



Puominkääntölaitteen moottorin kestotestilaite

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)
hyväksymislukukausi 2024
Tomi Nikkinen

Sähkö- ja automaatioinsinööri

Tekijä Tomi Nikkinen

Työn nimi Puomin kääntölaitteen moottorin kestopestilaite

Ohjaaja Juha Sarkula (HAMK), Tero Väisänen (NRC)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa testauslaite puominkääntölaitteen moottoreiden kestävyysarvioimiseksi. Työn toimeksiantajana toimi NRC Group Finland Oy, ja toimeksiannon päätavoitteena oli luoda testauslaite, joka mahdollistaa moottoreiden suorituskyvyn testaamisen. Suorituskykyä testattiin liikuttamalla puomia ylös ja alas tietyn toistomäärän verran. Tätä puomia ohjasi moottori, jonka suunnanvaihtoa valvoi rajakytkin.

Testauslaitteiston suunnittelussa ja rakentamisessa hyödynnettiin ABB:n AC500 PLC:tä, HMI-näyttöä, moottorin ohjaukseen tarkoitettuja kontakteja sekä puominkääntölaitteessa olevia rajakytkimiä. Laitteella toistettiin puominkääntölaitteen liike niin monta kertaa, kun HMI-näytölle oli syötetty. Näytöltä nähtiin myös tehtyjen toistojen määrä, sekä aikaisemmin syötettyjen toistojen määrä. Testitulosten varmistamiseksi moottoreista mitattiin ennen ja jälkeen testauksen ankkuri- ja staattorivirrat sekä jännitteet.

Testauslaitteisto yhdistettiin valmiiksi rakennettuun testauslaitteeseen niin, että PLC:n ohjelman vaihto onnistui muistikorttia vaihtamalla. Testauslaite suoritti annetut toistot, ja näytöltä nähtiin myös tehtyjen toistojen määrä. Testatulosten perusteella testauslaitteen avulla saatiin arvokasta tietoa moottoreiden kestävydestä. Yksi moottoreista kesti odotusten mukaisesti, kun taas toinen laukaisi laitteen suojausmekanismin, jolloin myös nähtiin realistinen hälytystaulun toimivuus. Tämä suojausmekanismin laukaisu viittasi moottorin vaurioitumiseen tai ylikuormitukseen. Laitteelle piirrettiin myös sähkökuvat ja kirjoitettiin käyttöohjeet, joista on apua testauslaitteen käyttäjille, sekä sen parantamiseen.

Avainsanat AC500, HMI, PLC, tasoristeyslaitos, testauslaitteisto.

Sivut 30 sivua

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Author Tomi Nikkinen
Subject Rail Barrier Motor Endurance test machine
Supervisors Juha Sarkula (HAMK), Tero Väisänen (NRC)

Abstract
Year 2024

The purpose of this thesis has been to design and build a testing device for evaluating the durability of rail barrier motors. This thesis was commissioned by NRC Group Finland Oy, with the main goal of creating a testing device capable of assessing the performance of the motor. The performance is tested by moving the arm up and down for certain number of repetitions. This arm was controlled by motor, which direction was monitored by a limit switch.

The design and construction of the testing equipment utilized an ABB AC500 PLC, an HMI display, contactors for motor control, and limit switches located on the arm rotation device. The device repeated the movement of the arm rotation as many times as inputted on the HMI display. The display also showed the number of repetitions performed and the previously inputted number of repetitions. To ensure the reliability of the test results, measurements of anchor and stator currents and voltages were taken before and after testing from the motors.

The testing equipment was connected to a pre-built testing device, allowing for the PLC program to be changed by simply swapping the memory card. The testing device executed the specified repetitions, and the number of completed repetitions was displayed on the screen. Based on the results, valuable insight about the durability of the motor were obtained using the testing device. One of the motors performed as expected, while the other triggered the device's protective mechanism. This activation of the protective mechanism suggested either motor damage or overload, demonstrating the functionality of the alarm system. Additionally, electrical schematics were drawn, and user manuals were written for the device to aid its users and facilitate further improvements.

Keywords AC500, HMI, PLC, level crossing facility, testing device
Pages 30 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tasoristeyslaitos	1
2.1	Puolipuumilaitos	2
2.2	Paripuumilaitos	3
2.3	Kokopuumilaitos	4
3	Puominkääntölaite	5
3.1	Rajakytkin	6
3.2	Hammasvaihdemoottori	8
4	Ohjelmoitava logiikka	12
4.1	PLC AC500 ABB	12
4.2	Ohjelmointi	13
5	HMI	16
5.1	ABB CP HMI -paneeli	16
5.2	Ohjelmointi	17
6	Moottorin ja PKL testaus	18
6.1	Testauslaitteiston kokoonpano	18
6.2	Ohjelmoinnin suunnittelu	20
6.3	AC500 PLC Ohjelmointi	21
6.4	CP6607 HMI-paneelin ohjelmointi	22
6.5	Lopputulokset	25
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Puolipuumilaitos	2
Kuva 2, Paripuumilaitos	4
Kuva 3 Kokopuomi kevyen liikenteen väylällä	5
Kuva 4 Rajakytkin puomikoneistossa	7

Kuva 5 Induktiivisen anturin tunnistusetäisyyskertoimet.....	8
Kuva 6 Puominkääntölaitteen moottori.....	9
Kuva 7 Moottorin erilaiset kytkentätavat.....	10
Kuva 8 Säätvastuksen sijoitus	11
Kuva 9 AC500 PLC ja IO-liitännät.....	13
Kuva 10 Structured text esimerkki.....	14
Kuva 11 Yksinkertainen Ladder Diagram	14
Kuva 12 Esimerkki Function Block käskystä	15
Kuva 13 SFC-ohjelma sekvenssi	16
Kuva 14 CP6607.....	17
Kuva 15 Testilaitteen kontaktorit ja riviliittimet.....	19
Kuva 16 Järjestelmäarkkitehtuuri	20
Kuva 17 Esimerkki ohjelmoinnista moottoriteissä.....	21
Kuva 18 HMI-paneelin aloitusnäky.....	23
Kuva 19 HMI-paneelin testilaitteen ohjaus sivu.....	24
Kuva 20 HMI-paneelin hälytyslista	25
Kuva 21 Moottorintestauslaite.....	26

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii NRC Group Finland Oy. NRC Group Finland Oy toimii Suomessa raideinfra-alalla rakentajana, kunnossapitäjänä ja materiaalin toimittajana. NRC Group Finland Oy laajentui Suomeen 2019 ostaessaan VR TRAC:n, jonka kautta mahdollistui Suomen raide-infran rakentaminen, kunnossapito ja erilaiset materiaali palvelut Suomen markkinoilla. Raideinfran lisäksi NRC Group toimii myös telematiikan parissa, jossa kunnossapidetään tieverkoston laitteita. Yrityksen arvoihin kuuluu luotettavuus, välittäminen ja yrittäjähenkisyys. Vuonna 2022 NRC Group työllisti 1960 työntekijää, ja sen liikevaihto oli 700 miljoonaa. (*NRC Group Finland, n.d*)

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa testauslaite puomikäntölaiteen moottorille, jonka avulla uudelleenikämitettyjen moottoreiden toimintaa voitaisiin testata. Moottoreille tehtiin ennen testiä erilaisia huoltotoimenpiteitä, ja laitteen avulla pystyttiin varmistamaan mikä huoltotoimenpide on paras moottorin kestävyuden kannalta. Testauslaitetta ohjataan ABB:n AC500 PLC:n avulla, johon oli liitetty HMI-näyttö. PLC ohjaa kontakteja, joihin moottori on kytketty, ja HMI-näytöstä löytyy käyttöjärjestelmä, jonka avulla toistojen määrä voidaan valita halutuksi. Näytöstä on mahdollista myös käynnistää ja pysäyttää testi, ja toiselta sivulta löytyy hälytystaulu, josta pysäytyksen syy nähdään. Hälytyksen tapahtuessa testilaitteiston PLC katkaisi virran kontakteilta. Tällä tavalla suojattiin moottorin suurempi hajoaminen. Testilaitteisto yhdistettiin laitteeseen, jota oli käytetty aikaisemmin myös relepakien ja vaihteenkäännön testaukseen.

Testauslaitteen tarkoituksena on testata puominkäntölaiteen moottorin kestoja suuremmassa rasituksessa, ja varmistaa mikä huoltotoimenpide toimii parhaiten. Moottorin odotetaan kestävän noin 30 vuotta, ja testauksen avulla pyritään simuloimaan moottorin käyttöä maastossa suuremmalla toistomäärällä. Testauslaitteen moottoria rasitetaan enemmän kuin normaalisti, minkä avulla voidaan testata moottorin käyttöikä puominkäntölaiteissa. Moottorille suoritettiin mittaukset ennen ja jälkeen, ja tulokset kirjattiin ylös molemmilla kerroilla. Työstä rajattiin pois puominkäntölaiteen osat, joita ei käytetty kestopuomilaitteiston rakennukseen.

2 Tasoristeyslaitos

Tasoristeyslaitos suunnittelussa on otettava huomioon puomien sijoitus ja niiden pituus. Näitä eri puomilaitoksia ovat puolipuomi-, paripuomi- ja kokopuomilaitos. Näiden laitteiden

tarkoituksena on minimoida riskit ja varmistaa, että liikenne tasoristeyslaitoksilla tapahtuu tehokkaasti, sekä turvallisesti. Seuraavassa kappaleessa perehdytään näiden puomilaitosten teknisiin vaatimuksiin, ja niiden rakenteeseen.

