



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sergei Shkulev

# Ohjelman suunnittelu vedenottamon pumppaamon ohjelmoitavalle logii- kalle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

25.03.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sergei Shkulev Ohjelman suunnittelu vedenottamon pumppaamon ohjelmoitavalle logiikalle 35 sivua + 4 liitettä 25.03.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Ilpo Hirvasniemi lehtori Timo Kasurinen
<p>Opinnäytetyön tavoite on kuvata ohjelmoitavan logiikan ohjelmiston suunnitteluprosessia. Automatisointiprosessien ohjelmistokehityksen yleisiä periaatteita voidaan soveltaa erilaisiin automaatiokohteisiin, esimerkiksi pumppuihin, venttiileihin, sekoittimiin, kompressoreihin, lämmittämiin ja muihin laitteisiin.</p> <p>Automatisointikohteena on Parikkalan kunnalla sijaitseva Heralammen vedenottamon laiteisto. Tämä vedenottamon pumppaamo on yksi muista automaatiojärjestelmän kohteista, jotka liittyvät Hi-Automation Oy:n yrityksen suunnittelemiin ja käyttöön ottamiin projekteihin.</p> <p>Työssä on esitetty todelliseen automaatiojärjestelmän ohjelmistoon liittyvä vaatimusmäärittely. Työssä tarkemmin käsitellään UML-kielellä rakennettua ohjelmistokaaviota. Edelleen tämän kaavion mukaan on kuvattu ohjelmien ja toimintolohkojen toiminnallisuusmahdollisuudet. Lisäksi työssä on käsitelty, kuinka säätöpiirien yleisestä esityksestä saadaan konkreettisuutta käytännön ratkaisu. Esitetty siirto ja kuinka saadaan yleiseltä säätöpiiriltä konkreettisiin säätöpiireihin, mikä käytännössä antaa käsityksen säätimien käytön automaatiojärjestelmien säätöpiireissä. Ohjelmien ja toimintolohkojen tarkempi toteutus jää tämän opinnäytetyön käsittelyn ulkopuolelle, ne voivat vaihdella riippuen valitusta toteutustavasta, ohjelmoitavasta logiikasta ja ohjelmointikielestä.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tuloksena on ohjelmiston ja toiminnallisten lohkojen rakenteen suunnittelu vedenottamon pumppaamolle, jotka voidaan ottaa lähtökohdaksi ohjelmoitavan logiikan ohjelmiston toteutusta varten.</p>	
Avainsanat	PLC, UML, ohjelmisto, suunnittelu, pumppaamo

Author Title	Sergei Shkulev Design of PLC Program for Water Intake Pump Station
Number of Pages Date	35 pages + 4 appendices 25 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Ilpo Hirvasniemi, CEO Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to describe the design process of the programmable logic controller software. General principles of software development for automation processes can be applied to various automation objects including pumps, valves, mixers, compressors, heaters and other equipment.</p> <p>Heralampi water intake station located in Parikkala municipality was taken as an automation object. The water intake station is one of the objects of the automation systems related to projects designed and commissioned by Hi-Automation Oy company.</p> <p>The thesis presents the requirements for automation system software. The thesis describes in detail the UML-based software scheme. Furthermore, according to this scheme, the functionality capabilities of programs and functional blocks are described. In addition, the transfer from the general control circuit to the concrete control circuits are presented. The thesis gives an understanding of the use of the regulator in the control circuits of automation systems in practice. The implementation of programs and function blocks are beyond the scope of this thesis and may vary depending on the chosen implementation mode, programmable logic and programming language.</p> <p>The result of this thesis is the design of the software and the structure of the functional blocks for the water intake pump station, that can be taken as a starting point for the implementation of the software for the programmable logic controller.</p>	
Keywords	PLC, UML, software, design, pump station

## Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Laitteiston instrumentointi	4
3	Vaatimusmäärittely toteutetulle järjestelmälle	6
3.1	Ohjauksiin liittyvät vaatimukset	6
3.1.1	Raakaveden pumppaus	6
3.1.2	Verkostoveden pumppaus	8
3.2	Valvonnat, muut toiminnot	10
4	Laitteisto ja tiedonsiirto	10
5	PLC:n ohjelman suunnittelu	13
5.1	PLC ja sen moduulit	13
5.2	PLC:n ohjelman rakenne	13
5.3	Pääohjelma	18
5.4	Mittaukset	24
5.5	Säätimet	24
5.6	Moottorit	29
5.7	Lukitukset	31
5.8	Laskennat	32
5.9	Tilasiirto	32
5.10	Aika	33
5.11	TestRVP ja TestVP	33
6	FAT-testi	33
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	35

## Liitteet

Liite 1. Heralammen vedenottamo, kaukokäyttöjärjestelmä, prosessikaavio

Liite 2. Liityntäluettelo

Liite 3. Käytetyn ohjelmiston luettelo

Liite 4. Raakaveden ja verkostoveden prosessin tilakaavio

## Lyhenteet ja käsitteet

FAT Factory Acceptance Test. Tilaajan ja järjestelmätoimittajan yhteistyössä toteuttama dokumentoitu toiminnallinen tarkastus, joka suoritetaan toimittajan tarjoamassa ympäristössä, esimerkiksi simulaattorissa.

HMI Human machine interface. Valvomo.

PC Personal computer. Tietokone.

PLC Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition. Tietokoneohjelmistotyyppi, joka tunnetaan myös nimillä valvomo-ohjelmisto tai PC-valvomo. Valvomossa on tietokoneella toteutettu graafinen käyttöliittymä automaatiojärjestelmiin.

Modbus Avoin ja lisenssimaksuton sarjaliikenneprotokolla, joka on tarkoitettu käytettäväksi ohjelmoitavien logiikkojen (PLC) kanssa.

HART Highway-Addressable Remote Transducer. Protokolla automaation digitaaliseen tiedonsiirtoon.

UML Unified Modeling Language. Object Management Groupin (OMG) vuonna 1997 standardoima graafinen mallinnuskieli, joka sisältää 13 erilaista kaaviota. Kaavioista kuudella kuvataan rakennetta, kolmella käyttäytymistä ja neljällä vuorovaikutusta.

Tag Tiedonsiirron muuttujan tunnistenimi.

Alkalointi Veden pH-arvon nosto.

Taajuusmuuttaja Moottorinohjain, joka ohjaa sähkömoottoria muuttamalla sen tehonsyötön taajuutta ja jännitettä

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kuvata ohjelmiston suunnitteluprosessia vedenottamon laitteiston automatisointia varten. Automatisoinnin kohteena on Heralammen vedenottamo, joka on osa Parikkalan kunnan puhtasvesilaitteistoa. Puhtasvesilaitteistoon kuuluu Heralammen vedenottamo, Kirjavalan vedenottamo, Ristimäen ja Kirjavalan paineenkorotusasemat ja vesitorni. Puhtasvesiprosessista on esitetty kuvan 1 mukainen järjestelmäkaavio. Heralammen vedenottamossa vesi otetaan siiviläputkikaivoista, alkaloidaan ja pumpataan kulutuksesta riippuen vesiputkistossa eteenpäin. Vesitornin pinnankorkeuden mittaustieto siirretään automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoyhteydellä Heralammen vedenottamon automaatiokeskukseen.

Automaatiokeskuksen ohjelmoitava logiikka (PLC) ohjaa verkostoveden pumpausta joko vesitornin pinnankorkeuden tai verkostoveden paineen mittausten mukaan. Käynnistys- ja pysäytysrajat asetellaan SCADA-järjestelmässä. Sitten verkostovesi menee painekorotusasemille, joissa lähtöveden paine nostetaan. Kirjavalan paineenkorotus- asemasta lähtevään putkistoon on kytketty Kirjavalan vedenottamo.

Työ keskittyy Heralammen vedenottamon liitteen 1 prosessikaavion mukaisen PLC-ohjelmistosuunnittelun kuvaamiseen.

Ennen projektin kehitystyön aloittamista työn osapuolet kuten insinöörit, johtajat ja erilaiset asiantuntijat luonnostelevat hankkeelle vaatimuksia, jotka koostuvat kaavioista, tarkemmista mielikuvista ja luonnoksista. Myöhempien keskustelujen aikana vaatimuksia ja muita suunnitteludokumentteja tarkennetaan, korjataan ja lopulta saamme toimivan luonnoksen järjestelmäkaaviosta hanketta varten.

Opinnäytetyössä kuvataan automaatioprosessin vakiomuotoisen ohjelmistosuunnittelun lähestymistavan lisäksi mahdollisuutta kuvata UML-ohjelmistomallinnuksella PLC:n ohjelmistorakennetta. UML:n olioperusteinen luokkakaavio on tarkempi kuin esimerkiksi miellekartta tai muu heikosti rakennettu kaavio, mikä mahdollistaa tehdyn kuvauksen kääntämisen työkodeiksi tehokkaammin projektia toteutettaessa.

Hyvin muodostettu UML-kaavio on helposti skaalautuva, jos projekti on suurempi tai monimutkaisempi. Mikäli tapahtuu henkilöstön vaihtumista, UML-esityksen avulla uusien automaatio-suunnittelijoiden ja sulautettujen järjestelmien ohjelmistosuunnittelijoiden on helpompi tutustua suureen projektiin, jolla on monimutkainen rakenne.

Projektin ajan tasalla oleva UML-kaavio järjestelmästä vaikuttaa suoraan uuden asiantuntijan parempaan perehdyttämiseen työhön. Lisäksi järjestelmän käyttäjien koulutus voi rakentua tämän tyyppisen kaavion mukaan.

Ohjelmistosuunnittelussa UML-mallinnus on sopiva työkalu kuvaamaan järjestelmän ohjelmistoarkkitehtuuria. Koska UML-esitys on oliokeskeinen, sen analysointi ja suunnittelun tulosten kuvaukset esitetään nykyaikaisissa olio-ohjelmointiin perustuvissa kielissä semanttisesti samalla tavalla.

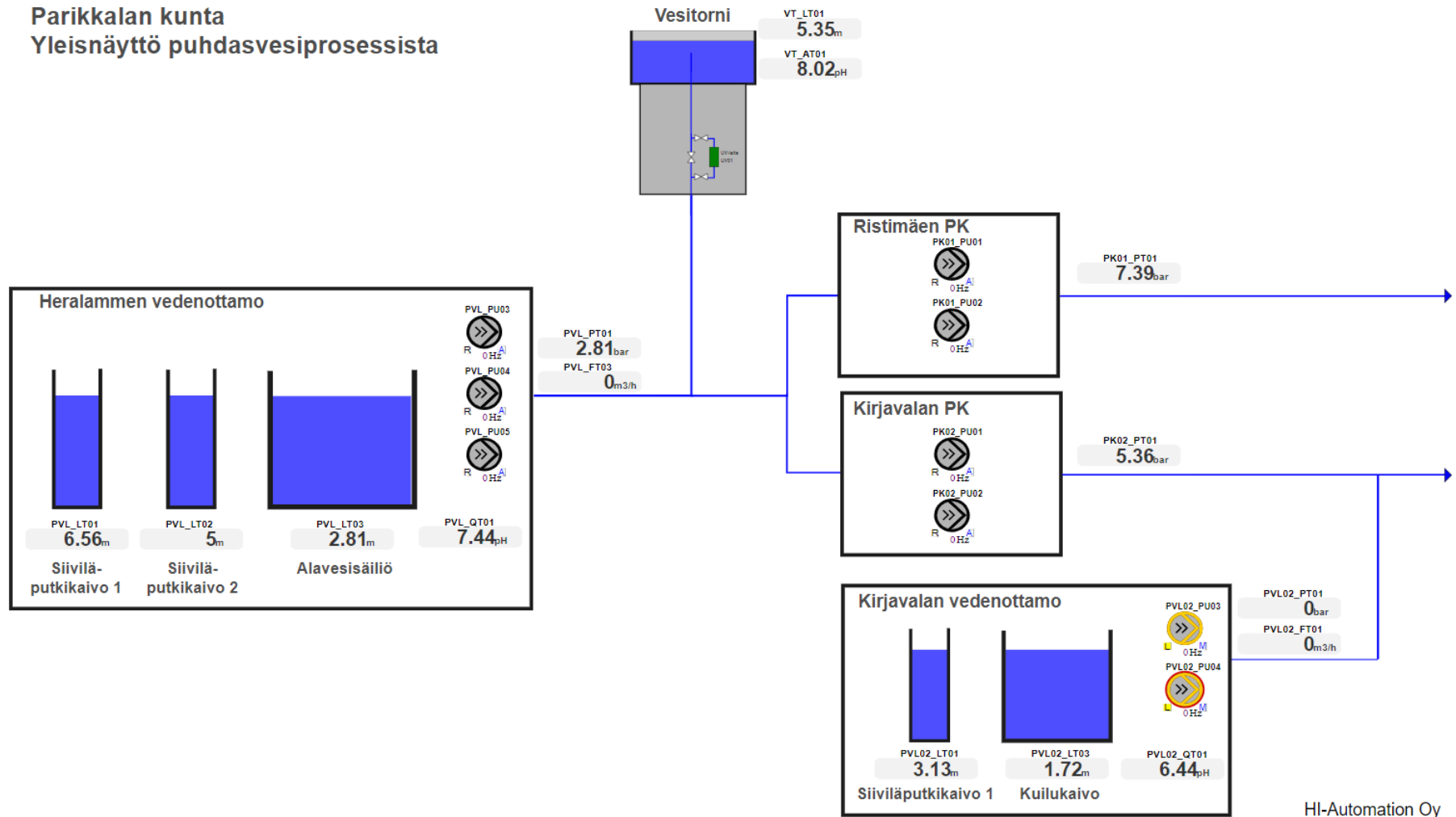
UML antaa mahdollisuuden kuvata järjestelmää melkein kaikista mahdollisista näkökulmista ja järjestelmän käyttäytymisen eri puolista. UML-kaaviot ovat suhteellisen helppo lukea, kun esityksen syntaksi tunnetaan. Vaikka UML on yleinen sovellusohjelmistojen suunnittelussa, sitä ei käytetä usein prosessiautomaation ohjelmistosuunnittelussa.

