

Emil Anttila

PARKKIHALLIRENGASPESURIN AUTOMATISOINTI

PARKKIHALLIRENGASPESURIN AUTOMATISOINTI

Emil Anttila
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautuminen

Tekijä: Emil Anttila
Opinnäytetyön nimi: Parkkihallirengaspesurin automatisointi
Työn ohjaaja: Juha Junttila
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2023
Sivumäärä: 42

Opinnäytetyö toteutettiin Lieksassa sijaitsevalle Tyre Wash TWS Oy:lle. Työn tarkoituksena oli kehittää automatisoitu autojen rengaspesuri sisäparkkihalleihin. Laitteen tavoitteena on tarjota ratkaisu vähentämään parkkihallien ilmansaastetta, jota autojen renkaat tuovat mukanaan halleihin.

Työssä käsiteltiin projektille tärkeiden anturien ja toimilaitteiden kartoitusta, hankintaa ja asentamista. Tavoitteena oli luoda automaatiokokonaisuus, jolla voitaisiin ohjata autojen vuorovaikutusta pesurin laitteiston kanssa, toteuttaa automaattinen rengaspesuprosessi ja tutkia pesurin kouruun kertyvän kiintoaineen läsnäoloa. Työssä tutkittiin erilaisia antureita, joista valittiin sopivat vaihtoehdot pesurin luotettavan toiminnan kannalta. Automaatiokokonaisuudessa hyödynnettiin Beckhoff-pohjaista ohjauslaitteistoa ja kehitysympäristöä. Työssä hyödynnettiin myös pesurilta saadun tarvittavan datan lähetystä verkkoon.

Opinnäytetyö kattaa automaatiolaitteiston suunnittelun ja asentamisen. Työssä esitellään tuotekehityksen kokonaisprosessi, johon sisältyy automaatiolaitteiston laadinta, kokoonpano ja ohjelmointi. Työn tuloksena saatiin ensimmäinen toimiva automaatiolaitteisto, jossa on kuitenkin vielä paljon kehityspotentiaalia. Ensimmäinen laitteisto on valmis asennettavaksi pesurin rakenteen ohelle. Automaatiolaitteisto koestettiin ilman pesurin rakenteita, mutta osoittautui toimivaksi kokonaisuudeksi valmiina koestettavaksi myös pesurin rakenteiden yhteydessä.

Asiasanat: Beckhoff, automaatio, PLC, anturi, TwinCAT

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation Engineering

Author: Emil Anttila
Title of thesis: Automation of Parking Garage Tyre Washer
Supervisor: Juha Junttila
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023
Number of pages: 42

This thesis was commissioned by Tyre Wash TWS Oy. The purpose of the work was to develop an automated car tyre washer for indoor parking garages. The aim of the device is to provide a solution to reduce the air pollution in parking garages brought in by the tyres of cars.

This thesis covers the design, procurement and installation of sensors and actuators needed for the project. The purpose was to create an automation unit that could control the interaction of the cars with the washer equipment, implement an automated tyre washing process, study the status of the solids accumulating in the washer chute and implement online features. Different types of sensors were studied, and suitable options were selected to ensure reliable operation of the washer. The automation project is based in Beckhoff's development environment.

The thesis covers the design and installation of automation equipment. The overall product development process of designing, assembling and programming of the automation equipment is presented. The thesis resulted in a first functional automation system, but with a lot of room for improvement. The equipment is ready to be installed alongside the washer structure. The automation system was tested without the washer structure, but proved to be a functional system ready to be tested with the washer structure.

Keywords: Beckhoff, automation, PLC, sensor, TwinCAT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LAITTEISTON SUUNNITTELU.....	7
2.1	Kiintoaineiden mittaus	7
2.1.1	Värähtelypintakytkin.....	7
2.1.2	Optinen pinnankorkeuskytkin	9
2.2	Autojen ohjaus ja tunnistaminen pesurissa	10
2.2.1	Vältettävät anturityypit.....	10
2.2.2	Valosähköinen anturi	11
2.3	Vedenotto magneettiventtiilillä.....	12
2.4	Ohjelmoitava logiikkaohjain	14
2.4.1	Ohjelmoitavan logiikkaohjaimen määritelmä ja sen osat.....	14
2.4.2	Pesurin ohjausjärjestelmä.....	15
3	LAITTEISTON HANKINTA JA ASENNUS	18
3.1	Automatisoinnin vaatimukset ja projektin rajaus.....	18
3.2	Tarvittavan laitteiston selvittäminen ja hankinta	19
3.3	Automaatiolaitteiston asennus.....	21
3.3.1	Virtalähteen asennus ohjaimen.....	21
3.3.2	Anturien kytkeminen ohjausjärjestelmään.....	24
3.3.3	Toimilaitteiden asennus ohjausjärjestelmään.....	27
4	OHJELMISTO.....	29
4.1	Ohjausjärjestelmän käyttöönotto TwinCAT XAE Shell -sovelluksessa	29
4.2	Antureiden ja toimilaitteiden ohjelmointi	30
4.3	Datan lähetys sähköpostiosoitteeseen	32
4.4	Ohjelman koestus.....	34
5	TULOKSET JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET	36
5.1	Kiintoaineen tunnistus	36
5.2	Autojen ohjaus automaatiolaitteistossa	37
5.3	Vedenohjaus	37
5.4	Datan lähetys ja seuranta pilvipalvelussa.....	38
6	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET.....	40

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Tyre Wash TWS Oy, joka toimittaa automatisoituja rengaspesureita sisäparkkihalleihin. Työ on osa yrityksen suurempaa tuotekehitysprojektia, jossa tarkoituksena on kehittää automaattisesti toimiva autojen rengaspesuri sisäparkkihalleihin. Laitteen tarkoituksena on tarjota ratkaisu vähentämään parkkihallien ilmansaastetta, jota autojen renkaat tuovat mukanaan halleihin.

Tämä opinnäytetyö keskittyy kyseisen laitekokonaisuuden pesutoimenpiteen automatisointiin. Tavoitteena on automatisoida toimenpide täysin niin, että laite ei ole riippuvainen ihmistyövoimasta, huoltotilanteet pois lukien. Automaation suunnittelussa otetaan huomioon laitteiston vaatimukset käyttökohteeseen asennuksessa, antureiden ja toimilaitteiden kartoittaminen sekä laitteiston tuottaman datan keräys ja lähetys.

Tuotteen pohjalta on aiemmin toteutettu yksi tuotekehitysprojekti sekä yksi opinnäytetyö yhteistyössä Oulun ammattikorkeakoulun kanssa. Tuotekehitysprojektissa suunniteltiin tuotteelle sen alustavat runkorakenteet (kuva 1). Opinnäytetyössä suunniteltiin tuotteelle sen mekaaniset kuivaus- ja harjausprosessit.



Kuva 1. Havainnollistus pesurin runkorakenteista parkkihallissa

2 LAITTEISTON SUUNNITTELU

Tässä luvussa esitetään teoriapohjaisesti projektissa käytetyt anturit ja toimi- ja automaatiolaitteisto. Luvussa syvennytään siihen, mikä anturi sopii mihinkin sovellukseen ja mitkä ovat niiden vahvuudet ja heikkoudet. Myös automaatiolaitteistolle tarvittavat komponentit esitellään ja perustellaan, miksi ne ovat valittu.

2.1 Kiintoaineiden mittaus

Kun autot ajavat pesuriin puhdistettavaksi, ne tuovat mukanaan mahdollisia kiintoaineita, pääasiassa hienoa hiekkaa. Prosessissa hiekka päätyy likaveden kanssa laitteiston ajorampin alla olevaan kouruun. Kouruun tarvitaan anturi, joka tunnistaa tason, jolloin kourusta poistetaan kiintoaineet huoltotoimenpiteellä. Kiintoaineen poistaminen on tärkeää, koska kiintoaineen liiallinen kerääntyminen voi johtaa veden ylivuotamiseen kourusta.

Tasonmittaussovellukset ovat ohjaustyyppisiä sovelluksia, joissa tasotunnistuksella ohjataan joitakin toimintoja tai prosesseja, kuten bulkkivaraston tai nesteiden käsittelyä. Tasomittarit havaitsevat materiaalin astiassa ennalta määrättyssä korkeudessa. Tasonmittaus voi myös tarkoittaa materiaalivaraston mittausta ja seuranta. (1, s. 3.)

Kiintoainetta voidaan ajatella materiaalivarastona, jota pitää mitata. Hiekka ei kuitenkaan käyttäydy veden tavoin ja tasoitu automaattisesti kourussa. Kiintoainepartikkelien välinen ilma mahdollistaa aineen käyttäytymisen kokoonpuristuvalla tavalla ja partikkelien ja astian seinämien välillä esiintyy kitkaa, mikä johtaa siihen, että kiintoaineet eivät virtaa nesteiden tavoin ja aineen pinta on todennäköisemmin epäsäännöllinen kuin litteä (1, s. 6). Hiekan kasaantuminen voi siis aiheuttaa haasteita kiintoaineen mittauksessa, koska on vaikea ennakoita, minne kiintoaine kasaantuu kourun ollessa tasapintainen.

2.1.1 Värähtelypintakytkin

Kiintoaineiden mittausta varten tutkitaan erilaisia anturisolventteja, joissa pyrittiin keskittymään anturin luotettavuuteen. Koska kouruun kertyy kiintoaineen mukana runsaasti vettä, on tärkeää,

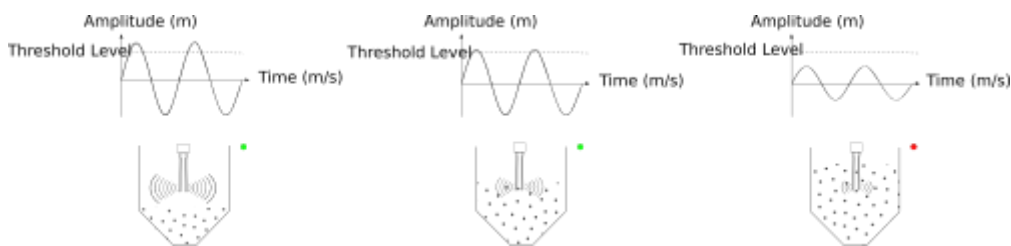
että anturi ei lähettäisi veden vaikutuksesta syntyviä mahdollisia vääriä signaaleja. Siksi projektiin tarvitaan nimenomaan anturi, joka tunnistaa tehokkaasti kiintoaineen kertymän ilman veden vaikutusta anturin tunnistukseen. Täten päädyttiin tutkimaan ja laatimaan tarjouksia liittyen värähtelyä hyödyntävistä pintakytkimistä.

Värähtelevän tasokytkimen (kuva 2) toimintaperiaate perustuu sen päässä olevan viritetyn haarukan värähtelyn tutkimiseen. Kun haarukka ei ole kosketuksissa tunnistettavaan aineeseen, haarukka värähtelee sen ominaistajuudella. Kun haarukka tulee kosketuksiin tunnistettavan aineen kanssa, värähtelyn taajuus muuttuu. Kyseisten parametrien seurantaprosessi riippuu tunnistettavan aineen tyypistä. (2.)



KUVA 2. Haarukalla varusteltu värähtelypintakytkin (3)

Anturissa tapahtuvan värähtelyn tarkastelu voidaan perustaa kahteen eri menetelmään: värähtelyn amplitudiin ja taajuuteen. Menetelmä valitaan tunnistettavan aineen ominaisuuksien mukaan. Amplitudin tarkastelua käytetään kiintoaineiden tunnistuksessa. Kun aineen taso nousee kohdeympäristössä ja joutuu kosketuksiin anturin haarukoiden kanssa, haarukoiden värähtelyn amplitudi vaimenee. Amplitudin alittaessa asetetun kynnsarvon sisäinen elektroniikka lähettää muutoksesta syntyvän signaalin laitteen ulostuloihin (kuva 3). Vastaavasti taajuuden tarkastelua käytetään nesteen tunnistuksessa. Anturin haarukoiden ominaistajuus pienenee niiden peittyessä nestemäisen aineeseen, jolloin anturi lähettää signaalin ulostuloihinsa. (2.)