2.1 Puolipuumilaitos

Tasoristeysissä käytettävät puolipuumi ovat olennainen osa liikenteen turvallisuutta. Puolipuomit toimivat siten, että ne estävät ajoneuvoja pääsemästä radalle oikeanpuoleista ajokaistaa pitkin, mutta sallivat samalla radalta poispääsyn. Kuvasta 1 nähdään puolipuumilaitos. Tämä tasapaino on suunniteltu minimoimaan riskit tasoristeyslaitoksilla, joissa käytetään puolipuomeja. (Liikennevirasto, 2012)

Kuva 1. Puolipuumilaitos (Väylävirasto, 2016)



Uusien puomilaitosten suunnittelussa on tärkeää huomioida, että puolipuomien sijoittelu varmistaa liikenteen sujuvuuden ja samalla varmistaa sen turvallisuuden. Yleisperiaatteena on sijoittaa puolipuomit vähintään 6,8 metrin päähän lähimmän raiteen keskilinjasta, kuitenkin mahdollisimman lähelle raidetta. Erityistapauksissa puolipuomit voidaan sijoittaa vähintään 4,5 metrin päähän lähimmästä raiteen keskilinjasta. Tällä joustavuudella varmistetaan puomilaitosten tehokas sovittaminen eri ympäristöolosuhteissa, ja samalla säilytetään hyvä turvallisuus. (Liikennevirasto, 2021, s. 182)

Puomin varteen asennetaan valoyksiköt, jotka näyttävät tielle päin nopeasti vilkkuvaa punaista valoa, kun puomit ovat liikkeessä tai alhaalla. Lisäksi puomin varren päähän

asennetaan valoyksiköt, jotka näyttävät keltaista vilkkuvaa valoa radalle päin, kun puomit ovat alhaalla. Puomin varsi päällystetään heijastuskalvolla, joka vaihtelee punaisena tai keltaisena 500 mm välein. (Liikennevirasto, 2012)

Puolipuomit on suunniteltu siten, että se ei tarjoa suurta vastusta ajoneuvolle, joka siihen törmää, vaan antaa periksi murtopultin pettäessä. Puominkääntölaitteeseen, jota kutsutaan myöhemmin PKL, on asennettu kitkakytkin, joka aktivoituu esimerkiksi silloin, kun puomi laskeutuu ajoneuvon päälle. Tämä mekanismi varmistaa, että tilanteissa, joissa puomi joutuu odottamattoman rasituksen alle, turvallisuus säilyy. (Liikennevirasto, 2012)

2.2 Paripuomilaitos

Puomilaitoksissa käytetään paripuomeja silloin, kun suunnittelussa on määritelty niiden tarve. Paripuomien tarkoituksena on sulkea tasoristeys molemmilta kaistoilta niin, että sinne johtavat ja sieltä poistuvat kaistat ovat suljettuina. Kuvassa 2 nähdään paripuomilaitos. Paripuomit sijoitetaan vähintään 9 metrin etäisyydelle raiteen keskilinjasta. (Liikennevirasto, 2012)

Paripuomilaitos sisältää puolipuomit, jotka ovat samalla puolella rataa. Tässä puomilaitoksessa menosuunnan puomi laskeutuu ensin ja paluusuunnan puomi viiveellä. Paripuomeja käytetään yleisesti paikoissa, joissa puolipuomin kiertäminen on yleistä, mutta niiden käyttö on harvinaista. (Liikennevirasto, 2012)

Kuva 2, Paripuumilaitos (Resiina, 2013)



2.3 Kokopuumilaitos

Kokopuomit ovat tarkoitettu puomilaitoksissa kevyen liikenteen väylän sulkemiseen. Kuvasta 3 nähdään kokopuumilaitoksen sijoitus. Puomit on sijoitettava ohjeistuksen mukaisesti vähintään 6.8 metrin päähän puomia lähinnä olevan raiteen keskilinjasta, kuitenkin tarkoitus on sijoittaa puomit mahdollisimman lähelle raidetta. (Liikennevirasto, 2012)

Kuva 3 Kokopuomi kevyen liikenteen väylällä (Liikennevirasto, 2012)



Poikkeuksellisissa tilanteissa, kuten rautatien suuntaisen tien läheisyyden vuoksi, kokopuomien etäisyyttä on mahdollista pienentää. Kuitenkin tulee aina varmistaa, että ne sijoitetaan vähintään 4,5 metrin etäisyydelle lähimmästä raiteen keskilinjasta, säilyttäen samalla turvallisuuden vaatimukset. (Liikennevirasto, 2021, s. 181)

3 Puominkäntölaite

Puominkäntölaite eli PKL, on tarkoitettu kääntämään puomia, joka sulkiessaan tien tai jonkin muun kulkuväylän, laskeutuu vaaka-asentoon ja muulloin puomi on pystyasennossa. Laite on varustettu käsikammella, joka mahdollistaa laitteen käytön myös sähkökatkosten aikana. Puominkäntölaitteen ohjaus tapahtuu tasoristeyslaitoksella olevan laitekaapin tai laitekojun avulla. Nämä laitekaapit tai -kojut sisältävät ohjauslogiikan, jonka avulla ohjataan puominkäntölaitetta. Tässä kappaleessa tutustutaan testauslaitteeseen liittyviin komponentteihin, vaikka puominkäntölaitteesta löytyy myös seuraavat komponentit.

PKL:n pääosat

1. kotelo
2. hammasvaihdemoottori
3. kitkakytkin

4. seisontajarru
5. avovälitys
6. vääntäjousi
7. puomin ja vastapainojen varret
8. puomi
9. iskunvaimentajat
10. rajakatkaisijat
11. riviliitin
12. käsikampi

3.1 Rajakytkin

Puominkääntölaitteen ohjaus tapahtuu rajakytkimien avulla. Toimeksiantajayrityksen tietokannan dokumenttien perusteella rajakytkimiä voi olla kolme tai neljä, riippuen puomin rakenteesta. Kääntölaitteen pääakselille asennetut ohjaukiskiekot välittävät mekaanisesti signaalin rajakytkimille, joka kertoo puominkääntölaitteelle, onko puomi ylä- vai ala-asennossa. Rajakytkimestä löytyy kosketin, jota painamalla rajakytkimen sisällä oleva sähköpiiri sulkeutuu. Sähköpiirin sulkeutuessa, rajakytkin tunnistaa kappaleen. Rajakytkimen tunnistus lakkaa, kun koskettimen painallus päättyy. Kuvassa 4 löytyy rajakytkimet paikoilleen asennettuna.

Kuva 4 Rajakytkin puomikoneistossa



Rajakytkimet on kytkettävä sulkeutuvina koskettimina puomin molemmissa maksimi asennoissa 0° ja 90° , sekä puomin vikatila-asennossa 60° . Niiden on myös oltava asennettuna niin, että tarvittaessa rajakytkimien asentoa pystytään säätämään. Vaatimukset katkaisijoille ovat 2 A ja 24 V, myös niiden suojausluokan täytyy olla vähintään IP44. (Liikennevirasto, 2012)

Puominkääntölaitteissa voidaan myös käyttää induktiivista rajakytkintä, joka ei tarvitse mekaanista kosketusta, vaan sen tunnistaa ohjauskiekon lähelle tulevan osan. Anturi lähettää korkeataajuisia magneettikenttää. Ohjauskiekkossa oleva paksumpi osa lähestyy tätä magneettikenttää, jolloin magneettikentän muutoksen takia anturi tunnistaa lähellä olevan kohteen. Induktiivisen rajakytkimen etuja suhteessa mekaaniseen rajakytkimeen ovat esimerkiksi sen toimivuus likaisena, kestävyys liikkuvien osien puutteen vuoksi ja kohde voidaan havaita koskematta siihen. Huonona puolena induktiivisella rajalla voidaan ainoastaan havainnoida metallisia kohteita. Yleensä nimellinen mittausetäisyys, joka nähdään kuvassa 5, saadaan teräksellä, ja esimerkiksi kuparilla maksimietäisyys on vain noin kolmanneksen alueesta, jolla teräs tunnistetaan. (Pepperl+Fuchs, n.d.)

Kuva 5 Induktiivisen anturin tunnistusetäisyyskertoimet (Pepperl+Fuchs, n.d.)

Material	Reduction factor
Construction steel	1
Aluminum foil	1
Stainless steel	0.85
Aluminum	0.4
Brass	0.4
Copper	0.3

3.2 Hammasvaihdemoottori

Toimeksiantajalta saatujen dokumenttien mukaan puominkäntölaitteen käyttökoneena toimii hammasvaihdemoottori, jonka sähkömoottorina voi olla joko 24 V:n tasavirtamoottori tai 380/220 V:n kolmivaihemoottori. Vaihde on kiinteästi yhdistetty sähkömoottoriin, ja mainitut hammasvaihdemoottorit ovat keskenään vaihdettavissa. Moottorin suojausluokka on oltava vähintään IP44, joka tarkoittaa suojausta roiskevettä ja karkeaa pölyä vastaan. Moottorista löytyy kitkakytkin, moottori, vaihdelaatikko ja magneettijarru. Magneettijarrua ei käytetty testilaitteessa, koska tarkoituksena oli saada moottori tekemään työtä edestakaisin, ja pysähdystä 60 ° asteen kohdalla ei tarvittu. Kuvassa 6 nähdään puominkäntölaitteen sähkömoottori.

