



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janette Sorvoja

Rikastamon putkisto- ja instrumentoin- tikaavioiden mallikirjaston sekä suunn- itteluohjeistuksen laatiminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

3.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janette Sorvoja Rikastamon putkisto- ja instrumentointikaavioiden mallikirjaston sekä suunnitteluohjeistuksen laatiminen 33 sivua 3.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Chief Process Engineer Ville Roitto Lehtori Timo Seuranen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kerätä yhteen hyväksi havaittuja suunnitteluratkaisuja mineraalien käsittelyn tuotantolaitoksen, eli rikastamon, keskeisistä yksikköprosesseista. Työn tilaajana toimi Metso Outotec ja sen Minerals Processing -suunnitteluosasto.</p> <p>Työssä haastateltiin työnantajayrityksen kokeneita prosessi-, laitos- ja instrumentaatio-suunnittelijoita. Haastattelujen tavoitteena oli kerätä kokoneiden suunnittelijoiden parhaat käytännön ratkaisut ja niiden perustelut toimivan ja tehokkaan rikastamon suunnitteluun, jotta tämä tieto olisi kaikkien yrityksen suunnittelijoiden tiedossa ja toisaalta arvioitavissa. Myös huonot ratkaisut kirjattiin ylös, jotta niitä vältettäisiin tulevaisuudessa suunnittelu-työssä.</p> <p>Haastattelujen perusteella laadittiin kustakin yksikköprosessista perussuunnittelutasoiset putkisto- ja instrumentointikaaviot mallikaaviokirjastoksi, joka toimii yrityksen prosessisuunnittelijoiden pohjatyön tukena uusien projektikaavioiden luomiseksi. Mallikaavioiden yhteyteen kirjattiin kunkin kaavion erityispiirteet sekä syyt ja perustelut esitetyille prosessiratkaisuille erilliseen suunnitteluohjeeseen.</p> <p>Mallikaaviokirjaston luominen on perusteltua yhtenäisen ja tehokkaan projektityöskentelyn saavuttamiseksi, jotta kaavioiden asiasisältö säilyy samanlaisena projektista toiseen ja kaavionlaatijasta riippumatta. Mallikaavioiden ja niiden suunnitteluohjeistukseen tutustumalla prosessisuunnittelijalle välittyy tietoa hyvistä perustason ratkaisuista, joista lähteä liikkeelle uudessa projektissa, ja toisaalta auttaa välttämään suunnitteluvirheitä tai muuta turhaa työtä.</p> <p>Tulevaisuudessa mallikaaviokirjastoa voidaan täydentää niihin prosessin osiin, joihin tämän insinööriyön aikana ei paneuduttu. Tätä tulevaa työtä varten on tämän opinnäytetyön aikana muodostunut työskentelytapoja ja dokumenttipohjia, joita voidaan hyödyntää jatkossa. Myös opinnäytetyössä luotua mallikaaviokirjastoa on tarkoitus ylläpitää muutostarpeiden tullessa ilmi.</p>	
Avainsanat	PI-kaavio, ohjeistus, prosessisuunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Janette Sorvoja Creation of Typical P&I Diagrams Library and Engineering Guide for a Concentrator Plant 33 pages 3rd of May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Ville Roitto, Chief Process Engineer Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to gather the process knowledge and proven practical solutions of the process design of a minerals processing plant, also known as a concentration plant. The study was conducted at Metso Outotec, in the Minerals Processing design unit.</p> <p>Experienced designers in Process, Plant and Instrumentation Engineering were interviewed of their views and practical experience of the dos and don'ts of process design. These discussions were transferred to piping and instrumentation diagrams - P&I diagrams, of each selected unit process of a typical concentration plant. A design guide was also created to support the end user designers to understand and to apply the arguments presented by the experts.</p> <p>The aim was to help process engineers achieve more effective project work, by offering base diagrams to start the design with, and to ensure cohesive diagram drafting in different projects and apart from different designers. By familiarizing themselves with the typical P&I diagrams and the engineering guide a process designer can learn the principles of good base design and avoid design mistakes and other redundant work.</p> <p>In the future the typical diagram library can be extended to the equipment and process areas that were not considered in this thesis. This will be enabled by the document and the ways of working devised during this thesis study. In addition, the intention is to update to the diagram library and instructions when needed.</p>	
Keywords	P&I Diagrams, Instructions, Process Engineering

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Metso Outotec	2
3	Mineraalien rikastus	4
3.1	Tyypillinen rikastamo ja sen laitteet	5
3.2	Hienonnus	6
3.3	Jauhatusmyllyt	8
3.3.1	Autogeenimyllyt	8
3.3.2	Kuulamylly ja tankomylly	9
3.3.3	Seulonta ja luokitus	10
3.3.4	Hydrosykloni	11
3.4	Rikastus	12
3.5	Vedenpoisto	14
3.5.1	Sakeutin ja selkeytin	14
3.5.2	Suodatus	15
4	Suunnittelu	17
4.1	Suunnittelun eri vaiheet	17
4.2	Laitoksen suunnittelun eri osa-alueet	19
5	Suunnittelun kaaviot	21
5.1	Suunnitteluohjelmistot kaavioiden laadintaan	22
5.2	Kaavioiden laatimisen ohjeistukset	23
6	Mallikaaviokirjaston laatiminen	25
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

1 Johdanto

Nykyajan yhteiskunnat ovat riippuvaisia monista maankuoren metalleista, joiden kulutus kasvaa kaiken aikaa. Metallien kierrätyskelpoisuudesta huolimatta uusia metallivarantoja täytyy jatkuvasti etsiä ja ottaa käyttöön kasvavan kysynnän tyydyttämiseksi. Jäljellä olevien vielä hyödyntämättömien malmiesiintymien heikon laadun vuoksi uusien raaka-ainesten hankinta on työläämpää ja siten kalliimpaa.

Esivalmistelut investointi-idean ja -päätöksen tekemiseksi voivat viedä vuosia alkaen malmiesiintymän etsinnästä kaivoksen perustamiseen ja mineraalien käsittelylaitoksen rakentamiseen. Kun tilaaja viimein tekee hankintapäätöksen uudelle tuotantolaitokselle, sen halutaan toteutuvan mahdollisimman nopeasti, joten tuotantolaitoksen suunnittelu-työn tehostamiselle on painetta. Suunnittelutyöhön käytettävä aika on kiristynyt saman aikaisesti, kun suunnittelun kohteena olevien prosessien vaativuus on kasvanut. Lisäksi alalla on kova kilpailu suunnittelutoimistojen ja laitetoimittajien välillä.

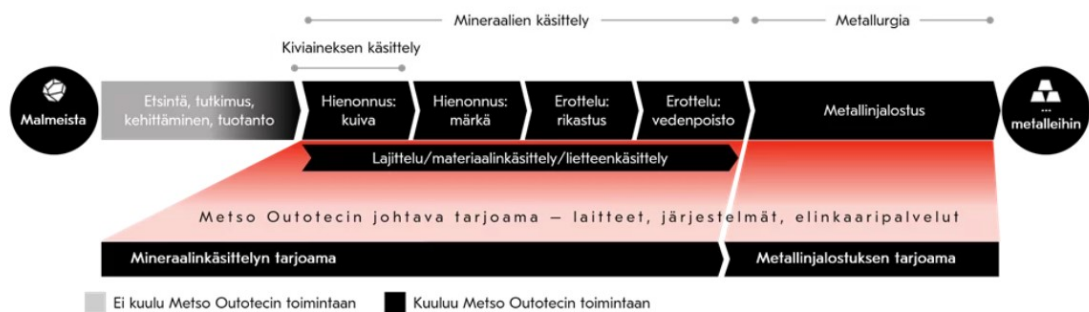
Prosessisuunnittelun tuottamat putkisto- ja instrumentointikaaviot ovat yhteisiä työkaluja useamman suunnitteluosaston työskentelyssä, ja niiden laatiminen ja muokkaaminen on sekä aikaa vievää että laitoksen toteutuksen lopputuloksen kannalta tärkeää. Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli kerätä mineraalien rikastuslaitokseen liittyvää tietotaitoa Metso Outotecin sisällä, tavoitteena suunnittelutyön tehostaminen prosessisuunnittelun näkökulmasta.

Tavoitteena oli luoda mallikaaviokirjasto keskeisimmistä rikastamon yksikköprosesseista sekä laatia ohjeistus kaavioiden yhteyteen, jotta perustelut käytännössä toimiviksi osoittautuneille prosessiratkaisuille olisivat kaikkien yrityksen suunnittelijoiden hyödynnettävissä. Tiedon kerääminen toteutettiin haastattelemalla yrityksen asiantuntijoita.

Opinnäytetyön loppuraportissa esitellään ensin mineraalien käsittelyn käsitteitä ja teknologiota sekä paneudutaan malminjalostusprosessin keskeisiin laitteisiin. Pääpaino laite-esittelyissä on niissä laitteissa, joita opinnäytetyön tutkimustyön osuus käsitteli, sillä erilaisia laitteita ja teknologioita on runsaasti. Teoriaosuudessa käsitellään myös suunnittelutyön eri osa-alueita, niin eri suunnitteluvaiheiden kuin suunnitteluhaarojen välisiä eroja ja yhdyskohtia sekä laitossuunnittelun aikana tuotettuja dokumentteja.

2 Metso Outotec

Opinnäytetyön alkaessa työnantajayrityksenä oli Outotec Oyj, joka yhdistyi Metso Mineralsin kanssa 1.7.2020. Opinnäytetyön aihe liittyy silloisen Outotecin laitevalikoimaan ja erityisesti Minerals Processing -suunnitteluosaston tyypillisiin prosessikokonaisuuksiin. Sekä Outotec että Metso toimivat aiemmin kilpailevina yrityksinä kaivosteollisuuden, mineraalienkäsittelyn sekä metallienjalostuksen teknologioiden ja laitteiden sekä laitossuunnittelun parissa. Yrityksen yhdistyessä erityisesti laitevalikoimat täydensivät toisiaan ja yrityksen palvelut ja osaaminen kattavat nykyään laajemmin koko malminjalostuksen liiketoiminta-alan, kuten kuvassa 1 havainnollistetaan.



Kuva 1. Metso Outotecin tietotaito ja laitetarjonta kattaa laajasti mahdollisuuden maankuoren luonnonvarojen kestävään hyödyntämiseen [1].

Metso Outotecilla työskentelee 50 maassa noin 15 600 asiantuntijaa, joista Suomessa noin 2 400 henkilöä sekä suunnittelutoimistoissa, tutkimus- ja kehitystyössä että konepajoilla valmistuksessa. Pääkonttori on Helsingissä, mutta suurin osa työntekijöistä työskentelee Espoon toimistolla. Lappeenrannassa valmistetaan suodattimia, Tampereella murskaus- ja seulontalaitteita. Porissa sijaitsee toinen yrityksen tutkimuslaitoksista, jossa tutkitaan esimerkiksi asiakkaiden lähettämille malminäytteille sopivia hyödyntämistapoja mm. määrittämällä näytteen mineraalikoostumus, sille sopivat prosessointimenetelmät ja laitteet, ja lopulta lopputuotteen jatkojalostusmahdollisuudet metallinjalostuksessa. Lähes kaikentyyppiset malminäytteet maailmalta on tutkittu Porissa, joten raaka-aineen arvoaineet voidaan saada talteen tehokkaasti ja ympäristön kannalta kestävästi tutkimuskeskuksen tutkimuksen ja kehitystyön avulla. [2; 3; 4.]

