



Metropolia

Jouni Ilves

Peittausprosessin vedenkäsittely- laitteiston kustomointi ja käyttöö- otto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

31.3.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Jouni Ilves
Otsikko:	Peittausprosessin vedenkäsittelylaitteiston kustomointi ja käyttöönotto
Sivumäärä:	29 sivua
Aika:	31.3.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Tuomas Leppänen Toimitusjohtaja Jyrki Ilves

Tässä insinööriyössä selvitetään ruostumattoman teräksen peittaukseen hankitun vedenkäsittelylaitteiston muutostarpeita, toteutetaan ne ja otetaan muutokset käyttöön. Vedenkäsittelylaitteisto on hankittu erään yrityksen konkurssipesästä ja tätä laitteistoa on tarkoitus hyödyntää mahdollisimman hyvin.

Ruostumattoman teräksen peittaus on pintakäsittelymenetelmä, jossa metallin pinnalta poistetaan korroosiota aiheuttavia epäpuhtauksia ja yhdisteitä. Peittauksessa kappale käsitellään hapolla, joka syövyttää metallin pinnasta ohuen kerroksen palauttaen puhtaan perusaineen pintaan. Happokäsittelyn jälkeen kappaleet huuhdellaan huolellisesti ja kappaleiden pinnalle annetaan muodostua korroosiota suojaava oksidikerros.

Huuhteluvedet sisältävät peittauksessa käytettyjä happoja ja perusaineesta irronnutta materiaalia. Näitä ovat erityisesti rauta, kromi ja nikkeli sekä näiden oksidit ja hitsauksen jäljiltä syntyneet karbidit sekä näiden reaktiotuotteet happojen kanssa. Vedenkäsittely vaatii selvitystä lainsäädännöstä, vesilaitoksen sallimista päästöistä ja vedenkäsittelyn prosessista. Näitä käydään lävitse osana tätä insinööriyötä.

Vedenkäsittelylaitteiston muokkaamisessa selvitetään vanhassa käytössä olleet toiminnot ja muokataan ne nykyiseen käyttöön sopiviksi. Tähän kuuluvat antureiden ja toimilaitteiden kytkennät, lisättävät mittaukset, uusittavat komponentit ja logiikan ohjelman ja käyttöliittymät tekeminen uudelleen.

Lopputulosta arvioidaan käyttäjäkokemuksen ja vedenkäsittelyn puhdistustason mukaan. Projektin tavoitteena on, että vedenkäsittely onnistutaan tehtävän vähällä koulutuksella ja niin, ettei siihen tarvita montaa tuntia viikossa työaikaa. Puhdistustulosta arvioidaan laboratoriokokeilla ja katsotaan, että prosessissa syntyvät päästöt saadaan poistettua viemäriin laskettavasta vedestä.

Avainsanat: peittaus, vedenkäsittely, neutralisointi, sähkösuunnittelu, automaatiosuunnittelu

Abstract

Author: Jouni Ilves
Title: Metal Pickling Water Treatment Plant Customization and Commissioning
Number of Pages: 29 pages
Date: 31 March 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Electrical power engineering
Supervisors: Jyrki Ilves, Managing Director
Tuomas Leppänen, Senior Lecturer

This thesis work concerned the modification needs of a water treatment equipment for stainless steel pickling and commissioning of these modifications. The water treatment equipment was purchased from a company where it was in the same stainless steel pickling use and the intention is to utilize this equipment as best as possible.

Pickling of stainless steel is a surface treatment method that removes corrosion-causing impurities and compounds from the metal surface. In pickling, the piece is treated with acid which corrodes a thin layer from the metal surface, returning the clean base material to the surface. After acid treatment, the pieces are rinsed carefully and a corrosion-protective oxide layer is allowed to form on the surface of the pieces.

The rinsing water contains the acids used in pickling and material that has dissolved from the base material. These include, in particular, iron, chromium and nickel, as well as their oxides and carbides formed after welding and their reaction products with the acids. Water treatment requires taking account of the legislation, the emissions permitted by the water utility and the water treatment process. These are reviewed as part of this thesis.

Concerning modifying the water treatment equipment, the functions that were in old equipment are explained in this thesis and were modified to suit the current use. This includes the connections of the sensors and actuators, additional measurements, new components and the re-creation of the logic program and user interfaces.

The final results are evaluated according to the user experience and the water treatment purification level. The goal regarding the user experience is for operators to be able to perform water treatment with little training so that it does not take many hours of work time. The purification result is evaluated with laboratory tests: these tests examine whether the emissions generated in the process can be removed from the water discharged into the sewer.

Keywords: Pickling, Water treatment, Neutralization, Electrical design, Automation design

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Peittausprosessin teoreettinen tausta	2
2.1	Ruostumattoman teräksen peittäus	2
2.1.1	Ruostumattoman teräksen korroosionkesto	3
2.1.2	Ruostumattoman teräksen happokäsittely	4
2.1.3	Metallipinnan passivointi	4
2.2	Ympäristölainsäädäntö ja teollisuusvesipäästöt peittaukseen liittyen	5
2.2.1	Peittaukseen liittyvä ympäristölainsäädäntö	5
2.2.2	Peittauslaitoksen teollisuusvesipäästöt ja niiden käsittely	6
2.2.3	Esikäsittelyyn saapuva vesi	7
2.2.4	Peittauksessa syntyvien huuhteluvesien neutralisointi ja metallien saostaminen huuhteluvedestä	7
2.3	Vedenkäsittelyn ohjausjärjestelmä	9
2.3.1	Automaation logiikkaohjelma ja käyttöliittymä	10
3	Vedenkäsittelylaitteiston ja automaation ohjelmien muokkaaminen tarkoitusta vastaavaksi	10
3.1	Konkurssipesästä hankitut komponentit ja automaation ohjelmisto	10
3.2	Tarvittavat muutokset automaatiokeskukseen ja automaatioon	14
3.2.1	Muutokset vedenkäsittelyprosessiin	14
3.2.2	Automaatiokeskuksen muutokset	16
3.2.3	Logiikkaohjelman ja käyttöliittymän muutokset	17
3.3	Vedenkäsittelyprosessin kuvaus	18
4	Vedenkäsittelylaitteiston käyttöönotto	20
4.1	Mekaaniset ja sähköasennukset	20
4.2	Vedenkäsittelyä ohjaavaan automaatiokeskuksen käyttöönotto	21
4.3	Vedenkäsittelyprosessin automaation käyttöönotto	22
5	Tulokset	23
5.1	Laitteiston käyttökokemus	23
5.2	Veden puhdistustuloksien testisuunnitelma	25
6	Yhteenveto	27

1 Johdanto

Toimeksiantona tässä insinööriyössä on käyttöönottaa peittausprosessissa syntyvien vesien esikäsittelylaitteisto. Kyseisen laitteiston mekaaniset osat sekä osa sähkö- ja automaatiolaitteistoista on hankittu eräästä konkurssipesästä. Kyseisistä komponenteista valitaan käyttökelpoiset komponentit ja muu laitteisto muokataan vastaamaan toimeksiantoyrityksen tarpeita.

Toimeksiantoyrityksen projektit liittyvät pääsääntöisesti elintarviketeollisuuden hygieenisten laitteiden ja rakenteiden valmistukseen. Projekteina on yksittäisistä laitteista aina kokonaisten tuotantolinjojen toteuttamiseen. Osana laitteiden valmistusprosessia ruostumattoman teräksisiä rakenteita käsitellään esimerkiksi hitsaamalla, josta aiheutuu ruostumattomaan teräkseen korroosiota aiheuttavia muutoksia. Näitä muutoksia saadaan poistettua happopeittauksella, jota käsitellään tarkemmin luvussa kaksi.

Vedenkäsittelylaitteiston kiitettävä toteuttaminen vaatii tietoja monista aihealueista. Tarve laitteistolle tulee teollisuusvesien kemikaalipäästöjen rajoista ja ympäristöstandardin ja -lainsäädännön vaatimuksista. Peittausprosessi tulee hallita käytännön kannalta, jotta tämä toimisi luontevasti vedenkäsittelylaitteiston kanssa. Lisäksi peittaus- ja vedenkäsittelyprosessi pitää tuntea teoreettisesti kemian osalta, jotta prosessin puhdistustulosta pystytään analysoimaan. Automaattilaitteiston suunnitteluun ja käyttöönottoon vaaditaan perustiedot sähkö- ja automaatiotekniikasta.

