



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Samuli Rahkjärvi

Hakkurin ohjausjärjestelmän modernisointi

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Samuli Rahkjärvi

Työn nimi: Hakkurin ohjausjärjestelmän modernisointi

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 0

Tässä opinnäytetyssä perehdytään hakkurin ohjausjärjestelmän modernisointiin. Työ tehtiin tilauksesta kolmannelle osapuolelle. Työn tarkoitus oli tehdä uusi ohjausjärjestelmä hakkurille ja siihen liittyville laitteille sekä parantaa järjestelmän toimintaa ja helpottaa eri ominaisuuksien mahdollisia lisäyksiä tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan työn taustasta ja tavoitteista. Teoriaosuudessa perehdytään työssä käytettyihin ohjauskomponentteihin. Luvussa käydään myös läpi, miten ja mihin tarkoitukseen komponentteja käytetään.

Teoriaosuuden jälkeen käydään läpi työn suunnitteluvaihe, jossa järjestelmän laitteiden sijoittelu ja ohjauskomponenttien valinta tehdään. Lisäksi luvussa kerrotaan laitteiston koneturvallisuudesta. Toteutusvaiheessa kerrotaan itse työn vaiheista. Lopuksi on omaa pohdintaa työn toteuttamisesta sekä työn lopputuloksesta. Työn lopputulos on hakkurin ohjausjärjestelmän onnistunut modernisointi, joka vastasi työn tilanteen asiakkaan tarpeita.

¹ Asiasanat: Hakkuri, Ohjausjärjestelmä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Samuli Rahkjärvi

Title of thesis: Modernization of Woodchipper Control System

Supervisor: Ismo Tupamäki

Year: 2023

Number of pages:40

Number of appendices:0

The thesis aimed to introduce the process of modernization of a woodchipper control system, ordered by a third-party customer. The purpose of the modernization was to create a new controlling system to the chipper, including its separate machines. Additionally, the objective included creating an easier system to operate and an easier way to attach new features to the machine in the future.

The first chapter introduced the thesis' objective and background. In the theoretical background, the control components used in the project, as well as the factors related to their use in the project were introduced and discussed.

In the planning chapter, the methods were used in the deciding process of the components and machines placements were introduced. Machine safety was also analyzed. The project's different phases of work were explained in detail in the implementation chapter. Finally, the project was summarized and reflected upon. The project was successful in creating a new, modern control system that met the requirements of the third-party customer.

¹ Keywords: Woodchipper, Control system

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuvaluettelo.....	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite.....	7
2 TEORIAA	8
2.1 Hakkuri ja hakkurin toiminta	8
2.2 Ohjauskomponentit	9
2.2.1 Rele	10
2.2.2 Kontaktori.....	12
2.3 Logiikka-ohjaus	13
2.3.1 Logiikka-laitteet	13
2.3.2 PLC-ohjelmointi.....	14
2.4 Oikosulkumoottori.....	16
2.5 Taajuusmuuttajat.....	17
2.5.1 Taajuusmuuttajan toiminta.....	19
3 LAITTEISTON JA OHJAUKSEN SUUNNITTELU.....	20
3.1 Lähtökohdat laitteistolle.....	20
3.2 Komponenttien valinnat.....	22
3.3 Ohjauksen suunnittelu.....	23
3.4 Järjestelmän turvallisuus	23
3.4.1 Turvallisuusluokan määrittäminen.....	23
3.4.2 Järjestelmän turvalaitteet	25
4 OHJAUKSEN TOTEUTTAMINEN	27
4.1 Työn toteutus ja asennukset	27
4.2 Logiikkaohjelma.....	29

4.3 Testivaihe.....	32
5 TULOKSET	35
6 POHDINTAA JA YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Työssä käytetty hakkuri.	9
Kuva 2. Rele.	10
Kuva 3. Kontaktori.	12
Kuva 4. Beckhoff BC9020-logiikka.....	14
Kuva 5. Esimerkki Beckhoffin TwinCAT 2-ohjelmistosta.....	15
Kuva 6. Esimerkki Beckhoffin TwinCAT 3-ohjelmistosta.....	15
Kuva 7. Hakkurin moottorin taajuusmuuttaja.	18
Kuva 8. Hakkuri työn alkuvaiheessa.	21
Kuva 9. Kuljettimien vanha ohjauskeskus.....	21
Kuva 10. Kuljettimien vanha käyttöpaneeli.	22
Kuva 11. Turvarele.	26
Kuva 12. Köysihätäpysäytin.....	26
Kuva 13. Hakkurin ensimmäinen liukuhihna.	27
Kuva 14. Hakkurin puhallin.	28
Kuva 15. Painikekotelo.	29
Kuva 16. Hakkurin logiikkaohjelman MAIN-ohjelma.	30
Kuva 17. Ohjelman fbChopper alkuosa.	31
Kuva 18. Ohjelman fbChopper loppuosa.	32
Kuva 19. Hakkurijärjestelmän kokonaisuus.	33
Kuva 20. Hakkuri ja kotelo, josta puhallin imee hakkeen.	34

Kuva 21. Liukuhihna ja pöytäkuljetin.....	35
Kuva 22. Hakkurin sähkökaappi ennen uudistusta.	36
Kuva 23. Laitteiston sähkökaappi työn loppuvaiheessa.....	36
Kuvio 1. Releen läpileikkaus.	10
Kuvio 2. Erilaiset reletyypit.	11
Kuvio 3. Oikosulkumoottorin rakenne.	16
Kuvio 4. Oikosulkumoottorin kytkentätavat.	17
Kuvio 5. Taajuusmuuttajan rakenne.	19
Kuvio 6. PLr- tason arviointikaavio.....	24
Kuvio 7. PLr- tason P-vaiheen arviointitaulukko.....	25

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työ toteutettiin tilauksena kolmannelle osapuolelle, jolla oli hankittuna laitteistoon kuuluvat tarvikkeet, joka tarvitsi uuden ohjauksen laitteille. Työn alussa työn tilaajalla oli tarve saada vanha puun silppuamiseen käytetty hakkuri toimimaan. Lisäksi laitteistoon piti liittää liukuhihnat, joiden avulla silputtavat puut siirretään hakkurille. Hakkuri ja toinen liukuhihnoista olivat ennen toimineet yhdessä, mutta järjestelmää haluttiin samalla parantaa. Tarkoituksena oli lisätä vielä toinen liukuhihna ja ketjukuljetin, jotta hakkurijärjestelmää olisi helpompi käyttää.

Työn alussa hakkuri sijaitsi rakennuksen alakerrassa, jonne puut tuotiin rakennuksen seinässä olevasta aukosta. Jokainen puu piti siirtää rakennukseen sisälle käsin, ja tätä prosessia haluttiin helpottaa kuljettimien avulla.

Työn toteutuksessa haluttiin käyttää mahdollisimman paljon jo olemassa olevia komponentteja. Ohjausjärjestelmä pyrittiin suunnittelemaan sen perusteella millaisia komponentteja ja tarvikkeita työn tilaajalla oli jo valmiiksi käytettävissä. Näin välttyttiin ylimääräisiltä kuluilta.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on luoda toimiva ohjaus hakkurijärjestelmälle, sillä vanha ohjaus vaati uudistuksia. Hakkurijärjestelmän uudistuksien vuoksi ohjaus piti muuttaa siten, että vanhat järjestelmän osat toimisivat yhdessä uusien kanssa. Kun toinen hihnakuljetin ja uusi pöytäkuljetin haluttiin liittää järjestelmään, täytyi myös ohjauksia muuttaa. Samalla oli sopiva aika uudistaa koko ohjausjärjestelmä. Uudistetulla ohjauksella järjestelmän ohjauksesta saadaan huomattavasti joustavampi ja siihen saadaan mahdollisuudet lisätä erilaisia ominaisuuksia jälkikäteen, kuten esimerkiksi konenäköjärjestelmä. Järjestelmän käytettävyyttä on myös tarkoitus saada paremmaksi ja helpommaksi.

2 TEORIAA

2.1 Hakkuri ja hakkurin toiminta

Hakkuri eli puunkäsittelykone on laite, jolla puusta tehdään puulastua eli haketta (Jensen Service GmbH, i.a.). Puuhakkuri kehiteltiin alun perin Saksassa 1880-luvulla julkisten tilojen kunnossapitoa varten. Sittemmin hakkurit ovat vakiinnuttaneet paikkansa niin kotitalouksissa kuin teollisuudessa.

Hakkureita on erimallisia ja -kokoisia käyttötarkoituksen mukaan (Hilton, i.a.). Pienimpiä kotikäyttöön tarkoitettuja hakkureita voidaan kutsua myös oksasilppureiksi. Teollisuudessa käytettävät hakkurit ovat yleensä paljon isompikokoisia ja pystyvät käsittelemään suurempia määriä puuta kerralla. Puuhakkureita on kolmea perustyyppiä, jotka jaetaan voimanlähteiden mukaan: voimanotto, polttoaine (benssiini) tai sähkö.

Erilaisissa puuhakkureissa on kuitenkin yhteneviä rakenteellisia osia, kuten syöttösuppilo, joka ohjaa puun terille, jotka tekevät puusta haketta (Hilton, i.a.). Hake taas tulee ulos useimmiten putkesta tai suppilosta. Kuten useimmissa koneissa, joiden toiminta edellyttää terävien terien käyttöä, hakkurin teriä on teroitettava säännöllisesti. Näin kone toimii energiatehokkaasti.

Tässä järjestelmässä käytetty hakkuri oli Laimet HP 21 LS (Kuva 1). Tämä on ruuvihakkuri, jonka voimanlähde on 45kW sähkömoottori. Hakkurin pyörintänopeus on matala, mutta se tuottaa tasalaatuista haketta, mikä on tärkeä asia asiakkaan prosessissa.



