

Janne Laitinen

VEDENOTTAMON
SUODATINJÄRJESTELMÄN
OHJAUSVENTTIILEIDEN
MODERNISOINTI


Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Maaliskuu 2017




**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

KUVAILULEHTI

 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu	Opinnäytetyön päivämäärä 23.3.2017
Tekijä(t) Janne Laitinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Vedenottamon suodatinjärjestelmän ohjausventtiileiden modernisointi	
Tiivistelmä Opinnäytetyössäni suunnittelin ja ohjelmoin uuden ohjausventtiilijärjestelmän puhtaan veden tuotantoprosessissa oleville monikerrossuodattimille. Työn tein Mikkelin Vesilaitokselle, ja työnantajani sekä ohjaajanani toimi Mipro Oy. Työn tarkoituksena oli päivittää kahden monikerrossuodattimen venttiiliohjausjärjestelmä moderniksi, nykyaikaiseksi ja tarkkaan valvotuksi, joka olisi huoleton käyttää vielä pitkän aikaa. Entinen järjestelmä oli erittäin vanha ja altis vikaantumisille, joten oli hyvä aika tehdä uudet suunnitelmat järjestelmän päivittämisestä nykyaikaan. Työn tavoitteena oli suunnitella suodattimien venttiilijärjestelmästä varmatoimisempi, parantaa etävalvonnan mahdollisuuksia ja helpottaa järjestelmän vaatimia huoltotoimenpiteitä. Monikerrossuodattimet olivat kummatkin iästä huolimatta erittäin hyvässä kunnossa, joten isoja suodattimia ei tarvinnut uusia, vaan selvittiin pelkällä venttiilijärjestelmän päivittämisellä. Vedenottamo pumpppaa maan sisältä pohjavettä, käsittelee sen ja pumpppaa sen eteenpäin asiakkaille käytövedeksi, joten sen järjestelmän luotettavuus sekä toimintavarmuus ovat erittäin tärkeää olla hyvällä tasolla. Vedenottamo on miehittämätön laitos, jota valvotaan etänä, joten luotettavan etävalvonnan ja vähäisten huoltotarpeiden tärkeys korostuu entisestään. Työssä päivitin vanhat vesipaineella toimivat venttiilit nykyaikaisiin sähkötoimisiin venttiileihin, joissa olisi uutena ominaisuutena rajatieto venttiileiden asennosta. Rajatiedon avulla venttiilin toimintaa voidaan tarkkailla etänä ja mahdolliset vikaantumiset havaita valvomosta. Tein suunnitelmat uusista järjestelmämuutoksista CAD-kuvina sekä muutin ohjelmallista osuutta Unity Pro XL -ohjelmalla. Työn tuloksena saatiin kattava suunnitelma uudistuksista, joita suodatusjärjestelmä vaatii parantaakseen luotettavuuttaan ja toimintavarmuuttaan. Tämän lisäksi laadin ohjausjärjestelmän toiminnasta ohjaustapaselostuksen, jossa kuvataan laitoksen automaatiojärjestelmän toiminta. Sen perusteella ohjelmoin laitoksen logiikalle uuden ohjelmiston, joka toimii laaditun ohjaustapaselostuksen mukaan.	
Asiasanat (avainsanat) Logiikka, automaatio, ohjausjärjestelmä, ohjelmointi, suunnittelu	
Sivumäärä 25	Kieli Suomi
Huomaus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Teemu Manninen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Vesilaitos

DESCRIPTION

 <p>Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu</p>	<p>Date of the bachelor's thesis</p> <p>23.3.2017</p>
<p>Author(s) Janne Laitinen</p>	<p>Degree programme and option Electrical engineering</p>
<p>Name of the bachelor's thesis</p> <p>Modernizing controllable valves of a filter system at waterworks</p>	
<p>Abstract</p> <p>The subject of the thesis was designing and programming a new function system to controllable valves of multi-layered filters in process of clean water production. Client of the thesis was Mikkeli Waterworks, Finland and the employer was Mipro Oy. The purpose of the thesis was to replace the function system of controllable valves with a modern and precise system.</p> <p>The old system was very old and exposed to failures so it was good time to make new plans for the system upgrades. The priority of this thesis was to design a new system, which is more reliable, improve remote control and ease maintenance operations.</p> <p>The waterworks pumps ground water under the ground, handles it and pumps it to customers. That is why the operational reliability of the system is the most important thing. The water plant is unstaffed, which works mainly by remote control system, so reliability and low maintenance needing is very important thing.</p> <p>In the thesis, I replaced old water pressure functional valves with new modern electronic valves. The new quality of electricity functional valves was feedback information about position of valves. With this feedback information, function of valves could be supervised from the control room. I designed system changes in CAD pictures and programmed new software with Unity Pro XL.</p> <p>Results of the thesis were comprehensive plans of changes the filters needed to improve reliability of the system. I made also a controlling report of the valve system of the filters, which includes written description of automation system function. With this description, I programmed new software for the logic controller of the waterworks.</p>	
<p>Subject headings, (keywords)</p> <p>PLC, automation, control system, programming, designing</p>	
<p>Pages</p> <p>25</p>	<p>Language</p> <p>Finnish</p>
<p>Remarks, notes on appendices</p>	
<p>Tutor</p> <p>Teemu Manninen</p>	<p>Bachelor's thesis assigned by</p> <p>Mikkelin Vesilaitos</p>

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	MIKKELIN VESILAITOS	2
2.1	Mikkelin Vesilaitoksen historiaa	2
2.2	Mikkelin Vesilaitos vuonna 2017	3
3	MIPRO OY	4
4	OPINNÄYTETYÖKOHDDE.....	4
5	DEMA 300 -MONIKERROSSUODATIN.....	5
6	OHJELMOITAVA LOGIIKKA	7
6.1	Ohjausjärjestelmä	7
6.2	Logiikkatyypit.....	9
6.3	Logiikan tulot ja lähdöt.....	10
6.4	Logiikalla ohjelmoiminen.....	10
7	SUUNNITTELUN VAIHEET	11
7.1	Venttiilit.....	12
7.2	Ohjauskotelo	15
7.3	Kaapelointi.....	16
7.4	CAD-suunnittelu	18
7.5	Logiikka.....	19
7.6	Ohjaustapaselostus.....	20
7.7	Ohjelmointi	21
8	POHDINTA	23

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheen sain ollessani kesätöissä Mikkelin Vesilaitoksella kesällä 2016. Työkohteenani oli pohjavedenottamon suodatinjärjestelmän venttiilit. Vedenottamoon oli tehty suuri remontti muutama vuosi sitten, mutta monikerrossuodattimien venttiilit jäivät uusimatta remontin yhteydessä. Suodattimia löytyy kaksi, joista toinen on vuodelta 1983 ja toinen 1990. Suodattimien venttiilit olivat suurimmaksi osaksi kummasakin alkuperäisiä, muutamia venttiileitä oli kuitenkin jouduttu vaihtamaan rikkoutumisen takia vuosien varrella. Venttiilit olivat suurimmaksi osaksi huonossa kunnossa ja vaativat paljon huoltoa, joten oli viisainta päivittää koko järjestelmä nykyaikaan.

Opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella järjestelmä, joka olisi erittäin varmatoiminen, sitä olisi mahdollista valvoa etänä ja huollon tarve olisi mahdollisimman vähäistä ja helppoa. Vedenottamo on miehittämätön laitos ja etävalvonnan piirissä, joten sen toiminnan ja etävalvonnan luotettavuus on erittäin tärkeää.

Suodatinjärjestelmän venttiilit olivat liitetty viime remontin yhteydessä vedenottamon logiikan perään, joten ne olivat jo osana automaatiojärjestelmää ja etävalvonnan piirissä, mutta pelkkinä toimilaitteina. Tämän takia venttiileistä ei saanut reaaliaikaista tietoa venttiilin asennosta ja toiminnoista. Venttiiliä voitiin ohjata aukeamaan tai sulkeutumaan, mutta mistään ei nähty toimiko venttiili oikeasti halutulla tavalla. Työhöni kuului valita vanhojen venttiileiden tilalle asennettavat nykyaikaiset sähkötoimiset venttiilit sekä suunnitella järjestelmän kaapelointi, logiikkamuutokset ja toimilaitteet uusille venttiileille.

Alun perin aloitin opinnäytetyöni tekemisen Mikkelin Vesilaitokselle vuoden 2016 loppupuolella. Pian kuitenkin selvisi, että opinnäytetyöni kohteena oleva logiikka ohjaa koko rakennuksen automaatiota ja suodatusjärjestelmä on vain osa tätä logiikkaa. Logiikan ylläpitoa ja huoltoa hoitaa Mipro Oy. Otin yhteyttä Miproon opinnäytetyöni suorittamisen kannalta, koska työni liittyi Mipron järjestelmien muuttamiseen. Mipro ehdotti, että tekisin opinnäytetyöni kokonaan heidän yritykselleen ja Mikkelin Vesilaitos olisi vain asiakkaana. Työn kohde oli itsessään hyvä ja tästä syystä työ ei muuttuisi yhtään, mutta kun päivitän Mipron järjestelmää, on heidän hyvä olla suurimpana tekijänä myös opinnäytetyössäni.

2 MIKKELIN VESILAITOS

Mikkelin Vesilaitos tuottaa noin 55 000 ihmiselle talousvettä, huolehtii sen häiriöttömästä jakelusta ja veden laadusta sekä jätevesien tehokkaasta puhdistamisesta. Mikkelin Vesilaitoksen toiminta-alue on kantakaupungin lisäksi Rantakylä, Otava, Anttola, Haukivuori, Ristiina ja Suomenniemi. [1.]

2.1 Mikkelin Vesilaitoksen historiaa

Mikkelin Vesilaitos sai alkunsa kolmen pohjavesikaivon rakentamisella Petroffin kankaalle kesäkuun alussa 1911, silloinen Petroffin kangas tunnetaan nykyisin Hanhikankaana. Samana vuonna rakennettiin vesitorni Naisvuorelle, jonka korkeus kallion pinnasta oli 29,40 m ja Saimaan pinnasta noin 64m. Tilavuutta vesitornille mitoitettiin 300 m³, josta sen ajan normit määrittivät käyttöveden tilavuudeksi 196 m³ ja tulipalojen sammutusvarastoksi arveltiin riittävän 104 m³. Rakennustyöt etenivät todella vauhdilla, sillä ensimmäisen kerran vesitorniin pumpattiin vettä jo joulukuussa 1911. [2, s. 14-21.]

