



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANNE SAARIMAA
TYÖMENETELMIEN KEHITTÄMINEN JA YHTENÄISTÄMINEN
CAD-TYÖRYHMÄSSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Asko Ellman
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 4. toukokuuta
2016

TIIVISTELMÄ

JANNE SAARIMAA: Työmenetelmien kehittäminen ja yhtenäistäminen CAD-työryhmässä

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 67 sivua, 13 liitesivua

Kesäkuu 2016

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Konejärjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Avainsanat: LEAN, CAD, SolidWorks, yhtenäistäminen, toimintatavat, jatkuva kehitys

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on parantaa SolidWorksillä tapahtuvaa kattilamallinnusprosessia ja tehdä kattilamallinnusprosessin kehityksestä jatkuvaa. Työssä mallinnusongelmia rinnastetaan Lean-teoriaan ja tiedon jakoon liittyviä ongelmia jatkuvan parantamisen teoriaan. Näiden teorioiden avulla etsitään uusia näkökulmia koko prosessin kehittämiseen.

Lisäksi työssä pohditaan Lean-työkalujen, jotka soveltuvat paremmin tuotantoon, käyttömahdollisuuksia 3D-mallinnusprosessin parantamisessa. Kyseiset työkalut esitellään ja niiden käyttömahdollisuuksia mallinnuksessa tarkastellaan. Teorian avulla pohditaan myös, minkälaisia hukkatyyppejä mallinnusprosessista on löydettävissä.

Työssä pohditaan myös jatkuvan kehittämisen teorian pohjalta, miten kehitystyö olisi mahdollista saada jatkuvaksi prosessiksi ja pohditaan miten tieto siirtyisi mahdollisimman tehokkaasti työryhmän sisällä.

Työssä esitellään kattilatekniikkaa ja kattilamallinnukseen liittyviä asioita sekä käydään läpi käyttäjäkyselyn avulla mallinnukseen liittyviä puutteita. Mallinnusprosessin puutteita etsittiin myös käynnissä olevien projektien aikana tehtävän työn lomassa. Työssä esitellään case-esimerkkejä erilaisista puutoksista mallinnusprosessissa ja toimintatavoissa sekä niihin tehdyistä parannuksista.

Tutkimuksen aikana arvioitiin ja kehitettiin hiljattain työryhmän sisällä aloitettua SolidWorks-käyttäjien tiedonjakokäytäntöä työntekijöiden haastattelujen pohjalta. Tuloksena kehitettiin jatkuvan parantamisen toimintatapa, jossa jaetaan tietoa säännöllisillä lyhyillä tapaamisilla SolidWorks-käyttäjien kesken. Tässä toimintatavassa myös kerätään ajoittain tietoa osaamisen ja prosessin puutteista sähköisellä kaavakkeella koulutustarpeiden kartoittamista varten.

Työ on tehty yhteistyössä Valmet Technologiesin ja Etteplanin kanssa. Opinnäytetyön tekijä työskenteli työn aikana alihankkijana kattilamallinnustehtävissä tehden mallinnusta Valmetin kattiloihin ja keräten samalla empiristä tietoa mallinnusprosessista.

ABSTRACT

JANNE SAARIMAA: Developing and standardizing work process in a CAD team
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 67 pages, 13 Appendix pages
June 2016
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
Major: Design of machines and systems
Examiner: Professor Asko Ellman

Keywords: LEAN, CAD, SolidWorks, standardize, ways of working, continuous improvement

The goal of this thesis was to develop the SolidWorks 3D-modeling process of a boiler plant and to ensure that the improvement of the modeling process is continuous. The problems in the modeling process were studied using Lean-theory and the problems in the sharing of knowledge were studied using the continuous improvement theory. These theories were used to research new ideas to develop the process.

Since the Lean tools are more suitable for manufacturing processes the usability of Lean tools in regards to 3D-modeling was discussed. The tools were introduced and reviewed in terms of how they could be used in improving modeling process. Lean theory was also applied in studying what kind of wastes can be found in the modeling process.

Various aspects of how the improvement of working methods could be a continuous process were considered using the continuous improvement theory. In addition, effective ways of sharing information inside the group were also discussed.

The thesis introduces the boiler structure and boiler design related practices and also shows some boiler modeling related deficiencies. The deficiencies in modeling were gathered and evaluated while making 3D-modeling in various on-going projects. Several case-studies were introduced which presented some problems in modeling processes, working methods and also the solutions that were found.

A new, recently launched new way of sharing information within the team's SolidWorks user group was also evaluated and improved upon by interviewing other employees. As a result, a new method of continuous improvement was created where information is shared through short meetings and presentations. The new method also includes periodically evaluating weaknesses in know-how and in the modeling process with an online survey to look into the potential demand for training sessions.

The thesis was made in collaboration with Valmet Technologies and Etteplan. During the thesis the researcher was working with different Valmet boiler projects using 3D-modeling and gathering empirical information about the modeling process.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty yhteistyössä Valmetin Technologiesin ja Etteplanin kanssa 2015-2016 Valmetin Lentokentänkadun painerunkosuunnitteluosastolla, missä suunnitellaan Valmetin kattiloiden painerunko ja sitä kannatteleva teräsrakenne. Tahtoisin esittää kiitokset Etteplanin Jari Helinille, sekä Valmetin Jukka Ylitalolle, jotka mahdollistivat tämän työn tekemisen. Haluan myös kiittää Tampereen teknillisen yliopiston professori Asko Ellmania, joka kannusti työn loppuun saattamisessa.

Lisäksi haluan kiittää Valmetin työtovereita, jotka antoivat arvokkaita mielipiteitään kyselyihin ja haastatteluihin, ja heitä, jotka olivat kanssani viemässä kehitystyötä eteenpäin.

Suurin kiitos menee kuitenkin kotiin vaimolle ja tyttärelleni, jotka jaksoivat kannustaa minua työssäni vaikka toisinaan päivät venyivät pitkiksi, sekä muulle perheelle ja ystäville.

Tampereella, 10.5.2016

Janne Saarimaa

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen taustaa.....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet.....	1
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	3
1.4	Tutkimuksen rakenne	4
2.	LEAN-PROSESSI	6
2.1	Lean-teoriaa.....	6
2.2	Lean-työkalut.....	7
2.2.1	Hukka.....	9
2.2.2	Hukkatyypit.....	10
2.3	Hukan tunnistaminen.....	12
2.4	Hukka tietojärjestelmissä	12
2.5	Lisäarvo insinöörin työssä.....	14
3.	OPPIMISEN KULTTUURIN RAKENTAMINEN.....	15
3.1	Henkilöstön jatkuva kehittäminen.....	15
3.2	Työtapojen jatkuva kehittäminen	16
3.2.1	Esteiden teoria (TOC)	19
3.3	Tiedon jakaminen.....	20
3.4	Laadun parantaminen	22
4.	PROSESSIIN TUTUSTUMINEN	24
4.1	Kattilatekniikkaa lyhyesti.....	24
4.1.1	HYBEX-kattila.....	25
4.1.2	CYMIC-kattila	28
4.1.3	RECOX-kattila.....	30
4.2	Mallinnusprosessi.....	32
4.3	Käyttäjäkysely	35
5.	TYÖMENETELMIEN KEHITTÄMINEN	38
5.1	Ajan ja resurssien tuhlauksen eliminointi	38
5.1.1	CASE 1: Suuret kokoonpanomallit ja -piirustukset (O1)	38
5.1.2	CASE 2: Kammioautomaatti (O7).....	42
5.1.3	CASE 3: Yhdeautomaatti (O20)	44
5.1.4	CASE 4: Levypäätäyautomaatti (O20).....	45
5.1.5	CASE 5: Seinäautomaatti.....	46
5.1.6	CASE 6: Putkien mallintaminen Routing-työkalulla.....	46
5.1.7	CASE 7: Piirustusohjat (O2).....	48
5.1.8	CASE 8: Piirustukseton valmistus	48
5.2	Laadun rakentaminen työpaikan järjestelmiin	49
5.2.1	CASE 9: SW-Pulse -palaverit (O18)	49
5.2.2	CASE 10: Mallinnuskäytännöt (O18).....	50
5.2.3	CASE 11: PDMS–SolidWorks (O12).....	52

5.2.4	CASE 12: Valmistuskysely (O22)	54
6.	TULOKSIEN ANALYSOINTI	55
6.1	SW-pulse	55
6.2	Kehitystarvekartoitus	57
6.3	Pullonkaulat mallinnuksessa	59
6.4	Seinä, kammio, yhde ja levypääty	60
6.5	Piirustusohjelmat	61
6.6	Hukan vähentäminen	62
6.7	Vakiinnutetut ratkaisut	63
6.8	Havainnollistamisen parantaminen	64
6.9	Ohjeistukset	64
7.	YHTEENVETO	65
	LÄHTEET	66

