



Sokerijuurikkaannostokoneen ohjainlaitteiston uusiminen

Eelis Korjus

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

KORJUS EELIS

Sokerijuurikkaannostokoneen ohjainlaitteiston uusiminen

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2021

Tämä opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Automaatio-Anssi Oy:lle, kevään ja kesän 2020 aikana. Työssä suunniteltiin ja toteutettiin kokonaan uusi automaatio-ohjainlaitteisto vanhaan sokerijuurikkaannostokoneeseen. Uusi ohjainlaitteisto tarvittiin rikkoutuneen tilalle, lisäksi haluttiin yksinkertaistaa ja tehostaa nostokoneen käyttöä. Uusimalla ohjainlaitteisto varmistettiin myös nostokoneen käytettävyyden pitkäälle tulevaisuuteen. Opinnäytetyössä kartoitettiin erilaisia kohteeseen soveltuvia markkinoilta saatavia laitteistomahdollisuuksia ja sen perusteella valittiin laitteisto joilla, ohjainlaitteisto toteutettiin. Uusi laitteisto pyrittiin toteuttamaan siten, että mahdollisuudet vastaavanlaisen laitteiston käyttöön myös muissa sovelluksissa tulevaisuudessa olisi pienin muutoksin mahdollista toteuttaa.

Ohjainlaitteiston ohjelmointi toteutettiin asiakkaan asettamien vaatimusten ja toiveiden mukaisesti. Painoarvona käyttäjärajapinnassa pidettiin helppoutta ja selkeyttä. Työn tavoitteena pidettiin toimivan laitteistokokonaisuuden löytämistä, rakennetun laitteiston toimivuutta sekä asiakastytytyväisyyttä.

Työn kokonaistoteutusta pyrittiin myös kehittämään niin, että työssä kerättyjä tietoja ja kokemuksia laitteistoista, ohjelmoinnista sekä yhteensopivista kokoonpanoista voitaisiin mahdollisesti käyttää hyödyksi myös tulevia vastaavanlaisia kohteita suunniteltaessa.

Asiasanat: automaatio, automaatiojärjestelmä, suunnittelu, maataloustekniikka

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

EELIS KORJUS
Sugar Beet Harvester Controller Renewal

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 1 page
May 2021

The purpose of this thesis was to plan and complete a new controller configuration to replace original in sugar beet harvester. The work was commissioned by Automaatio Anssi Oy, a small automation company in western Finland. The new controller system was built for the customer. In the planning phase, a comparison was conducted on universal solutions for the same type of controller systems that are used in small automation configurations. After the comparison, the most suitable products were elected for the new controller system.

The programming of the new system was done according to the industry standards and the requirements and wishes set by the client company. Programming was done by using *codesys* and *ix-developper* software.

As a result of this study, controller was completed and handed over to customer as scheduled and valuable information about working controller configurations was gained. One of the most difficult things was to find the most suitable hardware for this exact project. Also programming correctly with no errors was not simple to implement. On the other hand, programming controllers successfully was also the most interesting part of this project.

Key words: automation, plc, farming machinery, programming

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TOIMINTAYMPÄRISTÖ.....	7
	2.1 Yritys.....	7
	2.1.1 Nostokone	7
	2.2 Vanha ohjainlaitteisto	9
	2.2.1 Uuden laitteiston vaatimukset.....	10
3	KOMPONENTTIEN VALINTA.....	12
	3.1 Automaatiojärjestelmän suunnittelu	12
	3.2 Järjestelmän konfiguraatio	13
	3.3 Järjestelmän ohjain	13
	3.4 Operointipääte.....	15
	3.5 Lähtöjen ja tulojen ohjaus	16
	3.6 Järjestelmän tukikomponentit.....	17
4	OHJELMOINTI.....	18
	4.1 Ohjelmointi yleisesti pienissä automaatiojärjestelmissä	18
	4.2 Ohjelmointityökalut.....	20
	4.3 Ohjelman rakenne.....	20
5	KOMPONENTTIEN ASENNUS	23
	5.1 PLC	24
	5.2 IO-Asema.....	25
	5.3 Hallintalaitteet.....	26
6	POHDINTA	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	31

LYHENTEET JA TERMIT

<i>CAN-VÄYLÄ</i>	Ajoneuvotekniikassa yleisesti käytetty väyläprotokolla
<i>D/A MUUNNIN</i>	Signaalinmuunnin, muuntaa digitaaliabstraktion analogiaviestiksi.
<i>DCS</i>	<i>Distributed Control Systems</i> , hajautettu ohjausjärjestelmä
<i>ETHERNET</i>	Tiedonsiirtoprotokolla
<i>FBD</i>	<i>Function Block Diagram</i> , IEC 61131-3 normin mukainen ohjelmointitapa, toimilohkokaavio
<i>HMI</i>	<i>Human-machine interface</i> , Operointipääte
<i>LD</i>	<i>Ladder Diagram</i> , IEC 61131-3 normin mukainen ohjelmointitapa, tikapuu- tai relekaavio
<i>MODBUS</i>	Teollisuuden automaatiojärjestelmissä käytetty väyläprotokolla
<i>PLC</i>	<i>programmable logic controller</i> , Ohjelmoitava logiikka
<i>PWM-ohjaus</i>	<i>Pulse-Width Modulation</i> , Toimilaitteen ohjaustapa, jossa ohjaussignaalin voimakkuutta säädetään signaalipulssia muokkaamalla
<i>VERKKOTOPOLOGIA</i>	Verkon perusrakenne, miten laitteet on liitetty toisiinsa

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli sokerijuurikkaannostokoneen ohjainlaitteiston uusiminen. Työ oli tullut asiakasyritykseen tilaustyönä yksityiseltä asiakkaalta. Opinnäytetyön teoriaosuutena suunniteltiin nostokoneeseen tarvittava uusi automaatiojärjestelmä. Suunnittelussa suoritettujen vaatimusasettelun mukaisesti valittiin projektiin sopivimmat markkinoilta saatavissa olevat laitteet järjestelmän konfiguraatioksi. Suunnittelussa painotettiin uuden laitteiston kustannustehokkuutta sekä luotettavuutta. Myös kaikki ohjainten tarvittavat ohjelmoinnit suunniteltiin ja toteutettiin itse osana työtä. Ohjelmoinnit suoritettiin asiakkaan toiveiden mukaisesti mukaillen yrityksen aikaisempien vastaavanlaisten projektien mallia. Ohjelmoinnissa painotettiin helppoutta ja yksinkertaisuutta. Lopuksi järjestelmä myös rakennettiin ja saatettiin toimintakuntoon sekä luovutettiin asiakkaalle.

Opinnäytetyöksi tämä projekti valikoitui sen monipuolisuutensa sekä vaativuutensa vuoksi. Työ oli erityisen opettava tekijälleen sen kokonaisvaltaisuutensa ansiosta, koko ohjainlaitteisto rakennettiin alusta loppuun, prosessi kasvatti tietämystä vastaavanlaisista järjestelmistä valtavasti. Lisäksi ohjelmoinnin toteutus itse oli hyvin opettavaista.

Etäkäytöt, käyttöturvallisuus, käytön seuranta ja lukuisat muut seikat yleisesti konetekniikassa kasvattavat automaation merkitystä tulevaisuudessa entisestään. Tätä työtä tehdessä kerätylle kokemukselle on varmasti automatisoituvassa maailmassa tulevaisuudessa vielä käyttöä.

