



AKD-liimanvalmistusprosessin toiminnankuvaus

Riku Salmi

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Biotuote- ja prosessiteknikan koulutus

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikan koulutus

SALMI, RIKU:
AKD-liimanvalmistusprosessin toiminnankuvaus

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli toiminnankuvauksen tekeminen AKD-liimanvalmistusprosessista Solenis Finland Oy:lle. Tavoitteena oli luoda yksityiskohtainen toiminnankuvaus prosessista, jotta sitä voitaisiin käyttää muun muassa automaatiojärjestelmän päivittämiseen sekä osana prosessin käyttöohjeita. Käyttötarkoituksensa vuoksi opinnäytetyön aikana kiinnitettiin huomiota myös automaatiojärjestelmän uudistamisen näkökulmiin. Lisäksi PI-kaavioita oli tarkoitus päivittää tutkittavan prosessin osalta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin seikkaperäinen ja laaja toiminnankuvaus, jossa noudatettiin onnistuneesti toimeksiantajan toiveita. Toiminnankuvauksessa keskityttiin erityisesti työvaiheiden yksiselitteisyyteen muun muassa kuvien avulla. Lisäksi PI-kaavioita päivitettiin toiminnankuvauksen kannalta oleellisilta osin. Yritykselle luovutettu toiminnankuvaus sisältää luottamuksellista aineistoa, minkä takia se on poistettu julkisesta opinnäytetyöstä.

Toiminnankuvauksen tekemisen aikana havaittiin muutamia kehityksen kohteita prosessin automaatioon liittyen. Osa kehitysideoista tuli käytännön kokemusta omaavilta operaattoreilta, joilla on arvokasta ensikäden tietoa prosessista. Automaation uudistamiseen tuotettiin useita ehdotuksia, jotka on poistettu julkisesta opinnäytetyöstä luottamuksellisen aineiston vuoksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct and Process Engineering

SALMI, RIKU:
Process Description of the AKD Sizing Agent Manufacturing Process

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 2 pages
May 2020

The subject of this bachelor's thesis was to create a process description of the AKD sizing agent manufacturing process for Solenis Finland Oy. The aim was to produce a detailed process description that could be used to update the automation system and to be a part of the process instruction manual. For its end-use applications, the perspective of automation update was also considered during the work. In addition, the purpose was to update the P&ID regarding the substantial parts of the process.

As a result of the bachelor's thesis, a detailed and extensive process description was produced that met the client's requirements. A particular focus was on explaining the working phases unambiguously by using photos amongst other things. The P&ID was updated considering the essential parts of the process. The process description presented to the client was removed from the bachelor's thesis due to its confidential information.

Some ideas concerning the process automation emerged during the work. A part of the ideas came from the process operators with hands-on experience with valuable first-hand knowledge of the process. Several proposals were produced for the renewal of the automation system but were removed from the public thesis due to confidential material.

Key words: process description, P&ID, process, chemical industry

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SOLENIS	7
2.1	Tuotteet.....	7
2.1.1	Kuivalujaliimat.....	8
2.1.2	Märkälujaliimat.....	9
2.1.3	Hydrofobiliimat.....	10
2.1.4	Hartsiliimat.....	11
2.1.5	Neutraaliliimat.....	12
2.2	Kestävä kehitys ja vastuullisuus.....	12
3	PROSESSI	14
4	PI-KAAVIO.....	17
4.1	Säätöpiiri	17
4.2	Standardit.....	19
5	TOIMINNANKUVAUS	22
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	25
	LÄHTEET	27
	LIITTEET	30
	Liite 1. Esimerkki PI-kaaviosta	30
	Liite 2. Mittalaitteiden kirjainten merkitys PI-kaaviossa	31

LYHENTEET JA TERMIT

PI-kaavio	putki- ja instrumenttikaavio
AKD	alkyyliketeenidimeeri
ASA	alkenyyli meripihkahapon anhydridi
kationinen	positiivisesti varautunut ioni
anioninen	negatiivisesti varautunut ioni
positionumero	laitteen yksilöllinen tunnus PI-kaaviossa

1 JOHDANTO

Toiminnankuvauksen avulla kuvataan prosessin tai prosessin osan toimintaa vaihe vaiheelta. Toiminnankuvauksen laatimisessa on oleellista arvioida yksityiskohtaisuuden ja laajuuden tarve, jotka riippuvat niistä tarkoituksista, joihin toiminnankuvausta käytetään. Käyttökohteita ovat esimerkiksi tiedon dokumentointi, uusien työntekijöiden perehdytys tai yhtiön ulkoisen työvoiman perehdytys prosessiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää AKD-liiman valmistusprosessin eri vaiheet ja laatia prosessista toiminnankuvaus. Lisäksi PI-kaaviot tuli tarkistaa ja päivittää ajantasaisiksi toiminnankuvauksen kohteena olleen prosessin osalta. Yhtenä perimmäisistä tarkoituksista oli luoda edellytykset liimanvalmistusprosessin automaatiojärjestelmän uudistamiselle, joten opinnäytetyön tekemisen aikana kiinnitettiin huomiota myös tähän näkökulmaan.

Opinnäytetyö tehtiin Solenis Finland Oy:n Tampereen toimipisteen tehtaalle, joka on yhtiön ainoa Suomessa toimiva tuotantolaitos. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt toiminnankuvausta voidaan käyttää uusien ja ulkopuolisten työntekijöiden perehdytyksessä sekä tulevaisuuden prosessilinjan uudistuksissa etenkin silloin, kun prosessilinjaa uudistamaan tarvitaan yhtiön ulkopuolisia henkilöitä.

2 SOLENIS

Solenis on vuonna 1907 Yhdysvalloissa perustettu yritys, joka on vuosien varrella toiminut useilla eri nimillä, kuten Hercules ja Ashland Water Technologies. Yhtiön pääkonttori sijaitsee helmikuusta 2020 alkaen Delawaressa, Yhdysvalloissa. Solenis keskittyy erityisesti paljon vettä kuluttaviin teollisuudenaloihin erikoiskemikaalien avulla. Yhtiöllä on toimintaa viidellä eri mantereella 120:ssä maassa. Yhtiöllä on noin 5200 työntekijää vuonna 2020 liikevaihdon ollessa noin kolme miljardia Yhdysvaltain dollaria. (Solenis 2020.)

Soleniksen tuotteita käytetään laajasti useilla eri teollisuudenaloilla, kuten biojalostuksessa, prosessiveden käsittelyssä, kemianteollisuudessa, kaivos- ja mineraaliprosesseissa, jäteveden käsittelyssä, öljyn ja kaasun tuotantoprosesseissa sekä metsäteollisuuden useilla osa-alueilla. Vuonna 2019 BASF:n paperi- ja vesikemikaaliyksikkö fuusioitui Solenikseen, jolloin yhdistyneen yhtiön nimeksi jäi Solenis. (Solenis 2019.)

Soleniksen ainoa Suomessa toimiva tuotantolaitos sijaitsee Tampereella. Tuotannon lisäksi yritystoimintaan kuuluu keskeisesti asiakaspalvelu asiakkaan luona tehdastiloissa, etenkin paperi- ja kartonkitehtailla. Tämä tarkoittaa, että Soleniksella on toimintaa eri puolilla Suomea. Vuonna 2018 Solenis Finland Oy:ssä työskenteli 63 henkilöä liikevaihdon ollessa 50,8 miljoonaa euroa ja liikevoiton ollessa noin 1,2 miljoonaa euroa (Suomen Asiakastieto Oy 2019).

2.1 Tuotteet

Soleniksen Tampereen tehtaalla valmistetaan paperiteollisuuden kemikaaleja, kuten liimoja. Pääasialliset tuotteet ovat AKD-liimat, HTP-hartsiliimat sekä Kymene-prosessin kuiva- ja märkälujaliimat. Lisäksi tehtaalla tuotetaan prosessikemikaaleja paperiteollisuuden tarpeisiin. (Nummi 2020.)

Seuraavassa osiossa tarkastellaan Soleniksen valmistamien liima-aineiden ominaisuuksia yleisellä tasolla. Tuotteita tarkastellaan tässä asiayhteydessä lähinnä paperiteollisuuden näkökulmasta, koska se on niiden yleisin loppukäyttökohde.

