



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PUTKISTOSUUNNITTELU KATTILALAITOK- SEN MODERNISOINTIPROJEKTISSA

Tino Ilosalo

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

ILOSALO, TINO:

Putkistosuunnittelu kattilalaitoksen modernisointiprojektissa

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Maaliskuu 2016

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Valmet Technologies Oy:n tarpeisiin soveltuva putkistosuunnitteluohjeistus, joka keskittyy kattilalaitosten modernisointiprojekteihin. Työssä keskityttiin modernisointiprojektin erityispiirteiden ja keskeisimpien työvaiheiden kuvaukseen. Tyypillisen projektin työvaiheista laadittiin tarkistuslista. Työssä käytettiin lähdeaineistona Valmetin asiantuntijoiden kanssa käytyjä haastatteluja ja keskusteluja sekä alaan liittyvää kirjallisuutta ja artikkeleita. Opinnäytetyössä käytettiin myös hyväksi joitakin Valmetilla toteutettuja tai toteutuksen alla olevia laitossuunnitteluprojekteja, joista kerättiin esimerkkejä työhön. Lead engineer Tero Kotilainen sekä vanhempi lehtori Matti Kivimäki ohjasivat tätä opinnäytetyötä.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin modernisointiprojektissa erityishuomiota vaativia työvaiheita sekä putkistosuunnittelun vaatimia lähtötietoja projektin toteutukselle. Työn sisällön painotus oli putkistosuunnittelun näkökulmasta projektin lähtökohdissa sekä alkuvaiheen työvaiheissa. Työn teoriaosuudessa selvennettiin tämän lisäksi putkistosuunnitteluun liittyviä käsitteitä, keskeisimpiä Valmetilla käytettyjä suunnittelutyökaluja ja tyypillisen modernisointiprojektin kulkua. Opinnäytetyö toimii tietolähteenä ja ohjenuorana erityisesti uudelle työntekijälle.

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena syntyneessä tarkistuslistassa on esitetty tyypillisessä modernisointiprojektissa tehtäviä työvaiheita putkistosuunnittelun näkökulmasta. Tarkistuslistan hyödyt tiedonvälityksessä näkyvät pelkän ohjeistuksen sijasta siinä, että listauksessa esitetty tieto on nopeasti ja helposti saatavilla, helposti revisioitavissa sekä tehokkaammin käytettävissä suunnitteluprosessissa itsessään. Tarkistuslista vastaa kiireisen työympäristön asettamiin paineisiin parantamalla putkistosuunnitteluprosessin tiedonkulkua sekä tehokkuutta. Tarkistuslista sisältää luottamuksellista tietoa, minkä vuoksi sitä ei julkaista opinnäytetyön julkisessa versiossa.

Asiasanat: putkistosuunnittelu, modernisointiprojekti, kattilalaitos, laitossuunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

ILOSALO, TINO:
Piping Design in a Boiler Plants Modernisation Project

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 2 pages
March 2016

The purpose of this thesis was to develop a guideline for piping design that fits the needs of Valmet Technologies Oy. The guideline focuses on boiler plant modernisation projects. The focus in this thesis was to describe the special features and most focal stages of modernisation projects. Moreover, a checklist covering these features and stages was produced. The source material for this thesis was collected from interviews and discussions with experts working at Valmet as well as from literature and articles concerning the field of the study. Moreover, some earlier and currently progressing plant engineering projects in Valmet were used as examples. Lead Engineer Tero Kotilainen and Senior Lecturer Matti Kivimäki facilitated the writing of this study.

Work stages that require special attention and the information prerequisites for modernisation projects were presented in this thesis. The overall emphasis was on the basis and the early stages of a modernisation project. Furthermore, some focal concepts of piping engineering, engineering tools used in Valmet and the phases of a typical project were described in the theoretical part of the thesis. This thesis can act as a source of information especially for a new employee.

The main result of this thesis is a checklist which includes typical work stages that occur in a modernisation project. The perspective of this checklist is piping engineering and its work stages. The checklist has many advantages that typical instructions do not have. These advantages are that the information is easily and quickly accessible, it can be easily revised and it can be used more effectively in the piping engineering process itself. The checklist can improve the communication and effectiveness of a piping engineering process. The checklist is confidential information and has therefore been left unpublished here.

Key words: piping engineering, revamp project, boiler plant, plant engineering

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	8
2.1	Tutkimusprosessin kulku	8
2.2	Tutkimuksen rakenne.....	9
2.3	Valmet Technologies Oy	10
3	PUTKISTOSUUNNITTELUN KÄSITTEITÄ.....	12
3.1	Putkistosuunnittelu.....	12
3.2	Projektityypit	13
3.3	Viranomaisvaatimukset	15
3.4	Standardit	17
3.4.1	Tehdasstandardi.....	18
3.4.2	Putkiluokka	18
3.5	Putkistosuunnittelun tuottamat lopputuotteet	19
3.5.1	3D-tieto- ja katselumalli.....	20
3.5.2	Putkiston taso- ja leikkauskuvat.....	20
3.5.3	Putkistoisometrit	22
3.5.4	Putkistoaksonometrit.....	24
3.5.5	Kannakekuvat.....	25
3.5.6	Materiaalierittely	26
3.5.7	As-built -dokumentointi.....	26
4	KESKEISET PUTKISTOSUUNNITTELUKYÖKÄLUT VALMETILLA ...	28
4.1	PDMS.....	28
4.2	Navisworks	31
4.3	PLM	33
5	MODERNISOINTIPROJEKTIN KULKU	35
5.1	Modernisointiprojektin elinkaari	35
5.1.1	Myynti.....	35
5.1.2	Toteutussuunnittelu	36
5.1.3	Asennus ja käyttöönotto.....	37
5.2	Projektiorganisaatio	38
5.3	Projektin muut suunnitteluosa-alueet.....	38
6	PUTKISTOSUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT JA ERITYISPIIRTEET MODERNISOINTIPROJEKTISSA	41
6.1	Yleistä	41
6.2	Putkistosuunnittelun vaatimat lähtötiedot.....	42
6.2.1	PI-kaavio	42

6.2.2	Virtauskaavio	43
6.2.3	Instrumenttiliitos- ja hook-up -kuvat sekä eri luettelot	43
6.3	Perusselvityksen työvaiheet	44
6.3.1	Muutoskohteen dokumentoinnin selvitys	45
6.3.2	Laserskannaus	46
6.3.3	Kenttämittaukset	51
6.3.4	Tie-in -pisteiden selvitys	52
6.4	Muut projektin alussa tehtävät toimenpiteet	54
6.4.1	Resurssien määrittäminen	55
6.4.2	Kontaktihenkilöiden sekä mahdollisen referenssiprojektin määrittäminen	55
6.4.3	Standardien selvitys	56
6.4.4	Suunniteltavan putkilinjan kriittisyyden arviointi.....	57
6.4.5	PDMS-hierarkiarakenteen luominen.....	60
6.4.6	Projektin aikataulutus.....	61
6.5	Perussuunnittelun aikaiset toimenpiteet.....	61
6.5.1	Materiaaliarviointi.....	62
6.5.2	Putkispekkien määrittäminen	63
6.5.3	Purkukuvien tuottaminen	63
6.5.4	Koeponnistettavien alueiden huomioiminen.....	64
6.5.5	Venttiili- ja instrumenttitietojen huomioiminen.....	65
6.5.6	Projektiin liittyvän dokumentoinnin arkistointi	66
6.6	Haasteet projektin toteutuksessa	67
7	TARKISTUSLISTA.....	68
7.1	Tavoite ja reunaehdot.....	68
7.2	Toteutus	69
8	YHTEENVETO JA POHDINTA	71
	LÄHTEET.....	73
	LIITTEET	76
	Liite 1. Otos asiakkaalta kerätystä epäselvästä lähtötietodokumentista (Valmetin projektidokumentaatio).....	76
	Liite 2. Tarkistuslista (poistettu luottamuksellisuuden vuoksi opinnäytetyön julkisesta versiosta).....	77

ERITYISSANASTO

as-built	asennuksen jälkeinen tilanne, joka esitetään projektin loppu-dokumentaatiovaiheessa laadituissa dokumenteissa
CAD	tietokoneavusteinen suunnittelu
COMOS	prosessisuunnittelujärjestelmä
detaljikuva	valmistus- tai asennusdokumentti
PDMS	3D-laitossuunnittelujärjestelmä
ProArc	dokumenttienhallintajärjestelmä
spekki	spesifikaatio
site	PDMS-hierarkian taso, jonka alle luodaan zonet
Tasman	Lotus Notes -pohjainen dokumenttienhallintajärjestelmä
tie-in	putkiston liityntäpiste
zone	PDMS-hierarkian taso, jonka alle luodaan putket, laitteet ja rakenteet

1 JOHDANTO

Valmet Technologies Oy:llä laitossuunnittelun osana toimivalla putkistosuunnittelulla ei ole selkeää ohjenuoraa kattilalaitoksen modernisointiprojekteissa suoritettavista työvaiheista. Nykytilanteessa moni asia kulkee suunnittelijoiden välillä hiljaisena ja epävirallisena tietona, mikä ei ole optimaalinen lähtökohta suunnittelutyölle. Esimerkiksi Pennock (2001, 75) määrittelee laitoksen modernisointiprojektin onnistuneen toteutuksen tärkeimmäksi tekijäksi tarkan ja yksityiskohtaisen määrittelyn siitä, mitä projektissa tullaan tekemään. Tämä seikka on eräs syy, miksi aihepiirin dokumentointi on aiheellista.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Valmet Technologies Oy:n tarpeisiin soveltuva putkistosuunnitteluohjeistus, joka keskittyy kattilalaitoksen modernisointiprojekteihin. Opinnäytetyöstä löytyy yksien kansien välistä tietoa modernisointiprojektien erityispiirteistä, työvaiheista ja projektin toteutukselle olennaisista lähtötiedoista putkistosuunnittelun näkökulmasta. Onnistunut putkistosuunnittelu vaatii näiden lisäksi myös ymmärrystä opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkittavista putkistosuunnittelun käsitteistä, suunnittelutyökaluista sekä modernisointiprojektin kokonaisvaltaisesta kulusta.

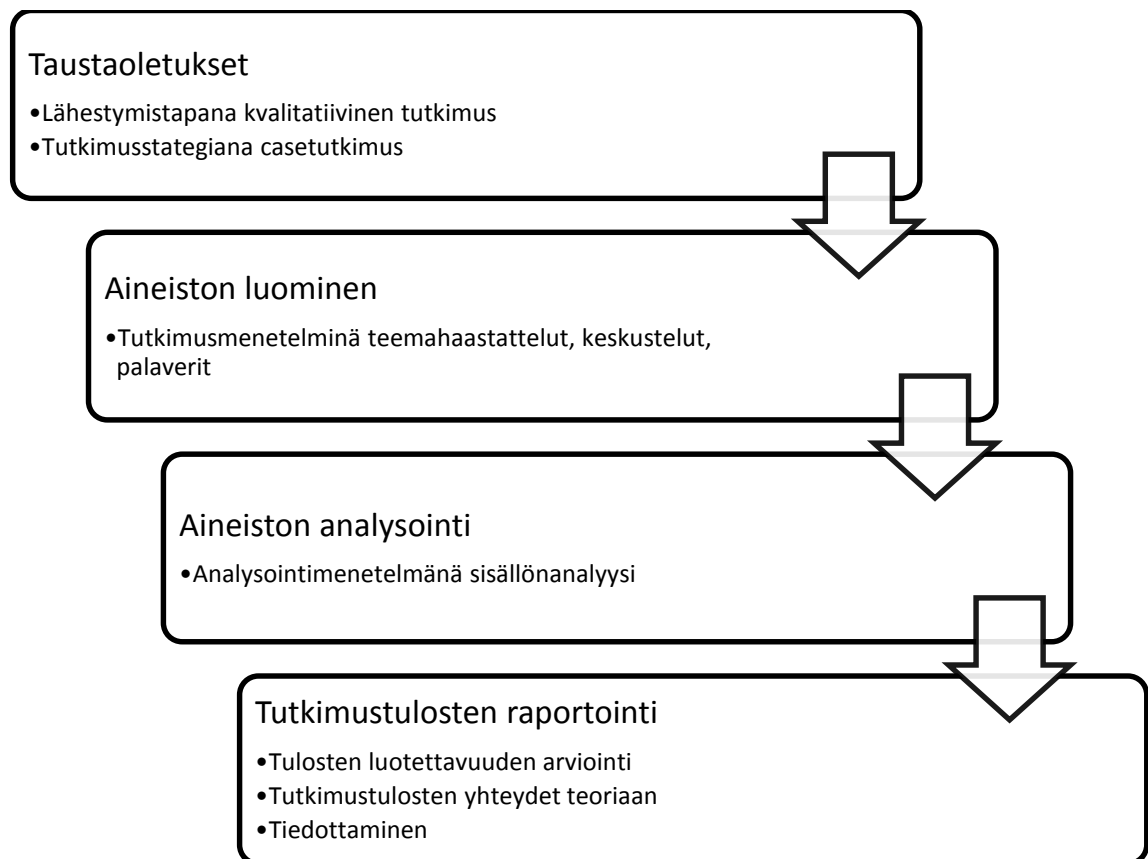
Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena laaditaan tarkistuslista, jossa esitetään helposti lähestyttävässä muodossa tyypillisessä modernisointiprojektissa erityishuomiota vaativia työvaiheita. Tarkistuslista laaditaan siksi, että opinnäytetyössä tehdyt löydökset olisivat kiireisessä työympäristössä nopeasti ja helposti saatavilla, helposti revisioitavissa ja tehokkaammin käytettävissä suunnitteluprosessissa itsessään, esimerkiksi suunnittelukatselmuksissa. Opinnäytetyö laaditaan erityisesti uuden työntekijän tarpeita silmällä pitäen, mutta tarkistuslistamuodossa toteutettu kiteytys palvelee kokoneempaakin työntekijää.

Opinnäytetyössä esitetty tieto painottuu erityisesti projektin lähtökohtiin ja projektin alkuvaiheessa tehtäviin sekä selvitettäviin asioihin, sillä tämä alue on osoittautunut aikaisemmissa Valmetilla tehdyissä projekteissa työlääksi ja haastavaksi muun muassa runsaiden epävarmuustekijöiden vuoksi. Kun projektin alkuvaihe on suoritettu asianmukaisesti, on loppuvaiheessa työskentely selkeää ja johdonmukaista.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Tutkimusprosessin kulku

Opinnäytetyön tutkimusprosessin eteneminen on esitetty ideatasosta eteenpäin kuviossa 1 esitetyllä prosessikuvauksella. Vilkan (2005, 43) mukaan tutkimusprosessi on tosin harvoin selvärajainen ja usein eri vaiheet lomittuvat toistensa kanssa. Tämä on otettava huomioon myös kuviota tulkittaessa.



KUVIO 1. Tutkimusprosessin kulku

Opinnäytetyön lähestymistapana on kvalitatiivinen tutkimus, joka tarkoittaa laadullista tutkimusta. Laadullista tutkimusta ei ole mielekästä määritellä tyhjentävästi ja määrittely on hyvin pitkälti myös kontekstisidonnaista. Tässä opinnäytetyössä laadullisen tutkimuksen tarkoituksena on ymmärtää tutkittavaa ilmiötä syvällisesti ja analyttisesti. (Koskinen, Alasuutari & Peltonen 2005, 31.)

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä käytetään teemahaastatteluita, vapaamuotoisia keskusteluita sekä opinnäytetyöpalavereita, joihin osallisina ovat opinnäytetyön tekijän lisäksi alan asiantuntijat. Teemahaastattelut ovat opinnäytetyön päätiedonkeruumenetelmä. Vilkan (2005, 101) mukaan teemahaastattelussa tutkimusongelmasta poimitaan keskeiset aiheet tai teema-alueet, joita tutkimushaastattelussa olisi välttämätöntä tutkia vastaamiseksi käsitellä. Vapaamuotoisten keskusteluiden sekä opinnäytetyöpalavereiden rooli tiedonkeruumenetelminä näkyy teemahaastattelussa esille tulleiden tietojen täydentämisen sekä tarkentamisen muodossa.

Luotu aineisto analysoidaan sisällönanalyysillä. Sisällönanalyysi on laadullisen tutkimusmenetelmän metodi, jossa etsitään merkityssuhteita ja merkityskokonaisuuksia. Sisällönanalyysiä voi tehdä aineistolähtöisenä tai teorialähtöisenä. Tässä opinnäytetyössä aineistolähtöinen sisällönanalyysi on tarkoituksenmukaista, sillä sen tavoitteena on löytää tutkimusaineistosta esimerkiksi jonkinlainen toiminnan logiikka tai tyypillinen kertomus. (Vilka 2005, 140.)

Tutkimusprosessin lopussa tapahtuvassa tutkimustulosten raportoinnissa on Vilkan (2005, 44) mukaan tärkeää saada jatkuvuutta tutkimukselle, joka turvataan tutkimuksesta tiedottamisella, julkisella käsittelyllä ja keskustelulla. Usein näiden tuloksena tulee jo mahdollisesti tutkimuksessa itsessään esitettyjen jatkotutkimusaiheiden lisäksi uusia tutkimusongelmia.

2.2 Tutkimuksen rakenne

Opinnäytetyön johdantoluku keskittyy tutkimuksen taustan, tavoitteen ja rajauksen määrittelyyn. Samalla esitetään lyhyesti opinnäytetyön toimeksiantaja ja luonnehditaan tutkimuksen keskeistä tuotosta.

Luku kaksi keskittyy tutkimuksen toteutuksen käsittelyyn. Tämä luku rakentuu pääosin tutkimusprosessin kulun sekä tutkimuksen rakenteen esittämiseen. Samalla myös esitellään opinnäytetyön toimeksiantaja Valmet Technologies Oy:tä.

Kolmannessa luvussa tarkastellaan aiheen teoreettista pohjaa. Luvussa käsitellään putkistosuunnitteluun liittyviä avainkäsitteitä, joiden ymmärtäminen on tärkeää tutkittavan aiheen pohjustamisen kannalta. Luvussa keskitytään putkistosuunnittelun yleiskuvan, projektityyppien, viranomaisvaatimusten, standardien ja putkistosuunnittelun lopputuotoksien käsittelyyn. Aiheet on poimittu opinnäytetyön aineiston luomisen yhteydessä ja luvussa käsitellyt käsitteitä käytetään myöhemmässä vaiheessa opinnäytetyötä luvuissa neljä, viisi ja kuusi.

Neljännessä luvussa tarkastellaan Valmetilla käytettyjä keskeisimpiä putkistosuunnitteluun liittyviä työkaluja. Luvussa käsitellään pääpiirteet 3D-laitossuunnittelujärjestelmä AVEVA PDMS:stä, 3D-katselumalliohjelmisto Navisworksista sekä laitoksen elinkaarinhallintatyökalu PLM:stä.

Viidennessä luvussa esitetään tyypillisen modernisointiprojektin kulku pääpiirteittäin. Luvussa keskitytään projektin vaiheistuksen ja projektiorganisaation esittelyyn sekä käydään läpi tyypillisen projektin eri suunnitteluosa-alueita ja sitä, mitkä niistä ovat olennaimmin kytköksissä putkistosuunnitteluun.

Luvussa kuusi esitetään pääosa opinnäytetyön haastatteluiden perusteella tehdyistä löydöksistä. Luvussa esitetään putkistosuunnittelun vaatimat lähtötiedot modernisointiprojektin toteutukselle ja projektin erityispiirteitä, jotka voidaan mieltää myös työvaiheiksi.

Luvussa seitsemän käsitellään opinnäytetyössä kehitettyä tarkistuslistaa. Luvussa esitetään tarkistuslistan laadinnassa huomioon otetut reunaehdot sekä listauksen toteutustapa. Tarkistuslista sisältää luottamuksellista tietoa, minkä vuoksi sitä ei julkaista opinnäytetyön julkisessa versiossa.

2.3 Valmet Technologies Oy

Opinnäytetyö toteutetaan työelämän tarpeesta lähtevänä kehitystyönä. Toimeksiantajana on Valmet Technologies Oy. Tarkemmin toimeksianto tuli Valmetin sisällä Sellu ja energia -liiketoimintalinjan laitossuunnitteluosastolta Tampereen Sarankulmasta.

Kiteytettynä Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Vuonna 2014 Valmet työllisti noin 12 000 henkilöä globaalisti yli 30 maassa. Yhtiön liikevaihto oli samana vuonna noin 2,5 miljardia euroa. (Valmet 2015a.)

Valmetin Sellu ja energia -liiketoimintalinjan keskeisiä tuotteita energialiiketoiminnan ja opinnäytetyön näkökulmasta ovat voima- ja soodakattilat. Voimakattilat jakautuvat leijupetiteknikkaa hyödyntävän HYBEX-tuotemerkin sekä kiertoleijuteknikkaa hyödyntävän CYMIC-tuotemerkin alle. Soodakattilaa edustaa RECOX-tuotemerkki (kuva 1).



KUVA 1. Valmetin toimittama RECOX-soodakattilalaitos (Valmet 2016)

Opinnäytetyö rakentuu edellä mainittujen HYBEX, CYMIC ja RECOX -kattilatyypien ja erityisesti niiden ympärille rakennettujen kattilalaitosten modernisointipalveluihin. Kuvassa 1 on esitetty Valmetin toimittama soodakattilalaitos brasilialaiselle sellunvalmistusalalla toimivalle yritykselle.

3 PUTKISTOSUUNNITTELUN KÄSITTEITÄ

3.1 Putkistosuunnittelu

Muihin rakennusalan ja teollisuuden putkistosuunnitteluprojekteihin verrattuna kattilalaitoksen putkistoa koskettavat tiukkojen viranomaisvaatimuksien lisäksi hyvin laajat vaihtelut putkistossa virtaavan aineen paineessa, lämpötilassa sekä putkiston materiaalissa. Esimerkkinä kattilalaitoksen päähöyrylinjassa saattaa kattilan käyttökohteesta riippuen kulkea jopa yli 500-asteista höyryä yli 100 baarin paineessa ja toisena ääripäänä kattilalaitoksen ilmauslinjan putkiston paine on tyypillisesti vain muutamia baareja muutaman kymmenen asteen lämpötilassa (Romppanen 2015).

Putkistosuunnittelijan tehtävänä on suunnitella toimiva ja helposti asennettava putkistokokonaisuus, jossa on otettu huomioon prosessin, tilaajan, viranomaisten ja kohteena olevan laitoksen laatimat ehdot. Vaikka putkisto rakennetaan pääosin standardiosista ja putken yksinkertaisen geometrian vuoksi putkistosta ei suunnitella mahtavia luomuksia ja esteettisiä konstruktioita, haastavuutta suunnittelutyössä silti riittää. Putkistosuunnittelija yhdistää laitossuunnitteluprojektin laite- ja komponenttitoimittajat, rakentajat, tilaajan edustajat, viranomaiset, tarkastajat sekä huolto- ja käyttöönottohenkilöt, jonka vuoksi putkistosuunnittelijalla on oltava vankan asiantuntijan rooli toimiessa useamman sidosryhmän kanssa projektin aikana. Putkistosuunnittelu aloitetaan myös tavallisesti hieman jälkijunassa muihin suunnitteluosa-alueisiin nähden, jolloin aikataulut ovat kireät ja toisaalta myös putkistolle varattua tilaa kattilalaitoksen layoutissa on usein niukasti. (Hämäläinen 2005a, 1.)

Hintatietoisuuden näkökulmasta putkisto muodostaa laitoksen kokonaisinvestoinnista noin 5–15 prosentin osuuden. Osuus vaihtelee toimialoittain. Sähköä ja kaukolämpöä tuottavassa voimalaitoksessa putkiston osuus on noin 7–12 prosenttia ja voimalaitoksen sekä sellutehtaan yhdistelmässä putkiston osuus on noin 10–15 prosenttia. Putkiston investointikustannukset voidaan jakaa suunnittelun, materiaalien, esivalmistuksen ja asennuksen välille taulukon 1 mukaisesti. (Hämäläinen 2005a, 4.)

