



**TURUN  
YLIOPISTO**

# **Laitossuunnitteluohjelman kehitys**

Development of plant design software

Turun Yliopisto  
Kone- ja materiaalitekniikan laitos  
Konetekniikka  
Diplomityö

Laatija:  
Krista Meltaus

Ohjaajat:  
Turun Yliopisto, Jani Heikkinen  
Turun Yliopisto, Tuomas Mäkilä  
AFRY Finland Oy, Kim Loponen

14.12.2023

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

**Diplomityö**  
**Kone- ja materiaalitekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta**  
**Turun Yliopisto**

**Oppiaine:** Konetekniikka

**Tekijä:** Krista Meltaus

**Otsikko:** Laitossuunnitteluohjelman kehitys

**Ohjaajat:** Jani Heikkinen (Turun Yliopisto), Tuomas Mäkilä (Turun Yliopisto), Kim Loponen (AFRY Finland Oy)

**Sivumäärä:** 79 sivua + 4 liitettä (8 sivua)

**Päivämäärä:** 14.12.2023

3D-mallinnusohjelmat ovat oleellisia työkaluja nykypäivän laitossuunnittelussa. Tässä diplomityössä tutkitaan Bentley OpenPlant -suunnitteluohjelmakokonaisuuden kehitystyön onnistumista kohdeyrityksessä. Tässä diplomityössä käsitellään laitossuunnittelua putkisto- ja layoutsuunnittelun osalta.

Diplomityö koostuu kirjallisuuskatsauksesta, kehitystyön toteutuksesta, pilot-projektista sekä haastattelututkimuksesta. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään laitossuunnitteluun layout- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta sekä tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumisen teoriaan. Kehitystyön alussa määritetään ohjelmiston tavoiteltu toiminta-aste. Se kattaa projektin perustamisen, mallintamisen sekä dokumentaation valitulla ohjelmistolla layout- ja putkistosuunnittelun osalta. Kehitystyöllä ohjelmistoa pyritään parantamaan siten, että sillä työskentely olisi tehokkaampaa ja mielekkäämpää, ja ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika pyritään minimoimaan.

Kehitystyön onnistumista arvioidaan pilot-projektista kerättävien laitossuunnittelun tunnuslukujen sekä käyttäjähaastatteluiden avulla. Kerätyn tutkimusaineiston avulla pyritään vastaamaan kahteen tutkimuskysymykseen: 1) Vastaako ohjelmiston toiminta kehitystyön jälkeen sille asetettua käyttötarkoitusta? ja 2) Onko ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kuluva aika onnistuttu kehitystyöllä vähentämään?

Tutkimustuloksien perusteella voitiin todeta, että kehitystyön jälkeen ohjelmiston toiminto vastasi sille asetettua käyttötarkoitusta ja sen hallinnallisiin tehtäviin kuluva aika onnistuttiin hieman vähentämään. Haastattelututkimuksessa käyttäjät arvioivat ohjelman kehitystyön yleisesti onnistuneeksi ja sen käytön mielekkääksi. Myös useita kehityskohteita tunnistettiin, ja niiden pohjalta ohjelmiston kehitystä voidaan jatkaa.

**Avainsanat:** laitossuunnittelu, suunnitteluohjelman kehitys, OpenPlant, putkistosuunnittelu, layoutsuunnittelu

**Master's thesis**  
**Department of Mechanical and Materials Engineering, Faculty of Technology**  
**University of Turku**

**Subject:** Mechanical engineering

**Author:** Krista Meltaus

**Title:** Development of plant design software

**Instructors:** Jani Heikkinen (Turun Yliopisto), Tuomas Mäkilä (Turun Yliopisto), Kim Loponen (AFRY Finland Oy)

**Number of pages:** 79 pages + 4 appendices (8 pages)

**Date:** 14.12.2023

3D modeling software are relevant engineering tools in modern plant design. This master's thesis explores the success of the development of the Bentley OpenPlant plant design software in the target company. The thesis specifically addresses plant design in terms of piping and layout engineering.

The master's thesis consists of a literature review, development work implementation, a pilot project, and an interview study. The literature review delves into plant design from the perspectives of layout and piping design, as well as the theory of successful information system implementation. At the beginning of the development work, the desired functionality of the software is defined. This includes project establishment, modeling, and documentation using the chosen software for layout and piping design. The aim of the development work is to enhance the software so that working with it becomes more efficient and pleasing, and to minimize the time spent on administrative tasks.

The success of the development work is evaluated through key performance indicators collected from the pilot project and with user interviews. The collected research data aims to answer two research questions: 1) Does the operation of the software after the development correspond to its intended use? and 2) Has the time spent on the administrative tasks of the software successfully decreased by the development?

Based on the research results, it was observed that after the development work, the software's functionality met its intended purpose, and the time spent on administrative tasks was slightly reduced. In the interview study, users assessed the success of the program's development and found its usage meaningful. Several areas for improvement were also identified, providing a basis to continue software development.

**Keywords:** plant design, development of plant design software, OpenPlant, piping engineering, layout engineering

# Sisällysluettelo

<b>Lyhenteet</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>8</b>
1.1 Työn tavoite ja rajaus	8
1.2 AFRY	10
1.3 Työn taustaa	10
<b>2 Laitossuunnittelu</b>	<b>11</b>
2.1 Standardit	11
2.1.1 Suomen Standardisoimisliitto	12
2.1.2 European Standards	13
2.1.3 International Organisation for Standardization	13
2.1.4 PSK Standardisointi	13
2.2 Suunnittelun vaiheet	14
2.3 Layoutsuunnittelu	15
2.4 Putkistosuunnittelu	16
2.4.1 Putkiluokat	18
2.4.2 Putkiston kannakointi	19
2.4.3 Putkistosuunnittelun dokumentit	20
2.5 Roolit laitossuunnitteluprojektissa	21
2.6 Suunnitteluohjelmat	22
2.6.1 CAD-mallinnuksen peruseriaatteen	23
2.6.2 Parametrinen mallinnus	25
2.6.3 Ohjelmistomodulit	26
2.6.4 OpenPlant	26
<b>3 Tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumisen arviointi</b>	<b>30</b>
3.1 Informaatiojärjestelmän menestymismalli	31
3.2 Onnistumisen arvioinnin mittarit	32
<b>4 Kehitystyö</b>	<b>34</b>
4.1 Kehitystyön tavoitteet	34
4.2 Ohjelmiston asentaminen	35
4.3 Projektin perustaminen	36

4.3.1	Verkkolevy	36
4.3.2	Kansiorakenne	36
<b>4.4</b>	<b>Spesifikaatiot</b>	<b>37</b>
<b>4.5</b>	<b>Piirustustuotanto</b>	<b>38</b>
4.5.1	Isometrit	38
4.5.2	Sijoituspiirustukset	38
<b>5</b>	<b>Tutkimusmenetelmät ja -aineisto</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Tutkimusmenetelmät</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Referenssiprojekti</b>	<b>42</b>
<b>5.3</b>	<b>Pilot-projekti</b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Haastattelututkimus</b>	<b>43</b>
<b>5.5</b>	<b>Hypoteesit</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Tulokset</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>Referenssiprojektin tunnusluvut</b>	<b>47</b>
6.1.1	Layoutsuunnittelun tunnusluvut	47
6.1.2	Putkistosuunnittelun tunnusluvut	47
6.1.3	Ohjelmiston hallinta	48
<b>6.2</b>	<b>Pilot-projektin tunnusluvut</b>	<b>48</b>
6.2.1	Layoutsuunnittelun tunnusluvut	48
6.2.2	Putkistosuunnittelun tunnusluvut	49
6.2.3	Ohjelmiston hallinta	49
<b>6.3</b>	<b>Haastattelututkimuksen tulokset</b>	<b>50</b>
6.3.1	Projektiympäristö	50
6.3.2	Mallintaminen	51
6.3.3	Dokumentointi	52
6.3.4	Systeemin laatu	53
6.3.5	Informaation laatu	53
6.3.6	Palvelun laatu	53
6.3.7	Muut aiheet	54
6.3.8	Kootun pisteytyskyselyn tulokset	55
<b>7</b>	<b>Tulosten analysointi</b>	<b>56</b>
<b>7.1</b>	<b>Tunnusluvut</b>	<b>56</b>
<b>7.2</b>	<b>Käyttäjäkokemukset</b>	<b>66</b>

<b>7.3</b>	<b>Tutkimusmenetelmien soveltuvuus</b>	<b>68</b>
<b>7.4</b>	<b>Tulevaisuuden kehityskohteet</b>	<b>68</b>
7.4.1	Uusien moduulien käyttöönotto	69
7.4.2	Rinnakkaisen työskentelyn tehostaminen	69
7.4.3	Spesifikaatiot	69
7.4.4	Piirustustuotanto	69
7.4.5	Raportointi	70
7.4.6	Tuntikirjaukset	70
7.4.7	Yhteensovitus prosessisuunnittelun ohjelmiston kanssa	71
7.4.8	Yhteistyö IT-tuen kanssa	71
7.4.9	Tarkistuslista projektin käynnistämiseen	71
<b>7.5</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>74</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>75</b>
	<b>Liitteet</b>	<b>80</b>
	<b>Liite 1. Haastattelukysymyslomake</b>	<b>80</b>
	<b>Liite 2. Koottu pisteytyskyselylomake</b>	<b>82</b>
	<b>Liite 3. Referenssiprojektin tunnuslukujen laskentaerittely</b>	<b>86</b>
	<b>Liite 4. Pilot-projektin tunnuslukujen laskentaerittely</b>	<b>87</b>

## Lyhenteet

CAD	”Computer-Aided Design”, tietokoneavusteinen suunnittelu
dgn	Bentley Systemsin kehittämä CAD-tiedostoformaatti
EN	European Standards, eurooppalainen standardisoimisjärjestö
EUCS	”End-User Computing Support”, tietojärjestelmän käyttäjätyytyväisyyden mittari
ISO	International Organisation for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
PSK	PSK Standardisointiyhdistys ry
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, suomalainen standardisoimisjärjestö
spec	”Specci” eli putkistospesifikaatio, rajattu komponenttikirjasto, joka sisältää valitut putkistokomponentit
SERVQUAL	Malli tietojärjestelmän palvelun laadun mittaamiselle, tulee sanoista ”Service Quality”
UIS	”User Information Satisfaction”, tietojärjestelmän käyttäjätyytyväisyyden mittari

# 1 Johdanto

Prosessiteollisuuden laitossuunnitteluprojektit ovat laajoja, useasta eri suunnittelualasta koostuvia kokonaisuuksia. Kaikkien hankkeeseen liittyvien suunnittelualojen tulee toimia yhteen siten, että aikaansaadaan järkevästi ja kustannustehokkaasti toimiva kokonaisuus.

Suunnittelutyön tärkeimpiä työkaluja ovat nykyään erilaiset tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmat. Useimmissa laitossuunnitteluohjelmissa suunnittelu perustuu 3D-mallintamiseen, ja kolmiulotteisen mallin pohjalta voidaan puoliautomaatiolla tuottaa laitoksen rakentamiseen tarvittavia dokumentteja, kuten sijoituspiirustuksia tai putkistoisometrejä osaluetteloinen. Laitossuunnitteluun tarkoitettujen suunnitteluohjelmistot sisältävät usein omat moduulinsa eri suunnittelun aloille ja ohjelmissa on valmiita työkaluja ja komponenttikirjastoja, joiden avulla esimerkiksi putkiston mallintaminen onnistuu standardinmukaisilla osilla. Osien geometriaa ei tarvitse itse mallintaa ja osat voivat sisältää älykästä dataa, joka saadaan siirrettyä automaattisesti 3D-mallista dokumentteihin.

Jotta suunnitteluohjelmistolla työskentely koettaisiin mielekkääksi ja se olisi kustannustehokasta, on ohjelmiston vastattava hyvin käyttötarkoitukseensa.

## 1.1 Työn tavoite ja rajaus

Diplomityö kattaa Bentley OpenPlant-suunnitteluohjelmistokokonaisuuden kehitystyön AFRY Finland Oy:n Espoon prosessiteollisuuden paikallistoimistossa. Ohjelmistokokonaisuuden toiminnalle asetetaan tavoitetaso, ja kehitystyön tavoitteena on saattaa ohjelmistokokonaisuuden toiminta vastaamaan tavoitetasoa. Diplomityössä mitataan kehitystyön onnistumista ja etsitään vastausta seuraaviin keskeisimpiin tutkimuskysymyksiin:

1. Vastaako ohjelmiston toiminta kehitystyön jälkeen sille asetettua käyttötarkoitusta?
2. Onko ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kuluva aika onnistuttu kehitystyöllä vähentämään?

Diplomityö koostuu kirjallisuuskatsauksesta, kehitystyöstä, pilot-projektista ja haastattelututkimuksesta. Teoriaosuudessa kuvataan ohjelmiston käyttöönoton onnistumisen arviointia, sekä laitossuunnittelua ja suunnitteluohjelmistoja yleisesti kirjallisuuskatsauksena. Työssä käsitellään laitossuunnittelua layout- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta, kuvaillaan laitossuunnitteluohjelmistoja yleisellä tasolla ja kuvataan, millaisia ominaisuuksia ohjelmistolta vaaditaan. Kirjallisuuskatsauksen lähdemateriaalina käytetään alan standardeja, kirjallisuuslähteitä sekä aiempaa tutkimustietoa. Kirjallisuuskatsauksen tekstin tuottamisen tukityökaluna paikoin

hyödynnetään OpenAI:n ChatGPT 3.5-tekoälyä. ChatGPT:lle annetaan käsky generoida tekstiä tarkkaan rajatusta aihealueesta ja tätä tekoälyn tuottamaa tekstiä käytetään mallina, jota rikastetaan lähdemateriaalien avulla sekä jalostetaan kirjoittajan omaan tyyliin sopivaksi.

Ohjelmiston tavoiteltu toiminta-aste määritetään yhdessä yrityksen kehitysryhmän kanssa ja ohjelmiston optimointi toteutetaan kehitystyönä. Ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin, kuten projektiympäristön ja spesifikaatioiden hallinointiin on koettu kuluvan liikaa aikaa, joten erityisesti ohjelmiston hallintaan käytettävää aikaa pyritään kehitystoimenpiteillä vähentämään.

Kehitystoimenpiteitä ovat valmiiden projektiympäristöjen, sijoituspiirustus pohjien, isometripohjien ja putkispesifikaatioiden luominen sekä yleisten hyvien työskentelytapojen selvittäminen. Pohjien on oltava käyttötarkoitustaan hyvin palvelevia, suunnittelijoille helppokäyttöisiä ja visuaaliselta ilmeeltään yrityksen ohjeistuksen mukaisia. Työssä rakennetaan projektirakenne siten, että sitä voidaan käyttää valmiina mallina tulevia projekteja perustettaessa ja se sisältää kaikki edellä mainitut dokumenttipohjat. Tarkoituksena on, että projektin aikainen hallinnointityö olisi minimoitua ja asiakasprojektin aikana voitaisiin keskittyä itse suunnittelutyöhön eli mallintamiseen ja dokumenttien tuottamiseen. Tarvittaessa mallipohjat ja spesifikaatiot korvataan asiakkaan määrittämällä spesifikaatioilla ja dokumenttipohjilla, mikäli projektissa asiakas sellaisen käyttöä vaatii.

Kehitystyön onnistumista arvioidaan pilot-projektilla ja kvalitatiivisella haastattelututkimuksella. Pilot-projektissa tarkastellaan, täyttääkö optimoitu ohjelmistokokonaisuus määritetyn tavoitetaso eli pystytäänkö sillä toteuttamaan projekti niissä puitteissa, jotka on asetettu. Referenssinä käytetään aiemmin samalla suunnitteluohjelmalla toteutettua projektia. Referenssiprojektista ja pilot-projektista lasketaan standardinmukaisia laitossuunnittelun tunnuslukuja ja näitä lukuja vertaillaan keskenään. Haastattelututkimuksessa selvitetään suunnittelijoiden käyttäjätyytyväisyyttä kehitettyä ohjelmistokokonaisuutta kohtaan. Haastattelututkimuksessa selvitetään myös käyttäjien näkemyksiä siitä, mitkä olisivat jatkossa tärkeitä kehityskohteita.

Diplomityössä käsitellään prosessiteollisuuden laitossuunnittelua layout- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta. Muut suunnittelun osa-alueet on rajattu kehitystyön ulkopuolelle. Kehitystyö rajataan koskemaan seuraavia osa-alueita:

- Projektin perustaminen
- Mallinnus
- Dokumentaatio

Ohjelmistokokonaisuuden täydellinen optimointi on laaja ja jatkuvasti kehittyvä kokonaisuus, sekä diplomityöhön käytettävät resurssit ja aika ovat rajallisia, joten kaikkea kehitystä ei voida tämän diplomityön puitteissa toteuttaa. Työn loppupuolella esitetään tulevaisuuden kehityskohteita, joiden pohjalta kehitystyötä mahdollisesti jatketaan.

## 1.2 AFRY

AFRY on suunnittelu- ja konsultointiyhtiö, joka toimii 50 maassa. Sen henkilöstömäärä on noin 19 000 ja liikevaihto 2 miljoonaa euroa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. Helmikuussa 2019 ruotsalainen ÅF-Infrastructure Ab (perustettu 1895) osti suomalaisen Pöyry Oyj:n (perustettu 1958) ja marraskuussa 2019 lanseerattiin yhteinen brändi AFRY. Yhtiö tuottaa palveluita rakennetun ympäristön, teollisuuden ja energiasektorin asiakkaille ja ne kattavat hankkeiden koko elinkaaren; selvitykset, suunnittelun, toteutuksen sekä käytön ja toiminnan tuen.

Diplomityön teettävä taho on AFRY Finland Oy:n Espoon Matinkylän paikallistoimisto, joka kuuluu prosessiteollisuuden divisioonaan. Suomessa toimivalla AFRY Finland Oy:lla on toimistoja noin 30 paikkakunnalla ja Suomen henkilöstömäärä on noin 2800. Matinkylän paikallistoimisto on keskittynyt prosessiteollisuuden hankkeisiin.

## 1.3 Työn taustaa

Bentley OpenPlant-ohjelmistokokonaisuuden käyttöönotto ja kehitystyö AFRY Finland Oy:n Espoon Matinkylän paikallistoimistolla käynnistettiin ensimmäisen kerran maaliskuussa 2021.

Ohjelmistokokonaisuudella ehdittiin toteuttaa kaksi asiakasprojektia. AFRYn yleisesti käytössä olevia suunnitteluohjelmistoja ovat Cadmatic ja Aveva E3D, mutta OpenPlantin käyttöönotto Matinkylän paikallistoimistolla alkoi tunnistetusta asiakastarpeesta. Tarkoituksena on palvella paikallisasiakkaita, joilla kyseinen suunnitteluohjelmisto on käytössä.

Kehitystyötä jatketaan edelleen, jotta ohjelmistokokonaisuus saadaan sellaiselle tasolle, että sillä voidaan tehokkaasti työskennellä ja jotta kaikki dokumenttipohjat ovat yhdenmukaisia ja noudattavat yrityksen laatujärjestelmää. Diplomityö ei siis kata koko kehitystyötä alusta loppuun, vaan aiemmin kerättyä tietoa ja aineistoa voidaan hyödyntää ja kehitystyötä tullaan edelleen jatkamaan diplomityön toteutumisen jälkeen. Yrityksen tavoitteena on jatkossa toteuttaa enemmän asiakasprojekteja kyseisellä ohjelmistokokonaisuudella.

## 2 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelu on eri suunnittelualoista koostuva kokonaisuus, jonka lopputuloksena on kokonaan uusi tai uudistettu prosessilaitos. Prosessilaitoksella tarkoitetaan tehdasta tai tuotantolaitosta, jossa raaka-ainetta käsitellään siten, että prosessissa syntyy ominaisuuksiltaan oleellisesti raaka-aineesta poikkeava lopputuote. Laitossuunnittelu on tyypillisesti erittäin laaja kokonaisuus ja se sisältää suuria tietomääriä (Kesti, 1992). Laitossuunnitteluprojekti koostuu usean alan asiantuntijoiden ammattitaidosta ja näiden tahojen on kyettävä toimivaan yhteistyöhön. Prosessilaitoksen suunnittelussa on laitoksen toiminnan kannalta oleellisten seikkojen lisäksi otettava huomioon mm. projektin taloudellinen kannattavuus, ympäristö-, terveys- ja turvallisuusasiat sekä yleiset lait ja standardit (Peters & Timmerhaus, 1991). Toimiva yhteistyö ja tehokas tiedonkulku eri sidosryhmien, kuten suunnittelijoiden, viranomaisten, asiakkaiden ja toimittajien välillä vaatii hyviä kommunikointitaitoja, suunnitelmallisuutta, yhteisiä sääntöjä ja huolellisesti laadittuja dokumentteja (Towler & Sinnott, 2022).

Tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmia (Computer Aided Design software, eli CAD-ohjelmia) käytetään laitossuunnittelun työkaluina. (Ball, 2013). Nykyään CAD-suunnittelu tapahtuu usein kolmiulotteisena eli 3D-mallintamisena ja lopputuotteena tuotetaan laitoksen rakentamiseen tarvittavia dokumentteja. 3D-malli helpottaa tilan ja kokonaisuuksien hahmottamista ja muutoksien hallintaa ja niiden vaikutusalueet on helpompi tunnistaa verrattuna 2D-suunnitelmilla työskentelyyn. Suunnittelun eri osa-alueet on myös helpompi yhteensovittaa 3D-maailmassa.

### 2.1 Standardit

Standardi on yleisesti hyväksytty ja sovittu viitekehys, joka määrittelee yhteiset vaatimukset, ohjeet, suositukset tai menetelmät. Se tarjoaa yhtenäiset säännöt ja ohjeistukset, joiden avulla voidaan saavuttaa tiettyjä tavoitteita, kuten tuotteiden turvallisuus, yhteensopivuus, laatu tai toiminnallisuus. Tekninen standardi voi sisältää erilaisia teknisiä määräyksiä, mittausmenetelmiä, suunnitteluohjeita tai testausvaatimuksia. Se voi kattaa esimerkiksi tuotteiden ominaisuuksia, suorituskykyä, valmistusprosesseja, turvallisuusvaatimuksia tai ympäristöasioita.

Standardi on julkaisu, joka on yleensä maksua vastaan kaikkien saatavilla ja se on tarkoitettu yleiseen, toistuvaan käyttöön. Standardien laatiminen tapahtuu yhteistyössä avoimissa työryhmissä, jotka koostuvat mm. viranomaisista sekä teollisuuden, kaupan ja käyttäjien edustajista (Pere, 2021).

Standardit ovat oleellinen osa laitosuunnittelua ja niitä käytetään suunnittelun viitekehyksenä; ne tarjoavat suunnitteluperusteita ja ohjeita sekä määrittelevät hyväksytyt käytännöt, menetelmät ja suunnittelukriteerit. Standardit määrittävät tekniset vaatimukset ja spesifikaatiot erilaisille laitteille, komponenteille ja materiaaleille. Näiden vaatimusten avulla voidaan varmistaa, että suunnitellut järjestelmät ja laitteistot täyttävät tarvittavat turvallisuus-, toiminnallisuus- ja yhteensopivuusvaatimukset.

Standardit auttavat tukemaan yhteistyötä eri toimijoiden, kuten valmistajien, suunnittelijoiden, viranomaisten ja kuluttajien välillä. Ne edistävät myös luotettavuutta, laatua, tehokkuutta ja turvallisuutta teknisissä ratkaisuisissa. Standardien avulla voidaan vähentää riskejä, parantaa prosessien tehokkuutta, varmistaa luotettavuutta ja helpottaa teknistä yhteistyötä.

Standardit voivat olla kansallisia standardeja, joita sovelletaan tietyssä maassa, tai kansainvälisiä standardeja, jotka on hyväksytty ja tunnustettu useissa maissa. Kansainväliset standardit helpottavat globaalia yhteistyötä. Standardit kehitetään yleensä yhteistyössä alan asiantuntijoiden, yritysten, tutkimuslaitosten ja standardointiorganisaatioiden kanssa.

Standardit ovat tärkeä osa teknistä alaa, sillä ne edistävät yhteentoimivuutta, laatua, turvallisuutta ja tehokkuutta erilaisissa teknisissä ratkaisuisissa ja toimintaprosesseissa (SFS ry, 2023).

### 2.1.1 Suomen Standardisoimisliitto

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on suomalainen standardisointiorganisaatio, jonka tehtävänä on edistää ja koordinoita standardisointitoimintaa Suomessa. SFS toimii kansallisena standardisointijärjestönä ja edustaa Suomea kansainvälisessä standardisointiyhteistyössä. SFS ry:n laatimat standardit kattavat laajan kirjon eri toimialoja, kuten teknologia, rakentaminen, energia, ympäristö, terveysala, liikenne, informaatio- ja viestintäteknologia, sähkötekniikka sekä palvelualat. Standardeja hyödynnetään laajasti eri teollisuudenaloilla ja yrityksissä.

SFS ry:n rooli standardisoinnissa on edistää yhtenäisten ja laadukkaiden käytäntöjen, tuotteiden ja palveluiden kehittämistä Suomessa. Standardien avulla voidaan varmistaa tuotteiden ja palveluiden yhteensopivuus, turvallisuus, luotettavuus ja kestävyys sekä helpottaa kansainvälistä kauppaa ja yhteistyötä.

SFS ry toimii yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa, kuten yritysten, järjestöjen ja viranomaisten kanssa varmistaakseen standardien relevanssin ja laadun. Organisaatio tarjoaa myös koulutus- ja

neuvontapalveluita standardisointiin liittyvissä asioissa sekä edistää standardien tuntemusta ja niiden hyödyntämistä Suomessa (SFS ry, 2023).

### 2.1.2 European Standards

European Standards (EN) on eurooppalainen standardisointijärjestelmä, joka koordinoi ja kehittää standardeja Euroopan unionin jäsenvaltioissa. Euroopan standardisointijärjestelmä perustuu yhteistyöhön kansallisten standardisointijärjestöjen välillä.

EN-standardit ovat teknisiä standardeja, jotka on laadittu yhteisesti hyväksytyjen menettelyjen mukaisesti. Ne ovat vapaaehtoisia, mutta niillä on usein lainsäädännöllinen asema, ja ne voivat olla välttämättömiä tuotteiden saamiseksi markkinoille ja noudattamaan EU-direktiivejä. EN-standardit edistävät tuotteiden yhteensopivuutta Euroopan markkinoilla ja helpottavat kaupankäyntiä jäsenvaltioiden välillä. EN-standardit tukevat EU:n tavoitetta yhtenäisestä eurooppalaisesta sisämarkkinasta ja edistävät teknologista innovaatiota, tuotteiden laadun parantamista ja kestävästä kehitystä Euroopassa (EN, 2023).

### 2.1.3 International Organisation for Standardization

International Organisation for Standardization eli ISO on vuonna 1947 perustettu valtiosta riippumaton kansainvälinen standardoimisorganisaatio. Kansainväliseen standardoimisjärjestöön kuuluu 168 kansallista standardointijärjestöä ja sen päämaja sijaitsee Sveitsissä (ISO, 2023). ISO-standardit on mahdollista vahvistaa jäsenmaissa suoraan kansallisiksi standardeiksi, esimerkiksi Euroopassa EN ISO-standardeiksi ja Suomessa SFS EN-ISO-standardeiksi. Jäsenmaat voivat kuitenkin ottaa ISO-standardin käyttöön sellaisenaan (Pere, 2021).

### 2.1.4 PSK Standardisointi

PSK Standardisointiyhdistys ry eli PSK Standardisointi on teollisuudenalan yhteinen kehitysyksikkö. PSK pyrkii laatimaan standardeja, jotka ovat käytännönläheisiä ja menetelmätyyppisiä työkaluja, ja ne perustuvat eurooppalaisiin ja kansainvälisiin tuotestandardeihin (PSK ry, 2023). PSK:n standardit ovat Suomessa laitossuunnittelussa yleisesti käytettyjä ja monet teollisuuden alan ja sitä palvelevan liiketoiminnan, tutkimuksen, kehityksen ja koulutuksen piirissä toimivat yritykset kuuluvat PSK:n jäsenistöön.

## 2.2 Suunnittelun vaiheet

Prosessiteollisuuden laitoshankkeet ovat projekteja, jotka kattavat useita suunnittelun osa-alueita, esimerkiksi prosessisuunnittelun, layoutsuunnittelun, laitesuunnittelun, putkistosuunnittelun, LVI- eli lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtosuunnittelun, sähkösuunnittelun, automaatio-suunnittelun, instrumentointisuunnittelun, tietoverkkosuunnittelun, tieto- ja viestintäteknologian suunnittelun eli ICT (information and communications technology)-suunnittelun, arkkitehtisuunnittelun, rakennesuunnittelun ja talotekniikan suunnittelun. Nämä kaikki osa-alueet tulee yhteensovittaa, jotta teollisuuslaitoksesta saadaan toimiva kokonaisuus.

Laitoksen suunnittelu alkaa prosessien määrittelyllä ja mitoituksella. Prosessisuunnittelussa luodaan dokumentaatio lähtötiedoksi muille suunnittelun osa-alueille. Layoutsuunnittelussa suunnitellaan päälaitteiden sijainnit ja tilankäyttö laitoksessa. Mekaaninen suunnittelu kattaa tehtaan sellaisten koneiden ja laitteiden suunnittelun, jotka eivät tule valmiina laitetoimittajalta. Putkistosuunnittelussa määritetään päälaitteiden väliset putkireitit ja muut putkiston osa-alueet. LVI-suunnittelu kattaa laitoksen lämpö-, vesi- ja ilmastointitekniikan. Sähkösuunnittelu kattaa sähkönjakelun laitokseen ja se mitoitetaan prosessin vaatimuksiin. Automaatio-suunnittelussa suunnitellaan prosessinohjaus ja instrumentointisuunnittelulla varmistetaan, että automaatiojärjestelmä saa kaikki tarvittavat tiedot laitoksen prosesseista. ICT-suunnittelussa määritetään laitoksen ICT-järjestelmät, esimerkiksi turvallisuusjärjestelmät. Arkkitehti- ja rakennesuunnittelussa luodaan laitoksen ”raamit” ja rakenteet, johon laitoksen kaikki muu tekniikka sijoitetaan (ÅF Pöyry, 2020).