LIITE A: MUISTILISTA – SUURTEN MALLIEN JA PIIRUSTUSTEN KÄSITTELY

LIITE B: SOLIDWORKS/PDMS-KÄÄNTÖTYÖKALU

LIITE C: SEINÄAUTOMAATIN KÄYTTÖ

LIITE D: KAMMIOAUTOMAATIN KÄYTTÖ

LIITE E: LEVYPÄÄTY- JA YHDEAUTOMAATIN KÄYTTÖ

LIITE F: HELPPOKÄYTTÖISYYTTÄ PARANTAVIA TOIMINTOJA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

4P	Philosophy, Process, People and partners, Problem solving
5S	Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain
AutoCAD	Autodesk Inc. kehittämä suunnitteluohjelmisto
BFB	Kerrosleijukattila (<i>engl. bubbling fluidized bed</i>)
Block	Piirustuksissa usein käytettävä valmis teksti tai kuva
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CFB	Kiertoleijupetikattila (<i>engl. circulating fluidized bed</i>)
CYMIC	Valmetin tuotenimi CFB-kattilalle
EPDM	Enterprise PDM, SolidWorksin tuotetietohallintajärjestelmä
HYBEX	Valmetin tuotenimi BFB-kattilalle
IMVP	International Motor Vehicle Program
KAS	Valmetin standardiosien yhteisnimitys
Luvo	Palamisilman esilämmitin
MBD	Mallipohjainen määrittely (<i>engl. Model-based definition</i>)
PDCA	Plan, do, check, act. Ongelman ratkaisumalli ja kehittämismenetelmä
PDM	Tuotetiedon hallintajärjestelmä
PDMS	Aveva Solution Vantage:n kehittämä 3D-mallinnusohjelma
ProArc	Software Innovationin kehittämä dokumenttien hallintaohjelma
RECOX	Valmetin tuotenimi soodakattilalle (<i>engl. Recovery boiler</i>)
Sketch	Skitsi eli luonnos
SolidWorks	Dassault Systèmesin tuottama parametrinen 3D-mallinnusohjelma
SW	SolidWorks
SYM	Valmetin rakennesuunnittelumanuaalien yhteisnimitys
TOC	Esteiden teoria (<i>engl. Theory of constraints</i>)
TPS	Toyotan tuotantojärjestelmä
VSM	Arvovirtakuvaus (<i>engl. Value Stream Mapping</i>)
WBS	Projektin ositus (<i>engl. Work breakdown structure</i>)

1. JOHDANTO

Tämän diplomityön tarkoitus on kehittää teollisuudessa toimivan suuren yrityksen CAD-ympäristön toimintatapoja yhdenmukaisempaan ja tehokkaampaan suuntaan. Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen tausta ja tavoitteet. Lisäksi tutustutaan käytettyihin tutkimusmenetelmiin ja tutkimuksen rakenteeseen.

1.1 Tutkimuksen taustaa

Yrityksen tehostaessa toimintaansa on suunnitteluosaston pysyttävä mukana vaadituissa aikataulutavoitteissa. Nykyiset tiukentuneet aikataulutavoitteet saavutettaisiin melko helposti mikäli kaikki käyttäjän ja ohjelman välillä toimisi täydellisesti, mutta tällainen tilanne harvoin toteutuu ja se aiheuttaa suunnittelijoille aikataulupaineita.

Tutkimuksen kohdeyrityksen SolidWorks-käyttäjien kesken on jo pitkään tunnistettu tarve toimintojen kehittämiseksi, mutta aikataulusyistä ratkaisujen jatkuva kehittäminen on jäänyt vähemmälle huomiolle. Kohdeyritys on jo aiemmin asettanut tavoitteekseen vaihtaa suunnittelutyökalunsa höyrykattilasuunnittelussa SolidWorksiin aiemmin käytetyistä PDMS:stä ja AutoCADista. Sen implementointi ensisijaiseksi työkaluksi vaatii työtapojen optimointia, jotta prosessi olisi sujuva, sillä mallit ovat raskaampia.

Ylemmistä toimihenkilöistä koostuvassa tiimissä toiminnan yhtenäistäminen saattaa olla haasteellista, sillä kaikki käyttäjät kehittävät toimintaa omiin suuntiinsa. Tärkeää kehitystyössä olisi, että kehitys ja oppiminen pysyisivät jatkuvana siten, että tieto uusista kehityskohteista saavuttaisi kaikki käyttäjät.

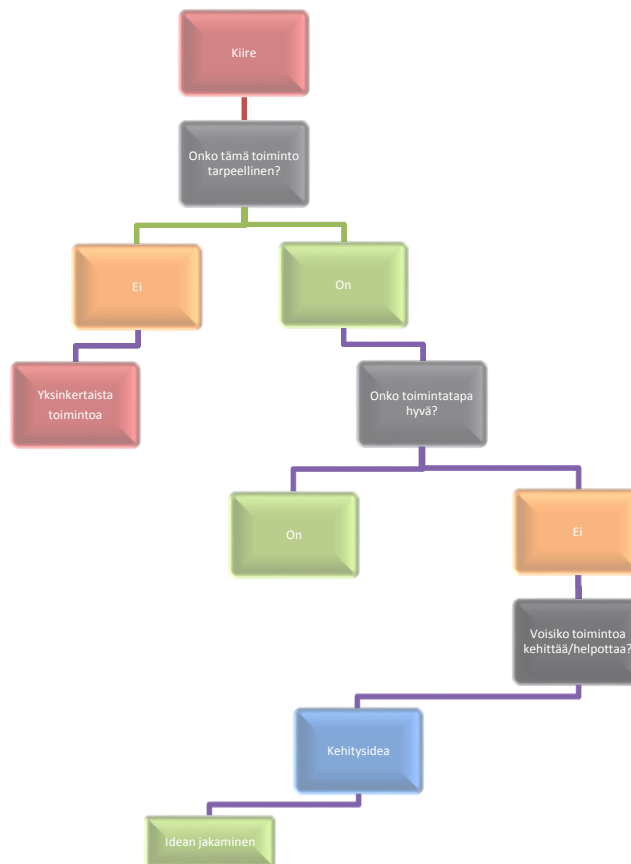
Kohdeorganisaatio on globaali yritys, joka toimii usealla toimialalla. Yrityksen eri toimialat toimivat sekä yhdessä että erikseen, joten SolidWorks-ympäristö on hyvin hajallaan. Tarkoitus on keskittyä Tampereen yksikön painerunko-osaston käyttäjäryhmään ja haastatella käyttäjiä, jotta kyseisen osaston toiminnan ongelmakohtia saataisiin listattua mahdollisimman kattavasti.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on tunnistaa ja poistaa lisäarvoa tuottamattomia toimintoja CAD-suunnitteluprosessista Lean-menetelmää käyttäen. Lean-ajattelu, joka on alun perin kehitetty teolliseen toimintaympäristöön, vaatii hieman soveltamista istuakseen tutkimuksen tarpeisiin.

Tutkimuksen tavoitteena on löytää toimivia ratkaisuja etenkin seuraaviin ongelmiin:

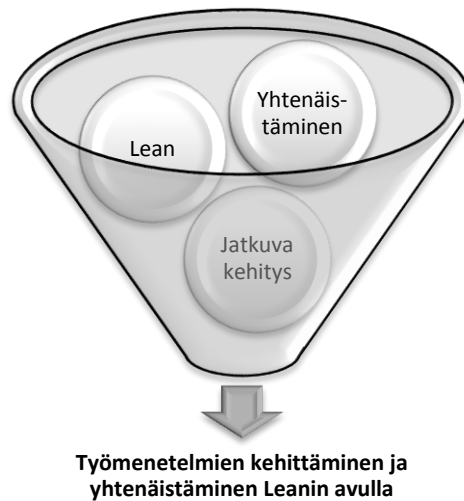
- Löytää erilaisista mallinnuskäytännöistä optimaalisimmat ja jakaa niitä osaston sisäisesti. → Yhdenmukaistaa mallinnuskäytäntöjä.
- Löytää nopeutta lisääviä käytäntöjä projektin keskeisiin mallinnuskohteisiin (mikä on riittävä tarkkuus missäkin vaiheessa → mallin yksinkertaistaminen sen mukaan).
- Lisäarvoa tuottamattomien toimintojen karsiminen mallinnusprosessista (kuva 1).



Kuva 1. Lisäarvoa tuottamattomien toimintojen tunnistaminen ja poistaminen.

Tutkimuksessa etsitään kehityskohteita eri menetelmillä ja pyritään ratkaisemaan niistä joitain. Tutkimuksessa ei kuitenkaan pystytä ratkaisemaan kaikkia kerättyjä ongelmia, vaikka niitäkin esimerkin vuoksi käydään läpi. Tarkoituksena on sen sijaan luoda toimintamalli jatkuvalla kehitykselle ja sujuvalle ongelmanratkaisulle, jotta toiminta olisi itseohjautuvaa.

