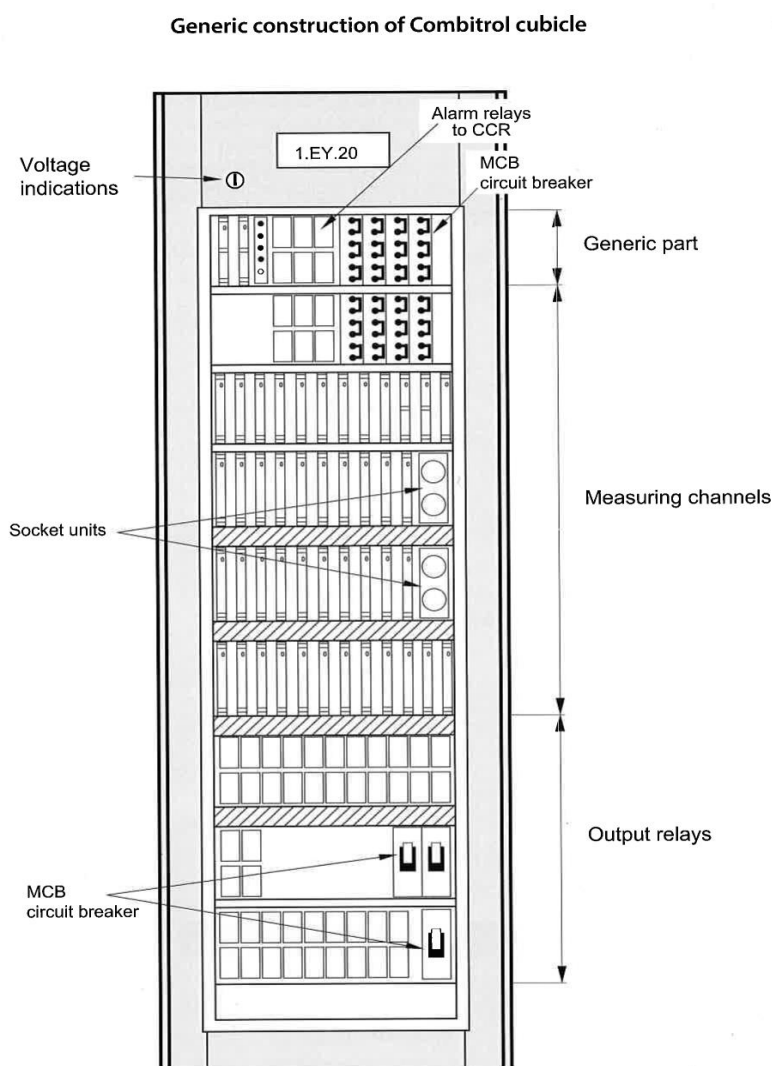
Kuva 3. Esimerkki Combiflex-järjestelmän modulaarisuudesta. (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 5.)

Combimatic on elektroninen ohjausjärjestelmä, jonka moduuleilla voidaan toteuttaa voima- ja teollisuuslaitoksien prosessien ohjausta sekä sekvenssiautomaatiikkaa. Combimatic on kehitetty vaihtoehdoksi relepohjaisille järjestelmille, mutta se toimii myös releiden ja kontaktoreiden rinnalla. Combimatic-moduuleja voidaan käyttää Combitrol-moduulien toiminnan täydentämiseen releiden ohella, muodostamalla tarvittavia ehtoja. Joitain Combitrol-moduuleja voidaan myös käyttää Combimatic-moduulien ehtojen ohjaamiseen. (YL 720–301 1971, 6; YL 26-1 1973, 1.)

Combilogic-järjestelmä sisältää moduuleja, joissa on TTL-tyyppisiä integroituja virtapiirejä. Jokainen näistä moduuleista on digitaalinen perusfunktio, joita käytetään suurien tietomäärien käsittelyyn ja aritmeettiseen laskentaan. (YL 720–301 1971, 6.)

3.3 Laitekaappien rakenne

Elektroniikkakaapeissa on lukittava peltinen ovi, ja sen takana on käännettävä laitekehys, jossa kaapin sisältämät laitteet sijaitsevat. Laitekehys sisältää mm. releitä, johdonsuojakatkaisijoita, mittauskanavien moduuleja sekä 37-napaisia pistokeyksiköitä, jotka on kytketty mittauskanavien raja-arvolaitteisiin niiden testausta varten. Kaappien ovien yläpuolella sijaitsevat kaapin tunnus ja jänniteindikaattori, joka osoittaa kaapin jännitesyötön tilan. Kaappien laitteita 24 V tasajännitteellä syöttäviä tasavirtalähteitä syötetään akuilla varmistetulla 220 V 50 Hz vaihtojännitteellä (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 14; Alajärvi 2015, 17.)

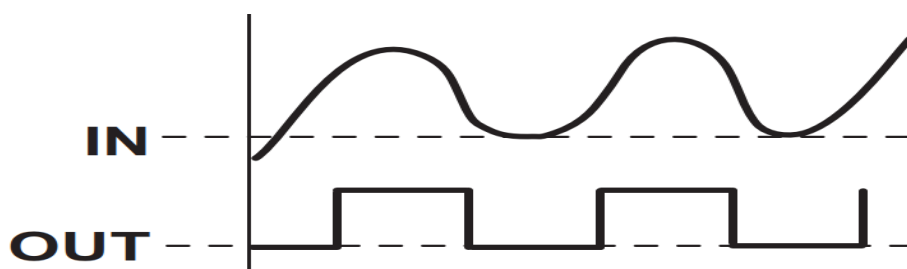


Kuva 4. Combitrol-laitekaappien yleinen rakenne. (COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers 2013, 14.)

4 RAJA-ARVOLAITTEET

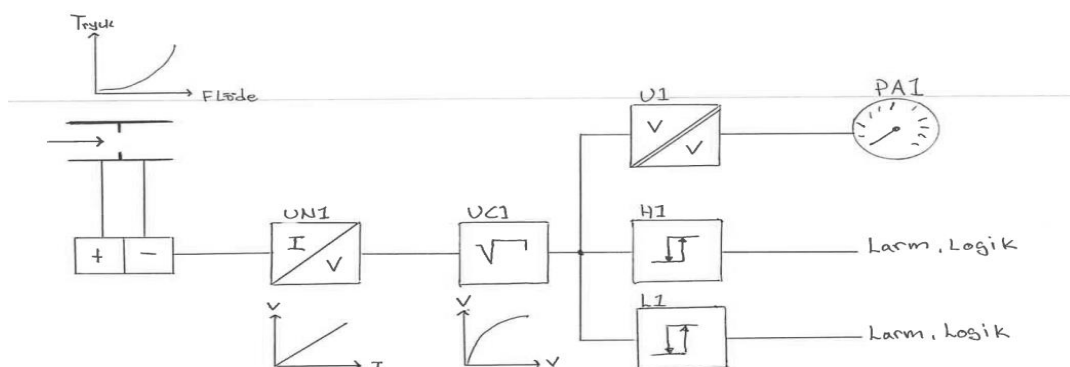
4.1 Yleistä

Raja-arvolaitteet QAPL 210 ja QAPL 211 ovat Combitrol B -apufunktio moduuleja, joiden tehtävä on valvoa ja ilmaista analogisignaalien saavuttamia raja-arvoja, muuttamalla niiden analogiset tulosignaalit suorakulma-aalloiksi niille asetetun raja-arvon mukaan, kytkemällä lähtösignaaliana päälle ja pois.



Kuva 5. Sini-aalto, joka on muutettu suorakulma-aalloksi (Cockrill 2011, 4).