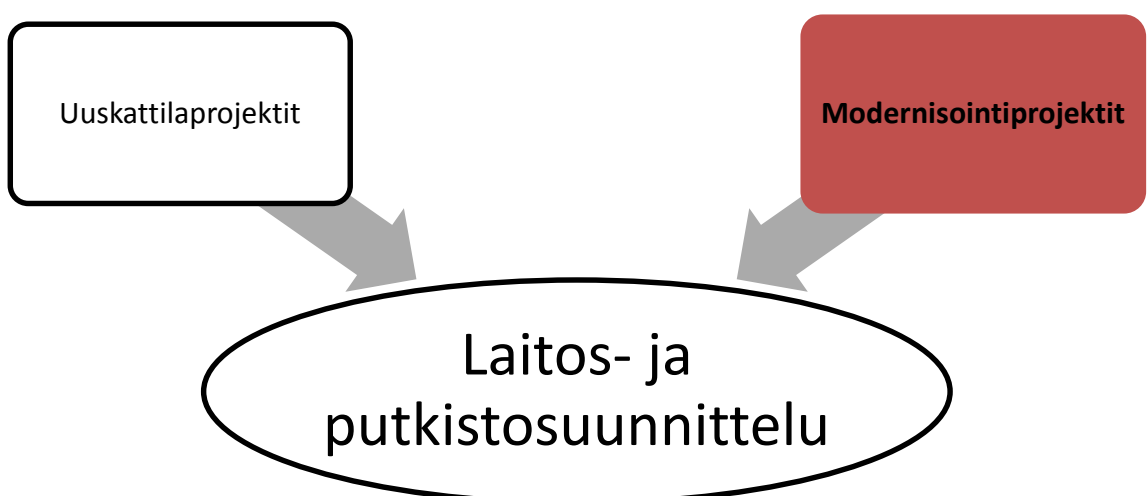
TAULUKKO 1. Putkiston investointikustannukset (mukailtu Hämäläinen 2005a, 4)

Osa	Osuus (%)
Suunnittelu	10–15
Materiaalit	35–40
Esivalmistelu	15
Asennus	40

Jokainen projekti on aina oma, uniikki kokonaisuutensa, minkä vuoksi taulukossa 1 eriteltyjen eri osien suhteelliset osuudet investointikustannuksista voivat vaihdella projektikohtaisesti. Eniten projektikohtaiseen vaihteluun vaikuttavat vaikeat asennusolosuhteet, materiaalihintojen ja -määrien muutokset, suunnittelun taso ja laatu sekä projektityyppi. (Hämäläinen 2005a, 4.)

3.2 Projektityypit

Kaikki laitos- ja putkistosuunnittelu voidaan jakaa kahteen eri projektityyppiin, jotka eroavat perusrakenteeltaan toisistaan. Jakautumista on havainnollistettu kuviossa 2. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään kuviossa punaisella rajattua modernisointiprojekteja, mutta vertailun vuoksi myös uuskattilaprojektit otetaan esille, sillä joiltakin osin projektityypeissä on hyvin yhteneväiset toimintatavat.



KUVIO 2. Laitos- ja putkistosuunnittelun jakautuminen projektityyppeihin

Uuskattilalla, eli uusinvestoinnilla, viitataan kattilalaitokseen, joka suunnitellaan ja rakennetaan täysin uutena kokonaisuutena. Uuskattilaprojekteissa ei ole pääsääntöisesti alkutilanteessa mitään ympäristön tuomia esteitä tai rajoitteita, vaan kaikki alkaa puhtaalta pöydältä. (Pennock 2001, 50; Smith 2007, 157.)

Modernisoinnilla viitataan olemassa olevaan kattilalaitokseen, jossa tapahtuu muutostyötä (Smith 2007, 158). Termi modernisointiprojekti käsittää tässä opinnäytetyössä Valmetilla toteutettavat rebuild- sekä service-projektit. Erot näiden välillä ovat karkeasti siinä, että rebuild-projektit ovat laajempia kattilalaitosten jälleenrakennuksia ja service-projektit pienempiä, kunnossapitotyyppejä projekteja. Perusideologia service- ja rebuild-projektien toteutuksessa on kuitenkin lähtökohtaisesti hyvin samanlainen, minkä vuoksi opinnäytetyössä käytetty termi modernisointi viittaa pääosin kumpaankin näistä. Modernisointiprojekteihin voidaan viitata yleisesti myös termillä muutuskattilaprojekti.

Laitoksen modernisointia tehdään Pennockin (2001, 43) mukaan erinäisistä syistä tai näiden yhdistelminä. Näitä syitä ovat:

- Kapasiteetin nostaminen, eli katkaistaan laitoksen pullonkauloja. Tämä tapahtuu muuttamalla laitoksessa olevia laitteita ja putkistoa tai lisäämällä laitokseen uusia laitteita ja putkistoa,
- kustannusten vähentäminen, eli lisätään laitoksen tuottavuutta. Tämä tapahtuu laskemalla laitoksen operoinnin kustannuksia muuttamalla olemassa olevaa laitteistoa ja putkistoa sekä
- tuotteen vaihtaminen, eli muutetaan laitoksen koko prosessin toimintatapaa. Tämä tapahtuu lisäämällä enemmän, erilaisia tai suurempia laitteita laitokseen. Laitteiston lisääminen vaatii uuden putkiston lisäämistä tai olemassa olevan putkiston muuttamista.

Valmetilla on valmiudet toteuttaa kattilalaitoksiin kattiloiden kapasiteetin nostoja, polttoaineen muutoksia fossiilisesta uusiutuvaan, päästöjen vähennyksiä sekä painerungon uusintoja. (Valmet 2015b.)

3.3 Viranomaisvaatimukset

Putkistosuunnitteluun liittyy olennaisesti viranomaisten asettamat vaatimukset suunnittelutyölle muiden, tavanomaisempien suunnitteluvaatimuksien lisäksi. EU-alueella tulee kiinnittää nykyisellä lainsäädännöllä huomio painelaitedirektiiviin, räjähdysvaarallisten aineiden säädöksiin sekä kemikaalisäädöksiin. Koska opinnäytetyössä käsitellään putkistosuunnittelua kattilalaitosten suunnittelun näkökulmasta, keskitytään tässä aliluvussa vain painelaitedirektiivin esittelyyn oleellisilta osin. Panielaitedirektiivi, viralliselta lyhenteeltään PED (engl. Pressure Equipment Directive), on syksyllä 1999 osaksi Suomen lainsäädäntöä saatettu EU-direktiivi 97/23/EY. (Pere 2012b, 2.)

PEDin mukaan putkiston valmistaja vastaa putkiston vaatimuksenmukaisuudesta. Painelaitte ei saa aiheuttaa vaaraa ennakoitavissa olevissa käyttötilanteissa (Hämäläinen 2005b, 3). Vaatimuksenmukaisuuden arvioinnissa putket ja painelaitteet jaetaan painelaiteluokkiin, joita kutsutaan opinnäytetyössä PED-luokituksiksi. PED-luokituksiin liittyvät vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettelyt esitetään moduulin tai moduuliyhdistelmän avulla taulukon 2 mukaisesti. PED-luokkien ulkopuolisiin putkilinjoihin viitataan Valmetilla ja tässä opinnäytetyössä termillä PED 3.3. PED 3.3 -putkilinjat valmistetaan EU:n jäsenvaltion hyvän konepajakäytännön mukaisesti ja ne eivät saa painelaiteluokitusta, jolloin tämän luokan vaatimuksenmukaisuuden varmistaminen on pelkästään putkiston valmistajan tehtävä. (Pere 2012b, 2–6; Hämäläinen 2005b, 3.)

TAULUKKO 2. PED-luokitukset ja niihin liittyvät moduulit sekä moduuliyhdistelmät (mukailtu Pere 2012b, 6)

PED-luokitus	Moduuli
I	A
II	A1, D1, E1
III	B1 + D, B1 + F, B + E, B + C1, H
IV	B + D, B + F, G, H1

Taulukon 2 moduuleihin liittyvien arviointimenettelyiden kuvaukset ovat esitettynä taulukossa 3.

TAULUKKO 3. PED-luokitusten moduulit ja niiden kuvaukset (mukailtu Pere 2012b, 6)

Moduuli	Kuvaus
A	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja loppuarvioinnin
A1	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
B	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimuksenmukaisuuden
B1	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimuksenmukaisuuden
C1	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
D	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
D1	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E1	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
F	Ilmoitettu laitos tekee tuotekohtaisen loppuarvioinnin
G	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin
H	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
H1	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu-järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu laitos tekee suunnitelmatarkastuksen ja valvoo loppuarviointia

Kuten taulukosta 3 voi huomata, moduulien mukaiset putkiston ja painelaitteiden arvioinnit jakautuvat putkiston valmistajan ja ilmoitetun laitoksen välille. Ilmoitetulla laitoksella tarkoitetaan viranomaistahoa tai tarkastuslaitosta, esimerkiksi Inspecta-yritystä (Inspecta Group 2013). Ilmoitetun laitoksen tekemiä toimenpiteitä putkilinjan vaatimuksenmukaisuuden arvioinnissa ja tarkastamisessa kutsutaan Valmetilla viranomaishyväksynnäksi.

Viranomaishyväksynnän vaativien putkilinjojen suunnittelu näkyy käytännössä Valmetilla toteutettavan putkistosuunnittelun näkökulmasta viranomaishyväksyntää varten laadittavien putkistodokumenttien tuottamisella sekä koko viranomaishyväksyntäprosessiin menevän ajan huomioimisessa suunnittelun aikataulutuksessa, sillä kyseessä on aikaa vievä kokonaisuus erityisesti suhteutettuna tyyppillisen modernisointiprojektin lyhyeen läpivientiaikaan (Kotilainen 2015). Lisäksi putkiston oleelliset turvallisuusvaatimukset on

pidettävä jatkuvasti mielessä. Turvallisuusvaatimukset käsittävät sen, että putkistolla tulee olla riittävä lujuus, materiaalin tulee olla käyttökohteeseen soveltuvaa, vesityksien, ilmauksien ja viettojen tulee olla kunnossa, lämpölaajenemisen tulee olla hallinnassa sekä jäljelle jääneet vaarat tulee olla eriteltynä riittävästi käyttöohjeissa (Hämäläinen 2005b, 3).

3.4 Standardit

Viranomaisvaatimuksien lisäksi putkistosuunnittelua ohjaavat lukuisat kansalliset ja kansainväliset standardit. Standardien noudattaminen varmistaa suunnitteluteknisen työn onnistuneen lopputuloksen, laitoksen turvallisen operoinnin sekä HSE:n (Health, Safety and Environment) näkökulmasta kokonaisuudessaan tyydyttävän lopputuloksen (Smith 2007, 1).

Laitos- ja putkistosuunnittelun pohjana käytettävät standardit vaihtelevat suunniteltavan laitoksen maantieteellisen sijainnin sekä toimialan mukaan. Suomeen suunniteltavaan kattilalaitokseen sovelletaan eri standardeja kuin Pohjois-Amerikkaan suunniteltavaan kattilalaitokseen. Samalla myös eri standardit todennäköisesti pätevät, jos laitos toimii esimerkiksi metsäteollisuudessa verrattuna öljynjalostusteollisuuteen, sillä perinteisesti öljynjalostusteollisuudessa käytetään laajasti amerikkalaislähtöisiä standardeja laitoksen maantieteellisestä sijainnista riippumatta. (Pere 2012b, 8.)

Merkittäviä laitos- ja putkistosuunnittelussa käytettyjä standardeja ovat Euroopan unionin alueella noudatettava EN, venäläinen GOST, amerikkalainen ANSI, ruotsalainen SSG sekä kansainvälisen standardointiorganisaation ISO. Myös suomalaiset PSK-standardit ovat käyttökelpoisia erityisesti suomalaisissa projekteissa, mutta paikalliset viranomaismääräykset huomioiden myös Euroopan unionin alueella tai sen ulkopuolella. (Pere 2012b, 8.)

3.4.1 Tehdasstandardi

Suuriin uusinvestointihankkeisiin laaditaan usein erillinen projektistandardi, johon on kerättyinä käyttötarkoitukseltaan sopivimmat osat eri kansainvälisistä tai kansallisista standardeista projektikohtaisine lisäosineen. Modernisointihankkeet ovat kokoluokaltaan uusinvestointihankkeita merkittävästi pienempiä, minkä vuoksi modernisointiprojektin pohjana käytetään yleensä tehdasstandardia, joka on alkuperäinen tehtaan tai laitoksen standardi. Tehdasstandardia käytettäessä tulee varmistaa, että se on ajan tasalla nykyisten säädösten kanssa. Jos näin ei ole, standardia tulee päivittää tarpeen mukaisesti. (Pere 2012b, 8.)

Tehdasstandardin lisäksi modernisointihankkeessa noudatetaan mahdollisuuksien mukaan suunnittelijatahon omia pykäliä, ja niiden käytöstä sovitaan asiakkaan kanssa aina tapauskohtaisesti erikseen (Kotilainen 2015). Suunnittelussa on tällöin tarkoituksena löytää kompromissi tehdasstandardin ja omien yrityskohtaisten säädösten väliltä.

3.4.2 Putkiluokka

Putkiluokat ovat PSK Standardointiyhdistys ry:n julkaisemia putkiluokkastandardeja. Putkiluokalla tarkoitetaan samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa. Putkenosilla tarkoitetaan suoria putkia, putkikäyriä, putkikartioita, T-haaroja, putkikauluksia, laippoja, päätyjä, kierteellisiä putkenosia, ruuveja, muttereita, aluslaattoja ja tiivisteitä. Käytettävä putkiluokka valitaan putkessa virtaavan aineen, korroosio-olosuhteiden, paineen ja lämpötilan perusteella. Putkiluokkia käytetään putkistosuunnittelun lisäksi putkien hankinnan, rakentamisen ja kunnossapidon apuvälineenä. (PSK 4201 2013, 1–2.)

Esimerkki putkiluokan täydellisestä merkinnästä on esitettyinä kuvassa 2. Merkinnästä tulee löytyä vasemmalta oikealle sana putkiluokka, kyseessä oleva standardi, EN-standardin viite, putken nimellispaine, materiaalitunnus sekä lisätunnus. Kaavioissa, luetteiloissa ja vastaavissa voidaan käyttää lyhennettyä tunnusta, kuten kuvasta 2 lyhennetyssä muodossa olevaa E16H1A. (PSK 4201 2013, 2–3.)

Esimerkki:	Putkiluokka	PSK 4233	E	16	H1	A
Nimi						
Standardi						
EN-viite						
Nimellis-paine						
Materiaalitunnus						
Lisätunnus						

KUVA 2. Putkiluokan täydellinen merkintä (PSK 4201 2013, 2)

Materiaalitunnuksen yhteydessä käytettävä lisätunnus määrittää yleensä putkiluokan putken valmistustavan. Taulukossa 4 on esitetty Valmetilla käytettyjen lisätunnuksien merkitys. (Kotilainen 2015.)

TAULUKKO 4. Putkiluokkien lisätunnukset (mukailtu Kotilainen 2015)

Lisätunnus	Kuvaus
A	Hitsattu putki
B	Saumaton putki
C	Urakoitsijan päätettävissä (hitsattu tai saumaton putki)

Valmetilla useimmin käytettyjä materiaaleja ja niiden materiaali- ja lisätunnuksia ovat C1A, eli musta hitsattu teräsputki, C1B, eli musta saumaton teräsputki ja C1C, eli musta saumaton tai hitsattu teräsputki. Lisäksi käytetään H1 ja H2 -merkintöjä, joista H1 tarkoittaa ruostumatonta teräsputkea ja H2 haponkestävää teräsputkea. (Kotilainen 2015.)

3.5 Putkistosuunnittelun tuottamat lopputuotteet

Valmetilla putkistosta tuotetaan 3D-tieto- ja katselumallin lisäksi usein 3D-tietomallin automaattisella dokumenttituotannolla taso- ja leikkauskuvat, putkistoisometrit, putkisto-

aksonometrit, kannakekuvat sekä materiaalierittelyt. Tärkeää on laatia myös as-built -dokumentaatio, jossa on putkiston asennuksen jälkeinen tilanne päivitettyinä asennuksessa käytettyyn putkistodokumentaatioon. (Kotilainen 2015.)

3.5.1 3D-tieto- ja katselumalli

Nykyajan tietomallikeskeisessä suunnittelussa 3D-tietomalli on koko laitossuunnittelu-projektin pääasiallinen tietolähde, josta saadaan tuotettua kunkin suunnittelualueen vaatimat dokumentit vaivattomasti tarpeen mukaan. Tietomallin erityispiirre verrattuna dokumenttikeskeiseen suunnitteluun on se, että tietomallin objekteilla on grafiikan lisäksi eri attribuutteja eli ominaisuuksia. Attribuutteja voivat olla esimerkiksi putkilinjatunnus, putkessa virtaava aine, putken nimelliskoko, materiaalitiedot, statustiedot, putkiluokka tai PED-luokka. Tiedon määrällä ei käytännössä ole ylärajaa, mutta 3D-tietomallin tehokas käyttö edellyttää tämän tiedon hyödyntämistä projektiin liittyvissä eri järjestelmissä. Valmetilla 3D-tietomalli suunnitellaan PDMS-laitossuunnittelujärjestelmällä. (Pere 2012b, 13; Teivas 2005, 1–3.)

3D-tietomallista tuotetaan aina myös 3D-katselumalli, joka on tietomallia helppokäyttöisempi ja kevyempi ja lähinnä laitosmallin tarkasteluun tarkoitettu 3D-malli. 3D-katselumalliin voidaan valita mallin luontivaiheessa siinä julkaistavat asiat. Katselumallista voidaan jättää pois esimerkiksi keskeneräiset suunnittelukohteet sekä suunnittelu yritykselle kriittiset osat, joiden rajoittaminen 3D-tietomallissa on usein työlästä tai jopa mahdotonta. Valmetilla 3D-katselumalli tuotetaan Navisworks-ohjelmalla. (Pere 2012b, 37.)

3.5.2 Putkiston taso- ja leikkauskuvat

Putkiston taso- ja leikkauskuvat, eli layoutkuvat, tuotetaan putkiston asentamista varten sekä antamaan yksityiskohtaista tietoa muille teknisille toimialoille. Taso- ja leikkauskuvien tarkoituksena on antaa kokonaiskuva kuvan alueella olevasta putkistosta. (PSK 5802 2003, 1.)

Putkiston taso- ja leikkauskuvat esittävät yleisnäkymän putkistosta. Kuvassa on mitoitettu vain kokonaiskuvan kannalta olennaiset asiat, kuten pilarilinjat, mutta ei yksittäisiä putkia. Kuvasta näkee putkien ja muiden objektien sijainnin toisiinsa nähden sekä niiden tunnisteet. Tunniste voi olla putken osalta linjatunnus. Tasokuvat laaditaan laitoksen tasoista tai prosessialueista. Yksittäinen taso tai prosessialue voidaan vielä jakaa eri osiin, joiden rajaavana tekijänä toimivat esimerkiksi mittakaava tai piirustuksen koko. Tasokuvien lisäksi putkistosta tuotetaan leikkauskuvat. Leikkauskuvan tarkoituksena on täydentää tasokuvaa. (PSK 5802 2003, 2; Pere 2012b, 29.)

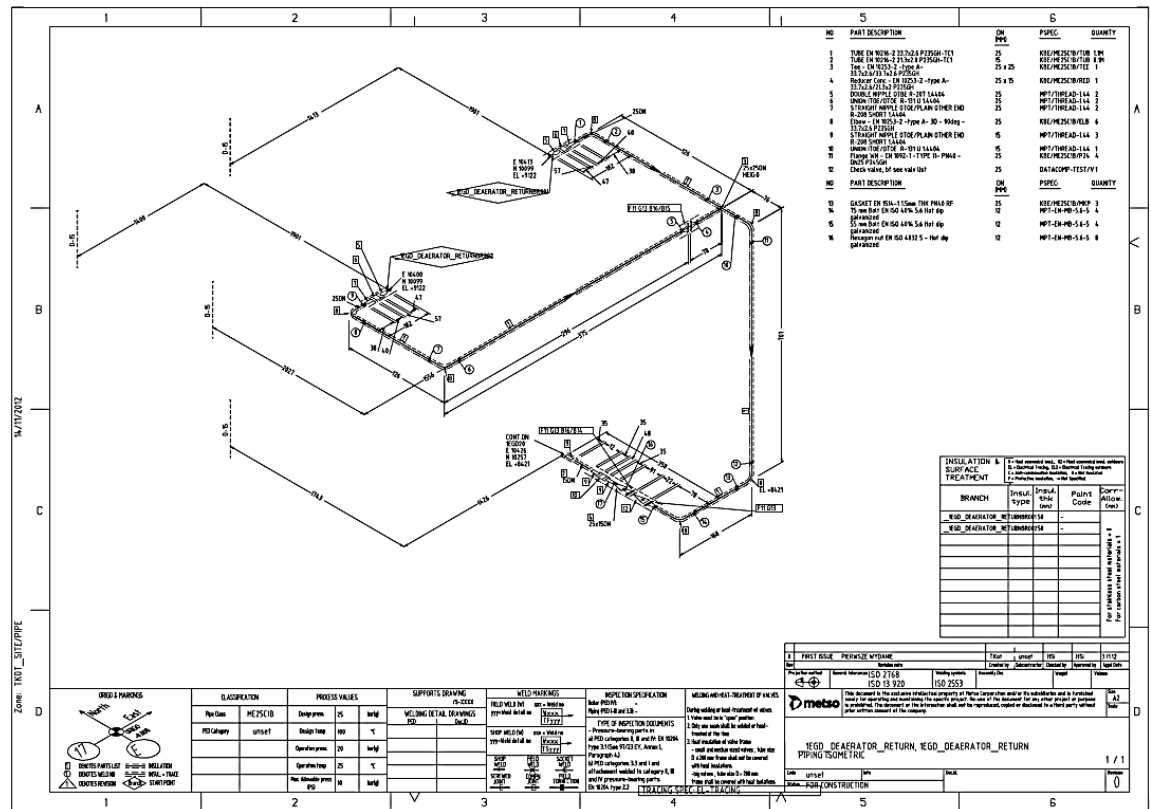
PSK:n standardi 5802 määrittelee putkiston taso- ja leikkauskuvien laadinnassa yleisesti käytetyt periaatteet. Standardissa on myös esitettyä relevantit viitestandardit. Putkiston taso- ja leikkauspiirustuksissa esitetään PSK 5802 -standardin mukaan:

- putket, putkivarusteet ja yhteiden paikat,
- putkien ja laitteiden korot (leikkauspiirustuksessa),
- vietot,
- putkien tunnuksiset sisältäen virtaavien aineiden lyhenteet,
- putkivarusteiden ja instrumenttien tunnuksiset,
- laitteet tunnuksineen,
- putkien eristykset riittävässä laajuudessa,
- pääkannakkeiden numerointi,
- pääkannakkeet ja muut teräsrakenteet,
- hoitotasot, portaat ja tikkaat,
- taso- ja seinäaukot sekä läpiviennit,
- pilarit ja perustukset,
- nosturit ja nostopalkit,
- kaapelihyllyt,
- laajennusvarat,
- LVIS-tilavaraukset,
- liittyvien putkistopiirustusten numerot piirustusalueen viereen sijoitettuna,
- paikannuskaavio sekä
- muut erikseen sovittavat asiat.

Taso- ja leikkauskuvien lisäksi osittain samaa tarkoitusta palvelevat myös putkireittikuvat. Putkireittikuva on yksinkertaistettu esitys putken reitistä (PSK 5801 2003, 1). Valmetilla putkireittikuvat ovat harvoin käytettyjä, sillä putkiston taso- ja leikkauskuvista sekä putkistoaksonometreista pystytään määrittämään putkireittikuvissa esitetyt asiat (Kotilainen 2015). Tämän vuoksi putkireittikuvia ei käsitellä opinnäytetyössä tarkemmin.

3.5.3 Putkistoisometrit

Putkiston isometrinen piirustus on yksinkertaistettu ja havainnollinen työpiirustus, joka antaa putkistosta varusteineen kolmiulotteisen vaikutelman (PSK 5803 2003, 2). Putkistoisometriä käytetään putkiston valmistamisessa sekä asentamisessa. Isometriä voidaan käyttää myös suunnittelutyön tarkastamisessa. Kuvassa 3 on esitetty havainnollistava esimerkki putkistoisometristä. (Pere 2012b, 32.)



KUVA 3. Putkistoisometri (Valmetin projektidokumentaatio)

Putkistoisometrissä esitetty putkilinja on kuvattu niin, että linja esitetään ylävaihtosta. Näin saadaan aikaiseksi kolmiulotteinen vaikutelma. Valmetilla on vakiintunut käytäntö,

jonka mukaan kaikki isometrit esitetään vain yhdestä suunnasta. Tämä on PDMS-laitos-suunnittelujärjestelmän ISO 3 -kuvanto. PDMS:n ISO 3 -kuvanto tarkoittaa suuntaa, jossa järjestelmän east-akseli on kello puoli kahdessa, north-akseli on kello puoli yhdessätoista ja up-akseli osoittaa suoraan ylöspäin. (Kotilainen 2015.)

Jotta putkiston pienet osat erottuisivat kuvasta, putkistoisometrissä ei käytetä yleensä mit-takaavaa. Olennainen osa putkistoisometriä on osaluettelo, jossa esitetään putkilinjan val-mistamisen ja asentamisen kannalta vaadittavat osat sekä niiden määrät ja materiaalit. Isometrin sisällön tulkinnassa auttaa 3D-katselumallin tarkastelu, josta näkee samalla koko isometrin käsittämän kokonaisuuden ja sen ympäristön, missä putkilinja sijaitsee. (Pere 2012b, 32.)