Tässä tutkimuksessa käytetään pohjatietoina Lean–menetelmää, jatkuvan kehittämisen teoriaa, opinnäytetyön tekijän aikaisempaa kokemusta sekä haastatteluista ja kyselyistä saatavaa tietoa. Työtapoja pyritään myös yhtenäistämään avoimemman tiedonjaon avulla. (Kuva 2.)



Kuva 2. Tutkimuksen pohjatiedon rakenne.

Tutkimuksen tuloksien on tarkoitus luoda pohjaa uusille toimintatavoille tutkimuksen kohdeosaston SolidWorks-käyttäjien piirissä. Tutkimuksen tavoitteisiin ei kuulu toimintatapojen yhtenäistäminen muualle organisaatioon, koska globaalissa yrityksessä se vaatii huomattavasti enemmän työtä.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetään hyväksi kvalitatiivista tutkimushaastattelua tieteellisenä menetelmänä. Haastattelut tehdään lomakehaastatteluna sähköisesti sekä henkilökohtaisilla tapaamisilla. Tuloksista kerätään tietoa nykytilasta ja analysoidaan eniten ongelmia aiheuttavat työvaiheet ja pureudutaan niihin. Muutosten jälkeen arvioidaan niiden vaikutuksia helppokäyttöisyyteen.

Tutkimus on osaltaan myös toiminnallinen, koska tutkija tekee tutkimuksen ohessa 3D-mallinnusta kohdeyritykselle ja pyrkii ongelman kohdatessaan muuttamaan mallinnustyöskentelytapoja osaston sisällä. Tutkimuksen objektiivisuutta saattaa hankaloittaa tutkijan esitietämys toimintatavoista, joihin hän on itsekin tottunut, mutta samasta tietämyksestä on apua ongelmakohtien kartoittamisessa. Lisää objektiivista näkökulmaa antaa teoria, jonka pohjalta ongelmia etsitään.

Tutkimuksessa edetään teoria ja käytäntö rinnakkain, eli ongelmia etsitään teorian avulla, ja vastaavasti käytännössä ilmeneviä ongelmakohtia peilataan teoriaan. Tutkimuksen tuloksena syntyy kehittämissuhteita, joista osa voidaan tässä työssä aikataulun puitteissa ottaa käyttöön ja tutkimukseen liian laajat ongelmat listataan kehityssuhteiksi. (Kuva 3.)



Kuva 3. Kehitysprosessin kulku.

1.4 Tutkimuksen rakenne

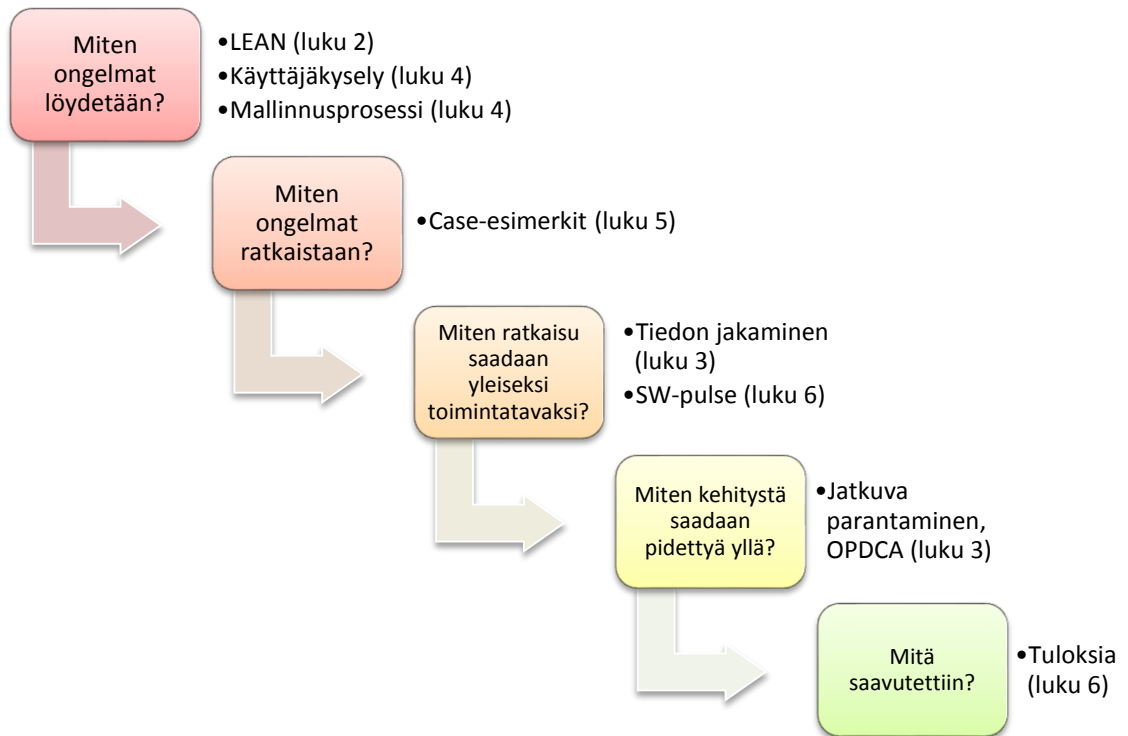
Tutkimus pyrkii seuraamaan alla esiteltyä rakennetta. Ensin esitellään teoria ja tämän pohjalta pyritään tekemään prosessiin käytännön parannuksia.

Ensimmäinen kohta on ongelmien etsiminen. Ongelmien etsimiseen ja jäsentämiseen on valittu käytettäväksi Lean-teoria, joka on Toyotan kehittämä malli ja se on hyvin sovellettavissa muun muassa hukan poistamiseen prosessista. Lean-teoriaan tutustutaan tarkemmin luvussa 2.

Tutkimuksessa tarkastellaan mallinnusprosessia eri kattilamallinnusprojektien yhteydessä. Projektin aikana pyrittiin tarkkailemaan mallinnusprosessia kriittisesti tarkastelemalla siinä esiintyvää hukkatyötä, ja valitsemaan parempia tapoja tehdä kyseinen asia. Ensisijainen tavoite hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi aikataulun puitteissa oli se, että useaan kertaan toistuvat osat ja kokoonpanot tehtäisiin ensin valmiiksi, ja vasta sen jälkeen niitä ryhdyttäisiin kopioimaan laajemmalle projektiin. Kolmannessa luvussa kehitetään toimintamallia, jonka avulla ongelmien ratkaisu saataisiin koko osaston vastuulle ja jonka avulla kehitystä saadaan pidettyä jatkossa yllä ilman vastaavanlaisia tutkimuksia.

Projektin aikaisia mallinnuskohteita käsitellään luvussa 4. Samassa luvussa kartoitetaan osaston työtehtäviin liittyviä ongelmia käyttäjäkyselyn tuloksien perusteella, jotta ongelmat saataisiin selville mahdollisimman laajasti. Viidennessä luvussa käydään läpi case-

esimerkkejä, ja kuudennessa luvussa tarkastellaan uusia toimintatapoja käytössä ja analysoidaan saavutettuja tuloksia sekä uusien ratkaisujen tuomaa hyötyä. Kuvassa 4 on esitelty kehitysprosessin rakenne.



Kuva 4. Kehitysprosessin rakenne.

2. LEAN-PROSESSI

Tässä luvussa käsitellään Lean-ajattelun peruseriaatteita ja käydään läpi, minkälaisia työkaluja Lean-ajattelu tarjoaa. Lisäksi pohditaan sitä kuinka kyseisiä työkaluja pystyttäisiin hyödyntämään tässä tutkimuksessa.

2.1 Lean-teoriaa

Lean-ajattelun katsotaan saaneen alkunsa autoteollisuudesta, Toyotan insinöörin tutustuttua Fordin tehtaan massatuotantomalliin. Toyotalla lähdettiin massatuotannon sijaan kehittämään toisenlaista tuotantomallia, joka ottaisi huomioon myös esimerkiksi työntekijöiden roolin ja tuotantolinjan järjestyksen. Näin sai alkunsa ns. Toyotan tuotantojärjestelmä, TPS. (Womack, Jones ja Roos 1990, 48-68.)

