



OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Joni Vimpari

PUMPPAAMOAUTOMAATION VAKIONTI

PUMPPAAMOAUTOMAATION VAKIONTI

Joni Vimpari
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, automaatiotekniikka

Tekijä: Joni Vimpari

Opinnäytetyön nimi: Pumppaamoautomaation vakiointi

Työn ohjaajat: Satu Vähäniikkilä (OAMK), Timo Kakko (Mipro)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 36 + 5 liitettä

Työssä pyrittiin yhdenmukaistamaan jätevesipumppaamon automaatiota. Keskeinen tavoite oli tehdä logiikkaohjelma, joka vastaa mahdollisimman monen asiakkaan tarpeita. Nykyinen tilanne on, että asiakkaille on toimitettu toisistaan poikkeavia jätevesipumppaamoita johtuen asiakkaan poikkeavista tarpeista. Tuotteistuksen näkökulmasta katsottuna tämä on haasteellista. Talon sisällä on ollut jo olemassa niin sanottu vakiopumppaamokonsepti, mutta nykyisellä versiolla ei ole täysin päästy tavoitteeseen löytää vakiototeutus jätevesipumppaamoille.

Tässä työssä otettiin pohjaksi edellisen vakiopumppaamon logiikkaohjelman versio 4.0, jota lähdettiin kehittämään. Työ aloitettiin kartoittamalla eri paikkakuntien pumppaamoiden I/O-liitäntöjä, jotta päästäisiin ymmärrykseen siitä, mitä eri variaatioita jätevesipumppaamoista on toimitettu. Tämän jälkeen laadittiin uudelle vakiopumppaamolle I/O-liitännät, minkä pohjalta lähdettiin kehittämään logiikkaohjelmaa.

Tehtiin yksi logiikkaohjelma, joka vastaa mahdollisimman monen asiakkaan tarpeita. Aikaisemmin on ollut periaatteessa kaksi eri versiota: taajuusmuuttajakäyttö ja suoraikäyttö, joita on vielä muokattu asiakkaiden tarpeiden mukaan. Päätettiin yhdistää taajuusmuuttajakäytön ja suoraikäytön ominaisuudet yhteen ohjelmaversioon. Lisäksi logiikkaohjelmaan lisättiin erilaisia toimintoja, joita on tehty eri asiakkaille. Logiikkaohjelman lisäksi päivitettiin myös kosketusnäyttöpaneeli ja valvomokuvat.

Asiasanat: Jätevesipumppaamon automaatio, ohjelmoitavat logiikat, tuotteistaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programmed in Automation Technology

Author: Joni Vimpari
Title of thesis: Pumppaamoautomaation vakiointi
Supervisor(s): Satu Vähänikkilä (OAMK), Timo Kakko (Mipro)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021
Number of pages: 36 + 5 appendices

Purpose of this thesis was to standardize wastewater pump station automation. Major objective was to improve PLC program. The current situation is that different wastewater pumping stations have been delivered to customers due to different customer needs. From the point of view of productization, this is challenging. There has already been a so-called standard pumping station concept, but the current version has not fully achieved the goal of finding a standard implementation for wastewater pumping stations.

This work was based on version 4.0 of the logic program of the previous standard pumping station, which was started to be developed. The work began by mapping the I / O interfaces of pumping stations in different locations to gain an understanding of what different variations of wastewater pumping stations have been delivered. After that, I / O connections were decided for the new standard pumping station. Based on this I/O, the development of a new version of logic program was started.

One logic program was made to meet the needs of as many customers as possible. In addition, various functions were added to the logic program, which has been done for different customers. In addition to the logic program, the touch screen panel and monitoring view were also updated.

Keywords: Wastewater pump station automation, programmable logic, Productization

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Mipro Oy. Oulun ammattikorkeakoulun vastaavana opettaja toimi sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Satu Vähänikkilä. Opinnäytetyön ohjaavana henkilönä Miprolla toimi Timo Kakko. Erityiskiitos Lauri Ämmälälle ja Joni Pitkäselle, joilta sain runsaasti apuja opinnäytetyön tekemiseen.

Joni Vimpari 15.4.2021

SANASTO

AI Analog Input, analoginen tulo

DC Direct Current, tasavirta

I/O Input/Output, tulo ja lähtö

JVP jätevesipumppaamo

UPS Uninterruptible Power Source, keskeytymätön virran syöttö

SISÄLLYS

SANASTO.....	6
SISÄLLYS.....	7
1 JOHDANTO	9
2 JÄTEVESIPUMPPAAMON AUTOMAATIO	10
2.1 Käytetty logiikka	10
2.1.1 Analogisten tulojen lisäkortti.....	11
2.1.2 Digitaalisten tulojen lisäkortti.....	12
2.1.3 Analogialähdöt	13
2.2 Jätevesipumppaamon automaatio.....	14
2.3 Liikennöinti	15
3 LOGIikkaOHJELMAMUUTOKSET.....	16
3.1 Ohjelmalohkot	17
3.2 Taajuusmuuttajakäytön ominaisuudet	19
3.3 TM3AI8-lisäkorttimuutokset.....	19
3.3.1 Pintamittaus	20
3.3.2 Lämpötila- ja painemittaus	20
3.4 TM3DI8-lisäkorttimuutokset.....	20
3.4.1 Varakäyttöpintakytkin.....	21
3.4.2 Virtauspulssi.....	22
3.4.3 Laitetilan tulvahälytys.....	22
3.5 Uudet ominaisuudet	23
3.5.1 Bittien pakkaus sanoihin	23
3.5.2 Huuhtelu- ja tyhjäsipumpppauksen käsiajo	24
3.5.3 Pintamittausvian lisääminen pumpun lukitusehtoihin	25
3.5.4 Sähkökatkohälytyksen muutokset.....	26
3.5.5 Logiikan hyytymisen seuranta.....	26
3.6 Suunnitelmat seuraavaan ohjelmaversioon.....	27
3.6.1 Kuntoindeksin päivittäminen	27
3.6.2 Pumppujen aikaohjaus.....	27
3.6.3 Pumppujen taaksepäin pyöräytys	28
3.7 SW-FAT.....	28

4	PANEELIMUUTOKSET	29
5	VALVOMOMUUTOKSET	31
6	TUOTERAKENNE	33
7	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin Miprolla 1.1. – 1.4.2021. Mipro on raideliikenteen ja teollisuuden järjestelmiin erikoistunut asiantuntijayritys, joka on ollut vuodesta 1980 mukana kehittämässä turvallisempaa ja toimivampaa raideliikennettä, vesi- ja energiahuoltoa sekä teollisuutta. Mipron järjestelmiä käytetään rautateiden, metrojen sekä vesi- ja energiahuollon prosessien ohjauksessa. (1.) Tämä opinnäytetyö liittyy vesihuollon prosessiin.

Opinnäytetyössä käsitellään pumppaamoautomaation vakiointia. Työssä pyritään löytämään ratkaisuja, joilla päästäisiin eroon asiakkoista räätälöinneistä kohti yhdenmukaisempaa logiikkaohjelmaa. Kun logiikat alkoivat yleistyä jätevesipumppaamoissa, oli tavallista, että eri paikkakunnille päädyttiin tekemään hieman erilaisia pumppaamo-ohjelmia. Monet nykyisistä käytössä olevista ohjelmista ovatkin osittain vanhoja peruja. Ajatus vakiopumppaamosta on ollut olemassa pitkään ja asiaa onkin edistetty, mutta ajan puutteen takia työ on jäänyt vähän kesken. Edellinen vakiopumppaamon versio 4.0 on vuodelta 2018. Tässä opinnäytetyössä lähdetään kehittämään versiota 4.0 siten, että se vastaisi mahdollisimman monen asiakkaan tarpeita ja päästäisiin yhdenmukaisempaan logiikkaohjelmaan. Logiikkaohjelmassa päädyttiin hyödyntämään myös omia ohjelmalohkoja ja funktioita, joita on mahdollista tehdä Machine Expert Basic -ohjelman kehittymisen myötä. Tässä raportissa kerrotaan, mitä muutoksia tehtiin. Työ keskittyy pääasiassa logiikkaohjelmointiin.