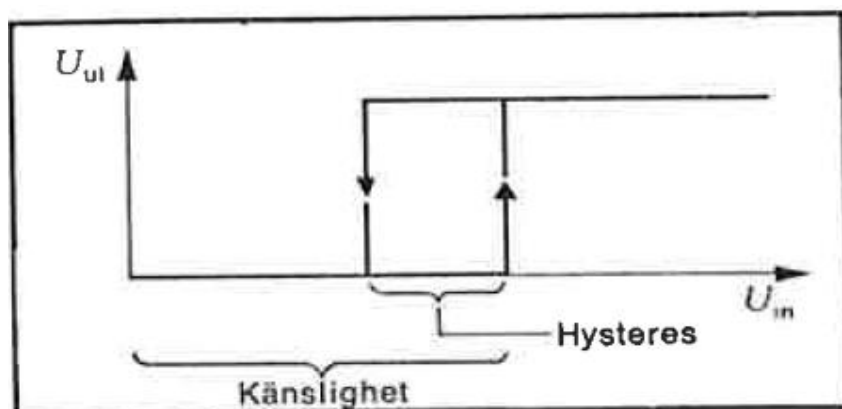
Raja-arvolaitteita käytetään OL1- ja OL2-laitoksilla mm. reaktoripaineen, jäähdytysveden lämpötilan ja reaktoripinnan seurannassa (Eklund 2011, 2). Raja-arvolaitteiden lähtösignaalin jännite on normaalisti 0 V ja päällä ollessaan 24 V. Lähtösignaalia voidaan käyttää prosessinohjauksessa suoraan esim. estotoimintoihin, mutta jos tarvitaan laajempia ehtoja niin lähtösignaalia pitää käyttää Combimatic-moduulien ohjaamiseen. Raja-arvolaitteiden tulosignaali ja asetettu raja-arvo voivat olla positiivisia tai negatiivisia. (YL 26-1 1973, 34, 35.)



Kuva 6. Havainnollistus ylä- ja alaraja-arvoista H1 ja L1 osana järjestelmää. (COMBIMATIC/COMBITROL Maintenance training nd.)

4.2 Raja-arvolaitteiden toiminta

Raja-arvojen lähtösignaalin päälle- ja poiskytkentä on toteutettu Schmitt-liipaisin-komparaattoriin, jota käytetään elektroniikassa suorakulma-aaltojen muodostamiseen. Schmitt-liipaisin toimii kuin normaali komparaattori eli sen lähdön tila riippuu sen toiseen tuloon tulevan signaalin ja toiseen tuloon tulevan referenssi-jännitteen tasoista. Lähdön tila muuttuu sen mukaan, kumpi on suurempi. Toisin kuin normaalissa komparaattorissa Schmitt-liipaisimessa on lähtösignaalin jatkuvien päälle- ja poiskytkentöjen estämiseksi hystereesi, joka on toteutettu kytkemällä Schmitt-liipaisimen lähdön ja referenssi-jännitteen tulo välille vastus. Hystereesin suuruus riippuu tämän vastuksen ja tuloon etuvastuksen resistansseista. Hystereesi estää lähtöä palautumasta normaalitilaan, ellei tulosignaali alita referenssi-jännitettä hystereesin arvon verran. (Cockrill 2011, 1.)



Kuva 7. Raja-arvon hystereesi. (YL 26-1 1973, 35.)

4.3 Raja-arvojen tyypit

Raja-arvolaitteiden raja-arvot voivat olla joko korkean tason raja-arvoja tai matalan tason raja-arvoja, sekä joko työvirta- tai lepovirtakytkettyjä. Tästä johtuen raja-arvoilla on neljä eri mahdollista tyyppiä:

- Korkea taso, työvirtakytkentä.
- Matala taso, lepovirtakytkentä.
- Korkea taso, lepovirtakytkentä.
- Matala taso, työvirtakytkentä.

Raja-arvon taso ilmaisee sen, onko se yläraja vai alaraja. Korkeassa tasossa raja-arvokanava toimii ylärajana ja on normaalitilassa, kun sille tuleva signaali on alempi kuin sille asetettu raja-arvo. Eli se aktivoituu, kun tulosignaali ylittää asetetun raja-arvon. Matalassa tasossa raja-arvo taas toimii alarajana ja on normaalitilassa, kun sen tulosignaali on korkeampi kuin asetettu raja-arvo, ja se aktivoituu, kun signaali alittaa asetetun raja-arvon.

Työvirtakytkennässä raja-arvon säätöpotentiometri on kytketty 11 V -jännitteeseen, kun taas lepovirtakytkettynä se on kytketty -11 V -jännitteeseen. Työvirtakytkettynä raja-arvolaitteen lähtösignaali ei ole normaalitilassa päällä vaan se aktivoituu, kun asetettu raja-arvo ohitetaan. Lepovirtakytkettynä lähtö on taas normaalisti päällä ja se poistuu, kun raja-arvo ohitetaan. (YL 26-1 1973, 34.)

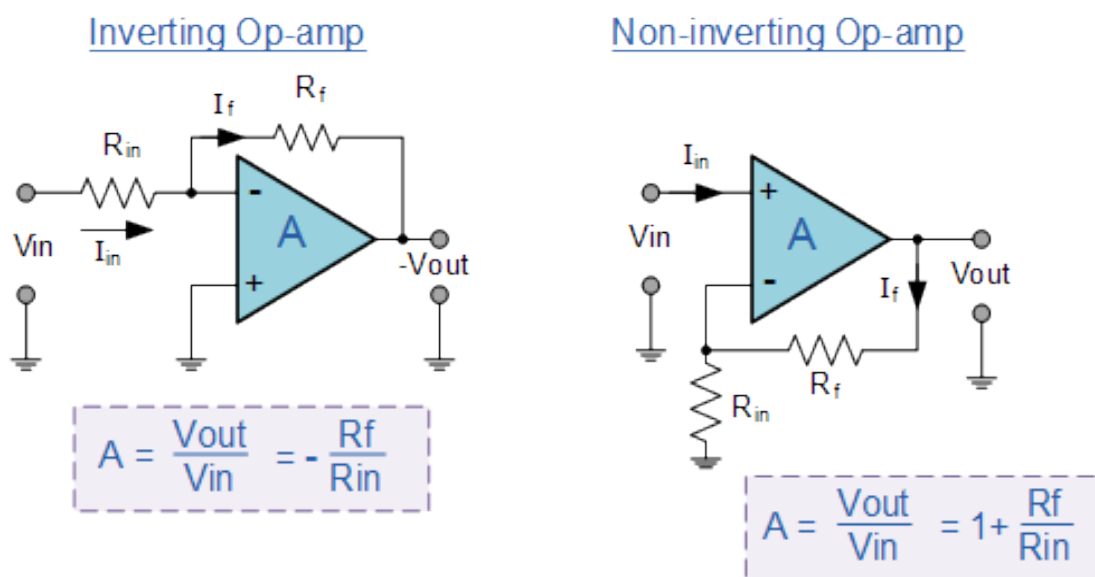
Raja-arvon mahdolliset tyypit riippuvat siitä onko raja-arvokanavan tulosignaali kytketty invertoivaan- vai ei invertoivaan signaalituloon, ja siitä onko raja-arvo työ- vai lepovirtakytketty. Raja-arvokanavan kytkennät ja niiden tyypit näkyvät sivulla 17, kuvassa 10.

4.4 Raja-arvolaite QAPL 210

QAPL 210 on raja-arvolaite, joka sisältää kaksi itsenäistä kanavaa, jotka sisältävät omat Schmitt-liipaisimet A2 ja A4. Raja-arvolaitteen etuosassa on molemmille kanaville oma hystereesi- ja raja-arvosäätö sekä merkkivalo. Raja-arvo ja hystereesi säädetään prosentteina tulosignaalista. Raja-arvoa voidaan säätää kahdella eri alueella, joko 0-11 % tai 0-110 %, jotka voi valita kytkimellä. Hystereesiä taas voidaan säätää 0-100 % alueella. Kanavien hystereesit voidaan asettaa joko positiivisiksi tai negatiivisiksi vaihtokytkimellä. (YL 26-1 1973, 34.)