2 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Yritys

Toimeksiannon tehnyt Automaatio-Anssi Oy on pieni sekalaisia sähkö- ja automaatioalan töitä tekevä yritys Satakunnasta Eurajoelta. Yritys tekee myös maatalouskoneiden huolto- ja korjaustöitä. Vuoden 2020 keväällä yritys sai tarjouspyynnön vanhan sokerijuurikkaannostokoneen ohjainlaitteiston uusimisesta. Laitteiston uusiminen oli tullut ajankohtaiseksi vanhan ohjaimen rikkouduttua korjauskelvottomaksi. Koneen maahantuojaa Suomessa ei pystynyt vastaavaa uutta tai kunnostettua ohjainta toimittamaan. Kustannusarvion jälkeen todettiin uuden laitteiston rakentamisen olevan kustannustehokkain ratkaisu. Automaatio-Ansilla on kokemusta vastaavista toteutuksista, opinnäytetyön tekijä päätyi aiheen valintaan monipuolisuuden ja vaativuuden ansiosta.

Automaatiolaitteistojen toteutus erilaisiin ajoneuvoihin ja koneisiin on yritykselle aikaisemmista projekteista tuttua, joten joihinkin tärkeisiin yksityiskohtiin oli jo valmiiksi toimiviksi todettuja ratkaisuja.

2.1.1 Nostokone

Työn kohteena oleva nostokone oli merkiltään *Edenhall* ja malliltaan 723 (kuva 1). Kone on valmistettu Ruotsissa vuonna 1994. Kone on iältään jo vanha sekä mekaanisesti melko kulunut, kuitenkin vielä hyvin toimiva. Mekaanisia osia on helposti saatavilla ja niiden kunnossapito on ollut helppoa. Nostokone on ns. 3-rivinen nostokone, eli se pystyy nostamaan 3 riviä sokerijuurikkaita yhdellä ajokerralla. Kyseinen nostokone on valmistuessaan ollut hyvinkin edistyksellinen, kokoluokaltaan se on sijoittunut isojen koneiden luokkaan (Edenhall.fi).



KUVA 1. Projektin nostokone Edenhall 723 (Kuva: Eelis Korjus 2020)

Sokerijuurikkaannostokoneen tarkoitus on poistaa naatti juurikkaasta, katkaista naatin kanta, nostaa juurikas maasta, puhdistaa se mahdollisimman hyvin ja varastoida se säiliöön.

Nostokoneen toimintaperiaate on yksinkertainen: konetta vedetään traktorilla. Koneen nostopää kulkee traktorin takana, sivuttaissuunnassa traktorin vierellä. Koneen nostopäässä ensimmäisenä tulee naattisilppuri, sitten tulevat listinterät. Silppuri poistaa suurimman osan juurikkaan naatista, listinterä katkaisee naatin kannan. Listinterän korkeus säätyy maan pintaa pitkin kulkevan kelkan mukaan ilman sähköohjausta. Korkeuden säätö on oltava tarkka, koska kaikki turhaan pois leikattu juurikasaines on pois viljelijän myyntitulosta. Listinten perässä seuraa nostovantaat, jotka tekevät varsinaisen juurikkaan maasta nostamisen. Kyseisessä koneessa on ns. täryvantaat, toinen yleinen vannastyyppeä on lautasvannas. Vannas nostaa nousevalla liikkeellä juurikkaan maasta ja syöttää sen eteenpäin. Vantailta juurikkaat päätyvät rulettipöydälle, jossa ne kulkevat kolmen pyörivän lautasen kautta puhdistusrullille. Rullat syöttävät juurikkaat kuljetusmatolle, joka vie ne säiliöön.

2.2 Vanha ohjainlaitteisto

Ohjainlaitteiston tarkoitus on luoda mahdollisimman luonnollinen toimintayhteys käyttäjän ja koneen välillä. Ohjainlaitteiston kautta hallitaan kaikkia koneen liikkeitä. Koneen vanha ohjainlaitteisto osaa siirtää koneen nostopäätä sivu- sekä korkeussuunnassa rivien mukaan automaattisesti, mikäli traktorinkuljettaja ei aja täysin suoraan. Lisäksi vanhassa laitteistossa on manuaalitila, jossa nostokoneita voi ajaa pelkästään käsikäyttöisesti. Myös nostetun alueen pinta-alalaskuri on vanhassa laitteessa ominaisuutena.

Alkuperäinen laitteisto on toteutettu piirilevytoteutuksella (kuva 2). Mikroprosessorit, käyttömuistit, puolijohdereleet sekä muut toimintaan tarvittavat komponentit on asennettu koteloituun piirilevyyn koneen sivulla. Toteutus on ollut aikanaan kustannustehokas, sarjatuotantoon soveltuva sekä toimintavarma, mutta nyt yli 20 vuotta myöhemmin ratkaisu aiheuttaa ongelmia, korjaaminen on vaikeaa ja vaatii erikoisosaamista. Lisähankaluuksia aiheuttaa valmistajan käyttämien ohjelmointitekniikoiden luoksepääsemättömyys.



KUVA 2. Nostokoneen alkuperäinen ohjainlaite (Kuva: Eelis Korjus 2020)

2.2.1 Uuden laitteiston vaatimukset

Uuden laitteiston suunnittelun lähtökohtana on pidettävä sitä, että uusi laitteisto kykenee vähintäänkin samaan kuin vanhakin. Asiakkaan toivomusten perusteella myöskään uudenlaisille ominaisuuksille ei tarvetta ilmennyt. Parannuskohteeksi haastattelun perusteella nousi mahdollisimman helppo käytettävyys. Koneella tulee operoimaan useampi kuljettaja, joten käytön luontevuuden kannalta olisi tärkeää, että käyttäminen on helppoa ja selkeää.

Juurikkaannosto on luonteeltaan hyvin kausiluonteista työtä, nostoa tehdään säästä riippuen vain muutamia viikkoja vuodessa syksyisin. Aikataulu asettaa nostokoneen luotettavuudelle kovat vaatimukset, koneen on toimittava silloin

kun sitä tarvitaan. Lisäksi mahdollisten laiterikkojen seurauksina tarvittavat varaosat on oltava nopeasti saatavissa, mieluiten Suomessa varastoituna. Toimintaympäristö asettaakin ohjainlaitteiston tärkeimmiksi ominaisuuksiksi luotettavuuden sekä huoltovarmuuden. Suunnittelussa on otettava huomioon ominaisuuksien vaatimukset ja niiden painotus.

Laitteiston vaatimukseen kuuluu myös mahdollinen laitteiston mahdollisuus jatkokehitykseen. Maataloudessa on paljon mobiilikalustoa, joiden ohjainlaitteistoissa saattaa olla päivittämisen tarvetta tulevaisuudessa. Automaatio-Anssi Oy varautuu tulevaisuudessa palvelemaan vastaavissa projekteissa, jolloin valmiiksi kehitetystä ohjainlaitteiston pohjakonfiguraatiosta on apua tarjousten käsittelyssä sekä antaisi etua kilpailijoihin nähden. Lisäksi hyvin onnistuneista referenssikohteista olisi apua töiden hankinnassa.

