

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikan insinööri

2020

Heidi Myllymäki

# KATTILALAITOKSEN PUTKISTON MASSAN JA MÄÄRÄN ENNAKOIVA ARVIOINTI

– Valmet Technologies Oy

Heidi Myllymäki

# KATTILALAITOKSEN PUTKISTON MASSAN JA MÄÄRÄN ENNAKOIVA ARVIOINTI

- Valmet Technologies Oy

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Valmet Technologies Oy (myöhemmin Valmet). Valmet on kansainvälisesti johtavassa asemassa teknologian, automaation ja palveluiden toimittajana ja kehittäjänä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella kattilalaitoksen putkistojen ennakoivaan arviointiin liittyviä haasteita ja kehittää havaittujen haasteiden pohjalta ennakoivaa arviointia helpottava työkalu. Tässä opinnäytetyössä tarkastelussa olevilla kattilalaitoksen putkistoilla tarkoitetaan sähköä, lämpöä tai molempia tuottavien höyryvoimalaitosten prosessiputkistoja, jotka siirtävät virtaavaa materiaalia ja yhdistävät kattilalaitoksen komponentteja.

Opinnäytetyö on toteutettu tutustumalla Valmetin toteuttamien kattilalaitosten putkistoihin sekä niiden perusteella tehtävään putkistojen ennakoivaan arviointiin ja siihen liittyviin haasteisiin. Opinnäytetyön osana tehdyssä työkalussa on mukana käyttötarkoitukseen soveltuvat kattilalaitokset, jotka on valittu toimeksiantajan kanssa toteutuneiden kattilalaitosprojektien joukosta. Työkaluun mukaan valittujen kattilalaitosten putkistotietojen lisäksi opinnäytetyön toteuttamiseen on käytetty Valmetin tietokantaa, alan kirjallisuutta ja muita sähköisiä lähteitä.

Opinnäytetyön tuloksena on työkalu, joka edesauttaa Valmetin tulevien kattilalaitosprojektien putkistojen ennakoivan arvioinnin sekä kustannusarvioinnin tekoa. Työkalun lisäksi muodostui kirjallinen kokonaisuus, jossa käsitellään kattilalaitoksen putkistojen suunnittelua, putkistojen ennakoivaa arviointia sekä siihen liittyviä haasteita ja mahdollisia ratkaisuja haasteisiin. Lisäksi kirjallisen kokonaisuuden liitteenä oleva tiedosto sisältää selvityksen työkalun teosta, työkaluun liittyvistä haasteista ja kattavat käyttöohjeet työkalun käyttöön. Liitteenä olevassa tiedostossa on esitetty työkaluun liittyviin haasteisiin ratkaisuehdotuksia. Tulosten avulla Valmetin on jatkossa helpompaa arvioida tulevien kattilalaitosten putkistojen määrää, massaa ja kustannuksia.

## ASIASANAT:

Energiantuotanto, kattilalaitos, kustannustehokkuus, leijukerrospoltto, painelaitteet, putkistot

BACHELOR'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environment engineering

2020 | 38 pages, 29 pages in appendices

Heidi Myllymäki

# ANTICIPATORY EVALUATION OF THE MASS AND AMOUNT OF BOILER PLANTS' PIPE INSTALLATIONS

Valmet Technologies Oy

This thesis was commissioned by Valmet Technologies Oy (afterwards Valmet). Valmet is the leading international supplier and developer of technologies, automation and services for the chemical pulp, paper and energy industries. The aim of this thesis is to observe the challenges related to the anticipatory evaluation of a boiler plant's pipe installations and to develop a tool based on the perceived challenge. The purpose of the tool is to facilitate the anticipatory evaluation of boiler plants' pipe installations. The examined boiler plants in this thesis refer to the steam power plants that manufacture electricity, heat or both. The function of the pipe installations in the boiler plants is to convey flowing materials and connect components in the boiler plant.

This thesis was carried out by studying Valmet boiler plants' pipe installations, anticipatory evaluation based on the executed boiler plants and the challenges in anticipatory evaluation. The tool that was made includes boiler plants that are suited to the purpose of use. The boiler plants studied were selected together with the mandator. In addition to the information on the studied boiler plants' pipe installations, the thesis utilizes Valmet's database, topic-related literature and other electronic source materials.

As an output of this thesis a tool was created which facilitates the anticipatory evaluation of the mass and amount of boiler plants' pipe installations and the cost estimates for upcoming boiler plant projects. Along with the tool a written report was devised which observes pipework design, the anticipatory evaluation of the pipes, the challenges of pipework design and the possible solutions for these challenges. The written report also includes an attachment describing how the tool was made, the challenges related to the tool and the tool instructions. In the attachment, solutions are also proposed to the challenges of the tool. With the help of the results, it will be easier for Valmet to evaluate pipe installations and the costs surrounding the upcoming boiler plant projects.

## KEYWORDS:

Energy production, boiler plant, cost-effectiveness, fluidized bed combustion, pressure equipment, pipe installations

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta	7
1.2 Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet ja työn toteutus	8
<b>2 VALMET TECHNOLOGIES OY</b>	<b>10</b>
2.1 CYMIC-kattila	11
2.2 HYBEX-kattila	12
2.3 RECOX-kattila	13
<b>3 KATTILALAITOKSEN PUTKISTOSUUNNITTELU</b>	<b>15</b>
3.1 Painelaitedirektiivi 2014/68/EU	16
3.2 Putkistojen piirustukset	16
3.3 AVEVA E3D/PDMS	19
3.4 Siemens AG COMOS	20
<b>4 PUTKISTOJEN TUNNISTEJÄRJESTELMÄT</b>	<b>22</b>
4.1 KKS-koodausjärjestelmä	22
4.2 WBS/PBS-työnumero	23
4.3 Tunnistejärjestelmien käyttö putkistosuunnittelussa	23
4.4 Tunnistejärjestelmien vertailu	25
<b>5 PUTKISTOJEN ENNAKOIVA ARVIOINTI</b>	<b>28</b>
5.1 Ennakoivan arvioinnin haasteita	29
5.2 Ratkaisuja haasteisiin	30
<b>6 PUTKISTOEXCEL</b>	<b>33</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>37</b>

## LIITTEET

Liite 1. Putkistoexcel (luottamuksellinen)

## KUVAT

Kuva 1. CYMIC-kattila (Valmet MyAcademy).	12
Kuva 2. HYBEX-kattila (Valmet MyAcademy).	13
Kuva 3. RECOX-kattila (Valmet MyAcademy).	14
Kuva 4. Esimerkkipiirustus (PSK 5803).	17
Kuva 5. AVEVA E3D Model-moduulin käyttöliittymä (AVEVA 2019).	19
Kuva 6. COMOS-sovelluksen tuoteryhmät sekä moduulit (Valmet Technologies Oy).	20
Kuva 7. KKS-koodausjärjestelmän tunnuksen rakenne (Huhtinen ym. 2013, 338).	22
Kuva 8. Aineiston siirtyminen (Valmet Technologies Oy).	24
Kuva 9. Esimerkki KKS-WBS/PBS-vertailun tuloksesta (Valmet Technologies Oy).	26
Kuva 10. Pistepilven hyödyntäminen suunnittelussa (AVEVA 2019).	32

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
BFB	Bubbling fluidized bed
CAD	Computer aided design
CFB	Circulating fluidized bed
COMOS	Siemens AG plant engineering software
CYMIC	Valmet Technologies Oy:n tarjoama kiertoleijukattila
E3D	AVEVA Everything3D
HYBEX	Valmet Technologies Oy:n tarjoama leijupetikattila
KKS	Saksalainen positiointijärjestelmä (Kraftwerk Kennzeichensystem)
MTO	Materiaalilista (Material take off)
MW	Megawatti
PBS	Product breakdown system
PDMS	AVEVA Plant design management system
PFD	Process flow diagram
PI-kaavio	Putki- ja instrumentointikaavio
RECOX	Valmet Technologies Oy:n tarjoama soodakattila
WBS	Work breakdown system

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Kattilalaitokset ovat laitoskokonaisuuksia, jotka tuottavat joko sähköä, lämpöä tai molempia kattilan tulipesässä tapahtuvan palamisprosessin avulla. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kattilalaitokset ovat sekä höyrykattilalaitoksia että kuumavesikattilalaitoksia. Höyrykattilalaitokset jaetaan lauhdutusvoimalaitoksiin, jotka tuottavat vain sähköä, ja vastapainevoimalaitoksiin, jotka tuottavat lämpöä, teollisuuden vastapainehöyryä ja sähköä. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kattilalaitokset sisältävät leijukerroskattilat, jotka jaetaan toimintansa perusteella kiertoleijukattiloihin ja leijupetikattiloihin. Leijukerroskattiloissa käytetään leijukerrospoltttoa, jossa polttoaine poltetaan leijutettavan hiekan seassa kattilan tulipesässä. Leijukerroskattiloiden toiminnassa suurin eroavaisuus on käytettävässä leijutusnopeudessa. Kiertoleijukattiloissa käytetään suurempaa leijutusnopeutta kuin leijupetikattiloissa. Toiminnan lisäksi leijukerroskattiloiden rakenteessa on eroavaisuuksia. (Huhtinen ym. 2013, 12–36; Valmet Technologies Oy.)

Energian tuotannossa leijukerrospoltttoa on aloitettu käyttämään vasta 1970-luvulla, ja se on syrjäyttänyt useilla polttoaineilla lähes kokonaan arinatekniikan yli 20 MW:n tehoilla. Pienemmilläkin tehoilla leijukerrospolttto on nykyään varteenotettava vaihtoehto arinapolttolle. Opinnäytetyössä käsiteltävät kiertoleiju- ja leijupetikattilat kuuluvat Valmetin laajaan tuotevalikoimaan. Leijukerroskattiloiden lisäksi opinnäytetyössä sivutaan myös Valmetin tuotevalikoimaan kuuluvan soodakattilan toimintaa. (Huhtinen ym. 2013, 36; Valmet Technologies Oy.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kattilalaitoksen putkistojen suunnittelua, putkistoissa käytettäviä tunnistejärjestelmiä ja putkistojen ennakoivaa arviointia. Kattilalaitokset ovat suuria laitoskokonaisuuksia, joihin kuuluu putkistojen lisäksi muita komponentteja kuten säiliöitä, pumppuja ja kuljettimia. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävillä kattilalaitoksen putkistoilla tarkoitetaan teollisuusputkistoihin kuuluvia prosessiputkistoja, jotka siirtävät virtaavaa materiaalia ja yhdistävät kattilalaitoksen komponentteja (Heikkilä 2001, 255). Kattilalaitoksen putkistojen ennakoivan arvioinnin tärkein tavoite on saada tehtyä realistinen kustannusarvio toimitettavan kattilalaitoksen putkistoista. Ennakoivassa arvioinnissa on kuitenkin haasteita, jotka vaikeuttavat putkistojen määrän arviointia ja sitä kautta myös putkistoista koostuvien kustannusten arviointia. Tällä hetkellä

putkistojen ennakoivan arvioinnin haasteet aiheuttavat huomattavasti muutosta kattilalaitoksen kokonaiskustannuksissa. Yleensä putkistojen kustannukset ovat koko kattilalaitoksen kustannuksista noin 10 %, mutta putkistojen kustannusarvioinnissa tapahtuvien virheiden kerrannaisvaikutukset ovat suuret. Tehdyt virheet eivät ainoastaan vaikuta putkistojen kustannuksiin, vaan ne vaikuttavat esimerkiksi myös asennuskustannuksiin, joten kokonaisuudessaan tehdyt virheet vaikuttavat kattilalaitoksen kustannuksiin huomattavasti. Kattilalaitoksen kokonaiskustannusten kasvu heikentää projektille asetettua katetta, koska ylimääräiset kustannukset useimmiten vähennetään katteesta. Tämän opinnäytetyön yhteydessä tehtävä Putkistoexcel on työkalu, jota käyttämällä on tarkoitus helpottaa putkistojen ennakoivan arvioinnin tekoa ja sen kautta myös putkistoista koostuvan kustannusarvioinnin tekoa. (Valmet Technologies Oy.)

## 1.2 Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet ja työn toteutus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella kattilalaitoksen putkistojen ennakoivaan arviointiin liittyviä haasteita ja kehittää tarkastelussa havaittujen haasteiden pohjalta ennakoivaa arviointia helpottava työkalu. Tavoitteiden saavuttamiseksi opinnäytetyölle on asetettu tutkimuskysymykset, joihin on pyritty vastaamaan:

- Mitä kattilalaitoksen putkistoilla tarkoitetaan ja miten putkistosuunnittelu toteutetaan?
- Miten putkistojen ennakoiva arviointi toteutetaan nykyisin?
- Mitä haasteita ennakoivaan arviointiin liittyy ja miten haasteita voidaan ehkäistä?
- Miten ennakoivan arvioinnin tekoa voidaan kehittää eteenpäin?