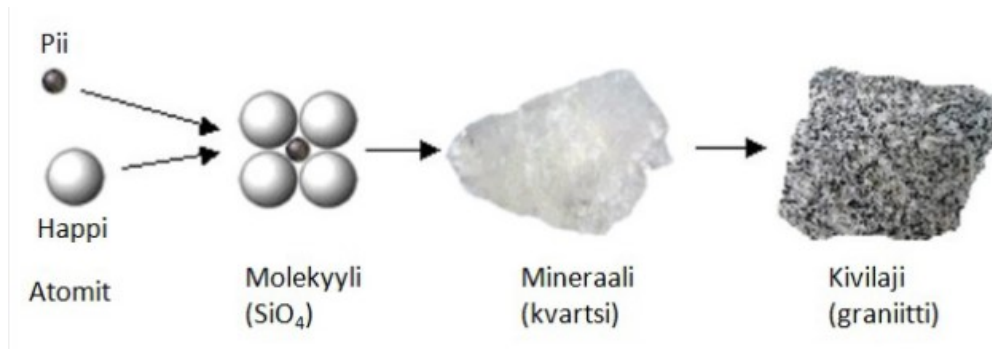
Metso Outotecin kuusi liiketoiminta-alueita ovat kivenmurskaus, mineraalit, metallit, kierrätys, kulutusosat sekä palvelut, joista ydinasiakastoimialat ovat kiviaineksen ja mineraalien käsittely sekä metallien jalostuksen tietyt alueet. Näille asiakastoimialoille tarjoamallaan teknologioilla Metso Outotec pyrkii parantamaan prosessien tehokkuutta energian ja veden säästämiseksi, sekä mahdollistamaan parempaa rikastushiekkan ja -jätteen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä sekä veden puhdistusta [1]. Yli puolet yhtiön liikevaihdosta tulee palveluista, ja suurin asiakaskunta on kaivoteollisuudessa. Asiakkaita on ympäri maailmaa [5].

Minerals Processing -liiketoiminta-alueen, jonka alaisuuteen tämä opinnäytetyö kuuluu, asiakkaina ovat suuret ja pienet kaivosyrietykset. Pyrkimyksenä on tarjota tehokkaita ratkaisuja eri malmien tuottoisaan hyödyntämiseen nojaamalla talosta löytyvään alan asiantuntijuuteen. Palvelutarjontaan kuuluu asiakashankkeiden edistäminen kokonaisvaltaisesti esitutkimuksesta toteutussuunnitteluun sekä laitoksen toteutukseen ja käyttöön-ottoon asti laitetoimituksineen ja asennuksineen. Asiantuntijuutta hyödynnetään myös laitoksen henkilöstön koulutukseen ja laitoksen koko elinkaaren palvelemiseen laitehuoltojen ja varaosatarjonnan sekä asiakkaan ongelmanratkaisun tukemiseen. [1.]

Mineraalienkäsittelyssä tarvittavia laitteita ovat muun muassa erilaiset murskaimet ja myllyt hienonnukseen, hydrosyklonit ja vaahdotuskennot sekä sakeuttimet ja suodattimet rikastamiseen. Näitä laitteita esitellään edempänä työssä tarkemmin. Lisäksi yrityksen tarjonnasta löytyy pumput, automaatio-, tuotantoprosessin hallinta ja -optimointijärjestelmät. [1.]

3 Mineraalien rikastus

Mineraali on yhdestä tai useammasta alkuainesta muodostunut epäorgaaninen yhdiste, jolla on kullekin mineraalille tyypillinen kidemuoto ja alkuainekoostumus. Mineraalit muodostavat kivilajeja, toisin sanoen kiviä, joissa on vaihteleva määrä eri mineraalien yhdistelmiä. Kullakin kivilajilla on tietty mineraalikoostumus, esimerkiksi kuvan 2 graniitti koostuu muun muassa maasälvästä ja kvartsista. Kivilajeissa yleinen kvartsi taas on mineraalinimitys pioksidille eli piin ja hapen yhdisteelle. [6, s. 1:1–2; 7; 8.]



Kuva 2. Happi ja pii muodostavat pioksidia eli kvartsia, joka on yksi graniitin mineraaleista. [9.]

Mineraaleja, joita voidaan hyödyntää kannattavasti, kutsutaan malmeiksi. Useimmiten malmit luokitellaan niiden sisältämän arvokkaan metallin mukaan, kuten rauta-, nikkeli- ja kultamalmi. [6, s. 1:1–2; 10.] Taloudellisesti kannattavan hyödyntämisen määrittävät muun muassa malmin metallisisältö ja sen erottamisen helppous, malmiesiintymän koko, lopputuotteen markkinahinnan kehitysnäkymät, energian hinta, kaivoksen maantieteellinen sijainti esimerkiksi ilmaston, poliittisten olojen, infrastruktuurin ja kaivoksen saavutettavuuden sekä saatavilla olevan työvoiman kannalta. [11, s. 28.]

Metalleilla on suuri merkitys nykymaailmassa, yhteiskunnat ovat suorastaan riippuvaisia eri metalleista. Eniten käytetyt metallit ovat rauta (teräksen valmistukseen), alumiini, kupari, sinkki, lyijy ja nikkeli [12]. Rautaa teräksen muodossa, kuparia ja alumiinia käytetään rakennuksissa, vesi- ja sähköjohdoissa, tie- ja vesiverkostoissa, sekä liikennevälineissä, elektroniikassa ja arkipäivän tavaroissa, kuten kodinkoneissa, pakkauksissa ja ruokailuvälineissä. Suomessa käytetään noin 400 000 tonnia terästä vuodessa pelkäs-

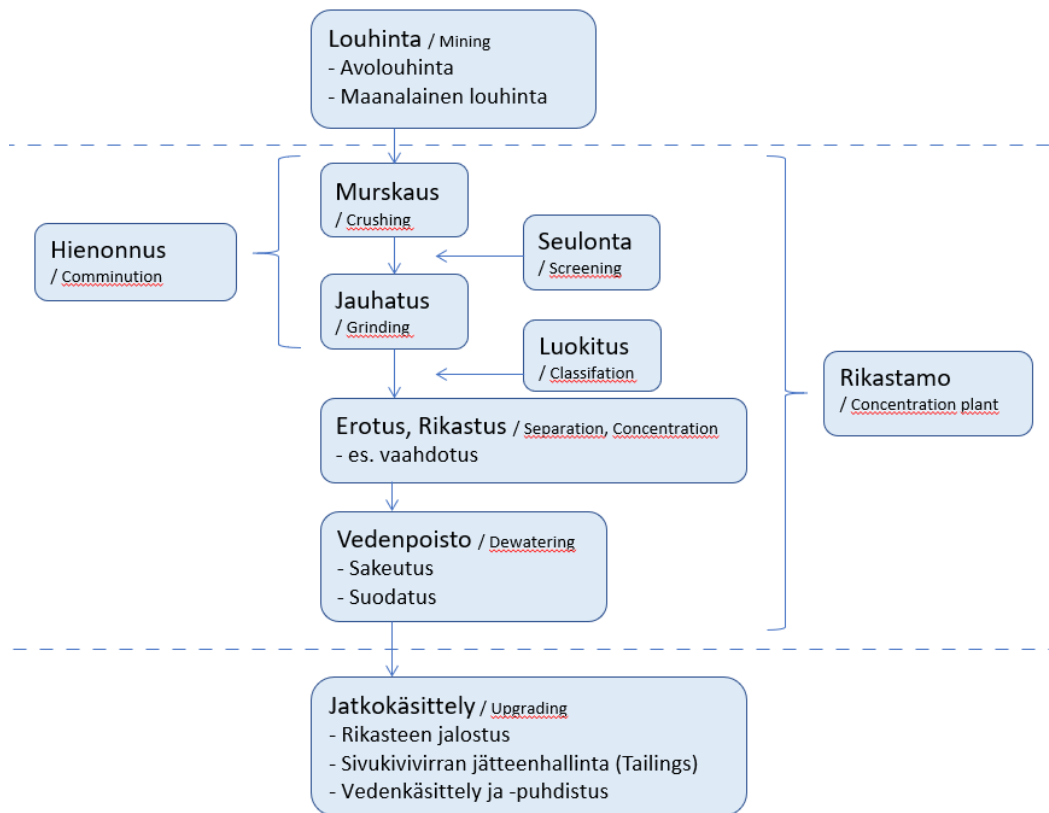
tään rakentamiseen, ja alumiiniakin 16 kg vuodessa henkilöä kohti. [12.] Suurten määrien lisäksi tarvitaan monia erilaisia metalleja, esimerkiksi älypuhelimeen käytetään yli 60:tä eri metallia, erityisesti harvinaisia erikoismetalleja [13].

Metalleja saadaan louhimalla malmia maankuoresta kaivoksissa, jotka voivat olla maanalaisia tai avokaivoksia.

3.1 Tyypillinen rikastamo ja sen laitteet

Kaivoksesta satu kiviaines on käsiteltävä, jotta se saadaan myytäväksi tuotteeksi. Haluttu tuote voi olla tiettyyn kokoon ja muotoon murskattu kiviaines tai kivistä useammalla menetelmällä erotettu mineraali tai metalli. Mineraalit saadaan erotettua kivistä *rikastamolla*, joka on kokoelma erotusprosesseja samassa tuotantolaitoksessa. Rikastamot eivät välttämättä sijaitse kaivoksen yhteydessä. [6, s. 1:3; 11, s. 29.]

Kaivoksen tuotantoprosessi koostuu yleisimmin louhinta-, hienonnus-, rikastus- ja vedenpoistovaiheista, kuten kuvan 3 lohkokaaviossa on esitetty. Louhinta ja esimurskaus suoritetaan kaivoksella, josta kiviaines siirretään rikastamolle. Eri vaiheisiin sisältyy eri erotus- ja käsittelyprosesseja, joissa malmi muuntuu asteittain arvokkaaksi lopputuotteeksi, rikasteeksi. Käytettävät osaprosessit riippuvat malmin mineraalikoostumuksesta ja halutusta lopputuotteesta. Lisäksi syntyy jätteenä sivukiveä ja prosessista poistettua vettä. Vettä tavataan puhdistaa laitoksen omaa prosessikäyttöön, jotta tuoretta puhdasta vettä tarvitsisi käyttää mahdollisimman vähän. Jätekiven hyödyntäminen on mahdollista tapauskohtaisesti, ja useimmiten se vain varastoidaan jonnekin.



Kuva 3. Tyypillinen tuotantoprosessin kulku rikastamolla. Mukana myös englanninkieliset vastineet päätermeille. [14.]

3.2 Hienonnuksen

Hienonnuksen on prosessi, jossa nimensä mukaisesti pienennetään materiaalin kokoa haluttuun partikkelikokoon. Tavoitteena on vapauttaa arvokas mineraali arvottoman jätteen seasta ja helpottaa käsittelyä. Partikkelien koonpennyksellä saadaan myös lisätyä reaktiivista pinta-alaa kemiallisille reaktioille myöhemmissä prosessivaiheissa. Hienonnuksen menetelmiä ovat murskaus ja jauhatus yhdistettynä seulontaan ja luokitteluun, joilla hallitaan hienonnuksen raekokoa. Hienonnuksen suoritetaan yleensä useassa vaiheessa, sillä eri laitteilla on omat optimaaliset toiminta-alueensa ja hienonnuksen suhteet. Tällöin karkeamman hienonnuksen tuote edelleen hienonnetaan seuraavassa laitteessa. Hienonnuksen suhde on syötteen ja tuotteen välinen kokosuhde. Kullakin laitteella on tuottamansa partikkelikokoon lisäksi laitteen syötteen maksimikoko. [15, s. 273; 6, s. 1:3, 2:4, 3:2.]

Kaivoksesta louhittujen kivenkappaleiden kokoa pienennetään murskaamalla ja edelleen jauhamalla. Murskaamista suoritetaan jo kaivoksella käsiteltävyyden ja kuljetettavuuden parantamiseksi. Murskauksen ja jauhatuksen ero on työstettävässä raekoossa. Murskausta käytetään suurissa raeko'oissa ja jauhatusta alle 50 mm:n partikkeleille. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty karkeasti eri hienonnuvaiheiden tuotteiden raekokoja. [11, s. 125–126.]

Taulukko 1. Eri hienonnuvaiheiden toiminta-alueet tuotetun raekoon mukaan. [16.]