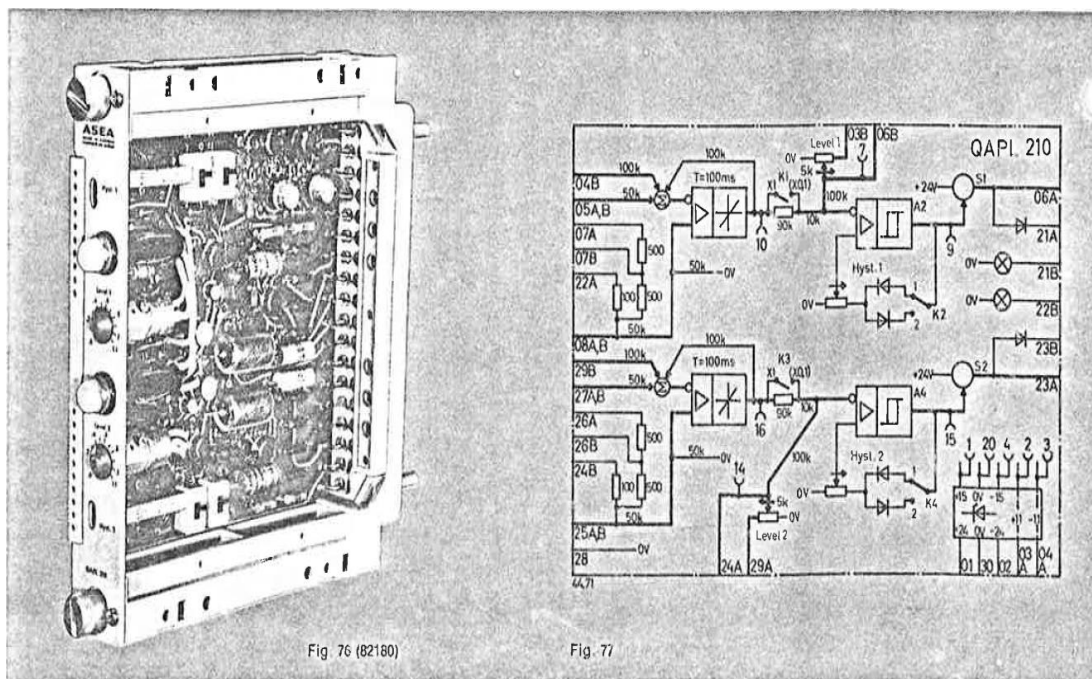
Kanavien tulopiirit toimivat operaatiovahvistimilla. Operaatiovahvistimet ovat elektroniikan komponentteja, joilla on tyypillisesti yksi lähtö ja kaksi tuloa, joissa ei kulje virtaa. Tuloista toinen on invertoiva ja toinen ei-invertoiva. Takaisinkytketty operaatiovahvistin vahvistaa lähtönsä jännitteen niin isoksi, että sen tuloissa on sama

jännite. Operaatiovahvistimia käytetään yleisesti analogisignaalien, kuten antureiden mittaussignaalien vahvistamiseen. Niillä voidaan myös muodostaa erilaisia matemaattisia funktioita, kuten esim. integraattori tai summain, kytkemällä se komponenttien, kuten vastusten ja kondensaattorien kanssa. (Operational Amplifier Basics. nd.) Kanavien operaatiovahvistimet voidaan kytkeä joko invertoivaksi- tai ei-invertoivaksi, ja sen vahvistuskerroin kussakin kytkennässä määräytyy alla olevan kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 8. Operaatiovahvistimen vahvistuskertoimen A laskukaavat. (Operational Amplifier Summary. nd.)

QAPL 210 -virtasignaalituloissa on vastukset, jotka on mitoitettu niin, että virroilla 5, 10, 20 ja 50 mA signaali saavuttaa virtasignaalien nimellisen 5 V -jännitteen yhdistyessään jännitesignaalituloon. Kanavilla on kolme jännitesignaalituloa, yksi ei-invertoitu ja kaksi invertoivaa, joista toista käytetään, kun raja-arvolaitetta testataan raja-arvovaunulla. Nimellisjännite jännitesignaalituloilla on +/- 10 V. (YL 26-1 1973, 34.)



Kuva 9. QAPL 210. (YL 26-1 1973, 34.)

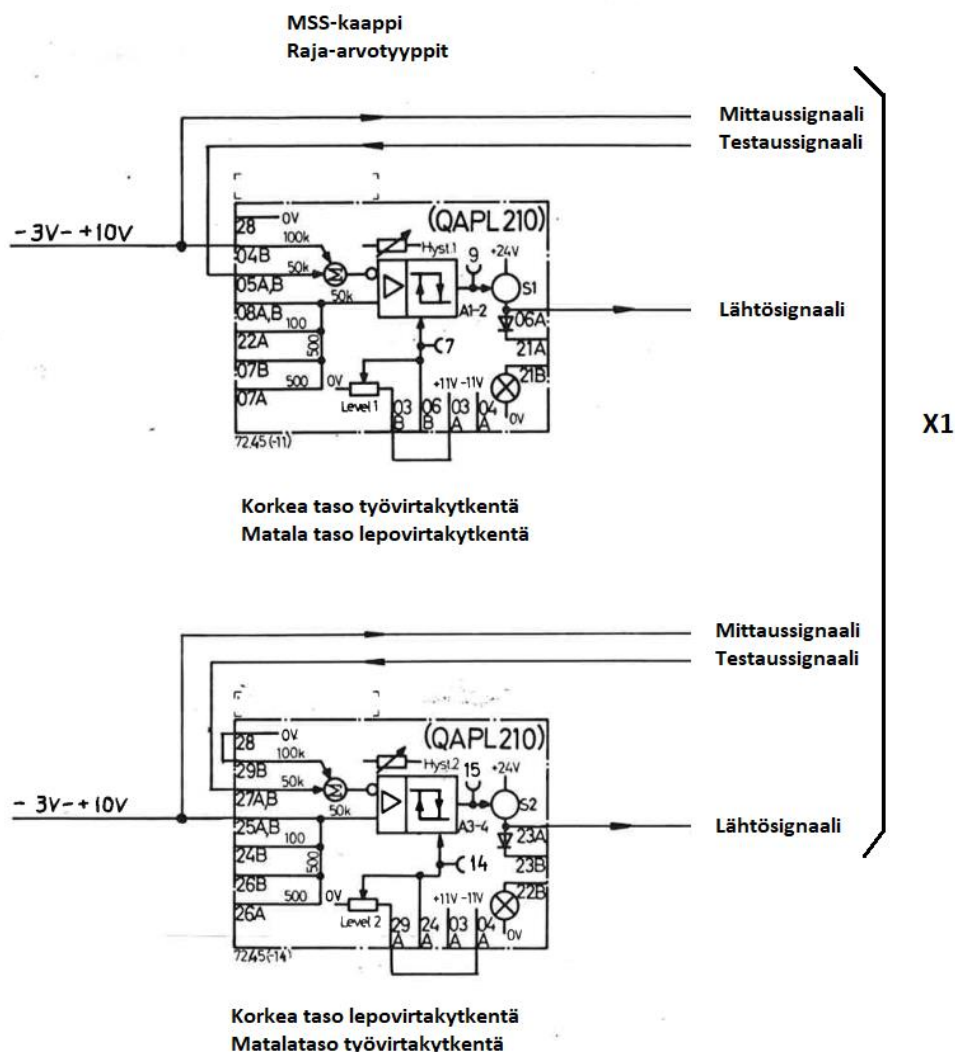
4.5 Raja-arvolaite QAPL 211

QAPL 211 on nelikanavainen raja-arvolaite, jonka jokaisella kanavalla on oma Schmitt-liipaisin ilman operaatiovahvistimia. Lisäksi kanavilla on kiinteä hystereesi, merkkivalo sekä yhdellä alueella laitteen etuosasta säädettävä raja-arvo. Raja-arvo voidaan säätää olemaan 0-110 % signaalitulon nimellisjännitteestä. Kanavien virtasignaalituloissa on 250Ω vastus, joten 20 mA virralla saavutetaan virtasignaalitylon 5 V -nimellisjännite. Kanavilla on yksi invertoiva jännitesignaalitylo ja yksi ei-invertoiva, joiden nimellisjännite on $\pm 10V$. (YL 26-1 1973, 35.)