PSK:n standardi 5803 määrittelee putkistoisometrin laadinnassa yleisesti käytetyt peri-aatteet sekä relevantit viitestandardit. Standardin ja Valmetilla vakiintuneiden käytäntö-jen mukaan putkistoisometrissä esitetään seuraavat asiat:

- putkiston sijainti mitoitettuna sivu- ja korkeussuunnassa peruslinjoista, pilareista, seinäpinnoista, laitteiden keskiviivoista tai muista sopivista mitoituskohdista: tar-vittaessa käytetään välimitoituksia lähimpään sopivaan mitoituskohtaan, jos put-kilinja on liian pitkä ja menee monelle sivulle piirustuksessa,
- putkisto varusteineen mitoitettuna,
- putkiston laiteliitännät mitoitettuna,
- tunnistustiedot, kuten putkilinja-, putkivaruste-, instrumentti- ja laitetunnukset,
- varusteiden asennot, joista tarvittaessa laaditaan detaljikuva liitteeksi isometriin,
- vietot,
- putkiston toimitusrajat eli tie-init,
- kannakointi tunnuksineen ja sijantimitoituksineen,
- mahdollisesti putkiston esijännitykset,
- viittaus hitsisuunnitelmaan,
- virtaussuunnat,
- putkiston viranomaisvaatimukset,
- eristys, pintakäsittely ja sähkösaatot,
- tarkastusvaatimukset,
- koeponnistuspaine ja käytettävä väliaine,
- putkiluokat,

- toisiin piirustuksiin liittyvien putkilinjojen tunnuksset,
- liittyvien piirustusten ja asiakirjojen numerot,
- yksityiskohtaisia kuvantoja tarpeen mukaan,
- muut erikseen sovittavat asiat sekä
- vain yksi putkilinja isometriä kohden.

3.5.4 Putkistoaksonometrit

Putkiston aksonometrinen kuva on asennusurakoitsijaa varten tuotettu dokumentti, jota voidaan ajatella eräänlaisena suunnistuskarttana. Putkistoaksonometrissä voi nähdä kuinka laaja putkiston asennuskokonaisuus on tietyltä alueelta. Aksonometrissä on esitetty kuvatun putkiston lisäksi putkiston kannalta oleellista ympäristöä. Ympäristö voi käsittää esimerkiksi alueella olevat laitteet ja säiliöt sekä seinät, tasot ja teräsrakenteet. (Kotilainen 2015.)

Kuvassa 4 on havainnollistettu HYBEX-kattilan polttoaineen syöttöjärjestelmän ilma- ja puhdistuslinjojen putkiston aksonometrissä kuvaa. Kuvassa esitetty putkisto on toimitettu Valmetin toimesta samalle asiakkaalle, kuin kuvan 3 putkistoisometri.

Putkistosuunnittelun tehtävänä on tuottaa dokumentaatio kannakoinnista. Kannakoinnista tuotetaan päämittapiirustus, jossa esitetään primääri- ja sekundäärikannakkeiden päämitat (Pere 2012b, 35). Lisäksi PSK:n standardin 7303 mukaan putkiston kannakkeiden tyyppi ja sijainti merkitään joko putkiston layout-kuviin tai putkistoisometreihin.

3.5.6 Materiaalierittely

Putkistosuunnittelu tuottaa putkiston asennus- ja valmistusdokumentaation lisäksi materiaalierittelyn hankintoja varten. Kuvassa 5 on esitetty riisuttu otos putkiston materiaalierittelystä, eli summalistasta, joka on tuotettu AVEVA PDMS:ällä.

Type	Material	Description	D N 1	D N 2	D N 3	Angle	Radi us	Lengt h (mm)	Unit weight (kg / (m/pcs))	Quantity (mm / pcs)
TUBE	1.4307 Wf 1.0	TUBE - EN 10217-	100						5,61	9305
ELBO	1.4307	Elbow - EN 10253-	100	100		90			1,30	4
FLAN	P265GH HDG	Flange loose - EN	100	100					4,20	1
LJSE	1.4307	Collar EN 1092-1 -	100	100					1,30	1

KUVA 5. PDMS:ällä tuotettu riisuttu otos putkiston materiaalierittelystä (Valmetin projektidokumentaatio)

Kuvan 5 materiaalierittelyssä esitetään putken tyyppi, materiaali, kuvaus, nimelliskoot sekä pituus, paino ja määrä. Putkikäyrän osalta voidaan esittää käyrän kulma sekä taivutussäde. 3D-tietomallista voidaan materiaalierittelyn lisäksi tuottaa erittelyjen ja raporttien osalta muun muassa muita putkierittelyjä, kaapelihyllyerittelyjä sekä instrumentti- ja venttiililistoja koordinaattitietoineen (Pere 2012b, 36).

3.5.7 As-built -dokumentointi

As-built -dokumentoinnilla tarkoitetaan asennusvaiheessa tapahtuneiden muutoksien päivittämistä laitoksen dokumentointiin. As-built -dokumentoinnin laatiminen on osa toteutusprojektin loppudokumentointia. Tämä dokumentointi laaditaan siksi, että asennusvaiheessa joudutaan joskus poikkeamaan suunnitelluista dokumenteista, jolloin asennuksen jälkeinen tilanne poikkeaa alkuperäisestä suunnitelmasta. Yleensä tällöin joko asennusurakoitsijan tai suunnittelijan vastuulla on tehdä niin sanotut punakynämerkinnät asennusdokumentteihin kaikista asennuksen aikana tapahtuneista muutoksista sekä päivittää

ylläpidettäviksi tarkoitettut dokumentit näiden tietojen mukaan as-built -dokumenteiksi. Myös 3D-tietomalli tulee päivittää vastaamaan asennuksen jälkeistä tilannetta. (Pere 2012b, 17.)

As built -dokumentit ovat tärkeitä esimerkiksi siksi, että modernisointiprojektista tulee huomattavasti työllistävämpi ja vaikeampi toteuttaa kaikkien projektin osapuolien näkökulmasta, jos modernisoitavan laitoksen as-built -dokumentit ovat puutteellisia tai jos niitä pahimmassa tapauksessa ei ole ollenkaan olemassa. Tämän vuoksi on tärkeää tehdä projektin lopussa asennuksen jälkeinen dokumentointi asianmukaisesti. Tärkeää on myös ylläpitää tätä dokumentaatiota. (Kotilainen 2015.)

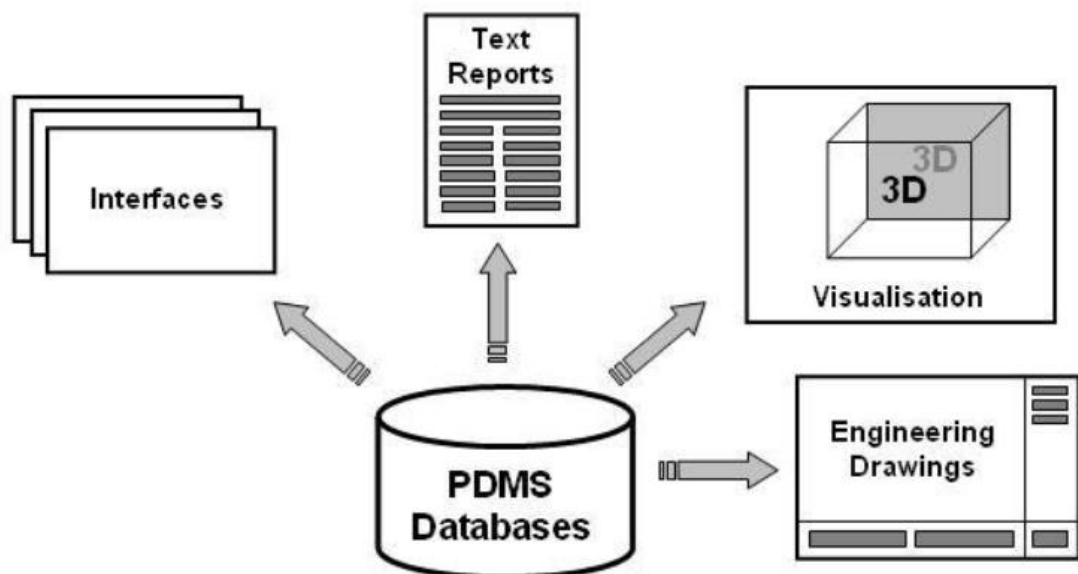
4 KESKEISET PUTKISTOSUUNNITTELUKYÖKÄLUT VALMETILLA

4.1 PDMS

PDMS on AVEVA-nimisen yrityksen kehittämä 3D-laitossuunnittelujärjestelmä. Ohjelmalla voidaan tuottaa koko laitoksen 3D-malli nopeasti ja tehokkaasti, sekä siitä saadaan tuotettua automaattisesti laitokseen liittyvää dokumentaatiota. PDMS on lyhenne englanninkielisistä sanoista Plant Design Management System. (AVEVA 2013.) PDMS:ää käyttävät lukuisat suuret laitossuunnitteluun erikoistuneet yritykset. Valmetilla PDMS on tärkein laitossuunnittelujärjestelmä.

PDMS:ällä tuotettu laitoksen 3D-malli sisältää suuren määrän laitoksen eri osien sijaintiin, kokoon, osanumeroihin ja geometrisiin suhteisiin liittyvää tietoa. Tämän tyyppinen 3D-tietomalli on suurin tietolähde kaikille laitossuunnitteluprojektin osapuolille ja nykyään perusta koko projektille. (AVEVA 2009, 13.)

Suuri PDMS:n tietomäärä sijoittuu eri tietokantoihin. Tietoon päästään käsiksi kuvassa 6 esitetyillä eri output-kanavilla, joiden avulla PDMS-tietokannoista saadaan ajettua ulos 3D-grafiikan lisäksi laitokseen liittyviä detalji- ja layoutkuvia, putkisto- ja kanavistoisometrejä sekä erilaisia raportteja ja erittelyitä. Lisäksi PDMS:ällä on rajapintoja lukuisiin visualisointiin, analysointiin sekä viimeistelyyn tarkoitettuihin ohjelmistoihin tai järjestelmiin. (AVEVA 2009, 13.)

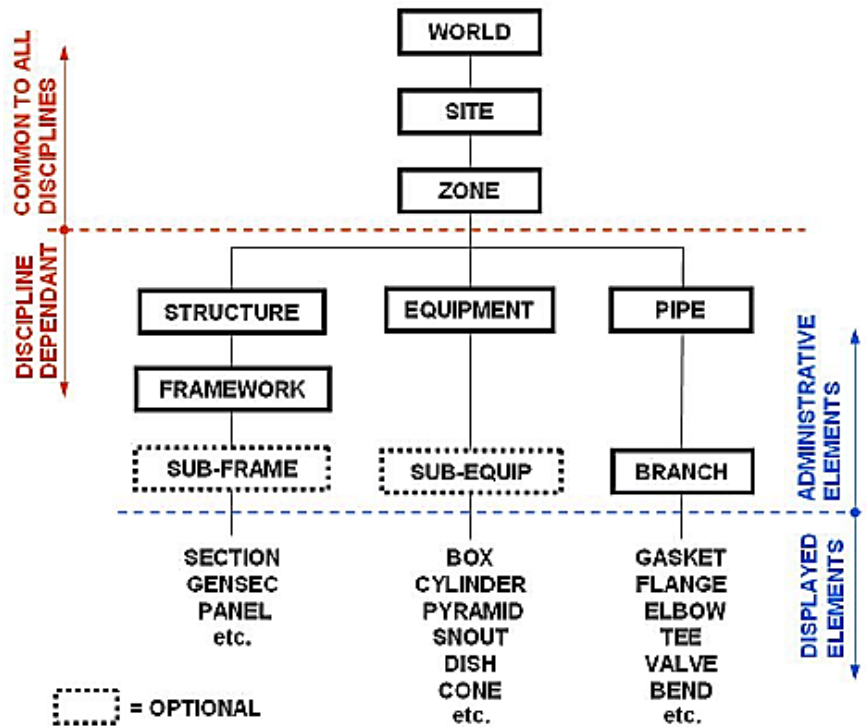


KUVA 6. PDMS-tietokantojen eri output-tyyppejä (AVEVA 2009, 13)

Käytännön esimerkki PDMS:n ohjelmistorajapinnasta on Valmetilla käytettävä yhteys SolidWorks CAD-järjestelmään. SolidWorksia käytetään muun muassa kattilan painerungon mallintamiseen ja SolidWorksilla luotu malli painerungosta tuodaan PDMS:ään niin sanottujen pcf- sekä step-tiedostomuotojen avulla. SolidWorks-rajapinnan lisäksi Valmetilla on käytössä esimerkiksi putkistosuunnittelun kannalta tärkeät rajapinnat CO-MOS-prosessisuunnittelujärjestelmään ja 3D-katselumalliohjelmisto Navisworksiiin. (Kotilainen 2015.)

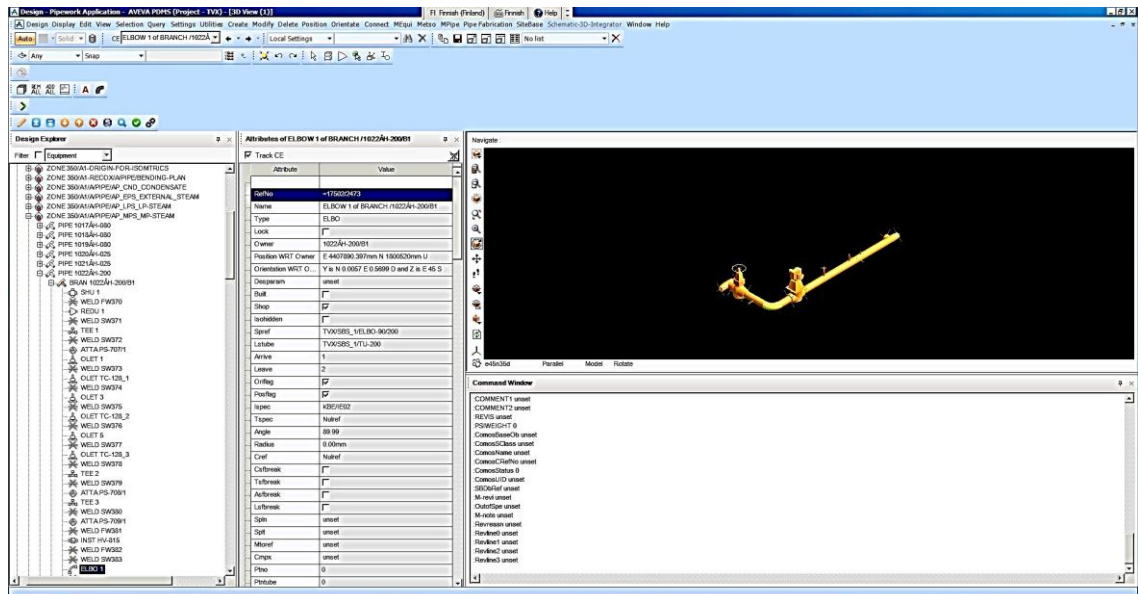
PDMS rakentuu eri käyttötarkoituksiin tarkoitettujen moduulien ympärille, joiden käyttötarkoitukset ja -liittymät eroavat suuresti toisistaan. Näistä moduuleista suunnittelijan näkökulmasta oleellimmat osat ovat design, draft sekä isodraft. Design-moduulilla voi 3D-mallintaa laitteita (equipment), putkistoa (pipework), kaapelihyllyjä (cable trays), kanavistoa (HVAC), rakenteita (structures), kannakkeita (hangers and supports) sekä kaapelointia (cabling systems). Käyttöliittymä vaihtelee design-moduulin sisällä sen mukaan mitä mallinnetaan, jotta tietyn kokonaisuuden mallinnukseen vaaditut työkalut olisivat helposti saatavilla. Draft-moduulilla tuotetaan 3D-mallin pohjalta laitoksen layout- ja detailjikuvat. Isodraftilla tuotetaan 3D-mallin pohjalta putkisto- ja kanavistoisometrit, joihin käyttäjä voi lisätä muun muassa täydet materiaalilistat. (AVEVA 2009, 14–16.)

PDMS:n design-moduulille on ominaista hierarkkiseen rakenteeseen perustuva käyttöliittymä, jonka rakennetta on havainnollistettu kuvassa 7.



KUVA 7. PDMS-hierarkiarakenne. Putkistoon liittyvä hierarkiarakenne on esitettyä kuvan oikeassa reunassa. (AVEVA 2009, 19)

Kuvassa 8 on esitettyä PDMS:n ulkoasu. Kuvassa on esitettyä ohjelmalla mallinnettua soodakattilalaitoksen nuohoushöyryputkistoa.



KUVA 8. PDMS:n ulkoasu

Kuvan 8 vasemmalla puolella näkyy ohjelmassa avattuna olevan projektin putkiston hierarkiarakennetta zone-tasosta alaspäin. Hierarkiarakenteen vieressä oikealla näkyy aktiivisena olevan putkikäyrän attribuutteja graafisessa form-muodossa. Mustalla taustalla näkyy ohjelmalla mallinnettu putkilinja sekä alaoikealla komentorivi, jossa on myös putkiston attribuutteja esillä. PDMS:ää voi käyttää joko graafisten formien tai komentorivin avulla.

4.2 Navisworks

Navisworks on Autodeskin kehittämä visualisointi-, navigointi- ja projektointityökalu. Navisworksin avulla saadaan koottua esimerkiksi PDMS:ällä tuotettu 3D-tietomalli helpokäyttöiseksi, kevyeksi ja näyttäväksi 3D-katselumalliksi, jota voivat tarkastella kaikki laitossuunnitteluprojektiin liittyvät sidosryhmät toimittajasta asiakkaaseen. 3D-katselumalliin voidaan tuoda useasta eri tiedostomuodosta ja suunnitteluohjelmistosta palasia, jotka voidaan koota lopuksi katselumallissa yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä helpottaa projektin keskinäistä tiedonkulkua, sillä tyypillisesti asiakkaalla, toimittajalla ja alihankintaverkostolla ei ole käytössä yhtä ja samaa suunnitteluohjelmistoa. (Kotilainen 2015.)

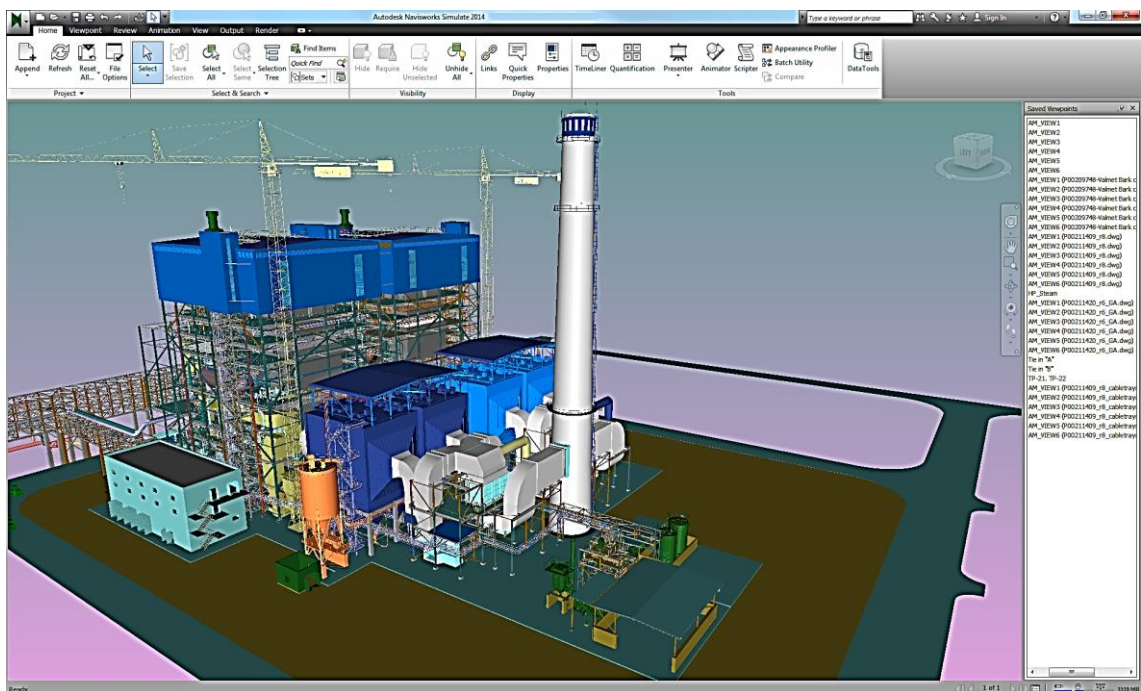
Navisworksin eduiksi voidaan laskea erittäin pienikokoinen tallennusmuoto, ilmainen Freedom-versio mallin katselua ja navigointia varten, helpokäyttöisyys ja joustavuus sekä laaja tuki eri tiedostomuotoihin (Profox Companies 2013, 3). Etuna voidaan mainita myös ohjelmistorajapinnat esimerkiksi dokumentinhallinta- tai prosessisuunnittelujärjestelmän välillä.

Navisworksilla luotua katselumallia käytetään tyypillisesti projektin aikaiseen suunnittelutyön katselmointiin, visualisointuihin esityksiin sekä asennustyömaalla eri käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi työmaakäyttöä ajatellen Navisworksia voidaan käyttää tietokoneen lisäksi iPadilta käsin, joka tuo kokonaan uuden ulottuvuuden katselumallin käyttöön, sillä iPadin avulla katselumallissa olevat asiat voidaan hahmottaa huomattavasti elävämmiin paikan päällä verrattuna toimistolla tietokoneen avulla asian tarkasteluun. (Autodesk Inc. 2015.) Navisworksilla voidaan mallin tarkastelun lisäksi kommentoida kohteita sekä mitata kohteiden välisiä etäisyyksiä maksullisella Simulate-versiolla. Kommentointia helpottaa Viewpoint-toiminto, jonka avulla mallin eri osien näkymät voidaan tallentaa still-

kuvan tyypiksi kuvannoiksi ja palata niihin myöhemmin esimerkiksi projektikatselmuksen merkeissä tai käyttää kuvantoja kommunikointiin asiakkaan kanssa. Presentaatioita varten esimerkiksi projektin myyntivaiheessa Navisworks-mallista on mahdollista tehdä visuaalisesti näyttävä kokonaisuus havainnollistamalla laitoksessa käytettyjä eri materiaaleja todenmukaisesti ja kuvata animaatioita laitosympäristöstä esittelykierroksittain.

Navisworks-mallia luodessa tulee kiinnittää huomiota siihen, mitä kaikkea malliin voi julkaista. Valmetilla kattilan painerunkoa tai muuta avainteknologiaa ei saa julkaista malliin, joka tulee asiakkaan tai jonkin toisen kolmannen osapuolen käyttöön (Alander 2015, 2). Lisäksi on oltava tarkkana, ettei julkaise keskeneräistä työtä malliin.

Kuvassa 9 on esitettyä Navisworksin ulkoasu. Kuvassa on tuotu PDMS:ällä tuotettu 3D-tietomalli 3D-katselumalliksi.

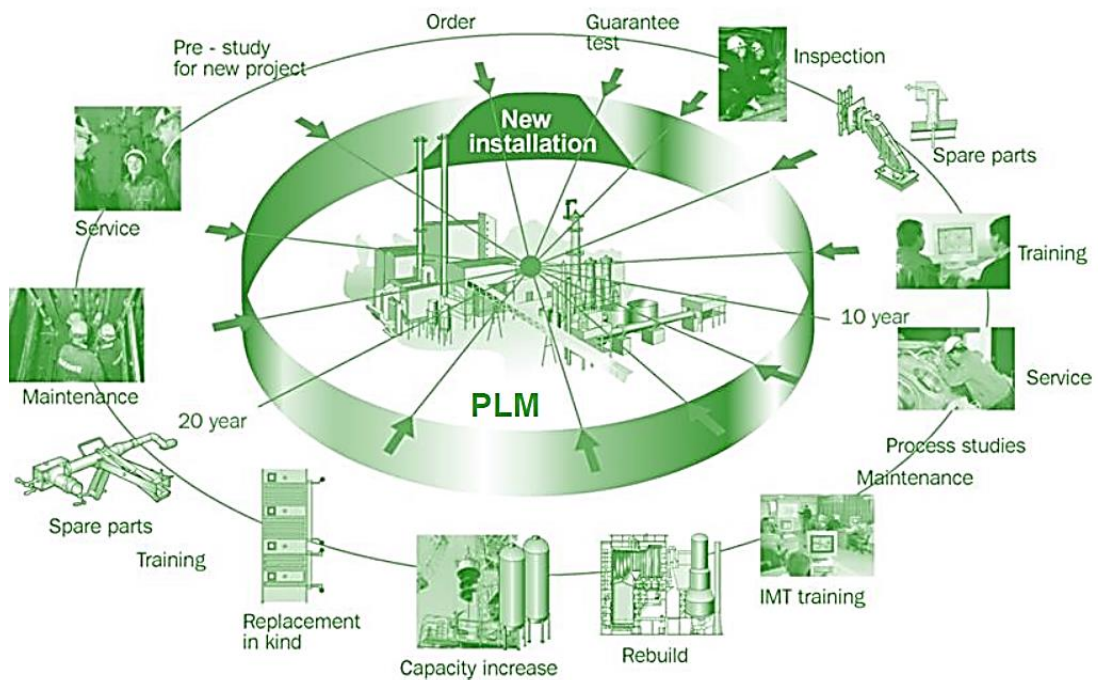


KUVA 9. Navisworksilla tuotettu 3D-katselumalli kahdesta HYBEX-kattilasta

Kuvassa 9 esitettyä on kaksi vierekkäistä Valmetin HYBEX-kattilalaitosta. Kyseiset kattilat ovat tällä hetkellä rakenteilla eräälle aasialaiselle sellun ja paperinvalmistusalueella toimivalle yritykselle.