Insinööriyöksi tämä on hyvin käytännönläheinen ja soveltava työ, joka yhdistää monia aloja. Työ on selkeästi rajattu ja suunniteltu. Vedenkäsittelylaitteiston ominaisuudet tunnetaan tätä insinööriyötä aloittaessa, sillä laitteisto on jo ollut aiemmin käytössä ja tästä on hieman dokumentaatiota saatavilla, kuten laitteiston vanhaa ohjelmistoa ja vedenkäsittelyraportteja.

Aluksi tässä opinnäytetyössä tarkastellaan teoriaosiossa peittausprosessi, vesien esikäsitteilyn teoriaa, lainsäädäntöä ja vedenkäsittelylaitteistossa käytettävien komponenttien perusteita. Tämän jälkeen esitellään hankittu laitteisto ja pohditaan siihen tehtäviä muutoksia. Lopuksi käyttöönottoprosessi kuvataan ja analysoidaan laitteiston soveltuminen vedenkäsittelyyn.

2 Peittausprosessin teoreettinen tausta

2.1 Ruostumattoman teräksen peittäus

Peittauksella tarkoitetaan yleisesti metallien pintakäsittelyä, jossa pinnasta poistetaan epäpuhtauksia ja oksidikerros peittausaineen avulla. Jatkossa käsitellään ruostumattoman ja haponkestävän teräksen peittäusta kemiallisesti ja termillä peittauksella viitataan jatkossa vain näiden teräslaatujen käsittelyyn, ellei toisin mainita.

Toimeksiantajayrityksellä on käytössään peittaamo, jossa on pienehkö peittausallas ja mahdollisuus ruiskupeitata työstettäviä kappaleita. Allaspeittauksessa käsiteltävä kappale upotetaan laimennettuun typpi- ja fluorivetyhappoa sisältävään altaaseen usean tunnin ajaksi. Ruiskupeittauksessa kappaleen pinnalle ruiskutetaan ohut kerros peittausgeeliä, ja tämän annetaan vaikuttaa. Näiden lisäksi voidaan peitata myös sivelemällä peittausainetta käsiteltävän kappaleen pintaan. Tätä kutsutaan tahnapeittaukseksi.

Peittaustavan valinta riippuu pääsääntöisesti kappaleen koosta, muodosta ja peittauksen tapahtumapaikasta. Pienet kappaleet, jotka käsitellään peittaamon tiloissa on taloudellisinta allaspeitata. Suuremmat kappaleet, kuten säiliöt, ruiskupeitataan. Tahnapeittäusta käytetään pääsääntöisesti asennetuissa kohteissa, kuten putkistojen hitsausseamien peittämiseen työmailla.

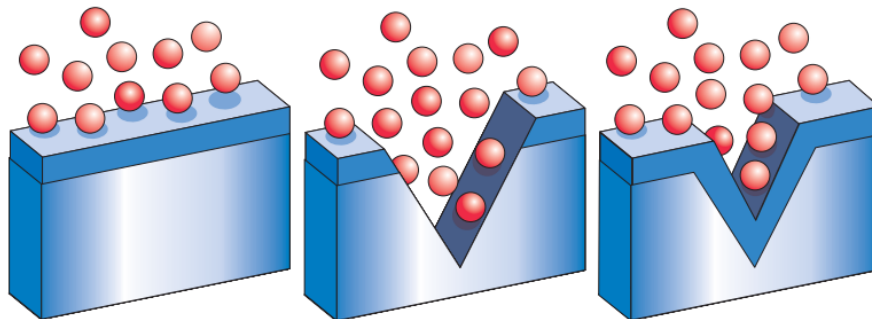
Peittauksen jälkeen kappaleet pestään vedellä, jolloin peittausliuosta tai -tahnaa ja liuenneita metalleja ja metallioksideoita poistuu veden mukana. Tätä vettä on esikäsiteltävä ennen päästämistä viemäriverkostoon.



Kuva 1. Kappale kuvattuna ennen peittausta ja peittauksen jälkeen. [2]

2.1.1 Ruostumattoman teräksen korroosionkesto

Ruostumattoman teräksen korroosiokestävyys perustuu metalliseoksen korkeaan kromipitoisuuteen. Kromi muodostaa helposti passiivisen oksidikerroksen teräksen pintaan. Tämä passiivikerros ehkäisee pinnan ruostumista. [1, s. 53]



Kuva 2. Ruostumattoman teräksen passiivikerroksen vaurioitumisen jälkeen muodostuu uusi passiivinen oksidikerros [2].

Hitsattaessa ruostumatonta terästä sen korroosionkesto heikkenee. Teräksessä olevat karbidit sitovat kromia. Metallin oksidointi hapen kanssa lämmön vaikutuksesta, ja näin syntyy materiaalin kromiköyhä alue, jonne ei muodostu suojaavaa passiivikerrosta metallin pinnalle. Peittauksella saadaan poistettua pieni

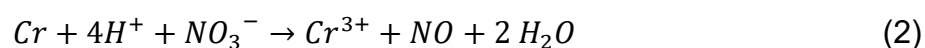
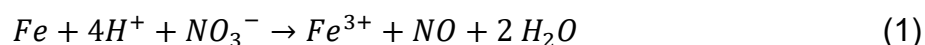
kerros metallia ja kromikarbidia kappaleen pinnasta. Tämä edistää uuden suojaavan passiivikerroksen syntyä. [3]

2.1.2 Ruostumattoman teräksen happokäsittely

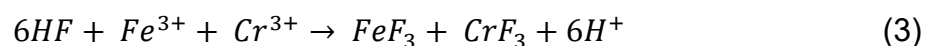
Tämän insinööriyön yhteydessä käytettävä peittausliuos koostuu laimennetuista typpi- ja fluorivetyhapoista. Kyseisessä liuoksessa typpihappo liuottaa metallista oksideja ja itse metallin pintaa. Näin saadaan poistettua metallin pinnalta kromiköyhä kerros. Fluorivetyhappo muodostaa liuenneista metalli-ioneista vakaita yhdisteitä. [4]

Happokäsittelyn jälkeen kappaleet huuhdellaan runsaalla vedellä. Osa hapoista ja yhdisteistä liukenevat vedenkäsittelylaitteistoon päätyvään jäteveeteen. Happokäsittelyssä muodostuneista yhdisteistä erityisesti kromia sisältävät yhdisteet ovat haitallisia. Näiden muodostuminen määrittää, mitä kaikkea jätevedestä tulee poistaa. Yksi niiden muodostumisreaktio happokäsittelyssä on seuraavanlainen [5]:

Raudan ja kromin liukeneminen typpihappoon:



Vakaiden yhdisteiden muodostuminen fluorivetyhapon kanssa reagoidessa:



2.1.3 Metallipinnan passivointi

Happokäsittelyn jälkeen metallin pinnalta ovat syöpyneet oksidikerrokset ja muut epäpuhtaudet. Ruostumattoman teräksen korroosionkeston edellytyksenä on kuitenkin suojaava kromioksidikerros. Tämä saadaan aikaiseksi yleisesti

jättämällä peitattu kappale altistumaan ilmalle, mutta myös hapettavalla hapolla voidaan auttaa passiivikerroksen muodostumista. [6, s. 72]

Ilmalla passivoitaessa käsiteltävästä kappaleesta on saatava huuhteluvesi poistumaan huolellisesti, jotta passiivikerros pääsee muodostumaan teräksen pinnalle. Eräs mediassa laajaa huomiota saanut passivoinnin laajamittainen epäonnistuminen liittyy asuintalojen vesiputkien ennenaikaiseen syöpymiseen. Näissä tapauksissa on epäilty epäpuhtauksien estäneen suojaavan oksidikerroksen syntymistä ja putkien kuluneen ennenaikaisesti. [7]

2.2 Ympäristölainsäädäntö ja teollisuusvesipäästöt peittaukseen liittyen

Ympäristölainsäädäntö asettaa raamit teollisten laitosten lupaprosesseille ja päästöille. Teollisuusvesipäästöjen osalta vesilaitosten antamat ohjeet eri aineiden pitoisuuksista ovat oleellisia peittausvesien käsitellyssä. Liiketoiminnan kannalta yrityksen ympäristösertifikaatti on tapa osoittaa yrityksen noudattavan ympäristön kannalta tehokasta johtamisjärjestelmää ja jatkuvasti parantavan sitä.