KUVA 3. Havainnollistus kiintoaineiden tunnistamisperiaatteesta (2)

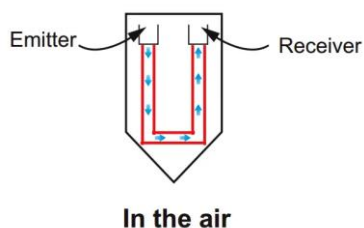
2.1.2 Optinen pinnankorkeuskytkin

Värähtelevän pintakytkimen korkean hintatason takia tutkitaan myös halvempaa vaihtoehtoa. Tutkinnan kohteeksi otetaan Sickin pienikokoinen GRF18S-F234LV-optinen pinnankorkeuskytkin (kuva 4).

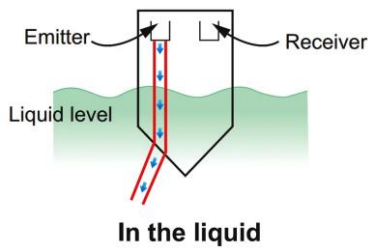


KUVA 4. GRF18S-F234LV-optinen pinnankorkeuskytkin (4)

Optinen pinnankorkeuskytkin on toiminnaltaan hyvin yksinkertainen. Anturit toimivat sekä infrapuna- että näkyvän säteilyn avulla (LED-valo). Anturissa on valonlähde sekä valosähköinen tunnistin, joka voi olla fotodiodi, fototransistori tai valovastus. Valoa lähetetään lähettimestä kartiomuotoista lasiprismaa kohti. Prismassa ollessa ilmassa, kun tunnistettava aine ei ole peittänyt anturia, valo heijastuu prismasta takaisin lähettimen vieressä olevaan tunnistimeen (kuva 5). Jos taas prisma peittyy tunnistettavasta nesteestä, valo heijastuu nesteeseen eikä takaisin tunnistimeen (kuva 6). Jos tunnistin ei saa tarpeeksi valoa, tunnistimessa oleva piiri lähettää signaalin esimerkiksi hälytystä varten. (5.)



KUVA 5. Lähetettävän valon heijastuminen prismasta tunnistimeen (6)



KUVA 6. Lähetettävän valon heijastuminen nesteeseen (6)

Optisten pinnakorkeuskytkimien vahvuuksiin kuuluvat mm. niiden pienikokoisuus, liikkumattomien osien rakenne sekä asennettavuuden ja puhdistettavuuden helppous (6). Kytöntä voidaan myös käyttää havaitsemaan kiintoaineita sisältävien nesteiden tasoa (5). Kytöksen heikkouksiin kuuluu mm. sen mahdollisuus kulumiseen ajan myötä ja haastava tunnistettavuus kuplien, pinnoitteen tai säiliön peilaavien pintojen takia (5).

2.2 Autojen ohjaus ja tunnistaminen pesurissa

2.2.1 Vältettävät anturityypit

Autot ajavat pesurin rakenteen läpi perätysten. On kuitenkin tärkeää, että tuotteen käyttäjät eivät samanaikaisesti yritä ajaa pesurin läpi. Jos ratin takana istuva käyttäjä lähtee liian aikaisin edellä olevan auton perään rampille, hän voi menettää katseensa ajoradasta. Tuotteen käyttäjien turvallisuuden sekä ajoneuvovaurioiden välttymisen varalta olisi tärkeää, että autot pitäisivät välissä noin yhden henkilöauton verran tilaa. Tätä välitilaa tullaan ohjaamaan liikennevalojärjestelmällä hyödyntämällä anturointia. Kun auto ajaa pesuriin, liikennevalossa palaa valo, joka viestittää takana seuraavana jonossa olevalle kuskille, että hänen täytyy odottaa. Kun edellä oleva auto on ajanut pesuprosessin läpi jättäen tarpeellisen etäisyyden, anturi havaitsee tämän, ja liikennevalon valo lakkaa palamasta.

Anturien valinnassa on huomioon otettavia vaatimuksia. On tärkeää, että autojen tunnistamisessa käytetään ennemminkin läsnäoloa tunnistavaa menetelmää eikä erityisesti materiaalin, kuten metallin tunnistamista. Autot luovat myös erilaisia etäisyyksiä anturiin riippuen niiden ulkopuolisista ominaisuuksista. Tästä syystä on parempi, että anturin tunnistusetäisyys ulottuu ainakin noin metrin pituudelle. Vaatimuksien takia induktiiviset anturit eivät sovi tähän sovellukseen, koska ne perustuvat vain erilaisten metallien tunnistamiseen ja niiden tunnistusetäisyys on hyvin rajoitteinen (7). Kapasiiviset anturit pystyvät tunnistamaan sekä metallisia että epämetallisia kappaleita, mutta

niiden tyypillinen tunnistusetäisyys ulottuu noin 5–40 mm (8). Pelkästään auton ulkoisissa muodoissa voi olla tätäkin suurempia etäisyyden vaihteluja.

2.2.2 Valosähköinen anturi

Lyhyiden tunnistusetäisyyksien tuomien ongelmien takia olisi järkevämpää valita autojen tunnistamiseen menetelmä, joka toimisi luotettavasti, vaikka tunnistettava kohde olisi jopa yli metrin etäisyydellä. Tähän tarpeeseen tarkastellaan Sickin WSE9-3P2230-valosähköisiä pienoivalokennoja (kuva 7), jotka toimivat 0–10 metrin etäisyydellä (9).



KUVA 7. WSE9-3P2230-valosähköiset pienoivalokennot (9)

Valosähköiset anturit havaitsevat esineitä, muutoksia pinnoissa ja muita kohteita erilaisten optisten ominaisuuksien avulla. Valosähköinen anturi perustuu pääasiassa valoa lähettävään lähettimeen ja valoa vastaanottavaan vastaanottimeen. Kun lähetetty valo keskeytyy tai heijastuu tunnistettavasta kohteesta, se muuttaa vastaanottimeen saapuvan valon määrää. Vastaanotin huomioi tämän muutoksen ja muuntaa sen sähköiseksi signaaliksi. Useimpien valosähköisten antureiden valonlähteenä on infrapuna tai näkyvä valo, mikä on yleensä punainen tai vihreä/sininen värien tunnistamiseksi. (10.)

Valosähköantureista yksikertaisin toimintaperiaate on ”through-beam”. Tämä toimintaperiaate perustuu kahden eri laiteyksikön – lähettäjän ja vastaanottajan – yhteistoimintaan. Lähetinyksikkö koostuu valonlähteestä, tyypillisesti LED:stä, joka tuottaa valoa näkyvän aallonpituuden alueella. Vastaanotinyksikkö taas valvoo lähettimen tuottamaa valoa. Vastaanottimen linssi vastaanottaa valoa, suodattaa sen optisesti sekä ohjaa sen fotodiodille. Fotodiodi johtaa virtaa, kun valo

heijastuu sen anturipinnalle. Signaali vahvistetaan operaatiovahvistimella, jota voidaan säätää anturin kotelossa olevalla potentiometrillä. Vahvistettu signaali sovitetaan vastaanottajan taajuuteen, millä varmistetaan vastaanotettavan valon olevan lähtöisin lähettimestä eikä ulkoisesta valonlähteestä. Muut valonlähteet, jotka eivät noudata järjestelmän taajuuskriteerejä, suodatetaan pois tässä vaiheessa. Signaali johdetaan lopuksi Schmitt-liipaisimen läpi, mikä tuottaa puhtaan ohjaussignaalin lähtövaiheeseen. (11.)

Lähetin ja vastaanotin asetetaan vastakkain, jotta lähettimen valo pääsee suoraan vastaanottimeen. Kun lähettimen ja vastaanottimen välissä oleva kappale katkaisee laiteparin yhteyden, vastaanottimeen tuleva valo vähenee. Tätä valon voimakkuuden vähenemistä käytetään jonkin objektin läsnäolon tunnistamiseksi. (10.)

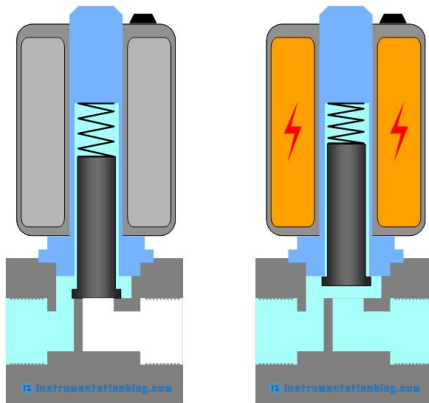
”Through-beam” -antureita käytetään yleisesti eri objektien tunnistuksessa ja laskemisessa. Esimerkiksi tuotannon pakkausvaiheessa näitä antureita voidaan käyttää pakattavien esineiden tarkkaan laskemiseen. Näitä antureita voidaan myös käyttää ”laukaisulankamekanismina”, jolla voidaan laukaista hälytykset ei-toivotun henkilön päästyä suojatulle alueelle. (11.)

”Through-beam” -anturien vahvuuksia ovat pitkät tunnistusetäisyydet, luotettavuus epätäydellisissä toimintaympäristöissä ja tunnistettavien materiaalien laajuus. Toisin kuin monet muut anturityypit, ”through-beam” -laitepari voi toimia jopa 300 metrin etäisyydellä toisistaan. Nämä anturit pystyvät toimimaan ympäristöissä, joissa voi esiintyä sumeaa ulkoilmaa ja linssiin kertyviin epäpuhtauksiin johtavissa ympäristöissä. Anturit pystyvät myös havaitsemaan minkä tahansa kohteen, joka katkaisee laiteparin yhteyden. Näiden anturien heikkouksiin kuuluvat haastavammat asennukset verrattuna yksin toimiviin antureihin, koska laitepari on asennettava erikseen toisistaan ja parin yhteys pitää olla tarkasti kohtisuorassa. Asennus saattaa vaatia kaksi eri kannatinta ja pidemmät kaapeloinnit laiteparin virransyöttöä ja signaalien lähettämistä varten. (11.)

2.3 Vedenotto magneettiventtiilillä

Kun auto siirtyy pesurin rampille, vesi suihkuu pesurin rakenteissa olevista suuttimista renkaisiin. Vettä tulnaisiin ottamaan pesurin käyttökohteen vedenjakelusta. Vedenottoa pitäisi säädellä venttiilillä. Laitteiston automatisoinnin takia myös venttiilin tulisi olla ohjelmoitavissa niin, että se avautuu haluttuun aikaan. Tähän tarpeeseen tutkitaan magneettiventtiilin hyödyntämistä.

Magneettiventtiili on sähkömekaaninen toimilaite, jolla voidaan ohjata esimerkiksi nesteen tai kaasun virtaamista. Magneettiventtiili koostuu kahdesta osasta: solenoidista ja sen rungosta. Venttiilissä on solenoidi, joka on kela, joka pitää sisällään liikkuvaa ferromagneettista ydintä, jota kutsutaan männäksi. Kun sähkö virtaa kelan läpi, se muodostaa magneettikentän. Magneettikenttä vetää mäntää ylöspäin ja avaan aukon (kuva 8). Kun sähkö ei virtaa kelan läpi, aukko sulkeutuu. Tämä prosessi ohjaa halutun aineen virtausta. (12.)