4.3 PLM

PLM on tuotteen, laitoksen tai projektin elinkaaren hallintatyökalu (engl. Product/Plant/Project Lifecycle Management). Laitos- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta PLM hallinnoi laitokseen liittyvää tietoa koko sen elinkaaren ajan. Kuvassa 10 on havainnollistettu PLM:n sijoittumista laitoksen elinkaarelle. Kuvassa laitoksen elinkaarta on havainnollistettu jatkuvana kehänä, joka alkaa uuden laitoksen tilauksesta ja kiertää koko elinkaaren aina kunnossapitojen ja modernisointien kautta uuden laitossuunnitteluprojektin pre study -vaiheeseen. (Kleine 2016.)



KUVA 10. PLM:n sijoittuminen laitoksen elinkaarelle (Kleine 2016)

Kiteytettynä PLM:n perusideana on kytkeä esimerkiksi laitos- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta laitoksen elinkaaren aikana käytetyt järjestelmät yhteen. Näin parantuu koko elinkaaren kokonaisvaltainen tiedonkulku. PLM:ssä järjestelmien keskiössä on niin sanottu PLM Data hub, joka jakaa ja prosessoi tietoa toisten järjestelmien kanssa. Näitä järjestelmiä kutsutaan PLM Platformeiksi sekä PLM Integrated systeimeiksi. Parantuneen tiedonkulun lisäksi elinkaaren aikana käytettyjen järjestelmien kokonaismäärä vähenee, mikä helpottaa järjestelmien käyttäjien työtä. (Kleine 2016.)

Putkistosuunnittelun näkökulmasta PLM Data hubina toimii COMOS-prosessisuunnittelujärjestelmä. COMOS on putkistosuunnittelujärjestelmien keskiössä ja on kaiken projektiin ja prosessiin liittyvän tiedon perustietokanta. Tällä hetkellä COMOS on Valmetilla

linkitettyä PDMS:ään, jota voidaan kutsua PLM Integrated systemiksi. COMOSin ja PDMS:n linkittäminen yhteen virtaviivaistaa putkistosuunnitteluprosessia ja mahdollistaa saumattoman tiedonvaihdon putkistosuunnittelun ja prosessisuunnittelun välillä. COMOSin kautta saadaan tuotua suoraan PDMS:ään kaikki prosessin yksityiskohtaiset tiedot, kuten esimerkiksi putkikoot, putkispekit, eristyspekit, materiaalit, väliaineet, lämpötilat sekä paineet. Jos COMOS ja PDMS eivät ole linkitettyinä toisiinsa, muun muassa edellä mainitut asiat tuodaan suunnittelijan toimesta manuaalisesti PDMS:ään, mikä hidastaa työskentelyä ja luo mahdollisuuden virheisiin, sillä keskitetyn tietokannan sijasta prosessiin liittyvä tieto löytyy esimerkiksi useista eri Excel-tiedostoista. (Kotilainen 2015.)

Valmetilla on kehityksen alla COMOS-järjestelmän linkittäminen PDMS:n lisäksi muihinkin putkistosuunnittelun käyttämiin järjestelmiin. Tarkoituksena on linkittää yhteen COMOS ja 3D-katselumallin tarkasteluun tarkoitettu Navisworks sekä dokumenttienhallintajärjestelmä ProArc. Kytkeytyvyyden hyödyt näkyvät siinä, että tietyssä järjestelmässä olevaa tietoa pystytään hyödyntämään saumattomasti myös muissa järjestelmissä. Esimerkiksi COMOSissa olevan PI-kaavion objektia klikkaamalla avautuu samalla 3D-näkymä samasta objektista Navisworksin kautta. Lisäksi tällä hetkellä pelkän 3D-laitosmallin katseluun tarkoitettu Navisworks voi välittää 3D-katselumalliin myös PDMS:ssä olevia attribuutteja. Linkitys dokumenttienhallintajärjestelmä ProArciin mahdollistaa sen, että käyttäjä pääsee tarkastelemaan saumattomasti saman objektin 3D-mallin lisäksi myös sen dokumentaatiota, kuten putkiston osalta putkistoisometriä. (Puolitaival, Rantanen & Kotilainen 2015.)

5 MODERNISOINTIPROJEKTIN KULKU

5.1 Modernisointiprojektin elinkaari

Putkistosuunnitteluprojektia voidaan lähestyä projektin vaiheistuksen näkökulmasta lähestulkoon samalla tavalla niin uskattila- kuin modernisointiprojektissakin (Kupari 2015). Haastavin ja samalla ilmeisin eroavaisuus projektityyppien välillä on se, että modernisointiprojektissa työympäristönä on olemassa oleva laitos ja prosessi, kun taas uskattilaprojektissa olemassa olevaa ympäristöä ei ole. Lisäksi projektityyppien ajallista kulkua verratessa uskattilaprojektit kestävät normaalisti noin yhdestä kahteen vuoteen, mutta modernisointiprojektien kesto voi vaihdella hyvin laajasti yhden viikon ja kahden vuoden välillä. Valmetin service-, eli kunnossapitoprojektien kesto on noin viikosta puoleen vuoteen ja rebuild-, eli modernisointi- ja muutosprojektien kesto on noin puolesta vuodesta kahteen vuoteen. (Kotilainen 2015.)

Kattilalaitoksen modernisointiprojektin päävaiheiksi voidaan karkeasti erottaa toisistaan myynti, toteutussuunnittelu, asennus sekä käyttöönotto (Kupari 2015). Päävaiheita voi jaotella myös alivaiheiksi, jotka ovat myynnin osalta tarjous- ja esisuunnitteluvaihe, toteutussuunnittelun osalta perusselvitys-, perussuunnittelu-, detaljisuunnittelu- sekä hankintavaiheet ja asennuksen osalta purku- asennus- ja loppudokumentaatiovaiheet. Projektin lopussa olevaan käyttöönottoon sisältyy myös takuukokeet tarvittaessa. (Kotilainen 2015.)

5.1.1 Myynti

Jokainen modernisointiprojekti alkaa myyntivaiheesta. Myyntivaihe alkaa asiakkaan kyselystä. Vaihe toteutetaan tarkassa yhteistyössä asiakkaan kanssa, ja tarkoituksena on määrittellä, mitä muutoksia laitokseen tehdään sekä miksi nämä kyseiset muutokset tehdään. Olennaista on myös projektin toimituslaajuuden, eli scopen määrittäminen, mikä toimii pohjana projektin toteutussuunnittelulle esisuunnittelun kanssa. (Sillanmäki 2015.)

Tarjousta varten määritellään, miten paljon projektissa on työtä sekä miten paljon työ maksaa. Putkiston osalta näitä tietoja varten tehdään alustavat arviot putkiston määrästä. Tarjousvaiheessa määritellään usein myös muutosalueen laserskannauksen tarve. Projektin hinnoittelu tehdään lopulta projektin toimituslaajuuden mukaan. Jos asiakas tilaa projektin, alkaa varsinainen toteutusprojekti toteutussuunnittelun muodossa. (Ruuti 2015.)

Esisuunnittelun laajuus vaihtelee asiakkaan tarpeiden mukaan. Luonnollisesti esisuunnittelu on laajempi kokonaisuus suuressa tehdaslaajennuksessa verrattuna yksittäiseen putkiston uusintaan. Esisuunnittelussa käynnistyvät prosessisuunnittelu sekä mekaaninen suunnittelu. Putkistosuunnittelu käynnistyy esisuunnittelun jälkeisessä toteutussuunnitteluvaiheessa. (Pere 2012b, 16; Sillanmäki 2015.)

5.1.2 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa jatketaan suoraan esisuunnittelussa tehtyä työtä. Tämän vuoksi raja näiden vaiheiden välillä voi olla häilyvä erityisesti kiireellisessä projektissa. Toteutussuunnittelu voidaan jakaa modernisointiprojekteissa kolmeen osaan: perusselvityksiin, perussuunnitteluun sekä detaljisuunnitteluun. Perusselvityksillä tarkoitetaan selvityksiä olemassa olevaan putkistoon tulevista muutoksista sekä selvityksiä olemassa olevien rakenteiden ja putkiston dokumentaation ajantasaisuudesta (Kotilainen 2015). Perussuunnittelulla tarkoitetaan suunnittelun perusdokumentaation tuottamista tähän mennessä saatujen tietojen perusteella. Detaljisuunnittelulla tarkoitetaan varsinaiseen putkiston valmistukseen ja asennukseen liittyvän dokumentaation tuottamista. Koska erityisesti perus- ja detaljisuunnittelua tehdään eri suunnitteluosa-alueilla samanaikaisesti, on niiden erottelu toisistaan hankalaa. (Pere 2012b, 16.)

Toteutussuunnittelu modernisointiprojektissa alkaa putkistosuunnittelun osalta aina selvitystyöllä, eli perusselvityksillä (Kupari 2015). Perusselvitysvaiheessa putkistosuunnittelu aloittaa yhteistyön layout-suunnittelun kanssa, joka työskentelee putkistosuunnittelun kanssa tiiviissä yhteistyössä (Kotilainen 2015). Putkistosuunnittelun osalta myyntivaiheen ja toteutussuunnitteluvaiheen rajapinnaksi voisi määritellä sen vaiheen, jolloin putkistosuunnittelija aloittaa perusselvityksien suorittamisen.

Toteutussuunnittelun eri vaiheissa tehdään hankintoja. Hankinnat käsittävät putkiston osalta putkiston esivalmistuksen sekä asennuksen hankinnat ja muut projektikohtaiset putkistohankinnat. Kun toteutussuunnittelu on päättynyt, eli kaikki tarvittavat dokumentit on tuotettu, projektissa jää usein päälle hankintojen esivalmistus tai muu vastaava konepajatoiminta. Kun hankintojen esivalmistus on päättynyt ja valmistetut komponentit voidaan toimittaa työmaalle, alkaa projektin asennusvaihe. (Kupari 2015.)

5.1.3 Asennus ja käyttöönotto

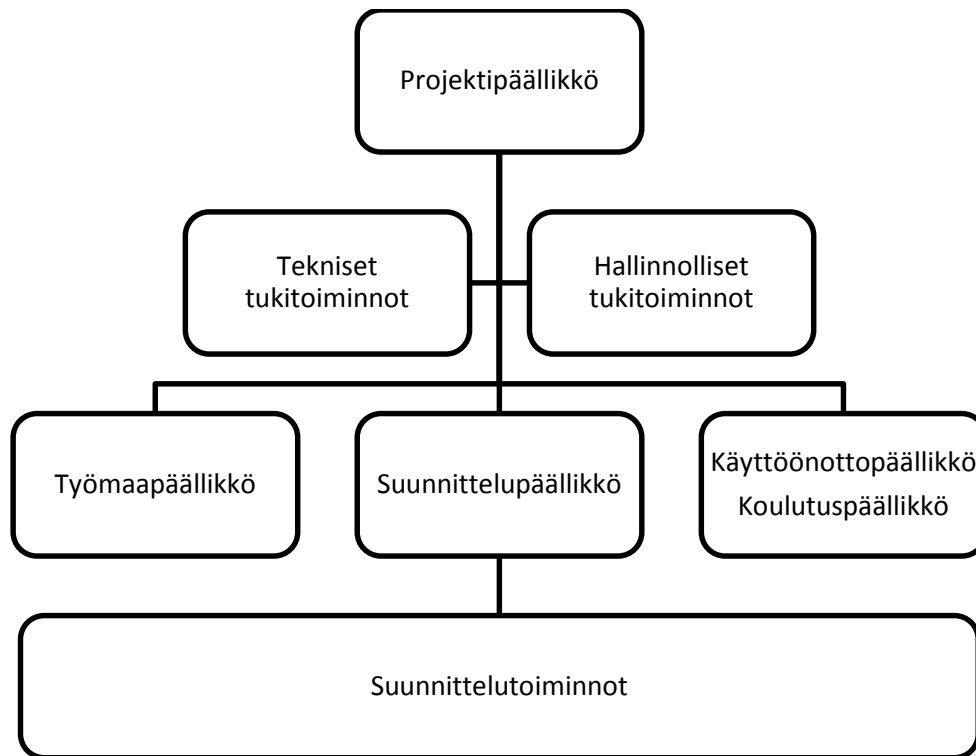
Modernisointiprojektin asennusvaihe alkaa käytännössä aina purkutyöllä, jossa puretaan muutoskohteesta määritetyt kohteet. Tämän jälkeen jatketaan varsinaiseen asennukseen, jossa asennetaan puretun putkiston tilalle uudet, projektin toimituslaajuudessa määritetyt asiat toteutussuunnittelussa tuotetun dokumentaation mukaisesti. Asennusta seuraa aina loppudokumentaatiovaihe, jossa päivitetään asennuksessa käytetty dokumentaatio ja 3D-laitosmalli asennuksen jälkeistä tilannetta vastaavaksi, eli luodaan as-built -dokumentaatio. (Kotilainen 2015; Kupari 2015.)

Asennusvaiheen raja on häilyvä toteutussuunnitteluvaiheen kanssa. Tyypillisessä modernisointiprojektissa kiire lisääntyy projektin loppua kohti mennessä, jolloin osa suunnittelusta voidaan tehdä työmaalla asennuksien ollessa käynnissä, milloin asennus- ja toteutussuunnitteluvaiheet kulkevat rinnakkain. Lisäksi asennusvaiheita saattaa olla erityisesti laajoissa projekteissa useita. Tämän tarkoituksena on minimoida laitoksen seisakkiin kuuluva aika. Tällöin usean asennusvaiheen projekteissa pyritään tekemään osa asennuksista laitoksen ollessa käynnissä. (Kotilainen 2015.)

Asennusta seuraa käyttöönottovaihe, joka sisältää tarvittaessa takuukokeet. Käyttöönottovaiheessa testataan projektissa suunniteltu ja asennettu kokonaisuus siten, että projektin lopputuotos voidaan luovuttaa asiakkaalle. Käyttöönottovaiheen laajuus riippuu projektin laajuudesta. (Kotilainen 2015.)

5.2 Projektioorganisaatio

Valmetilla toteutettavan projektin projektioorganisaation perusrakenne on esitetty kuviossa 3. Kuvion pohjana on Valmetilla työn alla olevan laajan rebuild-projektin projektioorganisaatio. Kuvio kuvaa tällöin projektin toimittajapuolen projektioorganisaatiota.



KUVIO 3. Rebuild-projektin projektioorganisaatiokaavio (mukailtu Valmet 2014)

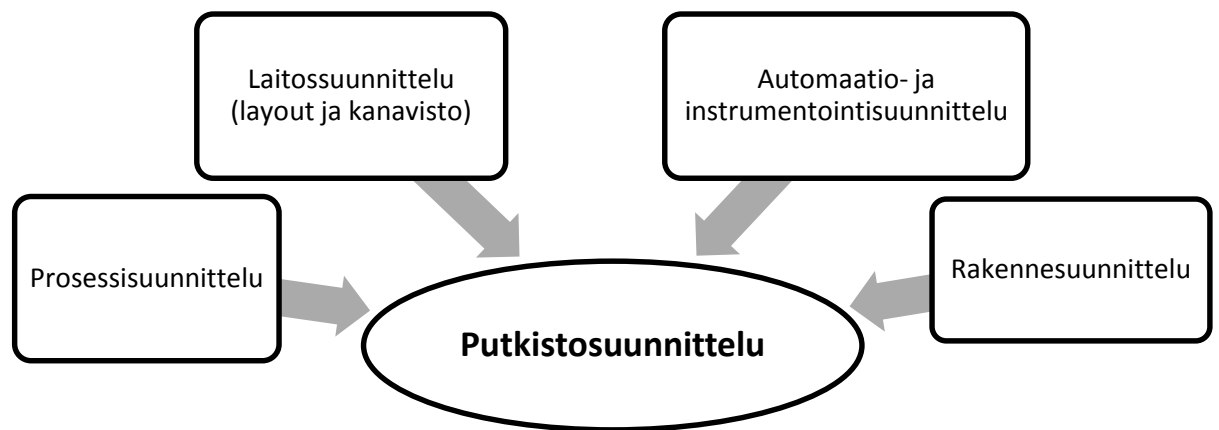
Kuviossa 3 esitetyn projektioorganisaation kohdeprojekti on laaja. Pienemmissä projekteissa kaavio voi näyttää huomattavasti erilaiselta, vaikka se noudattaakin samaa perusidea. Tällöin esimerkiksi suunnittelupäällikköä ei ole välttämättä projektissa ollenkaan. Jos projekti on kooltaan vielä edellä mainittua pienempi, projektissa voi olla vain projektipäällikkö, jolloin suunnittelu voidaan tehdä alihankintana.

5.3 Projektin muut suunnitteluosa-alueet

Pennockin (2001, 75) mukaan muun muassa tiimityö on avainasemassa modernisointiprojektin onnistuneelle toteutukselle. Tämän vuoksi on tärkeä tietää suunnitteluosa-alueet, joiden kanssa projektissa työskentelee. Kuviossa 3 esitetyn projektioorganisaatiokaavion projektissa on esimerkiksi seuraavia suunnitteluosa-alueita (Valmet 2014):

- laitesuunnittelu,
- layout-suunnittelu,
- prosessisuunnittelu,
- painerunkosuunnittelu,
- valmistussuunnittelu,
- rakennesuunnittelu,
- putkistosuunnittelu,
- automaatio- ja instrumentointisuunnittelu sekä
- ympäristöjärjestelmiin kohdistuva suunnittelu.

Putkistosuunnittelun kannalta olennaisimmat suunnitteluosa-alueet on esitetty kuviossa 4 (Kotilainen 2015; Ruuti 2015). Näiden suunnitteluosa-alueiden ja putkistosuunnittelun välillä kulkee eniten tietoa. Putkistosuunnittelun tulee olla jatkuvassa vuoropuhelussa ja yhteistyössä kuviossa 4 esitettyjen osa-alueiden kanssa ja tiedon tulee kulkea saumattomasti kumpaankin suuntaan, sillä saumaton tiimityö on edellytys projektin onnistuneelle toteutukselle.



KUVIO 4. Putkistosuunnittelun kanssa läheisimmin kytköksissä olevat suunnitteluosa-alueet

Prosessisuunnittelu on kaiken lähtökohta putkistosuunnittelulle (Sillanmäki 2015). Prosessisuunnittelu antaa pääosan putkistosuunnittelun vaatimista lähtötiedoista. Putkisto- ja prosessisuunnittelun välillä kulkee tällöin runsaasti tietoa. Tiedonkulun apuna on Valmetilla COMOS-järjestelmä. Oletusarvoisesti COMOSin kautta tulee kaikki putkiston vaatima tieto prosessilta.

Laitossuunnittelu sisältää putkistosuunnittelun lisäksi layout-suunnittelun ja kanavistosuunnittelun. Lähtökohtaisesti putkistosuunnittelu kulkee laitossuunnittelun ja erityisesti layout-suunnittelun kanssa käsi kädessä ja jatkuvassa vuoropuhelussa.

Automaatio- ja instrumentointisuunnittelu antaa putkistosuunnittelulle suunnittelutyön lähtötiedot erityisesti instrumenttien osalta. Instrumenttis suunnittelu laatii putkistosuunnittelulle instrumenttien liitoskuvat toimitusrajapintoihin. Automaatio- ja instrumenttis suunnittelu laatii putkistosuunnittelulle myös instrumenttien asennuskuvat, eli hook-up -kuvat. (Kotilainen 2015.)

Putkistosuunnittelun tulee toimittaa rakennesuunnittelulle kuormatiedot mahdollisista kannatuksista rakennuksen seinästä ja päärakenteista, kuten tasoteräksistä ja pystypilareista. Tämä tehdään siksi, että rakennesuunnittelu voi huomioida putkiston kannatuksen laskelmissaan, eli kestääkö esimerkiksi pilari muiden kuormitusten lisäksi putkiston kannakoinnin aiheuttamat kuormat. (Kotilainen 2015.)

6 PUTKISTOSUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT JA ERITYISPIIRTEET MODERNISOINTIPROJEKTISSA

6.1 Yleistä

Modernisointiprojektin onnistuneessa toteutuksessa tärkein tekijä on tarkka määrittely siitä, mitä projektissa tullaan tekemään. Pelkästään suuriin linjoihin keskittymisen sijasta tulee kiinnittää huomio myös pienempiin, yksityiskohtaisempiin tekijöihin. Samalla avainasemassa ovat huolellinen suunnittelu, aikataulut, tiimityö sekä projektin eri aktiviteettien koordinointi. Huomio tulee kiinnittää myös asiakkaan, urakoitsijan, laitoksen käyttäjähenkilöstön sekä rakennuspuolen väliseen yhteistyöhön. Kokemuksen, toimialakohtaisen tietämyksen sekä jo toteutetuista projekteista oppiminen luo myös pohjan modernisointiprojektin onnistuneelle toteutukselle. (Pennock 2001, 75.)

Putkistosuunnittelun näkökulmasta modernisointiprojekteille ominaiset erityispiirteet esiintyvät suurimmaksi osaksi projektin alkupuolella tapahtuvissa työvaiheissa. Projektin alkuvaihe voidaan todeta samalla projektin työllistävimmäksi vaiheeksi. Eniten aikaa vievät työvaiheet ajoittuvat projektin aikajanalla perusselvitysvaiheeseen. Perusselvitysvaihe voi viedä ajallisesti jopa 40 prosenttia projektin suunnitteluun menevästä ajasta (Kotilainen 2015). Erityispiirteitä ilmenee myös muissa perussuunnittelua edeltävissä ja perussuunnittelun aikaisissa työvaiheissa, joita esitetään tarkemmin tässä luvussa. Näitä aihepiirejä ei ole tutkittu ja dokumentoitu aikaisemmin Valmetilla, joten niihin liittyy runsaasti suunnittelijoiden välillä kulkevaa hiljaista sekä epävirallista tietoa.

Tähän lukuun on koottu olennaisilta osin putkistosuunnittelun modernisointiprojekteihin liittyviä erityispiirteitä, jotka voidaan mieltää myös työvaiheina. Luvussa esitetään myös putkistosuunnittelun vaatimat lähtötiedot projektin toteutukselle. Tietolähteenä ovat pääosin haastattelut sekä keskustelut modernisointiprojekteihin erikoistuneiden asiantuntijoiden kanssa, mutta myös sopivia osia alaan liittyvästä kirjallisuudesta ja artikkeleista on huomioitu lukua kirjoittaessa.

6.2 Putkistosuunnittelun vaatimat lähtötiedot

Lähtötiedolla tarkoitetaan putkistosuunnittelun vaatimaa tuotosta tai dokumenttia, jonka perusteella suunnittelu toteutetaan. Putkistosuunnittelun lähtötiedot tulevat prosessi- ja instrumenttisuunnittelun esisuunnitteluvaiheessa laadituista dokumenteista. Nämä dokumentit ovat tyypillisesti PI-kaavio, virtauskaavio, instrumenttiliitos- ja hook-up -kuvat sekä putkilinja-, venttiili- sekä laiteluettelot. (Kotilainen 2015.)

6.2.1 PI-kaavio

PI-kaavio, eli putkisto- ja instrumenttikaavio, on prosessisuunnittelun tuottama dokumentti. Sen tarkoituksena on antaa kaikki tieto prosessin teknisistä ratkaisusta. PI-kaaviossa esitetään putkien ja muiden kuljetusteiden yksityiskohtainen kulku sekä annetaan perustiedot putki-, instrumentti- ja asennuspiirustusten laatimista varten. Kaavio antaa tiedot myös materiaaliluettelon ja kustannusarvion laatimista varten. Koska PI-kaaviosta näkee kaiken prosessin kannalta oleellisen tiedon, voidaan sitä käyttää myös prosessin perehdytystyökaluna niin toimittaja- kuin tilaajaorganisaation henkilöstölle ja pohjana eri osapuolien väliselle viestinnälle. (Pere 2012a, 24.)