Kuva 1. Työssä käytetty hakkuri (Rahkjärvi, 2020l).

2.2 Ohjauskomponentit

Ohjauskomponenteilla tarkoitetaan komponentteja, joilla ohjataan esimerkiksi sähköisen laitteen ohjausvirtapiiriä (Industrial-Electronics, i.a.). Ohjaustapoja on monenlaisia, kuten releohjaus ja logiikkaohjaus. Releohjauksessa järjestelmää hallitaan painonapeilla ja kytkimillä, jotka ohjaavat releitä ja kontaktoreita. Pelkillä perusohjauskomponenteilla on mahdollista luoda hyvinkin laaja ohjausjärjestelmä. Uudistuksen myötä järjestelmän vanha releohjaus korvattiin logiikkaohjauksella. Logiikan lähdöt ohjaavat laitteita ja komponentteja. Logiikalla pysytään tekemään ohjelmia, jotka vastaavat oikeilla releillä ja ajastimilla tehtyjä kytkentöjä. Logiikka-ohjauksessa kaikki toiminnot on vain toteutettu ohjelmallisesti.

Yleensä logiikan lähdöillä ei kuitenkaan kyetä suoraan ohjaamaan AC moottoreita (Yleiselektronikka, i.a.). Esimerkiksi työssä käytetyn logiikan lähdöt ovat 24 VDC, kun taas oikosulkumoottorit, joita työssä käytettiin, vaativat 3-vaiheisen ja 400 VAC lähdön. Tämän takia vaaditaan ohjauskomponentteja, joilla järjestelmä saadaan toimimaan.

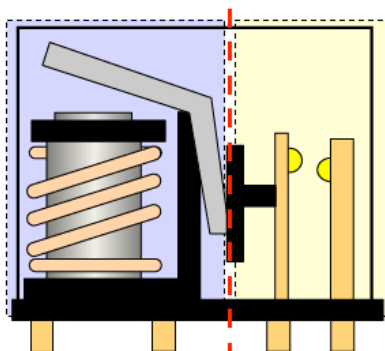
2.2.1 Rele

Rele on kytkinlaite, joka toimii sähköisesti (Omron, i.a.). Releitä on kahta eri tyyppiä: mekaanisia releitä, joissa on liikkuvat koskettimet, ja elektronisia releitä, joissa ei ole liikkuvia koskettimia. Kummankin tyyppisten releiden ohjaus tapahtuu sähköisesti perustuu sähkömagnetismiin. Tässä kohdassa kuitenkin keskitytään mekaanisiin releisiin ja niiden toimintaan.



Kuva 2. Rele (OEM Finland, i.a.).

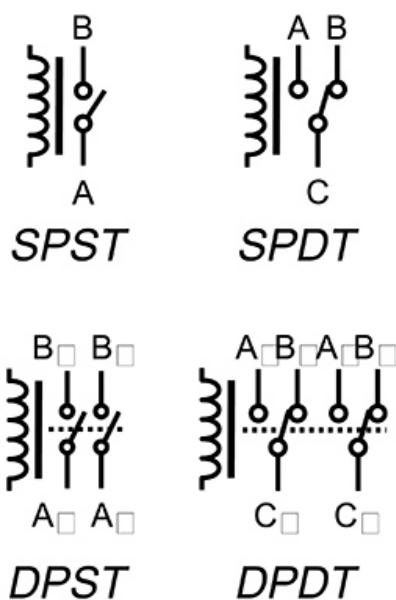
Releet koostuvat pääosin kahdesta eri osasta: kelasta ja kosketinosista (Omron, i.a.). Kun releen kelaan tuodaan sähköinen ohjaussignaali, kela muodostaa sähkömagneettisen kentän. Magneettikenttä liikuttaa kosketinta, jolloin koskettimen kärjet osuvat yhteen ja kuorma, esimerkiksi sähkövirta, kulkee releen koskettimien läpi. Kuvio 1 esittää releen rakennetta. Kuvassa punaisella katkoviivalla on eroteltu kela- ja kosketinpuoli. Vasemmalla on kela ja oikealla kosketinosat.



Kuvio 1. Releen läpileikkaus (Omron, i.a.).

Releitä on eri mallisia koskettimien mukaan, ja ne voivat kytkeä yhden tai useamman koskettimen kerrallaan yhteen (Yleiselektronikka, i.a.). Erilaisista releistä käytetään seuraavia nimityksiä koskettimien mukaan:

- SPST (Single Pole Single Throw)
- SPDT (Single Pole Double Throw)
- DPST (Double Pole Single Throw)
- DPDT (Double Pole Double Throw).



Kuvio 2. Erilaiset releytyypit (Yleiselektronikka, i.a.).

Releillä voidaan katkaista sähkövirta virtapiirissä. Releohjauksessa ohjausreleitä voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan, jolloin ohjaukseen voidaan tehdä erilaisia ehtoja.

Releillä pystytään rakentamaan hyvin monimutkaisiakin järjestelmiä, mutta se vaatii enemmän fyysisiä komponentteja ja tarkkaa suunnittelua (Prasad, 2022).

2.2.2 Kontaktori

Kontaktori on samankaltainen laite kuin rele, mutta sillä pystytään kytkemään suurempia kuormia ja korkeampia jännitteitä (c3controls, i.a.). Kontaktorilla on tarkoitus kytkeä sähkölaitteiden päävirtapiirejä ja releillä ohjausvirtapiirejä, joten usein kontaktori ohjaa kolmea kosketinta kerralla. Kontaktoreissa on myös usein apukosketin tai apukoskettimia, joita voidaan käyttää kontaktorin tilatiedon ilmaisuun.



Kuva 3. Kontaktori (Schneider Electric, i.a.).

Kontaktoreja ohjataan kelalla kuten relettäkin, ja yleisesti kelat ovat 24 VDC jännitteellä toimivia (Stykemäin, 2021). Esimerkiksi 230 VAC kelalla toimivat kontaktorit ovat kuitenkin hyviä yksinkertaisissa sovelluksissa, joissa pystytään käyttämään pitopiiriä (Sähkötekniikka 2021, 2022). Pitopiiri tarkoittaa ohjausvirtapiiriä, jonka kontaktori luo itselleen ja joka pitää kontaktorin vetäneenä niin pitkään, kunnes piiri katkaistaan.

Uuden ohjauskeskuksen logiikan jännitesyöttöä varten hankittiin 24 VDC:n teholähde. Uudelleenkäytettävien kontaktoreiden kelajännite säilyi 230 VAC-ohjauksella. Tämän vuoksi kelan ja logiikan väliin asennettiin releet. Releiden avulla vahvistettiin logiikan 24 voltin jännite 230 voltin ohjausjännitteeksi. Normaalissa tapauksessa, jos komponentit ostettaisiin uutena, ei näin kannattaisi tehdä, koska välissä oleva rele olisi turha, jos vain kontaktori olisi 24 VDC:n kelalla sekä logiikan lähtökortin virta tarpeeksi suuri.

2.3 Logiikka-ohjaus

Ohjelmoitava logiikka eli PLC on nykyaikainen tapa ohjata sähköisiä järjestelmiä (Mortenson, 2020). PLC tulee sanoista Programmable Logic Controller. Logiikoita on erimallisia ja -merkkisiä, mutta kaikki ovat periaatteeltaan samankaltaisia. Logiikka koostuu tietokoneesta, jossa on prosessori ja muistit, sekä fyysisistä tuloista ja lähdöistä, jotka voivat olla osa logiikkaa tai lisättäviä osia siihen.

Logiikkaa ohjelmoidaan tietokoneohjelmalla, jossa tehdään koodia, jota logiikka toteuttaa (PLCopen, i.a.). Ohjelmointikieliä, joilla logiikkaa voi ohjelmoida, on erilaisia, esimerkiksi Structured Text eli ST, joka on tekstimuotoinen, ja Function Block Diagram eli FBD, joka on graafinen ohjelmointikieli. Nämä ohjelmointikielien on määritelty IEC 61131-3 standardissa.

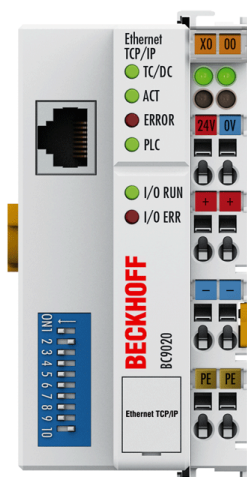
2.3.1 Logiikka-laitteet

Logiikka-laitteet ovat eri valmistajilla hyvinkin erilaisia, mutta niissä on sama perusta (Mortenson, 2020). Logiikka sisältää tietokoneen, jolla logiikkaohjelma pyörii ja joka ohjaa logiikan tuloja ja lähtöjä. Tuloihin ja lähtöihin kytketään laitteita, joilta halutaan tietoja tai joille halutaan lähettää tietoa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi painikkeet ja releet. Painikkeelta tuleva tieto on on/off-tieto, jota kutsutaan digitaalituloksi, ja releelle menevä on/off-tieto on digitaalilähtö. Digitaalitulot ja -lähdöt ovat binäärisiä, eli ne ovat joko päällä tai pois päältä.

On myös analogisia tuloja ja lähtöjä. Analogialähdöllä ohjataan esimerkiksi moottorin nopeutta, ja analogiatulolla voidaan ottaa moottorin nopeustieto vastaan (Instrumentationtools, i.a.).

Logiikka tarvitsee yleensä virtalähteen, mutta joissakin malleissa se on osa logiikkaa, kun taas toiset mallit vaativat erillisen virtalähteen. Virtalähde muuttaa yksivaiheisen 230 VAC verkkojännitteen logiikalle sopivaksi, yleensä 24 VDC-jännitteeksi. Virtalähteitä on eri kokoisia. Virtalähteen koko määräytyy tarpeen mukaan. (RealPars, i.a.).