Vedenkulutuksen noustessa rajusti 1940-luvun alussa oli vedentuotantoa lisättävä. Vedentuotantoa saatiin lisää laajentamalla jo olemassa olevaa Petroffin kankaan vesilaitosta. Laajennuksella lisättiin arvioiden mukaan 4320 m³ päivässä puhdasta juomavettä. [2, s. 34-35.]

1950-luvulla Naisvuoren vesitornin kapasiteetti alkoi käydä liian pieneksi kaupungin asukkaille. Vuonna 1952 kaupunginvaltuusto hyväksyi uuden vesitornin rakentamispäätöksen. Vesitorni rakennettiin Kirjalanmäelle, sen tilavuudeksi tuli 2000 m³. [2, s. 38.]

Vedenkulutuksen kasvaessa entisestään 1950-luvulla täytyi alkaa miettiä uutta vedenottamoita Petroffin kankaan rinnalle. Pohjavesitutkimuksia tehtiin ja uusi erittäin runsas pohjavesiesiintymä löydettiin Pursialan alueelta. Uuden vesilaitoksen rakennustyöt aloitettiin 1958 ja käyttöönotto tapahtui kesällä 1959. [2, s. 40-41.]

Jätevesien puhdistuksesta alettiin keskustella vasta vuonna 1960. Jätevedenpuhdistamon rakennustyöt aloitettiinkin jo 1960-luvun alussa ja laitoksen ensimmäinen vaihe

otettiin käyttöön 1962, jolloin vain osa kaupungin vesistä pumpattiin laitokselle puhdistettavaksi. Kokonaisuudessaan puhdistamo otettiin käyttöön vasta 1969, jolloin kaikki kaupungin jätevedet pumpattiin puhdistamon kautta Saimaaseen. [2, s. 62-63.]

Mikkelin Vesilaitoksen toiminta-alue on laajentunut tämän jälkeen huomattavasti kuntaliitosten ja osaliitosten myötä. Mukaan ovat tulleet Mikkelin maalaiskunta, Anttola, Otava, Ristiina, Haukivuori ja Suomenniemi. [1.]

2.2 Mikkelin Vesilaitos vuonna 2017

Nykyään Mikkelin Vesilaitos takaa laadultaan erinomaista talousvettä koko toiminta-alueellaan. Toiminta-alueella sijaitsee kuusi vedenottamo, joista kantakaupungin alueella kolme, Pursialan, Hanhikankaan ja Hietalahden vedenottamot. Muut kolme sijaitsevat Haukivuorella, Ristiinassa ja Suomenniemellä. Kaikki vesilaitoksen alueella olevat vedenottamot ovat pohjavedenottamoita, jotka käyttävät raaka-aineenaan luonnon pohjavettä tai tekopohjavettä. [1.]

Vesijohtoverkoston toiminta-alueella on noin 430km ja viemäriverkoston noin 490km. Vesijohtoverkostosta löytyy 15kpl paineenkorotusasemia ja 5 vesitornia. Viemäriverkostossa on jätevedenpumppaamoita ja perusvesi eli sadevesipumppaamoita yhteensä noin 130kpl. Järjestelmien toimintaa valvotaan ympäri vuorokauden kaukovalvontajärjestelmällä, jotta mahdollisiin häiriötilanteisiin voitaisiin reagoida mahdollisimman nopeasti. [1.]

Mikkelin Vesilaitos huolehtii myös jätevesien puhdistuksesta toiminta-alueellaan. Puhdistuslaitoksia löytyy Mikkelin Kenkäveronniemestä, Anttolasta, Ristiinasta, Haukivuorelta ja Suomenniemeltä. Suurin osa jätevesistä ja lietteestä käsitellään Mikkelin Kenkäveronniemessä. [1.]

Vesilaitos on jaettu kolmeen toiminnalliseen yksikköön, hallintoon, käyttöyksikköön sekä verkostoyksikköön. Hallinnon tehtävänä on yleishallinnon lisäksi laskutus. Käyttöyksikkö huolehtii vedenpuhdistamot, paineenkorotusasemat, jätevedenpuhdistamon sekä perus- ja jätevedenpumppaamot. Verkostoyksikkö huolehtii vesi- ja viemäriverkoston ylläpidosta ja liittyjäpalveluista. Vakinaistettuja työntekijöitä vesilaitoksella on tällä hetkellä 38. [1.]

3 MIPRO OY

Mipro Group -konserni perustettiin vuonna 1980. Alkuperäinen nimi oli Mikkelin Prosessiohjaus Ky, silloin toimialana oli prosessiteollisuuden sekä vesihuollon automaatio-suunnittelu ja -asennukset. Yritys panosti voimakkaasti turvallisuusjärjestelmiin ja erityisesti rautatiejärjestelmiin, joka muutti yrityksen toimintasuuntaasuuntaa 90-luvun alussa. Samoihin aikoihin yritys vaihtoi nimeään ja yhtiömuotoaan, Mikkelin Prosessiohjaus Ky:stä tuli Mipro Oy. Ensimmäisen tasoristeysjärjestelmän Mipro toimitti julkiseen rataverkkoon vuonna 1995. Siitä lähtien Mipro Groupista on tullut rautatiejärjestelmien suunnannäyttävä Suomessa. [3.]

Mipro Group Ltd. Oy:n tytäryhtiöitä ovat Mipro Oy ja Censeo Oy. Mipro on erikoistunut rautatie-, vesi- ja energiahuollon- sekä teollisuuden järjestelmiin ja on isoin osa tätä organisaatiota. Censeo täydentää yhtiön toiminnallisen turvallisuuden palveluita. Censeo on akkreditoitu tarkastuslaitos, joka toimii riippumattomana turvallisuusarvioijana rautateiden ja teollisuuden parissa. Mipro Group on kasvava ja vakavarainen asiantuntijayritys, joka on erikoistunut raideliikenteen ja teollisuuden ohjaus-, turvallisuus- ja hallintajärjestelmiin. [3.]

Mipro on kansainvälinen yritys, joka toimii Suomen lisäksi Itä-Euroopassa ja Lähi-Idässä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Mikkeliissä, mutta vuonna 2011 Mipro otti ensimmäisen kansainvälistymisaskelen perustamalla toimipisteensä Slovakiaan. Yrityksen tavoitteena on saada jalansijaa Euroopan rautatiemarkkinoilta. [3.]

4 OPINNÄYTETYÖKOHDDE

Opinnäytetyökohteenani oleva vedenottamo on miehittämätön laitos, joka pumppaa pohjavettä, käsittelee sen ja pumppaa sen eteenpäin käyttöön talousvetenä. Siellä on neljä pohjavesipumppua, ilmastushuone, lipeäsäiliö, kaksi kappaletta DEMA 300 -mönikerrossuodattimia ja puhdasvesiallas.

Vedenottamon tuotanto käynnistyy vesitornin pinnan laskiessa riittävän alas tai kello-ohjauksella. Pohjavesipumppuja laitoksessa on viisi, ja ne toimivat vuorotellen, eli kun tarvitaan puhdasta vettä, käynnistyy seuraavaksi vuorossa oleva pohjavesipumppu. Sen

aikana muut pumpput toimivat varalla. Jos kyseisen pumpun tuotto ei riitäkään, käynnistyy yksi pumppu toisensa jälkeen, kunnes haluttu tuotto saavutetaan. Pumpput pumppaavat raakaveden laitoksen yläosassa olevaan ilmastushuoneeseen, jossa ilmastus tapahtuu. Veden pH-arvoa säädellään lipeäsyötön avulla samanaikaisesti raakavesisyötön kanssa. Ilmastuksesta vesi ajetaan monikerrossuodattimien läpi, jolloin vedessä olevat kiintoaineet kuten rauta ja mangaani jäävät suodattimeen. Suodatuksen jälkeen vesi valuu puhdasvesialtaaseen, josta se pumpataan vesitornin kautta asiakkaille käyttövedeksi. [4.]

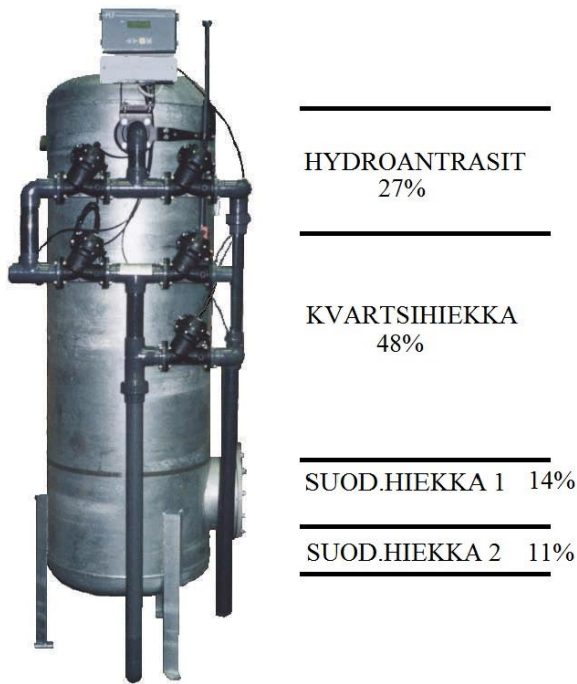
5 DEMA 300 -MONIKERROSSUODATIN

Opinnäytetyöni aihe liittyi vahvasti Insinööritoimisto Kaiko Oy:n DEMA 300 -monikerrossuodattimiin. Tehtävänäni oli suunnitella vedenottamon kummallekin suodattimelle varmatoimisemmat huuhteluohjelman ohjausventtiilit. Venttiilit avautuvat ja sulkeutuvat huuhteluohjelman mukaisesti, kun suodattimesta huuhdellaan siihen kertyneitä epäpuhtauksia pois.

Monikerrossuodatin on täysin automaattinen, säädettävä vedensuodatin. Pääsäästöventtiilillä säädetään suodattimen läpi kulkevan veden virtausnopeutta. Veden virtausnopeus on säädettävä optimaaliseksi parhaan suodatustuloksen saamiseksi. Virtausnopeus on optimaalinen silloin, kun suodattimeen tulevan veden ja lähtevän veden paine-ero on 0,2 bar normaalikäytössä. Pääsäästöventtiilin lisäksi suodattimeen kuuluu 6 läppäyksikköä, joita voidaan erikseen avata ja sulkea säädettäessä vesivirran suuntaa toiminnan ja huuhtelun aikana. [5.]