Tämän opinnäytetyön toteuttaminen aloitettiin työkalun eli Putkistoexcelin suunnittelusta sekä sen tekemisestä. Putkistoexcelin suunnittelu aloitettiin valitsemalla Valmetin toteutuneiden kattilalaitosprojektien joukosta tarkoitukseen sopivat kattilalaitokset, jonka jälkeen aihealue rajattiin. Kattilalaitoksen putkistot ovat laajoja kokonaisuuksia ja niihin liittyy useita eri komponentteja, joten aihealueen rajaaminen ennen Putkistoexcelin tekemisen aloittamista oli välttämätöntä. Opinnäytetyö aloitettiin Putkistoexcelin teosta, mikä helpotti huomattavasti työn kirjallisen osuuden tekemistä, koska sen teon yhteydessä aihe selkeytyi entisestään sekä aihealueen rajaus tarkentui. Kirjallisen osuuden tekoa edesauttoi myös opinnäytetyölle asetetut tutkimuskysymykset, joiden avulla aiheen tarkastelu pysyi kirjalliselle osuudelle rajatun aihealueen sisällä.



Tässä opinnäytetyössä käytetään ensisijaisesti lähteenä Valmetin työntekijöille suunnattua Intranetiä ja MyAcademya, joiden lisäksi opinnäytetyön toteutuksessa hyödynnetään Valmetin järjestämiä koulutuksia sekä koulutuksissa käytettyjä koulutusmateriaaleja. Valmetin tietokantojen ohella opinnäytetyön lähteinä käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä muita sähköisiä lähteitä. Finna-hakupalvelua käytetään opinnäytetyön teossa kirjallisten lähteiden etsimisessä sekä SFS- ja PSK-standardien käyttöliittymien käytössä.

## 2 VALMET TECHNOLOGIES OY

Valmetin teollinen historia ulottuu yli 220 vuoden taakse. Useat Suomen valtion omistamista metallitehtaista yhdistyivät Valtion Metallitehtäiksi vuonna 1946. Valmet Oy syntyi vuoden 1951 alussa, kun Valtion Metallitehtaista tuli Valmet Oy. Paperikoneiden valmistuksen Valmet aloitti Rautpohjassa 1950-luvulla, ja 1960-luvulla Valmetista tuli kansainvälisesti merkittävä paperikonevalmistaja. (Valmet 2019a.)

Vuonna 1999 syntyi kansainvälisesti prosessiteollisuutta palveleva laitetoimittaja, kun Valmet ja Rauma yhdistyivät Metso Oyj:ksi. Valmetin ja Rauman yhdistymisen jälkeen tapahtui merkittäviä yritysostoja massa-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminnassa. Vuonna 2013 Metso Oyj jakautui Valmetiksi ja Metsoksi. Jakautumisen johdosti Metson massa-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminnat muodostivat Valmet Oyj:n. Maanrakennus ja automaatio -liiketoiminnat puolestaan muodostivat Metso Oyj:n. Vuonna 2015 Valmet Oyj osti Metso Oyj:n prosessiautomaatiojärjestelmäliiketoiminnan. (Valmet 2019a.)

Valmetilla on neljä liiketoimintalinjaa, jotka ovat palvelut, sellu ja energia, paperit ja automaatio. Liiketoimintalinjojen lisäksi Valmetin liiketoiminta on jaettu viiteen maantieteelliseen alueeseen. Maantieteelliset alueet ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, Kiina, Aasian ja Tyynenmeren alue ja EMEA eli Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka. Maantieteelliset alueet vastaavat omalla alueellaan myynnistä, asiakkaiden tarpeiden täyttävien palvelujen tarjoamisesta ja projektitoimitusten tukemisesta. Palveluliiketoimintalinja vastaa muun muassa tehdasparannuksista, kunnossapidosta sekä elinkaaripalveluista. Automaatio-liiketoimintalinjan päätuotteita ovat automaatiojärjestelmät, laatusäätöjärjestelmät, analysaattorit, mittalaitteet, kamerajärjestelmät ja hajautetut ohjausjärjestelmät. Sellu ja energia -liiketoimintalinja tarjoaa ratkaisuja ja teknologiaa sellun ja energian tuotantoon sekä biomassan jalostukseen. Paperit-liiketoimintalinjaan kuuluvat kartonki-, pehmopaperi- ja paperikoneiden toimittaminen sekä koneuudistukset. (Valmet 2019b.)

Valmet on kansainvälisesti johtavassa asemassa teknologian, automaation ja palveluiden toimittajana sekä kehittäjänä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmet on asettanut tavoitteekseen tulla maailman parhaaksi asiakkaidensa palvelussa. Valmetin neljä liiketoimintalinjaa työllistää kansainvälisesti 13 000 ammattilaista, jotka työskentelevät Valmetin tavoitteen mukaisesti. (Valmet 2019c; 2019d.)

Valmetin sellu ja energia -liiketoimintalinja jaetaan kolmeen pääryhmään, jotka ovat sellun tuotanto, energiantuotanto ja biomassan muunnosteknologiat. Liiketoimintalinjan tarjontaan kuuluvat selluprojektit laitetoimituksista tehdaslinjojen kokonaistoimituksiin, energiantuotantokattiloiden kokonaistoimitukset ja uudistukset sekä jatkuvasti kehittyvät biomassan hyödyntämistä edistävät teknologiat. (Valmet 2019b; 2019e.)

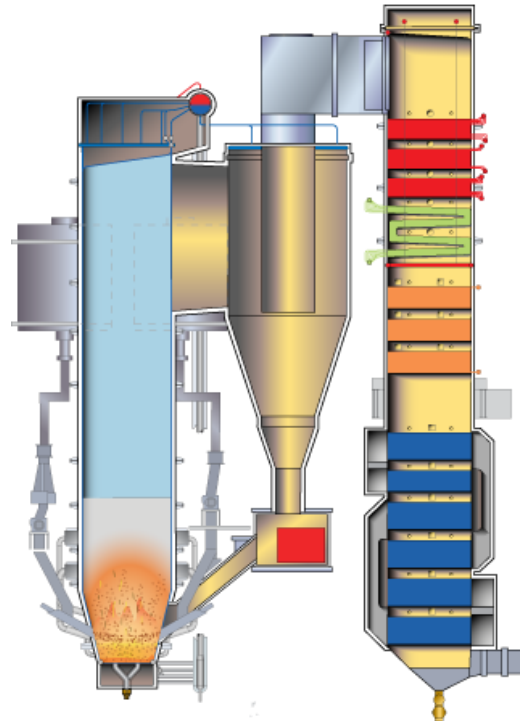
Energiantuotannossa Valmet on kansainvälisesti johtavassa asemassa biomassaan perustuvien lämmön- ja sähköntuotantoratkaisuiden toimittajana sekä edelläkävijä voimalaitosten leijukerroskattiloissa. Valmetin energialiiketoiminnan asiakkaita ovat kunnat, energia-, prosessi-, sellu- ja paperiteollisuudessa toimivat yhtiöt ja julkiset laitokset. Valmetin toimittamissa leijukerroskattiloissa on mahdollista polttaa biomassan lisäksi valikoivasti hiiltä ja muita polttoaineita, kuten kierrätyspolttoainetta ja lajiteltua jätettä. Energialiiketoiminta tarjoaa leijukerroskattiloiden lisäksi kiertopetikattiloita sekä pieniä täysimittaisia lämpö- ja voimalaitoksia. Valmetin energiantuotannon tarjontaan kuuluu kattiloiden lisäksi ympäristönsuojelujärjestelmät sekä uudistukset. Valmetin energialiiketoiminnan päämarkkinat sijaitsevat Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa sekä Etelä-Amerikassa ja Aasiassa. (Valmet 2019e.)

## 2.1 CYMIC-kattila

CYMIC-kattila on Valmetin kehittämä edistysellinen kiertoleijukattila (CFB, circulating fluidized bed), jonka pääkomponentit ovat tulipesä, sykloni ja hiekkalukko. Kiertoleijukattilassa tulipesän petiä leijutetaan ilman avulla palamisprosessin aikana. Leijutus parantaa palamisprosessin kemiallisia reaktioita sekä lämmön siirtymistä. Palamisprosessissa syntyvä savukaasu johdetaan tulipesästä sykloniin, jossa savukaasusta erotetaan palamattomat polttoainepartikkelit ja tulipesästä poistunut petihiekka. Savukaasusta erotetut palamattomat polttoainepartikkelit ja petihiekka johdetaan syklonista takaisin tulipesään hiekkalukon kautta. Valmetin toimittamien CYMIC-kattiloiden koko vaihtelee 30-1200 MW. (Valmet 2019f; 2019g.)

Kiertoleijukattilassa käytettävä teknologia soveltuu kosteiden polttoaineiden polttamisen lisäksi hiilen polttoon, koska palamattomat hiilipartikkelit saadaan syklonin ansiosta palautettua takaisin tulipesään. Syklonin ansiosta palamattoman polttoaineen häviöt

voidaan pitää pieninä. Kiertoleijukattiloita käytetään Suomessa kaukolämpölaitoksissa, joissa on haluttu varautua myös hiilen polttoon. (Huhtinen ym. 2013, 36.)



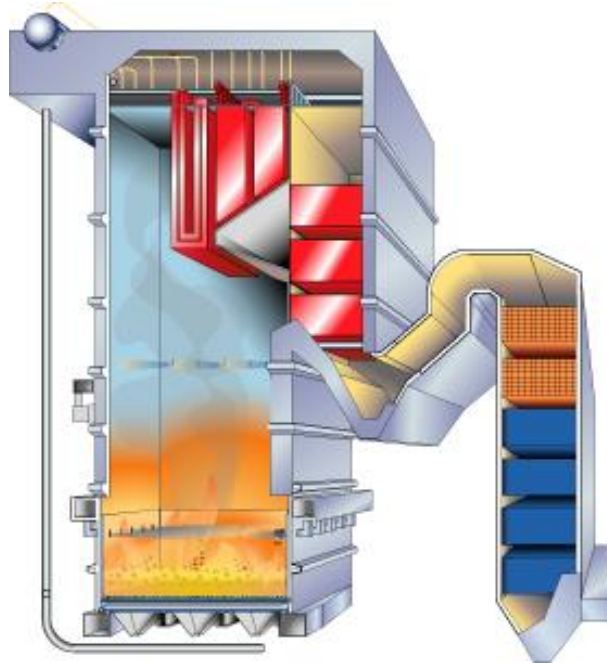
Kuva 1. CYMIC-kattila (Valmet MyAcademy).

## 2.2 HYBEX-kattila

Valmetin kattilavalikoimaan kuuluu kierto-leijukattilan lisäksi leijupetikattila (BFB, bubbling fluidized bed), jota kutsutaan HYBEX-tuotenimellä. HYBEX-kattila tuottaa höyryä polttamalla biopolttoaineita, jättepolttoaineita sekä teollisuudesta syntyvää jätettä. Tuotettavan höyryn määrää kontrolloidaan säätämällä polttoaineen syöttöä sekä leijutusilmaa. Leijupetikattilan tulipesän materiaalin suuri lämpökapasiteetti mahdollistaa tasaisen palamisprosessin myös kosteille ja alhaisen lämpöarvon omaaville polttoaineille. Valmetin suunnittelema HYBEX-kattiloita on yli 200 ympäri maailmaa ja niiden koko vaihtelee 20 ja 400 MW välillä. (Valmet 2019f; 2019h.)

HYBEX-kattilan tulipesän petiä leijutetaan ilman tai kaasun avulla, jotta yhtä tai useampaa pudotusputkea pitkin pedin päälle syötetyt polttoainepartikkelit saadaan erotettua toisistaan. Erottelun johdosta pienet polttoainepartikkelit palavat nopeasti leijupedin yläpuolella ja suuremmat polttoainepartikkelit kuivuvat ja kulkeutuvat petiin, jossa suuremmat partikkelit kaasuuntuvat. Jäännöshiili palaa pääsääntöisesti

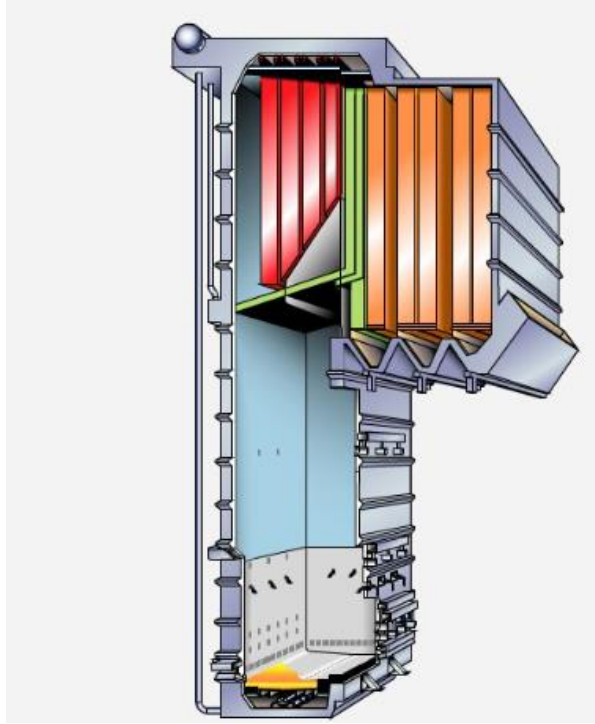
leijupedissä ja haihtuvat materiaalit palavat sekä leijupedissä että sen yläpuolella. (Valmet 2019f.)