Kaikki tehtaalla valmistettavat liima-aineet ovat massaliimoja, eli ne lisätään paperin- tai kartonginvalmistusprosessissa sulpun joukkoon ennen perälaatikkoa. Lisäys tehdään yleensä lyhyeen kiertoon esimerkiksi konesäiliöön. Massaliimaus tarkoitusena on estää poolisten nesteiden, etenkin veden, imeytymistä paperin rakenteeseen ja rakenteen sisällä, sillä se parantaa lopputuotteen ja -käytön ominaisuuksia sekä helpottaa tuotteen jatkojalostusta esimerkiksi painatuksessa. Massaliimaus parantaa pakkauksen ulkonäköä ja kestävyyttä, suojelee pakkauksessa olevaa tuotetta, lisää lujuutta, vähentää pölyämistä sekä antaa paperin tai kartongin pinnalle lisättävälle aineelle (päälllystys tai painatus) tasaisemman imeytyvyyden. Jotta edellä mainitut ominaisuudet parantuisivat, täytyy liiman jakautua tasaisesti. Kun liima on jakautunut hyvin ja tasaisesti kuituun, puhutaan liima-aineen hyvästä retentiosta. (Knowpap 2020a; Laine & Stenius 2007, 124.)

2.1.1 Kuivalujaliimat

Kuivalujaliimojen tarkoitus on parantaa paperin tai kartongin lujuusominaisuuksia silloin, kun tuote on kuivaa. Näitä lujuuksia ovat esimerkiksi vetolujuus, palstautumislujuus, puhkaisulujuus sekä pinalujuus, mutta ei repäisylujuus. Loppukäytön lisäksi hyvä kuivalujuus on eduksi jatkojalostusprosesseissa, kuten painatuksessa, jossa vaaditaan usein etenkin hyvää pinalujuutta. Monessa jatkojalostusprosessissa rainaan kohdistetaan konesuuntaista vetoa, jolloin prosessien ajettavuuden kannalta hyvä vetolujuus on elintärkeää. (Knowpap 2020a.)

Paperin lujuus riippuu neljästä tekijästä. Ensimmäinen tekijä on kuitujen välisten sidosten vahvuus, jota voidaan parantaa esimerkiksi massatärkkelyksen avulla. Toinen tekijä on yksittäisen kuidun vahvuus, johon ei voida juurikaan vaikuttaa. Kolmas tekijä on kuitu-kuitu-sidosten määrä ja neljäs niiden jakauman tasaisuus. Kolmanteen ja neljäänteen tekijään pystytään vaikuttamaan esimerkiksi jauhatuksen määrää säätämällä. (Bajpai 2015, 180–181.)

Kuivalujaliimana voitaisiin teoriassa käyttää mitä tahansa vesiliukoista ja vetysidoksia muodostavia polymeerejä, mutta yleisimmäksi kuivalujaliimaksi on muodostunut tärkkelys. Tärkkelys muodostuu amylopektiinistä ja amyloosista, mutta niiden suhteet vaihtelevat hieman tärkkelyksen raaka-aineesta riippuen. Yleensä tärkkelys muokataan kationiseksi, jotta sen retentio-ominaisuudet olisivat mahdollisimman hyvät. (Bajpai 2015, 181.)

Tärkkelys muodostaa vetysilloja täyteaineen, sellukuidun ja muiden tärkkelysmolekyylien kanssa. Tärkkelyksen tuoma kuivalujuus perustuu pääasiassa näiden vetysiltojen lukumäärän nostamiseen. Tärkkelyksen amyloosi sitoutuu sellukuidun pintaan ja tärkkelyksen toinen ainesosa amylopektiini muodostaa sidoksen amyloosin kanssa. Näin muodostuneet epäsäännömukaiset sidosverkot vahvistavat paperin kuivaluususominaisuuksia. Lisäksi on mainitsemisen arvoista, että tärkkelys on uusiutuva ja biohajoava raaka-aine. Synteettisistä kuivalujaliimoista käytetyin on polyakryyliamidi eli PAM, jota muokataan yleensä kationiseksi. (Knowpap 2020a.)

2.1.2 Märkälujaliimat

Märkälujaliimojen tarkoitus on nimensä mukaisesti lisätä paperin tai kartongin lujuusominaisuuksia silloin, kun tuote on kauttaaltaan märkää. Märkälujaliimat ovat synteettisiä polymeerejä, jotka muodostavat veteen liukenemattomia sidoksia kuitujen välille. Märkälujaliimojen voidaan saavuttaa noin 30 % kuivalujuuden määrästä silloin, kun paperi tai kartonki on märkää. Ilman märkälujaliimaa paperin märkälujuus on yleensä alle 10 % kuivalujuudesta. Märkälujuuden pitää kuitenkin olla yli 15 % kuivalujuuden määrästä, ennen kuin tuotteen voidaan ajatella olevan märkälujaa. (Hagiopol & Johnston 2011, 137; Knowpap 2020a.)

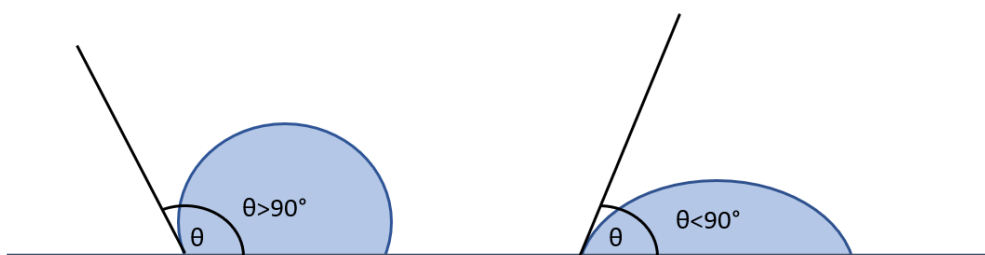
Yleisimpiä tuotteita, joihin märkälujaliimoja käytetään, ovat pehmopaperit (esimerkiksi vessa- ja talouspaperi), säkkipaperit, aaltopahvi sekä erikoispaperit (kuten tapettipaperit, etikettipaperit sekä suodatinpaperit). Yleisimpiä märkälujaliimoja ovat ureaformaldehydi, melamiiniformaldehydi, polyamidiepikloorihydri (PAE), polyeetteri-imidi (PEI) ja polyakryyliamidi (PAM). Ureaformaldehydi ja melamiiniformaldehydi vaativat paperinvalmistuksen aikana happamat olosuhteet

sekä alumiinin läsnäolon prosessin aikana. Polyamidiepiikloorihydridiä (PAE) käytetään neutraalissa tai emäksisissä olosuhteissa, ja se on käytetyin näissä olosuhteissa käytettävä märkälujaliima. (Ek, Gellerstedt & Henriksson 2009, 191–193; Knowpap 2020a.)

2.1.3 Hydrofobiliimat

Selluloosakuidut ovat luonteeltaan hydrofiilisiä ja tätä ominaisuutta pyritään rajoittamaan hydrofobiliimojen avulla. Myös paperissa esiintyvät huokokset imevät vettä kapillaarisesti. Hydrofiilisuudella tarkoitetaan aineen vesihakuista luonnetta ja hydrofobisuudella tarkoitetaan aineen vettä hylkivää ominaisuutta. Hartsiliimat ja neutraaliliimat kuuluvat hydrofobiliimoihin. Hydrofobiliimojen tarkoituksena ei ole estää veden imeytymistä kokonaan, vaan hidastaa veden imeytymistä. Onnistuneen hydrofobiliimauksen seurauksena painatuksessa ei esiinny esimerkiksi värin leviämistä paperin pinnalla. (Knowpap 2020a.)

Kosketuskulma on keskeinen käsite hydrofobiliimauksessa. Kosketuskulmalla tarkoitetaan sitä astelukua, joka muodostuu paperin pinnan ja nesteen välille. Kosketuskulmassa 90° kulmaa pidetään kriittisenä rajana sille, kuinka voimakasta paperin kostuminen on. Paperi ei kostu, mikäli kosketuskulma on yli 90° , mutta kulman ollessa alle 90° paperin kostuminen on voimakasta. Ilmiö havainnollistetaan kuviossa 1. Kuviossa vasemmanpuoleisessa tilanteessa paperi ei kastu, kun taas oikeanpuoleisessa tilanteessa paperi kastuu. (Knowpap 2020a.)



KUVIO 1. Paperin pinnan ja nesteen välinen kosketuskulma (Ek ym. 2009, 277, muokattu)

2.1.4 Hartsiliimat

Hartsiliimojen käyttö on vähentynyt, sillä kalsiumkarbonaatin käyttö on lisääntynyt; kalsiumkarbonaatti hajoaa happamissa olosuhteissa ja toisaalta hartsiliimat eivät toimi muissa kuin happamissa olosuhteissa, sillä alunan kationisuus laskee pH:n noustessa. Euroopassa hartsiliimojen valmistamiseen käytetään pääasiassa sulfaattisellukeiton sivuaineena syntyvästä raakamäntyöljystä tislattavaa mäntyhartsia. (Knowpap 2020a.)