Monikerrossuodattimen nimi tulee siitä, että suodattimen sisällä oleva suodatusaines on jaettu neljään eri kerrokseen: hydroantrasiittiin, kvartsihiekkään ja kahteen eri suodatushiekkään, joiden ominaispainot ja raekoot eroavat toisistaan (kuva 1). Päälimmäinen kerros on hydroantrasiittia, jolla on suurin raekoko ja pienin ominaispaino. Vastaavasti pienin raekoko ja suurin ominaispaino löytyvät tiheämmältä suodatushiekalta suodattimen pohjalta. Monikerrossuodatus perustuu fysikaalisesti ja kemiallisesti tärkeään luonnon spontaaniin saostumisilmiöön, jossa hiukkasten koon pienentyessä pienenee myös niiden välinen tilavuus suodatinmassassa. Spontaani saostuminen syntyy, kun suodatinmassan läpäisevän veden nopeuden vaikutuksesta kolloidien sähkökemiallinen tasapainotila järkkyy. Tällaista ilmiötä ei saada aikaan yksiaineisella suodattimella,

koska suodattimen läpäisevän veden nopeus ei saa aikaan riittävää progressiivista kiihtyvyyttä. [5.]



KUVA 1. DEMA-monikerrossuodatin [6]

Raakavedessä itsessään on paljon epäpuhtauksia, kuten mangaania, rautaa ja eri hiukkasia. Toimintakierrossa hapetettu raakavesi virtaa suodatinkerroksien läpi ylhäältä alaspäin, jolloin suodattimen yläosassa on karkein ja alaosassa kaikista hienojakoisin suodatus. Tämän takia eri kerrokset sitovat veden epäpuhtaudet itseensä tasaisesti, suuret lietehiukkaset jäävät jo ensimmäiseen ”karkeimpaan” kerrokseen, jonka pienet hiukkaset läpäisevät. Pienemmät hiukkaset jäävät asteittain kiinni seuraaviin yhä tihenevämpiin eli progressiivisesti tiiviimpiin alla oleviin kerroksiin. [5.]

Suodatin on elvytettävä, jos suodatin alkaa olla niin tukossa, että hiukkasia pääsee suodattimen läpi käyttöveteen. Ensimmäinen vaihe elvytyksessä on vastavirtahuuhtelu, jossa puhtaalla vedellä huuhdellaan suodatin alhaalta ylöspäin, jolloin huuhteluveteen kerääntyy kaikki haitalliset aineet suodattimesta. Huuhteluvesi ohjataan venttiileiden avulla viemäriin. Toisessa vaiheessa suodatin lepää hetken, jotta vastavirtahuuhtelun aiheuttama epäjärjestys suodatushiekoissa tasaantuisi. Silloin suodattimen läpi ei virtaa vettä kumpaankaan suuntaan. Kolmannessa vaiheessa huuhdellaan suodatin oikeaan suuntaan ylhäältä alaspäin, ns. myötävirtaisesti. Silloin myötävirtainen huuhteluvesi oh-

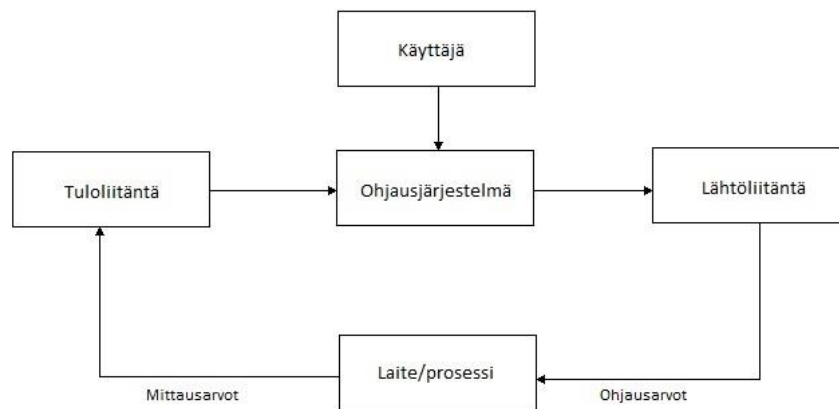
jaa viemäriin vastavirtahuuhtelun irrottamat epäpuhtaudet, joita voi olla jäänyt suodatimen pohjaan ja seinämiin. Samalla se tiivistää suodatuskerrokset oikeaan järjestykseen, ennen kuin suodatin palaa takaisin toimintaansa. [5.]

6 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

Teollisuuden prosesseissa ja automaatiassa on paljon ohjausjärjestelmiä, joissa järjestelmään työalueelta tulee kaksitilaista on/off-tyyppistä tietoa. Myös monet toimilaitteet toimivat auki/kiinni tai käyntiin/seis –tyyppisillä komennoilla. Aiemmin tämän tyylliset ohjaukset toteutettiin yksinomaan releillä, joka johti suureen komponenttimäärään ja monimutkaisiin johdotuksiin. Aloite ohjelmoitavien logiikkayksiköiden kehittämisestä tuli autoteollisuudesta. General Motors antoi vuonna 1968 vaatimuksia ohjelmoitaville logiikoille niiden ohjelmointiin, toimintaan, tuloihin ja lähtöihin sekä hintaan liittyen. Ensimmäiset nämä kriteerit täyttävät logiikat alkoivat rantautua markkinoille vuosina 1968 ja 1969. Alkuaikoina Logiikoista käytettiin nimeä PC (Programmable Controller), mutta se poistui käytöstä, kun henkilökohtaisesta tietokoneesta (Personal Computer) alettiin käyttää samaa lyhennettä. Tämän takia Bedford Associates otti käyttöön termin PLC (Programmable Logic Controller), hän oli myös henkilö joka patentoi kyseisen keksinnön. [7, s. 241-242.]

6.1 Ohjausjärjestelmä

Ohjelmoitava logiikka on ohjelmoitavan ohjausjärjestelmän aivot, jossa on tulopiirit ja lähtöpiirit. Se on melkein poikkeuksetta nykyään toteutettu mikroprosessorilla, joka mahdollistaa loogisten operaatioiden ohella myös laskusuoritukset. Logiikan keskusyksiköstä löytyy ohjelmamuisti, jonne tallennetaan kirjoitettu ohjelma. Ohjelmasta löytyy kaikki informaatio, mitä automatisoitu laitteisto vaatii toimiakseen. [7, s. 243-244.]



KUVA 2. Suljetun ohjausjärjestelmän periaatekuva [7, s. 206]

Ohjausjärjestelmän tehtävänä on toimia käyttäjän ja koneen välisenä tulkkina. Käyttäjä käskyy konetta käyttöliittymän avulla, joka koostuu painikkeista ja näytöistä. Näyttöjen avulla käyttäjä voi tarkkailla koneen tilaa tulevien tietojen avulla. Ohjausjärjestelmä voi olla avoin tai suljettu säätöjärjestelmä. Avoimessa järjestelmässä ohjausarvo kulkee lähtöliittämän kautta toimilaitteelle, jolloin toimilaitte muuttaa tilaansa ja säätelee näin prosessin kulkua ohjausjärjestelmän asetusarvojen mukaisesti. Avoin järjestelmä toimii kuvan 2 tavoin ilman mittausarvojen tietoa tuloliittäntään. Tästä syystä avoimessa säätöjärjestelmässä voidaan ohjata toimilaitetta, mutta järjestelmästä ei saada mittausarvotietoja toimilaitteen tekemistä muutoksista. [7, s. 206-225.]

Avoimesta suljettuun säätöjärjestelmään siirryttäessä lisätään toimilaitteelta tämä kyseinen kuvan 2 mittausarvotieto järjestelmän tuloihin. Mittausarvoviestinä tulee takaisinkytkentätieto toimilaitteen toiminnoista logiikan tuloliittäntään. Tämän tiedon avulla voidaan järjestelmän logiikka ohjelmoida käsittelemään tulevan tiedon laitteen toiminnasta ja ohjaamaan näin toimilaitetta. Hyvä esimerkki suljetusta säätöjärjestelmästä on lämmityslaitteen termostaatti, joka mittaa haluttua lämpötilaa ja lämpötilan laskiessa tietylle tasolle, ohjaa se lämmittimen päälle, jotta lämpötila saataisiin nousemaan. Lämpötilan noustessa halutulle tasolle se vastaavasti katkaisee lämmityksen. [7, s. 206-225.]

Vedenottamon entinen venttiileiden säätöjärjestelmä oli avoin järjestelmä, siinä venttiileitä ohjattiin logiikan avulla, mutta ohjausjärjestelmä ei saanut venttiileiltä kuvan 2 kaltaista mittausarvotietoja venttiileiden tilasta, jonka avulla järjestelmää olisi voitu valvoa.

Takaisinkytkentätietojen lisäysten myötä järjestelmä muuttuu suljetuksi järjestelmäksi, jota on helpompaa valvoa ja komponenttien vikaantumiset käyvät ilmi.

6.2 Logiikkatyypit

Logiikoissa on hyvinkin paljon eroja, niiden periaatteellinen ero tulee valmiudesta suorittaa ohjaustoimintoja. Aiemmin on ollut käytössä askeltavia logiikoita, jotka toimivat ns. tikapuuperiaatteella. Askeltavat logiikat olivat tarkoitettu sekvenssityyppisiin ohjauksiin, joissa automaation hierarkia on suoraviivainen, askel askeleelta etenevä. Nykyään ovat yleistyneet ns. vapaasti ohjelmoitavat logiikat, joihin kuuluu lähes kaikki nykyaikaiset logiikat. Nämä nykyaikaiset logiikat ovat syrjäyttäneet kokonaan askeltavat logiikat ohjelmoinnin helppoudellaan ja monipuolisuudellaan. Vapaasti ohjelmoitavien logiikoiden etuna askeltaviin on moniajoisuus, logiikka pystyy reaaliaikaisesti käsittelemään järjestelmään liitettyjen useiden antureiden antamaa signaalia yhtä aikaa ja ohjaamaan niiden perusteella toimilaitteita järjestelmän vaatimusten mukaan. Tämän takia ohjelmointityö on nykyään hieman haastavampaa, mutta ohjelman käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. [8, s. 222-223.]

Logiikkalaitteistot voidaan jakaa kahteen ryhmään, sen perusteella onko ne kiinteällä I/O-määrällä varustettuja vai vapaasti kasattavissa erilaisista moduuleista käyttötarkoituksen mukaan. Kiinteällä I/O-määrällä varustetuissa logiikoissa on tietty määrä tuloja (Input) ja lähtöjä (Output), laajennusosiaakin niihin löytyy tarpeen vaatiessa, mutta niiden laajennuskapasiteetti on hyvin rajallista. Ne ovat usein edullisia komponentteja, jotka soveltuvat pieniin prosesseihin tai yksittäisten laitteiden ohjauksiin erinomaisesti, mutta suurempiin, muuttuviin järjestelmiin erittäin huonoja. [8, s.222.]