Laitossuunnittelun vaiheet voidaan jakaa esisuunnitteluun (pre-engineering), perussuunnitteluun (basic engineering) ja toteutussuunnitteluun (detail engineering). Esisuunnitteluvaiheessa arvioidaan projektin taloudellista elinkelpoisuutta ja investoinnin kannattavuutta ennen kuin kalliimpaa ja yksityiskohtaisempaa suunnittelua aletaan toteuttaa. Esisuunnittelu sisältää tyypillisesti selvityksen tuotantoprosessista, tuotantolaitteiston tekniset määrittelyt, ympäristövaikutukset, elinikä- ja käyttövarmuustavoitteet, kustannusarviot, kannattavuustarkastelut ja rahoituskartoituksen, toteuttamisen pääsuunnitelman yleisaikatauluineen sekä riskien ja ongelmien kartoituksen (PSK 2620, 2009). Esisuunnitteluvaiheen jälkeen voidaan siirtyä perussuunnitteluun, mikäli hanke nähdään järkevänä ja toteutuskelpoisena. Perussuunnitteluvaiheessa kerätään lisätietoa hankkeen alustavan kustannusarvion tueksi. Tämä vaihe sisältää prosessivirtojen, tärkeimpien laitteiden ja niiden sijoittelun jalostamisen. Toteutussuunnittelussa kaikki suunnitelmat viedään tarkemmalle tasolle, jotta kaikki tarvittava on valmiina kohteen rakentamiseen, valmistamiseen, asentamiseen, käyttöönottamiseen, kunnossapitoon ja käyttöön (ÅF Pöyry, 2020).

## 2.3 Layoutsuunnittelu

Layoutsuunnittelun tehtävä on tuotantolaitoksen sijoitussuunnittelu, eli laitoksen sijoitus määritetylle alueelle, laitosyksiköiden järjestely sekä laitesijoitukset. Layoutsuunnittelussa laitoksen tärkeimmille laitteille ja osastoille suunnitellaan sijoitukset ja tilavaraukset siten, että ne ovat prosessin toimivuuden kannalta mahdollisimman järkeviä ja tarvittaessa tilaa jää myös tulevaisuuden laajennuksia varten. Lähtötietona layoutsuunnittelulle toimii prosessisuunnittelussa tuotettu putkisto- ja instrumentointikaavio eli PI-kaavio. PI-kaaviossa esitetään toiminnallinen kokonaiskuva prosessista, eli kuvataan kaikki prosessiin kuuluvat laitteet, putkilinjat ja niiden liittynät, sekä niille annetaan yksilöivät tunnukset.

Prosessialueet, rakennukset, kulkuväylät ja kaikki muu laitokseen liittyvät toiminnallisuudet on järjesteltävä alueelle siten, että materiaalivirtaus olisi mahdollisimman sujuvaa ja edestakaista virtausta tulisi välttää. Layoutsuunnittelussa koko laitoksen käytettävyyden ja huollettavuuden sekä myös laitteiston asennettavuuden on otettava huomioon (AFRY Manuals, 2023).

Layoutsuunnittelussa tuotetaan rakennussuunnittelun tarvitsemat lähtötiedot eli lopputuotteena on laitoksen sijoituspiirustus (PSK 7503, 2013). PSK 5805 standardin määritelmän mukaan tehdassijoituspiirustus on piirustus, jossa esitetään tehdasalueen prosessiyksiköt aputoimintoihin ja liittymätietoihin. Dokumentista tulee käydä ilmi mittakaava, piirustusarkin koko, dokumentin otsikko, laitospuoleisuuden ja sen osien sijainti mitoitettuna tunnettuun koordinaattipisteeseen, sekä tason tai lakikorkeuden asema valtakunnallisen korkeusjärjestelmän mukaiseen merenpinnan tasoon nähden. Mittalukujen yksikkönä on millimetri (PSK 5805, 2002). Layoutsuunnittelun lopputuotteena syntyvät dokumentit voidaan jakaa piirustuksen mittakaavan ja sisällön mukaan yleisiin koko tehdasalueen sijoituspiirustuksiin (plot plan / mill site layout) ja prosessialuekohtaisiin sijoituspiirustuksiin (department layout). Koko tehdasalueen sijoituspiirustuksen tyypillinen mittakaava on 1:500, 1:1000, 1:2000 tai 1:5000. Aluekohtaisen sijoituspiirustuksen suositeltu mittakaava on 1:200, mutta myös 1:100 ja 1:500 mittakaavoja voidaan tapauskohtaisesti käyttää (AFRY Manuals, 2023). Prosessialuekohtaiset sijoituspiirustukset sisältävät usein sekä taso- että leikkauskuvantoja, eli prosessialue on kuvattu suoraan ylhäältäpäin sekä sivulta valituista leikkauskohdista. Leikkauskohdat pyritään valitsemaan siten, että niissä saadaan hyvin havainnollistettua laitoksen yksityiskohtia.

Sijoituspiirustuksessa käytetään ruudukkoa (grid), joka auttaa sijoittamaan laitoksen osat ja elementit tarkasti ja suhteellisesti oikeisiin kohtiin piirustuksissa. Ruudukko koostuu tasavälein toistuvista vaakasuorista ja pystysuorista viivoista, jotka muodostavat säännöllisen ruudukon koko sijoituspiirustuksen alueelle. Pystysuorat linjat numeroidaan järjestyksessä vasemmalta oikealle ja

vaakasuorat linjat merkitään nousevaan aakkosjärjestykseen alhaalta ylös (PSK 5806, 2002). Ruudut voidaan mitoittaa sopiviksi sijoituspiirustuksen mittakaavan mukaisesti. Esimerkiksi, jos piirustuksen mittakaava on 1:200, ruudukon väli voi olla 10 millimetriä, mikä vastaa 2 metriä todellisessa mittakaavassa. Prosessialuekohtaisissa sijoituspiirustuksissa linjat pyritään asettamaan siten, että jokainen linja on rakennuspilarilinjan keskiviivalla. Ruudukko luo ikään kuin piirustuskohtaisen koordinaatiston ja sen avulla voidaan toteuttaa tarkka mittakaava ja mittasuhteiden hallinta sijoituspiirustuksissa. Ruudukon viivat toimivat ohjeina, joiden avulla laitoksen eri osat ja elementit voidaan sijoittaa oikein suhteessa toisiinsa. Ruudukon avulla suunnittelija voi myös helposti tarkistaa ja muokata piirustusta tarpeen mukaan. Ruudukon avulla voidaan havaita mahdolliset virheet tai epä johdonmukaisuudet sijoittelussa ja korjata ne. Lisäksi ruudukolla voidaan varmistaa, että tulevaisuuden laajennuksille tai muutoksille jätetään tarpeeksi tilaa.

## 2.4 Putkistosuunnittelu

Putkistosuunnittelu on laitossuunnitteluprojektin suurin osa-alue, ja se kattaa noin kolmasosan laitossuunnitteluun käytetyistä työtunneista. Valmiin laitoksen putkiston osuus materiaalikustannuksista on noin 20–25 % ja asennustyökustannuksista 40–50 % (Kesti, 1992). Putkiston tehtävänä on kuljettaa prosessissa tarvittavat virtaavat aineet, esim. neste, höyry ja ilma, prosessilaitteelta toiselle sekä tuotantoyksiköltä varastolle. Putkireitti voi olla mikä tahansa putkille varattu reitti. Se voi kulkea maassa tai maan alla, veden alla, putkisillalla tai putkitunnelilla tai osaston sisällä olevalla putkistoalueella.

Putkistosuunnittelu saa lähtötietonsa PI-kaaviosta, eli putkireitit pyritään mallintamaan siten, kuten ne on PI-kaaviossa esitetty. Ensin mallinnetaan suurimmat putkilinjat, ja ne pyritään yleensä kokoamaan siististi pääreiteille yhdensuuntaisesti rakennuspilarilinjojen kanssa. Suunnittelun edetessä pienemmät putkilinjat yhdistetään isompien putkien muodostamaan pääputkireittiin. Putkireitin pituus pyritään minimoimaan, mutta aina lyhin reitti ei kuitenkaan ole paras tai mahdollinen vaihtoehto. Putkireitin suunnittelussa on reitin pituuden lisäksi otettava useita seikkoja huomioon.

Putkisto tulee suunnitella niin, että sen asennus ja huolto onnistuvat. Putkien väliin on jätettävä riittävästi tilaa, jotta putkistoa voidaan tarvittaessa purkaa tai muokata vaurioittamatta muita putkilinjoja. Tilavaraukset tulevaisuudessa asennettaville putkilinjoille on otettava huomioon. Tyypillinen laajennusmarginaali on 20–30 %. Putkireittejä ei saa suunnitella siten, että ne ovat kulku- tai ajoreittien tiellä. Suositeltu putken alapinnan minimikorkeus sisätilojen kulkureiteillä on 2,2 metriä, ulkotiloissa 3 metriä, ja 5 metriä liikennöidyissä ulkotiloissa.

Syttyviä tai lämpöherkkiä kaasuja tai nesteitä sisältäviä putkia ei saa sijoittaa kuumien pintojen tai sähkölaitteiden läheisyyteen. Putkistoja ei saa sijoittaa prosessilaitteiden yläpuolelle sellaisiin kohtiin, joissa putkisto voi altistua höyrylle. Avoimien prosessilaitteiden yläpuolelle ei myöskään saa sijoittaa sellaisia putkia, jotka voivat muodostaa kondensaatiota. Lisäksi ilma- tai nestetaskuja ei saa muodostua ja putkiston tyhjentäminen tulee olla mahdollista. Putkireitti on suunniteltava siten, että sen kannakointi onnistuu, ja putkiston joustavuus ja lämpölaajeneminen on otettava huomioon (AFRY Manuals, 2023).

Putkireitin suunnittelu ei siis ole yksinkertainen tehtävä, ja putkistosuunnittelu vaatii useiden eri tekijöiden huomioonottamista. Putkistosuunnittelu onkin parhaan mahdollisen kompromissin etsimistä määrättyjen rajoitusten puitteissa, jotta kokonaisuus olisi mahdollisimman toimiva ja turvallinen, mutta myös taloudellisesti edullinen (Miranda & López, 2011). Prosessilaitoksen sijoitussuunnittelun ja putkireitityksen optimointia on jonkin verran tutkittu. On tehty esimerkiksi tutkimusta erilaisista tekniikoista kemiantekniikan prosessilaitoksen automaattisen putkireitityksen tekemiseksi. Reginaldo Guirardellon ja Ross E. Swaneyn julkaisemassa tieteellisessä työssä ”Optimization of process plant layout with pipe routing” pyritään ratkaisemaan laitoksen layoutsuunnittelun ja putkiston reitityksen haasteita, ja hyväksyttäviä layout- ja putkireitiratkaisuja onnistutaan luomaan automatisoitujen menetelmien avulla käytännön suunnittelurajoitteita huomioon ottaen (Guirardello & Swaney, 2005).

Putkisto koostuu yleensä standardinmukaisista osista. Putkenosien koko ilmoitetaan yleensä ISO-standardin mukaisilla DN-mitoilla (diameter nominal), eli osan nimellishalkaisijalla. Suorien putkiosien lisäksi putkistoon kuuluu muitakin komponentteja, esim. käyriä, T-kappaleita, päätykappaleita ja kartioita, joiden materiaalit, mitat ja seinämäpaksuudet on tarkoin määritetty. Tyypillisesti käytetään 90-asteen käyriä, mutta myös 15-, 30-, 45- ja 60-asteen käyriä voidaan tarpeen mukaan käyttää (AFRY Manuals, 2023). Muita putkistokokonaisuuteen kuuluvia komponentteja ovat mm. erilaiset laipat, ruuvit, mutterit, tiivisteet ja venttiilit. Pumput ja säiliöt ovat myös olennainen osa kokonaisuutta. Putkistokomponentteja voidaan liittää toisiinsa esim. hitsaamalla tai käyttämällä kierteellisiä osia (PSK 4232, 2021).

Putkilinja tarkoittaa putkiston osaa, joka koostuu sellaisesta putkistokomponenttien yhdistelmästä, joka yhdistää kaksi laitetta tai laitteen ja toisen putkilinjan. Se voi myös päättyä esimerkiksi ilmaan tai nesteeseen. Putkilinja voi sisältää putken osia, venttiileitä, suodattimia, laippoja ja muita osia. Putkilinjan tarkoituksena on kuljettaa virtaavaa ainetta haluttuun paikkaan tai suorittaa tietty tehtävä prosessissa. Jokaiselle putkilinjalle annetaan putkilinjatunnus eli oma tunnusnumero, joka helpottaa sen tunnistamista ja seuranta. Tämä numero säilyy samana, kun putkilinja kulkee esimerkiksi venttiilien tai muiden osien läpi. Putkilinjan tunnuksessa ilmoitetaan virtaavan aineen tunnus, joka voi olla lyhenne tai nimi. Virtaavien aineiden nimet ja niiden lyhenteet voidaan määrittellä standardin PSK

0901 mukaan. Putkilinjan tunnuksessa ilmoitetaan myös putken nimelliskoko, joka kuvaa putken halkaisijaa. Lisäksi mainitaan putkiluokka, joka viittaa putken materiaaliin ja paineluokkaan. Putkilinjatunnukseen voi sisältyä myös lisämääreitä, kuten eristys- tai saattotieto. Tunnuksessa voidaan käyttää myös paikka- tai prosessihierarkian tunnuksia, jotka perustuvat standardiin PSK 7102. Näillä tunnuksilla voidaan viitata tiettyyn paikkaan tai prosessiin putkilinjan merkinnässä. Nämä lisätiedot auttavat täsmentämään putkilinjan ominaisuuksia tai erityispiirteitä (PSK 3603, 2012). Putkistosuunnittelu saa putkilinjatunnukset lähtötietona prosessisuunnittelun PI-kaavioista.

### 2.4.1 Putkiluokat

Putkiluokalla tarkoitetaan samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa, jossa mitat ja materiaalit on määritetty. Putkiluokat on määritelty PSK:n standardiryhmässä 42 (PSK 4201, 2017). Niiden tarkoituksena on helpottaa ja yhtenäistää putkilinjojen suunnittelua, valmistusta, asennusta, testausta ja ylläpitoa. Putkiluokkia käytetään varmistamaan, että eri putkiluokkiin kuuluvat putkistot täyttävät vaaditut laatu-, turvallisuus- ja toiminnallisuusstandardit.

Putkiluokat määritellään ottaen huomioon putkiston käyttötarkoitus, virtaava aine, paineluokka, lämpötila, paineentasaustarve ja muut prosessiin liittyvät tekijät. Jokaiselle putkiluokalle on määritelty erilaiset tekniset vaatimukset ja suunnitteluperusteet, jotka liittyvät putkiston mitoittamiseen, materiaaleihin, hitsaukseen, testaukseen, merkintöihin ja muuhun olennaiseen toimintaan.

Putkiluokat merkitään putkiluokkatunnuksilla, jotka kuvaavat kyseisen putkiluokan ominaisuuksia. Merkinnät sisältävät tietoa putkiluokasta, paineluokasta, materiaalista, ja muita tarvittavia teknisiä tietoja. Suomessa yleisesti käytetty merkintätapa on PSK:n standardin mukainen ja se sisältää putkiluokkastandardin, kirjaimen E, nimellispaineen lukuarvon (bar), materiaalitunnuksen ja lisätunnuksen.

Esimerkiksi ”putkiluokka PSK 4232 E10H1A” kuvaa putkiluokkaa, joka on määritetty standardissa PSK 4232. Kirjain E on ns. EN-viite ja se osoittaa, että putkiluokka perustuu EN-standardeihin. Luku 10 kuvaa putkiston nimellispainetta eli paineluokkaa, joka ilmaisee putkiluokan salliman enimmäispaineen. Paineluokka kuvaa putkiluokan painekestävyyttä ja auttaa suunnittelijaa valitsemaan oikean putkiluokan tiettyyn paineeseen liittyvien vaatimusten perusteella. Kyseisellä putkiluokalla se on 10 bar. H1 on materiaalitunnus ja se määräytyy virtaavan aineen kanssa kosketuksissa olevan putken materiaalin mukaan. H1 on austeniittisen CrNi-teräksen tunnus. Putkiluokan lopussa oleva kirjain A on lisätunnus. Lisätunnuksella erotetaan toisistaan samalle

nimellispaineelle ja samalle materiaalille laaditut putkiluokat, jotka jollakin tavoin, esim. mitoiltaan tai valmistustekniikaltaan, eroavat toisistaan. Usein kaavioissa, luetteloissa tai muissa vastaavissa yhteyksissä käytetään lyhennettyä tunnusta, esim. E10H1A (PSK 4201, 2017).

## 2.4.2 Putkiston kannakointi

Putkiston kannakointi on olennainen osa putkistosuunnittelua. Putkiston kannakoinnin ensisijaisena tarkoituksena on tukea putkiston omaa ja sen sisällä virtaavan aineen painoa sekä siihen kohdistuvia pysyviä kuormituksia, esimerkiksi tuulen ja lumen aiheuttamia kuormia. Kannakoinnin tehtävänä on ohjata ja estää putkiston lämpöliikkeitä, jotta putkistoon, kannakkeisiin ja putkistokokonaisuuteen liittyviin laitteisiin ei kohdistu liian suuria lämpölaajenemisesta aiheutuvia rasituksia. Lämpöliikkeistä johtuvat voimat voivat olla suuria ja vaikuttaa kaikissa suunnissa, joissa liike estetään. Kannakoinnilla varmistetaan putkiston turvallinen käyttö ja kunnossapito prosessin tarpeet huomioiden. Putkiston dynaamisia kuormituksia, kuten paineiskuja ja epästationaarisen virtauksen aiheuttamia värähtelyjä, hallitaan myös kannakkeiden avulla lisäämällä putkistoon kiintopisteitä ja ohjauksia. Tällöin myös lämpöliikkeiden aiheuttamat rasitukset kasvavat. Kannakointisuunnittelun tavoitteena onkin löytää paras mahdollinen kompromissi erilaisten vaatimusten välillä (AFRY Manuals, 2023). Kannakoinnin suunnitteluun on olemassa erillisiä ohjelmistoja, jotka helpottavat suunnittelijoiden työtä kannakkeiden sijoittelussa.

Jo esisuunnitteluvaiheessa pääputkilinjojen kannakointi tulisi ottaa huomioon ja mahdollisuuksien mukaan hyödyntää laitoksen rakenteita kiintopisteinä. Tällöin kiintopisteisiin kohdistuvat merkittävät voimat voidaan ottaa huomioon myös rakennesuunnittelussa. Aina rakenteista ei ole mahdollista saada tarvittavia kiintopisteitä ja joudutaan suunnittelemaan erillisiä tukirakenteita putkiston kannakoinnille.

Kannakkeiden tyypit ja materiaalit on määritetty standardeissa. Käyttämällä standardinmukaisia kannakkeita varmistetaan laatu, turvallisuus ja yhteensopivuus putkiston muiden komponenttien kanssa. Se myös helpottaa suunnittelua ja tarkastusprosesseja sekä tarjoaa varmuuden siitä, että putkistokokonaisuus on suunniteltu ja asennettu alan parhaiden käytäntöjen mukaisesti.

PSK:n standardin mukaiset kannakkeet voidaan jakaa primääri- ja sekundäärikannakkeisiin.

Primäärikannakkeilla tarkoitetaan kannakeosia, jotka kiinnittyvät itse putkeen. Esimerkiksi putkisangat, liukujalat, ohjaimet ja estopalat luokitellaan primäärikannakkeiksi.

Sekundäärikannakkeita ovat sellaisia kannakkeiden osia, joihin primäärikannakkeet kiinnitetään ja jotka kiinnittyvät rakenteisiin tai erillisiin tukirakenteisiin. Esimerkiksi standardissa PSK 7390 määritetyt ulokekannattimet luetaan sekundäärikannakkeiksi (PSK-käsikirja 8, 2019).

### 2.4.3 Putkistosuunnittelun dokumentit

Putkistosuunnittelussa tuotettavia dokumentteja ovat mm. putkireitti- ja leikkauspiirustukset, isometriset piirustukset, kannakepiirustukset sekä erilaiset raportit, kuten materiaalilistat.

Putkireitti- ja leikkauspiirustus on yksinkertaistettu esitys putkiston sijainnista ja reiteistä ja sillä voidaan sekä määrittää putkiston tilantarve laitoksen eri osa-alueilla. Dokumentissa esitetään putkien, eristysten, kannakkeiden ja putkistovarusteiden vaatima tila. Piirustuksessa putkilinjat mitoitetaan peruslinjoista, rakennustasosta tai erikseen sovitusta mitoituslinjoista. Putkireitti- ja leikkauspiirustusta hyödynnetään myös kustannusarvion laadinnassa. Se auttaa arvioimaan materiaalitarpeita, kannakkeiden tarvetta, eristysmateriaalien määrää ja muita kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Näiden tietojen avulla voidaan tehdä realistinen arvio putkistoprojektin kokonaiskustannuksista. Lisäksi putkireitti- ja leikkauspiirustusta käytetään toteutussuunnittelun lähtötietona. Se tarjoaa perustiedot putkiston reiteistä ja niiden sijainnista, mikä auttaa suunnittelijoita jatkokehittämään suunnitelmia ja tekemään tarvittavia muutoksia (PSK 5801, 2003).

Taso- ja leikkauspiirustus on sijoituspiirustus, jossa esitetään putkilinjojen sijainti ympäröiviin rakenteisiin, laitteisiin ja muuhun putkistoon nähden riittävin mitoin täsmennettynä. Sitä käytetään putkiston asennuksessa ja antamaan yksityiskohtaista tietoa muille teknisille toimialoille. Taso- ja leikkauspiirustuksissa esitetään putken keskilinjan sijainti ja se mitoitetaan yleensä laitteiden pääyhteistä, laitteiden keskilinjasta, pilarilinjoista tai muista soveltuvista mitoituskohdista. Tasopiirustukset laaditaan yleensä rakennustasoin tai prosessialueittain. Jokainen piirustusalue rajataan valitun piirustuskoon ja mittakaavan mukaan, ja se sisältää kokonaisuuden, joka jää pilari- tai mitoituslinjojen sisään. Leikkauspiirustukset täydentävät tasopiirustuksia tarjoamalla tietoa putkiston sijainnista (PSK 5802, 2003).

Isometrinen piirustus eli isometri on yksinkertaistettu havainnollistava piirustus, jossa putkisto esitetään kolmiulotteisesti. Yleensä yksi putkilinja esitetään yhdellä isometrilihdellä. Isometriin liitetään osaluettelo, josta selviää kaikki kyseiseen putkilinjaan sisältyvät komponentit. Osaluettelossa ilmoitetaan esimerkiksi putkien pituudet, halkaisijat, materiaalit, käyrät, T-kappaleet ja muut tarvittavat osat ja varusteet, kuten venttiilit, liittimet ja kannakkeet. Osaluetteloa hyödynnetään putkilinjan valmistuksessa ja asennuksessa (PSK 5803, 2003).

Nykyään laitoksen 3D-mallilla on suuri rooli. Joissain tapauksissa pelkkä 3D-malli saattaa riittää, eikä erillisiä taso- tai leikkauspiirustuksia edes laadita. Kolmiulotteisen mallin avulla putkistokokonaisuus on helpompi hahmottaa kuin kaksiulotteisesta kuvasta ja sitä voidaan tarkastella suhteessa muihin

suunnittelualoihin. Yhteensovitukset ja törmäystarkastelut onnistuvat 3D-mallin avulla, ja eri suunnittelualat voivat tarkastella laitoskokonaisuutta ja hyödyntää sitä oman suunnittelualansa tukena. Useat CAD-ohjelmistot toimivat sillä periaatteella, että laitoksen 3D-malli luodaan ensin ja sen pohjalta voidaan luoda taso-, leikkaus- ja isometripiirustukset sekä erilaiset raportit, kuten massalistasat. Muutokset voidaan tehdä 3D-malliin ja muut dokumentit päivittyvät sen pohjalta ilman, että muutoksia tarvitsisi erikseen tehdä jokaiseen dokumenttiin. 3D-mallista tuotetaan usein myös kevyempi ja helppokäyttöisempi katselumalliversio (Pere, 2021). Katselumalliin voidaan julkaista vain laitoksen olennaiset osat ja sen tarkastelu onnistuu kevyemmillä 3D-katseluohjelmilla. Katselumalliohjelmistojen lisenssit ovat edullisempia, kuin suunnittelutyöhön tarkoitettujen 3D-ohjelmistojen lisenssimaksut.

## 2.5 Roolit laitossuunnitteluprojektissa

Laitossuunnitteluprojektien laajuuden ja suurien tietomäärien vuoksi on tärkeää, että projektitiimissä kaikilla tiiminjäsenillä on selkeät tehtävät ja roolit. Tämä helpottaa tiedonkulkua sekä selkeyttää tehtävien hoitamista ja kokonaisuuden hallintaa.

Projektipäällikkö on projektin vastuullinen johtaja, joka valvoo koko projektin etenemistä. Projektipäällikkö vastaa aikatauluista, budjetista ja resurssien hallinnasta. Hänen tehtävänä on koordinoita tiimin jäseniä ja varmistaa, että projekti etenee suunnitellusti.

Tiiminvetäjän vastuulla on koko suunnittelualakohtaisen suunnittelutiimin johtaminen ja työtehtävien koordinointi. Tiiminvetäjä toimii yleensä kontaktina oman tiiminsä, projektin johtoryhmän ja asiakasyrityksen välillä.

Suunnittelijat ovat projektin tuottava taho. He tekevät suunnittelutyötä, jonka lopputuotteena ovat laitossuunnittelun dokumentit. Heidän pääasiallisia työkalujaan ovat CAD-ohjelmistot. Jokaisella suunnittelualalla on omat kyseiseen alaan erikoistuneet suunnittelijansa, ja usein tiimissä on myös erikseen pääsuunnittelija. Hän on päävastuussa kyseisen suunnittelualan työskentelystä ja varmistaa, että suunnitelmat tehdään asianmukaisesti ja suunnitellun aikataulun puitteissa. Pääsuunnittelija ohjaa suunnittelutyön priorisointia ja varmistaa suunnitelmien yhtenäisyyden ja laadun. Hän raportoi suunnittelualansa työn etenemisestä tiiminvetäjälle tai projektipäällikölle.

Joissain projekteissa on erillinen pääkäyttäjä eli admin-henkilö, jonka tehtävänä on CAD-ohjelmiston hallinnallisista tehtävistä vastaaminen. Hän huolehtii suunnitteluohjelmiston teknisestä toimivuudesta ja siitä, että suunnittelijoilla on käytössään tarvittavat spesifikaatiot, jotta mallintaminen onnistuu

sovittujen standardien mukaisilla komponenteilla. Projektin alussa pääkäyttäjä yleensä perustaa projektiympäristön, jossa suunnittelijoiden työskentely tapahtuu.

Suurissa projekteissa, joissa myös tuotettavien dokumenttien määrä on suuri, saattaa olla erikseen dokumentoinnista vastaava henkilö (document controller). Hän vastaa projektissa tuotettavien dokumenttien arkistoinnista ja toimituksista, ja hänen erikoisalaansa on dokumentinhallintaohjelmistojen ylläpitäminen ja päivittäminen.

## 2.6 Suunnitteluohjelmat

Tietokoneavusteinen suunnittelu on 2D-piirustuksien ja 3D-mallien, sekä erilaisten laskelmien ja raporttien luomista digitaalisessa muodossa CAD-ohjelmistojen avulla. Tietokoneavusteisessa suunnittelussa käytettävät ohjelmat pitävät usein sisällään useita apuohjelmia ja muodostuvat useista eri sovelluksista. Tämän vuoksi usein puhutaan CAD-ohjelmistoista (Pere, 2021). Erilaiset CAD-ohjelmistot ovat olennainen työkalu nykypäivän insinöörin suunnittelutyössä, ja ne ovat käytännössä täysin korvanneet perinteisen manuaalisen piirtämisen ja laskemisen. Tietokoneavusteisen ohjelmistot tarjoavat mahdollisuuden ratkaista monimutkaisempia ongelmia nopeammin, kuin manuaaliset työskentelytavat. Tämä on mahdollistanut sen, että insinöörien työn painopiste on siirtynyt ongelmanratkaisusta suunnitteluun (Peters & Timmerhaus, 1991). Laitossuunnitteluun on tarjolla useita erilaisia CAD-ohjelmistoja, joissa on eri suunnittelualoille räätälöidyt työkalut.

Laitossuunnitteluun käytettävän CAD-ohjelman vaadittuja ominaisuuksia ovat mm. eri suunnittelun osa-alueille soveltuvat ohjelmistomoduulit ja erikoistyökalut, rinnakkaisen suunnittelun mahdollisuus eli useamman suunnittelijan samanaikainen työskentely, komponenttien metadata sekä yhteensovittavuus muiden tarvittavien 3D-ohjelmistojen ja järjestelmien kanssa.

Laitossuunnitteluohjelmiston oleellinen ominaisuus on, että erilaiset laitokseen kuuluvat osiot voidaan mallintaa, ja että mallinnus voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella (Taitotalo, 2022). Sen vuoksi laitossuunnitteluohjelmistoissa on erilaisia työkaluja eri suunnittelualoille, esimerkiksi omat sovellukset tai ohjelmistomoduulit laite-, putkisto- ja kannakesuunnitteluun.