Hartsiliimat kuuluvat hydrofobiliimoihin. Hartsia ei liukene veteen eikä sellaisenaan toimi liimaustapahtumassa kunnolla, joten sitä täytyy muokata sopivampaan muotoon ennen prosessissa käyttämistä. Yleensä hartsin liimautuvuustehokkuutta muokataan paremmaksi yhdistämällä hartsiin esimerkiksi maleiinihappoanhydridiä tai fumaarihappoa, jolloin hartsin reaktiiviset karboksyyliyhdykkeet lisääntyvät. Tämän jälkeen muokattu hartsia muokataan edelleen joko saippuomalla käyttämällä alkalisten metallien hydroksideja (kuten NaOH) tai dispergoimalla, jotta reaktiokyky liimaustapahtumassa olisi mahdollisimman hyvä. Saippuointia suositumpi dispergointi tapahtuu sopivan polymeerin kanssa siten, että sulatettu hartsia ja yhdistettävä polymeeri sekoitetaan keskenään ja saatu yhdiste dispergoidaan veteen. Yleisimmin käytetyt polymeerit hartsin dispergoinnissa ovat anioninen kaseiini ja kationinen tärkkelys. (Laine & Stenius 2007, 140–141; Bajpai 2015, 149–151.)

Hartsihiukkanen saostetaan alumiiniyhdisteen avulla aluna-hartsiflokiksi, joka kiinnittyy kuituun. Muodostunut aluna-hartsiflokki leviää lämmön vaikutuksesta kuidun pintaan paperikoneen kuivatusosalla. Kuivatuksen edetessä ja paperirainan lämpötilan noustessa aluna-hartsiflokista muodostuu hydrofobinen alumiini-resinaatti. (Knowpap 2020a.)

Vaikka hartsiliimaa käytetään yleensä happamissa olosuhteissa alumiinin ominaisuuksien takia, voidaan aluna korvata polyalumiinikloridilla neutraalissa prosessissa. Tämä on toisaalta harvinaista, sillä silloin liiman kulutuksen tarve nousee ja toisaalta on myös muita vaihtoehtoja, kuin hartsiliima. Hartsiliimaa voidaan massaliimauksen lisäksi käyttää pintaliimauksen lisäaineena (Knowpap 2020c). (Knowpap 2020a.)

2.1.5 Neutraaliliimat

Neutraaliliimat lukeutuvat hydrofobiliimoihin. Hartsiliimojen käyttö on vähentynyt ja neutraaliliimojen käyttö kasvanut. Tärkein syy neutraaliliimojen käytön lisääntymiselle on kalsiumkarbonaatin käytön yleistyminen täyteaineissa ja päällystyksessä. Kalsiumkarbonaatti hajoaa happamissa olosuhteissa, muodostaen esimerkiksi pumppaamista vaikeuttavia kaasuja (Knowpap 2020b). Neutraaliliimoja käytetään neutraaleissa ja emäksisissä olosuhteissa. Yleisimmät käytössä olevat neutraaliliimat ovat AKD ja ASA. (Knowpap 2020a.)

AKD on ioniton molekyyli, joten se stabiloidaan yleensä kationisen tärkkelyksen avulla, jolloin muodostunut hiukkanen on myös kationinen. Sulpuissa oleva kuitu on anioninen eli vastakkaisesti varautunut kuin kationinen AKD-hiukkanen, jolloin AKD muodostaa kovalenttisen sidoksen selluloosan hydroksyyliyryhmän kanssa kuivatuksen aikana kuivatusosalla. AKD-hiukkasessa on hydrofiilinen pää ja hydrofobinen pää, joista hydrofiilinen pää muodostaa kovalenttisen sidoksen kuidun kanssa. Tällöin hydrofobinen pää on poispäin kuidusta, jolloin paperin pinnasta tulee vettä hylkivää, joskin paperi vettyy siitä huolimatta jonkin ajan kuluttua. AKD:ta voidaan lisäksi käyttää myös pintaliiman lisäaineena. AKD toimitetaan tehtaalte yleensä valmiina emulsiona. (Laine & Stenius 2007, 151–154; Hagiopol & Johnston 2011, 284 & 289–290.)

ASA reagoi veden kanssa nopeasti, joten sitä ei voida toimittaa tehtaalte valmiina emulsiona, vaan tehtaalte pitää olla paikan päällä emulsiolaitteisto. Mikäli tehtaalte käytetään massatärkkelystä, ASA emulgoidaan yleisimmin kationisen tärkkelyksen kanssa. Mikäli tehtaalte ei käytetä massatärkkelystä, voidaan ASA emulgoida liuospolymeerin kanssa. ASA:lla on joitakin etuja suhteessa AKD:een, kuten raaka-aineen alempi hinta sekä nopeampi liimauksen kypsyvyys. (Knowpap 2020a.)

2.2 Kestävä kehitys ja vastuullisuus

Soleniksen oman tuotannon vastuullisuuden lisäksi se auttaa asiakkaitaan vähentämään veden- ja energiankulutustaan sekä tehostamaan raaka-aineidensa

tehokkaampaa käyttöä samalla minimoiden ympäristövaikutuksia. Yhtiö toteaa verkkosivuillaan, että työ asiakkaan luona ja omassa tehtaassa tehdään sitoutuen kaikkien turvallisuuteen sekä paikallisia lakeja ja säädöksiä noudattaen. Työntekijöitä rohkaistaan kertomaan epäkohdista ilman pelkoa siitä, että hänelle koituisi mitään seuraamuksia puutteiden esiin nostamisesta. Solenis voitti vuonna 2019 Ecovadiksen myöntämän yhteiskuntavastuullisuuspalkinnon tunnustuksena harjoittamastaan edistyksellisestä vastuullisuudesta. (Solenis n.d.)

Yksi tärkeä osa vastuullisuutta ovat erilaiset hyväntekeväisyyden keinot, joita yhtiö harjoittaa. Yhtiön vuoden 2018 kestävyysraportissa on muutama kertomus konkreettisista toimista, joita oli tehty kehittyneiden maiden yhteisöjen hyväksi. Esimerkiksi Keniassa sijaitsevan koulun puhtaan juomaveden saanti varmistettiin rakentamalla sadevettä keräävä järjestelmä, johon mahtuu jopa 30 kuutiometriä juomakelpoista vettä. Lisäksi raaka-aineiden hankinnassa tarkistetaan muun muassa tavaran toimittajan lakisääteisten velvoitteiden toteutuminen sekä noudatetaan yrityksen eturistiriitapolitiikkaa. (Solenis 2018.)

Solenis on sitoutunut Responsible Care -ohjelmaan, joka on kemianteollisuuden yritysten vastuullisuusohjelma. Ohjelmassa pyritään luonnonvarojen kestävään käyttöön, hyvinvoivaan yhteisöön, avoimuuteen sekä tuotannon ja tuotteiden kestävyteen ja turvallisuuteen (Kemianteollisuus ry n.d.). Solenis tähdentää lausunnossaan, että sen osalta ohjelmaan sisältyy muun muassa korkea tuotevastuu, luonnon suojeleminen sekä tehtaalla työskentelevien ja ympäröivien yhteisöjen turvallisuuden ja terveyden turvaaminen. Yhtiö lupautuu toiminnan läpinäkyvyyden pitämällä yllä avointa vuoropuhelua eri yhteisöjen ja tehtaalla työskentelevien kanssa turvallisuuteen, tuoteturvallisuuteen sekä ympäristöön liittyen. Kestävän kehityksen mukaisesti Solenis pyrkii vähentämään ympäristöön, terveyteen ja turvallisuuteen kohdistuvia haittavaikutuksia tuotteiden koko elinkaaren aikana. Solenis on sitoutunut jatkuvaan parantamiseen kaikkialla maailmassa. (Solenis politiikka 2019.)

3 PROSESSI

Prosessilla voidaan tarkoittaa mitä tahansa toimintaa, jolla on selkeä alku ja loppu. Prosessi-termiä käytetään monessa eri asiayhteydessä, kuten hallinnollisista toiminnoista. Jyväskylän yliopiston verkkosivujen mukaan prosessi on ”toimintatapa, jonka avulla panoksista syntyy tuotoksia, lisäarvoa tuottavia tuloksia ja vaikutuksia”. (Jyväskylän yliopisto 2009.) Tässä asiayhteydessä tarkastellaan tarkemmin ottaen tuotantoprosesseja teollisuuden näkökulmasta. Aalto-yliopiston professori Paul Lillrankin (2019) mukaan tuotantoprosessi on sellaista tuotannossa tapahtuvaa muodonmuuttumisen aktiviteettia ja niiden keskinäistä järjestystä, jossa voidaan tarkastella tuotantoresurssien integraatiota, eli mitä resursseja kukin tuotos tarvitsee.