5 RAJA-ARVOVAUNU

5.1 Yleistä

Raja-arvovaunu on ASEA:n valmistama testauslaite, jota käytetään MSS-kaappeihin sijoitettujen raja-arvolaitteiden toiminnan tarkistamiseen. Raja-arvovaunu testaa ja mittaa raja-arvoja ja hystereesiä lukemalla raja-arvolaitteen kanavan signaalituloon tulevaa tulossignaalia eli mittaussignaalia sekä sen lähettämää 24 V lähtösignaalia ja lähettämällä sen tuloon testaussignaalin, joka laukaisee testattavan raja-arvolaitteen kanavan. Tämän jälkeen raja-arvo on luettavissa raja-arvovaunusta.



Kuva 10. Raja-arvolaitteen kanavat liitettynä raja-arvovaunun liitäntäkaapeliin X1. (Ladvall 1976, 3.)

Testausten tarkoitus on vahvistaa, että raja-arvolaitteet ovat toimintakuntoisia ja stabiileja, joten niiden tulee testissä laueta ja palautua, kun raja-arvovaunun lukemat hyväksyttävällä toleranssilla täsmäävät raja-arvolaitteen asetusarvojen kanssa. Jos luettu raja-arvo poikkeaa asetetusta yli toleranssin, niin raja-arvolaitteen asetuksia täytyy säätää, ja jos poikkeama on liian suuri, niin raja-arvolaite pitää vaihtaa. (Eklund 2011, 2.)

Raja-arvovaunulla on pyörillä liikuteltava runko, johon sen keskus on asennettu. Keskukselta lähtee kaksi kaapelia, joista toinen on 2 m pitkä liitäntäkaapeli X1, jossa on mittaussignaali-kaappien pistokeyksiköiden liittimiin sopiva pistoke ja 3 m pitkä verkko-kaapeli X5 suojamaadoitetulla schuko-pistokkeella. Raja-arvovaunun käyttöliittymä sijaitsee sen keskuksen ovelle ja sen elektroniikka sijaitsee keskuksessa sijaitsevassa käännettävässä kehyksessä. Käyttöliittymän, kaapelien ja elektroniikan laitetunnukset ja yleistä tietoa vaunun rakenteesta löytyy layout-kuvasta, joka on tämän opinäytetyön liitteenä 3.



Kuva 11. Raja-arvovaunu (Peltoniemi 2020.)

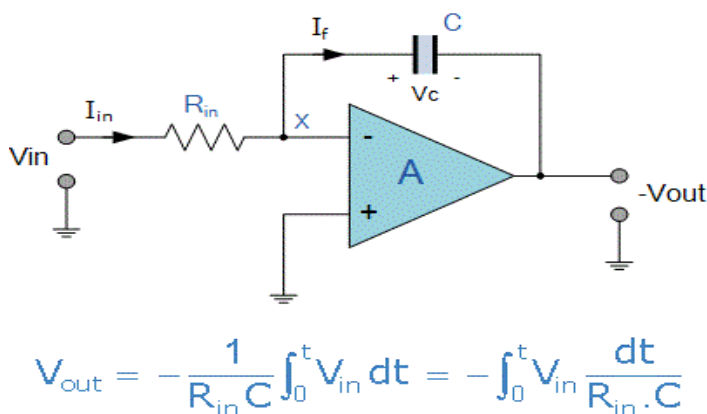
5.2 Komponentit ja niiden toiminta

Suorittaakseen raja-arvon mittauksen raja-arvovaunun täytyy tuottaa ramp-signaali, josta saadaan testattavan raja-arvon suuruus ja testaussignaali, joka laukaisee raja-arvolaitteen kanavan. Signaalit tuotetaan raja-arvovaunun sisältämällä elektroniikalla. Lisätietoa vaunun komponenttien toiminnasta löytyy sen piirikaavioista, jotka ovat tämän opinnäytetyön liitteenä 4.

5.2.1 Integraattori QALB 232

Integraattoriyksikkö QALB 232 on Combitrol B -signaalinkäsittelymoduuli, jonka tehtävä raja-arvovaunun toiminnassa on tuottaa ramp-signaali. Se tuottaa ramp-signaalin integroimalla sille syötetyn jännitteen ajan suhteen. Jolloin tuotettu signaali kasvaa tai laskee suhteellisesti syötetyn jännitteen ja kuluneen ajan kanssa, kunnes se on yhtä suuri kuin testattava raja-arvo, mutta eri merkinen. Raja-arvolaitteen kanavan lähtösignaali pysäyttää sen, jolloin ramp-signaalista voidaan mitata testattava raja-arvo. Ramp-signaali on eri merkinen kuin testattava raja-arvo, raja-arvovaunun virtapiirin invertoinnista johtuen. Hystereesimittauksessa, joka voidaan suorittaa raja-arvon mittauksen jälkeen integraattori muuttaa ramp-signalia vastakkaiseen suuntaan, kunnes raja-arvolaitteen kanava palautuu normaalitilaan.

Integroija toimii operaatiovahvistimen A4 -integrointipiirillä, jossa integrointi nopeus määrittyy syötetyn jännitteen, operaatiovahvistimen lähdön ja invertoivan tulon välisen kondensaattorin kapasitanssin ja invertoivan tulon etuvastuksen resistanssin mukaisesti. Integraattorin lähdön jännite määrittyy alla olevan kuvan 12 mukaisesti. (4927 0160-PSE, 1974, 1.)



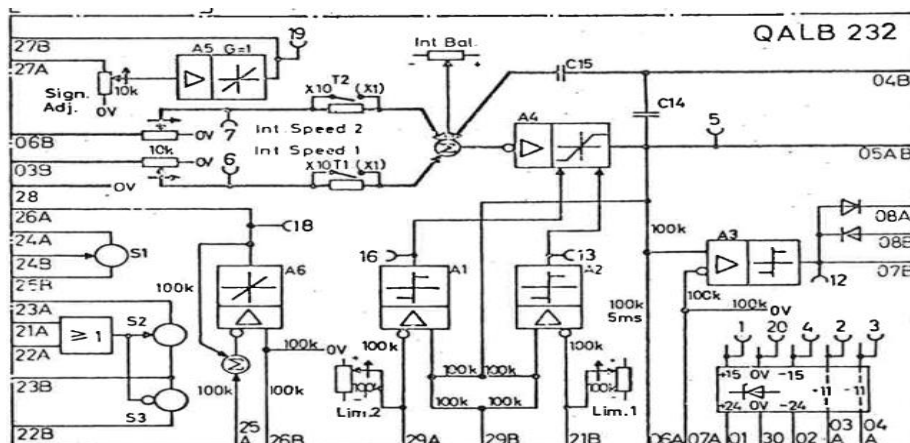
Kuva 12. Operaatiovahvistin integraattori. (The Integrator Amplifier. nd.)

Kuvassa 13. näkyy kuinka integraattorissa on lisäksi myös muita komponentteja, joita käytetään raja-arvovaunun toiminnan ohjaamiseen:

- Kytkimet S2 ja S3 on kytketty vaihtokytkimeksi, joka pysäyttää ramp-signaalin integroinnin kytkemällä vahvistimen A4 tulon pois päältä, riippuen raja-arvon lähtösignaalin tilasta. Kytkin S1 ei ole käytössä raja-arvovaunussa.
- Operaatiovahvistimelle A3 tuodaan rampin matalan tai korkean tason ohjausjännite, jota kohti ramp-signaalia integroidaan.
- Säädettyä operaatiovahvistinta A5 käytetään rampin matalan tason ohjausjännitteen säätöön.
- Operaatiovahvistinta A6 käytetään mittaussignaalin invertoimiseen summaimelle.
- Vahvistimet A1 ja A2 rajoittavat vahvistimen A4 vahvistusta, mutta eivät ole käytössä raja-arvovaunussa.