KUVA 8. Magneettiventtiili jännitteettömässä ja jännitteisessä tilassa (12)

Magneettiventtiilin toiminta jakaantuu yleensä kahteen eri tyyppiin: normaalisti avoimeen (NO) ja normaalisti suljettuun (NC). Normaalisti avoin venttiili on auki aina, kun kela on jännitteetön. Kun kela on jännitteinen, venttiili sulkeutuu. Normaalisti suljettu venttiili on taas aina suljettu, kun kela on jännitteetön. Kun kela on jännitteinen, venttiili aukeaa. (13.)

Koska veden halutaan pesurin laitteistossa kulkevan venttiilin läpi silloin, kun se saa siihen sallivan signaalin, sopii venttiiliksi ACL:n 301-tyypin magneettiventtiili (kuva 9). 301-tyyppi hyödyntää 24 voltin tasavirtaa ja on toiminnallisuudeltaan normaalisti suljettu (14).



KUVA 9. ACL:n 301-typin magneettiventtiili (14)

2.4 Ohjelmoitava logiikkaohjain

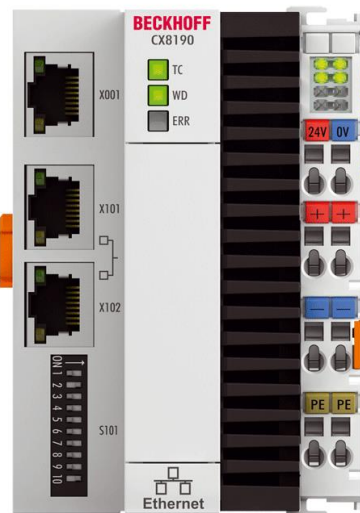
2.4.1 Ohjelmoitavan logiikkaohjaimen määritelmä ja sen osat

Ohjelmoitava logiikkaohjain (PLC) on mikroprosessoripohjainen ohjain, joka hyödyntää sisäistä ohjelmoitavaa muistia käskyjen tallentamiseen sekä esimerkiksi logiikan, sekvenssoinnin, ajoituksen ja erilaisten laskentojen ohjausta. Termiä logiikka käytetään siksi, että PLC:n ohjelmoinnissa on ensisijaisesti kyse loogisten toimintojen ja kytkeätoimintojen toteuttamisesta. Esimerkiksi jos A tai B tapahtuu, PLC kytkee päälle C:n, jos A ja B tapahtuu, PLC kytkee päälle D:n. (15, s. 3.)

PLC:hen kytketään tulolaitteita, esimerkiksi kytkeviä antureita sekä ohjattavia toimilaitteita, kuten moottoreita ja venttiileitä. Käyttäjä luo sitten PLC:n muistiin käskysarjan eli ohjelman. Sitten ohjain valvoo tuloja ja lähtöjä kirjoitetun ohjelman mukaisesti ja toteuttaa ohjelmoidut ohjaustoiminnot. (15, s. 3.)

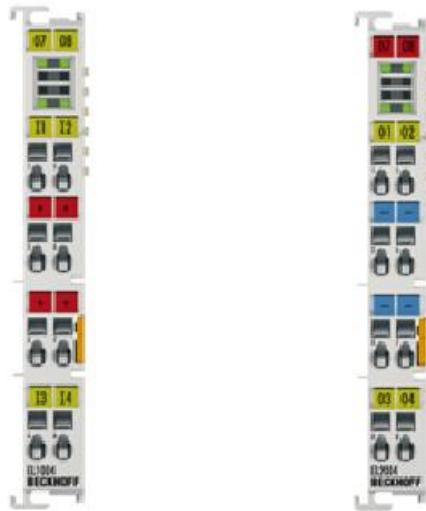
PLC-järjestelmässä on seuraavat tyypilliset toiminnalliset komponentit: virtalähdeyksikkö, prosessoryksikkö, ohjelmointilaitte, muistiyksikkö, tulo- ja lähtömoduulit ja tietoliikenneväylä. Virtalähdettä tarvitaan muuntamaan korkea vaihtovirtainen verkkojännite matalammaksi tasavirtaiseksi jännitteeksi, jota prosessori sekä tulo- ja lähtömoduulien piirit tarvitsevat. Prosessoryksikkö tai keskussuoritin (CPU) on mikroprosessorin sisältävä yksikkö, joka lukee tulosignaaleja ja suorittaa ohjaustoimintoja muistiin tallennetun ohjelman mukaisesti välittäen ohjaussignaaleja ulostuloihin. Ohjelmointilaitetta käytetään ohjelman kirjoittamiseen ja syöttämiseen

CX8190-ohjain ei ole perinteinen PLC-ohjain, vaan soft-PLC, eli ohjelmisto, joka kykenee suorittamaan PLC:n CPU-komponentin toiminnot ollessa samalla laitteistossa muiden ohjelmistojen rinnalla. Hard-PLC on erityinen laitteisto, joka toimii yksinomaan PLC:nä, jonka CPU-toiminnot suoritetaan erillisessä yksikössä. Hard-PLC:n laitteistomäärittely ei ole välttämättä aina kiinteä, mutta niiden laajennusmahdollisuudet ovat luonnostaan rajalliset. Hard-PLC:hen kytkettävät tulo- ja lähtölaitteet voivat olla määrältään ja tyypeiltään kiinteitä, kun Soft-PLC:ssä laajennukset ovat mukautettavissa. Hard-PLC:n laajennukset ovat mahdollisia, mutta ne voidaan tehdä vain toimittajan tarjoamien mahdollisuuksien mukaan. Toisaalta Soft-PLC:hen voidaan kytkeä teoriassa mikä tahansa määrä antureita ja toimilaitteita. (18.)



KUVA 10. CX8190-ohjain (17)

Seuraavaksi valitaan digitaaliset tulo- ja lähtömoduulit. Koska tässä vaiheessa projektia on ennustettu, että asennettavia antureita ja toimilaitteita olisi yhteensä neljä kappaletta (kiintoaineen tunnistin, valokennoanturi, magneettiventtiili ja liikennevalo), päätetään valita Beckhoffin yleiset 4-kanavaiset moduulit. Tosin pesurin jatkokehityksen kannalta on myös viisasta valita moduulit, joissa on enemmän I/O-liittimiä laajennusvaraksi. Moduuleiksi valitaan 24 voltin EL1004-digitaalinen tulomoduli (kuva 11) ja 24 voltin EL2004-digitaalinen lähtökortti (kuva 11). EL1004-tulomoduli lähettää positiivisen signaalin logiikkaohjaimelle, kun se saa 11–30 voltin jännitteen anturilta (19). EL2004-lähtömoduuli vastaavasti lähettää 24 voltin jännitettä ja maksimissaan 0,5 ampeerin virtaa toimilaitteille (20).



KUVA 11. EL1004-tulomoduuli (19) ja EL2004-lähtömoduuli (20)

3 LAITTEISTON HANKINTA JA ASENNUS

Tässä luvussa esitellään pohjatietoa tarvittavan laitteiston hankintaan sekä sen asentamista ohjelmointia varten. Pohjatiedoissa tuodaan esille projektin vaatimukset, rajaus sekä laitteiston hankintaan liittyvät haasteet ja esteet. Luvussa käydään läpi perinpohjaisesti automaatiolaitteiston kokoonpano ja asennus ohjelmointia varten.

3.1 Automatisoinnin vaatimukset ja projektin rajaus

Projekti aloitettiin laatimalla mitä vaatimuksia automatisointi ja sitä ohjaava ohjelma luo. Vaatimusten perusteella pystyttiin sitten ostamaan tarvittava automaatiolaitteisto. Vaatimusten luettelointi aloitettiin luomalla pesurin automatisoinnille konsepti. Kun auto ajaa pesurille, veden suihkutusta renkasiin alkaa ja samalla seuraavalle pesurille tulevalle autoilijalle ilmoitetaan, että heidän täytyy pysähtyä. Kun edellä oleva auto on ohittanut pesurin pesuvaiheen, vedenotto pysähtyy ja seuraavalle autoilijalle ilmoitetaan, että pesurille voi ajaa. Kun kiintoaine täyttyy säiliössä, täyttymisestä lähetetään viesti huoltoon ja pesurin toiminta pysähtyy, kunnes huolto on suoritettu.

Konseptin pohjalta laadittiin tarpeelliset lähdöt, joita tulisi ohjata. Tarpeelliset lähdöt olivat vedenoton, autojen ja viestin (kiintoaineen täytyminen) lähetyksen ohjaus. Projektiin tarvittiin lähtöjen perusteella toimilaitteita. Sitten vaatimukseen sisällettiin tulosignaalit, joilla tarpeellisia lähtöjä tulisi ohjaamaan. Tulosignaaleiksi sisällettiin autojen läsnäolon ja kiintoaineen täyttymisen tunnistus. Projektiin tarvittiin tulosignaalien perusteella antureita. Jotta tulosignaaleja voidaan lukea, ja lähtöjä ohjata, vaadittiin projektiin ohjelma, joka toteuttaa automatisoinnin konseptin. Jotta ohjelmalla voitaisiin toteuttaa konsepti, vaadittiin automatisointiin ohjausjärjestelmälaiteisto.

Projektin vaatimusten laadinnan jälkeen tehtiin projektin tavoitteiden rajaus. Projektin rajauksessa sovittiin toimeksiantajan ja opinnäytetyön tekijän välillä, että opinnäytetyöosuuteen kuuluisi vain pesurin automatisoinnin suunnitteluun liittyvät tehtävät. Kaikki muu pesurin runkoon liittyvä mekaaninen/rakenteellinen suunnittelu ei kuuluisi opinnäytetyöhön. Projekti rajattiin seuraaviin tavoitteisiin:

- Antureiden, venttiilin ja liikennevalon ohjauksen asennus, johdotus ja ohjelmointi
- Kiintoaineanturin tutkinta ja valinta
- Autojen ohjaukseen liittyvän anturoinnin tutkinta ja valinta
- Vedenoton ja vedenpoiston suunnittelu
- Etäseurannan ja muiden online-toimintojen tutkiminen ja ohjelmointi
- Automaatio-ohjausjärjestelmän hankinta ja asennus

Tarkoituksena oli toteuttaa projekti mahdollisimman yksinkertaisena ja vähäkustanteisena. Minkäänlaista virallista budjettia automatisoinnille ei asetettu, mutta hankittavan laitteiston kustannukset pyrittiin pitämään mahdollisimman matalana.

3.2 Tarvittavan laitteiston selvittäminen ja hankinta

Projektin konkreettinen osuus alkoi tarvittavien anturien kartoittamisella. Jo hyvin alkupuolella projektissa päätettiin, että yritettäisiin laatia mahdollisimman yksinkertainen anturointi. Tähän minimaalisuuteen vaikutti mahdollisimman pienen budjetin lisäksi laitteiston luotettavuus pitkässä käytössä. Liian monen muuttujan lisääminen lisää myös ongelmien mahdollisuutta.

Projektissa valittiin aluksi myös aikataulun prioriteetit. Palavereissa todettiin, että on järkevää ensin tutkia ja hankkia tarjoukset antureista ja automaatio-ohjauslaitteistosta, koska niiden saatavuuksista ja toimitusajoista ei ollut tarpeeksi tietoa. Ykkösprioriteetiksi sovittiin siis kyseisen laitteiston tiedustelu. Venttiilin ja liikennevalon hankinta jätettiin myöhemmäksi, koska niiden saatavuus suoraan Suomen jälleenmyyjiltä oli hyvä.

