

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Insinööri AMK
Kone- ja tuotantotekniikka

Jukka Jäntti

Putkistosuunnittelu

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Jukka Jäntti
Putkistosuunnittelu, 24 sivua, 3 liitettä
LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Insinööri AMK
Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyö 2020
Ohjaajat: Lehtori Tuomo Liimatainen, LAB-ammattikorkeakoulu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toimia esittelynä putkisto- ja laitossuunnittelusta case-esimerkin kautta. Työssä käsiteltiin edellä mainittuja suunnittelutyön aloja yleisellä tasolla, jonka jälkeen käytiin vaiheittain läpi esimerkkinä toiminut oikean elämän suunnitteluprojekti. Varsinaisen suunnittelutyön kuvauksen lisäksi työssä käytiin läpi ongelmatapauksia, jollaisia insinööri voi työssään kohdata.

Lopputuloksena saatiin aikaiseksi vuokaavio suunnitteluprosessin kulusta, siten kuin yksi suunnittelija on sen kokenut. Työn kirjoittaja toimi itse laitossuunnittelijana esimerkkiprojektissa. Lähteinä työssä toimivat pääasiassa suunnittelijan omat henkilökohtaiset kokemukset projektin ajalta.

Suunnitteluprojektin loppuasiakkaan toiveesta työssä on jätetty mainitsematta paikkoja tai nimiä.

Asiasanat: putkisto, suunnittelu, Autocad

Abstract

Jukka Jäntti

Piping Design, 24 pages, 3 appendices

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Bachelor of Engineering

Mechanical Engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructor: Mr. Tuomo Liimatainen, lehtori, LAB-ammattikorkeakoulu

The purpose of this thesis was to act as an introduction to what plant-and piping design are through using a real-life project as an example. In the first part of this thesis there is an introduction on a general level what the previously mentioned design fields are and what their purpose is. After that we go through case-example phase by phase, describing what was done and why. Different challenges and problems that an engineer can face in such a work were also not forgotten.

Data for this thesis comes primarily from the personal experiences of the writer as designer in the example project. At the end of the thesis we have a flow-chart of a design process as experienced by the writer.

Based on the wishes of the end customer any identifying information has been avoided.

Keywords, piping, design, Autocad

Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	Laitossuunnittelu.....	5
2.1	Putkistosuunnittelu.....	5
2.2	Yleisimmät käytettävät standardit	6
2.3	Rajapinnat muihin suunnittelualueisiin	7
3	Projekti.....	7
3.1	Johdanto.....	7
3.2	Käytetyt ohjelmistot.....	8
3.2.1	AutoCAD Plant 3D.....	8
3.2.2	AutoCAD NavisWorks	8
3.3	Pohjatietojen hankinta.....	9
3.4	Projektin kulku	9
3.4.1	Alkutilanne.....	9
3.4.2	Pumppuhuone.....	11
3.4.3	Ulkopiiri	13
3.4.4	Sisäpuolen jäähdytyspiirit.....	14
3.4.5	Instrumenttien ja laitteiden sijoitus.....	15
3.4.6	Putkiston kannakointi	16
3.4.7	Toissijainen kannakointi	17
3.5	Tuotetut dokumentit	17
3.5.1	Putkistoisometrit.....	17
3.5.2	Tasokuvat.....	18
3.5.3	Materiaaliluettelot	18
3.5.4	Rakennustehtäväpiirustukset	19
3.5.5	Kannakekuvat	19
3.5.6	Päämittakuvat	19
3.5.7	Laitesijoituskuvat.....	20
4	Kohdattuja haasteita	20
4.1	Tavalliset haasteet.....	20
4.2	Yksittäisiä haasteita	21
5	Loppupäätelmä.....	22
5.1	Tulokset	22
5.2	Arviointi.....	24
	Lähteet.....	25

Liitteet

Liite 1 Pumppuhuone asennuksessa 1

Liite 2 Pumppuhuone asennuksessa 2

Liite 3 Ulkoyksiköt

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi eräs toteutettu projekti ja yhden suunnittelijan kokemukset sekä huomiot siihen liittyen. Työ tehdään LAB-ammattikorkeakoululle. Loppuasiakkaan luvalla tässä työssä saa käyttää toteutettua projektia esimerkkinä, sillä oletuksella, että paikkojen tai ihmisten nimiä ei mainita. Työn tavoitteena on kuvata suunnitteluprosessi käyttäen esimerkkitapauksia.

2 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun tarkoituksena on tehdä suunnitelmat teollisuuden projektien toteuttamiseksi. Nämä projektit voivat olla kokonaan uuden rakentamista, olemassa olevan muokkaamista tai uuden lisäämistä vanhaan kokonaisuuteen. Laajimpana osana laitossuunnittelua voidaan katsoa olevan erilaisten putkistojen suunnittelu. Lisäksi useasti tarvitsee osallista layout/laitteiden sijoitukseen tai teräsrakenteiden suunnitteluun. Varsinainen laitteiden mekaaninen suunnittelu ei ole osa laitossuunnittelua.

2.1 Putkistosuunnittelu

Putkistosuunnittelun tavoitteena on tuottaa tarvittava tieto, jotta putkiston hankinta ja asennus ovat toteutettavissa. Teollisuuden putkistoprojekteihin myös lähes aina liittyy erilaisia laitteita ja instrumentteja, joiden sijoittaminen on suunniteltava. Laitteiden sijoituksen ja putkien reititys on suunniteltava niin, että teollisuuden prosessi toimii tarkoituksenmukaisesti, tässä toimivat apuna prosessisuunnittelun tuottamat kaaviot. Oleellinen osa putkistosuunnittelua reitityksen lisäksi on sen kannakointi. Kannakkeet kantavat putkiston massasta aiheutuvaa kuormaa tai ne rajoittavat sen liikettä yhdessä tai useammassa suunnassa. Näin varmistetaan, ettei putkistoon aiheutu tarpeetonta rasitusta eri voimista (PSK 2640:2011, sivuja 11).

Nykyaikana suunnittelu tapahtuu pääasiassa erilaisilla 3D-mallinnusohjelmilla. Kolmiulotteinen malli auttaa erityisesti monimutkaisten putkireittien suunnittelusta ja yleisellä tasolla käytettävissä olevan tilan hahmottamista. Oikein tehtynä malli ei ole vain pelkkä kolmiulotteinen kuva putkistosta, vaan se pitää sisällään myös

tiedon, jonka pohjalta voidaan ohjelmasta ajaa ulos putkistourakoitsijan tarvitsemat osalistat ja erilaiset asennuskuvat. Lisäksi kolmiulotteinen malli itsessään auttaa asentajia hahmottamaan rakennettavaa putkisto.

Varsinainen suunnittelu tapahtuu yksinkertaistetusti mallintamalla putkireiitit tarvittavine laitteineen sekä liityntäpisteineen. Pohjana tälle toimii prosessisuunnittelun tekemä PI-kaavio, joka määrittelee vaaditun putkiluokan, instrumentit/laitteet sekä eri putkilinjojen liittymisen toisiinsa. Nykyaikana tässä on monesti apuna myös malli tilasta, johon putkisto sijoittuu. Tämä malli voi olla suunnittelijan itsensä tekemä yksinkertainen tilanvarausmalli, jossa näkyvät vain suurimmat rakenteet kuten seinät, pilarit ja isot laitteet. Se voi myös olla ulkopuolisen tahon toimittava hyvinkin yksityiskohtainen malli rakennuksesta.

Kuten aikaisemmin mainittiin, liittyy putkistoihin usein laitteita kuten vaikka pumppuja, venttiilejä tai erilaisia säiliöitä, joiden sijoitus on suunnittelijan tehtävä. Eri-tyisesti näiden sijoittamisessa on otettava huomioon laitteen toiminnan, käytön ja huoltamisen vaatima tila. Ei riitä, että esimerkiksi pumppu juuri mahtuu pieneen väliin, vaan sitä täytyy pystyä myös ihmisen huoltamaan.