2.2.1 Peittaukseen liittyvä ympäristölainsäädäntö

Ympäristönsuojelulain tarkoituksena on muun muassa ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa. Yleisenä periaatteena ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnasta mainitaan seuraavaa ympäristönsuojelulaissa: ”noudatetaan ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi tarkoituksenmukaisia ja kustannustehokkaita eri toimien yhdistelmiä (ympäristön kannalta parhaan käytännön periaate).” [8, 20 §]. Käytännössä tämän voi toteuttaa Euroopan Unionin kokoamalla BAT-dokumentin sisältämällä tekniikalla, mutta tämän tekniikan arviointiin vaikuttaa muitakin tekijöitä, kuten päästöjen laatu, määrä ja vaikutus [8, 53 §]. Kyseinen dokumentti (BAT, Best Available Technologies) sisältää yleisesti käytettyjä keinoja vähentää ympäristönkuormitusta. Metallien pintakäsittelylle on oma BAT-dokumenttinsa, jossa kuvaillaan myös peittausvesien käsittelyä ja päästömääriä [9].

Jotkin ympäristön kannalta riskialttiit yritystoiminnat ovat joko ilmoituksenvaraisia, luvanvaraisia tai rekisteröitäviä toimintoja. Näiden määritelmät löytyvät ympäristönsuojelulain liitteistä 1, 2 ja 4, mutta esimerkiksi pohjavesialueilla toiminta voi muuttua luvanvaraiseksi, vaikkei se muilla kriteereillä olisi sitä. Ympäristönsuojelulain liitteen 1 kohdan g) mukaan metallien pintakäsittely kemiallista menetelmää käyttäen on luvanvaraista käsittelyaltaiden yhteenlasketun tilavuuden ollessa yli 5 kuutiometriä [8]. Mikäli käsiteltävät vaarallisten kemikaalien määrät ovat pieniä, riittää ilmoitus alueelliselle pelastuslaitokselle [10, 5 §].

2.2.2 Peittauslaitoksen teollisuusvesipäästöt ja niiden käsittely

Jätevedenpuhdistamoiden ohjauksessa oletuksena on, että prosesseihin saapuva vesi täyttää vesilaitoksen määräämät arvot. Jotkin aineet voivat esimerkiksi haitata kemiallisia prosesseja tai joitain aineita ei saada suurissa määrin poistettua jätevedestä. Yleisesti vesilaitokset antavat raja-arvot, joiden sisällä teollisuuslaitosten jätevesien tulee olla. [11]

Peittauksessa liukenee erityisesti raskasmetalleja ja käytettäviä happoja laimennee jätevesiin. Esimerkiksi Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) Viikimäen ja Blominmäen jätevedenpuhdistamoille johdettavien vesien pH:n tulee olla välillä 6,0–11,0 ja kuudenarvoisen kromin enimmäispitoisuus alle 0,1 milligrammaa litrassa ja kokonaiskromin alle 1,0 mg/l [11].

Peittausvesien esikäsittelylaitteistolla on kaksi tärkeää tehtävää: neutralisoida peittaushapot ja saostaa metalleja sisältävät yhdisteet käsiteltävästä vedestä. Näiden lisäksi vedenkäsittelyn tulee olla sujuva osa peittausprosessia. Laitteiston pitää myös olla turvallinen käyttäjälle. Vedenkäsittelyn liittämistä prosessiin ja turvallisuusnäkökulmasta kerrotaan enemmän luvussa 2.4. Esikäsittelylaitteiston tulee myös kestää mahdolliset vauriot peittausaltaissa, jolloin vahvoja happoja saapuu veden esikäsittelylaitteistoon.

2.2.3 Esikäsitteilyyn saapuva vesi

Peittauslaitoksen normaalissa toiminnassa vesien esikäsitteilyyn pumpataan peitattujen tuotteiden huuhteluvesiä. Käsiteltävässä ruostumattomassa teräksessä on huuhdeltaessa jäämiä peittaushaposta tai -geelistä riippuen peittaus-tavasta. Kappaleet huuhdellaan huolellisesti, jolloin typpi- ja fluorivetyhappo laimentuvat voimakkaasti, mutta huuhteluvedet ovat silti liian happamia päästettäväksi viemäriverkostoon.

Happojen vaikutuksesta teräksestä on syöpynt oksideja ja metalli-ioneja, pääasiassa rauta-, kromi- ja nikkeli-ioneja, joista ruostumaton teräs pääosin osin koostuu. Nämä ovat liuenneina happoliuokseen, jolloin vesien esikäsitteilyyn ei pitäisi saapua kuin nestemäistä liuosta.

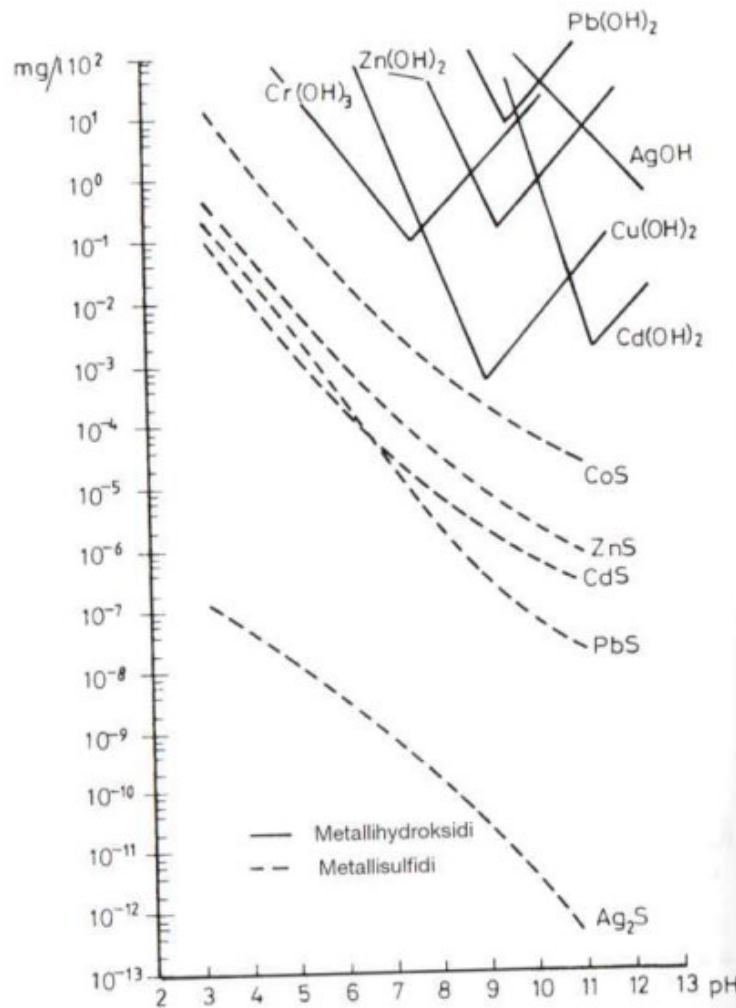
Esikäsitteilyprosessin on varauduttava peittausaltaan hajoamiseen, jolloin noin 20-prosenttista typpihappoa ja 5-prosenttista fluorivetyhappoa sisältävää peittausliuosta pääsee vesien esikäsitteilylaitteistoon. Esikäsitteilylaitteistossa oleva laimea huuhteluvesi laimentaa vahvaa happoliuosta, mutta pahimmassa tapauksessa esikäsitteilyssä on vain vähän vettä ja tällöin säiliön happopitoisuudet voivat olla suuria.

2.2.4 Peittauksessa syntyvien huuhteluvesien neutralisointi ja metallien saostaminen huuhteluvedestä

Veteen liuenneiden happojen neutralisoinnissa vapaat vety- ja oksoniumionit (H^+ ja H_3O^+) reagoivat negatiiviseen ioniin, jolloin liuoksen pH-arvo nousee. Yleisesti emäksenä käytettyjä aineita metallien pintakäsittelyvesien neutralisoinnissa ovat natriumhydroksidi (NaOH) ja kalkki ($Ca(OH)_2$) [11, s.162]. Emäksen lisäämisen jälkeen esikäsitteilyvesi tulee sekoittaa hyvin, jotta koko liuos reagoi emäksen kanssa.

Veteen lisättävän emäksen määrä riippuu halutusta pH-arvosta. Jotkin metallihydroksidit liukenevat tietyllä pH-arvolla vähiten veteen. Tässä arvossa ne

saadaan poistettua parhaiten. Kuvassa 3 on muutamien yhdisteiden liukoisuuksia eri pH-arvoilla.



Kuva 3. Metallihydroksidien ja -sulfidien liukoisuus veteen pH:n funktiona [12, s.162].