Integraattorin parametreja voidaan säätää sen etuosasta löytyvistä potentiometreistä:

- Int. speed 1 säätää raja-arvovaunun ramp-nopeutta.
- Int. speed 2 säätää kuinka kauan raja-arvovaunun Start-painonappia täytyy pitää pohjassa ennen kuin ramp voidaan käynnistää.
- Lim. 1 ja Lim. 2 voivat rajoittaa integraattorin lähdön jännitealuetta, mutta ne eivät ole käytössä raja-arvovaunussa.
- Sign. Adj. on vahvistimen A5 säätöpotentiometri, joka säätää rampin matalan tason ohjausjännitteen vahvistusta.

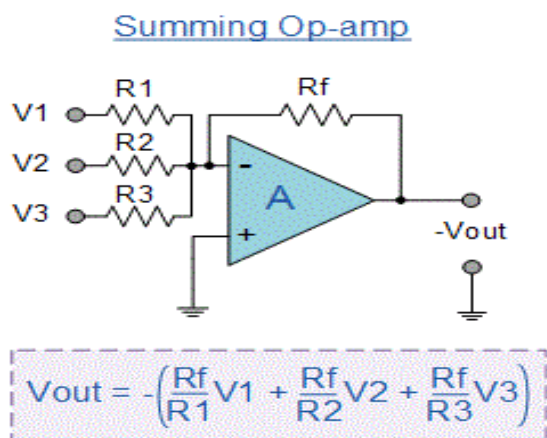


Kuva 13. QALB 232. (4927 0160-PSP, 1974, 1).

5.2.2 Summain QALA 211

Summainyksikkö QALA 211 on Combitrol B -signaalinkäsittelymoduuli, joka summaa integraattoriyksikön lähettämän ramp-signaalin ja raja-arvolaitteen kanavan signaalituloon tulevan mittaussignaalin joko invertoituna tai ei-invertoituna. Se tuottaa täten testaussignaalin, joka lähtee raja-arvolaitteen kanavan signaalituloon ja laukaisee raja-arvolaitteen, kun ramp-signaali saavuttaa testattavan raja-arvon.

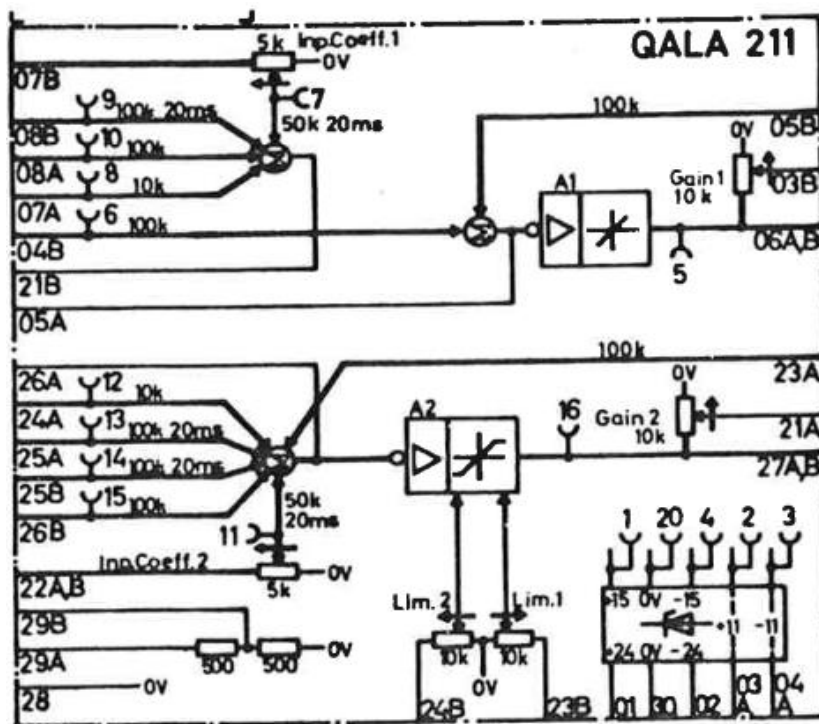
Summain toimii sen operaatiovahvistimen A2 ympärille rakennetulla piirillä, joka suorittaa sen tuloihin tuleville jännitteille matemaattisen summausfunktion. Yhteenlaskettu summa on riippuvainen vahvistimen lähdön ja sen invertoidun tulon väliin kytketyn takaisinkytkentävastuksen resistanssista, summattavista jännitteistä ja niiden vastusten resistansseista alla olevan kuvan 14 mukaisesti. (4927 0160-DVE, 1971, 1.)



Kuva 14. Operaatiovahvistin summaaaja. (Operational Amplifier Summary. nd.)

Summaustoiminnon lisäksi summain sisältää operaatiovahvistimen A1, joka on säädettävä invertoiva vahvistin, jolla ramp-signaali invertoidaan. Summainen toimintaa voi säätää sen etuosassa sijaitsevista potentiometreistä:

- Gain 1:llä voidaan säätää ramp-signaalin invertoivan operaatiovahvistimen A1 vahvistusta, mutta Gain 1 ei ole käytössä ja vahvistuksen säätöön käytetään QA 405 potentiometriä R2.
- Gain 2:lla voidaan säätää raja-arvolaitteelle lähetettävän testaus-signaalin vahvistavan operaatiovahvistimen A2 säätöön, mutta Gain 2 ei ole käytössä ja vahvistuksen säätöön käytetään QA 405 potentiometriä R1.
- Inp. Coeff. 1:stä ja Inp. Coeff. 2:sta voidaan käyttää vakioarvon asettamiseen summainen tulopiireihin, mutta nämä potentiometrit eivät ole kuitenkaan käytössä raja-arvovaunussa.
- Lim 1:llä voidaan rajoittaa mittaussignaalin jännitealueen ylärajaa, ja Lim 2:lla alarajaa -11 V-11V alueella.



Kuva 15. QALA 211. (4927 0160-DSP, 1971, 1).

5.2.3 Muut komponentit

Raja-arvolaitteella on muita komponentteja, joiden tehtävä on ohjata tai säätää integraattoriyksikön ja summainyksikön toimintaa:

- Tasavirtalähde QMAT 503 toimii raja-arvovaunun syöttölaitteena, joka tasasuuntaa raja-arvovaunulle syötettävän vaihtosähkön tasasähköksi muita komponentteja varten.
- QDIR 608 on releyksikkö, jonka releitä käytetään integraattoriyksikön ja summainyksikön signaalitulojen ohjaamiseen.
- QA 405 on potentiometriyksikkö, jonka potentiometrejä käytetään summainen QALA 211 tulopiirin virtuaalisen nollapisteen ja operaatiovahvistimien lähtöjen vahvistuksen säätämiseen.
- Matriisikortin QI 13V vastus R1 toimii summainen QALA 211 ramp-signaalin invertoivan operaatiovahvistimen A1 etuvastuksena.



Kuva 16. Raja-arvovaunun sisältämä elektronikka (Peltoniemi 2019).

5.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä on se laitteen tai jonkin muun tuotteen osa, josta käyttäjä voi käyttää tuotetta. Käyttöliittymänä voi toimia jonkinlainen kosketusnäyttö tai vain laitteen sisältämät kytkimet. Raja-arvovaunussa käyttöliittymänä toimii sen keskuksen ovesa sijaitsevat kytkimet ja ilmaisinelaitteet. (Asmala nd, 2.)