Työ aloitettiin kartoittamalla eri paikkakuntien pumppaamoiden automaatiokuvia, jotta päästäisiin ymmärrykseen siitä, mitä eri variaatioita jätevesipumppamoista on toimitettu. Tämän jälkeen laadittiin uudelle vakiopumppaamolle I/O-liitännät, jonka pohjalta lähdettiin kehittämään vakiopumppaamo 4.0-versiota.

2 JÄTEVESIPUMPPAAMON AUTOMAATIO

Pumppaamoautomaatio koostuu logiikoista, jotka liikennöivät valvomoon. Logiikat on sijoitettu pumppaamokohtaisiin automaatiokeskuksiin, jotka koostuvat logiikasta, UPS:sta, virtalähteestä, tietoliikennelaitteesta ja erilaisista kojeista, kuten ylijännitesuojasta.

Logiikat ovat periaatteessa kuin pieniä tietokoneita, joilla ohjataan laitteita automatisoiduissa prosesseissa. Laitteita ohjataan logiikoiden lähtöporttien avulla. Tulokanaviin kytketään kentältä tulevaa tietoa, kuten mittauksia, joiden perusteella lähtöportteja ohjataan.

2.1 Käytetty logiikka

Mipron toimittamissa pumppaamoissa käytetään pääsääntöisesti Schneiderin M221CE24T-logiikoita. Logiikassa on neljätoista digitaalista tuloa ja kymmenen digitaalista lähtöä, yksi sarja- ja yksi Ethernet-liikenneportti (2, s.169). Digitaalisista tuloista viisi ensimmäistä ovat niin sanottuja nopeita tuloja. Nopeille tuloille voidaan tehdä logiikassa aliohjelma (engl. event). Muita digitaalisia tuloja voidaan lukea maksimissaan 5 kHz:n taajuudella (2, s. 23). Logiikassa on myös kaksi 0–10 V:n analogiatuloa, joiden tarkkuus on 10 bittiä (2, s. 254). Tulojen ja lähtöjen määrää voidaan kasvattaa lisäkorteilla. Logiikka toimii 24 VDC jännitteellä. Lisäksi logiikassa on yksi paikka lisämoduulille (engl. cardridge). Logiikan käyttölämpötila on -10 °C - +55 °C (6, s.19). Kuvassa 1 on M221CE24T-logiikka.

M221-sarjan logiikoita ohjelmoidaan Ecostruxure Machine Expert Basic -ohjelmalla (aikaisemmalta nimeltään SoMachine Basic). Ohjelmointikieleksi voi valita joko Ladderin (LD) tai Instruction Listin (IL).



KUVA 1. Modicon M221CET logiikka (2)

2.1.1 Analogisten tulojen lisäkortti

TM3AI8 on kahdeksan analogista tuloa sisältävä kortti, jolla voidaan lisätä logiikan analogisten tulojen määrää. Tulojen tyypiksi voidaan määritellä 0–10 VDC, -10 - +10 VDC, 0–20 mA tai 4–20 mA. Tulojen tarkkuus on 12 bittiä. (2, s. 40.) Kuvassa 2 on TM3AI8-kortti.



KUVA 2. TM3AI8-kortti (4)

2.1.2 Digitaalisten tulojen lisäkortti

TM3DI8 on kahdeksan digitaalista tuloa sisältävä kortti, jolla voidaan lisätä logiikan digitaalisten tulojen määrää. Tulojen jännite on 24 VDC, ne ovat niin sanottuja normaaleja tuloja. (2, s. 37.) Kuvassa 3 on TM3DI8-kortti.



KUVA 3. TMSD18-kortti (3)

2.1.3 Analogialähdöt

Moduuleilla voidaan laajentaa logiikan tuloja tai lähtöjä. Moduuleita voi käyttää vain M221C- ja M221CE-sarjan logiikoissa. M221CE24T-mallissa niille on yksi paikka logiikan päällä. Käytettiin TMC2AQ2C-moduulia. TMC2AQ2C:lla voidaan lisätä logiikkaan kaksi analogialähtöä, joiden tyyppi on 4-20 mA ja tarkkuus 12 bittiä (2, s.34). TMC2AQ2C-moduuli on kuvassa 4.



KUVA 4. TMC2AQ2C (5)

2.2 Jätevesipumppaamon automaatio

Logiikan avulla pumppaamoita voidaan ohjata automaattisesti ja hallita valvomosta käsin. Lisäksi saadaan pumppaamotiedot valvomoon, kuten hälytykset, laskurit ja tilatiedot. Jätevesipumppaamoissa on yleensä kaksi tai useampia pumppuja, joilla jätevettä pumpataan tulopumppaamoihin. Tulopumppaamoilta jätevesi pumpataan jätevesipuhdistamolle. Pumppuja voidaan ohjata paikallisesti tai valvomosta (kaukokäyttö). Valvomosta pumppuja voidaan ohjata automaattilla tai manuaalisesti. Automaattilla ohjattaessa pumppuille asetetaan valvomosta käynnistys- ja pysäytystasot. Käynnistys- ja pysäytystasoja on kahden pumpun pumppaamoissa kaksi ja kolmen pumpun pumppaamoissa kolme ja niin edelleen. Logiikkaohjelmaan on tehty pumppujen vuorottelu, jonka mukaan pumput käynnistyvät. Vuorossa oleva pumppu käynnistyy, kun säiliön pinta nousee yli ensimmäisen käynnistystason. Ensimmäinen apupumppu käynnistyy vastaavasti toisella käynnistystasolla. Pumppujen vuoro vaihtuu, kun pumput pysähtyvät. Pumput pysähtyvät, kun pinta laskee alle pysäytystason.

Pumppaamoissa käytetään yleisesti pumppujen virtamittausta ja säiliön pintamittausta, joka on kaikista tärkein mittausta. Lisäksi voidaan mitata säiliön lähtövirtausta ja esimerkiksi automaatiokeskuksen lämpötilaa. Pumppaamon toiminnallisuus on kuvattu tarkemmin liitteessä 1.

2.3 Liikennöinti

Logiikoilta tieto viedään valvomoon yleensä joko radio- tai 4G-modeemien avulla. Radiomodeemi kytketään logiikan sarjaliikenneporttiin. Master-radiomodeemilta tieto luetaan tietokoneen sarjaliikenneportilta valvomoon. Valvomo lähettää tietoliikennekyselyn master-radiomodeemilta ala-asemille (slave).

4G-modeemi kytketään logiikan Ethernet-porttiin. Modeemit konfiguroidaan operaattorilta saatujen asetusten mukaan. Operaattorin ja asiakkaan kanssa yhdessä sovitaan liikennöintitapa ja mistä kyseiseen modeemiin voidaan ottaa yhteys.

Liikennöintiä varten logiikan muuttujista muodostetaan valvomossa liikennelistat. Liikennelistassa määritetään, mitä muuttujia valvomo liikennöi logiikoista ja niille annetaan valvomosta positiot. Liikennöitävät muuttujat on jaettu liikennelistassa sanomiin: Bittisanoma %M0-%M99, Sana-sanomat %MW100 - %MW199 ja %MW700-%MW750 ja tuplasanasanoma %MD750-%MD800.