Metallihydroksidien saostumisen jälkeen nämä saostuneet yhdisteet tulee erottaa viemäriverkoston laskettavasta vedestä. Saostumista tapahtuu itsestään, mutta sitä voidaan myös tehostaa lisäämällä flokkauskemikaaleja. Näiden kemikaalien tarkoitus on saada metallihydroksidit muodostamaan suurempia flokkeja eli hiukkasien muodostamaa kiintoainetta. Nämä kemikaalit toimivat joko

neutraloimalla varauksia, jolloin hydroksidit eivät hyljeksi toisiaan tai polymeerein, jolloin kemikaali sitoo pitkänä ketjuna hydroksideja yhteen. [11, s.165]

2.3 Vedenkäsittelyn ohjausjärjestelmä

Suhteellisen pienen, vähän tulo- ja lähtösignaaleja sisältävän, vedenkäsittelylaitteiston ohjausjärjestelmän toteuttamiseen on monia ratkaisuja. Yksinkertaisimmillaan ohjausjärjestelmän voi toteuttaa releohjauksia käyttämällä. Tällöin ohjaus tapahtuu esimerkiksi painonappeja ja kytkimiä käyttämällä. Mikäli järjestelmältä halutaan esimerkiksi saada hälytystietoja tarkasti tai tekstiviestitse etänä, raportointia vedenkäsittelystä, laajennusmahdollisuutta, välttää monimutkaisia johdotuksia ja niin edelleen, voi ohjelmoitava logiikka suorittaa kustannustehokkaasti kyseiset toiminnot.

Pienissä projekteissa on luontevaa sijoittaa kaikki komponentit samaan ohjauskeskukseen, mikäli tilaa on riittävästi käytössä. Samaan keskukseen tulee tällöin tyypillisessä automaatioprojektissa sijoitettua pää- ja johdonsuojakatkaisijat, virtalähteet, ohjelmoitava logiikka, taajuusmuuttajat ja moottorilähdöt, tietoliikenneverkon komponentit ja muut komponentit riippuen projektin laajuudesta.

Tässä projektissa on tarkoitus ohjata muutamia moottoreita, annostelupumppua ja paineilmatoimisia venttiileitä. Näiltä toimilaitteilta halutaan takaisinkytkennät tilatiedoista, kuten venttiilien asennoista. Käsiteltävän veden pH-arvoa tulee mitata anturilla metallien riittävän saostumisen varmistamiseksi. Esikäsittelylaitteistolla käsitellään vaarallisia happoja, jolloin laitetta käyttäessä turvallisuus tulee taata ja ohjattaville laitteille on tehtävä hätäpysäytystoiminto. Näiden perusteella voidaan määritellä tarvittavat komponentit ja näiden viemä tila.

Keskusvalmistuksessa ja sähköasennuksissa tulee täyttää tietyt vaatimukset asennusten ja laitteistojen turvallisuudesta. Nämä vaatimukset täytetään yleensä helpoiten noudattamalla sähköasennusten osalta standardia SFS 6000-1:2022 ja pienjännitekeskuksissa SFS-EN IEC 61439.

2.3.1 Automaation logiikkaohjelma ja käyttöliittymä

Automaation logiikkaohjelman tehtävänä on valvoa vedenkäsittelyn etenemistä, laitteiden ja anturoinnin kuntoa, mahdollistaa yksittäisten laitteiden ohjauksen ja huolehtia vedenkäsittelyn tietojen tallennuksesta raportointia varten. Logiikkaohjelma lukee antureilta ja käyttöliittymästä tulevia tietoja ja toteuttaa niiden mukaan pumppujen ja venttiilien ohjaukset. Ohjelma varmistaa, ettei käsittelemättömiä vesiä päädy viemäriverkostoon.

Vedenkäsittelyn automaation käyttöliittymä on rajapintana käyttäjälle prosessista. Tämän insinööriyön aikana tehdään käyttöliittymä ohjauspaneeliin, johon saadaan ohjelmoitua monipuolisesti toimintoja. Toiminnot ovat esimerkiksi manuaaliohjauksia venttiileille tai erilaisten tietojen kokoamista selkeästi havaittavaan muotoon.

3 Vedenkäsittelylaitteiston ja automaation ohjelmien muokkaaminen tarkoitusta vastaavaksi

3.1 Konkurssipesästä hankitut komponentit ja automaation ohjelmisto

Konkurssipesästä hankitut komponentit voidaan karkeasti jaotella rakenteisiin, säiliöön, toimilaitteisiin, antureihin, sähkötarvikkeisiin, ohjelmoitavaan logiikkaan ja käyttöliittymän ohjauspaneeliin. Tärkeimmät komponentit esitellään seuraavissa luvuissa, mutta tämä insinööriyö käsittelee tästä eteenpäin pääsääntöisesti sähkö- ja automaatiokomponentteja.

Tarkoituksena on kartoittaa laitteistoa ja selvittää sen käyttökelpoiset osat. Hankittuja komponentteja pyritään hyödyntämään mahdollisimman hyvin vedenkäsittelylaitteistossa, mutta tarvittaessa näitä vaihdetaan tarpeeseen paremmin sopiviksi tai korvataan rikkinäisiä laitteita ehjillä.

Suurimmat komponentit eli vedenkäsittelysäiliö, rappuset ja sakkasäkin kaukalo. Nämä sovitetaan asennettavaan tilaan, mutta muuten näihin ei ole tarkoitus tehdä muutoksia.



Kuva 4. Esikäsitelysäiliö, portaikko ja sakkasäkki ennen purkamista vanhasta tuotantolaitoksesta.

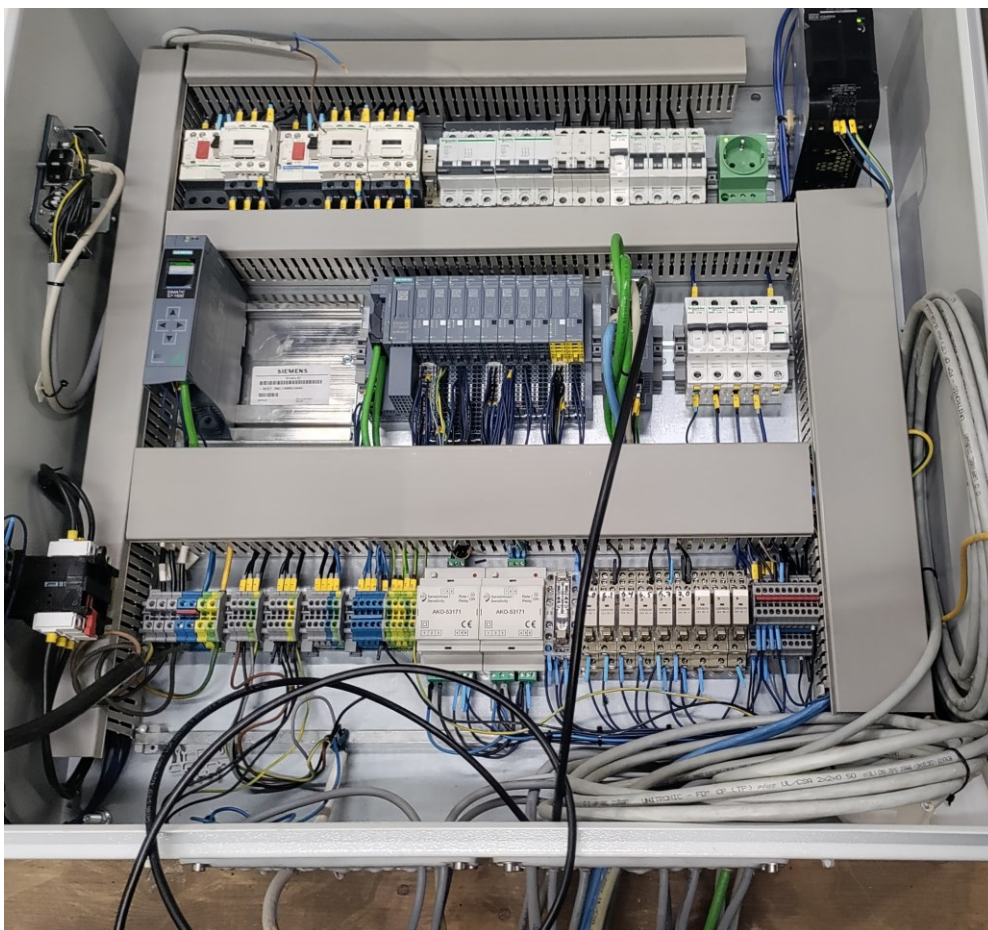
Automaation ohjattavina toimilaitteina vanhassa järjestelmässä olivat pohjakai-von kalvopumppu, emäksen annostelupumppu, säiliön sekoitin ja kaksi paineil-makäyttöistä venttiiliä, joista lasketaan käsitelty vesi viemäriin ja pohjasakka omaan säkkiinsä.