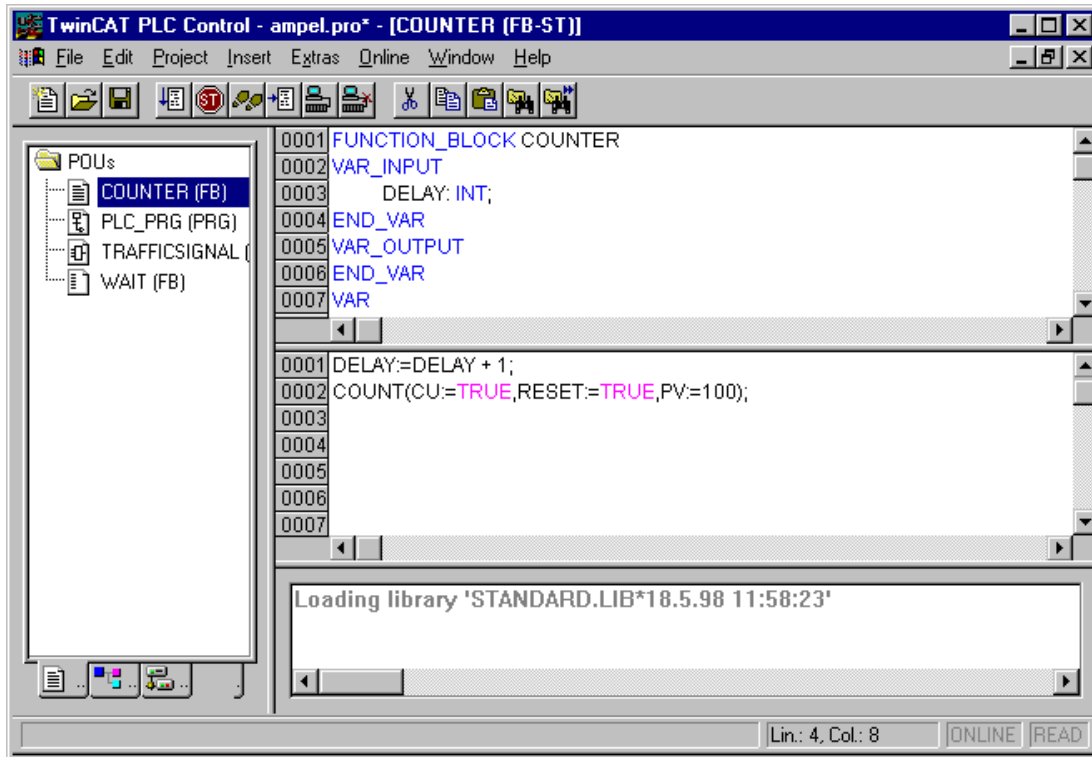
Kuva 4 esittää Beckhoffin BC9020-logiikkaa, joka on vastaava malli kuin opinnäytetyössä käytetty logiikka.



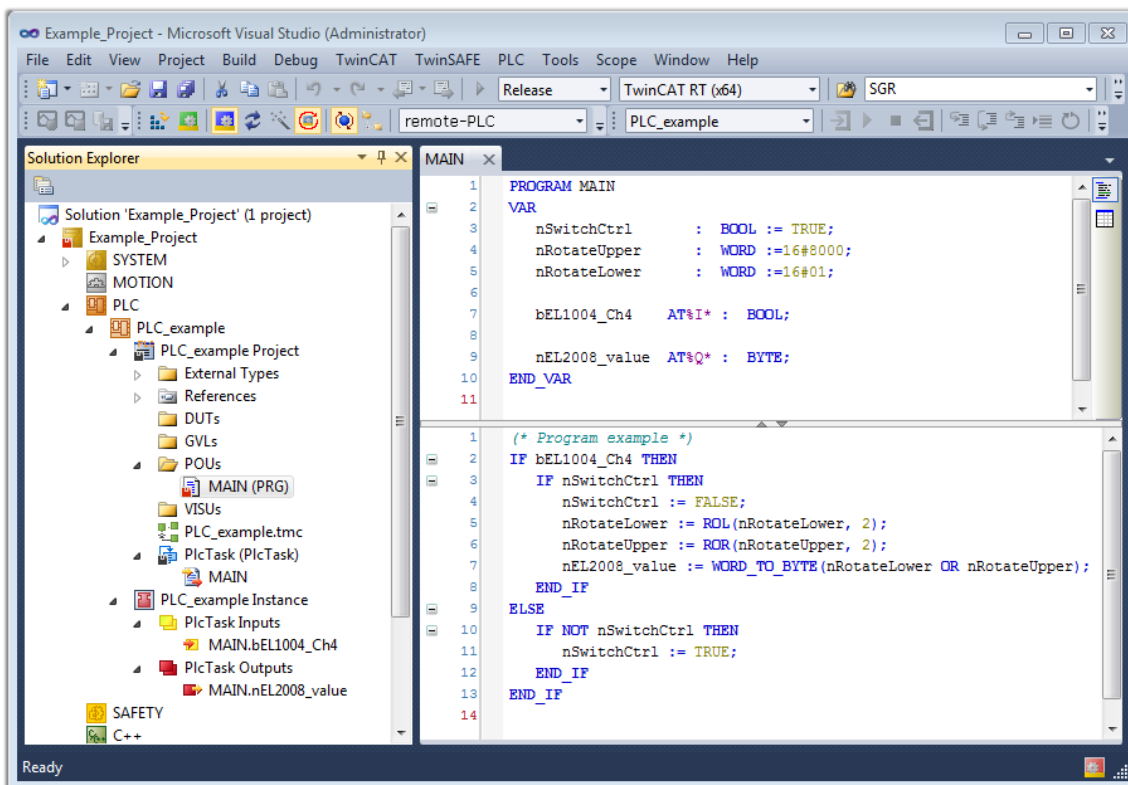
Kuva 4. Beckhoff BC9020-logiikka (Beckhoff, i.a.-a).

2.3.2 PLC-ohjelmointi

Logiikkaa ohjelmoidaan tietokoneohjelmalla, joka on valmistajan määrittämä (Hiltunen ym., 2004, s. 4). Koska tässä työssä käytettiin Beckhoffin BC9020-logiikkaa, ohjelmointi toteutettiin Beckhoffin TwinCAT 2 -ohjelmalla. TwinCAT tulee sanoista The Windows Control and Automation Technology. Uusin TwinCAT-ohjelmisto on TwinCAT 3, mutta työssä käytetty logiikka vaati vielä vanhemman TwinCAT 2 -ohjelmiston (Beckhoff, i.a.-b). TwinCAT 2:lla pystytään luomaan logiikkaohjelmia IEC 61131-3 -standardin ohjelmointikielillä (IL, LD, FBD, SFC, ST) sekä CFC:llä (Beckhoff, i.a.-c). Kuvissa 5 ja 6 esitetään esimerkit ST-ohjelmoinnista, joista ensimmäinen kuva on tehty TwinCAT 2:lla ja toinen kuva TwinCAT 3:lla.



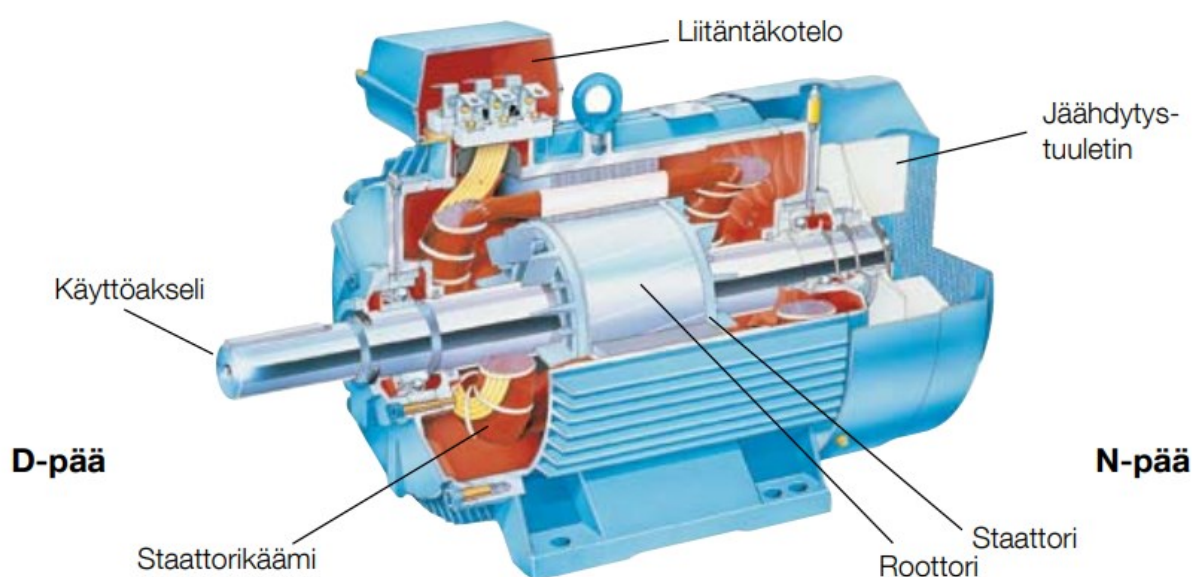
Kuva 5. Esimerkki Beckhoffin TwinCAT 2-ohjelmistosta (Beckhoff, i.a.-d).



Kuva 6. Esimerkki Beckhoffin TwinCAT 3-ohjelmistosta (Beckhoff, i.a.-e).