Hienonnuvaihe	Tuotekoko minimi, mm
Louhinta	1000
Karkeamurskaus	100
Hienomurskaus	10
Karkeajauhatus	1
Hienojauhatus	0,1
Hyvin hieno jauhatus	0,01
Erittäin hieno jauhatus	0,001

Jauhatustaste valitaan sovellettavan rikastusmenetelmän mukaan, ja mineraalien riittävä toisistaan erottuminen on avain rikastamisen onnistumiseen. Sekä yli- että alijauhatus voi haitata jatkoprosesseja. Jauhatus kuluttaa paljon energiaa, joten sopivien laitteiden valinta ja tehokas hienonnuprosessi riittävän partikkelikoon saavuttamiseksi on tärkeää energian ja rahansäästön lisäksi myös koko rikastuslaitoksen toiminnan mahdollistamiseksi. [11, s. 125–126; 17, s. 175.]

Hienonnupiiri voi olla avoin tai suljettu. Avoimessa piirissä jauhettu materiaali jatkaa eteenpäin prosessissa ilman väliseulontaa. Suljetussa piirissä murskattu tai jauhettu tuote seulotaan ja tavoitekoon saavuttanut osuus jatkaa seuraavaan prosessivaiheeseen, ylikokoinen materiaali kierrätetään takaisin uudelleen hienonnettavaksi. Avoimen ja suljetun piirin yhdisteleminen on myös tavallista kustannustehokkaan prosessin löytämiseksi, ja tällöin osa hienonnulaitteista on avoimessa, osa suljetussa kierrossa. Avoin piiri esihienontaa materiaalin, jonka jälkeen suljettua piiriä käytetään hienosäätämään lopputuotteen kokoa.

Taulukossa 2 on esitetty tyypillisiä laitevaihtoehtoja suljetulle ja avoimelle hienonnuksipiirille. [15, s. 273.]

Taulukko 2. Tyypillisiä avoimen ja suljetun hienonnuksipiirin laiteyhdistelmiä. [15, s. 273.]

Avoin piiri	Suljettu piiri (+ piirin sulkeva laite)
Primääri murskain	Tertiääri murskain + seula
Sekundääri murskain	AG/ SAG + hydrosykloni
SAG/ AG/ tankomylly	kuulamyly + hydrosykloni

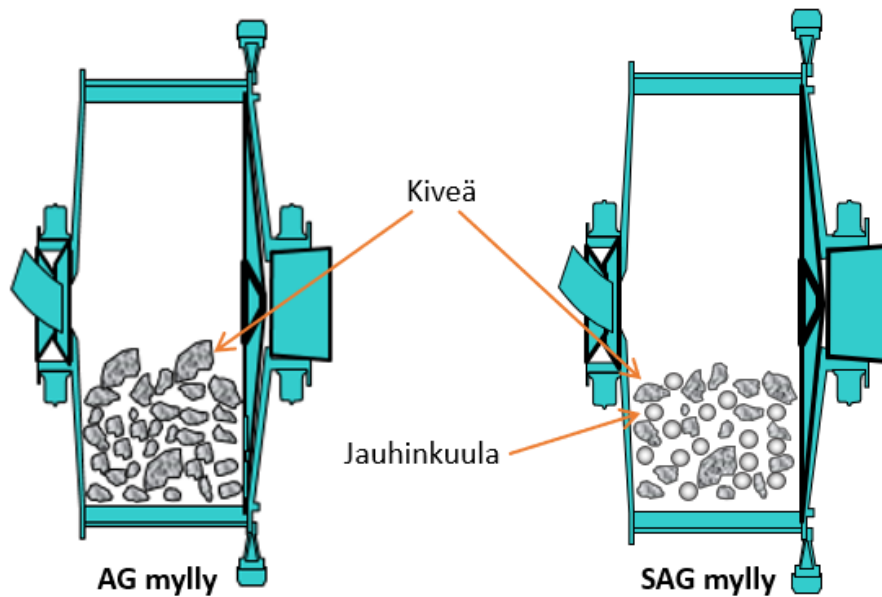
Hienonnuks on erotusprosessi, mutta se ei erottele eri materiaaleja toisistaan, vaan lopputuote on sekoitus malmin sisältämiä mineraaleja ja sivukiveä valmistettuina seuraaviin prosessivaiheisiin [11, s. 139].

3.3 Jauhatusmyllyt

Jauhatuskseen käytetään myllyjä, jotka ovat vaakasuunnassa pyöriviä rumpuja. Myllyyn syötetään malmi, vettä ja jauhinkappaleita, jotka voivat olla teräksisiä tai keraamisia kuu-
lia tai tankoja tai jauhettava malmi itse. Käytettävä jauhinkappale määrää myllytyypin. Jauhatus perustuu jauhinkappaleiden putoamis- ja vierintäliikkeeseen myllyssä, jolloin materiaali jauhautuu iskujen, puristuksen ja hiertymisen voimasta. [17, s. 175–176.]

3.3.1 Autogeenimyllyt

Autogeenimyllyissä (lyh. AG) jauhinkappaleina toimii jauhettava materiaali itse. Semiautogeenimyllyssä (lyh. SAG) jauhatus tehostetaan ja tarkennetaan lisäämällä joukkoon teräskuulia. Molemmat myllyt on esitetty kuvassa 4. Kumpaakin myllytyyppiä käytetään ensimmäisen ja toisen asteen jauhatuskseen sekä primäärimurskatun malmin käsittelyssä, jolloin voidaan välttää hienomurskauksen vaiheet. [17, s. 214–215; 18, s. 280–281; 15, s. 160; 19, s. 4].



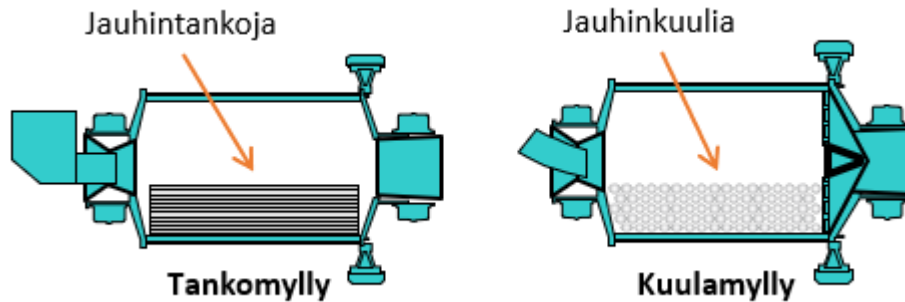
Kuva 4. Autogeenimyllyssä (AG) malmi itsessään toimii jauhinkappaleina. Semiautogeenimyllyssä (SAG) jauhatukseen osallistuu malmin lisäksi muita jauhinkappaleita, kuten teräs-palloja. [20].

AG tai SAG kuuluu melkeinpä kaikkiin nykyaikaisiin tai nykyaikaistettaviin rikastamoihin. Niiden etuna on alhaisemmat pääomakustannukset ja kyky käsitellä laajasti erilaisia malmityypppejä. AG-mylly kuluttaa vähemmän energiaa, kuin muut myllyt, joihin ladataan lisäpainoa jauhinkuulista tai -tangoista. [17, s. 214–215; 15, s. 154].

3.3.2 Kuulamylly ja tankomylly

Kuulamyllyjä voidaan käyttää kaikilla jauhatusteilla (primääri, sekundääri, tertiääri), materiaalin uudelleen jauhatukseen ja erityisesti valmistelemaan materiaali rikastusvaiheeseen. [15, s. 206; 21, s. 721; 19, s.4.] Malmin hiukkaset ovat jo pienempiä, kuin AG- tai SAG-myllyjä käytettäessä, joten kappaleiden massa ei riitä jauhamaan itseään. Myllyyn lisätään siis metallisia kuulia, joiden koko ja materiaalivalinta riippuu syötteestä; karkeampi ja kovempi tavara vaatii enemmän iskuvoimaa ja suuremmat kuulat, hienompi materiaali taas vaatii paljon pinta-alaa jauhinmedialta ja täten pienemmät kuulat. Kuulien koko vaihtelee 10 ja 125 mm:n välillä. [18, s. 251–253; 15, s. 208, 222].

Tankomyllyissä terästangot jauhavat malmin kuulien sijaan, muuten toiminta on samalainen kuin kuulamylyssä. Kumpikin myllytyyppi on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Tankomylly ja kuulamyly. [20].

Tankomyllyjä käytetään ensimmäisen asteen jauhatuksessa, esimerkiksi kuulamylyn edellä jauhatuspiirissä. Tangot sotkeutuvat myllyn sisällä helposti ja jäävät jumiin, mutta ne tarjoavat paljon pinta-alaa, joka hiertää malmia tehokkaasti pienemmäksi. [17, s. 202; 18, s. 243; 19, s. 4.]

3.3.3 Seulonta ja luokitus

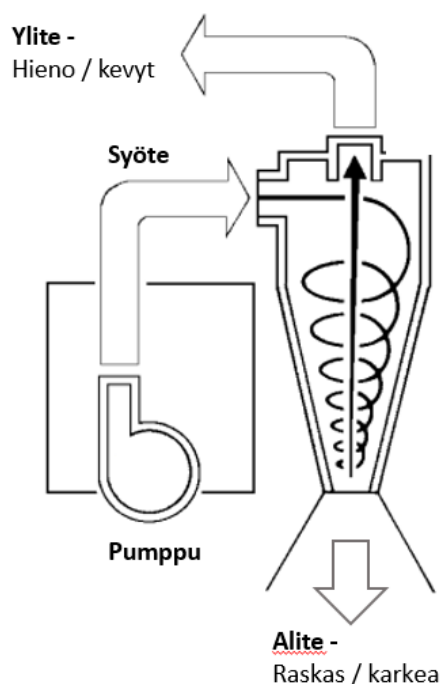
Murskaimista ja myllyistä pääsee läpi myös vain vähän hienontunutta ainesta, joka ei raekokonsa puolesta sovellu jatkoprosessiin. Seulonnalla ja luokittelulla hallitaan prosessivaiheiden ja kokojakaumaa. Karkean materiaalin (yli 1–2 mm:n) kokolajitteluun, eli seulontaan käytetään erilaisia seuloja ja säleiköitä. Sopivan hieno materiaali läpäisee tietynkokoisen seulaverkon aukot, mutta karkea aines jää seulan pinnalle ja palautetaan takaisin hienonnuksen. Seulonnassa alitteeseen päätyy hieno aines, ylitteeseen karkea. [4, s. 1–3; 6, s. 2:5, 16, s. 37, 50.]

Luokitusta käytetään hienojakoisen, alle 1 mm:n kokoisen materiaalin lajitteluun. Tavoitteena on saada tietyt raekoot erilleen käyttämällä hyväksi niiden erilaista käyttäytymistä väliaineessa, eli ilmassa tai vedessä. Luokittelun tuotevirroissa alitteeseen painuu karkea osuus ja ylitteeseen nousee hienojakoinen. Väliaineen ollessa vesi käytetään hydraulisia luokittimia, kuten raappaluokitin, spiraaliluokitin ja hydrosykloni. Pneumaattisissa luokittimissa, kuten aerosykloni, väliaineena on ilma. Luokittimista on esitetty seuraavassa tarkemmin hydrossyklonin toimintaa. [6, s. 2:5, 4:9; 16, s. 37, 50–51, 55.]

3.3.4 Hydrosykloni

Syklonierottimia käytetään jauhatuspiirissä luokittelemaan takaisin myllyille jauhatukseen palautettava osuus ja prosessissa eteenpäin etenevä osuus, jossa liian suuri partikkelikoko voi haitata jatkokäsittelyä. Käsiteltävän lietteen partikkelien koko on jo niin pieni, etteivät seulat enää ole varteenotettavia luokitteluvälineitä, sillä raekoko on 10–100 µm. [6, s. 4:9–10; 15, s. 310.].

Hydrosykloni koostuu yhteen liitetystä sylinterimäisestä ja kartiomaisesta osasta, jotka on tavallisesti valmistettu pinnoitetusta metallista. Kokonaisuuden ylä- ja alaosassa on aukot putkia varten. Kuva 6 esittää hydrosyklonin toimintaperiaatteen.