Modulaarisissa logiikoissa käyttäjä voi kasata logiikan pohjalevyyn eli räkkiin, kulloiseen tarpeeseen sopivat kenttäväylämoduulit. Räkkejä ja moduuleita löytyy eri kokoisia erilaisiin tilanteisiin sopivina niin digitaalisella 1-0 -tiedolla, kuin analogisella, muuttuvalla, reaaliaikaisella mittaustiedolla. Tällaiset vapaasti kasattavat logiikat ovat hieman arvokkaampia kuin kiinteällä I/O-määrällä varustetut logiikat, mutta niiden muunneltavuus ja käytännöllisyys ovat ihan omaa luokkaansa. Tästä syystä ne on tarkoitettu lähinnä suurempiin, vaativampiin ja etenkin muuttuviin järjestelmiin. Järjestelmän muutosten ja päivitysten takia koko logiikkaa ei tarvitse vaihtaa uuteen, vaan riittää joko

moduulin lisäys räkissä tai moduulin vaihto erilaiseksi, uuteen järjestelmään sopivammaksi. [8, s. 222-223.]

6.3 Logiikan tulot ja lähdöt

Tulopiirit ovat logiikan aistit, joihin kytketään toimintaa havainnoivat anturit ja kytkimet. Tulopiirit eivät ole suoraan yhteydessä logiikan herkkään elektroniikkaan, vaan tuloviesti saapuu logiikan käsiteltäväksi optoerotuksen kautta, joka muodostuu valodiodista eli ledistä ja fototransistorista. Tätä kutsutaan myös galvaaniseksi erotukseksi. Fototransistori havainnoi ledissä tapahtuvat tilanmuutokset, ledin ollessa pois päältä logiikalle tulevan tulon tieto on 0, ledin syttyessä tulo muuttuu 1 eli aktiiviseksi. Led on tulopiirien testauksessa ja vikojen haussa erinomainen ominaisuus. Tulojen tilaa voidaan myös tarkastella ohjelmointilaitteen monitorointitilassa tai ohjausohjelman simuloititilassa Tällöin tehtyä ohjelmaa ei tarvitse ajaa logiikkaan sisään, vaan voidaan ohjelmallisesti simuloida logiikan digitaalisia ja analogisia tuloja päälle ja pois. [7, s. 245.]

Logiikan lähtöpiireihin kytketään toimilaitteet, esimerkiksi releet tai moottorit, joita halutaan ohjata. Näitä voi olla esimerkiksi magneettiventtiilit, merkkivalot, releet ja kontaktorit. Lähdöt ovat usein joko rele- tai transistorilähtöjä. Relelähdoillä voidaan ohjata tasasähkön lisäksi myös 250 VAC vaihtosähköä 2 ampeeriin asti, niiden toimintaviive on kutakuinkin 10 millisekunnin luokkaa. Transistorilähdöt ovat tarkoitettu lähinnä tasasähkölle, jonka käyttöjännite on yleensä 24 VDC ja virta alle 2 ampeeria. Transistorilähdöt vaativat logiikalta samanlaisen optoerotimen kuin tulopuolella, niiden toiminnallinen viive on kuitenkin vain 0,2 millisekunnin luokkaa. [7, s. 245-246.]

6.4 Logiikalla ohjelmoiminen

Ohjelmoitavalla logiikalla tehtävän automatisoinnin tarkoituksena on saada prosessi toimimaan niin itsetoimisesti, että käyttäjän ei tarvitsisi valvoa sitä jatkuvasti eikä puuttua prosessin kulkuun [8, s. 220-221]. Kun prosessia aletaan automatisoida, täytyy prosessin toiminnoista laatia aina ohjaustapaselostus, joka on kirjallinen kuvaus automatisoitavan prosessin kulusta ja toiminnoista.

Logiikalla tehtävä automatisointi alkaa aina suunnittelulla ja laitevalinnalla. Suunnittelussa tärkeintä on löytää prosessiin sopivat anturit, prosessiin vaikuttavat toimilaitteet

ja logiikka, joka toimii parhaiten kyseisessä tilanteessa. Sopivien laitteiden löydyttyä ohjelmoidaan ne logiikan kautta toimimaan automaattisesti keskenään. Ohjelmointi tapahtuu joko logiikkaan suunnitellulla omalla tietokoneohjelmalla tai erillisellä ohjelmointilaitteella. Ohjelma kirjoitetaan ensin ulkoiseen muistiin, jonka jälkeen testataan ohjelman toimivuus simuloimalla tulevien antureiden antamaa dataa. Mikäli ohjelma toimii laaditun ohjaustapaselostuksen mukaan, ladataan se logiikan muistiin ja tehdään laitteistolle käyttöönototestaus. Ohjelman sisältö riippuu hyvin pitkälti käytettävästä ohjelmointikielestä sekä ohjelmoijasta itsestään. Ulkopuolisen on usein hankalaa sisäistää toisen henkilön tekemää ohjelmaa, koska ohjelmointi on hyvin persoonallista ja luovaa. [8, s. 220-221.]

Logiikan muistiin voidaan tehdä ohjelma, joka valvoo järjestelmää tulojen antamien tietojen perusteella ja ohjaa järjestelmässä olevia toimilaitteita lähdoillään. Ohjelman perustana on usein ohjauskohteen toiminnasta laadittu toimintakaavio tai sanallinen selvitys halutusta toiminnasta, jota kutsutaan myös ohjaustapaselostukseksi. Suunnittelija ohjelmoi tämän ohjaustapaselostuksen pohjalta ohjelman havainnollisella ohjelmaeditorilla, jonka jälkeen kirjoitettu ohjelma käännetään konekielelle ja tallennetaan logiikan ohjelmamuistiin. Täältä ohjelmamuistista logiikka ohjailee järjestelmää laaditun ohjelman mukaisesti. [8, s. 223.]

7 SUUNNITTELUN VAIHEET

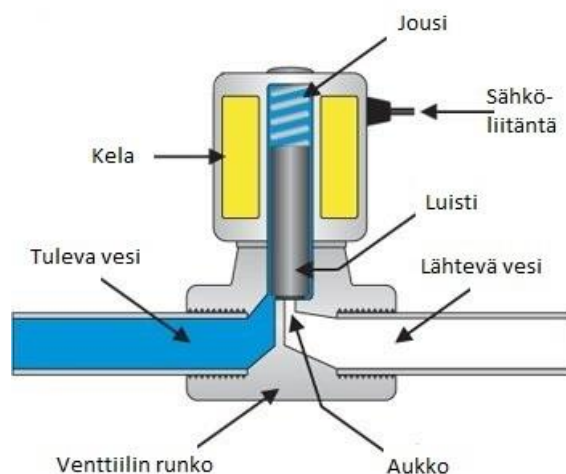
Ennen suunnittelun alkua aloitin työni tutustumalla kohteeseen ja kartoittamalla tämän hetken tilanteen rakennuksen järjestelmien osalta, jotka vaikuttavat työhöni. Tärkeimpinä tarkastelun kohteina olivat rakennuksen sähköistys ja edellinen suodatusjärjestelmä. Suodattimien ohjausjärjestelmän muuttuessa tulee muutoksia myös sähkökeskukseen, automaatiokeskukseen ja kaapelointeihin. Tämän takia kartoitin entisen järjestelmän huolella ja otin käyttöön entisestä järjestelmästä osia, jotka soveltuvat käyttöön uudessakin järjestelmässä. Näin säästetään aikaa järjestelmien vaihdon yhteydessä muutostöissä, eikä tuotannonkaan tarvitse olla poissa käytöstä niin kauaa.

Suunnitelmiini kuului uusien venttiileiden valinta toimilaitteineen, järjestelmään tehtävät muutokset kaapeloinnin, ohjauskoteloiden ja sähköistyksen osalta sekä myös logiikkaan tehtävät muutokset sekä ohjelmallisesti että komponenttien osalta. Mielestäni loogisin työjärjestys oli aloittaa venttiileiden valinnalla, koska venttiilit määrittävät muun

järjestelmän muutoksen tarpeet toimiakseen. Tämän jälkeen loogisinta on suunnitella keskus- ja kaapelimuutokset ja viimeisenä keskittyä logiikkaan ja ohjelmointiin.

7.1 Venttiilit

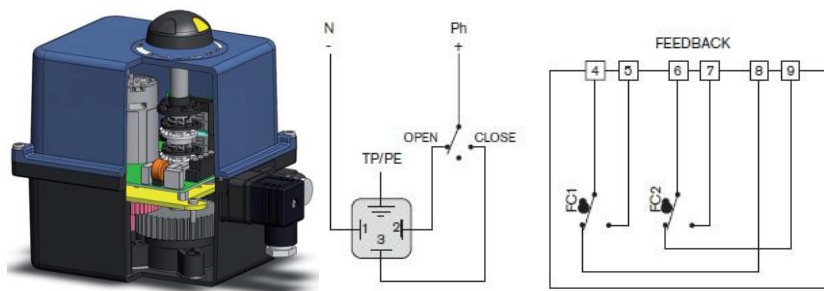
Monikerrossuodattimen entiset venttiilit olivat hydrauliventtiileitä, eli vesipaineella toimivia ja magneettiventtiileillä ohjattuja. Kuvassa 3 on esitetty suoratoimisen magneettiventtiilin rakenne. Paineistettu vesi tuli magneettiventtiileille, joita ohjattiin auki ja kiinni logiikan avulla, näin saatiin linjoissa olevat pääventtiilit aukeamaan ja sulkeutumaan tulevan vedenpaineen avulla. Magneettiventtiili on sähköohjattu, normally closed -tyyppinen venttiili, joka on normaalitilassa kiinni-asennossa, kun venttiili ei saa ohjaussähköä. Venttiili aukaistaan johtamalla kelaan sähköä, tällöin kela magnetoituu ja saa rautaisen luistin liikkumaan yläasentoon [9]. Sähkön katketessa luisti palaa jousen avulla takaisin kiinni asentoon ja tukkii veden virtauksen [9].



KUVA 3. Magneettiventtiili [9]

Aloin kysellä Suomen sisältä tukuista ja jälleenmyyjiltä venttiileitä, jotka sopisivat työhöni. Uusiin venttiileihin ei haluttu mitään ylimääräisiä, mahdollisesti vikaantuvia välikomponentteja, vaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja suoratoimisesti toimivat venttiilit olivat haussa. Venttiileiden oli oltava sähkötoimisia, verkkojännitteellä (230V) ohjattavissa auki ja kiinni. Niistä täytyi löytyä kiinni ja auki rajatiedot, eli kaksi kytkintä, jotka ilmaisevat venttiilin asennon. Putkiston koko ja venttiilin vaatimukset rajoittivat paljon tarjontaa, mutta sain kuitenkin useita tarjouksia eri yrityksiltä Suomen sisältä. Loppujen lopuksi valinnakseni tuli Bürkert Oy:n venttiilit toimilaitteineen, sillä

heidän venttiilit ja toimilaitteet sopivat työhöni erinomaisesti ja niistä löytyi kaikista kattavimmin tietoa datalehdistä.