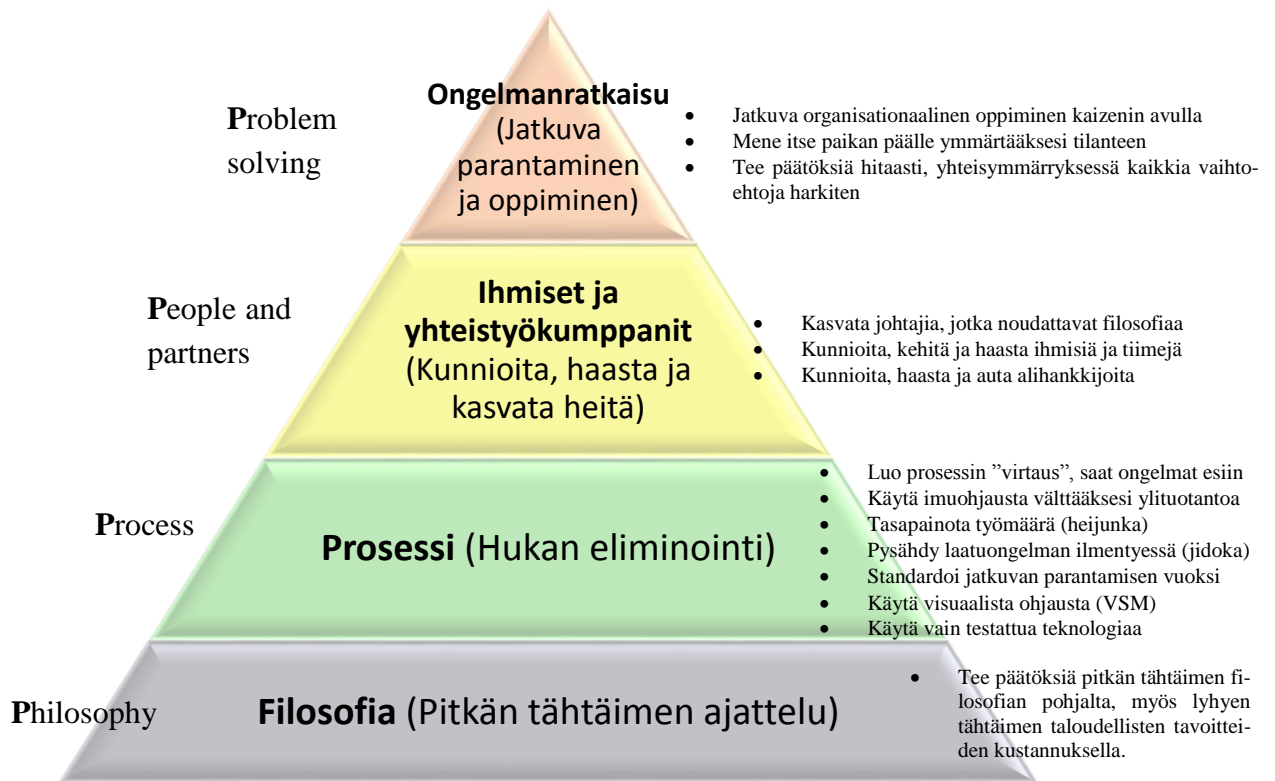
Lean-käsite syntyi sittemmin IMVP:n (International Motor Vehicle Program) tutkimuksen pohjalta, joka sai alkunsa toisen öljykriisin aikaan, jolloin ryhmä tutkijoita alkoi miettiä autoteollisuuden haasteita tulevaisuudessa. Tutkimuksessa vertailtiin TPS-tuotantotapaa ja länsimaista massatuotantoa, ja etsittiin syitä japanilaisen autoteollisuuden menestykseen. Huomattiin, että näille yrityksille yhteistä oli asiakkaalle lisäarvoa tuottavaan toimintaan keskittyminen. Tämän kaltaisia yrityksiä alettiin kutsua Lean-yrityksiksi. Kyseisen Lean-ajattelun menetelmiä hyödynnetään nykyään myös muilla teollisuuden aloilla ja myös sen ulkopuolella. (Leong, Ward & Koskela 2015, 2-3.)

TPS:n kehittäjä Taiichi Ohno on luonnehtinut Toyotan työskentelytapaa kiteyttämällä, että tavoitteena ei ole juosta nopeammin vaan kulkea lyhyempi matka. TPS on tuotantotapa, jossa osia valmistetaan asiakkaan kysynnän mukaan. Tätä nopeampi, työntekijöiden työtehon maksimointiin tähtäävä tuotanto aiheuttaa ylituotantoa ja johtaa lopulta lisätyövoiman palkkaamiseen. Toinen TPS:n periaatteista on, että ihminen on joustavin resurssi. Jos manuaalinen prosessi ei toimi, on epäselvää, missä prosessin vaiheessa tarvitaan automatisointia. Tärkeintä on kartoittaa, missä kohdassa prosessia lisäarvoa tuotetaan, jolloin voidaan minimoida lisäarvoa tuottamaton osuus. (Liker 2006, 7-9.)

Toyotan menestys perustui kolmen tekijän eliminointiin, joita vastasivat japaninkieliset sanat *muda*, *mura* ja *muri*. Ensimmäinen sana *muda* tarkoittaa hukkaa, jonka poistaminen on Lean-ajattelussa keskeisellä sijalla. Toinen sanoista, *mura*, tarkoittaa tuotannon epätaisaisuutta ja hajontaa laadussa, ja kolmas sana, *muri*, ylikuormitusta. Pelkkä hukan poistaminen ei siis riitä vaan Lean-ajattelun toimivuus perustuu kokonaisvaltaiseen järjestelmään ja työntekijät huomioon ottavaan ajattelumalliin.

Kuvassa 5 on esitettyä Toyotan tavan 4P eli neljän periaateluokan malli. Kolmion pohjalla on ajattelun kivijalka eli filosofia, joka on pitkän tähtäimen ajattelu. Tämän päälle

rakentuvat hukan eli tuottamattomien työvaiheiden eliminointi. Kolmantena periaatemal-
lissa on työntekijöiden ja yhteistyökumppaneiden kunnioittaminen, haastaminen ja kas-
vattaminen. Neljäntenä kohtana mallissa on ongelmanratkaisu ja jatkuva parantaminen.



Kuva 5. Toyotan 4P-malli (Liker 2006).

2.2 Lean-työkalut

Lean-toiminnassa on syytä erottaa toisistaan vastatoimenpiteet ja parannukset. Vastatoimenpiteen tarkoitus on estää huonompaan suuntaan meneminen, parannuksen tarkoitus on viedä prosessia kohti haluttua tavoitetilaa. Kirjassaan ”Toyotan tapaan” Liker esittelee listan käytännön muutoksista, joilla prosessia voidaan parantaa Toyotan menetelmillä. Luvut alla olevien kohtien perässä viittaavat tämän tutkimuksen otsikoihin. (Liker 2006, 14.)

- Eliminoimalla ajan ja resurssien tuhlauksen (luku 5.1)
- Rakentamalla laatua työpaikan järjestelmiin (luku 5.2)
- Etsimällä edullisia mutta luotettavia vaihtoehtoja kalliille uudelle teknologialle
- Parantamalla yritysprosesseja
- Rakentamalla oppimisen kulttuuria jatkuvan parantamisen toteuttamiseksi (luku 3)

Leanin käytössä hukan eliminoinnilla on suuri rooli, vaikkakin Lean-ajattelu on toimiakseen oltava paljon laaja-alaisempaa. Lean-ajatteluun kuuluu useita erilaisia työkaluja ja laadunparannusmenetelmiä, kuten oikea-aikaisuus, *kaizen*, yksiosainen virtaus, *jidoka* ja *heijunka*. Nämä työkalut eivät kuitenkaan ole salainen ase menestykseen vaan viime kädessä Toyotan menestys perustuu johtajuuden, tiimien, kulttuurin, strategioiden ja yhteistyön kehittämiseen sekä oppivan organisaation ylläpitämiseen.

Sen sijaan, että käytetään Leania erilaisten työkalujen sarjana ja odotetaan niitä käyttämällä hyviä tuloksia, olisi hyödyllisempää keskittyä Toyotan ajattelu- ja käyttäytymismalleihin, jotka ovat jatkuva parantaminen ja sopeutuminen. Työkalujen tarkoitus on puolestaan paljastaa ongelmat prosessissa. (Karjalainen 2010, 2.) Taulukkoon 1 on kerätty joitain Lean-ajattelussa käytettyjä työkaluja. Suurin osa niistä on tarkoitettu tuotantotiloissa tapahtuvaan parannukseen, mutta joitain niistä voidaan hyödyntää myös 3D-mallinnuksessa.

Taulukko 1. *Lean-menetelmään liittyviä työkaluja.* (<http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>)

Työkalu	Tarkoitus	Hyödyt 3D-mallinnuksessa
5S	Työskentelypaikan organisointi (Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain).	Myös tietojärjestelmien organisointi, esim. kansiorakenteet ja mallirakenteet.
Pullonkaula analyysi	Tarkoitus tunnistaa mikä kohta valmistusprosessia rajoittaa prosessin läpimenoaikaa ja parantaa prosessin heikointa lenkkiä.	Koskee myös mallinnusprosessin heikoimpia lenkkejä.
Jatkuva virtaus	Tuotanto, jossa tuotanto virtaa mahdollisimman vähäisillä välivarastoilla ilman että niitä kootaan tuotantoeriksi.	Jatkuvaa virtausta mallinnukseen sujuvalla mallinnusprosessilla.
Heijunka	Tuotannon tasaamista pienemmän eräkoon avulla tuottamalla oikeita määriä eri tuotetyyppejä. Auttaa vähentämään varastoja ja läpimenoaikaa (tilauksesta asiakkaalle).	
Jidoka	Suunnittelutyökalu osittaiseen tuotannon automatisointiin, joka on usein halvempi toteuttaa kuin täysi automatisointi. Tuotannon on tarkoitus pysähtyä kun toiminnassa havaitaan vika.	Osittaista automatisointia voidaan toteuttaa myös mallinnuksessa, jotta automaattimallit olisivat helposti käytettävissä erityistapauksia varten. Myös suunnittelussa korjaukset tulisi tehdä heti, jotta virhe ei toistuisi.