Useimmissa laitossuunnitteluohjelmissa suunnittelu perustuu 3D-mallintamiseen. Laitoksen 3D-malli auttaa hahmottamaan laitoksen eri osien, laitteiden ja komponenttien tilantarvetta ja suhteellista sijoitusta toisiinsa nähden. Eri suunnittelualojen yhteensovitus ja törmäystarkastelut onnistuvat 3D-mallin avulla. Kolmiulotteisen mallin pohjalta voidaan tuottaa erilaisia dokumentteja, kuten raportteja, taso- ja leikkauspiirustuksia ja isometrejä. Kun mallinnettuihin komponentteihin on kytketty älykästä dataa, saadaan tiedot automaattisesti dokumentteihin eikä manuaalista tietojen täydennystä tässä

vaiheessa enää tarvita. Muutoksien tekemistä voidaan kontrolloida 3D-mallista käsin, eikä jokaista dokumenttia tarvitse manuaalisesti korjata (Cadmatic Academy, 2018).

Tietokoneavusteisessa mallintamisessa jokin todellisen elämän fyysinen kohde, esimerkiksi tuote tai tuotantolaitos esitetään digitaalisessa muodossa. Virtuaalinen malli esitetään matemaattisten algoritmien ja graafisien esityksien avulla (Bi & Wang, 2020) ja niiden on tarkoitus vastata tosielämän kohteita ennen niiden toteutusta tai valmistusta. Näin voidaan simuloida tuotteiden tai tuotantolaitoksien toimivuutta virtuaalisesti ennen niiden valmistusta tai käyttöönottoa. Yleensä 3D-malleista pyritään tekemään mahdollisimman hyvin tosielämän objekteja vastaavia, mutta joissain tapauksissa malleja yksinkertaistetaan tarkoituksella. Mallien yksinkertaistaminen vähentää mallinnukseen käytettävää aikaa ja tiedostokoot pystytään pitämään maltillisina (Pere, 2021). Usein laitossuunnittelussa riittävällä tarkkuudella tehdyt tilavaraukset riittävät hyvin palvelukseen käyttötarkoitustaan, eikä koko laitoksen kaikkia laitteita tai putkenosia ole tarpeenmukaista mallintaa täysin tarkasti.

### 2.6.1 CAD-mallinnuksen peruseriaatteet

CAD-ohjelmistojen käyttöliittymän kieli on usein englanti, ja monet englanninkieliset termit ovat hyvin vakiintuneita alalla ja jopa tunnetumpia kuin suomenkieliset vastineet, ja suunnittelijat saattavat käyttää niitä suomen kielen yhteydessä. Tämän vuoksi tässä alaluvussa käytettyjen joidenkin suomenkielisten termien perään on lisätty vakiintunut englanninkielinen termi sulkumerkein erotettuna.

CAD-ohjelmistoissa käytetään yleisesti suorakulmaista eli karteesisista koordinaatistoa. Se on matemaattinen järjestelmä, jonka avulla voidaan määrittää pisteen tarkka sijainti kolmiulotteisessa tilassa kolmen, toisiaan vastaan 90 asteen kulmassa risteävän akselin avulla ( $x$ ,  $y$  ja  $z$ ) (Bi & Wang, 2020).  $X$ -akseli edustaa vaakasuuntaista suuntaa,  $y$ -akseli pystysuuntaista suuntaa ja  $z$ -akseli syvyysuuntaa. Yhdistämällä näiden akselien suunnat saadaan tarkasti määritelty piste kolmiulotteisessa tilassa.

CAD-ohjelmistoissa käytetään usein absoluuttista koordinaatistoa, eli kiinteää koordinaatistoa, jossa kaikki pisteet ja geometriset elementit määritellään suhteessa kiinteään alkupisteeseen tai alkuperäiseen pisteeseen. Tämä alkupiste toimii CAD-ohjelman absoluuttisena origona, ja sen koordinaatit ovat nolla ( $x=0$ ,  $y=0$ ,  $z=0$ ). Kaikki muut pisteet ja elementit sijoitetaan tämän origon suhteen. Absoluuttisessa koordinaatistossa jokainen piste kuvataan kolmen numeron avulla ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), jotka osoittavat pisteiden etäisyyden  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ -akseleilta alkuperästä. Absoluuttinen koordinaatisto

tarjoaa kiinteän ja vakion viitepisteen, joka helpottaa geometrian sijoittamista ja mittaamista. Toinen yleisesti käytetty koordinaatistotyyppi on suhteellinen koordinaatisto. Suhteellisessa koordinaatistossa pisteiden sijainnit ilmoitetaan suhteessa toisiin pisteisiin tai viivoihin, eikä absoluuttiseen alkuperään. Tämä mahdollistaa joustavamman ja tarkemman työskentelyn, kun mallinnetaan ja siirretään kappaleita suhteessa muihin elementteihin.

Koordinaatistojärjestelmä mahdollistaa tarkan sijainnin ja mittakaavan hallinnan. Se helpottaa kappaleen luomista, muokkaamista ja sijoittelua 3D-tilassa ja sen avulla voidaan varmistaa, että suunnitellut kappaleet ovat oikeassa paikassa ja mittasuhteiltaan oikein suhteessa toisiinsa.

3D-mallinnusmetodeita ovat lanka- (wireframe modelling), pinta- (surface modelling) ja tilavuusmallinnus (solid modelling). Lankamalli, jota kutsutaan usein myös rautalankamalliksi, muodostuu kappaleelta rajaavista särmistä, jotka voivat olla viivoja, kaaria ja käyriä. Lankamalli ei sisällä tietoa kappaleen tilavuudesta, massasta tai rajapinnoista. Lankamallissa kaikki reunat näkyvät elementteinä kuvassa, eikä päällekkäisten elementtien näkyvyys ole selkeästi havaittavissa (Bi & Wang, 2020).

Pintamallinnuksessa kappaleet luodaan äärellisillä, suljetuilla pintaosilla särmien rajaamille alueille. Tällä metodilla luodun mallin kolmiulotteinen hahmottaminen on helpompaa kuin lankamallinnuksella luodun mallin, sillä tarkastelu suunnasta katsottuna piiloon jäävät särmät eivät näy (Pere, 2021). Pintamalleille voidaan määrittää pinta-aloja, mutta ei tilavuutta tai massakeskipistettä, sillä malli ei osaa määrittää, onko suljetun kolmiulotteisen rajauksen sisälle vai ulkopuolelle jäävä alue mallinnettava kappale (Bi & Wang, 2020).

Tilavuusmallinnus on edistynein ja nykyään yleisimmin käytetty metodi. Tilavuusmallinnuksessa kappale mallinnetaan joukoksi kiinteitä peruselementtejä, jotka yhdessä muodostavat kappaleen geometrian. Peruselementit ovat yksinkertaisimpia tilavuuskappaleita, ja ne voivat olla esimerkiksi kuutioita, sylintereitä, palloja tai kartioita (Bi & Wang, 2020). Tilavuusmallilla on siis tilavuus, ja sille voidaan määrittää paino ja massakeskipiste. Törmäystarkastelut onnistuvat myös tilavuusmallien avulla (Pere, 2021). Tilavuusmallia kutsutaan usein myös solidimalliksi.

CAD-ohjelmistojen välillä voi olla eroavaisuuksia, mutta tyypillisesti kappaleen mallintaminen alkaa 2D-geometrian luomisella. Kappaleen perusmuoto luonnostellaan kaksiulotteisena viivageometriana ja se mitoitetaan ja rajoitetaan esimerkiksi suorat kulmat sekä yhdenmittaiset ja yhdensuuntaiset linjat. Luonnoksesta voidaan pursotus- (extrude), pyörytys- (revolve) tai pyyhkäisykomennolla (extrude along) luoda kolmiulotteinen tilavuusmalli. Ohjelmistoissa voi olla myös työkaluja valmiiden perusmuotojen luomiseen, esimerkiksi pallomaisten tai laatikkomaisten tilavuuskappaleiden

luomiseen, jolloin perusmuodon luonnosteluvaihetta ei tarvitse tehdä (Pere, 2021). Usein myös viisteiden (chamfer), pyöristyksien (filler), aukkojen (cut), reikien (hole) ja kotelo- tai kuorimallien (shell) tekemiseen on omia erillisiä työkaluja. Tilavuuskappaleita voidaan muokata yhdistämis- ja poistamiskomennoilla (boolean). Päällekkäisiä tilavuuskappaleita voidaan yhdistää (unite) tai vähentää (subtract) toisistaan, sekä toistensa kanssa risteävät osat voidaan leikata (intersect). Tyypillisiä muokkaustoimintoja CAD-ohjelmistoissa ovat myös erilaiset siirtämis- (move), kopiointi- (copy), kierto- (rotate), skaalaus- (scale), venytys- (stretch) ja peilauskomennot (mirror). Kappaleita voidaan komentojen avulla myös monistaa ja järjestää ryhmittäin (array).

## 2.6.2 Parametrinen mallinnus

Parametrinen mallintaminen on tehokas lähestymistapa CAD-suunnittelussa ja se mahdollistaa monimutkaisen 3D-geometrian luomisen ja muokkaamisen parametrien avulla. Mallinnettavaan kappaleeseen määritetään parametreja, kuten kokoa, muotoa tai sijaintia määrittäviä arvoja sekä näiden välisiä relaatioita eli riippuvuussuhteita. Kun parametreja muutetaan, geometria muokkautuu automaattisesti vastaamaan uusia arvoja.

Parametrisen mallintamisen avulla voidaan helposti ja nopeasti luoda samankaltaisia muotoja. Sen sijaan, että mallinnettaisiin toistuvia samankaltaisia geometrioita erikseen, voidaan mallintaa geometria kertaalleen parametrisoituna ja muokata parametreja tarpeen mukaan. Tämä säästää aikaa ja vaivaa suunnitteluprosessissa. Muutokset yhdessä suunnitteluvaiheessa vaikuttavat automaattisesti muihin vaiheisiin, jotka ovat riippuvaisia näistä parametreista. Parametrisen mallintamisen etuja ovat joustavuus, iteratiivinen suunnittelu, muutosten hallinta ja suunnittelun tehokkuus. Parametrisen mallintamisen avulla pystytään testaamaan erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja ja optimoimaan malleja nopeasti. Parametrinen mallinnus soveltuu erityisen hyvin toistuvien muutoksien automatisointiin esimerkiksi saman tuoteperheen erikokoisten kappaleiden mallintamiseen.

Parametrisessa mallintamisessa voi kuitenkin olla myös joitain haasteita. Parametrit on määriteltävä huolellisesti, jotta malli toimii odotetusti. Jos parametrit on määritelty epätarkasti tai puutteellisesti, se voi aiheuttaa ongelmia ja virheitä mallissa. Lisäksi parametrisessa mallintamisessa on huomioitava, että liian monimutkaiset parametrit voivat tehdä mallista vaikeasti hallittavan ja ylläpidettävän, ja mallin koko voi nopeasti kasvaa suureksi. Jos parametrien keskinäisiä riippuvuuksia ei ole määritetty oikein, pienetkin muutokset voivat saada mallin epävakaaaksi. (Camba & Contero, 2016) Parametrinen suunnittelu vaatii siis erityistä täsmällisyyttä ja suunnitelmallisuutta jo ennen varsinaista mallinnusta.

### 2.6.3 Ohjelmistomoduulit

Laitossuunnitteluun tarkoitetuissa CAD-ohjelmistoissa on usein modulaarinen rakenne, eli ohjelmisto sisältää omat moduulinsa eri suunnittelun aloille (Pere, 2021). Monissa suunnitteluohjelmissa on valmiita työkaluja ja komponenttikirjastoja, joiden avulla esimerkiksi putkiston mallintaminen onnistuu standardinmukaisilla osilla, eikä osien geometriaa tarvitse itse mallintaa. Lisäksi geometriaan kytkeytyy älykästä dataa, esimerkiksi tietoa komponentin mitoista ja materiaalista. Ohjelmistoihin voidaan liittää standardeihin perustuvia spesifikaatioita, eli teknisiä dokumentteja, joissa määritellään komponenttien, esimerkiksi putkenosien, tarkat koko- ja materiaalitiedot (Bentley, 2020).

Spesifikaatiot toimivat rajattuina komponenttikirjastoina, joihin on suodatettu vain tiettyyn standardiin kuuluva valikoima komponentteja. Näin suunnittelija voi varmistua siitä, että hänen mallintamansa komponentit ovat varmasti käyttötarkoitukseen sopivia. Ohjelmistomoduulit ja spesifikaatiot rajaavat ja ohjaavat suunnittelua, kun tarjolla on vain sallitun kokoisia ja muotoisia komponentteja (Pere, 2021).

Ohjelmistomoduuleissa on usein myös työkaluja tietyn suunnittelualan dokumenttien luomiseen. Esimerkiksi putkistosuunnitteluun tarkoitettussa moduulissa voi olla valmiit työkalut isometrien ja komponenttien massaluetteloiden luomiseen. Nämä dokumentit eroavat jonkin verran esimerkiksi sähkösuunnittelussa tuotettavista dokumenteista, ja ohjelmistomoduuliin voidaan kytkeä näihin nimenomaisiin dokumentteihin tarvittavat valmiiksi räätälöidyt dokumenttipohjat.

Kolmas hyöty ohjelmistomoduuleissa ja valmiissa komponenttikirjastoissa on se, että niistä saadaan komponenttien tiedot siirtymään suoraan dokumentteihin. Kun mallinnukseen on käytetty standardinmukaisia osia, joihin on kytkettynä kaikki tarvittava tieto, esimerkiksi tiedot putken halkaisijasta, materiaalista, paineluokasta ja virtaavasta aineesta, voidaan nämä tiedot saada ilman manuaalista täydennystä näkyviin esimerkiksi isometripiirustuksiin. Tämä säästää dokumentointiin käytettävää aikaa. Korjauksia piirustuksiin ei tarvitse myöskään tehdä manuaalisesti, kun piirustus voidaan luoda 3D-mallin pohjalta.

### 2.6.4 OpenPlant

OpenPlant-ohjelmistoperhe on amerikkalaisen ohjelmistokehitysyritys Bentley Systemsin tuote. Yhtiön ohjelmistot palvelevat mm. rakennus-, tehdas- ja siviilisuunnittelua. Heidän ohjelmistotuotteitaan käytetään suurten rakennusten, kuten teiden, rautateiden, siltojen, rakennusten, teollisuuslaitosten, voimalaitosten ja sähköverkkojen suunnitteluun (Bentley, 2023).

Tässä aluvuussa esitellään lyhyesti AFRYn käytössä olevat OpenPlant ohjelmistot sekä sellaiset ohjelmistot, joiden käyttöönottoa yhtiön OpenPlant-kehitysryhmässä on harkittu.

OpenPlant Modeler on teollisuuslaitosten parametriseen 3D-suunnitteluun tarkoitettu mallinnusohjelma. OpenPlant Modelerissa on omat moduulinsa putkisto-, laite-, LVI-, kaapelihylly- ja rakennesuunnittelulle sekä yleisiä 3D-mallinnustyökaluja. Ohjelmalla voidaan tuottaa taso- ja leikkauspiirustuksia ja raportteja.

OpenPlant Administrator on projektiympäristöjen luomiseen ja hallintaan tarkoitettu ohjelma. OpenPlant Administratorilla määritetään projektikohtaiset asetukset ja dokumenttipohjat. OpenPlant Administrator-lisenssit ovat vain pääkäyttäjillä, eikä suunnittelijoiden tarvitse hoitaa ohjelmistokokonaisuuden hallinnointiin liittyviä tehtäviä.

OpenPlant Specification Generator on spesifikaatioiden luomiseen ja muokkaamiseen tarkoitettu ohjelma. Sen avulla kootaan valitut komponenttikatalogit ja niistä voidaan suodattaa tarvittavat komponentit halutuun kriteeriin spesifikaatioon. Spesifikaatio määrittää, millaisia komponentteja putkiston, kaapelihyllyjen tai kannakkeiden mallintamisessa voidaan käyttää. Samoin kuin Administrator-lisenssien kanssa menetellään, myös Specification Generatorin lisenssit ovat vain pääkäyttäjillä, ja spesifikaatioiden hallinta on heidän vastuualueensa.

OpenPlant Isometrics Manager on ohjelma putkistoisometrioiden luomiseen hallinnointiin. Isometrics Managerilla voidaan määrittää isometripohjan graafinen ilme, sekä mitä tietoja ja missä kohdassa isometrilehteä esitetään.

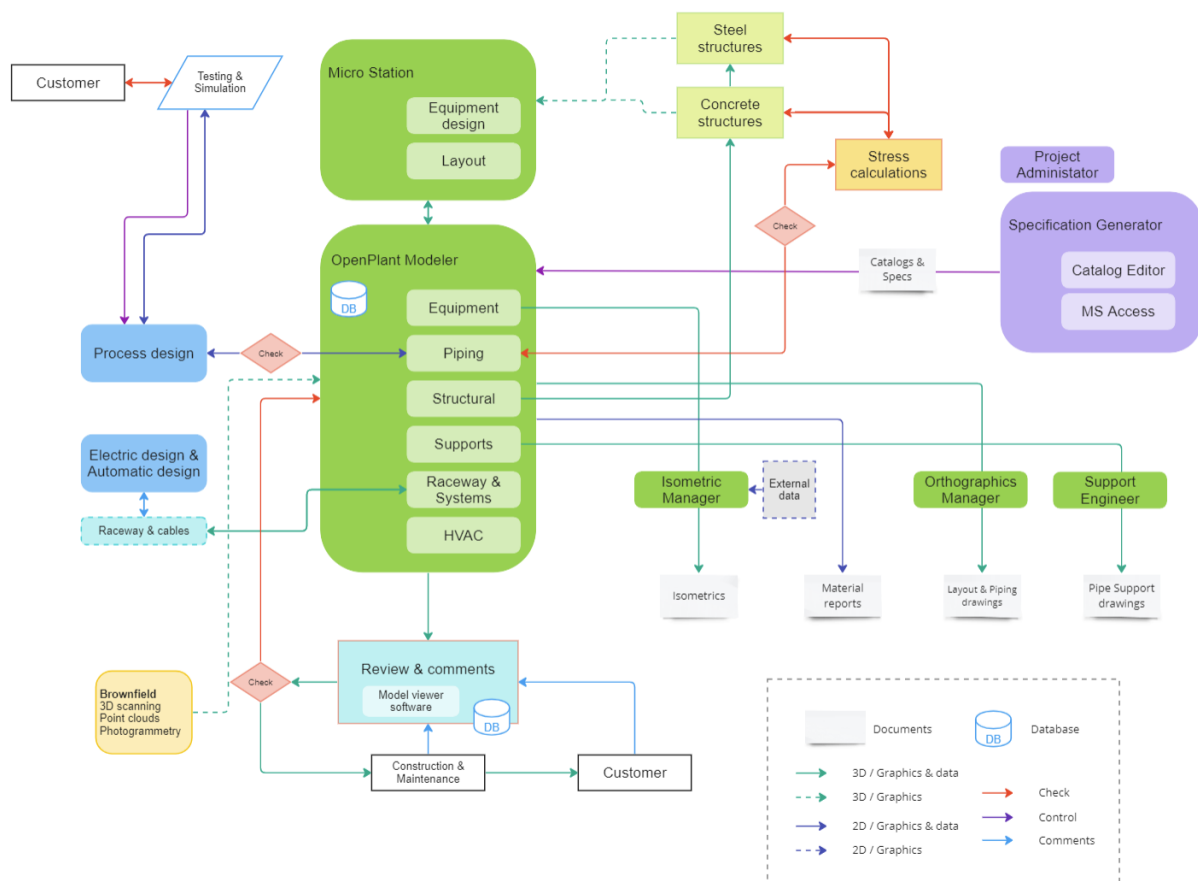
OpenPlant Support Engineer on putkiston ja kaapelihyllyjen kannakointiin soveltuva ohjelma. Sillä voidaan mallintaa kannakkeita sekä luoda kannakepiirustuksia. Support Engineer tarjoaa kannakesuunnitteluun monipuolisemmat työkalut, kuin OpenPlant Modelerin kannakesuunnittelumoduuli. Tämä ohjelma ei ole vielä AFRYllä käytössä, mutta sen käyttöönottoa on suunniteltu seuraavaksi kehitystyövaiheeksi.

OpenPlant Orthographics Manager on piirustustuotantoon tarkoitettu erillisohjelma. Ohjelman avulla voidaan automatisoida kaksiulotteisten kuvantojen tuottaminen 3D-mallista ja se sisältää OpenPlant Modeleria monipuolisemmat työkalut sijoituspiirustusten luomiseen. Tämäkään ohjelma ei ole vielä AFRYllä käytössä, mutta sen käyttöönottoa tulevaisuudessa harkitaan.

MicroStation ei varsinaisesti kuulu OpenPlant-tuoteperheeseen, mutta se on OpenPlant Modeleria vastaava Bentleyyn laitossuunnitteluohjelma, joka ei sisällä valmiita suunnittelukohtaisia

moduuleita. MicroStationia on yhtiössä käytetty layout-, laite- ja putkistosuunnitteluun ennen OpenPlant Modelerin käyttöönottoa.

Laitossuunnitteluun on tarjolla laaja kirjo erilaisia työkaluja, jotka pystytään kytkemään toisiinsa siten, että tiedonkulku eri ohjelmien välillä toimii. Kuvassa 1 on yksinkertaistettuna vuokaaviona kuvattu, miten tiedonkulku OpenPlant-tuoteperheen työkalujen ja laitosuunnitteluun liittyvien muiden tahojen välillä toimii.



Kuva 1. OpenPlant-ohjelmistojen välinen tiedonkulku sekä niihin liittyvät suunnittelutahot ja dokumentit.

Kuvassa eri ohjelmien välillä kulkeva, 3D-muodossa oleva tieto ja dokumentaatio on esitetty vihreillä nuolilla, kun taas vastaavasti tummansinisillä nuolilla on esitetty 2D-muotoinen data. Tarkastukset on esitetty punaisilla nuolilla ja hallinnointi violeteilla nuolilla. Osapuolten väliset kommentit ja huomiot on esitetty vaaleansinisillä nuolilla.

OpenPlant Modeler toimii yhtiössä pääasiallisena suunnittelutyökaluna layout- ja putkistosuunnittelulle. Ohjelmaa hallinnoidaan Project Administratorin sekä Spesifikation Generatorin kautta. Dokumentaation tuotto onnistuu suoraan OpenPlant Modelerilla, mutta tukityökaluna voidaan

käyttää erityisesti dokumenttien tuotantoon tarkoitettuja ohjelmistoja, kuten Isometric Manager, Orthographics Manager ja Support Engineer, joissa on laajempi valikoima nimenomaan dokumentaatioon tarkoitettuja työkaluja.

Lähtötietoja suunnitteluun saadaan prosessisuunnittelusta, lujuuslaskelmista ja vanhan prosessilaitoksen uudistamiseen liittyvissä projekteissa jo olemassa olevista laitoksista voidaan 3D-skannaamalla saada kolmiulotteista aineistoa pistepilvenä. Suunnitelmien esittelyä, yhteensovitusta ja kommentointia varten 3D-malli voidaan ajaa katselumalliksi, jota voidaan esittää OpenPlant Modeleria kevyemmällä katselumalliohjelmistoilla.

### 3 Tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumisen arviointi

Tietojärjestelmä on tietokoneohjelmistoa laajempi kokonaisuus, joka koostuu tiedoista ja niitä käsittelevistä henkilöistä, tietojenkäsittely- ja tiedonsiirtolaitteista, tietoja käsittelevistä ohjelmista ja tietojen käsittelysäännöistä. Se on järjestelmä, jonka tarkoitus on tehostaa jotakin toimintaa tai tehdä toiminta mahdolliseksi (Finto, 2023). Järjestelmän loppukäyttäjyrytyksen näkökulmasta tietojärjestelmän käyttöönottoprosessin elinkaari voi koostua neljästä vaiheesta; strategiasuunnittelusta (1), järjestelmän valinnasta ja vaatimusmäärittelystä (2), järjestelmän käyttöönotosta (3) ja järjestelmän kehittämisestä (4). Strategiasuunnittelu on yrityksen liiketoiminnan peruspilari ja se sisältää liiketoiminnan tavoitteet ja edellytykset tietojärjestelmälle. Tietojärjestelmähankkeen suunnittelu, järjestelmän valinta ja vaatimusmäärittely ovat itse tietojärjestelmän käyttöönottovaiheen esisuunnittelun toimenpiteitä. Tietojärjestelmän käyttöönottovaihe tarkoittaa valitun tietojärjestelmän implementointia ja siihen sisältyy myös mahdollinen järjestelmän räätälöinti. Käyttöönottoprosessin elinkaaren viimeiseksi vaiheeksi voidaan lukea tietojärjestelmän ylläpitäminen ja jatkuva kehittäminen, joka käsittää tietoteknisten valmiuksien sekä henkilöstön osaamisen ylläpitämisen ja kehittämisen (Hyötyläinen & Kalliokoski, 2001). Käyttöönottoprosessi on kokonaisuus, jonka lopputuloksena uuden järjestelmän säännönmukainen käyttö aloitetaan tai vanha järjestelmä korvataan parannetulla tietojärjestelmällä.

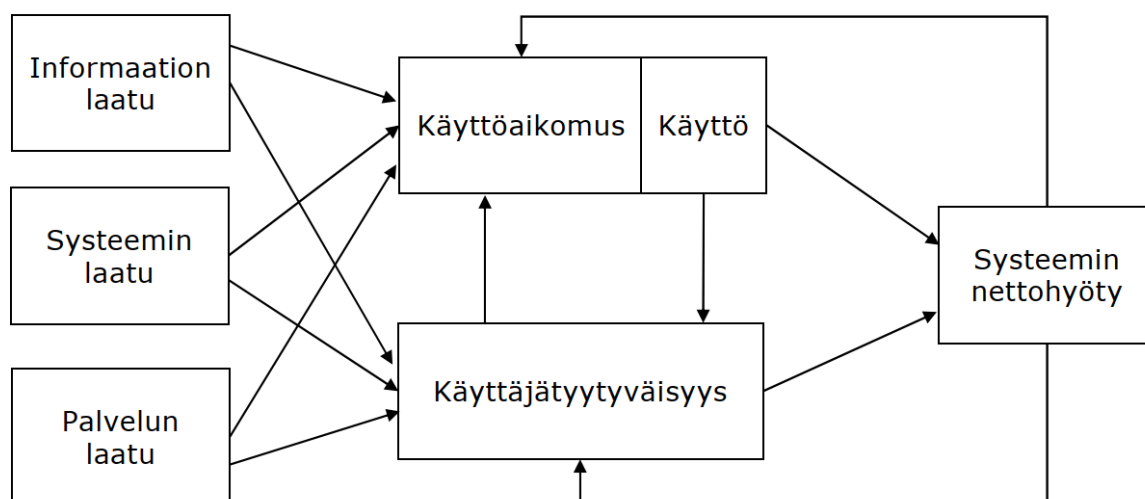
Tietojärjestelmän käyttöönotto on liiketoiminnallinen prosessi. Muihin hankkeisiin verrattuna tietojärjestelmien käyttöönottoprosessit epäonnistuvat todennäköisemmin, sillä ne ovat komplekseja ja dynaamisia hankkeita (Subaeki, 2019). Muun muassa William Doll ja Gholamreza Torkzadeh määrittelevät tietojärjestelmän menestymisen käyttäjätyytyväisyyden kautta (Doll & Torkzadeh, 1988). Tietojärjestelmän kehittäjän näkökulmasta järjestelmän tekninen toteutus sekä määritetyssä julkaisuaikataulussa ja budjetissa pysyminen voivat määrittellä sen onnistumista. Tietojärjestelmän menestyksen mittaaminen riippuu siitä, mistä näkökulmasta sitä arvioidaan (Subaeki, 2019). Tietojärjestelmien käyttöönoton onnistumisen arviointi ei siis ole yksiselitteistä, sillä järjestelmät ovat abstrakteja kokonaisuuksia ja niille voi olla hankalaa määrittää konkreettisia mittareita. Esimerkiksi järjestelmän kustannustehokkuutta arvioitaessa kustannusten selvittäminen saattaa olla suhteellisen suoraviivaista, mutta tietojärjestelmän tuomien aineettomien hyötyjen, kuten prosessin tehokkuuden tai järjestelmän käyttäjätyytyväisyyden parantumisen, arvioiminen voi olla haastavaa, koska ne eivät välttämättä ilmene suoraan numeroina.

Laitossuunnittelun alalla tietojärjestelmien ja erityisesti suunnitteluohjelmien käyttöönoton onnistumisen arviointiin liittyvää tutkimusta ei ole aikaisemmin juurikaan tehty. Tämä saattaa johtua nimenomaan siitä, ettei arviointiin ole olemassa suoraviivaista yksiselitteistä menetelmää. Järjestelmien käyttöönoton onnistumisen arviointia olisi hyödyllistä tehdä, sillä sen avulla voidaan

tutkia, toimivatko ohjelmat odotetulla tavalla ja tukevatko ne yrityksen tavoitteita ja liiketoiminnallista kasvua. Arvioinnin avulla saataisiin myös tietoa käyttäjäkokemuksista ja mahdollisia ongelmakohtia voidaan tunnistaa ja lähteä korjaamaan. Käyttöönotton onnistumisen arviointi tarjoaa tärkeää tietoa myös tulevaisuuden käyttöönottoprosesseihin, kun aikaisemmin tunnistettuja virheitä on mahdollista välttää.

### 3.1 Informaatiojärjestelmän menestymismalli

William DeLone ja Ephraim McLean ovat kehittäneet informaatiojärjestelmän menestysmallin (Information Systems Success Model), joka perustuu useisiin 1970–80 luvulla tehtyihin teoreettisiin ja empiirisiin tutkimuksiin (DeLone, & McLean, 2003). Malli esiteltiin alun perin vuonna 1992 ja se on sittemmin toiminut vaikutusvaltaisena viitekehysenä tietojärjestelmien arvioinnissa ja tutkimuksessa. Mallia päivitettiin vuonna 2003, ja tämä päivitetty menestysmalli on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Informaatiojärjestelmän menestysmalli (DeLone & McLean, 2003)

Malli perustuu kuuteen toisiinsa kytkeytyvään muuttujaan: informaation laatuun, systeemin laatuun, palvelun laatuun, käyttöön tai käyttöaikomukseen, käyttäjätyytyväisyyteen ja systeemin nettohyötyyn. Systeemin nettohyöty on tietojärjestelmän kyky tuottaa hyötyä käyttäjilleen ja taustalla olevalle organisaatiolle (Petter, DeLone & McLean, 2008). Nettohyötyyn vaikuttavat järjestelmän käyttö ja käyttäjätyytyväisyys. Nettohyöty puolestaan vaikuttavaa käyttäjätyytyväisyyteen ja käyttäjän aikeisiin käyttää järjestelmää.