3 KOMPONENTTIEN VALINTA

Tässä osuudessa keskitytään järjestelmän suunniteluun, sekä erilaisiin toteutusmahdollisuuksiin erilaisia komponentteja käyttämällä. Suunnittelussa otettiin mallia asiakasyrityksen aikaisemmin toteutetuista vastaavanlaisista projekteista ja pyrittiin keräämään niistä toimivia ratkaisuja.

3.1 Automaatiojärjestelmän suunnittelu

Tämän työn aiheena olevaa ohjausjärjestelmää suunnitellessa lähtökohtana pidettiin kolmea peruseriaatetta: soveltavuus, toimintavarmuus sekä kustannustehokkuus. Mikäli peruseriaatteet onnistuttaisiin täyttämään, voitaisiin työ katsoa hyvin onnistuneeksi.

Automaatiojärjestelmää suunnitellessa on osattava keskittyä olennaiseen. Markkinoilla on suuri kirjo erilaisia, eri sovelluksiin sopivia laitteita ja laitteistoja, joita yhdistelemällä toteutettavan järjestelmän ominaisuuksissa on vain mielikuvitus rajana. Ensimmäisen peruseriaatteen mukaan on löydettävä juuri kyseiseen kohteeseen parhaiten soveltuva laitteisto, ei liikaa eikä liian vähän ominaisuuksia. Ylimääräiset ominaisuudet saattavat joissakin tapauksissa olla tulevaisuudessa käyttökelpoisia, mutta usein ne jäävät käyttämättä ja aiheuttavat vain lisäkustannuksia.

Valittavien laitteiden on sovittava kulloinkin kohteena olevaan toimintaympäristöön. Erilaisten ympäristön aiheuttamien haasteiden skaala voi olla suurikin, on otettava huomioon ainakin kosteus, lämpötila, värinä, pöly sekä ulkopuoliset häiriösignaalit. Nostokone on vaativa ympäristö (värinä, pöly, kosteus) joten laitteiston robustius näyttelee suurta roolia. Mikäli laitteisto ei itsessään täytä tarvittavaa IP-luokitusta on suojaus varmistettava hyvällä koteloinnilla. Alan toimijoita haastatellessa kävi selväksi, että ulkoisten sekä yksinkertaistenkin tekijöiden vaikutus laitteiston toimintavarmuuteen on erittäin suuri. Suurimmat epävarmuudet yleensä koskevat liittimiä, apureleitä sekä kaapelointia. Lisäksi toimintavarmuuteen vaikuttaa suuresti varaosien/uusien laitteiden saatavuus mahdollisesti

rikkoutuneen laitteen tilalle. On useita toimittajia, jotka eivät juurikaan pidä varastoa Suomessa. Toimitusvarmuuden merkitys näyttelee erityisesti työn kausiluonteisuuden vuoksi suurta roolia. Mikäli tarvittavaa varaosaa ei saada nopeasti rikkoutuneen tilalle on koko kone käytännössä hyödytön. Erityisen selvästi tilanteen huomasi koronapandemian aiheuttamien toimitusvaikeuksien aikana. Useiden valmistajien varastot sijaitsevat Euroopassa ja koronan tuomien rajoitusten vuoksi toimitukset kestivät huomattavan kauan, jopa useita viikkoja. Maailmanlaajuinen komponenttipula oli omiaan aiheuttamaan ongelmia laitteiden saatavuuteen.

Kustannustehokkuutta mietittäessä on otettava huomioon kokonaisuus eikä yhden yksittäisen laitteen tai osan hinta välttämättä näyttele merkittävää roolia. Järjestelmän hintaan vaikuttaa monta asiaa, joita ei välttämättä ensimmäisenä tule ajatelleeksi. Tällaisia ovat esimerkiksi ohjelmointiohjelmien lisenssimaksut, tarvittavat liittimet tai kotelointi. Muita hintaan vaikuttavia tekijöitä laitteiden oman hinnan lisäksi ovat asennuksen helppous/nopeus, tarvittavat lisäkomponentit sekä tarvittava kaapelointi (erikoiskaapelit).

3.2 Järjestelmän konfiguraatio

Pienimuotoisen alan toimijoiden haastattelukierroksen perusteella voidaan todeta, että pienissä automaatiojärjestelmissä yleisesti käytetty järjestelmäkonfiguraatio koostuu ohjelmoitavasta logiikasta (PLC), operointipäätteestä (HMI), tulo/lähtöyksiköistä, laitteiden välisen kommunikaation mahdollistavasta yhteydestä sekä mahdollisista apulaitteistoista. Apulaitteistoja voivat olla esimerkiksi apureleet, virtamuuntajat, d/a muuntimet, väyläsovittimet tai ulkoisen kommunikaation mahdollistavat modeemit.

3.3 Järjestelmän ohjain

Tutkittaessa mahdollisia ratkaisuja järjestelmän tulevaisuuteksi ohjaimeksi, tuli varsin nopeasti selväksi, että se tulisi toteuttaa ohjelmoitavalla logiikalla. Tähän päätel-

mään ohjasi muun muassa seuraavat seikat: kustannustehokkuus, ei sarjatuo-
tanta, modulaarisuus sekä liitettävyyys. Ohjelmoitava logiikka, PLC (*program-
mable logic controller*), on laitteiston keskeisin osa, järjestelmän ”aivot”. PLC on
kooltaan pieni ohjelmoitava tietokone, joka käyttää ohjelmointiin logiikkalohkoja
(Heinonen, 2019). Se käyttää ohjauksessa tarvittavia lähtöjä (outputs) sekä vas-
taanottaa kentältä tulevat anturitiedot sekä muut järjestelmän tilaa tarkkailevat
signaalit (inputs). Lisäksi PLC on yhteydessä käyttöpäätteeseen (HMI), mikäli
sellainen on järjestelmässä osana. Tarvittaessa PLC on yhteydessä myös mui-
hin kentän toimilaitteisiin. PLC:n, HMI:n, toimilaitteiden sekä tarvittaessa muiden
hallintojärjestelmään kuuluvien laitteiden yhteys toisiinsa on DCS-järjestelmissä
yleensä toteutettu jonkinlaisella väylätekniikalla. PLC ohjelmoidaan tietoko-
neella oman ohjelmointiohjelmansa kautta tekemään niitä asioita mitä sen kus-
sakin tilanteessa halutaan tekevän.

PLC:n valinta vaikuttaa koko järjestelmän muihinkin komponentteihin, operointi-
päänteen, sekä mahdollisen IO-yksikön on oltava yhteensopivia PLC:n kanssa
tai vähintäänkin tukea samaa väyläprotokollaa. Anturit tässä projektissa ovat
yleismallisia, eivät väyläkytkentäisiä IOLink-laitteita, joten ne eivät aseta erityisiä
vaatimuksia PLC:lle.