Automaatio-ohjauslaitteistoksi valittiin hyvin aikaisin projektissa Beckhoffin laitteisto ja kehitysympäristö. Tähän päätökseen johti se, että opinnäytetyön tekijällä oli tämän laitteiston kanssa valmiiksi kokemusta aiemmista kurseista. Myös koulun oppimislaitteistot olivat Beckhoff-pohjaisia ja ohjaavan opettajan kokemus kyseisestä järjestelmästä oli erinomainen.

Koska yksi projektin tavoitteista oli online-toimintojen käyttäminen, oli valittava automaatiolaitteisto, jossa olisi tuki verkkoyhteydelle. Beckhoffilta ehdotettiin CX8190-ohjainta, joka sopi tähän tarpeeseen. Ohjaimen kanssa tuli vastaan kuitenkin ongelma tuotteen saatavuudesta. Aluksi

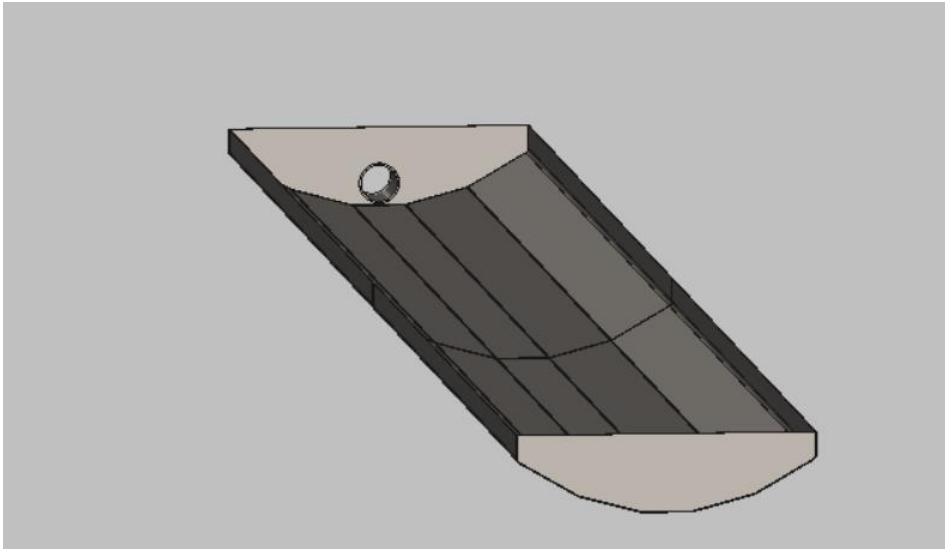
Beckhoffin ennuste ohjaimen toimitusajalle oli 39 viikkoa. Tämä olisi ollut liian pitkä aika opinnäytetyön aikataululle, joten CX8190-ohjaimen tilalle etsittiin muita samanlaisia ohjaimia. Ongelmana tässäkin oli se, että seuraavaksi halvin heti saatavilla oleva ohjain oli jo lisensoineen ja oheislaitteineen noin 300 euroa kalliimpi kuin CX8190. Lopulta suunnitelmassa päädyttiin siihen, että pyrittäisiin jatkamaan CX8190-ohjaimen tiedustelua, mikäli löytyisi yksi vapaa kappale ajan myötä. Mikäli tiedustelu ei tuottaisi tulosta, voitaisiin projekti kuitenkin toteuttaa hyödyntämällä koulun Beckhoff-opetuslaitteistoa. Lopulta jatkuvalla CX8190-ohjaimen tiedustelulla löytyi yksi vapaa kappale Saksasta, joka myös laitettiin tilaukseen.

Autojen tunnistamiseen käytettävässä anturissa tarkasteltiin erilaisia vaihtoehtoja, joista nopeasti eliminoitiin induktiiviset ja kapasitiiviset anturit niiden heikkouksien takia (ks. luku 2.2.1). Myös ultraääntä tai painetta hyödyntäviä antureita tutkittiin, mutta poistettiin harkinnasta, kun optiset anturit koettiin kaikista luotettavimmaksi, varsinkin halvan hintahaarukan rajauksessa. Tarkoitus oli tutkia auton läsnäoloa mahdollisimman yksinkertaisesti ilman mitään lisätietoa, mihin optiset läsnäoloanturit sopivat hyvin. Ratkaisuksi tarvittiin kuitenkin sellainen viritelmä, jossa anturit voisi asentaa pesurin alkupäässä olevien tolppien sisälle. Tähän tarpeeseen nähtiin Sickin WSE9-3P2230-valosähköiset pienoivalokennot täydellisiksi (ks. luku 2.2.2), jotka laitettiin tilaukseen.

Seuraavaksi tutkittiin tehokkainta anturia havaitsemaan kiintoaineen kertymistä ajorampin kouruun. Ratkaisuksi löydettiin nopeasti värähtelytyyppiset anturit (ks. luku 2.1.1). Näillä antureilla olisi pystynyt tehokkaasti havaitsemaan kiintoaineen kertymisen kouruun ilman veden luomia mahdollisia vääriä signaaleja. Värähtelyanturista lähetettiin tarjouspyyntö Sickille ja Endress+Hauserille. Kummaltakin tarjoajalta olisi yhden värähtelyanturin hinta noussut arvonlisäveroineen yli tuhanteen euroon. Anturin korkean hinnan takia pyrittiin löytämään halvempi ratkaisu kiintoaineen tunnistamiseen.

Kiintoaineen havaitsemisessa muutettiin näkökulmaa, jotta voitaisiin hyödyntää halvempien antureiden käyttöä. Ratkaisua lähestyttiin vaihtoehtoisesti niin, että kiintoainetta ei välttämättä ensisijaisesti pitäisi havaita. Tiedettiin, että kourun poistoaukossa tulisi olemaan suodatin, joka estää kiintoaineen siirtymisen poistoaukkoon, jonne vain vesi menisi. Jos kiintoainetta kertyisi niin paljon, että se tukkisi tämän suodattimen, vedenpinta kourussa tulisi nousemaan. Kun tämä vedenpinta nousisi tarpeeksi korkealle, kourussa voitaisiin käyttää yksinkertaisempaa tasokytkintä. Tähän tarkoitukseen valitsimme tarkempaan tarkkailuun optisen GRF18S-F234LV-pinnankorkeuskytkimen (ks. luku 2.1.2), joka laitettiin tilaukseen, kun kustannustehokkaampia

vaihtoehtoja ei keksitty. Pinnakorkeuskytkin päätettiin asennettavaksi kourun läpi poistoaukon yläpuolelle (kuva 12). Anturin yläpuolelle päätettiin asennettavaksi myös pieni katos, joka estää suuttimista tulevan veden tulemista suoraan kontaktiin anturin kanssa. Katoksella vältetään pesuveden luomia mahdollisia vääriä signaaleja.



KUVA 12. Pesurin kourun 3D-piirustus

Kun Beckhoffin ohjauslaitteisto ja Sickin anturit oli vastaanotettu, oli aika hankkia toimilaitteet. Toimilaitteiksi hankittiin magneettiventtiili ohjaamaan vedenottoa pesuriin ja 12–110 voltin LED-majakka ohjaamaan autojen kulkua pesurille. Toimilaitteet ostettiin paikallisesta IKH-myymästä, josta ostettiin myös 0,5 mm² kokoista kytkentäjohtinta laitteiden asennusta varten. Kun toimilaitteet oli hankittu, oli kaikki tarvittava automaatiolaitteiston kokoamiseen ja asennukseen.

3.3 Automaatiolaitteiston asennus

3.3.1 Virtalähteen asennus ohjaimeen

Automaatiolaitteiston asennus aloitettiin CX8190-ohjaimen ja sen oheislaitteiden kytkennällä yhteen. Beckhoffin toimituksessa tulivat seuraavat laitteet: ohjain, tulo- ja lähtömoduulit, virtalähde ja tarvittavat lisenssit ohjelmointia varten. Asennus aloitettiin virtalähteen kytkemisellä ohjaimeen. Toimituksessa ei kuitenkaan tullut mukana virtajohtoa, jolla otetaan virtaa sähköverkosta virtalähteelle, joten tämä johto jouduttiin hankkimaan erikseen. Triopak-verkkomyymälästä tilattiin siis 3x1 mm² kokoinen verkkovirtajohto (kuva 13).



KUVA 13. Verkkovirtajohto virtalähteelle (21)

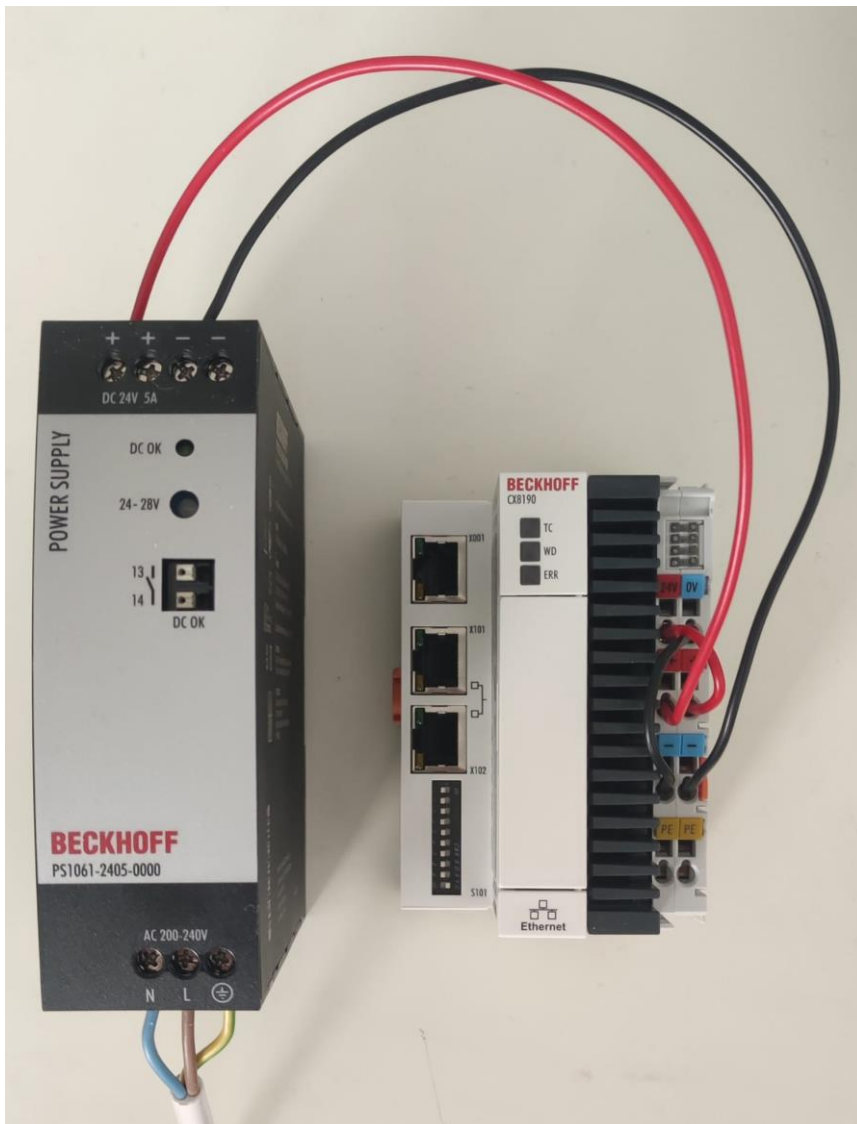
Verkkovirtajohdon sisällä on kolme pienenpää johdinta, jotka ovat väreiltään kelta-vihreä, sininen ja ruskea. Kelta-vihreä johdin on suojajohdin, sininen johdin on virtaa palauttava nollajohdin ja ruskea johdin on virtaa ottava vaihejohdin (22). Verkkajohdon kaapeli on kuorittu avoimeksi, jotta johtimiin pääsee käsiksi vapaasti. Sitten nämä vapaat johtimet kytkettiin niille kuuluville liittimille virtalähteen sisääntuloterminaalissa (kuva 14).