2.2 Yleisimmät käytettävät standardit

Putkistosuunnittelun pohjana toimii PSK-Standardi, jossa määritellään eri olosuhteissa vaaditut ratkaisut. Näistä standardeista suunnittelijan yleisimmin käyttämiä ovat:

- Ryhmä 42, Putkiluokat
- Ryhmä 73, Putkiston kannakointi
- Ryhmä 35, Läpiviennit

PSK-Standardi pohjautuu SFS-standardeihin. Putkiluokka määrittää putkiston osien materiaalin ja niiden geometriset mitat. Näitä osia ovat suorat pätkät, käyrät ja laipat. Kannakointistandardissa määritellään erilaisten kannakkeiden mitat, materiaalit ja suositellut kannakevälit eri tapauksissa. Usein putkistoja joudutaan vetämään läpi seinistä tai lattiaista, näitä tapauksia käsitellään ryhmässä 35.

2.3 Rajapinnat muihin suunnittelualoihin

Putkistosuunnittelu ei tapahdu yksinään tyhjiössä vaan suunnittelija tekee yhteistyötä ja joutuu huomioimaan muiden suunnittelualojen työn. Muut alat voivat asettaa monenlaisia rajoituksia tai vaatimuksia putkireittien suunnittelulle. Esimerkkejä näistä ovat turvasäädösten mukaiset etäisyydet ja tilavaatimukset, sähkölaitteet tai asiakkaan toivomukset kulkureiteistä. Putkistosuunnittelijan mahdollisuudet vaikuttaa käytettävissä olevaan tilaan ovat usein hyvin rajalliset, rakennukset ovat joko valmiina olemassa tai ne rakennetaan pääasiassa muiden vaatimusten mukaisesti.

Muista aloista suurin vaikutus on prosessisuunnittelulla, joka asettaa vaatimukset ja tehtävät, jotka putkiston tulee täyttää. Vuorovaikutus sähkösuunnittelun kanssa taas on paljolti riippuvainen meneillään olevasta projektista, sillä kaikkiin kohteisiin ei tule yhtä paljoa laitteita ja kaapelointia.

3 Projekti

3.1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käytetään esimerkkinä erään paikallisen yrityksen, tästä eteenpäin 'asiakas', toteuttamaa rakennusprojektia. Laitossuunnittelun tähän projektiin toteutti paikallinen insinööritoimisto, tästä eteenpäin 'IT'. Asiakkaan projektin tavoitteena oli rakentaa testausjärjestelmä suurille sähkölaitteille. Tämä järjestelmä tarvitsee suuren kapasiteetin jäähdytystä, jonka toteutukseen vaadittiin laitos- ja prosessisuunnittelua. Paikalliselta insinööritoimistolta projektissa työskenteli 4 henkilöä, joista pääpiirteissään tässä työssä keskityn omaan osuuteeni laitossuunnittelijana. Kokonaisuudessaan projektissa oli osallisena useita toimijoita asiakkaan ja IT:n lisäksi, tärkeimpänä mainittakoon rakennuksen suunnittelutaho sekä putkiston asennuksen toteuttanut yritys. Lisäksi rakennuksen sijainnin vuoksi oli suunnittelussa otettava huomioon erinäisiä ympäristösäädöksiä.

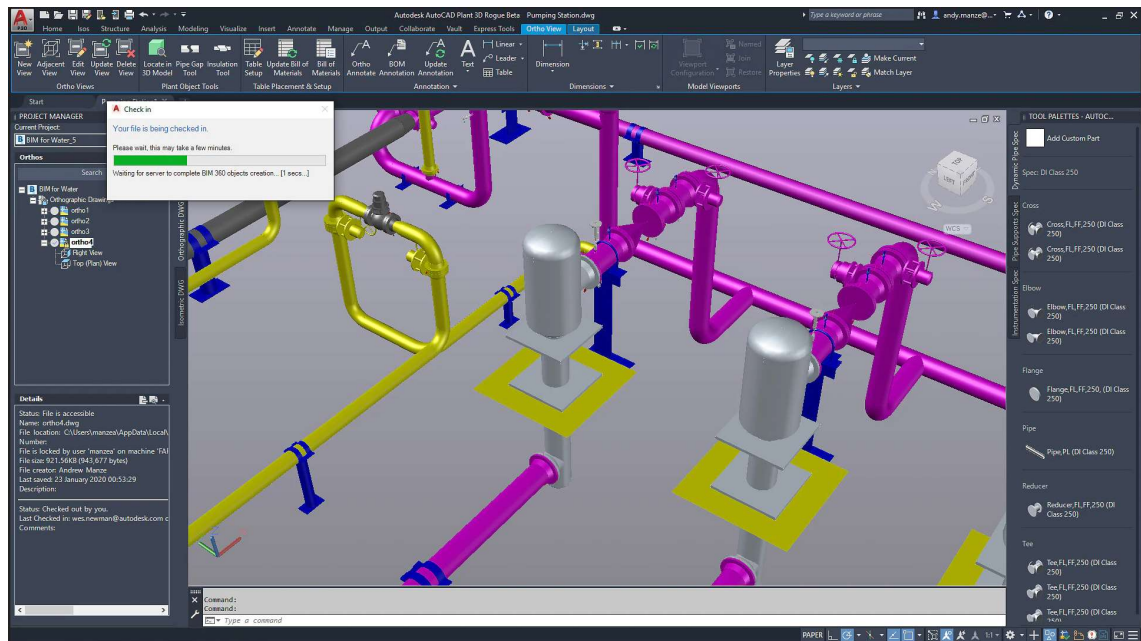
Suunnittelutyö toteutettiin pääasiassa toimistotyönä. Työmaavierailuita, joilla hankittiin lisätietoa ja tutustuttiin tilanteeseen, kertyi 3 kappaletta.

3.2 Käytetyt ohjelmistot

Suunnittelu toteutettiin käyttämällä kahta eri Autodesk-tuoteperheen ohjelmaa, joista alla lyhyt kuvaus.

3.2.1 AutoCAD Plant 3D

Plant 3D on nykyaikainen laitossuunnitteluun erikoistunut mallinnusohjelma, jolla on mahdollista tehdä kolmiulotteiset mallit sekä 2D kuvat. Ohjelman asetuksia ja tietokantoja muokkaamalla on tehtyyn malliin mahdollista sisällyttää kaikki putkistoprojektin varsinaisen toteutuksen tarvitsema tieto. Tällä ohjelmalla toteutettiin myös projektiin tulevien teräsrakenteiden päämittakuvat (www.asti.com). Alla esimerkkikuva ohjelman käyttöliittymästä (www.autodesk.com).

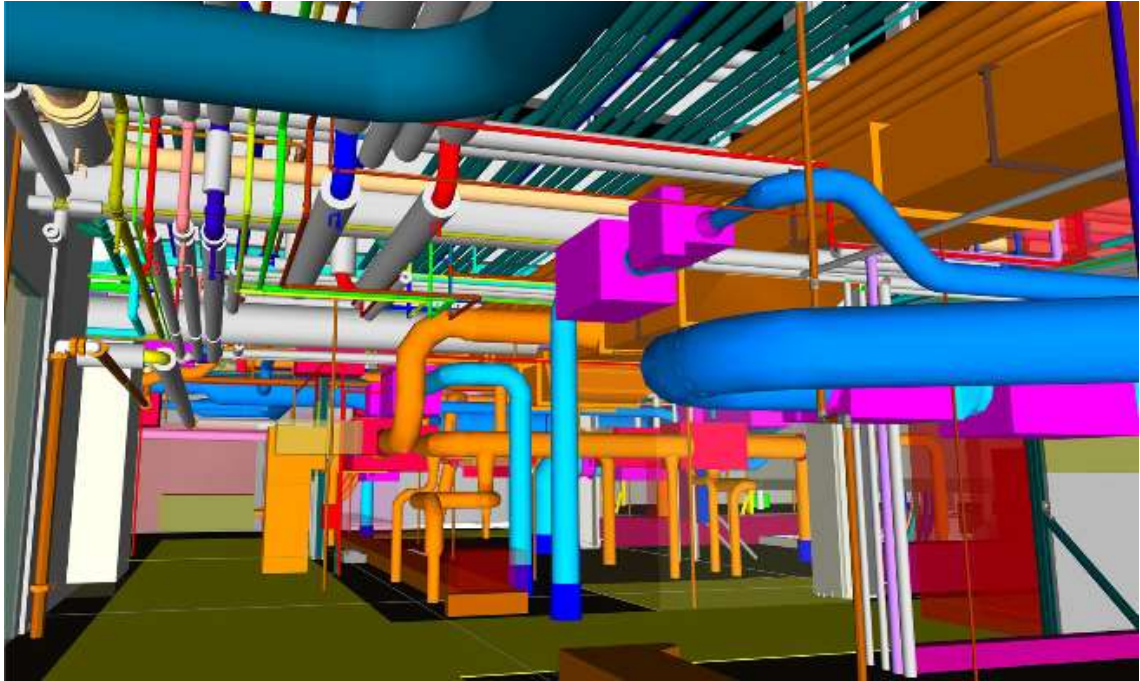


Kuva 1. AutoCAD Plant 3D

3.2.2 AutoCAD NavisWorks

NavisWorks on kolmiulotteisten mallien katseluun tarkoitettu ohjelma, joka pystyy lukemaan montaa erilaista tiedostomuotoa. Tämä mahdollistaa eri ohjelmilla tehtyjen mallien tarkastelun yhdessä, tätä ominaisuutta tarvittiin sovittaessa yhteen eri suunnittelutahojen malleja. NavisWorks myös esittää mallit tietokoneelle ke-