KUVA 4. Venttiilin toimilaite [10]

Venttiiliä ohjaavaksi toimilaitteeksi valitsin kuvan 4 Bürkert Oy:n 3-napaisen 45W toimilaitteen, josta löytyy rajatiedot auki ja kiinni tiloista [10]. Toimilaite ohjaa venttiiliä sekä aukeamaan että sulkeutumaan. Siinä on kaksi eri sähköistä piiriä, joista toinen aukeaa venttiilin ja toinen sulkee sen. Tämän takia toimilaite vaatii kaksi eri ohjausta 230V jännitealueelta. Rajatiedot auki ja kiinni tiloista ovat sekä avautuvalla että sulkeutuvalla kärjellä, jolloin voidaan valita, halutaanko virtapiirin katkeavan vai sulkeutuvan rajatiedon mennessä aktiiviseksi. Venttiilin ollessa kokonaan auki tai kiinni se antaa tiedon eteenpäin. [11.]

Näiden tietojen avulla voidaan venttiilin toimintaa tarkkailla tietokoneella valvomosta. Venttiilin toimintaa on mahdollista seurata myös ohjelmallisesti, esimerkiksi jos venttiili ohjataan auki-asentoon, mutta ei tietyn ajan puitteissa aukea, antaa järjestelmä hälytyksen kyseisen venttiilin toimintahäiriöstä. Hälytys tulee valvomoon, jolloin huolto- toimenpiteisiin voidaan ryhtyä välittömästi.

Venttiilin malliksi oli kaksi vaihtoehtoa, joko läppä- tai palloventtiili, joista kummatkin toimisivat hyvin tämän kyseisen järjestelmän venttiileinä. Kuvassa 5 esimerkit Bürkert Oy:n läppä- ja Belimo Oy:n palloventtiilistä. Venttiiliä ohjaava toimilaite oli kummasakin mallissa toiminnoiltaan ja liittännöiltään samanlainen, ainoa ero on toimilaitteen vaatima sähköinen teho. Toimilaitteen liittäminen venttiiliin tapahtuu neljän pultin avulla venttiilin rungossa olevassa laipassa. Laippaan tulee myös venttiilin kara, jota toimilaitteen moottori kiertää joko myötä- tai vastapäivään, riippuen halutaanko venttiili avata vai sulkea.



KUVA 5. Bürkert Oy:n läppäventtiili [12] ja Belimo Oy:n palloventtiili [13]

Venttiileistä kuitenkin löytyy eroavaisuuksia, kuten kuvasta 5 huomaa on niiden rakenteet toisistaan selkeästi poikkeavia. Läppäventtiilissä venttiilin sulkeminen ja avaaminen tapahtuvat laipan avulla, joka avautuessaan kiertyy 90° mahdollistaen veden virtauksen laipan molemmin puolin. Palloventtiilissä on nimensä mukaisesti pallo venttiilin sisällä, jossa on läpireikä. Venttiilin ollessa kiinni asennossa on reikä vastakkaiseen suuntaan kääntyneenä virtaussuuntaan nähden. Venttiilin avautuessa pallo kääntyy 90° , jolloin reikä kääntyy putkiston suuntaiseksi ja mahdollistaa veden virtauksen venttiilin läpi. Läppäventtiili on huomattavasti palloventtiiliä kevytrakenteisempi, jonka takia vikaantuessaan se on selkeästi näppärämpää vaihtaa uuteen. Toimilaitteeltakaan läppäventtiili ei vaadi niin suurta sähkötehoa toimiakseen kuin palloventtiili. Investointikustannuksiltaan läppäventtiilin toimilaitte on edullisempi vaihtoehto palloventtiilin toimilaitteeseen verrattuna. Kokonaisuudessaan pakettina hankittuna läppäventtiili toimilaitteineen on huomattavasti edullisempi hankinta järjestelmään palloventtiiliin ja sen toimilaitteeseen verrattuna.

Pallo- ja läppäventtiileiden suurimmat eroavaisuudet löytyvät niiden tiivistysrakenteesta. Palloventtiilin tiivisteiden rakenne on monin kerroin paksumpi läppäventtiilin tiivisteeseen verrattuna. Tästä syystä ajan saatossa, kun tiivisteet kuluvat pohjaveden epäpuhtauksien takia, voisi kuvitella läppäventtiilin alkavan vuotaa helpommin kuin palloventtiilin. Tiivisteiden paksuus voi vaikuttaa myös venttiilin toimintavarmuuteen. Mangaani, jota esiintyy pohjavedessä, kertyy tiivisteisiin ja kovettuu vähäisen käytön takia erittäin kovaksi massaksi. Tämä massa jumittaisi palloventtiiliä selkeästi enemmän kuin läppäventtiiliä, jonka takia palloventtiiliä täytyisi huoltaa useammin kuin läppäventtiiliä, mutta olisi pitkäikäisempi käyttölaitteena.

Koska työni tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman varmatoiminen järjestelmä, valita toimilaitteet, jotka olisi mahdollisimman helppoa huoltaa ja vaatisivat sitä kaikista vähiten, oli läppäventtiili mielestäni paras ratkaisu tähän. Läppäventtiili on pienikokoisempi ja hankintakustannuksiltaan selkeästi halvempi palloventtiiliin verrattuna. Tämän takia muutamaa venttiiliosaa voisi pitää varastossa rikkoutumisen varalta, jolloin ne olisi nopeasti saatavilla ja helppo vaihtaa suodatinjärjestelmään edellisen vikaantuessa. Toimilaitte, joka ohjaa venttiiliä, on erillinen, joten venttiilin vaihdon yhteydessä ei tarvitse toimilaitetta vaihtaa tai sähköliitännöihin koskea, riittää kun irrottaa toimilaitteen edellisestä venttiilistä ja liittää sen uuteen venttiiliin. Vastaavasti toimilaitteen rikkoutuessa ei tarvitse koko venttiiliä irrottaa putkistosta, vaan riittää pelkkä toimilaitteyksikön uusiminen.

7.2 Ohjauskotelo

Molempien DEMA 300 -monikerrossuodattimien kaapelointi oli toteutettu yhden ohjauskotelon kautta, joka sijaitsi suodattimien kanssa samassa tilassa, suodatushuoneessa. Ohjauskotelolle tuli yksi Nomak 24x2x0,5+0,5 -kaapeli automaatiokeskukselta ja 12 kappaletta MSK 12x1,5N -kaapeleita magneettiventtiileiltä. Ohjauskotelon kanssa oli kaksi kytkintä, joista toinen oli 1-0 -kytkin, jolla valittiin, onko suodattimet kaukokäytöllä vai paikalliskäytöllä. Toinen oli 1-0-2 kytkin, jossa oli palautuvat 1- ja 2-asento. Sillä saatiin huuhteluohjelma käynnistettyä suodatinkohtaisesti paikalliskäytöllä.

Suunnittelin kummallekin suodattimelle oman ohjauskotelon, jotka sijoitetaan suodatinhuoneeseen kyseisen suodattimen viereen. Kumpaankin ohjauskoteloon tulee oma ohjauskaapeli Nomak 24x2x0,5+0,5 automaatiokeskukselta, sähkönsyöttö MMJ 3x1,5S sähkökeskukselta ja jokaiselta suodattimen kuudelta ohjausventtiililtä oma rajatietokaapeli Nomak 2x2x0,5+0,5, sekä toimilaitteen ohjauskaapeli MMJ 5x1,5S. Yhteensä kaapeleita yhdelle ohjauskotelolle tulee 14.

Kaapeleiden lisäksi ohjauskotelon kanteen tulee yksi käyttökytkin A-0-K, jossa on kolme asentoa. A-asento on suodattimen kaukokäyttöasento, jolloin suodatinta hallitaan valvomosta, 0-asento on paikalliskäyttö/off-asento, jolloin suodatinta ei voida etänä käyttää valvomosta, ja K-asento on palautuva kytkin, joka käynnistää suodattimen huuhteluohjelman paikallisesti.

Ohjauskoteloiden sisään tulee 13 relettä, joista yksi rele toimii sähkökatkoreleenä, eli antaa hälytyksen sähkön katketessa suodattimen ohjauskotelosta. Yksi suodatinventtiili tarvitsee käyttöönsä kaksi relettä, joista toinen aukaisee venttiilin ja toinen sulkee sen, joten yhden suodattimen kuusi venttiiliä vaativat 12 relettä ohjauskoteloonsa. Releiden lisäksi kotelosta löytyy nolla- ja maadoituskisko, erilliset tasajännitekiskot +24V ja -0V, sekä 40 riviliittimen muodostama liitinrivistö. Riviliittimissä kytketään kaikki 24VDC jännitealueen kytkennät, kuten logiikalle menevät rajatiedot, käyttökytkimien tiedot ja sähkökatkoreleiden tiedot. Näiden lisäksi myös logiikalta tulevat releiden ohjausjännitteet, jotka ohjaavat suodattimen venttiileitä auki ja kiinni.

7.3 Kaapelointi

Entisten venttiileiden kaapelointi oli toteutettu ohjauskeskukseksi yhdellä, kuvan 6 kaltaisella Nomak 24x2x0,5+0,5 kaapelilla. Nomak on numerokoodattu 24 parinen instrumentointikaapeli, jonka yhden parin a-johdin on oranssi ja b-johdin valkoinen. Yhteensä kaapelissa on 48 numeroitua, poikkipinta-alaltaan 0,5mm² tinattua kuparijohdinta ja yksi 0,5mm² maadoitusjohdin. Kaapelin eristys on PVC-muovia ja maksimijännite, jota kaapeli kestää, on 75V (DC) tasajännitettä. [14.]



KUVA 6. NOMAK 24x2x0,5+0,5 [14]

Kaapeli tuli ohjauskeskuksesta releiden kautta suodattimien yhteiseen ohjauskoteloon, jossa se oli riviliittimiä apuna käyttäen haaroitettu suoraan kaikille magneettiventtiileille. Yhden magneettiventtiilin ohjaukseen oli otettu yksi pari Nomakista käyttöön, jossa parin a-johdin oli +24VDC ja b-johdin 0VDC, joten 12 venttiilin ohjaukseen kului Nomakista 12 paria, joiden lisäksi kaksi paria meni paikalliskäytön ohjauskytkimille.