Teollisuudessa on yleisimmin käytetty pienoisjännitteenä 24 voltin tasasähköä,
tästä johtuen myös selvästi suurin osa ohjelmoitavista logiikoista on tehty käyt-
töjännitteeltään 24 Vdc (tasasähkö). Pienissä ajoneuvoluokissa puolestaan on
yleisesti käytössä 12 Voltin tasasähkö, niin myös suurimmassa osassa trakto-
reita. Tämän työn kohteena olevassa traktorissa oli käytössä 12 Voltin jännite.
Jännitteiden eroavaisuus ei kuitenkaan suuria ongelmia oikealla toteutuksella
aiheuta. 12 Voltin jännite voidaan DC/DC-muuntajalla muuntaa logiikalle sopi-
vaksi 24 Voltin jännitteeksi. Jännitteen stabiliteetin vuoksi on myös suotavaa,
että käytetään jännitelähdettä suoraan ajoneuvon sähköjärjestelmään kytkeyty-
misen sijaan. Markkinoilla on myös laitteita jotka on suunniteltu käytettäväksi
suoraan ajoneuvon sähköjärjestelmässä. On kuitenkin huomioitava, että 24 vol-
tin jännitteellä toimiva logiikka, pystyy lukemaan tuloinaan vain samassa 24 vol-
tin potentiaalissa toimivia tuloja. Anturointi on siis oltava myös osana 24 voltin
järjestelmää, mikäli ei käytetä sovitinta tai apurelettä välissä.

Tutkittaessa markkinoilta saatavilla olevia järjestelmäratkaisuja PLC:n ympärille, voidaan todeta, että mahdollisia toteutuskelpoisia laitekoonpanoja on valtavasti. Tässä työssä hallitsevina valintaperusteina pidettiin kustannustehokkuutta, sekä alan toimijoilta saatuja suosituksia eri vaihtoehdoista. Tämän työn aiheena oleva järjestelmä on melko pieni ja yksinkertainen, sekä sen vaatimukset melko vaatimattomia. Esimerkiksi etäkäyttö tai datan keräys ei ole tarpeellisten ominaisuuksien listalla.

Erilaisia markkinoilta saatavissa olevia logiikoita sekä operointipäätteitä tutkiessa löydettiin Utu Automation Oy:n maahantuoma *x2 control* -laite, jossa on yhdistetty PLC sekä HMI. Laitteessa on siis sisäänrakennettuna kyky ottaa vastaan ohjelmoituja ohjelmia sekä toteuttaa niitä kenttäväylän kautta laitteeseen yhteydessä olevien järjestelmien kautta. Laite täytti suunnittelussa asetetut vaatimukset saatavuutensa sekä kustannustehokkuutensa puolesta. Lisäksi yhdistelmälaitetta käytettäessä saatiin järjestelmästä fyysisesti yksinkertaisempi toteuttaa, traktorin hyttiin ei tarvittu erikseen kotelointia logiikalle. Tarvittavaksi ohjainlaitteiston konfiguraatioksi muodostuisi siis ainoastaan näyttö sekä käsiohjain hytissä, IO-asema nostokoneessa sekä näiden välinen kaapelointi.

3.4 Operointipääte

Operointipäätteellä, eli HMI:llä (*Human-Machine Interface*) tarkoitetaan yleisesti laitetta, joka tarjoaa käyttöliittymän käyttäjän sekä käytettävän koneen tai laitteiston välille (Inductiveautomation). Yleensä pienissä DCS-järjestelmissä HMI:nä toimii nykyään kosketusnäyttö tai näyttö erillisillä toimintapainikkeilla. Käyttöliittymän tärkein tehtävä on esittää laitteen käyttäjälle tarvittava informaatio. HMI-laitteissa on kaksisuuntainen tiedonkulku, laitteen käyttäjän on mahdollista ohjata laitteen toimintaa käyttöliittymän kautta. Käytännössä laitteen ohjaus käyttöliittymän kautta tapahtuu mahdollistettuja parametreja muuttamalla, tai valitsemalla ohjelmoidusta ohjelmasta jokin toinen suoritustapa, varsinaista logiikan ohjelmointia ei suoriteta HMI:n kautta. Kuten ohjelmitava logiikka, myös HMI on aina ohjelmitava erikseen jokaiseen käyttökohteeseen erikseen. Ohjelmointi tapahtuu tietokoneella laitteen ohjelmointiin sopivaa ohjelmaa käyttäen. Käyttöliittymän ulkoasu on usein muokattavissa halutun kaltaiseksi ohjelmointitalanteessa. (Moradmand, ym. 2011)

Kosketusnäytöllä toteutettu HMI on helppo modifioida juuri halutun laiseksi, kun taas fyysisillä painikkeilla saadaan varmempi tuntuma, esimerkiksi heiluvissa ajoneuvoissa. Tässä työssä päädyttiin kuitenkin valitsemaan pelkällä kosketusnäytöllä toteutettu operointipääte, halutun käyttäjäkokemuksen saavuttamiseksi.

3.5 Lähtöjen ja tulojen ohjaus

Koska työhön käytettäväksi PLC:ksi valikoitui laite, jossa itsessään ole IO liikennettä, tarvittiin järjestelmään tuloja ja lähtöjä hallinnoiva yksikkö. Hajautettu IO-asema on keskitetty ohjainlaite, joka on kenttäväylän kautta yhteydessä järjestelmän ohjaimen. Hajautettua tulojen ja lähtöjen ohjausta käytetään varsin usein DCS-järjestelmissä. Viemällä sisään- ja ulostuloliitännät lähelle toimilaitteita säästetään huomattavasti kaapelointia, helpotetaan muutosten tekoa sekä mahdollistetaan pidempiä siirtomatkoja. IO-asemalle voidaan tuoda viestejä antureilta tai toimilaitteilta kuten suoraan PLC:lle tuotaessa. Myös ulostulot asemalta voidaan toteuttaa monissa eri valmistajien IO-asemissa kuten logiikoilta yleensä.

Nostokoneessa ohjainlaitteiston hajautus on käytännön toimivuuden kannalta tarpeellista. Koneen käyttäjä istuu traktorissa ja tarvitsee nostokoneen ohjaimet sekä käyttöpäätteen hyttiin. Sen sijaan kaikki nostokoneen toimilaitteet sijaitsevat ulkona koneessa. Keskitetyn ratkaisun toteuttaminen olisi ollut hyvin haastava toteuttaa kyseisessä projektissa kaapeloinnin kannalta. Lähtökohtana onkin siis pidettävä, että HMI sijaitsee traktorin hytissä ja IO-asema nostokoneessa. PLC:n fyysisellä sijainnilla ei teknisesti ole merkitystä.

Suurin osa nostokoneen ohjaustoimista tapahtuu hydrauliventtiileitä ohjaamalla. Muita ohjausmenetelmiä on koneen takaosassa sijaitsevan kuljettimen nopeutta säättävän proportionaaliventtiilin ohjaus, työ- ja varoitusvalojen ohjaus, sekä nostopään korkeudensäätömoottorin ohjaus. Proportionaaliventtiilin ohjaus toteutettiin jänniteohjeena (0-10V) erilliselle ohjainkortille. Ohjainkortti muuttaa jänniteohjeviestin venttiilin ohjaamiseen sopivaksi pulssilähdöksi. Suurin kaapeloinnin helppous saavutettiin sijoittamalla IO-yksikkö lähelle venttiilipöytää, jolloin venttiilien ohjauskaapelointi oli mahdollisimman lyhyt.

3.6 Järjestelmän tukikomponentit

Hajautettu IO asema sijoitettiin kaapeloinnin helpottamiseksi nostokoneen reunalle, samaan koteloon aseman kanssa oli luonnollisin tapa sijoittaa mahdollisimman paljon muutakin järjestelmän vaativaa laitteistoa. Keräämällä tiedot tarvittavien laitteiden fyysisestä koosta, voitiin määrittää oikean kokoinen kotelo. Kotelon valintaan vaikutti koon lisäksi ip-luokitus, materiaali sekä läpivientien mahdollisuus ja määrä.