vyemmässä muodossa kuin Plant 3D. Tämä on ominaisuus, joka nopeutti putkistosuunnittelijan omaa työtä hyvin paljon. Alla esimerkkikuva NavisWorks ohjelmiston näkymästä (www.autodesk.com, 2020)



Kuva 2. NavisWorks Manage

3.3 Pohjatietojen hankinta

Tässä projektissa ei tarvinnut osallistua esisuunnitteluun tai pohjatietojen keräämiseen. Putkistosuunnittelu tuotiin mukaan projektiin vasta tämän vaiheen jälkeen. Rakennettavan järjestelmän rakennuksineen ollessa kokonaan uusi, kaiken pohjatiedon hankinta etukäteen olisikin ollut likimain mahdotonta, joten monessa kohtaa täytyi edetä parhaan sen hetkisen tiedon mukaan. Monien suunnittelualojen työ eteni rinnakkain toistensa kanssa, välillä ollen tarpeellista muokata jo tehtyjä suunnitelmia tietojen tarkentuessa.

3.4 Projektin kulku

Tässä osiossa käydään projekti pääpiirteittäin.

3.4.1 Alkutilanne

Projektin aloitettiin tutustumalla prosessisuunnittelun tuottamaan PI-kaavioon ja muokkaamalla rakennettavasta rakennuksesta toimitetun mallin muokkaamisella

muotoon, jota käytetyt ohjelmat ymmärtävät. Rakennuksen malli osoittautui nopeasti Plant3D-ohjelmalle liian raskaaksi ja yksityiskohtaisemmaksi kuin oli tarpeen suurinta osaa työvaiheita ajatellen. Tämän takia ensimmäisenä tehtiin tarpeellisista osista rakennusta yksinkertaisempi ja kevyempi tilanvarausmalli. Varsinainen rakennuksen malli jäi käyttöön NavisWorksilla kasattavaan katselumalliin, johon koottiin eri osia sitä mukaa kun ne valmistuivat.

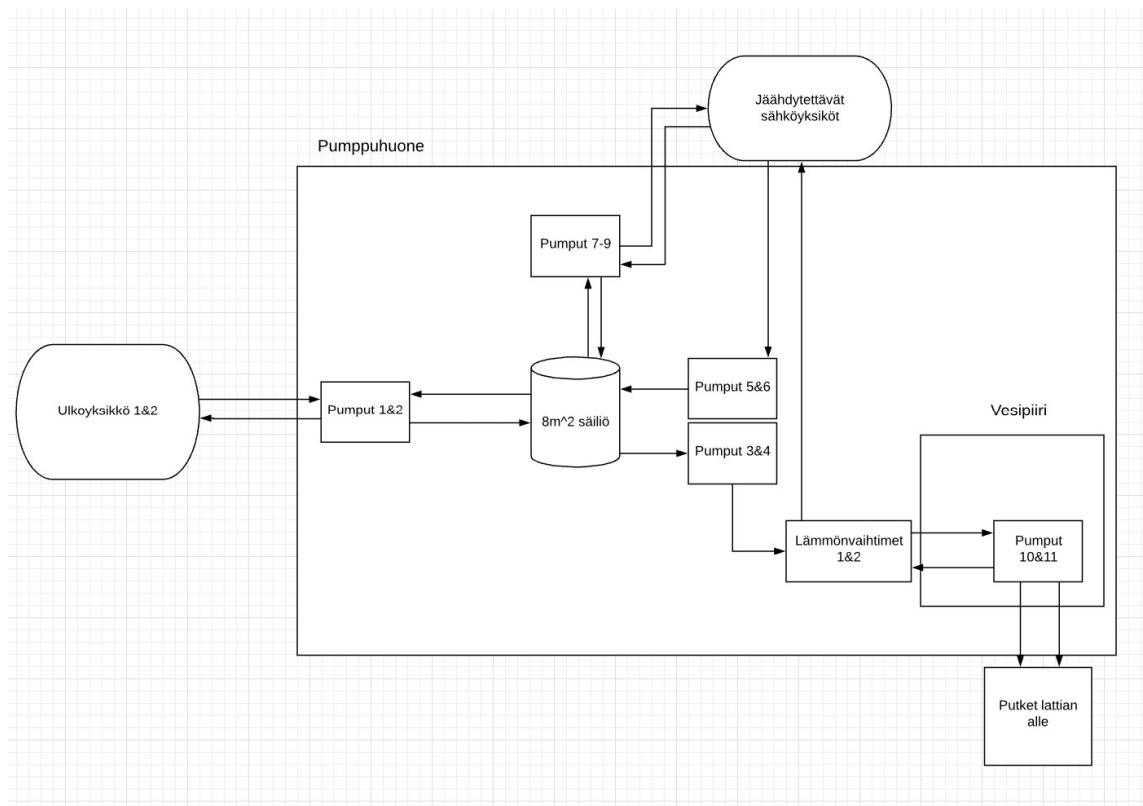
Tutustumalla PI-kaavioon ja käymällä keskusteluita prosessin suunnittelijan ja sähkösuunnittelijan kanssa luotiin yleiskuva siitä mitä oli tarkoitus tehdä. Suurin osa laitteista tulisi niin kutsuttuun pumppuhuoneeseen, josta jäähdytysliuos kierätetään muualle putkistoon. Pumppuhuoneesta kulkevat haarat jäähdytystä tarvitseville laitteille, joita ovat varsinaiset testattavat laitteet sekä näille virtaa syöttävät sähkökaapit. Nämä sijaitsevat muualla sisällä rakennuksessa. Kolmas osa prosessia on ulkona sijaitseville jäähdytysyksiköille tapahtuva kierto, jossa kiertävän aineen jäähtyminen tapahtuu.

Pumppuhuoneeseen olisi saatava mahtumaan 13 pumppua, 8 3-tie venttiiliä, 8 m³ säiliö, 2 lämmönvaihdinta ja tilanvaraus kompressorille, mikäli jäähdytyksen tehoa haluttaisiin kasvattaa myöhemmin. Ennen kuin varsinaista suunnittelutyötä oli aloitettu, kävi rakennuksen mallia katsoessa selväksi, että tilat tulisivat olemaan ahtaat. Eri puolille linjastoa tulisi vielä lisäksi kymmeniä erikokoisia ja tyyppisiä sulk- ja säätöventtiileitä.

Tässä vaiheessa laitteiden tarkat mallit eivät vielä olleet selvillä, mutta niiden tarvitsemat tekniset ominaisuudet olivat tiedossa. Näiden perusteella pystyttiin tekemään arvio mitoista tutustumalla eri valmistajien malleihin.

Suurin osa projektissa käytettävistä putkista tulisivat olemaan nimelliskokoa DN125-250. Niiden reititys alusta alkaen suunniteltiin mahdollisimman suurissa määrin miettien niiden ensisijaisen kannatuksen tulevaa suunnittelua. Prosessisuunnittelunmääritelmän mukaisesti käytettävä putkiluokka olisi E10H1A. Tämän putkiluokan sisältämät osat ovat määritelty standardissa (PSK 4232:2017, 5-11). Varsinaiseen putkistosuunnitteluun valittu putkiluokka ei juurikaan vaikuta, kunhan käytettävä suunnitteluohjelma on asetettu käyttämään oikeaa putkiluokkaa.