Informaation laadulla tarkoitetaan järjestelmän tallentaman, toimittaman tai tuottaman tiedon laatua. Se vaikuttaa käyttäjätyytyväisyyteen ja käyttäjän aikeisiin käyttää järjestelmää Systeemin laatu kuvaa

tietojärjestelmän toivottavia ominaisuuksia, esimerkiksi helppokäyttöisyyttä, järjestelmän joustavuutta, järjestelmän vakautta ja vasteaikoja sekä järjestelmän käytön oppimisen helppoutta. Palvelun laatu on käyttäjien kokemusta järjestelmän tuesta, esimerkiksi järjestelmän IT-tuen reagointikyky ja -aika, luotettavuus sekä tekninen osaaminen. Palvelun laatu vaikuttaa suoraan käyttäjien aikeisiin käyttää järjestelmää sekä käyttäjätyytyväisyyteen (Petter, DeLone & McLean, 2008).

Informaation laatu, systeemin laatu ja palvelun laatu vaikuttavat siis epäsuorasti käyttäjätyytyväisyyden ja käyttöaikojen kautta systeemin tuottamaan nettohyötyyn eli siihen, kuinka paljon järjestelmä pystyy tuottamaan hyötyä käyttäjälle ja organisaatiolle. Koettu hyöty lisää käyttäjien tyytyväisyyttä järjestelmää kohtaan ja halua käyttää sitä, mikä lisää järjestelmän käyttöä (Petter, DeLone & McLean, 2008). Nettohyödyn, käytön ja käyttäjätyytyväisyyden välille syntyy siis kehävaikutussuhde.

Vaikka mallista on tunnistettu joitakin heikkouksia, esimerkiksi muuttujien väliset riippuvuussuhteet, on se omaksuttu tietojärjestelmien käyttöönottotutkimuksen standardina ja siihen viitataan säännöllisesti monissa alan huipputieteellisissä julkaisuissa. Tutkijat ovat yrittäneet tunnistaa lisää tietojärjestelmän menestymiseen vaikuttavia tekijöitä, ja etenkin käyttäjätyytyväisyydestä on tehty useita tutkimuksia (Nguyen, Nguyen, & Cao, 2015). Petter, DeLone ja McLean toteavat vuonna 2008 julkaistussa tutkimuksessaan, että tietojärjestelmien menestystä käsittelevissä tutkimuksissa keskitytään edelleen menestysmallin yksittäisiin ulottuvuuksiin ja siksi selkeää kokonaiskuvaa niiden vaikutuksista järjestelmiin ei saada. Tietojärjestelmän onnistumista tulisi mitata kokonaisuutena, joka muodostuu yhdistelemällä eri osa-alueiden yksittäisiä mittareita. Darshana Sedera on soveltanut DeLonen ja McLeanin alkuperäistä menestysmallia luoden yksinkertaistetun menestysmallin käyttäen neljää erillistä menestysulottuvuutta; järjestelmän laatua, tiedon laatua, yksilön vaikutusta ja organisaation vaikutusta. Malli ei tarkoituksellisesti mittaa näiden ulottuvuuksien välisiä syysuhteita, vaan ulottuvuuksien oletetaan olevan korreloivia ja additiivisia mittareita yhdelle moniulotteiselle ilmiölle eli tietojärjestelmän menestymiselle (Sedera, 2004).

### **3.2 Onnistumisen arvioinnin mittarit**

Tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumisen arviointi on hankalaa, sillä arviointiin ei ole tunnistettu yhtä objektiivista mittaria. Yleisenä arviointikriteerinä tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumiselle voidaan pitää sitä, kuinka hyvin uuden järjestelmän tuottama toiminta vastaa toiminnalle asetettua tavoitetasoa. Tässä alaluvussa on lueteltu joitain mittareita, joilla DeLonen ja McLeanin menestysmallissa esitetyjä ulottuvuuksia voidaan mitata.

Informaation laatua eli järjestelmän tuotosten toivottuja ominaisuuksia voidaan mitata relevanttiudella, ymmärrettävyydellä, tarkkuudella, ytimekkyydellä, kattavuudella, hyväksyttävyydellä, ajantasaisuudella, käytettävyydellä. Tiedon laatua ei yleensä eroteta omaksi käsitteekseen, vaan sitä mitataan osana käyttäjätyytyväisyyttä (Järvinen, 2008).

Systeemin laadun yleisimpänä mittarina pidetään järjestelmän helppokäyttöisyyttä. Muita mittareita ovat järjestelmän joustavuus, vasteajat ja opittavuus (Järvinen, 2008).

Palvelun laadun mittareita ovat vastaanottavuus, tarkkuus, luotettavuus, tekniset tiedot ja taidot, empaattisuus käyttäjiä kohtaan. SERVQUAL (Service Quality) on suosittu malli järjestelmän palvelun laadun mittaamiselle (Järvinen, 2008). Malli koostuu viidestä palvelun osa-alueen mittarista: konkreettisesti ympäristöstä, luotettavuudesta, reagointikyvystä, varmuudesta ja empatiasta. Näillä osatekijöillä mitataan, millaisena käyttäjät kokevat palvelun laadun (Parasuraman, Zeithaml, & Berry, 1988).

Järjestelmän käyttö eli taso ja tapa, jolla tietojärjestelmää hyödynnetään, on mitattavissa käytön määrän, esiintymistaajuuden, luonteen, tarkoituksenmukaisuuden, laajuuden ja tarkoituksen avulla. Käyttöä voidaan arvioida itse arvioidulla käytön määrällä ja todellisella käytön määrällä. Tämä voi johtaa ristiriitaisiin tuloksiin, sillä tutkimuksissa on havaittu käyttäjien arvioivan käyttöönsä alakanttiin suhteessa todellisen käytön määrään (Järvinen, 2008).

Käyttäjätyytyväisyys indikoi järjestelmän käyttäjien mielipiteitä ja kokemuksia järjestelmän käytöstä sekä sen tarjoamista mahdollisuuksista. Käyttäjätyytyväisyydellä on merkittävä vaikutus siihen, miten hyvin järjestelmä integroituu päivittäisiin työprosesseihin ja miten tehokkaasti käyttäjät hyödyntävät sen tarjoamia toiminnallisuksia. Käyttäjätyytyväisyyden suosittuja mittareita ovat End-User Computing Support (EUCS) ja User Information Satisfaction (UIS) (Järvinen, 2008). EUCS mallin mukaan järjestelmän loppukäyttäjien tyytyväisyyttä mitataan viiden tekijän: sisällön, tarkkuuden, formaatin, helppokäyttöisyyden ja ajantasaisuuden avulla (Padalia & Natsir, 2022). UIS mittaa käyttäjän uskoa siihen, kuinka hyvin järjestelmä vastaa hänen vaatimuksiaan ja odotuksiaan. (Shirani, Aiken & Reithel, 1994).

Systeemin tuottaman nettohyödyn eli sen, miten tietojärjestelmä tukee yksilöiden, ryhmien, organisaatioiden tai teollisuusalojen menestystä, mittareita voivat olla parantunut päätöksenteko, tuottavuus, myynnin kasvu, kustannusten lasku, liikevoiton kasvu, kuluttajien kokema hyvinvointi, työpaikkojen syntyminen ja talouden kehittyminen (Järvinen, 2008).

## 4 Kehitystyö

Tässä luvussa kuvataan ohjelmiston kehitystyö. Ensimmäisessä alaluvussa määritellään ohjelmiston vaadittu käyttöaste kehitystyön jälkeen. Seuraavissa alaluvuissa kuvaillaan kaikki kehitystyön osa-alueet ja kerrotaan kuhunkin osa-alueeseen liittyvistä työskentelyn käytännöistä. Kehitystyön vaiheet mukailevat suunnitteluprojektin vaiheita, eli kehitystyön osa-alueet toteutetaan siinä järjestyksessä, jossa työskentelyvaiheet projektin aikanakin etenevät. Näin voidaan varmistua siitä, että edellisen vaiheen osa-alue on varmasti saatu kehitettyä toimivalle asteelle ennen seuraavaan vaiheeseen etenemistä. Kehitystyön tavoitteena on toimivan ja tehokkaan suunnitteluprojektityöskentelyn mahdollistaminen.

Kehitystyö jakautuu karkeasti kolmeen eri vaiheeseen; projektin perustamiseen, mallintamiseen ja dokumentointiin. Projektin perustaminen on alustavaa työtä, jossa luodaan työskentely-ympäristö ennen kuin varsinaista suunnittelutyötä eli mallintamista voidaan aloittaa. Mallintaminen on 3D-mallin rakentamista ja mallin pohjalta voidaan tuottaa erilaisia dokumentteja. Putkiston mallintaminen OpenPlantilla pohjautuu spesifikaatioihin, eli rajattuihin komponenttikirjastoihin. Tämä mahdollistaa sen, että mallissa käytetään ainoastaan ennalta määritettyjä, usein standardinmukaisia putkistokomponentteja. Dokumentaatio tämän diplomityön aikaisen kehitystyön puitteissa kattaa putkistoisometrien sekä tehdassijoituspiirustuksien eli layoutkuvien tuotannon.

### 4.1 Kehitystyön tavoitteet

Ennen varsinaista kehitystyön aloittamista OpenPlant-kehitystiimin kanssa kirjallisuuskatsausosuuutta hyödyntäen määritetään, mikä on ohjelmistolta vaadittu käyttöaste kehitystyön jälkeen. Tavoitteena kehitystyön toteutuksen jälkeen on, että ohjelmistokokonaisuudella voidaan toteuttaa seuraavat toimenpiteet.

1. Projektin perustaminen

Projektin perustaminen eli projektiympäristön ja projektikohtaisen kansiorakenteen luominen onnistuu mallipohjan avulla.

2. Mallinnus

Putkiston mallintaminen onnistuu, eli valmiit spesifikaatiot AFRY-standardien mukaisista putkiluokista sekä venttiilispesifikaatio yleisimmistä venttiilityypeistä on luotu ja niiden toimivuus on testattu.

Laitteiden ja rakenteiden mallintaminen onnistuu ohjelmiston perusmallinnustyökaluilla. Erillisten Equipment-, Structural- ja Engineered Supports -ohjelmistomoduulien käyttöönotto rajataan tämän diplomityön ulkopuolelle ja ne otetaan huomioon tulevaisuuden kehitystyössä.

### 3. Dokumentaatio

Isometrien luominen onnistuu valmiilla mallipohjalla eikä manuaalista datan täydennystä tarvita.

Tehdassijoituspiirustuksien luominen onnistuu valmiilla mallipohjalla. Fontit ja mitoitustyyli määritetään valmiiksi.

Tavoitteena on, että kehitystyön jälkeen ohjelmistolla pystytään toteuttamaan projekteja ainakin esisuunnitteluvaiheen vaatimalla tarkkuudella. Todennäköistä ja odotettavaa on, että tämän diplomityön puitteissa ohjelmiston kehitystä ei ehditä toteuttamaan täydellisesti ja monia tarpeellisia kehityskohteita jää tekemättä. Tämän diplomityön aikana toteutettava kehitystyö tarjoaa mahdollisesti hyvän pohjan ja selkeät suuntaviivat kehitystyön jatkamiselle.

## 4.2 Ohjelmiston asentaminen

Yleisimmät ohjelmistot AFRYlla ladataan yhtiön intranetin IT-portaalista. OpenPlant ei vielä toistaiseksi ole yhtiössä niin laajassa käytössä, että sillä olisi konsernitasolla IT-tukea, joten ohjelmiston lataaminen on sovittu hallinnoitavaksi pääkäyttäjien toimesta.

Ohjelmistojen asennustiedostot löytyvät verkkolevyiltä. Suunnittelijalle ladataan ohjelmistot seuraavassa järjestyksessä:

1. OpenPlant Modeler CONNECT Edition
2. OpenPlant Isometrics Manager CONNECT Edition
3. OpenPlant Support Engineering

Pääkäyttäjälle ladataan lisäksi:

- OpenPlant Project Administrator CONNECT Edition
- OpenPlant Specification Generator CONNECT Edition

Asennustiedoston avaaminen käynnistää asennuksen. Ohjelmistot latautuvat automaattisesti käyttäjän omalle työasemalle.

### 4.3 Projektin perustaminen

Projektin perustaminen ja hallinnointi tapahtuvat OpenPlant Project Administrator-ohjelman avulla. Projektitympäristön, eli Workspacen alle luodaan projektikohtaiset kansiorakenteet eli WorkSetit määrättyyn hakemistoon verkkolevyllä. Projektin perustamisesta ja projektikansiorakenteen hallinnoinnista vastaa aina pääkäyttäjä. Project Administrator-lisenssejä ei siis tarvitse hankkia suunnittelijoille.

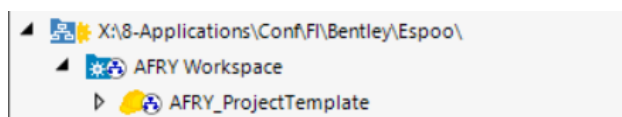
#### 4.3.1 Verkkolevy

Projektitympäristöt eli Workspacet perustetaan verkkolevyllä määrättyyn hakemistoon. Työskentely tapahtuu myös verkkolevyllä, jotta kaikilla projektissa työskentelevillä on varmasti viimeisimmät versiot malleista, spesifikaatioista yms. projektissa tarvittavista materiaaleista saatavilla. Vain työversioita voidaan hetkellisesti säilyttää omalla työasemalla, mutta ne on aina muistettava päivittää verkkolevyllä, jotta turhaa päällekkäistä työtä tai virheellisillä versioilla työskentelyä vältetään.

#### 4.3.2 Kansiorakenne

Projektikansiohierarkia ylhäältä alaspäin on seuraava:

- Määrätty hakemisto verkkolevyllä
  - Projektitympäristö eli Workspace (AFRY Workspace)
    - Projektikohtainen kansio eli WorkSet (tässä tapauksessa mallipohja eli AFRY ProjectTemplate)



Kuva 3. Projektitympäristön hierarkia OpenPlant Administratorissa.

Kuvassa 3 on esitetty kansiorakenne luotuna OpenPlant Administratorissa. Projektitympäristö voi sisältää useampia projektikansioita. Kun tulevaisuudessa luodaan projektitympäristöjä, ne luodaan

AFRY ProjectTemplate -projektikansiota mallina käyttäen, jolloin projektiin periytyy automaattisesti valmiit oletuspohjat. Tarvittaessa tehdään projektikohtaiset kustomoinnit projektikansioon.

Projektikohtaisesti määritetään:

- Spesifikaatiot
- Isometripohjat
- Sijoituspiirustusohjat
- Fontit ja mittatyylit
- Ruudukot

Kaikki yllä mainitut pohjat löytyvät AFRY ProjectTemplate -mallirakenteesta ja niitä voidaan käyttää, jos projektille ei tarkempia määrytyksiä ole tehty.

#### 4.4 Spesifikaatiot

Spesifikaatiot määräytyvät projektikohtaisesti. AFRY ProjectTemplate -projektikansioon on luotu valmiita spesifikaatioita, jotka perustuvat yhtiön omiin putkiluokkastandardeihin. Yhtiön standardit pohjautuvat tiiviisti PSK:n vastaaviin standardeihin. Spesifikaatiot sisältävät suorat putkenosat, keskiset ja epäkeskiset kartiot, 90- ja 45-asteen käyrät, T-kappaleet, ristihteet, laipat ruuveineen ja tiivisteineen sekä päätykappaleet.

Spesifikaatiot on luotu seuraaville putkiluokille:

- E10C1C (DN15–1200, PN10, kuumaluja seostamaton teräs P23GH)
- E10H1A (DN15–1000, PN10, austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs 1.4307)
- E10H2A (DN15–1000, PN10, austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs 1.4432)
- E10L3A (DN15–500, PN10, polypropeeni PP-H)

Putkiluokkiin perustuvien spesifikaatioiden lisäksi on luotu yksi koontispesifikaatio venttiileille. Venttiilispesifikaatio sisältää kokoluokkien DN10–1000 yleisimmät venttiilityypit paineluokissa PN10, PN16, PN25 ja PN40.

Projektin alkaessa käytetään näitä valmiita spesifikaatioita, ellei asiakas halua käyttää omia spesifikaatioitaan tai ellei tarkempia määrytyksiä putkiluokista tai venttiilien tyypeistä tai mitoista ole selvillä. Projektin edetessä ja tietojen tarkentuessa spesifikaatiovalikoimaa täydennetään siten, että suunnittelijoilla on käytössään tarvittavat komponentit putkilinjosten mallintamiseen.

Peruskomponentit riittävät esisuunnitteluvaiheen projekteissa ja vasta toteutussuunnitteluvaiheen projekteissa on tarve mallintaa putkilinjoihin erikoisempia osia.

Spesifikaatioiden luominen ja hallinta tapahtuvat OpenPlant Specification Generator -ohjelman kautta. Spesifikaatiot tallennetaan niille määrättyyn kansioon projektiympäristössä ja mallinnusvaiheessa OpenPlant Modelerista määritetään tämä kansio spesifikaatioiden lähdekansioksi. Spesifikaatioiden hallinta on pääkäyttäjien vastuualuetta, eikä suunnittelijoille ladata Specification Generator-ohjelmaa.

## 4.5 Piirustustuotanto

Piirustustuotannon kehitystyö kattaa putkistosometrit sekä sijoituspiirustukset. Molempia dokumenttityyppejä varten luodaan piirustusohjat, jotka mukailevat PSK:n ryhmän 58 tehdassuunnittelupiirustuksien laadintaa ja sisältöä koskevissa standardeissa esitettyjä suosituksia sekä yhtiön yleisiä käytäntöjä.

### 4.5.1 Isometrit

Isometrien luominen tapahtuu ohjelman putkistosuunnittelumoduulin Pipeline Manager -työkalun kautta. Pipeline Managerista valitaan putkilinja ja ne putkilinjan osat, jotka isometrille halutaan tulostaa. AFRYn isometripohja on luotu valmiiksi ja isometriä luodessa valitaan tämän mallipohjan mukaiset tulostusasetukset.

Isometri tulostuu A1-kokoiselle arkille ja komponenttiluettelo tulostuu arkin oikeaan reunaan sille varatulle paikalle. Kaikki esitetyt putkilinjan tiedot tulostuvat myös oikeisiin kenttiin, mutta tarvittaessa tietoja voidaan manuaalisesti täydentää tulostuksen jälkeen, mikäli tietoja ei ole putkilinjalle ennen isometrin ajoa syötetty. Piirustusohja perustuu standardin PSK 5803 ohjeisiin. Piirustusohjan otsikkotauluun on varattu paikat dokumentin otsikolle, dokumenttinumerolle, asiakkaan tiedoille, mittakaavalle, sekä revisiotiedoille. Isometriin liittyville asiakirjoille, kuten PI-kaaviolle, linja- ja laiteluettelolle, on varattu omat kenttensä.

### 4.5.2 Sijoituspiirustukset

Piirustustuotantoa varten luodaan koontimalli, eli erillinen dgn-tiedosto, johon liitetään referenssinä kaikki piirustuksessa esitettävät osamallit. Osamalleilla tarkoitetaan kaikkia eri suunnittelualojen malleja, esimerkiksi putkisto-, laite- ja rakennemalleja, jotka voivat vielä olla eroteltuna osastokohtaisiin malleihin suunniteltavan laitoksen laajuuden mukaan.

Sijoituspiirustuksen luominen aloitetaan asettamalla koontimallin näkymä siten, että koko laitos näkyy suoraan sivulta päin. Annotate-välilehden Detailing-työkaluista käytetään työkalua Plan callout. Tällä työkalulla saadaan rajattua piirustuksessa esitettävä alue laitoksesta ja luodaan tasokuvanto. Ennen rajauksen määrittämistä valitaan haluttu piirustus pohja, johon ohjelma seuraavaksi vie rajatun näkymän.

Sijoituspiirustuksien tuotannossa dynaamisten näkymien hyödyntäminen automatisoi dokumenttien luomista. Samalle piirustusarkille saadaan taso- ja leikkauskuvantoja sekä tarvittaessa yksityiskohtaisempia kuvantoja. Myös erillisille piirustusarkeille kuvantojen ottaminen samasta 3D-mallista onnistuu. Mitoitus ja putkilinjojen, laitteiden, säiliöiden yms. laitoksen osien merkintä tehdään ohjelman Annotate-välilehden työkaluilla.

AFRYn A1-kokoinen piirustus pohja on luotu valmiiksi ja sitä voidaan käyttää, ellei projektikohtaisia tarkempia vaatimuksia ole tai ellei asiakas toimita omaa piirustus pohjaa. Piirustus pohjan laadinnassa on käytetty PSK:n ryhmän 58 tehdassuunnittelupiirustuksien laadintaa ja sisältöä koskevien standardien mukaisia suosituksia. Piirustus pohjan otsikkotauluun on varattu paikat dokumentin otsikolle ja tarkentaville tiedoille, dokumenttinumerolle, asiakkaan tiedoille, mittakaavalle, sekä revisiotiedoille. Fontit ja mitoitustyyli on luotu valmiiksi ja niitä voidaan käyttää dokumenttien siistin ja yhdenmukaisen ulkoasun aikaansaamiseksi, ellei asiakkaalta tule tarkempia määritelmiä siitä, millaisia tyylejä piirustuksissa tulisi käyttää.

## 5 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

### 5.1 Tutkimusmenetelmät

Tämän diplomityön empiirisessä osuudessa yhdistyvät sekä määrällinen että laadullinen tutkimus. Kvantitatiivisilla tutkimusmenetelmillä määritetään numeerisina arvoina ohjelmiston kehitystyön tuottamaa ajallista hyötyä erityisesti ohjelmistokokonaisuuden hallinnallisiin tehtäviin liittyen. Kvantitatiivisilla tutkimusmenetelmillä kartoitetaan käyttäjien kokemusta kehitetyn ohjelmistokokonaisuuden laadusta.

Ohjelmiston laadulla tarkoitetaan ohjelmiston käyttökelpoisuutta (Paakki, 2012). ”Käyttökelpoisuus” ei ole yksiselitteinen käsite ja sen tulkinta voi vaihdella tarkastelijan mukaan. Tässä tapauksessa ohjelmiston laatua kannattaa tarkastella loppukäyttäjän näkökulmasta. Suunnitteluinsinöörit ovat ohjelmiston käyttäjiä, ja heille ohjelmiston käyttökelpoisuus on merkittävä tekijä, joka vaikuttaa työskentelyn tehokkuuteen ja mielekkyyteen, ja sitä kautta myös projektin lopputulokseen. Ohjelmiston käyttökelpoisuutta tutkitaan kvalitatiivisella haastattelututkimuksella. Ohjelman käyttäjiä haastattelemalla selvitetään, millaiseksi he kokevat ohjelmalla työskentelyn ja kokevatko he kehitystyön onnistuneeksi. Yksi kehitystyön tärkeimmistä tavoitteista on saattaa ohjelmistokokonaisuus sellaiselle tasolle, että sillä työskentely koetaan mielekkäänä. Laadullisten haastattelukysymyksiä rinnalla haastateltavia pyydetään myös vastaamaan koottuun pisteytyskyselyyn, jossa käyttäjät arvioivat aihealueittain ohjelmistoa asteikolla 0–5.

Haastattelututkimuksen tueksi kerätään kvantitatiivista dataa. Pilot-projektissa määritetään PSK 7503 -standardiin perustuvia suunnittelun tunnuslukuja layout- ja putkisuunnittelusta. Tunnuslukuja käytetään suunnittelun ja liiketoiminnan johtamisen apuvälineenä, kuten toiminnan vertailuun yritysten ja yksikköjen välillä, tavoitteiden asetteluun sekä toiminnan suunnitteluun ja arviointiin. Tunnusluvut ovat projektin teknisistä tiedoista muodostuvia kertoimia, joilla mitataan suunnittelun eri osa-alueiden määrää eri tavoin kohteen laajuuteen suhteutettuna, esimerkiksi putkilinjojen määrän tai laitoksen tilavuuden suhdetta kyseisen suunnittelualan kuluneisiin työtunteihin. Pilot-projektin tunnuslukuja verrataan aiemmin toteutuneen projektin tunnuslukuihin ja näin voidaan arvioida ohjelmiston kehitystyölle asetettujen tavoitteiden toteutumista. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty layout- ja putkistosuunnittelun tunnusluvut yksiköineen ja laskukaavoineen (PSK 7503, 2002).

Taulukko 1. Layoutsuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava
D321.1	Laitekohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Koneiden määrä} + \text{Laitemäärä}}$
D321.2	Linjakohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$
D321.3	Pinta-alakohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>2</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Pinta-ala}}$
D321.4	Tilavuuskohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>3</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Prosessirakennuksen tilavuus}}$

Taulukko 2. Putkistosuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava
D322.1	Linjakohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$
D322.2	Massakohtainen putkistosuunnittelu	h/t	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston oma massa}}$
D322.3	Pituuskohtainen putkistosuunnittelu	h/m	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston kokonaispituus}}$
D322.4	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Liittyvien laitteiden määrä}}$

Tunnuslukujen laskennassa käytetyt tiedot saadaan OpenPlant Modelerin raportointitoiminnolla sekä projektien laiteluetteloista ja 3D-mallista mittaamalla. Standardinmukaisten tunnuslukujen tarkemmat määritelmät on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tunnuslukujen laskennassa käytettävät tiedot

Nimi	Yksikkö	Määrittely
Koneiden määrä	kpl	Tuotantoprosessin (ns. pyöriä) koneiden määrä
Laitemäärä	kpl	Tuotantoprosessin laitteiden määrä
Layoutsuunnittelutyö	h	Tuotantoprosessin layoutsuunnitteluun tarvittava aika
Liittyvien laitteiden määrä	kpl	Tuotantoprosessin putkistoon liittyvien laitteiden määrä
Pinta-ala	m <sup>2</sup>	Tuotantoprosessin tarvitsema pinta-ala
Prosessirakennuksen tilavuus	m <sup>3</sup>	Tuotantoprosessin tarvitsema rakennustilavuus
Putkilinjojen määrä	kpl	Tuotantoprosessin putkilinjojen määrä
Putkiston kokonaispituus	m	Tuotantoprosessin putkilinjojen kokonaispituus
Putkiston oma massa	t	Tuotantoprosessin putkilinjojen kokonaismassa
Putkistosuunnittelutyö	h	Tuotantoprosessin putkistosuunnitteluun tarvittava aika

## 5.2 Referenssiprojekti

Referenssiprojektiksi valittiin OpenPlantilla vuoden 2022 alkupuolella toteutettu asiakasprojekti. Projektin luottamuksellisen luonteen vuoksi sitä ei tässä diplomityössä voida yksityiskohtaisella tasolla kuvata, mutta se toimii referenssinä tunnuslukujen vertailussa. Kyseessä on elintarviketeollisuuden uuden tehtaan esisuunnitteluprojekti, jonka tarkoituksena oli tuottaa investointikustannusarvio  $\pm 30\%$  tarkkuudella sekä suunnitteludokumentaatio perussuunnitteluvaiheen perusteiksi. Tehtaan sijaintia ei esisuunnittelukartoituksen aikana tiedetty, joten sijainnista riippuvaisia kohteita, kuten työmaan infrastruktuuria, ei otettu huomioon projektissa. Tässä yhteydessä projektia tarkastellaan vain layout- ja putkistosuunnittelun näkökulmasta.

Hankkeen kokonaisinvestointikustannukseksi arvioitiin 210 miljoonaa euroa. Täyden tuotantolaitoksen tontin pinta-alaksi arvioitiin tilavarausten perusteella noin 4,7 hehtaaria. Tontti jaettiin kahtia pohjois-eteläsuuntaisella putkisillalla, jonka toiselle puolelle sijoitettiin aputuotantotila ja toiselle päätuotantolaitos. Päätuotantolaitos koostuu kuusiosaisesta rakennuskompleksista. Laajennusvara otettiin laitoksen layoutsuunnittelussa myös huomioon, ja suunnitelma mahdollistaa kuuden bioreaktorin laajentamisen tuotantokapasiteetin kaksinkertaistamiseksi.

Layout- ja putkistosuunnittelusta vastaava projektitiimi koostui viidestä henkilöstä; kahdesta putkistosuunnittelijasta, yhdestä layoutsuunnittelijasta, yhdestä pääkäyttäjästä, sekä yhdestä suunnittelijasta, joka teki sekä layoutsuunnittelua että pääkäyttäjän tehtäviä.

Projektissa tuotettavia dokumentteja olivat tehdasalueen sijoituspiirustus, osastokohtaiset sijoituspiirustukset, putkiston 3D-malli ja putkistomassalistat.

## 5.3 Pilot-projekti

Pilot-projektin laajuus on suhteutettava käytettävissä olevaan aikaan ja suunnittelijoiden määrään. Referenssiprojektissa projektitiimin koko oli viisi henkilöä. Pilot-projektin toteutuksesta vastaa yksi henkilö, joten pilot-projektin suuntaa antava koko saadaan suhteuttamalla mallinnettavien laitteiden ja putkilinjojen määrä viidesosaan referenssiprojektin laite- ja putkilinjamääristä. Nämä luvut vielä puolitetaan, sillä referenssiprojektin putkisto- ja layoutsuunnittelun toteutukseen kului reilu kaksi kuukautta, mutta pilot-projektin toteutukselle on varattu yksi kuukausi aikaa.