Tämä työ voi olla hyödyllinen niille, jotka haluavat ymmärtää toimintolohkojen ja ohjelmien suunnitteluprosessia UML-mallin avulla, joka perustuu edelleen tehtyyn vaatimusmäärittelyyn.

Työn tuloksia voidaan käyttää myös opettamaan, kuinka vasta aloittanutta asiantuntijaa voidaan perehdyttää ymmärtämään tehdyn suunnittelun rakennetta ja edelleen, miten annetaan suunnittelijalle paremmat mahdollisuudet muuttaa itsenäisesti projektirakennetta ottamalla huomioon järjestelmässä esiintyvät riippuvuudet.



Parikkalan kunta  
Yleisnäyttö puhtasvesiprosessista



Kuva 1. Yhteisnäyttö puhtasvesiprosessista

## 2 Laitteiston instrumentointi

Kuvassa 2 on esitetty prosessikaavio SCADA-järjestelmässä. Kaaviosta näkyy, mitkä laitteet kuuluvat vedenottamoon. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty prosessikaavion liittyvät toimintalaitteet ja anturit. SCADA-järjestelmän tunnuksissa PVL on vedenottamolle ja VT on vesitornin laitteille käytetty etuliite (prefix)i.

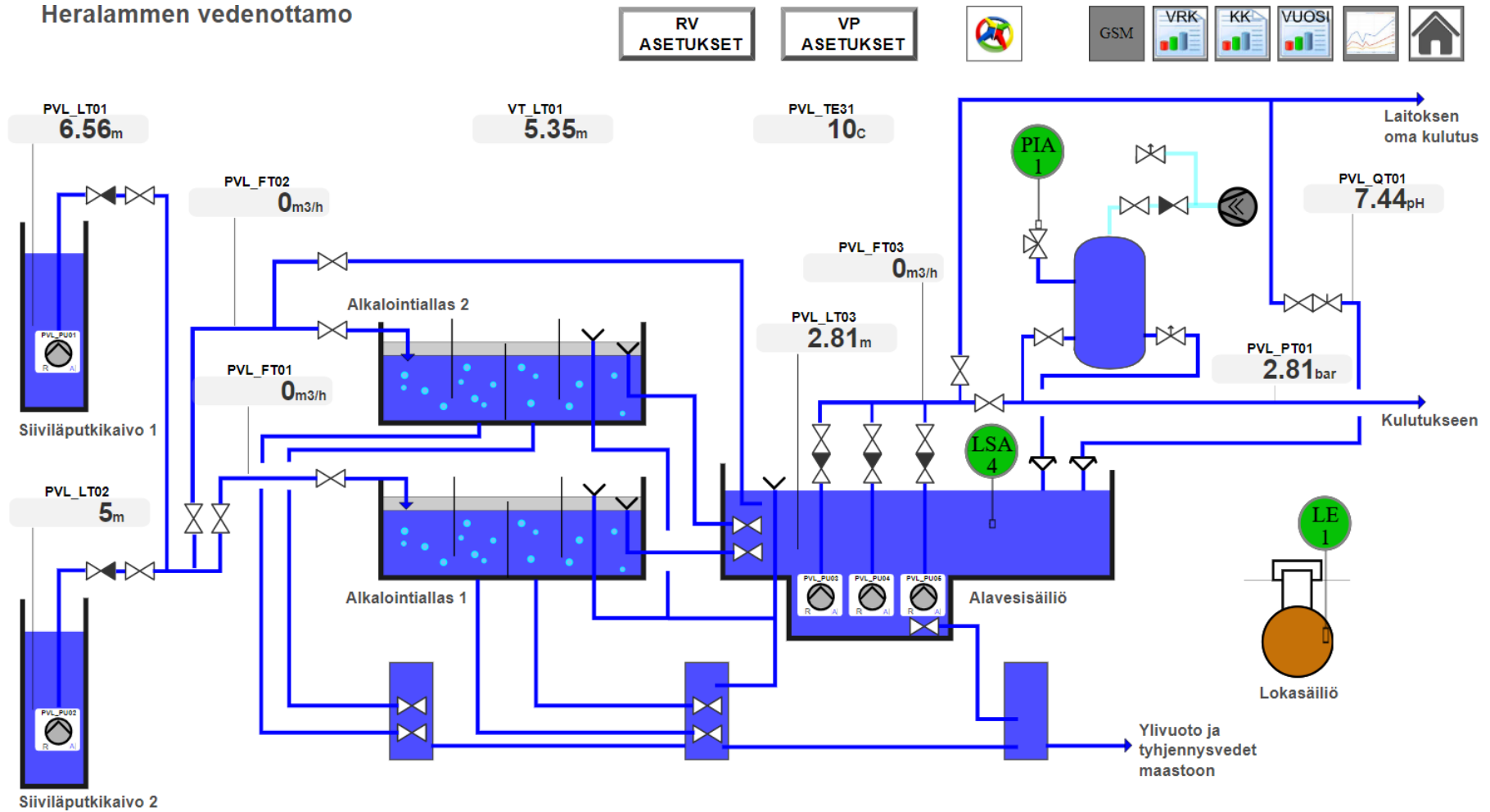
Taulukko 1. Toimintalaitteet

Toimintalaite	SCADA-järjestelmän tunnus	Paikka
pumppu P1	PVL_PU01	Siiviläputkikaivo 1
pumppu P2	PVL_PU02	Siiviläputkikaivo 2
pumppu P3	PVL_PU03	Alavesisäiliö
pumppu P4	PVL_PU04	Alavesisäiliö
pumppu P5	PVL_PU05	Alavesisäiliö

Taulukko 2. Anturit

Anturi	SCADA-järjestelmän tunnus	Paikka
pinnankorkeuden anturi LT1	PVL_LT01	Siiviläputkikaivo 1
pinnankorkeuden anturi LT2	PVL_LT02	Siiviläputkikaivo 2
tulovirtausmittari FT1	PVL_FT01	Alkalointiallas 1
tulovirtausmittari FT2	PVL_FT02	Alkalointiallas 2
pinnankorkeuden anturi LT3	PVL_LT03	Alavesisäiliö
pintakytkin LSA4	PVL_LSA04	Alavesisäiliö
lähtövirtausmittari FT3	PVL_FT03	Alavesisäiliö
pH-mittari QT1	PVL_QT01	Alavesisäiliö
Painekytkin PIA01	PVL_PIA01	Painesäiliö
pinnankorkeuden anturi LT1	VT_LT01	Vesitorni

## Heralammen vedenottamo



Kuva 2. Heralammen vedenottamo

### 3 Vaatimusmäärittely toteutetulle järjestelmälle

Tässä luvussa on esitetty asiakkaan vaatimukset, jotka sisältävät vaatimukset automaatiokeskukselle, ohjelmistolle ja SCADA-järjestelmälle. Vaikka näistä vaatimuksista käytetään ohjelmistosuunnittelua varten vain osa, muut vaatimukset on hyvä esittää kokonaisuuden ymmärtämiseksi.

#### 3.1 Ohjauksiin liittyvät vaatimukset

##### 3.1.1 Raakaveden pumppaus

Raakavettä pumpataan laitoksen alavesisäiliöön kahdesta siiviläputkikaivosta pumpuilla P1 ja P2. Pumppu P1 on siiviläputkikaivossa 1 ja pumppu P2 on siiviläputkikaivossa 2.

##### 3.1.1.1 Automaatiokeskuksen ohjauskytkin

Pumpun ohjaus valitaan K-0-A-ohjauskytkimellä. Ohjauskytkin on laitoksen automaatiokeskuksessa. Ohjauskytkimen Käsi (K) -asennolla pumppu ohjataan käsin käyntiin. Ohjauskytkimen automaatti (A) -asennossa pumpun ohjaus tulee laitoksen automaatiokeskukselta. Kuvassa 3 on esitetty K-0-A-ohjauskytkin.



Kuva 3 K-0-A-ohjauskytkin

### 3.1.1.2 Pumppauksen ohjaus automaatiosta

Automaatiokeskus ohjaa raakaveden pumppausta alavesisäiliön pinnankorkeusmittauksen, LT3, perusteella. Pumppaukselle tulee olla aseteltavat pinnankorkeuden käynnistys- ja pysäytysrajat. Käyttäjän tulee voida valita pumppaukselle vuorottelu. Käyttäjän tulee voida käsin valita, onko vuorottelu käytössä vai ei. Pinnankorkeuden laskiessa aseteltavalle 1. käynnistysrajalle, ohjataan käyntivuorossa oleva pumppu päälle. Jos pinnankorkeus edelleen laskee aseteltavalle 2. käynnistysrajalle, ohjataan myös toinen pumppu päälle. Pinnankorkeuden noustessa aseteltavalle pysäytysrajalle ohjataan pumppaus seis.

Jos vuorottelu on valittu käyttöön, niin pumppujen käyntivuoro vaihdetaan

- jokaisen käyntikerran jälkeen
- aseteltavan käyntiajan ylittyessä
- käyvän pumpun häiriöstä.

Käyntivuoro vaihtuu vain, jos molemmat pumput on valittu automaattikäytölle. Pumput tulee voida käynnistää ja pysäyttää valvomosta ja automaatiokeskuksen käyttöä päätteeltä. Lisäksi valvomosta ja automaatiokeskukselta tulee voida asettaa pumpulle käyttöluva. Käyttöluvalla voidaan estää pumpun käynnistyminen esim. pumpun huoltotilanteessa.

Pumpun ohjaus automaatiosta estetään, jos

- pumppu ei ole käytössä on valittu valvomosta
- ohjauskytkin ei ole automaatilla
- kaivon pinnankorkeuden alarajasta (kuivakäyntisuojaus)
- alkalointisäiliöiden virtaushälytyksestä (mittaukset FT1 ja FT2)
- alavesisäiliön ylärajahälytyksestä.

Virtaushälytys muodostetaan tilanteesta, jossa pumppaus on käynnissä ja virtaus on alle aseteltavan alarajan tai nousee yli aseteltavan ylärajan.

### 3.1.2 Verkstoveden pumppaus

Pumppaus alavesisäiliöstä verkostoon/vesitorniin tapahtuu kolmella pumpulla (pumput P3, P4 ja P5). Pumput on varustettu taajuusmuuttajilla. Pumppujen ohjaus valitaan pumppukohtaisilla K-0-A-ohjauskytkimillä. Pumppujen ohjauskytkimet ovat laitoksen sähkökeskuksella. Ohjauskytkimen Käsi (K)-asennolla pumpun etukontaktori ohjataan käsin päälle. Pumpun käyntiinhjaus tehdään käsin taajuusmuuttajan käyttöpaneelilta. Ohjauskytkimen automaatti (A)-asennossa pumpun etukontaktorin ja taajuusmuuttajan käyntiin/seis-ohjaus tulee laitoksen automaatiokeskukselta. Automaatiokeskus ohjaa pumppausta verkoston painemittauksen PT01 tai vesitornin pinnanmittauksen perusteella. Käyttäjän tulee voida valita valvomosta, kumpi ohjaustapa on käytössä.

#### 3.1.2.1 Pumppauksen ohjaus vesitornin pinnankorkeuden mukaan

Laitoksen automaatiokeskukselle saadaan tieto vesitornin pinnankorkeudesta automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoverkon kautta. Automaatiokeskus ohjaa verkstoveden pumppausta vesitornin pinnanmittaustiedon perusteella. Pumppaukselle tulee olla aseteltavat pinnankorkeuden käynnistys- ja pysäytysrajat. Käyttäjän tulee voida valita pumppaukselle vuorottelu. Käyttäjän tulee voida käsin valita, onko vuorottelu käytössä vai ei. Pinnankorkeuden laskiessa aseteltavalle 1. käynnistysrajalle, ohjataan käyntivuorossa oleva pumppu päälle. Jos pinnankorkeus edelleen laskee aseteltavalle 2. käynnistysrajalle, ohjataan myös toinen pumppu päälle. Pinnankorkeuden noustessa aseteltavalle pysäytysrajalle ohjataan pumppaus seis. Järjestelmästä tulee voida antaa lähtevän veden virtaamalle asetusarvo, jolla vettä pumpataan vesitorniin. Pumppuja säädetään taajuusmuuttajilla siten, että virtaama pysyy asetusarvossaan. Asetusarvot tulee olla erikseen yhden ja kahden pumpun käyntitilanteelle.

#### 3.1.2.2 Pumppauksen ohjaus lähtevän veden painemittauksen perusteella

Paineen laskiessa aseteltavalle 1. käynnistysrajalle, ohjataan käyntivuorossa oleva pumppu käyntiin. Pumpun tehoa säädetään taajuusmuuttajalla siten, että paine pysyy asetusarvossaan. Jos yhden pumpun tuotto ei riitä pitämään verkoston painetta asetusarvossaan, vaan paine laskee aseteltavalle 2. käynnistysrajalle, ohjataan viiveen jälkeen

toinen pumppu rinnalle. Pumppujen rinnanajossa säädetään pumppujen kuormitus (ohjeviesti) samaksi. Kun molempien kuormitus (ohjeviesti) on alle 40 %, ohjataan toinen pumpuista seis.

Pumpun pysäytys tehdään seuraavasti:

- Jos pumpun taajuusmuuttajan ohje on minimirajan alapuolella ja verkoston paine on asetusarvon yläpuolella, pysäytetään pumppu.

Pumpuilla tulee olla vuorottelu. Pumppujen käyntivuoro vaihdetaan

- jokaisen käyntikerran jälkeen
- aseteltavan käyntiajan ylittyessä
- käyvän pumpun häiriöstä.

