



Emma Ilkkala

Keskikokoisen jätevedenpuhdistamon automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

28.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Emma Ilkkala
Otsikko: Keskikokoisen jätevedenpuhdistamon automatisointi
Sivumäärä: 37 sivua + 1 liite
Aika: 28.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Tiimipäällikkö Juha Arvas
Lehtori Matti Välikylä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää keskikokoisen jätevedenpuhdistamon automatisoinnin vaihtoehtoja. Opinnäytetyö tehtiin AFRY Finland Oy:n kautta Sysmän kunnalle.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi automaatioon ja tiedonsiirtoonliittyviä tekniikoita ja kerrotaan jätevedenpuhdistuksen merkityksestä yleisesti. Työn toisella puoliskolla keskitytään Sysmän jätevedenpuhdistamon toimintaan ja tarpeisiin sekä käydään läpi eri automaatiolaitetoimittajien tarjoamia vaihtoehtoja Sysmän jätevedenpuhdistamon näkökulmasta.

Työn tuloksena syntyi Sysmän kunnalle luovutettu raportti, jossa selvennetään jätevedenpuhdistamon nykytilaa ja tarkennetaan uuden automaation vaatimuksia. Raportti tulee olemaan osa sähkö- ja automaatiiosaneerauksen KVR-hankinnan tarjouspyyntömateriaalia.

Avainsanat: automaatiojärjestelmä, jätevedenpuhdistamo, PLC, prosessiautomaatio, tiedonsiirto

Abstract

Author: Emma Ilkkala
Title: Automatization of a Medium-sized Sewage Treatment Plant
Number of Pages: 37 pages + 1 appendix
Date: 28 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Technology
Professional Major: Automation Technology
Supervisors: Juha Arvas, Team Leader
Matti Välikylä, Senior Lecturer

The aim of this thesis work was to determine options for the automatization of a medium sized sewage treatment plant. The work was carried out for the municipality of Sysmä through AFRY Finland Oy.

The thesis starts with an overview of technologies used in automation and data transfer. The significance of sewage treatment is also explained on a general level. The second half of the thesis concentrates on the particulars of the sewage treatment plant in Sysmä: its functions and needs with respect to automation, including some options regarding automation equipment manufacturers.

The result of this thesis work is a report delivered to the municipality of Sysmä. The report elucidates the current situation at the sewage treatment plant and specifies requirements regarding the new automation. The report will be part of an invitation to tender for automation and electrical renovation contract.

Keywords: Automation system, Data transmission, PLC, Process automation, Sewage treatment plant

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Automaation toteutus ja tiedonsiirto	1
2.1	Automaation toteutustapa	1
2.2	PLC	3
2.3	Tiedonsiirto	8
3	Jätevedenpuhdistamon toiminta	14
3.1	Jätevedenpuhdistuksen merkitys	14
3.2	Sysmän jätevedenpuhdistamo	15
3.3	Tavoitteet ja vaatimukset Sysmän uudelle järjestelmälle	17
4	Automaatio- ja valvomojärjestelmät	18
4.1	Automaatiojärjestelmät	18
4.1.1	Siemens	19
4.1.2	Omron	20
4.1.3	Schneider Electric	21
4.1.4	Mitsubishi Electric	22
4.1.5	Lining	22
4.1.6	Kiinteistöautomaatio	23
4.2	Valvomojärjestelmät	24
5	Tietoliikenne	26
6	Johtopäätökset	29
6.1	Uuden automaation sovittaminen olemassa olevalle laitokselle	29
6.2	Automaation muunneltavuus tulevaisuudessa	30
6.3	Arvio toteutustavoista	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1: Järjestelmäkaaviot

Lyhenteet

- CPU: *Central Processing Unit*. Suoritin tai prosessori. Se osa tietokoneesta, joka suorittaa ohjelmien sisältämät käskyt.
- DCS: *Distributed Control System*. Hajautettu ohjausjärjestelmä. Koostuu suuresta määrästä autonomisia ohjaimia keskusyksikön valvomina.
- HMI: *Human Machine Interface*. Ihmisen ja koneen välinen rajapinta. Koneeseen tai laitteeseen integroitu käyttöliittymä ohjelmointia, valvontaa ja/tai säätöä varten.
- I/O: *Input/Output*. Automaation tulot ja lähdöt automaatiolaitteen näkökulmasta.
- KVR: *Kokonaisvastuurakentaminen*. Urakkamalli, johon kuuluu tilaajan näkökulmasta vain yksi urakoitsija. Tilaaajan kanssa KVR-sopimuksen tehnyt urakoitsija vastaa koko työn toteutuksesta. Avaimet käteen -periaatteella toteutettu urakka.
- OSI: *Open Systems Interconnection*. OSI-malli, tietoliikennejärjestelmien suunnittelussa käytetty malli.
- PLC: *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikka, logiikka. Pieni tietokone teollisuuden automaation ohjaamiseen ja säätöön. Voidaan yhdistää toisiin PLC-laitteisiin ja SCADA-järjestelmään.
- SCADA: *Supervisory Control And Data Acquisition*. Valvomo-ohjelmisto, PC-valvomo. Tarkoitettu useiden erillisten ohjausjärjestelmien hallintaan keskitetyksi, muistuttaa toiminnaltaan DCS:ää.
- TCP/IP *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*. Internetin oletuskommunikaatiometodi. Internet-liikennöinnin protokollapino.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda raamit keskikokoisen jätevedenpuhdistamon automatisoimiseksi 2020-luvun vaatimusten mukaisesti. Työ toteutettiin AFRY Finland Oy:n konsultti- ja suunnittelupalveluna Sysmän kunnalle.

Työn tavoitteena oli löytää 1–3 vaihtoehtoa Sysmän jätevedenpuhdistamon automatisoimiseksi siten, että ratkaisussa käytetään kohteeseen sopivaa tekniikkaa yhdistettynä laajennettavuuteen ja etävalvontaan. Sysmän kunnalle laaditun erillisen raportin on tarkoitus olla pohjana KVR-urakkana toteutettavan automaatio- ja sähkö saneerauksen tarjouskilpailulle.

Työ alkoi jätevedenpuhdistamon nykytilanteen kartoittamisella. Valokuvien ja löytyneiden sähkökuvien perusteella selvitettiin olemassa olevat laitteet ja niiden ohjaustavat. Selvityksen perusteella laadittiin arvio uuden automaation laajuudesta ja sopivista toteutustavoista. Arvion laadinnassa huomioitiin yhteensopivuus olemassa olevien järjestelmien kanssa, etäkäyttömahdollisuudet ja laajennettavuus. Lisäksi kiinnitettiin huomiota järjestelmän elinkaareen eli valmistajan lupaamaan aikaan varaosien saannille ja ohjelmiston ylläpidolle.

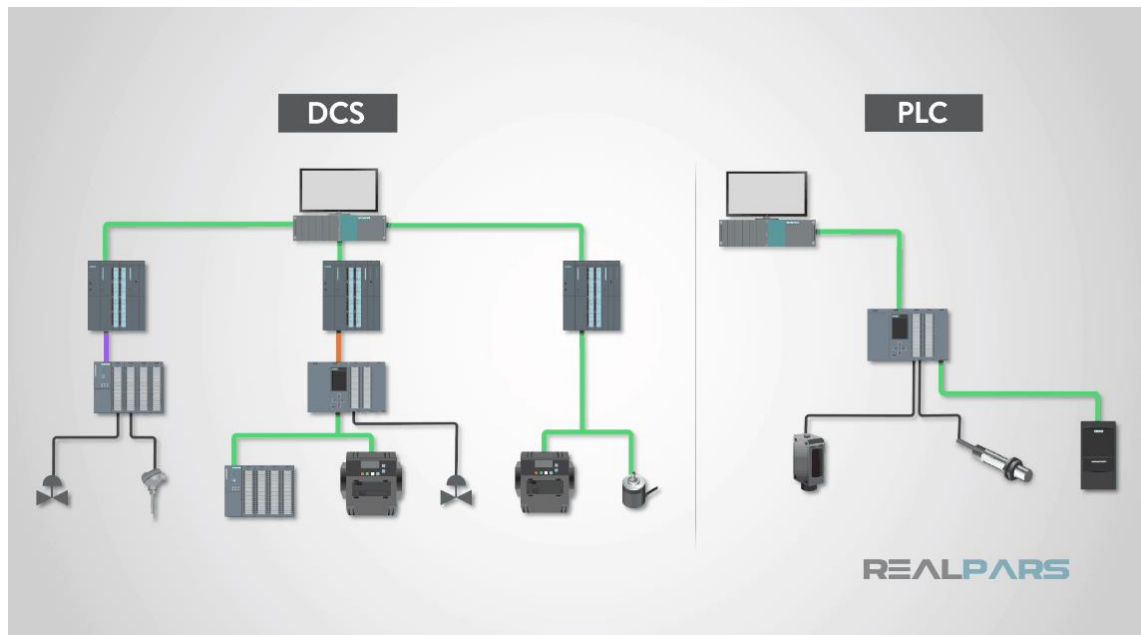
Työssä käydään läpi automaatiojärjestelmien vaihtoehtoja ja kerrotaan myös jätevedenpuhdistuksen prosessista.

2 Automaation toteutus ja tiedonsiirto

2.1 Automaation toteutustapa

Valvomoon liitettyssä automaatiossa toteutusvaihtoehtoja on kaksi: DCS ja PLC+SCADA. Kuva 1 esittää DCS- ja PLC-järjestelmän perinteistä jakoa. Tietotekniikka ja tiedonsiirto ovat kehittyneet niin pitkälle, että ero järjestelmien välillä on hämärtynyt. Suurimmat erot tulevat järjestelmän hallinnassa siinä vaiheessa,

kun automaation koko kasvaa tuhansiin I/O-pisteisiin (Input/Output, automaation tulot ja lähdöt). [1.]



Kuva 1. Havainnekuva DCS:n ja PLC:n eroista perinteisen jaon mukaan. [1.]

DCS (distributed/decentralized control system) on suurten laitosten hajautettu ohjaus- ja valvontajärjestelmä. Siinä kaikki automaatiolaitteet ja valvomojärjestelmä tulevat samalta valmistajalta ja ne on suunniteltu toimimaan yhdessä. Muiden valmistajien laitteita järjestelmään kytkettäessä voi ilmetä suuria ongelmia yhteensopivuuden kanssa. DCS:ään liittyy tuhansista kymmeniin tuhansiin I/O-pistettä. Perinteisesti DCS:ään kuuluu yksi ohjauskeskus, jonka alla on useita prosessiasemia (kuva 1). Prosessiasemat ovat sijoitettuina hajautetusti eripuolille laitosta, mistä nimi hajautettu ohjaus tulee. Prosessiasemat huolehtivat useiden samanaikaisten toimintojen synkronoinnista. [2, s.155-156; 3, s. 53.]

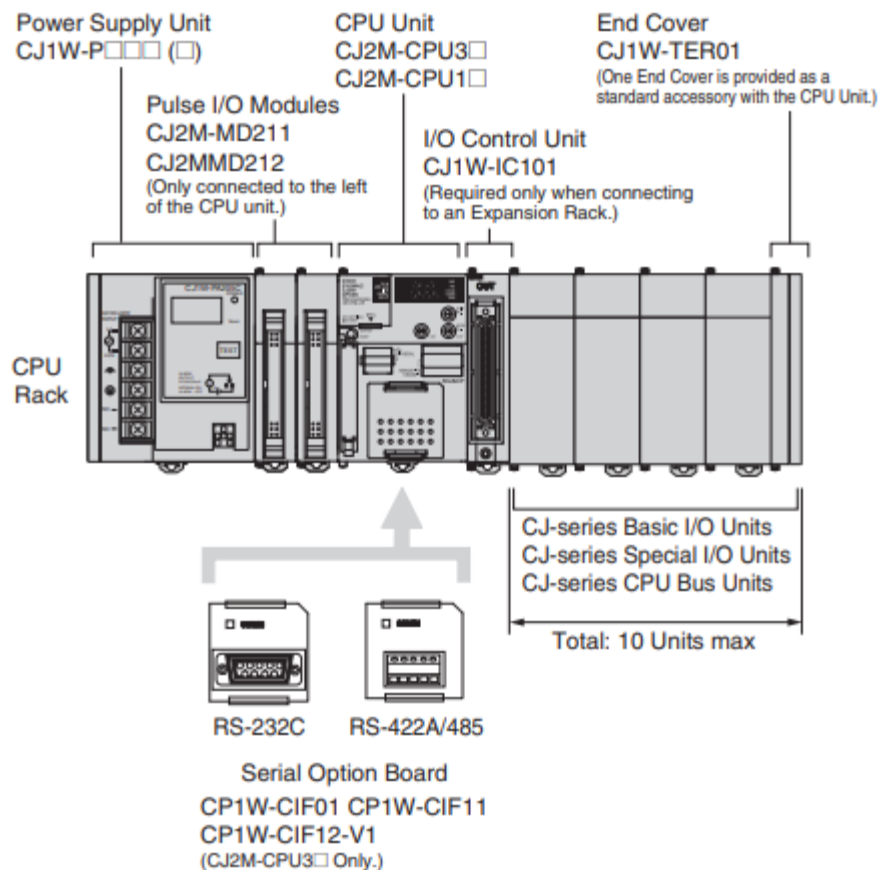
PLC (programmable logic controller) on ohjelmoitava logiikka, lyhyemmin logiikka, jolla voi ohjata tai säätää koneita ja prosesseja. Yhdellä PLC-ohjatulla laitoksella on tyypillisesti useiden eri valmistajien eri aikoihin hankittuja logiikoita. Alkujaan PLC on kehitetty ohjaamaan yhtä pientä konetta. Nykyään

ohjelmoitaviin logiikoihin liittyy kymmenistä kymmeneen tuhansiin I/O-pistettä. Ohjelmoitava logiikka voi sisältää ohjauspaneelin, mutta ei valvomojärjestelmää. Valvomojärjestelmänä on tällöin SCADA (supervisory control and data acquisition) eli useiden erillisten logiikoiden hallintaan tarkoitettu valvomojärjestelmä. SCADA-valvomojärjestelmä on tyypiltään avoin, jolloin siihen voi liittää vapaasti eri valmistajien laitteita erilaisia tekniikoita käyttäen. Monilla PLC-valmistajilla on tarjolla myös SCADA-ohjelmistoja. Uusimmat SCADA-ohjelmistot pyöriivät nettiselaimessa, eivätkä ole sidottuja tietyn valmistajan laitteisiin. Tietoturvaan on SCADA-järjestelmässä kiinnitettävä erityistä huomiota. Toisin kuin DCS, joka suunnitellaan alusta asti yhdeksi kokonaisuudeksi, SCADA tuo yhteen laitteita, jotka mahdollisesti noudattavat erilaisia protokollia tai on suunniteltu paikallisiksi toimilaitteiksi, mistä johtuen niiden tietoturvaominaisuudet eivät ole riittäviä itsessään. [2, s.165-158; 3, s. 54-56, 58-59; 4.]

Koska Sysmän jätevedenpuhdistamon potentiaaliset I/O-pisteet mitataan sadoissa eikä tuhansissa, automatisoidaan laitos ohjelmoitavilla logiikoilla.