Määräarvot pilot-projektille ovat siis laitemäärän osalta 20 kappaletta ja putkilinjojen määrän osalta 25 kappaletta. Suunnitelmaan sisältyy yksi projektirakennus, jonka tilavuus on karkeasti arvioituna noin  $30\,600\text{ m}^3$ . Lisäksi mallinnetaan tarvittavat teräsrakenteet laitteille ja putkistoille.

Pilot-projekti on täysin kuvitteellinen eikä se perustu mihinkään todelliseen hankkeeseen, mutta prosessin, rakenteiden, laitteiden ja putkilinjojen mallinnukseen saadaan mallia aikaisemmin toteutuneesta asiakasprojektista. Tämä helpottaa mallinnusta rajoitetun ajan puitteissa ja pilot-projektista saadaan mahdollisimman hyvin tarkoitustaan palveleva, eli oikeaa asiakasprojektia pilotoiva, joskin selkeyden ja aikarajan vuoksi yksinkertaistettu kokonaisuus.

Pilot-projekti sisältää projektiympäristön perustamisen, pilot-laitoksen mallintamisen, sekä yhden sijoituspiirustuksen ja yhden putkistoisometrin tuottamisen. 3D-mallista tuotetaan yksi sijoituspiirustus, joka sisältää yhden taso- ja yhden leikkauskuvannon. Piirustuksessa esitetään rakenteet, laitteet ja putkisto, sekä standardinmukaiset mitoitukset, putkilinjatunnukset ja laitetunnukset. Yhdestä putkilinjasta tuotetaan isometrinen piirustus, joka sisältää kyseisen putkilinjan osaluettelon.

Pilot-projektin toteutukseen kuluvat työtunnit kirjataan tarkasti ylös vaiheittain. Projektin valmistuttua ohjelmiston hallinointiin, layout- ja putkistosuunnitteluun sekä dokumentaatioon kuluneille työtunneille lasketaan erikseen laitossuunnittelun tunnusluvut.

Pilot-projektista pidetään yhteinen esittelytilaisuus kaikille haastattelututkimukseen osallistuville henkilöille. Projektiympäristön kansiorakenne, 3D-malli, siihen luodut putkistospesifikaatiot, isometri- ja sijoituspiirustusohjat sekä isometri- ja sijoituspiirustusten luominen esitellään. Haastatteluihin valikoidut henkilöt osallistuivat referenssiprojektiin ja heillä on aiempaa kokemusta OpenPlantilla työskentelystä, joten perinpohjaista ohjeistusta edellä mainituista seikoista ja toimenpiteistä ei tarvita. Riittää, että haastateltavat saavat hyvän käsityksen siitä, miten ohjelmaa on kehitetty. Esittelyn jälkeen haastateltaville annetaan aikaa tutustua kehitetyn ohjelman käyttöön itsenäisesti pilot-projektiympäristössä. Heitä pyydetään ainakin testaamaan yhden putkilinjan mallintamista, yhden isometrin ajoa sekä tasokuvan tekemistä, mutta he saavat vapaaehtoisesti käyttää niin paljon aikaa testauksiin, kuin annetun aikarajan puitteissa vain haluavat ja työtehtäviltään kykenevät. Osallistujille jaetaan esittelytilaisuuden yhteydessä kirjallinen ohjeistus, jota he voivat käyttää tukimateriaalina edellä mainittujen toimenpiteiden toteutuksessa. Heidän kokemustaan ohjelman käytöstä kartoitetaan haastattelututkimuksella.

## 5.4 Haastattelututkimus

Tutkimus toteutetaan puolistrukturoituna haastattelututkimuksena. Haastateltavia henkilöitä on neljä, ja he kaikki olivat mukana referenssiprojektin toteutuksessa. Heille OpenPlantin käyttö on

entuudestaan tuttua ja heillä on kokemusta sillä työskentelystä ennen kehitystyön toteutusta, joten he voivat vertailla kokemuksiaan ohjelman käytöstä ennen ja jälkeen kehitystyön. Kaikki haastateltavat henkilöt ovat suunnittelijoita ja heillä on kokemusta layout- ja putkistosuunnittelusta. Kolmella heistä on myös kokemusta muista laitossuunnitteluun tarkoitetuista ohjelmistoista OpenPlantin lisäksi. Kahdella haastateltavista on myös kokemusta OpenPlantin pääkäyttäjätehtävissä toimimisesta.

Pilot-projekti esitellään yhteisesti haastateltaville henkilöille ennen haastatteluja, ja he saavat itsenäisesti testata kehitettyä ohjelmistoa. Haastattelussa painotetaan suunnittelijoiden työtä koskevia aihealueita eli mallintamista ja dokumentointia, sillä projektin perustamiseen liittyvät tehtävät ovat pääkäyttäjien vastuualuetta. Avoimien haastattelukysymyksien lisäksi tutkimukseen sisältyy koottu pistekysely, jossa haastateltavia pyydetään antamaan yleisarvosana 0–5 jokaisesta osa-alueesta. Asteikolla 0 on huonoin ja 5 paras arvosana. Haastattelukysymyslomake (liite 1) ja koottu pisteytyskyselylomake (liite 2) ovat tämän diplomityön liitteinä. Taulukossa 4 on esitetty haastattelurunko teemoittain. Kysymykset on jaettu teemoihin kehitystyölle määritettyjen aihealueiden sekä DeLonen ja McLeanin informaatiojärjestelmän menestysmalliin perustuen.

Taulukko 4. Haastattelukysymykset aihealueittain.

1 Projektiympäristö	1A	Onko projektiympäristö ja kansiorakenne mielestäsi selkeä ja hyvin tavoitettavissa?
2 Mallintaminen	2A 2B 2C 2D 2E	Miten putkilinjojen mallintaminen onnistui? Löysitkö tarvitsemasi komponentit putkispesifikaatiosta? Toimivatko spesifikaatiot mielestäsi hyvin? Miten putkilinjan muokkaaminen onnistui? Oliko valmiita spesifikaatioita mielestäsi tarpeeksi? Puuttuiko mielestäsi olennaisia putkiluokkia?
3 Dokumentointi	3A 3B 3C 3D 3E 3F	Onnistuiko isometrin luominen? Oliko isometrin luomisessa jotain haasteita? Onko isometripohja mielestäsi hyvin tarkoitustaan palveleva? Onnistuiko tasokuvan luominen? Oliko tasokuvan luomisessa jotain haasteita? Onko layoutpiirustus pohja mielestäsi hyvin tarkoitustaan palveleva?
4 Systeemin laatu	4A 4B 4C 4D	Onko ohjelman käyttö mielestäsi helppoa ja/tai mielekästä? Miten hyvin ohjelma mielestäsi soveltuu putkisto- ja layoutsuunnitteluun? Millaista ohjelman käyttö on mielestäsi verrattuna muihin laitossuunnitteluohjelmiin? Käytätkö työssäsi mieluummin OpenPlantia vai jotakin toista suunnitteluohjelmaa?
5 Informaation laatu	5A 5B	Ovatko ohjelmalla tuotetut dokumentit (isometrit ja layoutpiirustukset) mielestäsi laadukkaita ja käyttötarkoitustaan palvelevia (sisältävätkö ne riittävästi tarpeellista tietoa)? Onko ohjelmalla mielestäsi mahdollista mallintaa riittävän suurella tarkkuudella?

	5C	Sisältävätkö spesifikaatioiden komponentit mielestäsi riittävästi tietoa (esim. putken materiaalista, mitoista yms.)?
6 Palvelun laatu	6A	Millaista teknistä tukea toivoisit saavasi ohjelman käyttöön liittyen?
7 Yleiset kysymykset	7A	Millainen on yleiskokemuksesi ohjelman käytöstä (kehitystyön jälkeen)?
	7B	Millaisia haasteita kohtasit ohjelmaa käyttäessäsi?
	7C	Miten kehitystyötä pitäisi mielestäsi jatkaa / mitä osa-alueita pitäisi seuraavaksi kehittää?

Koottu pisteytyskysely on jaettu teemoihin samalla periaatteella kuin haastattelurunko.

Pisteytyskyselyn kysymykset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Pisteytyskyselyn kysymykset aihealueittain.

1 Projektiympäristö	1a	Onko projektiympäristö ja kansiorakenne mielestäsi selkeä?
2 Mallintaminen	2a	Onko putkiston mallintaminen OpenPlantilla mielestäsi helppoa?
	2b	Onko laitteiden mallintaminen OpenPlantilla mielestäsi helppoa?
3 Dokumentointi	3a	Onko isometrin luominen mielestäsi helppoa?
	3b	Onko tasokuvan luominen mielestäsi helppoa?
4 Systeemin laatu	4a	Onko OpenPlantin käyttö yleisesti mielekästä?
	4b	Miten hyvin OpenPlant mielestäsi soveltuu putkisto- ja layoutsuunnitteluun?
5 Informaation laatu	5a	Kuinka hyvin OpenPlantilla tuotetut dokumentit (isometrit ja layoutpiirustukset) mielestäsi vastaavat laadultaan odotettua tasoa (= ovat käyttötarkoitustaan palvelevia ja sisältävät riittävästi tarpeellista tietoa)?
	5b	Onko OpenPlantilla mielestäsi mahdollista mallintaa riittävän suurella tarkkuudella?
6 Palvelun laatu	6a	Koetko saavasi riittävästi tukea ohjelman käyttöön liittyvissä ongelmissa (IT-tuella/esihenkilöltä/admin-henkilöiltä yleisesti)?
7 Yleiset kysymykset	7a	Kuinka onnistuneeksi koet ohjelman kehitystyön?

Valitut henkilöt tulevat todennäköisesti jatkossakin työskentelemään OpenPlantilla, joten heidän kokemuksensa ohjelmistosta antavat arvokasta tietoa kehitystyön onnistumisesta ja siitä, miten kehitystyötä kannattaisi tulevaisuudessa jatkaa. Haastattelujen tarkoituksena on ennen kaikkea kartoittaa käyttäjätyytyväisyyttä ja käyttäjien kokemusta kehitystyön onnistumisesta.

Haastattelut järjestetään yksilöhaastatteluina haastateltavien henkilöiden kanssa sovitusti joko Microsoft Teamsin kautta etähaastatteluina tai kasvotusten haastateltavan toiveiden mukaan.

Haastattelukysymys- ja koottu pisteytyskyselylomake lähetetään haastateltaville sähköpostitse pilot-projektin esittelytilaisuuden jälkeen, jotta he voivat etukäteen tutustua kysymyksiin ja tehdä itsenäisiä testejä pilot-projektiympäristössä haastattelun aihealueiden pohjalta. Aikaa kuhunkin haastatteluun varataan puolitoista tuntia, ja aikaikkunassa on otettu huomioon se, että aiheesta saattaa syntyä

keskustelua, haastateltavilla saattaa herätä kysymyksiä kehitetyn ohjelman käyttöön ja uusiin sovittuihin työskentelykäytäntöihin liittyen. Aineiston analysoinnin helpottamiseksi haastattelut nauhoitetaan, jotta haastattelutilanteessa on mahdollisuus keskittyä vuorovaikutukseen haastateltavan kanssa ja jotta keskusteluihin on mahdollista palata myöhemmin.

## **5.5 Hypoteesit**

Odotettavana lopputulemana on, että kehitystyön jälkeen ohjelmistokokonaisuudella voidaan toteuttaa projektin perustaminen, mallintaminen ja dokumentointi siinä laajuudessa, joka luvussa ”4.1

Kehitystyön tavoitteet” on määritetty. Odotettu tulos on, että pilot-projektista mitattavat tunnusluvut ovat pienempiä kuin referenssiprojektin vastaavat luvut, ja että pilot-projektin aikana hallinnallisiin tehtäviin kuuluu suhteellisesti vähemmän työtunteja kuin referenssiprojektin aikana.

Haastattelututkimuksen tuloksena toivotaan, että käyttäjät kokevat ohjelmistolla työskentelyn helpoksi ja mielekkääksi, ja että he kokevat ohjelmiston kehitystyön onnistuneeksi. Odotettavaa on, että tunnistetaan vielä kehitystä vaativia osa-alueita, ja niiden perusteella kehitystyötä voidaan jatkaa tämän diplomityön jälkeen.

## 6 Tulokset

### 6.1 Referenssiprojektin tunnusluvut

Koneiden ja laitteiden sekä putkistoon liittyvien laitteiden määrät on ilmoitettu projektin laiteluettelossa. Putkilinjojen määrä saadaan laitoksen 3D-mallista OpenPlantin raportointitoiminnolla. Raportissa on putkilinjakohtaiset komponentit ja niiden pituudet ja niistä lasketaan putkiston kokonaispituus. Putkiston oma massa saadaan laskemalla putkiston tilavuuden ja putkimateriaalin tiheyden avulla, joka projektissa käytössä olleen putkiluokan E10H1A austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle on  $7,90 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ . Tuotantoprosessin rakennusten tilavuus mitataan laitoksen 3D-mallista ja tuotantoprosessin pinta-ala ( $47000 \text{ m}^2$ ) on määritetty projektin loppuraportissa. Layoutsuunnittelutyön ja putkistosuunnittelutyön sekä hallinnallisten tehtävien tuntimäärät saadaan tuntityöraportoinnista.

#### 6.1.1 Layoutsuunnittelun tunnusluvut

Referenssiprojektin layoutsuunnittelun tunnusluvut on esitetty taulukossa 6. Tunnusluvut on laskettu yhteensä kaikille layoutsuunnittelutunneille sekä eriteltynä pelkästään suunnitteluun ja dokumentointiin käytetyille työtunneille. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 3. Referenssiprojektissa layoutsuunnitteluun kului yhteensä 182 työtuntia, joista 165 kului suunnittelutehtäviin ja 17 dokumentointiin eli sijoituspiirustusten tuottamiseen.

Taulukko 6. Layoutsuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Yhteensä	Suunnittelu	Dokumentointi
D321.1	Laitekohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	0,91919	0,83333	0,08586
D321.2	Linjakohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	0,71654	0,64961	0,06693
D321.3	Pinta-alakohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>2</sup>	0,00387	0,00351	0,00036
D321.4	Tilavuuskohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>3</sup>	0,00049	0,00045	0,00005

#### 6.1.2 Putkistosuunnittelun tunnusluvut

Referenssiprojektin putkistosuunnittelun tunnusluvut on esitetty taulukossa 7. Tunnusluvut on laskettu yhteensä kaikille putkistosuunnittelutunneille sekä eriteltynä pelkästään suunnitteluun ja

dokumentointiin käytetyille työtunneille. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 3.

Referenssiprojektissa putkistosuunnitteluun kului yhteensä 699,5 työtuntia, joista 594 kului suunnittelutehtäviin ja 105,5 dokumentointiin eli isometrien ja putkistomassaluetteloiden tuottamiseen.

Taulukko 7. Putkistosuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Yhteensä	Suunnittelu	Dokumentointi
D322.1	Linjakohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	2,75394	2,33858	0,41535
D322.2	Massakohtainen putkistosuunnittelu	h/t	13,53260	11,49158	2,04101
D322.3	Pituuskohtainen putkistosuunnittelu	h/m	0,07596	0,06450	0,01146
D322.4	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	3,53283	3	0,53283

### 6.1.3 Ohjelmiston hallinta

Referenssiprojektin hallinnallisiin tehtäviin käytetty aika oli yhteensä 51,5 tuntia.

## 6.2 Pilot-projektin tunnusluvut

Koneiden ja laitteiden sekä putkistoon liittyvien laitteiden määrät on laskettu laitoksen 3D-mallista. Putkilinjojen määrä saadaan laitoksen 3D-mallista OpenPlantin raportointitoiminnolla. Raportissa on putkilinjakohtaiset komponentit ja niiden pituudet ja niistä lasketaan putkiston kokonaispituus. Putkiston oma massa saadaan laskemalla putkiston tilavuuden ja putkimateriaalin tiheyden avulla, joka projektissa käytössä olleen putkiluokan E10H1A austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle on  $7,90 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ . Projektissa käytetään näiden teräsputkien lisäksi DN50 ja DN80 kokoisia, putkiluokan E10L3A mukaisia polypropeeni-putkia, joiden metrikohtaiset massat ovat DN50 kokoiselle putkelle 0,64 kg/m ja DN80 kokoiselle putkelle 2,03 kg/m. Tuotantoprosessin pinta-ala ja rakennustilavuus mitataan laitoksen 3D-mallista. Layoutsuunnittelutyön ja putkistosuunnittelutyön sekä hallinnallisten tehtävien tuntimäärät on projektin aikana kirjattu tarkasti.

### 6.2.1 Layoutsuunnittelun tunnusluvut

Pilot-projektin layoutsuunnittelun tunnusluvut on esitetty taulukossa 8. Tunnusluvut on laskettu yhteensä kaikille layoutsuunnittelutunneille sekä eriteltynä pelkästään suunnitteluun ja dokumentointiin käytetyille työtunneille. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 4. Pilot-

projektissa layoutsuunnitteluun kului yhteensä 36 työtuntia, joista 17 kului suunnittelutehtäviin ja 18 dokumentointiin eli sijoituspiirustuksen tuottamiseen.

Taulukko 8. Layoutsuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Yhteensä	Suunnittelu	Dokumentointi
D321.1	Laitekohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	1,09375	0,53125	0,56250
D321.2	Linjakohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	1,34615	0,65385	0,69231
D321.3	Pinta-alakohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>2</sup>	0,01118	0,00543	0,00575
D321.4	Tilavuuskohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>3</sup>	0,00123	0,00060	0,00063

### 6.2.2 Putkistosuunnittelun tunnusluvut

Pilot-projektin putkistosuunnittelun tunnusluvut on esitetty taulukossa 9. Tunnusluvut on laskettu yhteensä kaikille putkistosuunnittelutunneille sekä eriteltynä pelkästään suunnitteluun ja dokumentointiin käytetyille työtunneille. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 4. Pilot-projektissa putkistosuunnitteluun kului yhteensä 19,75 työtuntia, joista 19 kului suunnittelutehtäviin ja 0,75 dokumentointiin eli isometrin tuottamiseen.

Taulukko 9. Putkistosuunnittelun tunnusluvut

Tunnus	Nimi	Yksikkö	Yhteensä	Suunnittelu	Dokumentointi
D322.1	Linjakohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	0,75962	0,73077	0,02885
D322.2	Massakohtainen putkistosuunnittelu	h/t	14,03963	13,50648	0,53315
D322.3	Pituuskohtainen putkistosuunnittelu	h/m	0,04683	0,04505	0,00178
D322.4	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	0,61719	0,59375	0,02344

### 6.2.3 Ohjelmiston hallinta

Pilot-projektin hallinnallisiin tehtäviin käytetty aika oli yhteensä 2,5 tuntia.

### 6.3 Haastattelututkimuksen tulokset

Kaikki neljä haastateltavaa haastateltiin etähaastatteluilla Microsoft Teamsin kautta. Aikaa haastatteluihin kului noin 50 minuutista 85 minuuttiin per haastattelu ja kaikkien haastateltavien kanssa ehdittiin käydä kaikki haastattelun aihealueet sekä koottu pisteytyskysely läpi. Haastattelut tallennettiin ja litteroitiin Microsoft Word-Onlineen litterointityökalulla.

Ennen haastatteluja järjestetty esittelytilaisuus herätti kiinnostusta muissakin kuin vain referenssiprojektiin osallistuneissa ja haastatteluihin kutsutuissa käyttäjissä. Neljä ohjelman uutta käyttäjää osallistui esittelytilaisuuteen haastateltavien henkilöiden lisäksi ja heille tilaisuus toimi koulutuksena ja ohjelman yleisenä esittelynä. Uusien käyttäjien osallistuminen tilaisuuteen huomioitiin siten, että ohjelman perusominaisuuksia esiteltiin aiemmin suunniteltua tarkemmin ja heille neuvottiin yksityiskohtaisesti, kuinka putkistoa ja laitteita voidaan mallintaa, ja miten isometrejä ja tasokuvia voidaan luoda. Laitteiden mallintaminen ei kuulunut tämän diplomityön puitteissa toteutettavaan kehitystyöhön, mutta se haluttiin ottaa osaksi esittelytilaisuutta, sillä laitteiden mallintaminen on oleellinen osa putkistosuunnittelua. Yksi haastatteluihin kutsutuista henkilöistä oli estynyt osallistumaan yhteiseen esittelytilaisuuteen, mutta hän on tutustunut ohjelmaan ja kehitettyihin ominaisuuksiin kehitystyön aikana itsenäisesti oman työnsä kautta sekä toimiessaan itsekkin osana kehitystyön edistämistä.

Seuraavissa alaluvuissa esitetään haastateltavien henkilöiden käyttäjäkokemuksia ohjelmasta. Alaluvut on jaettu haastattelurungon teemojen mukaan ja kootun pisteytyskyselyn tulokset on eritelty omaan alalukuunsa. Haastateltavien anonymiteetin suojaamiseksi heitä ei ole tässä diplomityössä nimetty. Virhemarginaalia ei laskettu, sillä sen ei tässä tutkimuksessa koettu tuovan lisäarvoa. Tulosten luotettavuutta arvioidaan muin keinoin, ja ne on esitetty tulosten analysoinnin yhteydessä.

#### 6.3.1 Projektitympäristö

Haastattelun ensimmäinen teema on projektitympäristö ja siihen liittyvä kansiorakenne verkkolevyllä. Projektitympäristön toimintaperiaate ja kansiorakenne nähdään yleisesti melko selkeänä ja hyvin jäsennehtynä. Ohjelma itsessään asettaa tiettyjä rajoitteita kansiorakenteelle, mutta niissä puitteissa, joissa käyttäjä voi itse kansiorakennetta hallita, sen jäsentely nähdään selkeänä ja järkevänä. Yhtiön verkkolevyllä toimiminen määrittää kansiopolon pituuden ja yksi käyttäjä näkee sen projektitympäristön tavoitettavuutta rajoittavana tekijänä.

Yksi haastateltava, joka on toiminut sekä suunnittelijana että pääkäyttäjätehtävissä, nostaa esille sen, että aluksi projektiympäristö ja kansiorakenne tuntuivat vaikeasti hahmotettavilta, mutta pääkäyttäjänä toimiessaan hän tutki rakennetta paljon ja sen myötä kansiorakenne alkoi tuntua hänelle selkeämmältä.

”On aika selkeä, mutta se ehkä liittyy siihen, että olen jo näitä kansiorakenteita tuijottanut monta tuntia, ja tiedän mistä kaikki löytyy ja miksi.”

Pelkästään suunnittelutehtävissä toimiessaan käyttäjän ei välttämättä ole oleellista edes tuntea kansiorakennetta perinpohjaisesti. Riittää, että suunnittelija tietää, mistä tarvittavat putkistospesifikaatiot löytyvät ja pääkäyttäjän tehtävänä on projektiympäristön ja kansiorakenteiden hallinnointi.

”Aluksi, kun tätä hommaa aloitti, niin se tuntui jotenkin tosi sekavalta, mutta sitten kun sitä on vaan katsellut ja joutunut työskentelemään siellä, niin sitten se on alkanut selkeytyä. Mutta sellaiselle tavalliselle käyttäjälle tuo voi olla aika monimutkainen. Mutta heidän ei välttämättä tarvitse tietää, että mitä kaikissa kansioissa on. Riittää, jos tietää, mistä löytyy specit (spesifikaatiot).”

### 6.3.2 Mallintaminen

Eryteisesti putkiston mallintamiseen OpenPlant Modeler koetaan helposti lähestyttäväksi ohjelmaksi. Putkilinjan muokkaaminen ohjelman Pipeline Manager-työkalun kautta nähdään helppona toimenpiteenä. Eryteisesti putkilinjan spesifikaation vaihtaminen nähdään tärkeänä ja käteväenä ominaisuutena.

Muita merkittäviä haasteita käyttäjät eivät nosta esille, kuin mahdolliset puutteet spesifikaatioissa. Yhtä mieltä ollaan kuitenkin siitä, että lähtötaso projektiin nykyisellä spesifikaatiovalikoimalla on hyvä verrattuna referenssiprojektin aikaiseen tilanteeseen ja perussuunnitteluprojektit sillä onnistuvat hyvin. Haastateltavat ovat yhtä mieltä siitä, että suunnitteluprojektien luonteeseen kuuluu se, että tarvittavien putkistokomponenttien valikoima tarkentuu projektin edetessä ja pääkäyttäjä voi tarpeen mukaan lisätä erikoisempia osia spesifikaatioihin. Mallintaminen voidaan aloittaa yhdellä spesifikaatiolla ja tarvittaessa vaihtaa putkilinjan osat oikeaan spesifikaatioon myöhemmin.

”Specci-valikoima on hyvä, koska siellä on kaikki tyypilliset perusputket ja materiaalit. Ainakin detail-projekteissa tulee aina joku erikoisosa, niin niitähän on mahdoton kaikkia tehdä valmiiksi.”

Yksi haastateltava tuo esille sen, että käyttäjiä varten olisi hyvä luoda listat, joista ilmenisi jokaisen käytössä olevan spesifikaation sisältö. Näin suunnittelija voisi tarkistaa, löytyykö hänen tarvitsemansa

komponentit spesifikaatiosta ja hän voi arvioida, millä spesifikaatiolla hänen on järkevintä aloittaa mallintaminen.

”Näistä pitäisi tehdä kooste. Siitä käyttäjä voisi katsoa, mitä osia hän tarvitsee. Sitten hän voi katsoa, mistä speceistä niitä löytyy, ja sen perusteella voi valita specin, jonka hän ottaa käyttöön.”

Jotkut käyttäjät näkevät laitteiden mallintamisen hieman haastavampana putkiston mallintamiseen verrattuna, mutta epäilevät sen osittain johtuvan siitä, että kokemusta laitteiden mallintamisesta kyseisellä ohjelmalla ei ole yhtä paljon. Käyttöliittymä nähdään selkeänä ja mallintamisen peruseräaatteet samankaltaisina moduulista riippumatta.

### 6.3.3 Dokumentointi

Haastateltavat henkilöt näkevät isometrien tuotannon tällä hetkellä helppona. Prosessi on yksinkertainen, jos putkilinjat on mallintamisvaiheessa luotu oikein ja putkilinjakohtaiset tiedot on täydennetty. Tulevaisuuden kehityskohteeksi esitetään, että prosessisuunnittelusta saatavat lähtötiedot, kuten putkilinjatunnukset, virtaavien aineiden tiedot yms. saataisiin ajettua suoraan kyseisen suunnittelualan omasta suunnitteluohjelmasta. Vastavia ohjelmistojen yhteensovituksia on jo tehty yhtiön muihin laitossuunnitteluohjelmiin. Tällöin putkistosuunnittelijan ei tarvitsisi syöttää tietoja OpenPlantiin putkilinjakohtaisesti, mikä vähentäisi suunnittelijan työskentelyyn kuluva aikaa sekä vähentäisi virheiden mahdollisuutta.

”Se on aikaa vievää ja virheiden mahdollisuus kasvaa, kun joutuu moneen kertaan kirjoittamaan tiedot.”

Sijoituspiirustuksien luominen OpenPlantilla nähdään niin ikään helppona. Sijoituspiirustuksen luomiseen ei tapahdu yhtä automatisoidusti kuin isometrituotanto ja työvaiheita on enemmän, mutta suunnittelijoiden mielestä tämä kuuluu piirustustuotannon luonteeseen. Yksi haastateltava on aikaisemmin tehnyt sijoituspiirustuksia Bentley'n toisella laitossuunnitteluohjelmalla, joka ei sisällä valmiita suunnittelualakohtaisia moduuleita. Haastattelussa hän kertoo piirustustuotannon olevan OpenPlantilla yhtä helppoa.

”Ihan yhtä helppoa kuin se on MicroStationissakin. Onhan siinä oma työnsä ja se on käsin tehtävää työtä, mutta helppoa.”

Valmiita fonttityylejä toivotaan vielä kehitettäväksi. Toiveena on, että laitteiden ja putkilinjojen nimeämiseen olisi valmiiksi luodut fonttityylit, ja suunnittelija voisi käyttää niihin valmista arkkipohjaa. Näin jokaisen suunnittelijan ei tarvitsisi määrittää fonttityylejä itse ja dokumentaatiosta

tulisi selkeämpi ja yhdenmukaisempi. Pilot-projektissa ei onnistuttu luomaan tarpeeksi selkeää fonttityyliä eikä siinä luotu omia tyylejään laitteiden ja putkilinjojen nimeämiseksi.

#### 6.3.4 Systeemin laatu

Kaikki haastateltavat kokevat OpenPlantin käytön vähintään melko mielekkääksi, puolet heistä erittäin mielekkääksi. Kaikkien haastateltavien mielestä ohjelmisto soveltuu vähintään hyvin tai erittäin hyvin putkisto- ja layoutsuunnittelun työkaluksi. Ohjelmiston käytön oppiminen koetaan myös helppona ja yleisesti ohjelman käyttö helpompana ja mielekkäämpänä verrattuna muihin vastaaviin ohjelmiin.

”Verrattuna muihin käyttämiini ohjelmiin, OpenPlant soveltuu putkisto- ja layoutsuunnitteluun erittäin hyvin. Se on helpoin ja helposti opittavissa. Vain lyhyellä kurssituksella pääsee alkuun.”

Haastatteluissa nousee esiin mielipide, että suunnittelijat käyttäisivät mieluummin OpenPlantia kuin jotain muuta suunnitteluohjelmaa putkisto- ja layoutsuunnitteluun. Ohjelmalle toivotaan laajempaa käyttöönottoa yhtiössä, jotta siitä tulisi käytetympi ja tuetumpi työkalu.

#### 6.3.5 Informaation laatu

OpenPlantilla tuotettujen dokumenttien laatu koetaan hyväksi. Haastateltavat ovat sitä mieltä, että ohjelmistolla on mahdollista mallintaa riittävällä tarkkuudella, jopa tarkemmin kuin olisi tarpeellista ainakaan esisuunnitteluvaiheessa. Tällä hetkellä spesifikaatiovalikoima on riittävä esi- ja perussuunnitteluprojekteihin, mutta projektinaikaisella komponenttivalikoiman kasvattamisella uskotaan ohjelman olevan pätevä myös toteutussuunnitteluprojekteille.