Kuva 6 Puominkääntölaitteen moottori



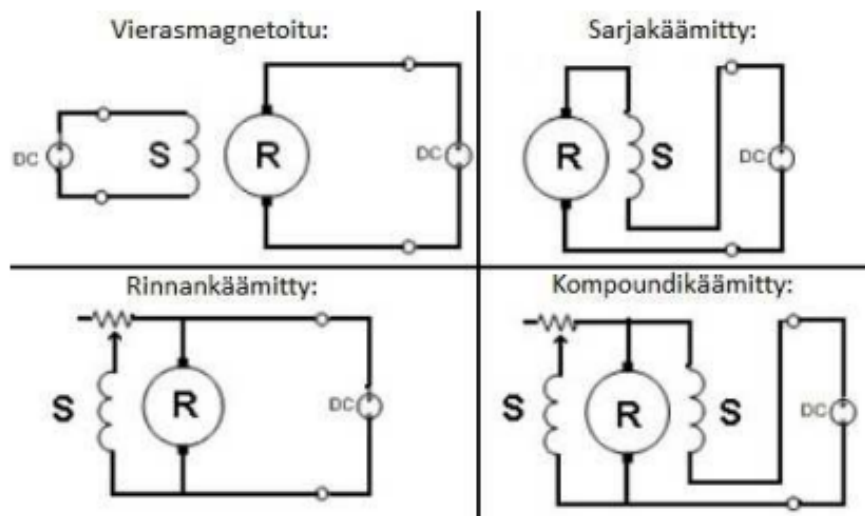
Useimmissa puominkääntölaitteissa käytetään 24 VDC:n kenttäkäämittyä moottoria. Kenttäkäämitty moottori on moottorityyppi, jossa ei käytetä staattorissa kestopagneetteja, vaan niiden sijaan staattorin ulkokehällä olevat magneettikentät luodaan sähkömagneettisten kelojen avulla. Näiden käämittyjen kelojen avulla tuotetut magneettikentät aiheuttavat roottorin pyörimisen.

Tästä kenttäkäämitystä moottorista löytyy neljä johdinta, joiden avulla tasavirtamoottorin ominaisuuksia voidaan muuttaa. Säättämällä ankkurikäämin virtaa ja jännitettä, on mahdollista vaikuttaa moottorin nopeusvoimasuhteeseen. Moottorin kierrosnopeus kasvaa suoraan verrannollisesti ankkurikelan jännitteeseen. Toisin sanoen, kun jännite kasvaa,

myös pyörimisnopeus lisääntyy. Lisäksi vääntömomentti kasvaa suoraan verrannollisesti virran kanssa. (Paavola, 1964, s. 287) Erilaisia kytkentätapoja ovat:

1. rinnankäämitty
2. sarjakäämitty
3. vierasmagnetoitu
4. kompondikäämitty. (Inkeröinen, 2015, s.14) Kuvassa 7 nähdään nämä kytkennät.

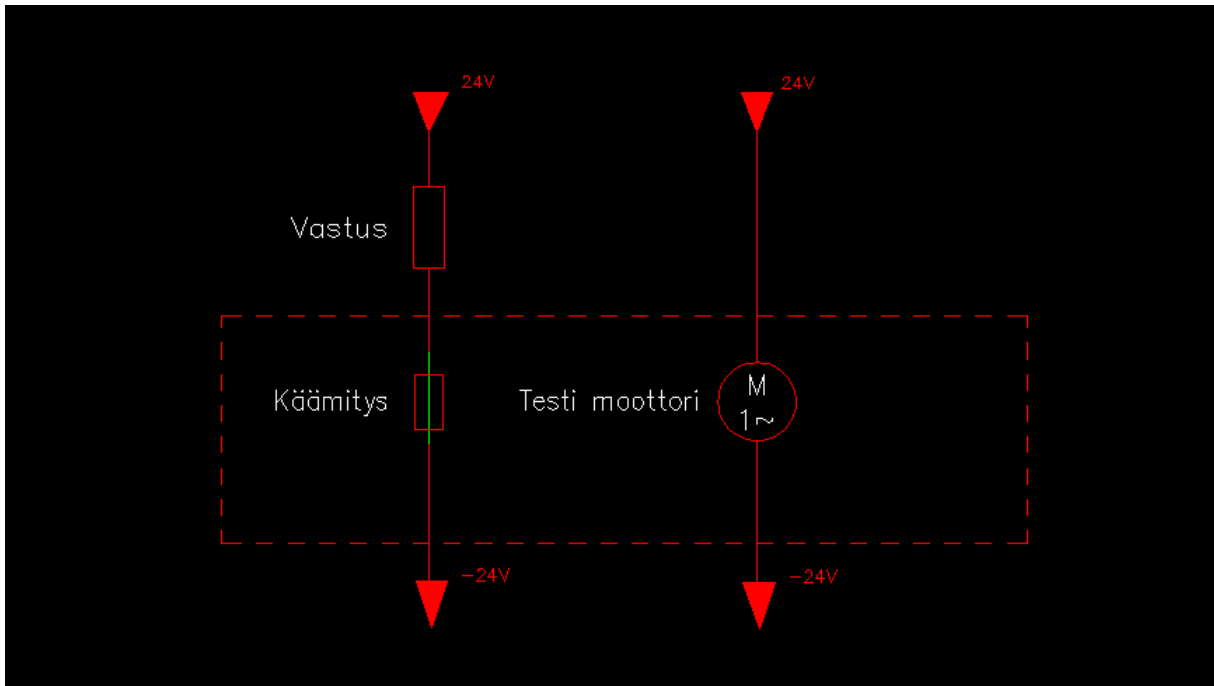
Kuva 7 Moottorin erilaiset kytkentätavat (Inkeröinen, 2015)



Tasavirtamoottorissa, jota käytetään puominkääntölaitteissa, hyödynnetään rinnankäämittyä kytkentätapaa. Tätä kutsutaan myös nimellä sivuvirtamoottori. Tässä kytkentätavassa magnetoimiskäämitys on yhdistetty ankkurikäämityksen kanssa rinnakkain. Tässä kytkentätavassa magneettikenttä pysyy vakiona sivuvirtamoottorissa riippumatta kuormituksesta, ja moottorin pyörimisnopeus säilyy tasaisena. (Paavola, 1964, s. 287)

Rinnankäämitty kytkentätapa sopii huonosti pyörimisnopeuden säätämiseen, koska ankkurijännitteen säätöä ei ole mahdollista suorittaa, vaan puominkääntölaitoksissa moottorin säätö toteutetaan säätämällä moottorin jännitettä. Jännitteen säätäminen tapahtuu kytkemällä säätövastus sarjaan moottorin kanssa, jolla keinotekoisesti suurennetaan moottorin sisäistä resistanssia. Kun moottorin sisäinen resistanssi kasvaa, moottorin pyörimisnopeus laskee. Huono puoli tässä tavassa on sen synnyttämä jännitehäviö. (Paavola, 1964, s. 291). Kuva 8 havainnollistaa säätövastuksen sijoituksen moottorikytkennässä.

Kuva 8 Säätvastuksen sijoitus



Kuva 8 Säätvastuksen sijoitus

Moottorin suunnanvaihto onnistuu kääntämällä jännitteen napaisuus moottorin roottorissa. Tämä ohjaus ja suunnanvaihto voidaan toteuttaa kontaktoreilla, joissa napaisuuden vaihto on kytketty. (Inkeröinen, 2015, s.16) Kontaktoreja kytkiessä on otettava huomioon se, että kontaktorit eivät saa kytkeytyä päälle samaan aikaan. Tämä voidaan varmistaa siihen tarkoitettulla mekaanisella ristilukituksella, kytkennöillä tai ohjelmoinnin kautta, johon on monta eri tapaa. Mekaaninen ristilukitus on lisäpala kahden kontaktorin väliin, joka estää kontaktorien samanaikaisen päälle kytkeytymisen.

Kenttäkäämityissä moottoreissa yleinen vikaantumisen syy on ylikuumentuminen, joka usein johtuu useista eri tekijöistä, joita ovat oikosulku, värinä tai epänormaali melu. Nämä syyt johtavat käämin ylikuumentumiseen. Ylikuumentuminen voi johtaa moottorin käämien sulamiseen ja sähköpiirin katkeamiseen, mikä johtaa lopulta moottorin vikaantumiseen. Ylikuumentumistapauksissa on yleensä mahdotonta korjata ylikuumentunutta käämiä, ja suositellaan, että kenttäkäämi vaihdetaan uuteen. (HBR Industries, n.d.)

Oikosulku tapahtuu, kun moottorin roottorissa olevien käämien eristys ei onnistu, mikä aiheuttaa suuren sähkövirran. Tämä tuottaa lämpöä, mikä johtaa myös kenttäkäämin

kuumenemiseen ja sulamiseen. Se voi jopa aiheuttaa koko virtapiirin ja sähkövirran katkeamisen. (HBR Industries, n.d.)

Toinen mahdollinen vian syy kenttäkäämityissä moottoreissa on maadoitus. Käämin ympärille on asennettu maadoitus teippi, joka ajan myötä kuluu, ja altistaa käämityksen moottorin metallirungolle. Tässä tapauksessa moottorin sähkövirta virtaa maahan, ja muuttuu negatiiviseksi. Toinen maadoituksen vikaantumisen syy voi olla hiilipölyn kertyminen, joka yleensä syntyy hiiliharjan kulumisesta. Tällaisissa tapauksissa korjaus suoritetaan joko höyrypuhdistuksella tai paistamalla kenttäkäämit, jotta eristysvastus saadaan nostettua. Kenttäkäämit on vaihdettava kokonaan, jos nämä korjaukset eivät auta. (HBR Industries, n.d.)