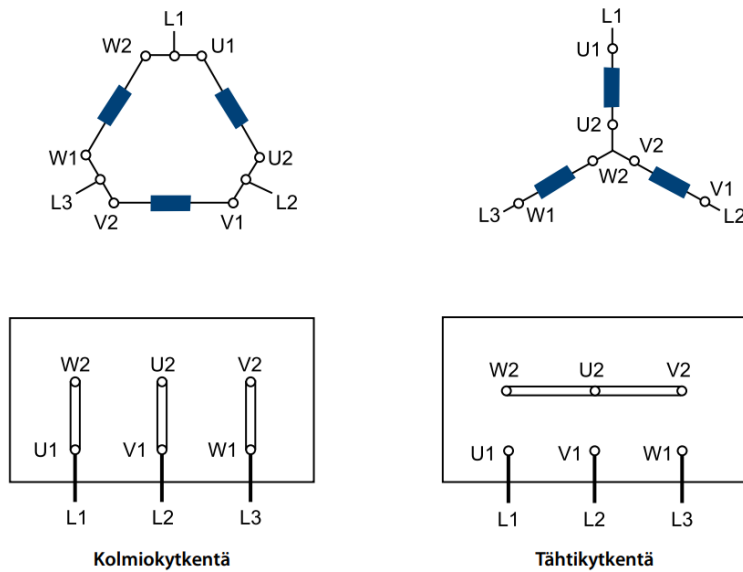
2.4 Oikosulkumoottori

Sähkömoottoreita on erilaisia, mutta tässä osiossa kerrotaan markkinoiden yleisimmästä moottorista eli oikosulkumoottorista (ABB, 2011, s. 4–5). Oikosulkumoottori koostuu tyypillisesti kuudesta eri osasta, roottorista, staattorista, staattorikämistä, käyttöakselista, tuuletimesta ja liitäntäkotelosta. Moottoreissa on määritelty sen käyttöpää ja käyttöpään vastainen pää D- ja N- merkinnöillä. Nämä on kerrottu IEC-standardissa. D-pää on käyttöpää ja N-pää käyttöpään vastainen pää.



Kuvio 3. Oikosulkumoottorin rakenne (ABB, 2011, s. 4).

Oikosulkumoottori toimii sähkömagnetismin ja vaiheista syntyvän vaihe-eron avulla (ABB, 2001, s. 12). Yksinopeuksiset oikosulkumoottorit voidaan kytkeä kahdella eri tavalla, joko tähtikytkentään tai kolmiokytkentään. Tähtikytkennässä moottorin kaikkien käämien päät kytketään yhteen ja toiset päät eri vaiheisiin, jolloin niistä muodostuu tähdenmuotoinen kytkentä, mistä kyseinen nimityskin tulee. Kolmiokytkennässä käämien molemmat päät taas kytketään eri vaiheisiin, jolloin kytkennästä muodostuu kolmio (ABB, 2011, s. 7). Kuviossa 4 on esimerkki kolmio- sekä tähtikytkennästä, jossa L1, L2 ja L3 ovat eri vaiheita.



Kuvio 4. Oikosulkumoottorin kytkentätavat (ABB, 2011, s. 7).

Tähti-kolmio-käynnistystä käytetään moottoreiden käynnistyksessä, jos moottorin käynnistysvirrat nousevat korkeiksi esimerkiksi suuren kuorman takia (Electrical 4 U, 2021). Tähti-kolmio-käynnistyksessä ensin moottori kytketään "tähteen", jolloin kolmen vaiheen välille syntyy kelluva, maasta erotettu nollapiste. Tähtikytkennässä yhden vaiheen resistanssi kasvaa, jolloin virta on pienempi. Kun virta on pienempi, mekaaninen ja magneettinen vastus kuormittavat sähköverkkoa vähemmän. Kun moottorin täysi pyörimisnopeus saavutetaan, vaihdetaan kytkentä kolmioon. Kolmiokytkennässä moottorin käyttämä virta pienenee ja saavuttaa täyden tehonsa, mutta säilyttää samalla täyden pyörimisnopeutensa. Tällöin myös moottorin kuormituksen kestävyys kasvaa. Jos sähkömoottorin nopeutta halutaan säätää, sen voi tehdä esimerkiksi taajuusmuuttajan avulla (ABB, 2001, s. 12).

2.5 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttaja on laite, jolla säädetään moottorille syötettävää sähkövirran taajuutta ja jännitettä. Moottorille syötettävällä taajuudella pystytään säätämään moottorin pyörimisnopeutta, mikä on usein syy taajuusmuuttajan käytölle.

Tässä opinnäytetyössä moottorien nopeuksia haluttiin säätää, että puita liikuttavat liukuhihnat pyörisivät samalla nopeudella kuin millä hakkuri vetää puuta sisään. Moottorin nopeuden

säätelylle saattaa olla muitakin syitä, kuten vääntömomentin säätäminen kohteen vaatimusten mukaiseksi, työympäristön haittojen, kuten melun pienentämiseksi esimerkiksi puhaltimissa sekä energian säästäminen (Danfoss, i.a.). Taajuusmuuttaja pystyy säästämään jopa 40 % virrasta verrattuna suoraan kontaktorilähtöön, jossa moottori pyörii aina nimellisnopeudellaan. Tämän takia taajuusmuuttaja vähentää myös järjestelmän CO₂- ja NO_x-päästöjä.

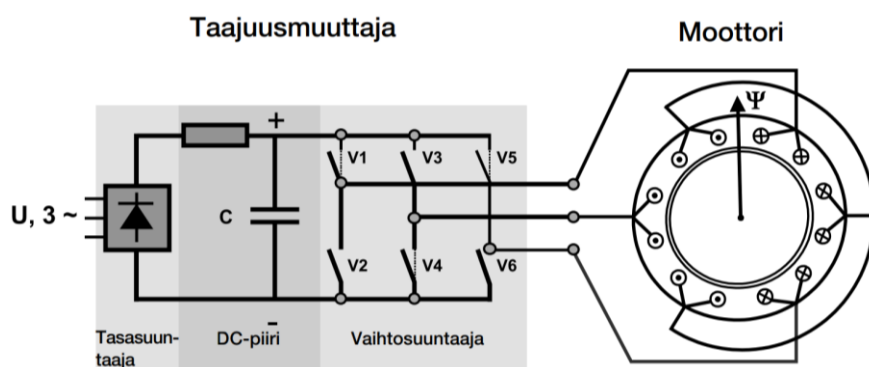
Nopeussäädön lisäksi hyvin tärkeä ominaisuus taajuusmuuttajassa ovat kiihdytys- ja hidastusrampit (Danfoss, i.a.). Näitä rampeja käytettiin hyväksi hakkurin moottorin ja puhaltimen käynnistyksessä, koska niiden liikkeellelähtö on raskas ja vaatii paljon energiaa. Hitaamman kiihdytyksen myötä saatiin käynnistyksen energiahuippua pienennettyä. Maailmassa jopa 75 % kaikista taajuusmuuttajista on käytössä pumppu-, puhallin- tai kompressorikäyttöissä.



Kuva 7. Hakkurin moottorin taajuusmuuttaja (Rahkjärvi, 2020e).

2.5.1 Taajuusmuuttajan toiminta

Taajuusmuuttaja muodostuu kolmesta pääosasta: suuntaajaosasta, välipiiristä ja vaihtosuuntaajasta (ABB, 2001, s. 12). Yleisesti taajuusmuuttajassa syötetään 3-vaihe 50Hz (AC) virtaa suuntaajaosaan, jossa taajuusmuuttaja muuttaa virran tasavirraksi (DC). Tämän jälkeen tasavirta ohjataan välipiiriin, jota kutsutaan myös tasajännitevälipiiriksi. Välipiiri tasoittaa sykkivän jännitteen tasaiseksi. Lopuksi välipiiristä syötetään virtaa vaihtosuuntaajayksikön läpi, joka kytkee moottorivaiheet joko positiiviseen tai negatiiviseen välipiiriin oikeassa järjestyksessä.



Kuvio 5. Taajuusmuuttajan rakenne (ABB, 2001, s. 12).

3 LAITTEISTON JA OHJAUKSEN SUUNNITTELU

3.1 Lähtökohdat laitteistolle

Työn alussa käytiin läpi, millaisia uusia komponentteja uuteen ohjauskeskukseen tulee ja mitkä vanhan keskuksen komponentit voidaan ottaa uusiokäyttöön. Laitteisto oli vanha, käytöstä poistettu järjestelmä, joka haluttiin ottaa uudestaan käyttöön ja jolle haluttiin tehdä toimivampi ja helppokäyttöisempi ohjaus.

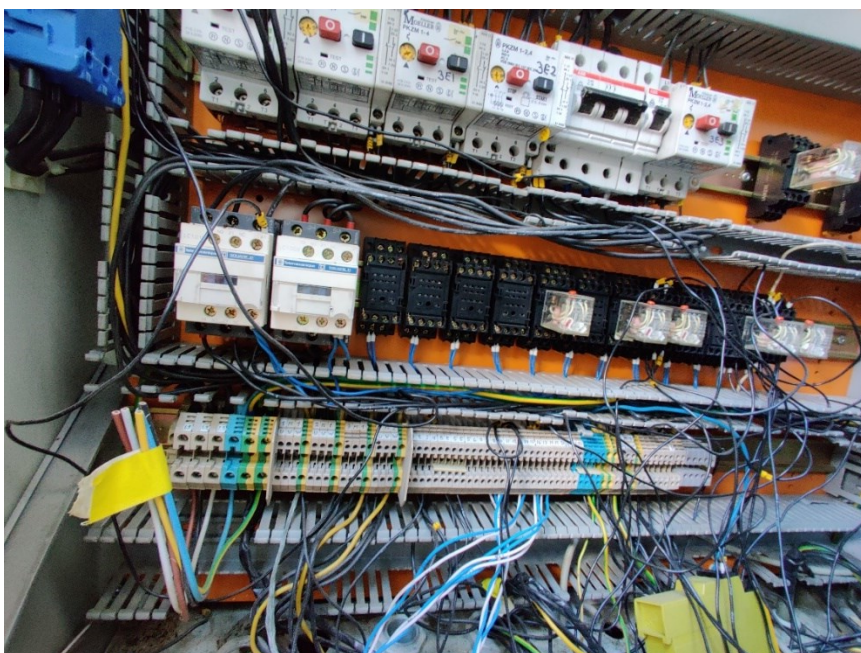
Hakkuri oli toiminut ennen yhden liukuhihnan kanssa, jolle puu tiputettiin rakennuksen seinässä olleesta reiästä. Lisäksi hakkurin yhteydessä on ollut puhallin, joka puhalsi hakkeen rakennuksesta ulos siiloon. Nämä osat oli kuitenkin kytketty irti sähköisistä kytkennöistään ja ne olivat vain varastoituna rakennuksen alakerrassa. Edellä mainittujen laitteiden lisäksi oli hankittu toinen liukuhihna ja pöytäkuljetin, joiden avulla puut pystyttäisiin lastaamaan työkoneella suoraan pöytäkuljettimelle ja siitä liukuhihnoja pitkin hakkuriin. Näin puita ei tarvitse nostella yksi kerrallaan hihnalle. Hakkurin lähtöpuolelle tuli vielä puhallin, jolla hake puhallettiin putkea pitkin siiloon, jossa hake säilöttiin ennen kuivuriin menoa.