Modernisointiprojektissa PI-kaaviosta tulee lisäksi löytyä täydellinen lista putkiston tie-in -pisteistä. Tie-in -pisteellä tarkoitetaan liityntäpistettä, joka näyttää mistä kohdasta esimerkiksi uusi putki liitetään olemassa olevaan putkistoon. Tie-in -pisteistä voidaan nähdä myös putkiston toimitusrajat. Toimitusrajojen selventämisen vuoksi projektin eri osapuolien toimituslaajuudet merkitään usein myös eri väreillä PI-kaavioon. Tästä on mahdollista nähdä mitkä osat putkiston kokonaisuudesta ovat mahdollisesti omien alihankkijoiden vastuulla tai toisaalta mitkä osat kuuluvat jonkun muun putkiston toimittajan vastuulle, mikäli sellainen kyseisessä projektissa on. (Kotilainen 2015.)

PI-kaavio on kaiken putkistosuunnittelun perusta ja lähtökohta. Tämän vuoksi on tärkeää, että prosessisuunnittelu laatii kaavion mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia, mielellään jo myyntivaiheessa ennen putkistosuunnittelun aloittamista (Mattila 2015). PI-kaavion tulee pysyä mahdollisimman muuttumattomana sekä paikkansa pitävänä koko

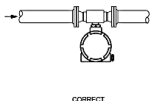
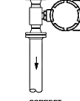
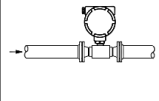
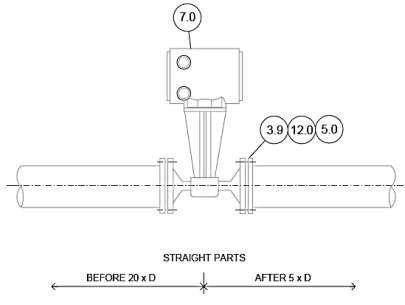
projektin ajan. Muutokset kaaviossa heijastuvat putkistosuunnittelun lisäksi useaan muuhun projektin suunnitteluosa-alueeseen ja muutokset tuottavat erityisesti putkistosuunnittelulle suuria haasteita.

6.2.2 Virtauskaavio

Virtauskaavio on PI-kaavion esiaste, jossa esitetään prosessi periaatteellisesti ja jossa on vain oleelliset prosessitiedot. Virtauskaaviossa esitetään tapahtumajärjestyksessä mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset käsittelyt, joihin prosessiaine kulkeutuu (Hämäläinen 2005a, 2). Virtauskaaviossa esitettyjä tietoja tarvitaan PI-kaavion laatimisen lisäksi esimerkiksi alustavissa laite- ja putkistoerittelyissä, layout-suunnitelmissa, kustannusarvioissa sekä lupahakemuksissa. Virtauskaavioon voidaan viitata myös termillä PFD, joka on lyhenne englanninkielisistä sanoista process flow diagram. (Pere 2012a, 19; Pennock 2001, 260.)

6.2.3 Instrumenttiliitos- ja hook-up -kuvat sekä eri luettelot

Instrumenttiliitoskuvat, eli instrument connection -kuvat, antavat putkistosuunnittelulle tiedon liitospinnoista putkiston, kanaviston sekä laitteiden välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuvissa annetaan tieto siitä mihin loppuu putkiston toimitusraja ja millä liitostavalla. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki instrumenttiliitoskuvasta.

INSTALLATION										POSITION 1PCB86CF001-801		
												
CORRECT			CORRECT			CORRECT						
12.0	Gasket	2	P	P								
7.0	Transmitter	1	M01	P								
5.0	Flange	2	M02	P								
3.9	Bolt, nut, washer	8	M02	P								
Part	Description	Qty	Supplied By	Mounted By	Size	Material	Note	REV				
M01	POW, Automation		M03 = POW, Duct Manufacturer	I = Instrument Contractor		N = Mechanical Contractor	V = Vendor					
M02	PCW, Boiler Manufacturer		MA = Metso Automation	L = Electric Contractor		P = Piping Contractor	C = Customer					
NOTES NOTE 1 VALUES HAVE TO ALWAYS BE CHECKED BY EACH MANUFACTURER.												
INSTRUCTIONS A MEASURING POINT ALWAYS HAS TO BE FULL. B MUST AVOID INSTALLING TO SUCTION SIDE OF PUMP TO LOW PRESSURE (TEFLON LINING). C PIPE SYSTEM HAS TO BE SUPPORTED SO THAT THERE IS NO BENDING FORCE TOWARDS MAG PIPE. D TO CONFIRM THE MEASUREMENT ACCURACY, STRAIGHT PIPE PARTS ARE NEEDED BEFORE AND AFTER MAG PIPE. RECOMMENDED LENGTHS ARE BEFORE 5 x D AND AFTER 3 x D. E FOR MAG PIPE LINING, BOLTS BETWEEN MAG PIPE AND FLANGE ARE TIGHTENED ACCORDING TO MANUFACTURER MOMENT TABLE. F												
										FINAL		

KUVA 11. Instrumentiliitoskuva (Valmetin projektidokumentaatio)

Hook-up -kuvat ovat instrumenttien asennusta varten. Hook up -kuvista näkee minkälaisia vaatimuksia instrumentti asettaa putkistolle. Näitä ovat esimerkiksi asiat, kuten vaatiiko instrumentti vaaka- tai pystyputken sekä vaatiiko instrumentti putkistolta suoraa putkea instrumenttia edeltävältä ja seuraavalta alueelta. Samoja asioita voi päätellä myös instrumenttiliitoskuvasta.

Putkistosuunnittelu vaatii suunnittelun lähtötiedoksi myös putkiliinja-, venttiili- sekä laiteluettelot. Putkiliinjaluetelossa esitetään putkiston spekki ja putkistossa virtaava aine sekä virtaavan aineen paine ja lämpötila. Venttiililuetelossa esitetään venttiilien tiedot liitostyyppineen ja asennusmittoineen. Laiteluettelossa listataan laitteiden kuvaus, tunnus, toimittaja, valmistaja ja viittaus laitteen dokumentaatioon. (Kotilainen 2015.)

6.3 Perusselvityksen työvaiheet

Putkistosuunnittelun tekemä perusselvitys käsittää asiat, jotka putkistosuunnittelun tulee selvittää ja tarkastaa, jotta modernisointiprojektin perus- ja detajisuunnittelu sekä asennus voidaan toteuttaa mahdollisimman sujuvasti. Tämä käsittää projektin muutoskohteen olemassa olevan dokumentaation perusteellisen selvittämisen ja tarkastamisen, laserskan-

nauksen ja siihen liittyvät toimenpiteet, kenttämittaukset niissä projekteissa, joissa laserskannausta ei tehdä sekä tie-in -listauksen selvittämisen ja tarkastamisen. Tässä vaiheessa korostuu muutoskohteessa tehtävä työ, sillä kaikki tieto tulee mahdollisuuksien mukaan tarkastaa fyysisesti muutoskohteessa, jotta projektin myöhemmässä vaiheessa ei tarvitse palata alkutilanteeseen virheellisten lähtötietojen vuoksi.

6.3.1 Muutoskohteen dokumentoinnin selvitys

Muutoskohteen dokumentointi voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen osa sisältää muutoskohteen muutettavan, purettavan sekä osittain purettavan putkiston dokumentoinnin, mikä määrittellään projektin alussa oman suunnitteluorganisaation sekä asiakkaan kanssa yhteistyössä. Jälkimmäinen osa käsittää kaiken muun muutoskohteen putkistoon liittyvän dokumentaation, joka kerätään putkistosuunnittelijan toimesta asiakkaan arkistoista. Tämä dokumentaatio käsittää esimerkiksi putkistoisometrit, PI-kaaviot, materiaallilistat, layout-kuvat ja muut mahdolliset erityistiedot putkistosta. (Kotilainen 2015.)

Kaikkien saatujen sekä itse kerättyjen tietojen ja dokumenttien paikkansa pitävyys tulee tarkastaa muutoskohteessa. Tarkastuksessa dokumenteissa olevaa tietoa tulee verrata fyysisesti putkiston nimelliskokoon, reittiin sekä materiaaliin siltä osin kuin on mahdollista. Samalla tarkastetaan myös venttiili- ja instrumenttitietojen paikkansapitävyys. Kokonaan eristetyissä putkilinjoissa materiaalin selvittäminen voi olla haastavaa tai jopa mahdotonta. Haasteita voi tuoda myös asiakkaan arkistoista kerätyn dokumentoinnin epäselvyys, sillä kyseessä voi olla muutoskohteesta riippuen jopa kymmeniä vuosia vanhoja dokumentteja. (Kotilainen 2015.) Liitteessä 3 on esitetty ote erään kohdeyrityksessä tehdyn projektin asiakkaalta saadusta dokumentista, josta voi nähdä miten epäselvää tämä dokumentaatio voi olla. Liitteessä esitetyssä dokumentissa on esitetty nuohoushöyryn runkolinja.

Dokumentaatiota tarkastettaessa hyväksi käytännöksi on todettu muutoskohteessa olevien asioiden valokuvaaminen, minkä jälkeen valokuvat kerätään esimerkiksi Powerpointiin helposti esitettävään muotoon (Tiido 2015). Kuvia sekä havaintoja verrataan tämän jälkeen PI-kaavioon. Toinen hyväksi todettu tapa on pistokoekäytäntö (Kotilainen 2015). Tällöin valitaan sattumanvaraisesti riittävä määrä esimerkiksi putkistoisometrejä ja tarkastetaan, että isometrissä olevat venttiilit ja putket ovat oikealla paikallaan ja oikean

kokoisina kohteessa. Jos valituissa isometreissä olevat tiedot pitävät paikkansa, myös muidenkin isometrien tiedot ovat suurella todennäköisyydellä ajan tasalla.

Jos tarkastuksissa havaitaan poikkeamia muutoskohteeseen tai lähtötietoon nähden, asia tulee ottaa esille ja mahdollisuuksien mukaan tulee myös selvittää virheen alkuperä. Eri-tyisesti korkeapaineputkistoon liittyvän dokumentaation poikkeamat tulee selvittää perin pohjin, sillä korkeapaineputkisto on painelaitedirektiivin alaista putkistoa ja siitä tulee löytyä viranomaisvaatimuksien vuoksi ajantasainen ja paikkansa pitävä dokumentaatio. (Kotilainen 2015.)

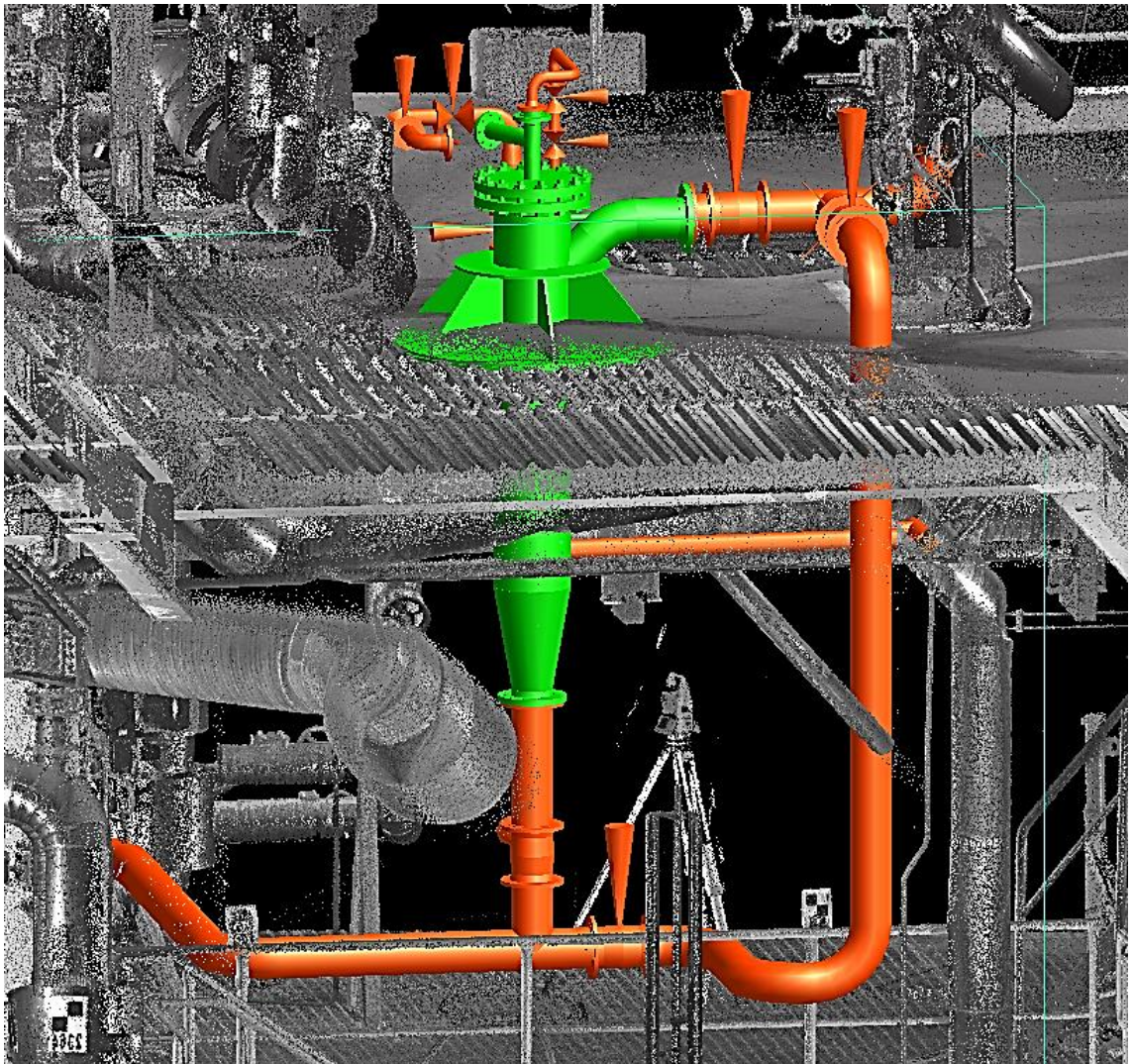
Dokumentaation keräämisessä tulee ottaa huomioon se, että aina ei ole mahdollista saada kaikkia tarvittavia lähtötietoja. Tästä huolimatta saadut lähtötiedot tulee arvioida kokonaisuutena ja selventää kuvien yleinen taso sekä alueet, joissa on puutteita. (Ruuti 2015.) Näiden tietojen pohjalta voidaan miettiä alustavasti suunnittelutyön kulkua. Jos lähtötiedoissa ei ole määritetty esimerkiksi putken seinämäpaksuutta, tulee suunnittelussa ottaa huomioon pelivara tähän liittyen.

Lopuksi kaikki kerätyt dokumentit kannattaa skannata aina sähköiseen muotoon, vaikka ne alun perin olisivatkin paperimuodossa. Skannattu dokumentaatio tallennetaan projektin alussa sovittuun sijaintiin, esimerkiksi projektilevylle tai Tasmaniin. Tiedostot nimitään yhteneväisellä tavalla, kuten vuosi/kuukausi/päivä/vapaamuotoinen kuvaus kuvan sisällöstä, esimerkiksi 151210/SYVE-putkisto.

6.3.2 Laserskannaus

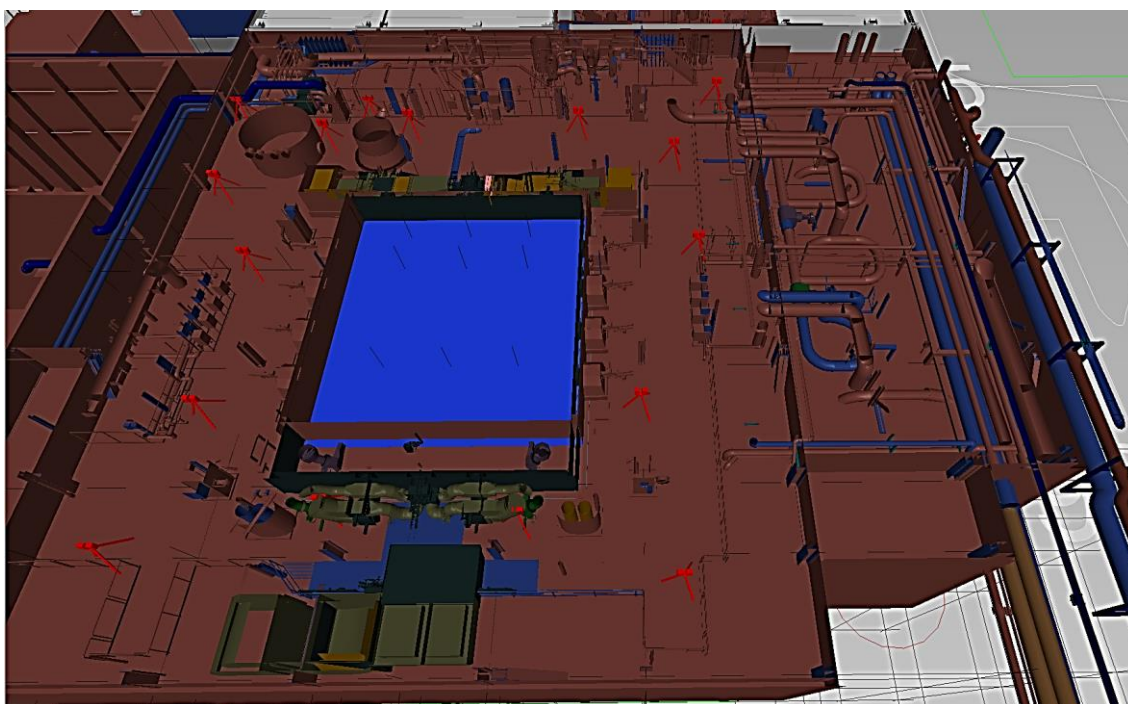
Laserskannauksella tarkoitetaan 3D-paikkatietojen keräämiseen tarkoitettua menetelmää. Laserskannausmallilla tarkoitetaan olemassa olevasta laitoksesta tai laitoksen osasta tuotettua mittatarkkaa 3D-mallia laserskannausteknologiaa hyödyntäen. Laserskannausmalli on äärimmäisen tärkeä lähtötieto kaikissa modernisointiprojekteissa, erityisesti laajoissa tai vanhoissa muutoskohteissa, joiden olemassa oleva dokumentaatio on huonolla tasolla ja ei pidä joiltain osin paikkansa, tai pahimmillaan kyseistä dokumentaatiota ei ole ollenkaan olemassa. Laserskannaus tehdään kohdeyrityksen projekteissa alihankintana. (Garvey 2012, 32.)

Laserskanneri on tiedonkeruuseen käytetty laite, joka kerää laserin avulla jokaisesta sen näkökentällä olevasta fyysisestä komponentista jopa miljoona datapistettä sekunnissa, minkä jälkeen skanneri määrittää XYZ-koordinaattitiedot jokaiselle pisteelle. Tällöin muodostuu niin sanottu pistepilvi, jossa jokainen skannerin skannaama piste esitetään avaruudessa koordinaattitietojen mukaisilla sijainneilla. Koska pistepilven pisteet ovat tiheästi ja tarkasti määritettyjä, sen avulla voidaan nähdä eri kohteiden pinnan muodot 3D-avaruudessa kuvan 12 mukaisesti. Kuvassa 12 on esitetty pistepilven lisäksi tapa hyödyntää pistepilveä suunnittelutyössä. Kuvassa itse pistepilvi on harmaalla esitettyä ja sen päälle on mallinnettuna PDMS:ällä uusina asioina vihreällä näkyvä lipeän esilämmitin sekä oranssilla näkyvää putkistoa. (Garvey 2012, 32.)



KUVA 12. Pistepilvi ja putkiston sekä laitteen 3D-malli (Mattila 2016)

Vaikka laserskannereiden näkökenttä on laaja, se ei näe skannattavien komponenttien läpi. Tämän vuoksi kattilalaitosympäristössä rebuild-projekteissa laserskannaus suoritetaan tyypillisesti noin 500–600 eri paikasta eri tasoilta, alueilta ja kuvakulmista, jotta kaikki modernisoinnin kannalta oleellinen tieto näkyy varmasti pistepilvessä (Kotilainen 2015). Skannaus suoritetaan siihen liittyvien kustannuksien takia tavallisesti vain kerran projektissa ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Tämän takia skannaukseen käytettyjen eri skannauspaikkojen määrittäminen on tärkeää, jotta esimerkiksi jokin kriittinen putkilinja ei jää skannausalueen ja pistepilvessä näkyvän alueen ulkopuolelle. Osittain siksi järkevämpää on skannata hieman tarpeellista laajempi alue kuin liian pieni alue. Kuvassa 13 on havainnollistettu eräässä modernisointiprojektissa käytettyjä laserskannauspaikkoja yhdeltä soodakattilalaitoksen huoltotasolta. Kuvassa 13 olevat kirkkaan punaiset kolmijalkamallit kuvastavat laserskannauspaikkaa ja laaja sininen alue keskellä kuvastaa soodakattilan tulipesää. Kuten kuvasta voi huomata, siinä on esitettyinä vain murto-osa koko laitoksen skannauspaikoista.



KUVA 13. Leikkauskuvanto soodakattilalaitoksen huoltotasosta 3D-pintamallissa

Pistepilvi ei yleensä itsessään riitä vielä riittävän tarkaksi lähtötiedoksi, vaan se vaatii jatkokäsittelyä. Pistepilven pohjalta tuotetaan yleensä 3D-pintamalli, jota varten jokaisesta skannauspaikasta skannatut pistepilvet kootaan yhteen ja niiden pohjalta mallinnetaan pistepilven käsittelyyn tarkoitettu ohjelmistolla pintamalli. Pintamallinnuksen suo-

rittaa usein skannauksen suorittanut alihankkija. Alihankkijan tekemän pintamallinnuksen tarkkuus sovitaan erikseen, mutta yleensä siihen ei sisällytetä putkistosta nimellis-kooltaan DN 50 -kokoisia eikä siitä pienempiä putkia. Jos DN 50 -kokoisia ja sitä pie-nempiä putkia ei mallinneta, tulee niiden tiedot selvittää suunnittelijan toimesta joko muutoskohteessa tai suoraan pistepilvestä. Joissakin tapauksissa alihankkija ei tee pinta-mallinnusta ollenkaan vaan toimittaa pelkän pistepilven, jolloin pintamallinnus tarvitta-vilta osin tulee suorittaa putkistosuunnittelun toimesta, tai vaihtoehtoisesti suunnittelija etsii asiat suoraan pistepilvestä. (Garvey 2012, 34.)

Pintamallinnus voidaan tehdä Valmetilla käytössä olevilla LaserModeler tai LFM -ohjel-mistoilla. Pintamalli voidaan avata useimmilla 3D-laitossuunnitteluohjelmistoilla, kuten PDMS:llä, josta se voidaan tuoda edelleen 3D-katselumalliksi esimerkiksi Naviswork-siin. Aiemmin esitetty kuva 13 on Navisworksista otettu screenshot 3D-pintamallista.

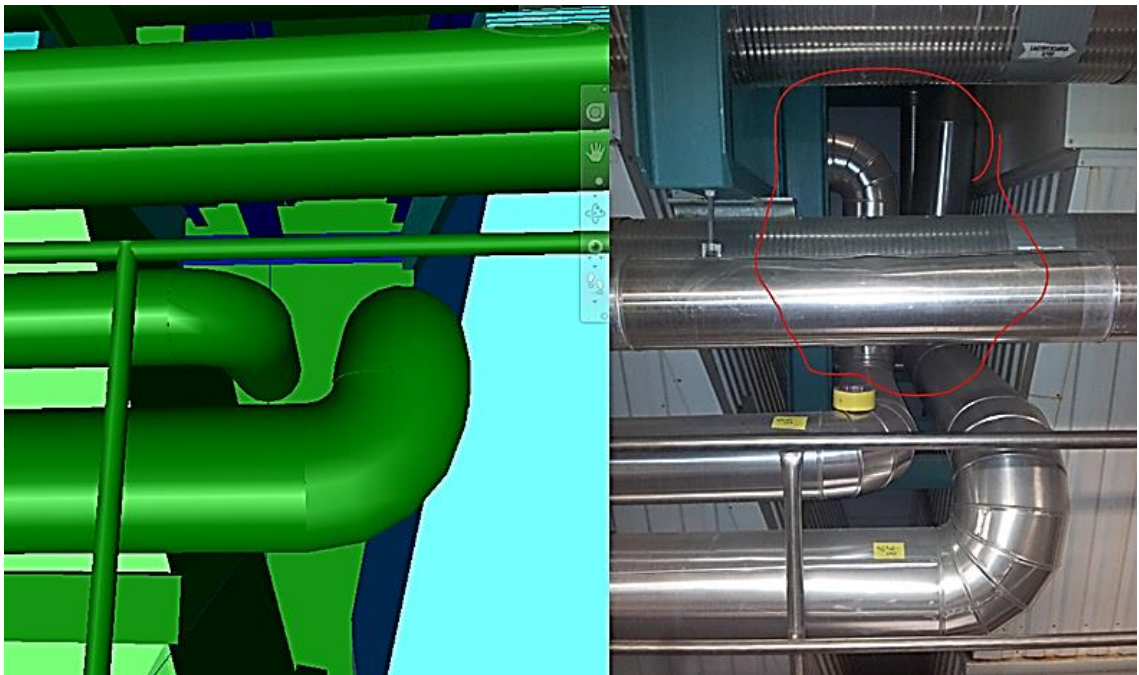
Laserskannausmallista hyötyy putkistosuunnittelun ja muun projektiorganisaation lisäksi myös asiakas, joka saa laitoksestaan ajantasaisen 3D-mallin, jota voi hyödyntää eri vai-heissa laitoksen elinkaarta. Putkistosuunnittelun näkökulmasta laserskannauksen hyödyt ovat erittäin nopea ja tarkka muutoskohteen ympäristön määrittäminen sekä suunnittelu- ja laatu-kustannusten vähentäminen. Myös suunnittelutarkkuus sekä laadunhallinta para-nevat, ja laserskannaus tuo mahdollisuuden nähdä projektin ympäristö visuaalisesti 3D:nä alusta alkaen ilman ylimääräisiä työmaakäyntejä (Garvey 2012, 33).