3 LOGIIKKAOHJELMAMUUTOKSET

I/O-liitäntöjen eroavaisuuksien selvittäminen aloitettiin selaamalla tehtyjen jätevesipumppaamoiden automaatiokuvia. Selattiin useiden kohteiden automaatiokuvia merkittävimmiltä asiakkailta. Automaatiokuvien I/O-liitännät listattiin, ja sen pohjalta sovittiin palaverissa uuden vakiopumppaamon I/O-liitännät.

Vakioitu I/O on oleellista, koska muuten logiikkaohjelmaakaan ei voida vakioda. Yhdenmukaiset I/O-liitännät helpottavat myös keskusvalmistusta, kun tiedetään, kuinka paljon pitää varata riviliittimiä ja tilaa logiikan lisäkorteille. Liitteessä 2 on esitetty taulukkomuodossa vakiopumppaamon uudet I/O-liitännät, niiden tunnistet ja selitteet. Taulukon pohjalta sähkö- ja automaatiokuvien piirtäjä piirsi automaatiokuvat. Automaatiokuvat ovat liitteenä 3.

Machine Expert Basic -ohjelman kehittymisen myötä lisäkortteihin on tullut Optional-valinta, jonka päälle asettaminen mahdollistaa korttien lisäämisen ”lennosta” (kuva 5). Tällöin logiikka ei mene error-tilaan, vaikka jokin lisäkortti puuttuisi. Lisäkorteilla voidaan halutessa laajentaa vakiopumppaamon liitettävyyttä



KUVA 5. Kuvan kaappaus logiikkaohjelmasta

Taajuusmuuttajakäyttöä varten logiikkaan lisättiin TMC2AQ2C-lisämoduuli, jolla on mahdollista laajentaa logiikan I/O-liitäntöjä siten, että logiikalle tulee kaksi analogilähtöä lisää. Tämä mahdol-

listaa sen, että TM3AM6-korttia ei tarvita taajuusmuuttajakäyttöä varten kahden pumpun pumppaamoissa, kuten tarvittiin aikaisemmin. TMC2AQ2C-lisämoduuli on osa vakiopumppaamon logiikkaa, vaikka sitä ei välttämättä tarvittaisi. Tämän ansiosta on mahdollista tehdä vain yksi ohjelmaversio vakiopumppaamolle.

Pinnanmittaus voidaan kytkeä logiikan AI0 -kanavaan tai TM3AI8-lisäkortille. Logiikkaohjelmassa on valintabitti, joka asetetaan aina1- tai aina0 -bitillä sen mukaan, kumpaan kanavaan mittaus on kytketty: 0 = pintamittaus on kytketty logiikan AI0-kanavaan ja 1= pintamittaus on kytketty TM3AI8-kortille (kuva 6). Tätä valintaa ei voi tehdä valvomosta, koska kyseinen bitti ei ole liikennöitävällä alueella, vaan se on tarkoitus tehdä esimerkiksi FAT-testin yhteydessä.



KUVA 6. Pintamittausvalinta

3.1 Ohjelmalohkot

Exostructure Machine Expert Basic -ohjelmaversiosta 1.6 eteenpäin mahdollistaa omien lohkojen ja funktioiden teon logiikkaohjelmaan (6, s. 30). Lohkoilla ja funktioilla pyritään nopeuttamaan ja helpottamaan ohjelmointiprosessia tekemällä ohjelmasta yhdenmukainen. Muutettiin lohkoiksi ne osiot, jotka ovat tarpeellisia. Huomatiin, että kaikista hyödyllisimpiä ovat ne, joissa tulee toistoa. Esimerkiksi kun lisättiin pumppu tai mittaus, niin lohkoista voi olla hyötyä. Lohkot ja funktiot tuovat sen edun, että niissä on omat sisäiset muuttujat, joita ei tarvitse lisätä käsin ohjelmaan, koska ne tulevat automaattisesti lohkon lisäämisen myötä. Tämä on etu varsinkin toistuvissa laskennoissa, joissa saattaa olla useita välimuuttujia. Lisäksi ohjelmavirheiden määrä pienenee lohkoja käytettäessä. Toisaalta mitään JVP-spesifejä laskentojakaan ei välttämättä kannata tehdä lohkoiksi, koska näitä tarvitaan vain jätevesipumppaamoissa, eikä näitä tarvitse tehdä moneen kertaan, jolloin ne kannattaa tehdä suoraan ohjelmaan.

Lohkojen ja funktioiden keskeinen ero on, että lohko muistaa edellisen ohjelmakierron arvot, kun taas funktio ei. Funktiot ovat periaatteessa vain laskentoja tai vastaavia varten, joissa edellisen ohjelmakierron laskettuja arvoja ei tarvita.

Lohkojen ja funktioiden koodia ei tarvinnut keksiä kokonaan itse, vaan katsottiin mallia edellisestä ohjelmaversiosta. Koodia ei kuitenkaan pystynyt suoraan kopioimaan, koska lohkot eivät ymmärrä esimerkiksi nousevia ja laskevia reunoja tai pulsseja. Jos lohkoissa tarvitaan nousevia tai laskevia reunoja, ne piti tehdä lohkoissa manuaalisesti (Kuva 7).



KUVA 7. 1 sekunnin pulssi lohkoissa

Piti myös miettiä, mitä kannattaa tehdä lohkoissa ja mitä lohkon ulkopuolella. Jotain asioita ei kannata yrittää tehdä lohkomuotoon, vaan ne on helpompi toteuttaa ilman lohkoja Machine Expert Basic -ohjelman ominaisuuksien vuoksi. Osa tässä työssä käytetyistä lohkoista ja funktiosta oli tehty jo aikaisemmin. Lohkoista ja funktioista enemmän liitteessä 4. Tehdyt ohjelmalohkot ja funktiot ovat

- hälytys
- lukitus
- sähkökatko
- yleiset
- käyntivuorolaskuri
- käynnistystaso
- huuhtelupumppaus
- tyhjennyspumppaus
- pumpun ohjaus
- kuntoindeksi
- skaalaus
- käynnistystason vaihtelu
- suodatus
- negatiivisen arvon esto
- taajuusmuuttajan ohjearvon laskenta.

3.2 Taajuusmuuttajakäytön ominaisuudet

Uudessa vakiopumppaamoversiossa taajuusmuuttajakäyttö ja suorakäyttö ovat yhdessä logiikka-ohjelmassa Taajuusmuuttajakäytössä pumppujen kierrosnopeutta säädetään taajuusmuuttajien avulla, mikä mahdollistaa tarkemmat ja monipuolisemmat ohjaustavat. Jätevesipumppaamoissa taajuusmuuttajilla säädetään kierrosnopeutta lineaarisen käyrän avulla, joka määräytyy käynnistys- ja pysäytystasoisille aseteltavien taajuusohjearvojen mukaan.

Analogialähtöportteihin kytketään taajuusmuuttajan taajuusohje. Taajuusohjearvo pienenee sitä mukaa, kun säiliön pinta laskee. Tällä saadaan pumppausaika pitemmäksi, jolloin pumppaus puhdistamolle tasaantuu. Taajuusmuuttajakäytön analogialähtöportteja ei millään tavalla maskata eli nollata tai peitetä, vaikka niitä ei käytettäisikään, jos kyseessä on esimerkiksi suorakäyttö.