Suunnittelijan vastuulla on kuitenkin varmistaa, että myöhemmin tehtävät osalista sisältää merkinnän oikeasta putkiluokasta jokaisen osan kohdalla.



Kuva 3. Yksinkertaistettu prosessikaavio

3.4.2 Pumppuhuone

Aikaisemmin mainittu epäily tilojen ahtaudesta osoittautui erittäin selväksi hyvin nopeasti, kun varsinainen suunnittelutyö aloitettiin tutkimalla eri vaihtoehtoja pumppujen sijoittamiselle. Ne tarvitsisivat tietyn määrän tilaa huoltoon sekä käyttöä varten. Lisäksi kulkureitit laitteiden ympärillä tulisi olla ihmisen käytettävissä. Säiliö ja tilanvaraus kompressorille sijoitettiin huoneeseen ainoisiin kohtiin mihin ne hyvin mahtuivat. Tilanvaraus huoneen toiseen päähän ja säiliö mahdollisimman keskelle huonetta. Näiden kahden ollessa paikoillaan aloitettiin vaihtoehtojen tutkiminen pumppujen sijoitukselle. Lisäksi käytettävää lattia tilaa rajasivat lattian alta maan päälle tulevat putken päät, jotka eivät kuuluneet putkistosuunnittelun piiriin. Näitä oli 10 kpl joihin jäähdytyskierron putkista osan täytyisi liittyä.

Rakennettava jäähdytysjärjestelmä koostuu useista rinnakkaisista piireistä, joiden haluttiin olevan virtausteknisesti mahdollisimman samanlaisia. Saman piirin

putkien pitäisi siis olla reiteiltään mahdollisimman samankaltaisia, sillä putkistossa olevien mutkien määrä ja nousut/laskut vaikuttavat virtaavaan aineen kulkuun. Tämä tulisi asettamaan omat haasteensa suunnittelulle, sillä saman piirin laitteiden tulisi myös ihanteellisesti olla mahdollisimman symmetrisesti sijoiteltuna. Lisäksi laitteet myös tulisi pystyä irrottamaan linjastosta ja siirtämään pois.

Vaihtoehtoja käytiin läpi sijoittamalla pumpput huoneeseen ja mallintamalla niistä lähtevien putkien reittejä. Moni hyvältä aluksi vaikuttanut vaihtoehto osoittautui toteutuskelvottomaksi näitä reittejä mallintaessa, kulkureittien tai huoltotilojen jäädessä liian pieniksi tai putkilinjojen liittämisen toisiinsa ollessa liian monimutkaista. Yhtenä tutkittuna vaihtoehtona oli kahden isoimman pumpun sijoittaminen huoneen ulkopuolelle, mutta asiakkaan toivomuksesta tähän vaihtoehtoon ei päädytty. Vaihtoehtoissa käytiin myös läpi sellaisia missä pumppuja laitettaisiin kerroksittain, mutta tämä olisi vaatinut liikaa tilaa vieviä teräsrakennelmia niiden tukemiseksi.

Putkistosuunnittelijalle tämä oli projektin eniten aikaa vienyt yksittäinen työvaihe, sillä monet vaihtoehdot eivät osoittautuneet kelvottomaksi kovin nopeasti. Koko pumppuhuoneen putket saattoivat olla lähes paikoillaan, kunnes päädyttiin umpikujaan, josta poispääsemiseksi oli helpointa siirtyä tutkimaan seuraavaa vaihtoehtoa. Moni läpi käydyistä vaihtoehtoista olisi voitu tilan puolesta toteuttaa, mikäli olisi karsittu toiveita symmetrisyydestä tai huoltotilan tarpeesta.

Ratkaisu näihin ongelmiin saatiin, kun ostettavat pumpput valittiin ja saatiin tietoon tarkat mitat sekä asennusohjeet. Asennusohjeista selvisi, että pumpput voitaisiin asentaa pystyssä kulkeviin putkiin, kunhan riittävästä tuennasta huolehdittaisiin. Tämän tiedon perusteella pystyttiin suunnittelemaan sijoitteluratkaisu, joka toteutti aikaisemmin mainitut toiveet symmetrisyydestä ja tilantarpeesta, eikä suuria teräsrakennelmia edes tarvittaisi. Pystyasentoon asennettavat pumpput olisivat selkeästi helpompia tukea. Tämän jälkeen oli mahdollista mallintaa putkien reitit ja liitynnät toisiinsa. Silkan tilanvähyyden vuoksi tämä oli suhteellisen suoraviivaista, ainoastaan joitakin mutkia ja liitoskohtia joutuu pohtimaan tarkemmin.

Seuraavana työvaiheena pumppuhuoneeseen liittyen oli 3-tie-venttiileiden ja lämmönvaihtimien sijoitus. Työvaiheena tämä oli suoraviivainen, sillä koska vaihtoehtoja ei ollut montaa tarjolla, venttiilit oli sijoitettava niihin linjoihin, joihin ne kuuluivat.

Lopputuloksena meillä oli pumppuhuoneessa putkisto, joka täytti sille alkuvaiheessa asetetut tavoitteet varsin hyvin. Myöhemmin suunnitelmaa jouduttiin tietenkin muokkaamaan tiedon lisääntyessä ja tarkentuessa, mutta tässä vaiheessa pystyttiin siirtymään pohtimaan huoneesta pois lähtevien putkistojen suunnittelua.

3.4.3 Ulkopiiri

Ulkopiiri koostuu kahdesta linjasta, jotka lähtevät pumppuhuoneessa sijaitsevasta säiliöstä ja kierrättävät jäähdytysliuosta kahdelle ulkona sijaitsevalle jäähdytysyksikölle (ulkoyksikölle) ja takaisin. Ulkopiirin tehtävänä on jäähdyttää sisäpuolen piireiltä tuleva liuos ja palauttaa se takaisin kiertoon. Nämä putket ovat projektin nimelliskoolta suurimpia, DN250. Niiden tilantarve tulisi olemaan suurin. Pumppuhuoneessa sijaitseva piirin alkupää suunniteltiin jo edellisessä vaiheessa. Haasteita siinä aiheuttivat putkien suuri nimelliskoko, tarkemmin sanottuna mutkien suuri taittosäde.

Tässä vaiheessa tiedettiin ulos tulevista jäähdytysyksiköistä päämitat liitoskohtineen sekä koko ulkoyksiköiden suuripiirteinen sijainti. Huoneesta ulostuleva osa piiriä pystyttiin siis suunnittelemaan, kunhan otettaisiin huomioon, että ulkoyksiköiden mitat tulisivat luultavasti tarkentumaan vielä. Putkisto olisi siis suunniteltava siten, että liitoskohtien pienet muutokset eivät aiheuttaisi suuria muutoksia siinä. Koko ulkopiiriä koskien oli olemassa sama toive ja tavoite molempien linjojen virtausteknisestä symmetrisyydestä. Lähelle ulkoyksiköitä mennessä putken nimelliskoko pienenee kahdessa kohtaa ja kummassakin ulkoyksikössä on neljä liitospistettä. Pohdittavaksi siis tulisi useita liitoskohtia ja linjan haaraumia. Lisäksi putkien myös haluttiin lähestyvän ulkoyksiköitä yläkautta. Yhdistettynä yksiköiden korkeuteen ja niiden vaatimaan maavaraan tämä johti siihen, että putkien ylin osa tulisi kulkemaan lähes 4 m korkeudessa. Myöhemmin tähän olisi siis suunniteltava erillinen teräsrakennelma kannattelemaan putkistoa.

Putkistosuunnittelu tässä vaiheessa sujui taas kerran melko suoraviivaisesti, kunhan otti huomioon aikaisemmin mainitut mahdolliset liitoskohtien muutokset. Tämä toteutettiin varmistamalla, että putkistoon jäi suoria osuuksia, joita pidentämällä tai lyhentämällä putken päädyn paikka muuttuisi mahdollisimman pienellä vaivalla.