Kuva 2. HYBEX-kattila (Valmet MyAcademy).

### 2.3 RECOX-kattila

CYMIC- ja HYBEX-kattiloiden lisäksi Valmetin kattilavalikoimaan kuuluu RECOX-kattila, joka on selluteollisuudessa käytössä oleva soodakattila. Valmet on toimittanut yli 300 RECOX-soodakattilaa ympäri maailmaa. Soodakattilan toimintaperiaate on keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi sekä höyryn tuottaminen. Tuotettua höyryä hyödynnetään soodakattilan ja sellutehtaan tarpeisiin sekä turbiineilla sähköntuotantoon. Leijupetikattilaan ja kiertoleijukattilaan verrattuna soodakattilan rakenne on monimutkaisempi ja kattilan käyttö on vaativampaa. Soodakattilan tulipesään johdetaan mustalipeän ja tuhkan seosta haihduttamolta. Haihduttamalla mustalipeän ja tuhkan seoksesta poistetaan vettä, jonka avulla seoksen kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Prosessivaatimuksista riippuen mustalipeäsystemi on joko paineistettu tai ilmanpaineella toimiva. Mustalipeä on sellunkeitossa syntyvää jätettä, joka koostuu orgaanisista ja epäorgaanisista yhdisteistä sekä vedestä. Mustalipeä sisältää joissain määrin myös suspendoituneita aineita kuten tuhkaa, kuitua ja saippuaa. (Valmet 2019f; 2019i.)



Kuva 3. RECOX-kattila (Valmet MyAcademy).

### 3 KATTILALAITOKSEN PUTKISTOSUUNNITTELU

Kattilalaitoksen putkistot ovat teollisuusputkistoja, jotka voidaan jakaa prosessi- ja apuputkistoihin. Prosessiputkistoilla tarkoitetaan putkistoja, jotka siirtävät virtaavaa materiaalia prosessiyksiköiden välillä ja apuputkistolla vuorostaan tarkoitetaan putkistoja, joiden tarkoituksena on välittää prosesseille esimerkiksi vettä tai ilmaa. Teollisuusputkistojen lisäksi laitoksissa on LVI-putkistoja, jotka tarkoittavat ilmastointiputkia ja lämmitys-, vesi- ja viemäriputkia (Heikkilä 2001, 255). Kaikki putkistot yhdistävät kattilalaitoksen pumppuja, säiliöitä, kattiloita ja muita komponentteja. (Valmet Technologies Oy.)

Putkistosuunnittelusta tekee haastavaa se, että putkistoille on usein asetettu vaatimuksia viranomaisten ja asiakkaan toimesta. Standardisoinnista käytetään helpottamaan yhteisiä toimintatapoja viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien välillä. Yhteneväisen standardisoinnin johdosta tuotteet, palvelut ja menetelmät sopivat niille tarkoitettuun käyttöön ja olosuhteisiin. Suomen Standardisimisliitto SFS ry ja PSK Standardisointi ovat luoneet useita eri standardeja, jotka helpottavat muun muassa putkistojen suunnittelutyötä. Putkistosuunnittelussa käytettävissä standardeissa on määritelty putkistoon kuuluvia osia ja niiden ominaisuuksia, joten suunnittelussa voidaan hyödyntää valmiita komponentteja. SFS-EN 13480 Metalliset teollisuusputkistot - standardi on yleisin putkistosuunnittelussa käytetty kahdeksan osainen standardi. SFS-EN 13480 on Suomen Standardisimisliitto SFS ry:n luoma standardi. Standardin kahdeksan osaa ovat: Osa 1: Yleistä, Osa 2: Materiaalit, Osa 3: Suunnittelu ja laskenta, Osa 4: Valmistus ja asennus, Osa 5: Tarkastus ja testaus, Osa 6: Maahan asennettavien putkistojen lisävaatimukset, Osa 7: Ohje vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettelyjen käytölle ja Osa 8: Alumiini ja alumiiniseosteisten putkistojen lisävaatimukset. (SFS ry 2019; SFS Online.)

Valmet käyttää putkistosuunnittelussa SFS-standardeja ja PSK-standardeja. Euroopassa putkistosuunnittelussa täytetään yhteneväisten standardien lisäksi painelaitedirektiivin (PED), räjähdysvaarallisten aineiden ATEX-määräyksiä ja kemikaalilainsäädännön asettamat vaatimukset. Panielaitedirektiivin lisäksi painelaitteiden suunnittelua, valmistusta ja käyttöä säädelään painelaitelain avulla Suomessa. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin teollisuusyksikkö valvoo tuotantolaitosten ja laitteistojen turvallisuutta, kaivostoimintaa, urakointi- ja asennustoimintaa sekä tarkastuspalveluita Suomessa. Tukesin teollisuusyksikön

valvontakohteita ovat muun muassa painelaitteet ja niitä käyttävät tuotantolaitokset. (Tukes 2020a; 2020b; Valmet Technologies Oy.)

### 3.1 Painelaitedirektiivi 2014/68/EU

Painelaitedirektiivi on tarkoitettu Euroopan talousalueen markkinoille painelaitteita ja laitekokonaisuuksia saattaville sekä valmistaville yrityksille. Painelaitedirektiivissä painelaitteella tarkoitetaan säiliöitä, putkistoja, varolaitteita sekä paineenalaisia lisälaitteita ja tarvittaessa paineenalaisiin osiin kiinnitettyjä osia, kuten laippoja, yhteitä, liittimiä, kannattimia ja nostokorvakkeita. Painelaitteiden on täytettävä kaikki direktiivin olennaiset turvallisuusvaatimukset. Turvallisuusvaatimuksiin kuuluu suunnittelu, valmistus, lopullinen arviointi sekä turvallisen asentamisen, käytön ja huollon ohjeistus. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.)

Putkistojen suunnitelmat ja laskelmat toteutetaan painelaitedirektiivin mukaisesti. Painelaitedirektiivi luokittelee tuotteet paineluokkiin I-IV, joka määräytyy paineen, tilavuuden tai nimellisuuruuden, sisällön ja olomuodon mukaan. Luokka IV on kaikkein vaativin painelaitteelle asetettu luokka. Painelaitteen luokka määrittelee suunnitteluun ja valmistukseen liittyvät vaatimukset. Lisäksi painelaitteet luokitellaan kahteen ryhmään. Ryhmä 1 käsittää vaaralliset fluidit, jotka ovat määritelty räjähtäviksi, erittäin helposti syttyviksi, helposti syttyviksi, syttyviksi (jos suurin sallittu lämpötila on korkeampi kuin leimahduspiste), erittäin myrkyllisiksi, myrkyllisiksi tai hapettaviksi. Ryhmään 2 kuuluvat kaikki muut fluidit, kuten vesi- ja vesihöyry. Ryhmien ja luokkien lisäksi painelaitteet jaetaan luokkien mukaisiin moduuleihin. Moduulit sisältävät arviointimenettelyitä, joiden avulla varmistetaan, että painelaite täyttää säädösvaatimukset ja on turvallinen. Direktiivin mukaisesti tietyt raja-arvot ylittävät painelaitteet pitää merkitä CE-merkinnällä, jolla painelaitteen valmistaja osoittaa, että laite täyttää sitä koskevat vaatimukset. Valmistaja saa kiinnittää CE-merkinnän painelaitteeseen hyväksytyin arviointimenettelyn jälkeen. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU; Tukes 2020c.)

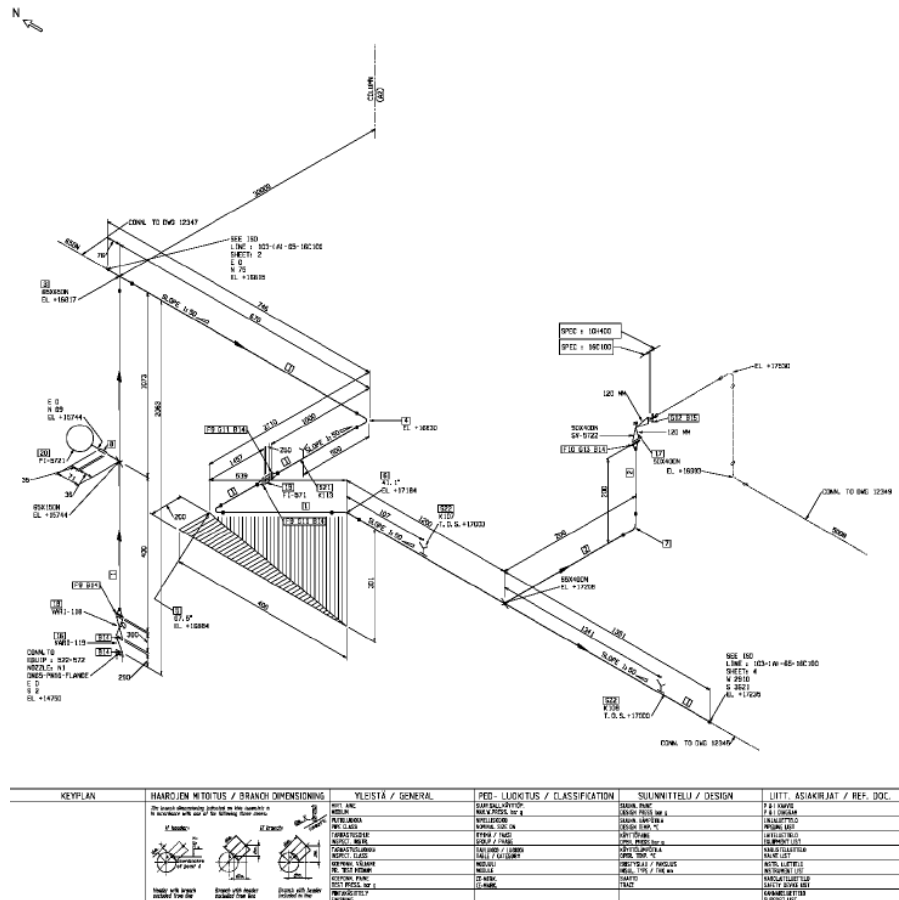
### 3.2 Putkistojen piirustukset

Putkistojen 3D-mallinnuksen lisäksi putkistojen suunnitteluun kuuluu 2D-piirustusten tekeminen putkistoista. Valmet käyttää putkistojen piirustusten tekemiseen ensisijaisesti AVEVA E3D-työkalun *Isodraft*-moduulia. Kyseisen moduulin avulla putkistojen



piirustukset saadaan ajettua suoraan kattilalaitoksen 3D-mallista isometrikuviksi. Putkiston piirustuksia voi tehdä E3D-sovelluksen lisäksi käyttäen AutoCAD-sovellusta, mutta Valmet ohjeistaa piirustusten teon E3D-sovelluksella, jotta mahdolliset muutokset 3D-mallissa saadaan vaivattomasti päivitettyä myös 2D-piirustuksiin. (Valmet Technologies Oy.)

Putkistojen 2D-piirustuksia kutsutaan isometrikuviksi, jotka esittävät kaikki putkiston osat oikein mitoitettuna. Piirustukset ovat yksinkertaistettuja ja havainnollistavia kuvia, jotka antavat putkistosta kolmiulotteisen vaikutelman. Isometrikuvista selviää putkiston sijainti koordinaattien avulla ja laitteet, joihin se liittyy. PSK 5803 -standardissa on määritelty isometrisen piirustuksen piirtämishojeet, piirustuksessa esitettävät asiat sekä muita opastavia tietoja kuten piirrosmerkit ja liittyvät standardit. Standardin mukaisesti isometrisessä piirustuksessa on esitettävä muun muassa putkiston sijainti mitoitettuna sivu- ja korkeussuunnassa, putkiston laiteliitännät mitoitettuna, putkiston toimitusrajat, putkiluokat ja toisiin piirustuksiin liittyvien putkilinjojen tunnuksat. Kuvassa 4 on PSK 5803 -standardin esittämä esimerkkipiirustus isometrikuvasta. (PSK 5803.)