2.2 PLC

PLC on joustava automaattioratkaisu. Yksi PLC koostuu minimissään virtalähteestä, tietokoneesta (CPU, Central Processing Unit, suoritin, prosessori) ja I/O-yksiköstä. Näiden lisäksi ohjelmoitavassa logiikassa voi olla esimerkiksi kommunikaatiomoduuleita tai ohjausyksiköitä. Kuvassa 2 on esitetty Omronin CJ-sarjan modulaarinen logiikka eri komponentteineen. [5, s. 249-254.]

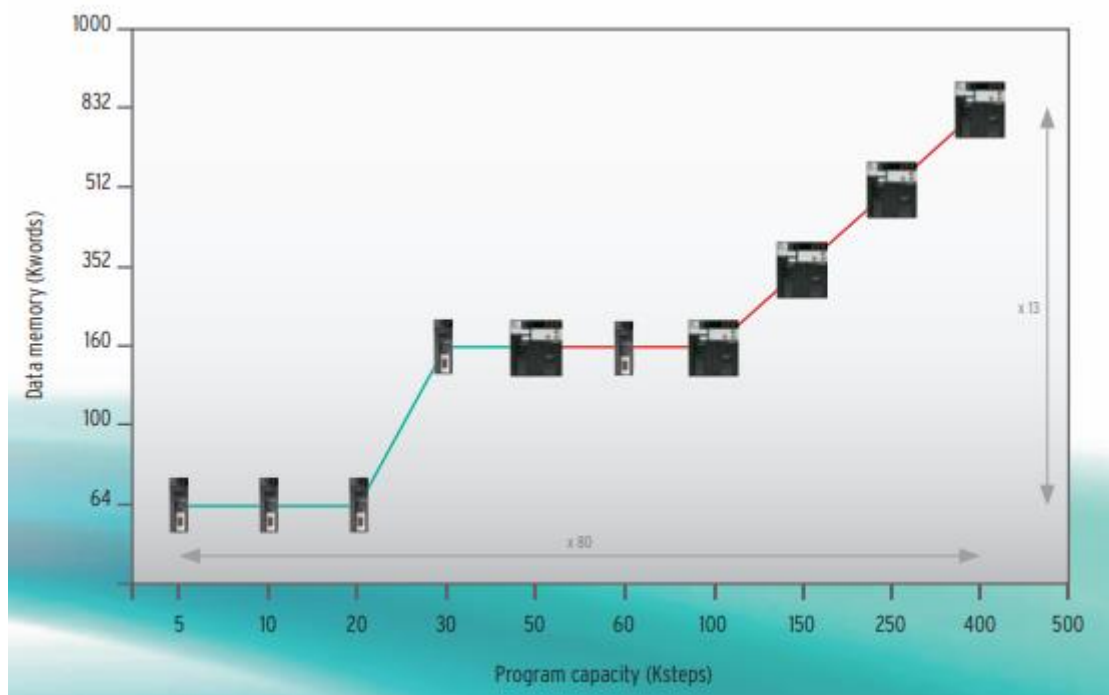


Kuva 2. Modulaarisen logiikan eri osia. Virtalähde, pulssi-, CPU- ja I/O-yksiköt. Omron CJ-sarja. [6]

Pienimmissä laitteissa, joita kutsutaan mikrologiikoiksi tai kompaktilogiikoiksi, tietokone ja I/O-yksikkö voivat olla samojen kuorien sisällä kiinteästi, mutta tyyppillisesti ne ovat omina yksiköinä eli modulaarisia, kuten kuvan 2 tapauksessa, jolloin PLC:n muunneltavuus toimii optimaalisimmin. Modulaarisiin logiikoihin voi valita – CPU:n muistin tai muiden fyysisten rajoitteiden asettamien rajojen sisällä – kuinka paljon ja minkä tyyppisiä tuloja ja lähtöjä logiikkaan tulee. Kiinteitä logiikoita ei ole mahdollista muokata, mutta niistä voi olla mahdollista siirtää tietoa eteenpäin suurempaan ohjausyksikköön. [5, s. 249-254.]

Ohjelmoitavan logiikan ominaisuudet ovat riippuvaisia CPU:n valinnasta. CPU määrää, kuinka paljon tuloja ja lähtöjä voi olla, kuinka nopeasti automaatio voi toimia ja kuinka laajaa ohjelmaa logiikka pystyy pyörittämään. Kuvassa 3 on havainnollistettu CPU:n vaikutusta käytettävissä olevaan muistiin ja ohjelman

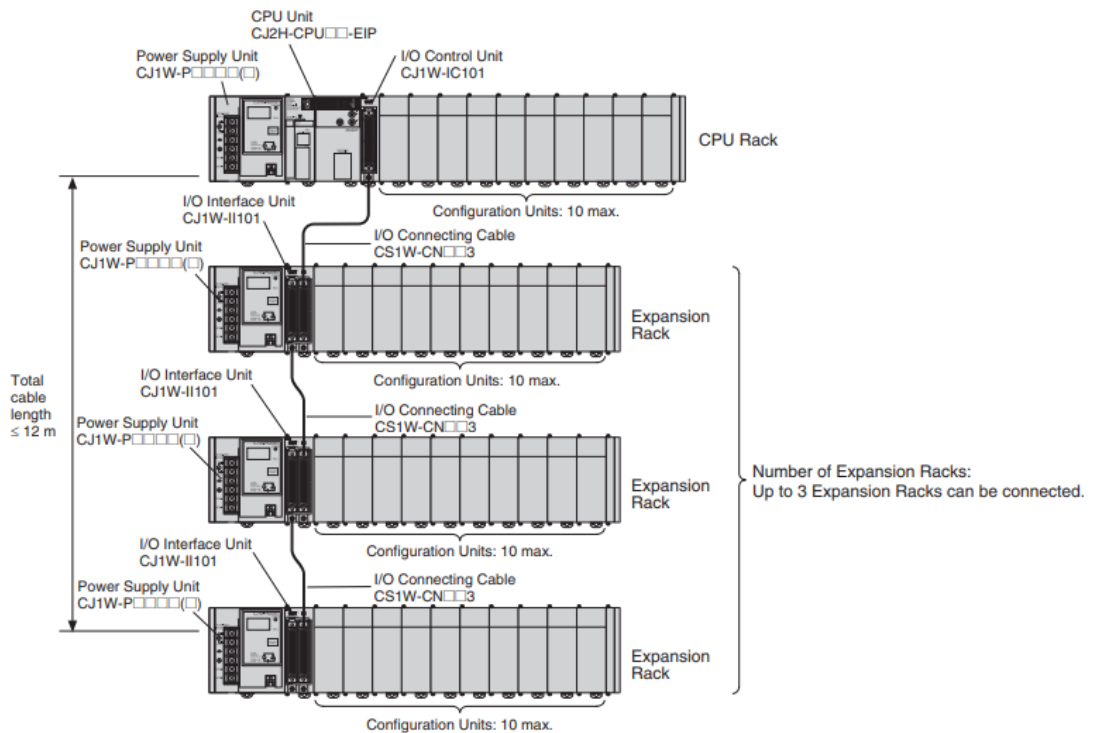
laajuuteen Omronin CJ-sarjan avulla. Useimmilla valmistajilla hajautetun I/O:n toteuttamiseen on omat CPU-yksikkönsä, mutta esimerkiksi Schneiderilla Modicon M251 -yksikköön voi kytkeä sekä paikallista – CPU:ssa kiinni olevaa – että hajautettua I/O:ta.



Kuva 3. CPU-yksiköiden skaalautuvuus. Omronin CJ-sarja. [6.]

Hajautetussa I/O:ssa (distributed I/O) I/O-moduulit voivat sijaita etäällä CPU:sta. Tästä on hyötyä erityisesti, jos prosessiolosuhteet ovat haastavat. I/O-yksikkö on tällöin mahdollista sijoittaa lähelle prosessia ja CPU siistimpään ympäristöön prosessitilojen ulkopuolelle. Hajautettu I/O tarvitsee oman jännitteensyötön.

Hajautetun I/O:n ja paikallisen I/O:n välimaastossa ovat laajennetut I/O-yksiköt (expansion I/O). Kuvassa 4 on esitetty Omronin CJ-sarjan versio. Laajennetun I/O:n yksiköiden ei ole pakko sijaita CPU:n välittömässä läheisyydessä, mutta esimerkiksi tässä Omronin tapauksessa etäisyys on rajoitettu enimmillään 12 metriin.



Kuva 4. Laajennettu I/O. Omronin CJ-sarja. [6.]

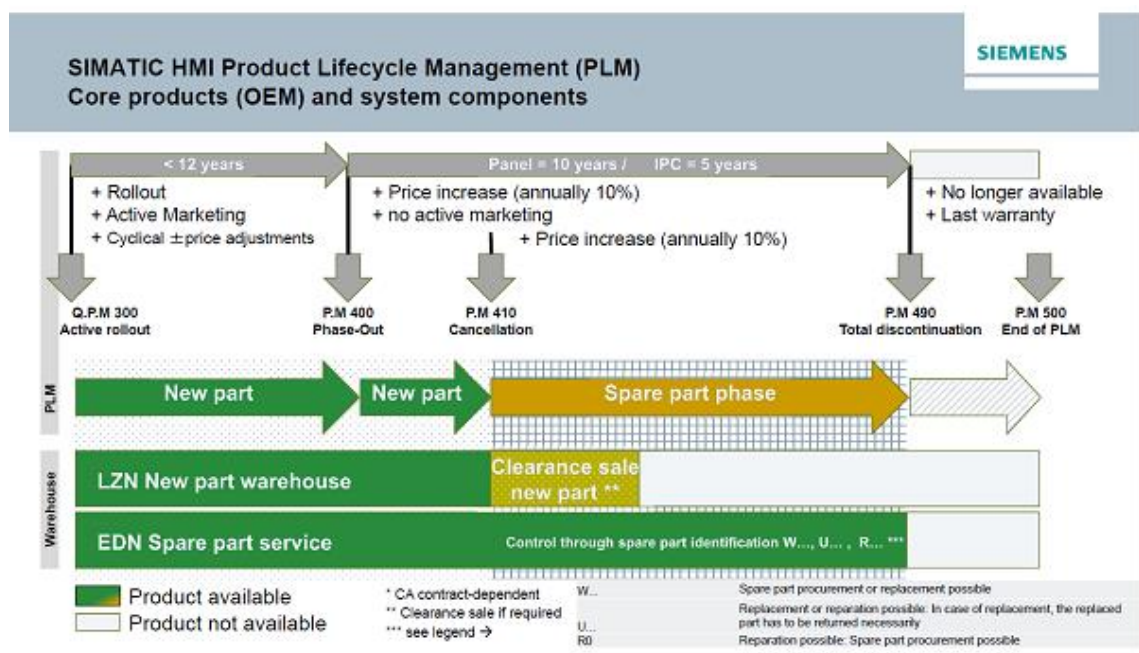
Termiä etä-I/O (remote I/O) käytetään myös. Schneiderilla tämä tarkoittaa suunnilleen samaa kuin laajennettu I/O [7]. Kunkin valmistajan käyttämän termin tarkka merkitys on syytä varmistaa valmistajan materiaaleista (datalehdet ym.).

PLC ohjelmoidaan joko PC-koneella tai HMI-käyttöliittymällä (Human Machine Interface), joka voi olla esimerkiksi tabletti tai vain pieni näyttö logiikan kyljessä. Ohjelmointikielistä on olemassa standardi IEC 61131-3, joka määrittelee viisi erilaista ohjelmointikieltä ja -tapaa:

- IL = Instruction List, käskylista
- ST = Structured Text, strukturoitu teksti
- LD = Ladder Diagram, tikapuukaavio, relekaavio
- FBD = Function Block Diagram, toimilohkokaavio
- SFC = Sequential Function Chart, sekvenssiohjaus.

Standardoitujen kielten lisäksi osaa logiikoista voi nykyään ohjelmoida myös korkeamman tason ohjelmointikielillä, kuten C:llä [8]. Ohjelma siirretään logiikalle tyypillisesti USB-tiedonsiirrolla.

Uutta ohjelmoitavaa logiikkaa valittaessa on otettava huomioon tuotteen valmistuksen elinkaari. Tuotteita tai tuotemalleja valmistetaan vain rajatun aikaa. Takuut ja varaosien saatavuus ovat sidoksissa valmistusaikaan. Kuva 5 havainnollistaa elinkaaren vaiheita Siemensin HMI-päätteen avulla, mutta sama pätee logiikoihin ja I/O-kortteihin. Toimintakatkosten välttämiseksi laite olisi hyvä olla jo uusittuna siinä vaiheessa, kun varaosien myynti päättyy.



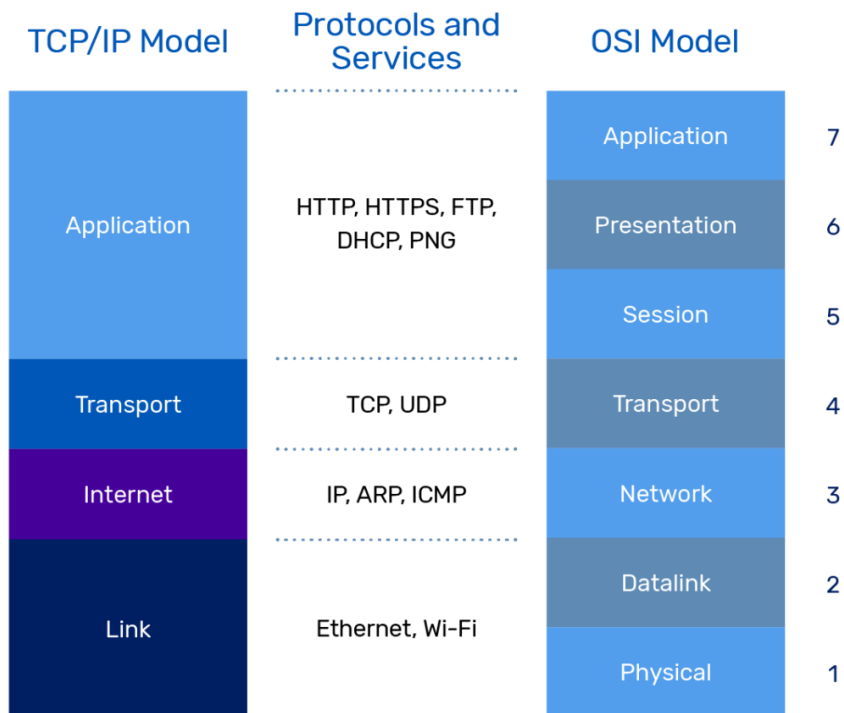
Kuva 5. Siemensin HMI-päätteen elinkaari lanseerauksesta kaiken tuen loppumiseen. [9.]

PLC:n käyttöikään vaikuttavat monet asiat. Tekninen kehitys tuo omat haasteensa lisääntyneiden vaatimusten myötä. Valmistajan tarjoamat ohjelmistopäivitykset pidentävät PLC:n käyttöikää tuomalla käyttöön uusia ominaisuuksia ja korjaamalla vanhoja. Varaosien hinnat voivat nousta rajusti tuotannon päättymisen myötä (kuva 5); jossain vaiheessa on halvempaa hankkia uusi kuin korjata vanhaa. Käyttöympäristö ja käytötapa vaikuttavat myös käyttöikään.