Yksinkertaisesti ilmaistuna tuotantoprosessi on siis resurssien (kuten raaka-aineiden) vaiheittainen muuttaminen halutuksi tuotteeksi. Prosessin tuote ei välttämättä ole vielä lopullinen tuote, vaan se saattaa olla seuraavan prosessin raaka-aine jossakin toisessa yhtiössä. (Holweg ym. 2018, 31–34.) Perimmäisenä tarkoituksena on alemman jalostusasteen tuotteen jalostaminen korkeammalle jalostusasteelle, jolloin tuotannosta saadaan taloudellista hyötyä. Korkeamman jalostusasteen tuotteista saadaan yleensä enemmän taloudellista hyötyä kuin alemman jalostusasteen tuotteesta. Esimerkiksi paperi on korkeamman jalostusasteen tuote kuin lauta, jolloin raaka-aineesta, eli puusta, saadaan parempi taloudellinen hyöty.

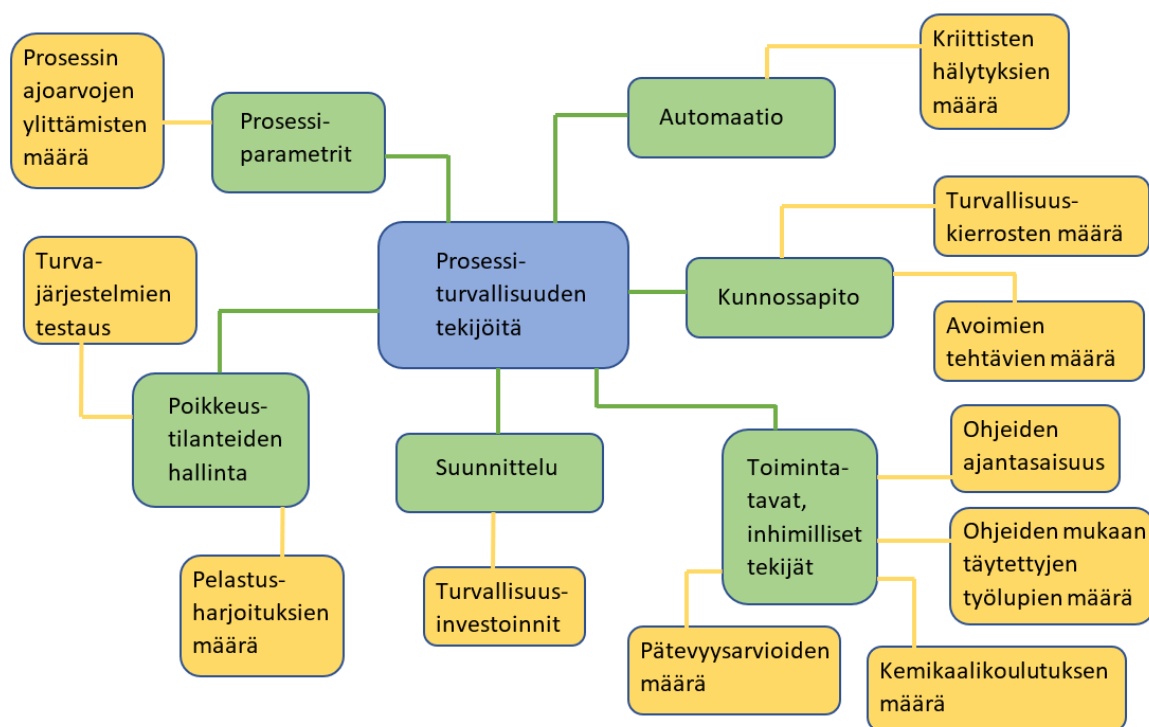
Prosessit jaetaan yleensä jatkuvatoimisiin prosesseihin ja erätoimisiin prosesseihin. Joskus niiden lisäksi mainitaan kappaletavarateollisuuden prosessit. Erätoimisissa prosesseissa tuotantomäärät ovat usein suhteellisen pieniä, mutta tuotteet ovat kalliimpia ja toisaalta niiden suhteellinen kate on yleensä suurempi kuin jatkuvatoimisissa prosesseissa. Lisäksi erätoimisissa prosesseissa reseptiä on helpompi muuttaa kuin jatkuvatoimisissa prosesseissa. On melko yleistä, että erätoimisessa prosessissa valmistetaan useampaa tuotetta. (Majozi 2010, 1.)

Erätoimisessa prosessissa tuotteen valmistus etenee erillisissä vaiheissa määrättyssä järjestyksessä. Osaprosessin vaihe pitää suorittaa loppuun ennen prosessin seuraavaan vaiheeseen etenemistä. Erätoimisille prosesseille onkin tyyppillistä melko suuret välisäiliöt, joihin välituotteet varastoituvat ennen siirtymistä seuraavaan prosessin osioon. (Majozi 2010, 1–3.)

Jatkuvatoiminen prosessi on tuotantomäärien suhteen yleisempi kuin erätoiminen prosessi johtuen muiden muassa alhaisista kustannuksista, tuotettavan tuotteen tasalaatuisuudesta sekä prosessiautomaation kehittymisestä. Lisäksi jatkuvatoimista prosessia käytetäänkin juurikin suurten tuotantomäärien tuottamiseen. Automaation ja muun tekniikan kehittymisen johdosta jatkuvatoimisia prosesseja on entistä helpompi niin seurata kuin ohjatakin. Esimerkiksi paperin valmistus sekä öljyn jalostus ovat jatkuvatoimisia, suurivolyymisia prosesseja. (Sharma 2015, 1.)

Prosessien turvallisuus on nykyään ensisijaisen tärkeää ja siihen kiinnitetään paljon huomiota. Henkilöstöä täytyy kouluttaa tarpeeksi, jotta he osaisivat käyttää prosessia turvallisesti. Näiden lisäksi prosesseissa on nykyään paljon turvallisuutta lisäävää automaatiota, kuten pakko-ohjauksia ja lukituksia. Uusien turvallisuutta lisäävien keksintöjen lisäksi käytössä on edelleen vanhoja, hyväksi havaittuja tekniikoita käytössä, kuten varoventtiilit. Varoventtiili estää paineen nousun yli sallitun paineen automaattisesti avaamalla venttiilin suljetun systeemin ulkopuolelle. Varoventtiilien tulee olla varmatoimisia ja niiden toimivuus täytyy todentaa säännöllisin väliajoin.

Prosessiturvallisuus on oleellinen käsite koskien teollisten tuotantolaitoksien kokonaisturvallisuutta. Prosessiturvallisuuden ydin on kemikaalionnettomuuksien ehkäisyssä, jonka puutteet voivat pahimmillaan johtaa mittaviin ympäristö-, henkilö- ja omaisuusvahinkoihin. Lainsäädäntö velvoittaa onnettomuuksien ennalta ehkäisemiseksi tunnistamaan toiminnasta aiheutuvia vaaroja. Tästä johtuen prosessiturvallisuutta mitataan ensisijaisesti tunnistamalla onnettomuusvaaroja. Prosessiturvallisuuden mittareita on useita erilaisia ja ne tulee valita tarkoituksenmukaisesti. Prosessiturvallisuusmittarit jaetaan määrällisiin ja laadullisiin sekä ennakoiviin ja jälkikäteismittareihin. (Tukes 2016, 1 & 9.) Esimerkkejä prosessiturvallisuuden tekijöistä ja niihin kohdistuvista mittareista on kuviossa 2.



KUVIO 2. Prosessiturvallisuuden mittareita (Tukes 2016, 11, muokattu)

Prosessiturvallisuuden kannalta tärkeitä dokumentteja ovat esimerkiksi tehtaalla käytettäviä kemikaaleja koskevat käyttöturvallisuustiedotteet (KTT), toiminnankuvaukset, PI-kaaviot sekä riskianalyysit (Center for Chemical Process Safety 2012, 65–66). Onnettomuuden, kuten tulipalon, sattuessa on tärkeää tietää, mitä kemikaaleja tehtaalla säilytetään. Täten palokunta pystyy varautumaan kemikaalien aiheuttamiin vaaroihin tilanteen vaatimalla tavalla.