Tuotantolaitoksessa oli myös reilusti vanhoja sähkökomponentteja, joilla suurin osa laitteiden sähköisistä ohjauksista onnistuttiin toteuttamaan. Näitä komponentteja olivat mm. painonappikotelo ja pedaalikytkin.

Kuvassa 8 on hakkuri ja sille puuta syöttänyt liukuhihna työn alkuvaiheessa. Kuvissa 9 ja 10 on liukuhihnojen vanha ohjauskaappi sekä ohjauskotelo, josta liukuhihnojen ohjaus toteutettiin.



Kuva 8. Hakkuri työn alkuvaiheessa (Rahkjärvi, 2020b).



Kuva 9. Kuljettimien vanha ohjauskeskus (Rahkjärvi, 2020i).



Kuva 10. Kuljettimien vanha käyttöpaneeli (Rahkjärvi, 2020h).

3.2 Komponenttien valinnat

Kuten kohdassa 3.1 on käyty läpi, työssä käytettiin mahdollisimman paljon vanhoja komponentteja sekä komponentteja, joita löytyi tehtaan varastosta. Näin kuluissa säästettiin mahdollisimman paljon, kun vanhoja käyttökelpoisia komponentteja uusiokäytettiin. Tämä oli iso asia myös yritykselle, joka työn tilasi, sillä heidän yritystoimintansa perustuu hiilidioksidipäästöjen kompensointiin. Kun komponentteja kartoitettiin, piti samalla suunnitella ohjauksen rakennetta. Jo olemassa olevat komponentit pitkälti määrittivät, millainen ohjauksesta tuli.

Kaiken ohjauksen pohjana kuitenkin toimi logiikka, joka oli Beckhoffin BC9020. Tämä valittiin ohjauskomponentiksi, koska ohjaus tulisi olemaan hyvin yksinkertainen. Tämä pienempehoinen logiikka riitti hyvin laitteiston ohjaukseen. Lisäksi tehtaan muutkin logiikat olivat Beckhoffin logiikoita, joten uuden järjestelmän logiikka saataisiin muiden kanssa yhteensopivaksi ja niiden välillä voitaisiin lähettää esimerkiksi tilatietoja. Tämä on hyvä ominaisuus

Beckhoffin järjestelmässä, koska se sijaitti tehtaassa alakerrassa ja sinne olisi hyvä saada esimerkiksi tehtaassa pääprosessin tilatieto näkyviin, koska prosessia ei nähty, jos oli hakettamassa.

Hakkurin-, puhaltimen- ja liukuhihnojen moottoreita ohjattiin taajuusmuuttajilla, mutta pöytäkuljettimen moottorinohjaus oli suora kontaktorinohjaus. Vanhoissa komponenteissa ei ollut kontaktoria, joka olisi ollut 24 VDC kelalla, vaan kaikki olivat 230 VAC kelallisia. Tämä tarkoitti, että logiikalla ohjattu kontaktori vaati releen tai relekortin ohjausvirtapiiriin väliin, että tällaisen kontaktorin ohjaus toimisi. Tähän tarkoitukseen tehtaalta saatiin oikeanlaisia releitä, joiden avulla ohjaus saatiin toimimaan.

3.3 Ohjauksen suunnittelu

Ohjauksen suunnittelu alkoi heti, kun nähtiin, millainen järjestelmä on ja mitä se pitää sisälleen. Suunnittelua auttoivat paljon jo olemassa olevat komponentit, mutta toisaalta ne myös loivat vaatimuksia työn toteutukselle. Suunnitteluun ei tarvinnut hirveästi kuluttaa aikaa, koska lisäykset järjestelmään olivat kohtalaisen pieniä ja yksinkertaisia. Suunnittelussa täytyi kuitenkin pitää mielessä myös järjestelmän turvallisuus.

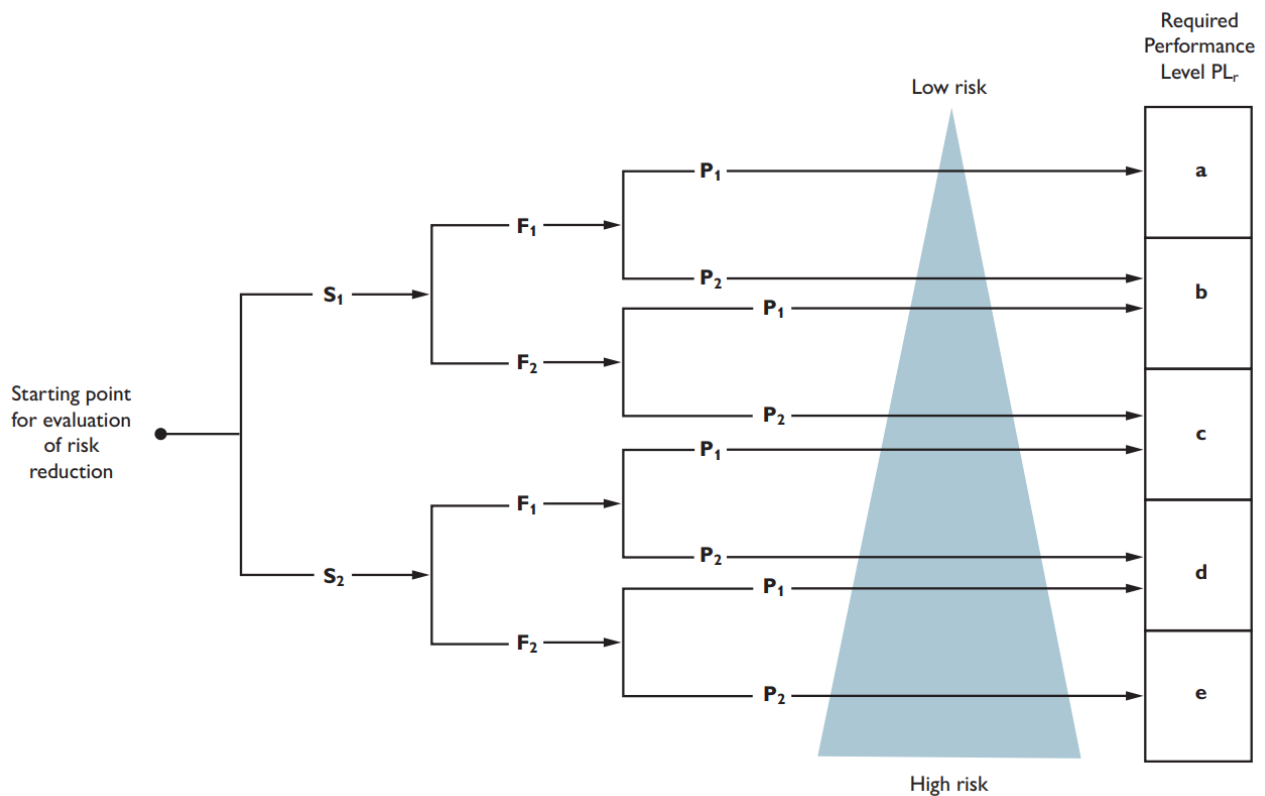
3.4 Järjestelmän turvallisuus

Laitteiston turvallisuus oli erittäin tärkeä huomioida heti alusta alkaen, koska se luo vaatimuksia laitteen ohjaukseen ja kokoonpanoon. Laitteella oli ennen ollut yksi hätäseis-painike sekä hakkurin teräsuojan päällä ollut turvarajakytkin. Kun järjestelmä laajentui ja komponentteja ja osia tuli lisää, täytyi turvallisuutta lisätä.

3.4.1 Turvallisuusluokan määrittäminen

Koneturvallisuuden suoritustasoa mitataan EN ISO 13849 -standardin mukaisesti viidellä eri PLr-tasolla (Gregorius, 2020). Näitä tasoja ovat PL-tasot a–e. A-taso on pienimmän vaaratilanteen riskin mahdollisuutta kuvaava taso, kun taas e-taso on suurimman riskin vaarati-

lannetta kuvaava taso. PLr-taso määritetään käyttämällä kaaviota, jonka eri kohdissa edetään laitteiston riskin mukaisesti. Kaavio on kolmivaiheinen, ja sen jokaisessa vaiheessa valitaan toinen vaihtoehdoista.



Kuvio 6. PLr- tason arviointikaavio (Gregorius, 2020, s. 6).