Käyntivuoro vaihtuu vain, jos vähintään kaksi pumppua on valittu automaattikäytölle. Pumput tulee voida käynnistää ja pysäyttää valvomosta ja automaatiokeskuksen käyttö-pääteeltä. Lisäksi valvomosta ja automaatiokeskukselta tulee voida asetella pumpulle käyttöluva. Käyttöluvalla voidaan estää pumpun käynnistyminen esim. pumpun huoltotilanteessa. Asetusarvoja tulee voida muuttaa valvomosta ja automaatiokeskukselta.

Pumppujen käynti estetään

- lähtevän veden ylipaineesta (painemittaus PT01)
- vesitornin ylärajasta
- alavesisäiliön pinnankorkeuden (mittaus LT3) alarajasta
- virtaushälytyksestä (mittaus FT3)
- lähtevän veden pH-mittauksen ylärajasta (mittaus QT1)
- valvomosta on annettu seis-käsin ohjaus
- pumpulla ei ole käyttöluva päällä.

Virtaushälytys muodostetaan tilanteesta, jossa pumppaus on käynnissä ja virtaus on alle aseteltavan alarajan tai nousee yli aseteltavan ylärajan (putkistovuoto).

Vesitornin virtausmittaus on liitetty vesitornin automaatiokeskukselle.

Virtausmittaus on kahteen suuntaan mittaava ja sillä seurataan vesitornin täyttymistä ja tyhjentymistä. Mittaustiedon perusteella asetellaan vesitornin vedelle veden vaihtuvuuden vesimäärä, jonka perusteella vedenottamon paineohjaus voidaan ohjata tornin pinnanmittauksen perusteella tapahtuvaksi.

### 3.2 Valvonnat, muut toiminnot

Ristiriitahälytys pumpulle, mikäli pumpun ohjaus on päällä ja pumpulta/taajuusmuuttajalta ei saada tilatietoa.

Valvomokaaviossa ilmoitetaan pumpun ohjauskytkimien tilatiedot seuraavasti:

- automaatilla (tilatieto saadaan ohjauskytkimeltä)
- 0-asento (ei ole automaatilla eikä tule tilatietoa)
- käsiohjauksella (ei ole automaatilla ja tulee tilatieto).

Järjestelmään on lisäksi liitetty pumppujen häiriötiedot (lämpörele tai taajuusmuuttajan häiriö).

Kaikille prosessimittauksille (pinta, pH, virtaus, paine) tulee olla aseteltavat ala- ja ylärajahälytykset. Vesilaitosrakennuksen sisälämpötilaa valvotaan lämpötilamittauksilla TE31. Mittaukselle tulee olla aseteltavat ala- ja ylärajahälytykset. Laitoksen sähköenergian mittaus on liitetty logiikalle (laskuritulo). Mittaus liitetään laitoksen raportointiin. Laitoksen automaatiokeskus varustetaan jännitteenvälvontareleellä. Pumppaamon sähkökatkotilanteesta annetaan hälytys.

## 4 Laitteisto ja tiedonsiirto

Laitteiston rakenne ja pumppaamossa käytetyt laitteet on esitetty kuvassa 4. Kaikki projektin vesilaitokset ohjataan automaatiokeskuksessa sijaitsevalla PLC:llä. Kuvassa on nähtävissä, että vedenottamon PLC ja vesitornin PLC on kytketty radiomodeemin kautta verkkoon. SCADA-järjestelmän palvelimen kommunikointiin PLC:n kanssa käytetään

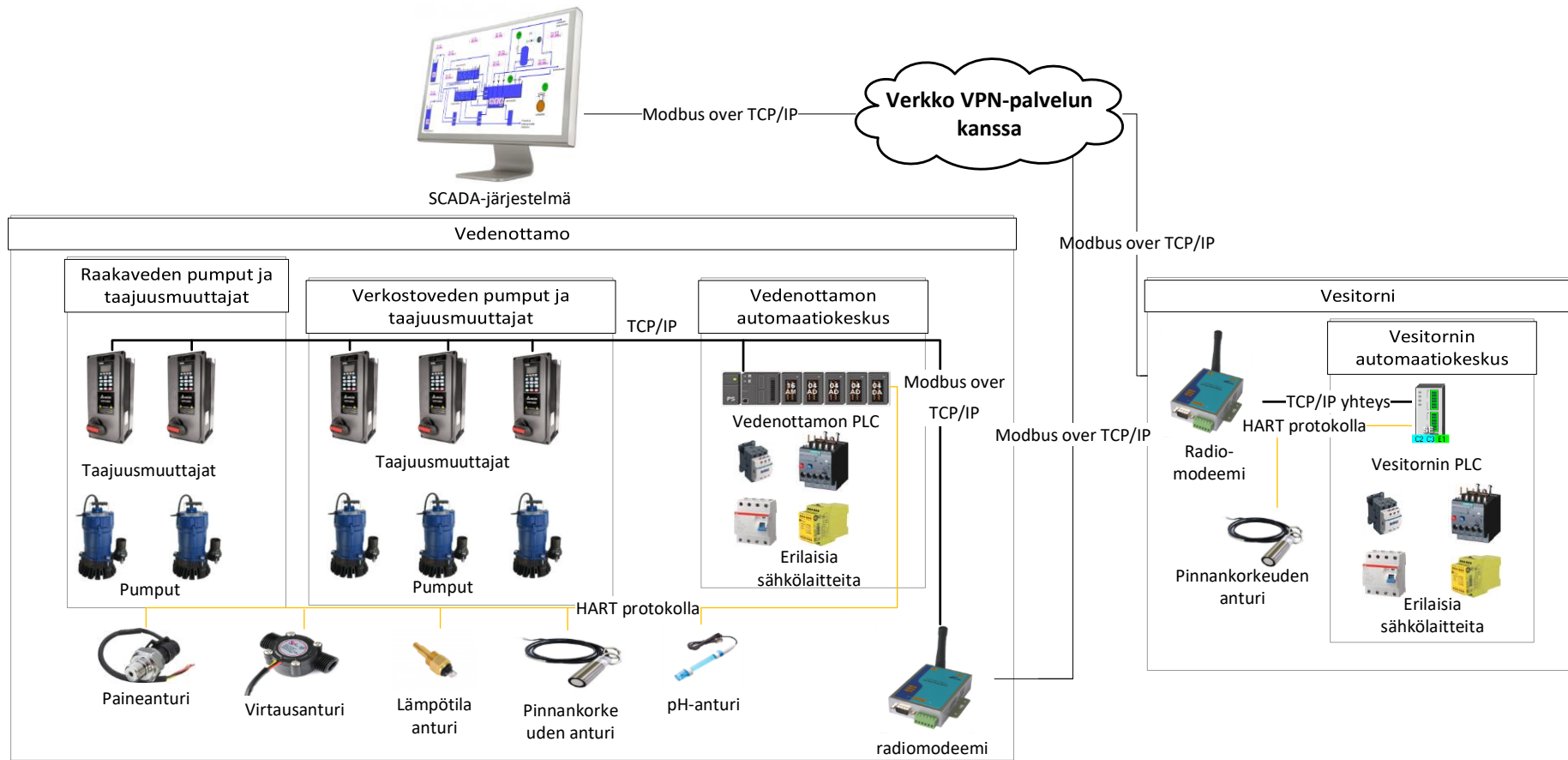


Modbus-protokollaa TCP/IP-protokollan yli. Yleensä automaatiojärjestelmän verkkolaitteet kuuluvat hajautettuun VPN-verkkoon, jonne pääsy turvallisuuden kannalta suojellaan palomuurilla.

PLC:t kommunikoivat keskenään ja taajuusmuuttajien kanssa Delta-valmistajan luomalla protokollalla. Tämä mahdollistaa, että vedenottamon PLC saa suoraan vesitornin PLC:lta vesitornin pinnankorkeudenarvon. Lisäksi toimintavarmuuden vuoksi suunnitelluvaiheessa on päätetty ohjata taajuusmuuttajaa PLC:n kenttäväylän yli siirrettävällä taajuusviestillä, mikä vähentää analogisten lähtöjen ja digitaalisten tulojen ja lähtöjen tarvetta. Taajuusmuuttajaan on kytketty 3-vaiheinen pumpun sähkömoottori.

SCADA-järjestelmä ei ole kriittinen PLC:n toiminnan kannalta. Niin vedenottamon prosessi voi toimia asetusten mukaan, vaikka SCADA-järjestelmä on jostain syystä viallinen. Samanlaiseen toimivuuteen päästään toki muidenkin valmistajien PLC:illä ja muilla kommunikointiprotokollilla kuten PROFINET:illä, EtherCAT:illa jne.

Erilaisia antureita on kytkettynä PLC:n analogisiin tuloihin ja antavat mittaukset 4-20 mA:n virtaviestillä. Automaatiokeskuksessa on asennettu eri sähkölaitteita, etukontaktori, sähköpulsstilaskuri ja sähkökatkorele, joiden tiloja seurataan PLC:llä.



Kuva 4 Laitteiston rakenne

## 5 PLC:n ohjelman suunnittelu

### 5.1 PLC ja sen moduulit

Vaatusmäärittelyn mukaisesti määritetyt digitaaliset ja analogiset tulot ja lähdöt on esitetty kokonaisuudessaan liitteen 2 liityntäluettelona. PLC:n valinnassa on otettu huomioon sekä tekniset että taloudelliset valintakriteerit. Nämä eivät kuitenkaan liity tähän opinnäytetyöhön.

Oletuksena on valittu Delta AS332P-A ohjelmoitavaksi logiikaksi ja sille sopivia IO-moduuleja, vaikka muiden valmistajien PLC:t voivat täyttää projektin vaatusmäärittelyn. Liitteessä 3 on lueteltu PLC:n ja muut käytetyt ohjelmistot. Kuvassa 5 näkyy moduulien tyypit ja osoitteiden joukot.

Extension No	Type	Module Name	DDF Version	Input Device Range	Output Device Range
Power Module	Power Module	AS-PS02	None		
CPU Module	CPU Module	AS332P-A	01.04.00	X0.0 ~ X0.15	Y0.0 ~ Y0.15
Function Card1					
Function Card2					
Module Information1	Digital I/O Module	AS16AM10N-A	01.00.00	X1.0 ~ X1.15	
Module Information2	Analog I/O Module	AS04AD-A	01.00.00	D28020 ~ D28039	
Module Information3	Analog I/O Module	AS04AD-A	01.00.00	D28040 ~ D28059	
Module Information4	Analog I/O Module	AS04AD-A	01.00.00	D28060 ~ D28079	
Module Information5	Analog I/O Module	AS04DA-A	01.00.00	D28080 ~ D28081	D28082 ~ D28099

Kuva 5 PLC:n ja sen moduulien osoitteet.

### 5.2 PLC:n ohjelman rakenne

UML-mallinnus on hyvä keino rakentaa ohjelmistoa esittävä kaavio. Tämän projektin ohjelmistosuunnittelukaavion kuvausta varten käytetään oliolohkoja, ja suhteita niiden välissä. Merkitään lohkojen otsikon seuraavassa muodossa: *Olion nimi: Luokan nimi*.

Valitulla PLC:lla tehtävät voivat toteutua syklisesti, keskeytyksen tai ajastimen mukaan, jotka esiintyvät kuvassa 7 *PLC tasks: PLC tasks set class* -lohkossa. Ohjelmistossa ei

ole tarvetta käynnistää aliohjelmiä keskeytyksillä tai ajastimella, joten kaikki PLC:n ohjelman aliohjelmat toimivat syklisesti.

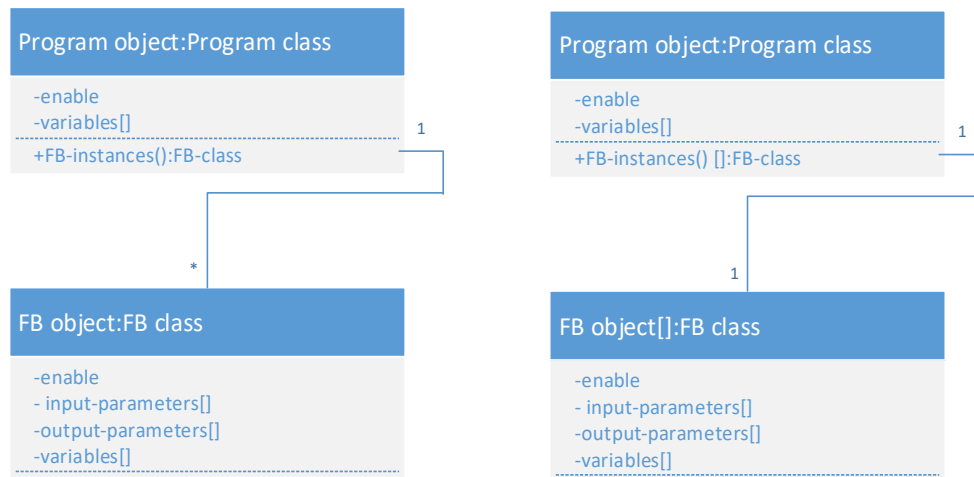
Käsitellään käytettyä suhteita kuvassa 7 ohjelmiston rakenne UML-kielellä.

*PLC tasks: PLC tasks set class – Cyclic tasks: Cyclic tasks set class*, assosiaatiosuhde 1-1. Tarkoittaa että PLC:n tehtävät kuuluvat ainoalle yhdelle syklisten tehtävien listalle. Muille tehtävien tyypeille ei ole listaa, koska ei ole vastaavia tehtäviä.

*Cyclic tasks: Cyclic tasks set class – Cyclic task N: Cyclic task class*, assosiaatiosuhde 1-32. Yhteensä voi olla 32 syklistä tehtävää, joissa jaetaan ohjelmia.

*Cyclic task N: Cyclic task class* – joku ohjelmalohko näistä: *Main, Moottorit, Mittaukset, Lukitukset, TestVP, TestRVP, Säätimet, Tilasiirto, Laskennat, Aika*, koostesuhde. Eli jos poistaa kaikki ohjelmalohkot, syklinen tehtävä silti säilyy, mutta tyhjänä.