4 PI-KAAVIO

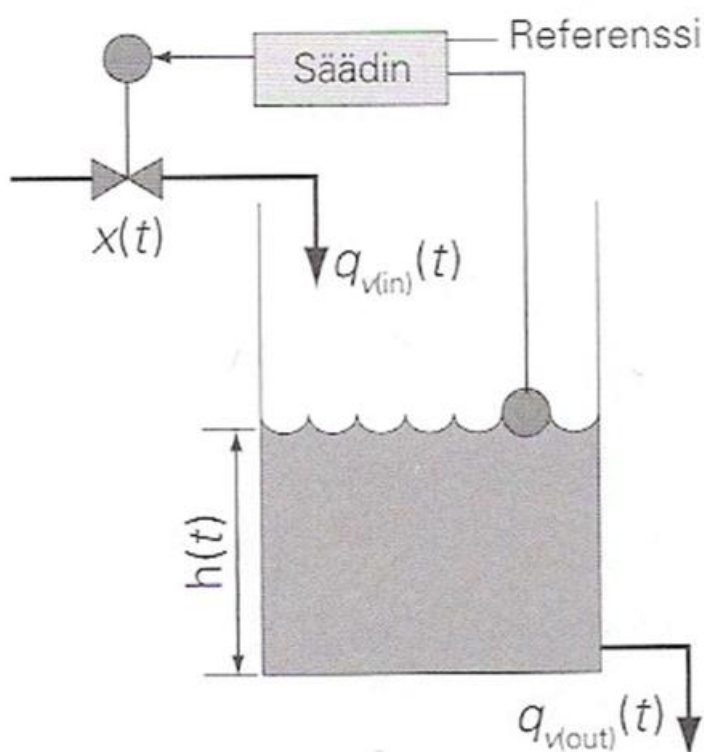
PI-kaavio on yksityiskohtainen graafinen esitys prosessin tietosisällöstä, jossa esitellään kaikki prosessilaitteet, laitetunnukset sekä prosessilaitteiden nimet. Putkien, haaroitusten, laitteiden ja muiden prosessiin kuuluvien komponenttien sijainnit esitetään toisiinsa nähden. Tavallisesti siinä ei esitetä virtausmääriä tai prosessiolosuhteita. PI-kaavion tarkoituksena on antaa tietoa prosessin teknisistä ratkaisuista sekä käyttöhyödykejärjestelmistä. Käyttöhyödykejärjestelmillä tarkoitetaan esimerkiksi höyryä ja paineilmaa, jotka eivät kuulu varsinaiseen tuotantoprosessiin, mutta ovat välttämättömiä hyödykkeitä tuotannossa (Motiva 2017). PI-kaavioita käytetään tiedon jakamiseen esimerkiksi suunnittelutöissä ja kunnossapidossa. (PSK 3603 2012, 2–4.) Lisäksi sitä voidaan käyttää osana prosessin käyttöohjeita ja toiminnankuvausta tai esimerkiksi käyttää apuna jatko-suunnittelussa. Liitteessä 1 on esimerkki PI-kaaviosta.

Standardissa PSK 3602 on esitetty PI-kaavion tietosisällön vähimmäisvaatimukset, jonka mukaan siinä on esitettävä putkisto, instrumentointi sekä standardissa PSK 3601 esitettyjen ryhmien laitteet. Näitä laitteita ovat muun muassa säiliöt ja venttiilit, joista pitää ilmoittaa vähintään standardissa määritetyt graafiset vähimmäisvaatimukset. Standardin PSK 3602 mukaan venttiilistä täytyy ilmoittaa vähintään sen yleinen piirrosmerkki, tunnus sekä suhteellinen sijainti. Säiliöstä pitää ilmoittaa näiden lisäksi suhteellinen koko, nimi ja tilavuus. (PSK 3602 2008, 10 & 16.)

4.1 Säättöpiiri

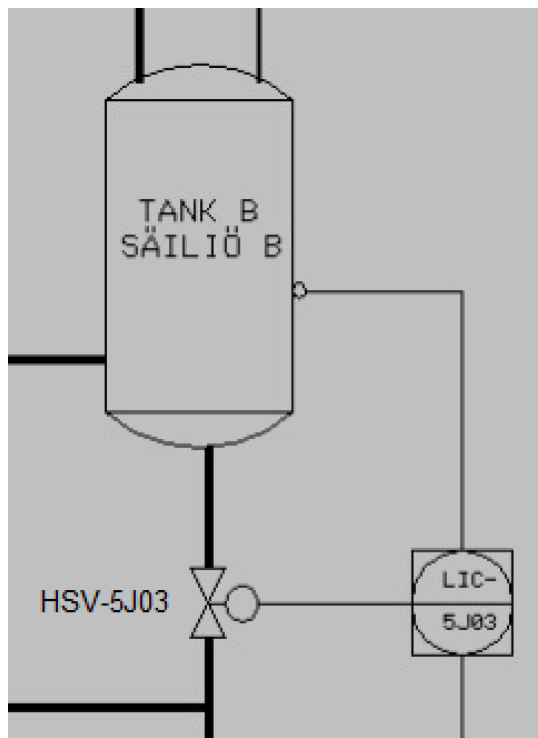
Säättöpiiri on prosessin automaation perusyksikkö, jonka tehtäviä ovat lähtömuuttujan mittaus, mitatun suureen takaisinkytkentä ja vertailu asetusarvoon sekä prosessin säätö ohjaussuureen avulla. Säättöpiiri kuvataan usein koostuvan vain säätimestä ja säädettävästä prosessista (Oulun yliopisto 2014, 6). Säädin säätää prosessia laskemalla ja toteuttamalla korjaavan säätötoimenpiteen. Korjaava toimenpide voi olla esimerkiksi venttiilin sulkeminen virtauksen rajoittamiseksi. (Säättötekniikka 2018, 34 & 20.)

Säädin pyrkii siis saamaan prosessin sille asetettuun asetusarvoon säätämällä prosessimuuttujia. Esimerkiksi pinnan korkeutta säädettäessä säädin ohjaa toimilaitetta (kuten venttiili) pinnan korkeuden säätämiseksi. Se mittaa pinnankorkeutta ja pyrkii saamaan pinnan sille asetettuun arvoon sulkemalla tai avaamalla säiliöön johtavaa venttiiliä tai säiliöstä pois johtavaa venttiiliä. Toimilaite voisi tässä tapauksessa olla myös pumppu. Periaatekuva tällaisesta venttiilillä toimivasta säätimestä on nähtävillä kuviossa 3.



KUVIO 3. Pinnankorkeuden säädön periaate (Säätötekniikka 2018, 24)

PI-kaavioon piiri on merkitty siten, että mittalaite on yhdistetty viivalla toimilaitteeseen. Mittalaitteeseen on merkitty suure, jota se mittaa, kuten lämpötila T (temperature), jonka jälkeen säätötekniset tunnuksat, kuten I (indicator) ja C (control). Näin muodostuisi TIC, joka mittaa lämpötilaa, osoittaa sen (näyttää arvon) ja ohjaa suuretta toimilaitteen avulla. Kirjainten merkitykset on eritelty liitteessä 2. Lisäksi kirjainyhdistelmän alapuolelle merkitään positionumero, joka on yleensä sama kuin siihen yhteydessä oleva toimilaite. Kirjainyhdistelmä ja positionumero merkitään ympyrän sisään. Esimerkki nimeämisestä on kuviossa 4.



KUVIO 4. Mittalaitteen merkitseminen PI-kaavioon (Automaation määritelmä 2018, 41, muokattu)

Teollisissa prosesseissa käytetään tyypillisesti jatkuvaa säätöä, jossa käytetään P-, I- tai D-säädintä tai näiden yhdistelmiä PI-, PD- tai PID-säädintä. Yleisimmin teollisuusprosessien automaatioissa käytetään PID-säätimiä, ja ne ovat takaisinkytkettyjä. Takaisinkytkennällä (ns. suljettu systeemi) tarkoitetaan, että säädettävän suureen sen hetkinen arvo lähetetään takaisin säätäjälle (Automaation määritelmä 2018, 10). (Säätötekniikka 2018, 45–50.)

Yleisnimitystä instrumenttitekniikka tai instrumentointi käytetään laitteiden ja prosessien automaattisesta ohjauksesta, joka perustuu ohjaus-, mittaus- ja toimilaitetekniikkaan. Laitteita ohjataan vertailemalla mittausarvoja asetusarvoihin tai ohjearvoihin, mitä kutsutaan myös säätämiseksi. (Automaation määritelmä 2018, 3.)