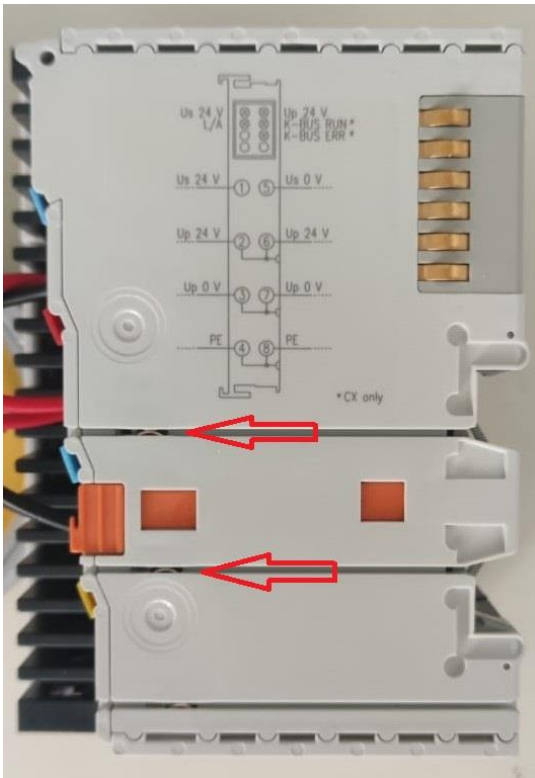
KUVA 14. Verkkovirtajohdon kytkentä ohjaimen virtalähteeseen

Seuraavaksi virtalähde kytkettiin ohjaimen. Lopullisessa asennuskohteessa virtalähteen ja ohjaimen väliin tullaan asentamaan sulake, mutta koestuksen kannalta sitä ei käytetty. Myös muut sähkötyöt asennuskohteessa tulee tekemään ammattilainen. Virtalähteen päältä löytyvästä ulostuloterminaalista johdettiin monisäkeisellä johtimella kytkentä ohjaimen 24 voltin ja 0 voltin

terminaaleihin, eli "+" ja "-" terminaaleihin (kuva 15). Samassa terminaalissa on vieressä paikat, joista voidaan johtaa johtimilla virtaa itse ohjaimelle liittimien ylimmässä väylässä. Virta, joka tuodaan suoraan virtalähteestä ohjaimelle, on sama virta, joka menee myös suoraan tulo- ja lähtömoduuleille. Tähän virransyöttöön ei tarvita erillisiä johtimia, vaan virran suuntaus on ohjattu suoraan ohjaimen oikeanpuoleisella sivulla olevista virtakoskettimista (kuva 16).



KUVA 15. Virtalähteen kytkentä ohjaimen

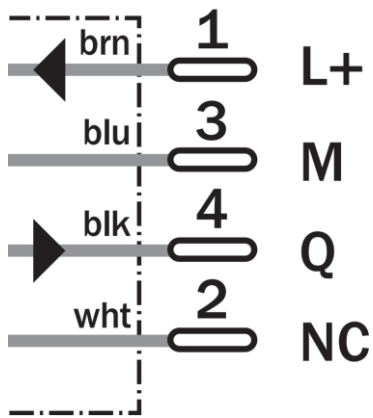


KUVA 16. Ohjaimesta tulo- ja lähtömoduuleille lähtevät virtakoskettimet

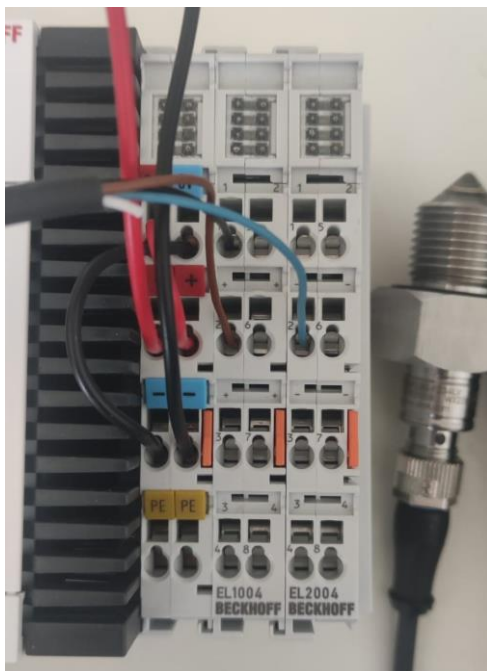
3.3.2 Anturien kytkeminen ohjausjärjestelmään

Anturien asentaminen aloitettiin tulo- ja lähtömoduulien asentamisella ohjaimen. Ensimmäisenä ohjaimen liitettiin tulomoduuli. Tulomoduuli liu'utettiin ohjaimen siten, että moduulin virtakoskettimet tulevat kosketuksiin ohjaimen virtakoskettimien kanssa. Vastaavasti lähtömoduuli liu'utettiin niin, että sen virtakoskettimet tulevat kosketuksiin tulomoduulin virtakoskettimien kanssa.

Kun tulo- ja lähtömoduuli oli liitetty, aloitettiin anturien asentaminen. Anturien asentaminen aloitettiin tasokytkimen kytkennällä tulo- ja lähtömoduuliin. GRF18S-F234LV-tasokytkimen kaapeli oli myös kuorittu avoimeksi, joten kaapelin sisäiset monisäkeiset johtimet voitiin suoraan kytkeä kortteihin. Johtimet oli myös värikoodattu seuraavasti: ruskea, sininen, musta ja valkoinen. Käyttämällä Sickin tarjoamaa liitäntäkaaviota (kuva 17) voitiin kytkeä johtimet oikeisiin paikkoihinsa. Ruskea johdin kytkettiin tulomoduulin positiiviselle virtalähdepaikalle, sininen johdin lähtömoduulin negatiiviselle virtapaikalle, musta johdin tulomoduulin ensimmäiselle signaalin syöttöpaikalle ja valkoinen johdin jätettiin kytkentäkaavion mukaisesti kytkemättä mihinkään (kuva 18).



KUVA 17. GRF18S-F234LV-tasokytkimen kytkentäkaavio (4)



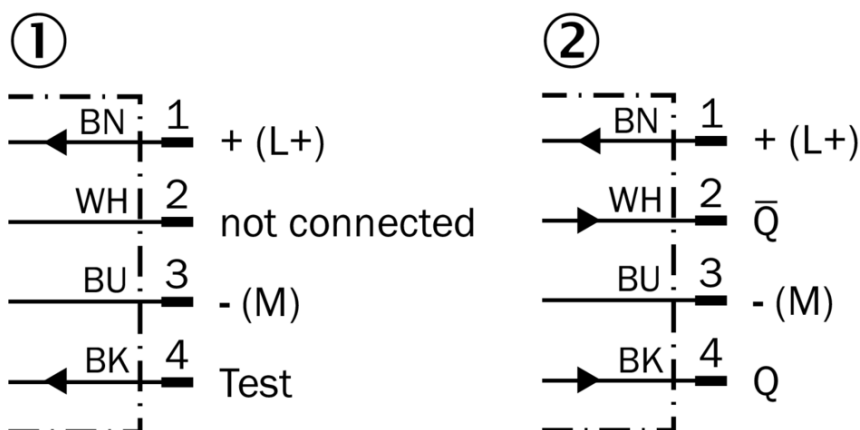
KUVA 18. GR18S-F234LV-tasokytkimen kytkentä tulo- ja lähtömoduuleihin

Anturin toivottua toimintaa pystyttiin jo testaamaan ilman minkäänlaista ohjelmaa. Ohjaimen virtalähde kytkettiin verkkovirtaan, ja anturin toimintaa havainnollistettiin tuomalla sen lasispektri kosketuksiin veden kanssa. Tulomodulin yläpäässä on LED-valo jokaiselle signaalin syöttöpaikalle, joka syttyy, kun kyseiseen paikkaan liitetty anturi saa positiivisen signaalin. Koska LED-valo syttyi havainnollistuksessa (kuva 19), toimi anturi toivotulla tavalla.



KUVA 19. Havainnollistus GRF18S-F234LV-tasokytkimen toiminnasta

Seuraavaksi tulo- ja lähtömoduuleihin kytkettiin WSE9-3P2230-valosähköiset pienoivalokennot. Kytkennässä käytettiin jälleen Sickin tarjoamaa kytkentäkaaviota. Kytkentäkaaviossa vasen kaavio viittaa anturin lähettimen kytkentään ja oikea kaavio vastaanottimen kytkentään (kuva 20) (9). Kytkentä toteutettiin samalla periaatteella kuin tasokytkimen kohdalla, paitsi myös lähettimen "Test"-johdin jätettiin kytkemättä. Myös vastaanottimen kohdalla vain "Q̄"-johdin kytkettiin, koska silloin ohjainjärjestelmä saa anturilta positiivisen signaalin, kun valokennojen väliin tulee jokin este – opinnäytetyön kohdalla auto. Jos "Q"-johdin kytkettäisiin, silloin ohjausjärjestelmä saa positiivisen signaalin, kun mitään estettä ei ole valokennojen välillä.

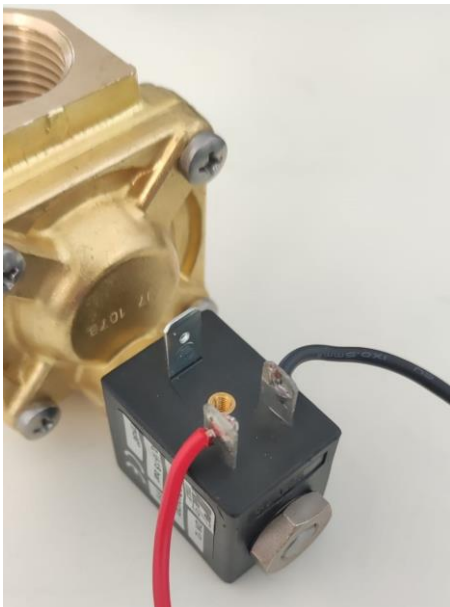


KUVA 20. WSE9-3P2230-valosähköisen pienoivalokennojen kytkentäkaavio (9)

Myös valokennoantureiden toimintaa havainnollistettiin ilman ohjelmaa. Kun valokennojen välille tuotiin jokin este, kuten käsi, tulomoduulin LED-signaali syttyi. Näin tarvittavat anturit oli asennettu oikein sähköisesti ohjausjärjestelmään.

3.3.3 Toimilaitteiden asennus ohjausjärjestelmään

Toimilaitteiden asennus ohjausjärjestelmään aloitettiin pidempien kytkentäjohtimien juottamisella toimilaitteihin. Kytkentäjohtimet juotettiin ensin magneettiventtiin positiiviseen ja negatiiviseen napaan (kuva 21). Pesurin käyttökohteessa voidaan kuitenkin huollettavuuden kannalta hyödyntää venttiin standardoidun urospistokkeen päällä naaraspistoketta, jossa johtimet voidaan liittää suoraan ruuviterminaaleihin. Ohjausjärjestelmässä kytkentäjohtimien ensimmäinen vapaa pää liitettiin lähtömoduulin neljänteen positiiviseen lähtökanavaan, josta venttiili saa virtansa, ja toinen vapaa pää lähtömoduulin vapaaseen negatiiviseen virtalähtöön.