Tarvittavat muut komponentit, jotka sijoitettiin IO aseman kanssa samaan koteloon olivat venttiilien ohjaukseen tarvittavat apureleet, jännitelähde, riviliittimet sekä sulakepesä. Kaikki kotelon laitteet olivat din-kisko kiinnitteisiä. Tutkittaessa vanhaa ohjainlaitteistoa huomattiin, että kaapelointi antureiden sekä venttiilien osalta oli vielä niin hyvässä kunnossa, ettei sitä tarvinnut kokonaisuudessaan uusia. Sijoittamalla uusi kotelo vanhan ohjainlaitteen paikalle, mahdollistettiin myös vanhojen kaapeleiden pituuden riittävyys. Vanhojen kaapeleiden hyödyntäminen säästi huomattavasti työaikaa sekä helpotti asennustyötä.

Koska vanhoja kaapelointeja oli mahdollista ja järkevä hyödyntää, oli uuden kaapeloinnin tarve melko pieni. Tarvittavia uusia osia kaapelointiin oli traktorissa sijaitsevan ohjaimen sekä IO aseman kotelon välinen kaapelointi sekä traktorin ja nostokoneen välinen käyttöjännitteen syöttökaapelointi. Traktorissa sijaitsevan ohjainlaitteen sekä koneessa sijaitsevan kotelon väliin tarvittiin sekä kenttäväylä, että normaali signaalikaapeli. Kaikilta traktorin hytissä sijaitsevilta ohjainlaitteiston napeilta oli vietävä signaalitieto nostokoneessa sijaitsevaan IO asemaan, koska yhdistelmäohjaimessa ei itsessään ollut sisään- tai ulostuloja. Kaapeloinnin suunnittelussa oli siis laskettava, kuinka monelta painikkeelta tieto tarvitsee viedä IO asemalle.

4 OHJELMOINTI

Osana tätä työtä ohjelmoitavaan logiikkaan sekä operointipäätteeseen suunniteltiin ja toteutettiin käyttöön tarvittava ohjelma. Ohjelman koodaamisessa voitiin tukeutua tarpeen mukaan asiakasyrityksen aikaisempaan osaamiseen vastaavalaisten ohjainlaitteistojen ohjelmoinnista. Ohjelmointi pyrittiin suorittamaan alan yleisten hyvien käytäntöjen, kuten selkeyden, helppolukuisuuden sekä yhtenäisyyden mukaisesti.

4.1 Ohjelmointi yleisesti pienissä automaatiojärjestelmissä

Pienet automaatiojärjestelmät ohjelmoidaan pääsääntöisesti erillisesti tietokoneella ohjainyksikölle soveltuvaa ohjelmaa käyttäen. Joissakin poikkeustapauksissa ohjelmointia voidaan suorittaa myös suoraan logiikan käyttöliittymän kautta tai erillisellä ohjelmointilaitteella. Tässä työssä ohjelmointi toteutettiin tietokoneella, luoden tapahtumia hallitseva ohjelma *codesys* sekä *ix-developper* ohjelmia käyttäen.

PLC-ohjelmointia käsittelevässä standardissa IEC 61131 määritellään viitekehys ohjelmoinnin pääpiirteille (Sesko). Kyseinen standardin osa 3 (IEC 61131-3) määrittää viisi erilaista ohjelmointikieltä PLC:n ohjelmointiin, kaksi kirjallista kieltä (*textual language*), sekä kolme graafista kieltä (*graphic language*). Kirjalliset kielet ovat

- Instruction List (*IL*)
- Structured Text (*ST*)

Graafiset kielet ovat

- Sequential Function Chart (*SFC*)
- Function Block Diagram (*FBD*)
- Ladder Diagram (*LD*)

Ohjelmointikiielellä tarkoitetaan ohjelmakoodin esitys- sekä kirjoitustapaa. Itse ohjelma on sama riippumatta koodin kielestä (Heinz & Tiegelkamp 2010). Useat ohjelmointiohjelmat osaavat kääntää saman koodin eri ilmaisukielille. Se, mitä

kieltä kulloinkin halutaan käyttää, on käyttäjän valittavissa. Alan toimijoita haastatellessa yleisimmin pienissä järjestelmissä käytetyt kielet ovat graafisia kieliä. Järjestelmän monipuolistuessa on usein myös käytössä *st*-kieli. Kirjallisia kieliä käytettäessä vaaditaan ohjelman kirjoittajalta huomattavasti enemmän kokemusta sekä tietotaitoa sisäistämään koodin tapahtumia. (Collins)

Tietokoneella tapahtuvaan ohjelmointiin on valmistajilla käytössä eri ohjelmointiohjelmiä. Jotkin ohjelmat voivat sopia useamman eri merkin ohjainten ohjelmointiin. Ohjelmointiohjelmat ovat suurimmalta osin maksullisia, mutta myös ilmaisia ohjelmia löytyy markkinoilta vaihtelevasti (Automaatioseura.fi).

Eri ohjelmointimenetelmistä eniten teollisuudessa käytetty tapa on tietokoneella tapahtuva ohjelmointi. Ohjelmointiin tarvittavalle tietokoneelle ei suuria erityisvaatimuksia ole, tavallinen kuluttajille suunnattu kannettava tietokone usein riittää. Ohjelmoinnissa käytettävän tietokoneen sekä ohjelmoitavan laitteen välinen tiedonsiirto on toteutettu eri valmistajien laitteissa eritavoilla. Alan toimijoita haastatellessa yleisimmiksi todettiin *ethernet*-kaapelia pitkin tapahtuva siirto. Muita yleisiä tapoja ovat sarjaportti, *usb*-kaapeli sekä pienemmissä toteutuksissa muistikortti tai *usb*-massamuisti. Tässä työssä tiedonsiirto toteutettiin *ethernet*-kaapelilla.

4.2 Ohjelmointityökalut

Koska tässä opinnäytetyössä päädyttiin logiikan osalta käyttämään *x2 controlleria* määritti se myös pitkälti käytettävän ohjelmointiohjelman. Kyseinen yhdistelmäohjain voitiin PLC-osuudeltaan ohjelmoida saksalaisella *codesys* -ohjelmointiohjelmalla. *Codesys* oli opinnäytetyön tekijälle ennestään tuttu ohjelma ja sen vuoksi luonnollinen valinta. Ohjelmasta on nykyisin laajalti käytössä sen 3.5 versiomalli, mutta myös vanhempaa 2.3 versiota käytetään yleisesti vanhemmissa sovelluksissa. Tässä työssä käytettiin 3.5 versiomallia.

Ohjaimen HMI-puoli ohjelmoitiin eri ohjelmalla kuin logiikan osuus, tiedoston siirto kuitenkin tapahtui kuten logiikassa. HMI-puolen ohjelmointiin käytettiin *Beijer elektronik:n* markkinoimaa *ix-developper*-ohjelmaa. Toisin kuin *Codesys*, *ix-developper* vaatii toimiakseen ostetun lisenssin. Molemmissa tapauksissa ohjelman siirto tietokoneelta ohjaimelle tapahtuu *ethernet* -kaapelia pitkin laitteelle.