Raja-arvovaunussa on kolme kappaletta moniasentoisia valintakytkimiä, joilla asetetaan raja-arvovaunun asetukset toimenpiteitä varten:

- GV-don-kytkimellä S3 on 11 asentoa, jotka määrittävät kuinka raja-arvovaunu kytkeytyy liitäntäkaapeliin X1, joten kytkimellä voidaan valita mihin raja-arvoon raja-arvovaunu kytkeytyy testausta varten.
- Status-kytkimellä S4 on neljä asentoa, joilla valitaan testattavan raja-arvon tyyppi. Kytkin muuttaa ramp-signaalin ohjausjännitettä, jota kohti sitä integroidaan, summaimen virtuaalisen nollapisteen säätöä, sekä ramp-signaalin ja mittaussignaalin invertointia summaimelle.
- Test-kytkin S5 on 6-asentoinen kytkin, jota käytetään kalibroitaessa raja-arvovaunua, kääntämällä se eri asentoihin eri testauksia ja säätöjä varten, jolloin sen koskettimet valmistelevat raja-arvovaunun virtapiirit näitä kalibrointitoimenpiteitä varten. Kytkimen S5 1-asentoa voidaan käyttää myös raja-arvovaunun signaalinlähteyksen estämiseksi. (Edlund, L. 1977.)



Kuva 17. Raja-arvovaunun valintakytkimet (Peltoniemi 2019).

Raja-arvovaunun käyttöliittymässä on myös muita komponentteja, joista sitä käytetään:

- Kytkin S1 kytkee vaunun sähkönsyöttöä päälle ja pois.
- Start-painonappia S2 käytetään testauksen käynnistämiseen raja-arvoja testattaessa.
- Digitaalinen jännitemittari V1 mittaa integraattori-yksikön QALB 232 lähettämää ramp-signaalia, joten testattavan raja-arvolaitteen raja-arvon voi lukea jännitemittarin näytöstä, kun testaus on suoritettu. Ramp-signaali on kytketty jännitemittarin negatiiviseen liittimeen, sillä signaali on eri merkinen kuin testattava raja-arvo.
- Keskuksen ovela sijaitsevat ”+”- ja ”-”-liittimet ovat kytkettynä jännitemittarin mittaliittimiin.
- Liittimet ”A”, ”B” ja ”C” taas ovat testausliittimiä, joita käytetään raja-arvovaunua kalibroitaessa, potentiometriyksikön QA 405 potentiometriä säätöön. B-liitin on kytketty 11 V-, ja C-liitin on kytketty 0 V -jännitteeseen, kun taas A-liitin on kytketty summaimen QALA 211 -lähtöön, joka lähettää raja-arvolaitteen testausignaalin.



Kuva 18. Raja-arvovaunun käyttöliittymä (Peltoniemi 2019).

6 DOKUMENTAATIO

6.1 Ohjeet

Raja-arvovaunulle osana tätä opinnäytetyötä laaditussa käyttö- ja kalibrointiohjeessa käydään läpi vaunun käyttö ja kalibrointi sekä sen toiminta lyhyesti. Ohjeet perustuvat vuonna 1977 tehdyn ruotsinkielisen asiakirjan suomenkieliseen käännökseen. Asiakirjan käännöstyön on tehnyt TVO:n käännöspalvelu. Ohjeet on laadittu TVO-konsernin yleiselle ohjepohjalle muiden ohjeiden kanssa yhtenäisen ulkoasun saavuttamiseksi, ja muunnettu PDF-tiedostomuotoon. Ohjeet on jaettu kolmeen eri osioon:

- Yleistä.
- Käyttöohje.
- Kalibrointiohje.

6.1.1 Hyvien ohjeiden käytännöt

SFS-EN 82079-1 -käyttöohjestandardissa ohjeiden sisällön laatimiselle on seuraavanlaiset yleiset ohjeet: "Tuotteiden toiminnallisuus on kuvailtava ja on ennakoitava käyttäjien kysymykset, kuten esimerkiksi MISSÄ? KUKA? MITÄ? MILLOIN? MITEN? MIKSI? ja annettava niihin tarkoituksenmukaiset vastaukset. Annettava informaatio riippuu kohderyhmästä/kohderyhmistä ja tehtävistä, joita niiden jäsenten on tarkoitus suorittaa tai sallitaan suorittaa tuotteen elinkaaren aikana". Eli ohjeiden on annettava käyttäjälle heidän tarvitsemansa tieto tuotteesta. Tämä tieto riippuu ohjeiden kohderyhmistä ja tehtävistä, joita ohjeiden kanssa suoritetaan. Raja-arvovaunun ohjeiden kanssa suoritettavat tehtävät ovat voimalaitoksen raja-arvolaitteiden määräaikaistarkastukset, ja kohderyhmä on näitä tarkastuksia suorittava ammattimainen henkilökunta. Ohjeissa tulisi olla tarvittavat tiedot sen tunnistamista varten:

- Tunnusnumero.
- Julkaisupäivämäärä.
- Muutoksien merkinnät, mikäli ohjeita on muutettu.
- Ohjeiden julkaisija.

Tämän lisäksi TVO:n omien ohjeiden mukaan ohjeista tulisi myös ilmetä mikä on niiden tarkoitus, mihin niitä sovelletaan ja kuka niistä vastaa (SFS-EN 82079-1, 2012, 37; Mäkilä, 2019, 7).

Ohjeiden tieto tulisi esittää niin, että se on jaettu vaiheisiin, joissa esitetään aina yksi toiminta. Jos mahdollista käyttäjän pitäisi pystyä suorittamaan yhden vaiheen, toteamaan vaiheen tulokset ja jatkamaan seuraavaan osaan (SFS-EN 82079-1, 2012, 54). Ohjeissa käytettävä teksti tulisi noudattaa periaatetta "Yksi ilmaus, yksi yksinkertainen virke". Eli tekstin tulisi olla yksinkertaisin, selvin ja lyhyin lausein kirjoitettua. Lyhenteitä ja kirjainsanoja olisi hyvä välttää, ellei voida olettaa, että ohjeiden kohderyhmä tunnistaa ne. Alla olevassa taulukossa 1 on esimerkkejä hyvistä ja huonoista kirjoitustyyleistä. (SFS-EN 82079-1, 2012, 58.)

Suositus	Suosittelava muoto	Vältettävä muoto
Käytä mieluummin verbien aktiivi- kuin passiivimuotoja	Katkaise virta	Varmista, että virta on katkaistu
Käytä rohkeasti käskymuotoja kehotusten sijaan	Älä poista välilehtiä	Välilehtiä ei pitäisi poistaa
Muotoile ohjeet käyttäen toimintaa ilmaisevia verbejä abstraktien substantiivien sijaan	Käytä, huolla, vältä	Käyttö, huolto, välttäminen
Puhu suoraan käyttäjälle sen sijaan, että sanoisit mitä hän voisi tehdä	Vedä mustaa vipua itseäsi kohti	Käyttäjän tulisi vetää mustaa vipua koneesta pois päin
Sano asia yksinkertaisesti	Käytä vain 3 A -sulakkeita	Älä käytä muita kuin 3 A -sulakkeita
Vältä sanoja, jotka aiheuttavat helposti sekaannusta (etenkin etuliitteitä, jotka näyttävät ja kuulostavat samantaisilta)*	Flammable contents High(/low) sensitivity	Inflammable contents Hyper(/hypo) sensitivity

* FI HUOM. Tämä kohta ei tuota Suomessa yhtä paljon ongelmia kielten erilaisen luonteen vuoksi.

Taulukko 1. Kirjoitustyylien esimerkkejä. (SFS-EN 82079-1, 2012, 58.)

6.1.2 Käyttö- ja kalibrointiohjeet

Yleistä-osiossa käydään läpi lyhyesti dokumentin ja raja-arvovaunun käyttötarkoitus sekä minkälainen raja-arvovaunun rakenne on. Käyttöohje taas on itsessään jaettu kolmeen osioon:

- Testauksen lähtötilanteen toimenpiteet, jossa selostetaan mitä tulee tehdä ennen kuin testaukset aloitetaan.
- Raja-arvon testauksen selostus, jossa käydään läpi, kuinka mittausta käynnistetään ja miten sen mittaustulos saadaan.
- Hystereesin mittausta -osiossa selostetaan, kuinka raja-arvon testauksen jälkeen hystereesikin voidaan testata raja-arvovaunulla.