Venttiileiden muutosten myötä kaapelointiakin täytyi muuttaa. Entisen järjestelmän ohjaukseen tarvittiin 28 yksittäistä ohjausjohdinta eli 14 paria. Muutosten myötä uuteen järjestelmään täytyi saada 28 paria eli 56 yksittäistä johdinta. Tämän takia entisen Nomakin johdinmäärä ei riittänyt, ja suunnittelin kummallekin, ohjauskeskus 1:lle ja 2:lle, samanlaisen kaapelin. Yksi ohjauskeskus vaati 28 ohjausjohdinta, joten vanhaa

Nomak 24x2x0,5+0,5 voitiin hyödyntää kääntämällä se ohjauskeskus 1:lle. Sen lisäksi jouduttiin vetämään entisen Nomakin rinnalle toinen samanlainen Nomak ohjauskeskus 2:lle. Nomakeissa on käytössä 14 paria, joten 10 paria jää kumpaankin ohjauskeskukseen käyttämättä tulevaisuuden muutosten varalle.



KUVA 7. MMJ 5x1,5S [15]

Molempiin ohjauskeskuksiin tulee uudeksi syötöksi 230VAC sähkönsyöttö, josta toimilaitteet saavat käyttöjännitteensä. Sähkösyötön suunnittelin keskuksille MMJ 3x1,5S muovivaippaisella asennuskaapelilla, joka on samanlainen kaapeli kuin kuvan 7 MMJ 5x1,5S, mutta viiden johtimen sijaan siinä on kolme yksilankaista kuparijohdinta, ruskea, sininen ja kelta-vihreä. Jokaisen johtimen poikkipinta-ala on 1,5 mm². Suunnittelussa otin huomioon toimilaitteiden ottaman sähköisen tehon. Yhden toimilaitteen sähköinen teho on 45W. Toimilaitteita järjestelmässä on 6, joten kokonaisteho, jota kaapelin täytyy kestää, tulee kaavan 1 mukaan

$$6 * 45W = 270W \quad (1)$$

Kun 270W teho muutetaan virraksi joka kuormittaa kaapelia 230Vac järjestelmässä, saadaan virta soveltamalla Ohmin lakia kaavan 2 mukaisesti

$$P = U * I \Rightarrow I = \frac{P}{U} \quad (2)$$

jossa P on teho, U on jännite ja I on virta. Näin saadaan lasketuksi kuuden venttiilin kuluttamasta sähköisestä tehosta järjestelmän kokonaisvirta I.

$$I = \frac{270W}{230V} = 1,17A \quad (3)$$

Taulukon 1 mukaan kaapelin kuormitettavuutta tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, kuinka kyseinen kaapeli on asennettu. Asennustapa A on esimerkiksi seinän sisään upotetussa putkessa ja asennustapa C on esimerkiksi puuseinällä vapaassa ilmassa [15]. Kaapelit ovat tässä tapauksessa asennettu tikashyllylle, joka kulkee sähkökeskukselta

monikerrossuodattimille, joten kyseessä on taulukon 1 mukainen asennustapa C. Näin saadaan 1,5mm² poikkipinta-alaltaan olevan kuparijohtimisen kaapelin maksimi kuormitettavuudeksi 20A. Tästä voimme todeta että kyseiset toimilaitteet eivät kuormita kaapelia lähellekään suurinta sallittua lukemaa.

TAULUKKO 1. MMJ 3x1,5S-kaapelin kuormitettavuus [15]

Kaapelin kuormitettavuus [A]	
	MMJ 3x1,5S
Asennustapa A	15
Asennustapa C	20

Uusien venttiileiden kaapeloinnin suunnittelin kahdella erillisellä kaapelilla, joista toinen on 24VDC järjestelmän kaapeli ja toinen 230VAC kaapeli. Venttiilin sulkeutuville rajatietokytkimille menee 24VDC jännite. Kaapeliksi valitsin Nomak 2x2x0,5+0,5, joka on sama kaapeli kuin kuvan 6 Nomak, mutta kahdella kierretyllä parilla ja maadoitusjohtimella, joiden poikkipinta-ala on 0,5mm². Toimilaitteiden ohjausjännite on 230VAC, jonka takia kaapeliksi täytyi valita eristyksiltään parempi ja jännitekestoisuudeltaan kestävämpi kaapeli kuin Nomak. Valitsin kaapeliksi kuvan 7 MMJ 5x1,5S, joka on sama kaapeli kuin MMJ 3x1,5S, mutta viidellä yksilankaisella kuparijohtimella, joiden värit ovat ruskea, musta, harmaa, sininen ja kelta-vihreä.

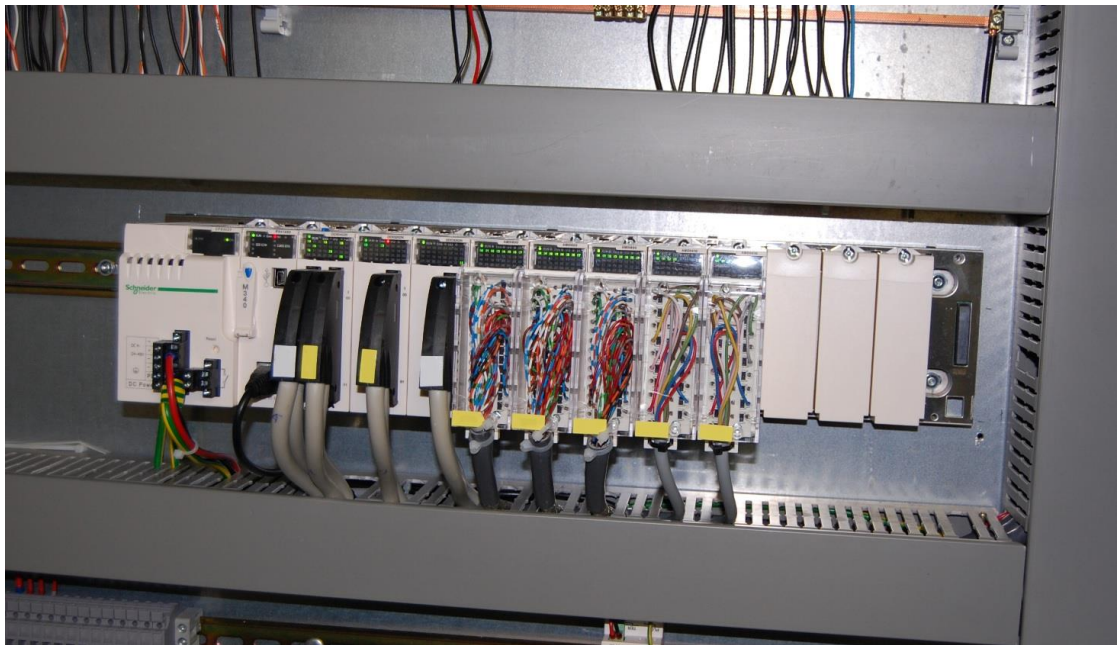
7.4 CAD-suunnittelu

Suunnitelmat toteutin edellisten CAD-kuvien pohjalta CADS Planner -nimisellä ohjelmalla. CADS Planner on suomalainen tietokoneavusteinen CAD-suunnitteluohjelma, joka on Suomessa käytössä sähkö- ja LVI-suunnittelutoimistoissa ja sähköurakointiyrityksissä [16]. CAD (Computer-aided Design) -suunnitteluohjelmia löytyy monia erilaisia ja niillä voi suunnitella joko 2D- tai 3D-kuvia. CAD-suunnitteluohjelmalla perinteisten suunnitelmien piirtäminen on erittäin helppoa. Ohjelmassa on monia erilaisia piirtotyökaluja, joiden avulla voidaan piirtää suoraan oikeaan mittakaavaan. Ohjelma laskee automaattisesti jokaisen piirretyn viivan pituuden, ja sieltä saa myös näkyville alueiden pinta-alat, joten se on erittäin käytetty ohjelma myös rakennusten ja tuotteiden suunnittelussa.

Omassa työssäni kaikki edelliset sähkö ja automaatiokuvat oli tehty CADS Plannerilla. Edellisiä CAD-kuvia oli 40 kpl, joista uusien sähkö- ja automaatiosuunnitelmien takia jouduin muuttamaan osaa ja lisäämään 10 uutta kuvaa. Entisten kuvien muutokset olivat olemassa olevaan järjestelmään liittyviä, kuten logiikan tuloihin, lähtöihin ja kalustukseen. Uusia sähkökuvia tuli paljon, koska uudet venttiilit toimivat sähköllä entisten vesitoimisten sijaan, joten sähkökuvat täytyi uusien venttiileiden ohjauksien osalta piirtää kokonaan uusiksi. Kuvia tuli myös uudistuneista automaatiojärjestelmän johdotuksista ja kalustuksista.

7.5 Logiikka

Opinnäytetyökohteessani on käytössä Schneider Electricin Modicon M340 –logiikka, joka on moduuleista kasattava, vapaasti ohjattava logiikka (kuva 8). Logiikka sijaitsee vedenottamon automaatiokeskuksessa. Logiikan räkistä löytyy virtalähteen lisäksi 12 moduulipaikkaa, joihin voi vapaasti valita käyttötarkoitukseen soveltuvat moduulipaliikat, eli erilaisia tulo- ja lähtökanavia. Alun perin käytössä oli 9 moduulia ja kolme paikkaa vapaana. Vapaille paikoille oli mahdollista laajentaa logiikkaa lisäämällä moduuleja.



KUVA 8 Vedenottamon logiikka

Kuvan 8 logiikassa on vasemmalta lähtien ensin CPS 3020 –virtalähde, joka jakaa virran räkille ja siihen liitetyille moduuleille tasaisesti [17]. Virtalähteen jälkeen räkissä on P34 1000 prosessori, joka on erinomainen prosessori pienille automaatiojärjestelmille. Prosessoria pystyy laajentamaan 32:een moduuliin asti, ja se kykenee käsittelemään 512 digitaalista I/O:ta ja 128 analogista I/O:ta [17]. Näiden jälkeen logiikkaan liitetään tulo- ja lähtömoduuleita. Digitaalisia tulomoduuleita logiikassa oli alun perin kaksi, joista toinen on 64-kanavainen ja toinen 32-kanavainen. Digitaalisia lähtöjä logiikassa oli yksi 32-kanavainen. Muutosten takia jouduin laajentamaan logiikkaa yhdellä 32-kanavaisella tulomoduulilla ja yhdellä 32-kanavaisella lähtömoduulilla. Analogisia tuloja logiikkaan tulee kolmen moduulin kautta, joista jokainen on 8-kanavainen. Analogisia lähtöjä logiikassa on kaksi, joista kumpikin on 4-kanavainen. Muutosten myötä logiikan räkkiin jäi laajennusvaraa vielä yhden moduulin verran.