Ohjelmien luomiseen ja käsittelyyn käytettiin normaalia yrityskäyttöön suunniteltua kannettavaa tietokonetta. Vanhemmissa logiikkajärjestelmissä on usein käytössä sarjaliikenneportti (rs-232) tiedostojen siirtoon tietokoneelta kohdelaitteelle. Sarjaportin tarpeellisuus asettikin aikaisemmin yhden kriteerin ohjelmointitietokoneelle. Nykyisin kuitenkin on enimmäkseen luovuttu sarjaportin käytöstä tiedonsiirrossa ja se voidaan tehdä lähes kaikista tietokoneista löytyviä usb- tai ethernetporttia hyödyntäen.

4.3 Ohjelman rakenne

PLC-ohjelman rakentaminen aloitettiin IO-listan (inputs/outputs) luomisesta (liite 1), tähän kirjattiin kaikki sisään- ja ulostulot, joita ohjelmalla käsiteltiin. Ohjelmoinnissa on erityisen tärkeää kuvata ja nimetä kaikki muuttujat mahdollisimman tarkasti. Mikäli ohjelmaa joskus tarvitsee jälkikäteen muokata tai parantella, on huomattavasti helpompi palata takaisin ja ymmärtää mitä on tapahtumassa, kun muuttujat ovat nimetty hyvin. Lisäksi myös jokainen ohjelmalohko voidaan kommentoida erikseen.

PLC-ohjelmassa sisään- tai ulostuloja on kohdeltava muuttujan luonteesta riippuen erityyppisinä datatyyppeinä. Myös ohjelman sisäiset muistipaikat käsitellään vastaavasti. Tässä ohjelmassa tarvittavat datatyypit olivat (suluissa ohjelmakoodissa käytettävä lyhenne)

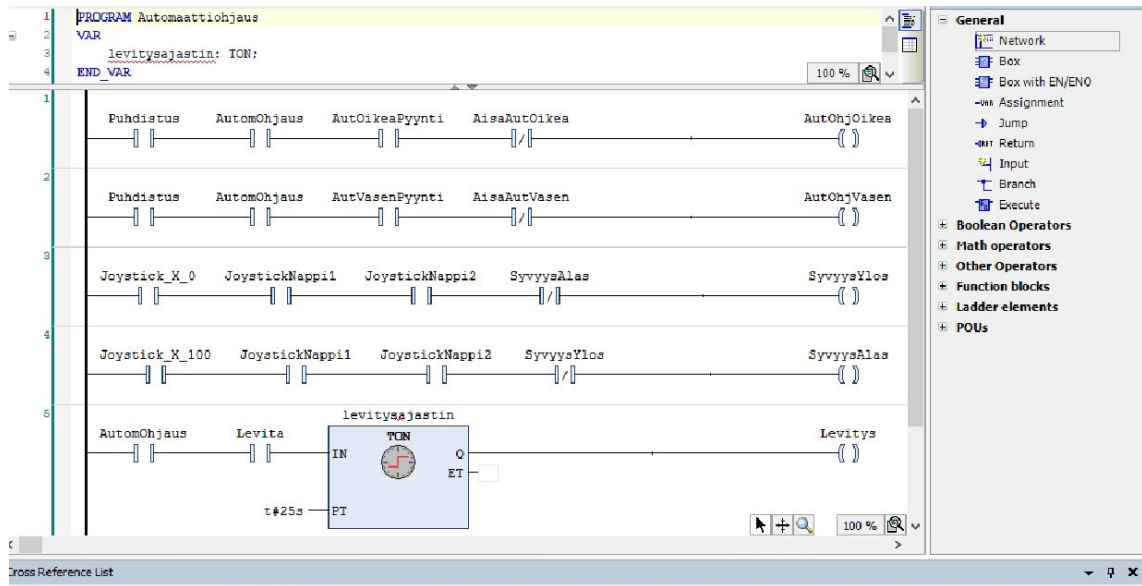
- boolean, (BOOL)
 - 1 bittinen muuttuja
- integer, (INT)
 - 16 bittinen muuttuja
- double integer, (DINT)
 - 32 bittinen muuttuja
- word, (WORD)
 - 16 bittinen muuttuja, heksalukuna 0-FFFF
- double word, (DWORD)
 - 32 bittinen muuttuja, heksalukuna 0-FFFFFFFF
- reaali, (REAL)
 - 32 bittinen liukuluku

Tässä työssä digitaalisia sisään- ja ulostuloja käsiteltiin bool-muuttujana. Ohjelmassa bool-muuttujalla on vain kaksi tilaa, tosi ja epätosi (true/false). Tässä työssä IO-tiloja lukeva *crevis IO-asema* luki digitaalisen sisääntulon todeksi (true), kun sisääntulon pinniin kytkeytyi jännite. Vastaavasti ulostulopinniin kytkeytyi jännite ohjelman niin käskiessä. Tarvittaessa kaksitilaista laajempaa skaalaa muuttujassa on käytettävä muita datatyyppejä.

Codesys ohjelmassa voidaan valita viidestä IEC 61131-3 normin mukaisesta ohjelmointitavasta. Ohjelmointitavalla tai -kielellä valitaan graafinen tapa, miten ohjelma kirjoitetaan logiikalle. Tässä työssä käytettiin ns. *Ladder diagram* (LD) -kieltä sen yksinkertaisuuden sekä selkeyden vuoksi (Kuva 4). LD-kieli käy ohjelman kasvaessa ja monimutkaistuessa liian suppeaksi ja vaikeaksi, kuitenkin tämän työn ohjelmointi saatiin selkeästi sillä suoritetuksi. Muita normin mukaisia graafisia esitystapoja ovat

- *Sequential Function Chart* (SFC)
- *Function Block Diagram* (FBD)
- *Structured Text* (ST)