Taajuusmuuttaja- ja suorakäytölle on omat tuottolaskentansa. Taajuusmuuttajakäytössä tuotto määritetään tuottokäyrän perusteella, kun taas suorakäytöllä tuotto voi olla joko 100 % tai 0 %. Taajuusmuuttajakäytössä tuotolle määritetään tuottokäyrän pisteet: Min Hz, $\frac{1}{4}$ Hz, $\frac{1}{2}$ Hz, $\frac{3}{4}$ Hz, Max Hz. Tämän jälkeen tuotto lasketaan käyrän perusteella. Molemmat laskennat löytyvät uudesta vakiopumppaamoversiosta.

Tuotolle on ohjelmassa oma valintabitti, jolla valitaan, kumpi on käytössä, taajuusmuuttaja- vai suorakäyttö. Tämä valinta vaikuttaa vain siihen, miten pumpun laskettu tuotto määräytyy, jos lähtövirtauksen laskentatavaksi on valittu nro. 2 eli pumpun tuotto. Tämä valintabitti liikennoidään valvomoon.

3.3 TM3A18-lisäkorttimuutokset

TM3A18-kortille kytketään pumppaamon analogiamittauksia. Voidaan kytkeä myös puhdasvesiverkoston mittauksia, kuten painemittaus. Jätevesipumppaamoille on yleisesti kytketty puhdasvesipuolen mittauksia, koska erillisen mitta-aseman rakentaminen ei aina ole kannattavaa, vaan on joissain tilanteissa helpompi tuoda esimerkiksi puhdasvesilinjan painemittaustieto jätevesipumppaamon kautta valvomoon.

3.3.1 Pintamittaus

TM3AI8-lisäkortti oli osa vakiopumppaamo edellisessä versiossa (v4.0). Nyt se voidaan halutessa jättää kokonaan pois, koska pintamittaus voidaan kytkeä myös logiikan AI0-kanavaan, mutta käytännössä TM3AI8-kortti tullaan hyvin usein laittamaan logiikkaan, koska pumppujen virrat ovat hyvin yleisiä mittauksia pumppaamoissa. Tällöin myös pintamittaus kannattaa kytkeä TM3AI8-kortille, koska se on huomattavasti tarkempi tulo kuin logiikan AI-kanavat (12 bittiä vs. 10 bittiä). Logiikan AI-kanavien raaka skaala logiikassa on oletuksena 0–1000, vastaavasti TM3AI8-lisäkortin raaka skaala on oletuksena 0–10000. Lisäksi pitää ottaa huomioon, että logiikan AI-kanava on 0–10 V:n tulo ja se pitää kääntää 4-20 mA viestiksi esimerkiksi $500\ \Omega$ vastuksella, jolloin $U = 500\ \Omega \times 0.004\text{ A} = 2\text{ V}$. Todellinen mitta-alue on 200-1000 eli 800 ”yksikköä”, jolloin esimerkiksi 10 metrin anturilla tarkkuus on $1000\text{ cm}/800 = 1,25\text{ cm}/\text{”yksikkö”}$ + mahdolliset sähköverkon häiriöt, eli 10 metrin säiliöllä mitattu pinta saattaa heitellä useita senttejä todellisesta, mikä voi aiheuttaa ongelmia. Tämä ei välttämättä ole ongelma alle 5 metrin antureilla, mutta yli 5 metrin antureilla tämä voi mahdollisesti tuottaa ongelmia. Jos vaaditaan parempaa tarkkuutta, silloin kohteeseen pitää laittaa TM3AI8-kortti, vaikka ei tarvittaisi muita mittauksia kuin pintamittaus.

3.3.2 Lämpötila- ja painemittaus

Kortille ohjelmoitiin lisäksi myös puhdasvesipaine- ja lämpötilamittaus (automaatiokeskuksen sisälämpötilamittaus). Näitä ei aikaisemmassa vakiopumppaamoversiossa ollut, mutta näitä on lisätty JVP-logiikkaohjelmiin yleisesti. Mittauksista tehtiin ohjelmaan ylä- ja alarajahälytykset sekä mitta-
vikahälytykset. Ylä- ja alarajat voidaan asettaa valvomosta halutuiksi. Paine- ja lämpötilamittaus pitää skaalata liikennelistassa, toisin kun muut TM3AI8-mittaukset. Muut analogiamittaukset skaalataan logiikassa, joiden skaalausparametri asetetaan valvomosta.

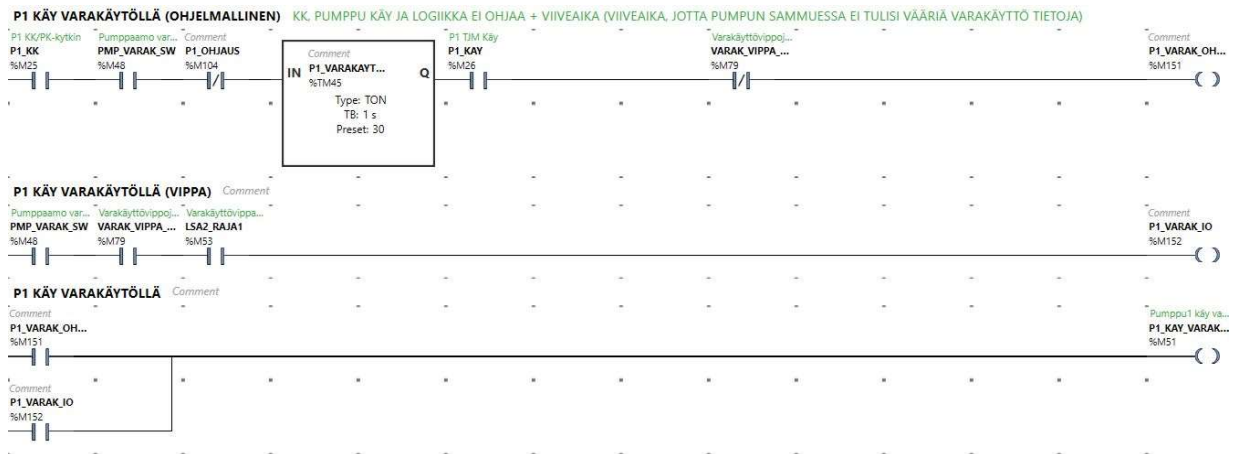
3.4 TM3DI8-lisäkorttimuutokset

TM3DI8-kortille voidaan kytkeä varakäyttövipan kosketintiedot (H- ja HH-rajat), virtausmittarin virtauspulssi, luukkukytkimen kosketintieto ja laitetilän tulvahälytyspintakytkin.

3.4.1 Varakäyttöpintakytkin

Yleensä kaikissa pumpppaamoissa on varakäyttövipat. Vipassa on kaksi rajatietoa: yläraja vuorossa olevalle pumpulle ja ylempiraja apupumpulle (H- ja HH-tasot). Vipoilla ohjataan pumppuja silloin, kun logiikka ei ole toiminnassa. Keskuksissa on valintakytkin sille, onko varakäyttö päällä. Varakäyttövalintakytkin katkoo vipan ohjausjännitteen varakäyttöreleille silloin, kun kytkintä ei ole käännetty 1-tilaan. Varakäyttövippojen rajatietoja ei ole aina tuotu logiikalle. Tällöin valvomoon on tullut ohjelmallinen varakäyttöilmoitus silloin, kun pumppuja on ohjattu varakäytöllä. Ohjelmallinen varakäyttöilmoitus on päällä silloin, kun varakäyttövalintakytkin on 1-tilassa, pumppu kaukokäytöllä ja pumppu päällä, mutta logiikka ei ohjaa pumppuja. Uudessa vakio-pumppaamossa on TM3D18-lisäkortile varattu kaksi ensimmäistä tuloa näille varakäyttövippojen rajatiedoille.