4.2 Standardit

Standardien tehtävänä on yhtenäistää yritysten ja organisaatioiden toimintatapoja samankaltaisiksi, jolloin niiden keskinäinen yhteistyö on helpompaa; esimer-

kiksi laitteiden ja niiden osien standardoiminen parantaa yhteensopivuutta ja helpottaa varaosien hankkimista. Standardien noudattaminen helpottaa yrityksen pääsyä kansainvälisille markkinoille, sillä sen toimintatavat ovat tällöin yhtenevät muiden toimijoiden toimintatapoihin nähden (Standardien hyödyt n.d.). Suomen standardoimisliitto SFS:n mukaan standardit suojelevat kuluttajaa sekä lisäävät turvallisuutta. (Standardi tutuksi n.d.)

Standardin etuliite kertoo, missä järjestöissä kyseinen standardi on vahvistettu. Etuliite SFS tarkoittaa, että standardi on vahvistettu Suomessa. Liite EN tarkoittaa, että se on European Committee for Standardization (CEN) -järjestön vahvistama standardi eli eurooppalainen standardi. Kansainvälisen ISO:n (International Organization for Standardization) vahvistamien standardien etuliitteenä on ISO. Standardin etuliite "SFS-EN ISO" tarkoittaa, että se on vahvistettu standardi kaikissa näissä järjestöissä. (Suomen standardoimisliitto SFS n.d.)

Suomessa hyvin tunnettu PSK Standardisointi kehittää standardeja puolueettomasti teollisuuden tarpeisiin. PSK-standardit on pyritty tekemään käytännölläheisiksi ja selkeiksi perustuen eurooppalaisiin ja kansainvälisiin standardeihin. PSK:n standardeja voidaan käyttää muun muassa tukemaan suunnittelua, kunnossapitoa sekä projektinhallintaa. (Koistinen 2019.)

PI-kaavioiden yhtenäisyys mahdollistaa toimivan kommunikoinnin ja ymmärryksen yritysten välillä yritysten kansallisuudesta riippumatta. Silloinkin, kun yritys käyttää ulkopuolista työvoimaa esimerkiksi uudistamaan automaatiojärjestelmää, on alkuperäinen PI-kaavio ennen uudistuksia ulkopuoliselle yritykselle ymmärrettävä. Myös ulkopuolisen yrityksen tilaajalle luodut PI-kaaviot ovat tilaajan ymmärrettävissä.

PI-kaavioiden piirtämisessä noudatetaan standardeja SFS-EN ISO 10628-1:2015 ja SFS-EN ISO 10628-2:2015, joista ensimmäinen ottaa kantaa PI-kaavion kokonaisuuteen sekä putkien merkitsemiseen ja jälkimmäinen PI-kaavion laitteiden symbolien piirtämiseen. Laitteilla standardissa tarkoitetaan esimerkiksi lämmönvaihtimia, säiliöitä ja venttiilejä. Suomalaisen PSK Standardisoinnin PI-kaavioiden piirtämisestä koskevia standardeja on tarkoitus käyttää yhdessä SFS-EN ISO 10628 -standardien kanssa. PSK 3601 perustuu vanhaan SFS-EN ISO

10628-standardiin, kun taas standardi PSK 3605 perustuu uuteen SFS-EN ISO 10628-2-standardiin (PSK Standardisointi n.d.).

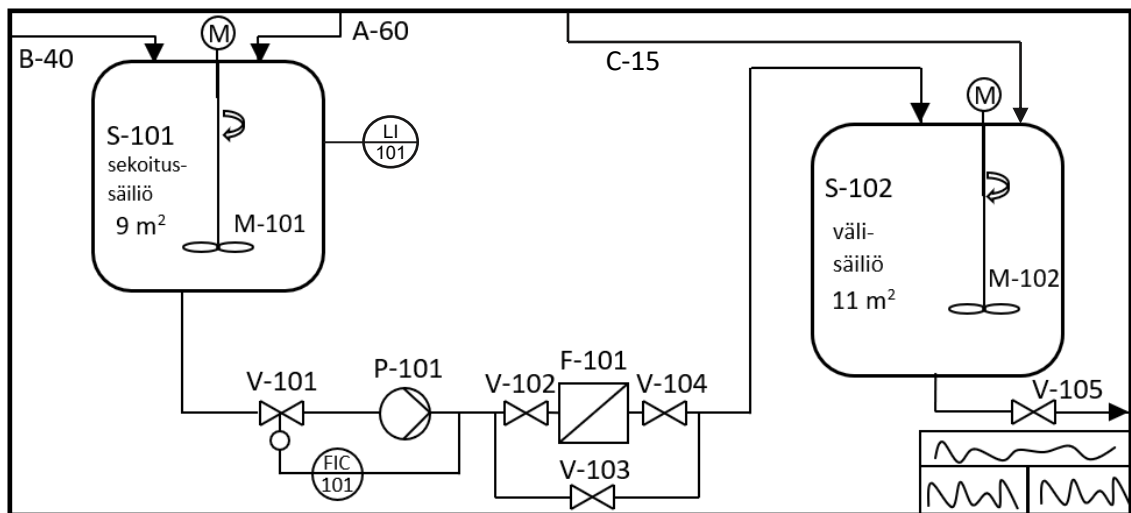
Mittaus-, ohjaus- ja säätölaitteet esitetään standardin IEC 62424 mukaisesti (SFS-EN ISO 10628-1:2015, 12). PSK:n standardissa PSK 3605 on tehty lisäykset näille laitteille, joita ovat mittaus-, ohjaus- ja säätötoiminnot, toimilaitteet sekä mittauslaitteet (PSK 3605 2016, 3).

5 TOIMINNANKUVAUS

Toimeksiantajalle luovutettu luottamuksellinen aineisto on poistettu tästä kappaleesta. Toiminnankuvauksen periaate selitetään esimerkin avulla.

Toiminnankuvaus kertoo mitä tehdään, mutta etenkin, miten tehdään. Toiminnankuvauksen tekemisessä täytyy ottaa huomioon lopullinen käyttötarkoitus, joka määrittelee toiminnankuvauksen yksityiskohtaisuuden. Toiminnankuvaus voi olla suurpiirteinen, mikäli sitä käytetään työntekijöiden perehdyttämisen tukena tai yksityiskohtainen, jos käyttötarkoitus on olla jatkosuunnittelun työkaluna.

Käytetään toiminnankuvauksen esimerkkinä kuvitteellista prosessia, jonka PI-kaavio on kuviossa 5. Kuvion PI-kaaviossa ei ole noudatettu standardeja kaikilta osin. PI-kaaviosta selviää, että prosessissa sekoitetaan ainetta A ja B säiliössä S-101. Sekoituksen jälkeen tuote menee suodattimen läpi säiliöön S-102, jossa siihen sekoitetaan ainetta C. Säiliön S-102 jälkeen tuote ajetaan varastosäiliöön.



KUVIO 5. Kuvitteellisen prosessin PI-kaavio

Säiliön sekoitin M-101 laitetaan päälle, kun säiliön S-101 pinta on noin 30 %. Säiliön S-101 pinnankorkeutta mittaa LI-101, jonka mittausarvo näkyy valvomon tietokoneella. Säiliön pinnankorkeus ilmoitetaan prosentteina. Sekoitin kytketään päälle säiliön vieressä sijaitsevasta paneelista. Pumppu P-101 laitetaan päälle, kun säiliön pinnankorkeus on noin 50 %. Ennen pumpun P-101 päälle laittamista

tarkistetaan, että venttiilit V-102 ja V-104 ovat auki, ja että venttiili V-103 on suljettu. Tällöin tuote menee suodattimen F-101 lävitse. Mikäli suodatin tukkeutuu, voidaan suodatin kiertää avaamalla venttiili V-103 ja sulkemalla venttiilit V-102 ja V-104. Venttiilit V-102 ja V-103 ovat nähtävissä kuvassa 1. Venttiili V-102 on merkitty punaisella neliöllä ja V-103 on merkitty keltaisella ellipsillä.



KUVA 1. Venttiilit V-102 ja V-103

Seuraavaksi pumppu P-101 voidaan laittaa päälle. Pumppu P-101 laitetaan päälle valvomon tietokoneelta klikkaamalla hiirellä pumpun kuvakkeesta ja valitsemalla "käyntiin".

Venttiili V-101 on automaattiventtiili, joka säätelee virtausta sulkemalla ja avaamalla venttiiliä. Virtausnopeutta säädetään valvomossa sijaitsevasta paneelistä "FIC-101" asettamalla sille haluttu asetusarvo sekä asettamalla säätö automaattille painamalla kohdasta "auto". Yleensä virtausnopeuden arvoksi asetetaan noin 1500 kg/h.