Kuva 6. Hydrosyklonin toimintaperiaate. Syklonin geometria ja syötteen sisääntulokulma luovat painehäviön, jolloin kartion keskelle muodostuu ilmapyörre. Ilmapyörre kuljettaa kevyet partikkelit ylitteeseen, kun taas raskaammat partikkelit putoavat pohjan aukosta. [6, s. 4:10 mukaan.]

Itse syklonissa ei ole liikkuvia osia, ja sitä syötetään erillisen pumpun avulla. Liete syötetään tangentiaalisesti kartion yläreunassa sijaitsevan syöttöputken kautta, jolloin liete jatkaa matkaansa pyörteisesti kartion reunoja pitkin alas. Paino- ja keskipakoisvoiman vaikutuksesta raskaat ja karkeat hiukkaset ja osa vedestä poistuu aliteaukon kautta. Hie-

nojakoisempi osuus ja suurin osa vedestä kulkeutuvat ylöspäin kartion keskustaan muodostuneen ilmapyörteen mukana ja poistuvat ylitteenä. [15, s. 309; 17, s. 261–263; 22, s. 378.]

Syklonin kartion geometria ja halkaisija, sisääntulo- ja ulosmenoaukkojen halkaisijat sekä näiden sijoittelu toisiinsa nähden määrittelevät erotustuloksen. Kartio-osan kulmaa voidaan vaihdella ja mitä pienempi kulma, sitä hienompi erotus saadaan aikaiseksi. Lisäksi syötettävän lietteen ominaisuuksilla, kuten tiheydellä ja virtausnopeudella voidaan vaikuttaa syklonin toimintaan. [15, s. 309, 320; 17, s. 261; 22, s. 367.]

Usein sykloneita liitetään useampi samaan kimppuun sykloniklusteriksi, jotta voidaan vastata syötettävän lietteen ominaisuuksien vaihteluihin muuttamalla klusterin toiminnassa olevien syklonien lukumäärää. Yksittäisen syklonin halkaisija määrittää ylitteen partikkelikoon ja syklonien lukumäärällä saadaan erotusprosessiin suurempi tuotto. Edelleen liittämällä useampi sykloni(klusteri) sarjaan voidaan hienosäätää lopullista tuotteen partikkelikokoa pienemmäksi. Sarjassa ensimmäisen syklonin ylite on seuraavan syöte. [6, s. 4:10–11; 15, s. 320; 22, s. 392.]

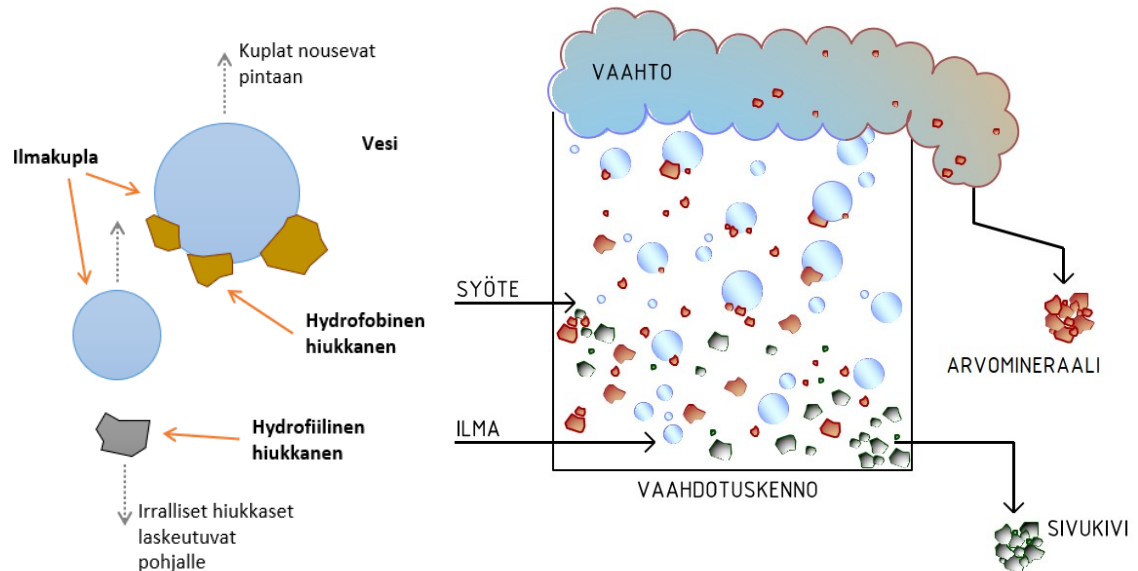
3.4 Rikastus

Edelliset erotusprosessit ovat keskittyneet saamaan arvokkaan materiaalin *irti* arvottomasta kivistä. Lopputuotetta varten ne täytyisi saada eri jakeisiin. Yksi rikastamolla tavallinen erotusmenetelmä on vaahdotus.

Vaahdotuksessa hienojakoisesta lietteestä erotetaan arvokkaat mineraalit vähäpätöisemmästä, käyttäen hyväksi kunkin mineraalinlajin hydrofobisia ominaisuuksia. *Hydrofobisuus*, eli vettähylkivyyys tai *hydrofiilisuus*, eli veteen liukenevuus on ominaisuus, joka voidaan saada aikaan sopivalla kemikaalilisäyksellä [23, s. 18, 49, 65–68].

Liete syötetään erityisiin säiliöihin eli *vaahdotuskennoihin*, jossa lietteeseen sekoitetaan ilmaa kuplien aikaan saamiseksi. Hydrofobisten aineiden pinta hylkii vettä, jonka takia hydrofobiset aineet pyrkivät kiinnittymään ilmakupliin ja nousemaan kennon pinnalle muodostuvaan vaahtoon. Vaahto kulkeutuu kennon reunan yli kanaalin kautta tankkiin,

josta liete pumpataan joko seuraavaan vaahdotusvaiheeseen tai sakeuttimelle. Hydrofiiliset partikkelit laskeutuvat kennon pohjalle ja kennosta ulos edelleen omaan pumpputankkiinsa. Edellä kuvattu prosessi on havainnollistettu kuvassa 7. [23, s. 18–19; 6, s. 5:7]



Kuva 7. Vaahdotuskennon toiminta perustuu eri mineraalien toisistaan erottamiseen ilmakuplien avulla.

Lietteen mineraalikoostumuksesta riippuu, onko haluttu tuote eli rikaste ylitteessä vaahdona vai alitteessa sakkana. Tavallisesti vaahdotus toistetaan useampaan kertaan liittämällä kennoja sarjaan. Koska jätejakeeseen jää aina vähän arvokkaita mineraaleja, myös jätteen vaahdotus voidaan kerrata, jotta mahdollisimman paljon rikastetta saadaan talteen. Kuten hienonnuksessa, myös vaahdotuspiiri voi olla suljettu, avoin tai niiden yhdistelmä. [6, s. 5:8.]

Lisätyillä kemikaaleilla on monia tehtäviä vaahdotusprosessin onnistumisen kannalta. Vaahdotteilla pienennetään veden pintajännitystä, jotta kuplien synnylle mahdollistetaan otollisimmat olosuhteet. Vaahtoa täytyy muodostua riittävästi, jotta siihen takertunut mineraalimassa saadaan kuljetettua vaahdotuskennosta pois. Vaahdon tulisi siis olla tarpeeksi kestävää kennossa, mutta rikasteränniin pudottuaan vaahdon tulisi kuitenkin hajota, jotta vaahtoisen lieteen pumppaus olisi helpompaa. Myös lieteen pH:ta säädetään vaahdotuksen selektiivisyyden lisäämiseksi, eli mineraalien jakautumista ylitteeseen tai alitteeseen. [11, s. 282; 23, s. 19, 65–70; 24.]

Käytettävät kemikaalit riippuvat lietteen mineraalien yhdistelmästä ja vaahdotusprosessille täytyy hakea tasapainoa, jotta arvokasta rikastetta saadaan talteen mahdollisimman paljon, mutta toisaalta kemikaaleja halutaan käyttää mahdollisimman vähän. Liiallinen kemikaalien käyttö on sekä kustannuskysymys että lopputuotteiden, niin jätekiven kuin rikasteen jatkokäsittelyyn vaikuttava seikka. Lopputuotteiden kemikaalikuorma vaikuttaa puhdistustarpeeseen, joka halutaan minimoida.

3.5 Vedenpoisto

Rikasteen vedenpoisto on yleensä kaksivaiheinen prosessi. Ensin rikastelietettä tiivistetään sakeuttamalla, jonka jälkeen siitä poistetaan edelleen vettä suodattamalla. Molemmissa tarkoituksena on pienentää lietteen tilavuutta, jotta jatkokäsittely sekä kuljetus ja varastointi helpottuu. Kummassakin toimenpiteessä erotettua vettä voidaan kierrättää laitoksen sisällä käytettäväksi muihin prosesseihin, joka on tärkeää varsinkin kuivilla alueilla, joissa vettä ei ole riittävästi tarjolla.

3.5.1 Sakeutin ja selkeytin

Sakeutus (tai selkeytys) on prosessi, jossa neste ja kiintoaine erotetaan toisistaan painovoiman avulla. Lietteeseen kiintoaine laskeutuu sylinterimäisen tankin pohjalle, josta se poistetaan pumppaamalla. Sakeutinaltaan halkaisija voi olla kymmeniä metrejä. Kevyempi vesi erottuu tankin pinnalle ja kirkastunut vähäkiintoaineinen vesi poistuu sakeuttimen reunan yli ränniä pitkin. Samaa prosessia kutsutaan joko sakeutukseksi, jos lopputuote on sedimentoitunut kiintoaine tai selkeytykseksi, mikäli haluttu tuote on vesi. [6, s. 6:3–6; 25, s. 2–5; 26.]

Sekä rikastetta että rikastejätettä voidaan sakeuttaa. Sakeutettu tahnamainen rikastejäte säilötään joko ulos altaisiin tai pumpataan sidosaineeseen, kuten sementtiin sekoitettuna takaisin loppuun koverrettuun kaivokseen. Tällöin koko kaivoksen hyödyntäminen voidaan maksimoida, sillä sementin avulla kovettunut jätekivi täyttää ja tukee maanalaista kaivosta. Muussa tapauksessa arvokasta mineraalia sisältävää kiviainesta jätettäisiin maan alaisiin louhosholveihin tukipilareiksi kaivoksen turvallisuuden vuoksi. [6, s. 6:30; 27; 28.]

Sakeuttimen mitoitus perustuu lietteen kiintoainepartikkelien laboratorioissa testattuun laskeutumisenopeuteen. Pienten partikkelien luonnollinen laskeutuminen on liian hidasta, joten sakeutusta tehostetaan lisäämällä flokkulanttia, joka saa partikkelit takertumaan toisiinsa kimpuiksi ja vajoamaan nopeammin pohjamassaan. [6, s. 6:3–6; 25, s. 3; 26.]

3.5.2 Suodatus

Sakeutettu rikastetahna suodatetaan, jotta kiintoaine saadaan kuivaan ja tiiviiseen muotoon. Suodatuksessa muodostuvasta kiintoainekakusta halutaan mahdollisimman, muttei liian kuivaa, jotta sen kuljetus ja käsittely on helpompaa. Liian kostea kakku on kalliimpaa kuljettaa, sillä ylimääräinen vesi lisää kakun painoa, mutta liian kuiva kakku voi pölistä. Liete on ensin sakeutettava, jotta suodatus olisi mahdollisimman tehokasta. Myös vaahdotuksessa muodostuvaa jätelietettä voidaan suodattaa, jolloin vähennetään prosessista syntyvän ja jonnekin varastoitavan hävikkilietteen määrää ja nostetaan kierätettävän veden osuutta.