Kaizen	Jatkuvan kehittämisen malli. Mielentila, missä työntekijät etsivät aktiivisesti puutoksia ja toimivat niiden parantamiseksi.	Pätee erityisen hyvin myös mallinnus- ja suunnitteluprosessissa.
Kanban	Kanban tarkoittaa signaalia ja sitä käytetään visuaalisena työkaluna kuvaamaan jonkin asian tilaa, esimerkiksi imuohjauksessa kertomaan koska tuotannon pitäisi alkaa.	
Tahtiaika (Takt time)	Tahtiaika perustuu kuukausittaiseen tuotannon suunnitteluun. Se lasketaan jakamalla käytettävissä oleva aika tilattujen tuotteiden lukumäärällä. Tahtiaika helpottaa tuotannon tahdistamista vastaamaan asiakatarpeita.	3D-suunnittelussa tahtiaikaa on melko vaikea arvioida johtuen ongelmista käyttöjärjestelmissä ja suunnittelussa.
PDCA	Kehittämisen ympyrä, jossa on neljä vaihetta; Plan, do, check, act.	Hyödynnettävissä eri kehityskoh-teissa.
Six Sigma	Prosessin parantaminen vaihtelun vähentämisen keinoin.	Vaihteluna voidaan ajatella myös virheitä suunnittelussa.
Imuohjaus	Tuotteita valmistetaan vain silloin kun asiakkaat niitä tilaavat.	Toteutuu erityisen hyvin asiakkaalle räätälöityjen tuotteiden, kuten kattiloiden, kohdalla.
Pullonkaula	Prosessin hitain vaihe, joka hidastaa koko prosessia.	Usein pullonkaulana on käyttöjärjestelmän tai koneen hitaus.
Just-In-Time (JIT)	Juuri oikeaan aikaan ja oikeaan tarpeeseen. On riippuvainen useista Lean-työkaluista kuten jatkuva virtaus, heijunka, kanban, standardisointi ja tahtiaika.	
Arvovirtakuvaus (VSM)	Arvovirtakuvausta (Value Stream Mapping) käytetään visualisoimaan prosessin vaiheita. Auttaa näkemään tämän hetkisen tilanteen ja hukkan, sekä auttaa hahmottamaan prosessin parantamisen mahdollisuuksia.	
Muda (hukka)	Hukan eli asiakkaalle lisäarvoa tuottamattoman työn etsiminen ja eliminointi.	Sekä mallinnuksessa, että tuotannossa aiheutuvaa hukkaa voidaan poistaa jo suunnitteluvaiheessa.

2.2.1 Hukka

Hukkana pidetään yleisesti ongelmia, jotka haittaavat työntekoa, ja sitä voidaankin etsiä esimerkiksi kartoittamalla tuotteen valmistus raaka-aineesta valmiiseen tuotteeseen ja etsimällä lisäarvoa tuottamattomia toimintoja. (Liker 2006, 9.) Työpäivän keskeytykset, väärinymmärrykset ja ongelmien korjaaminen ovat myöskin hukkaa ja tavallisesti tämän

tyyppisiä ongelmia korjataan sitä mukaan kuin ne ilmenevät. Tällaiset ongelmanratkaisut eivät estä ongelmaa ilmaantumasta uudelleen. Usein tällaisia ongelmia pidetään osana työtä ja niiden hoitotoimenpiteenä lisätään resursseja. Tällainen hukkatyö ilmenee kiireen tunteena, jota ei välttämättä tunnista hukaksi. Hukka on siis seurausta vioista, jota vaihtelu aiheuttaa (kuva 6). Jos poistetaan vain hukkaa, se tulee uudestaan. Jos minimoidaan vaihtelua, hukka vähenee. (Sixsigma.fi, 2016)



Kuva 6. Hukka syntyy vaihtelusta.

Hukan etsiminen ja poistaminen eivät kuitenkaan ole ensisijainen keino prosessin parantamiseen vaan parannukset tulisi tehdä siten, että ymmärretään nykytila, jonka jälkeen hahmotellaan tavoitetila. Hukan poistaminen on vain yksi työkalu muiden joukossa, jotta tavoitetilaan päästäisiin. (Karjalainen 2010, 4.)

Kaikki arvoa tuottamaton työ on Lean-ajattelun mukaan hukkatyötä. Hukkatyön kartoittamiseksi on tunnistettava mikä tuottaa arvoa asiakkaalle. Asiakkaaksi tässä tapauksessa määritellään yritys, joka myy tuotetta, koska sille aiheutuu turhia kuluja kulutetusta ajasta. Arvoksi ajatellaan asiakkaan näkökulmasta työ, josta asiakas on valmis maksamaan, joka vie asiakkaan asiaa eteenpäin ja joka on tehty kerralla oikein. Lean-ajattelussa prosessista tulee tunnistaa arvoa lisäävät vaiheet ja eliminoida hukkatyö. (Gädda & Kiviharju 2014.)

2.2.2 Hukkatyypit

Prosessin eri vaiheita voidaan tutkia työkalujen avulla, jotka helpottavat löytämään esimerkiksi eri hukkatyyppejä. Hukan eliminoinnilla tarkoitetaan lisäarvoa tuottamattomien vaiheiden poistoa prosessista. Hukkatyömuodoiksi Toyota on määritellyt seuraavat asiat, joihin Liker (2006, 28-29) on lisännyt kahdeksannen kohdan:

- Ylituotanto – Enemmän kuin on tarve / asioita joita ei tarvita
- Odottelu – Seuraavan työvaiheen odottaminen
- Tarpeeton kuljettelu – Mitä kuljetetaan paikasta toiseen ja tarvitseeko sitä
- Ylikäsittely ja virheellinen käsittely – Saman asian toistaminen / Samoihin kysymyksiin vastaaminen / Turhat kokoukset
- Tarpeettomat varastot – Pöytä täynnä ja sekaisin / Sähköposti täynnä ja sekaisin / Vanhat dokumentit

- Tarpeeton liikkuminen – Välimatkat / Turha liikkuminen / Ihmisten ja tavaroiden etsiminen
- Viat – Viat ohjelmissa / koodeissa
- Resurssien heikko hyödyntäminen – Kaikkien osaamista ei hyödynnetä työssä ja kehittämisessä / Puutteellinen kommunikointi / Puutteelliset toimintatavat

Palveluorganisaatioiden näkökulmasta on myös tehty samankaltaisia hukkatyyppiäotelluita, joita voidaan paremmin soveltaa suunnittelutyöhön, ja ne on lueteltu alla. (Dumitrescu & Dumitrache 2011, 537.) Alle on täsmennetty, miten kyseiset hukkatyytit ilme-nevät SolidWorksin käytössä osaston sisällä.

- Korjaukset
 - a. Kaikessa suunnittelutyössä tapahtuvat virheet, joita joudutaan korjaa-maan. Parhaimmillaan käytettynä 3D-suunnitteluohjelmat kuitenkin aut-tavat vähentämään virheitä, koska 3D-näkymän avulla virheet ovat hel-pommin huomattavissa kuin 2D-työkaluilla.
- Ylituotanto – liikaa liian aikaisin
 - a. Tämä ilmenee 3D-suunnittelussa liian tarkkana mallinnuksena siinä vai-heessa kun vähempikin tarkkuus olisi riittävä. Toisin sanoen tämä tarkoit-taa ei-tilatun työn tekemistä, joka ei tuota asiakkaalle minkäänlaista lisä-arvoa. Tämä aiheuttaa myös mallin hitautta.
 - b. Suunnittelussa tämä ilmenee myös liiallisena dokumentointina.
- Ylimääräiset toiminnot prosesseissa
 - a. Usein projektit ovat hyvinkin paljon toisiaan muistuttavia, mutta tätä ei hyödynnetä riittävässä määrin uusissa projekteissa.
 - b. Samaa työtä eri työpisteillä tekevät työntekijät tekevät usein tuplatyön, mikäli he eivät kommunikoi tarpeeksi.
 - c. Liian suuri tarkkuus suunnittelussa (ylilaatu).
- Odotusaika – Seuraavan työvaiheen odottaminen, tietokoneen lataaminen, tieto-jen odottaminen tai työkalu eli tietokone varattuna
 - a. Ilmenee tavallisesti järjestelmän hitautena.
 - b. Turhaa odotusta ja työtä aiheuttavat myös erilaiset hyväksymiskäytännöt.
 - c. Puuttuvan tiedon odottaminen.
 - d. Liian pitkät, huonosti valmistellut palaverit.
- Turhat varastot
 - a. Koskee SolidWorks-ympäristössä lähinnä tietovarastoja, jotka saattavat isoissa projekteissa käydä sekaviksi ja tällöin tietojen etsiminen vie yli-määräistä aikaa.
 - b. Pällekkäiset tietokannat.
 - c. Sähköpostin liikakäyttö.
 - d. Liikaa yhtäaikaista kehitysprojekteja.
- Viat
 - a. Vioiksi voidaan lukea esimerkiksi ohjelman tai tuotetietohallintajärjestel-män pettäminen, joka aiheuttaa tekijälle ajanhukkaa. Tällöin ajan käyttä-minen johonkin toiseen työtehtävään saattaa olla mahdotonta.
 - b. Kaikki korjaukset suunnittelussa ja tuotannossa.
- Liikkuminen
 - a. Tarpeettomat palaverit, jotka voitaisiin hoitaa puhelimitse tai pikaviestein.
 - b. Tiedon kääntäminen järjestelmästä toiseen.