KUVA 21. Juotetut kytkentäjohtimet magneettiventtiilissä

Lopuksi myös LED-majakan virtajohtimet juotettiin pidempiin kytkentäjohtimiin. LED-majakan kohdalla tehtiin pieni poikkeus sen kytkennässä ohjausjärjestelmään. Koska lähtömoduulin kaikki negatiiviset virtalähdöt oli jo käytetty, täytyi negatiivinen kytkentäjohto kytkeä suoraan ohjaimen virtalähdön negatiiviseen ulostulotermiiniin. Kytkentä on koestuksia varten pätevä, mutta lopullisessa automaatiolaitteistossa olisi kannattavaa hyödyntää riviliitintä. LED-majakan

positiivinen kytkentäjohdin kuitenkin pystyttiin liittämään lähtömoduulin toiseen kanavaan. Tämän jälkeen koko automaatiolaitteisto (kuva 22) oli valmis ohjelmointia varten.



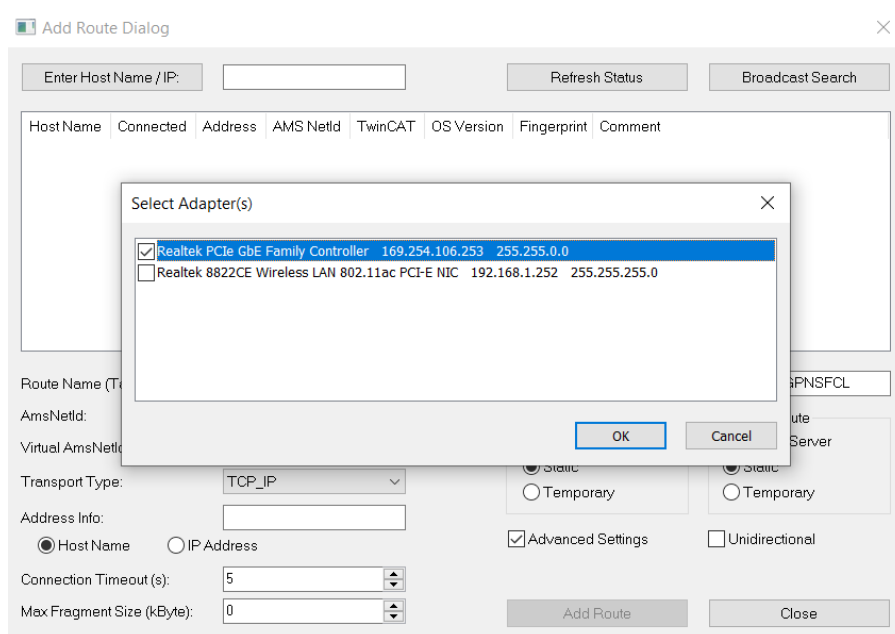
KUVA 22. Valmis asennettu automaatiolaitteisto

4 OHJELMISTO

Tämä luku käsittelee antureiden, toimilaitteiden ja datan lähetyksen ohjelmointia hyödyntäen Beckhoffin TwinCAT-kehitysympäristöä. Ohjelmoinnissa käytetään TwinCAT XAE Shell -sovellusta, jossa kirjoitetaan Structured Text -ohjelmointikielellä. Luvussa esitellään ohjelman eri vaiheet, ja miksi ne kirjoitettiin. Aluksi luvussa pohjustetaan myös ohjausjärjestelmän käyttöönottoa TwinCAT XAE Shell:ssa.

4.1 Ohjausjärjestelmän käyttöönotto TwinCAT XAE Shell -sovelluksessa

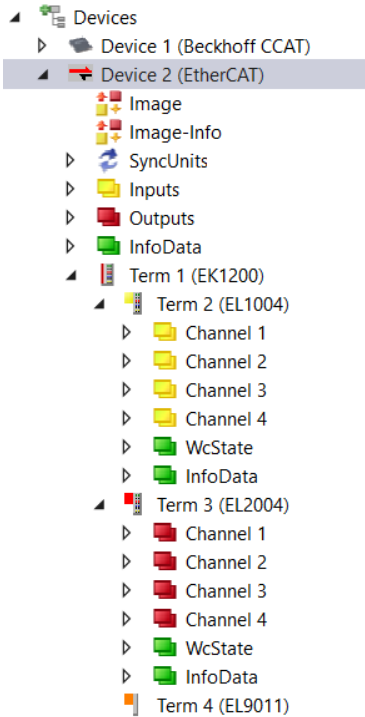
Automaatiolaitteiston ohjelmointi aloitettiin ohjausjärjestelmän käyttöönotolla TwinCAT XAE Shell -sovelluksessa. Käyttöönotto oli yksinkertaista eikä vaatinut haastavia konfigurointeja. Käyttöönotto aloitettiin avaamalla TwinCAT XAE Shell -sovellus ja luomalla uusi PLC-projekti. Tässä vaiheessa ohjausjärjestelmä kytkettiin verkkovirtaan ja ohjain kytkettiin Ethernet-kaapelilla tietokoneeseen. Sitten ohjain etsittiin käyttämällä sovelluksen ”Broadcast Search” -toimintoa. Toiminnossa valittiin ohjaimen hyödyntämä adapteri (kuva 23), ja ohjain oli yhdistetty sovellukseen.



KUVA 23. Ohjaimen yhdistäminen TwinCAT XAE Shell -sovellukseen

Seuraavaksi piti skannata ohjaimen tulo- ja lähtömoduulit. Skannaaminen tapahtui hyödyntämällä sovelluksen vasemmassa laidassa olevassa navigointipuun ”Devices”-välilehden ”Scan”-toimintoa.

Skannauksen jälkeen tulo- ja lähtömoduulin välilehdet "EL1004" ja "EL2004" ilmestyivät navigointipuuhun (kuva 24). Tämän jälkeen varsinainen antureiden ja toimilaitteiden ohjelmointi voitiin aloittaa.



KUVA 24. Skannatut tulo- ja lähtömoduulit

4.2 Antureiden ja toimilaitteiden ohjelmointi

Antureiden ja toimilaitteiden ottaminen osaksi sovellusohjelmaa aloitettiin avaamalla navigointipuusta "MAIN (PRG)", eli pääohjelma. Pääohjelmaan laadittiin aluksi antureille ja toimilaitteille muuttujanimet ja -tyypit globaaleihin muuttujiin. Valosähköanturille annettiin muuttujanimeksi "Kenno", pinnankorkeuskytkimelle "Taso", magneettiventtiilille "Vent" ja LED-majakalle "Valo" (kuva 25). Muuttujatyypiltään kaikki neljä muuttujaa osoitettiin BOOL-muuttujiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että anturit ja toimilaitteet voivat olla muuttuja-arvoltaan joko "1" tai "0", eli tosi tai epätosi. Anturien muuttujille annettiin myös "AT%I*" -osoite, jolla osoitetaan, että kyseessä on tulomoduulien signaaleihin yhdistettävät muuttujat. Vastaavasti toimilaitteille annettiin "AT%Q*" osoite, koska kyseessä on lähtömoduulien signaaleihin yhdistettävät muuttujat. Anturien muuttujat yhdistettiin tulomoduulien oikeisiin kanaviin avaamalla navigointipuusta tulomoduulin välilehti (kuva 26) ja hyödyntämällä "Change Link" -toimintoa. "Taso"-muuttuja yhdistettiin tulomoduulin

ensimmäiseen kanavaan ja "Kenno"-muuttuja kolmanteen kanavaan. Vastaavasti sama toimenpide tehtiin toimilaitteiden muuttujille lähtömoduulin välilehdellä.

```

MAIN*  + X
1  PROGRAM MAIN
2  VAR
3      Kenno    AT%I*  :   BOOL;
4      Taso     AT%I*  :   BOOL;
5      Valo     AT%Q*  :   BOOL;
6      Vent     AT%Q*  :   BOOL;
7
8      PesuAjastin  :   TON;
9      PesuAloita  :   BOOL;
10     ValoAjastin  :   TOF;
11     VentAjastin  :   TOF;
12
13     SMTP        :   FB_SmtpV3;
14     Viesti      :   STRING;
15     Lahetys     :   BOOL;
16     test       :   BOOL;
17     LahetysTrig :   R_TRIG;
18
19     TasoHalytys :   BOOL;
20     TasoAjastin :   TON;
21     LahetysAjastin : TON;
22     LahetysPulssi :  BOOL;
23     LahetysAjastinET: TIME;
24 END_VAR
25

```

KUVA 25. Ohjelman globaalit muuttujat

The screenshot shows a software interface with a tree view on the left and a table on the right. The tree view shows a hierarchy of components under 'Device 2 (EtherCAT)', including 'Term 1 (EK1200)', 'Term 2 (EL1004)', 'Term 3 (EL2004)', and 'Term 4 (EL9011)'. The table on the right lists variables and their properties:

Name	Online	Type	Size
MAIN.Taso	X	BIT	0.1
Input		BIT	0.1
MAIN.Kenno	X	BIT	0.1
Input		BIT	0.1
WcState		BIT	0.1
InputToggle		BIT	0.1
State		UINT	2.0

KUVA 26. Anturien muuttujien yhdistäminen tulomodulien kanaviin

Anturien ja toimilaitteiden ohjelmoinnissa käytettiin sovelluksen kirjaston TON- ja TOF-toimilohkoja. TON-toimilohko on vetohidastusajastin, jossa lähtö menee viiveellä päälle. TOF-toimilohko on päästöhidastusajastin, jossa lähtö menee viiveellä pois päältä. Näissä toimilohkoissa on käytännön kannalta kolme muuttujaa: "IN", "PT" ja "Q". Kun TON-toimilohkossa "IN"-muuttuja on tosi, "Q"-muuttujasta tulee tosi vasta, kun "PT"-muuttujalle annettu ajallinen arvo täyttyy. "IN"-muuttujan

täytyy olla tosi koko tämän arvon ajan, muuten "Q"-muuttujasta ei tule tosi. Kun valokennot havaitsevat auton, venttiili ja valo aktivoituu 200 millisekunnin päästä (kuva 27). TON-toimilohkoa hyödynnettiin ohjelmassa siltä varalta, jos valokennot tuottaisivat satunnaisia signaalipiikkejä.

Kun TOF-toimilohkossa "IN"-muuttuja on tosi, "Q"-muuttuja on tosi. Kun "IN"-muuttuja palaa epätodeksi, "Q"-muuttuja pysyy todellisena niin kauan kuin "PT"-muuttujalle annettu ajallinen arvo täyttyy. Kun auto on ohittanut valokennot, vedenotto ja valon palaminen jatkuu vielä kahden sekunnin ajan (kuva 27). Tällä viiveellä varmistetaan se, että myös takarenkaat saavat varmasti tarpeellisen määrän vettä suuttimilta.

```
2 //Kennon täytyy olla päällä ainakin 200ms, että pesu voi alkaa
3 PesuAjastin(IN:=Kenno, PT:=T#200MS, Q=>PesuAloita, ET=> );
4
5 //LED-majakka jää päälle kahdeksi sekunniksi
6 ValoAjastin(IN:=PesuAloita, PT:=T#2S, Q=>Valo, ET=> );
7
8 //Vedenotto jää päälle kahdeksi sekunniksi
9 VentAjastin(IN:=PesuAloita, PT:=T#2S, Q=>Vent, ET=> );
```

KUVA 27. Valon ja venttiilin toiminnan toteutus ohjelmassa

4.3 Datan lähetys sähköpostiosoitteeseen

Tärkein data liittyen pesuriin, josta tulisi saada tieto mahdollisimman nopeasti, on pinnankorkeuskytkimen aktivoituminen. Kun kytkin aktivoituu, siitä tulisi saada tieto sähköpostiin. Tähän käytettiin ratkaisuksi SMTP-toimilohkoa. Twincat SMS/SMTP mahdollistaa tekstiviestien tai sähköpostien lähettämisen hyödyntämällä PLC-toimilohkoja (23). Toimilohko täytyi ensin ladata ja asentaa Beckhoffin viralliselta tuotesivulta, koska toimilohkoa ei ollut valmiiksi asennettu TwinCAT XAE Shell -sovelluksen kirjastoon. Asennuksessa ladattiin ja suoritettiin toimilohkon EXE-tiedosto, minkä jälkeen toimilohko lisättiin ohjelman "References"-välilehden kirjastoon.