Kun säiliön S-102 pinta on noin 30 %, voidaan sekoitin M-102 laittaa päälle. Kyseinen sekoitin laitetaan päälle valvomossa sijaitsevasta paneelistä, jossa on

merkintä "M-102". Sekoittimen päälle kytkemiseksi painetaan paneelin vihreää painiketta, jossa on pystyviiva.

Kun prosessi on ollut käynnissä ja vakaana noin puoli tuntia, otetaan tuotteesta näyte, joka toimitetaan laboratorioon. Näytepurkkiin merkitään tuotteen nimi, näytteenoton päivämäärä sekä eränumero.

Säiliön S-102 pohjaventtiili V-105 täytyy avata ennen kuin pumppu P-102 laitetaan päälle. Venttiili V-105 on kuvassa 2. Venttiili voidaan avata ja pumppu laittaa päälle, kun säiliön pinnankorkeus on noin 30 %.



KUVA 2. Säiliön S-102 pohjaventtiili V-105

Säiliön S-102 jälkeen tuote ajetaan varastosäiliöön S-200 tai S-201, riippuen tuotettavasta tuotteesta. Ajon päättymisen jälkeen varastosäiliöstä otetaan kolme eränäytettä, jotka toimitetaan laboratorioon. Näytepurkkeihin merkitään tuotteen nimi, näytteenoton päivämäärä sekä eränumero.

Toiminnankuvauksessa kerrotaan siis vaihe vaiheelta prosessissa tehtävät toimenpiteet mahdollisimman kronologisessa järjestyksessä. Lisäksi loppuun voidaan kirjata toimenpiteet ajon loputtua, kuten hallittu alasajo tai linjojen huuhtelu.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Toiminnankuvaus oli opinnäytetyön tärkein osio, josta tuli laaja ja yksityiskohtainen. Avattaviin ja suljettaviin venttiileihin viitattiin toiminnankuvauksessa positionumerolla ja päivitettiin PI-kaavioon, mikäli venttiilillä ei ollut positionumeroa. Lisäksi venttiileihin viitattiin aina vähintään ensimmäisen kerran kuvan kanssa, mikä selkeyttää toiminnankuvausta huomattavasti. Kaikkia tapoja tehdä asioita ei kuitenkaan koettu tarpeelliseksi selostaa erikseen, sillä opinnäytetyötä käyttävien henkilöiden oletetaan omaavan tarpeellinen määrä kokemusta prosesseista ja näin ollen kykenevät soveltamaan opinnäytetyön sisältöä. Esimerkiksi jakotukin käytössä ei ole selostettu erikseen jokaiseen varastosäiliöön johtavan venttiilin avaamista, vaan annettu esimerkkutilanne.

PI-kaavioita päivitettiin toiminnankuvauksen kannalta oleellisin osin. Kaavioiden päivittämisessä ongelmaksi muodostuivat kokemattomuus ja toiminnankuvauksen tekemiseen kulunut aika. Onnistuneeksi voidaan katsoa ainakin venttiileiden positionumeroiden tekeminen, joka oli toiminnankuvauksen kannalta oleellisimmassa osassa. Lisäksi joitakin putkilinjoja lisättiin, merkittiin käytöstä poistetut linjat ja nimettiin esimerkiksi pumppuja. Sellaisia kohteita ei päivitetty, joihin tulee muutoksia lähiaikoina. Esimerkiksi prosessin eräs laite oli opinnäytetyön aikana väliaikaisessa paikassa väliaikaisilla liitännöillä, joten kyseisiä venttiileitä ei PI-kaavioihin päivitetty eikä toiminnankuvaukseen nimetty.

Toiminnankuvauksen yksi tarkoituksista oli toimia automaatiojärjestelmän uudistamisen pohjana, jolloin oli luonnollista, että työn aikana kiinnitettiin myös tähän näkökulmaan huomiota. Työn suorittamisen aikana ilmeni muutamia parannusehdotuksia prosessin automaatiojärjestelmään. Osa parannusehdotuksista tuli suoraan prosessia ohjaavilta operaattoreilta, joilla on paras käytännön kokemus prosessista. Lisäksi ilmeni muitakin toiveita samasta aihepiiristä, kuten tietokoneen näytöllä näkyvistä prosessin arvoista, esimerkiksi virtausnopeuksista.

Operaattorien antamia näkökulmia automaation uudistamiseen liittyen voidaan pitää arvokkaina, sillä heillä on ensikäden tietoa prosessin ongelmakohdista. Eh-

dotukset olivat hyvin perusteltuja sekä käytännönläheisiä. Operaattorien ehdottamien ideoiden lisäksi yritykselle luovutettiin muita opinnäytetyön tekemisen aikana syntyneitä parannusehdotuksia automaation uudistamiseen. Automaatioon liittyvien ehdotuksien lisäksi myös muita parannusehdotuksia esitettiin. Yritykselle luovutetut ehdotukset on poistettu julkisesta opinnäytetyöstä luottamuksellisen aineiston vuoksi.

Toiminnankuvaukseen olisi hyvä sisällyttää toimintaohjeet yleisissä ongelmatilanteissa. Tällöin prosessia ohjaava henkilö osaa varautua mahdolliseen häiriöön ja toimia sen mukaisesti. Lisäksi voitaisiin huomata, mikäli jokin ongelmatilanne olisi ennaltaehkäistävässä. Yleisten ongelmatilanteiden tietämiseen vaaditaan kuitenkin syvempää prosessin tuntemusta.

Toiminnankuvausta kannattaa päivittää mahdollisuuksien mukaan aina tarvittaessa. Mikäli prosessiin tehdään muutoksia, kannattaa se päivittää toiminnankuvaukseen sekä PI-kaavioon mahdollisimman nopeasti. Päivittämisväli kannattaa asettaa etukäteen ja päivittämisväliä noudattaa. Hyvä päivittämisväli riippuu monesta tekijästä, mutta esimerkiksi vuosi tai kaksi vuotta on yleensä riittävä revisioväli.

LÄHTEET

Airikka, P. n.d. Automaatiojärjestelmä. Tampereen ammattikorkeakoulun kurssimateriaali. Luettu 2.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. PDF-tiedosto.

Automaation määritelmä. 2018. Rask, O. Tampereen ammattikorkeakoulun kurssimateriaali. Luettu 2.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. https://tabela.tamk.fi/pluginfile.php/1141622/course/section/174851/07_SAP_automaationM%C3%A4%C3%A4ritelm%C3%A4.pdf

Bajpai, P. 2015. Pulp and Paper Industry: Chemicals. Amsterdam: Elsevier.

Center for Chemical Process Safety. 2012. Recognizing Catastrophic Incident Warning Signs in the Process Industries. New York: American Institute of Chemical Engineers.

Ek, M., Gellerstedt, G. & Henriksson, G. 2009. Pulp and Paper Chemistry and Technology Volume 3, Paper Chemistry and Technology. Berliini: Walter de Gruyter.

Hagiopol, C. & Johnston J. 2011. Chemistry of modern papermaking. Florida: CRC Press.

Holweg, M., Davies, J., De Meyer, A., Lawson, B. & Schmenner, R. 2018. Process theory: The principles of operations management. Oxford: Oxford University Press.

Jyväskylän yliopisto. 2009. Mitä prosessit ovat? Luettu 6.4.2020. <https://www.jyu.fi/laatua/ohjaus/prosessien-mallintaminen/mitaprosessitovat>

Kemianteollisuus ry. n.d. Responsible Care. Luettu 5.4.2020. <https://www.kemianteollisuus.fi/fi/vastuullisuus/responsible-care/>

KnowPap versio 21.0. 2020a. AEL / Proledge Oy. Massaliimat. Luettu 24.3.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/raw_materials/4_fillers/9_internal_sizes/frame.htm?zoom_highlightsub=liima. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020b. AEL / Proledge Oy. Täyteaineet - yleistä. Luettu 25.3.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/raw_materials/4_fillers/0_common/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020c. AEL / Proledge Oy. Pintaliimausaineet. Luettu 25.3.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/raw_materials/5_additives/12_sizing/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

Koistinen, J. 2019. Teollisuuden standardisointia 46 vuotta. Luettu 3.5.2020. <https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK-esitys-2019-1.pptx>

Laine, J. & Stenius, P. 2007. Internal sizing of paper. Teoksessa Alén R. (toim.) Papermaking chemistry. Jyväskylä: Finnish Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Lillrank, P. 2019. Prosessit ja tuotantojärjestelmät. Aalto-yliopisto. Julkaistu 15.1.2019. Luettu 6.4.2020. https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/895688/mod_resource/content/1/Pre-lecture_assignment_luento2.pdf

Mojzi, T. 2010. Batch chemical process integration. Analysis, synthesis and optimization. Dordrecht: Springer Netherlands.