4 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka eli Programmable logic controller, joka on lyhennettynä PLC, on mikroprosessori pohjainen laite. Näitä laitteita on useampi markkinoilla, ja niiden ohjelmointi ympäristö eroaa valmistaja kohtaisesti. Laitteistojen ohjelmointikieli ei eroa toisistaan, ja tälle syynä on IEC 61131-3 standardi. (Bolton, 2015) Seuraavassa kappaleessa perehdytään yleisesti PLC:n toimintaan, ja tähän opinnäytetyöhön valittuun logiikkaan.

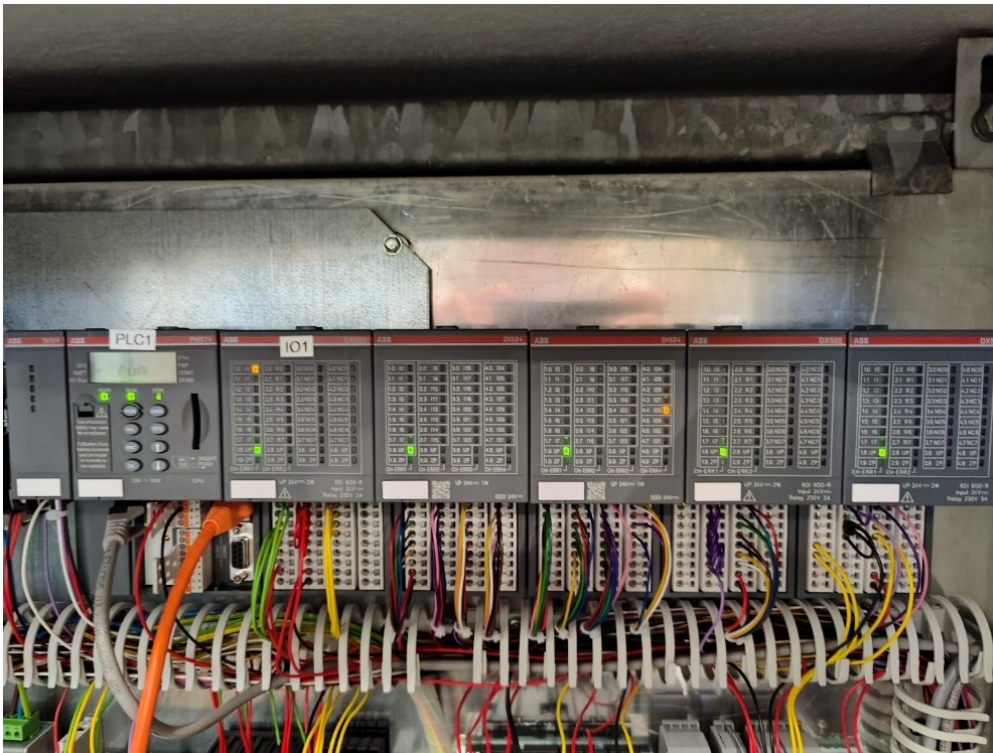
4.1 PLC AC500 ABB

PLC eli Programmable logic controller, tarkoittaa mikroprosessorilla toimivaa laitetta, joka suorittaa toimintoja siihen ohjelmoidulla tavalla. Sen ohjelmoitavaan muistiin voidaan tallentaa ohjauksia esimerkiksi kontaktorien valvontaa, laskentaa, ajoituksia ja erilaisten koneiden ohjauksia. PLC:n ohjelmointi ympäristö on toteutettu helpoksi, jotta sen ohjelmointi olisi mahdollisimman yksinkertaista. PLC:stä käytetään termiä ohjelmoitava logiikka, koska ohjelmointi perustuu erilaisiin loogisiin ratkaisuihin esimerkiksi, jos A tai B tapahtuu, suorita C, tai jos A ja B tapahtuu, suorita D. PLC:n tarkoituksena on käydä läpi syötetty ohjelma, ja seurata annettuja käskyjä. (Bolton, 2015, s. 5)

AC500 PLC on ABB:n kehittämä ohjelmoitava logiikka, josta löytyy useampia prosessori moduuleja, ja näitä ovat esimerkiksi PM572, 573, 582 ja 585. Näihin prosessori moduuleihin on mahdollista ohjelmoida halutut toiminnot eli sekvenssi. Moduuleitten lisäksi, jotta ohjattavat laitteet saataisiin toimimaan, täytyy valita tulo- ja lähtökortit, eli input- ja outputkortit. Näitä kortteja ovat esimerkiksi DI524 ja DX522. DI524 on digitaalinen tulokortti,

jonka avulla voidaan valvoa erilaisten laitteiden tiloja, ja DX522 on outputkortti, joka mahdollistaa esimerkiksi kontaktorin päälle kytkennän ohjelman avulla. Kuvassa 9 on PM573 prosessori, DI524 inputkortti ja DX522 outputkortti. ABB:ltä löytyy eri tarkoituksiin muitakin PLC-logiikoita AC500 tuotteista, kuten esimerkiksi AC500-XC ja AC500-s. (ABB Main Catalog, 2023)

Kuva 9 AC500 PLC ja IO-liitännät



AC500 PLC vaatii 24 V:n nimellisjännitteen, joka saadaan esimerkiksi muuntajalla. Laitteesta löytyy myös Ethernet-portti, joka mahdollistaa sen yhdistämisen HMI:n, tai muihin Ethernetilla toimiviin laitteisiin. Joissakin AC500 laitteissa on mahdollista käyttää muistikorttia, jonka avulla voidaan vaihtaa PLC:n sisällä olevia ohjelmia. Muistikortin vaihto on suoritettava PLC:n ollessa sähköttömänä, jotta kortilla olevan ohjelman uudelleen kirjoitus onnistuu. (ABB Main Catalog, 2023)

4.2 Ohjelmointi

AC500:n ohjelmointi toteutetaan Codesys-ohjelmalla, ja käytettävissä on viisi erilaista ohjelmointikieltä: Structured Text (ST), Tikapuukaavio eli Ladder Diagram (LD), Toimilohkokaavio eli Function Block Diagram (FBD), Sekvenssikaavio eli Sequential Function Chart (SFC) ja Ohjeluetelo eli Instruction List (IL). PLC mahdollistaa myös C/C++ -

ohjelmointikielen käytön. Näiden kielten avulla voidaan ohjelmoida halutut toiminnot logiikalle. AC500:n ohjelmointi on suunniteltu IEC 61131-3 -standardin mukaisesti, mikä määrittelee ohjelmointikielten spesifikaatiot sekä PLC:n vaatimukset. (ABB Main Catalog, 2023)

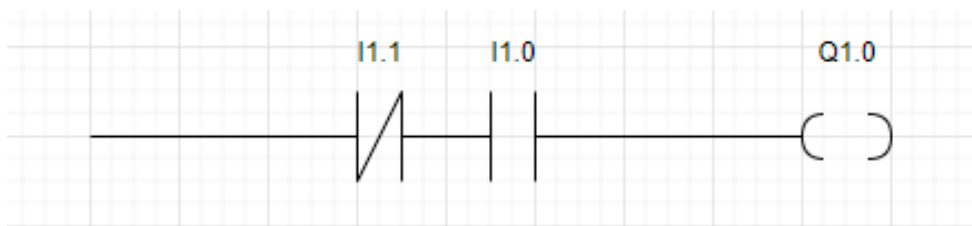
Structured text (ST) on ohjelmointikieli, joka muistuttaa vahvasti Pascal ohjelmointikieltä. ST-kielellä luodut ohjelmat koostuvat sarjasta valmiiksi määriteltyjä komentoja ja aliohjelmaa, jotka erotetaan puolipisteillä. Lausumat ja aliohjelmat muuttavat muuttujia, jotka voivat olla määriteltyjä arvoja, sisäisesti tallennettuja arvoja, tai inputteja ja outputteja. Instruction List (IL) on yksinkertaistettu ohjelmointikieli ST-kielestä. Kuvassa 10 nähdään esimerkki ST-kielestä. Kun kuvassa oleva SwitchA muuttaa tilaansa 1 tai 0, muuttuu muuttaja Light tilaan 1 tai 0. (Bolton. 2015)

Kuva 10 Structured text esimerkki (Bolton, 2015)

```
Light: = SwitchA;
```

Tikapuukaavio eli Ladder Diagram on yleinen PLC-piirien ohjelmointimenetelmä, joka tarjoaa graafisen näkymän laitteen toimintaan. Kaaviossa käytetään vaaka- ja pystyviivoja, jotka muodostavat "askelia" kuvaten loogisia toimintoja ja ohjausta. Jokainen askel edustaa aikahetkeä tai logiikan tilaa, sisältäen erilaisia loogisia operaatioita. Kuvassa 11 nähdään yksinkertainen esimerkki tikapuukaaviosta, jossa I1.0 käynnistää moottorin Q1.0 ja I1.1 sammuttaa moottorin. (Bolton, 2015)