Esimerkiksi relelähtöjen käyttöikä on lyhyempi kuin digitaalisten tulojen, koska releissä tapahtuu mekaanista kulumista käytön myötä. Tärinä on yksi elektronikkaa nopeammin kuluttava tekijä. Jos mahdollista, logiikka on hyvä sijoittaa pölyltä ja kosteudelta suojattuun tasalämpöiseen tilaan. Yleisesti PLC:n käyttöikäksi arvioidaan noin 10-15 vuotta [10]. Toisaalta PLC voi olla hyvin sijoitettuna ja päivitettyinä teknisiltä ominaisuuksiltaan täysin toimintakunnossa vielä 20 vuoden päästä. [4; 11.]

2.3 Tiedonsiirto

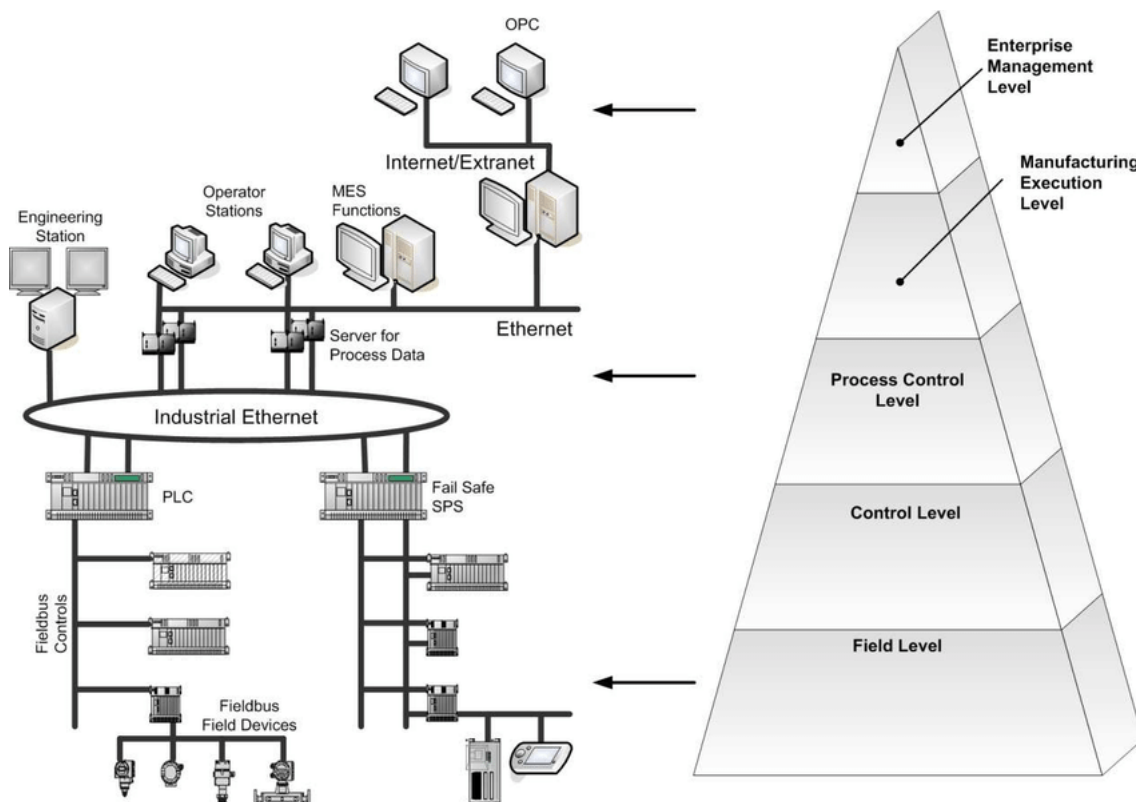
Tiedonsiirron havainnollistamiseen käytetään tyypillisesti OSI-mallia (Open Systems Interconnection). OSI-malli kuvaa tiedonsiirron seitsemäntasoisena järjestelmänä, jossa jokaisella tasolla on oma tehtävänsä. OSI-malli luotiin Internetiä varten, mutta se ei saavuttanut tavoiteltua yleismaailmallista asemaa. Sen sijaan Internet toimii TCP/IP-mallin (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) mukaisesti. TCP/IP-mallia ja tiedonsiirtoprotokollia kuitenkin kuvataan OSI-mallin avulla, koska OSI-mallin tasot auttavat havainnollistamaan, mihin tiedonsiirron tehtävään tietty tuote on tarkoitettu ja millaisen rajapinnan se tarvitsee ylemmälle tai alemmalle tasolle siirryttäessä. OSI-mallin ja TCP/IP-mallin yhteydet on esitetty kuvassa 6. [12.]



Kuva 6. OSI- ja TCP/IP-mallien erot ja yhtäläisyydet sekä esimerkkejä TCP/IP-mallin tasojen protokollista. [13.]

TCP/IP-malli koostuu neljästä tasosta, joista alin yhdistää OSI-mallin kaksi alinta tasoa. Näkökannasta riippuen TCP/IP-malli joko yhdistää OSI-mallin kolme ylintä tasoa tai jättää tasot 5 ja 6 huomiotta. Automaation tiedonsiirrossa käytetään tyypillisesti OSI-mallin tasoja 1, 2 ja 7.

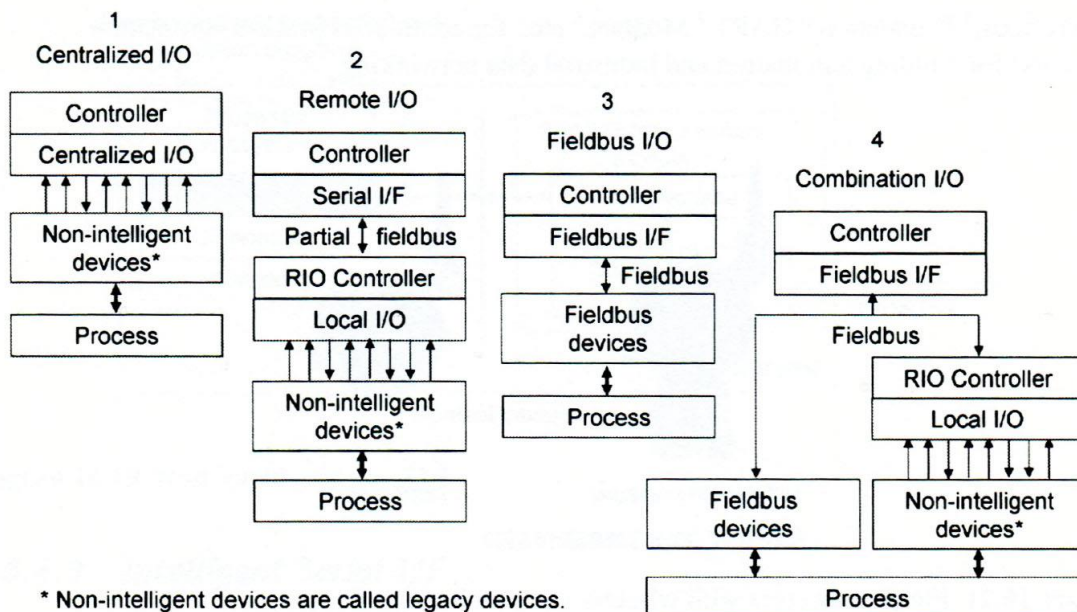
Automaatiojärjestelmän tiedonsiirto on moniportainen. Tietoa kulkee kenttälaitteiden ja I/O-yksikön välillä ja I/O-yksikön ja CPU:n välillä. CPU voi olla yhteydessä ohjelmointilaitteeseen, valvomolaitteisiin, historiatietokantoihin ja tuotannon ohjaukseen laitosten kautta. Laitosten verkosta on usein suojattu ja rajoitettu pääsy toimistoverkkoon, intranettiin tai suoraan Internetiin. Kuva 7 havainnollistaa tiedonsiirtoprotokollien perinteistä sijoittumista tuotannon portaille.



Kuva 7. Mallikaavio tiedonsiirron rakenteesta automaatiojärjestelmässä. [14.]

Uusilla laitoksilla tai kokonaan uusittavilla laitoksilla suurin osa tiedonsiirrosta tapahtuu useita laitteita yhdistävillä pakattua tietoa siirtävillä kaapeleilla. Kuvassa 7 kentälaitteilta logiikalle asti käytetään kenttäväylää. Tällöin instrumentin analoginen tai digitaalinen signaali muutetaan väyläviestiksi. Muutos tapahtuu itse laitteessa (älykäs laite) tai erillisessä signaalimuuntimessa lähellä laitetta. [5, s. 277-278.]

Kuvassa 8 on havainnollistettu erilaisia käytössä olevia kentälaitteiden ja logiikan välisiä yhteyksiä. Kentälaitteiden ja logiikan välillä tietoa siirretään suoraan yksittäisestä laitteesta logiikkaan (legacy I/O, perinteinen I/O) tai sitä siirretään kenttä- tai laiteväylällä useilta laitteilta yhtä kaapelia pitkin. [5, s. 277-278, 281-282; 2, s.193-205.]



Kuva 8. Erilaisia tiedonsiirtotapoja prosessilta logiikalle. 1: keskitetty I/O, 2: hajautettu I/O, 3: kenttäväylä, 4: yhdistetty kenttäväylä ja hajautettu I/O. (I/F = interface, rajapinta.) [2, s. 206.]

Logiikalta tietoa siirretään ohjauspaneelleille ja prosessin palvelimille teollisen Ethernetin tai tavallisen Ethernetin kautta. Palvelimilta tieto kulkee lähivalvomon Ethernetin välityksellä. Haluttaessa tietoa voidaan vielä siirtää eteenpäin hallintoportaalle Internetin kautta. [5, s. 277-281.]

Prosessin valvomo voi olla kauempana laitoksesta. Tällöin tieto siirretään etävalvomoon langattomasti Internetin kautta tai esimerkiksi valokuidun välityksellä. [5, s. 284-287.]

Eri portaiden välillä käytettävät tiedonsiirtomenetelmät eivät ole kiveen hakattuja. Ethernet on valtaamassa alaa kenttäväyliltä ja kenttäväylät ovat syrjäyttämässä laiteväylät [15; 16]. Ratkaisevinta tiedonsiirrossa on tiedonsiirtomatka ja tarvittava nopeus. Jos tietoa ei siirretä paljon, laitteita on vähän ja siirtomatka lyhyt, saattaa olla taloudellisesti järkevämpää käyttää perinteistä milliampeeriviestä väylien sijaan.

Erilaisten kaapeleiden siirtomatkat ovat rajalliset. Siirtomatkaan vaikuttaa kaapelin materiaali ja haluttu tiedonsiirtonopeus. Kuperikaapelilla kaapelin enimmäispituus on tyypillisesti 100 metriä. Kenttäväylyistä Profibus-kaapeleilla pienemmällä siirtonopeuksilla segmentin pituus voi olla enimmillään 1200 metriä. Valokuitukaapeli voi olla jopa 120 km pitkä. Mikäli siirtomatka on pidempi kuin kaapelille ilmoitettu enimmäispituus, tarvitaan matkan varrelle signaalivahvistimia. [5, s. 287, 289.]

Sysmän jätevedenpuhdistamo on kompakti laitos. Ympyrämäisen prosessitilan halkaisija on noin 22 metriä. Tästä seuraa, että tiedonsiirtomatkat jäävät reilusti alle sataan metriin. Alle sadan metrin matkoilla käytössä ovat kaikki vaihtoehdot.

Kenttäväylä

Kenttäväylä on vaihtoehto laitteen ja logiikan kahdenväliselle (P2P, point-to-point) tiedonsiirrolle, jossa jokaiselta laitteelta tulee oma johdinpari logiikalle. Mitä suurempi laitos on, sitä enemmän kenttäväylästä hyödytään helpomman ja selkeämmän kaapeloinnin kautta. Kenttäväylällä voidaan myös siirtää yhdeltä laitteelta useita parametreja, kun kahdenvälisessä kommunikaatiossa yhtä johdinparia pitkin kulkee vain yksi tieto. Kenttäväylä kattaa OSI-mallin tasot 1 ja 2, jotkin protokollat myös tason 7 [17]. [18.]

Kenttäväylille on useita eri protokollia, joilla on erilaisia ominaisuuksia ja käyttökohteita. Protokollien suuri määrä johtuu ensisijaisesti siitä, että eri automaatiolaittevalmistajat ovat kehittäneet omat kenttäväylänsä vastaamaan oman erikoisalansa erityistarpeisiin. Markkinoiden paine on vaikuttanut protokollien avoimuuteen, ja nykyään kenttäväyliä on mahdollista kytkeä myös toisen valmistajan automaatiolaitteisiin. Maailmanlaajuisesti Profibus DP:llä on suurin markkinaosuus uusista asennuksista, vaikka ero kilpailijoihin onkin kaventunut selvästi viime vuosina [15; 16.]. [18.]

Ethernet ja teollinen Ethernet

Ethernet on lähiverkossa tyypillisesti käytetty tiedon välittämisen protokolla. Sen käyttämät tekniikat on määritelty standardikokoelmassa IEEE 802.3 (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Ethernetin tiedonsiirtonopeus CAT-8-kaapeleilla voi olla 40 Gbit/s. Tämä nopeus toteutuu kuitenkin ainoastaan, mikäli verkkolaite tukee sitä. [19.]

Teollinen Ethernet eroaa tavallisesta korkeammilla laatuvaatimuksilla virheiden ja nopeuden suhteen. Teollinen ympäristö on toimistoa herkempi tiedonsiirron virheille ja yhteyskatkoksille. Myös fyysiset olosuhteet ovat teollisessa ympäristössä usein vaativammat kuin toimistossa. [20.]

Teollinen Ethernet on vallannut alaa teollisuuden verkkomarkkinoilla voimakkaasti. Vielä vuonna 2017 kenttäväylien osuus markkinoista oli 48 % ja teollisen Ethernetin 46 %, kun vuonna 2022 kenttäväylien osuus oli enää 27 % ja teollisen Ethernetin osuus oli jo 66 %. Myös langattomat verkot ovat kasvattaneet hiljalleen osuuttaan. Huomioitavaa on kuitenkin, että kaiken tyyppisten verkkojen vuotuinen kasvu on edelleen plusmerkkistä. Verkkoihin liitetään koko ajan enemmän ja enemmän laitteita. [15; 16.]

Ethernet toimii OSI-mallin tasoilla 1 ja 2 [13]. Teollinen Ethernet sisältää lisäksi OSI-mallin tason 7 [21].

Teollisen Ethernetin protokollia ovat esimerkiksi Profinet ja Modbus TCP. Modbus on avoin ja lisenssitön protokolla, mistä johtuen eri valmistajien laitteet tukevat sitä hyvin laajasti. Profinet puolestaan on Profibussin seuraaja, jota kehittää Profibus & Profinet International.

Etäyhteydet

Langallisen etäyhteyden muodostamiseen soveltuvat jo aiemmin mainitut Ethernet-yhteys, parikaapeli tai kuitukaapeli. Kuitukaapelin etuna on, ettei se ole

herkkä sähkömagneettisille häiriöille. Myös yleistä internetverkkoa voi hyödyntää, kunhan tietoturvaan kiinnittää erityistä huomiota.

Vuonna 2022 langattomilla verkoilla oli noin 7 %:n markkinaosuus uusista teollisuuden verkoista [16]. Yleiset langattomaan tiedonsiirtoon käytetyt WLAN ja Bluetooth sopivat esteettämiin paikkoihin lyhyille etäisyyksille [5, s. 282–283]. Ne eivät kuitenkaan riitä silloin, kun tietoa halutaan siirtää pitkiä matkoja tai sokeloisessa tilassa.