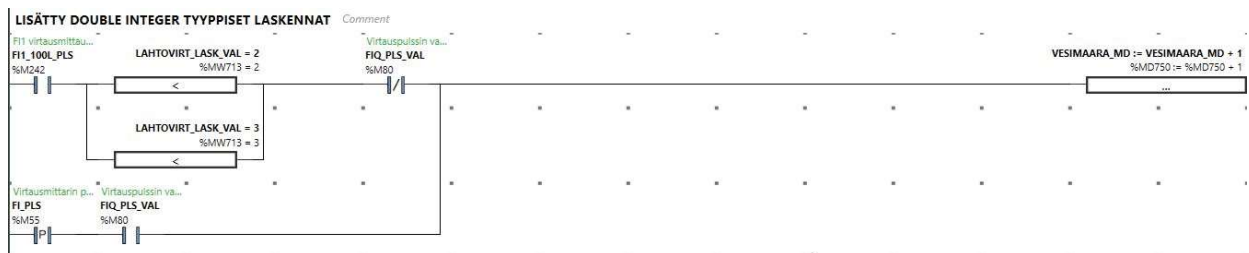
Varakäyttövippojen rajatiedoille LSA1 ja -2 (H- ja HH-raja) tehtiin oma valintabitti, jolla valitaan, onko kyseiset tiedot kytketty myös logiikalle. Voidaan siis valita, onko varakäyttöhälytys ohjelmallinen vai vipan (pintakytkimen) avulla toimiva. Jos valitaan vipa, silloin varakäytöllä tulee ilmoitus, kun varakäyttöpintakytkimen rajakytkin menee päälle. Kuvassa 8 näkyy varakäyttötoiminnallisuus. Aikaisemmissa JVP-ohjelmaversioissa on tehty jompikumpi toiminto riippuen I/O-liitännöistä. Uudessa ohjelmaversiossa on molemmat.



KUVA 8. Pumpun P1 varakäyttötoiminnallisuus logiikassa

3.4.2 Virtauspulssi

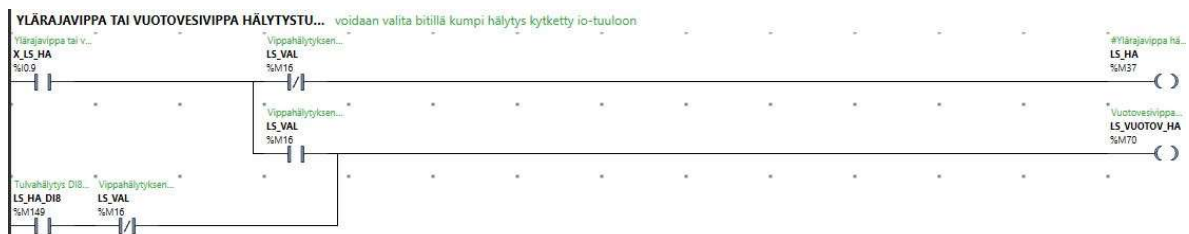
Virtausmittarin pulssi on yleisesti käytössä eri pumppaamoissa, mutta aikaisemmassa vakiopumppaamossa sitä ei ollut. Aikaisemmassa versiossa vesimäärä lasketaan vain lähtövirtauksen perusteella. Nyt on mahdollista, että vesimäärää lasketaan myös virtausmittarin pulssin perusteella. Puls-
sin koko voi olla esimerkiksi 100 l/pulssi. Logiikkaohjelmassa on oma valintabitti sille, onko pulssi
käytössä vai ei. Jos on valittu, että pulssi ei ole käytössä, silloin vesimäärän laskenta tapahtuu
kuten edellisessä ohjelmaversiossa. Kuvassa 9 on vesimäärän laskenta.



KUVA 9. Vesimäärä

3.4.3 Laitetilan tulvahälytys

TM3DI8-kortille voidaan kytkeä laitetilan tulvahälytyspintakytkin, joten laitetilan tulvahälytyspinta-
kytkin ja yläraja-pintakytkin voivat olla yhtäaikaaisesti käytössä, jos on valittu, että I0.9 kanavan hä-
lytys on ylärajahälytys. I0.9 kanavalle voi valita, onko siihen kytketty laitetilan tulvahälytyspintakyt-
kin vai ylärajahälytyspintakytkin (kuva 10). Aikaisemmin on tehty tällöinen valinta, koska I/O:n
määrä oli rajallinen, nyt TM3DI8-lisäkortin myötä voidaan halutessa kytkeä sekä laitetilan tulvahä-
lytyspintakytkin että ylärajahälytyspintakytkin yhtäaikaaisesti. Tällöin ylärajahälytyspintakytkin kyt-
kettäisiin I0.9 kanavaan ja laitetilan tulvahälytyspintakytkin TM3DI8-kortin IN4:seen.



KUVA 10. Tulva- ja ylärajahälytys logiikassa

3.5 Uudet ominaisuudet

Kyseltiin talon sisältä ideoita siitä, mitä ominaisuuksia uusi vakiopumppaamosovellus voisi sisältää. Kaikkia ominaisuuksia ei tehdä tähän oppinäytetyöhön ajanpuutteen takia. Tässä opinnäytetyössä toteutettavat ominaisuudet ovat

- tyhjäsipumppaus käsiajonappi
- huuhtelupumppaus käsiajonappi
- pintamittausvika, joka pitää ottaa huomioon ohjauksissa
- bittien pakkaus sanoihin
- sähkökatkohälytyksen muutokset
- logiikan jäätymisen seuranta.

Kehitysehdotukset, jotka tehdään seuraavaan ohjelmistoversioon, ovat

- kuntoindeksi päivitys siten, että tulovirtaus otetaan huomioon
- aikaohjaus
- pumpun taaksepäin pyöräytys.

3.5.1 Bittien pakkaus sanoihin

Bittien pakkaamisella vähennetään sanomia liikennelistassa, millä pyritään vähentämään radioverkon viivettä suurissa radioverkoissa. Radioverkkoon tulee aina muutaman sadan millisekunnin viive sanomien välille. Jos sanomien määrää pystytään vähentämään, nopeutuu myös radioverkko. Nopeampi radioverkko mahdollistaa reaaliaikaisemman tiedon valvomoon.

Bitit järjesteltiin pakkausta varten kirjoitettaviin ja luettaviin bitteihin. Bitit linkitettiin uudelle alueelle ja laitettiin järjestykseen. Bittien pakkausta varten bittialueen pitää olla kahdeksalla jaollinen. Päätettiin, että kirjoitettavat bitit ovat muistipaikasta %m512 alkaen. Luettavat bitit muistipaikasta %m600 alkaen. Luettavat bitit näytetään valvomossa, kun taas kirjoitettavia bittejä asetetaan valvomosta, näin ollen kirjoitettavien bittien purun kohdalla pitää olla ylihyppäys, mikäli bitit liikennöidään normaalisti omana sanomana, koska muuten kirjoitettavat bitit (%M600 alkaen) asettavat normaalilla alueella olevia bittejä.

Ylihyppäykselle pitää olla valintabitti, jolla valitaan, onko kirjoitettavien bittien ylihyppäys käytössä vai ei (kuva 11). Valitaan, kummalla tavalla bitit liikennöidään: sanoina vai normaalisti bitteinä. Luettavien bittien pakkausta ei tarvitse estää, vaikka sanojen pakkaukselle ei olisikaan tarvetta, koska luettavia bittejä asetetaan vain logiikasta. Valinta tehdään vastaavalla tavalla kuin pinta-mittausvalinta.