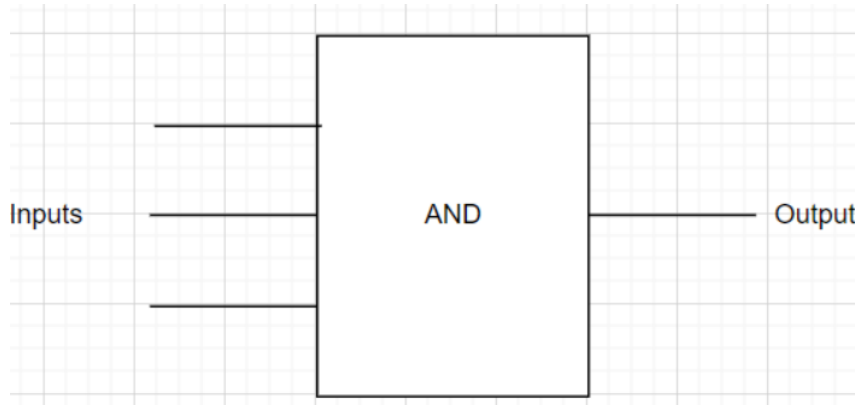
Kuva 11 Yksinkertainen Ladder Diagram



Function Block (FBD) tarkoittaa lohkoakaaviota, jota käytetään PLC-ohjelmissa. Nämä lohkoakaaviot sisältävät lohkoja, jotka ovat ohjelmassa graafisesti kuvattuja. Funktiolohko kuvataan suorakulmisen lohkon, jonka vasemmalta puolelta tulevat inputsyötöt, ja oikealta puolelta outputlähdet. Keskellä oleva suorakulmio kuvastaa lohkotyyppin nimeä, kuten AND

tai OR, ja sen yläpuolella on järjestelmä lohkon nimi. Alla oleva kuva 12 kuvastaa FBD lohkoa. (Bolton, 2015)

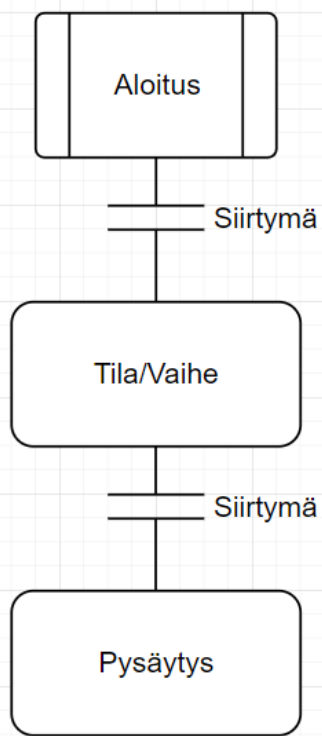
Kuva 12 Esimerkki Function Block käskystä



Sequential Function Chart (SFC) tarkoittaa sekvenssikaaviota, jonka toimintaa kuvataan joukolla erillisiä peräkkäin kytkettyjä tiloja tai vaiheita. Nämä peräkkäin kytketyt tilat tai vaiheet esitetään suorakulmaisina laatikoina, joista kukin edustaa tiettyä järjestelmän tilaa, jota ohjataan, ja jossa suoritetaan jotain toimintoa. Ohjelman ensimmäisestä sekvenssitilasta käytetään nimeä initial step, joka esitetään ohjelmassa kaksoisviivoilla. (Bolton. 2015)

Jotta SFC-ohjelmoinnilla saadaan rakennettua ohjelma, on rakennettava sekvenssilaatikoiden väliin siirtymä. Siirtymä voi olla esimerkiksi input, joka vaihtaa tilaansa 0 ja 1 välillä. Kun input tunnistaa, ja vaihtaa tilaansa 1, siirtyään seuraavaan toimintaan. Kuvassa 13 nähdään yksinkertaistettu versio SFC-ohjelman kokonaisuudesta. (Bolton, 2015)

Kuva 13 SFC-ohjelma sekvenssi



5 HMI

HMI on lyhenne sanoista Human-Machine Interface, joka tarkoittaa laitteistoa, jolla pystytään ohjaamaan erilaisia esimerkiksi teollisuuden sekvenssejä. Laitteistoja löytyy markkinoilta useampia erilaisia, ja tähän opinnäytetyöhön on valittuna ABB:n valmistama CP6607-paneeli. Seuraavassa kappaleessa tutustutaan yleisesti HMI:n toimintaan, CP6607-paneelin teknisiin tietoihin, ja ominaisuuksiin, joita paneelista löytyy.

5.1 ABB CP HMI -paneeli

HMI tarkoittaa ihmisen ja koneen välistä kommunikaatiota, yleensä käyttöliittymän tai kojelaudan kautta. Käyttöliittymä on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta sen käyttö olisi helppoa. Hyvinä esimerkkeinä voidaan käyttää kosketusnäyttöjä ja mobiili laitteita. Näiden näyttöjen kautta voidaan ohjata prosessiin kuuluvia laitteita, seurata niiden toimintaa ja diagnosoida syntyviä ongelmia eri hälytysten avulla. (Inductive automation, 2018)

SCADA eli Supervisory Control and Data käytetään yleensä suurissa kokonaisuuksissa, joissa tiedon keräämisen tarve on suurempi. HMI ja SCADA ovat hyvin samankaltaisia, mutta

juuri tiedonkeruussa ne eroavat toisistaan. SCADA:lla voidaan kerätä ja tallentaa log-tietoja esimerkiksi eri prosessin laitteista, ja sillä voidaan ohjata laitteita useiden HMI-näyttöjen kautta. (Inductive automation, 2018)

Projektiin valittu näyttöpaneeli on ABB:n CP6607, joka nähdään kuvassa 14. CP6607 käyttää TFT multi-touch-screen LCD näyttöä, jonka koko on 7". Näytön tarkkuus tässä mallissa on 800 x 480 pikseliä, ja näyttö toimii 24 voltilla tasajännitettä. Näytöstä löytyy myös kolme Ethernet-liitintä, joiden avulla näyttö voidaan yhdistää AC500-logiikkaan, ja näyttöä voidaan myös ohjelmoida näiden liittimien kautta. Näiden liittimien lisäksi, näytöstä löytyy kaksi USB-liitin paikkaa, joihin voidaan liittää esimerkiksi muistitikku. (ABB Operating Instructions, 2018, s. 12)

Kuva 14 CP6607 (ABB, n.d.)



5.2 Ohjelmointi

CP6607 näyttöpaneeli ohjelmointi tapahtuu Panel Builder 600 Suite ohjelmistolla. Ohjelmistolle on määriteltävä, mikä HMI-näyttö on käytössä, ja minkä tiedonsiirtoprotokollan kautta se keskustelelee esimerkiksi PLC:n kanssa. Näitä eri reittejä ovat esimerkiksi, Codesys, Codesys Serial, ETH ja ABB Modbus RTU.

Ohjelmistosta löytyy painikkeita, kuvioita, sivuja ja tarpeiden mukaan erilaisia toimintoja, joilla voidaan luoda käyttöliittymästä halutunlainen. Reaaliaikaisen datan avulla voidaan ohjata ja animoida erilaisia kuvioita ja painikkeita, yhdistämällä ne tiettyihin PLC:n input- tai outputliittimiin. Tämä onnistuu valitsemalla kuvio, johon ominaisuus halutaan liittää.

Seuraavaksi voidaan valita, seuraako kuvio tai painike ominaisuutta vai voidaanko se esimerkiksi kytkeä päälle tai pois. Tämä prosessi mahdollistaa kuvien ja painikkeiden tilan muuttumisen reaaliajassa, ja esimerkiksi anturien ja erilaisten tapahtumien valvonnan näytöltä. (ABB Manual, 2023)

Kosketusnäyttöön voidaan luoda hälytys- ja tapahtumalistoja. Tapahtumalistoihin määritellään hälytyksen nimi, ja mihin hälytys tallentaa tietoja. Tämän avulla voidaan valvoa erilaisten laitteiden toimintaa, ja ohjelmoinnin kautta vaikuttaa laitteiden toimintaan. Hälytyslistaukseen on myös mahdollista tallentaa testauksen aikana tullessiin hälytyksiin kommentteja, joiden avulla voidaan päätellä mistä vika johtuu. (ABB Manual, 2023)

6 Moottorin ja PKL testaus

Moottoritestauslaitteisto haluttiin rakentaa, jotta voitiin vertailla eri korjaus vaihtoehtoja moottoreille. Testattaviin moottoreihin kuului uudelleen käämitty ja täysin huollettu moottori. Laitteisto yhdistettiin jo valmiina olevaan testilaitteistoon, josta löytyi AC500, HMI, näille laitteille tarvittavat virtalähteet ja sulakkeet. Testilaitte haluttiin rakentaa, jotta pystyttäisiin vertailemaan erilaisten huoltojen jälkeen moottorin kestävyyttä. Yksi moottori oli uudelleenkäämitty, ja toinen moottori oli perushuollettu. Testilaitteella haluttiin testata näiden kahden moottorin kestävyyttä, ja varmistaa mikä huoltotoimenpide on kannattavin.