3.4.4 Sisäpuolen jäähdytyspiirit

Sisäpuolen jäähdytyspiireissä on kaksi selkeästi erillistä osaa. Ensimmäinen on puolisko, joka kierrättää jäähdytysliuosta ainoastaan testausalueen laidalla sijaitsevalle jakotukille. Toinen osa kierrättää liuoksen testausalueelle virtaa syöttäville sähkökaapeille, sekä yllämainitulle jakotukille.

Jakotukki on kymmenen samanlaisen putken pätkän sarja. Näiden putkien kyljessä on istutettuna venttiileitä. Näistä venttiileistä loppukäyttäjä voi tarpeidensa mukaan jatkaa yhteyksiä testattaviin laitteisiin. Jakotukit kiinnittyvät lattian alta tulevien putkien toiseen päähän, toisen pään tullessa ylös pumppuhuoneessa.

Ensimmäisestä osasta käytettiin projektin aikana työnimeä vesipiirit, joten käytetään sitä tässäkin. Vesipiirejä on kaksi samanlaista, jotka molemmat kiertävät osion alkupuolella mainittujen lämmönvaihtimien kautta ja liittyvät lattian alle menevien putkien päihin. Nämä piirit ovat kokonaan suljettu kierto, koska ne alun perin suunniteltiin käyttämään pelkkää vettä, muun putkiston sisältäessä vesiglykoli seosta. Vesipiirin putkistojen reitityksessä haasteita aiheutti erittäin pieni tila, mutta muuten työ oli suoraviivaista vaihtoehtojen vähyyden vuoksi. Piti vain löytää se reitti, mitä pitkin putket mahtuivat.

Toisen osan putkistot kiertävä säiliöltä sähkökaapeille jäähdyttäen niitä. Ulkopiirin tavoin nämäkin putket alkavat säiliöltä lähtiessään nimelliskooltaan isoina, DN250, pienenevät sähkökaappeja lähestyessä ja haarautuvat useisiin liitännäspisteisiin. Sähkökaapit sijaitsevat erikseen rakennettavan lattiatason päälle ja putkien haluttiin liittyvän kaappeihin alakautta. Lattian alla kulkisi myös suuri määrä eri kokoisia sähkökaapeleita sekä lattiatason omia tukirakenteita, joten tila tulisi olemaan erittäin tiukassa. Alkupään suunnittelu sujui samalla menetelmällä kuin ensimmäinenkin osa, eli putket laitettiin kulkemaan sieltä mistä ne mahtuivat.

Korotetun lattiatason alle päästessä alkoi näiden jäähdytyspiirien haasteellinen osa. Suunnittelun alkuvaiheessa ei ollut vielä olemassa tietoa sähkökaappien tarkoista mitoista tai liityntäpisteiden sijainnista. Tässäkin tapauksessa olisi siis tarpeellista tehdä suunnitelmat siten, että niitä voitaisiin tarpeen niin vaatiessa muokata. Lattiatasosta onneksi oli jo olemassa malli sekä kaapeleiden vaatimien kannatinhyllyjen reitit olivat tiedossa, joten nämä molemmat pystyttiin ottamaan huomioon putkien reitityksessä. Samassa tilassa erittäin lähellä toisiinsa kulkisi siis suuren virran ja/tai jännitteen omaavia kaapeleita sekä jäähdytysliuosta sisältäviä putkia, mutta tätä ei putkistosuunnittelijan tarvinnut erikseen huomioida.

3.4.5 Instrumenttien ja laitteiden sijoitus

Aikaisemmin mainittujen pumppujen lisäksi putkistoon tulisi suuri määrä erilaisia venttiileitä, "laitteita", sekä mittareita. Näiden venttiileiden tehtävä olisi toimia virtausmäärän säätäjänä tai olla yksinkertainen auki/kiinni sulkuventtiili. Instrumenteilla tarkoitetaan erilaisia mittalaitteita, jotka olisivat näytöllä varustettuja paikallismittauksia tai automaatiojärjestelmään tietoa lähettäviä antureita. Nämä mittaisivat painetta, virtausta tai lämpötilaa.

Asennettavat venttiilit olisivat suurin mallia 'laippojen väliin', tämän malliset valittiin prosessisuunnittelijan toimesta niiden pienemmän tilantarpeen vuoksi verrattuna muihin asennustapoihin. Prosessikaaviota lukemalla nähtiin mihin väleihin venttiilit tulisi sijoittaa ja yleisen tilan vähyyden vuoksi vaihtoehdot olisivat taas selkeästi rajatut. Kaikille laitteille löytyi oma paikkansa, mutta jo tässä vaiheessa jouduttiin tekemään ensimmäiset muutokset edellisen vaiheen putkireitteihin, kun tilaa ei yksinkertaisesti ollut riittävästi. Tämän takia huoltoa ja käyttöä varten jätetty tila paikoittain hieman pieneni sekä rinnakkaisten piirien symmetria ei ollut enää täydellinen.

Mittalaitteiden sijoitustarve saatiin myös selville prosessikaaviosta ja toteutettiin jo tutuksi käyneellä 'mihin mahtuu'-menetelmällä. Itse laitteet eivät ole isoja, mutta niiden sijoituksessa on olemassa tiettyjä vaatimuksia. Esimerkkinä mainittakoon, että paineen tai virtauksen mittaus voi vaatia tietyn määrän suoraa putkea ennen ja jälkeen mittauspisteen. Tämä tehdään näin koska luotettavimman

mittaustuloksen saa virtauksen ollessa mahdollisimman tasainen. Lisäksi paikallismittausten tulisi olla sellaisissa paikoissa, että niiden näytön pystyy lukemaan.

3.4.6 Putkiston kannakointi

Kannakkeilla tarkoitetaan putkistoon asennettavia kannatinsankoja, jotka vuorostaan kiinnittyvät toissijaisiin kannakkeisiin. Erilaiset sangat ja niihin mahdollisesti liittyvä liukujalat ovat määritelty PSK-standardissa. Virtaavan aineen ollessa yksinkertainen ja erityisen suurten lämpötilan muutosten aiheuttamien laajenemisien puuttuessa päädyttiin käyttämään yksinkertaisimman mallin sankoja (Putkisanka A: PSK 7307:2018, 4), jotka hitsattaisiin toissijaisiin kannakkeisiin kiinni. Mikäli virtaava aine olisi ollut koostumukseltaan sellaista, joka aiheuttaa iskumaista kuormitusta mutkissa tai lämpölaajenemiset suuria, olisi näiden aiheuttamat voimat otettava huomioon käyttämällä liukukannattimia, jotka sallivat putkiston liikkeen yhdessä tai useammassa suunnassa.

PSK-standardeissa on määritelty suositellut välit kannakkeille (PSK 7304:2018, 5-10). Näitä välejä noudattamalla vältetään epätoivotut taipumat ja siten turhat rasitukset putkistossa. Standardi antaa vähimmäisarvon kannakevälille, joka muokataan erilaisista mutka-tapauksista ja pystyputkista tulevien kertoimien avulla todellisiksi arvoiksi. Todellisuudessa tämä kuitenkin on harvoin aivan näin yksinkertaista, varsinkin tällaisessa tapauksessa missä asennukseen tarvittavat suorat pätkät ovat vähissä tai ne ovat sijainniltaan epäedullisia.

Ensimmäiset sangat sijoitettiin paikkoihin, mihin olisi myös helppo rakentaa toissijainen kannakointi. Tällaisia paikkoja ovat rakennuksen tukipilareiden tai erilaisien teräsrakenteiden vierustat. Tässä vaiheessa oli myös tarpeellista selvittää rakennuksen tekijältä, onko kyseisiin teräsrakenteisiin sallittua kiinnittää putkistoa. Tämän jälkeen putkiston mallia tarkkailemalla katsottiin kohdat, jotka vielä tarvitsivat kannakointia, pitäen edelleen mielessä toissijaisten kannakkeiden rakentaminen.

Edellisen työvaiheen tavoin tässäkin täytyi tehdä pieniä muutoksia putkien reitteihin, että ne saataisiin kaikki tuettua asianmukaisesti. Seuraukset olivat myöskin samat, eli symmetria ja vapaa tila kärsivät.