Laserskannauksen tarvetta tulee tarkastella projektin laajuuden ja siitä hyötyvien osapuo-lien näkökulmasta. Jos projekti käsittää vain muutaman putkilinjan vaihtamisen kunnos-sapitomielessä, laserskannauksen käyttäminen ei ole järkevää. (Kupari 2015; Mattila 2015.) Toisaalta jos kyseessä on laaja kattilalaitoksen kapasiteetin kasvattaminen, johon sisältyy putkistosuunnittelun lisäksi muita suunnitteluosa-alueita, laserskannaus on erit-täin todennäköisesti kannattava investointi.

Putkistosuunnittelijan on hyvä olla mukana, kun laserskannausaluetta määritetään ja ra-jataan, sillä skannauksen suorittava alihankkija ei tiedä mitkä tiedot ovat oleellisia put-kistosuunnittelun kannalta. Samasta syystä putkistosuunnittelijan on hyvä olla mahdolli-suuksien mukaan henkilökohtaisesti paikan päällä varmistamassa ja opastamassa skan-naajia laserskannaus tilanteessa. Jos esimerkiksi jollain alueella on paljon tärkeitä koh-teita, skannaustiheyden pitää olla suurempi, jotta tarvittavat tiedot saadaan näkymään itse

laserskannausmalliin. Erityisesti korkeapaineputkistot tulee huomioida erityisen tarkasti laserskannausaluetta määrittäessä. (Kotilainen 2015; Ruuti 2015.)

Laserskannausmallin paikkansapitävyys tulee tarkistaa fyysisesti muutoskohteessa, sillä skannauksessa saattaa tapahtua virheitä, ja niihin reagoiminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on tärkeää. Esimerkkinä putkikoko saattaa olla skannausmallissa todellista suurempi. (Ruuti 2015.) Myös skannauksen ohi on saattanut mennä joitakin asioita, esimerkiksi nurkan takaa tai palkin uumasta ei ole skannautietoja, vaikka todellisuudessa siellä olisikin putkistoa tai jotain muuta suunnittelun kannalta oleellista. Kuvassa 14 on havainnollistettu tilannetta, jossa laserskannausmallissa ei ole ahtaassa, kanavistojen välissä kulkevaa putkistosuunnittelun kannalta oleellista PED II -luokan putkistoa. Kuvassa vasemmalla on laserskannausmalli ja oikealla muutoskohteesta otettu valokuva samasta kohdasta. Oikealla olevasta valokuvasta on ympyröitynä kohta, jonka voi huomata puuttuvan laserskannausmallista.



KUVA 14. Laserskannausmallin vertaaminen samasta kohtaa otettuun valokuvaan muutoskohteesta (Kotilainen 2016)

Huomioitavaa on myös se, että laserskanneri ei näe putken eristeen alle, eikä tämän vuoksi putken tarkkaa materiaalitietoa, minkä vuoksi nämäkin asiat tulee varmistaa paikan päällä. Esimerkiksi putken laipassa olevasta stanssista saa putken tarkkoja koko- ja materiaalitietoja.

Laserskannauksen lopputuloksessa tulee aina ottaa huomioon myös lämpölaajeneminen (Ruuti 2015). Skannausmallista saatavat tiedot ja sen mukaan suunniteltavat putkireitit tulee olla lopuksi suunniteltuna niin, että putket ovat niiden käyttölämpötilassa, ja lämpölaajeneminen olisi tältä osin otettu huomioon. Esimerkiksi jos skannaus on suoritettu silloin, kun laitos on seisakissa, eli niin sanotusti kylmänä, lämpölaajenemisen tuomat muutokset on laskettava mallissa oleviin putkiin. Tällöin tulee ottaa myös huomioon kattilan tuenta, sillä lämpöliike käyttäytyy eri tavalla ylhäältä ja alhaalta päin tuetuissa katiloissa.

6.3.3 Kenttämittaukset

Pienemmissä projekteissa muutosaluetta ei välttämättä laserskannata, jolloin muutosalueella tehdään sen sijaan kenttämittauksia. Tällöin putkistosuunnittelijan tulee mitata muutoskohteen putket ja määrittää putkiston kannalta alueella olevat rajoittavat tekijät sekä lopuksi mallintaa nämä asiat PDMS:ään. Saatuja mittaustuloksia kannattaa verrata laitoksen olemassa olevaan dokumentaatioon. Dokumentaation luotettavuus kannattaa kuitenkin varmistaa aina ensin. Kenttämittaukset ja siihen liittyvät toimenpiteet ovat haastavaa ja aikaa vievää, sillä käsin mittaamalla ja mallintamalla ei luonnollisesti saada yhtä hyviä tuloksia suunnittelutyön tarkkuuden eikä ajankäytön kannalta verrattuna laserskannukseen. (Rantanen 2015.)

Kenttämittauksissa haasteita tuovat erityisesti sellaiset putket, joita ei pysty mittaamaan ja joista ei löydy tietoa vanhoista dokumenteista, jolloin putken nimelliskoosta ja materiaalista voi joutua tekemään arvion. Ennen arvion tekemistä kannattaa vielä kertaalleen käydä vanhat dokumentit läpi sekä kysyä mahdollisesti laitoksen käyttöhenkilöstön mielipidettä asiasta. Arvioon tulee jättää riittävä pelivara, jotta putki voidaan asentaa ongelmitta.

Mittausten tulokset mallinnetaan PDMS:ään. Tavoitteena on saada PDMS-malliin riittävällä tarkkuudella muutoskohteen putkisto ja putkiston ympäristö, kuten laitteet, säiliöt, tasot ja teräsrakenteet. Jos projektissa on layout-suunnittelija, häneltä voi saada pohjatietoja PDMS-malliin. Jos layout-suunnittelijaa ei ole, mallin pohjalle tuodaan aluksi päälaitteita ja muita projektikohtaisia suuria kohteita, jotka ovat todistetusti oikeassa paikassa. Pohjana voi käyttää myös olemassa olevaa dokumentaatiota, jonka oikeellisuus

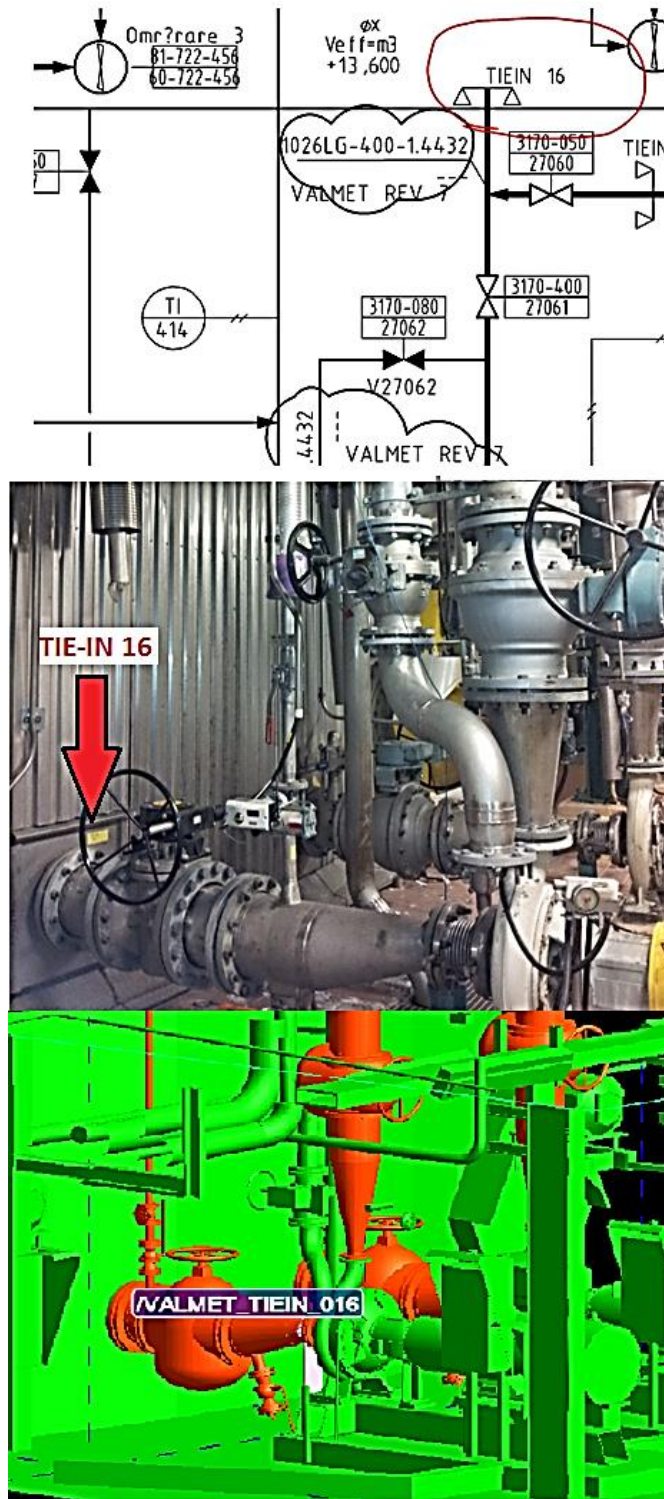
tulee varmistaa. Mallia tehdään tästä eteenpäin aina tarkemmaksi, lisäten rajoittavia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa uuden putken reittiin. Tärkeää mallinnettaessa on hahmottaa fyysisesti paikan päällä aluetta ja mittasuhteita, jotta huomataan oleelliset asiat. Suhteellisuudentaju on tärkeää, ja mallin ei tarvitse olla viimeiseen milliin asti hiottu, sillä siitä saatava hyöty ei korvaa siihen kuluvaan aikaan, ja toisaalta mittaustarkkuuskaan ei ole lähtökohtaisesti riittävän hyvällä tasolla. On tärkeää työskennellä aktiivisesti muutoskohteessa sekä varmistaa, että mallista löytyy putken lisäksi riittävällä tarkkuudella muutakin ympäristöä. Kun PDMS-mallista löytyy riittävästi informaatiota, se on helppo esittää ja sen tarkastelu on helppoa esimerkiksi asiakkaan, asentajan tai oman projektiorganisaation toimesta. (Kotilainen 2015; Rantanen 2015.)

6.3.4 Tie-in -pisteiden selvitys

Tie-in -listaus, eli putkiston liityntäpistelistaus, näkyy prosessisuunnittelun laatimassa PI-kaaviossa. Putkistosuunnittelijan vastuulla on tie-in -listauksessa olevien pisteiden sijainnin tarkastaminen sekä merkitseminen muutoskohteessa. Lisäksi pisteiden sijaintitiedot tulee tuoda PDMS-malliin sekä putkistoisometreihin. (Ruuti 2015; Kotilainen 2015.)

Muutoskohteessa työskenneltäessä tulee olla mahdollisimman tarkka pisteitä mitoittaessa. Liityntäpisteet merkataan selkeästi esimerkiksi teipillä ja niistä otetaan valokuvia. Pisteiden paikallistamisessa voi saada apua laitoksen käyttäjähenkilöstöstä, sillä erityisesti vanhoissa kohteissa oikean paikan löytäminen voi olla haastavaa. Kun pisteet on paikallistettu ja tarkastettu, nämä tiedot tulee päivittää tarkasti PDMS-malliin.

Tie-in -pisteistä otetut valokuvat sekä PDMS-malliin päivitettyt tiedot kerätään Powerpointiin kuvan 15 mukaisesti. Kuvassa 15 näkyy myös PI-kaavion ote, joka havainnollistaa aluetta paremmin. PDMS-kuvannossa tie-in -piste tulee olla mitoitettuna suhteessa paikkaan, jonka voi havainnoida helposti muutoskohteessa, eli esimerkiksi lähimpään pilarilinjaan. Projektissa tulee välttää tie-in -pisteen tai muun pisteen tai kohteen mitoitusta paikoista, jotka ovat vaikeita havainnoida työmaalla. Kattilan keskilinja tai vaihtoehtoisesti pelkästään seinän tai tason toisella puolella oleva piste tai linja ovat esimerkkejä huonoista mitoituspisteistä.



KUVA 15. Powerpointiin kerätyt tiedot tie-in -pisteen esitystä varten. Kuvassa ylhäällä on ote PI-kaaviosta, keskellä on kohteesta otettu kuva sekä alhaalla PDMS-mallissa olevat tiedot (mukailtu Kotilainen 2016)

Kun muutoskohteessa tarkastetaan tie-in -pisteitä, on samalla hyvä tarkastaa liitosputken kannakointi. Tarkemmin ottaen kannakointi tarkastetaan sen suhteen, että missä kiinto-

piste sijaitsee. Kiintopisteen sijainnista voi päätellä miten paljon putken liitospiste liikkuu. Suunnittelijan kannattaa pyrkiä siihen, että tekee liitoksen siten, että se on mahdollisimman lähellä liitosputken kannakoinnin kiintopistettä. Kiintopisteen kohdalla liitosputki ei pääse liikkumaan mihinkään, jolloin kiintopisteen läheisyyteen suunniteltava liitos helpottaa uuden putkilinjan suunnittelua. (Kotilainen 2015.)

Projektin edetessä tie-in -pisteet usein elävät ja muuttuvat. Jos putkistosuunnittelun osalta harkitaan tie-in -pisteiden muuttamista, tulee tällöin hahmottaa koko ketju, joihin muutokset vaikuttavat, ja harkita muutosta sen mukaan. Suunnittelutyössä on myös muistettava, että omien tie-in -pisteiden ulkopuoliset alueet eivät kuulu projektin toimitusrajaan, eli suunnittelun tulee pysyä annettujen pisteiden sisäpuolella. Huomioitavaa on myös se, että jokin toinen suunnittelutoimisto saattaa toteuttaa suunnittelua omien tie-in -pisteiden ulkopuolella. Tällöin tulee tehdä yhteistyötä heidän kanssaan ja sopia tarkka liitospaikka ja -tapa sekä omille että heidän putkilleen, jotta putket kohtaavat lopulta asennusvaiheessa. Samalla myös PDMS:ään on hyvä merkitä tämän tyyppisessä tilanteessa omien tie-inien yhteyteen Valmet (kts. kuva 15), jotta tiedetään mitkä tie-init ovat kenenkin vastuulla. (Kotilainen 2015.)

6.4 Muut projektin alussa tehtävät toimenpiteet

Muilla projektin alussa tehtävillä toimenpiteillä tarkoitetaan työvaiheita, jotka tehdään siinä vaiheessa, kun oleellimmat lähtötiedot on saatu tai kerätty sekä tarkastettu, mutta perussuunnittelu ei ole vielä kunnolla alkanut. Tässä aliluvussa on otettu esille asioita, joiden suorittaminen on oleellista tehdä ennen perussuunnittelun aloittamista. Näitä asioita ovat resurssien määrittäminen, suunniteltavan putkilinjan kriittisyyden arviointi, projektin aikataulutus, kontaktihenkilöiden sekä mahdollisen referenssiprojektin selvittäminen, käytettyjen standardien selvittäminen sekä tarvittaessa PDMS-hierarkiarakenteen luominen.

6.4.1 Resurssien määrittäminen

Projektin vaatimat henkilöresurssit tulee määrittää mahdollisimman tarkasti ja mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia. Tämä vaihe on erityisen haastava, sillä modernisointiprojektille ominaista ovat muuttujat, joihin on vaikeaa reagoida etukäteen. Tämä tekee projektiin sisältyvän työmäärän arvioinnista haastavaa.

Viitteellinen arvio putkiston suunnitteluun kuluvasta ajasta on noin yksi tunti suunniteltua putkimetriä kohden (1 h/1 m), jota voi soveltaa karkeasti arvioitaessa resurssien tarvetta. Tämä on kuitenkin vain ohjearvo, joka on hyvin projektiriippuvainen, sillä haastavassa projektissa tämä tunnusluku saattaa olla jopa 1,5 h/1 m. (Kotilainen 2015.)

Resurssien tarkka määrittäminen alkuvaiheessa on kustannusmielessä tärkeää, sillä projektin edetessä mahdollinen uusi suunnittelija sitoo esimerkiksi projektin pääsuunnittelijan aikaa tämän henkilön perehdyttämiseen, mikä venyttää aikatauluja ja vie pääsuunnittelijan huomion pois olennaisesta työstä. Kustannusmielessä kesken projektin tulleen suunnittelijan kustannukset ovat moninkertaiset siihen verrattuna, että henkilö olisi ollut alusta asti projektissa mukana. (Kotilainen 2015.)

6.4.2 Kontaktihenkilöiden sekä mahdollisen referenssiprojektin määrittäminen

Suunnittelussa tarvitaan tilaajan puolelta kontaktihenkilöitä, joita voi lähestyä silloin, kun tarvitaan apua asioihin, mitä oma projektiorganisaatio ei saa selvitettyä. Projekti- tai suunnittelupäällikkö usein antaa tämän tiedon projektin aloituspalaverissa. (Ruuti 2015.)

Projektin alussa on myös tärkeää määrittää referenssiprojekti, joka tukee alkuvaiheen työskentelyä (Ruuti 2015). Referenssiprojektilla tarkoitetaan vastaavaa, jo tehtyä projektia, jonka avulla pystytään keskittymään joidenkin perussuunnittelun työvaiheiden pohjatyöhön jo ennen, kun niiden tarkat lähtötiedot on saatu. Esimerkiksi automaatio- ja instrumenttisuunnittelun lähtötiedot saattavat tulla vasta projektin loppuvaiheilla, jolloin referenssiprojektin avulla voidaan aloittaa esimerkiksi instrumenttien alustavaa sijoittelua PDMS-malliin. Referenssiprojekteja kannattaa selvittää yleisellä tasolla mahdollisimman

perusteellisesti, ja kerätä tietoja omaan hakemistoon myöhempää käyttöä varten. Referenssiprojektin määrittäminen ei ole aina tosin mahdollista. Jos referenssiprojektia ei voi määrittää, on projektilla normaalia työllistävämpi vaikutus.

6.4.3 Standardien selvitys

Projektissa käytettävät standardit lyödään tavallisesti lukkoon projektin myynti- tai sopimusvaiheessa. Standardeihin on kerätty kuhunkin suunniteltavaan osaan käytettävä standardi, joka perustuu muutoskohteen tehdasstandardiin, ja johon voidaan projektista riippuen kerätä myös muun muassa kohdeyrityksen omia pykäläitä (Kotilainen 2015). Oleellista on, että putkistosuunnittelija keskittyy huolellisesti standardin sisällön selvittämiseen ja siihen, mitä raameja se asettaa työskentelylle erityisesti, jos on kyseessä vieraampi standardi. Tyypillisesti Valmetilla projektit perustuvat EN-standardiin, mutta jos projekti perustuu vieraampaan standardiin, esimerkiksi putkiston kannalta haasteelliseen ruotsalaiseen SSG-standardiin, on tällöin kyseisen standardin erityispiirteet otettava huomioon.

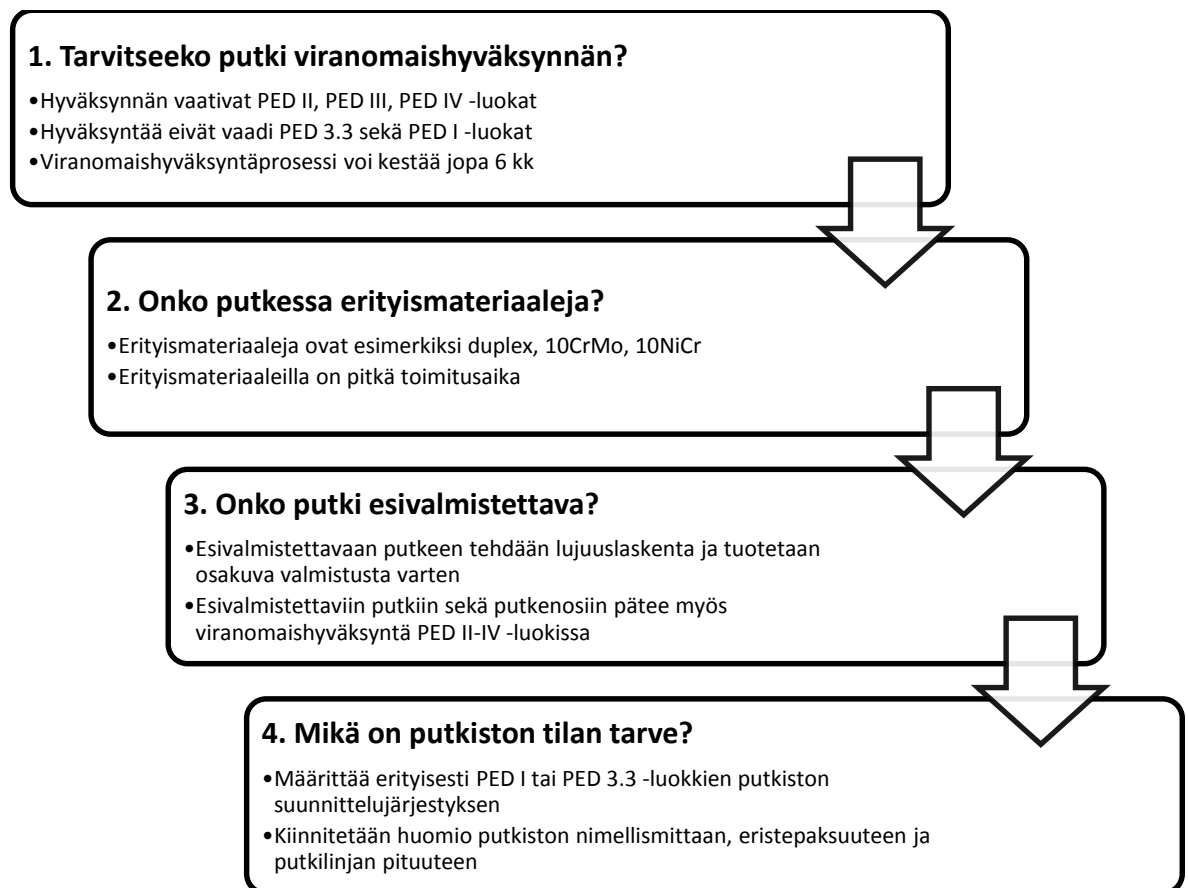
Ongelmia voi tuottaa edellä mainittu SSG-standardi, jonka yleisimmistä standardeista poikkeava putkiston nimelliskoon ilmoitustapa altistaa sekaannuksille. Jos usein käytettyä EN-standardia verrataan SSG:hen, voidaan todeta suurimpana erona niissä putkiston kannalta, että putken nimelliskoot ilmoitetaan toisistaan poikkeavilla tavoilla. EN-standardissa putket ovat niin sanotusti ulkomittaputkia, jossa putken nimelliskoko viittaa putken ulkomittaan, eli halkaisijaan. SSG-standardit ovat puolestaan niin sanottuja sisämittaputkia, jossa putken nimelliskoko viittaa putken sisämittaan ja putken todellisen halkaisijan saamiseksi on tällöin lisättävä nimelliskokoon putken seinämäpaksuudet. Käytännössä EN-putket ovat helpompia hahmottaa, sillä ulkomittaputkien mitta tulee suoraan putken halkaisijasta. SSG-putkia mitattaessa putken halkaisijasta on vähennettävä seinämäpaksuudet, jotta putken standardissa ilmoitettu mitta saadaan selville. (Kotilainen 2015.)