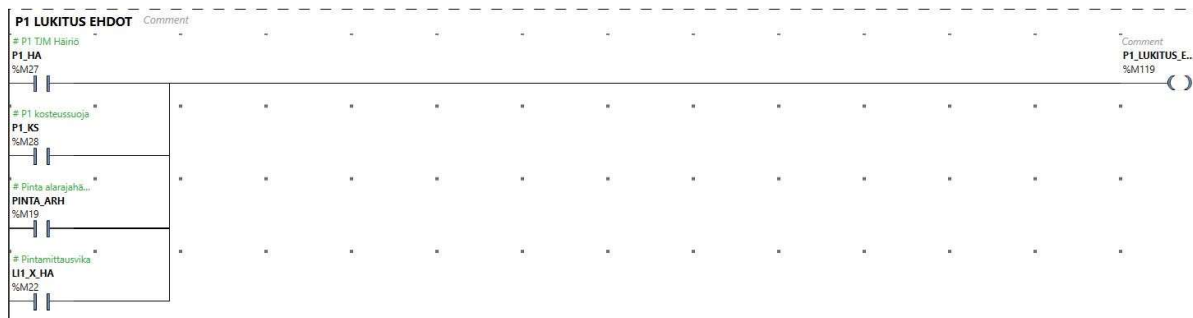


KUVA 11. Kirjoitettavien bittien ylihyppäys

3.5.2 Huuhtelu- ja tyhjäksipumppauksen käsiajo

Huuhtelu- ja tyhjäksipumppauslohkoihin lisättiin bitti, jolla toiminto voidaan käynnistää, vaikka käynnistysehdot eivät olisi toteutuneet. Normaalisti kyseiset toiminnot käynnistyvät vain tiettyinä kellon-aikoina valinnan mukaan, jos toiminto on valittu käyttöön. Ne voivat olla käytössä arkena, viikon-loppuna tai kaikkina viikonpäivinä.

Tyhjäksi pumppauksessa säiliö tyhjennetään halutulle tasolle asti, yleensä alle normaalin pysäytystason. Huuhtelupumppauksessa säiliön pinnan annetaan nousta halutulle tasolle asti, yli normaalin käynnistystason. Molemmissa tapauksissa käsiajobitti nollautuu, kun kyseisen lohkon lähdöstä tulee laskeva reuna. Käsiajonappia painetaan valvomosta ja se menee pois päältä, kun toiminto on suoritettu. Kuvassa 12 on huutelu-pumppausohjelmaloikka.



KUVA 14. Pumpun 1 lukitusehdot

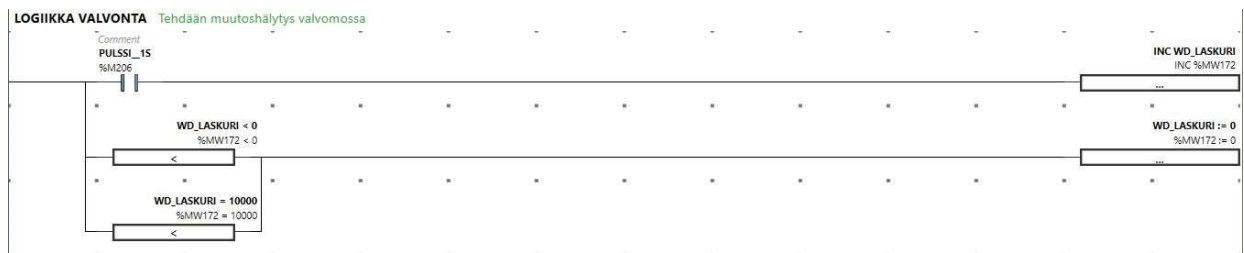
3.5.4 Sähkökatkohälytyksen muutokset

Sähkökatkossa automaatiokeskuksen DC-UPS syöttää logiikkaa, jolloin logiikka pysyy päällä 5–20 min. Jos vaihevahdin tilatieto on 0 eli keskuksessa on sähkökatko, silloin estetään ”turhien” hälytyksien tulo valvomoon. Jos monta pumppaamo menee yhtä aikaa sähkökatkoon, silloin tulee monta sähkökatkotilanteessa epäolennaista hälytystä yhtä aikaa valvomoon. Sähkökatkossa on oleellista tietää säiliön pintaan liittyvä viimeisin tilannekehitys. Sähkökatkotilanteessa estettävät hälytykset ovat

- pumppujen häiriöt
- pumppujen kosteussuojat
- mittauksien mittavikahälytykset
- ristiriitahälytykset
- virtamittauksien ylä- ja alarajahälytykset
- tuottoalarajahälytykset
- lämpötilan ylä- ja alarajahälytykset
- paineen ylä- ja alarajahälytykset.

3.5.5 Logiikan hyytymisen seuranta

Ohjelmaan lisättiin laskuri, jolla voi seurata, onko logiikka hyytynyt esimerkiksi pakkasen takia. Logiikka hyytyy, kun logiikan lämpötila laskee alle -10 °C:een. Jos laskuri pysähtyy, silloin logiikka on hyytynyt. Tästä voidaan tehdä hälytys valvomossa (kuva 15). Näitä on tehty joillekin asiakkaille tarpeen mukaan, mutta ajateltiin, että otetaan tämä toiminto mukaan myös vakiopumppaamoon.



KUVA 15. ns. WD-laskuri

3.6 Suunnitelmat seuraavaan ohjelmaversioon

Ajanpuutteen takia päätettiin jättää kuntoindeksiin päivitys, aikaohjaus ja pumpun taaksepäin pyöräytys seuraavaan ohjelmaversioon. Pohjustetaan kuitenkin tässä raportissa tulevia päivityksiä. Mietitään alustavia suunnitelmia sille, mitä niiden toteutus vaatii.

3.6.1 Kuntoindeksin päivittäminen

Nykyisen kuntoindeksilaskennan ongelma on, että se ei ota tulovirtausta huomioon. Kuntoindeksi toimii siis siten, että se laskee säiliön tyhjennys- ja täyttöaikaa. Kun tyhjennysaika suhteessa täyttöaikaan heikkenee, kuntoindeksin arvo laskee. 1.0 on optimaalinen kuntoindeksin arvo. Nyt ongelma on, että jos säiliö täyttyy samalla kun pumput tyhjentävät säiliötä, laskenta ei pidä paikkaansa. Tulovirtaus pitäisi ottaa huomioon kuntoindeksiä laskettaessa.

3.6.2 Pumppujen aikaohjaus

Asiakkaalta tuli toive, että pumppuja pitäisi pystyä pyöryttämään silloin, kun kulutusta on vähän. Valvomosta asetettaisiin viive, milloin pumppu menisi päälle. Voitaisiin asettaa esimerkiksi, että vuorossa oleva pumppu menisi päälle kerran vuorokaudessa, jos pinta ei ole vielä ehtinyt nousta yli käynnistystason, mutta olisi kuitenkin yli pysäytystason. Tämä ei olisi mitenkään vaikea toteuttaa, mutta ajateltiin, että jätettäisiin kuitenkin opinnäytetyön ulkopuolelle ajankäytön takia.