Etävalvonnan toteuttamiseen vaihtoehtoja ovat esimerkiksi radiomodeemi, GPRS-verkko, valokuitu, yleinen Internet ja pilvipalvelut. Radiomodeemin käyttö on viestintäviraston alaista toimintaa; virasto myöntää tietyn radiotaajuuden käyttöoikeuden tietylle alueelle [22]. Radiomodeemin etuja ovat hyvä tietoturva ja riippumattomuus palveluntarjoajista, haittana herkkyyys signaalihäiriöille [23, s. 26]. GPRS-verkko siirtää tietoa langattomasti Internetin välityksellä hyödyntäen esimerkiksi teleoperaattoreiden verkkoja, ja se perustuu radioaaltoihin. GPRS-verkko ei ole yhtä altis signaalihäiriöille kuin radiomodeemi, mutta julkisen verkon käyttö on huomioitava tietoturvaa suunniteltaessa [23, s. 27]. Valokuitu on erittäin tehokas tiedonsiirtomuoto, jos etäisyys on kilometrejä, mutta kaapeli on kallista kaivaa maan alle ja fyysinen verkko on altis maanrakennuksen aiheuttamille vahingoille. Yleistä Internetiä ja pilvipalveluita voi käyttää, jos Internet-yhteys on järjestettävissä kaikkiin valvottaviin kohteisiin. Kaikissa julkista Internet-verkkoa käyttävissä ratkaisuissa tietoturva on tärkeässä asemassa luotettavuuden suhteen. Pilvipalveluita käytettäessä on arvioitava oman tietoturvan lisäksi myös palveluntarjoajan tietoturvaa [24].

3 Jätevedenpuhdistamon toiminta

3.1 Jätevedenpuhdistuksen merkitys

Jäteveden puhdistamot voi jakaa kahteen päätyyppiin: kotitalouksien jätevesiä puhdistaviin ja teollisuuden jätevesiä puhdistaviin laitoksiin. Molemmissa poistetaan vedestä ympäristölle haitallisia aineita. Teollisuuden jätevesiä puhdistava

laitos rakennetaan tietyn tuotantolaitoksen tarpeita vastaavaksi ja usein vedet ohjataan jatkokäsittelyyn vielä kotitalouksien jätevesiä puhdistavaan laitokseen. Yhdyskuntajätevesistä poikkeavien vesien johtamiseen viemäriin tarvitaan erillinen lupa. Kotitalouksien jätevesiä puhdistetaan kunnallisissa jätevedenpuhdistamoissa, joista monet ovat nykyään liikelaitosmuotoisia. Tässä työssä kohteena on kunnallinen jätevedenpuhdistamo. [25; 26.]

Puhdistusprosessissa kotitalouksien jätevedestä poistetaan kiinteitä ja orgaanisia aineita sekä typpeä ja fosforia. Puhdistukseen käytetään mekaanisia, biologisia ja kemiallisia menetelmiä. Yksinkertaistettuna kiinteät aineet, kuten viemäriin kuulumaton jäte, poistetaan mekaanisesti, fosforia poistetaan kemiallisesti ja typpeä ja orgaanisia aineita biologisesti. [27.]

Suurina määrinä typpi ja fosfori aiheuttavat luonnon vesistöissä rehevöitymistä. Tästä syystä ne pyritään poistamaan jätevedestä mahdollisimman tehokkaasti. Biologisessa prosessissa syntyvä liete voidaan puolestaan jatkojalostaa mul-laksi, jolloin siihen sitoutuneet fosfori, typpi ja orgaaniset aineet saadaan uudelleen hyötykäyttöön. [27.]

3.2 Sysmän jätevedenpuhdistamo

Sysmän jätevedenpuhdistamo on tyypillinen 1970-luvun aktiivilietelaitos. Se on valmistunut vuonna 1972. Lietteenkuivausosa on lisätty vuonna 1981. Laitosta on saneerattu 1990-luvun puolivälissä. Ensimmäiset automaatiolaitteet on otettu käyttöön 2001. Tulopumppaus on uusittu ja automatisoitu vuonna 2018 ja lietteenkuivaus vuonna 2023.

Puhdistamon toiminta

Sysmän puhdistamo on kokoluokaltaan keskisuuri jätevedenpuhdistamo. Sen vuotuinen puhdistettu vesimäärä on noin 275 000 m³ eli noin 750 m³/d. Tämän kokoluokan vedenkäsittelylaitoksia on Suomessa noin 280. [25, s. 8.]

Puhdistamolle tulee vettä viemäriverkostosta ja sakokaivojen tyhjennyksinä. Viemäri purkautuu tulokaivoon, ja sakokaivolietteet ohjataan vastaanottoaltaaseen. Molemmista vedet pumpataan ensimmäiseksi välppäykseen, jossa kiinteä aine (yli 3 mm kokoiset veteen liukenemattomat kohteet) poistetaan vedestä. Seuraavana on ilmastusallas. Veteen johdettu ilma mahdollistaa bakteerien kasvun ja lisääntymisen biologisessa prosessissa. Ilmaa tarvitaan erityisesti typen poistoon. Ilmastusaltaan alkupäässä veteen lisätään kierrätyslietettä. Kierrätyslietteen tarkoitus on pidentää ilmastusaltaassa elävien hyödyllisten bakteerien viipymää prosessissa. Altaan alku- tai loppupäässä lisätään saostuskemikaalia, joka sitoo vedestä fosforia ja orgaanisia aineita. Ilmastusaltaan loppupäässä veteen lisätään polymeeriä ennen johtamista selkeytysaltaaseen, jossa kiintoaine vajoaa lietteenä pohjalle. Polymeeri edesauttaa lietteen laskeutuvuutta. Selkeytetty vesi johdetaan pois laitokselta.

Kierrätyslietteeksi kutsutaan sitä osaa selkeytysaltaan lietteestä, joka ohjataan ilmastusaltaan alkupäähän aktivoimaan biologista prosessia. Lietteen orgaaninen aines ruokkii vedessä olevia bakteereita, jotka kasvaessaan kuluttavat eloperäistä ainetta ja typpeä. Loput lietteestä ohjataan lietealtaaseen, josta se siirtyy sakeutuksen ja kuivauksen kautta pois vietäväksi.

Automaation nykytilanne puhdistamolla

Olemassa oleva automaatio on toteutettu pienillä paikallisilla logiikoilla ja aikareleillä. Toimintaa ohjataan pääasiallisesti käsiohjauksella. Prosessitilojen ulkopuolella on joitakin mittausnäyttöjä, mutta ei mitään valvomoksi katsottavaa.

Erillisiä logiikkayksiköitä laitoksella on seitsemän. Näistä vanhimmat, 2000-luvun alussa asennetut Siemens LOGO! -yksiköt, ovat elinkaarensa päässä, eikä Siemens ole osoittanut niille mitään korvaavaa tuotetta [29]. Lisäksi tulopump-paukseen on asennettu kaksi Liningin AqvaSemi-yksikköä vuonna 2018 ja lietteen kuivaukseen kaksi Schneiderin Modicon M251 -logiikkaa vuonna 2023.

Logiikoiden lisäksi prosessista on useita mittauksia, joilla on paikallinäytöt eripuolilla laitosta. Mittaukset ovat informatiivisia eivätkä vaikuta suoraan prosessin toimintaan.

Vaikka jätevedenpuhdistamolla ei olekaan valvomoon liitettyä automaatiota, Sysmän kunnalla on käytössään Liningin AqvaRex pumppaamoiden valvonnassa. Yhteydet jäteveden pumppaamoilta valvomoon on järjestetty GPRS-yhteyksillä ja puhdasvesipumppaamoilta radiomodeemeilla. GPRS-yhteydet toimivat 3G-verkossa.

3.3 Tavoitteet ja vaatimukset Sysmän uudelle järjestelmälle

Työympäristönä jätevedenpuhdistamo on likainen ja meluisa. Tavoitteena on saada puhdistamosta etävalvottava laitos, jolloin paikalla käytäisiin vain pari kertaa viikossa. Etävalvonnan edellytyksenä on kattava tiedonsaanti prosessin tilasta ja toiminnasta sekä luotettavat tietoliikenneyhteydet. Laitokselle on tarkoitus lisätä myös kameravalvonta ja kulunvalvonta.

Tavoitteeseen pääseminen edellyttää aikareleiden ja LOGOjen korvaamista nykyaikaisella logiikalla sekä kaikkien mittausinstrumenttien kytkemistä logiikkaan. Uudesta automaatiosta varataan tilaa myös kiinteistön automaatiolle.

Nykyisellä laitekannalla uuden automaation kooksi voidaan arvioida 80 binäärituloa, 50 binäärilähtöä, 15 analogituloa ja 5 analogilähtöä. Näissä luvuissa on huomioitu LOGOjen korvaaminen sekä nykyisellään automaatioon kytkemättömät laitteet ja mittaukset.

Lisäksi valvontajärjestelmään on voitava kytkeä nykyiset AqvaSemit ja Modiconit. Urakoitsijalle on annettu mahdollisuus korvata AqvaSemit uudella automaatiolla, mikäli ratkaisulle löytyy painavat perusteet esimerkiksi toiminnallisuuden suhteen.

AqvaSemeistä voi saada tietoa ulos GPRS- tai radiomodeemin kautta tai yleiskaapelilla (RJ45). Tuloja ja lähtöjä on käytössä seuraavasti: 14 binäärituloa, 7

binäärilähtöä ja 1 analogitulo. Lisäksi löytyy runsaasti tyhjiä I/O-pisteitä: 22 binäärituloa, 13 binäärilähtöä ja 6 analogituloa.

Laitokselle asennetuista Modicon M251 -malleista löytyy kaksi Ethernet-liityntää. Modiconeissa on käytössä yhteensä 47 binäärituloa, 26 binäärilähtöä, 8 analogituloa ja 6 analogilähtöä. Kaksi binäärilähtöä on varattu käy-tiedon ja häiriö-tiedon syöttämiseen uuteen automaatioon. Tyhjiä paikkoja on 9 binäärituloa ja 12 binäärilähtöä. Mahdollisista tyhjistä korteista ei ole tietoa.

Uuden automaation rakenteen edellytetään olevan sellainen, että se tukee tulevia saneerauksia mahdollisimman hyvin. Varaosia ja käyttötukea on oltava saatavilla vähintään 15 vuotta, mieluummin 20 vuotta, eli käytettävä logiikka ei saa olla tuotannon elinkaaren loppupuolella.

Mikäli uusi automaatio liitetään olemassa olevaan valvomojärjestelmään, on automaation ohjelmoinnissa otettava huomioon valvomojärjestelmän tapa käsitellä hälytyksiä ja historiatietoa. Valvomojärjestelmä tutkii hälytyksiä kerran minuutissa ja edellyttää niiltä aikaleimallista pinomuistia. Historiatietoa kerätään kerran tunnissa ja automaatiolta edellytetään kykyä tallentaa tietoa muutaman tunnin edestä mahdollisen yhteyskatkon varalta.

Valvomopäätteiden edellytetään olevan mobiililaitteita, esimerkiksi tablettitietokoneita. Mobiililaitteen on oltava riittävän iso puhdistamon toiminnan vaivattomaan seurantaan. Lisäksi valvomopäätteiltä edellytetään iskun, pölyn ja kosteuden kestävyyttä.

4 Automaatio- ja valvomojärjestelmät

4.1 Automaatiojärjestelmät

Vertailuun on otettu muutama suurimmista teollisuusautomaatiovalmistajista ja yksi pienempi veden käsittelyyn erikoistunut toimija, jonka laitteita on jo käytössä puhdistamolla. Lisäksi perehdytään kiinteistöautomaation käyttömahdollisuuteen.

Toteutuksen vaihtoehtoina ovat hajautettu I/O tai useampi erillinen PLC eripuolilla laitosta.

4.1.1 Siemens

Siemens on 125 vuotta vanha globaali yhtiö, jolla on toimintaa lähes kaikissa maailman maissa. Suomessa Siemens on toiminut vuodesta 1955. Suomessa toimii kuusi erillistä Siemens-yhtiötä, joiden liikevaihto oli vuonna 2022 noin 215 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä 422. [30; 31.]

Siemensin vaihtoehtoja uuden automaation toteutukseen ovat S7-1500 ja SIMATIC ET 200. Molemmat ovat rakenteeltaan modulaarisia. Siemensin laitteissa on integroituna Profinet-portit. Muita protokollia tukevia kommunikatiomodulleita löytyy.

Siemens valmistaa edelleen myös LOGOja. Niiden käyttökohteeksi on nykyään määritelty pienet itsenäisesti toimivat kohteet, kotien automaatio ja harrastustoiminta, ja niiden tiedonsiirto tapahtuu pilvipalvelun kautta. LOGO! ei ole varteen otettava vaihtoehto uuteen automaatioon. [32.]

Useina erillisinä PLC:inä toteutettavan automaation ratkaisuksi Siemens tarjoaa SIMATIC S7-1500 -perhettä. Siinä on CPU-yksikössä pieni ohjauspaneeli ja laaja valikoima erilaisia I/O- ja kommunikaatioyksiköitä. [33.]

SIMATIC ET 200 -perhe on Siemensin ratkaisu hajautetulle I/O:lle. Siitä löytyy sekä ohjauskeskukseen että suoraan kentälle asennettavia IP65/67-versioita. ET 200SP:ssä on sama CPU kuin S7-1500-perheen moduuleissa CPU 1511 ja CPU 1513. [34.]

ET-200-perheeseen kuuluva MultiFieldbus-moduuli mahdollistaa kommunikation erilaisia väyliä pitkin. Se tukee Profinettia, EtherNet/IP:tä ja Modbus/TCP:tä. [35.]

Siemensin tuotteille on vaikea löytää hintatietoja. Hintoja löytyy lähinnä kirpputorin tyyppisiltä sivustoilta, ja hintaskaala CPU:lle on laaja alkaen noin 1000 eurosta.

4.1.2 Omron

Omron on 90 vuotta vanha yhtiö, jolla on toimintaa 120 maassa. Suomen yhtiö on perustettu 1986. Liikevaihto Suomessa oli vuonna 2022 noin 18 miljoonaa ja työntekijöitä oli 35. [36; 37.]

Omronin valikoimasta löytyy CJ- ja CS-tuoteperheet. Omron itse luokittelee CJ-perheen modulaariseksi ja CS-sarjan räkkipohjaiseksi. Molemmat kootaan erilaisista moduuleista. CJ-perhe on erityisen skaalautuva, kun taas CS-perheessä etusijalla ovat monipuoliset ohjausyksiköt ja kahdennettavuus. CJ2-sarja on uusin, se on korvannut vuonna 2001 lanseeratun CJ1-sarjan erityisesti CPU:iden osalta. Sysmän jätevedenpuhdistamolla CJ2 vastaa paremmin tarpeeseen. [38; 39.]

Omron tukee EtherNet/IP-tiedonsiirtoväylää. Kenttäväylänä suositaan EtherCAT:ia. EtherNet/IP käyttää tavallista RJ45-porttia, joten siihen on mahdollista kytkeä myös muu Ethernet-kaapeli. Joissakin malleissa on RJ45:n tilalla sarjaliikenneportti RS-232C. [38.]