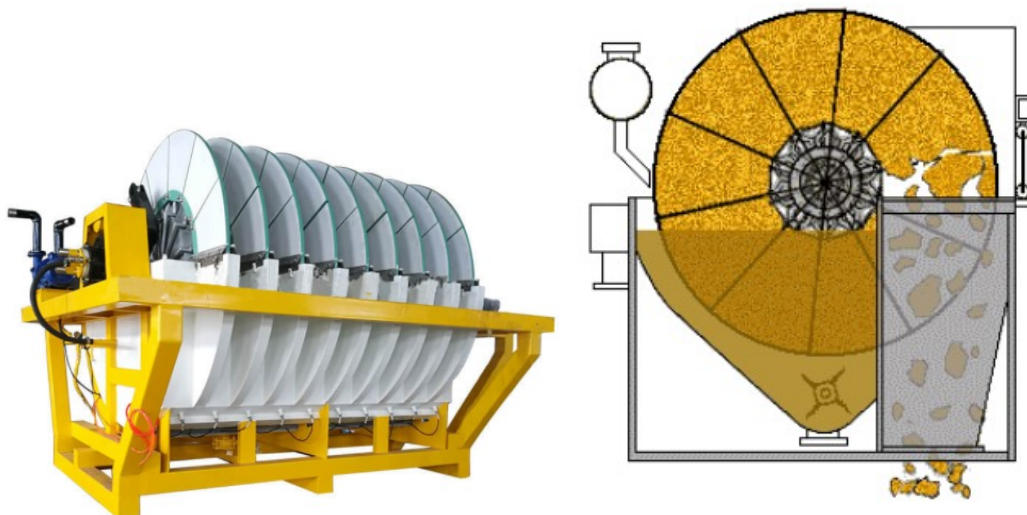
Suodatuksessa vesi ja kiintoaine erotetaan toisistaan väliaineen avulla, joka voi olla kangas tai huokoinen keraaminen levy. Oleellista on, että suodatinmedian huokokset ovat niin pieniä, etteivät lietteen partikkelit läpäise sitä, jolloin filtraatti, eli suodos pysyy kirkkaana ja mahdollisimman paljon kiintoainetta saadaan talteen suodatuskakuun. Suodatinkangasta voidaan pestä suodatussyklin aikana tukkeutumisen estämiseksi, ja ajoittain kankaat täytyy vaihtaa uusiin. [21, s. 13, 42; 29.]

Painesuodatuksessa lietettä pumpataan suodattimen suodatuskammioon, jossa liete työnnyttää pumppauksen aiheuttaman paineen vuoksi kangasta vasten. Kankaan läpi suodattuu *filtraatti* eli lietteestä erottuva vesi tai muu kantava neste, ja kankaan pintaan kertyy kiintoaine, jota kutsutaan *kakuksi*. Kun kakkua on muodostunut riittävästi suodattimeen ohjelmoitujen asetusten, eli niin kutsutun reseptin mukaan, syötetään ilmaa tai vettä paineella kammion reunoilla oleviin tiiviisiin kalvoihin, jolloin niiden tilavuus kasvaa ja vastaavasti tila lietteelle kammiossa pienenee. Näin kammiossa olevasta kakusta puristuu se osuus vedestä, jota pelkällä pumpun paineella ei saatu erotettua. Painesuodatusprosessi on panostoimista, eli kerralla suodatetaan vain tietty tilavuus ja valmista kakkua saadaan tietyin väliajoin. [25, s. 8–14; 30; 31.]

Tarvittaessa voidaan kakku vielä pestä. Tämän jälkeen kammioon puhalletaan kuivausilmaa, jotta kakun kosteus saadaan minimoitua ja halutulle tasolle. Kuivauksen jälkeen suodattimen pohjaluukku avautuu ja kakku putoaa kammiosta ulos kuljettimelle, joka siirtää kakun varastoon. Suodatussyklin jälkeen suodatinkangas pestään korkeapaineisella vedellä, jotta kankaan tukkeutuminen vähenee ja suodatustulos pysyy tasaisena. [31.]

Imusuodatuksessa liete on altaassa, josta vesi imetään pyörivän keraamisen tai kankaalla päällystetyn kiekon läpi. Kakku muodostuu kiekon pintaan, josta se irrotetaan kaapimalla tai puhaltamalla ilmaa kiekon taakse, lietteen pinnan yläpuolella olevasta osuudesta. Keraamisten kiekkojen huokoisuus edistää imutehoa kapillaari-ilmiöllä. [25, s. 8–23; 32.]

Kuvassa 8 on imusuodattimiin kuuluva kiekkosuodatin. Muita alipaineella toimivia suodatintyyppejä ovat rumpusuodatin ja nauhasuodatin.



Kuva 8. Kiekkosuodatin on imusuodatin. Kakku muodostuu pyörivän kiekon pintaan, josta se irrotetaan kaapimalla tai puhaltamalla ilmaa kiekon taakse. [33.]

Imusuodatus soveltuu jatkuvaan toimintaan, eli lietettä voidaan pumpata suodattimeen koko ajan, ja vastaavasti kakkua ja filtraattia tuotetaan tauotta. [30.]

4 Suunnittelu

4.1 Suunnittelun eri vaiheet

Mineraalien käsittelylaitosten pääoma- ja käyttökustannukset ovat suuria, ja suuren laitoksen hankinta voi maksaa useita satoja miljoonia euroja [34]. Toimivan ja tuottoisan ratkaisun löytämiseen on siis panostettava paljon jo hankeidean alusta lähtien, jotta turhilta kustannuksilta ja harha-askelilta vältyttäisiin. Mineraalien käsittelyssä kaivoksen perustamisen kannattavuus riippuu louhitun malmin jalostettavuudesta myytäväksi tuotteeksi kaikkien kulujen kattamiseksi ja tuoton saavuttamiseksi.

Uuden tuotantolaitoksen rakentaminen sen tarpeen ja idean synnystä hankkeen suunnitteluun ja toteutukseen on pitkä prosessi, joka lähtee käyntiin esisuunnittelusta. *Esisuunnittelun* aikana hankeideaa tutkitaan, jotta saadaan selville, minkälaisia edellytyksiä hankkeen toteutumiselle on, ja minkälaisella teknologialla ja tuotantoprosessilla idea saadaan kannattavaksi ja toteuttamiskelpoiseksi. Esisuunnittelun aikana kartoitetaan riskit ja ongelmat, jotka suunnittelun ja toteutuksen aikana voivat tulla eteen. Esisuunnittelun aikana hahmotellaan konseptia tuotantoprosessista, laaditaan prosessin lohko- ja virtauskaavio sekä alustava layout. Myös alustavia laitevalintoja ja niiden mitoituksia tehdään, sillä ne vaikuttavat kustannuksiin paljonkin. Lisäksi kerätään ne tekniset tiedot, joilla jatkosuunnittelu mahdollistuu. Suunnittelun aikana saatava hankkeen kustannusarvio on vielä raaka, tarkkuudeltaan tyypillisesti 30–50 % suuntaan tai toiseen. [35, s. 3–4; 36, s. 28; 37, s. 4; 38, s. 1.]

Toteuttamiskelvottomat hankkeet hylätään, mutta potentiaalia osoittaneet investointi-ideat jatkavat seuraavaan vaiheeseen, *perussuunnitteluun*, jonka aikana laitosta suunnitellaan tarkemmin lopullisen investointipäätöksen tekemiseksi tueksi. [35, s. 3–4; 36, s. 28; 37, s. 4.]

Esisuunnittelun perusteella saadut dokumentit luovat pohjan perussuunnittelulle, jonka perimmäinen tehtävä on tarkentaa hankkeen kustannusarviota sekä tuottaa sellaista suunnitteludokumentaatiota, jolla laitos voidaan päättää hankkia eli siirtää tarkemman suunnittelun piiriin. Tässä vaiheessa kustannusarvio tarkentuu noin 10–15 %:iin lopullisesta. [35, s. 4–5; 36, s. 28; 37, s. 4; 38, s. 2.]

Perussuunnittelun aikana laitoksen konsepti hiotaan lopulliseksi. Esisuunnittelun aikana hahmotellut prosessit ja laitevalinnat varmistetaan ja pyritään lukitsemaan. Laitoksen sijoittelusuunnitelmaa ja virtauskaavioita täsmennetään, ja tämän pohjalta laaditaan ensimmäiset putkisto- ja instrumentointikaaviot. Perussuunnittelussa tuotetut dokumentit toimivat teknisenä pohjana tarjouspyynnöille toteutusvaihetta varten, ja niillä voidaan hankkia kohteen yksityiskohtainen suunnittelu ja laitteet. [39, s. 5–6; 36, s. 28; 37, s. 4; 38, s. 2.]

Kun laitoksen investointipäätös on tehty, aloitetaan *toteutussuunnittelu*. Toteutussuunnittelu saattaa loppuun laitoksen toteuttamiseen tarvittavat suunnitelmat. Tässä vaiheessa on jo melko tarkasti määritelty lopputuloksen tekninen toteutus prosessin osalta, kustannukset sekä aikataulu. Muutoksien tekeminen aiheuttaa paljon lisätyötä ja viivästyksiä suunnittelupöydällä, valmistuspajoilla ja pahimmillaan rakennustyömaalla. Toteutussuunnittelun yksityiskohtaisten dokumenttien avulla kaikki materiaalit, putkistot ja laitteet voidaan hankkia, valmistaa ja asentaa, ja laitos voidaan rakentaa ja ottaa lopulta käyttöön. Myös laitoksen käyttö ja kunnossapito on usein osa suunnitelmia. [35, s. 4–5, 7; 38, s. 2; 39, s. 5–6.]

Kaivosteollisuudessa rikasteen jatkojalostustuotteen maailmanlaajuinen markkinatilanne vaikuttaa laitosten toteutusaikatauluihin, jolloin esisuunnittelun ja toteutusvaiheen välillä voi olla jopa useita vuosia, kun laitokselle epäsuotuisassa taloustilanteessa projekti on laitettu jäihin odottamaan lopputuotteen myyntihinnannousua tasolle, jolla investoinnit on mahdollista kattaa.

Siirtyessä suunnitteluvaiheesta toiseen käytettävät työtunnit karkeasti arvioiden kymmenkertaistuvat. Esimerkiksi esisuunnittelussa koko suunnitteluun voi olla varattuna 1000 tuntia, mutta yksityiskohtaisessa toteutussuunnittelussa tunteja onkin käytettävissä jo 100 000 tuntia. [40]. Mitä pidemmälle suunnitteluun vaikuttavien päätösten lukkoon lyöminen vie, sitä enemmän mahdollisten muutosten vieminen suunnitelmiin haittaa lopputuloksen valmistumista, sillä toteutusvaiheessa mikään muutos ei ole enää pieni vaan vaikuttaa useisiin suunnittelujaostoihin. Myös suunnitteluvirheiden korjaaminen on kalliimpaa projektin edetessä.

4.2 Laitoksen suunnittelun eri osa-alueet

Laitoksen suunnittelussa on mukana monia eri suunnitteluosastoja, jotka kukin vastaavat omista osuuksistaan tehokkaan ja toimivan laitoksen toteuttamiseksi.

Prosessisuunnitteluosasto on mukana jo laitoksen esisuunnitteluvaiheessa määrittelemässä tuotantoprosessia. Suunnitteluvaiheen aikana *metallurgi* hahmottelee tuotantoprosessin mm. erilaisten mallinnusten avulla ja muodostaa sen perusteella tuotantoprosessin lohko-kaavion ja prosessikuvauksen sekä massa- ja energiataseet. Lisäksi metallurgi laatii prosessille muut suunnittelu- ja mitoituskriteerit. Metallurgi myös valitsee ja mitoittaa prosessin päälaitteet ja tukee prosessi-insinöörin työtä hankkeen seuraavissa suunnitteluvaiheissa.

Prosessi-insinööri laatii prosessia tarkemmin kuvaavat kaaviot, eli virtaus- ja PI-kaaviot, sekä mitoittaa tarkemmin prosessin apulaitteet, pumput ja putkistot. Lisäksi prosessi-insinöörin tehtäviin kuuluu koostaa eri laitteiden lähtötietolomakkeet sekä putki- ja venttiililistat. Metallurgi siis alustaa prosessi-insinöörin työtä luomalla tuotantoprosessin konseptin, jonka yksityiskohtaisen toteutuksen suunnittelee prosessi-insinööri. Joskus kokenut prosessi-insinööri voi toimia metallurgin tehtävissä, jos projektissa ei syystä tai toisesta ole erillistä metallurgia. Kaavioiden laatiminen voi olla myös erikseen nimetyn *kaavioinsinöörin* tehtävä, ja kaavioita voidaan toisaalta tuottaa alihankintana.