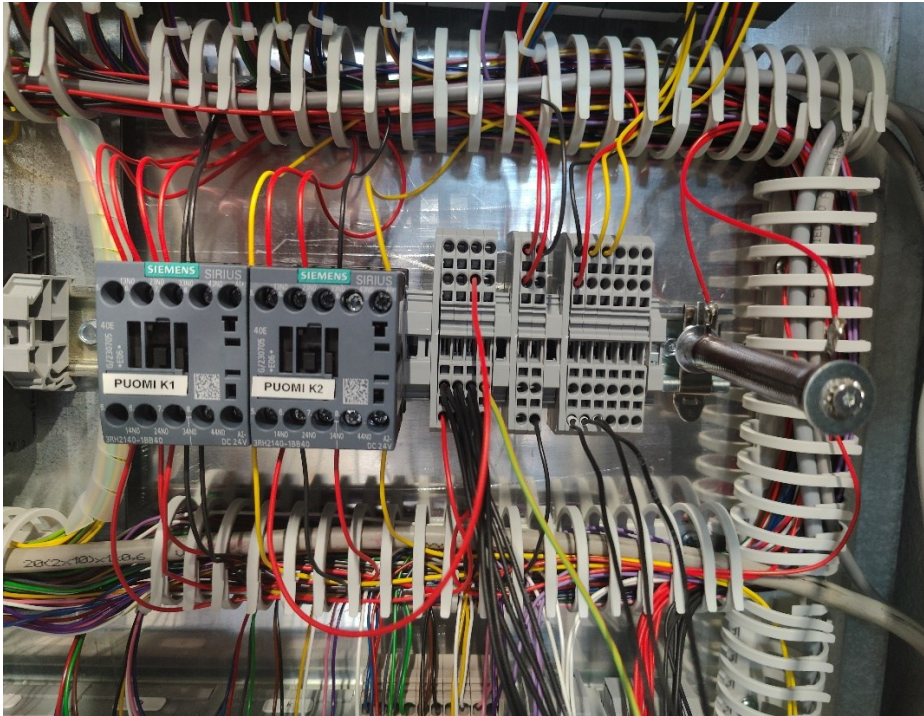
6.1 Testauslaitteiston kokoonpano

Testauslaitteen pohjana toimi valmiiksi rakennettu laitekokonaisuus, jolla pystytään testaamaan muitakin NRC:n laitteita, esimerkiksi vaihteenkääntölaitetta ja relepakkeja. Laitetekonaisuudesta löytyi jo valmiiksi AC500 PLC, johon oli liitetty tarvittavat tulot ja lähdöt, joiden avulla saatiin ohjattua laitteistoon liitettäviä laitteita. Laitteistokokonaisuudesta löytyi myös valmiina HMI-paneeli, joka oli mallia CP6607, sekä tarvittavat sulakkeet ja virtalähteet laitteille. Aiemmin näytetyssä kuvassa 9 nähdään AC500 PLC ja siihen liitetyt DX522 I/O moduulit. Näiden moduuleiden tuloihin liitettiin puominkääntölaitteessa olevat rajakytkimet, jotka sijaitsivat 0 ° asteen ja 90 ° asteen kohdalla. Moduuleiden lähtöihin liitettiin kontaktorit K1 ja K2, jotka ohjasivat puomin suuntaa.

Laitteistoon lisättiin kaksi kontaktoria, ja tarvittavat riviliittimet, jotta puominkääntölaite voitiin kytkeä testauslaitteeseen. Kontaktorien tarkoituksena oli kääntää moottorin napaisuus, jotta suunnanvaihto onnistuisi. Kytkentään lisättiin myös säätövastus, joka kytkettiin moottorin

ankkurin kanssa sarjaan. Tällä säätövastuksen kytkennällä saatiin moottorin pyörimisnopeutta pienemmäksi. Kuvassa 15 nähdään kontaktorit ja tarvittavat riviliittimet, jotka lisättiin laitteistoon.

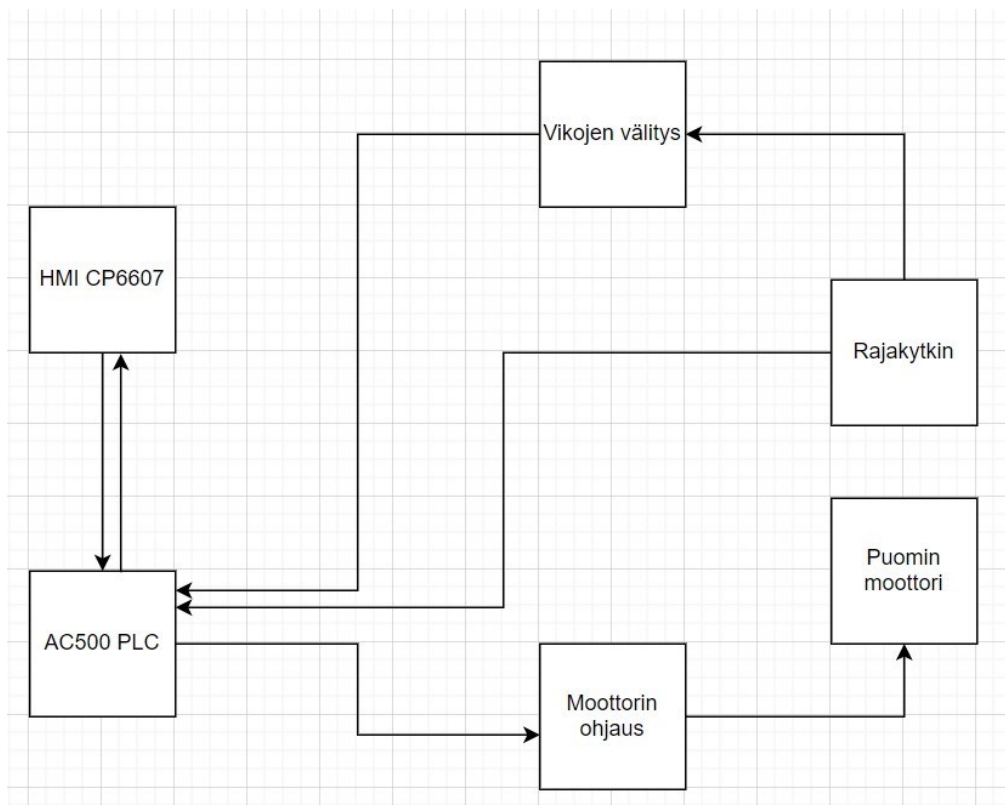
Kuva 15 Testilaitteen kontaktorit ja riviliittimet



Riviliittimille tuotiin 24 voltin tasajännite, joka johdotettiin punaisilla johdoilla kontaktorille K1. Kontaktori K1 johdotettiin moottorille, sekä kontaktorille K2, jossa napaisuuden kääntö suoritettiin vaihtamalla kahden johtimen paikkaa ristiin. Kontaktorien A1 pisteeseen tulevat keltaiset johtimet, on johdotettu PLC:n lähdoistä ja riviliittimille menevät PLC:n tuloista. Tulot ovat kytkettynä puominkäntölaitteen rajakytkimiin. Vasemmalla olevassa riviliitinpakassa olevat mustat johtimet, ovat moottorin ohjaukseen kuuluvia johtimia.

Järjestelmäarkkitehtuuri (kuva 16) nähdään tarvittavat toiminnot laitteelle. PLC ja HMI on oltava yhteydessä toisiinsa, jotta tarvittavat käskyt saadaan perille. Näitä käskyjä ovat esimerkiksi testilaitteen käynnistys, pysäytys ja vikojen välitys.

Kuva 16 Järjestelmäarkkitehtuuri



6.2 Ohjelmoinnin suunnittelu

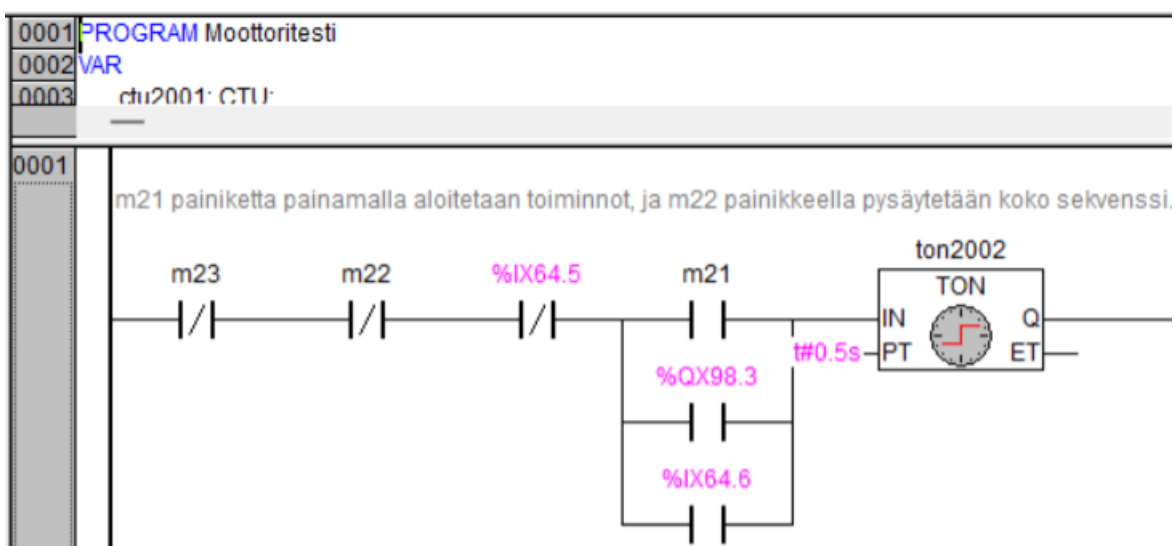
Ohjelmointi oli suurin osa tätä opinnäytetyötä, koska laitteisto yhdistettiin jo valmiina olevaan testilaitteeseen. Tästä syystä ohjelmoinnin suunnitteluun ja itse ohjelmointiin kului suurin aika. Laitteiston toiminnallisuudelle annettiin omat vaatimuksensa molemmille ohjelmoitaville laitteille. PLC:n vaatimuksissa haluttiin, että PLC kommunikoi HMI:n kanssa keskenään, jotta HMI:stä pystyttiin seuraamaan eri toimintoja. Tämä tapahtui yhdistämällä PLC:ssä oleva tag-listaus HMI:n ohjelmointiin. Vaatimukseen kuului myös moottorin ohjaus, jota ohjataan apureleistön avulla, jonka paikkatietoja otetaan mekaanistenrajakytkimien kautta. Näiden rajakytkimien avulla valvotaan myös puomin liikettä, ja tämän liikkeen avulla ohjataan suojamekanismia.