Omronin modulaarisesta CJ2-tuoteperheestä löytyy laaja valikoima CPU-yksiköitä, I/O-moduuleita ja tiedonsiirtomoduleita. Omron ilmoittaa ohjelmakapasiteetin ohjelman askeleina ja muistin kapasiteetin sanoina. Tuloja ja lähtöjä voi olla enimmillään 2560 kappaletta. CJ2-perheessä ei ole hajautetun I/O:n mahdollisuutta. [38.]

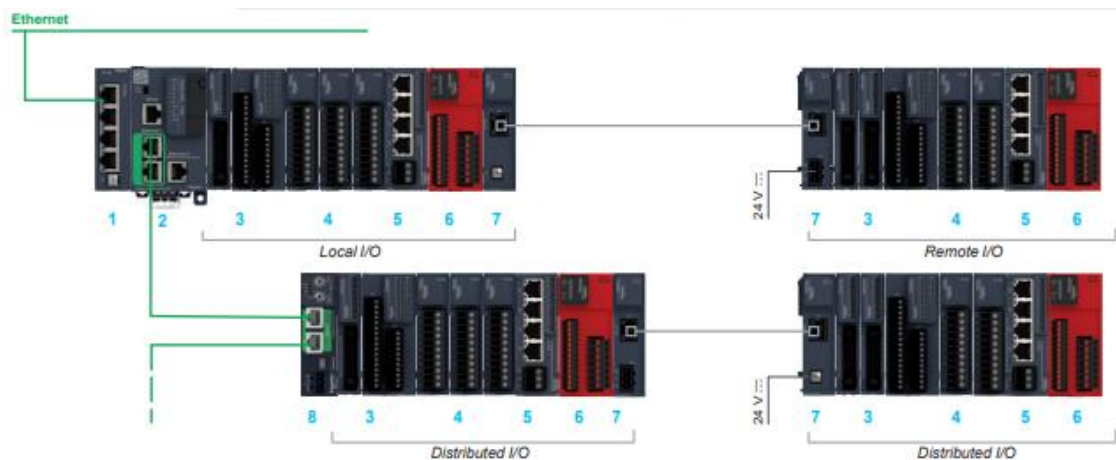
Omron panostaa robottimarkkinoille sekä liikkeen ohjaukseen. Logiikoissa painotetaan nopeutta ja muistin määrää. Tämä ei sulje pois logiikoiden käyttöä prosessin ohjauksessa, mutta saattaa tehdä niistä turhan tehokkaita – ja kalliita –

tämän kokoluokan hankkeeseen, jossa käytetään vain 5–10 % logiikan kapasiteetista. CPU:n hintaluokka on 1 500 euroa.

4.1.3 Schneider Electric

Schneider on 185 vuotta vanha yhtiö, joka toimi aluksi terästeollisuuden parissa. Sähkömarkkinoille Schneider liittyi 1891 ja vuodesta 1997 eteenpäin se on keskittynyt ainoastaan sähköteollisuuteen. Suomen yhtiö on perustettu 1975. Liikevaihto Suomessa oli vuonna 2021 noin 133 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä 476. [40; 41.]

Schneiderin valikoimasta löytyy Modicon M251, joita laitoksella onkin jo kaksi ennestään. M251 on tarkoitettu modulaarisiin ja hajautettuihin kohteisiin. Paikallisesti siihen voi kytkeä enimmillään 7 Modicon TM3 I/O-yksikköä ja 7 etä-I/O-yksikköä tai vaihtoehtoisesti 14 hajautetun I/O:n yksikköä (kuva 9). [42.]



Kuva 9. Modicon M251:n vaihtoehtoiset I/O-kytkennät. [7.]

Schneiderin suosima kenttäväylä on CANopen. CPU-yksikön Ethernet 2 -portti tuke kuitenkin myös EtherNet/IP- ja Modbus TCP -protokollia. [42.]

Modicon M251 ei ole kaikista skaalautuvin vaihtoehto, koska I/O-korttien määrä on varsin rajattu ja I/O-korttien koot pieniä. Digitaalisissa korteissa on 8–32

tuloa tai lähtöä, analogisissa 2–8 tuloa tai 2–4 lähtöä. CPU:n hintaluokka on 500 euroa. [42.]

4.1.4 Mitsubishi Electric

Mitsubishi on 102 vuotta vanha yhtiö, jolla on toimintaa ainakin 35 maassa. Suomessa Mitsubishiilla ei ole omaa toimintaa. [43.]

Mitsubishin modulaarinen ratkaisu pienille ja keskisuurille järjestelmille on MEL-SEC L -sarja. Keskusyksikössä on sisään rakennettuna Ethernet-portti ja 24 binaarituloa ja -lähtöä. CPU:hun voi lisäksi kytkeä kymmenen laajennusyksikköä, esimerkiksi I/O-kortteja tai kommunikaatioyksiköitä. CPU:hun on mahdollista kytkeä yhteensä kolme haaroitus- tai laajennusmoduulia, joiden avulla mahdollisten laajennusyksiköiden enimmäismääräksi saadaan 40. I/O-kapasiteetti on CPU:sta riippuen 1024 tai 4096 kappaletta. L-sarjan laitteisiin on integroituna Ethernet-yhteys. Mitsubishin suosima kenttäväylä on CC-Link. [44.]

Hajautettuun I/O:n toteuttamiseen Mitsubishin ratkaisu on Slice I/O, joka kuuluu NZ2FT-sarjaan. Slice I/O:n voi yhdistää ainakin MELSEC iQ-R -sarjan CPU:hun, yhteensopivuus muiden sarjojen kanssa jää Mitsubishin materiaalin perusteella arvoitukseksi. iQ-R on räkin päälle rakennettava modulaarinen loogiikka. [45; 46.]

Siemensin tapaan hintatietojen löytäminen on vaikeaa. Käytettyjen laitteiden myyntihinnan perusteella hintaluokka saattaisi olla alkaen 1 000 euroa.

4.1.5 Lining

Lining on vesitekniikan suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1958. Se kuuluu kansainväliseen liiketoimintaryhmä Indutradeen. Liikevaihto oli vuonna 2022 noin 30 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä 55. [47; 48.]

Lining rakentaa omat tuotteensa Unitronicsin laitteiden päälle. Merkin erityispiirteenä on, että kosketusnäyttö on useimmiten kiinni CPU-yksikössä eikä erillisenä laitteena. Sysmän kokoisen laitoksen automatisointiin Liningin tarjoama laite on AquaStream 16. Siinä on 15,6 tuuman värillinen kosketusnäyttö, ja se on rakennettu UniStream-sarjan päälle. [48.]

UniStream-sarjassa on näytöllisiä ja yksi näytötön CPU-yksikkö. Näyttöjen koot ovat 7–15 tuumaa. Liningin valikoimiin kuuluviin 15 tuuman yksiköihin on mahdollista kiinnittää 3–5 I/O-yksikköä I/O-yksikön leveydestä riippuen. Näyttöön kiinnitettävistä moduuleista käytetään termiä ”onboard I/O”. Lisäksi löytyy paikallisia (local) I/O-yksiköitä ja hajautettuja (remote) I/O-yksiköitä. Kaikkiaan I/O:n määrä on mahdollista nostaa yli kahteen tuhanteen. Näytöllisestä mallista löytyvät kommunikaatioportit ovat 2*Ethernet, 1*RS485 ja 1*CANbus. Tuettuja protokollia ovat mm. Modbus/TCP, EtherNet/IP ja CANopen. [49.]

UniStreamin pelkän CPU-yksikön hintaluokka on 650 euroa.

4.1.6 Kiinteistöautomaatio

Kiinteistöautomaatiossa käytetään periaatteessa samoja komponentteja kuin teollisuusautomaatiossakin: antureita, venttiileitä ja toimilaitteita. 2020-luvun kiinteistöautomaatio on myös hyvin skaalautuvaa. [50.]

Kiinteistöautomaatio liittyy kiinteistön toimintaan: lämmitykseen, jäähdytykseen, paloturvallisuuteen, kulunvalvontaan, jne. Automaatio-ohjelmat on suunniteltu ja optimoitu tätä silmällä pitäen. [51.]

Eroja prosessiautomaatioon tulee siinä, miten laitteita käytetään. Ilmanvaihto on oma kokonaisuutensa, samoin lämmitys ja jäähdytys [50]. Prosessiautomaatiossa hallitaan isompia kokonaisuuksia kerrallaan. Prosessi on ketju toimintoja, jotka vaikuttavat toisiinsa. Jos yksi osa pysähtyy, prosessi ennen pitkää pysähtyy kokonaan. Kiinteistöautomaatiota ei ole suunniteltu ketjutettujen toimintojen tarpeisiin.

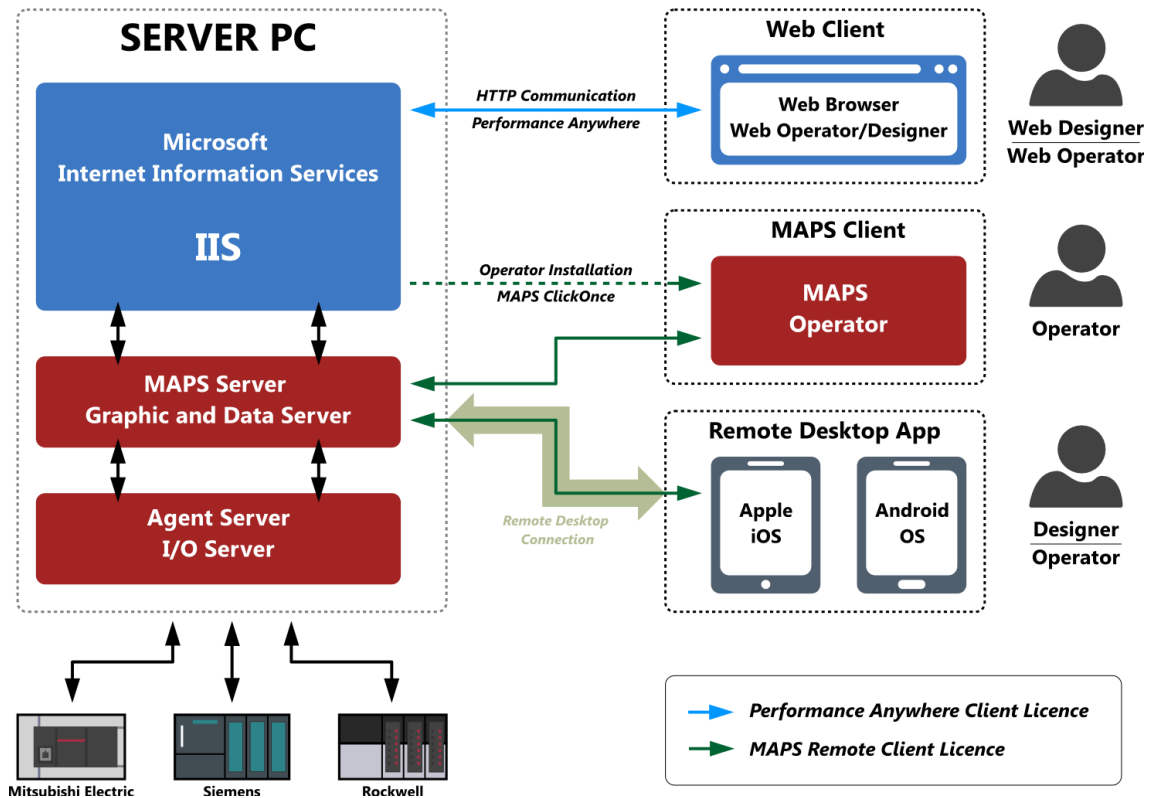
Varmemmin toimivan järjestelmän saa, kun käyttää tehtävään tarkoitettuja välineitä. Erityisesti pienempien kiinteistöjen automaatiossa hyödynnetään IoT-ratkaisuja (Internet of Things, esineiden Internet) paljon, koska se mahdollistaa yksittäisten käyttäjien huonekohtaiset henkilökohtaiset säädöt etänä. Vaikka IIoT (Industrial Internet of Things, teollinen esineiden Internet) yleistyy, sillä on tiukemmat tietoturvakriteerit kuin tavallisella IoT:lla. Siihen kytkettävien laitteiden määrä on tyypillisesti suurempi ja siten myös mahdollisesti aiheutuva vahinko. [52.]

Käyttöympäristö on myös otettava huomioon. Kiinteistöautomaatio on tarkoitettu siisteihin sisätiloihin. Teollisuusautomaation täytyy pyöriä myös likaisissa ja lämpötilaltaan vaihtelevissa oloissa.

Kun kaikki nämä seikat otetaan huomioon, ei ole järkevää käyttää kiinteistöautomaatiojärjestelmää teollisuusympäristössä. Erityisesti pienemmillä laitoksilla kiinteistöautomaation käyttö saattaa houkutella edullisemman hankintahinnan vuoksi. Käyttötarkoitukseen sopimaton ratkaisu vaatii kuitenkin enemmän huoltoa ja korjausta ja tulee ajan mittaan kalliimmaksi.

4.2 Valvomojärjestelmät

Kuvassa 10 on esitetty mallikuva tiedon kulusta logiikoilta erilaisille valvomosovelluksille. Tässä mallissa on käytössä useita erillisiä logiikoita, joilta tieto siirtyy erilaisten palvelinten kautta valvomonäytölle. Valvomonäyttö voi olla nettiselain, erillinen valvomotietokone tai valvomo-ohjelma.



Kuva 10. Etävalvotun laitoksen tiedonkulku. MAPS SCADA. [53.]

Sysmän kunnassa olemassa oleva Liningin AqvaRex-valvomojärjestelmä (nykyinen myyntinimi AQUAVISIO Kaukovalvontajärjestelmä) on laajennettavissa kattamaan jätevedenpuhdistamon toiminta. Sen selainpohjaista käyttöliittymää on mahdollista käyttää sekä tietokoneella että mobiililaitteella. [48.]

Laitokselle on myös mahdollista hankkia kokonaan uusi valvomojärjestelmä. Uusi järjestelmä voisi toimia vanhan rinnalla tai korvata sen kokonaan. Tässä tapauksessa järjestelmä olisi parasta hankkia samalta toimittajalta kuin uusi automaatiokin kommunikointiongelmien minimoimiseksi.

WinCC Unified on Siemensin uusin SCADA-ratkaisu. Se toimii ilman lisäosia tavallisessa nettiselaimessa. Se on täysin skaalattavissa käytössä olevan näytön mukaan. [54.]

Omronin valikoimasta löytyy ainoastaan kiinteästi asennettavia HMI-näyttöjä sekä Windows-pohjalle asennettavia ohjelmia. Nämä eivät tue tarvetta etäkäyttöisestä ja mobiilista valvomopäätteestä. [55.]