Isometri- ja sijoituspiirustusohjelmat on rakennettu PSK:n standardeihin pohjautuen, joten niiden koetaan sisältävän riittävästi tarpeellista tietoa. Yhtiöltä toivottaisiin yksiselitteisempää ohjeistusta dokumenttipohjien käytöstä, sillä kokemus tähän mennessä on ollut, että yhtiöllä ei ole ollut riittävän selkeää linjaa dokumentaatiolle. Jopa projektien sisällä on käytetty erilaisia dokumenttipohjia ja tähän toivottaisiin yhdenmukaisempaa linjausta.

#### 6.3.6 Palvelun laatu

Kaikki haastateltavat kokevat ohjelman käyttöön saatavan tuen yleisesti melko hyväksi. Esihenkilöltä ja pääkäyttäjiltä saatu tuki koetaan riittäväksi, mutta yhtiön omalta IT-tuelta toivottaisiin enemmän tukea. Ongelmia aiheuttavat lähinnä käyttäjien rajoitetut käyttöoikeudet sekä se, että yhtiön IT-tuella

ei koeta olevan riittävästi tietoa nimenomaan OpenPlant-ohjelmistoihin liittyen. Varsinkin pääkäyttäjille toivottaisiin laajempia käyttöoikeuksia, jotta ohjelman hallinta onnistuisi vaivattomammin ilman yhtiön IT-tuen toimimista välikätenä.

”Varmaan jos mulla on joku ongelma ohjelman kanssa, niin soitan sulle (pääkäyttäjälle), että missä vika. Mutta en usko, että meillä vielä sellaista välitöntä tukea on tai pystytäänkään sellaista saamaan.”

Pääkäyttäjät koetaan tarpeelliseksi OpenPlantin käytössä. Pääkäyttäjän vastuulla on ohjelman hallinnalliset tehtävät, kuten spesifikaatioiden ja projektiympäristön hallinta ja suunnittelijat voivat keskittyä ainoastaan varsinaisiin suunnittelutehtäviin.

### 6.3.7 Muut aiheet

Käyttäjät luonnehtivat kehitystyötä yleisesti onnistuneena siinä laajuudessa, jossa sitä tämän diplomityön puitteissa on toteutettu.

”Kyllä se on onnistunutta, kun mietitään mistä lähdettiin liikkeelle. Ollaan jo aika pitkällä tässä prosessissa.”

Käyttäjien yhtenevä mielipide tuntuu olevan, että ohjelmalle toivottaisiin laajempaa käyttöönottoa yhtiön sisällä ja sille toivottaisiin parempaa teknistä tukea ja yhtiön oman IT-tuen osallistamista. On koettu, että resursseja kehitystyön toteuttamiselle on hyvin rajallisesti, sillä tällä hetkellä kehitystyön parissa työskenteleviä pääkäyttäjiiä on vain kaksi ja heistä molemmat työskentelevät osa-aikaisesti.

”Onnistuneeksi voi luokitella (kehitystyön). Olisihan tää voinut mennä paremminkin, osittain sen takia, että eihän tässä ole ollut resursseja kovin paljon.”

Useita kehityskohteita on tunnistettu, joiden parissa kehitystyötä toivotaan jatkettavan. OpenPlant nähdään varsin potentiaalisena työkaluna laitossuunnitteluun ja käyttäjien toiveissa on saada uusia asiakasprojekteja OpenPlantilla toteutettavaksi, jotta ohjelmaa päästäisiin hyödyntämään projektityöskentelyssä.

### 6.3.8 Kootun pisteytyskyselyn tulokset

Haastattelujen lopuksi haastateltavat antoivat yleisarvosanan 0–5 kullekin aihealueelle.

Arvosteluasteikolla 0 oli huonoin ja 5 paras arvosana. Aihealueet olivat 1) projektiympäristö, 2) mallintaminen, 3) dokumentointi, 4) systeemin laatu, 5) informaation laatu, 6) palvelun laatu sekä 7) yleinen kehitystyön onnistuminen. Kuvassa 4 on esitetty kootun pisteytyskyselyn tulokset graafisesti pylväsdiagrammeina. Pisteytyskyselyn tulokset on esitetty kyselytulosten keskiarvoina aihealueittain.



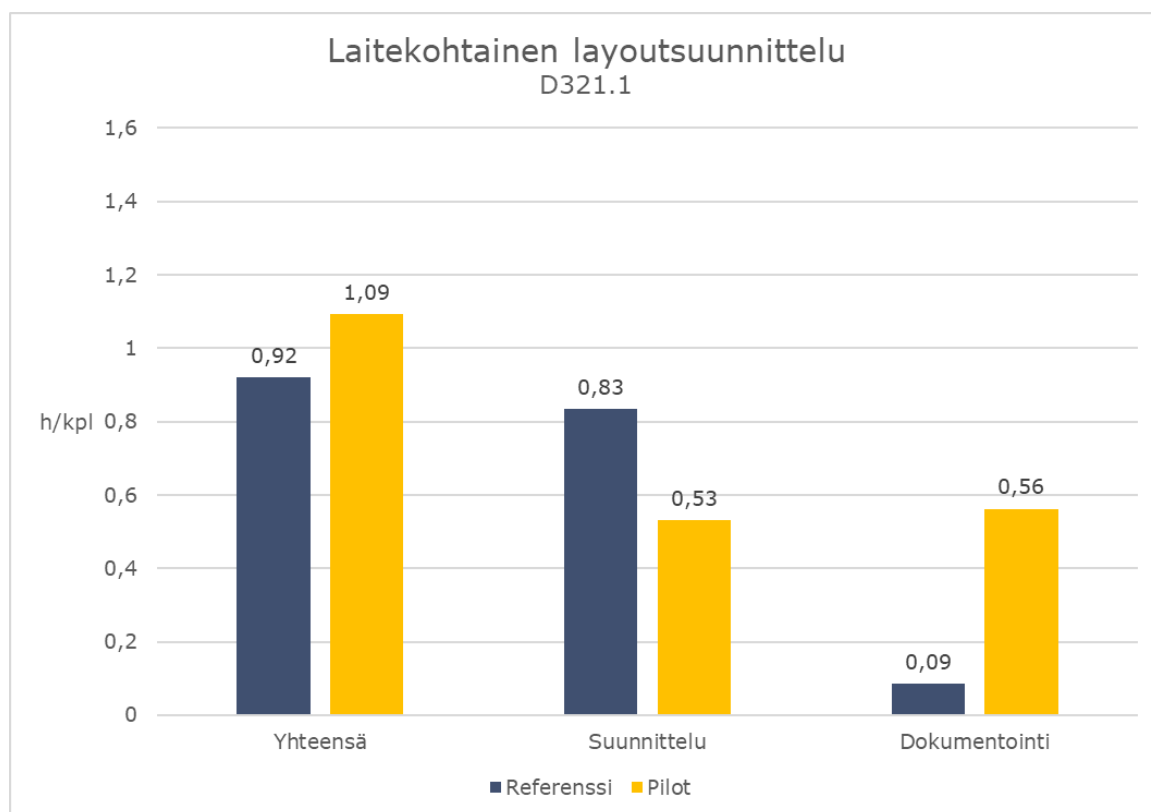
Kuva 4. Kootun pisteytyskyselyn tulokset.

## 7 Tulosten analysointi

### 7.1 Tunnusluvut

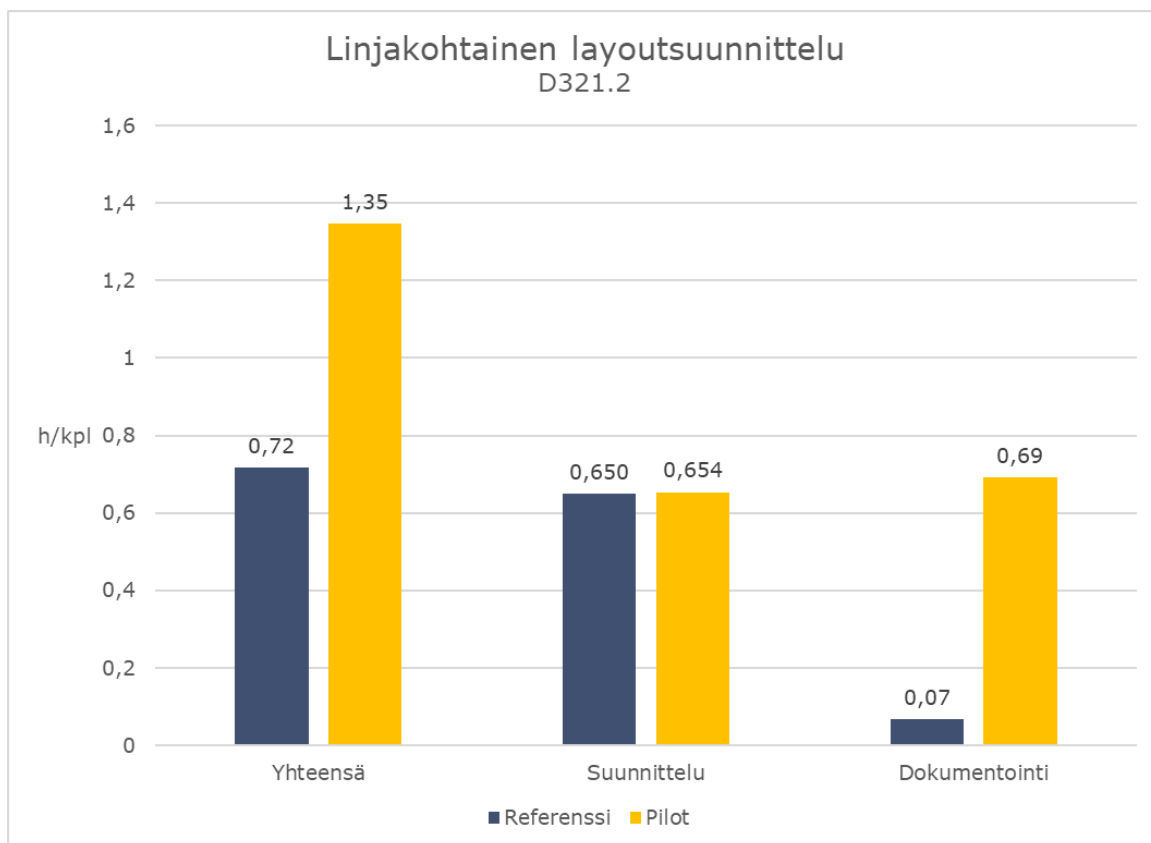
Tunnusluvut tarjoavat mittarin työskentelyn eri osa-alueiden tehokkuuden arvioimiseksi. Ne ovat kertoimia, jotka kuvaavat osa-aluekohtaista toteutumaa työtuntien suhteessa, eli kuinka paljon aikaa suhteessa tietyn osa-alueen toteuttamiseen kuluu. Mitä pienempi tunnusluvun absoluuttinen suuruus on, sen vähemmän aikaa suhteessa tietyn suunnittelun osa-alueen toteuttamiseen on kulunut. Tämä antaa selkeän käsityksen siitä, kuinka tehokkaasti eri osa-alueet ovat edenneet suunnitteluprosessissa.

Referenssiprojektin ja pilot-projektin layoutsuunnittelun tunnusluvut on kootusti esitetty laite-, linja-, pinta-ala-, ja tilavuuskohtaisesti pylväsdiagrammeina kuvissa 5–8. Tulosten vertailun helpottamiseksi referenssi- ja pilot-projektin tunnusluvut on esitetty diagrammeissa rinnakkain.



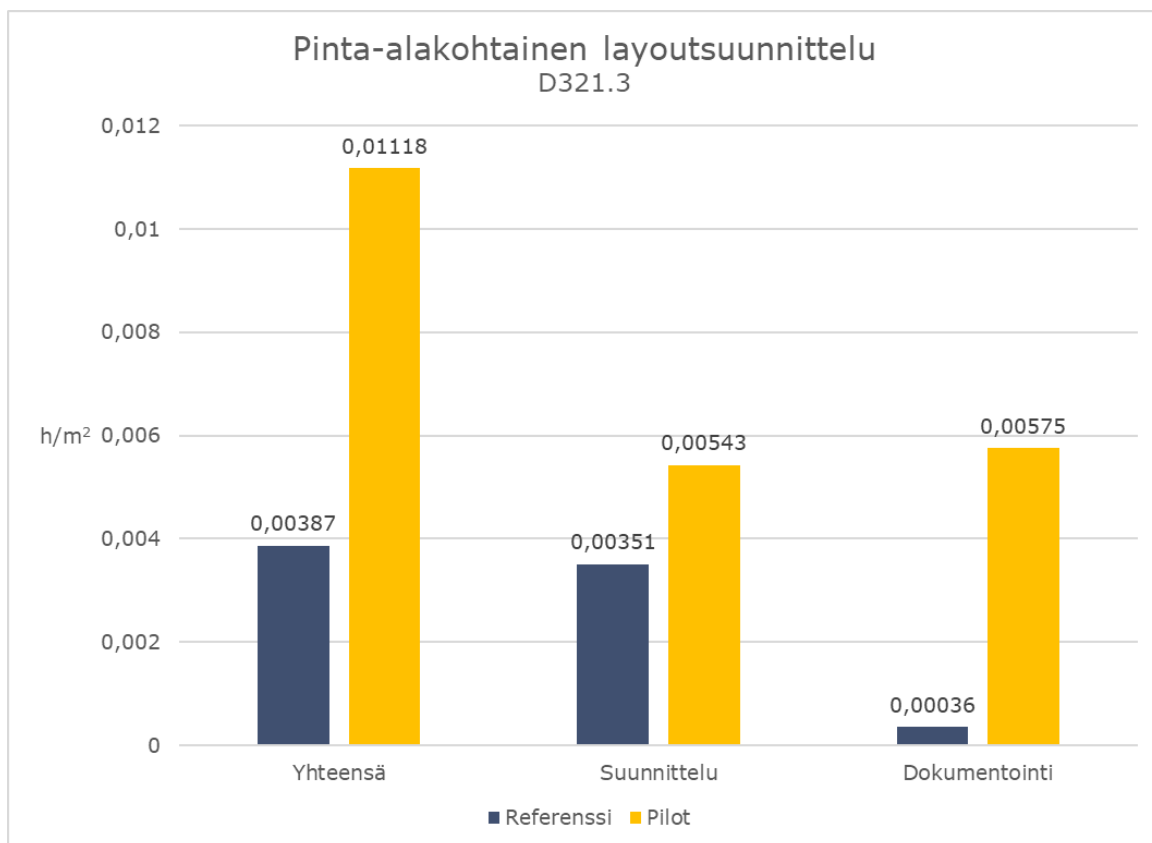
Kuva 5. Laitekohtaisen layoutsuunnittelun tunnusluvut.

Kuvassa 5 esitetyistä diagrammeista käy ilmi, että laitekohtaisesti suunnittelutunteja kului enemmän pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa. Pelkästään dokumentointiin käytettyjen tuntien mukaan laskettu tunnusluku on selkeästi suurempi pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa, mutta pelkästään suunnittelutuntien mukaan laskettu luku on pilot-projektissa referenssiprojektia pienempi.



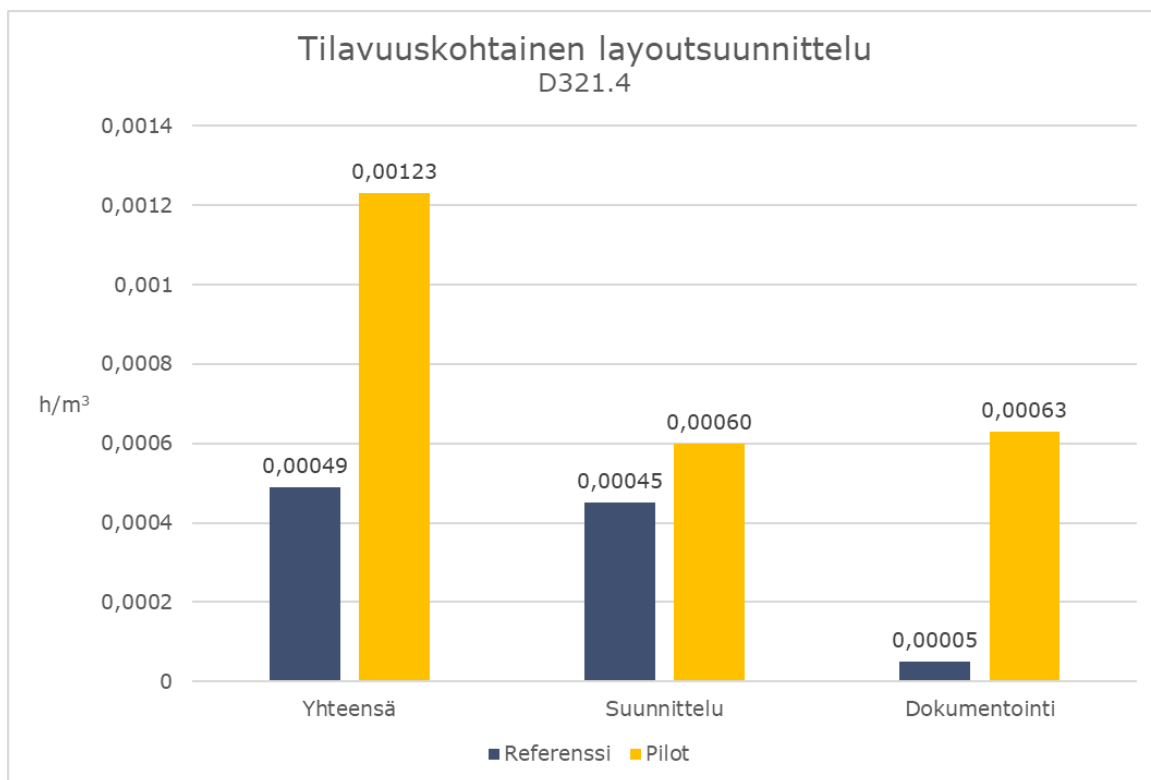
Kuva 6. Linjakohtaisen layoutsuunnittelun tunnusluvut.

Kuvassa 6 esitetyjen linjakohtaisten kuvaajien perusteella voidaan todeta, että pilot-projektissa linjakohtaiseen layoutsuunnitteluun kului enemmän työtunteja. Pelkästään suunnittelutyöhön kuluneiden tuntien perusteella laskettujen tunnuslukujen välillä ero on melko pieni, mutta erot referenssin ja pilot-projektin välillä korostuvat pelkästään dokumentointiin kuluneiden tuntien perusteella lasketuissa tunnusluvuissa.



Kuva 7. Pinta-alakohtaisen layoutsuunnittelun tunnusluvut.

Kuvassa 7 on esitetty pinta-alakohtaiset layoutsuunnittelun tunnusluvut. Kuvajista käy niin ikään ilmi, että pilot-projektin tunnusluvut ovat referenssiprojektin tunnuslukuja suuremmat, ja eroavaisuudet korostuvat pelkästään dokumentointiin käytettyjen työtuntien perusteella lasketuissa tunnusluvuissa.



Kuva 8. Tilavuuskohtaisen layoutsuunnittelun tunnusluvut.

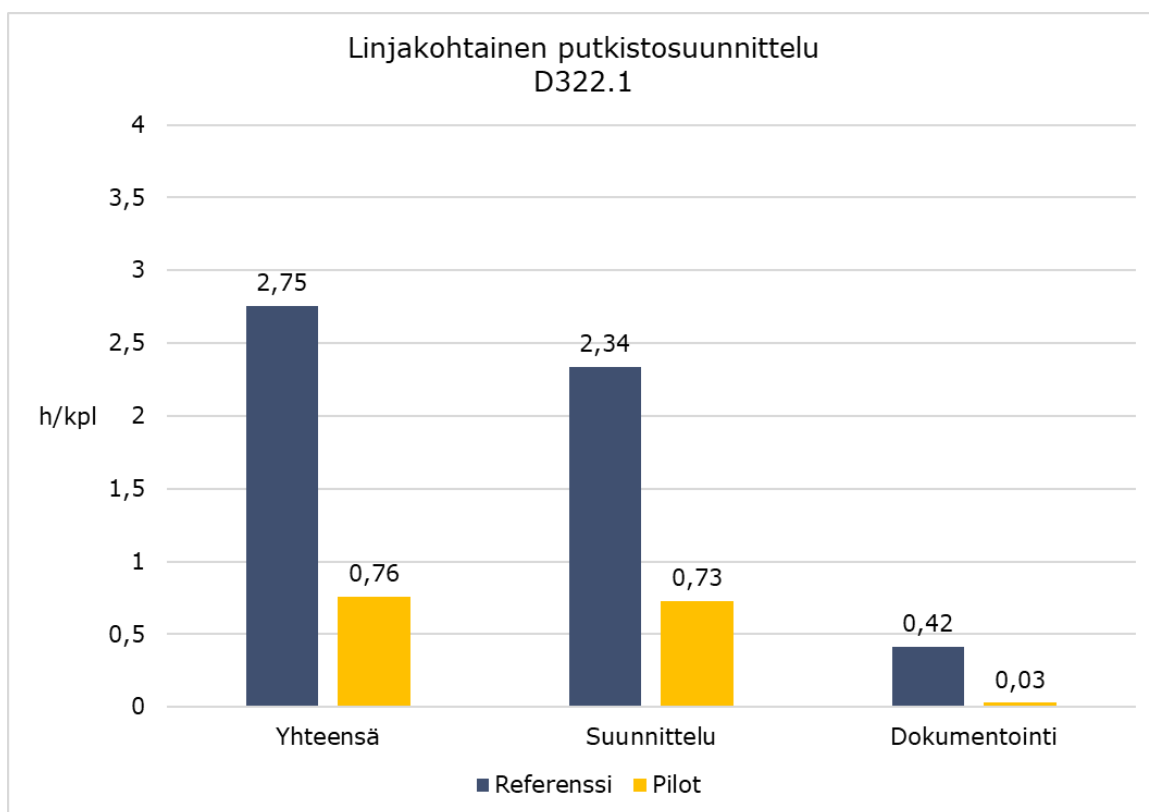
Tilavuuskohtaiset layoutsuunnittelun tunnusluvut on esitetty kuvassa 8. Kuvaajista nähdään, että tilavuuskohtaiset tunnusluvut ovat pilot-projektissa suurempia kuin referenssiprojektissa. Myös tilavuuskohtaisessa suunnittelussa pelkästään dokumentointiin kuluneissa työtunneissa korostuu eroavaisuudet pilot- ja referenssiprojektien välillä.

Layoutsuunnittelun tunnuslukujen voidaan siis todeta olevan suurempia pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa lähes kaikilla osa-alueilla. Laitte-, linja-, pinta-ala ja tilavuuskohtaista aikaa layoutsuunnitteluun kului siis enemmän pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa. Laittekohtainen (D321.1) ja linjakohtainen (D321.2) layoutsuunnittelu pelkästään suunnitteluun kuluneilta työtunneilta olivat hieman pienempiä pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa.

Mahdollinen syy on se, että referenssiprojektissa layoutsuunnittelusta vastasi kokeneempi suunnittelija ja hän kykeni mallintamaan ja laatimaan dokumentteja suhteellisesti lyhyemmässä ajassa. Erityisesti pelkästään dokumentointityötuntien perusteella laskettujen tunnuslukujen voidaan todeta olevan referenssiprojektissa pienempiä, eli kokeneemman suunnittelijan voidaan näiden lukujen perusteella päätellä laatineen layoutpiirustuksia tehokkaammin. On kuitenkin otettava huomioon, että kokenutkaan suunnittelija ei välttämättä hallitse hänelle uutta suunnitteluohjelmaa paremmin kuin kokemattomampi suunnittelija. Vaikka peruseriaatteet suunnitteluohjelmissa usein ovat melko samankaltaiset, on jokaisella ohjelmalla omat ainutlaatuiset ominaisuutensa, ja näiden ominaisuuksien

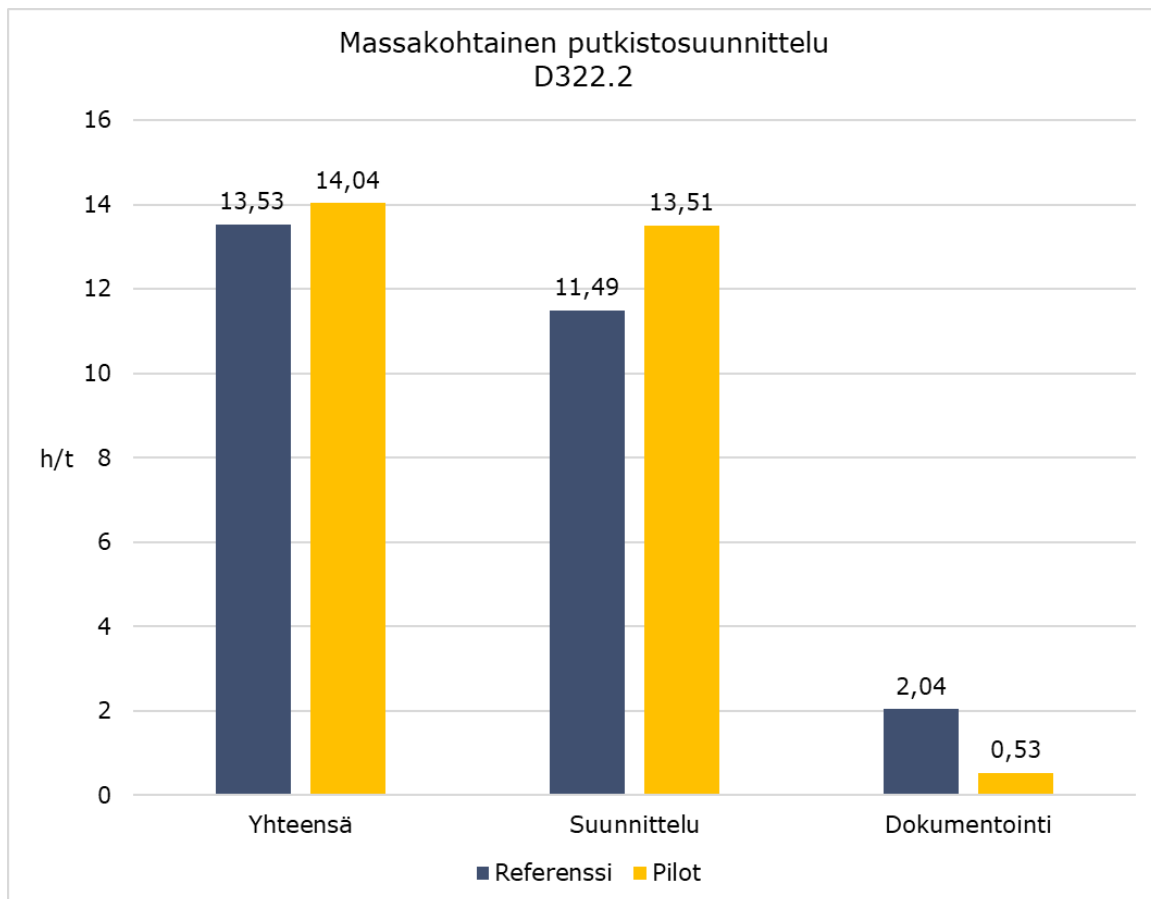
käyttö tulee kokeneenkin suunnittelijan tapauskohtaisesti oppia. Tulokset ovat myös merkittävästi riippuvaisia siitä, millä tarkkuudella suunnittelijat ovat tuntikirjauksiinsa erotelleet dokumentointiin ja muuhun suunnitteluun kuluneet työtunnit.

Putkistosuunnittelun tunnusluvut referenssiprojektin ja pilot-projektin osalta on vastaavasti koottu linja-, massa-, pituus-, ja laitekohtaisiksi pylväsdiagrammeiksi, ja ne on esitetty kuvissa 9–12.



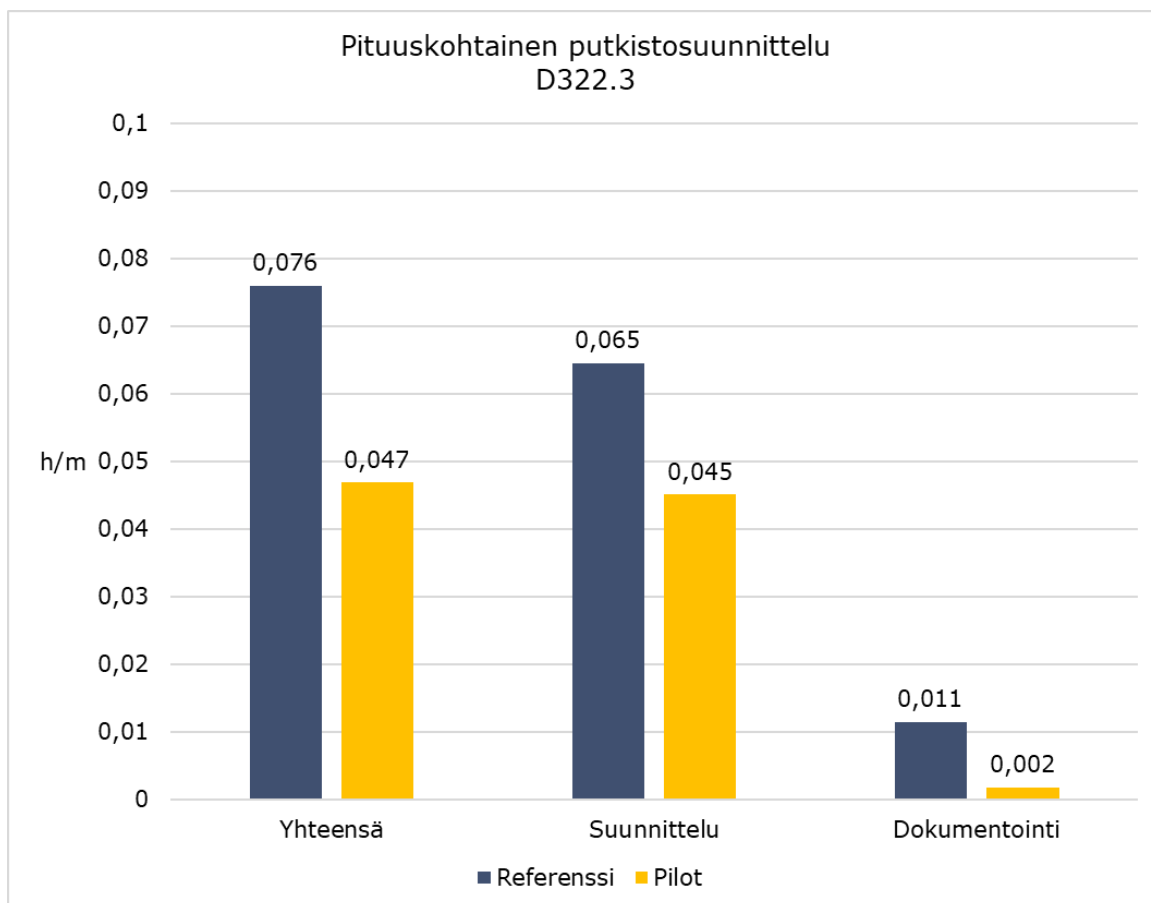
Kuva 9. Linjakohtaiset putkistosuunnittelun tunnusluvut.