Kalibrointiohjeet koostuvat useista eri mittaus- ja säätötoimenpiteistä, joilla varmistetaan raja-arvovaunun kunnollinen toiminta ja sen mittautustulosten tarkkuus. Raja-arvovaunun kalibroinnissa käytetään erillistä jännitemittaria referenssinä. Kalibrointiohjeiden mittaukset ja testaukset koskevat vain raja-arvovaunun ominaisia toimintoja, ja sen sisältämille osille on omia huolto-ohjeita. Huolto-ohjeet löytyvät laitteiden laitetunnusten perusteella, jotka löytyvät raja-arvovaunun osaluettelosta. Osaluettelo on tämän opinnäytetyön liitteenä 2. mittaus- ja säätötoimenpiteitä on viisi ja ne valitaan testauskytkimellä S5:

- Digitaalisen jännitemittarin referenssimittauksessa varmistetaan raja-arvovaunun oman digitaalisen jännitemittarin tarkkuus toisella jännitemittarilla mittarin vaunun ovesta löytyvistä mittausliittimistä.
- Ramp-nopeuden mittauksessa mitataan ja säädetään raja-arvovaunun tuottaman ramp-signaalin jännitteen muutosnopeutta.
- QALA 211 -tulopiirin nollapisteen asetuksessa summainen tulopiiriin jännitteitä asetetaan ennalta määritellyille tasoille tilakytkimen S4 eri asennoissa. Asetukset suoritetaan potentiometriyksikön QA 405 potentiometreillä R3, R4, R5 ja R6.

- QALA 211 A2 vahvistuksen asetuksessa summaimen testaussignaalia lähettävän operaatiovahvistimen A2 vahvistus asetetaan ennalta määritellylle tasolle potentiometriyksikön QA 405 potentiometrillä R1.
- QALA 211 A1 vahvistuksen asetuksessa summaimen ramp-signaalia invertoivan operaatiovahvistimen A2 vahvistus asetetaan ennalta määritellylle tasolle potentiometriyksikön QA 405 potentiometrillä R2.

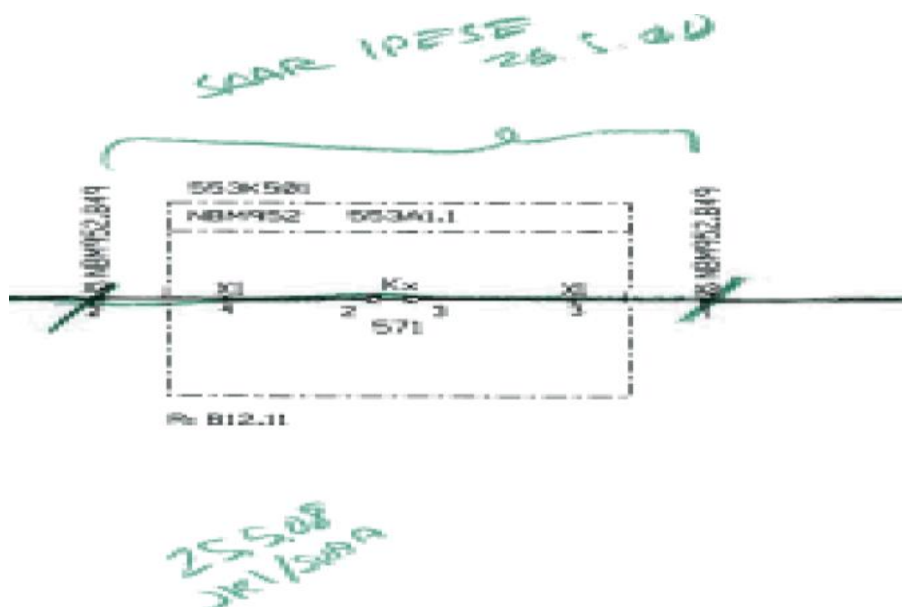
Säännöllisellä kalibroinnilla varmistetaan mittalaitteiden tarkkuus säätämällä ne itsessään kalibroitujen referenssien mukaisesti. Tämän vertailuketju johtaa yleensä kansainvälisiin mittastandardeihin, kuten voltti tai ampeeri. Raja-arvovaunun kalibroinnin tarkkuus on riippuvainen siinä käytettävän jännitemittarin omasta kalibroinnista ja vertailuketjusta. Säädot taas ovat toimenpiteitä, joita suoritetaan laitteen mittatulosten tarkkuuden parantamiseksi, kuten asetusten säätö. (FINAS:in [www-sivut](#) 2020.)

6.2 Dokumenttien validointi

TVO:lle vikojen välttäminen on erittäin tärkeää ja tästä syystä raja-arvovaunulle laaditun dokumentaation oikeellisuus ja tarkkuus pitää olla varmistettu, jotta sitä voidaan pitää luotettavana tietolähteenä. Validointi on tärkeää sillä pienetkin virheet dokumenteissa voivat aiheuttaa useita virheitä tulevaisuudessa. Opinnäytetyössä tuotetut ohjeet on tarkastanut TVO:n kunnossapitoinsinööri.

Raja-arvovaunulle löytyi vanha layout-kuva, osaluettelo ja piirikaaviot PDF-tiedostomuodossa. Osaluettelo on ruotsinkielinen, mutta sitä ei ole käännetty sillä TVO:n henkilöstö on tottunut lukemaan ruotsinkielisiä osaluetteloita. Vanhat dokumentit todettiin luotettaviksi tarkastamalla niiden oikeellisuus viheriöintimetodilla ja toteuttamalla tarkastukselle riippumaton varmennus tarkastuksen tulosten varmistamiseksi.

Viheriöinnissä paperinen dokumentti käydään läpi vihreän värikynän kanssa, jolla saadaan tarkastettua sen oikeellisuus. Mm. johdotukset, koskettimet ja liittimet merkataan vihreillä viivoilla niiden oikeellisuuden osoitukseksi. Kaikki muutokset ja korjaukset merkataan dokumenttiin punaisella kynällä ja raportoidaan. Raja-arvovaunun dokumenttien tarkastuksen suoritti Einari Peltoniemi, joka toimi TVO:n automaatiosuunnitteluorganisaatiossa tämän opinnäytetyön tekijänä. (Taipale 2009, 11.)



Kuva 19. Esimerkki viheriöinnistä. (Taipale 2009, 17.)

Riippumattomassa varmennuksessa edellisestä tarkastuksesta riippumaton taho käy tarkastetun dokumentin läpi ja tarkastaa sen uudelleen. Varmentajan tehtävänä on varmistaa, että alkuperäinen tarkastus pitää paikkansa. Varmentajia voi olla yhdelle dokumentille useita, mutta raja-arvovaunun dokumenttien riippumattoman varmennuksen suoritti TVO:n automaatiokunnossapidon henkilökunta.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutustuttiin Combitrol-analogijärjestelmään ja siihen liittyviin järjestelmiin. Lisäksi tutkittiin järjestelmän raja-arvolaitteiden tehtävää, toimintaperiaatetta ja ominaisuuksia sekä selvitettiin niiden testaukseen käytettävän raja-arvovaunun toimintaa. Opinnäytetyössä käytiin läpi myös osana sitä kootun dokumentaation teko- ja validointi prosessia sekä tutustuttiin hyvien ohjeiden piirteisiin. Opinnäytetyö sisältää myös kuvia, joiden tarkoitus on havainnollistaa kappaleissa esitettyä tietoa ja tukea tekstiä.