Kuva 5. Lipeän annostelupumppu, säiliön pohjaventtiili ja suodatuspussi.

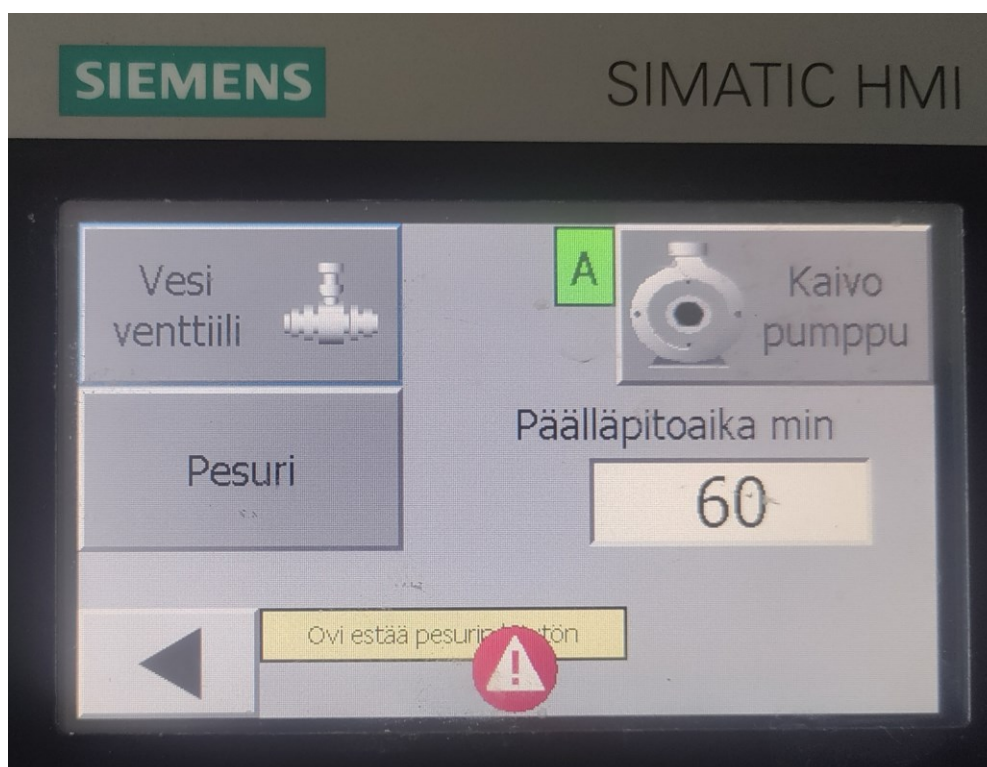
Laitteiston automaatiokeskukseen on sijoitettu kaikki sähköiset komponentit lukuun ottamatta toimilaitteita ja antureita. Hankitusta automaatiokeskuksesta on tarkoitus hyödyntää ainakin seuraavat komponentit:

- pääkytkin
- johdonsuojakatkaisijat
- kontaktorit
- moottorinsuojakatkaisijat
- virtalähde
- logiikkakomponentit ja ohjauspaneeli
- releet
- suurin osa riviliittimistä
- osa johdotuksista, esim. pääkytkimeltä johdonsuojakatkaisijoille



Kuva 6. Laitteiston automaatiokeskus ennen muokkausta.

Laitteiston alkuperäisiä automaatio-ohjelmaa ei ollut saatavilla erillisenä tiedostona. Yleensä tämä ohjelma on mahdollista ladata logiikalta talteen tietokoneelle ja näin tehdä vanhaan ohjelmaan muutoksia. Tässä tapauksessa logiikka sisälsi turva-automaatiota ja projektin asetuksista ei ollut valittu vaihtoehtoa, että ohjelma voitaisiin ladata logiikalta. Logiikan ohjelmistoa on kuitenkin mahdollista tarkastella kirjautumalla logiikkaan sisään ohjelmointityökalulla. Projekti oli sen verran vanha, että se oli tehty Siemensin TIA Portal V15 -ohjelmalla. Kyseistä ohjelmaa ei ole enää julkisesti Siemensillä jakelussa, ja tämä vaati yhteydenoton Siemensin tekniseen tukeen ja tätä kautta pääsi käsiksi kyseiseen ohjelmointityökalun versioon. Käyttöliittymän ohjelmatiedostoja ei myöskään voinut ladata, mutta käyttöliittymän sivuja oli mahdollista tarkastella ohjauspaneelilta.



Kuva 7. Esimerkki vanhan käyttöliittymän sivusta.

3.2 Tarvittavat muutokset automaatiokeskukseen ja automaatioon

Automaatiokeskuksen ja -ohjelmiston muutostöitä varten tuli selvittää, kuinka nyt suunniteltavan vedenkäsittelyprosessin haluttiin eroavan aikaisemmasta laitteiston toiminnasta. Laitteiston käytön toivottiin olevan mahdollisimman sujuvaa ja vaivatonta ja tämä tuli huomioida muutoksia suunniteltaessa.

3.2.1 Muutokset vedenkäsittelyprosessiin

Vedenkäsittelylaitteisto pysyy samankaltaisena aiempaan käyttöön verrattuna. Muutamia muutoksia tehdään ja sovitetaan laitteiston uuteen käyttöpaikkaan ja sujuvoittamaan prosessin operointia.

Peittausvesiä on pumpattu aiemmin kalvopumpulla ja tätä pumpppua on ohjattu pintarajojen perusteella. Nyt halutaan yksinkertaistaa toimintaa ja asennettavan peittauslaitoksen pohjakaivossa on hyvin tilaa uupopumpulle. Tällöin

uoppopumpun oma kellukytkin ohjaa pumpun käyntiä ja tästä otetaan pumpun käyntitieto virranmittauksen avulla. Automaatiolta annetaan pumpulle käyntilupa, jolloin pumppu ei pääse käynnistymään tahattomasti esimerkiksi silloin, kun vedenkäsittelyprosessi on kesken tai käsittelysäiliö on täyttynyt. Tämä ratkaisu myös vähentää peittaustilassa olevien laitteiden ja johtojen määrää, jolloin tila on helpompi pitää siistinä.



Kuva 8. Vanhan laitteiston kalvopumppu ja yksi pintaraja.

Veden pH-arvoa täytyy säätää noin puolen pH-arvon tarkkuudella optimaalisen saostustuloksen saavuttamiseksi. Vanhassa järjestelmässä lukemaa mitattiin pH-liuskoilla ja tästä saatu tulos syötettiin automaation käyttöliittymään. Kyseinen toimintatapa voisi johtaa helposti vaiheen ohittamiseen ja tämän takia säiliöön liitetään pH-anturi.

Vanhassa peittauslaitoksessa ilmanvaihto oli liitetty vedenkäsittelyn automaatioon. Uudessa järjestelmässä ilmanvaihto on erillisenä vedenkäsittelyn automaatiosta, jolloin tämä poistetaan käytöstä.

Automaation ohjelmaan lisätään muutamia ominaisuuksia. Vanhassa ohjelmassa ohjauspaneeliin yhdistettyyn muistitikkuun kirjoitettiin vedenkäsittelyn raportti. Vastaava raportti kirjoitetaan uudessa laitteistossa muistitikulle sekä tallennetaan verkkolevylle ja näin saadaan poistettua työvaihe siirtää raportit käsin verkkolevylle. Toinen lisättävä ominaisuus on etähälytykset. Esimerkiksi peittausaltaan tai putkistojen vuotaessa saadaan hälytys uppopumpun käydessä jatkuvasti. Tästä saadaan tieto peittaushallin ulkopuolelle ja vikatilanteisiin saadaan puututtua mahdollisimman nopeasti lisävahinkojen ehkäisemiseksi.