Kuvassa 9 on esitetty linjakohtaisen putkistosuunnittelun tunnusluvut. Kuvaajista nähdään, että pilot-projektissa linjakohtaiseen putkistosuunnitteluun kului selkeästi vähemmän tunteja kuin referenssiprojektissa. Samassa ajassa mallinnettiin siis enemmän putkilinjoja pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa.



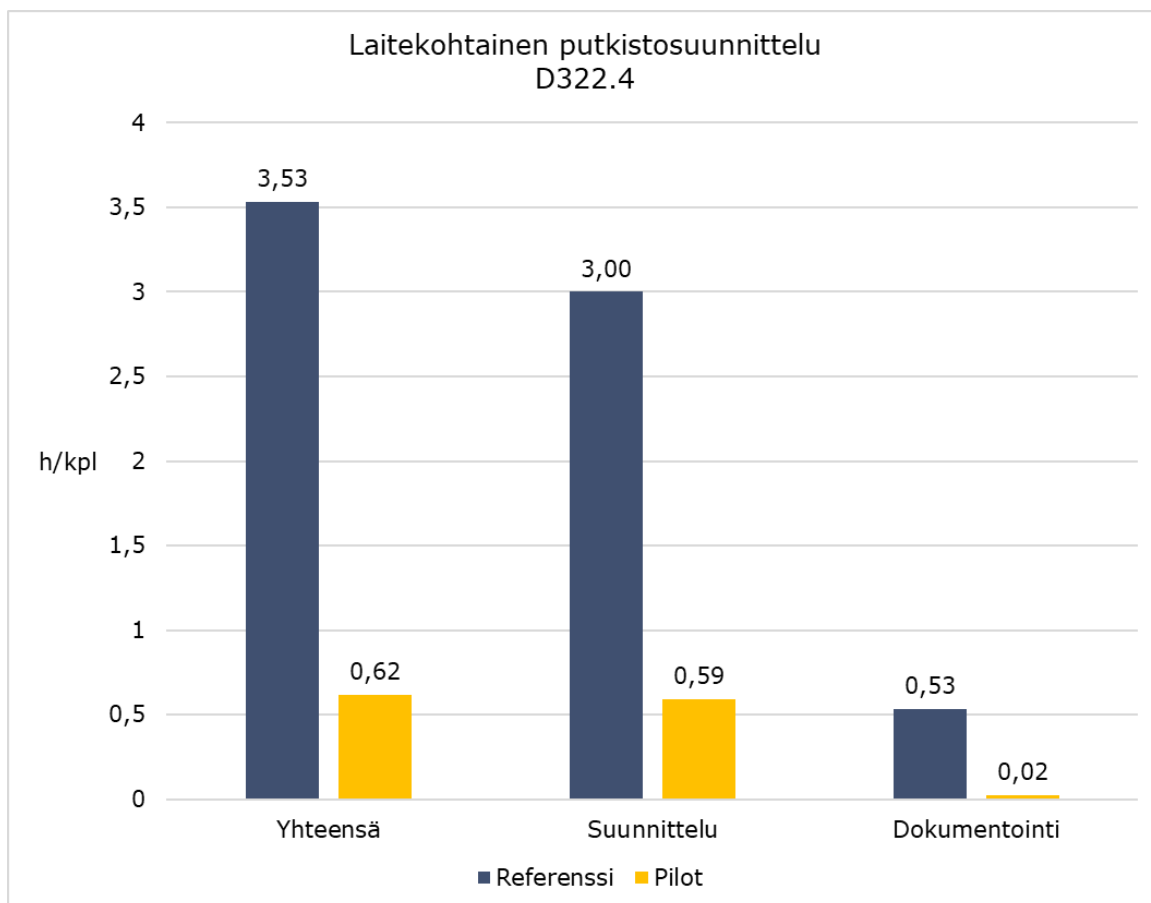
Kuva 10. Massakohtaiset putkistosuunnittelun tunnusluvut.

Kuvan 10 diagrammeissa on esitetty putkistosuunnittelun massakohtaiset tunnusluvut, ja niistä nähdään, että pilot-projektissa massakohtaisesti tarkasteltuna työtunteja kului hieman enemmän. Dokumentointiin eroteltujen työtuntien perusteella laskettu tunnusluku pilot-projektissa oli sen sijaan pienempi kuin referenssiprojektissa. Massakohtaisia tunnuslukuja osittain selittää se, että pilot-projektiin kuului sekä teräs- että muoviputkistoa, kun taas referenssiprojektissa oli ainoastaan teräsputkea. Teräsputkiston tilavuuskohtainen massa on muoviputkiston massaa suurempi, ja tämä vaikuttaa koko putkiston kokonaismassaan. Massakohtaisen tarkastelun kannalta olisi ollut järkevää käyttää vain samoja putkimateriaaleja sekä referenssi- että pilot-projektissa. Kuitenkin pilot-projektin yksi tärkeä tarkoitus oli myös testata spesifikaatioiden toimivuutta, minkä vuoksi erilaisten putkiluokkaspesifikaatioiden käyttö oli perusteltua.



Kuva 11. Pituuskohtaiset putkistosuunnittelun tunnusluvut.

Kuvassa 11 esitetyistä diagrammeista käy ilmi, että pituuskohtaisesti putkistosuunnittelutunteja kului enemmän referenssiprojektissa kuin pilot-projektissa. Putkistometrejä mallinnettiin samassa ajassa siis enemmän pilot-projektin kuin referenssiprojektin aikana.



Kuva 12. Laitekohtaiset putkistosuunnittelun tunnusluvut.

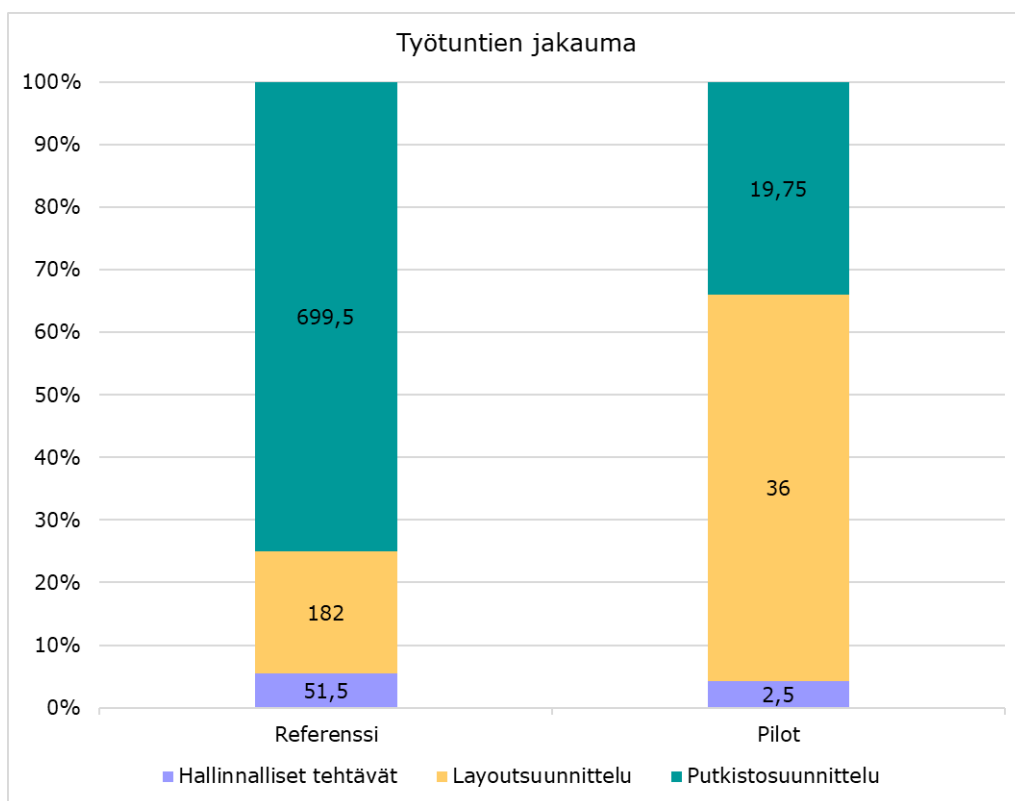
Kuvassa 12 on esitetty laitekohtaiset putkistosuunnittelun tunnusluvut, ja kuvaajista nähdään, että työtunteja kului putkistoon liittyvää laitetta kohden selkeästi enemmän referenssiprojektissa kuin pilot-projektissa.

Putkistosuunnittelun tunnusluvuista voidaan siis tehdä päinvastaisia havaintoja kuin layoutsuunnittelun tunnusluvuista. Pilot-projektin tunnuslukujen voidaan todeta olevan lähes kaikilla osa-alueilla pienempiä kuin referenssiprojektissa. Ainoastaan putkistosuunnittelun massakohtaiset tunnusluvut (D322.2) kokonaisajan ja pelkän suunnitteluajan suhteen laskettuna olivat hieman suurempia pilot-projektissa kuin referenssiprojektissa.

Mahdollinen syy tähän on se, että referenssiprojektin aikana putkistospesifikaatioita jouduttiin rakentamaan ja testaamaan, mikä hidasti putkiston mallintamista. Spesifikaatioiden valmiusaste sekä prosessisuunnittelulta saatavat lähtötiedot putkiston mallintamiselle ja isometrien ajamiselle eivät olleet optimaalisia referenssiprojektin alkaessa. Pilot-projektissa käytössä oli valmis spesifikaatiovalikoima, eikä spesifikaatioihin tarvinnut lisätä komponentteja projektin aikana.

Pilot-projektin putkistosuunnittelu oli kokonaisuudessaan yksinkertaisempi prosessi referenssiprojektin putkistosuunnitteluun verrattuna, sillä varsinaista lähtötietomateriaalia prosessisuunnittelulta ei pilotissa ollut. Oikeasta asiakasprojektista otettiin mallia, mutta putkilinjoja ei tarkasti määritetty mukailemaan mitään tiettyä prosessia. Tämä loi suunnittelulle vapautta, kun putkilinjoja tai laitteita ei tarvinnut suunnitella täysin tarkasti mukailemaan tiettyjä lähtötietoja.

Hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika referenssiprojektissa oli yhteensä 51,1 tuntia. Kun se suhteutetaan projektiryhmän koon mukaan viidesosaan, kuten pilot-projektin laajuuskin, on hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika 10,3 tuntia. Pilot-projektissa hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika oli 2,5 tuntia. Referenssiprojektissa hallinnallisiin tehtäviin kului siis projektitiimin koko huomioituna hieman yli nelinkertainen aika pilot-projektiin verrattuna. Merkityksellisempää voi kuitenkin olla suhteuttaa hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika projektin kokonaistuntimäärään. Referenssiprojektissa hallinnallisten tehtävien osuus oli 5,52 %, layoutsuunnittelun osuus 19,51 % ja putkistosuunnittelun osuus 74,97 % kokonaistuntimäärästä. Pilot-projektissa hallinnallisten tehtävien osuus oli 4,29 %, layoutsuunnittelun osuus 61,80 % ja putkistosuunnittelun osuus 33,91 % kaikista projektityötunneista. Tuntijakaumat referenssi- ja pilot-projektissa on esitetty ositettuna pylväsdiagrammeina kuvassa 13. Pylväsdiagrammin kussakin osuudessa on numeroin ilmaistu kyseisen osuuden määrä tunteina.



Kuva 13. Työtuntien jakaumat referenssi- ja pilot-projektissa.

Hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika oli siis pilot-projektissa 1,23 prosenttiyksikköä pienempi kuin referenssiprojektissa. Projektien kokonaisuakaan suhteutettuna hallinnallisten tehtävien osuus on siis melko samaa kokoluokkaa, mutta mahdollisia syitä pilot-projektin hallinnallisten tehtävien pienempään tuntimäärään on kaksi. Ensimmäinen on se, että pilot-projektin alkaessa valmius ohjelmistokokonaisuudella työskentelyyn oli parempi. Kehitystyötä projektin käynnistämiseen liittyvien tehtävien osalta oli tehty ja projektiympäristön perustaminen onnistui rutiininomaisesti. Myös mallintamiseen ja dokumentointiin liittyviin tehtäviin oli syntynyt selkeitä rutiineja, joten yleisesti työskentely ohjelmistolla oli sujuvampaa. Toinen syy on se, että pohjat projektirakenteelle, spesifikaatioille sekä dokumenteille oli kehitetty valmiiksi, joten projektin aikana niiden työstämiseen ei tarvinnut kuluttaa aikaa. Suuri osa referenssiprojektin hallinnallisiin tehtäviin käytetystä ajasta kului spesifikaatioiden rakentamiseen ja niiden toimivuuden testaamiseen, sillä projektin alkaessa spesifikaatiovalikoimaa ei ollut valmiina.

Kuvaajasta voidaan tarkastella myös layoutsuunnittelun ja putkistosuunnittelun suhteellisia osuuksia työtunneista. Tyypillisesti laitossuunnitteluprojektissa putkistosuunnittelun osuus on suurin, ja nyrkkisääntönä se kattaa noin kolmasosan laitossuunnitteluun käytetyistä työtunneista. Kuten kuvaajista voidaan havaita, referenssiprojektissa putkistosuunnittelun osuus on selkeästi suurin, kun taas pilotissa layoutsuunnittelun osuus on lähes kaksi kertaa yhtä suuri kuin putkistosuunnittelun osuus. Tässä yhteydessä projekteja tarkastellaan vain layout- ja putkistosuunnittelun kannalta, eikä muita suunnittelualoja ole lainkaan huomioitu, joten kokonaisuutta ei siis voida luotettavasti arvioida eikä syitä layout- ja putkistosuunnittelun suhteellisille osuuksille ole syvällisemmin tarpeellista pohtia. Oleellisempaa sen sijaan on pohtia pilot-projektin ja referenssiprojektin välisiä eroja suunnittelualojen suhteissa. Syy referenssiprojektin suhteellisesti suurempaan putkistosuunnittelutuntimäärään voi selittyä aiemmin mainitulla spesifikaatioiden valmiusasteella; se oli pilot-projektin aikana parempi kuin referenssiprojektissa.

Jotta tunnuslukuja voidaan pitää luotettavana, niiden laskentaan käytettävät lähtötiedot on kerättävä huolellisesti. On otettava huomioon, että tunnuslukujen laskennassa käytettävät työtunnit perustuvat suunnittelijoiden itsensä arvioimiin ja tuntikirjausjärjestelmään kirjaamiinsa tuntimääriin. Mitä tunnollisemmin tunnit on järjestelmään kirjattu, sen luotettavampana dataa voidaan pitää. Suurin osa suunnittelijoista oli tuntikirjauksissaan täsmentänyt kutakin kirjaamaansa työtuntia lisäämällä kommenttikenttään kuvauksen työtuntien sisältämistä tehtävistä, ja näiden kuvauksien perusteella eroteltiin tunnuslukujen laskennassa käytetyt työtunnit suunnittelun ja dokumentoinnin osalta. Työtuntien arvioimisen ja kirjaamisen tarkkuus voi siis vaihdella henkilöittäin tai tehtävittäin. Jokaisella suunnittelijalla on myös yksilölliset työskentelytapansa, ja henkilöiden tiedoissa, taidoissa ja kokemuksessa on eroavaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa eri työtehtäviin kuluvaan aikaan.

Huomioonotettava seikka on myös se, että pilot-projektiin ei liittynyt asiakasta, vaikka sillä asiakasprojektia pyrittiinkin mahdollisimman tarkasti jäljittämään. Asiakkaalla saattaa olla omia erityisiä toiveita, jotka projektissa on huomioitava. Pilot-projektin toteutuksesta vastasi yksi henkilö, joten projektitiimin välinen kanssakäyminen ei myöskään vaikuttanut projektin kulkuun. Mahdolliset ongelmat eri osapuolten välisessä kommunikaatiossa tai työskentelyaikataulujen yhteensovittamisessa voivat mahdollisesti aiheuttaa viiveitä projektissa, mutta nämä tekijät eivät luonnollisesti pilot-projektiin liittyneet.

## 7.2 Käyttäjäkokeemukset

Haastattelututkimukseen osallistuvia suunnittelijoita oli neljä, joten on huomioitava kerätyn tutkimusaineiston otannan rajallisuus. Ideaalitulanteessa haastattelututkimuksessa olisi haastateltu useampaa henkilöä, jotta tutkimusaineistoa olisi saatu kerättyä laajemmalla otannalla, mutta kohdeyrityksen tapauksessa se ei ollut mahdollista. Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli nimenomaan verrata käyttäjien kokemuksia referenssiprojektin aikana ja kehitystyön toteuttamisen jälkeen. Referenssiprojektiksi valikoitunut asiakasprojekti oli ainoa ennen kehitystyön toteutusta OpenPlantilla toteutettu projekti, joka oli laajuudeltaan sellainen, että siitä oli mahdollista kerätä riittävästi tutkimusmateriaalia. Valikoituneeseen referenssiprojektiin osallistui viisi suunnittelijaa, joista yksi on tämän diplomityön ja haastattelututkimuksen tekijä ja neljä heistä olivat haastateltavat suunnittelijat. Valinnanvaraa ei siis ollut referenssiprojektin valinnan tai haastattelututkimukseen osallistuvien suunnittelijoiden osalta.

Kootun pisteytyskyselyn jokaiselle osa-alueelle käyttäjät antoivat keskimäärin arvosanaksi vähintään 3 asteikolla 0–5. Keskiarvojen keskiarvo kahden desimaalin tarkkuudella on 4,02. Tuloksista voidaan päätellä käyttäjien olevan tyytyväisiä ohjelman käyttöön ja he pitävät kehitystyötä onnistuneena niissä puitteissa, joissa sitä on tähän mennessä ehditty toteuttaa. Huomioonotettava seikka on haastateltavien henkilökohtaiset taipumukset pisteiden antamiseen. Pisteytys perustuu jokaisen haastateltavan omaan henkilökohtaiseen arvioon, ja kynnys antaa rehellisiä mielipiteitä voi olla korkea, jos henkilöillä on mielikuva siitä, mikä olisi kehitystyön toivottu tulos. Niin sanotusti ”huonoja” arvosanoja ei ehkä uskalleta antaa yhtä helposti kuin parempia arvosanoja. Vaikka arvosteluasteikon mukaan arvosana 3 on hyvä, voi olla kannattavampaa tarkastella arvioitavien osa-alueiden suhteellisuutta toisiinsa.

Pisteytyskyselyn kohta 6a ” Koetko saavasi riittävästi tukea ohjelman käyttöön liittyvissä ongelmissa (IT-tuelta/esihenkilöltä/admin-henkilöiltä yleisesti)?” on saanut keskiarvona arvosanan 3, joka on suhteessa muihin kyselyn kohtiin huonoin arvosana. Myös haastatteluissa suunnittelijat toteavat, etteivät koe saavansa yhtiön IT-tuelta niin hyvää tukea ohjelman käyttöön kuin toivoisivat. 6a-

kohdassa pyydetään antamaan yleisarvosana kaikesta palvelun laadusta, joka sisältää sekä IT-tuen, esihenkilön että pääkäyttäjän tarjoaman tuen. Jos näiden tahojen palvelun laatua olisi pyydetty arvioimaan erikseen, olisi pisteytystulokset mahdollisesti jakautuneet eri tavoin tahojen kesken siten, että yhtiön IT-tuen saama arvosana olisi ollut esihenkilön ja pääkäyttäjän arvosanoja alhaisempi. Kokemus IT-tuen tarjoaman tuen vajavaisuudesta liittyy haastatteluissa käytyjen keskustelun perusteella siihen, ettei yhtiön IT-tuella koeta olevan riittävästi tietoa ohjelmiston toiminnasta eikä välitöntä teknistä tukea siten yhtiön puolesta ole tarjolla. OpenPlant-ohjelmistot eivät ole yhtiössä yhtä laajassa käytössä kuin jotkut muut vastaavat suunnitteluohjelmat, esimerkiksi Aveva E3D, ja IT-tuen resurssit painottuvat näihin laajemmin käytössä oleviin ohjelmistoihin. Myös yhtiön tietokoneisiin asetettujen käyttöoikeusrajoitusten koettiin vaikeuttavan ohjelmistolla työskentelyä, sillä joihinkin toimenpiteisiin tarvitaan IT-tuen toimimista välikätenä. Esimerkiksi joihinkin kansiorakenteisiin ei peruskäyttäjällä ole muokkausoikeuksia, mutta ohjelmiston toiminnan kannalta muutoksien tekeminen kyseisiin kansiorakenteisiin on välttämätöntä. Yhtiön IT-tuen tarjoamassa tuessa olisi tässä tutkimuksessa kerättyjen tulosten perusteella siis kehittämisen varaa. Siihen ei tässä diplomityössä toteutetussa kehitystyössä ollut mahdollisuutta vaikuttaa, sillä kehitystyö toteutettiin sisäisesti kehitystiimissä, joka koostui vain suunnittelijoista. Yhtiön IT-tuen osallistaminen kehitystyöhön mahdollistaisi myös tämän osa-alueen kehittämisen.

Pisteytyskyselyn kohta 5b ”Onko OpenPlantilla mielestäsi mahdollista mallintaa riittävän suurella tarkkuudella?” oli saanut keskiarvona arvosanan 4,75, joka oli pisteytyskyselyn paras arvosana. Haastatteluissa käyttäjät totesivat, että ohjelmistolla on mahdollista mallintaa riittävällä tarkkuudella ja jopa tarkemmin kuin esisuunnitteluvaiheen projekteissa yleensä on tarpeellista. Toiseksi korkeimman keskiarvosanan 4,5 sai pisteytyskyselyn kohta 2a ”Onko putkiston mallintaminen OpenPlantilla mielestäsi helppoa?”. Haastateltavat kertovat kokevansa putkiston mallintamisen olevan helpompaa OpenPlantilla kuin muilla käyttämillään vastaavilla ohjelmilla. Heidän mielestään myös putkiston mallintaminen OpenPlantilla on helposti opittavissa. Antamisensa arvosanojen ja haastattelussa käytyjen keskustelujen pohjalta voidaan siis todeta, että mallintamiseen ja sen tarkkuuteen käyttäjät ovat erityisen tyytyväisiä verrattuna muihin aihealueisiin.

Ohjelman esittelytilaisuus herätti mielenkiintoa myös ohjelman uusissa käyttäjissä ja neljä haastattelututkimuksen ulkopuolista henkilöä otti osaa tapahtumaan. Uudet käyttäjät näkivät ohjelman potentiaalisena työkaluna ja he olivat myös kiinnostuneita työskentelemään OpenPlantilla tulevaisuudessa. Esittelytilaisuuden yhteydessä uudet käyttäjät kertoivat kokemuksistaan putkisto- ja layoutsuunnittelusta muilla suunnitteluohjelmilla ja yleinen mielipide oli se, että OpenPlant nähtiin helposti lähestyttävänä ohjelmana ja se koettiin helpommin omaksuttavammaksi ja käyttöliittymältään yksinkertaisemmaksi kuin esimerkiksi yhtiössä laajasti käytössä oleva Aveva E3D.

DeLonen ja McLeanin informaatiojärjestelmän menestysmallin mukaan mallin osa-alueet, eli informaation, systeemin ja palvelun laatu vaikuttavat käyttäjätyytyväisyyteen ja käyttöaikeisiin, ja ne puolestaan vaikuttavat systeemin tuottamaan nettohyötyyn (Petter, DeLone & McLean, 2008). Kun käyttäjät kokevat järjestelmän käytön hyödylliseksi, he käyttävät sitä todennäköisemmin ja käytön myötä järjestelmän tuottamaa hyötyä kasvaa. Yhtiön kannalta kehitystyötä voidaan siis pitää järkevänä ja sitä on kannattavaa jatkaa, sillä kehittämällä ohjelmistoa voidaan käyttäjätyytyväisyyttä ja ohjelman käyttöä lisätä, mikä tuottaa yhtiölle enemmän hyötyä.

### **7.3 Tutkimusmenetelmien soveltuvuus**

Tässä tutkimuksessa käytettiin sekä laadullisia että määrällisiä tutkimusmenetelmiä.

Tutkimuskysymyksiensä luonteen vuoksi tutkimusmenetelmien valinnat olivat perusteltuja ja niiden avulla saatiin monipuolisempaa tutkimusaineistoa kuin oltaisiin pelkästään määrällisin tai laadullisin tutkimusmenetelmin kyetty keräämään.

Käyttäjäkokemusten kartoittamiseen kvalitatiiviset menetelmät soveltuivat hyvin ja koottu pisteytyskysely tarjosi avoimien haastattelukysymyksiensä tueksi menetelmän vertailla käyttäjien kokemuksia numeerisesti. Ideaalitulanteessa haastattelututkimukseen olisi saatu laajempi otanta, jos haastateltavia henkilöitä olisi ollut enemmän. Laitossuunnittelun tunnusluvut ovat standardisoituja, joten niiden käyttö tässä tutkimuksessa kvantitatiivisena menetelmänä oli pätevä ja se mahdollistaa vastaavan tutkimuksen toteuttamisen ja tulosten vertailun myös tulevaisuudessa.

Valitut tutkimusmenetelmät täydentävät toisiaan ja tutkimuksella saatiin kartoitettua aiheita laajemmasta näkökulmasta kuin yksittäisellä tutkimusmenetelmällä. Vastaavaa tutkimusaineistoa laitossuunnittelun ohjelmien kehitystyön onnistumisesta ei juurikaan löydy, joten tutkimusongelman mahdollisimman monipuolinen tarkastelu oli kannattavaa.

### **7.4 Tulevaisuuden kehityskohteet**

Tässä luvussa on esitetty kehitystyön aikana tunnistettuja sekä haastattelututkimuksessa esiinnousseita kehityskohteita. Niiden pohjalta kehitystyötä voidaan jatkaa tämän diplomityön puitteissa toteutetun kehitystyön jälkeen.

### 7.4.1 Uusien moduulien käyttöönotto

Seuraava askel kehitystyössä on OpenPlant Modelerin muiden moduulien käyttöönotto, jotta ohjelmalla pystytään suunnittelemaan projekteja kokonaisvaltaisemmin. Equipment-moduulin käyttöönotto rajattiin tämän diplomityön ulkopuolelle, mutta sen käyttöönottoa on jo aloitettu ja kehitystä sen osalta jatketaan. Kannakkeiden suunnittelu on olennainen osa putkistosuunnittelua ja Structural-moduulin käyttöönotto on siten luonnollinen seuraava vaihe. Näiden moduulien jälkeen otetaan myös käyttöön kaapelihyllyjen ja LVI-suunnitteluun tarkoitettut Raceway- ja HVAC-moduulit. Kannakesuunnittelua varten erillisen Bentleyyn Support Engineering -ohjelman käyttöönottoa on myös aloitettu.

### 7.4.2 Rinnakkaisen työskentelyn tehostaminen

Rinnakkaisen työskentelyn selkeytys on yksi kehityskohde. Projektiin kuuluvien mallien nimeämiseen ja jakoon tulee määrittää selkeät toimintatavat, jotta työskentely olisi tehokasta ja selkeää. Tähän mennessä työskentely on tapahtunut verkkolevy-ympäristössä ja useamman suunnittelijan yhtäaikaista työskentelyä samassa mallissa on estetty niin, että ohjelma ei anna kahden käyttäjän avata samaa mallia yhtäaikaisesti. Vain katseluversion avaaminen on mahdollista, mikäli malli on jo toisella käyttäjällä auki. Bentley ProjectWise on projektinhallintajärjestelmä, jonka käyttöönottoa voidaan tulevaisuudessa harkita rinnakkaisen työskentelyn ja projektinhallinnan selkeyttämiseksi.

### 7.4.3 Spesifikaatiot

Spesifikaatiovalikoimaa kasvatetaan. Valmiita spesifikaatioita rakennetaan uusille putkiluokille, jotta valmius mallintaa useammilla eri putkiluokilla on jo projektin alkaessa. Projektin aikana täydennystarpeita komponenttikirjastoihin tulee luonnollisesti, mutta ainakin paineluokan PN16 mukaiset putkispesifikaatiot seostamattomille ja seostetuille teräsputkille olisi kannattavaa luoda.

### 7.4.4 Piirustustuotanto

OpenPlant Orthographics Manager on Bentleyyn piirustustuotantoon tarkoitettu erillinen ohjelma. Orthographics Managerin käyttöönotto tehostaisi sijoituspiirustusten tuotantoa ja se voisi olla hyödyllinen työkalu, mikäli OpenPlant tulee jatkossa olemaan yhtiössä laajemmin hyödynnetty ohjelma. Dokumenttipohjia voidaan tehdä valmiiksi erikokoisille arkeille. Tällä hetkellä dokumenttipohjat on luotu valmiiksi vain A1-kokoisille isometri- ja layoutkuva-arkeille, mutta ainakin A0- ja A2-kokoiset arkit kannattaa skaalata valmiiksi. Sijoituspiirustuksien tuotantoa varten

määritetään fonttityylit parempaan valmiuteen. Putkilinjojen ja laitteiden nimeämiseen määritetään omat selkeät fonttityylit, jolloin dokumenttien ilme yhtenäistyy ja suunnittelijan työ helpottuu, kun määrittämiä ei tarvitse jokaisen dokumentin kohdalla luoda uudestaan.