3.6.3 Pumppujen taaksepäin pyöräytys

Putkitukoksien takia olisi hyvä, että pumppuja voitaisiin pyöräyttää myös taaksepäin. Suorakäytössä tämä vaatisi, että vaihejärjestys muuttuisi. Tarvittaisiin yksi kontaktori lisää keskukseen ja tämän kontaktorin kelaa pitäisi ohjata logiikalla. Taajuusmuuttajakäytön kohdalla tämän toteuttaminen on helpompaa. Taajuusmuuttajissa on mahdollisuus suunnanvaihdolle, jolloin ei tarvitsisi tehdä päävirtapiirin kytkentämuutoksia. Se vaatisi taajuusmuuttajien parametroidin ja ohjauspiirin kytkennän muuttamista siten, että suunnanvaihtotieto saataisiin kytkettyä logiikan lähdöstä taajuusmuuttajan tuloon. Tämä asia vaatii hieman lisäperehtymistä.

3.7 SW-FAT

FAT-testissä (Factory acceptance test) laitteen toimivuus testataan ennen laitteen toimitusta. FAT-testistä tehdään pöytäkirja, jolla voidaan osoittaa laitteen toimivuus asiakkaalle. Koska kyseessä on tällä kertaa vain logiikkaohjelma, joten tehtiin niin sanottu SW-FAT. SW-FAT:ssä käydään läpi ohjelman toiminnallisuudet logiikan simulaattorilla valvomoa ja paneelia vasten. Testin kulku on kuvattu SW-FAT-pöytäkirjassa. Pöytäkirja on liitteessä 5.

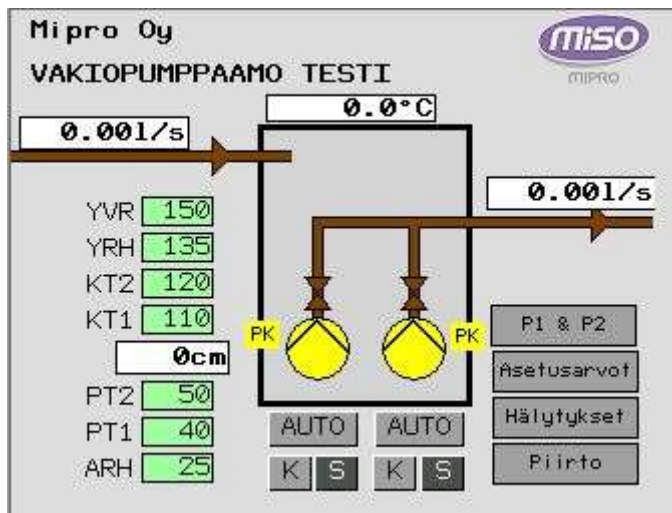
4 PANEELIMUUTOKSET

Automaatiokeskuksen kanteen voidaan sijoittaa kosketusnäyttöpaneeli, jolla helpotetaan pump-
paamon paikallista ohjausta. Paneeli voidaan kytkeä joko sarjaliikennekaapelilla tai Ethernet-kaa-
pelilla logiikkaan. Jätevesipumppaamoissa on yleisesti käytetty Schneiderin Magelis-sarjan
HMISTU855- tai HMISTU655-paneeleita.

Käytettiin pohjana edellistä vakiopumppaamon pohjaa. Lisättiin paneeliin uudet valintanapit ja mit-
taukset. Paneeliin lisätyt valintanapit ovat

- tuottovalinta
- virtauspulssi käytössä / ei käytössä
- varakäyttöpintakytkin hälytyksen valinta
- lämpötilamittaus käytössä / ei käytössä
- painemittaus käytössä / ei käytössä.

Paneeliin lisättiin TM3AI8-kortille lisätyt mittaukset eli paine ja lämpötila. Näille on myös omat va-
lintabitit, joilla valitaan, onko mittaus käytössä. Jos on valittu, että mittaus on käytössä, niin mittaus-
ja asetusarvokentät ilmestyvät paneeliin. Jos mittaus ei ole käytössä, silloin kyseiset kentät poistu-
vat ja mittavika-, ylä- ja alarajahälytykset ohitetaan logiikkaohjelmassa. Lämpötilamittauksessa ohi-
tetaan vain ylärajahälytys ja mittavikahälytys. Näiden mittauksien valintabitit eivät ole liikennöitä-
vällä alueella, joten näitä voidaan asettaa vain paneelista. Toiminnallisuus on tehty siten, että jos
valintabitti on 0, silloin mittaus on käytössä. Vaikka paneeli ei olisikaan käytössä, silti mittaus on
oletuksena valittu käyttöön. Valvomossa ei tarvitse vastaavia valintoja tehdä, koska valvomonäky-
mää voidaan muokata suoraan valvomosta toisin kuin kentällä olevaa paneelia. Kuvassa 16 on
kuvankaappaus vakiopumppaamon paneelista simulaattorissa.



KUVA 16. Paneeli

Lisäksi tehtiin pieniä muutoksia. Esimerkiksi parametrivälilehdelle pääsee sitten, kun pidetään parametrin- nappia pohjassa 2 s. Asiakkaan nimi- ja pumppaamon nimi -kentät voidaan asettaa suoraan paneelissa halutuksi. Paneelin sisäisiin asetuksiin pääsee pikanäppäinyhdistelmän lisäksi myös viimeiseltä parametrisivulta.

Taajuusmuuttaja- ja suorakäytölle on omat paneeli- ja valvomokuvat. Taajuusmuuttaja- ja suora- käyttövalvomokuvissa on eroina tuottomääritys ja taajuusmuuttajakäyttöön liittyvät ohjeavvot. Jos bitit pakataan sanoiksi logiikassa, tätä varten tehtiin myös omat paneeliversiot. Näiden erona on, että jos bitit on pakattu, pitää Kirjoitettavat bitit dynamisoida paneelille uudestaan, koska tällöin bittejä asetetaan eri muuttujasta kuin aikaisemmin.

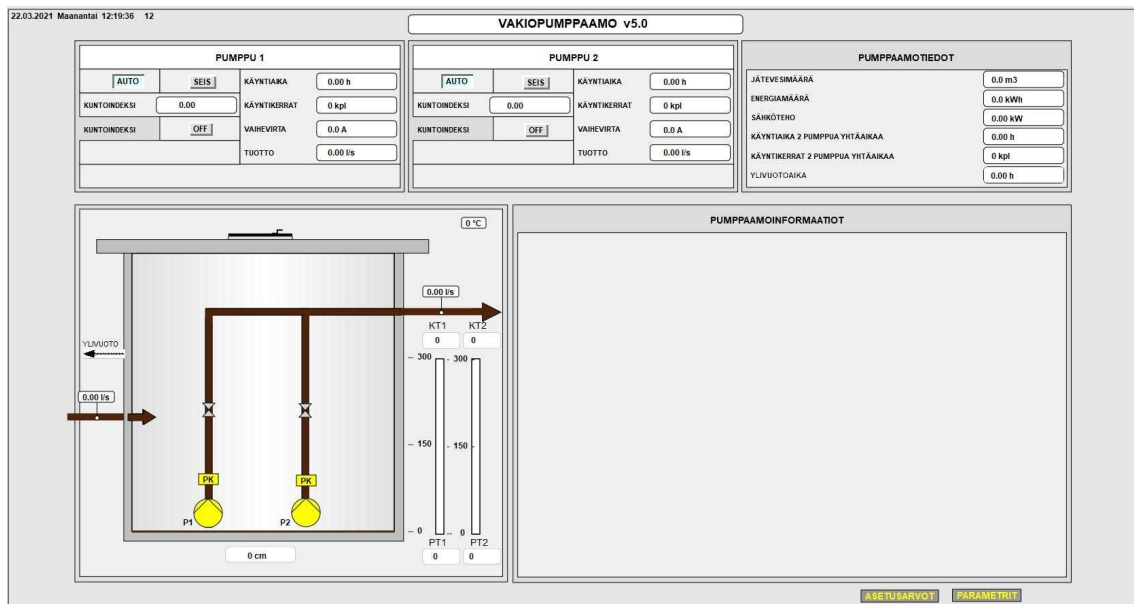
5 VALVOMOMUUTOKSET

Miprolla on oma valvomo-ohjelmisto, joka perustuu Java- ja Html5-ohjelmointikieliin ja on suunniteltu vesi- ja energiahuollon tarpeisiin. Valvomosta seurataan ja hallitaan prosesseja. Keskeisiä työkaluja tähän ovat valvomokuvat, joissa prosessista on tehty jokin havainnollistava kuva esimerkiksi PI-kaavio. Kuvasta näkyvät keskeisten mittausten ja laitteiden sijainti ja tila. Kyseessä on staattinen kuva, jonka päälle on dynamisoitu halutut logiikan muuttujat.