3.4.7 Toissijainen kannakointi

Suurin osa toissijaisista kannakkeista tulisi olemaan yksinkertaisia ulokkeita tai portteja (PSK 7390:2018, 4; PSK 7391:2018, 4). Suurimman suunnittelutyön tulisivat vaativat pystyputket, joihin asennettiin pumppuja sekä ulkoyksiköille menevät korkealla kulkevat putket. Ensimmäisessä tapauksessa putket olisivat ison rasituksen alla laitteiden massan vuoksi. Toisessa tapauksessa olisimme ulkoti-loissa, mahdollisia kiinnityskohtia ei olisi siis olemassa valmiiksi. Ne olisi suunniteltava kokonaan itse.

Ulos tuleva tukirakennelma olisi suunnittelultaan helppo, sillä tilaa olisi poikkeuksellisesti riittävästi. Lisäksi siitä voitaisiin tehdä varmuudella tukeva ja jopa ulkonäöltään silmää miellyttävä. Pumppuhuoneen sisällä pystyputkiin asennettavia pumppuja tukevaa kehikkoa tulisi rajoittamaan tila. Tämän takia putkireitteihin jouduttiin tälläkin kertaa samoin seurauksin tekemään pieniä muutoksia, muuten riittävän tukevia palkkeja ei olisi saanut mahtumaan pieneen tilaan.

Orsien ja porttikannakkeiden kohdalla monessa tapauksessa jouduttiin valitsemaan tukevin putkiprofiili joka käytettävissä olevaan tilaan saatiin mahtumaan. Kaiken kaikkiaan toissijaisista kannakkeista muodostui melkoisen sekalainen, ainakin tarkkojen mittojensa osalta, kokoelma rakenteita. Kuitenkin lopulta kaikille kohdille löytyi ratkaisu, jolla ne saatiin tuettua.

3.5 Tuotetut dokumentit

Putkistosuunnitelmien valmistuttua oli seuraava askel tuottaa tarvittavat kuvat ja luettelot, jotta suunnitelmat voitaisiin toteuttaa. Vaikka nykyaikana kaikki tarvittava tieto on periaatteen tasolla kasattuna kolmiulotteiseen malliin, on 'vanhanakaisille' kaksiulotteisille kuville siltikin oma paikkansa vielä. Niissä sama tieto on pilkottuna pienempiin helpommin hahmotettaviin paloihin. Yhdessä nämä molemmat tarjoavat parhaimman tiedon asentajalle tällä hetkellä.

3.5.1 Putkistoisometrit

Putkisto on prosessinsuunnitteluvaiheessa jaettu omilla tunnuksillaan varustettuihin linjoihin. Yksi linja on jokin selkeä pätkä pisteestä toiseen, kuten vaikkapa

laatiminen ei yleensä ole putkistosuunnittelijan vastuulla. Materiaalilistan teossa on oltava tarkkana, sillä se toimii pohjana, jonka perusteella putkiurakoitsijat tekevät tarjouksensa. Lisäksi se toimii 'ostoslistana', kun osia varsinaisesti ollaan hankkimassa.

Toissijaisten kannakkeiden tai muiden rakennelmien tarvitsemat teräsosat voidaan sisällyttää tähän listaan tai niistä voidaan tehdä omansa. Tämä riippuu asiakkaan ja urakoitsijan toiveista.

3.5.4 Rakennustehtäväpiirustukset

Rakennustehtäväpiirustuksissa kerrotaan kaikki putkiston asennuksessa tarvittavat rakentamista vaativat työvaiheet. Tyypillisesti näitä ovat erilaiset läpiviennit lattioista/katoista tai erilaiset jälkivalut laitteiden tukijaloille tai pumppujen tukipeille. Tässä projektissa suunnittelutyötä vaativat rakennustehtävät olivat lattialle asennettavien pumppujen tukipedit. Kaikki pumput eivät tällaisia tarvitse, mutta 4 isoimman katsottiin olevan massaltaan ja niistä aiheutuvien voimien sen suuruisia, että ne katsottiin tarpeellisiksi. (PSK 3011:2017, 2-5)

3.5.5 Kannakekuvat

Nämä ovat yksinkertaisia mittapiirustuksia toissijaisista kannakkeista, joiden perusteella ne voidaan valmistaa. Mikäli syystä tai toisesta 3D-mallista ei käy selkeästi ilmi eri kannakkeiden sijoitus, täytyy kannakekuviin lisätä tämä tieto.

3.5.6 Päämittakuvat

Päämittakuvilla tarkoitetaan piirustuksia, joissa laite tai rakennelma on esitelty päämittojen tasolla. Toisin kuin varsinaisissa valmistuskuvissa ne eivät (yleensä) sisällä tarkkoja hitsausmerkkejä, geometrisiä merkintöjä tai kiinnitystarvikkeita kuten ruuveja. Päämittakuva kertoo tärkeimmät mitat rakennettavasta asiasta joiden perusteella kyseisestä aiheesta enemmän tietävä henkilö voi tehdä tarkat suunnitelmat.

Tämän työn aiheena olevassa projektissa näitä kuvia tehtiin yksi kappale 8 m³ säiliöstä. Kuvassa olivat tiedot säiliön ulkomitoista ja liityntäpisteiden sijoituksesta

sekä niiden nimelliskoosta. Tämän pohjalta putkiston suunnittelua pystyttiin tekemään, vaikka varsinaista säiliötä tai valmistuskuvia siitä ei ollut vielä olemassa.

3.5.7 Laitesijoituskuvat

Laitesijoituskuvilla tarkoitetaan piirustuksia, joissa näkyy suurien laitteiden sijoitus suhteessa johonkin selkeästi hahmotettavaan pisteeseen. Tähän tarkoitukseen käytettävän pisteen tulisi myös olla sellainen, että ilmoitetut etäisyydet pystytään mittaamaan riittävällä tarkkuudella. Tarvittavat mitat voidaan antaa esimerkiksi pilarin reunasta laitteen liityntäpisteen keskilinjaan. Tämä on vielä selkeästi mitattavissa oleva suure toisin kuin vaikkapa ison säiliön keskipiste. Laitesijoituskuvan periaatteet on määritelty standardissa (PSK 5806:2002, 1-3).

4 Kohdattuja haasteita

Suurin osa kohdatuista haasteista on hyvin tavallisia laitos- ja putkistosuunnitteluprojekteissa. Mukana on kuitenkin myös joitain sattumuksia, jotka eivät ole niin yleisiä. Osa näistä johtuu suunnittelijasta riippumattomista syistä ja osa taas suunnittelijan omista virheistä. Tarkoituksena ei ole syyttää ketään eikä puolustella omia virheitä, vain ja ainoastaan esimerkin omaisesti tuoda esiin asioita, joita tämän kaltaisessa projektissa voi tulla eteen.

4.1 Tavalliset haasteet

Tyypillisin haaste ajatellen koko suunnittelualaa, joka oli läsnä lähes kaikessa tämän projektin aikana, oli aikaisemminkin useasti mainittu tilan puute. Tilan vähyys juontui putkiston ja laitteiden suuresta määrästä, jotka täytyi saada mahtumaan tarkasti määrättyyn tilaan, jonka suuruuteen ei ollut mahdollista vaikuttaa. Tämä yhdistettynä virtausteknisiin tavoitteisiin sekä huolto- ja käyttötilan tarpeeseen loivat koko suunnittelun ajan mukana kulkeneen 'listan' asioista, joiden perusteella suunnitteluratkaisut tulisi tehdä. Jokaista ratkaisua tehtäessä täytyi suunnittelijan arvioida ja vastata mielessään sellaisiin kysymyksiin kuten esimerkiksi "Mahtuvatko laitteet X ja Y tähän vielä?", "Pääseekö huoltohenkilöstä käsiksi tähän venttiiliin?" tai "Voidaanko tähän väliin asentaa vaadittu virtausmittaus?".

Kaikissa tapauksissa ensimmäiseksi tehty arvio ei osoittautunut oikeaksi ja osia putkistosta jouduttiin suunnittelemaan uudestaan. Tämä on kuitenkin nähdäkseni normaali osa suunnittelutyötä, projektin koon vuoksi asiat on suunniteltava osa kerrallaan. Jokaisen osan ja niiden vaikutuksen toisiin paloihin hahmottaminen kokonaisuudessaan olisi lähes mahdotonta, joten ongelmat täytyy ratkaista yksi kerrallaan ja palata takaisin jo tehtyyn, mikäli se on tarpeellista.