Toimilohkoa varten luotiin uusi Outlook-sähköposti, joka toimii tiedon lähettäjänä. SMTP-toimilohkon tarpeelliset muuttujat määriteltiin globaaleissa muuttujissa (kuva 25), missä esimerkiksi STRING-muuttuja määrittelee, että kyseessä on tekstiä, jota halutaan lähettää verkkoon. Sitten toimilohkole annettiin tarpeelliset tiedot ohjelmassa (kuva 28). Tällaisia tietoja oli esimerkiksi Outlookin SMTP-serverin osoite, datan lähettäjän sähköpostitunnukset ja salasana, vastaanottajan sähköpostiosoite, lähetettävä viesti ja viestin otsikko.

```

11 //lähetettävä viesti sähköpostiin
12 Viesti:='Vedenpinta on noussut tasokytkimen kohdalle. Poista kiintoaine!';
13
14 //Datan lähetyksen konfigurointi
15 SMTP(
16   sSmtpServer:='smtp.office365.com'           //smtp-serveri
17   ,sUsername:='[redacted]@outlook.com'         //lähettäjän sähköpostiosoite
18   ,sPassword:='[redacted]'                     //salasana
19   ,nEncryption:=1
20   ,sFrom:='[redacted]@outlook.com'           //lähettäjän sähköpostiosoite
21   ,sTo:='[redacted]@students.oamk.fi'         //vastaanottajan sähköpostiosoite
22   ,sSubject:='Pesuri 1 HALYTYS'              //viestin otsikko
23   ,pMessage:=ADR(Viesti)
24   ,cbMessage:=SIZEOF(Viesti)
25   ,bExecute:=Lahetys
26 );

```

KUVA 28. SMTP-toimilohko

Datan lähetyksessä hyödynnettiin kahta TON-toimilohkoa (kuva 29). Ensimmäisellä toimilohkolla määritetään, että pinnankorkeuskytkimen täytyy olla aktivoituna vähintään 30 minuuttia. Tällä varmistetaan mahdolliset väärät signaalit kytkimestä. Kun kytkin on ollut aktivoituna 30 minuuttia, ”TasoHalytys”-muuttuja muuttuu todeksi. Toisella TON-toimilohkolla luotiin ajastin ohjaamaan datan lähetystä kuuden tunnin välein. Kun ”TasoHalytys”-muuttuja muuttuu todeksi, ”LahetysPulssi”-muuttuja aktivoituu ja ensimmäinen sähköpostiviesti lähetetään. Tämän jälkeen ajastin käynnistyy, minkä aikana ”LahetysPulssi”-muuttuja on epätosi. Kun ajastin on ollut päällä kuusi tuntia ja aika palaa takaisin alkuun, lähetetään seuraava sähköpostiviesti. Tällä syklillä pyrittiin luomaan viestille parempaa näkyvyyttä, mikäli viesti jää vastaanottajalta huomaamatta. Syklin aikana myös venttiili on sulkeutunut ja LED-majakka palaa.

Lopuksi datan lähetyksessä hyödynnettiin myös Rising Edge -toimilohkoa (kuva 29), jolla varmistetaan, että sähköpostiviestejä ei lähetetä useasti kerralla. Kun toimilohkossa ”LahetysPulssi”-muuttuja on tosi, myös ”Lahetys”-muuttuja on tosi ja sähköpostiviesti lähetetään. Tämän jälkeen kuitenkin ”Lahetys”-muuttuja menee pois päältä ja voi palata takaisin päälle vasta, kun ”LahetysPulssi”-muuttuja on mennyt pois päältä ja sitten aktivoitunut uudelleen päälle.

```

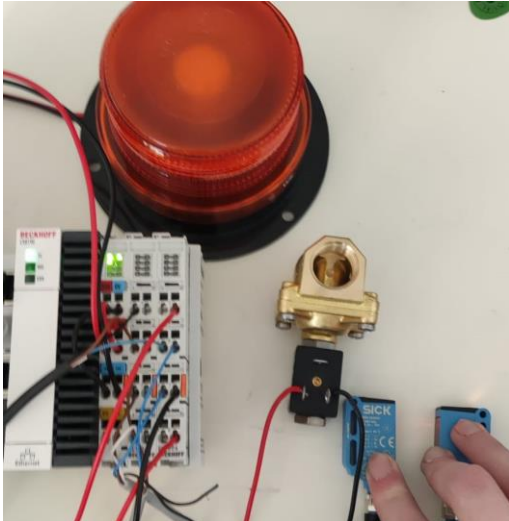
28 //pintakorkeuskytkimen täytyy olla päällä ainakin 30 minuuttia, jotta signaali voidaan lähettää
29 TasoAjastin(IN:=Taso, PT:=T#30M, Q=>TasoHalytys, ET=>TasoAjastinET);
30
31 //ajastin sähköpostiviestin lähetykseen 6 tunnin välein, myös venttiili sammuu ja LED-majakka palaa
32 IF TasoHalytys THEN
33     Vent := FALSE;
34     Valo := TRUE;
35     LahetysAjastin(IN:=NOT LahetysAjastin.Q, PT:=T#6H, Q=> , ET=>LahetysAjastinET);
36     LahetysPulssi:=LahetysAjastinET = T#0S;
37 ELSE //ajastimen nollaus, kun pintakorkeuskytkin ei havaitse enää vettä
38     LahetysAjastinET := T#0S;
39     LahetysAjastin(IN:=FALSE,);
40 END_IF
41
42 //rising edge toimintolohko
43 LahetysTrig(CLK:=LahetysPulssi, Q=>Lahetys);

```

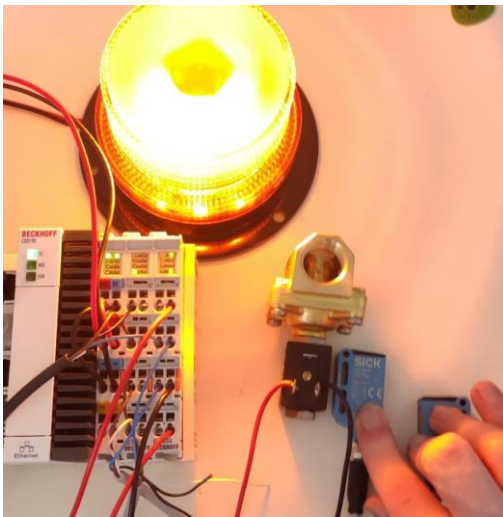
KUVA 29. Datan lähetyksen ohjelmointi

4.4 Ohjelman koestus

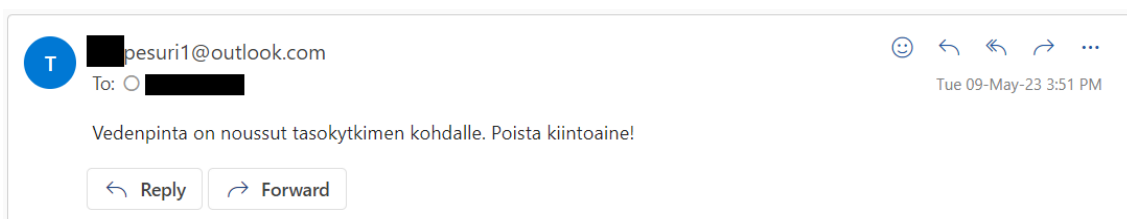
Koska pesuriin fyysiset rakenteet olivat edelleen vasta rakennusvaiheessa, ohjelman koestus piti toteuttaa pelkästään automaatiolaitteistolla. Kun kirjoitettu ohjelma oli ladattu ohjaimen, ohjain irrotettiin tietokoneesta ja liitettiin Ethernet-kaapelilla reitittimeen, jotta ohjain voisi olla yhteydessä internettiin. Kun valokennot eivät havainneet estettä niiden välissä, LED-majakka pysyi sammuneena ja magneettiventtiili kiinni (kuva 30). Kun taas valokennojen välinen yhteys katkaistiin osoittamalla vastaanotin sivuun, LED-majakka syttyi ja venttiili avautui päästään loksauttavan äänen (kuva 31). Sama koestus toteutettiin myös pidemmällä valokennojen välisillä etäisyyksillä, kuten kolmen metrin etäisyydellä. Kun pinnankorkeuskytkin tuotiin kosketuksiin veden kanssa 30 minuutin ajan, LED-majakka jäi palamaan ja venttiili sulkeutui. Myös tieto kytkimen aktivoitumisesta saapui sähköpostiin (kuva 32). Koestuksessa datan lähetyksen sykli asetettiin yhden tunnin pituiseksi. Viesti kytkimen aktivoitumisesta saapui odotetusti sähköpostiin yhden tunnin välein. Koestus todettiin onnistuneeksi ja automaatiolaitteisto oli valmis testattavaksi pesurin rakenteiden yhteydessä.



KUVA 30. LED-majakka sammuneena ja venttiili sulkeutunut, kun valokennot ei tunnista estettä



KUVA 31. LED-majakka palaa ja venttiili aukeaa, kun valokennot menettää yhteyden



Kuva 32. Vastaanotettu tieto pinnankorkeuskytkimen aktivoitumisesta

5 TULOKSET JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa esitetään opinnäytetyössä saadut tulokset ja kehittymismahdollisuudet. Luvussa tarkastellaan tuloksia perustuen projektille asetettuihin tavoitteisiin. Kehittymismahdollisuuksilla esitetään mahdollisia parannuksia liittyen automaatiokokonaisuuden tuotekehitykseen.

5.1 Kiintoaineen tunnistus

Projektissa oli tarkoitus tunnistaa kiintoainetta tehokkaasti veden seasta. Tehokkaaseen tunnistukseen löytyi pätevä vaihtoehto, eli värähtelypintakytkin, mutta kytkimen korkean hinnan takia se jätettiin projektista pois. Värähtelypintakytkimen tilalle keksittiin kuitenkin toimiva vaihtoehto, eli optinen pinnankorkeuskytkin, mikä pystyttiin toteuttamaan moninkertaisesti halvemmalla hinnalla. Kun pesurin kourun poistoaukon suodatin tukkeutuu kiintoaineesta, vedenpinta nousee. Toisin sanoen kiintoaineen tunnistukseen löydettiin halvempi ratkaisu, vaikka itse kiintoainetta ei edes tunnisteta, vaan pelkästään vettä. Pinnankorkeuskytkimen vahvuus verrattuna värähtelypintakytkimeen on myös se, että pinnankorkeuskytkimen käytössä ei haittaa, jos kiintoainetta kasaantuu kouruun epätasaisesti.

Kiintoaineen tehokkaammassa tunnistuksessa on kehittymismahdollisuuksille varaa. Korkeammassa budjetissa voi olla järkevämpää käyttää värähtelytyyppistä anturia, jolla voitaisiin vapaammin säätää anturin värähtelyn herkkyyttä. Herkkyyden säätämällä voidaan valita, milloin toivottu positiivinen signaali saataisiin ohjauksjärjestelmälle ja siten mahdollistaa kourun tyhjennys ennen suodattimen tukkeutumista. Ennakoidulla kiintoaineen tyhjennyksellä voidaan välttää pidemmät huoltokatkot.