3.2.2 Automaatiokeskuksen muutokset

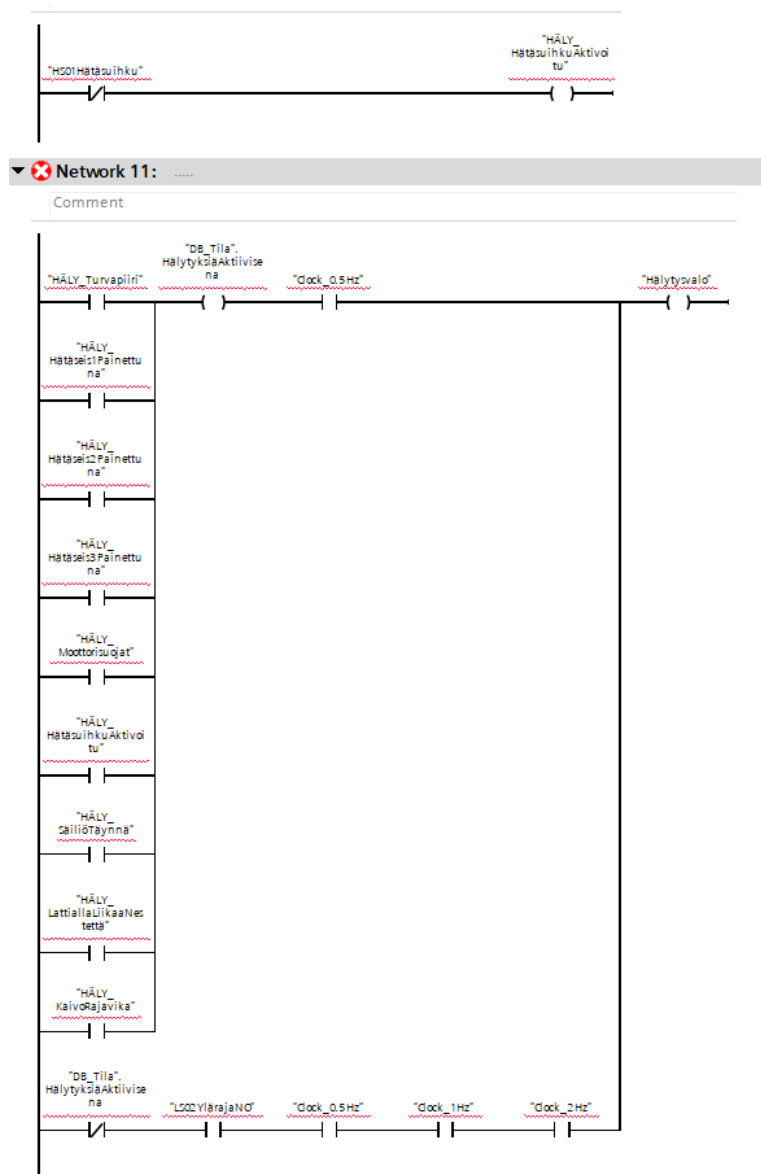
Automaatiokeskuksesta ei tullut laitteiston mukana mitään dokumentaatiota. Keskus on sen verran yksinkertainen, että johdotuksia seuraamalla saadaan nykyiset kytkennät hahmoteltua. Näistä saadaan tehtyä muokatulle vedenkäsittelylaitteistolle uudet sähkökuvat.

Suurimmat muutokset vedenkäsittelylaitteistoon tulevat kuvan 8 mukaisen pumpun poistamisesta. Vanhaa paineilmakäyttöistä pumppua ohjattiin pintarajojen avulla ja pumpatessa avattiin pumppua ohjaava venttiili. Nyt tämä ohjaus korvataan yhdellä kolmivaihelähdöllä uppopumpulle.

Vedenkäsittelylaitteiston operointiin vaikuttamaton muutos on turvalogiikan korvaaminen turvareleellä. Tämän muutoksen perustelu on vianetsinnän helpottuminen tulevaisuudessa. Peittauslaitoksen lähettyvillä on tarjolla enemmän kokemusta sähköasennusten vianetsinnästä kuin logiikalla tehdyn turva-automaation käsittelystä. Näin useampi henkilö pystyy etsimään vikaa laitteistosta.

3.2.3 Logiikkaohjelman ja käyttöliittymän muutokset

Vedenkäsittelylaitteiston logiikkaohjelmat kirjoitetaan kokonaan uusiksi. Vanhaa ohjelmaa pystyi tarkastelemaan, mutta tähän ei pystynyt tekemään muutoksia. Tämä oli pääsääntöisesti sen verran yksinkertaisesti toteutettu ohjelma, ettei vastaavan tekemiseen tarvitse käyttää kovin paljoa työaikaa. Näin ohjelmaa saadaan myös tulevaisuudessa helpommin muokattavaksi, ainakin ohjelman tekijän näkökulmasta. Ohjelma toteutettiin tutulla tavalla ja käytettyä entuudestaan valmiita ohjelmalohkoja esimerkiksi venttiileissä ja moottorilähdöissä.



Kuva 9. Kuvakaappaus vanhasta ohjelmasta kopioidusta lohkoista.

3.3 Vedenkäsittelyprosessin kuvaus

Vedenkäsittelyprosessin valmis logiikkaohjelma ja käyttöliittymä kertovat käyttäjälle jokaisen vaiheen vedenkäsittelyssä. Vaiheet kuvaillaan seuraavaksi ja kerrotaan operoinnissa vaadittavista toimenpiteistä.

Veden kerääminen säiliöön

Peittauksesta tulevat kappaleet huuhdellaan ja peittaustilan lattian pohjakai-
vosta oppopumppu siirtää huuhteluedet käsittelysäiliöön. Säiliössä on täytty-
mis- ja ylivuotorajat, joiden perusteella saadaan tieto vedenkäsittelyn tarpeesta.
Ylivuotorajan täytyttyä otetaan oppopumpun käyntilupa pois eli katkaistaan säh-
könsyöttö pumpulle. Peittausta ei voida jatkaa ennen kuin vesi on käsitelty ja
säiliössä on tilaa ottaa uutta huuhteluvettä vastaan.

Vedenkäsittelyn aloitus - Lipeän ja tarvittaessa kalsiumkloridin lisääminen

Käyttäjä syöttää ohjauspaneelille halutun määrän lipeää pumpattavaksi veden
keräyssäiliöön. Aluksi testataan eri määriä, joilla saadaan pH-arvo halutuksi.
pH-arvo tulee saada tiettyjen arvojen sisään parhaan puhdistustuloksen saavut-
tamiseksi. Mikäli lipeä ei yksinään riitä fluoridien saostamiseen, niin käsiteltä-
vään veteen lisätään myös kalsiumkloridia. Vedenkäsittelyn aloittamisen jälkeen
pohjakaivon oppopumpun käyntilupa otetaan pois käsittelyn ajaksi.

Käsiteltävän veden ja lipeän sekoittaminen

Lipeä tulee sekoittaa huolellisesti käsiteltävään veteen neutralisoinnin varmista-
miseksi. Tämä tapahtuu reilun viiden minuutin sekoituksella. pH-arvo tallenne-
taan sekoituksen jälkeen logiikalle. Arvon tulee olla annettujen rajojen sisällä,
jotta automaatio antaa edetä vedenpuhdistuksen prosessissa.

Polymeerin lisääminen flokkausta varten

Käyttäjä lisää polymeerin tasaisesti veteen siivilän avulla ja syöttää käyttöliittymään lisätyn määrän. Polymeeri sekoitetaan huolellisesti noin 10 minuutin ajan, jotta saavutetaan riittävän tasainen sekoittuminen.

Sakan laskeutuminen säiliön pohjalle

Sakan laskeutumisaika syötetään käyttöliittymään ja odotetaan kyseinen aika. Sakka laskeutuu säiliön pohjalle ja käyttäjän tulee tarkistaa puhdistetun veden riittävä selkeytyminen.

Veden laskeminen viemäriin

Neutraloitu vesi lasketaan viemäriverkkoon. Säiliön viemäriin laskeva venttiili on korotettuna säiliön pohjasta, jolloin sakka on tämän tason alapuolella ja viemäriin päästetään vain neutraloitua huuhteluvettä. Vedestä on saostettu metalleja sisältävät yhdisteet.

Sakan laskeminen lietepussiin

Loput säiliön pohjassa olevat vedet ja sakat lasketaan lietepussiin. Tällöin pussiin päätyy metallihydroksidiyhdisteitä ja vettä.

Vedenkäsittelysäiliön peseminen

Vedenkäsittelyssä muodostunutta sakkaa jää säiliön pohjalle ja tämä huuhdellaan. Huuhteluedet ja sakka päätyvät lietepussiin, josta vedet valuvat uudelleen lattiakaivoon ja sieltä takaisin vedenkäsittelyyn. Lopuksi suljetaan venttiilit ja pohjalle lasketaan hieman vettä, jotta pH-anturi peittyy ja ei pääse kuivumaan.