Varsinainen *laitossuunnittelu* suunnittelee laitoksen tilankäytön ja sijoittelun sekä laitteet, putkistot ja teräsrakenteet prosessisuunnittelun perusteella. Suunnittelun tuloksena laitoksesta on mahdollista saada ennen kaikkea toimiva ja helposti huollettava sekä turvallinen kokonaisuus. Suunnittelun on noudatettava useita standardeja ja viranomais määräyksiä. Laitossuunnittelu sisältää alalajeina layout- ja putkistosuunnittelun, teräsrakennesuunnittelun sekä kone- ja laitesuunnittelun. [41, s. 3; 36, s. 4–6.]

Layoutsuunnittelun tehtävänä on sijoittaa tuotantolaitos annetulle alueelle. Laitosrakennuksen ulkopuolella järjestellään turvallinen liikennöinti ja ulos sijoitettavat muut tilat. Rakennuksen sisällä suunnittelu huomioi yksittäisten laitteiden sijoittelun toisiinsa nähden ja prosessin vaatimusten mukaan, sekä järjestää kulku- ja hätäpoistumistiet ja erilaiset tasot, laitteiden huollon vaatimat tilat ja tilat kaikelle tekniikalle ja putkille. Layoutsuunnittelu tuottaa rakennussuunnittelun tarvitsemat lähtötiedot. [36, s. 4–6: 42, s. 3.]

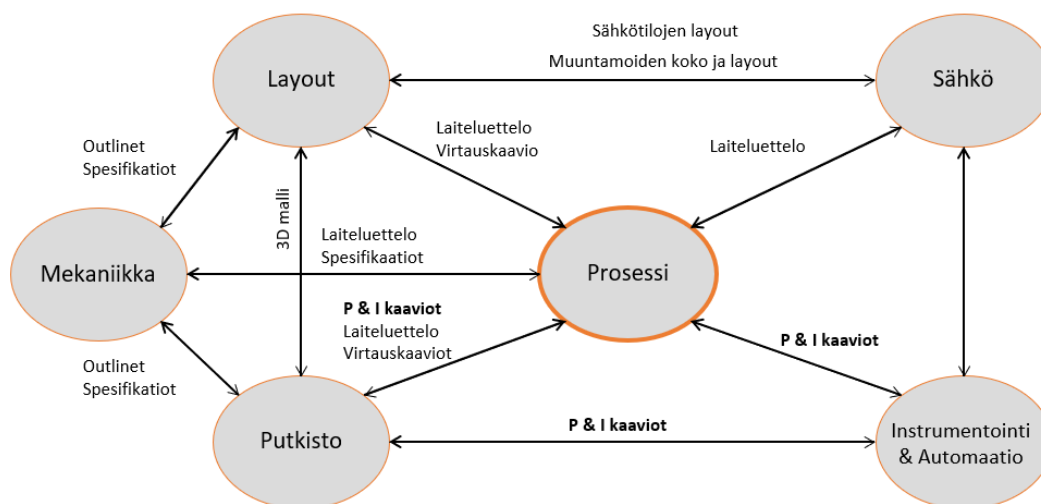
Putkistosuunnittelu suunnittelee laitoksen tarvitsemat putkistojen reititykset prosessin toiminnan optimoimiseksi ja koostaa putkistojen materiaaliluettelot. Suunnittelu pohjautuu prosessisuunnittelun aineistoon, erityisesti PI-kaavioihin sekä alustavaan layout-suunnitelmaan. Putkien kannakointi, jousto- ja laajenemisvarat, mahdolliset kaatokulmat ja käyrien säteet sekä eristysten vaatima tila vaikuttavat kaikki putkien reititykseen. [36, s. 5; 42, s. 6–7; 41, s. 3, 11–12; 35, s. 11.]

Teräsrakennesuunnittelussa suunnitellaan ne teräsrakenteet, jotka liittyvät laitteiden ja putkistojen tukemiseen ja kannatukseen sekä tuotantolaitoksen kunnossapitoon ja käyttöön [36, s. 6].

Lisäksi laitoksen suunnittelussa on omat tarpeensa sähkö-, käynnissäpito-, rakennus- ja LVISAP-suunnittelulle (lämpö-, vesi-, ilmastointi-, sähkö-, automaatio ja palojärjestelmät). *Automaatio- ja instrumentointisuunnittelu* vastaa prosessin instrumentaatiosta ja automatiikasta prosessisuunnittelusta saatavien lähtötietojen perusteella. [36, s. 6–11.]

Instrumentteihin kuuluvat erilaiset mittaukset ja automaattisesti toimivat säätö- ja sulkuventtiilit. Verrattuna vanhanaikaisiin, pääasiassa ihmisten varassa toimiviin laitoksiin, jossa operaattorit tarkkailevat ja säätävät käsin prosessia, laitoksen automaatiolla ja instrumentoinnilla voidaan saavuttaa tehokkaasti toimiva prosessi, joka pystyy vastaamaan nopeasti muuttuviin olosuhteisiin, esimerkiksi pitämään lietteen pumppauksen vakiona säätämällä virtausta. Lisävarustelu ja automatiikka lisäävät toki hankinta- ja huoltokustannuksia.

Eri suunnitteluosastojen, nk. *disipliinien* yhteistyön ja viestinkulun sujuvuus on avainasemassa onnistuneessa suunnittelussa. Monesti suunnitteluosastojen tuottamat dokumentit valmistuvat useamman disiplinaarisen vuorovaikutuksessa, ja tarvitsevat toisiltaan lähtötietoja. Kuvassa 9 on havainnollistettu osastojen välistä tiedonkulkua ja sen apuna käytettäviä sekä sen tuloksena yhteistyössä muokattavia dokumentteja.



Kuva 9. Erisuunnitteluosastojen väliset vuorovaikutussuhteet ja disipliinien välisessä kommunikaatiossa käytettävät suunnitteludokumentit. PI-kaavioita käytetään usean eri osaston suunnittelun apuvälineenä, jotka osaltaan vaikuttavat lopullisen kaavion yksityiskohtien sisältöön prosessisuunnittelun lisäksi. [43.]

Kuten kuvasta 9 huomataan, PI-kaaviot hioutuvat usean eri suunnitteluosaston työpä-noksestä ja kukin suunnittelualue tuo kaavioon lisää siinä esitettävää tietoa.

5 Suunnittelun kaaviot

Prosessisuunnittelu tuottaa useita erilaisia kaavioita havainnollistamaan suunnittelun kohteena olevaa prosessia. Kukin kaavio on viestintäväline eri suunnitteluosastojen vä-lillä, mutta toimii työkaluna kommunikaatiossa myös hankeen tilaajan kanssa.

Lohkokaavio esittää prosessin yksinkertaistettuna havainnollistamalla laatikoin ja nuolin eri prosessialueiden väliset yhteydet. *Virtauskaaviossa* eri prosessialueita merkitsevät laatikot on korvattu prosessin päälaitteita kuvaavin symbolein, jotka on yhdistetty pro-sessissa virtaavia aineita kuvaavin virtausnuolin. Virtauskaavion yhteydessä esitetään usein prosessin massatase. Virtauskaavioista voidaan laatia putkisto- ja instrumentoin-tikaaviot, eli *PI-kaaviot*, jotka esittävät prosessin teknisen toteutuksen yksityiskohtaisesti. Virtauskaavioista voidaan arvioida tarvittavien PI-kaavioiden lukumäärää.

PI-kaavioissa esitetään kaikki prosessin laitteet ja niiden väliset putket, instrumentit, venttiilit ja muut putkistovarusteet sekä mittauspisteet ja säätöpiirit. Kussakin kaaviossa

pyritään esittämään yksi looginen kokonaisuus, toisin sanoen kaavion laitteet liittyvät toisiinsa ja sijaitsevat samassa osassa prosessin jatkumoa.

Laitteet ja muut prosessiin liittyvät apulaitteet, kuten venttiilit kuvataan tarkoitusta varten laaditun standardin tai muun sovitun tavan mukaisin symbolein. Kaavioissa käytettävät symbolit ja muut merkinnät kerätään legendakaavioon. Symbolit noudattavat kansainvälisiä standardeja, jotta eri osapuolet voivat ymmärtää ja tulkita kaavioita yhteisymmärryksessä. Asiakkaalla saattaa olla myös oma legendansa, jota projektissa halutaan käyttää. [44, s. 240; 39, s. 21–22.]

PI-kaavio on yksi tärkeimmistä dokumenteista, jolla prosessin suunnitelmaa esitellään asiakkaalle, 3d-mallinnuksen ohella. Asiakas ja muut suunnittelutahot kommentoivat kaavioita, jolloin prosessisuunnitelma kehittyy ja tarkentuu. PI-kaavioissa esitettävät prosessin perustiedot ovat pohjana putkistosuunnittelulle sekä automaatio- ja asennuspiirustusten laadintaan. Ennen laitoksen käyttöönottoa kaavioiden avulla voidaan kouluttaa henkilökuntaa huolto-, käyttö- ja kunnossapitotehtäviin. [44, s. 240; 39, s. 28.]

5.1 Suunnitteluohjelmistot kaavioiden laadintaan

Metso Outotecillä on käytössä eri suunnitteluohjelmistoja virtaus- ja PI-kaavioiden työstämiseen. Eri ohjelmistojen käytöllä saadaan eri hyödyt projekteille, ja useimmiten käytössä on MicroStation, jonka käyttö ja oppiminen on varsin helppoa.

MicroStationilla pystytään tuottamaan sekä virtaus- että PI-kaavioita nopeasti, mutta venttiili- ja putkiluetteloiden laatiminen ja muokkaaminen Excelillä on pitkälti käsityötä. MicroStation käyttää vektorigrafiikkaa objektien ja piirroselementtien luomiseen. Standardin mukaiset kaaviopiirrosmerkit on saatavilla apuohjelma Ece-PID:n kautta. [45; 46.]

Vaativampaan käyttöön on tarjolla Aveva Diagrams, jolla voidaan hyödyntää tietokannan liittäminen graafiseen piirroksen. Jokaiselle kaavion objektille kirjataan attribuuttitiedot tietokantaan, esimerkiksi putkelle sen koko, materiaali sekä alkupiste ja loppupiste. PI-kaavioista voidaan tulostaa putki- ja venttiililistat suoraan ja muutokset päivittyvät automaattisesti. Tietokannan tarkoitus on pystyä jakamaan tietoa keskitetysti ja tehokkaasti eri

suunnitteluosastojen välillä, sillä esimerkiksi laitteen nimen muutos laiteluettelossa päivittyy kaikkiin muihin dokumentteihin, jossa kyseinen laite esiintyy. [47; 48.]

Aveva Diagramsin sujuva käyttö vaatii kuitenkin aikaa ja vaivaa suunnittelijalta, eikä sitä käytetä lyhyissä tai perussuunnitteluvaiheen projekteissa. Ohjelmistolla voidaan tuottaa vain PI-kaavioita, joten välttämättömien virtauskaavioiden luomiseksi on käytettävä muita ohjelmistoja, kuten MicroStationia.

5.2 Kaavioiden laatimisen ohjeistukset

Kaavioiden sisältöä ohjaamaan on laadittu useita kansallisia ja kansainvälisiä standardeja. Käytettävät standardit valitaan projektin alkuvaiheessa ja ne hyväksytetään asiakkaalla. Asiakkaalla voi olla myös omia standardeja ja muita teknisiä määräyksiä, joita halutaan käytettävän yleisessä jaossa olevien virallisten standardien sijaan, esimerkiksi putkiluokkiin, virtaavien aineiden ja laitteiden tunnusten muodostamiseen sekä PI-kaavioiden piirrosmerkkien esittämiseen. Standardien ohjeet on tarkoitettu lähinnä yleisohjeiksi vähimmäistietojen esittämiseksi ja yhdenmukaisen esitystavan luomiseksi, eivätkä ne ota kantaa prosessiin liittyvään asiasisältöön.