Kiintoaineen tunnistuksessa optisella pinnankorkeuskytkimellä voitaisiin myös hyödyntää kahta samaa kytkintä. Kun ensimmäinen kytkin havaitsee veden, voitaisiin aktivoida viestin lähetys, millä ei vielä olisi vaikutusta pesurin toimintaan. Kun toinen korkeamman tason kytkin havaitsee veden, pesurin toiminta pysähtyisi. Jos näiden kahden signaalien välissä tapahtuisi huolto, voitaisiin välttää pidemmiltä huoltokatkoilta pesurin toiminnassa.

Anturoinnin hyödyntämisen lisäksi syntyi kehitysidea mekaaniseen rakenteeseen luotettavamman toiminnan kannalta. Kourussa voitaisiin hyödyntää ylivuotokanavaa, jolla vesi voidaan hallitusti poistaa kourusta, kun ensisijainen poistoaukko on tukkeutunut. Tämä sallisi enemmän aikaa huollon toteutukselle ilman pesuprosessin keskeyttämistä.

5.2 Autojen ohjaus automaatiolaitteistossa

Projektissa oli tarkoitus ohjata autojen tuloa laitteistolle hyödyntäen tunnistavaa anturointia ja liikennevalojärjestelmää. Tunnistavana anturina käytettiin valosähköisiä pienoivalokennoja, jotka osoittautuivat toimivan odotetusti. Liikennevalojärjestelmän kohdalla ratkaisuksi valittiin 12–110 voltin ohjauksella toimiva LED-majakka, joka palaa, kun auto on jo pesurin alkupäässä olevassa vesipesuvaiheessa. Tämä majakka viestittää takana olevalle auton kuskille, että heidän tulisi pysähtyä ja pitää etäisyyttä edessä olevaan autoon, jotta vältetään henkilö- ja välinevahinkoja. Majakka myös jää palamaan, mikäli kiintoaine pitää poistaa pesurin kourusta.

Projektissa jäi silti varaa paremman liikennejärjestelmän kehitykselle. Tässä projektissa edettiin yksinkertaisella yksivaloisella vaihtoehdolla, koska kyseessä on ensimmäinen pesurin automatisoitu järjestelmäyksikkö ja laajempi monivaloinen järjestelmä olisi vaatinut enemmän kanavia tulo- ja lähtömoduuleissa. Koska projektissa pyrittiin hankkimaan laitteisto mahdollisimman vähäkustanteisesti, valittiin halvemmat 4-kanavaiset tulo- ja lähtömoduulit. Kuitenkin jatkekehityksen kannalta tulisi valita moduulit, joissa on enemmän kanavia laajennusvaralla. Perusteellisella liikennevalojärjestelmällä voitaisiin erikseen viestittää vihreällä valolla, että seuraava auto voi ajaa pesurille ja punaisella, että seuraavan auton pitää odottaa vuoroaan. Myös jollain toisella värillä tai LED-näytöllä voitaisiin viestiä ongelmatilanteita, kuten kiintoaineen täyttymistä kourussa.

5.3 Vedenohjaus

Projektiin kaavailtiin alun perin vedenoton sekä vedenpoiston ohjauksen suunnittelua. Vedenoton ohjaukseen valittiin magneettiventtiili, jota ohjataan ohjausjärjestelmällä. Vedenpoistoon kaavailtiin projektin alussa pumppua, jolla vesi saataisiin poistettua viemäriin. Opinnäytetyön loppua myöten kiireellisen aikataulun takia kuitenkin pumpun hankinnasta luovuttiin ja päädyttiin pidättäytymään

toistaiseksi veden valuttamisella pois kourusta lähimpään viemäriin. Pesurin asennuskohteessa parkkihalleissa on käytännössä aina viemäriiliityntä saatavilla.

5.4 Datan lähetys ja seuranta pilvipalvelussa

Koska laitteelta tarvittava data on niin vähäinen, päädyttiin pidättäytymään datan lähetyksessä suoraan sähköpostiin. Sähköpostiin lähetettävän datan hyödyntäminen on yhden muuttujan, eli pinnankorkeuskytkimen, kannalta järkevämpää. Tästä datasta on tärkeä saada tieto välittömästi ilman erillisen pilvipalvelun seuraamista. Projektin alussa kuitenkin suunniteltiin, että laitteistolta saatua dataa voisi mahdollisesti seurata jonkinlaisessa pilvipalvelussa.

Pilvipalvelun hyödyntäminen tulee enemmän tarpeelliseksi, mikäli pesurin laitteistoon lisättäisiin muita dataa kerääviä antureita. Pilvipalvelussa voitaisiin samanaikaisesti tutkia monia eri muuttujia ja luomaan niistä tarpeellisia analyysejä. Mutta myös nykyiselläkin anturoinnilla voitaisiin kerätä dataa pilvipalveluun autojen määrästä ja vedenkulutuksesta perustuen venttiilin aukioloaikaan.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytteen tavoitteena oli luoda automaatiolaitteisto sisäparkkihallien autojen rengaspesurille Tyre Wash TWS Oy:lle. Työssä esitellään tuotekehityksen kokonaisprosessi, johon sisältyy automaatiolaitteiston laadinta, kokoonpano ja ohjelmointi. Projektissa tutkittiin erilaisia antureita autojen havaitsemiseen ja kiintoaineen tunnistamiseen. Projektissa laadittiin eri antureista, toimilaitteista ja ohjausjärjestelmästä koostuva laitteisto, jotka koottiin ja asennettiin yhtenäiseksi automaatiokokonaisuudeksi. Automaatiolaitteisto ohjelmoitiin hyödyntäen Beckhoffin TwinCAT-kehitysympäristöä. Tulokseksi saatiin ensimmäinen toimiva automaatio-ohjausjärjestelmä rengaspesurille, missä on kuitenkin jatkokehitykselle varaa.

Vain pieni osa tavoitteista jäi täyttämättä, eli vedenpoiston toteutus pumpulla ja laajempi datan keräys ja sen seuranta pilvipalvelussa. Vaikka nämä tavoitteet jäivät toteutettua, ne ovat myöhemmin kehitettävissä ja tukevat pesurin laitteiston tehokkaampaa toimintaa. Tärkeimmät tavoitteet kuitenkin toteutettiin ja automaatiolaitteisto valmistui käyttöönotettavaksi osana pesurin laitekokonaisuutta, jos laitteiston testaus myöhemmin valmistuvissa pesurin rakenteissa on menestyksenkäs. Vaikka automaatiolaitteistoa ei päästy opinnäytetyössä asentamaan pesurin rakenteeseen ja testaamaan, oli projekti silti valtava kehitys tuotekokonaisuuden kannalta. Anturit ja toimilaitteet toimivat odotetusti sekä tärkeä data liittyen kiintoaineen täyttymiseen on saatavilla heti sähköpostiin missä tahansa.

LÄHTEET

1. Lewis, Joe 2012. Solid Level Measurement and Detection Handbook. New York: Momentum Press. Hakupäivä 22.11.2022. <https://ebookcentral-proquest-com.ezp.oamk.fi:2047/lib/oamk-ebooks/reader.action?docID=881926>.
2. Dhananjay, Palshikar 2019. Vibrating Fork Level Sensor Principle and Comparison. Sapcon Instruments. Hakupäivä 16.3.2023. <https://www.sapconinstruments.com/kb/Intro-Level-Sensor/vibrating-fork-level-sensor-principle>.
3. Vibrating Tuning Fork Liquid Level Switches 2023. SensorONE. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.sensorsone.com/vibrating-tuning-fork-liquid-level-switches/>.
4. GRF18S / Optinen pinnankorkeuskytkin 2023. Sick. Hakupäivä 1.5.2023. <https://www.sick.com/fi/fi/nesteanturit/pinnankorkeusanturit/grf18s/grf18s-f234lv/p/p591169>.
5. What is an optical level sensor and how does it work? 2023. AutomationForum. Hakupäivä 26.4.2023. <https://automationforum.co/what-is-an-optical-level-sensor-and-how-does-it-work/>.
6. Optical Level Switch Working Principle 2023. Inst Tools. Hakupäivä 26.4.2023. <https://instrumentationtools.com/optical-level-switch-working-principle/>.
7. Proximity Sensors: definition, types, the future 2021. RVMagnetics. Hakupäivä 23.11.2022. <https://www.rvmagnetics.com/proximity-sensors-definition-types-the-future-109>.
8. Capacitive Proximity Sensors: Working Principle, Ranges, and Specifications 2023. Thomasnet. Hakupäivä 23.11.2022. <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/proximity-sensors/>.
9. Pienoisvalokennot W9 2023. Sick. Hakupäivä 17.4.2023. <https://www.sick.com/fi/fi/valokennot/valokennot/w9/wse9-3p2230/p/p223872>.

10. Photoelectric Sensors 2023. Omron. Hakupäivä 18.4.2023. <https://www.ia.omron.com/support/guide/43/introduction.html>.
11. Niu, Feng 2021. Through Beam Photo Electric Sensor. Omch. Hakupäivä 18.4.2023. <https://www.omch.co/through-beam-photo-electric-sensor/>.
12. How does a Solenoid Valve work? 2023. Instrumentationblog.com. Hakupäivä 4.5.2023. <https://instrumentationblog.com/how-does-a-solenoid-valve-work/>.
13. Lee, Jade 2019. NC Solenoid Valve & NO Solenoid Valve? Which One Should I Choose? LinkedIn. Hakupäivä 4.5.2023. https://www.linkedin.com/pulse/nc-solenoid-valve-which-one-should-i-choose-fiona-dai?trk=public_profile_article_view.
14. SÄHKÖOHJAUSVENTTIILI 2/2 1/2 NC 24V 2023. IKH. Hakupäivä 4.5.2023. <https://www.ikh.fi/fi/sahkoohjausventtiili-2-2-1-2-nc-24v-acl2208nc024>.
15. Bolton, W. 2006. Programmable Logic Controllers. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Newnes. Hakupäivä 4.5.2023. <https://ebookcentral-proquest-com.ezp.oamk.fi:2047/lib/oamk-ebooks/reader.action?docID=269812>.
16. Beckhoff Products. Beckhoff. Hakupäivä 8.12.2022. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/>.
17. CX8190 2022. Beckhoff. Hakupäivä 8.12.2022. <https://www.beckhoff.com/en-en/products/ipc/embedded-pcs/cx8100-arm-cortex-a9/cx8190.html>.
18. Matheson, Alex 2023. Soft PLCs vs Hard PLCs – Which is the future? Atlas. Hakupäivä 20.5.2023. <https://weareatlas.com/resources/articles/soft-hard-plcs/>.
19. EL1004 2022. Beckhoff. Hakupäivä 8.12.2022. <https://www.beckhoff.com/en-en/products/i-o/ethernet-terminals/el1xxx-digital-input/el1004.html>.
20. EL2004 2022. Beckhoff. Hakupäivä 8.12.2022. <https://www.beckhoff.com/en-en/products/i-o/ethernet-terminals/el2xxx-digital-output/el2004.html>.

21. Verkkojohto 3x1.0mm² 2m, valkoinen kulmaschuko 2016. Triopak. Hakupäivä 5.5.2023.
<https://www.triopak.fi/fi/tuote/VJMSK3X1L2VA>.

22. Huhtama, Kari 2012. SÄHKÖASENNUSTEN KAAPELEIDEN JOHDINVÄRIT. Harraste
Elektroniikka. Hakupäivä 5.5.2023. <https://huhtama.kapsi.fi/ele/index.php?si=ml29.sis>.

23. TF6350 TwinCAT 3 SMS/SMTP 2023. Beckhoff. Hakupäivä 11.5.2023.
<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/tfxxx-twincat-3-functions/tf6xxx-connectivity/tf6350.html>.