Kaavion ensimmäisessä vaiheessa (S) arvioidaan koneen mahdollistaman vamman/seurausten vakavuutta (Pilz, i.a.-a). Jos koneesta mahdollisesti saatavan vamman vakavuus on lievä eli vamma, josta yleensä palaudutaan, valitaan ensimmäisessä kohdassa S₁. Jos taas koneesta mahdollisesti saatavan vamman vakavuus on suuri, esimerkiksi vamma, joka on parantumaton tai jopa kuolemaan johtava, valitaan S₂.

Toisessa vaiheessa (F) arvioidaan, kuinka usein vaaralle ollaan alttiita ja kauanko vaaralle altistuminen kestää (Pilz, i.a.-a). Jos vaaralle altistutaan harvoin tai useasti lyhytaikaisesti, valitaan tähän kohtaan F₁. Jos taas vaaralle altistutaan jatkuvasti tai usein pitkäkestoisesti, valitaan F₂.

Viimeisessä kohdassa (P) arvioidaan vaaran välttämisen mahdollisuus (Pilz, i.a.-a). Tämän kohdan valintaan on erillinen taulukko (Kuva 17), josta voidaan arvioida vaaran välttäminen. Taulukon vasemmassa sarakkeessa olevat asiat arvioidaan A-, B- ja C-sarakkeiden mukaan, ja lopuksi niiden perusteella saadaan PLr-arvion viimeisen kohdan tulos. Jos alla olevan taulukon vastauksista tulee yksi C-kohta tai kolme B-kohtaa, tulee vaaran välttämisen arvioksi P2. Muuten arvio on P1.

Kuvaus	A	B	C
Koulutus	Koulutettu henkilökunta	Kouluttamaton henkilökunta	–
Vaarallisen liikkeen nopeus	Pieni: <250 mm/s, aika, jonka jälkeen riski toteutuu > 3 s	Keskitaso: 251–1 000 mm/s, aika, jonka jälkeen riski toteutuu < 3 s	Suuri: <1 000 mm/s, aika, jonka jälkeen riski toteutuu < 1 s
Mahdollisuus välttää vaara tietyssä paikassa	> = 50 %:ssa tapauksista	<50 %:ssa tapauksista	Ei mahdollista
Mahdollisuus tunnistaa vaara	> = 50 %:ssa tapauksista	<50 %:ssa tapauksista	Ei mahdollista
Monimutkaisuus (käyttäjän toimien määrä)	Helppo (esimerkiksi holkkien kiristäminen, työkappaleiden lisääminen)	Normaali tai vaikea (vianmääritys, nykäyskäyttö)	–

Kuvio 7. PLr- tason P-vaiheen arviointitaulukko (Gregorius, 2020, s. 7).

3.4.2 Järjestelmän turvalaitteet

Tässä työssä käsiteltävän hakkurijärjestelmän suoritusluokka on PLe eli korkeimman riskitason luokka. Tämä johtuu laitteistossa olevista pyörivistä laitteista, kuten hakkurista ja sen terästä. Lisäksi työntekijä joutuu työskentelemään suhteellisen lähellä niitä niiden ollessa toiminnassa.

Järjestelmän turvallisuuteen hankittiin uusi turvarele, jonka turvaluokitus on järjestelmää vastaava eli PLe. Turvareleeseen kytkettiin hätäseispainike, hakkurin teräsuojan turvaraja

sekä uusi köysihätäpysäytin. Köysihätäpysäytin kiersi hakkurijärjestelmän ympäri, joten oli työntekijä missä kohtaa vain järjestelmää, pystyy hän vetämään köydestä ja laite pysähtyy.



Kuva 11. Turvarele (Pilz, i.a.-b).



Kuva 12. Köysihätäpysäytin (Schmersal, i.a.).

4 OHJAUKSEN TOTEUTTAMINEN

4.1 Työn toteutus ja asennukset

Asennuksissa aloitettiin kokoonpanon paikoittamisella. Liukuhihnojen paikalleen asennukset ja kiinnittämiset oli hyvä tehdä ensin. Näiden toimenpiteiden ansiosta pystyttiin tekemään moottorien ja muiden sähkölaitteiden kaapeleiden reitit mahdollisimman hyvin suojaan, etteivät järjestelmällä kulkevat puut vahingoita kaapeleita. Samalla saatiin laskettua, paljonko kaapelireitteihin menisi materiaalia, jotta ne saatiin mahdollisimman nopeasti tilattua.

Kun kaikki tarvikkeet saatiin hankittua, aloitettiin sähkölaitteiden kaapelointi. Kaapeloinnissa ja laitteiden kytkemisessä ei kulunut paljoa aikaa, koska järjestelmän kaikki osat olivat lähellä toisiaan.



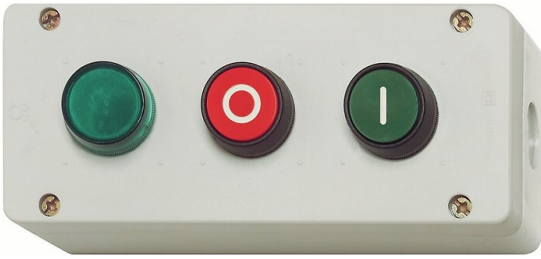
Kuva 13. Hakkurin ensimmäinen liukuhihna (Rahkjärvi, 2020d).



Kuva 14. Hakkurin puhallin (Rahkjärvi, 2020f).

Samalla kun järjestelmän mekaanisia asennuksia tehtiin, ryhdyttiin tekemään logiikkaohjelmaa järjestelmälle. Logiikkaohjelman teossa otettiin järjestelmän käyttäjiltä toiveita sen ominaisuuksista sekä mietittiin, mitä asioita ohjelmassa on huomioitava. Ohjelma perustui pääosin neljään eri osaan: hätäpysäytystilaan, pois päältä -tilaan, valmiustilaan ja käyntitilaan.

Koko järjestelmää ohjattiin sähkökaapin ovesa olleista painikkeista ja kytkimestä sekä hakkurin vieressä olevasta ohjaimesta. Hätäpysäytystilasta pois pääseminen vaati erillisen kuittauksen sähkökaapin ovesa olevasta kuittauspainikkeesta, ennen kuin ohjaimesta saatiin laite uudelleen käyntiin. Hakkurin vieressä olevassa ohjaimessa oli kaksi painiketta, joilla järjestelmää ohjattiin käyntiin ja pois, sekä valo, joka ilmaisi järjestelmän tilan.



Kuva 15. Painikekotelo (UTU, i.a.).

4.2 Logiikkaohjelma

Logiikkaohjelmassa luotiin koko järjestelmän ohjaus. Kuvassa 16 on logiikkaohjelman pääohjelma (MAIN). Logiikka suorittaa kyseistä ohjelmaa, jonka mukaisesti koko laitteiston ohjaus toteutetaan. Ohjelman alussa luetaan laitteiden tilatiedot (ReadInputs). Edellä mainittu prosessi tehdään jokaisen logiikan ohjelmakierron alussa. Tilatietojen lukemisen jälkeen tarkistetaan, onko hakkurijärjestelmässä hälytyksiä (bNoAlarmsChopper). Jos esimerkiksi hakkurin taajuusmuuttajaan tulee häiriö, "bNoAlarmsChopper" -muuttuja menee epätodeksi ja laitteiden ohjaukset menevät pois päältä.

Ohjelmassa kutsuttu "fbChopper" on varsinainen hakkurin ohjauslohko. Ohjelmassa on myös toinen ohjauslohko "fbBlowerUse" pelkälle puhaltimelle. Tätä lohkoa käytetään, kun puhaltimella imetään erillisestä siilosta haketta kuivurin siiloon. MAIN-ohjelman lopussa on "WriteOutputs"-kutsu, joka kirjoittaa logiikan lähtöjen tilat. Lähtöjen kirjoitus on lopussa, koska ohjelman suorittamisen aikana eri muuttujat asetetaan haluttuun tilaan ja lopuksi ne ohjataan fyysisiin lähtöihin, jotka ohjaavat laitteita.

```

0001 ReadInputs();
0002
0003 bNoAlarmsChopper := stInputs.bBlowerVFD_OK
0004                 AND stInputs.bChopperVFD_OK
0005                 AND stInputs.bRollConvVFD_OK
0006                 AND stInputs.bRollConvFuse_OK
0007                 AND stInputs.bChainConvFuse_OK;
0008 bNoAlarmsBlower := stInputs.bBlowerVFD_OK AND stInputs.blInfeedConvFuse_OK;
0009
0010 fbChopper(bEnable := stInputs.bEstopOK AND bNoAlarmsChopper AND stInputs.bChopperUse,
0011          stIn := stInputs,
0012          stOut => stChopperOut);
0013
0014
0015 fbBlowerUse(bEnable := stInputs.bEstopOK AND bNoAlarmsBlower AND stInputs.bBlowerUse,
0016          stIn := stInputs,
0017          stOut => stBlowerOut);
0018
0019
0020
0021 WriteOutputs();
0022

```

Kuva 16. Hakkurin logiikkaohjelman MAIN-ohjelma (Rahkjärvi, 2023a).

Kuvissa 17 ja 18 on logiikkaohjelman "fbChopper" function block -lohkon koodi. Tässä lohkokossa hakkurin käyttöä ohjataan. Ohjelman alussa katsotaan, onko lohkon "bEnable" päällä. Jos "bEnable" ei ole päällä, ohjelma menee "eDisabled"-tilaan. Tämä tila on logiikkaohjelmassa hätäpysäytystilaa vastaava, mutta hätäpysäytystoiminnot eivät mene taajuusmuuttajissa päälle, koska turvarele ei ole lauennut. Tämän jälkeen ohjelmassa tulee ajastimet, jotka ovat painikkeita varten. Ajastimet vaativat, että painiketta painetaan vähintään 200 ms ennen kuin painikkeen toiminto mahdollisesti toteutuu. Ajastimet estävät nopeiden painallusten vaikutuksen.