*Moottorit: Program class – PU01, PU02, PU03, PU04, PU05: MotorFC\_CP2000 FB-class*. assosiaatiosuhde 1 - 1. Tämä tarkoittaa, että ohjelma *Moottorit* voi sisältää joukko monesta *MotorFC\_CP2000:n* - toimintolohkonluokan olioista kuten PU01, PU02, PU03, PU04, PU05. Voi myöskin ilmaista tätä 1 - \* assosiaatiosuhteella, mitä näkyy kuvassa 6, mutta sitten täytyy jokaiselle toimintolohkoolle luoda oma lohko. Voi yleistää, että jokainen ohjelma voi sisältää paljon eri tyyppisiä toimintolohkoja.



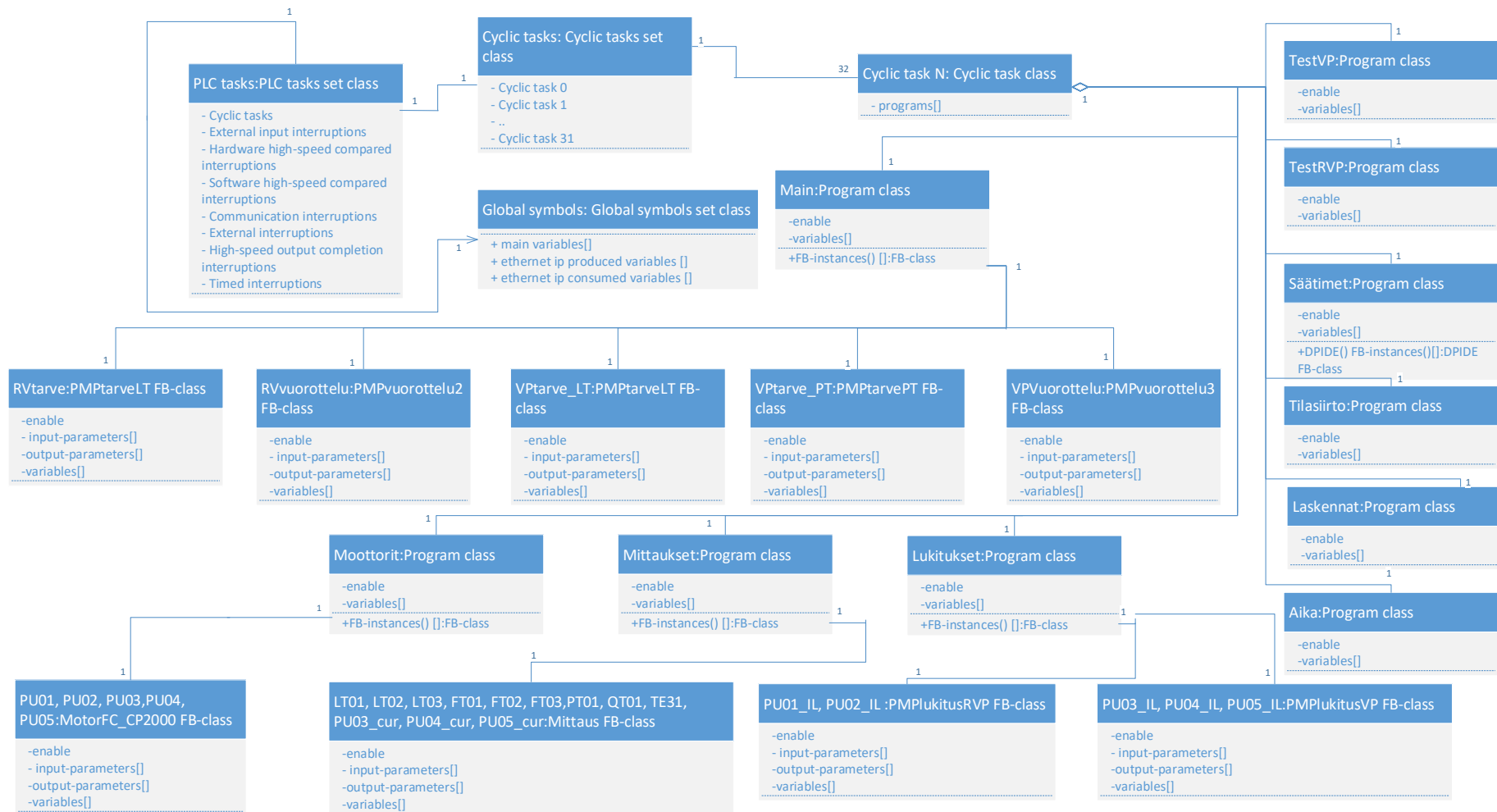
Kuva 6 Suhdekaavio 1 - \* ja vastaava 1-1

*PLC tasks: PLC tasks set class - Global symbols: Global symbols set class.* Yksisuuntainen assosiaatiosuhde 1 – 1. Tämä tarkoittaa, että jokainen tehtävä riippumatta tyypistä voisi käyttää omissa ohjelmissa tageja *Global symbols:in* taulukoista. Suhde on yksisuuntainen, koska nämä taulukot main variables, ethernet ip produced variables, ethernet ip consumed variables vain esittävät muuttujat tehtäville eivätkä vaadi luotuja tehtäviä.

Jokaisella lohkon attribuutilla on näkyvyys, joka merkitään attribuutin tai metodin eteen: public +, private -, protected #, package ~.

Private-attribuutti näkyy vain lohkon sisällä ja public-attribuutti näkyy kaikille. Esimerkiksi *Main:Program class* -lohkon muuttujat attribuutista `-variables[]` ei voi käyttää muissa ohjelmissa. Mutta attribuutti `+FB-instances():FB-class` on julkinen ja toimintolohkoja, jonne tämä attribuutti kohdennettu, voi kutsua mistä tahansa ohjelmasta. Lohko *Global symbols: Global symbols set class* sisältää attribuutti `+main table variables[]`, eli niille liittyvät tagit, joita voi käyttää kaikissa ohjelmissa tai toimintolohkoissa.

Kun yleinen ohjelmiston UML-mallinnus on tehty, voi siirtyä PLC:n ohjelman lohkoihin, jotta voidaan käsitellä jokainen erikseen. Tässä vaiheessa voi siirtyä UML-mallituksen lohkoista PLC:n ohjelmistoympäristön lohkoihin.



Kuva 7 PLC: ohjelmiston rakenne UML-kielillä

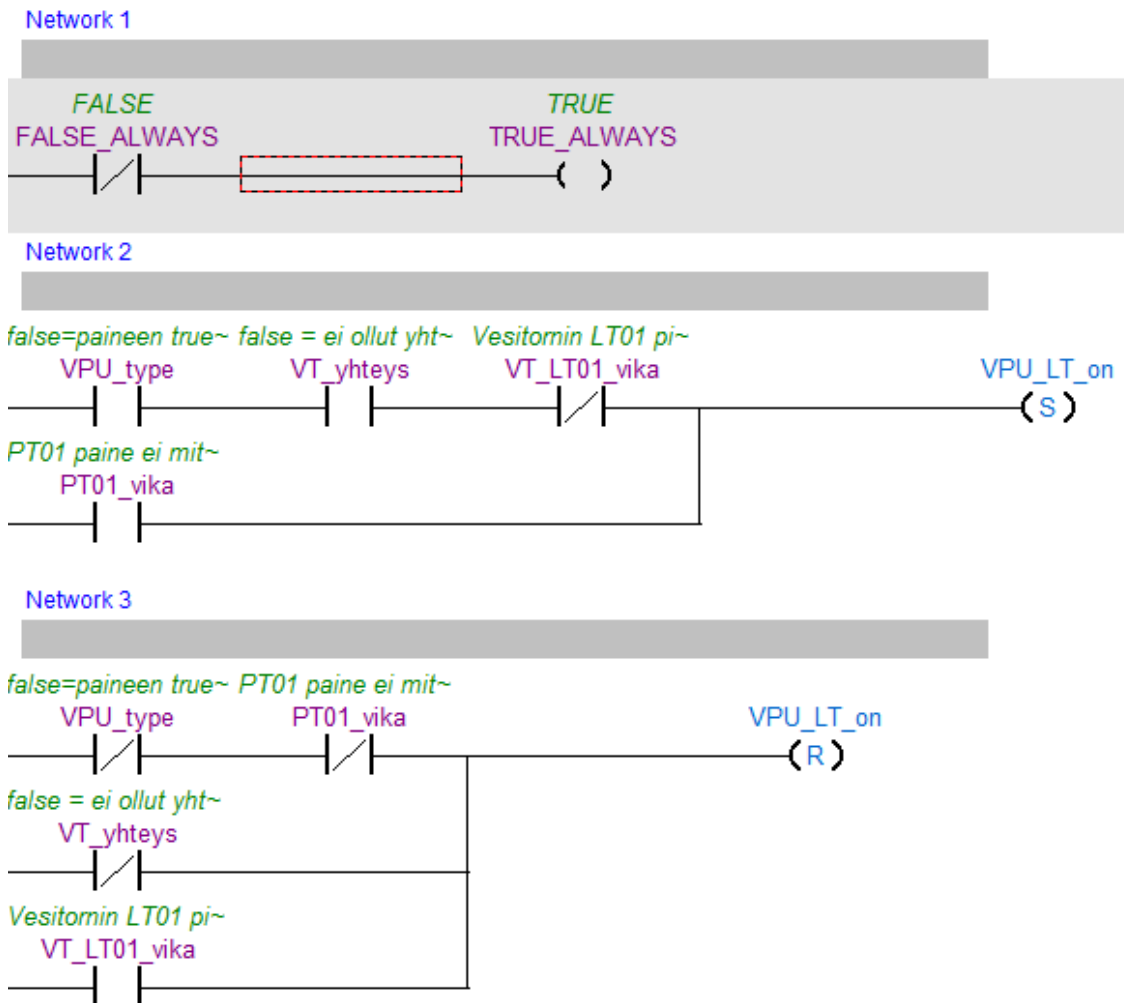
### 5.3 Pääohjelma

Main-ohjelma tai pääohjelma esitetty alle olevissa kuvissa (Kuva 8 Main-ohjelma, Network1 - 3, Kuva 9 Main-ohjelma, Network4 – 5, Kuva 11 Main-ohjelma, Network6 - 7, Kuva 12 Main-ohjelma, Network8). Ohjelmat, jotka kutsuvat toimintolohkoja, kuten *Main-ohjelma* kirjoitettu LAD-kielellä, ja muut ST-kielellä. Vaatimusmäärittelyn mukaan suunniteltu seuraavat lohkot:

- RVtarve määrittelee raakaveden pumppauksen tarve alavesisäilöön ja alkalointialtaille LT3 pinnankorkeuden anturin mittauksen mukaan.
- RVvuorottelu määrittelee P1- ja P2- pumppujen vuorottelun.  
RVtarve ja RVvuorottelu esiintyvät kuvassa 9 Main-ohjelma, Network4 – 5.
- VPtarveLT määrittelee veden pumppauksen tarve verkostoon ja vesitorniin vesitornin pinnankorkeuden anturin mittauksen mukaan.
- VPtarvePT määrittelee veden pumppauksen tarve verkostoon ja vesitorniin PT1-paineanturin mittauksen mukaan  
VPtarveLT ja VPtarvePT esiintyvät kuvassa 11 Main-ohjelma, Network6 - 7.
- VPvuorottelu, määrittelee P3, P4 ja P5 pumppujen vuorottelu. VPvuorottelu esiintyy kuvassa 12 Main-ohjelma, Network8.

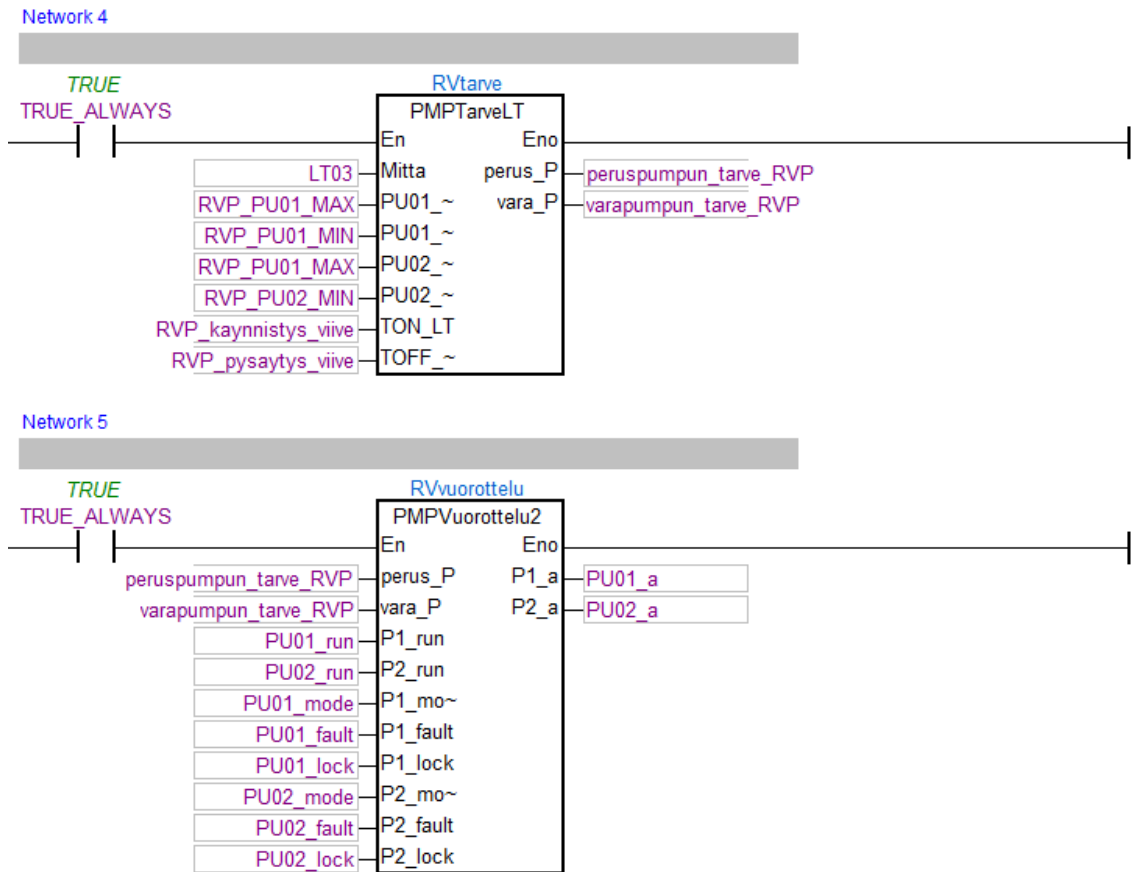
Liitteessä 4 on esitetty verkostovedenpumppauksen ja raakavedenpumppauksen UML-tilakaaviot.