Eri suunnitteluvaiheet heijastuvat kaavioiden sisältöön. Perussuunnittelun aikaisissa kaavioissa esitetään alustavat, sillä hetkellä saatavilla olevat tiedot, kun taas toteutus-suunnittelun kaaviot ovat hyvin yksityiskohtaisia ja suunnittelu-arvot ovat lopullisesti varmistuneet. Metso Outotecilla on laadittu laadunvarmistusdokumentti, jota käytetään varmistamaan kaavioiden minimisisältö ja tietojen tarkkuuden taso tietyssä vaiheessa projektin toimitusta. Dokumentin avulla pystytään paremmin hallitsemaan tuotettujen PI-kaavioiden sisältöä, jotta ne ovat projektista toiseen ja kaavioiden laatijasta riippumatta samatasoisia.

Laadunvarmistusdokumentissa on listattu vähimmäisvaatimukset suunnitteluvaiheiden välietappien kaavioiden sisällölle. Välietapit sijoittuvat eri suunnitteluvaiheiden väliin, esimerkiksi siirryttäessä perussuunnittelusta toteutussuunnitteluun. Kaaviossa esitettyjen tietojen varmuusaste on myös määritetty kyseisessä dokumentissa, jotta tiedetään, onko

kyseinen tieto kussakin projektivaiheessa vasta alustavaa vai lopullista tietoa. Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä eri suunnitteluvaiheiden vähimmäisvaatimuksista PI-kaavioille.

Taulukko 3. PI-kaavion sisältämä tiedon määrä kasvaa ja kypsyy projektin edetessä.

A = alustava tieto L = lopullinen tieto	Perussuunnittelun alkupuoli	Perussuunnittelun loppupuoli	Toteutussuunnittelun alkupuoli	Toteutussuunnittelun loppuvaihe, Rakennusvaihe
PI-kaavion sisältö				
Kaikki laitteet ja niiden nimet ja tunnuksot esitetty kaavioissa	A			
Tankkien yhteiden lukumäärä, yhteiden koot	A		L	
Prosessivirtojen tunnuksot sekä tulo- ja lähtöosoitenuolet.	A		L	
Kaikki prosessi- ja käyttöhyödykeputket esitetty, putkitunnukset, alustava koko ja putkimateriaali, eristyksen tarve	A	L		
Kaikilla prosessiputkilla putkitunnus, lopullinen koko ja putkimateriaali			L	
Eri tahojen suunnittelu- ja toimitusraajat	L			
Käsiventtiilit ja niiden määrittelyt	A		L	
Putkienharjojen keskinäinen järjestys lopullisen putkistosuunnitelman mukaan				L
Mittaukset ja säädöt	A	L		
Automaattiventtiilit	A	L		

Tarkastuslistojen avulla kaavionlaatija voi seurata suunnitteluvaiheen edistymää ja aikatauluttaa työskentelynsä ja työpanostuksensa oikein sekä varmistaa tuotettujen dokumenttien laadun. Laadunvarmistusdokumentti ei kuitenkaan ota kantaa prosessiratkaisuihin.

Tilaaaja yrityksen tapauksessa uusi taloon tullut ja aloitteleva suunnittelija käy itsenäisesti mm. kevyitä online-kursseja suunnitteluohjelmistojen käyttöön ja yrityksen teknologio-

den tutuksi tekemiseksi. Myös syvällisempää koulutusta eri aiheista järjestetään. Työntekijän kehittämisessä paino on työnlomassa oppimisessa ja tiedon kartuttamisessa kokeneempien kollegojen avulla.

Opinnäytetyön tilanteen yrityksen tapauksessa haluttiin muodostaa suunnitteluohjeistus kaavioiden laatimiseksi, sillä tässä työssä tavoitellun kaltaista kirjallista ohjeistusta ei ollut saatavilla yrityksen sisällä tai yleisesti. Tapana on ollut, että suunnittelija poimii sopivan prosessin kaaviot pohjiksi aiemman projektin tai projektien kaavioista. Kaavioiden työstö pohjautuu lähinnä omaan tai kollegan kokemukseen. Tyypillistä on, ettei malliksi valitun projektin erityispiirteitä ja näistä syistä tehtyjä projektikohtaisia ratkaisuja ole tiedossa kaaviot kopioineella kaavionpiirtäjällä, ellei hän itse ole ollut kyseisessä projektissa mukana. Nämä räätälöidyt ratkaisut eivät välttämättä ole tyypillisiä tai hyviksi havaittuja peruskohteessa. Kaaviossa saattaa olla mukana myös virheitä, kuten vääriä putkituksia tai venttiilijärjestelyitä.

Laitoksen rakentamisen ja käyttöönoton aikaset muutokset suunnitelmiin sekä korjatut virheet voidaan korjata nk. *As Built* -kaavioihin, mutta kovinkaan usein tätä ei tapahdu, ellei asiakas ole erikseen loppudokumentaatiota tilannut. Projektin päätyttyä muutokset eivät päädy dokumentteihin, tai ainakaan kaavionlaatijan nähtäviksi, jolloin palaute laitoksen toimivuudesta hienosäätötasolla sekä kaavioiden täyttämä tehtävä tiedonvälityksen välineenä jää saamatta.

6 Mallikaaviokirjaston laatiminen

Aiheen määrittelyssä päätettiin aihe jakaa osaprosesseihin, sillä kaaviot luonnollisestikin tilantarpeen vuoksi jakautuvat projektissa niin, että kukin yksikköprosessi esiintyy omalla PI-kaaviollaan. Kaavioiden toteutustyökaluksi valittiin MicroStation-ohjelmisto, sillä se oli yrityksessä laajasti käytössä ja ohjelmistolla työstettyjä referenssiprojekteja löytyi runsaasti. Lisäksi ohjelmisto oli opinnäytetyön tekijälle tuttu entuudestaan. Myös Aveva Diagramsin käyttöä harkittiin, jotta opinnäytetyön tuloksena rakentuva kirjasto olisi tulevaisuudessa mahdollista syventää ohjelmiston ominaisuutena olevaan tietokantaan tallennettavalla suunnittelutiedolla. Kuitenkin todettiin, että allekirjoittaneella ei ollut kokemusta Avevan käytöstä, ja hiukan vaativan ohjelmiston haltuun ottamiseen kuluisi huomattava aika. Lisäksi talon sisällä Aveva Diagramsin parissa työskenteli tuntuvasti vähemmän

suunnittelijoita, kuin MicroStationin, joten Avevalla kaaviokirjaston hyödynnettävyys olisi saattanut jäädä pieneksi.

Teoriaosuutta varten kartoitettiin, oliko yleisesti tai yrityksen sisäisesti saatavilla min-käänlaisia ohjeistuksia tai oppaita kaavioiden laadintaan ja erityisesti kullekin osaprosessille erityisiä nyrkkisääntöjä. Jonkinlaisen suunnitteluohjeisuuden laatiminen vaikutti olevan tarpeen, sillä suoraan työn aiheen mukaisia oppaita ei ollut saatavilla.

Esipalaverissa, johon osallistui eri suunnitteluosastojen vetäjät, määritettiin ne kiinnostavat osaprosessit, joista tyyppikaavio oli tarpeen. Sekä vanhojen projektien jäljiltä että tuotelinjoilta oli kaavioita olemassa ja saatavilla, mutta kullekin osa-alueelle oli tarjolla eri toteutusvaihtoehtoja, joiden valinnasta ei ollut selkeyttä ja yhtenäistä sovittua linjaa. Näiden suunnitteluvalintojen perustelut ja dokumentointi oli kriittistä. Esipalaverissa listattiin myös haastateltavat henkilöt, joiden kokemukseen tyyppikaavioiden sisällön oli tarkoitus perustua.

Haastatteluiden pohjaksi valittiin erään vanhan projektin PI-kaaviot, joissa oli erityisen hyvin onnistuttu laitoksen toimivuuden ja kaavioiden sisällön osalta. Näitä kaavioita ei kuitenkaan ollut voitu käyttää sellaisenaan tyyppikaavioina, sillä niiden visuaalinen ilme ja piirrosten elementtien käyttämät tasot oli kyseistä projektia varten kustomoitu. Edellä mainitun projektin kaavioiden lisäksi mukaan otettiin muutamia muita projekteja, joiden prosessiratkaisuiden tiedettiin olevan sellaisia, joita ei haluta standardiratkaisuihin mukaan. Haastattelujen aikana vertailtiin eri projektien osaprosessien kaavioita toisiinsa ja merkittiin ylös hyvät ja mallikaaviomielessä huonommat tavat toteuttaa PI-kaavio merkinnät sekä prosessiratkaisut.

Vaikka esipalaverissa oli listattu parikymmentä henkilöä, joiden tiedettiin olevan kokeneita omilla osa-alueillaan, tiivistyi haastattelukierrosten aikana parin erityisen kokeneen suunnittelijan ydinryhmä, joiden näkemyksiin työn lopputulema pohjautui. Tämän ryhmän suunnittelijoiden kanssa käytiin useampi haastattelukierros ja tyyppikaavioiden katselmoinnit.

Tyyppikaaviot luotiin muokkaamalla olemassa olevia eri projekteista lähtöisin olevia referenssikaavioita haastattelujen merkintöjen perusteella. Referenssiprojektien aineis-

tosta saatettiin kopioida osasia, mutta paljolti myös piirrettiin sisältöjä alusta asti uudestaan, jotta esimerkiksi piirrossymbolien tasot tulivat oikein, ilman projektien omia mukautuksia.

Lisäksi kehitettiin uusia merkintätapoja sellaisille laitteille ja putkijärjestelyesityksille, joille koettiin olevan hyötyä näihin liittyvien tietojen esittämiseksi. Usein pelkkä huomautusteksti kaavion reunassa jää kaavionkäyttäjältä huomaamatta, joten visuaalisen informaation toivottiin tehostavan suunnitelman ajatuksen välittymistä.

Edellä mainitusta esimerkkeinä käy vahtoavan lietteen pumppukaivon uusi symboli ja pumpun jälkeisen putken esittäminen todellisen asemointinsa mukaan, jotta putkessa tarpeelliset instrumentoinnit ja mittaukset muistetaan putkistosuunnitteluvaiheessa sijoittaa oikein.

Viimeisellä haastattelukierroksella kaaviot katselmoitiin yhdessä suunnittelijaydinryhmän kanssa, ja viimeisten muutosten perusteella saatiin jakoon ensimmäinen revisio tyyppikaavioista. Kaavioiden sisällössä pyrittiin huomioimaan loppukäyttäjän tarpeet todennäköisille muutoksille, kuten tilantarve muille putkille ja lisäpumpuille. Lisäksi kaavioihin huoliteltiin visuaalisesti yhtenäinen linja.

Pelkkä PI-kaavioon nojaava tiedonvälitys ei ole aina riittävä selittämään osaprossien erityispiirteitä, vaikka kaaviossa voidaankin esittää paljon informaatiota. Tyyppikaavioiden yhteyteen laadittiin ns. käyttöohje, jossa kunkin kaavion prosessiratkaisut avattiin pala palalta ja tuotiin esiin kukin kaavioaiheen erityishuomiot. Näin kaavion käyttäjällä olisi pääsy tiedon lähteelle ja vältettäisiin se ongelma, jonka korjaaminen oli opinnäytetyön yksi tavoitteista: kaaviossa tehdyt ratkaisut jäivät vain kunkin projektin kanssa tekemisissä olleiden tietoon, mahdolliset muutostyöt jäivät kirjaamatta, ja seuraavassa projektissa uudet tekijät kopioivat sokeasti kaaviot sellaisinaan. Kun perustelut eri ratkaisuihin on kirjattu ylös, niistä on helpompi keskustella ja muokata kunkin projektin tarpeisiin sopivat muutokset, kun vielä peruskaaviot ovat vapaasti saatavilla työstön pohjaksi. Sekä tyyppikaavioita että niihin liittyvää ohjeistusta on tarkoitus jatkossa ylläpitää. Mallikaavioita tai niihin liittyvää ohjeistusta ei esitellä tarkemmin tässä opinnäytetyössä, vaan ne jäävät tilaajayrityksen sisäiseen käyttöön.