Projektin tilaajalla saattaa olla myös omia tehdaskohtaisia ohjeistuksia tai vaatimuksia putkistosuunnittelulle. Projektista riippuen tilaajalla saattaa olla hyvinkin yksityiskohtaisia suunnitteluohjeita, joita kannattaa hyödyntää omassa työskentelyssä. Esimerkiksi eräällä suomalaisella metsäteollisuudessa toimivalla yrityksellä on kattava kannan-

kesekundäärilistaus, jossa ovat suositukset laitoksella käytettävistä kannakesekundääri-profiileista. Tämän tyyppisen listauksen avulla suunnittelutyö nopeutuu, koska suunnittelijan ei tarvitse käyttää aikaansa kannakesekundääriprofiilien määrittämiseen. (Rantanen 2015.)

6.4.4 Suunniteltavan putkilinjan kriittisyyden arviointi

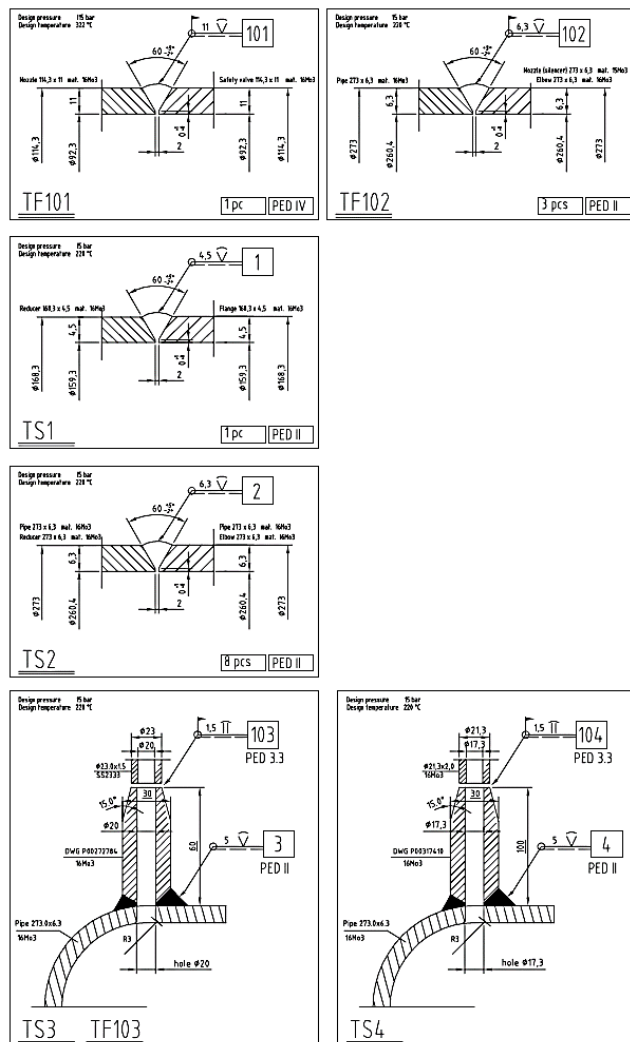
Kriittisten putkilinjojen määrittely on avainasemassa suunnitteluvaiheiden priorisoinnissa ja aikataulutamisessa. Kriittisimmät tai haastavimmat putket tulee aina suunnitella ensin. Putkilinjojen kriittisyyttä määrittäessä tulee ottaa huomioon kuviossa 5 esitetyt kysymykset ja reunaehdot.



KUVIO 5. Reunaehdot suunniteltavan putkilinjan kriittisyyden arviointiin

Ensimmäinen rajaava tekijä on se, tarvitseeko putkilinja viranomaishyväksynnän vai ei, ja tarkemmin, mikä PED-luokka putkilinjalla on. Valmetilla on käytössä Excel-taulukko, johon käyttäjän tulee syöttää putkiston sisällön olomuoto, ryhmä, suurin sallittu käyttö-

paine ja lämpötila sekä putken nimelliskoko. Näiden muuttujien lopputuloksena määrittyy putkilinjan PED-luokka. Mitä suurempi putken PED-luokka on, sitä kriittisempi se on suunnittelun kannalta. PED-luokka määritellään ajoissa siksi, koska PEDin vaatima viranomaishyväksyntä on aikaa vievä prosessi ja se voi kestää jopa 6 kuukautta, joka on huomattavan pitkä ajanjakso suhteutettuna tyypilliseen projektin 6–12 kuukauden läpimenoaikaan. Viranomaishyväksyntää varten putkistosuunnittelija antaa lähtötiedot jännitysanalyysilaskijalle, joka suorittaa putkiston jännitysanalyysin. Jännitysanalyysin jälkeen putkistosuunnittelija tuottaa hitsidetallikuvan (kuva 16) putkistosta, jonka pohjalta hitsausinsinööri tekee hitsaussuunnitelman. Putkistosuunnittelija tuottaa putkistosta myös putkistoisometrit ja kannakekuvat. Jännitysanalyysilaskenta, hitsaussuunnitelma, putkistoisometri ja kannakekuvat toimitetaan viranomaistaholle hyväksyttäväksi. (Kotilainen 2015; Ruuti 2015.)



KUVA 16. Putkiston hitsidetallikuvassa esitettyjä asioita (Valmetin projektidokumentaatio)

Erityismateriaalilla tarkoitetaan materiaalia, jolla on vaikea saatavuus ja tämän vuoksi pitkä toimitusaika. Materiaaleilla, kuten duplexilla, 10CrMo:lla ja 10NiCr:llä, on usein pitkä toimitusaika (Kotilainen 2015). Putkistot, joissa käytetään erityismateriaalia, tulee suunnitella mahdollisimman aikaisin, jotta materiaalit saadaan nopeasti hankintaan.

Esivalmistettavalla putkella tarkoitetaan sellaista putkea tai putken osaa, joka ei ole standardoitu ja tämän takia putkea tai putken osaa ei löydy niin sanotusti suoraan hyllystä lyhyellä toimitusajalla. Esivalmistaminen tulee usein vastaan PED II–IV -luokan putkissa. Kun putken materiaali, putkessa virtaavan aineen lämpötila ja paine ovat tiedossa, putkistosuunnittelija suorittaa lujuuslaskennan putkistolle. Lujuuslaskenta tehdään Valmetilla Mechanical Calculation -ohjelmalla. Putkistolle laskettuja arvoja verrataan standarditaulukkoon. Jos standarditaulukosta ei löydy laskentaa vastaavaa kestävyyttä, tulee putkistosuunnittelijan teettää putket tai putken osat konepajalla ja tuottaa siihen liittyen vaadittavat osakuvat. Lujuuslaskenta on hyvä tehdä kaikille putkille mutta vähintään keskipaine (6–40 bar) sekä korkeapaine (> 40 bar) -luokille. Viranomaishyväksyntä pätee myös putkiston esivalmistettavissa osissa, sillä jos PED II–IV -putkisto vaatii esivalmistuksen, nämäkin osat tulee hyväksyttää viranomaistaholla. Viranomaishyväksyntään sisältyy myös putkiston yhteet. (Kotilainen 2015.)

Tilan tarpeella viitataan pääosin PED I lisäksi PED 3.3 -luokan putkistoon. PED 3.3 -luokan putkistolle painelaitedirektiivi ei aseta vaatimuksia ja nämä putket valmistetaan hyvän konepajakäytännön mukaisesti. Tyypillisesti PED I ja PED 3.3 -luokat käsittävät matalapaineputkiston, joiden paine on 0–6 baaria. Normaalitilanteessa nämä putket suunnitellaan viimeiseksi, mutta mahdollisen putkiston erityismateriaalin vuoksi tästä joustetaan tilanteen mukaan. Jos kyseessä on normaalitilanne, suunnittelujärjestyksen määrää tämän putkiston osalta tilan tarve layoutissa. Tällöin kiinnitetään huomiota putken nimeliskokoon, eristyksen paksuuteen ja putken pituuteen, eli käytännössä suunnitellaan suurimmat putkistot ensin. Näille luokille ei ole aina tarpeellista tehdä erillistä hitsaussuunnitelmaa, vaan hitsaukseen sovelletaan mahdollisuuksien mukaan niin sanottua yleislakanaa, joka on Valmetilla käytetty yleinen hitsausohjeistus PED 3.3 sekä PED I -luokille (Kotilainen 2015).

6.4.5 PDMS-hierarkiarakenteen luominen

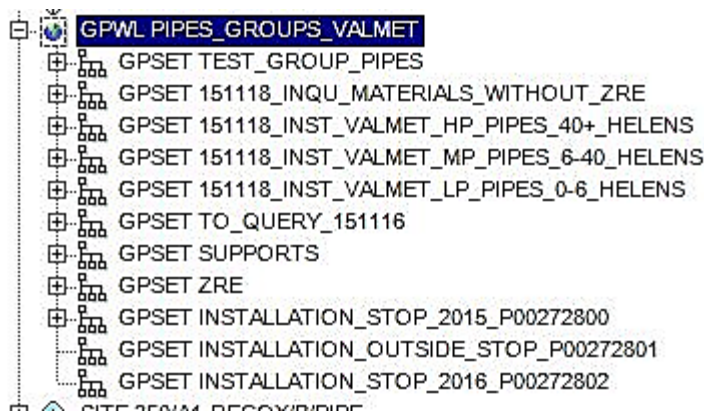
Lähtökohtana on, että PDMS-hierarkiarakenteen tulee olla aina oikeassa muodossa ennen putkiston mallinnustyön aloittamista. Normaalitilanteessa PDMS-hierarkiarakenne tulee suoraan COMOS–PDMS -linkin kautta automaattisesti oikeassa muodossaan. Erityisesti pienemmissä projekteissa COMOS–PDMS -linkki ei ole aina käytössä, jolloin PDMS-hierarkiarakenne rakennetaan manuaalisesti. Tämä kappale käsittelee sitä tilannetta, kun linkki ei ole käytössä.

Perusidea hierarkiarakenteessa on, että putkiston sitet jaotellaan ja luodaan hierarkiaan taulukon 5 mukaisesti. DEMO ja rerouted -sitejen omistamien zonejen alle tulevat putket tulee nimetä putkelle määrättyllä linjatunnuksella. (Kotilainen 2015; Tiido 2015.)

TAULUKKO 5. PDMS-hierarkiarakenteen putkiston jaottelu siteihin

Site	Siten nimi	Kuvaus
1	DEMO	purettavat putket
2	rerouted	uudelleen reititettävät putket
(3)	new_pipes	uudet putket

Sitejen lisäksi hierarkiaan luodaan groupit, joihin kerätään samassa asennusvaiheessa purettavat putket (Kotilainen 2015). Jos projektissa on esimerkiksi kolme eri asennusvaihetta, joissa jokaisessa puretaan putkistoa, tällöin hierarkiarakenteeseen luodaan kolme groupia, joihin lisätään kussakin eri asennusvaiheissa purettavat putket. Kuvassa 17 on havainnollistettu erään projektin group-rakennetta PDMS:ssä.



KUVA 17. Group-rakenne PDMS:ssä

Opinnäytetyötä kirjoittaessa Valmetilla on kehityksen alla edellä esitetyn rakenteen sijasta toinen vaihtoehto PDMS-hierarkiarakenteelle. Kiteytettynä perusidea uudessa vaihtoehdossa on, että hierarkiarakenteet rakentuvat asennusvaiheiden mukaisten groupien alle, joihin jokaiseen on kerätty taulukon 5 DEMO, rerouted sekä new_pipes -sitet ja niiden sisältö.

6.4.6 Projektin aikataulukus

Projektin aikataulukus tehdään yhteistyössä projekti- ja suunnittelupäällikön kanssa. Tämän mennessä kerättyjen tietojen perusteella putkistosuunnittelun tulee muodostaa omalta osaltaan käsitys projektin kulusta, mitä käytetään hyväksi aikataulukua suunniteltaessa.

Tässä vaiheessa kiinnitetään huomio alustaviin sisäisiin aikatauluihin. Tämä käsittää pääasiassa hankintaan liittyvät asiat, joita ovat esimerkiksi putkihankintojen ajankohta, putkimateriaalien selviämisen ajankohta sekä asennuksien hankinnan ajankohta. Hankinnoissa on myös alustava vaihe, jossa asennussuunnittelija muun muassa tiedustelee materiaalitoimittajilta pitkän toimitusajan omaavia putkiston erityismateriaaleja. Huomio kiinnittyy tällöin erityismateriaaleihin. (Kotilainen 2015.)

6.5 Perussuunnittelun aikaiset toimenpiteet

Perussuunnittelun aikaisilla toimenpiteillä tarkoitetaan niitä työvaiheita, jotka tarvitsevat erityishuomiota perussuunnittelun aikana. Opinnäytetyön rajauksen vuoksi tässä aliluvussa ei käsitellä tyypillisiä putkiston perussuunnittelun työvaiheita vaan nimenomaan erityishuomiota vaativia kokonaisuuksia. Näitä asioita ovat materiaaliarviointi, putkispekkien määrittäminen, purkukuvien tuottaminen, koeponnistettavien alueiden huomiointi, venttiili- ja instrumenttitietojen huomiointi sekä dokumenttien arkistointi.

6.5.1 Materiaaliarviointi

Alustava materiaaliarviointi tehdään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektin varsinaista suunnittelua. Materiaaliarviointi käsittää putkiston sekä kannakesekundäärien määrän arvioinnin.

Putkiston määrän arviointi tehdään siten, että muutoskohteen olemassa olevia layout-kuvia apuna käyttäen määritellään viitteellisesti putkiston pituusmäärä metreinä. Arvioinnissa määritellään myös putkikäyrien määrä esimerkiksi siten, että tehdään oletus, jonka mukaan aina 3 metrin välein putkistossa on putkikäyrä. Tällöin jos putkilinja on 30 metriä pitkä, käyriä olisi yhteensä 10. Jos tiedossa on laitteita, mihin putkisto liittyy, lasketaan myös laiteliitoksien laippamäärät, ja siinä voidaan ottaa huomioon myös liitosten vaati- mat pultit sekä mutterit. Laippamääriä laskettaessa on huomioitava, että usein laippojen koko on tässä vaiheessa tiedossa, mutta niiden paineluokka ei sen sijaan ole. Mahdollisuuksien mukaan pyritään arvioimaan myös putkiston T-kappaleiden sekä istutuksien määrä. Kaikkeen laskettuun lisätään lopuksi 10 prosentin korjauskerroin, sillä kyseessä on vasta alustava arvio. (Kotilainen 2015.)

Kannakesekundäärien alustava määrä massan osalta voidaan laskea, kun putkiston massa on laskettu. Laskennassa kannakesekundääriteräksien arvioitu massa on 10 prosenttia putkiston massasta, kuten kaavassa 1 on esitetty (Kotilainen 2015).

$$m_{\text{putkimateriaalit}} * 0,1 = m_{\text{kannakesekundääriteräkset}} \quad (1)$$

Kaavasta 1 saatu arvo käsittää kaikkien kannakesekundääriprofiilien yhteenlasketun viitteellisen massan. Usein tämä on riittävä alustava arvio, mutta jos on mahdollista, on hyvä pyrkiä määrittämään, kuinka paljon suhteellisesti mitään kannakesekundääriprofiilia käytetään (Kotilainen 2015). Jos pystytään arvioimaan, että projektissa käytetään esimerkiksi 70 prosenttia RHS 160 -profiilia sekä 30 prosenttia RHS 100 -profiilia, voidaan sekundääriteräksien massan laskennan tulokset jaotella näiden profiilien välille. Tällöin materiaalihankinta osaa arvioida kannakesekundääriteräksien kokonaismassan lisäksi myös profiilikohtaisen metrimäärän. Esimerkkinä käytetyn kahden profiilin sijasta tyy- pillisessä projektissa käytetään noin 5–10 eri kannakesekundääriprofiilia kuitenkin siten, että kokonaisprofiilimäärä olisi silti mahdollisimman pieni (Tiido 2015; Rantanen 2015).

6.5.2 Putkisquekkien määrittäminen

Putkisquekillä tarkoitetaan putkiston spesifikaatitietoja, jotka löytyvät PDMS:stä kirjastotyypisistä hakemistosta. Putkisquekit ovat kohdeyrityksessä projektikohtaisia korkeapaineputkiston osalta, ja ne lisätään aina erikseen PDMS:n hakemistoon jokaisessa projektissa. Admin-oikeudet omistava henkilö lisää putkisquekit PDMS:ään.

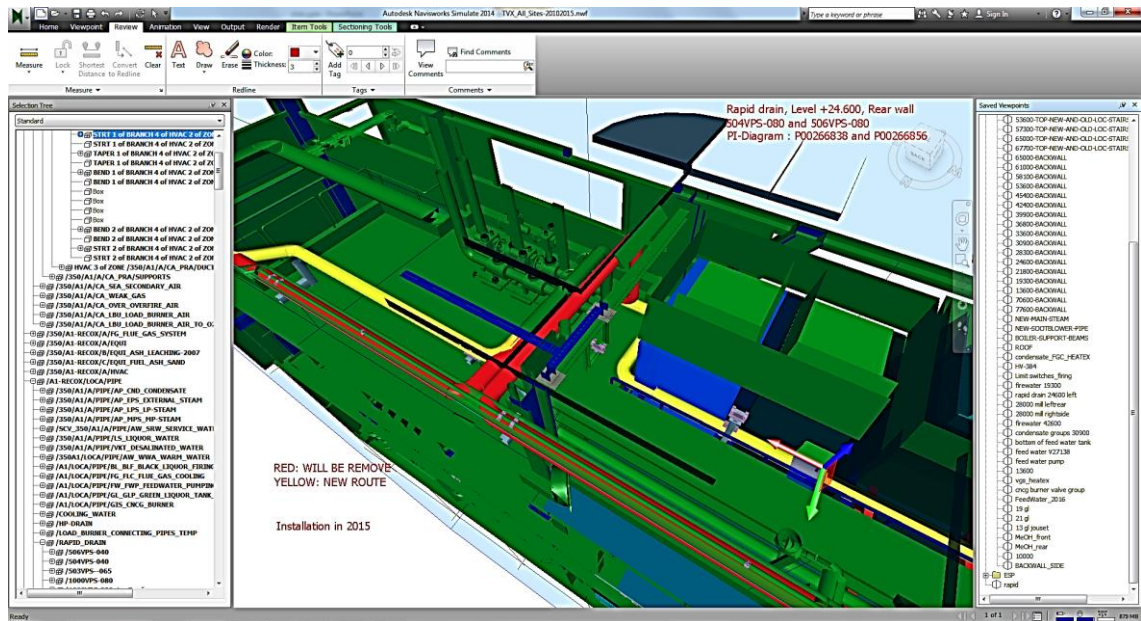
Kiteytettynä putkisquekkien määrittäminen menee siten, että putkistosuunnittelu laskee alustavasti spekkeihin liittyvät tiedot, minkä jälkeen ne muokataan materiaalihankintojen ja spekkien kokonaismäärän näkökulmasta käytännöllisempään muotoon. Tämä tarkoittaa periaatteellisesti sitä, että jos on olemassa kaksi putkisquekkiä, jotka ovat samaa materiaalia ja nimelliskokoa, mutta niissä on pieniä eroavaisuuksia seinämävahvuuksissa, niiden yhdistäminen yhdeksi spekkiksi voi olla järkevämpää. (Ruuti 2015.)

Putkisquekin määrittämisessä tulee myös huomioida erityisesti pienissä projekteissa se, että spekit ovat määritetty käytetyn materiaalin saatavuuden mukaan. Materiaalin tulee olla tällöin saatavilla suoraan esimerkiksi tukkurilta. (Kupari 2015.)

Usein tarkkojen spekkien määrittäminen vie aikaa, minkä vuoksi putkien reititystä voidaan aloittaa projektin laajuudesta riippuen alustavasti PDMS:n layout-spekillä, jonka voi myöhemmin vaihtaa oikeaksi (Ruuti 2015). Layout-spekkiä käytettäessä putkessa ei ole tällöin koon ja mahdollisen eristepaksuuden lisäksi mitään muuta spekkiin liittyvää informaatiota. Layout-spekki on työkalu putkiston tilan tarpeen määrittelyyn.

6.5.3 Purkukuvien tuottaminen

Purettavasta sekä uudelleen reititettävästä putkistosta tuotetaan purkukuvat, joiden pohjana ovat Navisworksillä otetut viewpointit putkilinjasta. Purkukuvat palvelevat ensisijaisesti asennusurakoitsijaa sekä asiakasta, jotka näkevät purkukuvasta muutettavan ja purettavan putkiston. Purkukuvista on hyötyä myös omalle projektiorganisaatiolle, sillä kuvat voivat olla esimerkiksi tärkeä osa projektin hinnoittelua siinä vaiheessa, kun asennussuunnittelu hankkii urakoitsijaa toteuttamaan putkistomuutokset. Kuvassa 18 on esitettyä tyypillinen purkukuvanäkymä Navisworksissa. (Kotilainen 2015.)



KUVA 18. Purkukuva Navisworks-viewpointina kommentteinen (Puolitaival ym. 2015)

Kun purkukuva luodaan, kuvakulma ja sisältö tulee miettiä Navisworks-mallissa siten, että siitä näkee helposti yhdellä silmäyksellä putkistoon tehtävän muutoksen sekä putkiston sijainnin suhteessa muuhun ympäristöön. Kuvassa on eri väreillä putkiston uusi, vanha sekä purettava osio. Hyviä väri vaihtoehtoja ovat esimerkiksi punainen, vihreä ja valkoinen. Helposti toisiinsa sekoittuvia värejä, kuten ruskeaa ja punaista, tulee välttää, sillä ne sekoittuvat helposti toisiinsa, kun kuva tulostetaan. Kuvassa tulee olla myös alueen tasokorko sekä putkiston päämitat esimerkiksi lähimmästä pilarilinjasta, ja lisäksi muuta alueella olevaa ympäristöä, kuten laitteita, tasoja ja teräsrakenteita.

Tehdyt purkukuvat voidaan koota lopuksi Powerpoint-esitykseen. Powerpoint-esityksessä on varsinaisten purkukuvien lisäksi hyvä näkyä valokuvia alueesta, mikä toimii hyvänä havainnollistamisvälineenä.

6.5.4 Koeponnistettavien alueiden huomioiminen

Putkistolle tehdään painekoe, jota kutsutaan myös koeponnistamiseksi. Koeponnistuspaine on uusissa kattiloissa 1,43 kertaa suurin sallittu käyttöpain (Tukes 2007, 5). Vanhoissa, modernisoinnin kohteena olevissa kattiloissa koeponnistuspaine on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpain (Kotilainen 2015).

Putkiston koeponnistettavat alueet tulee ottaa huomioon jo varsinaisessa suunnitteluvaiheessa eikä vasta asennusvaiheessa. Nykytilanteessa koeponnistettavat alueet merkitään PI-kaavioon asennustyömaalla värikynällä, mutta tulevaisuudessa prosessisuunnittelu voi laatia ne suoraan eri väreillä PI-kaavioon. (Kotilainen 2015.)

Suunnitteluvaiheessa on kohtuullisen nopeaa tuottaa tarvittavat detaljikuvat koeponnistettaville putkenosille, mutta jos tämä työvaihe jätetään asennusvaiheeseen, se on osien toimitusaikojen vuoksi huomattavasti hitaampi prosessi. Tämä hidastaa varsinaista asennustyötä.

6.5.5 Venttiili- ja instrumenttitietojen huomioiminen

Putkiston venttiili- ja instrumenttitiedot tulevat prosessi- ja instrumenttisuunnittelulta venttiili- ja instrumenttilistauksien sekä instrumenttiliitäntä- sekä hook-up -kuvien muodossa. Lisäksi putkistosuunnittelu määrittää yhdessä automaatio- ja instrumenttisuunnittelun kanssa toimilaitteventtiilien toimilaitteiden asentotiedot.

Tarkat venttiili- ja instrumenttitiedot saadaan usein myöhäisessä vaiheessa projektia, mikä tuo haasteita, sillä putkistosuunnittelu on yleensä tässä vaiheessa lähes valmis. Tämän takia on tärkeää käyttää hyväksi mahdollista aikaisemmin määritettyä referenssiprojektia venttiilien ja instrumenttien sijoittelussa ennen tarkkojen tietojen saamista. (Ruuti 2015.) Tämä on erityisen tärkeää, jos projektissa on paljon venttiilejä ja instrumentteja. Tällöin putkistoon ei välttämättä tarvitse tehdä kovin radikaaleja muutoksia siinä vaiheessa, kun tarkat venttiili- ja instrumenttitiedot tulevat.

Kun tarkat tiedot on saatu, on muistettava päivittää kaikki uudet tiedot PDMS-malliin mahdollisimman pian, jotta malliin ei jää referenssiprojektin perusteella saatua virheellistä tietoa (Ruuti 2015). Yleensä mallin päivittäminen sijoittuu projektin loppuvaiheille, jolloin on muutenkin kiirettä, mutta kiireen keskellä malli on silti käytävä läpi perusteellisesti.