- c. Tarpeettomat asiakirjojen liikuttelut käsin.
- d. Edestakainen tiedon lähettely.
- e. Hajallaan olevan tiedon haku.
- Kapasiteetin eli henkilöstön vajaakäyttö
 - a. Henkilöstön osaamisen huono hyödyntäminen.
 - b. Henkilöstön kapasiteetin vajaa hyödyntäminen.
 - c. Kehitysideoiden kuulematta jättäminen.

2.3 Hukan tunnistaminen

Tässä kohdassa käsitellään sitä, kuinka Lean-prosessia voidaan käyttää hukan tunnistamisessa. Etsimällä aktiivisesti lisäarvoa tuottamattomia toimintoja ja vaihtelua aiheuttavia prosesseja, voidaan tunnistaa ympärillä tapahtuvaa hukkatyötä (kuva 7).



Kuva 7. Ongelman tunnistaminen ja käsittely.

Alla on esitetty kysymyksiä kohdeorganisaation toimintaan liittyvien hukan etsimisen helpottamiseksi mallinnuksen aikana. Hukkaa voidaan etsiä esimerkiksi seuraavanlaisilla kysymyksillä:

- Missä voidaan säästää suunnittelussa (mallien ja piirustusten automatisointi, turhan työn eliminointi)?
- Missä voidaan tehdä materiaalisäästöjä (putkireititysten optimointi reitin pituuden, esteiden ja lämpöliikkeiden suhteen)?
- Mitkä asennushitsit tarpeellisia (kuinka isoja lohkoja on kuljetusten kannalta taloudellista valmistaa, vältetään tiivistyskoteloita lohkojen saumoilla)?
- Missä voidaan säästää kuljetuskuluissa (optimointi lohkokoon ja asennushitsauksen välillä)?
- Missä osat valmistetaan (kuinka pitkä kuljetus asennustyömaalle, mikä hinta, tarvitseeko oma valmistus töitä)?
- Ollaanko valmiita tinkimään laadusta halvemman hinnan vuoksi (huomioidaan mahdolliset korjauskustannukset)?

2.4 Hukka tietojärjestelmissä

Suunnitteluprosessissa tärkeimpänä työkaluna voidaan pitää tietokonetta sekä suunnittelussa käytettäviä ohjelmistoja ja laskenta-apuvälineitä. Kohdeyrityksessä tiedostetaan suunnitteluprosessin puutteita, jotka usein ilmenevät järjestelmän hitautena ja aiheuttavat runsaasti odottelua.

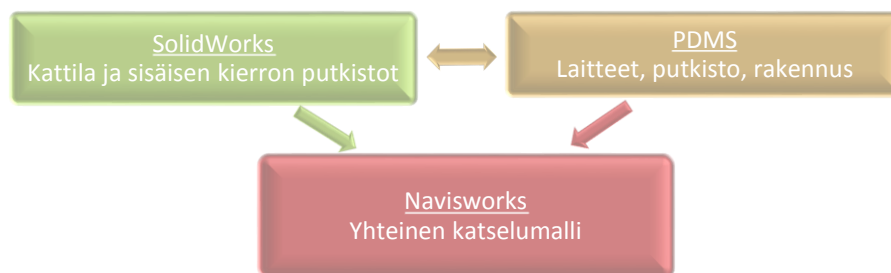
Käytössä olevat järjestelmät, joita tässä tutkimuksessa sivutaan, ovat seuraavat:

- SolidWorks – Hienodetaljiikkaa sisältävä mekaniikkasuunnitteluohjelma
- PDMS – Karkeaa detaljiikkaa sisältävä laitossuunnitteluohjelma
- EPDM – SolidWorksin tuotetietohallintajärjestelmä
- ProArc – Piirustusten ja dokumenttien päätallennuspaikka
- PDM – Oman valmistuksen osaluettelokanta

Yhtenä suurimmista hidastavista tekijöistä voidaan ylläolevasta listasta mainita SolidWorks, joka on väärin käytettynä suurien kokoonpanojen käsittelyssä erittäin raskas ohjelma. Kyseinen ohjelma on grafiikaltaan tarkka, ja mikäli asetuksiin ja käyttötapoihin ei kiinnitetä huomiota, saadaan odotteluun tuhlettua paljon aikaa. Lisäksi ylläolevien järjestelmien rinnakkaiskäyttö on melko suuri ajanhukkaa aiheuttava tekijä. Yllä mainituista järjestelmistä SolidWorks ja EPDM ovat tehty toimimaan yhdessä, mutta muut eivät. Niiden välistä tiedonsiirtoa on kuitenkin ajan mittaan ja myös tämän opinnäytetyön aikana parannettu. SolidWorksin ja PDMS:n yhteiskäyttöä on helpotettu kääntötyökalulla. EPDM:n ja ProArcin välille ollaan rakentamassa linkkiä. EPDM:n ja PDM:n väliseen yhteiskäyttöön löytyy myös työkalu, jolla SolidWorks-mallista saadaan ajettua osaluettelo PDM:ään.

Detaljiikkasuunnittelua on jo monelta osin siirretty AutoCAD-ohjelmistosta SolidWorks-ohjelmistoon suunnittelusukupolven vaihtumisen myötä. Laitossuunnittelu on edelleen pääasiassa PDMS:n varassa, joka on tarkoitettu suurempien kokonaisuuksien suunnitteluun. Tavallisesti SolidWorksiä ja PDMS:ää käytetään samoissa projekteissa ja näiden ohjelmien yhteiskäytössä on myös havaittu puutteellisia toimintatapoja, koska ne eivät ole suorassa yhteydessä toisiinsa ja vaativat aina tiedostomuodon käännön toimiakseen samassa järjestelmässä. Merkittävää hukkaa tapahtuu siis myös tiedostomuodon käännössä.

Tällä hetkellä kattila-alueen mallia käytetään SolidWorks-ympäristössä, kun taas laitteet ja laitteille menevät putkistot sekä rakennus sijaitsevat PDMS-käyttäjäympäristössä. PDMS:stä ja SolidWorksistä ajetaan tasaisin väliajoin kääntö NavisWorksiin, joka on helppokäyttöinen ohjelma mallin tarkasteluun. (Kuva 8.)



Kuva 8. Käytössä olevien 3D-järjestelmien yhteys.

2.5 Lisäarvo insinöörin työssä

Insinöörin työssä lisäarvoa tuottavan työn mittaaminen on vaikeampaa, sillä sitä ei voida mitata valmiina tuotteena. Insinöörien tekemässä työssä lisäarvoksi voidaan laskea se, kun tieto muuttuu suunnitelmaksi. Voidaan myös tarkastella, missä vaiheessa ja minkälaisia lopulliseen tuotteeseen vaikuttavia päätöksiä tehdään. Lisäksi tarkastellaan mahdollisten laskelmien ja analyysien perusteella sitä, mihin päätökset perustuvat ja miksi niihin päädytään.

Lean-menetelmässä pyritään massatuotannon sijaan luomaan yksiosainen virtaus ja muodostamaan soluja, joissa käydään läpi koko tuotteen valmistus eikä vain tuoteta yhtä osaa. Tämä toteutetaan silläkin uhalla, että yhtä osaa ei saada tuotettua maksimimäärää. Tämä menetelmä auttaa tuottamaan osia vain tarpeeseen, ja ylimääräinen aika jossain solun osassa pyritään sulauttamaan solun muihin osiin. Tätä solumallista työtapaa olisi mahdollisuus soveltaa myös suunnitteluosastossa muodostamalla projektikohtaisia tiimejä, jotka työskentelisivät tiiviisti samassa työpisteessä projektin intensiivisimmän ajan. Tällöin tiedon jako tapahtuisi tehokkaammin ja kaikille olisi selvää, missä vaiheessa projektia menetään ja mikä toiminta aiheuttaa eniten hukkaa.