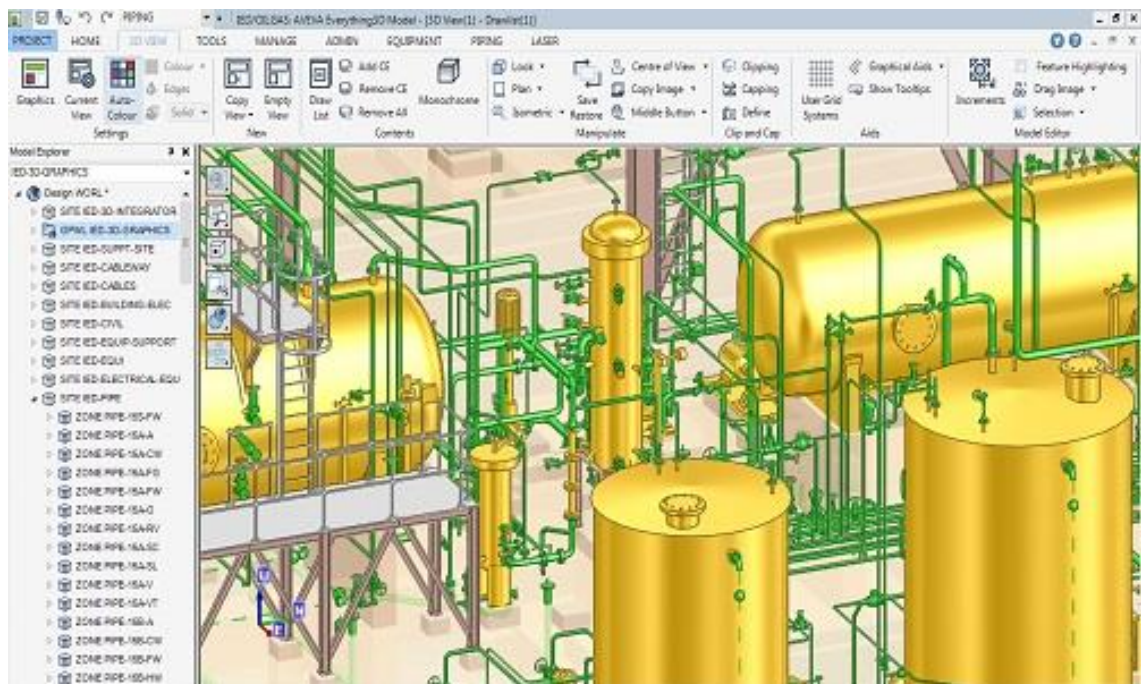
Kuva 4. Esimerkkipiirustus (PSK 5803).

Putkistojen isometrikuvien lisäksi putkistoista tehdään aksonometrikuvat, jotka antavat isometrikuvien kaltaisesti kolmiulotteisen vaikutelman putkistosta. Aksonometriset projektiot voidaan jakaa keskusprojektiioihin ja yhdensuuntaisprojektiioihin. Projektiosäteiden suunnat erottavat projektiot keskenään toisistaan. Keskusprojektiiossa projektiosäteet kulkevat yhden pisteen kautta ja yhdensuuntaisprojektiiossa projektiosäteet ovat yhdensuuntaisia. Putkistoista tehdyt isometrikuvat kuuluvat yhdensuuntaisprojektioiden ryhmään. Yhdensuuntaisprojektiot voidaan lisäksi jakaa kahteen alaryhmään, kohtisuoriin yhdensuuntaisprojektiioihin sekä vinoihin yhdensuuntaisprojektiioihin. Aksonometrikuvia tarvitaan useimmiten luonnoksia laadittaessa, tarjous- ja käyttöohjepiirustuksissa, varaosaluetteloissa ja etenkin putkistojen asennuspiirustuksissa. Putkistojen aksonometrikuvissa putkiston sijaintia ei ole esitetty niin tarkasti kuin isometrikuvissa. Lisäksi putkiston aksonometrikuvat eroavat isometrikuvista siten, että aksonometrikuvissa on havainnollistettu myös kuvatun putken ympäristöä eri suunnista, kuten esimerkiksi putken lähellä olevia laitteita ja muita komponentteja. (Pere 2016, 26-1; Valmet Technologies Oy.)

Isometri- ja aksonometrikuvien lisäksi kattilalaitoksesta tehdään prosessikaaviot, joita ovat lohkokkaaviot, virtauskaaviot ja PI-kaaviot (putki- ja instrumentointikaavio). Lohkokkaavion tarkoituksena on antaa yleisinformaatiota prosessista, perustietoja kustannusarvion tekemistä varten, prosessisuunnittelun tietoja sekä perusteet asemakaava- ja laitesijoitussuunnittelulle. Virtauskaavion tarkoitus on esittää prosessi periaatteellisesti ja tallentaa prosessitiedot, joita tarvitaan esimerkiksi PI-kaavioiden tekemisessä, laite- ja putkistoerittelyssä, kustannusarvion tekemisessä sekä laitesijoitussuunnitelmien tekemisessä. SFS-EN ISO 5457 -standardi sisältää sekä lohkokkaavion että virtauskaavion tekemiseen käytettävän piirustuslomakkeen. Kyseisessä standardissa on määritelty teknisissä piirustuksissa käytettävien piirustuslomakkeiden koot sekä rakenteet. PI-kaaviot tehdään suunnittelua, käyttöä, kunnossapitoa ja viranomaisia varten. PI-kaaviot sisältävät prosessien yksityiskohtaisia tietoja kaaviomuodossa. PSK 3603 -standardin mukaan PI-kaavion tarkoituksena on muun muassa olla pohjana kustannusarvioiden teolle ja antaa perustiedot putki-, instrumentointi-, sähkö- ja asennussuunnitelmien laatimista varten. PI-kaaviossa on esitetty muun muassa tiedot putkiston lämpösaatoista sekä mittauspisteet, -kojeet ja -laitteet. Lisäksi PI-kaaviossa esitetään esimerkiksi kaikki laitteet, putket ja venttiilit, tyhjennys-, puhdistus- ja ilmastusyhteet, putkitunnukset sekä tulevien ja lähtevien virtojen osoitteet. PSK 3603 -standardi sisältää ohjeistuksen PI-kaavion esitystavasta ja merkitsemisohjeista. (Pere 2016, 13-15 – 13-24; PSK 3603; SFS-EN ISO 5457.)

### 3.3 AVEVA E3D/PDMS

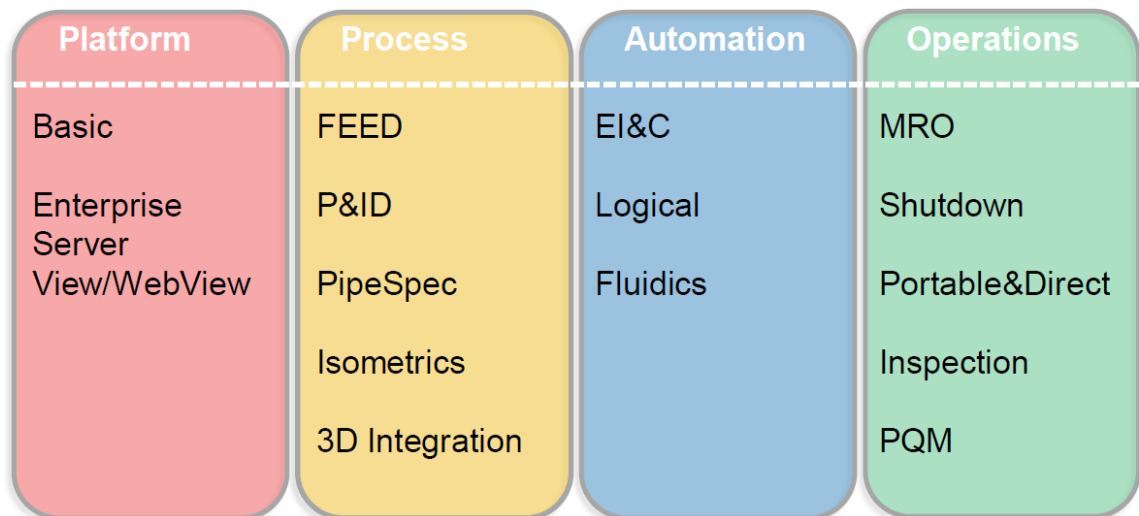
Valmet käyttää ensisijaisesti putkistojen 3D-mallinnuksessa AVEVA E3D -työkalun (Everything3D) Pipework-sovellusta. E3D-työkalu on uudempi versio ennen käytössä olleesta AVEVA PDMS -työkalusta (Plant design management system). E3D-työkalu on edistyneellinen 3D-mallinnukseen tarkoitettu työkalu, joka on täysin yhteensopiva muiden AVEVA:n sovellusten kanssa. E3D-työkalussa on kolme eri moduulia: *Model*, *Draw* ja *Isodraft*. *Model*-moduulin avulla luodaan laitoksen 3D-malli sekä osaluettelo. Moduulilla voidaan tarkastella kattilalaitosta kokonaisuudessaan tai vain haluttuja osia laitoskokonaisuudesta. Kuvassa 5 on esitelty *Model*-moduulin käyttöliittymä. *Draw*-moduulia käyttäen voidaan tehdä 2D-piirustuksia laitostekniikan osista. Moduuli hyödyntää E3D-työkalun tietokantaa eli moduuli ottaa piirustuksiin tarvittavat tiedot automaattisesti työkalun tietokannasta sekä 3D-mallista. Putkistojen isometrikuvat on mahdollista saada suoraan 3D-mallista *Isodraft*-moduulin avulla. Moduulien yhteensopivuuden ansiosta muutosten tekeminen laitossuunnitelmaan on helppoa, kuten esimerkiksi 3D-malliin tehty muutos saadaan vaivattomasti päivitettyä 2D-piirustuksiin sekä isometrikuviin. Putkiston suunnittelun lisäksi AVEVA E3D-sovellusta käytetään muun muassa laitoksen säiliöiden, rakenteiden ja laitteiden 3D-mallintamisessa. (AVEVA 2019.)



Kuva 5. AVEVA E3D Model-moduulin käyttöliittymä (AVEVA 2019).

### 3.4 Siemens AG COMOS

COMOS on Siemens AG:n kehittämä laitossuunnitteluun tarkoitettu sovellus, joka koostuu neljästä eri tuoteryhmästä, jotka ovat integroitu toimimaan yhdessä: *COMOS Platform*, *COMOS Process*, *COMOS Automation* ja *COMOS Operations*. Jokainen tuoteryhmä sisältää lisäksi moduuleja. Tuoteryhmät sekä niihin kuuluvat moduulit ovat esitelty kuvassa 6. Integraation johdosta COMOS-sovelluksissa tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti tietokannassa tuoteryhmien välillä. (Siemens AG 2019.)



Kuva 6. COMOS-sovelluksen tuoteryhmät sekä moduulit (Valmet Technologies Oy).

*COMOS Process* -tuoteryhmään kuuluvien moduulien tarkoitus on helpottaa laitoksen suunnittelua. Tuoteryhmään kuuluu viisi eri moduulia: *Feed*, *P&ID*, *PipeSpec*, *Isometric* ja *3D Integration*. *Feed*-moduulin avulla voidaan tehdä kustannusarvio projektista jo hyvin varhaisessa vaiheessa suunnittelua, tarkastella projektikonaisuutta sekä hallita tietokantaa. *Feed*-moduuliin kuuluu lisäksi PFD-sovellus (process flow diagrams), joka linkittää automaattisesti eri objekteihin tarvittavat tiedot. Valmiita PFD-tiedostoja voi kopioida, muokata ja käyttää uusissa projekteissa *Feed*-moduulin avulla. *P&ID*-moduulia käytetään putkistojen sekä instrumenttien suunnittelussa sekä isometrikuvien tekoon. *P&ID*-moduulin kirjastossa on valmiiksi kansainvälisiä standardeja vastaavat symbolit putkistojen ja instrumenttien suunnittelua varten. *P&ID*-moduuli käyttää edistyneitä teknologioita kytkennöissä ja sen avulla moduuli esimerkiksi tunnistaa automaattisesti kytkentään vaadittavat osat sekä oikean virtaussuunnan. *PipeSpec*-moduuli on kehitelty erityisesti putkistojen luomisesta ja hallitsemisesta varten. *P&ID*-moduulin kaltaisesti *PipeSpec*-moduulissa on kirjasto, josta löytyy usean standardin määrittelemiä

putkistoihin tarvittavia komponentteja. Yleiskatsauksen parantamiseksi *PipeSpec*-moduulin avulla voi lisätä muun muassa selosteita osaluetteloon. *Isometric*-moduulin käyttö perustuu tietokantaan, joka on yhdistetty *COMOS Process* -tuoteryhmän muihin moduuleihin. Kaikkia putkilinjoja, jotka ovat luotu *Isometric*-moduulin avulla, voidaan hallita myös 3D-mallissa. 3D-mallin tarkasteluun ja tekemiseen käytetään *3D Integration* -moduulia, joka voidaan synkronoida AVEVA E3D/PDMS -sovellusten kanssa. Kaikki COMOS-sovelluksessa tehty työ voidaan siis siirtää myös AVEVA:n 3D-sovelluksiin. AVEVA:n ja Siemens AG:n sovellusten keskinäisen integraation johdosta on mahdollista luoda putkistojen 3D-malli E3D-sovelluksella käyttäen samalla kuitenkin COMOS-sovelluksen tietokantaa ja kirjastoa mallintamiseen. (Siemens AG 2018.)