Motiva. 2017. Käyttöhyödykejärjestelmät. Luettu 28.4.2020. <https://www.motiva.fi/extranet/energiakatselmoijat/kayttohyodykejarjestelmat>

Nummi, M. Tuotantopäällikkö. 2020. Sähköpostiviesti. Luettu 1.5.2020.

Oulun yliopisto. 2014. Prosessitekniiikan perusta: automaatiotekniikka. Luettu 2.5.2020. <https://www oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%205.pdf>

PSK 3602. 2008. PI-kaavion tietosisältö. Luettu 28.4.2020. Vaatii käyttöoikeuden. https://www-psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/Standard/Ryhma36/PSK3601_2painos.pdf

PSK 3603. 2012. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. Luettu 28.4.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/Standard/Ryhma36/PSK%203603.pdf>

PSK 3605. 2016. Prosessiteollisuuden virtaus- ja PI-kaavioiden symbolit. Luettu 3.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/Standard/Ryhma36/PSK3605.pdf>

PSK Standardisointi. n.d. Standardit ryhmittäin. Luettu 27.4.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/standardit/>

SFS-EN ISO 10628-1. 2015. Diagrams for the chemical and petrochemical industry. Part 1: Specification of diagrams. Luettu 3.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN-ISO/ID2/1/334352.html.stx>

Sharma, K. 2015. Continuous process dynamics, stability, control and automation. New York: Nova Publishers.

Solenis. 2020. Solenis Dedicates New Global Headquarters in Delaware. Luettu 20.3.2020. <https://solenis.com/en/news-events/news/news-Solenis-Dedicates-New-HQ/>

Solenis. 2019. Solenis ja BASF vievät paperi- ja vesikemikaaliyksikköjen fuusion päätökseen. Luettu 21.3.2020. <https://solenis.com/fi/Solenis-BASF-Completion/>

Solenis politiikka. 2019. Solenis. Luettu 5.4.2020. <https://solenis.com/application/files/4115/5120/4766/Finnish-Responsible-Care-Policy.pdf>

Solenis. n.d. Sustainability. Luettu 4.4.2020. <https://solenis.com/en/about-us/sustainability/>

Solenis. 2018. Sustainability at Solenis. Luettu 4.4.2020. <https://solenis.com/application/files/3115/3910/3224/180100-PR-SustainabilityReportWB3.pdf>

Standardi tutuksi. n.d. Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 27.4.2020. https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi

Standardien hyödyt. n.d. Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 27.4.2020. https://www.sfs.fi/ajankohtaista/standardien_hyodyt

Suomen Asiakastieto Oy. 2019. Solenis Finland Oy. Luettu 22.3.2020. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/solenis-finland-oy/01088630/taloustiedot>

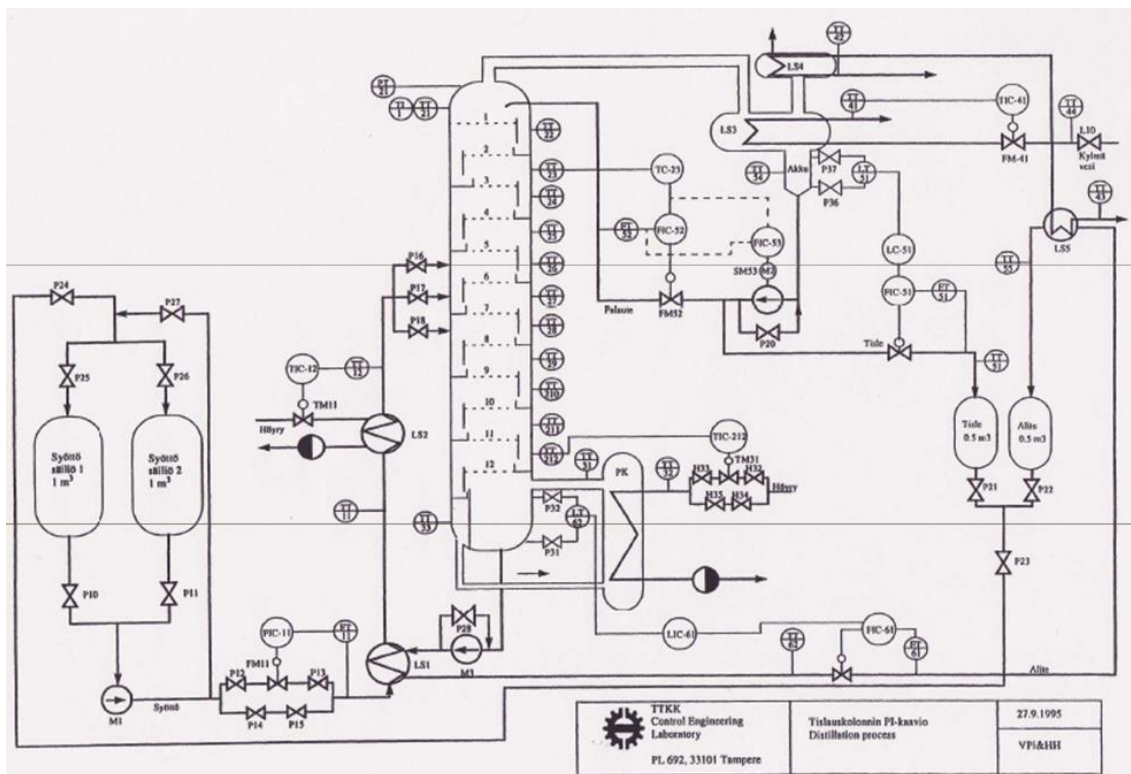
Suomen standardoimisliitto SFS. n.d. Usein kysyttyä. Luettu 27.4.2020. https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/usein_kysyttya

Säätötekniikka. 2018. Rask, O. Tampereen ammattikorkeakoulun kurssimateriaali. Luettu 2.5.2020. Vaatii käyttöoikeuden. https://tabula.tamk.fi/pluginfile.php/1141622/course/section/174851/10_SAP_S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6tekniikka.pdf

Tukes. 2016. Prosessiturvallisuus ja sen mittaaminen. Luettu 1.5.2020. <https://tukes.fi/documents/5470659/6410641/Prosessiturvallisuus+ja+sen+mittaaminen/e3bec3bb-2e96-4c33-8f21-f9e1787f8bf5/Prosessiturvallisuus+ja+sen+mittaaminen.pdf?version=1.3>

LIITTEET

Liite 1. Esimerkki PI-kaaviosta



(Automaation määritelmä 2018, 44)

Liite 2. Mittalaitteiden kirjainten merkitys PI-kaaviossa

	MITTASUURE (alkuperä)	LISÄMÄÄRITTE	TOIMINTA
A			<i>hälytys</i>
B			<i>eri tilojen näyttö</i>
C			<i>ohjaus</i>
D	<i>tiheys</i>	<i>ero</i>	
E	<i>sähkösuureet</i>		<i>anturitoiminta</i>
F	<i>virtaama</i>	<i>suhde, murtoluku</i>	
G	<i>suhde, asento, pituus</i>		<i>tarkastelu</i>
H	<i>käsiohjaus</i>		
I			<i>osoitus</i>
J	<i>voima</i>	<i>pyyhkäisy, jaksottainen toiminta</i>	
K	<i>aika</i>	<i>muutosnopeus</i>	
L	<i>pinnankorkeus</i>		
M	<i>kosteus</i>	<i>hetkellisesti</i>	
N	<i>käyttäjän valittavissa</i>		<i>käyttäjän valittavissa</i>
O	<i>käyttäjän valittavissa</i>		
P	<i>paine, alipaine</i>		<i>testauskohdan yhteys</i>
Q	<i>laatu</i>	<i>yhtenäinen, kokonainen</i>	<i>yhdistäminen, summa</i>
R	<i>säteily</i>		<i>rekisteröinti, tallennus</i>
S	<i>nopeus, taajuus</i>		<i>kytkentä</i>
T	<i>lämpötila</i>		<i>lähettäminen</i>
U	<i>monimuuttuja</i>		<i>monitoiminta</i>
V	<i>käyttäjän valittavissa</i>		<i>vaikuttaminen toimilaitteella</i>
W	<i>paino, voima</i>	<i>kertominen</i>	
X	<i>määrittelemätön</i>		<i>määrittelemätön</i>
Y	<i>käyttäjän valittavissa</i>		<i>muuntaminen, laskenta</i>
Z	<i>tapahtumien lukumäärä</i>		<i>hätä- tai turvatoiminta</i>

(Airikka n.d., 3)