Myös insinöörityössä virtauksen luominen olisi tärkeää, koska informaatiota tulee massana ja raportit lojuvat viikkokausia. Ideaalitulanteessa pystyttäisiin luomaan virtaus, joka tuo järjestelmällisesti halutun tiedon haluttuna ajankohtana, kuitenkin mahdollisimman myöhään, jotta se olisi mahdollisimman valmista. Tilanteissa, joissa jokin lähtötiedoista on vielä arvaus, arvaukset tapaavat kasaantua ja niiden vaikutus kertautua. Paras tilanne olisi, mikäli mitään arvauksia ei tarvitsisi tehdä ja laskennat suoritettaisiin määrättyssä järjestyksessä. Kuitenkin jotkut laskelmat ovat irrallisia toisista, ja tällöin niitä voidaan kerätä varastoon, kunhan ne ovat helposti löydettävissä.

3. OPPIMISEN KULTTUURIN RAKENTAMINEN

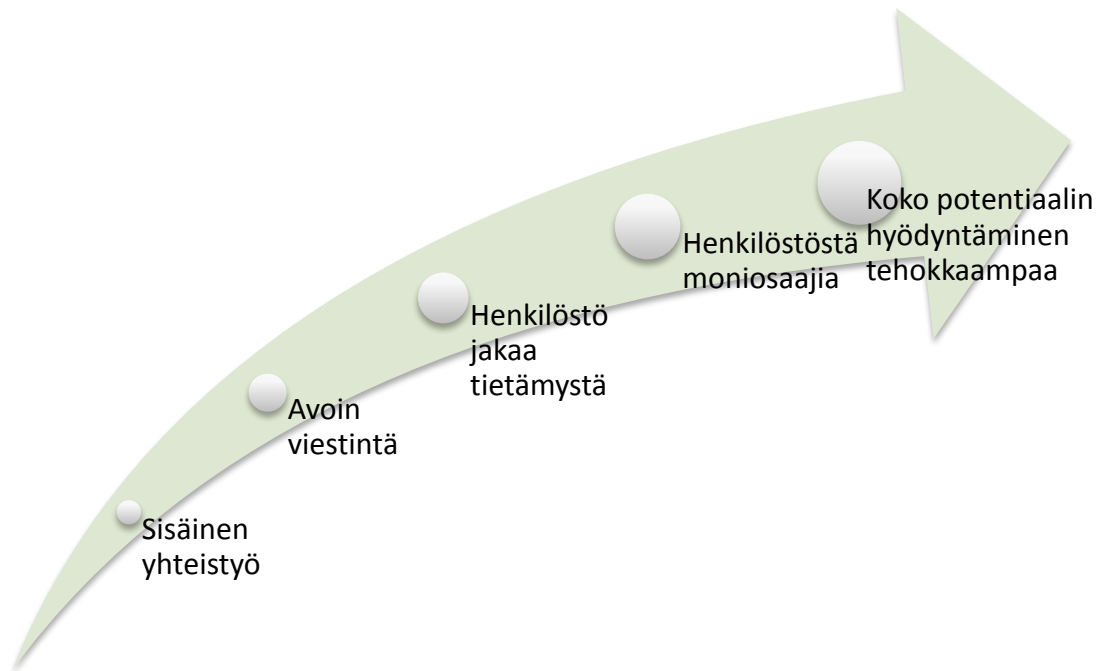
Tämä luku käsittelee oppimisen kulttuurin rakentamista jatkuvan parantamisen toteuttamiseksi. Luvussa pyritään etsimään pitkäaikaisia ratkaisuja, joilla kehitystä saataisiin pidettyä yllä.

3.1 Henkilöstön jatkuva kehittäminen

Lean-ajattelun mukaan henkilöstön jatkuva kehittäminen lisää motivaatiota ja sitoutuneisuutta työhön. Jos työntekijällä on hyvät vaikutusmahdollisuudet omaa työtä ja yhteistyötä koskevissa asioissa, hän haluaa pitää työn laadun korkealla (Syvärinen 2008, 61). Kehittämistoiminta tulisi pyrkiä arkipäiväistämään työntekijälähtöiseksi, sillä työntekijöillä on tiedossa uudistamisen tarpeet sekä ajatuksia ja näkemyksiä kehittämistyöhön. Tämä kuitenkin vaatii sitä, että organisaatiokulttuuri tukee työntekijän mahdollisuutta olla mukana kehittämistyössä. Työntekijälähtöistä kehittämistä voidaan vahvistaa kiinnittämällä työntekijöitä käytännön kehitystoimintaan, keräämällä ideoita ja palautetta, pitämällä kehittäminen avoimena, palkitsemalla siitä ja raportoimalla tuloksista. (Stenvall & Virtanen 2012, 191-193).

Toiminnan kehittäminen auttaa näkemään työn tuloksia, ja sitä kautta työntekijä näkee oman toimintansa vaikutuksen ja tuntee olevansa merkittävä osa yritystä. Kehittämällä yhteisiä mallinnustapoja työryhmän sisäinen yhteistyö ja oppiminen lisääntyvät, ja samalla jokainen oppii tuntemaan kollegoidensa osaamistasoa. Kehittämisen etuna on myös se, että heikomman osaamistason omaavat henkilöt kehittyvät nopeampaa ja saavat reaaliaikaista tietoa uusista SolidWorksin käyttöä helpottavista työtavoista. Sen lisäksi, että projekteja arvioidaan taloudellisesti ja imagollisesti, olisi hyvä tehdä myös sisäinen arviointi, jossa huomioidaan projektin aikana opittuja asioita ja projektin aikana tapahtunutta kehitystyötä (Karhu, Salo-Lee, Sipilä, Selänne, Söderlund, Uimonen & Yli-Kokko 2008, 56-57).

Avoimen viestinnän parantamisesta seuraa se, että henkilöstö jakaa tietämystään avoimemmin, ja tämän seurauksena innovaatio ja luovuus kasvavat. Henkilöstöstä kehittyi moniosaajia, joiden hyödyntäminen ristiin on helpompaa, ja henkilöstön koko potentiaalinen käyttöaste on suurempi. (Kuva 9.)



Kuva 9. Toiminnan kehittämisen syyt.

Mallinnusprosessin yhtenäistämisessä on tärkeää, että mallintajat olisivat samaa mieltä hyvistä toimintatavoista. Myös silloin, kun joku keksii paremman työtavan, on tiedon jakaminen yhteisölle tärkeää.

3.2 Työtapojen jatkuva kehittäminen

Jatkuva parantaminen (engl. *Continuous Improvement*) ei itsessään ole työkalu, vaan organisaation henkinen valmius tunnistaa kehittämiskohteet ja virheet siten, että ne käsitellään rakentavasti ja niistä otetaan opiksi. Tällainen valmius on tärkeä alati muuttuvassa kilpailussa, jotta yritys pysyy mukana kehityksessä. Se ei kuitenkaan tarkoita ongelmien etsimistä pakkotoimintona, vaan jokapäiväisessä toiminnassa tapahtuvaa aktiivista mahdollisuuksien havainnointia. (Salomäki 1999, 33.)

Lean-ajattelua soveltamalla voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä karsimalla aikaa vieviä toimintoja jokapäiväisestä työstä. Myös omien työskentelymenetelmien miettiminen vie aikaa ja olisikin parempi, että menetelmiin olisi tarjolla yleistä ohjeistusta. Työskentely ilman ohjeistusta saattaa kuitenkin luoda uusia parempia toimintatapoja, joten avoin kommunikointi ja ideoiden helppo jakaminen on säilytettävä. Ideaalinen tilanne saavutetaan, kun työntekijät aktiivisesti jakavat oppimiaan parempia toimintatapoja, jolloin työtavat kehittyvät oppimisen kautta optimaalisemmiksi. Työmenetelmien jatkuvan kehittämisen perimmäinen tarkoitus olisi, että eri mallinnustapojen kirjo vähenisi ja vain parhaimmat tavat jäisivät voimaan. Tällöin työn tekeminen helpottuisi ja työn laatu paranisi.

Yksi jatkuvan kehittämisen malleista on amerikkalaisen tilastotieteilijä William Edwards Demingin kehittämä PDCA-malli eli Plan – Do – Check – Act, joka on suomeksi käännetty muotoon Suunnittele – Toteuta – Tarkasta – Toimi. Kyseisessä mallissa prosessin parantaminen perustuu tähän edellä mainittuun sykliin, muutosten vakiinnuttamiseen ja tarpeen vaatiessa syklin toistamiseen, kunnes tavoite saavutetaan. (OGC 2011, 27.)