- *Instruction List (IL) (PLC SCHOLAR).*

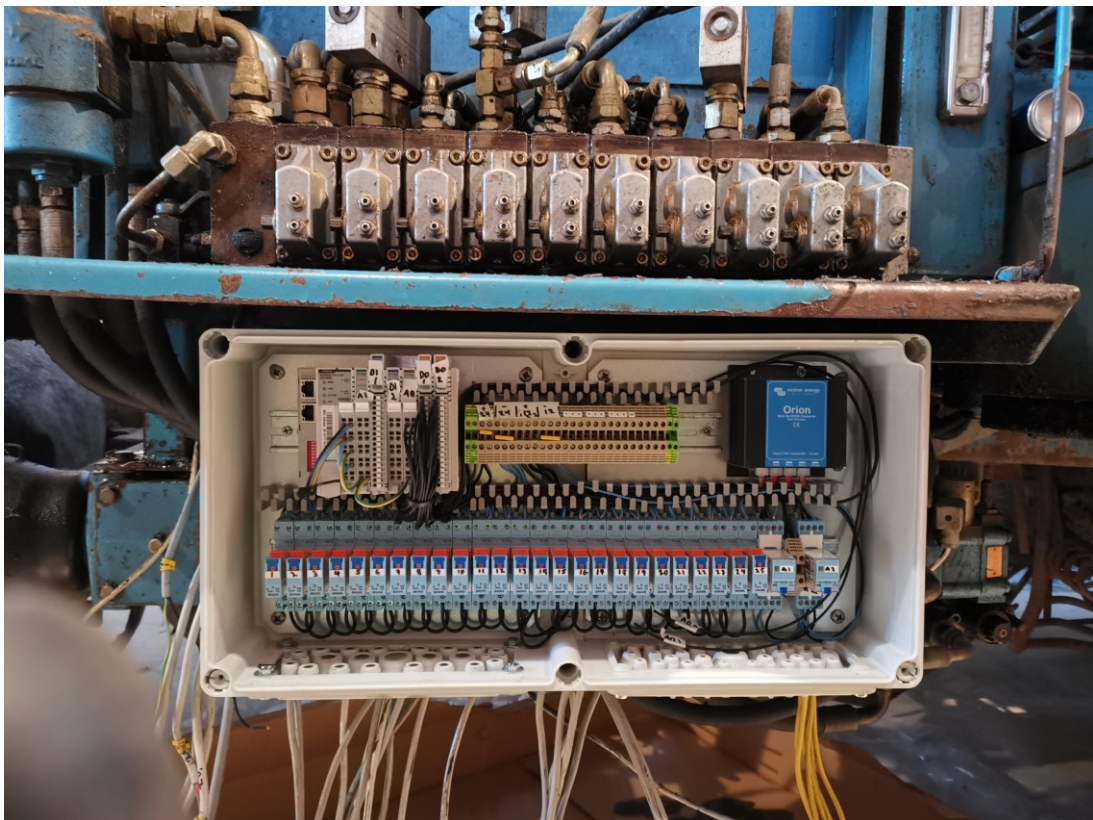


KUVA 3. Codesys-ohjelman ohjelmointinäköymä käytettäessä *LD*-ohjelmointikieltä (Kuva: Eelis Korjus 2020)

Yleisesti käytetyn ohjelmointityylin mukaan ohjelma on jäsennelty eri osiin. Osa-toiminnot on toteutettu omissa ohjelmaikkunoissa. Tässä työssä osiohjelmiä kertyi neljä kappaletta. Niissä käsiteltiin kohdenetusti hydrauliventtiilien ohjaus, joystick:n ohjaus, automaattiohjaus sekä moottorien ohjaus. Pääohjelmassa (*Main prg*) nämä osiot koottiin yhteen loogisen toiminnan mukaisesti. Jakamalla ohjelmakokonaisuus edellä kuvatun mukaisesti varmistettiin ohjelman selkeys sekä helpotettiin mahdollista vianhakua.

5 KOMPONENTTIEN ASENNUS

Nostokoneen kaikki ohjaussignaalit kiertävät logiikan kautta. Suurin osa nostokoneen toimista ohjataan ohjaamalla sähköisesti hydraulikkaventtiiliä, joka puolestaan ohjaa hydraulikalla toimivaa sylinteriä tai moottoria. Sähköinen ohjaus tuodaan venttiileille logiikan käskemänä, IO-aseman (KUVA 3) toteuttamana ohjausjännitteen (24 V) kytkeytymisellä, joka ohjataan apureleelle. Apureleen kärjet ohjaavat 12 voltin jännitteen traktorin sähköjärjestelmästä hydrauliventtiilille, joka ohjaa hydraulipaineen toimilaitteelle. Apureleitä käyttämällä saadaan siirtymä sähköjärjestelmästä toiseen suoritettua samalla, kun hallittavan virran määrä mahdollistetaan huomattavasti suuremmaksi.



KUVA 3. Uusi IO-Asema asennettuna nostokoneeseen (Kuva: Eelis Korjus 2020)

5.1 PLC

Suunnittelun perusteella päädyttiin valitsemaan *Beijer Electronics*:n valmistama HMI-PLC yhdistelmälaite. Laitteeseen on sisäänrakennettuna sekä ohjelmoitavaan logiikan ominaisuudet, että kosketusnäytöllä toteutettu operointipääte. Laitteen kooksi valittiin kompakti neljän tuuman näytöllä varustettu versio. Pieni näyttö riittää hyvin tarvittavan tietomäärän esittämiseen. Laitteen ohjelmointivaiheessa ohjelmoitiin erikseen logiikan osio sekä operointipäätteen osio. Logiikan osiota laitteessa ohjelmoidaan *Codesys* -ohjelmalla, HMI:n osuutta *IX Developer* -ohjelmalla.

X2 Controller -ohjain on rakennettu ulkoisesti samanlaiseksi kuin valmistajan muut HMI-laitteet (KUVA 4). Tästä johtuen siinä ei ole itsessään yhtään yksittäisiä sisään- tai ulostuloja väyläliitännöiden lisäksi. *X2 Controller* vaatiikin tämän työn kaltaisissa sovelluksissa aina parikseen IO liikennettä hallinnoivan laitteen, tässä laitteistossa se oli hajautettu IO asema.



KUVA 4. Beijer x2 controller -ohjain telineessään (Kuva: Eelis Korjus 2020)

5.2 IO-Asema

Suunnittelun perusteella päädyttiin sijoittamaan hajautettu IO-asema nostokoneen sivulle koteloituna. Koska ohjaimeksi valikoitui Beijerin valmistama ohjain, luonnollisin valinta asemaksi oli saman maahantuojan toimittama, maahantuojan yhteensopivaksi ilmoittama IO-asema. Crevis FnIO G-sarjan IO asema (kuva 5) on malliltaan niin kutsuttu *slice io*. Tällä tarkoitetaan fyysistä toteutustyyliä, jolla asema on toteutettu. Asemassa on ensimmäisenä vasemmalta lähtien väyläkommunikoinnista vastaava yksikkö. Tähän yksikköön voitiin liittää sivulla sijaitsevia

kiskoja pitkin haluttu toinen yksikkö. Kiskoissa on kontaktipinnat, jotka kytkevät seuraavan yksikön edelliseen, näin yksiköiden lisääminen onnistui ilman kaapelointia. Yksiköt myydään erikseen ja niitä voidaan käyttää halutussa järjestyksessä. Kussakin sovelluksessa voidaan käyttää vain tarvittava määrä yksiköitä, tämä säästää kustannuksia.



KUVA 5. Crevis FnIO G-sarja (Kuva: utuautomation.fi)

5.3 Hallintalaitteet

Nostokoneen hallintalaitteiden toteutuksessa otettiin mallia vanhasta, toimivaksi havaitusta laitteistosta. Ohjainlaite oli toteutettu traktorin kynnärnojaan kiinnitettyllä pienellä kotelolla, jossa sijaitsee muutama ohjainpainike sekä ohjainsauva, ”joystic”(kuva 6). Uuden laitteen mukana tullut kosketusnäyttö ei poistanut fyysisen ohjaimen (ohjainsauva), eikä nappien tarvetta. Laitetta tulee pystyä ohjaamaan ilman suoraa katsekontaktia, mikä on pelkällä kosketusnäytöllä haastavaa. Tarkoituksena on säätää painikkeilla nostokoneen nostotoiminnon käynnistämistä sekä keskeyttämistä, ohjainsauvalla taas ohjataan nostokoneen nostopään liikkeitä sivuttais- sekä korkeussuunnassa.