Logiikkaan ei suoraan liitetä kaapeleita, jotka tulevat kentältä, vaan logiikkaan liittäminen tapahtuu tulo- ja lähtömoduuleiden liittimillä ja välikaapeloinnilla. Liitin liitetään logiikkaan ja kaapeloidaan riviliittimille, joihin kentältä tulevat kaapelit kytketään. Digitaalimoduuleissa on kuvan 8 kaltaiset mustat liittimet, joissa jokaisessa on 2 kaapelia ja 32 johdinta. Yhteen 32-kanavaiseen moduuliin riittää yksi liitin ja 64-kanavainen moduuli vaatii kaksi. Analogisissa liittimissä näkyvät välikaapelin johtimet, ja ne on johdotettu digitaalisten moduulien tapaan myös keskuksen riviliittimille.

Riviliittimet ovat erittäin käteviä huoltotoimien kannalta, koska riviliittimillä on helppoa muuttaa logiikan kytkentöjä koskematta itse logiikkaan. Myös logiikan jonkin moduulin vikaannuttua, on moduulin vaihtotyö helppoa ja nopeaa liittimen avulla. Varsinkin isommissa automaatiojärjestelmissä ja logiikoissa muutoksia tulee jatkuvasti järjestelmän päivityksien myötä. Myöskin logiikan komponentit muuttuvat jatkuvasti, joten kätevä, helppo ja nopea muutostyö on tärkeää, jotta pitkiä tuotantokatkoksia ei tulisi.

7.6 Ohjaustapaselostus

Ohjaustapaselostus on kirjallinen esitys automaatiojärjestelmän toiminnasta, joka jää sekä asiakkaalle järjestelmän ohjekirjaksi että yritykselle laaditun ohjelmiston toimintakuvaukseksi. Selostuksessa tulee käydä ilmi automaatiojärjestelmän laitteisto, käyttökytkimet, mahdollinen käyttöliittymä, hälytystiedot ja ohjelmointikuvaus, joka on sanallinen kuvaus prosessin kulusta ja toimilaitteiden toiminnoista.

Laitteistoon kuuluu esimerkiksi toimintoja havainnoivat anturit ja prosessia ohjailevat toimilaitteet, joiden toiminta kuvataan sanallisesti ohjaustapaselostuksessa. Käyttäjän kannalta tärkeimpänä on hyvä ohjeistus prosessia ohjailevista käyttökytkimistä ja valvomon käyttöliittymästä, joiden avulla asiakas käyttää, valvoo ja ohjailee järjestelmän prosesseja. Hälytystiedot ovat myös hyvä näkyä kirjallisesti ohjaustapaselostuksessa, jotta mahdollisen häiriötilanteen satuttua ja hälytysilmoituksen tultua valvomoon voidaan tarkastaa selostuksesta tarkempi kuvaus häiriöstä. Tarkka toimintojen kuvaus on ensiarvoisen tärkeää tulevaisuuden kannalta. Mikäli myöhemmin huomataan järjestelmän osa, joka ei toimikaan oikein tai halutaan muuttaa järjestelmän toimintaa, on se huomattavasti helpompaa tehdä edellisen järjestelmän ohjaustapaselostuksen avulla.

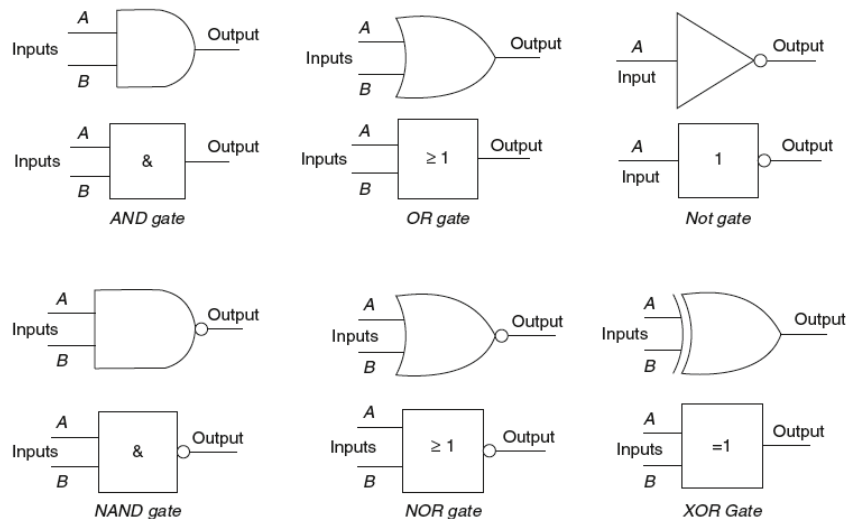
Ohjelman suunnittelun aloitin laatimalla uuden ohjaustapaselostuksen suodattimien toiminnasta. Selostuksen laatiminen osoittautui hieman haastavaksi, sillä edelliseen ohjelmaan ohjaustapaselostusta ei oltu tehty tarkasti. Aloitin selostuksen laatimisen tutustumalla edellisen ohjelmiston toimintoihin ohjelmallisesti ja niiden perusteella laadin toiminnankuvauksen edellisestä ohjelmasta. Sen perusteella laadin uuden ohjaustapaselostuksen, jossa oli huomioitu muutokset, jota järjestelmään tulee. Selostuksesta käy ilmi vaihe vaiheelta, kuinka automaatio-ohjelma reagoi erilaisiin tilanteisiin tulojen muuttuessa, kuinka se valvoo ja ohjaa järjestelmää sekä milloin se antaa hälytyksen valvomon koneelle toimintahäiriöstä.

7.7 Ohjelmointi

Logiikan ohjelmoinnin suoritin Unity Pro XL -ohjelmalla. Unity Pro on Schneider Electricin software-puolen suunnitteluohjelma, jolla useimmiten toteutetaan Schneider Electric –logiikoiden sisäinen ohjelmapuoli. Ohjelmoinnin toteutin laatimani ohjaustapaselostuksen pohjalta, jonka olin hyväksyttänyt Mikkelin Vesilaitoksella. Ohjaustapaselostuksessa käydään automaatiojärjestelmän toiminta läpi hyvin tarkkaan, joten sen perusteella ohjelman ”kirjoittaminen” on todella selkeää.

Työssäni ohjelmointikielenä on FBD (Function Block Diagram), jota käytetään usein ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmoinnissa [18]. FBD:ssa ohjelma kasataan erilaisen toiminnan omaavista lohkoista. Jokaisen lohkon tiedoista löytyy informaatiota lohkon toiminnasta kirjallisesti. Kuvassa 9 on esitetty muutama perustoiminnon omaava lohko.

Näiden lisäksi erilaisia toimintalohkoja ohjelmasta löytyy satoja valmiina. Toimintalohkoja voi myös luoda ohjelmaan itse, jolloin määrätään luotavaan toimintalohkoon tulot ja lähdöt, sekä niiden välinen toiminnallinen osuus itse. Lohkojen luominen kannattaa, mikäli ohjelman sisällä tarvitaan useammassa kohdassa samaa toimintoja eikä toiminnalle ole sopivaa toimintalohkoa valmiina ohjelmassa.



KUVA 9 Ohjelmoinnin toimintalohkoja [18]

Toimintalohkot toimivat kuin ohjelmitava logiikka, ne ovat pieniä ohjelmallisia tiedonkäsittelijöitä logiikan sisällä. Niistä löytyy myös tulot (inputs) ja lähdöt (Outputs). Jokaisen lohkon toiminta on hieman erilainen. Nämä kuvan 9 perinteiset toimintalohkot ovat kaikki digitaaliselle 1-0-tiedolle, eli tiedon tila on joko 1=päällä tai 0=pois. Kuvan 9 AND gate lähtö menee päälle silloin, kun kummatkin inputit A ja B on aktiivisia. OR gaten lähdölle riittää, että yksikin input on aktiivinen. NOT gate kääntää tulevan tiedon toiseen asentoon, eli inputin ollessa 0 on lähtö 1 ja päinvastoin. NAND gate on päinvastainen AND gatesta, eli lähtö menee pois päältä kummankin tulon ollessa aktiivinen. Samoin NOR gate on päinvastainen toiminto OR gatelle. XOR gaten lähtö on aktiivinen vain toisen tulon ollessa aktiivinen, eli lähtö menee pois päältä kummankin tulon muuttuessa aktiiviseksi.

Ohjelman toimivuuden testasimme Miprolla ilman logiikan tulo- ja lähtömoduuleja, pelkkänä software (SW) -testinä. Software-testissä saimme testatuksi tietokoneella laaditun ohjelmapuolen sekä valvomonäytön, jolla ohjataan logiikkaa kaukokäytöllä valvomohuoneesta. Teimme pelkän ohjelmistotestin, koska täydellinen testaus olisi vaatinut saman logiikan, joka vedenottamolla on käytössä ja tämän takia myös täydellisen

testausympäristön, jota ei ollut saatavilla. Ohjelmistotestauksesta tein SW-testauspöytäkirja, jossa käydään läpi testauksessa tulevat kohdat. Testauksen aikana huomasimme pieniä muutosta vaativia kohtia, mutta muutokset voitiin tehdä testauksen yhteydessä. Testasimme jokaisen kohdan testauspöytäkirjasta, ja kun ohjelmisto toimi halutulla tavalla, täytin SW-testauspöytäkirjan kohdat hyväksytysti suoritetuiksi.

8 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella uusi venttiiliohjausjärjestelmä monikerros-suodattimille, joka olisi mahdollisimman varmatoiminen, mahdollista valvoa etänä ja huollon tarve olisi mahdollisimman vähäistä ja helppoa. Tavoite oli mielestäni hyvä, ja oli jo korkea aika järjestelmän päivittämiseen nykyaikaan. Entinen järjestelmä ei ollut kovinkaan varmatoiminen, vaan vähän väliä jotain vikaa esiintyi niin venttiileissä kuin järjestelmän muissakin laitteistoissa. Etävalvonnan puutteiden myötä näitä vikoja oli vaikea havaita ja venttiileiden toimintaa täytyi tarkkailla paikan päällä. Entiset venttiilit olivat erittäin raskarakenteisia, joten niiden vaihtotyö oli haastavaa. Automaatiojärjestelmä oli keskitetty koko laitoksessa yhteen automaatiokeskukseen. Automaatiokeskus oli erittäin iso, koska se ohjasi koko laitoksen automaatiopuolta. Järjestelmän päivityksen myötä sekin selkeni huomattavasti, koska osa järjestelmää hajautettiin suodatinhuoneeseen kahteen suodatinkohtaiseen ohjauskoteloon.