Vedenkäsittelyn tietojen tallennus

Käyttäjä kuittaa vedenkäsittelyn valmiiksi ja tiedot käsittelystä tallentuvat käyttöliittymään liitettyyn muistitikkuun. Sama tiedosto tallennetaan verkkolevyille. Tallennettavia tietoja ovat lisätyt lipeän ja saostusaineen määrät, vaiheiden suoritusten kellonajat, sekoitus- ja saostumisajat ja vedenkäsittelyn tekijä.

4 Vedenkäsittelylaitteiston käyttöönotto

4.1 Mekaaniset ja sähköasennukset

Vedenkäsittelylaitteisto oli melkein kokonaisuudessaan sijainnut happopitoisissa olosuhteissa noin viisi vuotta edellisessä käyttökohteessaan. Säiliön runko, prosessiyhteet ja toimilaitteet olivat valmistettu haponkestävästä teräksestä, mutta olosuhteet olivat aiheuttaneet korroosiota erityisesti pulteissa ja venttiileissä. Kyseiset osat vaihdettiin uusiin, mutta esimerkiksi moottorit ja pumput, jotka eivät olleet suorassa kontaktissa happopitoisen veden kanssa olivat käyttökelpoisia.

Vanha laitteisto tuli sovittaa uuteen tuotantohalliin. Tämä vaati putkituksen peittaushallin lattiakaivosta vesienkäsittelysäiliöön, vedenkäsittelysäiliöstä viemäriin ja lietepussin altaasta takaisin peittaushallin lattiakaivoon. Toimilaitteille ja antureille rakennettiin johtoreitit ja vedettiin kaapelit sekä venttiileille vaadittiin paineilmaliihtä.



Kuva 10. Vesienkäsittelylaitteisto asennettuna paikalleen.

4.2 Vedenkäsittelyä ohjaavaan automaatiokeskuksen käyttöönotto

Vedenkäsittelyä ohjaavaan automaatiokeskukseen tehtiin suunnitellut muutokset. Vanha automaatiokeskus ja nykyisen peittaushallin kaapelointi pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman hyvin ja tämän seurauksena keskuksen jäi joitain

vähemmän optimaalisia ratkaisuja, kuten liian suuriksi mitoitettuja kaapeleita ja runsaasti ylimääräisiä komponentteja viemään tilaa automaatiokeskuksesta.

Automaatiokeskuksen suunnitellulla asennuspaikalla oli ennen metallin elektrolyyttisen käsittelyn sähkökeskus, jota syötettiin 125 ampeerin kahvasulakkeiden suojaamalla kaapelilla. Tätä kaapelia päätettiin hyödyntää 16 ampeerin sulakkeiden kanssa, jolloin keskukselle menee huomattavasti ylimitoitettu kaapeli. Yllätyksenä asennuksissa oli, että samoihin riviliittimiin saa liittää 50 ja 2,5 ne-liömillimetrin kokoisia kaapeleita. Tulevaisuudessa samasta syöttökaapelista on mahdollisuus laajentaa sähkönsyöttöä muihin tarpeisiin.

Automaatiokeskukselle tehtiin standardin mukaiset piensähköasennusten tarkastukset. Tässä kohteessa erityisesti eristysvastusmittaukset olivat tärkeitä, sillä käytetyt moottorit ja pumput olivat olleet useamman vuoden syövyttävässä ympäristössä. Näissä olosuhteissa johtimien eristykset ovat voineet vaurioitua ja tästä aiheitua oikosulun tai sähköiskun vaara. [13]

4.3 Vedenkäsittelyprosessin automaation käyttöönotto

Automaation käyttöönotto on näin vähän laitteita ja toimintoja sisältävän projektin yhteydessä suppeahko. Karkeasti tämän insinööriyön osalta käyttöönotto voitiin jakaa kahteen osaan: laitetestaukseen ja toiminnalliseen testaukseen.

Laitetestauksessa jokainen järjestelmään kytketty mittaus ja toimilaite testattiin erikseen. Esimerkiksi pinnanmittausten testaus suoritettiin täyttämällä säiliö vedellä ja katsomalla pintarajan aktivoituneen ja moottoreiden testauksessa katsottiin moottorin lähtevän pyörimään oikeaan suuntaan. Tärkein piste automaation laitetestauksessa on useimmiten turvapiirin toiminta. Tässä katsottiin kaikkien tarvittavien releiden ja kontaktorien aukeaminen, jolloin moottorit pysähtyvät ja venttiilit sulkeutuvat. Lopuksi niiden saattaminen takaisin käyttökuntoon testattiin kuittaamalla turvapiiri.

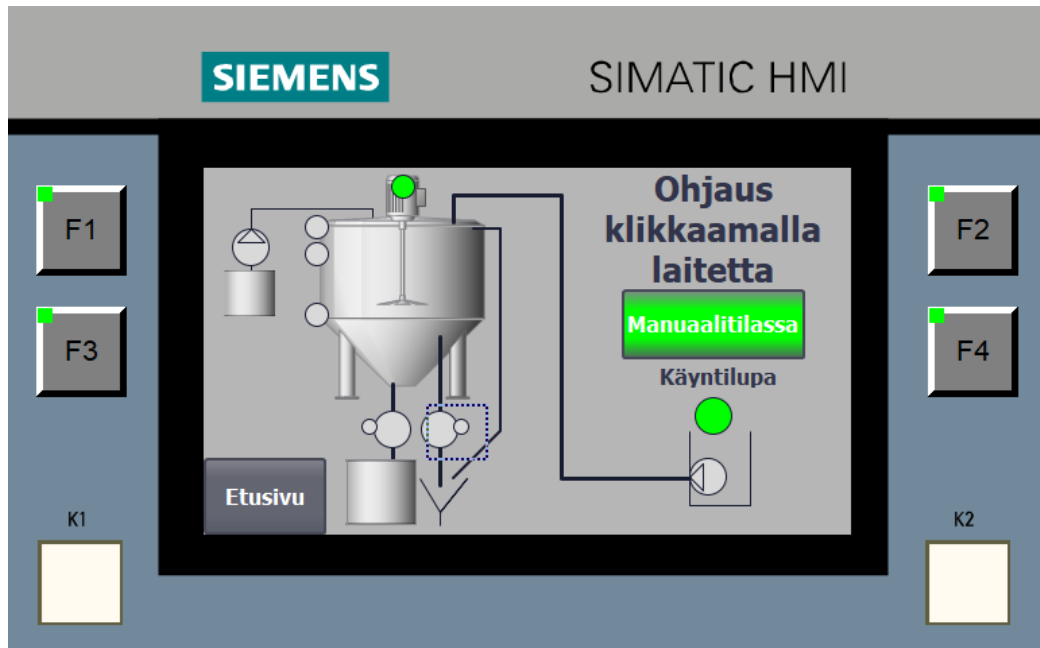
Vedenkäsittelyprosessin toiminnallisessa testauksessa testattiin seuraavat kohdat: yksittäisten toimilaitteiden käsiajot ohjauspaneelilta, neutralisointiprosessin ohjelma ja toiminta virhetilanteissa. Laitteiden käsiajoissa katsottiin näiden ohjautuvan painikkeista ohjauspaneelilta. Neutralisoinnin testauksessa katsottiin prosessin etenevän suunnitellusti. Lopuksi järjestelmään aiheutettiin hälytyksiä ja näistä saatiin käyttäjälle tieto. Ohjelman todettiin toimivan suunnitellusti eri virhetilanteissa.