Ajastimien jälkeen tulee CASE-funktio, jossa ohjelma toteuttaa eri tilojen toiminnot. Tämä toimii siten, että muuttuja "chopperState" kertoo tilan, jota CASE-funktio toteuttaa. Ensimmäinen tila on "eDisabled", jossa kaikki laitteet asetetaan pois päältä, ja jos lohkon "bEnable" on päällä, siirrytään seuraavaan tilaan. Seuraava tila on "eIdle" eli pois päältä -tila. Tässä tilassa hakkuri, puhallin ja liukuhihnat ovat pois päältä, mutta jos "start"-painiketta painetaan, menee käyntitila (eRun) päälle. Pois päältä -tilassa voidaan myös peruuttaa hakkurin ruuvia, jos esimerkiksi puu juuttuu ruuviin.

Peruutusominaisuus toimii, kun ohjaus on pois päältä -tilassa tai valmiustilassa ja sähkökaapin ovesta painetaan peruutuspainiketta. Peruutus on päällä maksimissaan 3 sekuntia, jonka jälkeen ruuvi pysähtyy, vaikka painike pidetään painettuna pohjaan.

Käyntitilassa koko järjestelmä lähtee käyntiin. Järjestelmä käynnistää hakkurin, puhaltimen ja liukuhihnat. Kun liukuhihnat käyvät, voidaan myös pedaalipolkimella ohjata pöytäkuljetin käyntiin. Jos käyntitilassa painetaan ”stop”-painiketta, menee ohjelman tila valmiustilaan (eStandby). Valmiustilassa puhallin jää käyntiin ja kaikki muut menevät pois päältä. Puhallin jätetään käyntiin, koska sen käynnistys kestää kauan ja välillä hakkuri haluttiin vain hetkeksi pysäytettyä. Valmiustilassa myös katsotaan, että ”stop”-painiketta ei paineta yhtäjaksoisesti, ennen kuin valmiustilasta voidaan siirtyä pois päältä -tilaan.

```

0001
0002 (*Check safety *)
0003 IF NOT bEnable THEN
0004     chopperState := eDisabled;
0005 END_IF
0006
0007 stopPressedTimer(IN := stIn.bStopButton, PT := T#200ms);
0008 startPressedTimer(IN := stIn.bStartButton, PT := T#200ms);
0009
0010 (* 4 states: EStop, Idle, Run, Standby*)
0011 (* Every state listens to e-stop*)
0012 CASE chopperState OF
0013 eDisabled: (* disable state, all outputs are off, listening to reset button *)
0014
0015     A_OutputsOff();
0016     IF bEnable THEN
0017         chopperState := eIdle;
0018     END_IF
0019     stOut.bHandPanelLed := FALSE;
0020 eIdle: (* Estop reseted, listen to start button and reverse button *)
0021
0022     A_OutputsOff();
0023     conveyorsRunning := FALSE; (*Reset conveyors timer*)
0024     (* Listen to startButton *)
0025
0026     IF startPressedTimer.Q THEN
0027         (* Change state and make sure we turn off reverse bit *)
0028         chopperState := eRun;
0029         stOut.bRunChopperBwd := FALSE;
0030     END_IF
0031
0032     stOut.bHandPanelLed := gVerySlowBlink;
0033     (* Reverse functionality *)
0034     A_ReverseChopper();
0035
0036

```

Kuva 17. Ohjelman fbChopper alkuosa (Rahkjärvi, 2023b).


```

0036
0037
0038 eRun: (* Start chopper and blower, start conveyors with 5s delay, listen to reset and pedal *)
0039 (* Turn H and P on, wait for 5s to start the conveyors*)
0040 stout.bRunChopperFwd := TRUE;
0041 stout.bRunBlower := TRUE;
0042 A_ConveyorStart();
0043 (* Turn on the first conveyor if the pedal is pressed *)
0044 IF conveyorsRunning THEN
0045     stout.bRunChainConvFwd := stIn.bConveyorPedal;
0046 END_IF
0047 (* If reset button pressed, go to Standby*)
0048 IF stopPressedTimer.Q THEN
0049     chopperState := eStandby;
0050     conveyorsRunning := FALSE;
0051     bStopWasFalse := FALSE;
0052 END_IF
0053 stout.bHandPanelLed := TRUE;
0054
0055 eStandby:
0056 IF stopPressedTimer.Q = FALSE THEN
0057     bStopWasFalse := TRUE;
0058 END_IF
0059 (* Everything else off expect blower, listen to reverse button, start button*)
0060 A_OutputsOff();
0061 stout.bRunBlower := TRUE;
0062 (* Listen to startButton *)
0063 IF startPressedTimer.Q THEN
0064     (* Change state and make sure we turn off reverse bit *)
0065     chopperState := eRun;
0066     stout.bRunChopperBwd := FALSE;
0067 END_IF
0068
0069
0070 IF stopPressedTimer.Q AND bStopWasFalse THEN
0071     (* Change state and make sure we turn off reverse bit *)
0072     chopperState := eIdle;
0073 END_IF
0074
0075
0076
0077 stout.bHandPanelLed := gSlowBlink;
0078
0079 (* Reverse functionality *)
0080 A_ReverseChopper();
0081
0082 END_CASE;
0083

```

Kuva 18. Ohjelman fbChopper loppuosa (Rahkjärvi, 2023c).

4.3 Testivaihe

Kun asennukset oli suoritettu ja ohjelma oli valmis, aloitettiin järjestelmän testaaminen. Ensimmäiseksi testeissä varmistettiin, että järjestelmän moottorit lähtivät käyntiin ja sammuivat

oikein. Myös hätäpysäytyksen toimivuus testattiin. Kun nämä kaikki saatiin testattua, aloitettiin laitteen uusien ominaisuuksien testaaminen ja säätäminen. Näitä ominaisuuksia olivat lähinnä viiveet, joilla liukuhinnat lähtivät liikkeelle käynnistyksestä, sekä tilojen väliset siirtymät. Tilojen väliset siirtymät olivat pysäytystilan, odotustilan ja käyntitilan väliset siirtymät ohjelmassa. Kun nämä kaikki ajastukset ja tilojen käytöt saatiin viimeistelyä toimiviksi, aloitettiin testiajojen tekeminen normaalikäytöllä (Kuvat 19 ja 20).



Kuva 19. Hakkurijärjestelmän kokonaisuus (Rahkjärvi, 2020c).



Kuva 20. Hakkuri ja kotelo, josta puhallin imee hakkeen (Rahkjärvi, 2020a).

5 TULOKSET

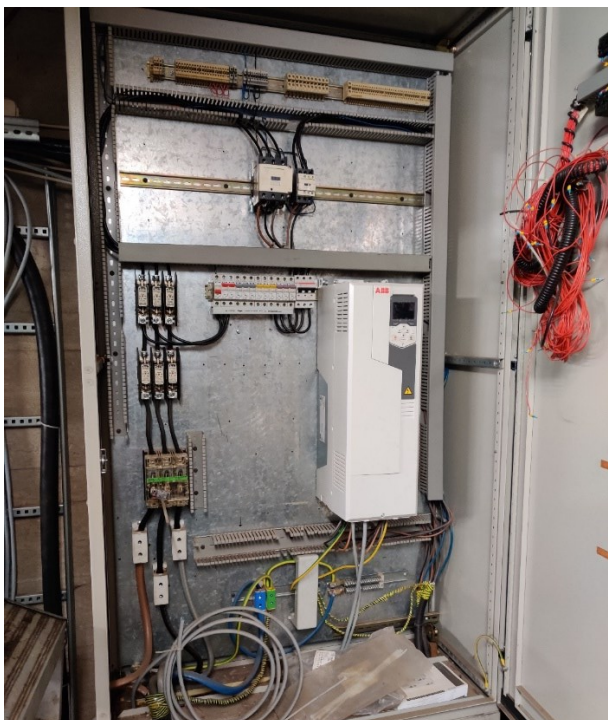
Kun järjestelmä oli valmis ja testattu, päästiin sitä käyttämään kunnolla ja nähtiin, kuinka hyvin työnteko sen kanssa onnistui. Hetken käytön jälkeen huomattiin, että pöytäkuljetin, jolle puut lastattiin, oli välillä hieman vaikeakäyttöinen. Syynä oli se, että puut lastattiin pöytäkuljettimen päälle koneella ja ne menivät lähes aina hieman sekaisin. Kun puut olivat sekaisin ja pöytäkuljetinta ajettiin, tuli osa puista poikittain liukuhihnalle eivätkä ne siirtyneet oikeassa asennossa hakkurille. Tämä aiheutti hakkurin käyttäjälle lisätyötä, sillä puita joutui käsin liikuttelemaan useasti liukuhihnalla. Muuten hakkurin käytettävyys parani huomattavasti ja järjestelmä toimi hyvin.

Palautteen perusteella ei järjestelmässä ollut suurta moitittavaa ja sitä oli helppo käyttää. Parannuskohteita kyllä olisi, jos laitteisto suunniteltaisiin paremmin puunkäsittelyyn sopivaksi. Lähinnä alkupään puunkäsittely voisi olla sujuvampaa, ettei puiden käsin lajittelua tarvitsisi tehdä niin paljoa. Lisäksi laitteiston automatisoinnin lisäystäkin mietittiin, jotta saataisiin puun syötöstä automaattista, mutta juuri puiden sekoittuminen oli sen kannalta haasteellista.