Eräs asia joka selkeästi olisi pitänyt ottaa tarkemmin huomioon jo aikaisemmassa vaiheessa oli putkiston toissijainen kannakointi. Sekundäärisen kannakoinnin suunnitteluvaiheessa kävi ilmi, että tilaa sille ei ollut kunnolla, joka vuorostaan johti vähemmän optimaalisiin ratkaisuihin. Kaikki kannakointi saatiin kuitenkin suunniteltua ja toteutettua, mutta luullakseni ainakin asentajan työ olisi ollut hie-man helpompaa ja lopputulos kannakkeiden osalta visuaalisesti miellyttävämpi, joka ei onneksi ole suuren prioriteetin kriteeri putkistosuunnittelun alalla.

4.2 Yksittäisiä haasteita

Nämä yksittäiset haasteet ovat tapauksia, jotka johtivat, tai ainakin niin olivat tehdä, isommassa mittakaavassa uudelleensuunnitteluun tai uudelleenarviointiin. Syinä näille olivat uusi tai tarkentunut tieto liittyen putkistoon tai rakennuksiin, jossa se sijaitsee. Muuttuva tieto projektin edetessä ei ole mitenkään epätavallinen sattuma, joten siihen on aina varauduttava ja oltava valmis ratkaisemaan mahdolliset haasteet.

Ensimmäisenä tapauksena mainittakoon pumppuhuoneen tarkentuneet mitat. Putkistosuunnittelun ollessa jo käytännössä valmis ja dokumenttien ulosajovaiheen ollessa meneillään, ilmoitettiin pumppuhuoneen yhden seinän olevan rakennusmallista poiketen 200 mm sisempänä. Määrä ei kuulosta paljolta, mutta tilan ollessa jo valmiiksi vähäinen se aiheutti tilanteen missä huoneen sisäpuolinen osa putkistosta piti arvioida osa kerrallaan uudestaan. Käymällä vaihtoehtoja järjestelmällisesti läpi löydettiin ratkaisu, joka vaatisi vähimmän mahdollisen määrän muutoksia suunnitelmiin.

Toinen mainitsemisen arvoinen tapaus liittyy pystyputkiin asennettavien pumppujen mittoihin. Kyseiset pumput osoittautuivat selkeästi isommiksi kuin alun perin oli arvioitu ja siten putkistossa ilmeni osien törmäyksiä toisiinsa. Seurauksena

osa vesipiirin putkistoa jouduttiin suunnittelemaan uudestaan törmäyksien välttämiseksi. Asennusvaiheessa tämäkin suunnitelma osoittautui osittain vialliseksi minkä takia asentajat joutuivat toteuttamaan pienen osan putkistoa suunnitelmista poiketen.

Kolmas esimerkkitapaus koskee pumppuhuoneen ulkopuolella sijaitsevan korotetun lattiatason alla kulkeviin sähkökaappeja jäähdyttäviin putkiin. Lattian alle oli mallinnettu kaapelihyllyjä käytettävissä olevan tilan hahmottamiseksi ja siten putkiston suunnittelun helpottamiseksi. Asennuksen ollessa jo pitkällä paljastui, että mallinnetut kaapelihyllyt eivät olleet ollenkaan sen kokoisia kuin ne todellisuudessa olivat. Kaikkien putkien reitit jouduttiin tarkistamaan uudestaan, mutta tästäkin selvittiin onneksi melkoisen vähillä muutoksilla, vaikka siihen kului jonkin verran aikaa. Tämän uudelleensuunnittelun toteutti eri henkilö, alkuperäisen suunnittelijan ollessa jo toisen projektin parissa.

Esimerkeistä käy ilmi, että pienissäkin määrin muuttuva tieto voi aiheuttaa suunnitelmien uudelleen arviointia ja tämä voi tulla esille hyvinkin myöhäisessä vaiheessa ja sen voi joutua tekemään aivan eri henkilö kuin alkuperäinen suunnittelija. Osa haasteista olisi ollut vältettävissä, mutta näyttäisi siltä, että jonkinmoiset haasteet ovat osa lähes kaikkia putkistosuunnittelun projekteja. Kaikki haasteet voitaisiin välttää ainoastaan sillä, että kaikilla osallisilla olisi käytettävissään kaiken aikaa täydellinen projektiin liittyvä tieto.

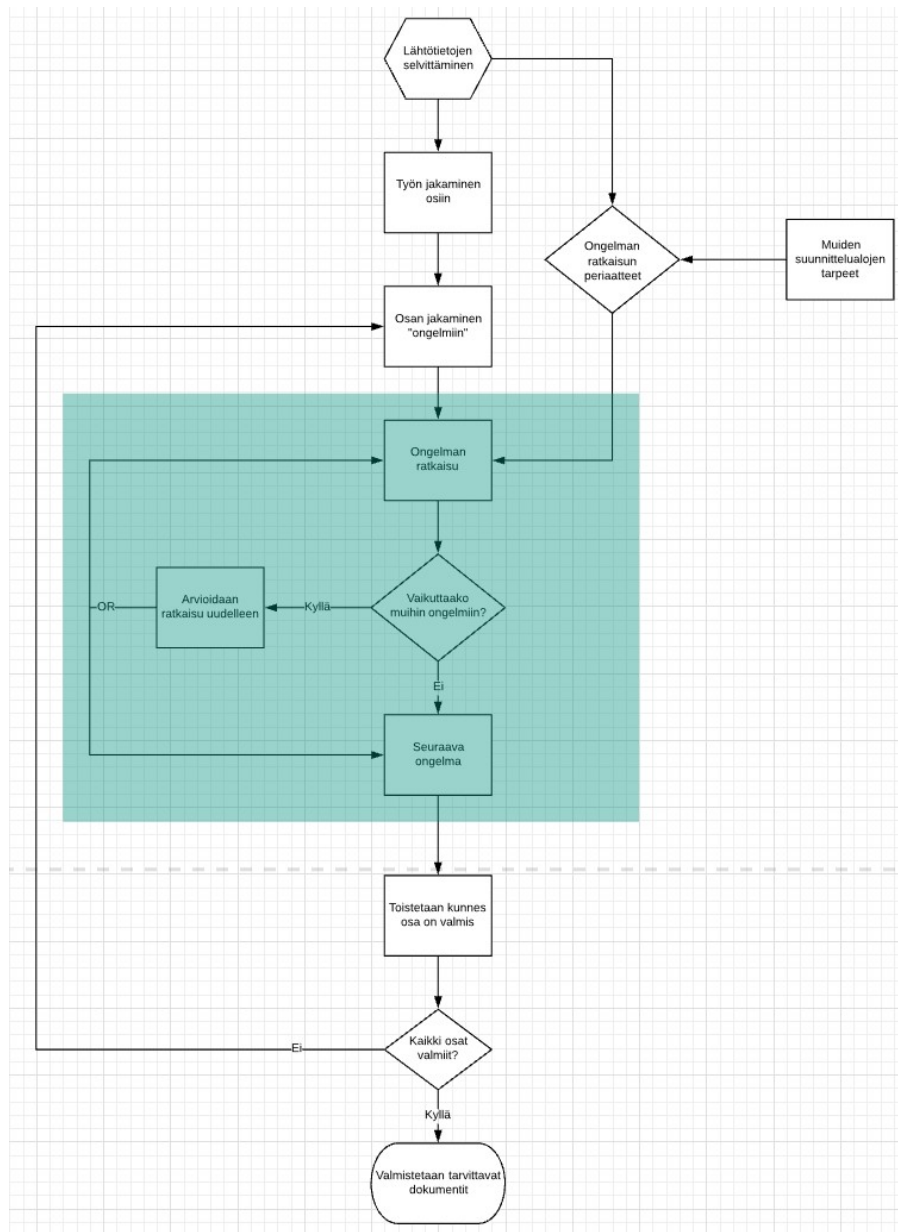
5 Loppupäätelmä

5.1 Tulokset

Tämän työn kirjoitushetkellä projektia ei ollut kokonaisuudessaan vielä saatettu loppuun. Jäljellä oli vielä joitakin pieniä asennus- ja säätötöitä. Tämän työn aiheena ollut jäähdytysputkisto oli kuitenkin kokonaisuudessaan asennettu ja osittain koeajettu, eli aine on onnistuneesti saatu virtaamaan putkissa, mutta varsinaista jäähdytyskapasiteettiä ei ole vielä testattu. Jäähdytyksen toimivuus ei varsinaisesti kuitenkaan enää ole riippuvainen pelkästään putkistosuunnittelijan työstä, vaan lopputulos määräytyy prosessinsuunnittelun ja muiden suunnittelu-alojen kanssa yhteisvaikutuksessa. Mikään projektin aikana esille tullut asia ei

ole kuitenkin antanut syytä epäillä, etteikö lopullinen prosessi toimisi niin kuin on suunniteltu ja tarkoitettu.