Opinnäytetyössä käytettiin lähteinä pääosin TVO:n omia dokumentteja, kuten esim. Combi family -tuoteperheen esitteitä, koulutusmateriaaleja ja tuotekatalogeja sekä koestusohjeita ja raja-arvovaunun olemassa olevia dokumentteja. Tämä johtui siitä, että Combitrol-järjestelmä on nykyään melko harvinainen ja siitä ei löydy paljoa tietoa muualta. Tietoa löytyi silti myös muualta mm. laitteiden sisältämistä komponenteista ja piireistä, käyttöohjeista sekä kalibroinnista ja sen merkityksestä.

Opinnäytetyön tekijällä ei ollut vartenotettavaa kokemusta Combitrol-järjestelmästä, sen raja-arvolaitteista tai raja-arvovaunusta ennen tämän opinnäytetyön aloittamista ja kokemus TVO:n sisäisistä tiedonhausta ei myöskään ollut kattava. Tämä hidasti opinnäytetyön tiedonhakuprosessia, aineiston kokoamista ja aiheisiin tutustumista. Tiedonhakua edisti kuitenkin TVO:n henkilökunnan antama apu. Vaikeuksia opinnäytetyön teossa aiheuttivat myös ruotsin kielen osaamisen puute, sillä suuri osa opinnäytetyössä käytetystä materiaalista on ruotsinkielistä. Kielitaidon puutteeseen auttoi kuitenkin se, että tärkeä dokumentti, kuten raja-arvovaunun ruotsinkielinen dokumentti, voitiin lähettää TVO:n käännöspalvelulle. Myös TVO:lla coronavirus SARS-CoV-2 aiheuttamat rajoitukset vaikeuttivat dokumenttien validointiprosessia alueiden liikkumisrajoitusten vuoksi opinnäytetyön teon loppuvaiheessa. TVO:n valmis ohjepohja ja muut ohjeet, jotka toimivat tämän opinnäytetyön materiaalina, mahdollistivat helpon ulkoasun ja tekstin asettelun raja-arvovaunun ohjeita laatiessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli dokumentaation kokoamisen lisäksi myös selostaa johdannon ja toimeksiantajan esittelyn jälkeen, kuinka raja-arvolaitteiden testaus ja raja-arvovaunu toimivat. Tämän vuoksi opinnäytetyössä käytiin yleisesti läpi Combit-

rol-järjestelmää ja Combi family -tuoteperhettä, sillä raja-arvolaitteiden ymmärtämiseksi on tärkeää ymmärtää järjestelmää, johon ne kuuluvat. Opinnäytetyössä käytiin läpi raja-arvolaitteiden ja niiden virtapiirien toiminta, koska testattavan laitteen ja sen toiminnan ymmärtäminen on tärkeää, jotta voi ymmärtää itse testausta.

Opinnäytetyön viidennen kappaleen tehtävänä on antaa tietoa raja-arvovaunu-testauslaitteesta ja testauksesta sekä auttaa lukijaa ymmärtämään testauslaitteen piirikaavioita. Kappaleessa selostetaan, kuinka testaus toimii ja kuinka testauslaitteen sisältämät laitteet tekevät sen toiminnasta mahdollisen. Lisäksi kappaleessa selostetaan mikä on kunkin laitteen komponentin tehtävä testauslaitteen toiminnassa. Tätä kappaletta voi hyödyntää testauslaitteen virtapiiriä ja toimintaa opeteltaessa, sillä tässä opinnäytetyössä tehdyt ohjeet on tarkoitettu vain opastamaan käyttäjää testauslaitteen käytössä ja kalibroinnissa, mutta ei sen toiminnan ymmärtämisessä.

Testauslaitteen dokumentaatiota käsittelevässä kuudennen kappaleen tarkoitus on käydä läpi mitä periaatteita noudatettiin testauslaitteen ohjeita laatiessa ja kuinka dokumentaatio on validoitu paikkansapitäväksi. Validointi on TVO:lle erityisen tärkeää, sillä dokumentit pitää voida todeta luotettaviksi ennen kuin ne ovat käytössä.

Opinnäytetyötä ja osana sitä tuotettua dokumentaatiota voidaan käyttää tulevaisuudessa mm. rikkinäisen raja-arvovaunun vianetsinnässä, raja-arvovaunun käyttöön perehtymisessä ja vaunujen kalibroinnissa ennen niiden käyttöä. Tulevaisuudessa dokumenttien käytettävyyttä voisi parantaa sijoittamalla paperiset dokumentit vaunuihin ja merkitsemällä dokumenteissa näkyvät laitetunnukset, kuten S1, V1 jne., vaunujen oviin. On myös tärkeää, että jos tulevaisuudessa dokumentaatioissa ilmenee puutteita ja ne kaipaavat lisäyksiä, niin nämä muutokset merkitään dokumentteihin.

Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat, ja saatiin aikaan kattava dokumentaatio raja-arvovaunuille. Työn aikana opin paljon OL1- ja OL2-laitoksien analogisignaali-järjestelmästä, analogisia signaaleja käsittelevistä elektronisista piireistä ja komponenteista sekä käyttöohjeiden laatimisesta ja kalibroinnista.

LÄHTEET

4927 0160-DVE. 1971. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 5.2.2020.

4927 0160-DVP. 1971. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 6.2.2020.

4927 0160-PSE. 1974. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 5.2.2020.

4927 0160-PSP. 1974. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 6.2.2020.

Alajärvi, H. 2015. 541 - OL1/OL2 - PROCESS MONITORING SYSTEM - FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 20.2.2020.

Asmala, H. nd. Johdanto EA140403 Käyttöliittymät. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 23.1.2020.

Cockrill, C. 2011. Understanding Schmitt Triggers. Texas Instruments Incorporated. Viitattu 21.1.2020. <http://www.ti.com>

COMBIMATIC/COMBITROL Basic training for maintenance- and design engineers. 2013. Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB. Viitattu 14.1.2020.

COMBIMATIC/COMBITROL Maintenance training. nd. Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB. Viitattu 16.1.2020.

Edlund, L. 1977. YLD 411 F014-S. ASEA. Viitattu 29.1.2020

Eklund, R. 2011. OL1 E6/536-8 RAJA-ARVON TARKISTUS/ASETUS (TTKE, KENTTÄOHJE). Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 16.1.2020.

FINAS:in www-sivut. Viitattu 4.3.2020. <https://www.finas.fi>

Ladvall, E. 1976. XY 342 036-AB. ASEA. Viitattu 29.1.2020.

Mäkilä, T. 2019. Asiakirjan laadinta TVO-konsernissa. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 11.2.2020.

Operational Amplifier Basics. nd. AspenCore, Inc. Viitattu 29.1.2020. <https://www.electronics-tutorials.ws>

Operational Amplifier Summary. nd. AspenCore, Inc. Viitattu 4.2.2020. <https://www.electronics-tutorials.ws>

Peltoniemi E. 2019 Teollisuuden Voima Oyj.

Peltoniemi E. 2020 Teollisuuden Voima Oyj.

SFS-EN 82079-1. KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN. JÄSENTÄMINEN, SISÄLTÖ JA ESITTÄMINEN. OSA 1: YLEISET PERIAATTEET JA YKSITYISKOHTAISET VAATIMUKSET. 2012. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 11.2.2020.

Taipale, S. 2009. KVD 76-157 - LAITOSKOESTUSOHJE. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 19.2.2020.

Teollisuuden Voima Oyj:n intranet. Viitattu 14.11.2019. <http://olkinet>

Teollisuuden Voima Oyj:n www-sivut. Viitattu 14.11.2019. <https://www.tvo.fi>

The Integrator Amplifier. nd. AspenCore, Inc. Viitattu 5.2.2020. <https://www.electronics-tutorials.ws>

Varmaa voimaa vihreästi. 2018. Teollisuuden Voima Oyj. Viitattu 14.11.2019.

YL 26-1. 1973. ASEA. Viitattu 14.1.2020.

YL 720–301. 1971. ASEA. Viitattu 14.1.2020.

Liitteet on jätetty pois opinnäytetyön julkisesta versiosta.