## 4 PUTKISTOJEN TUNNISTEJÄRJESTELMÄT

### 4.1 KKS-koodausjärjestelmä

KKS-koodausjärjestelmä on saksalainen tunnusjärjestelmä, joka on luotu voimalaitoksien rakennuksille sekä niissä oleville järjestelmille ja komponenteille. Kirjaimista ja numeroista koostuvan tunnusjärjestelmän tarkoituksena on laitteiden ja järjestelmien yksilöllinen tunnistaminen. KKS-koodausjärjestelmä rakentuu kokonaisuudessaan laitososatunnuksesta, järjestelmätunnuksen tunnusosasta, järjestelmätunnuksesta, laitteistotunnuksesta, laitteistotunnuksen tunnusosasta sekä laitetunnuksesta. Järjestelmätunnuksen tunnusosa, laitteistotunnuksen tunnusosa ja laitetunnus ovat KKS-koodausjärjestelmän määrittelemiä lisämerkintöjä, joiden käyttö ei ole pakollista. (Huhtinen ym. 2013, 338.)

Laitososatunnus jakaa voimalaitoksen eri laitoskokonaisuuksiin. Laitososatunnusta ei ole ennalta määritely, vaan se voi olla numero tai kirjain, joka määräytyy esimerkiksi laitoksen suunnittelijan tai asiakkaan toimesta. Järjestelmätunnus kertoo järjestelmäkokonaisuuden, johon merkintä viittaa. Järjestelmäkokonaisuuksia voi olla esimerkiksi lauhdejärjestelmä ja syöttövesijärjestelmä. Järjestelmätunnus koostuu kirjainosasta sekä tarkentavista numeroista, jotka ovat ennalta määriteltyjä. Laitteistotunnus kertoo järjestelmän käyttämästä laitteistosta. Järjestelmätunnuksen lailla myös laitteistotunnus koostuu ennalta määritetystä kirjainosasta sekä tarkentavista numeroista. Kuvassa 7 on esitelty KKS-koodausjärjestelmän tunnuksen rakenne, jossa

- 1 on laitososatunnus
- (5) on järjestelmätunnuksen tunnusosa
- LAC10 on järjestelmätunnus
- AA010 on laitteistotunnus
- (A) on laitteistotunnuksen tunnusosa
- (AANN) on laitetunnus. (Huhtinen ym. 2013, 338–339.)

**1 (5) LAC10 AA010 (A) (AANN)**

Kuva 7. KKS-koodausjärjestelmän tunnuksen rakenne (Huhtinen ym. 2013, 338).

## 4.2 WBS/PBS-työnumero

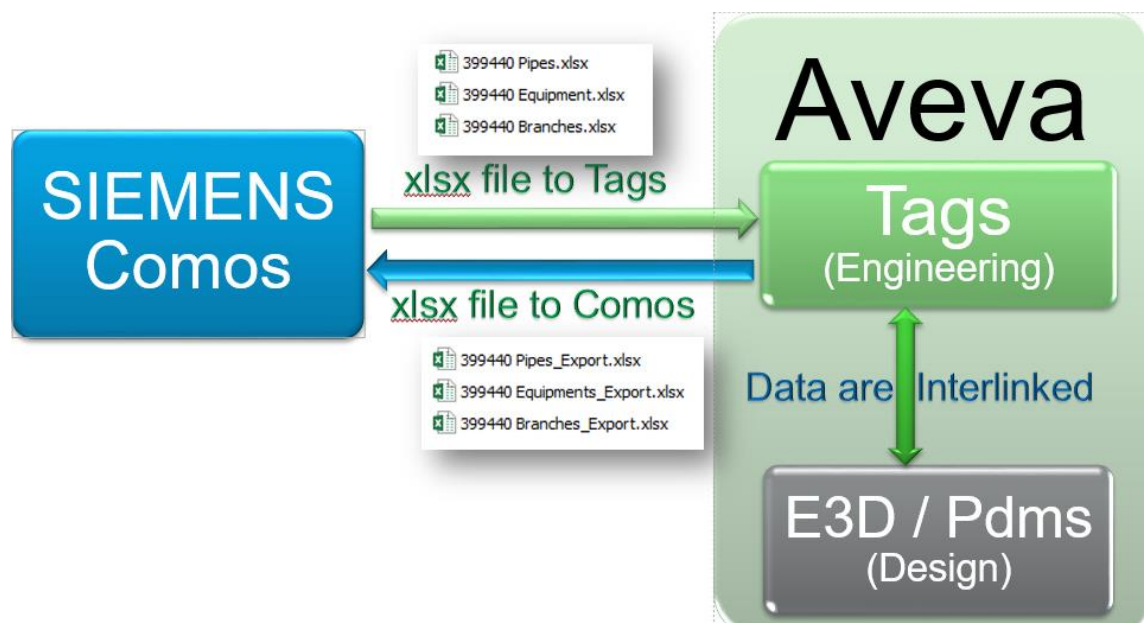
WBS/PBS-järjestelmä (Work Breakdown Structure/ Product Breakdown Structure) on kansainvälisesti käytössä oleva työkalu, jota käytetään projektihallinnassa. WBS-järjestelmä on monitasoiseksi hajautettu lista projektin toimittamista vaativista komponenteista. PBS-järjestelmässä puolestaan on jaettu projektin toimittamista varten vaaditut komponentit yksityiskohtaisempaan listaan. (Haughey 2019.)

Valmet käyttää WBS-työnumeroita ja PBS-työnumeroita KKS-koodausjärjestelmän tavoin kattilalaitosprosessien tunnistamiseen. Kattilalaitosprosesseissa WBS-työnumero voidaan antaa esimerkiksi prosessiputkistolle, jolloin PBS-työnumerot määrittävät tarkemmin prosessiputkistoon kuuluvat putkistot. Prosessiputkistoon kuuluvia putkistoja ovat muun muassa kemikaaliputkisto, savukaasuputkisto ja paineilmaputkisto. (Valmet Technologies Oy.)

## 4.3 Tunnistejärjestelmien käyttö putkistosuunnittelussa

Valmet käyttää kattilalaitosprojektien putkistosuunnittelussa sekä KKS-koodausjärjestelmää että WBS/PBS-työnumerojärjestelmää. Nykyään WBS/PBS-työnumerojärjestelmällä on suurempi merkitys kattilalaitosprojektien tarkastelussa, kuten esimerkiksi putkistoprosessien kustannusarvioinnissa. Valmet käyttää KKS-koodausjärjestelmän tunnuksen antamiseen omia KKS-käyttöohjeitaan ellei asiakas ole määritellyt muita ohjeita positiointijärjestelmän tunnuksen antamiselle. Valmetin ja asiakkaan antamat ohjeistukset KKS-tunnuksen antamiselle saattaa poiketa toisistaan esimerkiksi laitososatunnuksen kohdalla, koska laitososatunnus voi olla joko kirjain tai numero. Valmetin omassa käyttöohjeessa on esitetty KKS-tunnuksen rakenne ja tunnuksen muodostuminen esimerkkien avulla. Käyttöohjeessa on käsitelty tunnuksen muodostumisen lisäksi tunnuksen antamisessa käytettyjen symbolien merkitykset. Lisäksi käyttöohjeen liitteissä on esitelty kaikki KKS-tunnusjärjestelmän pääryhmät, järjestelmäkoodit, laitteistokoodit ja laitetunnukset, joista KKS-tunniste lopulta rakentuu. Asiakas voi määrittää käytettäväksi myös jonkin muun tunnistejärjestelmän kuin KKS-tunnisteen. WBS/PBS-työnumerot annetaan KKS-koodausjärjestelmän tunnuksen sekä putkistoprosessin perusteella. Kaikki Valmetin käytössä olevat WBS/PBS-työnumerot ovat listattuna erillisessä PBS Packages -tiedostossa. (Valmet Technologies Oy.)

AVEVA E3D/PDMS -sovellukset ovat integroituja Siemens AG:n COMOS-sovelluksen kanssa, joten putkistosuunnittelussa käytettävä sekä muodostuva aineisto siirtyy integroitujen sovellusten välillä automaattisesti. Aineisto siirtyy sovellusten välillä excel-tiedostojen muodossa. Aineisto siirtyy AVEVA:n E3D/PDMS-sovelluksesta AVEVA:n Tags-sovellukseen, josta aineisto siirtyy eteenpäin COMOS-sovellukseen. Vastaavanlaisesti aineisto siirtyy myös COMOS-sovelluksesta AVEVA:n Tags- ja E3D-sovelluksiin. AVEVA:n Tags- ja E3D-sovellukset käyttävät yhteistä tietokantaa, jonka avulla Tags-sovelluksesta saa linkitettyä esimerkiksi puuttuvia putkia E3D-sovelluksen 3D-malliin. Linkittäminen siirtää myös kaikki linkitettävälle osalle annetut attribuuttitiedot Tags-sovelluksesta 3D-malliin. Myös putkiston isometrikuvia tehtäessä E3D-sovelluksella hyödynnetään Tags-sovelluksen tietokantaa, josta saadaan putkelle asetetut prosessitiedot automaattisesti mukaan isometrikuviin. Integraation ja aineiston siirtymisen johdosta riittää, että putkistosuunnitteluun vaadittavat tiedot löytyvät yhdestä tietokannasta. Kuvassa 8 on esitelty aineiston siirtymistä Valmetin käyttämien sovellusten tietokantojen välillä. (Valmet Technologies Oy.)



Kuva 8. Aineiston siirtyminen (Valmet Technologies Oy).

Käytössä olevat WBS/PBS-työnumerot ovat syötetty COMOS-sovelluksen tietokantaan manuaalisesti luomalla tietokantaan pakkauksia WBS/PBS-työnumeroista, jonka jälkeen luotuja putkia voi yhdistää tietokantaan lisättyihin työnumeroihin. Putkistoille annettuja WBS/PBS-työnumeroita on mahdollista muokata ja lisätä tietokantaan myös myöhäisemmässä vaiheessa. COMOS-sovelluksen tietokannassa olevat työnumerot siirtyvät suunnittelussa automaattisesti AVEVA E3D -sovellukseen, joten E3D-



sovelluksessa mallinnetut putkistot saavat automaattisesti WBS/PBS-työnumeron COMOS-sovelluksen tietokannasta. Sovellusten integroitumisen johdosta riittää, että käytössä olevat työnumerot ovat lisätty kertaalleen COMOS-järjestelmän tietokantaan. (Valmet Technologies Oy.)