Muutamia osaprosesseja jätettiin käsittelemättä, sillä haastattelujen aikana todettiin, ettei kyseisistä laitteista tai osaprosesseista ole viisasta tehdä tyyppikaaviota. Poisjään- nin syynä oli usein se, että kukin projektin tietyt parametrit vaihtelevat niin paljon, että prosessin osa-alue ja siihen liittyvät kaaviot joudutaan käymään yksilöllisesti läpi projek- tikohtaisesti.

Alun perin oli ajatuksena kerätä kullekin osaprosessille eri automaatiotasot, jolloin esi- merkiksi myyntivaiheessa voitaisi nopeasti esittää kokonaan automatisoitu kalliimpi vaih- toehto, perustason automaatiolla toteutettava sekä halvin manuaalioperoitava laitos- tyyppi. Tästä esitystavasta luovuttiin haastattelujen edetessä, ja sen sijaan keskityttiin esittämään vain tyypillinen ja optimaalinen automaatiotaso, jota asiakkaalle halutaan tar- jota ja joka vastaa yrityksen näkemystä parhaasta prosessin toteutustavasta. Eri auto- maatiotasojen erittely vaatisi syvempää ja laajempaa kehitystyötä laitteen tuotelinjan kanssa.

7 Yhteenveto

Lopputuloksena saatiin kasattua yhteen keskeisiä mineraalien käsittelyn osaprosessei- hin liittyviä tyyppikaavioita kirjastoksi sekä perusteluja kuhunkin kaavioon liittyvistä pro- sessiratkaisuista suunnitteluohjeistuksen muodossa. Alkuperäistä aihealajuutta karsittiin työn edetessä, aiheen tätä työtä syvällisemmän käsittelytarpeen vuoksi. Kovin laajaa re- ferenssikirjastoa ei loppujen lopuksi saatu aikaan, vaikka tarvetta siihen useammalla alu- eella nähtiinkin. Työn tuloksena syntyneet kaaviot ja toimintatavat sellaisten luomiseen auttavat kuitenkin jatkossa laatimaan vastaavia tuotteistuksia muilla prosessialueilla.

Havaittiin, ettei kaikista osuuksista ollut tarpeellista tai järkevää esittää mallikaaviona. Eri projektien muuttajat vaikuttavat paljon lopputulokseen, jolloin kaaviopakiointia ei voida järkevästi tehdä. Osa laitteista tulee myös eri toimittajilta, jolloin on järkevää seurata lai- tetoimittajan omaa ohjeistusta ja mahdollista dokumentaatiota projektin PI-kaavioiden tuottamiseksi.

Opinnäytetyön aikana todettiin, että laitoksen rakentamisvaiheen jälkeen tuotettavat As Built -kaaviot olisi tärkeää kerätä ja säilöä viralliseen paikkaan yrityksen sisäistä kehitystä ja oppimista varten, vaikka asiakas ei sellaisten koostamista olisi erikseen tilannut ja

maksanutkaan. Lisäksi kaikki loppusuunnittelun jälkeiset muutokset kaavioihin ja niihin johtaneet syyt ja perustelut tulisi käydä läpi, mielellään myös kaavioiden laatijan kanssa, jotta toteutusvaiheesta saatu tieto jäisi hyötykäyttöön. Tämä tieto tulisi myös kirjata ylös ja jakaa talon sisällä avoimesti.

Kaaviokirjaston kaaviot ovat tasoltaan perussuunnitteluvaiheen kaavioita, joten niitä voidaan käyttää pohjana ensimmäisten kaavioversioiden luontiin. Tämä nopeuttaa suunnittelutyötä monen suunnittelujaoston osalta, sillä tuotantoprosessia on helpompi hahmottaa ja sen toteutusta kehittää, kun tarkastelussa on apuna jotain kättä pidempää jo aikaisemmassa vaiheessa. PI-kaaviot ovat lähtötietona muille suunnittelualueille, ja useamman suunnittelualueen suunnitelmia ilmaistaan PI-kaavioiden kautta. Kaaviot ovat myös hyvin tärkeä väline keskusteluissa asiakkaan kanssa. Myös hankittaessa kaaviopiirustusta alihankintana yrityksen ulkopuolelta voi tähän liittyvän ohjeistusaineiston koostamiseen käytettävä työ nopeutua, prosessi-insinöörin käyttäessä kirjaston valmiita mallikaavioita.

Jatkossa mallikaavioita on tarkoitus ylläpitää, kun muutostarpeita ilmenee. Myös kaaviokirjaston laajentaminen käsittelemättä jääneisiin tai muiden suunnitteluosastojen prosesseihin on mahdollista ja osittain jo käynnistetty tämän opinnäytetyön aikana. Suunnitelmissa on jatkokehittää luotujen kaavioiden perusteella kaaviokirjastoa Aveva Diagrams -suunnitteluohjelmiston puolelle, jossa tämän työn tiedostoja ei voida hyödyntää suoraan, vaan luomalla kukin kaavio alusta uuteen ohjelmistoympäristöön.

Lähteet

- 1 Liiketoiminta. Malmeista metalleihin. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/fi/yritys/tietoa-meista/liiketoiminta/>> Luettu. 13.01.2021.
- 2 Tutustu meihin. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/fi/yritys/>>. Luettu. 13.01.2021.
- 3 Ura Metso Outotecilla. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/fi/ura/>>. Luettu. 13.01.2021.
- 4 Outotecin Porin tutkimuskeskus: 70 vuotta kestävä kasvun tukemista. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/fi/yritys/media/uutiset/2019/10/outotecin-porin-tutkimuskeskus-70-vuotta-kestavan-kasvun-tukemista/>>. Päivitetty 15.10.2019. Luettu. 13.01.2021.
- 5 Räisänen, Perttu. 2020. Metso Outotec hakee synergiaa 300 toimella, aiempi tavoite voi nousta. Verkkoaineisto. Kauppalehti. <<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/metso-outotec-hakee-synergiaa-300-toimella-aiempi-tavoite-voinousta/162a8ed3-8456-4121-aef6-94e581c27bef>>. Päivitetty 02.07.2020. Luettu. 13.01.2021.
- 6 Basics in mineral processing. Edition 11. 2018. E-kirja. Metso Corporation.
- 7 Piioksidi. 2020. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Piidioksidi>>. Päivitetty 09.04.2020. Luettu 21.7.2020.
- 8 Geologia.fi. Kvartsi. Verkkoaineisto. Suomen Kansallinen Geologian Komitea. <<https://www.geologia.fi/glossary/kvartsi/>>. Luettu 21.7.2020.
- 9 Kivilajit ja malmien synty. Alkuaineet. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <<https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/alkuaineet/>>. Luettu 21.7.2020.
- 10 Suomen malmityypit. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <<https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/suomen-malmityypit/>>. Luettu 21.7.2020.
- 11 Drzymala, Jan. 2007. Mineral processing: Foundations of theory and practice of minerallurgy. Wrocław: Wrocław University of Technology.

- 12 Kivilajit ja malmien synty. Malmit. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <<https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/malmit/>>. Luettu 21.7.2020.
- 13 Rohrig, Brian. 2015. Smartphones Smart Chemistry. Verkkoaineisto. <<https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/high-school/chemmatters/archive/chemmatters-april2015-smartphones.pdf>>. Chem-Matters April/May 2015.
- 14 Rikastus. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus_kaiva.pdf>. Luettu 21.7.2020.
- 15 Napier-Munn, T.J. 1996. Mineral comminution circuits: Their operation and optimisation. Indooroopilly, Qld: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre.
- 16 Hienonnus. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Hienonnus_Kaiva-fi.pdf>. Luettu 21.7.2020.
- 17 Lukkarinen, Toimi. 1984. Mineraalitekniikka: Osa 1, Mineraalien hienonnus. Insinööritieto.
- 18 Mular, A. L. & Bhappu, R. B. 1980. Mineral Processing Plant Design. 2nd Edition. Baltimore (MA): American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.
- 19 Outotec Grinding technologies. 2013. Verkkoaineisto. Outotec Oyj. <https://www.outotec.com/globalassets/products/grinding/ote_outotec_grinding_technologies_eng_web.pdf>. Luettu 30.12.2019.
- 20 Outotec in Comminution. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Outotec Oyj.
- 21 Mular, A. L., Halbe, D. N. & Barratt, D. J. 2002. Mineral processing plant design, practice, and control: Proceedings. Volume 2. Littleton (CO): Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- 22 Gupta, A. & Yan, D. S. 2006. Mineral Processing Design and Operation: An Introduction. Burlington: Elsevier Science.
- 23 Lukkarinen, Toimi. 1987. Mineraalitekniikka: Osa 2, Mineraalien rikastus. Insinööritieto.

- 24 Michaud, David. 2015. The Importance of pH in Flotation. Verkkoaineisto. 911 Metallurgist. <<https://www.911metallurgist.com/blog/the-importance-of-ph-control-in-flotation>>. Päivitetty 10.08.2015. Luettu. 10.01.2021.
- 25 Vedenpoisto. Verkkoaineisto. Kaiva.fi – Kaivannaistietoa kaikille. <https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vedenpoisto_Kaiva.pdf>. Luettu 21.7.2020.
- 26 Beginners guide to thickeners. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/insights/blog/mining-and-metals/beginners-guide-to-thickeners/>>. Päivitetty 16.06.2017. Luettu. 10.01.2021.
- 27 Modular Paste Backfill Plant. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/portfolio/modular-paste-backfill-plant/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 28 Mine backfill plant. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/portfolio/mine-backfill-plants/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 29 Filters. Pressure, Polishing and Vacuum filters. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/filters/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 30 Kilkki. Marko. Filter Plant Engineering Guide. Yrityksen sisäinen dokumentti. Outotec Oyj.
- 31 Larox PF Filter. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/portfolio/larox-pf-pressure-filter/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 32 CC filter. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/portfolio/larox-cc-ceramic-filter/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 33 Vacuum Disk Filter. Verkkoaineisto. 911 Metallurgist. <<https://www.911metallurgist.com/equipment/vacuum-disk-filter/>>. Luettu. 10.01.2021.
- 34 Metso Outotec wins EUR 100 million order for delivery of complete key equipment for a new zinc plant in Russia. Verkkoaineisto. Metso Outotec. <<https://www.mogroup.com/corporate/media/news/2020/12/metso-outotec-wins-eur-100-million-order-for-delivery-of-complete-key-equipment-for-a-new-zinc-plant-in-russia/>>. Päivitetty 28.12.2020. Luettu. 13.01.2021.
- 35 PSK 2620. 2009. Teollisuuden kone- ja laitoshankinnat. Tekniset asiakirjat. Ryhmittely. Käsitteet ja määritelmät. 2. painos. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 36 PSK 7503. 2013. Suunnittelun tunnusluvut. 2. painos. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

- 37 Jaatinen, Taisto. 2018. Yleistä putkistosuunnittelusta. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 38 PSK 3602. 2008. PI-kaavion tietosisältö. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 39 Baron, H. 2010. The Oil & Gas Engineering Guide. Paris. Editions Technip.
- 40 Discipline Leader -training. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metso Outotec.
- 41 Jaatinen, Taisto. 2018. Putkistosuunnittelu. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 42 Jaatinen, Taisto. 2018. Layoutsuunnittelu. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 43 Tähtiö, Pekka. Rikastamon suunnittelu 2. Yrityksen sisäinen dokumentti. Outotec Oyj.
- 44 Mäkinen, Markku J. J., Kallio, Raimo. & Tantarimäki, Reijo. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava
- 45 The Next Generation of Computer aided Design Software. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>>. Luettu 12.01.2021.
- 46 MicroStation. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/MicroStation>>. Luettu. 12.01.2021.
- 47 Aveva Diagrams Brochure. Verkkoaineisto. Aveva Group. <https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/brochures/Brochure_AVEVA_Diagrams_11-20.pdf.coredownload.pdf>. Luettu 12.01.2021.
- 48 Aveva Diagram. P&ID Designer. Training guide. Yrityksen sisäinen dokumentti. Outotec Oyj.