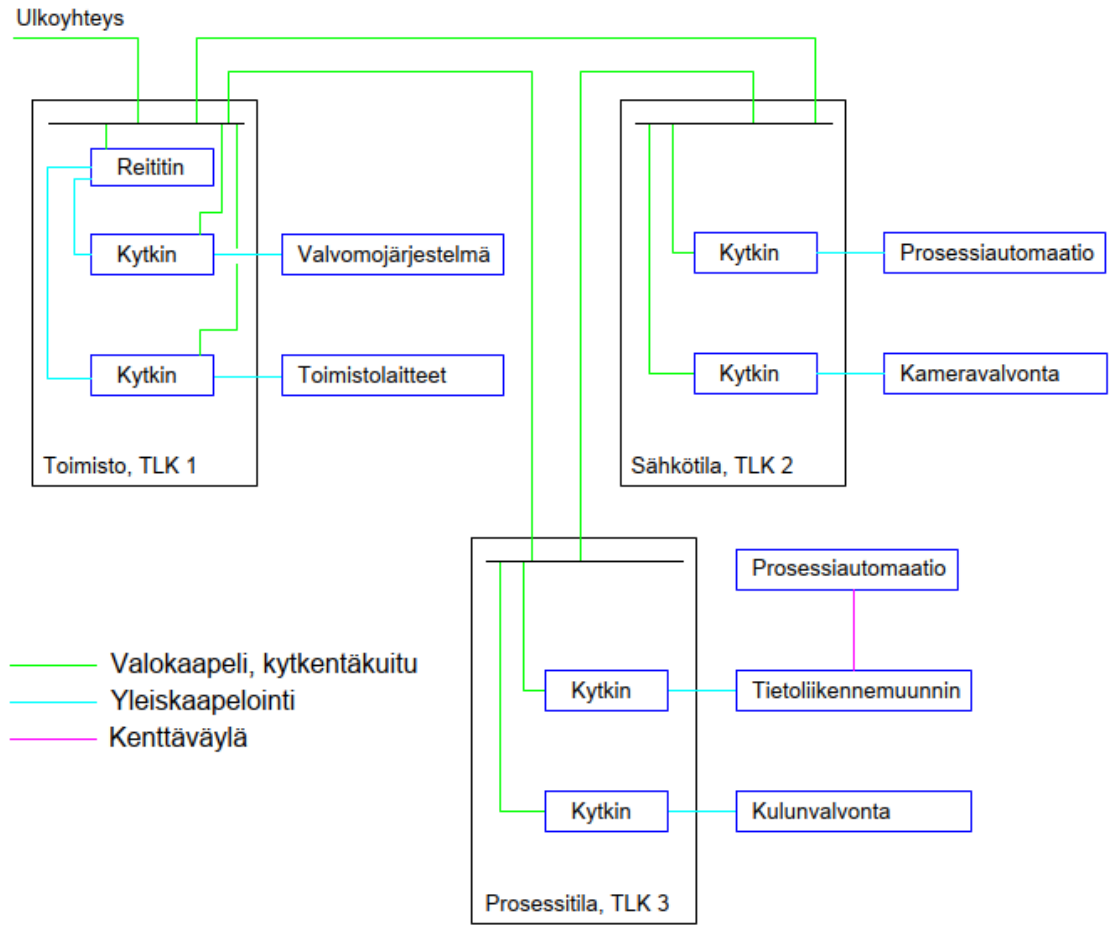
Schneiderin valikoimista löytyy AVEVA Edge, jota voi käyttää niin PC-koneella, HMI-laitteella kuin mobiililaitteellakin. HTML5-käyttöliittymä mahdollistaa käytön miltä tahansa älylaitteelta. [56.]

Mitsubishin HMI- ja SCADA-ratkaisut kulkevat tuotemerkin MAPS (Mitsubishi Adroit Process Suite) alla. Tuotteista löytyy monipuolisesti toteutustapoja, mukaan lukien HTML5-käyttöliittymä. [57.]

5 Tietoliikenne

Sysmän jätevedenpuhdistamon automaatio suunnitteluun kuului myös tietoliikenteen vaihtoehtojen selvittäminen. Tavoitteena oli löytää 1–3 vaihtoehtoa, joista jonkin pohjalta urakoitsija tekee tarjouksen. Vaihtoehtoissa pyrittiin huomioimaan myös tulevat laiteuusinnat.

Jokaiseen rakennukseen tulee yksi tietoliikennekeskus. Rakennusten välisessä liikenteessä veloitetaan urakoitsija käyttämään 24 kuituista valokuitukaapelia riittävän nopeuden ja kapasiteetin varmistamiseksi myös tulevaisuudessa. Tietoliikennekeskuksen ja eri toimintojen välillä käytetään RJ45-yhteensopivaa yleiskaapelointia, jolloin laitteiden kiinni kytkeminen on yksinkertaista. Yleiskaapelointi tarkoittaa käytännössä teollista Ethernetiä, mutta protokollaa ei ole määrittänyt tarkemmin. Prosessiautomaatioon urakoitsijan on mahdollista niin halutessaan valita yleiskaapeloinnin sijasta kenttäväylä, jolloin väliin tarvitaan tietoliikennemuunnin. Yksinkertaistettu periaatekuva tietoliikennekeskusten yhteyksistä on esitetty kuvassa 11.

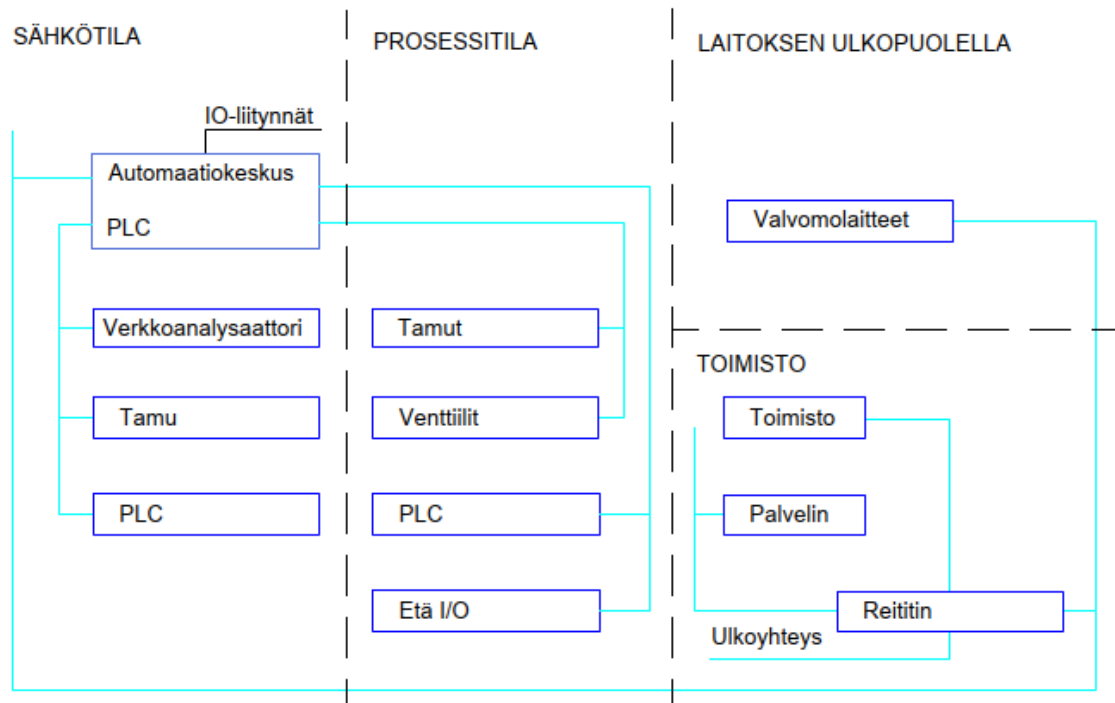


Kuva 11. Yksinkertaistettu periaatekuva tietoliikennekeskusten yhteyksistä.

Automaation tietoliikenteen järjestämiseksi päädyttiin kolmeen eri vaihtoehtoon. Vaihtoehtoissa on otettu huomioon olemassa olevat logiikat ja niiden asettamat vaatimukset. Sekä Liningin että Schneiderin logiikat tukevat RJ45-yhteensopivaa Ethernet-yhteyttä. Liningin logiikoihin on lisäksi integroituna RJ11-moode- miportti. Kaikissa vaihtoehtoissa tulee logiikka sähkötilan automaatiokeskuk- seen. Prosessitilassa on yksi kaapeli taajuusmuuttajia ja venttiileitä varten ja toi- nen muulle prosessille. Toimiston ja laitoksen ulkopuolisen valvomon yhteydet ovat myös kaikissa vaihtoehtoissa samat.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa käytetään kenttäväylää ja hajautettua I/O:ta. Tässä mallissa järjestelmään tulee ainoastaan yksi uusi logiikka (automaatiokeskukseen) ja hajautettua I/O:ta kentälle. Koska olemassa olevia logiikoita ei ole mahdollista kytkeä suoraan kenttäväylään, ne tarvitsevat väylämuuntimet.

Toisessa vaihtoehdossa kenttäväylä on vaihdettu yleiskaapelointiin, käytännössä teolliseen Ethernetiin. Tällöin väylämuuntimet voi jättää pois. Tämän vaihtoehdon yksinkertaistettu periaatekuva on kuvassa 12.



Kuva 12. Yksinkertaistettu periaatekuva automaation kaapeloinnista.

Kolmas vaihtoehto eroaa toisesta siten, että hajautettu I/O on korvattu kentällä olevilla logiikoilla. Tässä mallissa prosessitilaan tulisi yksi tai kaksi logiikkaa automaatiokeskuksen logiikan lisäksi.

Kaikista ratkaisuista on tarkemmat periaatekuvat liitteessä 1.

Kenttäväylän etuna on kenttälaitteiden helpompi liitettävyyys ja hieman halvempi hinta verrattuna yleiskaapelointiin. Toisaalta eri valmistajien logiikat suosivat erilaisia kenttäväyläprotokollia. Haluttu liitännä on kuitenkin yleensä saatavilla logiikan lisämoduulina, vaikka logiikkaan integroitu portti ei olisikaan valitun väylän mukainen.

Yleiskaapeloinnin etuna on yleinen RJ45-liitin ja suuremmat nopeudet. Ethernet-liitäntä löytyy nykyään monista logiikoista vakiona ja on saatavissa lisämoduulina muihin.

Hajautetun I/O:n etuna on koko prosessin toimiminen yhden logiikan mukaan, mikä helpottaa toimintojen yhteensovittamista. Toisaalta logiikan vioittuessa kaikki siinä kiinni olevat laitteet pysähtyvät ja on laitettava käsiohjaukselle. Vioittumisesta aiheutuvan haitan riskiä voidaan pienentää merkittävästi redundantisella kytkennällä, jossa on kaksi identtistä logiikkaa. Yhden vioittuessa toinen alkaa ohjata prosessia.

Erillisten logiikoiden etuna on, ettei koko prosessi pysähdy yhden vioittuessa, eikä koko prosessia tarvitse siirtää käsiohjaukselle. Logiikoiden välinen tiedonsiirto on suunniteltava hyvin, jotta prosessi toimii oikein. Tässä tiedonsiirron nopeudella on väliä. Prosessi ei toimi halutulla tavalla, mikäli signaalit kulkevat liian suurella viiveellä. Se, mikä on ”liian suuri”, riippuu prosessista.

6 Johtopäätökset

Toimiva automaatio on mahdollista rakentaa monella eri tavalla. Ratkaisussa tärkeintä on kokonaisuuden toimivuus. Koska kyseessä ei ole uusi laitos, suurimpia rajoittavia tekijöitä ovat olemassa oleva automaatio ja prosessilaitteet.

Tilaaajan haluamat toiminnot ja myöhempi muunneltavuus esimerkiksi laitekanavan uusimisen yhteydessä on myös pidettävä mielessä. Tilaaajan kannalta edullisin ratkaisu on sellainen, johon tarvitsee tehdä mahdollisimman vähän muutoksia tulevaisuudessa.

6.1 Uuden automaation sovittaminen olemassa olevalle laitokselle

Sysmän jätevedenpuhdistamon laitteet ovat keskenään hyvin eri ikäisiä. Uusitut tulopumppaus ja lietteenkuivaus ovat parhaiten ajan tasalla. Esimerkiksi muihin toimintoihin liittyvät taajuusmuuttajat ovat 1990-luvulta, samoin kuin osa

mittauksista. Vanhimmissa laitteissa ei ole kenttäväylään kytkemisen mahdollisuutta, kuten ei myöskään yleiskaapelointimahdollisuutta. Myös viimeisimpänä uusitut laitteet on kaikki kytketty perinteisellä I/O:lla. Kenttäväylään tai yleiskaapelointiin liitettäväksi jäävät tässä tilanteessa käytännössä ainoastaan automaatiolaitteet.

Säilytettävä olemassa oleva automaatio tukee Ethernet-yhteyttä, mutta ei kenttäväylää. Tämä seikka puoltaa siis yleiskaapeloinnin valitsemista tietoliikenneväyläksi. Väylämuuntimella signaali on kuitenkin mahdollista muuntaa väyläliikenteelle sopivaksi.

Alkuperäinen sähköpääkeskus on päätetty uusida, mutta urakkaan ei sisälly muiden keskusten uusimista. Kaikissa käytössä olevissa kytkimissä ja liittimissä ei ole mahdollisuutta lisäkytkentöihin, eikä kaikissa kaapeissa ole tilaa uusille laitteille. Tästä seuraa, että vanhojen keskusten yhteyteen on rakennettava laajennuskoteloita.

Jonkin verran tilan tarpeeseen vaikuttaa myös automaation toteutustapa. Koska automaatiolaitteiden määrä laitoksella halutaan pitää kohtuullisena, uusien PLC-laitteiden määrä laitoksen prosessitilassa on rajattu enintään kahteen. Tämä merkitsee isompia kokonaisuuksia ja pidempiä johdotuksia. Hajautetulla I/O:lla toteutetussa automaatiossa on mahdollista sijoittaa pieniä määriä I/O:ta nykyisten keskusten yhteyteen ja välttää pitkät johdotukset.

6.2 Automaation muunneltavuus tulevaisuudessa

Kaikissa luvussa neljä esitellyissä laitteissa on riittävästi kapasiteettia Sysmän jätevedenpuhdistamon tarpeisiin. Jotta tulevat uudistukset olisivat mahdollisimman helppoja toteuttaa, tulee uuden automaation sisältää vähintään 30 % valmiiksi riviliittimelle asti tehtyjä I/O-kytkentöjä siten, että jokaisen logiikan yhteydessä on vähintään yksi tyhjä 16-paikkainen digitaalinen tulokortti, 16-paikkainen digitaalinen lähtökortti, 8-paikkainen analoginen tulokortti ja 4-paikkainen analoginen lähtökortti. Tämän lisäksi tulee automaatiolaitteita sisältävissä

kaapeissa olla vähintään 30 % tyhjää tilaa laajennuksia varten. Hajautetulta I/O:lta edellytetään vastaavasti 30 % valmiiksi riviliittimille asti kytkettyjä liittymiä jokaista tiedonsiirtotyyppiä ja vähintään neljän I/O-kortin verran laajennustilaa.

Nykyään uudet taajuusmuuttajat kytketään automaatioon lähes poikkeuksetta kenttäväylällä. Väylään kytketään vesihuoltoalalla yleisesti myös suurempia venttiileitä sekä joitakin laatumittauksia. Automaation sijoittelua suunniteltaessa on otettava huomioon myös väyläliikenteen tulevaisuudessa tarvitsemat liittynät ja tila.

6.3 Arvio toteutustavoista

Automaation tiedonsiirtoon sopivin vaihtoehto nykyinen laitteisto huomioon ottaen on yleiskaapelointi eli Ethernet-yhteys. Sekä Liningin että Schneiderin laitteet tukevat Modbus/TCP:tä. Kenttäväylä tulee kysymykseen lähinnä siinä tapauksessa, että hajautettu I/O päätetään toteuttaa sen kautta. Kenttäväylän tulee tällöin olla alalla yleisesti käytössä oleva, jotta uudet laitteet on aikanaan helppo kytkeä siihen kiinni.