Esitetään alla tämän työn aikana kuvattu suunnitteluprosessi tiivistettynä kaavion muodossa. Tämä kaavio kuvaa yhden suunnittelijan ajatusmallia ja työtapaa, eikä se ainakaan tarkoituksella muistuta mitään standardisoitua menetelmää.



Kuva 5. Suunnitteluprosessin kaavio

5.2 Arviointi

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä tiivistetysti laitos- ja putkistosuunnittelu alana sekä kuvata case-esimerkin kautta, kuinka suunnittelutyö käytännössä etenee. Suurimpana haasteena oli rajata kuvauksen laajuus ja yksityiskohtaisuus siten, että se vastaisi opinnäytetyön tavoitteita, mutta olisi myös tietosisällöltään riittävä. Toinen selkeä haaste juontui esimerkkiprojektin asiakkaan toiveesta olla mainitsematta nimiä tai paikkoja. Tuotetun tekstin selkeys ja sujuvuus olisivat voineet paikoitellen olla parempia. Selkeydessä olisi lisäksi auttanut, mikäli olisi ollut mahdollista käyttää tekstin joukossa oikeita kuvia sekä kaavioita.

Luulen kuitenkin työstä käyvän ilmi, mitä laitos- ja putkistosuunnittelu ovat ja millaista työ käytännössä voi olla.

Lähteet

PSK 2640. 2011. Teollisuuden kone- ja laitoshankinnat. Putkistosuunnittelun toteutusperiaatteita. PSK Standardisointi. 11 s.

Applied Software. What is Plant 3D?. Luettu 11.06.2020, <https://www.asti.com/applied-software-guide-to-plant-3d/>

Autodesk. AutoCAD Plant 3D toolset now included with AutoCAD. Luettu 11.06.2020. <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/autocad/fy21/toolsets/autocad-plant-3d/images/collaboration-for-plant-3d-large-1920x1080.jpg>

Autodesk. Mortenson Construction – Adding Up The Benefits. Luettu 11.06.2020. <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-navisworks-family/fy18/case-studies/pdf/mortenson-construction-customer-story-navisworks-en-hires.pdf>. Sivu 1.

PSK 4232. 2017. Putkiluokka E10H1A painelaitekäyttöön. Austeniittinen ruostumaton CrNi teräs. 3. Painos. PSK Standardisointi. 19 s.

PSK 2621. 2015. Teollisuuden kone- ja laitoshankinnat. Tekniset suunnitteluperusteet. PSK Standardisointi. 10 s.

PSK 7307. 2018. Putkiston kannakointi. Putkisanka A- DN10...500. 3. painos. PSK Standardisointi. 7 s.

PSK 7304. 2018. Putkiston kannakointi. Teräsputket. Suositeltavat kannakeväliä. 3. painos. PSK Standardisointi. 14 s.

PSK 7390. 2018. Putkiston kannakointi. Ulokekannatin. PSK Standardisointi. 8 s.

PSK 7391. 2018. Putkiston kannakointi. Porttikannatin. PSK Standardisointi. 8 s.

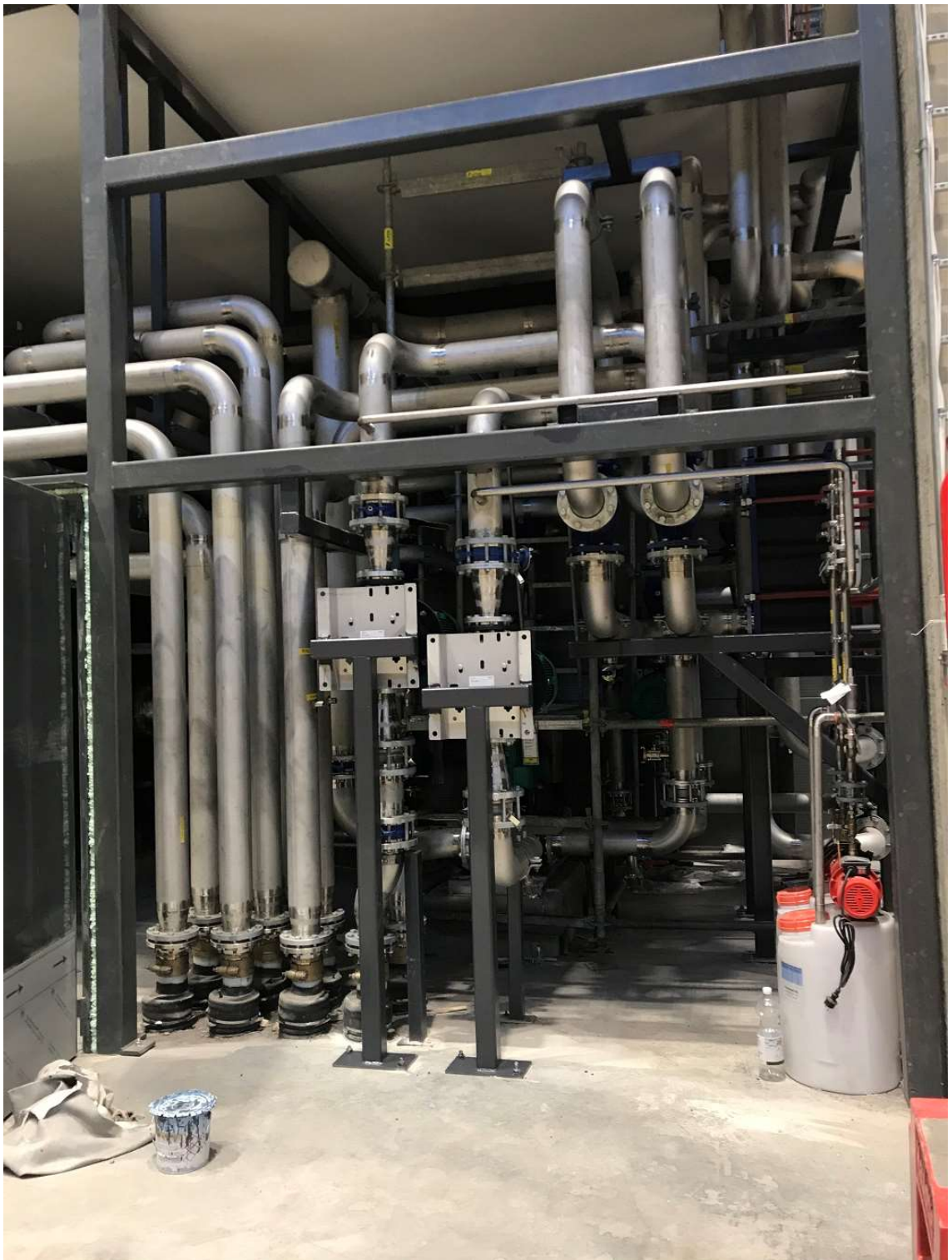
PSK 3001. 2017. Rakennustehtäväpiirustus. Laadinnan Perusteet. PSK Standardisointi. 4 s.

PSK 5803. 2003. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. 3. painos. PSK Standardisointi. 9 s.

PSK 3011. 2017. Rakennustehtäväpiirustus. Laiteperustusten jälkivalu. PSK Standardisointi. 2 s.

PSK 5806. 2002. Tehdassuunnitteluasiakirjat. Laitesijoituspiirustus. 2. painos PSK Standardisointi. 5 s.

LIITE 1, Pumppuhuone asennuksessa 1



LIITE 2, Pumppuhuone asennuksessa 2



LIITE 3, Ulkoyksiköt