Uusi järjestelmä on huomattavasti edellistä järjestelmää varmatoimisempi, koska sähkötoimisten venttiileiden liikerata on paljon suurempi, kuin vesipaineella toimivien, joten mangaanikertymät eivät jumita tai tuki venttiileitä edellisten tapaan. Sähkötoimisella venttiilillä toimilaitte on suoraan sähkökäyttöinen, joten ylimääräisiä ja vikaantuvia osia, kuten magneettiventtiileitä ei enää tarvita.

Etävalvonta parani huomattavasti rajatietokytkimien myötä. Ikuisia toimilaitteita ei ole keksittykään, joten tämänkin järjestelmän toimilaitteet saattavat ajan saatossa vikaantua. Mutta jos järjestelmään tulee vika, antaa se vikailmoituksen heti valvomoon toimilaitteesta, jolloin tiedetään heti, mistä toimilaitteesta on kyse. Edellisen järjestelmän venttiilit saattoivat jumittua tai muutoin vioittua, mutta tietoa ei koskaan saatu valvomoon asti, joten niiden toimintaa jouduttiin tarkkailemaan paikan päällä.

Uusi järjestelmä helpottaa huomattavasti suodatusjärjestelmän valvontaa ja etävalvontamahdollisuudet kasvoivat selvästi. Automaatiojärjestelmän tarkoituksena on olla niin itsetoiminen ja itseään tarkkaileva, että käyttäjän ei tarvitsisi valvoa järjestelmän toimintaa. Käyttäjän pitäisi pystyä luottamaan täysin niin järjestelmän toimintoihin kuin mahdollisten vikatilanteiden ilmoituksiin, jotta niihin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti. Mielestäni nyt järjestelmän päivitysten myötä ollaan päästy iso harppaus tätä tavoitetta kohti.

Huollon tarve edelliseen järjestelmään nähden pieneni magneettiventtiileiden hävittyä pois kuvioista ja helpottui järjestelmän selkeyttämisellä ja lisääntyneillä valvontatiedoilla. Uudet venttiilit koostuvat kahdesta osasta, itse venttiiliosasta ja toimilaitteesta, joten venttiilin vikaannuttua on sen vaihtotyökin erittäin helppoa. Sähköjärjestelmä hajautettiin kahteen eri ohjauskoteloon, jossa sijaitsevat kyseisen suodattimen kaikki sähköiset komponentit, edellisen koko laitoksen yhteisen sähkökeskuksen sijaan. Tämä selkeyttää ja helpottaa sähkökomponenttien mahdollisien vikaantumisien vaihtotyötä.

Opinnäytetyöni sisälsi paljon eri järjestelmiin paneutumista. Tutustuin vesilaitosprosessiin, mitä pohjavedelle tapahtuu matkalla maan sisästä ihmisten kotitalouksiin ja miten sitä käsitellään vesilaitoksissa. Tutustuin myös, mitä työni kohteena olevat monikerros-suodattimet tekevät vedenkäsittelyprosessissa, kuinka ne toimivat ja miten niitä puhdistetaan. Vesijärjestelmien lisäksi paneuduin myös olemassa oleviin sähkö- ja automaatiojärjestelmiin, kuinka ne oli toteutettu ja kuinka ne toimivat sillä hetkellä. Sähkö- ja automaatiojärjestelmien uudelleen suunnittelun kautta pääsin tutustumaan ohjelmistopuolelta CADS Planner –ohjelmaan, jolla piirsin sähkö- ja automaatiokuvat uusiksi, sekä Unity Pro XL –ohjelmaan, jolla toteutin järjestelmän uuden ohjelmistopuolen.

CADS Planner oli entuudestaan tuttu ohjelmisto itselle, sillä olin aikaisemmin työelämässä käyttänyt kyseistä suunnitteluohjelmaa sähkösuunnitelmien tekemiseen. Järjestelmän päivittämisen takia muutettavia kuviakin oli todella paljon. Kuvat olivat todella tarkkaan piirrettyjä, joten suunnitelmien päivittäminen vei paljon aikaa ja aluksi tuntui todella isolta urakalta. Ensimmäisten kuvien kanssa oli hieman vaikeuksia päästä vauhtiin, koska aloitin sähkökuvista, joita ei ollut entisessä järjestelmässä ollenkaan, joten en voinut ottaa entisistä kuvista mallia. Kun ensimmäisten kuvien jälkeen pääsin eteenpäin kuviin, joita ei tarvinnut kuin päivittää entisistä kuvista, meni loput kuvat samalla periaatteella todella nopeasti.

Ohjelmallisen puolen tein Unity Pro XL –ohjelmalla, joka oli osittain tuttu ohjelmisto koulusta. Koulun harjoitustöissämme käytössämme oli sama Unity Pro –ohjelmisto, mutta eri ohjelmointikielellä, jossa ei muodostettu FBD:lle tyypillisiä ohjelmointipalikoita vaan kirjoitettiin ohjelma tikapuukaavio-periaatteella. Ohjelmoinnissa vaikeinta oli ehdottomasti päästä sisään edelliseen ohjelmaan, kuinka se toimi ja mitä muuttujia edellinen ohjelmoija oli käyttänyt. Noin viikon verran paneuduin entiseen ohjelmaan, jonka jälkeen poistin ohjelmasta kaikki ne osuudet kokonaan, joita tulen muuttamaan uudessa ohjelmassa. Uuden ohjelman kirjoittamisen pääsin aloittamaan tyhjältä pöydältä. Ohjelmointi oli todella mielenkiintoista ja sujui mielestäni erittäin hyvin. Uuden ohjelman kirjoittamisen jälkeen yhdistin sen muuttujien kautta edelliseen ohjelmaan samaan tapaan kuin se oli siellä ollutkin.

Ohjelmointipuoli oli mielestäni työssä mielenkiintoisin osuus ja kaikesta opettavaisin, koska logiikan ohjelma on koko järjestelmän aivot ja sen luomiseen täytyy ymmärtää jokaisen anturin ja toimilaitteen funktio järjestelmässä. Oma kokemukseni sähköalalta painottuu 230Vac sähköjärjestelmiin, kuten talojen sähköistykseen ja releohjauksiin, joten tämä opinnäytetyö avarsi erittäin paljon näkemystäni automaatio-ohjausjärjestelmistä ja niiden suunnittelun eri vaiheista.

LÄHTEET

1. Mikkelin Vesilaitos. WWW-dokumentti. <http://www.mikkelinvesi.fi/Toiminta>. Ei päivitystietoa. Luettu 17.1.2017.
2. Leikas, Jaana, Siitari, Markku & Vitikainen, Auli 2001. Mikkelin vesilaitos perinteitä. Mikkeli: Mikkelin vesilaitos.
3. Mipro Oy. WWW-dokumentti. <http://www.mipro.fi/fi/>. Ei päivitystietoa. Luettu 18.1.2017.
4. Anttila, Sauli. Laitoksen toiminta. Toimintaohje. Luettu 19.1.2017.
5. Kaiko-Culligan Hi-Flow 5 automaattisten massasuodattimien asennus- ja käyttöohjeet. Insinööritoimisto Kaiko Oy.
6. Kaiko Oy. Kaiko-DEM (A) monikerrossuodatin. PDF-tiedosto. <http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/purple2/www.kaiko.fi/Tuotteet/prosessisuodattimet/esitteet/DEMAmonikerrossuodatin.pdf?v=1488350480>. Ei päivitystietoa. Luettu 1.3.2017.
7. Keinänen, Toimi, Kärkkäinen, Pentti, Metso, Tommi & Putkonen, Kari 2001. Logiikat ja ohjausjärjestelmät, koneautomaatio 2. Tummavuoren Kirjapaino Oy.
8. Keinänen, Toimi, Kärkkäinen, Pentti, Lähetkangas, Markku & Sumujärvi, Matti 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. WSOY Oppimateriaalit Oy.
9. Solenoid valve basics. WWW-dokumentti. <http://www.solenoid-valve-info.com/solenoid-valve-basics.html>. Ei päivitystietoa. Luettu 20.1.2017.
10. Bürkert Oy 2016. Electrical Rotary Actuator – On/Off and control. PDF-tiedosto. <http://www.burkert.fi/fi/Media/plm/DTS/DS/DS3003-Standard-EU-EN.pdf>. Päivitetty 24.10.2016. Luettu 8.2.2017.
11. Bürkert Oy 2017. Puhelinkeskustelu. Tuotteet/testaus. 16.3.2017
12. Bürkert Oy 2016. Butterfly Valve –Wafer type. PDF-tiedosto. <http://www.burkert.fi/fi/Media/plm/DTS/DS/DS2671-Standard-EU-EN.pdf>. Päivitetty 24.10.2016. Luettu 23.2.2017.
13. Belimo Oy 2016. R6100W160-S8 2-tie säätöpalloventtiili. WWW-dokumentti. <http://www.belimo.fi/FI/FI/Product/Water/ValveDetail.cfm?MatNr=R6100W160-S8&CatNr=11010501&VCat=W1>. Ei päivitystietoa. Luettu 23.2.2017.

14. Nomak, parikierretty instrumentointikaapeli 2013. Prysmian Group. PDF-tiedosto. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/ti/downloads/datasheets/NOMAK.pdf. Päivitetty 29.10.2013. Luettu 27.2.2017.
15. MMJ 300/500 V, muovivaippainen asennuskaapeli 2013. Prysmian Group. PDF-tiedosto. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/ti/downloads/datasheets/MMJ_300_500V.pdf. Päivitetty 29.10.2013. Luettu 27.2.2017.
16. Kymdata Oy. CADS Planner. WWW-dokumentti. <http://www.cads.fi/fi/Yhteys/Tietoa%20yrityksest%C3%A4/>. Ei päivitystietoa. Luettu 6.3.2017.
17. Schneider Electric. Modicon M340 automation platform. PDF-tiedosto. <http://static.schneider-electric.us/docs/Automation%20Products/DIA6ED2081007EN-US.pdf>. Päivitetty 07/2010. Luettu 24.2.2017.
18. W. Bolton. Ladder and Function Block Programming. PDF-tiedosto. <https://booksite.elsevier.com/9781856176217/appendices/01~Ch11.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 2.3.2017.