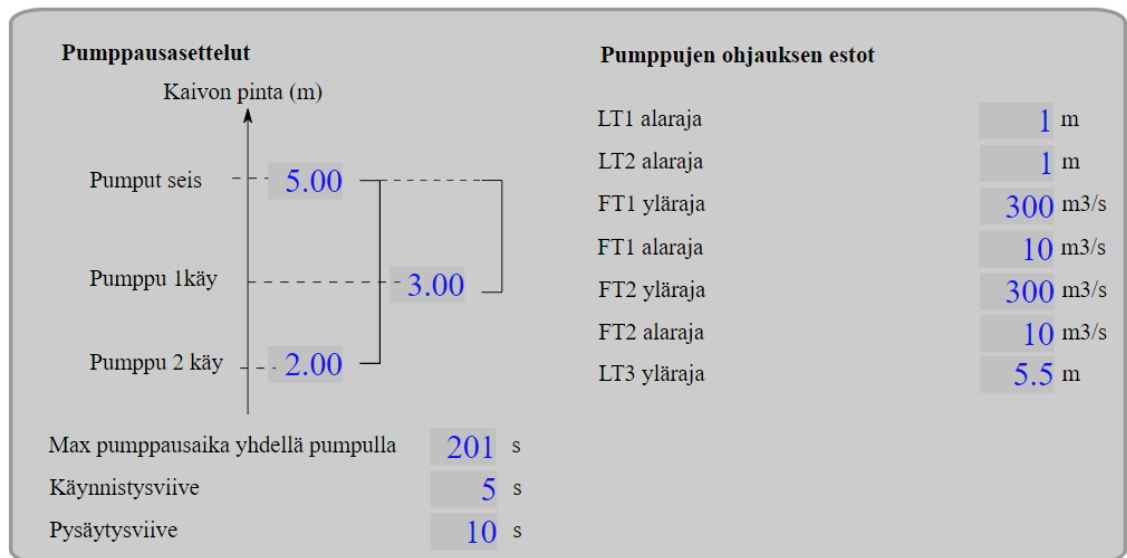


Kuva 8 Main-ohjelma, Network1 - 3

Kuvassa 8 muuttuja FALSE\_ALWAYS sisältää boolean-tyyppinen "0" ja TRUE\_ALWAYS vastaavasti "1" kun PLC on käynnissä. Pumppausverkostoon ohjataan 2 ohjautavalla vesitornin pinnankorkeuden tai PT1-paineanturin mukaan. Muuttuja VPU\_LT\_on toteutettu RS-kiikulla ja määrittelee, kumpi ohjaustavoista täytyy käyttää. Jos asetuksissa valittu pumppaus vesitornin pinnan mukaan ja on yhteys vesitornin PLC:n mukaan, ja pinnankorkeuden anturi on toimiva, sitten VPU\_LT\_on="1" ja esitetty kuvassa 11 Main-ohjelma, Network6 – 7 lohko VParveLT tulee aktiiviseksi. Muuten aktiivisena on lohko VparvePT, jos paineanturi PT1 on kunnossa.



Kuva 9 Main-ohjelma, Network4 – 5

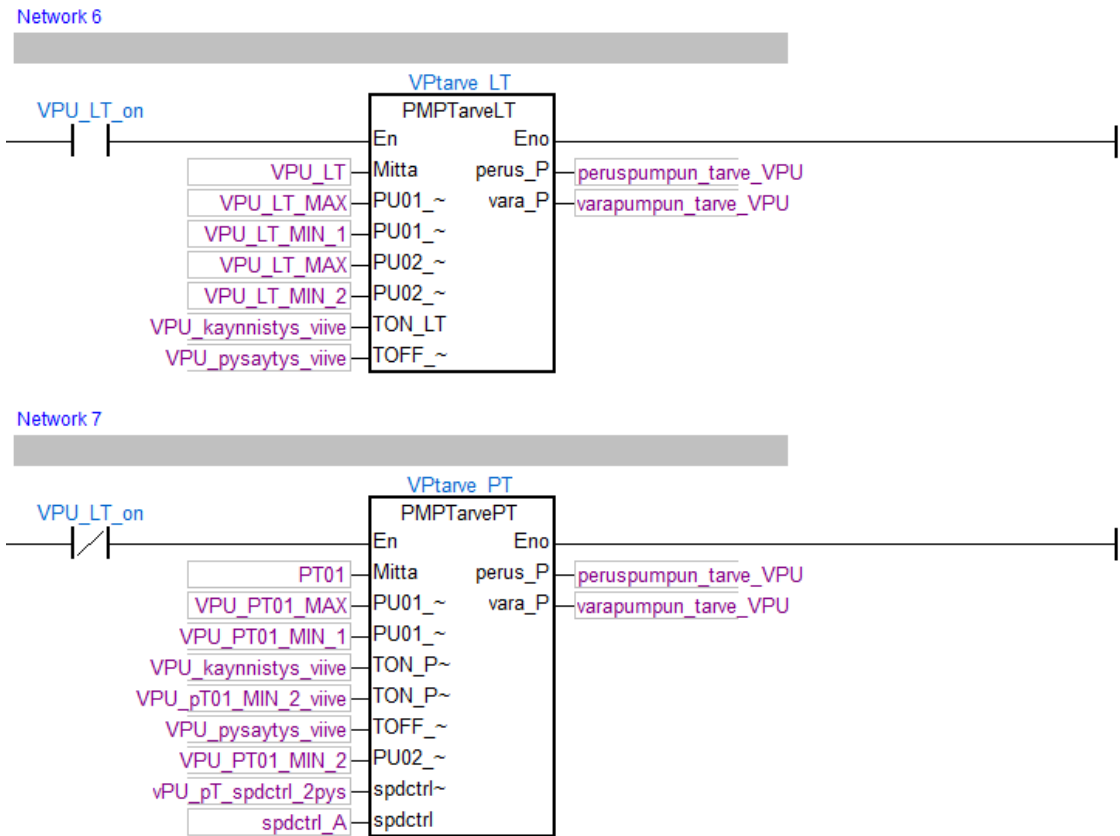


Kuva 10 Raakavedenpumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä

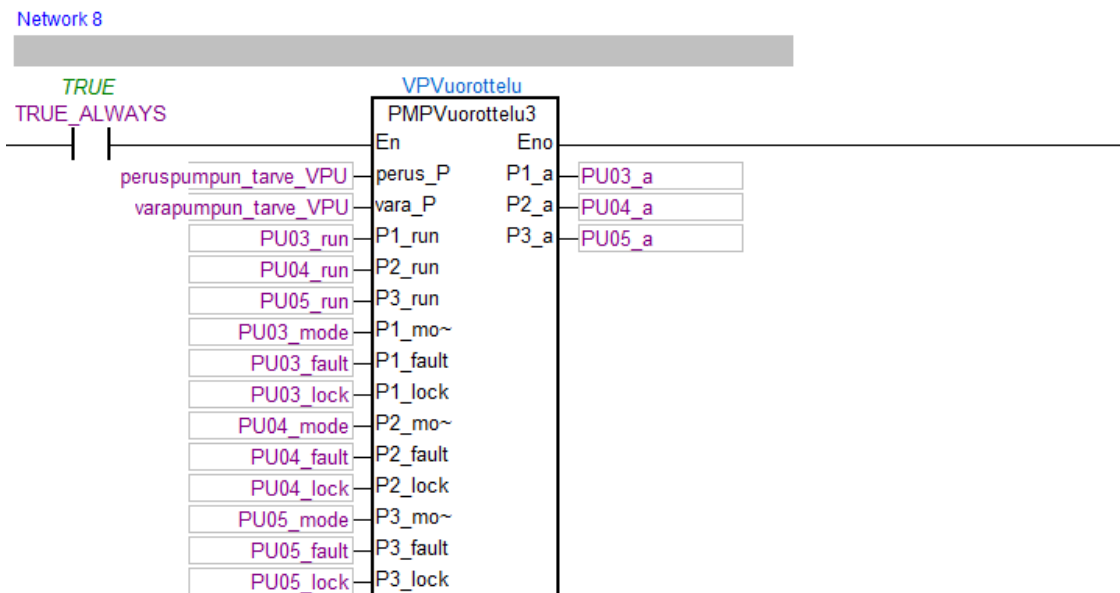
Kuva 9 Main-ohjelma, Network4 – 5 RVtarve on toteutettu loholla PMPtarveLT. RVtarve-lohkon tuloon "mitta" tulee alavesisäiliön arvo LT03 ja muut tulot ovat asetukset, jotka esitetty kuvassa 10 Raakavedenpumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä. Kun LT03-pinnankorkeuden mittaama arvo alittaa RVP\_PU01\_MIN-arvon, peruspumpun toiminto tarvitaan (peruspumpun\_tarve\_RVP = TRUE). Jos peruspumpun toimintoa ei riitä ja LT03-pinta laskeutuu alle RVP\_PU02\_MIN-arvoa sitten tarvitaan varapumpun toiminto (varapumpun\_tarve\_RVP = TRUE). Kun LT03-pinta nousee RVP\_PU01\_MAX-arvon asti pumppauksen tarve poistuu. Pumppauksen käynnistykselle on aseteltu viive RVP\_kaynnistys\_viive ja pysäytykselle viive RVP\_pysaytys\_viive.

RVvuorottelu on toteutettu PMPvuorottelu2-loholla, joka ohjaa 2 pumppua vuorotellen. Automaatitilassa RVvuorottelu-lohko antaa käynnin komennon pumppuille PU1 ja PU2. Pumput PU1 ja PU2 vuorottelevat peruspumppuna, jonka vuoro kestää enintään RVP\_Max1pmp (Kuva 10 Raakavedenpumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä Max pumppausaika yhdellä pumpulla). Jos tarvitaan toisen pumpun toiminto, toinen pumppu käynnistyy varapumppuna. RVvuorottelu-lohko voi ohjata pumppua, jos täytetään seuraavat ehdot (esim. PU1:tä varten):

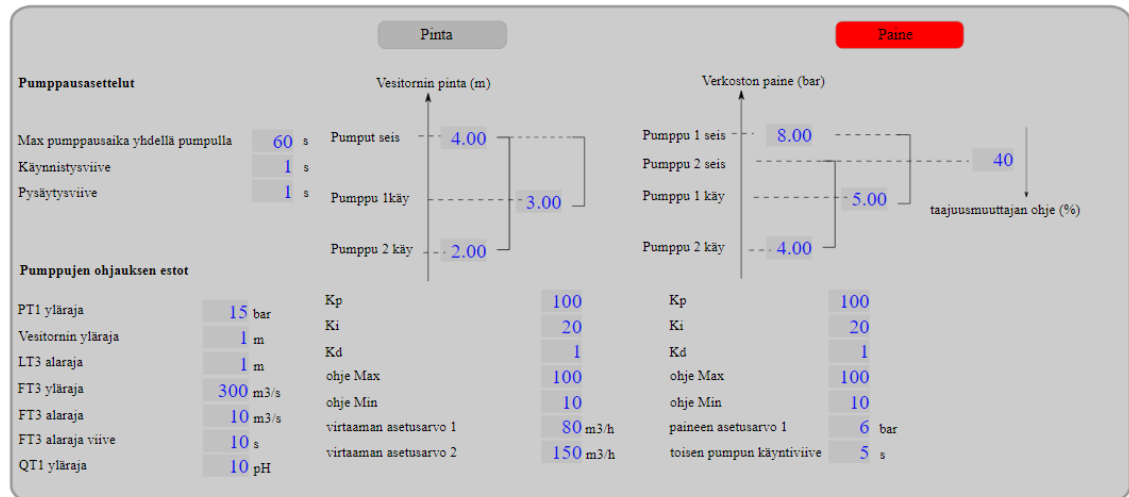
PU01_mode = "true"	pumppu PU1 automaatiotilassa
PU01_fault = "false"	pumpun PU1 taajuusmuuttaja ei ole viallinen
PU01_lock = "false"	pumpun PU1 toiminto ei ole lukittu
PU01_run = "true"	pumpun PU1 taajuusmuuttajalta tulee signaali, että pumppu toimii.



Kuva 11 Main-ohjelma, Network6 - 7



Kuva 12 Main-ohjelma, Network8



Kuva 13 Verkostopumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä

Kuvassa 11 Main-ohjelma, Network6 – 7 on nähtävissä 2 lohkoa, jotka implementoivat 2 verkostovedenpumppauksen ohjaustapaa. VPtarveLT-lohko on toteutettu PMPtarveLT-lohkolla, kuten RVtarve, jonka periaate oli kuvattu edellä. Käsitellään sitten VPtarvePT-lohko, joka on toteutettu PMPtarvePT-lohkolla.