Kestotestijärjestelmälle haluttiin myös käyttöjärjestelmä, johon käyttäjä syöttää toistomäärän ja käynnistää toistot. Samalta sivulta voidaan myös nähdä, kuinka monta toistoa on tehty, ja toistomäärät, jotka syötettiin aiemmin. Näytölle haluttiin myös lehti, jonka kautta voidaan seurata hälytyksiä. Näistä hälytyksistä haluttiin nähdä kellonaika, päivämäärä ja syy vikailmoitukselle. Visualisointi haluttiin NRC:n vakioidulla pohjalla, josta löytyi valmiina visualisoinnin värit, painikkeet ja niiden sijoitukset.

6.3 AC500 PLC Ohjelmointi

PLC ohjelmoitiin Codesys -ohjelmalla, käyttäen Ladder Diagram -ohjelmointikieltä eli tikapuukaaviota. Ohjelma jaoteltiin viiteen sykliin, joista jokainen suoritti oman toiminnallisen osuutensa. Ensimmäisen syklin ohjelmoinnista käynnistys osa nähdään kuvassa 17. Ensimmäisessä syklissä ohjattiin puomin kontaktoria K1, joka ohjaa moottorin nostamaan puomi ylös. 90 ° asteen rajakytkin katkaisee syklin ja käynnistää toisen syklin. Syklin voi myös keskeyttää HMI-paneelista, tai vikatilanteen sattua syklin sammuttaa ajastimen perässä oleva muistibitti. 90 ° asteen rajakytkimen tulo, HMI-paneelin Stop-painike ja vikatilanteen muistibitti ovat kaikki invertoituna syklissä.

Kuva 17 Esimerkki ohjelmoinnista moottoriteissä



Toinen sykli toimii samalla tavalla, kuin ensimmäinenkin. Syklissä 0 ° asteen rajakytkin sammuttaa syklin ja aloittaa ensimmäisen. Syklin keskeyttäminen toimii samalla tavalla kuin ensimmäisessä syklissä. Tällä tavalla saatiin ohjaus toimimaan HMI-paneelista molempiin suuntiin, ja vikatilanteessa kontakteilla oleva syöttö katkaistua, jotta moottori ei vaurioituisi pidemmälle.

Ristilukitus on toteutettu ohjelmoinnin kautta On Delay Timer-funktiolla, joka on ohjelmassa nimellä TON. Rajakytkimiltä tai Start-näppäimeltä tuleva käsky käynnistää funktion esimerkiksi 1,5 sekunnin jälkeen. Tällä toiminolla varmistetaan aina toisen kontaktorin koskettimien asennon vaihto jännitteellisestä jännitteettömään.

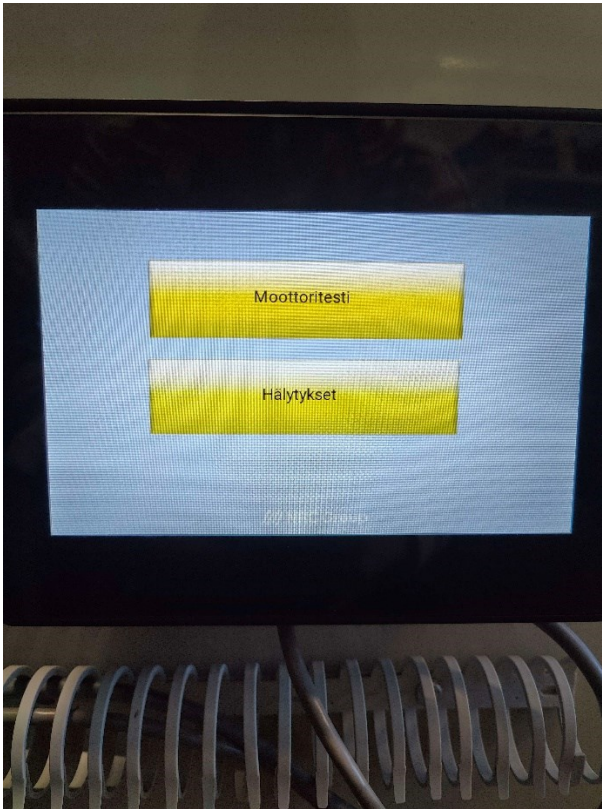
Kolmannessa syklissä suoritetaan toistojen laskenta CTU-funktiolla. Funktiossa olevaan laskentaan on lisätty puominkääntölaitteen 90 ° asteen rajakytkin, joka tunnistaessaan lisää laskimeen aina yhden tehdyn toiston. Laskin laskee toistoja siihen asti, kun se saavuttaa HMI:n kautta annetun toistomäärän. Laskimen perässä oleva muistibitti lopettaa ohjelman, ja HMI-paneelissa oleva Start-painikkeella voidaan nollata laskin.

Kahteen viimeiseen sykliin on ohjelmoituna laitteiston suojausmekanismi, jonka tarkoituksena on keskeyttää toiminnot, jos sen ajastimen jälkeinen muistibitti muuttuu tilasta 0 tilaan 1. Puomin nousussa ja laskussa kestää noin 20 sekuntia, ja tätä aikaa valvotaan näiden syklien avulla. Sykli valvoo yhtä suuntaa kerrallaan, ja jos suunta ei vaihdu tietyn ajan jälkeen, niin molemmat kontaktorit kytkeytyvät pois päältä. Tämä toiminto estää testin jatkumisen vikatilanteessa, vähentäen laitteiston hajoamis- riskiä.

6.4 CP6607 HMI-paneelin ohjelmointi

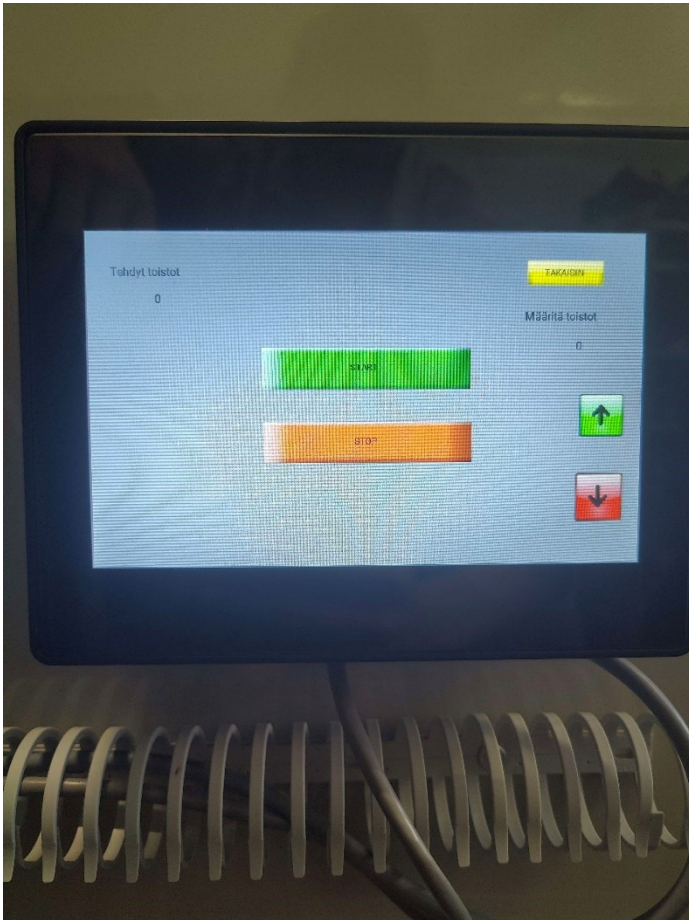
HMI-paneelin käyttöliittymä suunniteltiin kolmeen eri lehteen, ja ohjelmointi suoritettiin ABB:n Panel Builder-ohjelmalla. Lehtien ulkonäköön on käytetty NRC:n vakioitua pohjaa, jossa värit ja painikkeet ovat ennalta määrättyjä ulkonäöltään. Kuvassa 18 nähdään käyttöliittymän ensimmäinen lehti, josta löytyy painikkeet moottoritestin ja hälytykset. Moottoritestin-painiketta painamalla aukeaa lehti, josta voidaan suorittaa testin ohjaukset. Hälytys-painikkeesta aukeaa hälytystaulu, josta nähdään testilaitteen vikatilat.