#### 7.4.5 Raportointi

Laitossuunnittelun tunnuslukujen laskemisessa hyödynnettiin OpenPlantin Piping-ohjelmistomoduulin raportointityökalua. Raportoinnissa käytettiin ohjelmiston valmiita putkistoraporttipohjia.

Putkistoraportit ajettiin ohjelmasta Excel-tiedostoina. Valmiit raporttipohjat ovat kuitenkin sekavia ja ne vaativat paljon manuaalista siistimistä, jotta niistä saatiin tarvittavat tiedot. Yksi seuraavista kehityskohteista onkin raportointi. Tavoitteena on luoda selkeät raporttipohjat, jolloin raporttien jälkikäsitteilyyn kuluva aika voidaan vähentää. Raporttipohjasta on selkeästi käytävä ilmi putkilinjojen tunnuksat, putken halkaisija, materiaali sekä käyrien, venttiileiden yms. putkistoon kuuluvien osien lukumäärä. Raporttipohjan tulisi olla sellainen, että siitä voidaan yksinkertaisilla toimenpiteillä laskea esimerkiksi putkiston kokonaispituus ja oma massa, ja näitä lukuja voidaan hyödyntää kustannusarvioinneissa tai tunnuslukujen laskennassa. Raporttipohjiin valitaan vain tarvittavat tiedot ja raportin ulkoasu muokataan selkeäksi ja yrityksen graafisen ilmeen mukaiseksi.

#### 7.4.6 Tuntikirjaukset

Jatkossa tuntikirjauksiin olisi syytä kiinnittää tarkempaa huomiota, jos suunnittelutyöhön kuluneita työtunteja halutaan jollain tapaa käyttää toteutuneen työn laadun tai määrän tarkasteluun.

Tuntikirjaukset perustuvat jokaisen suunnittelijan henkilökohtaiseen arvioon ja arvion tarkkuus saattaa vaihdella henkilöittäin. Mitä tarkemmin ja tunnollisemmin työtunteja kirjataan ja mitä yksityiskohtaisemmin työntekijät tuntikirjauksien kommenttikentässä kuvailevat työtehtäviään, joihin heidän kirjaamansa työtunnit ovat kuluneet, sen tarkempaa ja luotettavampaa dataa tuntikirjauksista on mahdollista saada. Työntekijät saattavat kokea tunnollisen tuntikirjauksen ylläpitämisen epämotivoivana, mikäli heidän kokemuksensa on se, että kirjanpidolla valvotaan yksilön työpanosta enemmän kuin järjestelmää. Työntekijöille voitaisiin korostaa tuntikirjauksen merkitystä nimenomaan työkalujen valvonnan näkökulmasta. Kun työkalujen käyttöä voidaan mitata, on niitä myös mahdollisuus kehittää. Kehityksen tuloksena työntekijöille on mahdollista tarjota aiempaa parempia työkaluja, joita on mielekkäämpää käyttää.

#### 7.4.7 Yhteensovitus prosessisuunnittelun ohjelmiston kanssa

OpenPlanttiin tulisi rakentaa yhteys ProElinan kanssa, joka on yhtiössä laajasti käytössä oleva ohjelma, jossa esimerkiksi prosessisuunnittelun lähtötiedot on hallittu. ProElinasta voitaisiin tuoda putkilinjakohtaiset tiedot, eikä niitä tarvitsisi suunnittelijan manuaalisesti täydentää OpenPlanttiin. Tämä vähentäisi suunnittelijan työtä ja vähentäisi myös virheiden todennäköisyyttä, kun samoja tietoja ei tarvitsisi hallinnoida useassa ohjelmassa.

#### 7.4.8 Yhteistyö IT-tuen kanssa

Haastattelututkimuksessa sekä kootussa pisteytyskyselyssä käyttäjät arvioivat yhtiön IT-tuella olevan kehittämisen varaa palvelun laadussa. IT-tuen osallistaminen kehitystyöhön, ja IT-tuen ja kehitystiimin välisen yhteistyön parantaminen mahdollistaisivat sen, että ohjelman kehitystä tällä osa-alueella voitaisiin toteuttaa. Jatkossa kehitystiimi voisi työskennellä tiiviimmin yhtiön IT-tuen kanssa, jotta yhtiön IT-tuki saisi paremmat valmiudet tarjota tukea käyttäjille.

#### 7.4.9 Tarkistuslista projektin käynnistämiseen

Tällä hetkellä valmius OpenPlantilla työskentelyyn projektin alkaessa on jo huomattavasti parempi, kuin ennen kehitystyön toteutusta. Projektin liikkeellelähden helpottamiseksi voitaisiin luoda kirjallinen ohjeistus, joka toimisi niin sanottuna tarkistuslistana siitä, mitä kaikkea on otettava huomioon projektin alkaessa. Tarkistuslista tulisi sisältämään muun muassa projektin aikana käytettävät spesifikaatiot, dokumenttipohjat ja yleiset toimintatavat. Tämä ohjeistus voitaisiin käydä läpi yhdessä asiakkaan kanssa projektin aloituskokouksessa.

### 7.5 Johtopäätökset

Pilot-projektista ja haastattelututkimuksesta saatujen tutkimustulosten perusteella voidaan vastata diplomityön kahteen tutkimuskysymykseen.

#### **Vastaako ohjelmiston toiminta kehitystyön jälkeen sille asetettua käyttötarkoitusta?**

Kyllä, ohjelmiston toiminta kehitystyön jälkeen vastaa sille asetettua käyttötarkoitusta. Ohjelmistokokonaisuuden vaadituksi käyttöasteeksi kehitystyön jälkeen asetettiin, että sillä voidaan toteuttaa projektin perustaminen, putkiston mallintaminen sekä putkistoisometrien ja tehdassiijoituspiirustuksien luominen. Kaikki mainitut toimenpiteet onnistuivat pilot-projektissa.

Haastattelututkimuksen tulokset osoittavat käyttäjien olevan sitä mieltä, että ennen kehitystyötä asetetut toiminnalliset vaatimukset täyttyivät yhtä yksityiskohtaa lukuun ottamatta. Dokumentoinnin kehitystyön yhdeksi osa-alueeksi määriteltiin valmiiden fonttityylien luominen. Tässä osa-alueessa ei käyttäjien mielestä täysin onnistuttu, ja fonttityylejä on vielä kehitettävä, jotta laitteiden ja putkilinjojen nimeäminen sijoituspiirustuksiin onnistuisi selkeämmin ja yhdenmukaisemmin.

Haastattelujen ja pisteytyskyselyn perusteella käyttäjät pitivät kehitystyötä yleisesti onnistuneena, mutta kehitystyö tämän diplomityön puitteissa jäi hyvin rajalliseksi ja tarve kehitystyön jatkamiselle on selkeästi tunnistettu. Useita uusia kehityskohteita tunnistettiin ja niitä aiotaan hyödyntää tulevaisuuden kehitystyössä.

Yhteenvetona haastatteluiden ja pisteytyskyselyn tuloksista voidaan todeta, että pääasiassa käyttäjäkokemukset ohjelmistosta ovat melko positiivisia. Ohjelmiston käyttö koetaan mielekkäänä ja putkisto- ja layoutsuunnitteluun sopivana työkaluna. Myös uudet käyttäjät ovat kiinnostuneita työskentelemään ohjelmistolla. Ohjelmistolle toivottaisiin laajempaa käyttöönottoa yrityksessä, ja sen myötä mahdollisesti saataisiin parannettua yhtiön IT-tuen tarjoamaa teknistä tukea ohjelman käyttöön, sekä kasvatettua resursseja kehitystyön jatkamiseen.

### **Onko ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kuluva aikaa onnistuttu kehitystyöllä vähentämään?**

Kyllä, ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kuluva aikaa onnistuttiin vähentämään. Hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika suhteutettuna projektin kokonaistuntimäärään oli referenssiprojektissa 5,52 % ja pilot-projektissa 4,29 %. Hallinnallisiin tehtäviin kulunut aika oli siis kehitystyön jälkeen 1,23 prosenttiyksikköä pienempi.

Yksi kehitystyön tavoitteista oli hallinnallisiin tehtäviin kuluvan ajan minimoiminen ja tämän tavoitteen näkökulmasta kehitystyötä voidaan myös pitää siinä mielessä onnistuneena, että aikaa onnistuttiin vähentämään, joskaan ei merkittävästi. Tuntimäärät perustuvat työntekijöiden itsensä arvioimiin ja kirjaamiin lukuihin, joten niihin on suhtauduttava kriittisesti.

Prosessiteollisuuden laitossuunnitteluohjelman käyttöönotosta ja kehitystyöstä ei ole juurikaan löydy aikaisempaa akateemista tutkimusta, joten vertailua aikaisemman tutkimuksen ja tässä diplomityössä kerätyn uuden tutkimustuloksen välillä on hankala tehdä. Syynä saattaa olla yksiselitteisen käyttöönoton onnistumisen arviointimenetelmän puute. Järjestelmien käyttöönoton onnistumisen arviointia olisi kuitenkin hyödyllistä tehdä, sillä sen avulla saataisiin kerättyä tietoa siitä, miten aikaisemmin tunnistettuja ongelmia pystyttäisiin välttämään, toimivatko ohjelmat odotetulla tavalla ja tuottavatko ne käyttäjilleen ja yritykselle hyötyä. DeLonen ja McLeanin informaatiojärjestelmän

menestysmallin periaatteen mukaan käyttäjien kokema hyöty ja tyytyväisyys järjestelmää kohtaan lisäävät järjestelmän käyttöä, mikä puolestaan lisää järjestelmän tuottamaa nettohyötyä.

Tutkimustulosten perusteella kehitystyötä voidaan pitää kannattavana ja sen jatkamista perusteltuna, sillä ohjelmiston kehittämisellä saavutettiin käyttäjätyytyväisyyttä.

## 8 Yhteenveto

Tämän diplomityön tarkoituksena oli kehittää laitossuunnitteluohjelmaa siten, että sillä pystyttäisiin toteuttamaan layout- ja putkistosuunnittelua projektin perustamisen, mallintamisen, sekä isometri- ja sijoituspiirustustuotannon osalta. Työn alussa kuvattiin layout- ja putkistosuunnittelua sekä tietojärjestelmän käyttöönoton onnistumisen arviointia kirjallisuuskatsauksena. Kehitystyön onnistumista tutkittiin pilot-projektin sekä haastattelututkimuksen avulla. Pilot-projektissa ohjelmistokokonaisuuden hallinnallisiin tehtäviin kulunutta aikaa verrattiin PSK:n standardiin perustuvien tunnuslukujen avulla aiemmin samalla ohjelmistolla toteutettuun referenssiprojektiin. Haastattelututkimuksella kartoitettiin suunnittelijoiden käyttäjäkokemuksia.

Pilot-projektin ja haastattelututkimuksen avulla pyrittiin löytämään vastaukset kahteen tutkimuskysymykseen:

1. Vastaako ohjelmiston toiminta kehitystyön jälkeen sille asetettua käyttötarkoitusta?
2. Onko ohjelmiston hallinnallisiin tehtäviin kuluva aika onnistuttu kehitystyöllä vähentämään?

Tutkimustulosten perusteella vastaus molempiin kysymyksiin on myönteinen. Projektin perustaminen, mallintaminen ja dokumentointi onnistuivat ennen kehitystyötä määritetyissä rajoituksissa valmiiden fonttityyliä käyttöönottoa lukuun ottamatta. Hallinnallisiin tehtäviin kuluva aika suhteessa projektin kokonaistyötuntimäärään onnistuttiin vähentämään hieman; 1,23 prosenttiyksikön verran. Haastattelututkimuksessa saatujen tutkimustulosten perusteella käyttäjät arvioivat kehitystyön yleisesti onnistuneeksi ja sen soveltuvan hyvin layout- ja putkistosuunnittelun työkaluksi. Kehitystyön jatkamiselle tunnistettiin selkeä tarve, ja useita tulevaisuuden kehityskohteita nousi esiin haastatteluissa.

Tämän diplomityön empiirinen osuus tarjosi uutta tutkimustietoa laitossuunnitteluun tarkoitetun ohjelmiston käyttöönoton ja kehitystyön onnistumisesta, sillä aikaisempaa akateemista tutkimusta tällä alalla kyseisestä aiheesta ei juurikaan ole tehty. Henkilökohtaisella tasolla tämän diplomityön toteutus antoi arvokasta kokemusta ohjelmistokokonaisuuden kehitystyöstä ja syvensi omaa osaamistani ohjelmiston käytöstä sekä layout- ja putkistosuunnittelusta yleisesti. Sain kokemusta laajan projektin itsenäisestä läpiviemisestä sekä akateemisen tutkimuksen toteuttamisesta. Yleinen ammatillinen osaamiseni ja itsevarmuuteni ovat kehittyneet tämän työn myötä. Tarkoitukseni on jatkaa työtä ohjelmiston pääkäyttäjänä ja tämä diplomityö tarjosi hyvät suuntaviivat sille, kuinka kehitystyötä kannattaa jatkaa.

## Lähteet

AFRY. Tietoa meistä. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista/>.

AFRY. Laitossuunnittelu. [Viitattu 22.2.2023]. Saatavissa: <https://afry.com/fi-fi/palvelu/laitossuunnittelu/>.

AFRY Manuals. Knowledge management @ AFRY. Mechanical & Piping Engineering [verkkoaineisto]. [Viitattu 29.5.2023].

AFRY Portal. AFRY intranet. [Viitattu 23.3.2023].

AFRY way. Process Industries Finland. AFRY way – Mechanical & Piping [verkkoaineisto]. [Viitattu 14.6.2023].

Ball, A. 2013. DPC Technology Watch Report. Preserving Computer-Aided Design (CAD). Great Britain, Digital Preservation Coalition. ISSN: 2048-7916.

Bentley. Bentley Systems. [Viitattu 8.11.2023]. Saatavissa: <https://www.bentley.com/>.

Bentley. 2020. OpenPlant Modeler, CONNECT Edition. Product data sheet. Tuotedokumentti.

Bi, Z. & Wang, X. 2020. Computer Aided Design and Manufacturing. John Wiley & Sons Ltd, ASME Press. ISBN: 978-1-119-53424-2.

Cadmatic Academy. 2018. Cadmatic user level basic. Koulutusmateriaali.

Camba, J. & Contero, M. 2016. Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability. University of Houston, USA. Universitat Politècnica de València, Spain. ISSN: 0010-4485.

Delone, W. & McLean, E. 2003. The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update. Journal of Management Information Systems.

Doll, W. & Torkzadeh, G. 1988. The Measurement of End-User Computing Satisfaction. 2. julkaisu. Management Information Systems Research Center, University of Minnesota.

European Standards (EN). [Viitattu 29.5.2023]. Saatavissa: <https://www.en-standard.eu/>.

Finto. Suomalainen asiasanasto ja ontologiapalvelu. Tietojärjestelmä, termin määrittelmä [verkkoaineisto]. [Viitattu 1.9.2023]. Saatavissa: <https://finto.fi/tt/fi/page/t79/>.

Guirardello, R. & Swaney, R. 2005. Optimization of process plant layout with pipe routing. Computers and Chemical Engineering 30. Department of Chemical Engineering, University of Wisconsin.

Hyötyläinen, R. & Kalliokoski, P. 2001. Tietojärjestelmien käyttöönottoprosessi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Automaatio.

International Organisation for Standardization (ISO). [Viitattu 29.5.2023]. Saatavissa: <https://iso.org/>.

Järvinen, P. 2008. IS Reviews 2008. Raportti D-2008-13. Tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampereen yliopisto. ISBN: 978-951-44-7593-1.

Kesti, M. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki, Valtion painatuskeskus.

Miranda J. & López L. 2011. Piping design: The fundamentals. LaGeo S.A. de C.V., El Salvador.

Nayyar, M. 2000. Piping Handbook. 7. painos. McGraw-Hill. ISBN: 0-07-047106-1.

Nguyen, T. D., Nguyen, T. M. & Cao, T. 2015. Information Systems Success: A Literature Review. Article in Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing Switzerland.

- Paakki, J. 2012. Ohjelmistoprosessit ja ohjelmistojen laatu. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. [Viitattu 6.6.2023]. Saatavissa: <https://www.cs.helsinki.fi/u/paakki/Laatu-12-Luentokalvot-1.pdf/>.
- Padalia, A. & Natsir, T. 2022. End-User Computing Satisfaction (EUCS) Model: Implementation of Learning Management System (LMS) on Students Satisfaction at Universities. *International Journal of Environment, Engineering and Education*.
- Parasuraman, A., Zeithaml V. & Berry, L. 1988. SERVQUAL: A multiple- Item Scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of retailing*.
- Pere, A. 2021. Koneenpiirustus 1 & 2. 13. painos. Espoo, Kirpe Oy.
- Peters, M. & Timmerhaus, K. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 4. painos. Singapore, McGraw-Hill Book Co.
- Petter, S., DeLone W. & McLean, E. 2008. Measuring information systems success: Models, dimensions, measures, and interrelationships, *European Journal of Information Systems*. Georgia State University, Atlanta. *European Journal of Information Systems*.
- PSK 2620. 2009. Teollisuuden kone- ja laitoshankinnat. Tekniset asiakirjat. Ryhmittely. Käsitteet ja määritelmät. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 3603. 2012. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 4201. 2017. Putkiluokat. Määrittely. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 4232. 2021. Putkiluokka E10H1A painelaitekäyttöön. Austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 5801. 2003. Putkistopiirustukset. Putkireittipiirustus. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.

- PSK 5802. 2003. Putkistopiirustukset. Taso- ja leikkauspiirustus. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 5803. 2003. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. 3. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 5805. 2002. Tehdassuunnitteluasiakirjat. Tehdassijoituspiirustus. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 5806. 2002. Tehdassuunnitteluasiakirjat. Laitesijoituspiirustus. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 7503. 2013. Suunnittelun tunnusluvut. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK-käsikirja 8. 2019. Putkiston kannakointi. 2. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki, Copy-Set Oy.
- PSK Standardisointi. [Viitattu 5.6.2023]. Saatavissa: <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>.
- Sallin, M. 2021. Measuring Software Delivery Performance Using the Four Key Metrics of DevOps. University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
- Sedera, D., Gable G. & Chan, T. 2004. A Factor and Structural Equation analysis of the Enterprise Systems Success Measurement Model. Queensland University of Technology, AMCIS 2004 Proceedings.
- Shirani, A., Aiken M. & Reithel B. 1994. A Model of User Information Satisfaction. University of Mississippi.
- Subaeki, B. 2019. Success model for measuring information system implementation: Literature review. Sangga Buana YPKP University Bandung, Indonesia. Journal of Physics: Conference Series.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Standardeista. [Viitattu 5.6.2023]. Saatavissa:  
<https://sfs.fi/standardeista/>.

Taitotalo. 2022. Teollisuusputkistot 2022 – suunnittelu ja valmistus. Koulutusmateriaali.

Towler, G. & Sinnott, R. 2022. Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of plant and process design. 3. painos. United States, Butterworth-Heinemann. ISBN: 978-0-12-821179-3.

ÅF Pöyry. 2020. PIDSE – Process Industries Sweden. Project Delivery (PD) [verkkoaineisto].  
[Viitattu 24.4.2023].

# Liitteet

## Liite 1. Haastattelukysymyslomake

### Haastattelukysymykset

#### 1 Projektiympäristö

1A Onko projektiympäristö ja kansiorakenne mielestäsi selkeä ja hyvin tavoitettavissa?

#### 2 Mallintaminen

2A Miten putkilinjojen mallintaminen onnistui?

2B Löysitkö tarvitsemasi komponentit putkispesifikaatiosta?

2C Toimivatko spesifikaatiot mielestäsi hyvin?

2D Miten putkilinjan muokkaaminen onnistui?

2E Oliko valmiita spesifikaatioita mielestäsi tarpeeksi? Puuttuiko mielestäsi olennaisia putkiluokkia?

#### 3 Dokumentointi

3A Onnistuiko isometrin luominen?

3B Oliko isometrin luomisessa jotain haasteita?

3C Onko isometripohja mielestäsi hyvin tarkoitustaan palveleva?

3D Onnistuiko tasokuvan luominen?

3E Oliko tasokuvan luomisessa jotain haasteita?

3F Onko layoutpiirustus pohja mielestäsi hyvin tarkoitustaan palveleva?

#### 4 Systemin laatu

4A Onko ohjelman käyttö mielestäsi helppoa ja/tai mielekästä?

4B Miten hyvin ohjelma mielestäsi soveltuu putkisto- ja layoutsuunnitteluun?

4C Millaista ohjelman käyttö on mielestäsi verrattuna muihin laitossuunnitteluohjelmiin?

4D Käytätkö työssäsi mieluummin OpenPlantia vai jotakin toista suunnitteluohjelmaa?

#### 5 Informaation laatu

5A Ovatko ohjelmalla tuotetut dokumentit (isometrit ja layoutpiirustukset) mielestäsi laadukkaita ja käyttötarkoitustaan palvelevia (sisältävätkö ne riittävästi tarpeellista tietoa)?

5B Onko ohjelmalla mielestäsi mahdollista mallintaa riittävän suurella tarkkuudella?

5C Sisältävätkö spesifikaatioiden komponentit mielestäsi riittävästi tietoa (esim. putken materiaalista, mitoista yms.)?

**6      Palvelun laatu**

6A      Millaista teknistä tukea toivoisit saavasi ohjelman käyttöön liittyen?

**7      Yleiset kysymykset**

7A      Millainen on yleiskokemuksesi ohjelman käytöstä (kehitystyön jälkeen)?

7B      Millaisia haasteita kohtasit ohjelmaa käyttäessäsi?

7C      Miten kehitystyötä pitäisi mielestäsi jatkaa / mitä osa-alueita pitäisi seuraavaksi kehittää?

## Liite 2. Koottu pisteytyskyselylomake

### Koottu pisteytyskysely

Arvioi seuraavat osatekijät yleisarvosanalla 0–5.

#### 1 Projektiympäristö

1a Onko projektiympäristö ja kansiorakenne mielestäsi selkeä?

- 0 = Ei lainkaan selkeä
- 1 = Ei ole selkeä
- 2 = Ei ole kovinkaan selkeä
- 3 = On melko selkeä
- 4 = On selkeä
- 5 = On täysin selkeä

#### 2 Mallintaminen

2a Onko putkiston mallintaminen OpenPlantilla mielestäsi helppoa?

- 0 = Ei onnistunut lainkaan
- 1 = Ei ole helppoa
- 2 = Ei ole kovinkaan helppoa
- 3 = Melko helppoa
- 4 = Helppoa
- 5 = Erittäin helppoa

2b Onko laitteiden mallintaminen OpenPlantilla mielestäsi helppoa?

- 0 = Ei onnistunut lainkaan
- 1 = Ei ole helppoa
- 2 = Ei ole kovinkaan helppoa
- 3 = Melko helppoa
- 4 = Helppoa
- 5 = Erittäin helppoa

**3 Dokumentointi**

3a Onko isometrin luominen mielestäsi helppoa?

- 0 = Ei onnistunut lainkaan
- 1 = Ei ole helppoa
- 2 = Ei ole kovinkaan helppoa
- 3 = Melko helppoa
- 4 = Helppoa
- 5 = Erittäin helppoa

3b Onko tasokuvan luominen mielestäsi helppoa?

- 0 = Ei onnistunut lainkaan
- 1 = Ei ole helppoa
- 2 = Ei ole kovinkaan helppoa
- 3 = Melko helppoa
- 4 = Helppoa
- 5 = Erittäin helppoa

**4 Systeemin laatu**

4a Onko OpenPlantin käyttö yleisesti mielekästä?

- 0 = Täysin epämiellyttävää
- 1 = Ei ole mielekästä
- 2 = Ei ole kovinkaan mielekästä
- 3 = On melko mielekästä
- 4 = On mielekästä
- 5 = On erittäin mielekästä

4b Miten hyvin OpenPlant mielestäsi soveltuu putkisto- ja layoutsuunnitteluun?

- 0 = Ei sovellu lainkaan
- 1 = Soveltuu huonosti
- 2 = Soveltuu melko huonosti
- 3 = Soveltuu melko hyvin
- 4 = Soveltuu hyvin
- 5 = Soveltuu erittäin hyvin

**5 Informaation laatu**

5a Kuinka hyvin OpenPlantilla tuotetut dokumentit (isometrit ja layoutpiirustukset) mielestäsi vastaavat laadultaan odotettua tasoa (= ovat käyttötarkoitustaan palvelevia ja sisältävät riittävästi tarpeellista tietoa)?

- 0 = Eivät vastaa lainkaan
- 1 = Huonosti
- 2 = Melko huonosti
- 3 = Melko hyvin
- 4 = Hyvin
- 5 = Erittäin hyvin

5b Kuinka hyvin OpenPlantilla on mielestäsi mahdollista mallintaa riittävän suurella tarkkuudella?

- 0 = Ei lainkaan mahdollista
- 1 = Huonosti
- 2 = Melko huonosti
- 3 = Melko hyvin
- 4 = Hyvin
- 5 = Erittäin hyvin

**6 Palvelun laatu**

6a Koetko saavasi riittävästi tukea ohjelman käyttöön liittyvissä ongelmissa (IT-tuelta/esihenkilöltä/admin-henkilöiltä yleisesti)?

- 0 = En lainkaan
- 1 = Huonosti
- 2 = Melko huonosti
- 3 = Melko hyvin
- 4 = Hyvin
- 5 = Erittäin hyvin

7 **Yleiset kysymykset**

7a Kuinka onnistuneeksi koet ohjelman kehitystyön?

- 0 = Täysin epäonnistuneeksi
- 1 = En koe onnistuneeksi
- 2 = En kovin onnistuneeksi
- 3 = Melko onnistuneeksi
- 4 = Onnistuneeksi
- 5 = Erittäin onnistuneeksi (ylitti odotukset)

### Liite 3. Referenssiprojektin tunnuslukujen laskentaerittely

Layoutsuunnittelun tunnusluvut									
Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava	Layout - Yhteensä		Layout - Suunnittelu		Layout - Dokumentointi	
				Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos
D321.1	Laitekohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Koneiden määrä} + \text{Laitemäärä}}$	182/198	0,91919	165/198	0,83333	17/198	0,08586
D321.2	Linjakohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$	182/254	0,71654	165/254	0,64961	17/254	0,06693
D321.3	Pinta-alakohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>2</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Pinta-ala}}$	182/47000	0,00387	165/47000	0,00351	17/47000	0,00036
D321.4	Tilavuuskohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>3</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Prosessirakennuksen tilavuus}}$	182/368280,85	0,00049	165/368280,85	0,00045	17/368280,85	0,00005
Putkistosuunnittelun tunnusluvut									
Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava	Putkisto - Yhteensä		Putkisto - Suunnittelu		Putkisto - Dokumentointi	
				Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos
D322.1	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$	699,5/254	2,75394	594/254	2,33858	105,5/254	0,41535
D322.2	Massakohtainen putkistosuunnittelu	h/t	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston oma massa}}$	699,5/51,69	13,53260	594/51,69	11,49158	105,5/51,69	2,04101
D322.3	Pituuskohtainen putkistosuunnittelu	h/m	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston kokonaispituus}}$	699,5/9208,95	0,07596	594/9208,95	0,06450	105,5/9208,95	0,01146
D322.4	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Liittyvien laitteiden määrä}}$	699,5/198	3,53283	594/198	3	105,5/198	0,53283
<b>Admintyö [h]</b>									
51,5									

## Liite 4. Pilot-projektin tunnuslukujen laskentaerittely

Layoutsuunnittelun tunnusluvut									
Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava	Layout - Yhteensä		Layout - Suunnittelu		Layout - Dokumentointi	
				Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos
D321.1	Laitekohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Koneiden määrä} + \text{Laitemäärä}}$	35/32	1,09375	17/32	0,53125	18/32	0,56250
D321.2	Linjakohtainen layoutsuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$	35/26	1,34615	17/26	0,65385	18/26	0,69231
D321.3	Pinta-alakohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>2</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Pinta-ala}}$	35/3130,49016	0,01118	17/3130,49016	0,00543	18/3130,49016	0,00575
D321.4	Tilavuuskohtainen layoutsuunnittelu	h/m <sup>3</sup>	$\frac{\text{Layoutsuunnittelutyö}}{\text{Prosessirakennuksen tilavuus}}$	35/28493,72144	0,00123	17/28493,72144	0,00060	18/28493,72144	0,00063
Putkistosuunnittelun tunnusluvut									
Tunnus	Nimi	Yksikkö	Laskentakaava	Putkisto - Yhteensä		Putkisto - Suunnittelu		Putkisto - Dokumentointi	
				Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos	Laskentakaava	Tulos
D322.1	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkilinjojen määrä}}$	19,75/26	0,75962	19/26	0,73077	0,75/26	0,02885
D322.2	Massakohtainen putkistosuunnittelu	h/t	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston oma massa}}$	19,75/1,40673	14,03963	19/1,40673	13,50648	0,75/1,40673	0,53315
D322.3	Pituuskohtainen putkistosuunnittelu	h/m	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Putkiston kokonaispituus}}$	19,75/421,71476	0,04683	19/421,71476	0,04505	0,75/421,71476	0,00178
D322.4	Laitekohtainen putkistosuunnittelu	h/kpl	$\frac{\text{Putkistosuunnittelutyö}}{\text{Liittyvien laitteiden määrä}}$	19,75/32	0,61719	19/32	0,59375	0,75/32	0,02344
Admintyö [h]									
2,5									