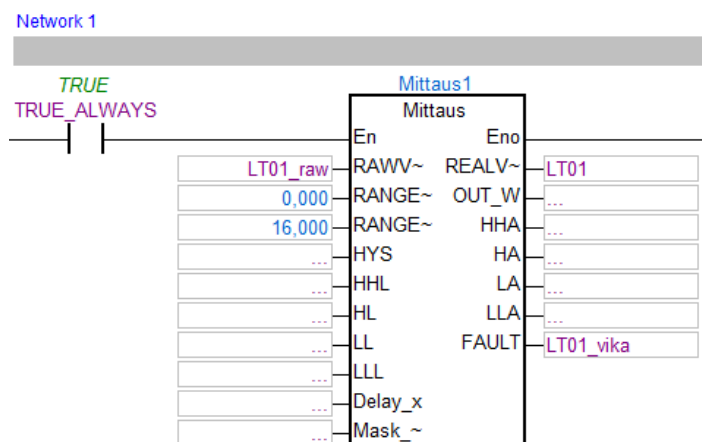
VPtarvePT-lohkon tuloon "mitta" tulee paineanturin arvo PT01. Kun paine alle VPU\_PT01\_MIN\_1, peruspumpun toiminto tarvitaan (peruspumpun\_tarve\_VPU = TRUE). Jos peruspumpun toimintoa ei riitä ja PT01 paine laskeutuu alle VPU\_PT01\_MIN\_2-arvon, tarvitaan varapumpun toiminto (varapumpun\_tarve\_VPU = TRUE). Varapumpun tarve poistuu (varapumpun\_tarve\_VPU = FALSE), kun taajuusmuuttajien ohjearvo alle vPU\_pT\_spdctrl\_2pys (vaatimuksessa on oletusarvo 40 %). Kun PT01-paine nousee RVP\_PU01\_MAX-arvon asti peruspumppauksen tarve poistuu (peruspumpun\_tarve\_VPU = FALSE). Peruspumppauksen käynnistykselle on aseteltu viive VPU\_kaynnistys\_viive ja pysäytykselle viive VPU\_pysaytys\_viive. Varapumppauksen käynnistykselle on aseteltu erikseen viive VPU\_PT01\_min\_2\_viive.

VPvuorottelu on toteutettu PMPvuorottelu3-lohkolla, joka ohjaa 3 pumppua vuorotellen samalla periaatteella kuten PMPvuorottelu2. VPvuorottelu-lohko antaa käynnin komennon pumppuille PU3, PU4 ja PU5 automaatiotilassa. Pumput PU3, PU4 tai PU5 vuorotellen toimii peruspumppuna, jonka vuoro kestää enintään VPU\_Max1pmp (Kuva 13 Verkostopumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä, maksimipumppausaika yhdellä pumpulla). Jos tarvitaan toisen pumpun toiminto, toinen pumppu käynnistyy varapumpuna. VPvuorottelu-lohko voi ohjata pumppua, jos täytetään seuraavat ehdot (esim. PU1:tä varten):

PU01_mode = "true"	pumppu PU1 automaatiotilassa
PU01_fault = "false"	pumpun PU1 taajuusmuuttaja ei ole viallinen
PU01_lock = "false"	pumpun PU1 toiminto ei ole lukittu
PU01_run = "true"	pumpun PU1 taajuusmuuttajalta tulee signaali, että pumppu toimii.

#### 5.4 Mittaukset

PLC:n korttien A/D-muuntimen analogisiin tuloihin on kytketty erilaisia antureita, joiden mittaama arvo siirtyy virtaviestillä 4-20 mA ns. HART-protokollalla. *Mittaukset*-ohjelma sisältää *Mittaus*-lohkoja, jotka käsittelevät anturien antamia "raaka-" arvoja. Kuvassa 14 on esitetty Mittaus-lohkon esimerkki. Sen RAWVALUE-tuloon tulee pinnankorkeuden LT01\_raw "raaka-" arvo. Anturin mittaamat minimi ja maksimi arvot asetellaan vastavasti RANGE\_MIN ja RANGE\_MAX tuloihin. Lohkon laskettava arvo menee LT01 tagiin ja jos LT01\_raw arvo menee rajojen ulkopuolelle, LT01\_vika = TRUE. Tulot: HYS, HHL, HL, LL, LLL, Delay\_x, Mask\_LO ja lähdöt: HHA, HA, LA, LLA tarvitaan hälytysten käsitteilyä varten, mutta tässä projektissa SCADA-järjestelmä käsittelee kaikki hälytykset.



Kuva 14 Mittaus-lohkon esimerkki.

#### 5.5 Säätimet

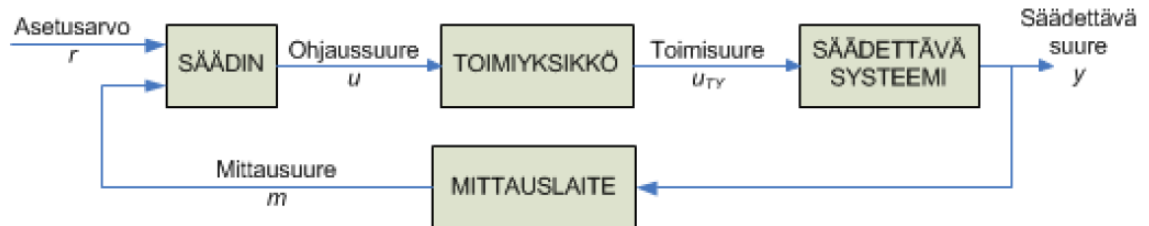
Edellä oli kerrottu, että jokainen pumppu on kytketty taajuusmuuttajalle. PLC voi taajuusmuuttajalla muuttaa pumpun sähkömoottorin taajuutta ja vastaavasti pumppujen tuottoa.

Raakavedenpumpppauksessa vaatimusten mukaan ei ole tarkoitusta ohjata PU1- ja PU2-pumppujen tuottoa eli näiden pumppujen taajuusmuuttajan ohjeviesti on 100 %.

Verkostoveden pumppauksen voi säätää kahdella ohjaustavalla:

1. Verkostoveden pumppuille PU3, PU4, PU5 tuottoa säädetään FT3-virtaaman asetusarvon mukaan.
2. Verkostoveden pumppuille PU3, PU4, PU5 tuottoa säädetään PT1-paineen asetusarvon mukaan.

Kuvan 15 Yleinen säätöpiiri voi soveltaa verkostoveden pumppauksen säätöpiiriksi.



Kuva 15 Yleinen säätöpiiri

Käsitellään kuvion arvot:

$r$  – asetusarvo FT03\_asetusarvo (ohjaustapa 1) tai PT01\_asetusarvo (ohjaustapa 2)

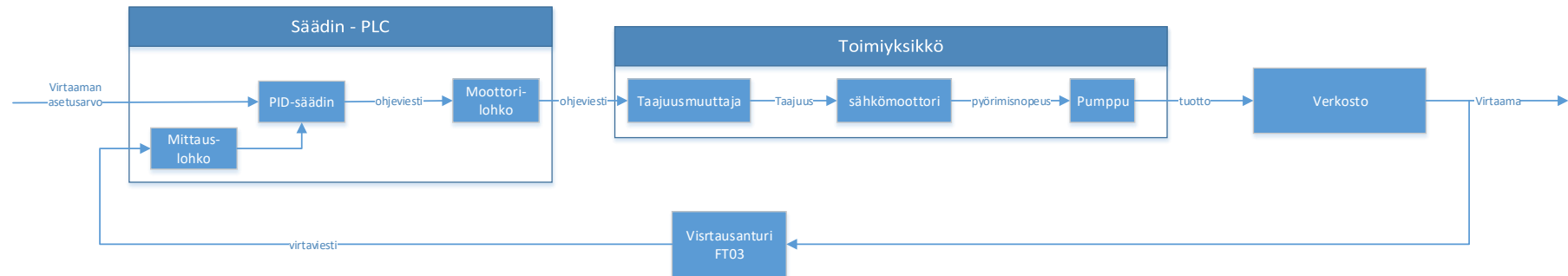
$u$  – ohjaussuurena on sähkömoottorin taajuus, (Hz)

$u_{TY}$  – pumpun tuotto, (m<sup>3</sup>/h)

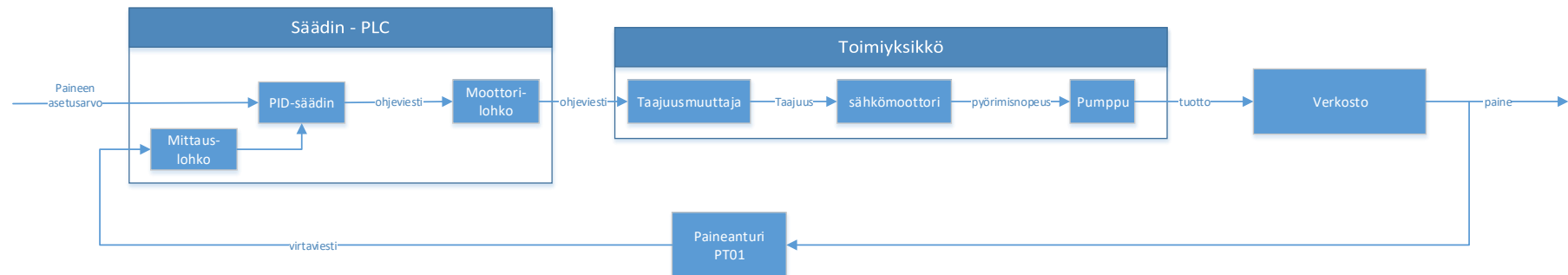
$y$  – säädettävänä suurena on virtaaman FT03 (ohjaustapa 1) tai paineen PT01 (ohjaustapa 2) hetkellinen arvo

$m$  – mittausuurena on FT03 (ohjaustapa 1) tai PT01 (ohjaustapa 2) anturin mittaama arvo 4-20mA

Näin, saadaan ohjaustavalle 1 (kuva 16) säätöpiiri virtaaman säädön perustuvan ohjaustavan mukaan ja ohjaustavalle 2 (kuva 17) säätöpiiri paineen säädön perustuvan ohjaustavan mukaan.



Kuva 16 Säätöpiiri virtaaman säädön perustuvan ohjaustavan mukaan



Kuva 17 Säätöpiiri paineen säädön perustuvan ohjaustavan mukaan



PLC:n ohjelmassa voi käyttää sisärakennettua PID-säätimen lohkoa DPIDE, jonka kuvaus on seuraavana.

**Tulot:**

EN – Ota ohje käyttöön tai poista se käytöstä

PID\_RUN : käynnistää PID-algoritmin

SV : asetusarvo (SV)

PV : Mitattu prosessiarvo (PV)

PID\_MODE : PID-ohjaustila

PID\_MAN : PID Automaattinen/Manuaalinen moodi

MOUT\_AUTO : MOUT vaihtelee lähtöarvon mukaan

CYCLE : Näytteenottoaika (CYCLE)

Kc\_Kp : Vahvistuskerroin

Ti\_Ki : Integrointiaika Ti (s) tai integroitu kerroin Ki PID\_EQ - asetusten riippuen

Td\_Kd : Derivointiaika Td (s) tai derivoitu kerroin Kd PID\_EQ - asetusten riippuen

Tf : Derivointitoiminnan aikavakio (s)

PID\_EQ : PID kaavatyyppit

PID\_DE : Lasketaan PID derivointivirhe

PID\_DIR : PID suunta eteenpäin / taaksepäin (PID\_DIR)

ERR\_DBW : Alue, jolla virhearvoksi lasketaan 0

MV\_MAX : Maksimi lähtöarvo (MV\_MAX)

MV\_MIN : Minimi lähtöarvo (MV\_MIN)

MOUT : Manuaalinen lähtöarvo (MOUT)

BIAS : Lähtöarvo menevä tuloon.

I\_MV : Kertynyt integraaliarvo

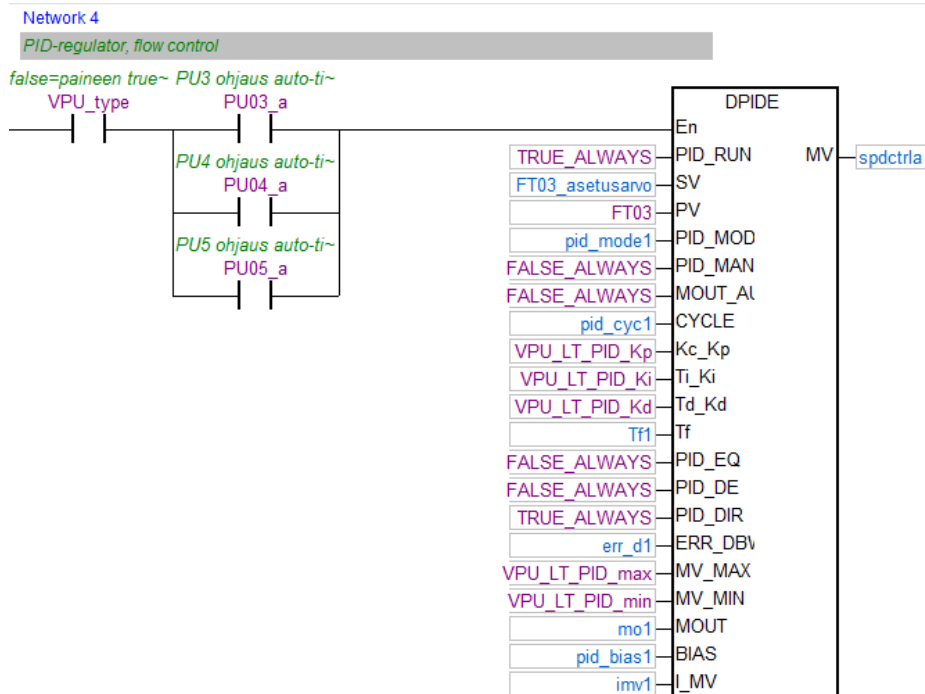
**Lähtö:**

MV : lähtöarvo (MV)

Asetusten mukaan PID-säädin käyttää seuraavaa kaavaa:

$$MV = K_p E + K_i \int_0^t E dt + K_d * \frac{dE}{dt} + BIAS, E = SV - PV \text{ or } E = PV - SV$$