Venttiilin ja putken välinen liitostyyppi vaatii erityishuomiota. Jos liitostyyppi on laippaliitos tai laippojen väliin tuleva liitos, on muistettava tarkastaa ja päivittää myös putken

ja venttiilin laippojen paineluokat PDMS-malliin (Kotilainen 2015; Ruuti 2015). Jos paineluokissa on eroavaisuuksia, se voi näkyä vastakkaisten laippojen eri pulttijakoina, mikä tekee asennuksesta kyseisillä laipoilla mahdotonta.

Jossain tapauksissa projektissa käytetään uudessa putkistossa vanhoja venttiilejä ja instrumentteja. Tämän kaltaisessa tapauksessa on ensinnäkin muistettava se, että käytettävien venttiilien ja instrumenttien tiedot pitää pyytää asiakkaalta. Toiseksi kaikki säilytettävät venttiilit ja instrumentit on merkittävä selkeästi työmaalle, erityisesti, jos ne ovat purettavalla alueella. Ilman selkeää merkintää alueella toimiva urakoitsija ei tiedä, mitkä osat säilytetään ja mitkä hävitetään. Hyvä tapa merkitä nämä on teipata ne selkeästi näkyvällä teipillä. Jos venttiili tai instrumentti menee hukkaan, se huomataan lähes aina vasta asennusvaiheessa, jolloin uuden osan toimitusaika on pois asennusajasta. (Kotilainen 2015; Ruuti 2015.)

6.5.6 Projektiin liittyvän dokumentoinnin arkistointi

Projektin varrella tehdyt luonnostelut tai muut projektille lisäarvoa tuovat dokumentit, kuten oleelliset muistiinpanot, tulee skannata sähköiseen muotoon ja arkistoida. Tällöin luonnosteluja tehdessä tulee muistaa, että siitä voi saada tarvittavan tiedon vaivattomasti silloin, jos asiaan palataan vielä myöhemmin. Sama tulee muistaa myös muistiinpanoja tehdessä. Kaikkiin projektiin liittyviin muistiinpanoihin kannattaa lisätä vähintään päivämäärä ja muistiinpanossa olevan tiedon antaneen henkilön nimi. Tällöin pysyy helposti kartalla sovituista asioista, niiden ajankohdasta ja muistiinpanossa olevan tiedon antajasta.

Dokumentit nimetään yhtenevällä tavalla, kuten luvussa 5.2.1 esitettyllä käytännöllä. Näiden dokumenttien tallennushakemisto voi olla projektilevyllä tai Tasmanissa ja tämä hakemisto sovitaan projektin alussa.

6.6 Haasteet projektin toteutuksessa

Jos tarkastellaan tyypillisen modernisointiprojektin haasteita ja ongelmakohtia, suurimpina haasteina voi nähdä lähtötietoaineiston, lähinnä as-built -dokumentaation, epäluotettavuus tai sen puuttuminen kokonaan sekä prosessisuunnittelun viivästyminen. Myös projektin vajaavainen miehitys ja yleisesti suunnittelun aikaiset muutokset kaikissa lähtötiedoissa tuovat haasteita.

As-built -dokumentaation epäluotettavuus tai puuttuminen lisää niin projektin vaikeusastetta kuin projektiin liittyvää työmäärää ja epävarmuutta kaikille osapuolille. Dokumentaation epäluotettavuuteen pystyy reagoimaan tarkastamalla kerätyt dokumentit mahdollisimman hyvin, jolloin pystytään huomaamaan mahdolliset epäluotettavat kohdat mahdollisimman aikaisin. Myös laserskannaus voi toimia hyödyllisenä apuvälineenä suuremmissa projekteissa tilanteissa, joissa as-built -dokumenteissa on puutteita. Pienemmissä projekteissa laserskannausta ei kuitenkaan suoriteta.

Prosessisuunnittelun viivästyminen ja muutoksien lisäksi kaikissa lähtötiedoissa tapahtuvat suunnittelun aikaiset muutokset tuovat myös haasteita. Muutoksien vuoksi joudutaan aina palaamaan projektissa taaksepäin, mikä syö resursseja ja venyttää aikatauluja.

Projektin vajaavainen miehitys voi osoittautua haastavaksi silloin, kun joudutaan ottamaan uusi suunnittelija mukaan kesken projektin. Tämä nostaa usein kustannuksia, minkä takia projektin resurssien arviointi tulisi olla oikein jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

7 TARKISTUSLISTA

7.1 Tavoite ja reunaehdot

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena syntynyt tarkistuslista sisältää luottamuksellista tietoa, jonka vuoksi sitä ei julkaista opinnäytetyön julkisessa versiossa. Tässä luvussa esitetään tarkistuslistan tavoitteet, reunaehdot ja toteutusmuoto, eikä paneuduta listan sisältöön.

Tarkistuslistan tarkoituksena on parantaa modernisointiprojekteihin keskittyvän putkistosuunnitteluprosessin tehokkuutta. Listassa on esitetty mahdollisimman moneen eri modernisointiprojektiin sovellettavissa olevia tekijöitä ja työvaiheita. On kuitenkin otettava huomioon, että poikkeuksellisen pienessä projektissa kaikkea listassa olevaa ei voi soveltaa. Listan laadinnassa on kiinnitetty huomiota yksityiskohtien esille tuontiin, joka on Pennockin (2001, 75) sekä opinnäytetyön aikana tehtyjen asiantuntijahaastatteluiden mukaan avainasemassa modernisointiprojektin onnistuneen toteutuksen kannalta. Jos yksityiskohtia laiminlyödään tai ei huomata riittävän aikaisin, ne kasaantuvat ja kertaantuvat projektin loppua kohti mennessä. Projektin kiireisessä loppuvaiheessa niiden tekeminen voi pahimmillaan viedä moninkertaisesti resursseja verrattuna siihen, että ne olisi huomattu ja tehty mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Tarkistuslistaa laadittaessa määritettiin reunaehdot, joiden tulee toteutua listan lopputuloksessa. Listassa esitettävän tiedon tulee olla helposti ja nopeasti saatavilla sekä helposti revisioitavissa. Tiedon tulee olla esitettynä suomen lisäksi myös englanniksi.

Tiedon helppo ja nopea saatavuus varmistaa ensisijaisesti sen, että tuotos omaksutaan osaksi suunnitteluprosessia. Lisäksi tämä edesauttaa tarkistuslistan luontevaa käyttöä, jolloin listauksen käyttöön ei tuhlaannu ylimääräistä aikaa. Helppo ja nopea saatavuus varmistetaan määrittämällä listalle tallennushakemisto Valmetin dokumenttienhallintajärjestelmästä. Luonteva käytettävyys varmistetaan listan ulkomuodolla, jonka tulee olla mahdollisimman pelkistetty, jolloin siitä näkee yhdellä silmäyksellä sen, mitä projektin työvaiheita on tehty ja mitä on tekemättä. Jos listassa oleva tieto on esimerkiksi uudelle työntekijälle vierasta, siihen löytyy selvennös joko tämän opinnäytetyön raporttiosuudesta tai kokeneemalta työntekijältä.

Tarkistuslistassa olevan tiedon tulee olla helposti revisioitavissa sen vuoksi, että putkistosuunnitteluprosessin toimintatavat kehittyvät jatkuvasti Valmetilla. Nyt laadittu tieto ei ole todennäköisesti enää relevanttia tietyn ajan päästä ainakaan kaikilta osin. Säännöllinen revisiointi varmistetaan määrittämällä henkilö, joka vastaa tästä. Revisiointin helppous otetaan huomioon listan ulkomuodossa, jolloin sitä on vaivatonta päivittää tarvittaessa. Listan yläreunassa on revisionumerokenttä ja viimeisimmän revisiointin päivämäärä.

Tarkistuslistaa pystytään myös tarvittaessa laajentamaan muidenkin suunnitteludisipliinien, eli suunnitteluosa-alueiden, käyttöä varten. Samaan listaukseen voi lisätä tarvittaessa muiden samassa modernisointiprojektissa toimivien disipliinien työvaiheita, minkä avulla pystytään näkemään pelkän putkiston näkökulman sijasta projektin kokonaisvaltainen tilanne muidenkin disipliinien näkökulmasta. Tällöin tarkistuslistaa voi mahdollisesti käyttää myös pohjana suunnitteludisipliinien välisissä katselmuksissa. Tämän tyyppinen käyttö vaatii tosin laajemman kehitysprojektin, sillä Valmetilla ei ole selkeää katselmointikäytäntöä modernisointiprojekteissa.

7.2 Toteutus

Tarkistuslista toteutetaan Excel-tiedostona. Listalle määritetyt reunaehdot huomioon ottaen listan sarakkeissa esitetään varsinaisen tarkastuksen alla olevan kohteen toimenpidekuvauksen, eli inputin, lisäksi kohteen numerointi, status, kohteesta vastaava disipliini, kohteesta vastaava henkilö sekä kohteen toteutumisen päivämäärä. Kuvassa 19 on havainnollistettu listan ulkomuotoa esittämällä otos listan alkupäästä. Input-sarakkeen sisältö on poistettu kuvasta luottamuksellisuuden vuoksi.

Project:			Rev. 0 (last revision date dd/mm/yyyy)	DOC ID: xxxxx	
Item No.	Status	Discipline	Input - Check action	Checking responsibility	Checking date
1		PIP			
2		PIP			

KUVA 19. Otos tarkistuslistan ulkomuodosta

Listassa on käytetty Excelin pikasuodatus-toimintoa. Toiminnon avulla voidaan poistaa näkyvistä ei-halutut alueet. Koska tarkistuslistassa on esitettyä kohtia, joita ei välttämättä tule kaikissa eri kokoluokkien projekteissa vastaan, pikasuodatuksella saadaan helposti ne kohdat pois näkyvistä, mitä ei työn alla olevaan projektiin voi soveltaa. Pikasuodatus on myös hyödyllinen toiminto esimerkiksi silloin, kun halutaan näkyviin tarkastamattomat työvaiheet listasta, jolloin suodatus tapahtuu Status-sarakkeessa olevan tiedon perusteella, tai jos halutaan vain oman vastuualueen työvaiheet näkyviin, jolloin suodatetaan Checking responsibility -sarakkeessa olevaa tietoa.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää putkistosuunnitteluohjeistus, joka keskittyy kattilalaitosten modernisointiprojekteihin. Ohjeistuksen kohderyhmänä ovat erityisesti uudet työntekijät ja tarkoituksena oli dokumentoida aihetta siten, että opinnäytetyöstä löytyy yksien kansien välistä putkistosuunnittelun näkökulmasta modernisointiprojektin erityispiirteitä sekä tämän pohjustamiseksi yleistä tietoa putkistosuunnittelun avainkäsitteistä, työvälineistä sekä modernisointiprojektin kulusta. Työssä esitettiin myös putkistosuunnittelun vaatimia lähtötietoja projektin toteutukselle. Keskeisenä tuloksena syntyi tarkistuslista, johon on kiteytetty opinnäytetyössä tehdyt löydökset. Tarkistuslista sisältää luottamuksellista tietoa, jonka vuoksi sitä ei julkaista opinnäytetyön julkisessa versiossa.

Työssä sekä tarkistuslistassa on esitetty tekijöitä ja työvaiheita, mitkä tulee ottaa huomioon putkistosuunnittelun näkökulmasta kattilalaitoksen modernisointiprojektissa. Koska aihe on itsessään laaja, pääpaino tuloksissa on modernisointiprojektin alkuvaiheessa ja lähtökohdissa, sillä tämä alue on osoittautunut Valmetin aikaisemmissa projekteissa haastavaksi. Opinnäytetyön avulla lukija pystyy hahmottamaan modernisointiprojektin erityispiirteiden ja lähtötietojen lisäksi putkistosuunnittelun avainkäsitteitä, putkistosuunnitteluun liittyviä työvälineitä sekä modernisointiprojektin kulkua yleisesti.

Opinnäytetyössä esitetyn tiedon luotettavuutta pyrittiin varmentamaan katselmoimalla työssä kerättyä aineistoa ja työn sisältöä säännöllisesti opinnäytetyöprosessin aikana. Katselmoinnit suoritettiin alan asiantuntijoiden kanssa, joille aihe on tuttu jokapäiväisen työn kautta. Katselmoinnissa heillä oli mahdollisuus kommentoida aineiston oikeellisuutta sekä työn sisältöä ja toimivuutta. Opinnäytetyöstä pidettiin myös tiedotustilaisuus sellaisten henkilöiden välillä, joille opinnäytetyön tuloksista on hyötyä työssään.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet voidaan todeta suurimmalta osin täytetyiksi. Opinnäytetyön avulla uusi työntekijä saa monipuolista perustietoa aiheesta yhdestä lähteestä. Samalla myös työn keskeisenä tuloksena syntyneen tarkistuslistan ja sen revisiointimahdollisuuden avulla tieto on tehokkaasti hyödynnettävissä suunnitteluprosessissa itsessään, ja tietoa voidaan pitää kohtuullisen vaivattomasti ajantasaisena toimintatapojen kehittyessä. Tarkistuslistan säännöllinen revisiointi vaatii Valmetin henkilöstön sitoutumista aiheeseen jatkossakin.

Työssä haastavaa oli pitää aihe rajauksen sisällä, sillä työn edetessä tuli esille useita teki-
jöitä, joita olisi mielellään tutkinut tarkemmin. Samalla myös vähäiset lähtötiedot aiheeseen liittyen osoittautuivat haasteelliseksi erityisesti työn alkuvaiheessa. Tämä näkyi käytännössä siinä, että joiltakin osin oli haastavaa erotella olennainen tieto epäolennaisesta. Hyviä asioita työssä olivat aiheen mielenkiintoisuus sekä asiantunteva ohjaus. Erityisen kiitettävää oli se, että työlle oli huomattavissa selkeä tarve ja tilaus. Tämä näkyi Valmetin antamasta tuesta työn valmistumiselle.

Opinnäytetyön aihepiiri toi esille useita jatkotutkimusmahdollisuuksia. Jatkotutkimuksessa voisi esimerkiksi tarkastella muidenkin suunnitteludisipliinien roolia ja työvaiheita modernisointiprojektissa. Yksi mahdollinen tapa lähestyä tutkimusta voisi olla se, että tutkimuksessa kehitetään tämän opinnäytetyön tuloksena syntynyttä tarkistuslistaa päivittämällä siihen kohteita, joista hyötyvät putkistosuunnittelun lisäksi muutkin suunnitteludisipliinit modernisointiprojektin sisällä. Laitossuunnittelun näkökulmasta voisi olla aiheellista laatia layout- ja kanavistosuunnittelulle omat alueet tarkistuslistan jatkoksi, sillä nämä suunnitteludisipliinit ovat modernisointiprojekteissa hyvin läheisesti yhteistyössä toistensa kanssa.

LÄHTEET

Alander, I. 2015. Autodesk Navisworks Guide. Steps to publish Navisworks Freedom 3D model. Valmetin sisäinen koulutusmateriaali.

Autodesk Inc. 2015. Navisworks Features. Luettu 16.12.2015. <http://www.autodesk.com/products/navisworks/features/all/list-view>.

AVEVA. 2013. AVEVA PDMS brochure. Luettu 30.10.2015. http://www.aveva.com/en/Products_and_Services/Product_Finder.aspx.

AVEVA. 2010. AVEVA Plant (12-Series). PDMS Foundations TM-1001. Valmetin sisäinen koulutusmateriaali.

Elshout, R. & Garcia, D. 2009. Revamps: Strategies for A Smooth Turnaround. Chemical Engineering 116 (7), 34–39.

Garvey, M. 2012. 3D Laser Scanning Technology Benefits Pipeline Design. Pipeline & Gas Journal 239 (10), 32.

Hämäläinen, J. 2005a. Putkistosuunnittelu pähkinänkuoressa. Luentokansio. Teollisuusputkistojen suunnittelu 2005. Helsinki: AEL.

Hämäläinen, J. 2005b. Painelaitedirektiivi putkistosuunnittelussa. Luentokansio. Teollisuusputkistojen suunnittelu 2005. Helsinki: AEL.

Inspecta Group. 2013. Tuotesertifiointi. Luettu 15.12.2015. <http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Sertifiointi/Tuotesertifiointi/>.

Kleine, O. 2006. Valmet PLM. Valmetin sisäinen koulutusmateriaali.

Koskinen, I. Alasuutari, P. & Peltonen, T. 2005. Laadulliset menetelmät kauppatieteissä. Tampere: Vastapaino.

Kotilainen, T. lead engineer, plant engineering. 2015. Haastattelut 8.9.2015, 3.11.2015, 7.11.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.

Kotilainen, T. lead engineer, plant engineering. 2016. Katvealue skannauksessa & tie-in-esimerkki. Sähköpostiviesti. Luettu 5.2.2016.

Kupari, J. manager, field services. 2015 Haastattelu 20.10.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.

Mattila, J. engineering team leader. 2015 Haastattelu 20.10.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.

Mattila, J. engineering team leader. 2016. Pistepilvikuvia. Sähköpostiviesti. Luettu 11.2.2016.

Pennock, J. O. 2001. Piping Engineering Leadership for Process Plant Projects. Woburn: Butterworth-Heinemann.

- Pere, A. 2012a. Koneenpiirustus 1 & 2. Luku 13: Prosessikaaviot. Espoo: Kirpe Oy.
- Pere, A. 2012b. Koneenpiirustus 1 & 2. Luku 14: Laitos- ja putkistosuunnittelu. Espoo: Kirpe Oy.
- Puolitaival, J. Rantanen, A. & Kotilainen, T. 2015. Pipe process in PLM. Valmetin sisäinen koulutusmateriaali.
- PSK Standardisointiyhdistys ry. 2013. PSK 4201. Putkiluokat. Määrittely. 3. painos. PSK Standardisointi: Helsinki.
- PSK Standardisointiyhdistys ry. 2003. PSK 5801. Putkistopiirustukset. Putkireittipiirustus. 2. painos. PSK Standardisointi: Helsinki.
- PSK Standardisointiyhdistys ry. 2003. PSK 5802. Putkistopiirustukset. Taso- ja leikkauspiirustus. 2. painos. PSK Standardisointi: Helsinki.
- PSK Standardisointiyhdistys ry. 2003. PSK 5803. Putkistopiirustukset. Isometrinen Piirustus. 3. painos. PSK Standardisointi: Helsinki.
- PSK Standardisointiyhdistys ry. 2014. PSK 7303. Putkiston kannatus. Kannatuksen yksinkertaistettu esittäminen. PSK Standardisointi: Helsinki.
- Rantanen, A. lead engineer, piping. 2015. Haastattelu 2.10.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.
- Reddy, K. V. 2015. Chemical Process Plants: Plan for Revamps. Chemical Engineering 122 (12), 48–53.
- Romppanen, P. product engineer. 2016. Päähöyrylinjan suunnittelulämpötila ja -paine. Sähköpostiviesti. Luettu 4.1.2016.
- Ruuti, M. lead engineer, plant engineering. 2015. Haastattelu 1.10.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.
- Siemens AG. 2015. COMOS Plant Engineering Software. Luettu 16.12.2015. http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaa-tiotekniikka/comos-ohjelmistoratkaisu.htm.
- Sillanmäki, H. senior engineering manager. 2015. Haastattelu 14.9.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.
- Smith, M. 2015. Laser scanning for revamps. Petroleum Technology Quarterly: Revamps, 39–43.
- Smith, P. 2007. Process Piping Design Handbook, Volume 1 – The Fundamentals of Piping Design. Gulf Publishing Company.
- Teivas, T. 2005. Laitos- ja putkistosuunnittelu kolmiulotteisen tietokannan avulla. Luentokansio. Teollisuusputkistojen suunnittelu 2005. Helsinki: AEL.

Tiido, M. project engineer. 2015. Haastattelu 25.9.2015. Haastattelija Ilosalo, T. Tampere.

Tukes. 2007. Kemikaaliputkistot. Opas. Luettu 12.12.2015. http://www.tukes.fi/Tiedotot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/kemikaaliputkistot_esite.pdf.

Valmet. n. d. Valmetin sisäisiä projektidokumentteja. Julkaisematon lähde.

Valmet. 2014. [Julkaisematon projektitunnus] Expansion. Recovery Boiler. Tulostettu 12.12.2015. Valmetin sisäinen materiaali.

Valmet. 2015a. Valmet lyhyesti. Luettu 5.10.2015. <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>.

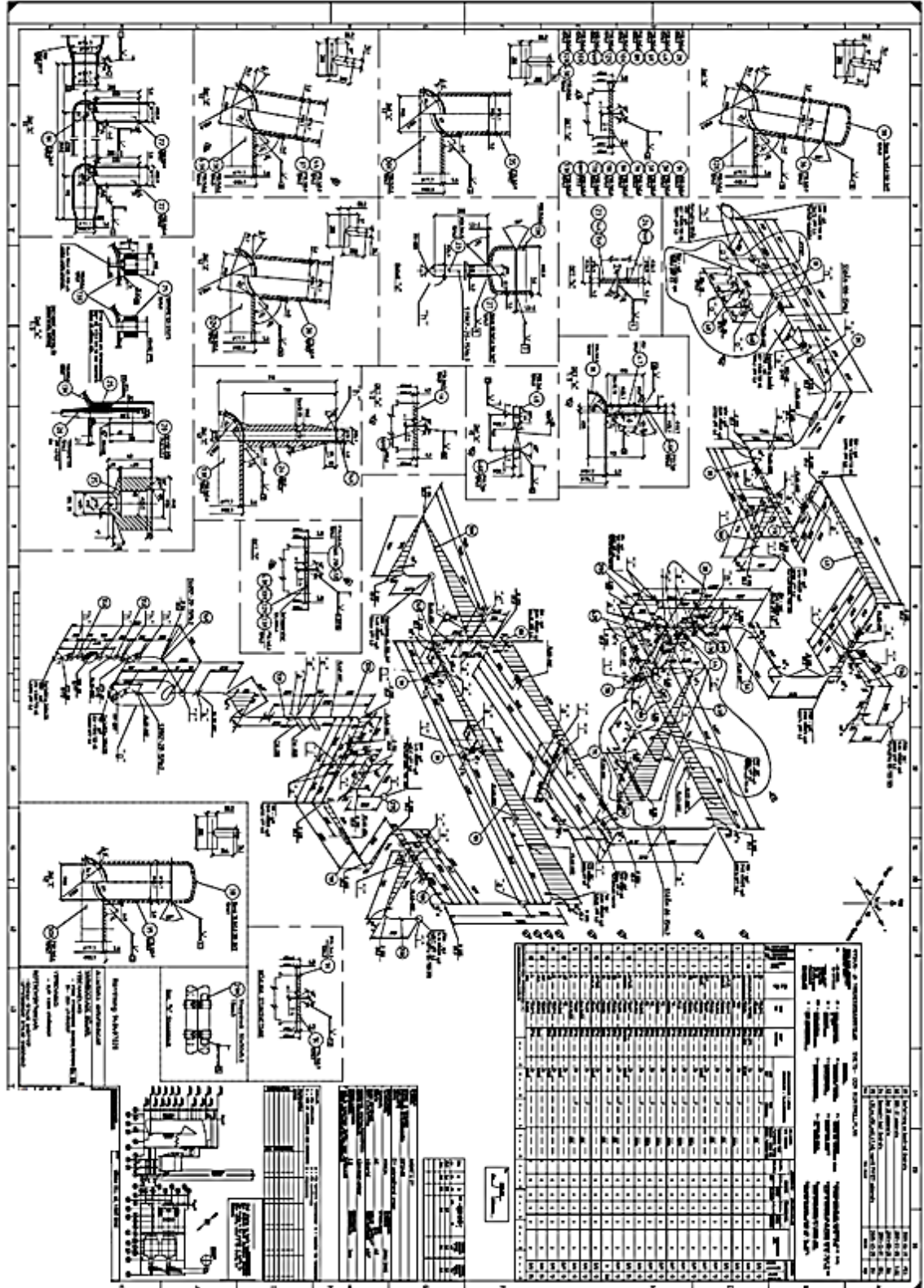
Valmet 2015b. Rebuilds and conversions. Luettu 26.11.2015. <http://www.valmet.com/products/energy-production/rebuilds-and-conversions/>.

Valmet 2016. Recovery boilers. Luettu 9.2.2016. <http://www.valmet.com/products/pulping-and-fiber/chemical-recovery/recovery-boilers/>.

Vilkkä, H. 2005. Tutki ja kehitä. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

LIITTEET

Liite 1. Ots asiakkaalta kerätystä epäselvästä lähtötiedodokumentista (Valmetin projektidokumentaatio)



Liite 2. Tarkistuslista (poistettu luottamuksellisuuden vuoksi opinnäytetyön julkisesta versiosta)

Tämä liite sisältää luottamuksellista tietoa, minkä vuoksi se on poistettu opinnäytetyön julkisesta versiosta.