#### 4.4 Tunnistejärjestelmien vertailu

Kaikissa Valmetin kattilalaitosprojektien putkistojen suunnittelussa ei ole käytetty WBS/PBS-työnumerojärjestelmää, koska työnumerojärjestelmä ei ole ollut aina käytössä. WBS/PBS-työnumerojärjestelmän puuttuminen tarkoittaa, että vanhemmissa Valmetin kattilalaitosprojekteissa on käytetty ainoastaan KKS-koodausjärjestelmää. Tämä aiheuttaa haasteita toteutuneiden kattilalaitosprojektien putkistojen myöhäisemmässä tarkastelussa ja tulevien kattilalaitosten putkistojen kustannusarvioinnin sekä massan ja määrän ennakoivan arvioinnin teossa. Kattilalaitosprojektien putkistoille on tehtävä KKS-WBS/PBS-vertailu, jos tarkasteltavissa kattilalaitosprojekteissa ei ole käytetty WBS/PBS-työnumeroita. Vertailun tekeminen on välttämätöntä, koska sen avulla myös vanhempien kattilalaitosten putkistotietoja voidaan vertailla uudempien kattilalaitosten tietoihin. Vertailun tekeminen on haasteellista, koska WBS/PBS-työnumerot määrittelevät putkistoprosessin tarkoituksen tarkemmin kuin KKS-koodausjärjestelmä. Haasteellisuuden lisäksi vertailun tekeminen on työlästä, koska vertailun tekoon tarvitaan kunkin kattilalaitoksen PI-kaaviot ja putkilistat, joiden avulla putkilinjat käydään yksitellen läpi. Vertailun toteuttamiseksi voidaan PI-kaavioiden ja putkilistan lisäksi tarvita kattilalaitosprojektin 3D-mallia. Kuvassa 9 on esitelty esimerkkitapaus kahden eri kattilalaitoksen prosessiputkistoille tehdyn KKS-WBS/PBS-vertailun tuloksesta. Kuvassa 9 on listattuna käytössä olevat prosessiputkiston WBS/PBS-työnumerot sekä työnumeroille annetut nimet. Kuvassa 9 olevat kolmikirjaimiset lyhenteet ovat kattilalaitoksien prosessiputkistoille annettujen KKS-koodausjärjestelmän tunnuksien järjestelmätunnuksia, jotka kertovat mikä järjestelmäkokonaisuus on kyseessä. (Valmet Technologies Oy.)

Kuvasta 9 huomataan, että eri kattilalaitosprojekteissa käytetyt KKS-koodausjärjestelmän tunnuksukset eivät aina vastaa samaa WBS/PBS-työnumeroa. Esimerkiksi järjestelmätunnus QEB on projektissa 1 asetettu *40210-12 Instrument air piping* -ryhmään ja projektissa 2 sama järjestelmätunnus on asetettu *40210-14 Pressure air piping* -ryhmään. Kyseisen eroavaisuuden vuoksi tunnistejärjestelmien vertailu on

tehtävä projektikohtaisesti hyödyntäen kunkin projektin PI-kaavioita, putkilistaa ja tarvittaessa 3D-mallia. Vertailussa PI-kaavioita tulkitaan kattilalaitosprojektin putkistoille annettujen KKS-tunnisteiden avulla. Tulkitseminen edellyttää kattilalaitoksen prosessisysteemien tuntemista, koska PI-kaavioissa olevat eri prosessisysteemien putkilinjat on osattava tunnistaa, jotta vertailu voidaan tehdä oikein. Esimerkiksi korkeapaineisten ja matalapaineisten putkilinjojen erottamiseen vaaditaan kattilalaitoksen prosessien tuntemista. Prosessisysteemien putkilinjojen tunnistamisen lisäksi tunnistajärjestelmien vertailun tekeminen PI-kaavioiden avulla edellyttää, että tekijä osaa tulkita PI-kaavioita ja niissä käytettäviä symboleita oikein. PI-kaavioiden lisäksi vertailun tekemisessä hyödynnetään kunkin kattilalaitosprojektin putkilistaa, jossa on listattuna kaikki kattilalaitosprojektin putkistot. Putkilista kertoo annetun KKS-tunnuksen lisäksi muun muassa putkistossa virtaavan aineen, suunnittelupaineen ja -lämpötilan sekä PI-kaavion numeron, jossa mikäkin putki sijaitsee. Putkilistan hyödyntämisessä on haasteena kuitenkin se, että joidenkin putkilistassa mukana olevien putkien tiedot ovat puutteellisia. (Valmet Technologies Oy.)

			Projekti 1	Projekti 2
WBS	3	402	<b>Process piping</b>	
WBS / PBS	4	40210	<b>Process piping</b>	
PBS	5	40210-01	<i>Ammonia piping</i>	QCB
Module	5		- <i>Ammonia injection module</i>	
PBS	5	40210-02	<i>Black liquor piping</i>	
PBS	5	40210-03	<i>Chemical piping</i>	QCA
PBS	5	40210-04	<i>Chemical condensate piping</i>	
PBS	5	40210-05	<i>Cooling and sealing water piping</i>	MKA, PUA, PCB, PGA, PGB, SBH22, SBH12, SBH11, SBH13
PBS	5	40210-06	<i>Cooling and sealing air piping</i>	HHA, HLA, HNC, HJA
PBS	5	40210-07	<i>Demi water piping</i>	GCK
PBS	5	40210-09	<i>Fuel gas piping</i>	HJG
PBS	5	40210-10	<i>Fuel oil piping</i>	EGD
PBS	5	40210-11	<i>Green and white liquor piping</i>	
PBS	5	40210-12	<i>Instrument air piping</i>	QEB
PBS	5	40210-13	<i>Ignition gas piping</i>	
PBS	5	40210-14	<i>Pressure air piping</i>	QEP, QEA, HDA
PBS	5	40210-15	<i>MP and LP-steam piping</i>	LBD, LBF30, LBG, LBQ, LBS, NDD, LAA, MAL
PBS	5		- <i>Steam tracing piping</i>	
PBS	5	40210-16	<i>NCG piping</i>	
PBS	5	40210-17	<i>Potable water piping</i>	GAC60, GAC52, GAC63, GAC64, GAC80, GAC51, GAC62
PBS	5	40210-18	<i>Process water piping</i>	GAC,
PBS	5	40210-19	<i>Corrostop piping</i>	
PBS	5	40210-24	<i>LP steam condensate piping</i>	LAD, LCA, LCH
PBS	5	40210-25	<i>LP drain and vent piping</i>	LCM, MAJ, HAN28, HAN40, HAN11, HAN24, HAN14, HAN10, HAN02, HAN01, HAN41, HAN42
PBS	5	40210-27	<i>District heating piping</i>	NDA, NDB
PBS	5	40210-28	<i>Effluent piping</i>	
PBS	5	40210-29	<i>Fire water piping</i>	
PBS	5	40210-30	<i>Nitrogen piping</i>	LFJ

Kuva 9. Esimerkki KKS-WBS/PBS-vertailun tuloksesta (Valmet Technologies Oy).

KKS-WBS/PBS-vertailun tekemiseksi kattilalaitosprojekteista on ensin ajettava materiaalilista (Material take off, myöhemmin MTO). MTO ajetaan kunkin kattilalaitoksen putkiston osalta, jolloin MTO-tiedoston tuloksena saatavassa excel-tiedostossa on listattuna kaikki tiedot kattilalaitoksen putkistoista. Tunnistejärjestelmien vertailun kannalta MTO-tiedoston ajaminen on tärkeää, koska WBS/PBS-työnumeron puuttuminen sekä annettu KKS-tunniste saadaan selville ajetusta MTO-tiedostosta. Valmet käyttää MTO-tiedoston ajamiseen AVEVA:n E3D- ja PDMS-sovelluksia, koska MTO-tiedosto ajetaan kattilalaitoksen 3D-mallista. Putkiston MTO:n ajaminen E3D- sekä PDMS-sovelluksilla on yksinkertaista *Pipework*-sovelluksen *Mpipe*-toiminnon avulla. Toiminnon aktivoimisen jälkeen, toiminto antaa käyttäjän valita kattilalaitoksen laitehierarkiasta ne putkistot, jotka halutaan sisällyttää MTO-tiedostoon. Kun kaikki halutut putket ovat valittuna, toiminnolla voidaan suorittaa MTO-tiedoston teko. Ajettu MTO-tiedosto sisältää useita Pivot-taulukoita, jotka sisältävät kattilalaitoksen putkistoille annettuja tietoja. MTO-tiedosto sisältää myös Pivot-taulukoiden raakadatan, joten Pivot-taulukoihin on tarvittaessa mahdollista lisätä tietoja. Puuttuvat WBS/PBS-työnumerot saadaan lisättyä ajetun MTO-tiedoston sisältämään raakadataan MTO-tiedostosta saatujen KKS-tunnisteiden, COMOS-sovelluksesta saatujen PI-kaavioiden ja kattilalaitosten putkilistojen avulla. (Valmet Technologies Oy.)

## 5 PUTKISTOJEN ENNAKOIVA ARVIOINTI

Kattilalaitoksen putkistojen massan ja määrän ennakoivan arvioinnin tärkein tavoite on saada arvioitua kattilalaitoksen putkistoihin liittyviä kustannuksia sekä kattilalaitoksen putkistojen kokoa realistisesti. Kustannuksiin vaikuttavat muun muassa kattilalaitoksen prosessisysteemit, kattilalaitokselle asetetut vaatimukset, putkistojen ominaisuudet ja putkistojen massa sekä määrä. Putkistojen kokoon vaikuttavat esimerkiksi kattilalaitoksen laitteiden ja komponenttien sijainti, kattilalaitokselle asetetut toimitusrajat, prosessiarvot ja kapasiteetti, joten putkistojen massan ja määrän ennakoivaan arviointiin liittyy useita eri haasteita. Uusista kattilalaitosprojekteista järjestetään usein tarjouskilpailu eri kattilalaitosten toimittajien välillä, joten kustannusarvion tekeminen vaikuttaa suoraan mahdollisuuksiin voittaa tarjouskilpailu. Tilaaja lähettää kattilalaitosten toimittajille tarjouspyynnön, jonka pohjalta toimittajien on lähetettävä tarjous pyydetystä laitoskokonaisuudesta. (Valmet Technologies Oy.)

Kattilalaitoksen putkistojen kustannukset koostuvat muun muassa putkistojen osista, materiaalista, määrästä ja massasta. Putkistojen kustannusten osuus koko kattilalaitoksen kustannuksista on noin 10 %, mutta putkistojen massan ja määrän ennakoivassa arvioinnissa tapahtuvat virheet vaikuttavat putkistojen lopullisiin kustannuksiin. Ennakoivassa arvioinnissa tapahtuvat virheet johtuvat usein kattilalaitoksen putkistojen arviointiin liittyvistä haasteista. Tehdyt virheet vaikuttavat putkistojen lisäksi usean eri osa-alueen kustannuksiin, jonka vuoksi virheiden yhteensä aiheuttamat kustannukset vaikuttavat kattilalaitoksen kokonaiskustannuksiin. Kokonaiskustannusten kasvu puolestaan heikentää kattilalaitosprojektin katetta, koska useimmiten alkuperäisen kustannusarvion ylittävät kustannukset vähennetään katteesta. Realistisen kustannusarvion tekeminen edellyttää, että osataan arvioida putkistojen kokoa ennakoidusti. Ennakoivaa arviointia ja kustannusarviointia tehdessä on lisäksi otettava huomioon kaikki putkistojen kustannuksiin vaikuttavat asiat, koska esimerkiksi valittu materiaali vaikuttaa putkiston massaan ja putkiston kustannuksiin. Putkistojen massan ja määrän ennakoivalla arvioinnilla on mahdollista antaa tilaajalle luotettava kustannusarvio kohteesta. Huolellisesti tehty putkistojen koon ja kustannusten arviointi minimoi putkistojen lopullisten kustannusten kasvamista arvioitujen kustannusten yli. (Valmet Technologies Oy.)

## 5.1 Ennakoivan arvioinnin haasteita

Ennakoiva arviointi pohjautuu tarjouspyynnössä esitettyihin tilaajan antamiin tietoihin kohteesta. PSK 2641 -standardin mukaan tarjouspyynnössä tulee määritellä vähintään:

- suunnittelun kohde
- laitoksen sijainti
- prosessi
- mahdollinen liittyminen suurempaan laitokseen
- uusi laitos vai vanhan uudistaminen
- suunnittelutyön suorituspaikka
- projektiorganisaatio
- yhteyshenkilö
- projektikieli
- raportointimenettely
- pääaika- ja lähtötietojen luovutusaikataulu.

Yleisten asioiden lisäksi tarjouspyynnössä esitellään tarvittavat dokumentit, toimituslaajuus, tekniset vaatimukset, suunnittelujärjestelmä, tehtäväluettelo, dokumentoinnin laajuus sekä kaupalliset asiat. Putkistosuunnittelun tarjouspyynnön tekemiseen voi käyttää PSK 2641 -standardin liitteenä olevaa tarjouspyynnön mallipohjaa. (PSK 2641.)

Putkistojen ennakoivan arvioinnin suurin haaste on se, että tarjousvaiheessa loppuunviety suunnittelu ei ole tarkoituksenmukaista eli käytännössä putkistojen ennakoivaa arviointia ja kustannusarviointia tehdään suunnittele mattomalle kattilalaitokselle. Koska kohdetta ei ole kokonaisuudessaan suunniteltu vielä, on tarjouspyynnössä esitetyillä tiedoilla suuri merkitys kustannusarvioinnin tekemisessä. Putkistojen suunnittelun kannalta on tärkeää, että tarjouspyynnössä on esitelty tarkasti etenkin toimituslaajuus, käyttöpaineet ja -lämpötilat sekä mahdolliset erikoismateriaalit putkistoille. (Valmet Technologies Oy.)