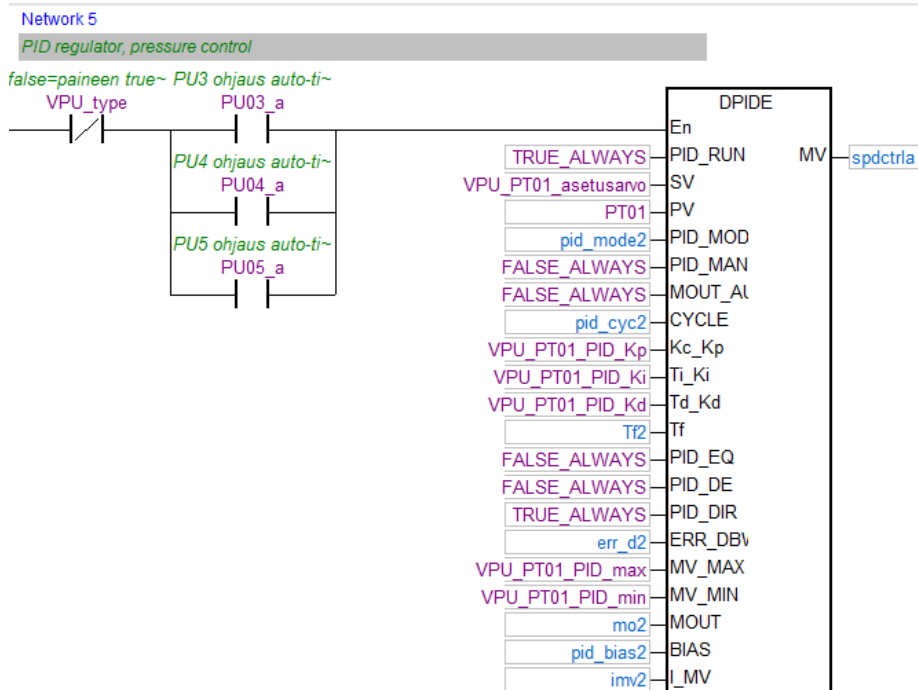
Kuvan 18 PID-säädin on esitetty ohjaustavan 1:n lohko. PID-säädin toimii, kun VPU\_type = "TRUE" ja automaatiotilassa ainakin yksi verkostopumppu P3, P4 tai P5 toimii. Parametrit Kp, Ki, Kd, MV\_MAX ja MV\_MIN ja SV asetellaan SCADA-järjestelmästä (kuva13). Virtaaman asetusarvo 1 valitaan, kun yksi verkostopumppu toimii ja virtaaman asetusarvo 2, kun kaksi verkostopumppua toimivat. Lähtöarvo spdctrla MV-lähdöstä siirtyy vastaavaan toimivaan moottorilohkon tuloon.



Kuva 18 PID-säädin, virtaaman säätö

Asetusten mukaan kuvassa 19 PID-säädin, paineen säätö on esitetty ohjaustavan 2:n lohko. Tämä lohko on samanlainen, kuin edellinen, paitsi PID-säädin toimii, kun

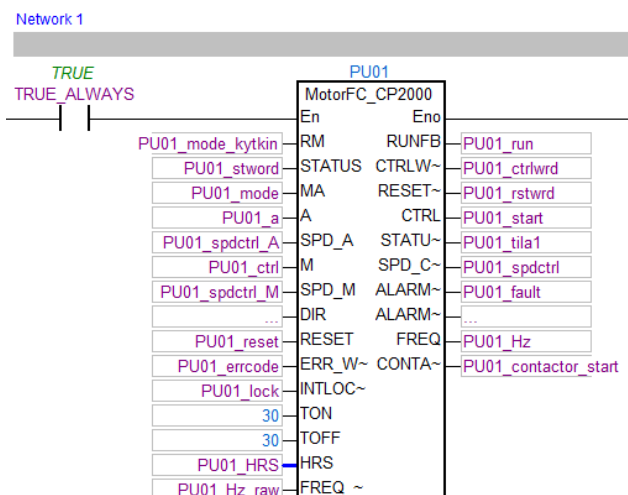
VPU\_type = “FALSE” ja säädettävä suure on paine. Asetukset ovat toisessa sarakeessa Kuva 13 Verkstopumpun asetus SCADA-järjestelmässä.



Kuva 19 PID-säädin, paineen säätö

## 5.6 Moottorit

Jokainen pumpun sähkömoottori ohjataan taajuusmuuttajalla Delta CFP2000. Tämän taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin ohjaukselle käytetään lohkoa MotorFC\_CP2000.



Kuva 20 Moottorilohko

Kuvataan lohkon käytettyjen tulojen ja lähtöjen tarkoitus.

#### Tulot:

RM – Remote mode. Jos on "TRUE", taajuusmuuttaja ohjataan kenttäväylällä, muuten taajuusmuuttajan PLC:lla.

STATUS – taajuusmuuttajan tilasana, sisältää tiedot käynnistyksestä, pysäytyksestä, virheilanteesta.

MA – Manual/automatic mode. Jos on "TRUE", pumppu ohjataan automaatiomoodissa, RVvuorottelu tai VPvuorottelu käynnistää tai pysäyttää pumpun. Jos on "FALSE", pumppu ohjataan manuaalimoodissa ja käyttäjä voi käynnistää, pysäyttää pumpun ja asetella nopeusohje.

A – Pumpun käyntiohje automaatiomoodissa.

SPD\_A – taajuusmuuttajan nopeusohje automaatiomoodissa.

M – Pumpun käyntiohje manuaalimoodissa.

SPD\_M – taajuusmuuttajan nopeusohje manuaalimoodissa.

ERR\_WORD – taajuusmuuttajan virhekoodi

RESET – käyttäjän komento resetoida taajuusmuuttajan

INTLOCK – pumpun lukitus

TON – valvontahälytyksen aika käynnistyksestä

TOFF - valvontahälytyksen aika pysäytyksestä

HRS – pumpun käyntiaika minuutteina.

FREQ – todellinen taajuusmuuttajan taajuus.

**Lähdöt:**

RUNFB – takaisinkytkentä taajuusmuuttajan kanssa, jos on ”TRUE” sähkömoottori on päällä.

CTRLWORD – PLC:lta taajuusmuuttajalle lähetettävä ohjausviesti, joka mm. sisältää komento pumpun sähkömoottorin käynnistykseen tai pysäytykseen.

RESETWORD – PLC:lta taajuusmuuttajalle lähetettävä reserointiviesti, jotta palauttaa taajuusmuuttajan normaalitilaan vian jälkeen.

CTRL – Jos on ”TRUE”, taajuusmuuttajalle annetaan komento pumpun sähkömoottorin käynnistykseen, muuten pysäytykseen.

STATUS\_OUT - taajuusmuuttajan tilasana, lähetettävä HMI:iin tai SCADA-järjestelmään.

SPD\_CTRL – taajuusmuuttajalle annettava taajuuden ohjeviesti, prosentteina maksimitaajuudesta

ALARM\_BOOL – taajuusmuuttajan hälytysviesti

FREQ – laskettu herzeina taajuusmuuttajalle annettava taajuuden ohjeviesti

CONTACTOR – komento laittaa päälle etukontaktorin, joka kytkettää pumpun sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan 3-vaiheiseen jännittelähteen sähköpiiriin.

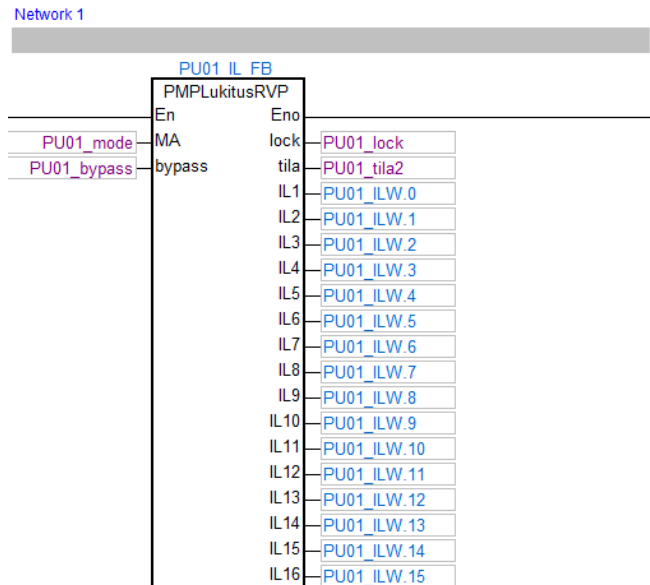
## 5.7 Lukitukset

Sekä raakaveden-, että verkostovedenpumppujen toiminto voi lukita määriteltyjen ehtojen mukaan. Ohjelma *Lukitukset* sisältää 2 eri tyyppisen lohkoja:

- *PMPLukitusRVP* – tarkoitettu raakavedenpumppuille P1-P2
- *PMPLukitusVPU* – tarkoitettu verkostovedenpumppuille P3-P5

Lohkojen periaate on samanlainen ja ero vain lukitsemisen ehdoissa. Käsitellään esitetty kuvassa 21 Raakavedenpumppujen lukituksen lohko *PMPLukitusRVP*. Pumppu lukitaan ainoastaan, kun se on automaatiotilassa eli lohkon tuloon MA pitää tulla PU01\_mode = TRUE. Lukitus pumpulle P1 tulee silloin, kun täytetään ainakin yksi ohjauksen estävä ehto (Kuva 10 Raakavedenpumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä, pumppujen ohjauksen estot). Myös on mahdollista välttää pumpun lukitusta SCADA-järjestelmästä, jos bypass-tuloon asettaa vastaaville estoehdoille PU01\_bypass tagin bitit ”1”:ksi. Kun pumppu lukittu, lock-lähtö aktiivisena ja PU01=TRUE. Lähdöt IL1-IL16 näyttävät, mitkä lukitukset ovat aktiivisina ja käytetty, kuten lähtötila debuggausta varten.

Verkostopumpuille ohjauksen estot ovat nähtävissä kuvassa 13 Verkostopumppauksen asetukset SCADA-järjestelmässä, pumppujen ohjauksen estot.



Kuva 21 Raakavedenpumppujen lukituksen lohko

## 5.8 Laskennat

SCADA-järjestelmän tulee tehdä raportointi sähkökulutuksesta ja tuotosta ainakin päivittäin, kuukausittain ja vuosittain. Ohjelmassa *Laskennat* lasketaan pumppujen tuoton ja sähkökulutuksen tunneittain käyttäen digitaalisiin tuloihin kytkettyjä pulssilaskureita, jotka esitetty liityntäluettelossa liitteessä 1 sarakkeessa "laskuritulo". Laskurin summa nollataan tunnin välein.

## 5.9 Tilasiirto

SCADA-järjestelmä ja PLC kommunikoivat Modbusin protokollalla, mikä siirtää erityyppisiä tag-arvoja. Tämän ohjelman tarkoitus on vähentää tiedonsiirron kuormituksen. Boolean-tyyppiset tagit sekä PLC:n, että SCADA:n puolella pakataan DWORD-tagiin. Tällä tavalla yhdellä DWORD-tagilla kerrallaan siirretään 32 boolean-tyyppistä tagia.

## 5.10 Aika

PLC:n ohjelmat voivat käyttää erilaisia systeemirekisteriä, jotka päivittyvät tietyn ajan välein. *Aika*-ohjelma alustaa systeemirekisteriä käyttäviä tagit ja huolehtii PLC:n ajan synkronoinnista.

## 5.11 TestRVP ja TestVP

Lohkot *TestRVP* ja *TestVP* käytetään prosessisimulointia varten.

*TestRVP*-ohjelma on tarkoitettu raakavedenpumppauksen simuloinnille. *TestRVP* ohjaa siiviläputkikaivojen ja alavesisäiliön pintaa. Kun pumppu P1 tai/ja P2 ovat päällä, siiviläputkikaivojen pinta laskee ja alavesisäiliön pinta nousee. Kun ei ole pumppausta, siiviläputkikaivojen pinta nousee tietyn arvon asti. Lisäksi FT1- ja FT2-virtaama on 0, jos ei ole pumppausta. Virtaama nousee, kun peruspumppu on päällä ja vieläkin lisääntyy, kun varapumppu on päällä.

*TestVP*-ohjelma on tarkoitettu verkostovedenpumppauksen simuloinnille. *TestVP* ohjaa vesitornin pintaa ja verkostopainetta. Kun ei ole pumppausta, vesitornin pinta ja verkostopaine laskevat. Jos jokin pumppu P3-P5 on päällä, vesitornin pinta ja verkostopaine nousevat ja alavesisäiliön pinta laskee. FT3-virtaama muuttuu riippuen käynnistettyjen verkostopumppujen määrän ja niiden tuoton mukaan.

## 6 FAT-testi

FAT-testaus suoritettiin simuloituissa olosuhteissa eikä todellisen laitteiston yhteydessä. Koottuun automaatiokeskukseen PLC:n kanssa oli kytketty taajuusmuuttaja. Ensimmäisessä vaiheessa kaikki PLC:n ja sen moduulien tulot ja lähdöt oli testattu. Analogiset tulot ja lähdöt oli tarkistettu virtaviestillä 0-20 mA rajoissa. Toisessa vaiheessa oli tehty prosessisimulointi ohjelmilla *TestRVP* ja *TestVP*. Tällä oli tarkistettu taajuusmuuttajan ohjaus PLC:lla. SCADA-järjestelmässä oli saatu testiraportit simuloitusta prosessista, joka sisältää muun muassa energiakulutuksen, tuoton ja anturien mittausten keskiarvoja, minimi- ja maksimiarvoja.

## 7 Yhteenveto

Asianmukaisen suunnittelun täytyy ottaa huomioon kaikki merkittävät tekijät ja myös epätodennäköisetkin tekijät, joilla voi olla vakavia seurauksia automatisoituun prosessiin. Hyvä suunnittelu antaa mahdollisuuden varmistaa automatisoidun laitoksen luotettavuuden ja välttää ongelmia toteutuksen, käyttöönoton, tuotannon, kunnossapidon ja purkamisen vaiheissa.