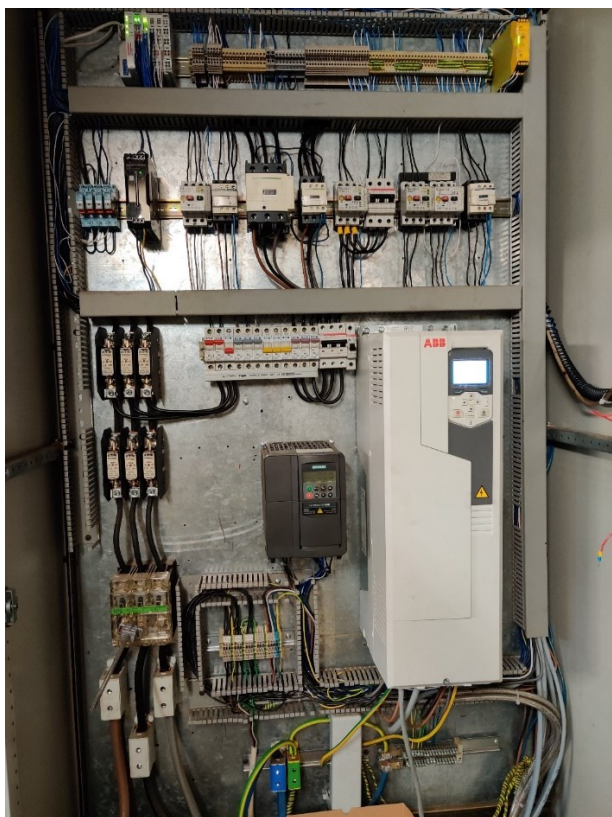
Kuvissa 22 ja 23 on hakkurin sähkökaappi ennen ja jälkeen työn. Ennen työtä kaapissa oli vain hakkurin ja puhaltimen ohjaukset.



Kuva 21. Liukuhihna ja pöytäkuljetin (Rahkjärvi, 2020k).



Kuva 22. Hakkurin sähkökaappi ennen uudistusta (Rahkjärvi, 2020g).



Kuva 23. Laitteiston sähkökaappi työn loppuvaiheessa (Rahkjärvi, 2020j).

6 POHDINTAA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli modernisoida ohjausjärjestelmä kolmannen osapuolen tilauksen mukaisesti. Lisäksi tarkoituksena oli modernisoida järjestelmää siten, että tulevaisuudessa siihen olisi helppo tehdä lisäyksiä sekä se toimisi tehokkaammin.

Mielestäni työ onnistui kaikilta osin hyvin. Aluksi työn suunnittelussa oli hieman haasteita, sillä työssä täytyi soveltaa käytettyjä komponentteja. Lopputuloksena laitteistosta saatiin hyvä ja toimiva kokonaisuus. Järjestelmästä tuli myös käytettävyydeltään hyvä, mutta parannuskohteitakin löytyy.

Varsinkin puiden lajittelu automaattisesti ennen liukuhihnalle menoa olisi suuri parannus toimivuuden kannalta. Jos puut saataisiin tulemaan liukuhihnalle siten, etteivät ne menisi sekaisin, voitaisiin automaatiota lisätä koko järjestelmään. Puheissa ollut konenäön hyödyntäminen puiden syötössä voisi olla mielenkiintoinen jatkumo järjestelmän modernisoinnille, mutta valitettavasti tällä hetkellä siitä ei tulisi toimiva.

Jos järjestelmä suunniteltaisiin ensin kokonaisuudessaan ja laitteet hankittaisiin sen mukaan, saataisiin järjestelmästä hieman yhdenmukaisempi. Esimerkiksi liukuhihnat voisivat olla paremmat puiden siirtämisen kannalta. Lisäksi pöytäkuljetin voitaisiin korvata tai sitä voitaisiin parantaa siten, että siltä saataisiin liukuhihnalle yksi puu kerrallaan.

Kaiken kaikkiaan työ oli onnistunut sekä työn toteuttajien näkökulmasta kuin myös asiakkaan näkökulmasta.

LÄHTEET

- ABB. (2001). *Nopeussäädettyjen käyttöjen opas*. https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf
- ABB. (2011). *Pehmokäynnistinopas*. https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf
- Beckhoff. (i.a.-a). *BC9020 | Ethernet TCP/IP Economy plus Bus Terminal Controller*. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/bus-terminals/bcxxxx-bxxxxx-controller/bc9020.html>
- Beckhoff. (i.a.-b). *TwinCAT 3: The flexible software solution for PC-based control*. https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/#stage-special-item-s320986-5_t0
- Beckhoff. (i.a.-c). *TXxxxx | TwinCAT 2 Base*. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/txxxxx-twincat-2-base/txxxxx-twincat-2-base.html>
- Beckhoff. (i.a.-d). *Structured Text Editor*. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplccontrol/925305995.html&id=>
- Beckhoff. (i.a.-e). *TwinCAT 3*. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el72x1-9014/2584719371.html&id=>
- c3controls. (i.a.). *The basics of a contactor & different types of contactor devices*. Haettu 9.3.2023, <https://www.c3controls.com/white-paper/basics-of-contactors/>
- Danfoss. (i.a.). *Mikä on taajuusmuuttaja?* <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>
- Electrical 4 U. (3.5.2021). *Star Delta Starter: Circuit Diagram, Working Principle & Theory*. <https://www.electrical4u.com/star-delta-starter/>
- Gregorius, C. (2020). *Koneturvallisuuden yleiset trendit Uudet suoritus- (PL) ja turvallisuuden eheystasoa (SIL) koskevat vaatimukset*. https://dam-mdc.phoenixcontact.com/asset/156443151564/710dbe6cf13b6a458fcda30bdfb74844/FI_Whitepaper_Maschinensicherheit_LoRes_1.pdf
- Hilton, B. (i.a.). *8 Best Wood Chippers Of 2023 | Gas, Electric, Heavy-Duty*. <https://theyardandgarden.com/best-wood-chipper/>

- Hiltunen, L., Mäkikyrö, P., & Rantamäki, A. (10.10.2004). *Ohjelmoitavat logiikat*. https://heikkilaakso.com/opetus/op/H_1_Ohjelmoitavat_logiikat.pdf
- Industrial-Electronics. (i.a.). *Basics of Industrial Motor Control: part 1: Basic components for control circuits*. https://www.industrial-electronics.com/elec-mach-drvs-pwr-syst_20-0.html
- Instrumentationtools. (i.a.). *Motor Speed Control using VFD and PLC Programming*. <https://instrumentationtools.com/plc-program-to-control-motor-speed-using-vfd-drive/>
- Jensen Service GmbH. (i.a.). *More than 130 years of experience in development and engineering woodchippers*. <http://www.jensen-service.de/eng/about-us.php>
- Mortenson, T. (24.8.2020). *PLC Hardware Explained*. <https://realpars.com/plc-hardware/>
- OEM Finland Oy. (i.a.). *IRC C10 interfacerele*. https://www.oem.fi/tuotteet/keskus/releet/elektromekaaniset-releet_-600706/teollisuusreleet_-427191/irc-c10-interfacerele_-99684
- Omron. (i.a.). *What are the basics of an electrical relay?* <https://components.omron.com/eu-en/products/basic-knowledge/relays/basics>
- Pilz. (i.a.-a). *EN ISO 13849-1: Performance Level (PL)*. <https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>
- Pilz. (i.a.-b). *PNOZ s4 24VDC 3 n/o 1 n/c*. Haettu 18.3.2021, <https://www.pilz.com/fi-FI/eshop/Ohjauslaitteet/Toiminnallisen-turvallisuuden-valvontareleet/PNOZsigma-turvareleet/H%C3%A4t%C3%A4pys%C3%A4ytyksen-turvaporttien-valoverhojen-valvonta/PNOZ-s4-24VDC-3-n-o-1-n-c/p/750104>
- PLCopen. (i.a.). *Status IEC 61131-3 standard*. <https://plcopen.org/status-iec-61131-3-standard>
- Prasad, L. (28.2.2022). *What is Relay? How it Works? Types, Applications, Testing*. <https://www.electronicshub.org/what-is-relay-and-how-it-works/>
- Rahkjärvi, S. (2020a). *Hakkuri ja kotelo, josta puhallin imee hakkeen*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020b). *Hakkuri työn alkuvaiheessa*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020c). *Hakkurijärjestelmän kokonaisuus*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020d). *Hakkurin ensimmäinen liukuhihna*. [Valokuva].

- Rahkjärvi, S. (2020e). *Hakkurin moottorin taajuusmuuttaja*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020f). *Hakkurin puhallin*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020g). *Hakkurin sähkökaappi ennen uudistusta*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020h). *Kuljettimien vanha käyttöpaneeli*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020i). *Kuljettimien vanha ohjauskeskus*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020j). *Laitteiston sähkökaappi työn loppuvaiheessa*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020k). *Liukuhihna ja pöytäkuljetin*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (2020l). *Työssä käytetty hakkuri*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (28.3.2023a). *Hakkurin logiikkaohjelman MAIN ohjelma*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (28.3.2023b). *Ohjelman fbChopper alkuosa*. [Valokuva].
- Rahkjärvi, S. (28.3.2023c). *Ohjelman fbChopper loppuosa*. [Valokuva].
- RealPars. (i.a.). *How a PLC power supply works*. https://realpars.com/plc_power_supply/
- Schmersal. (i.a.). ZQ 900. https://products.schmersal.com/fi_FI/zq-900-13568.html?type=category
- Schneider Electric. (i.a.). *TeSys Deca kontaktorit*. <https://www.se.com/fi/fi/product-range/664-tesys-deca-kontaktorit/?parent-subcategory-id=1510>
- Stykemain, A. (26.7.2021). *What is a Contactor? | Working Principles*. <https://realpars.com/contactor/>
- Sähkötekniikka 2021. (2.4.2022). *Mikä on pitopiiri?* <https://www.youtube.com/watch?v=1SE9JFD7m9E>
- UTU. (i.a.). *2 painiketta 0-I merkkilampull*. <https://www.utugroup.com/fi/tuotteet/2-painiketta-0-i-merkkilampull/>
- Yleiselektroniikka. (i.a.). *Mikä on rele?* <https://www.yeint.fi/uutiset/releet>