Valvomoratkaisuissa kaikki nettiselainta hyödyntävät vaihtoehdot ovat toimivia. Koska Omronin valvomo ei ole selainpohjainen, se käytännössä rajaa Omronin pois myös automaation toteutusvaihtoehdoista. Muiden valmistajien tuotteissa ei ole mainittavia etuja tai haittoja toisiinsa nähden.

Parhaiten käyttökohteen vaatimuksia vastaavat hajautetun I/O:n ratkaisut löytyvät Siemensiltä, Mitsubishiilta ja Liningilta. Schneiderin Modicon M251 ei salli riittävää määrää hajautettuja I/O-yksiköitä, jotta sen käyttö hajautetussa ratkaisussa olisi järkevää. Useammalla erillisellä logiikalla toteutetun automaation vaihtoehdoiksi sopivat parhaiten Siemens, Schneider ja Mitsubishi.

7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä kartoitettiin Sysmän jätevedenpuhdistamon tilanne laitekannan ja automatisoinnin suhteen ja laadittiin selvityksen perusteella raportti Sysmän kunnalle. Raportti täydentää automaatio- ja sähkösaneerauksen KVR-urakkaan liittyvää tarjousmateriaalia. Raportissa määriteltiin automaatiolta vaadittavia ominaisuuksia sekä muita automaatiourakkaan sisältyviä velvoitteita kuten ohjaustapakuvauksen laatiminen. Työn tuloksena syntyi kattavasti materiaalia helpottamaan urakkatarjousten laadintaa ja parantamaan tarjousten vertailukelpoisuutta.

Eniten aikaa asiakkaalle tehdystä työstä vei erilaisten luetteloiden laadinta: keskukset, I/O, automaatiolaitteet ja mittauspiirit. Työtä hidasti vanhoille laitoksille tyypillinen sähkökuvien ja merkintöjen puuttuminen, vaillinaisuus tai virheellisyys. Nykytilannetta selvitettiin pitkälti tekemällä päätelmiä sähkökeskusten kytkimiin ja johdonsuojakatkaisijoihin tehdyistä merkinnöistä.

Opinnäytetyössä selvitettiin myös eri laitevalmistajien tarjoamia vaihtoehtoja automaation toteuttamiseksi. Koska tarkastelluista merkeistä yksikään ei erottunut selkeästi muista, päätettiin olla sisällyttämättä suositusta käytettävästä laitevalmistajasta raporttiin.

Automaatiosuunnitelmien toimivuutta ja tarkkuutta voisi olla mahdollista parantaa prosessisuunnittelun kautta. Projektin loppupuolella tuli esiin joitakin kohtia, joissa jäi epävarmuutta erityisesti olemassa olevien mittausten riittävydestä prosessin automatisoinnin tarpeisiin.

Kokonaisuudessaan työ oli mielenkiintoinen. Se antoi mahdollisuuden perehtyä kokonaisen laitoksen toimintaan automaation näkökulmasta. Automaation tason vaihtelu – uusi, vanha, automatisoimaton – samassa kohteessa auttoi saamaan monipuolisen kuvan alalla vastaan tulevista haasteista.

Lähteet

- 1 What is DCS? Verkkoaineisto. RealPars. <<https://realpars.com/dcs/>>. Luettu 5.4.2023.
- 2 Sharma, K. L. S. 2011. Overview of Industrial Process Automation. London: Elsevier.
- 3 Suomen automaatioseura ry. 2005. Teollisuusautomaation tietoturva. Verkotumisen riskit ja niiden hallinta. Helsinki: Painomerkki Oy.
- 4 PLC Lifecycle Management. 2014. Verkkoaineisto. AutomationWorld. <<https://www.automationworld.com/products/control/article/13311314/plc-lifecycle-management>>. 24.2.2014. Luettu 17.4.2023.
- 5 Keinänen, Toimi, Sumujärvi, Matti. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- 6 CJ2 Family. Verkkoaineisto. Omron. <https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v2/p059_cj2-series_programmable_controller_datasheet_en.pdf>. Luettu 9.4.2023.
- 7 Modicon M251 Programmable Logic Controller for modular and distributed architectures. 2022. Verkkoaineisto. Schneider. <<https://www.se.com/fi/fi/product-range/62130-ohjelmoitava-logiikka-modicon-m251/?parent-subcategory-id=3910&filter=business-1-teollisuusautomaatio#documents>>. 24.5.2022. Luettu 9.4.2023.
- 8 One integrated solution. Verkkoaineisto. Unitronics. <<https://www.unitronicsplc.com/plc-programmable-logic-controller/>>. Luettu 4.4.2023.
- 9 Description of the product lifecycle for SIMATIC HMI products (PLM). 2021. Verkkoaineisto. Siemens. <[https://support.industry.siemens.com/cs/document/91688124/description-of-the-product-lifecycle-for-simatic-hmi-products-\(plm\)?dti=0&lc=en-US](https://support.industry.siemens.com/cs/document/91688124/description-of-the-product-lifecycle-for-simatic-hmi-products-(plm)?dti=0&lc=en-US)>. 1.12.2021. Luettu 5.4.2023.
- 10 They Don't Last Forever. 2019. Verkkoaineisto. TPO Magazine. <<https://www.tpomag.com/editorial/2019/12/is-your-scada-system-aging-maybe-its-time-to-take-stock>>. 12/2019. Luettu 4.4.2023.
- 11 Expand your PLC's lifespan. Verkkoaineisto. EU Automation. <<https://assets.euautomation.com/automated/guides/en/PLCsLifespanEN.pdf>>. Luettu 17.4.2023.

- 12 Shaw, Keith. 2022. The OSI model explained. Verkkoaineisto. Network World. <<https://www.networkworld.com/article/3239677/the-osi-model-explained-and-how-to-easily-remember-its-7-layers.html>>. 14.3.2022. Luettu 23.4.2023.
- 13 The OSI Network Model and Types of Load Balancers. Verkkoaineisto. A10 Networks. <<https://www.a10networks.com/glossary/osi-network-model-and-types-of-load-balancers/>>. Luettu 24.4.2023.
- 14 Huth, Hans-Peter. 2011. Internet of Things at Work: Enabling Plug-and-Work in Automation Networks. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Component-and-network-topologies-at-each-level-of-the-manufacturing-pyramid-IoTWork_fig2_230577679>. Helmikuu 2011. Luettu 4.4.2023.
- 15 Industrial Ethernet and Wireless are growing fast. 2017. Verkkoaineisto. HMS. <<https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2017/02/20/industrial-ethernet-and-wireless-are-growing-fast-industrial-network-market-shares-2017-according-to-hms>>. 20.2.2017. Luettu 4.4.2023.
- 16 Industrial networks keep growing despite challenging times. 2022. Verkkoaineisto. HMS. <<https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2022/05/02/industrial-networks-keep-growing-despite-challenging-times>>. 2.5.2022. Luettu 4.4.2023.
- 17 Fieldbus. Verkkoaineisto. PCMag. <<https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/fieldbus>>. Luettu 23.4.2023.
- 18 What is Fieldbus? Verkkoaineisto. Process Industry Forum. <<https://www.processindustryforum.com/article/what-is-fieldbus>>. Luettu 23.4.2023.
- 19 Cat5 vs Cat6 vs cat7 – RJ45 kaapelit vertailussa. Verkkoaineisto. Yleis-elektroniikka. <<https://www.yeint.fi/cat-kaapelit-vertailussa>>. Luettu 4.4.2023.
- 20 What Is Industrial Ethernet? Verkkoaineisto. RTA. <<https://www.rtautomation.com/industrial-library/what-is-industrial-ethernet/>>. Luettu 4.4.2023.
- 21 Collins, Danielle. 2020. What is the application layer in an industrial network? Verkkoaineisto. Motion Control Tips. <<https://www.motioncontrol-tips.com/what-is-the-application-layer-in-an-industrial-network/>>. 10.4.2020. Luettu 23.4.2023.

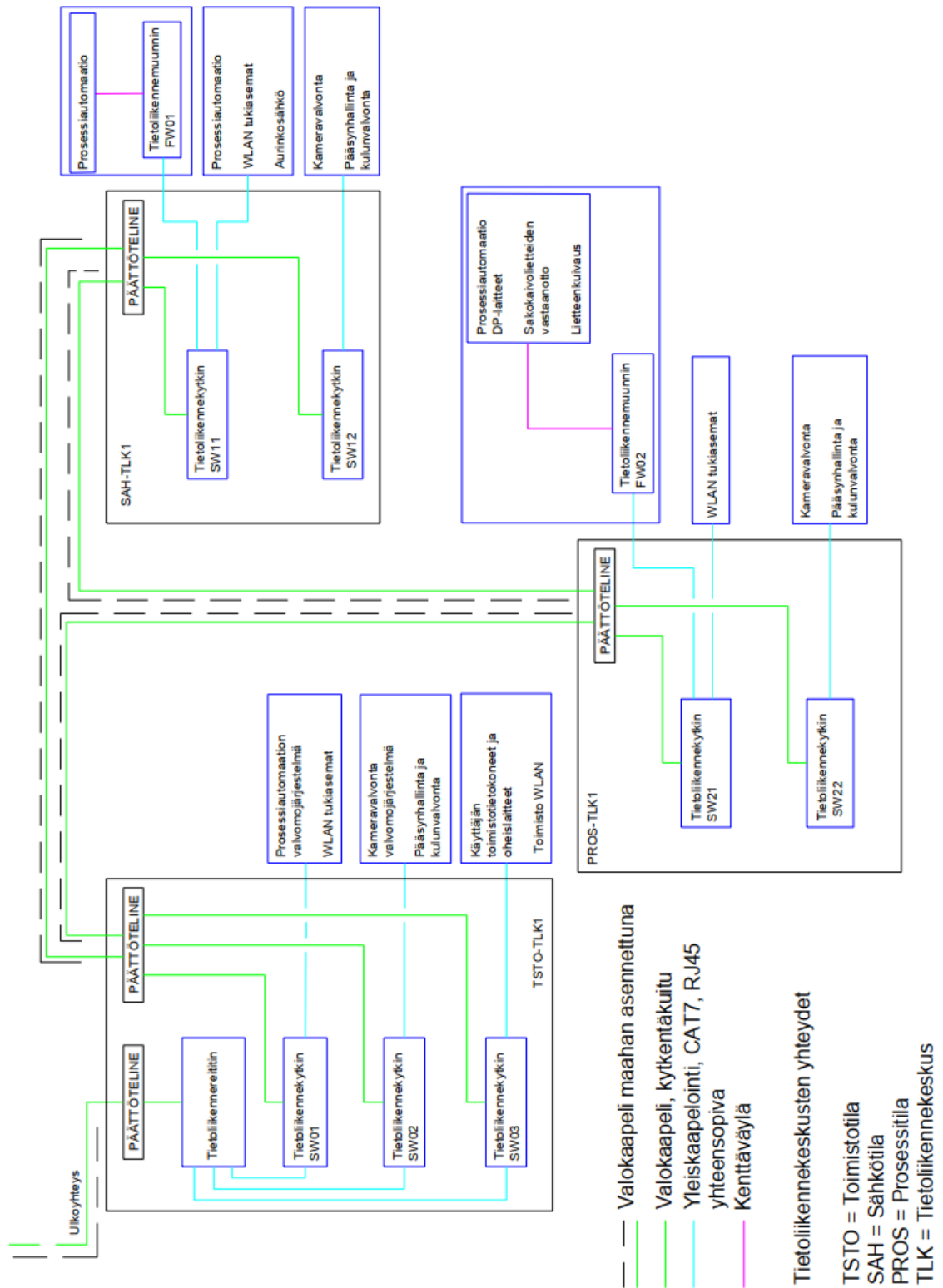
- 22 Radiomodeemit. 2019. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiomodeemit>>. 14.11.2019. Luettu 23.4.2023.
- 23 Laaksonen, Vesa. 2015. Viemäriverthaaman mittaaminen ja luotettavuuden arviointi. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aalto-doc-tietokanta.
- 24 Wallenius, Niklas. 2022. Miten pilvipalvelun tietoturva eroaa perinteisestä tietoturvasta. Verkkoaineisto. Wallenius consulting. <<https://niklaswallenius.fi/pilvipalvelun-tietoturva-erilainen/>>. 15.2.2022. Luettu 25.4.2023.
- 25 Vesihuollon toiminta. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/nain-vesihuolto-toimii/>>. Luettu 17.4.2023.
- 26 Teollisuusjätevedet. Verkkoaineisto. Kokemäen vesihuolto. <<https://www.kokemaenvesihuolto.fi/viemari/teollisuusjatevedet/>>. Luettu 17.4.2023.
- 27 Puhdistusprosessi. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/jatevedenpuhdistusprosessi-lyhyesti/>> Luettu 4.4.2023.
- 28 Kansallisen vesihuoltouudistuksen visioryhmä. 2021. Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelma. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:7. Verkkoaineisto. Julkaisuarkisto Valto. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163046>>. 28.4.2021. Luettu 4.4.2023.
- 29 6ED1052-1MD00-0BA6. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/6ED10521MD000BA6>>. Luettu 19.4.2023.
- 30 Siemens Suomessa ja Baltiassa. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://www.siemens.com/fi/fi/yhtio/siemens-suomessa-ja-baltiassa.html>>. Luettu 13.4.2023.
- 31 Siemens Osakeyhtiö. Verkkoaineisto. Fonecta Finder. <<https://www.finder.fi/Elektroniikka+ja+komponentit/Siemens+Osakeyhti%C3%B6/Es-poo/yhteystiedot/174538>>. Luettu 13.4.2023.
- 32 LOGO! – the compact controller with a cloud interface. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>>. Luettu 19.4.2023.
- 33 SIMATIC S7-1500. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>>. Luettu 4.4.2023.

- 34 Distributed Controllers. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/io-systems/distributed-controller.html>>. Luettu 4.4.2023.
- 35 MultiFieldbus. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/io-systems/simatic-multi-fieldbus.html>>. Luettu 4.4.2023.
- 36 Company info. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/company-info>>. Luettu 13.4.2023.
- 37 Omron Electronics Oy. Verkkoaineisto. Fonecta Finder. <<https://www.finder.fi/Automaatio/Omron+Electronics+Oy/Es-poo/yhteystiedot/160664>>. Luettu 13.4.2023.
- 38 CJ2. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/cj2>>. Luettu 8.4.2023.
- 39 CS1D. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/cs1d>>. Luettu 19.4.2023.
- 40 Yli 180 vuotta historiaa ja innovaatioita. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/fi/fi/about-us/company-profile/history/schneider-electric-history.jsp>>. Luettu 13.4.2023.
- 41 Schneider Electric Finland Oy. Verkkoaineisto. Fonecta Finder. <<https://www.finder.fi/Automaatio/Schneider+Electric+Finland+Oy/Es-poo/yhteystiedot/208315>>. Luettu 13.4.2023.
- 42 Ohjelmoitava logiikka – Modicon M251. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/fi/fi/product-range/62130-ohjelmoitava-logiikka-modicon-m251>>. Luettu 19.4.2023.
- 43 History of Mitsubishi Electric. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric. <<https://www.mitsubishielectric.com/en/about/history/index.html>>. Luettu 14.4.2023.
- 44 MELSEC L-sarja. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric. <https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/plc/plcl>. Luettu 13.4.2023.
- 45 Slice I/O. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric. <https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/plc/plccl/slice>. Luettu 26.4.2023.
- 46 MELSEC iQ-R Series. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric. <https://se.mitsubishielectric.com/fa/se_en/products/cnt/plc/plcr>. Luettu 26.4.2023.