UML-mallinnus on yleispätevä keino, jolla voi rakentaa tilakaavioita, sekvenssikaavioita, kommunikointikaavioita ja muita kaavioita sellaisissa käyttötarkoituksissa kuten ohjelmistosuunnittelu, järjestelmien arkkitehtuuri, prosessiteknikka. Tässä työssä on esitetty todellisen prosessin ohjelmistosuunnittelun esimerkki, joka perustuu UML-esityksen käyttämiseen.

Tämä työ sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen ohjelmien ja toiminnallisten lohkojen rakenteesta. Kuvaus on geneerinen ja, siksi toteutus voidaan suorittaa myös toisen valmistajan PLC:llä tai millä tahansa IEC 61131-3-standardin mukaisella ohjelmointikielellä. Ohjelmiston suunnittelu ja siihen liittyvä ohjelmien ja toimintolohkojen toteutus oli tehty rakenteisella teksti- (ST) ja tikapuukielellä (LAD) projektisuunnitelman mukaan.

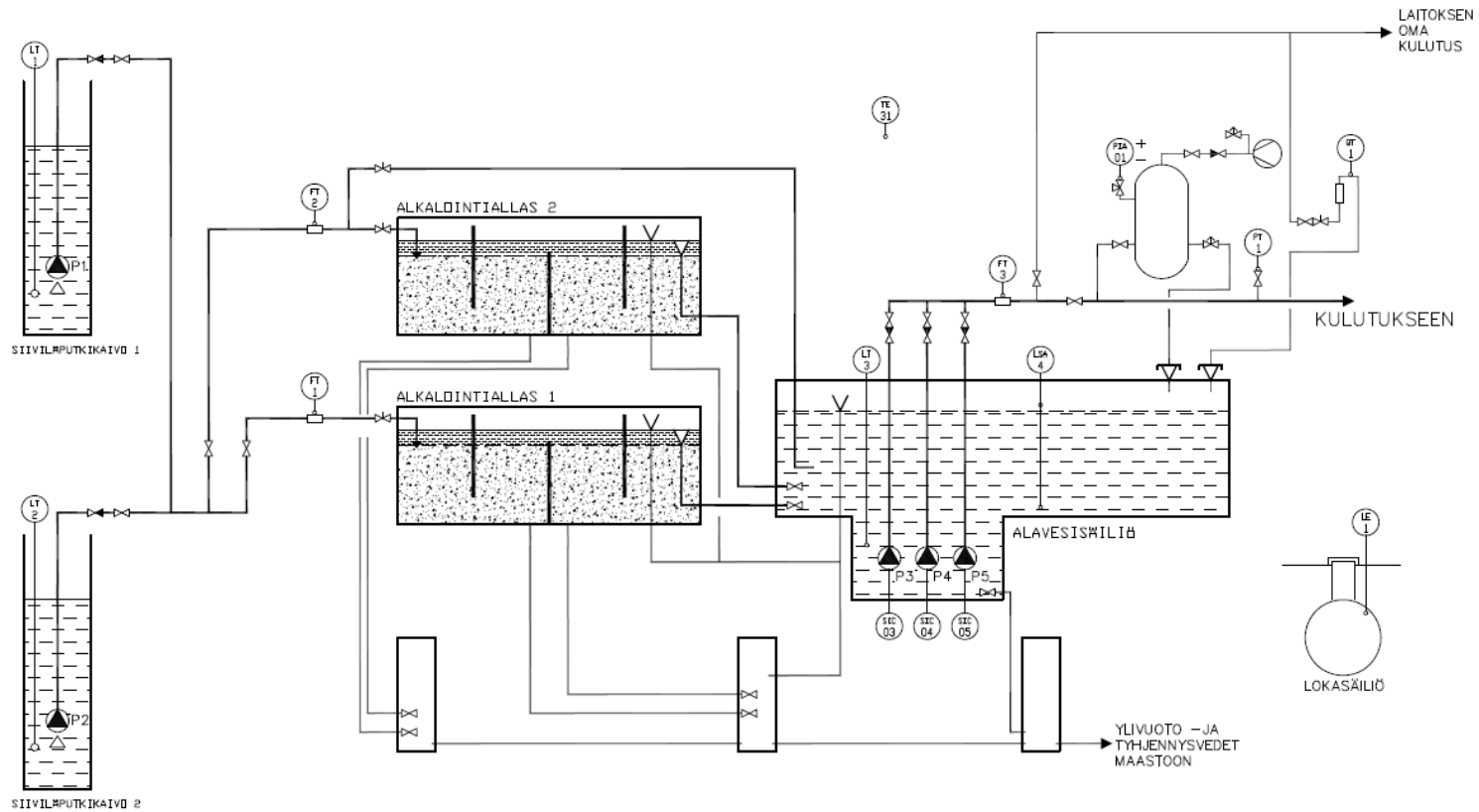
Voisin tiivistää, että kaikki vedenottamon automaatiojärjestelmän asiakkaan vaatimukset otettiin huomioon, projekti ja sen käyttöönotto saatiin valmiiksi ajoissa. Oikea projektinhallinta, joka sisältää tehtävien jaon ja vastuunjaon, riskien hallinta ja työn organisointi on taannut hankkeen onnistumisen ja laadukkaan tuloksen. Asiakas on saanut skaalautuvan toimivan automaatiojärjestelmän. Skaalautuvuus voidaan havainnollistaa seuraavalla esimerkillä: puhdasvesilaitteistoon kuuluu vedenottamoja, painekorotusasemia, vesitorni ja voi lisätä yhä muita laitteistoja. Sitten siirtyen hierarkian ylemmälle tasolle SCADA-järjestelmässä saadaan raportointi, valvotaan ja tarpeen mukaan säädetään parametria muille prosessiautomaatiojärjestelmille kuten jätevedenpumppaamon ja jätevenpuhdistamon automaatiojärjestelmille.



## Lähteet

- 1 AS Series Programming Manual. <https://www.deltaww.com/Products/PluginWebUserControl/downloadCenterCounter.aspx?DID=8549&DocPath=1&hl=en-US>. Luettu 1.2.2020.
- 2 AS Series Operation Manual. <https://www.deltaww.com/Products/PluginWebUserControl/downloadCenterCounter.aspx?DID=8547&DocPath=1&hl=en-US>. Luettu 1.2.2020.
- 3 Delta IP55 Fan and Pump Drive CFP2000 Series User Manual. <http://www.deltaww.com/Products/PluginWebUserControl/downloadCenterCounter.aspx?DID=8976&DocPath=1&hl=en-US>. Luettu 1.2.2020.
- 4 UML-mallinnus. <https://fi.wikipedia.org/wiki/UML-mallinnus>. Luettu 1.2.2020.
- 5 Lyhyt UML-opas. <http://www.cs.tut.fi/~ohjsuun/luennot/2015/UMLpikaopas.pdf>. Luettu 1.2.2020.

## Liite 1. Heralammen vedenottamo, kaukokäyttöjärjestelmä, prosessikaavio



## Liite 2. Liityntäluettelo

AUTOMAATIOKESKUS		LIITYNNÄT					APULAITTEET				HÄLYTYKSET/LASKENNAT									
VL02-AK1		DIGITAAJOHJAUS	DIGITAAJUTULO	ANALOGIOHJAUS	ANALOGIATULO	LASKUTULO	HUOM.	APURELE	GALVAANINEN EROTIN	VIRTAMUUNTAJA	JÄÄNITTEEN VALVONTARELE	HUOM.	RISTIRITÄHÄLYTYS	YLÄRAJAHÄLYTYS	ALARAJAHÄLYTYS	VIIVE	LUOKKA	KÄYTTÖAIKA	RAPORTOINTI	LIITYNTÄ
TUNNUS	PISTEEN KUVAUS	DO	DI	AO	AI	DI														
	<b>YHTEENSÄ</b>	8	24	3	12	4	51	8	0	0	1									
	<b>SIIVILÄPUTKIKAIVO 1</b>																			
P1	Pumppu 1																			
	- valittu automaattikäytölle		1																	
	- käyntiin-ohjaus	1						1												
	- käyntitilatieto		1										X			X	B	X	X	
	- hälytys		1												X	A				
LT1	Kaivon pinnankorkeus				1										X				X	
	<b>SIIVILÄPUTKIKAIVO 2</b>																			
P2	Pumppu 2																			
	- valittu automaattikäytölle		1																	
	- käyntiin-ohjaus	1						1												
	- käyntitilatieto		1										X		X	B	X	X		
	- hälytys		1												X	A				
LT2	Kaivon pinnankorkeus				1										X				X	
	<b>ALKALOINTIALTAAT</b>																			
FT1	Tulovirtausmittaus/ alkalointiallas 1																			
	- virtaama				1									X	X	X	B			
	- vesimäärä					1													X	
FT2	Tulovirtausmittaus/ alkalointiallas 2																			
	- virtaama				1									X	X	X	B			
	- vesimäärä					1													X	

AUTOMAATIOKESKUS		LIITYNNÄT					APULAITTEET				HÄLYTYKSET/LASKENNAT									
VL02-AK1		DIGITAAIOHJAUS	DIGITAAILITELO	ANALOGIOHJAUS	ANALOGIATEILO	LASKUTEILO	HUOM.	APURELE	GALVAANINEN EROTIN	VIRTAMUUNTAJA	JÄNNITTEEN VALVONTATELE	HUOM.	RESTRITAHÄLYTYKSET	YLÄRAJAHÄLYTYKSET	ALARAJAHÄLYTYKSET	VIVE	LUOKKA	KÄYTTÖAIKA	RAPOORTOINTI	LIITYNTÄ
TUNNUS	PISTEEN KUVAUS	DO	DI	AO	AI	DI														
	<b>YHTEENSÄ</b>	8	24	3	12	4	51	8	0	0	1									
	<b>ALAVESISÄILIÖ</b>																			
P3/ SIC03	Pumppu 3																			
	- valittu automaattikäytölle		1																	
	- etukontaktorin ohjaus	1						1												
	- kontaktorin tilatieto		1										X			X	A			
	- taajuusmuuttaja käy/ seis- ohjaus	1						1												
	- taajuusmuuttajan tilatieto		1										X			X	B	X	X	
	- taajuusmuuttajan hälytys		1													X	A			
	- taajuusmuuttajan säätöohje			1																
	- pumpun virta (tieto taajuusmuuttajalta)				1									X	X	X	B		X	
P4/ SIC04	Pumppu 4																			
	- valittu automaattikäytölle		1																	
	- etukontaktorin ohjaus	1						1												
	- kontaktorin tilatieto		1										X			X	A			
	- taajuusmuuttaja käy/ seis- ohjaus	1						1												
	- taajuusmuuttajan tilatieto		1										X			X	B	X	X	
	- taajuusmuuttajan hälytys		1													X	A			
	- taajuusmuuttajan säätöohje			1																
	- pumpun virta (tieto taajuusmuuttajalta)				1									X	X	X	B		X	
P5/ SIC05	Pumppu 5																			
	- valittu automaattikäytölle		1																	
	- etukontaktorin ohjaus	1						1												
	- kontaktorin tilatieto		1										X			X	A			
	- taajuusmuuttaja käy/ seis- ohjaus	1						1												
	- taajuusmuuttajan tilatieto		1										X			X	B	X	X	
	- taajuusmuuttajan hälytys		1													X	A			
	- taajuusmuuttajan säätöohje			1																
	- pumpun virta (tieto taajuusmuuttajalta)				1									X	X	X	B		X	
LT3	Alavesisäiliön pinnankorkeus				1									X	X	X	B		X	
LSA4	Alavesisäiliön pintakytkin	2												X	X	X	A			

AUTOMAATIOKESKUS		LIITYNNÄT					APULAITTEET				HÄLYTYKSET/LASKENNAT									
VL02-AK1		DIGITAAJIOHJAUS	DIGITAAJITULO	ANALOGIOHJAUS	ANALOGIATULO	LASKURITULO	HUOM.	APURELE	GALVAANINEN EROTIN	VIRTAMUUNTAJA	JÄNNITTEEN VALVONTARELE	HUOM.	RISTIRITÄHÄLYTYS	YLÄRAJAHÄLYTYS	ALARAJAHÄLYTYS	VIIVE	LUOKKA	KÄYTTÖAIKA	RAPORTOINTI	LIITYNTÄ
TUNNUS	PISTEEN KUVAUS	DO	DI	AO	AI	DI														
	<b>YHTEENSÄ</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>51</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>									
	<b>VERKOSTOMITTAUKSET</b>																			
FT3	Lähtevän veden virtausmittaus																			
	- virtaama				1									X	X	X	B			
	- vesimäärä					1														X
QT1	Lähtevän veden pH				1									X	X	X	B			X
PT1	Lähtevän veden paine				1									X	X	X	B			X
PIA01	Painekytin, ala- ja ylärajahälytys		2											X	X	X	A			
	<b>MUUT LIITYNNÄT</b>																			
LE1	Lokasäiliön ylärajahälytys		1													X	B			
TE31	Laitoksen sisälämpötilan mittaus				1									X	X	X	B			
EIQ01	Sähköenergian mittaus					1														X
EIA01	Sähkökatkohälytys		1								1					X	A			

### **Liite 3. Käytetyn ohjelmiston luettelo**

ISPSOft 3.0.7 - tarkoitettu PLC:n ohjelman luomista varten

HWCONFIG 3.07.00 – PLC:n ja moduulien konfigurointiohjelma

COMMGR 1.11 – kommunikointiohjelma, joka toimittaa PLC:n ajurin toiminnon Windowsin järjestelmässä

Integraxor 6.0 – SCADA-järjestelmä

Microsoft Visio Professional 2013 – ohjelma kaavion luomista varten

## Liite 4. Raakaveden ja verkostoveden prosessin tilakaavio