Pohjaksi otettiin eräälle asiakkaalle kesällä tehdyt jätevesipumppaamovalvomon kuvapohjat. Valvomokuvaan tehtiin pieniä viilauksia: tuottomääritys-bittikenttä ja puhdasvesipaineKenttä otettiin pois valvomokuvasta. Valvomoon lisättiin lämpötilamittauksen nappi ja seuraavat valintanapit:

- tuottovalinta
- virtauspulssi käytössä / ei käytössä
- varakäyttöpintakytkin hälytyksen valinta.

Kuvapohjat oli tehty eräälle asiakkaalle suoraikäytön mukaan, joten näistä kuvista muokattiin myös taajuusmuuttajaversio kuten paneeleistakin. Jos bitit on pakattu sanoihin, näistä on myös omat valvomoversionsa, koska muuttujat bittien osalta vaihtuvat eriksi, koska bitit eivät tule enää liikennelistan bittisanomasta vaan sanasanomasta. Kuvassa 17 on vakiopumppaamon uusi pääkuva.



KUVA 17. Pumppaamon pääkuva

6 TUOTERAKENNE

Tässä raportissa tehdään karkea tuotejaottelu vakiopumppaamon tulevaa tuotteistamista varten. Ajatus on, että jatkossa jätevesipumppaamoista voisi olla kolmea mallia:

- Suppea
- Perus
- Laajennettu.

Suppea sisältäisi vain logiikan ilman lisäkortteja, jolloin siinä ei olisi muita analogisia mittauksia kuin pintamittaus, joka olisi kytketty logiikan analogiatuloon. Tämä olisi luonnollisesti kaikista halvin vaihtoehto.

Perus-malliin kuuluisi TM3AI8-lisäkortti. Tämä malli olisi syytä laittaa, mikäli pumppaamossa tarvitaan muitakin analogiamittauksia kuin pintamittaus. Se on syytä laittaa myös silloin, kun vaaditaan suurempaa tarkkuutta pintamittaukselta.

Laajennettuun malliin kuuluisi TM3AI8-kortin lisäksi vielä TM3DI8-kortti, jolla voidaan lisätä logiikan digitaalisia tuloja. TM3DI8-kortille voidaan kytkeä varakäyttöpintakytkin, laitetilän tulvahälytyspintakytkin, luukkukytkintieto tai virtauspulssi.

7 YHTEENVETO

Aluksi lähdettiin selvittämään eri jätevesipumppaamoiden I/O-liitäntöjen eroavaisuuksia selaamalla eri jätevesipumppaamoiden automaatiokuvia, joiden pohjalta päätettiin uuden vakiopumppaamon I/O-liitännät. Tässä onnistuttiin. Sain palautetta, että uusi I/O on riittävän kattava.

Ohjelmistomuutoksien yhteydessä päätettiin hyödyntää uuden Machine Expert Basic -version mahdollistamat omat ohjelmalohkot. Näiden tekeminen oli yllättävän työlästä. Näiden tekemiseen meni ehkä liikaa aikaa suhteessa muuhun tekemiseen. Lohkoista on hyötyä eniten sellaisissa tilanteissa, joissa tulee paljon toistoa esimerkiksi, kun lisätään hälytys tai skaalaus laskennassa. Lohkot tuovat myös tietynlaista selkeyttä, mutta kaikkea ei kannata muuttaa lohkoiksi pelkästään tekemisen ilosta, koska lohkojen teko on hieman työlästä ja niiden käyttäminen Machine Expert Basic -ohjelmassa ei ole täysin ongelmaton johtuen ohjelman vähäisistä ominaisuuksista. Ehkä lohkojen teko olisi kannattanut jättää kokonaan pois ja keskittyä enemmän uusien ominaisuuksien kehittämiseen.

Kun lohkot ja uusien I/O-liitäntöjen ominaisuudet saatiin tehtyä, pidettiin kehityspalaveri, jossa keskusteltiin vakiopumppaamon logiikkaohjelman kehittämisestä. Alun perin kaikki ehdotukset piti toteuttaa, mutta sovittiin, että tehdään osa ja lopuista tehdään alustavat suunnitelmat seuraavaan ohjelmaversioon. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska aika ei olisi riittänyt kaikkien uusien ominaisuuksien toteuttamiseen.

Alun perin yksi opinnäytetyön tavoitteista oli tuoda myös tuotteistuskäsitteitä jätevesipumppaamoon. Varsinainen tuotteistamistyö rajattiin kuitenkin pois opinnäytetyöstä. Sovittiin, että teen raporttiin yksinkertaisen tuoterakennehahmotelman sekä tuotekuvauksen liitteeksi, joita sitten lähdetään jatkojalostamaan. Tulevaisuudessa toteutetaan luvussa 4.6 mainitut ominaisuudet ja itse tuotteistustyö.

LÄHTEET

1. Mipro. Saatavissa: <https://www.mipro.fi/> Hakupäivä 13.3.2021
2. Modicon M221 Logic Controller Hardware Guide. Saatavissa:
<https://www.se.com/ww/en/product/TM221CE24T/logic-controller%2C-modicon-m221%2C-24-io-transistor-pnp-ethernet/?range=62128-modicon-m221&selected-node-id=12692210272&filter=business-1-industrial-automation-and-control&parent-subcategory-id=3910> Hakupäivä 12.3.2021.
3. Modicon TM3DI8. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/TM3DI8/discrete-input-module%2C-modicon-tm3%2C-8-inputs-%28screw%29-24-vdc/?range=62131-modicon-tm3&selected-node-id=12145272474&filter=business-1-industrial-automation-and-control&parent-category-id=3900&parent-subcategory-id=3910>
Hakupäivä 17.3.2021
4. Modicon TM3AI8. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/TM3AI8/analog-input-module%2C-modicon-tm3%2C-8-inputs-%28screw%29-24-vdc/?range=62131-modicon-tm3&node=12145272551-analog-i-os&selected-node-id=12145272551&filter=business-1-industrial-automation-and-control&parent-category-id=3900&parent-subcategory-id=3910>
Hakupäivä 17.3.2021
5. Modicon TMC2AQ2C. Saatavissa: <https://www.se.com/ww/en/product/TMC2AQ2C/analog-output-cartridge%2C-modicon-m221%2C-2-analog-current-outputs%2C-i-o-extension/?range=62128-modicon-m221&node=12692215443-options&selected-node-id=12692215753>
Hakupäivä 17.3.2021
6. MachineExpert-Basic-ReleaseNotes-en. Saatavissa: Machine Expert Basic -ohjelman sisäinen dokumentti. Hakupäivä 13.3.2021

LIITTEET

Liite 1 Toimintakuvaus

Liite 2 IO-selitteet

Liite 3 Automaatiokuvat

Liite 4 Ohjelmalohkojen kuvaus

Liite 5 FAT-Pöytäkirja