Ennakoivaan arviointiin vaikuttaa merkittävästi myös se, jos projektin kohteena on jo olemassa olevan kattilalaitoksen uudistaminen. Jo olemassa olevissa kattilalaitoksissa on usein enemmän suunnittelua rajoittavia tekijöitä kuin täysin uusien kattilalaitosten suunnittelussa. Suunnittelua rajoittavat tekijät vaikuttavat putkistojen ennakoivan

arvioinnin lisäksi putkistojen kustannusarvioinnin tekoon. Suunnittelua rajoittavina tekijöinä jo olemassa olevassa laitoksessa voivat olla esimerkiksi komponenttien sijainti tai rakennuksen seinämät, jotka vaikuttavat putkilinjojen pituuteen sekä kulkureitteihin ja sitä kautta putkistojen kokonaisuudessaan ja kustannuksiin. (Valmet Technologies Oy.)

Kattilalaitosprojektin tilaajan asettamien vaatimusten lisäksi viranomaiset ovat usein asettaneet putkistoille omat vaatimukset ja rajoitukset, jotka luovat osaltaan haasteita ennakoivan arvioinnin ja kustannusarvioinnin tekoon. Viranomaisten asettamat rajoitukset ja vaatimukset usein liittyvät henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkojen välttämiseen. Viranomaisten asettamat rajoitukset ja vaatimukset luovat osaltaan haasteita kansainvälisellä tasolla, koska kattilalaitosprojektin kohdemaan viranomaisten asettamat rajoitukset ja vaatimukset saattavat erota maiden välillä. Kansainvälisissä kattilalaitosprojekteissa mukana olevien suunnittelijoiden on perehdyttävä aina myös kohdemaan viranomaisten asettamiin vaatimuksiin sekä säännöksiin. (Valmet Technologies Oy.)

Putkistosuunnittelussa hyödynnettävien standardien runsas määrä luo haasteita ennakoivan arvioinnin teossa. Ennakoivaa arviointia tekevän suunnittelijan on osattava valita käyttöön putkistosuunnittelun kannalta oikeat standardit. Viranomaisten asettamien rajoitusten ja vaatimusten lisäksi standardien käyttö voi olla haastavaa kansainvälisellä tasolla. Euroopan sisällä käytetään yhdenmukaisia EN-standardeja, mutta Euroopan ulkopuolella käytettävissä standardeissa saattaa olla eroavaisuuksia, jotka on otettava huomioon jo ennakoivaa arviointia tehtäessä. Valmet hyödyntää sekä Suomen Standardisoimisliitto SFS:n asettamia standardeja että PSK-standardeja. (SFS 2019; Valmet Technologies Oy.)

## 5.2 Ratkaisuja haasteisiin

Putkistojen ennakoivaa arviointia voidaan helpottaa vertaamalla suunnitteilla olevan kattilalaitoksen putkistoa toteutuneiden kattilalaitosten putkistoihin. Vertailu on mahdollista, jos toteutuneiden kattilalaitosprojektien joukosta löytyy vastaavanlainen kattilalaitos kuin suunnitteilla oleva on. Vertailuun valittavan kattilalaitoksen on oltava samaa kokoluokkaa ja prosessisysteemeiltään samanlainen kuin suunnitteilla oleva kattilalaitos on. Vertailu voidaan toteuttaa käyttämällä yhden tai useamman toteutuneen kattilalaitoksen putkistojen tietoja.

Kattilalaitokset ovat suuria kokonaisuuksia putkistojen osalta, joten vertailussa käsiteltävää tietoa on lajiteltava. Yksinkertaisinta on lajitella toteutuneiden kattilalaitosten putkistojen tiedot prosessisysteemeittäin, koska kattilalaitosten prosessisysteemien toimintaperiaate on tavallisesti aina samankaltainen ja putkistojen tarkastelu on selkeää prosessisysteemien perusteella. Tarvittaessa voidaan keskittyä ainoastaan referenssilaitoksesta poikkeaviin prosessisysteemeihin. Valmet käyttää putkistojen lajittelussa KKS-tunnisteita sekä WBS/PBS-työnumeroita, jotka jakavat kattilalaitoksen putkistot prosessisysteemeihin.

Tulevissa kattilalaitosprojekteissa, joissa kohteena on jo olemassa oleva kattilalaitos, voidaan hyödyntää putkistojen ennakoivassa arvioinnissa jo olemassa olevia putkilinjoja sekä niiden kulkureittejä. Olemassa olevien putkilinjojen ja niiden kulkureittien hyödyntäminen edellyttää kuitenkin, että kyseiset tiedot ovat saatavilla. Uusittavien putkilinjojen kulkureitti voidaan määrittää samaksi kuin olemassa olevien putkilinjojen kulkureitti, jos olemassa olevat putkilinjat poistetaan kattilalaitoksesta putkistojen uusimisen yhteydessä ja mikäli kattilalaitoksen prosessisysteemit pysyvät samoina. Tällöin uusittujen putkilinjojen määrän ja sitä kautta myös kustannusten arviointi helpottuu huomattavasti. Jos olemassa olevia putkilinjoja ei poisteta kattilalaitoksesta tai prosessisysteemejä muutetaan, on uusien putkilinjojen kulkureitin määrittäminen hankalampaa, koska uusia putkilinjoja ei välttämättä ole mahdollista esimerkiksi tilanpuutteen vuoksi reitittää kulkemaan samaa kulkureittiä kuin jo olemassa olevat putkilinjat kulkevat. Olemassa olevien kattilalaitosten uudistamisessa voidaan hyödyntää niissä olevien putkilinjojen lisäksi pistepilveä, joka muodostuu laserteknologiaa hyödyntävän laserkeilauksen tuloksena. Olemassa olevassa kattilalaitoksessa tehtävä laserkeilaus mittaa kohteen mittatarkasti lähettämällä lasersäteitä eri suuntiin, jonka jälkeen se kerää lasersäteiden perusteella saadut tiedot digitaaliseen muotoon. Laserkeilauksen tuloksena syntyvä pistepilvi on mittatarkka 3D-malli kohteesta, joka havainnollistaa suunnittelijalle muun muassa kohteen rajoitteita ja komponenttien etäisyyksiä. Pistepilveä voidaan tarkastella AVEVA:n E3D-sovelluksella, jonka avulla voidaan varmistaa, että suunnitteilla olevat putkilinjat mahtuvat kulkemaan suunniteltua reittiä pitkin. E3D-sovelluksella tehty 3D-malli kattilalaitoksesta ja pistepilven muodostama 3D-malli voidaan yhdistää yhdeksi malliksi E3D-sovelluksessa. Kuvassa 10 on esimerkki laitoksessa tehdyn laserkeilauksen tuloksena saadusta pistepilvestä, joka on ajettu AVEVA:n E3D-sovellukseen tarkasteltavaksi yhdessä laitoksesta tehdyn 3D-mallin kanssa. Valmet on käyttänyt laserkeilauksen avulla saatua pistepilveä

hyödyksi jo olemassa olevien kattilalaitosprojektien uudistustöiden suunnittelussa. (Atlastica 2019; AVEVA 2019; Valmet Technologies Oy.)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n ja PSK Standardisointiyhdistys ry:n luomat standardit helpottavat putkistosuunnittelua sekä kustannusarvioiden tekemistä. Putkistosuunnittelussa käytettävien putkenosien ominaisuudet, muun muassa putkimitat, ovat usein määritelty käytetyissä standardeissa, joten putkistosuunnittelussa hyödynnetään käytettäväksi määriteltyjen standardien mukaisia tietoja. Valmetin käytetyimmät standardit putkenosien ominaisuuksien tarkastelussa ovat SFS-EN 10253-2 ja SFS-EN 10253-4. Standardeissa SFS-EN 10253-2 ja SFS-EN 10253-4 käsitellään päittäishitsattavia putkenosia, jotka ovat materiaaliiltaan joko seostamatonta terästä, ferriittistä seosterästä, austeniittistä terästä tai austeniittis-ferriittistä terästä. Putkien tarkastelussa käytetyimmät standardit ovat SFS-EN 10216, SFS-EN 10217 ja SFS-EN-ISO 1127, jotka käsittelevät saumattomien ja hitsattujen teräsputkien teknisiä toimitusehtoja. Standardia SFS-EN 10220 käytetään putkien ja putkenosien pituusmassojen laskemiseen, koska siinä käsitellään saumattomien ja hitsattujen teräsputkien mittoja ja pituusmassoja. Standardeissa määriteltyjen putkien ja putkenosien ominaisuuksien perusteella voidaan laskea pituusmassa, jonka avulla saadaan selville putkistoon kuuluvien osien massa. Putkistojen kustannuksia voidaan arvioida laskemalla putkistojen kokonaisuudessa standardien avulla laskettujen pituusmassojen ja kappalepainojen avulla. Putkistojen kokonaisuudessa hyödyntäminen kustannusten arvioinnissa kuitenkin edellyttää, että putkistojen määrä ja putkenosien kappalemäärät ovat arvioitu realistisesti. (SFS-EN 10220; 10253-2; 10253-4; 10216; 10217; 1127; Valmet Technologies Oy.)



Kuva 10. Pistepilven hyödyntäminen suunnittelussa (AVEVA 2019).



## 6 PUTKISTOEXCEL

Tämän opinnäytetyön yhteydessä on tehty Valmetin käyttöön putkistosuunnittelua sekä tulevien kattilalaitosprojektien putkistojen kustannusarvion tekemistä helpottamaan soveltuva Putkistoexcel, joka on exceliin pohjautuva työkalu. Putkistoexcelin tarkoituksena on pystyä tarkastelemaan samanaikaisesti useamman eri kattilalaitosprojektin putkistojen määrää sekä massaa prosessisysteemeittäin. Opinnäytetyön liitteenä olevassa tiedostossa on yksityiskohtaisesti selvennetty Putkistoexcelin tekovaiheet, käyttöohjeet sekä haasteet ja kehitysideat.

Putkistoexcelin ensisijainen tarkoitus on helpottaa tulevien kattilalaitosprojektien putkistojen ennakoivaa arviointia ja sitä kautta myös kustannusarvioinnin tekoa. Putkistoexcelin avulla tehtävä ennakoiva arviointi perustuu eri kattilalaitosten putkistoista saatujen tietojen ja tulevien kattilalaitosten tietojen vertailuun. Mukana olevien kattilalaitosten putkistojen tiedoista on koottu useita taulukoita, joiden avulla putkistojen massan ja määrän keskinäinen vertailu toteutetaan. Putkistoexcelissä olevien yhteenvetotaulukoiden avulla kattilalaitosten putkistoja voi vertailla keskenään kaikkien mukana olevien kattilalaitosprojektien putkistojen kanssa samanaikaisesti. Yhteenvetotaulukoiden lisäksi mukana olevien kattilalaitosten putkistoja voi tarkastella projektikohtaisesti kattilalaitoksien omien välilehtien avulla. Tulevien kattilalaitosprojektien putkistojen massan ja määrän ennakoiva arviointi tehdään Putkistoexcelissä olevien projektikohtaisten taulukoiden avulla. Putkistoexceli on tehty siksi, että Valmetilla ei varsinaisesti ole käytössä putkistojen ennakoivaan arviointiin tarkoitettua työkalua, vaan suunnitteilla olevien kattilalaitosten putkistoja arvioidaan suurpiirteisesti. Nykyisen toimintatavan suurin haaste on luotettavuuden puute ja putkistoista aiheutuvien ylimääräisten kustannusten määrä.

Putkistoista aiheutuvat ylimääräiset kustannukset voivat olla huomattavan suuria verrattuna kattilalaitosprojektin alussa arvioituihin putkistojen kustannuksiin. Kattilalaitoksen kokonaiskustannuksista putkistojen osuus on vain noin 10 %. Vaikka putkistojen kustannukset ovat suhteessa pienet koko kattilalaitoksen kustannuksiin verrattuna niin, putkistojen massan ja määrän ennakoivassa arvioinnissa tehtyjen virheiden vaikutukset kustannuksiin ovat suuret, koska virheiden aiheuttamat ylimääräiset kustannukset kertaantuvat usealla eri osa-alueella. Putkistojen ennakoivassa arvioinnissa tehdyt virheet tarkoittavat sitä, että putkistojen lopullinen määrä ja massa ylittävät kattilalaitosprojektin alussa arvioidut putkistojen määrät. Virheet

johtuvat usein joko siitä, että kattilalaitosprojektin alussa ei ole osattu arvioida putkistojen kokoa realistisesti tai jonkin prosessisysteemin putkisto on epähuomiossa jätetty arvioinnin ulkopuolelle. Putkistojen ennakoivassa arvioinnissa tehtyjen virheiden kertaantuminen eri osa-alueilla tarkoittaa sitä, että virheet eivät vaikuta ainoastaan putkistojen kustannuksiin, vaan ne vaikuttavat myös esimerkiksi putkistojen asennuskustannuksiin ja siten aiheuttavat huomattavasti muutosta kattilalaitoksen kokonaiskustannuksiin. Kokonaiskustannusten kasvu puolestaan heikentää kattilalaitosprojektille asetettua katetta ja vaikuttaa siten liiketoiminnan kannattavuuteen. Katteen heikentyminen johtuu siitä, että tehtyjen virheiden aiheuttamat lisäkustannukset kustannetaan usein kattilalaitosprojektin katteesta. Yleisesti tarkasteltuna energiateollisuudessa on alhaiset katteet, joten tuleville kattilalaitosprojekteille joudutaan usein asettamaan valmiiksi alhainen kate jo projektin alkuvaiheessa. Tehdyn työkalun tarkoitus on parantaa putkistojen ennakoivan arvioinnin luotettavuutta, helpottaa ennakoivan arvioinnin tekoa ja vähentää ylimääräisten kustannusten määrää putkistojen osalta.