Kuva 18 HMI-paneelin aloitusnäky



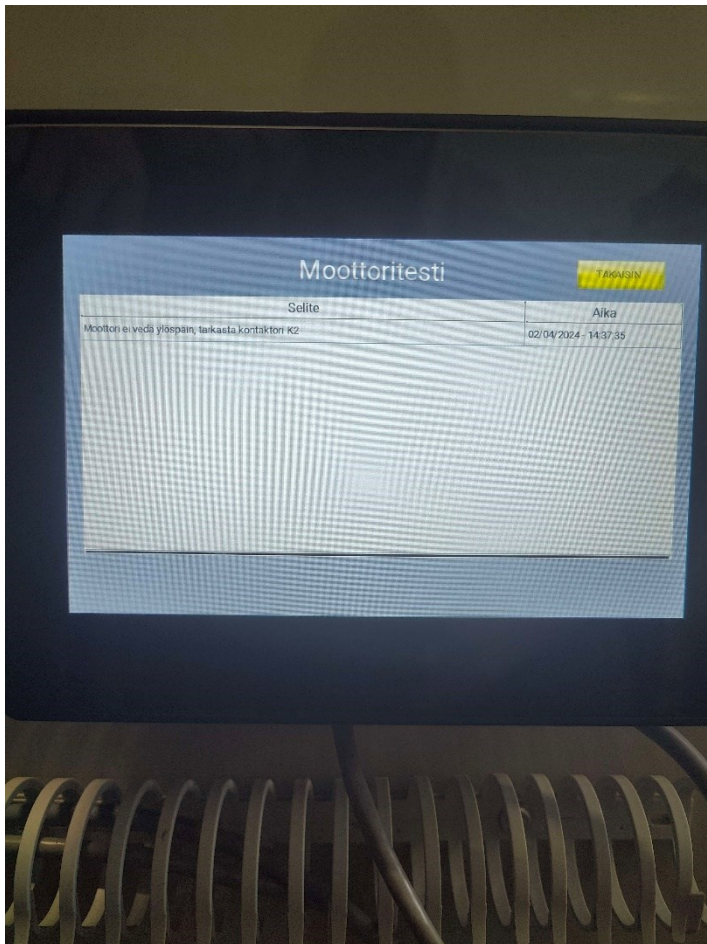
Moottoritestit-painike avaa kuvan 19 näkymän, josta nähdään testauslaitteen ohjaus. Näytöstä nähdään Start- ja Stop-painikkeet, joilla voidaan aloittaa ja keskeyttää testi. Painikkeiden lisäksi nuolinäppäimistöä voidaan lisätä tai vähentää toistomäärää, joka kirjautuu PLC-ohjelmassa olevalle CTU-laskurille. Valittujen toistojen määrä näkyy tekstin Määritä toistot alla. Tehtyjen toistojen määrä näkyy paneelin vasemmassa yläkulmassa. Tämä luku nollautuu aina Start-näppäintä painamalla. Ensimmäinen lehti, josta löytyy moottoritestit ja hälytykset, avautuu painamalla takaisinnäppäintä.

Kuva 19 HMI-paneelin testilaitteen ohjaus sivu



Hälytyslista, joka nähdään kuvassa 20, avautuu hälytykset-painikkeesta. Hälytyslistaan tallentuu hälytys, sen aikaleima ja hälytyksen syy. Nämä hälytykset tallennetaan paneelin omaan muistiin, ja mahdollisesti sen täyttyessä myös muistikortille. Panel Builder-ohjelmistosta pystyy lisäämään selitteitä tageihin, joista hälytykset syntyvät. Kuvassa oleva tarkista K2-hälytys, on syntynyt PLC-ohjelmassa olevan suojaimekanismin seurauksena. Kyseinen hälytys syntyy, jos moottori ei saavuta tiettyä rajakytkintä, tietyssä ajassa.

Kuva 20 HMI-paneelin hälytyslista



6.5 Lopputulokset

Ennen testin aloittamista suoritettiin mittaukset testattavien tasavirtamoottoreiden ankkurivirrasta, ankkurijännitteestä, staattorivirrasta ja staattorijännitteestä. Nämä mittaukset kirjattiin ylös paperille, ja niihin sisällytettiin myös käytetyn mittalaitteen tiedot sekä kunkin moottorin malli ja sarjanumero. Ensimmäisillä mittauksilla varmistettiin moottorin toimivuus. Testissä käytettiin vaadittua 24 voltin tasajännitettä, jolla varmistettiin mittauksen oikeellisuus ja vertailukelpoisuus. Alla olevassa kuvassa 21 nähdään lopullinen testilaitteisto, joka johdotettiin vieressä olevaan puominkääntölaitteeseen.

Kuva 21 Moottorintestauslaite



Testaus toteutettiin laitteisto kokoonpanolla, joka on kuvattu luvussa 6.1. Laitteistoon lisättiin myös PLC:n ja HMI:n ohjelmakoodi, joka on kuvattu luvuissa 6.3 ja 6.4. Testauslaitteessa olevaan puominkääntölaitteeseen asennettiin myös puomi, jotta saatiin mahdollisimman realistinen testaus. Testaus onnistui halutulla tavalla, ja ensimmäinen puominkääntölaitteen moottori saatiin tekemään toistoja laskuriin syötetyn määrän verran. Toistojen suorittamisen jälkeen ohjelmoitu laskuri saavutti annettujen toistojen määrän, ja sammutti testilaitteessa olevan moottorin katkaisemalla virran kontaktoreilta.

Lopputuloksena saatiin aikaan toimiva testilaitte, jolla on mahdollista testata puominkääntölaitteen moottorin kestävyyttä. Laitteella testattiin kahta moottoria, joista

ensimmäinen kesti koko testauksen ajan. Moottorille annettiin työkseen alkuun 2000 toistoa, jonka jälkeen sen annettiin jäähtyä ja tehtiin toinen 2000 toistoa lisää. Nämä 4000 toistoa olivat laskennallinen määrä, moottorin koko eliniän toistoista maastossa. Moottori lämpeni, mutta ei ylittänyt vaurioihin johtavaa 80 °C asteen rajaa.

Toinen testattava moottori laukaisi laitteen suojamekanismin. Moottori nosti käyttövirran testauksen aikana todella korkeaksi. Moottorin käyttövirta nousi testauksen aikana hyvin korkeaksi, mikä voi johtua moottorin vaurioitumisesta kestopestien aikana tai ylikuormituksesta testin seurauksena. Testauksen aika on mahdollista, että moottorin maadoitus on vikaantunut, tai käämitys on kuumentunut liikaa. Moottorille suoritettiin mittaukset kestopestauksen jälkeen, ja näissä mittauksissa huomattiin tyhjäkäyntivirran olevan ajoittain korkea, kuten testin aikana.

Testin suorittamisen jälkeen kaikki samat mittaukset toistettiin uudelleen. Tämä oli tärkeää, jotta voitiin arvioida moottorien kuntoa testin jälkeen ja havaita mahdolliset muutokset niiden suorituskyvyssä. Esimerkiksi mahdollisen nousun ankkurivirrassa, ankkurijännitteessä tai staattorivirrassa ja staattorijännitteessä.

7 Yhteenveto

Työ aloitettiin tutustumalla erilaisiin tasoristeyslaitoksiin, erityisesti puolipuomi-, paripuomi- ja kokopuomilaitoksiin. Tämän jälkeen tutkittiin puominkääntölaitetta, ja sen eri osia ja niiden toimintaa. Vaikka puominkääntölaitteesta löytyy useampi tekninen osa, otettiin huomioon vain rajakytkin, sekä hammasvaihdemoottori. Hammasvaihdemoottorissa tutustuttiin tasasähkömoottoriin, jotta ymmärrettiin testattava laite. Tuoreen lähdemateriaalin löytäminen kenttäkäämitysmoottorista osoittautui vaikeaksi, joten jouduttiin turvautumaan vanhoihin sähkötekniikan oppikirjoihin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa puominkääntölaitteen moottorille kestopestilaite, jonka avulla voitiin testata uudelleenkäämitysten moottoreiden toimintaa. Nämä moottoreista toinen oli uudelleenkäämitty, ja toinen saanut perushuollon. Testauslaitetta ohjattiin ABB:n AC500 PLC:n avulla, johon liitettiin HMI-näyttö. HMI-näytöltä oli mahdollista ohjata testausta reaaliajassa. ABB:n ohjelmointi ympäristöön perehtymiseen, ja käyttöönottoon kului jonkin verran aikaa, koska ohjelmistot olivat entuudestaan tuntemattomia. Eniten aikaa kului HMI:n tag-listauksen ohjelmointiin, mutta avustuksen kanssa listaus saatiin toimimaan.

Työssä onnistuttiin asetettujen vaatimusten mukaisesti, sillä laitteisto saatiin toimimaan halutulla tavalla. HMI-paneeli oli yhteydessä PLC:n kanssa, ja paneelin käyttöliittymä toimi halutulla tavalla. Puominkääntölaitteen moottoreiden testaus saatiin automatisoitua, ja niiden testaaminen onnistuu nyt laitteiston avulla.

Lähteet

ABB Main Catalog. (2024). *PLC Automation*.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3ADR020077C0204&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Manual. (2023). *PB610 Panel Builder 600*. Programming software for CP600 control panels.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3ADR010277&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB Operating Instructions. (n.d.). *Control Panels CP600-Pro*. CP6605, CP6607, CP6610, CP6615, CP6621.

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3ADR010108&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. Elsevier.

HBR Industries. (n.d.). *3 Common Failures In Field Coils & How To Fix*.

<https://www.hbrindustries.com/3-common-failures-in-field-coils-how-to-fix/>

Inductive Automation. (2018). *HMI: Human-Machine Interface*. What is HMI, Common uses, Trends, and future of HMI. <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>

Inkeröinen, J. (2015). *Tasoristeyksen puomilaitos Vaatimukset, toiminta, sähköistys ja testaus*. [Mikkelin ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504285376>

Liikennevirasto. (4.6.2012) *Varoituslaitosten tekniset toimitusehdot*.

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/ohje_2012_varoituslaitosten_tekniset_web.pdf

Liikennevirasto. (28.5.2019). *Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 9 Rautatien tasoristeykset*.

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-15_rato9_web.pdf

Liikennevirasto. (30.12.2021). *Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet*.

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-18_rato6_web.pdf

NRC Group. (n.d.). *Tietoa meistä*. <https://www.nrcgroup.fi/yritys>

Paavola, M. (1964). *Sähkötekniikan oppikirja*. Werner Söderström Osakeyhtiö.

Pepperl+Fuchs. (n.d.). *Operating Distance as Central Characteristics*. <https://www.pepperl-fuchs.com/finland/fi/39764.htm>

Resiina. (2013). Luulajan paripuomilaitos. <http://vaunut.org/kuva/84120>

Väylävirasto. (2016). *Tasoristeysturvallisuudessa kohti systemaattisempaa turvallisuustyötä*

[kuva]. <https://vayla.fi/-/tasoristeysturvallisuudessa-kohti-systemaattisempaa-turvallisuustyota>