- 47 Lining – yhdessä vastuullista vesitekniikkaa. Verkkoaineisto. Lining. <<https://www.lining.fi/yritys>>. Luettu 14.4.2023.
- 48 Cederberg, Mika. 2023. Myyntipäällikkö, Oy Lining Ab, Vantaa. Keskustelu 24.4.2023.
- 49 UniStream 15.6" - Programmable Logic Controller (PLC+HMI). Verkkoaineisto. Unitronics. <<https://www.unitronicsplc.com/unistream-series-unistream156/>>. Luettu 24.4.2023.
- 50 Kiinteistöautomaatiojärjestelmän toiminta. Verkkoaineisto. Koutsi – HSY:n verkkokurssit. <<https://koutsi.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/kiinteistoautomaatio-ja-mittaukset/topic/kiinteistoautomaatiojarjestelman-toiminta/>>. Luettu 19.4.2023.
- 51 Kiinteistöautomaatio. Verkkoaineisto. Koutsi – HSY:n verkkokurssit. <<https://koutsi.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/kiinteistoautomaatio-ja-mittaukset/>>. Luettu 19.4.2023.
- 52 What are the differences between IIOT and IOT? 2022. Verkkoaineisto. Tutorialspoint. <<https://www.tutorialspoint.com/what-are-the-differences-between-iiot-and-iiot>>. Päivitetty 23.3.2022. Luettu 19.4.2023.
- 53 Monitor you MAPS SCADA from Anywhere. Verkkoaineisto. MAPS SCADA. <<http://www.mapsscada.com/performance-anywhere/>>. Luettu 13.4.2023.
- 54 Visualize future. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/wincc-unified.html>>. Luettu 4.4.2023.
- 55 Käyttöliittymät. Verkkoaineisto. Omron. <<https://industrial.omron.fi/fi/products/hmi>>. Luettu 9.4.2023.
- 56 AVEVA Edge. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/fi/fi/product-range/39294413-aveva-edge/?parent-subcategory-id=5135&filter=business-1-teollisuusautomaatio#overview>>. Luettu 13.4.2023.
- 57 MAPS SCADA. Verkkoaineisto. MAPS SCADA. <<http://www.mapsscada.com/maps-smart-scada/>>. Luettu 13.4.2023.

Järjestelmäkaaviot

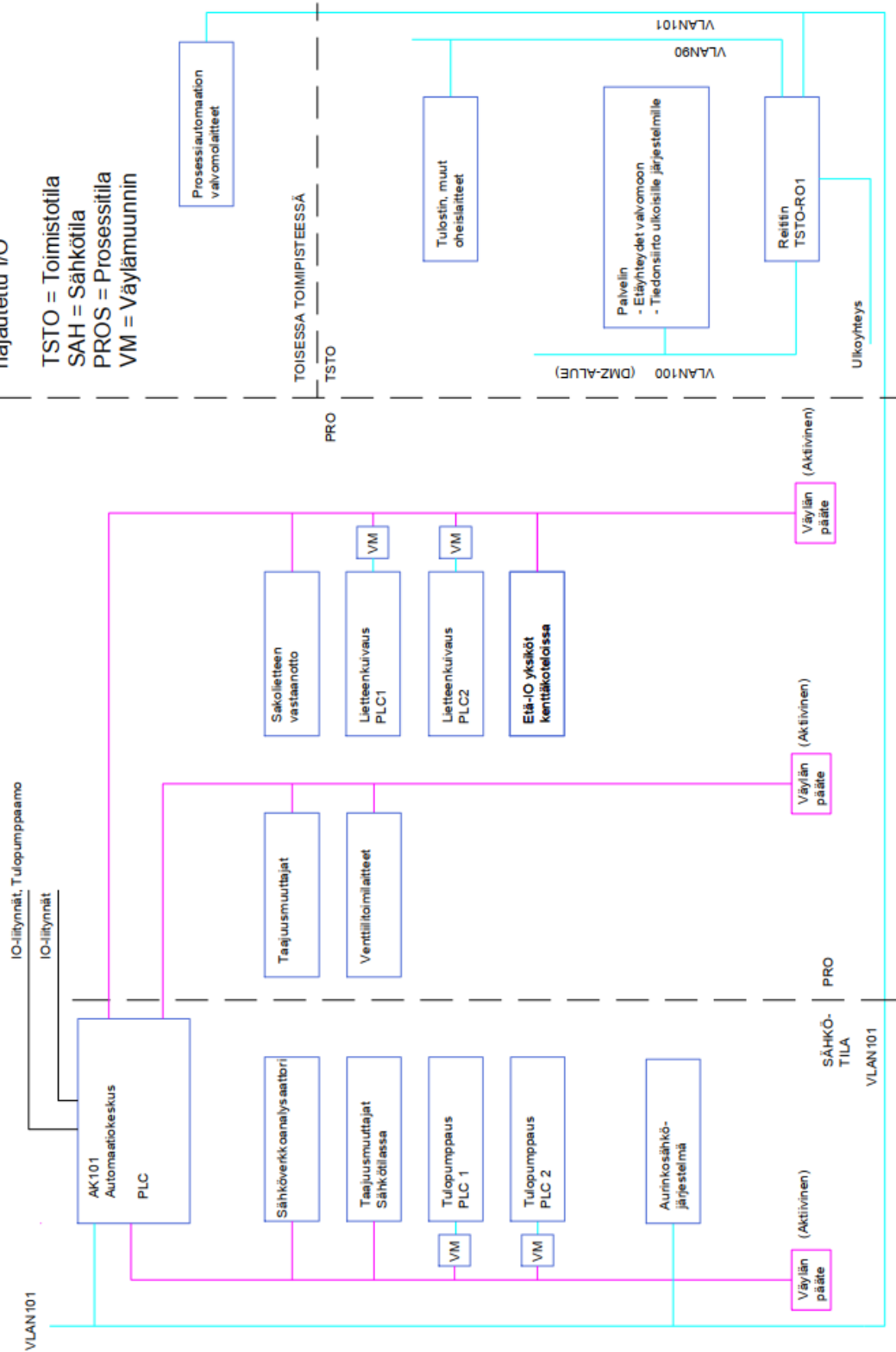
Kuvat järjestelmäkaavioista, jotka perustuvat työn aikana Sysmän jätevedenpuhdistamolle laadittuihin järjestelmäkaavioihin. Kuvattuna ovat tietoliikennekeskusten yhteydet sekä kolme vaihtoehtoa automaatiolaitteiden kytkemiseksi.



Kuva 1. Tietoliikennekaavio, tietoliikennekeskukset.

Tiedonsiirto prosessin ja valvomon välillä
Vaihtoehto 1, kenttäväylä, yksi uusi logiikka,
hajautettu I/O

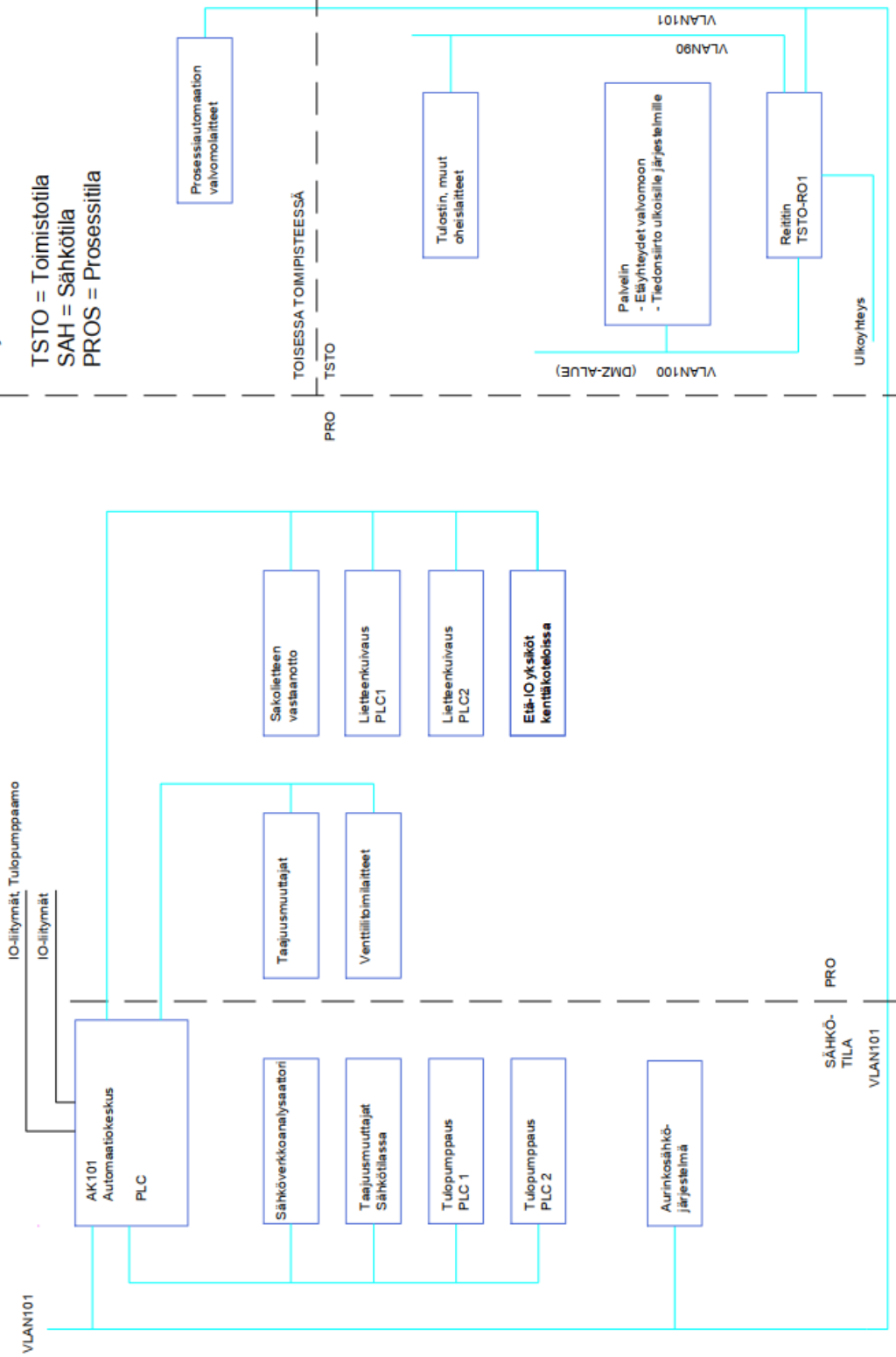
TSTO = Toimistotila
SAH = Sähkötila
PROS = Prosessitila
VM = Väylämuunnin



Kuva 2. Tietoliikennekaavio, prosessiautomaatio, vaihtoehto 1.

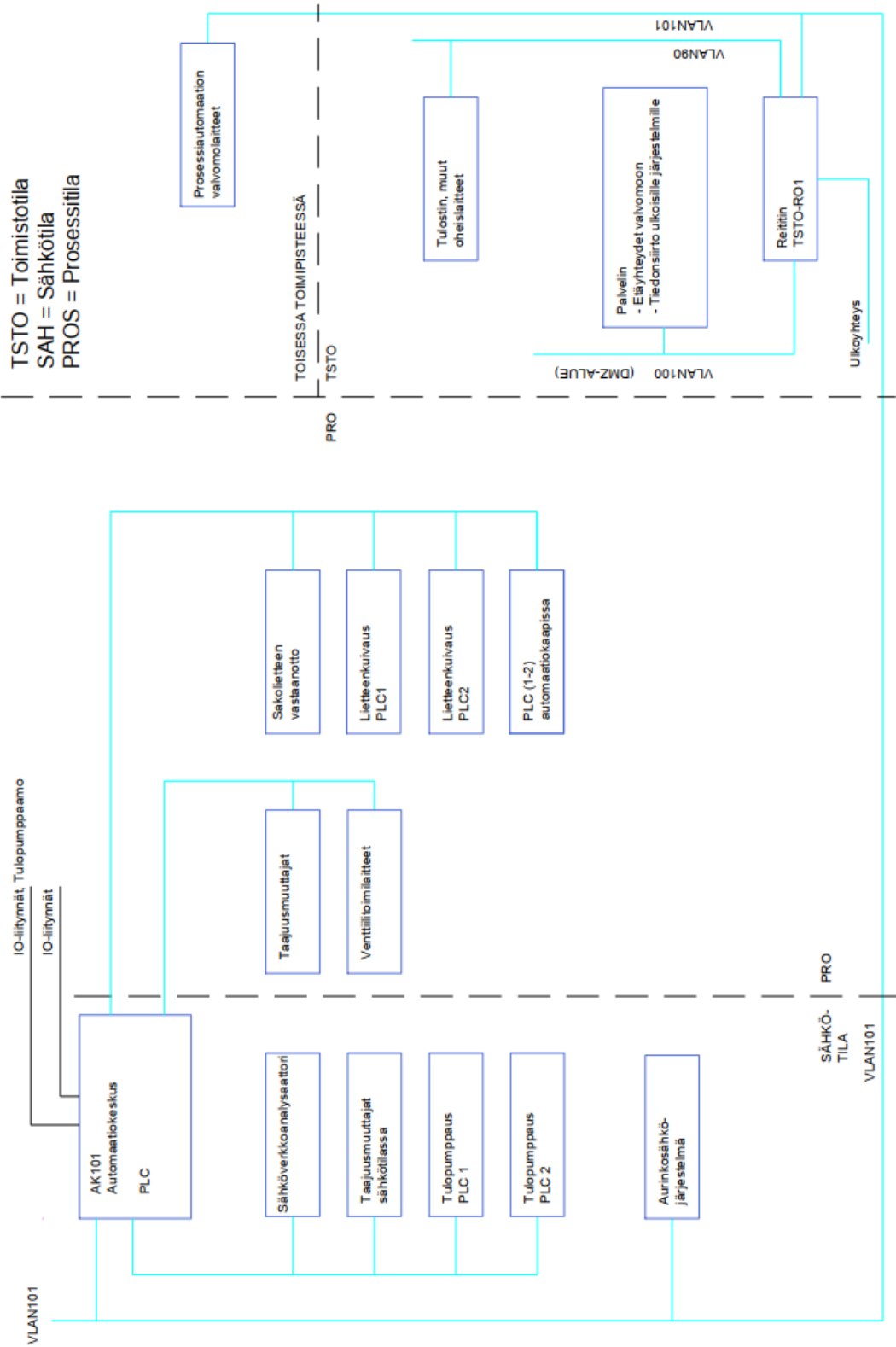
Tiedonsiirto prosessin ja valvomon välillä
Vaihtoehto 2, Ethernet, yksi uusi logiikka,
hajautettu I/O

TSTO = Toimistotila
SAH = Sähkötila
PROS = Prosessitila



Kuva 3. Tietoliikennekaavio, prosessiautomaatio, vaihtoehto 2.

Tiedonsiirto prosessin ja valvomon välillä
Vaihtoehto 3, Ethernet, useita uusia logiikoita



Kuva 4. Tietoliikennekaavio, prosessiautomaatio, vaihtoehto 3.