KUVA 6. Nostokoneen uudet hallintalaitteet (Kuva: Eelis Korjus 2020)

Laitteen käyttäjällä on nostokoneen ohjaukseen käytössään kosketusnäyttö (PLC/HMI-yhdistelmä), joystick-ohjain kahdella napilla sekä kaksi erillistä napia. Kosketusnäytöltä käyttäjä voi seurata laitteen toimintoja, vikailmoituksia sekä nostettua peltopinta-alaa. Joystick-ohjaimella ohjataan nostokoneen nostopään liikettä sivuttais- sekä korkeussuunnassa, sekä apupainikkeita samanaikaisesti painettaessa säiliön korkeutta, kuljettimen asentoa sekä telin asentoa.

6 POHDINTA

Markkinoilta on saatavissa vastaavanlaisiin pieniin automaatiojärjestelmiin hyvin monenlaisia laitteistoja, joita yhdistelemällä erilaisten laitteistokokoonpanojen mahdollisuuksissa on vain mielikuvitus rajana. Suunnittelun asettamat tavoitteet ovatkin usein saavutettaessa, mikäli suorittajalla on vain riittävästi resursseja käytettävissä. Perehtymällä ja tutkimalla vaihtoehtoja on saavutettavissa huomattaviakin säästöjä kokonaisbudjetissa. Toisaalta jos ajankäytössä ilmenee rajoituksia, on mahdollista turvautua lähtökohtaisesti valmiimpiin ratkaisuihin.

Ohjelmoitavia ohjaimia, kuten PLC:tä, käytettäessä ei jouduta sitoutumaan ohjelman asettamiin rajoitteisiin. Tämä mahdollistaa järjestelmän kehittämisen huomattavasti ajan myötä tarvittaessa. Pienissä, tämän työn kaltaisissa järjestelmissä ohjelmoitavan laitteen fyysiset osat ovatkin yllättävän pienessä roolissa. Ohjelmoidulla ohjelmalla voidaan muuttaa laitteen toimintaa erittäin paljon. Fyysiset laitteet luovat toki kehykset sille, kuinka laite voi toimia, kuitenkin ohjelman osuus on erittäin suuri. Kosketusnäytön käyttäminen HMI:nä lisää myös osaltaan räätälöitävyyttä merkittävästi.

Automaatiojärjestelmää toteutettaessa on otettava huomioon hyvin monta asiaa. Oma huomioni työtä tehdessä oli, että pienien toimijoiden toteutuksissa on toimintatapana usein säästää suunnitteluun käytetystä ajasta ja korjata mahdolliset puutteet niiden ilmaantuessa. Tämä toimintatapa on usein huomattavan paljon aikaa säästävä, joskin vaatii mahdollisuuden kattavaan koekäyttöön ennen asiakkaalle luovutusta. Luonnollisesti suuremman kokoluokan järjestelmissä vastaava menettelytapa ei ole mahdollista. Tätä opinnäytetyötä tehdessä pyrittiin panostamaan suunnitteluun vaikkakin kyseessä oli melko yksinkertainen järjestelmä. Kuitenkin joitakin pieniä korjauksia jouduttiin tekemään koekäytön yhteydessä. Ohjelmoinnissa ja asennuksissa tapahtuneet pienet puutteet saatiin korjattua koekäytön aikana.

Lopputuloksena tästä työstä saatiin toivotunlainen, toimiva ohjainlaitteisto. Työn tekeminen oli mielekästä, erityisen mielenkiintoista oli päästä tutustumaan erilaisiin mahdollisiin vaihtoehtoihin laitteistoksi ja niistä löytyviin ominaisuuksiin.

LÄHTEET

Automaatiojärjestelmien ohjelmointia käsittelevä standardi IEC 61131

Automaatioseura.fi. Luettu 28.10.2020

https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/automaatiosuunnitelun_prosessimalli.pdf

Codesys. Luettu 30.10.2020

<https://www.codesys.com/the-system.html>

Collins, K. PLC Programming for Industrial Automation. <http://www.igytechnical-college.com/PLCProgramming.pdf>

Edenhall. Luettu 28.10.2020

<http://edenhall.fi/>

Heinonen, A. 2019. Häiriöhavaintojärjestelmän Integraatio Liikenteenhallintajärjestelmään. Tietotekniikan Pro Gradu -tutkielma. Informaatioteknologian tiedekunta. Jyväskylän Yliopisto.

<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/63504/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201904162187.pdf>

Inductiveautomation. HMI Defined. Luettu 28.6.2020.

<https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>

Karl-Heinz, J. & Tiegelkamp, M. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Aids. 2010. 2nd Edition. Springer.

Moradmand, H., Khazaei Targhi, H. & Sheisi, H. 2011. Accuracy Evaluation of Delivered Measurements to HMI in a Reas SCADA Automation System. 2nd International Conference on Instrumentation Control and Automation. Indonesia.

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6130172>

Omron. My Omron. Luettu 01.09.2020

<https://www.myomron.com>

Sesko. Teollisuusautomaation standardit. Osio 9.Logiikat: Standardi IEC 61131-1 ja 61131-3.

https://www.sesko.fi/files/101/osio_9.pdf

UTU Automation Oy. Luettu 15.06.2020

<https://www.utu.eu/automaatio>

LIITTEET

Liite 1, IO-lista

<u>Edenhall -nostokoneen ohjainlaitteiston IO-lista</u>				
Tulojen tyypit:				
DI=Digital input	AI=Analog input			
DO=Digital output	AO=Analog output			
<u>Toiminto</u>	<u>Tyyppi</u>	<u>Muuta</u>	<u>Logiikkamuut tuja</u>	
hätäseis	DI	vetovaijeri koneen ympäri	BOOL	
joystick nappi 1	DI	painike, joystick	BOOL	
joystick nappi 2	DI	painike, joystick	BOOL	
ohjainkiekko ylhäällä	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
öljyvahti	DI	kapasitiivinen anturi	BOOL	
painevahti	DI	painekytin	BOOL	
aisa automaat. oikea	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
aisa automaat. Vasen	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
purkukuljetin ulkona	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
autom. ajo oikealle	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
autom. ajo vasemmalle	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
syvyysohjaus ylös	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
syvyysohjaus alas	DI	induktiivinen rajakytkin	BOOL	
joystick x akseli	AI	ohjainsauvan hall-efekti, vasen	INT	
joystick y akseli	AI	ohjainsauvan hall-efekti, eteen	INT	
joystick z akseli	AI	ohjainsauvan hall-efekti, kierto	INT	
automaattiohjaus ylös	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
automaattiohjaus alas	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää ylös	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää alas	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää oikealle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää vasemmalle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
silppuri ylös	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
silppuri alas	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
aisankääntö oikealle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
aisankääntö vasemmalle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
säiliö alas	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
säiliö ylös	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
teli sisään	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
teli ulos	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää auto. Oikealle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
nostinpää auto. Vasemmalle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
majakkavilkku	DO	apurele	BOOL	
työvalot	DO	apurele	BOOL	
tyhjennystoiminto	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
purkukuljetin sisälle	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
purkukuljetin ulos	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
ohjainkiekko alas	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
ohjainkiekko ylös	DO	apurele/hydrauliikkaventtiili	BOOL	
saattomaton nopeus	AO	Virtaviesti (4-16mA) ohjaimelle	WORD	
puhdistinrulettien nopeus	AO	Virtaviesti (4-16mA) ohjaimelle	WORD	