5 Tulokset

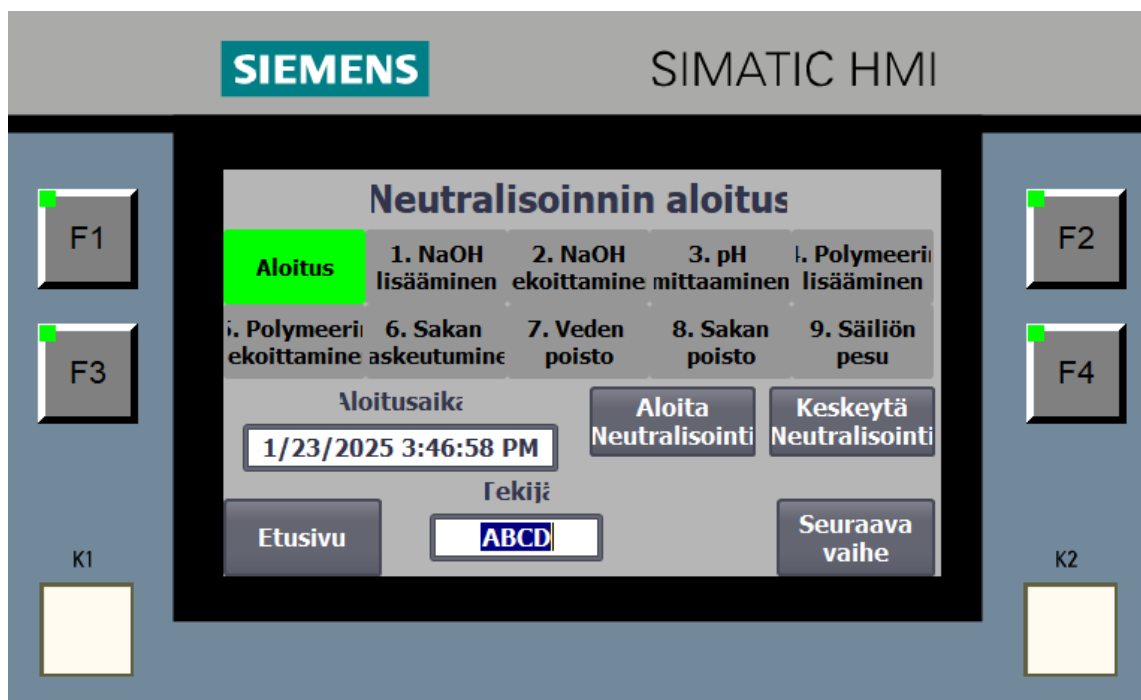
5.1 Laitteiston käyttökokemus

Tämän opinnäytetyön aikatauluun mahtui vain pikainen testaus laitteiston käytölle. Käyttökokemusta arvioitiin, kuinka helposti operaattorit omaksuivat ohjauspaneelilta käsikäytön ja varsinaisen puhdistusprosessin ohjauksen.

Vedenpuhdistusprosessissa ei ole montaa toimilaitetta, ja näiden ohjaus yksittäin onnistui helposti käyttöliittymästä. Laitteiden yksittäiset käsikäytöt menevät tulevaisuudessa salasanan taakse. Tämän jälkeen vesisäiliön voi tyhjentää viemäriin ilman salasanaa ainoastaan vedenkäsittelyprosessin suoritettua oikeaoppisesti. Näin ehkäistään vedenkäsittelyjärjestelmän ohittaminen.



Kuva 11. Kuva automaation manuaalikäyttö sivulta.



Kuva 12. Käyttöliittymä opastaa vedenpuhdistuksen vaihe vaiheelta. Tia Portal-ohjelmiston simulointi venyttää hieman tekstejä.

5.2 Veden puhdistustuloksien testisuunnitelma

Puhdistetusta vedestä otetaan näytteet ja näistä tarkistetaan, että vesilaitoksen antamat rajat eivät ylity. Testisuunnitelmassa on kolme mittausta ja näillä selvitetään, mitä kaikkea veden puhdistamiseksi vaaditaan. Näiden testien suorittaminen ja analysoiminen jäi tämän insinööriyön ulkopuolelle.

- Suoraan peittauksesta tulevan huuhteluveden testaus ilman lisättyjä puhdistuskemikaaleja
- Vedenkäsittely lipeällä neutralisoituna ja liete poistettuna flokkauskemikaalin avulla
- Kuudenarvoiset kromit pelkistetty natriummetabisulfidilla, fluoridit saostettu kalsiumkloridilla, lipeällä neutralisointi ja liete poistettuna flokkauskemikaalilla

Oletuksena on riittävän vedenpuhdistuksen saavuttaminen lipeällä neutralisoituna ja liete poistettuna flokkauskemikaalilla. Jos kromipitoisuus ei laske tai fluoridit eivät saostu riittävästi, niin viimeiseksi mainitulla testillä saadaan selvitettyä vaadittavat puhdistuskemikaalit.

Annostelu eri aineille tehdään joko valmistajan ohjeiden mukaan tai laskemalla, kuinka paljon kemikaalia vaaditaan reagoimaan säiliössä olevien yhdisteiden kanssa. Tarkoituksena on päästä mahdollisimman pieniin annostelumääriin kustannus- ja kemikaalisäästöjen vuoksi.

Ensimmäisten vedenkäsittelyjen perusteella silmämääräisesti arvioituna metallihydroksia muodostuu runsaasti ja puhdistettu vesi vaikutti kirkkaalta. Tämän insinööriyön teoriaosuudessa käydyn teorian mukaan pH-arvon ollessa optimaalinen metallien liukoisuus pitäisi olla riittävän alhainen ja veden puhdistustuloksen olla riittävä.



Kuva 13. Muodostunut sakka säiliön pohjalla odottamassa laskua säkkiin.



Kuva 14. Sakan laskeminen suodatussäkkiin.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä projektina oli muokata ruostumattoman teräksen peittauslaitoksen vedenkäsittelylaitteisto ja ottaa nämä muokkaukset käyttöön. Projektissa oli selkeät tavoitteet ja näihin pääsemiseen piti ottaa monta asiaa huomioon. Laitteisto toimii päivittäisessä käytössä. Tämän osalta tavoitteet saavutettiin.

Tarkempia tutkimuksia varten jäi vielä vedenpuhdistustuloksen testaaminen laboratoriolaitteistoilla. Kemikaalin annostelun optimointi voidaan toteuttaa näiden tulosten perusteella.

Automaatioprosesseja on mahdollista kehittää. Käytön yhteydessä havaitaan usein töitä helpottavia muutostarpeita. Näitä muutoksia on mahdollista tehdä jatkossa vedenkäsittelyn automaatiojärjestelmään. Kyseisessä prosessissa voisi olla esimerkiksi peittaushallin ilmanvaihdon ohjaus yhdistettynä automaatiojärjestelmään. Näin ilmanvaihtoa voitaisiin optimoida peittausprosessin ollessa käynnissä ja säästää energiaa.

Opettavaisinta insinööriyössä oli eri näkökulmien eri näkökulmien yhdistäminen peittausprosessiin. Tarve työhön lähti lainsäädännöstä. Kemian osuus oli suuri sähköalan ammattilaiselle ja metallipajan työskentely tuli miettiä yhteen näiden kanssa. Sähköalan opintoja pääsi työssä soveltamaan työelämään sopivalla tavalla.

Lähteet

- 1 Suomen Galvanotekninen Yhdistys. 1996. Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa 1. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.
- 2 Ruostumattoman teräksen peittäus ja passivointi. 2004. Verkkoaineisto. Euro Inox. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Passivating_Pickling_FI.pdf>. Luettu 18.6.2024.
- 3 Jussi Asikainen. 2022. Savonia-artikkeli: Runsasseosteisten ruostumattomien terästen hitsaus. Verkkoaineisto. <<https://www.savonia.fi/artikkelit/savonia-artikkeli-runsasseosteisten-ruostumattomien-terasten-hitsaus/>>. 5.9.2022. Luettu 18.6.2024.
- 4 Reaction Mechanism and Environmental Impact of Stainless Steel Pickling. Verkkoaineisto. Sustec. <<https://www.sustec.com/blog/stainless-steel-pickling-process>>. Luettu 24.6.2024.
- 5 Pickling of Stainless steels in a mixture of HNO₃ + HF and the use of alkaline potassium permanganate. Ekomor. 2017. Verkkojulkaisu. <<https://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/02/Pickling-in-HNO3-pouze-anglicky.pdf>>. Luettu 24.6.2024.
- 6 Handbook of Stainless Steel. 2013. Verkkoaineisto. Outokumpu Oyj. <<https://www.outokumpu.com/en/expertise/2021/handbook-of-stainless-steel>>. Luettu 24.6.2024.
- 7 Jaakkola, Heikki. Kupariputkien nopea syöpyminen hämmentää ympäri Suomea – Vuotoja esiintyy jopa alle viisi vuotta vanhoissa putkistoissa. 2019. Tekniikan maailma.
- 8 Ympäristönsuojelulaki. 2014. 527/27.6.2014.
- 9 Surface Treatment of Metals and Plastics. 2006. European Commission. <<https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/surface-treatment-metals-and-plastics>>. Luettu 24.6.2024.
- 10 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. 2015. 685/ 21.5.2015
- 11 Viikinmäen ja Blominmäen jätevedenpuhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvot. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/jatevedet/yritysten-jatevedet/jateveden-raja-arvot/>>. Luettu 26.6.2024.

- 12 Suomen Galvanotekninen Yhdistys. 2001. Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa 3. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.
- 13 SFS 6000-6:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. Suomen Standardisoimisliitto.