Putkistoexcelillä tehtävän ennakoivan arvioinnin avulla on mahdollista tehdä realistinen ja luotettava kustannusarvio tulevan kattilalaitosprojektin putkistoista toteutuneiden kattilalaitoksien putkistoista saatujen tietojen avulla. Putkistoexceliin on valittu mukaan useita Valmetin toteuttamia kattilalaitoksia, jotka ovat työkalun tarkoitukseen sopivia. Mukaan valitut kattilalaitokset ovat eri kokoisia ja erilaisia keskenään, koska Putkistoexcelin tietokannassa on oltava mahdollisimman laajasti erilaisia kattilalaitoksia mukana luotettavan vertailun tekemiseksi. Laajan tietokannan johdosta tulevien kattilalaitosten putkistoja on mahdollista verrata usean toteutuneen kattilalaitoksen putkistoihin. Mukana olevien kattilalaitosten putkistojen tiedot ovat kerätty yhteen excel-tiedostoon, jotta putkistojen tietojen analysointi ja vertailu on yksinkertaisempaa tehdä.

Kattilalaitoksen putkistoista aiheutuvat ylimääräiset kustannukset ovat suuri haaste Valmetin kattilalaitosprojekteissa, mutta Putkistoexcelillä tehtävän kustannusarvioinnin avulla on mahdollista vähentää ylimääräisten kustannusten määrää. Valmet on kokeillut Putkistoexcelin toimivuutta tulevien kattilalaitosprojektien putkistojen massan ja määrän arviointiin. Putkistoexcelin tarkoitus on tulla Valmetin Raision toimipisteen henkilökunnan käyttöön kattilalaitoksen putkistojen ennakoivan arvioinnin teossa.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada käsitys kattilalaitoksen putkistojen ennakoivaan arviointiin liittyvistä haasteista ja kehittää ennakoivaan arviointiin liittyvien haasteiden pohjalta putkistojen massan ja määrän ennakoivaa arviointia helpottava työkalu Valmetin käyttöön. Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä Valmetin toteuttamien kattilalaitosten putkistotietoihin, putkistosuunnitteluun ja siihen käytettävien sovellusten toimintaan, kattilalaitoksen prosessisysteemien tunnistamiseen eri tunnistejärjestelmien avulla sekä putkistojen ennakoivaan arviointiin liittyviin haasteisiin. Valmetin tietokannan lisäksi työn toteutuksessa hyödynnettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja aiheeseen liittyviä sähköisiä lähteitä.

Opinnäytetyön tuloksena on kehitetty kattilalaitoksen putkistojen massan ja määrän ennakoivaan arviointiin soveltuva työkalu. Kehitetyn työkalun avulla Valmetin on jatkossa helpompi toteuttaa tulevien kattilalaitosten putkistojen massan ja määrän arviointi luotettavasti toteutuneista kattilalaitosprojekteista saatujen putkistotietojen perusteella. Työkaluun on kerätty tiedot useamman eri toteutuneen kattilalaitoksen putkistoista, jotta putkistojen keskinäinen vertailu voidaan suorittaa mahdollisimman laajan tietokannan avulla. Tulevien kattilalaitosten putkistojen massan ja määrän luotettava arviointi on tärkeää, koska sen avulla on mahdollista vaikuttaa kattilalaitoksen lopullisten kustannusten määrään ja siten ehkäistä kattilalaitosprojektin katteen laskemista. Yleisesti tarkasteltuna energiateollisuudessa on usein jo valmiiksi alhaiset katteet, joten katteen laskeminen ei ole toivottua. Putkistojen massan ja määrän ennakoivaan arviointiin tarkoitettua työkalua on tarkoitus hyödyntää myös tulevien kattilalaitosten putkistojen kustannusarvion teossa, koska putkistojen kustannukset ovat riippuvaisia putkistojen massasta ja määrästä.

Kattilalaitoksen putkistojen ennakoivan arvioinnin teko sekä siihen kehitetyn työkalun toimivuus ja käytön kehittäminen on tärkeää, koska putkistojen ennakoivassa arvioinnissa tehtyjen virheiden kerrannaisvaikutukset kustannuksissa ovat suuret. Etenkin kehitetyn työkalun toimivuudella on suuri merkitys kattilalaitoksen kokonaiskustannuksiin, koska putkistoista aiheutuvien kustannusten osuus saattaa kasvaa huomattavasti tehtyjen virheiden johdosta. Vaikka putkistojen osuus kattilalaitoksen kustannuksista on noin 10 %, niin virheiden aiheuttamat kerrannaisvaikutukset aiheuttavat huomattavaa kasvua putkistojen osuudessa kokonaiskustannuksissa. Kerrannaisvaikutuksilla tarkoitetaan sitä, että putkistojen

ennakoivassa arvioinnissa tehdyt virheet kertaantuvat usealla eri osa-alueella kattilalaitoksessa.

Putkistoexcelissä olevat tiedot perustuvat lähes kokonaan Valmetin tietokantaan toteutuneista kattilalaitosprojekteista sekä niiden putkistoista. Työkalua tehdessä kattilalaitosprojektien tiedoissa havaittiin puutteita ja eroavaisuuksia, joten kaikkien työkalussa mukana olevien tietojen oikeellisuutta ei voida täysin todentaa. Tiedoissa havaittujen puutteiden ja eroavaisuuksien määrä on kuitenkin koko mukana olevaan tietokantaan verrattuna hyvin vähäistä ja niitä on korjattu oikeiksi työkalua tehtäessä, joten puutteista ja eroavaisuuksista huolimatta työkalulla toteutettavan putkistojen ennakoivan arvioinnin tulos on luotettava. Valmetin tietokannan lisäksi työkalun tekoon on käytetty putkistosuunnittelussa käytetyistä standardeista saatuja tietoja. Standardeista saatuja tietoja on käytetty esimerkiksi putkien ja putkenosien pituusmassojen sekä kappalepainojen laskemiseen.

Kehitetty työkalu on ensimmäinen Valmetin käyttöön tehty kattilalaitoksen putkistojen ennakoivaan arviointiin tarkoitettu työkalu, joten työkalun toiminnan parantamiseksi opinnäytetyön liitteessä on esitetty jatkokehitystä tukevia kehittämisideoita. Esitettyjen kehittämisideoiden toteuttaminen parantaa sekä työkalun käytettävyyttä että työkalulla tehtävän ennakoivan arvioinnin luotettavuutta. Työkalun toiminnan parantamisen lisäksi osa opinnäytetyössä esitetyistä kehittämisideoista edesauttavat myös putkistojen suunnitteluun liittyviä haasteita, koska kehitetty työkalu kulkee putkistojen suunnittelun rinnalla. Yksi opinnäytetyössä esitetyistä kehittämisideoista on WBS/PBS-työnumeroiden nimien lisääminen COMOS-sovelluksen tietokantaan, koska työnumeroiden nimet helpottavat sekä putkistojen suunnittelussa kattilalaitoksen prosessisysteemien tunnistamista että kehitetyn työkalun sisältämien tietojen analysoimista. Opinnäytetyössä esitetyt kehittämisideat ovat tulleet esille työkalua tehtäessä sekä sitä käytettäessä. Vaikka työkalun käyttöä on jo kokeiltu putkistojen ennakoivassa arvioinnissa ja saatu tulos on vaikuttanut arvioidun kattilalaitoksen kokoon ja prosessisysteemeihin nähden realistiselta, niin todelliset tulokset työkalun toimivuudesta ja luotettavuudesta saadaan vasta myöhemmin, kun arvioidun kattilalaitoksen putkistot ovat suunniteltu kokonaan valmiiksi.

Opinnäytetyössä annettujen kehittämisideoiden lisäksi työkalun käyttöä ja toimivuutta on mahdollista jatkokehittää lisää, kun todelliset tulokset työkalun toimivuudesta on saatu. Tarvittaessa työkaluun on mahdollista lisätä mukaan myös uusia kattilalaitosprojekteja, jolloin työkalun tietokanta kasvaa ja vertailukelpoista tietoa on enemmän.

## LÄHTEET

- Atlastica 2019. Laserkeilaus. Viitattu 16.12.2019. <https://atlastica.fi/laserkeilaus/>
- AVEVA 2019. AVEVA Everything3D Brochure. Viitattu 5.12.2019. [https://sw.aveva.com/hubfs/assets-2018/pdf/brochures/Brochure\\_AVEVA\\_Everything3D.pdf](https://sw.aveva.com/hubfs/assets-2018/pdf/brochures/Brochure_AVEVA_Everything3D.pdf)
- Haughey, D. Project management tools. Project Smart. Viitattu 4.12.2019. <https://www.projects-smart.co.uk/project-management-tools.php>
- Heikkilä, M. 2001. Tekniset piirustukset. 2.-3. painos. Vantaa: WSOY Konetekniikka.
- Huhtinen, M.; Korhonen, R.; Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Annettu 15.5.2014. Saatavilla <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1524049293489&uri=CELEX:02014L0068-20140717>
- Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.
- PSK 2641. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelu. Tarjouspyynnön malli. Helsinki: PSK Standardisointi.
- PSK 3603. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. Helsinki: PSK Standardisointi.
- PSK 5803. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. 3. painos. Helsinki: PSK Standardisointi.
- SFS-EN ISO 1127. Ruostumattomat teräsputket. Halkaisijat, toleranssit ja pituusmassat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 5457. Tekninen tuotedokumentointi. Piirustusohjien koot ja rakenne. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 10216. Saumattomat painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 10217. Hitsatut painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 10220. Saumattomat ja hitsatut teräsputket. Mitat ja pituusmassat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 10253-2. Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 2: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat seostamattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 10253-4. Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 4: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) teräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS Online. Standardit ja julkaisut.
- Siemens AG 2018. Consistent process plant engineering with COMOS Process 10/2018. Viitattu 10.12.2019. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c9dcb8d2-4fdb-4bb7-88b6-820b5835e12e/version:1559620865/comos-process-en.pdf#page=6>
- Siemens AG 2019. COMOS Software solutions. Viitattu 9.12.2019. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/plant-engineering-software-comos/portfolio.html>
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2019. Standardi tutuksi. Viitattu 31.12.2019. [https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi)

- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes 2020a. Painelaitteet. Viitattu 13.1.2020. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet>
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes 2020b. Organisaatio. Viitattu 13.1.2020. <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/organisaatio>
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes 2020c. Painelaitteen suunnittelu ja valmistus. Viitattu 13.1.2020. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet/painelaitteen-suunnittelu-ja-valmistus>
- Valmet 2019a. Historia. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>
- Valmet 2019b. Liiketoiminnat. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/>
- Valmet 2019c. Valmet lyhyesti. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>
- Valmet 2019d. Strategia. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/strategia/>
- Valmet 2019e. Sellu ja energia. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/sellu-ja-energia/>
- Valmet 2019f. Valmet MyAcademy. Viitattu 3.12.2019. Valmet intranet
- Valmet 2019g. CFB Boilers. Viitattu 3.12.2019. <https://www.valmet.com/energyproduction/cfb-boilers/>
- Valmet 2019h. BFB Boilers. Viitattu 4.12.2019. <https://www.valmet.com/energyproduction/bfb-boilers/>
- Valmet 2019i. Recovery Boilers. Viitattu 4.12.2019. <https://www.valmet.com/pulp/chemical-recovery/recovery-boilers/>
- Valmet Technologies Oy. Valmet intranet.

# Putkistoexcel

VALMET TECHNOLOGIES OY

# PUTKISTOEXCEL

LUOTTAMUKSELLINEN

Heidi Myllymäki  
2020