Lean-ajattelussa korostetaan myös havainnoinnin merkitystä kehitysprosessissa, minkä vuoksi jatkuvaa kehitystä Lean-maailmassa kuvataan usein OPDCA-ympyrällä (kuva 10), joka on visuaalinen kuvaus Kaizen-prosessista. Kaizen tarkoittaa jatkuvaa kehitystä kaikkiin toimintoihin ja vieläpä sellaista, joka osallistuttaa kaikki työntekijät johdosta asennuslinjalle. Kyseinen OPDCA-malli sisältää siis vaiheet Observe – Plan – Do – Check – Act/Adjust, eli siihen on lisätty havainnointi ennen suunnittelua. (Rhoades 2015.)

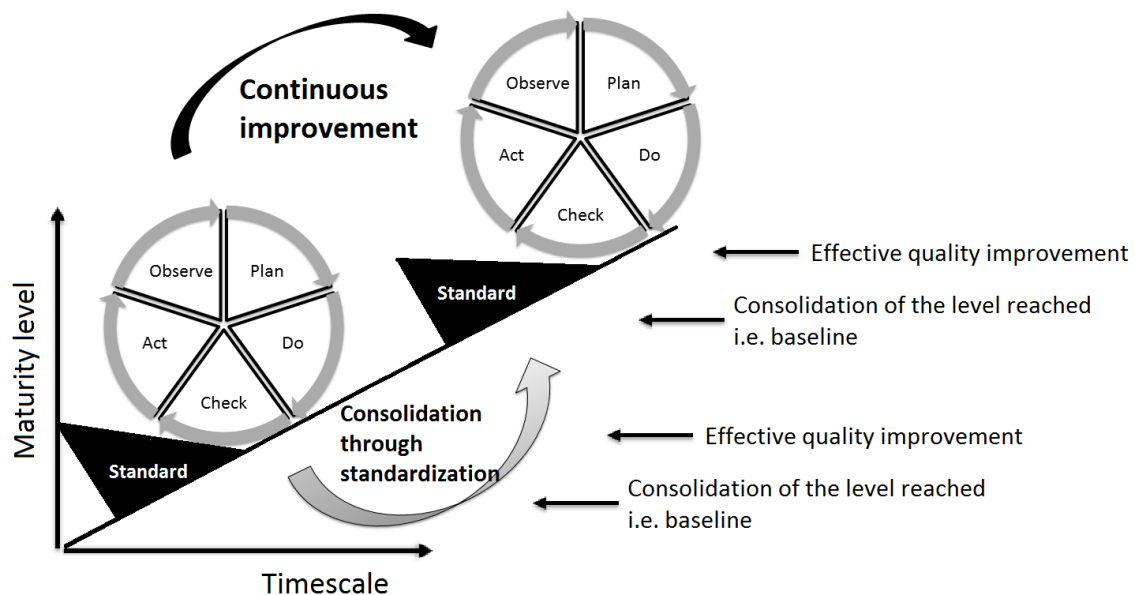
Havainnoi – Ymmärrä nykyinen tilanne

Suunnittele – Mitä on tehtävä, kenen toimesta ja miten

Toteuta – Edellä mainittu suunnitelma toteutetaan

Tarkista – Saavutettiinko haluttu tulos

Toimi – Suunnitelmia muokataan tuloksen perusteella

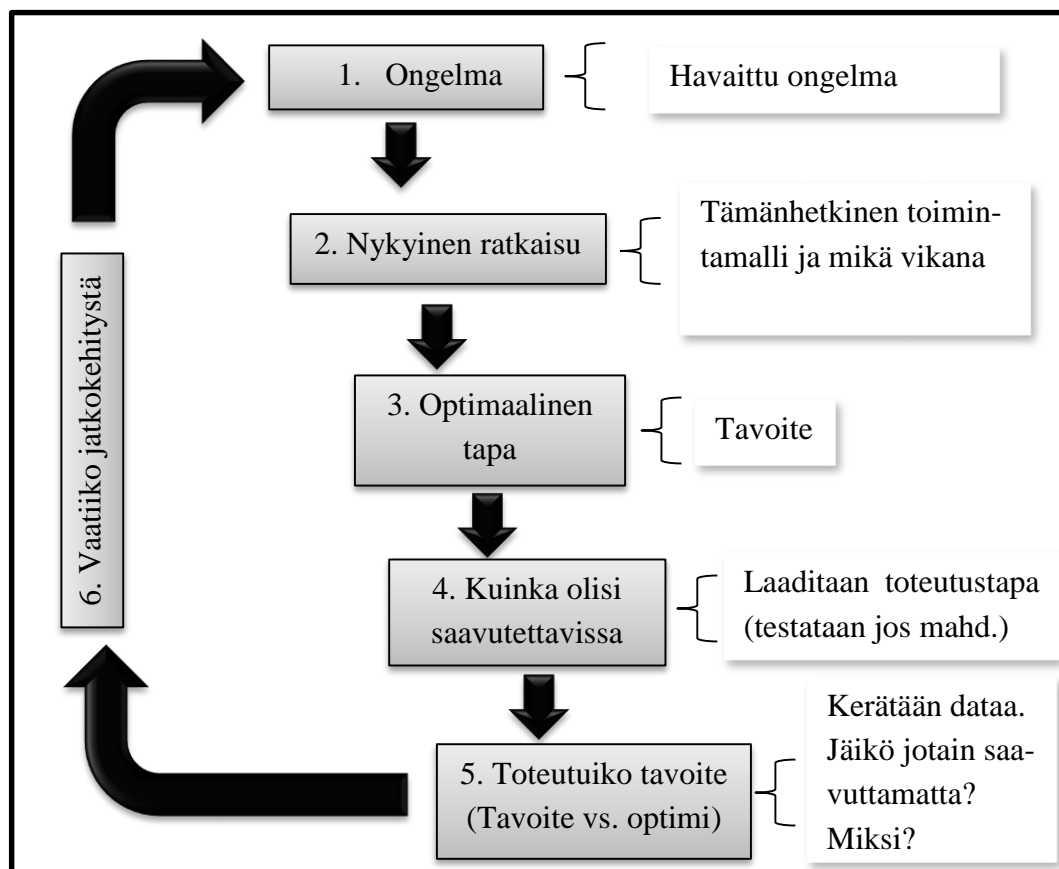


Kuva 10. OPDCA-malli, muokattu (OGC 2011, 27).

Havainnointivaiheessa tulisi ymmärtää nykyinen tilanne ja mitä voidaan parantaa, sekä mistä prosessin pullonkaulat löytyvät. Tässä voidaan käyttää apuna esimerkiksi TOC-menetelmää, josta lisää myöhemmin. Suunnitteluvaiheessa määritetään tavoitteet ja tarvittavat prosessit tavoitteiden saavuttamiseen. Suunnitteluvaiheessa olisi hyvä testata muutoksen vaikutuksia pienellä mittakaavalla mikäli mahdollista. Toteutusvaiheessa toteutetaan suunnitelman muutokset ja kerätään dataa tuleviin vaiheisiin. Tarkastusvai-

heessa tarkastellaan edellisessä vaiheessa kerättyjä tuloksia ja verrataan niitä suunnitteluvaiheen tavoitteisiin. Näiden eroa tutkimalla voidaan havaita joitain turhia vaiheita, joilla ei ollut vaikutusta tulokseen. Viimeisenä toimi- tai säädä-vaiheessa tarkastellaan mikäli tarkastusvaiheen tulokset osoittavat kehitystä suunnitteluvaiheeseen nähden, jolloin lähtötasoa (*engl. baseline*) nostetaan. Mikäli tarkastusvaiheessa todetaan, että toteutusvaiheen toiminta ei parantanut prosessia, lähtötasoa ei nosteta ylemmäs vaan mietitään uutta lähestymistapaa ongelmaan. (Rhoades 2015.)

Jotta ongelmantarkastelusta saataisiin sellainen, joka tarkastelisi paremmin kehitettävää kohdetta, on tarkastelulle asetettava jonkinlaiset suuntaviivat. Suuntaviivoina voidaan käyttää jatkuvan parantamisen mallia muokkaamalla sitä koskemaan yksittäisiä mallinnusongelmia. OPDCA-mallin toteuttamisessa voidaan käyttää esimerkiksi alla olevaa kysymyslistaa, jossa jokainen käsittelyvaiheeseen viety ongelma käydään läpi alla olevan listan mukaan vaihe vaiheelta ja dokumentoidaan. Mallissa lähdetään liikkeelle ongelmasta ja siirrytään vaihe vaiheelta ongelmanratkaisuun ja määritellään jatkokehitystarve. Pienillä toistuvilla ongelmanratkaisuilla saadaan vietyä koko mallinnusprosessia palapalalta toimivammaksi ja nopeammaksi. Kehitysratkaisujen käyttöön ottamisen jälkeen voidaan mitata ratkaisujen hyötyjä vertaamalla nykyistä ratkaisua lähtötasoon. Kuvassa 11 on esiteltyä kyseenomainen ongelmanratkaisumalli.



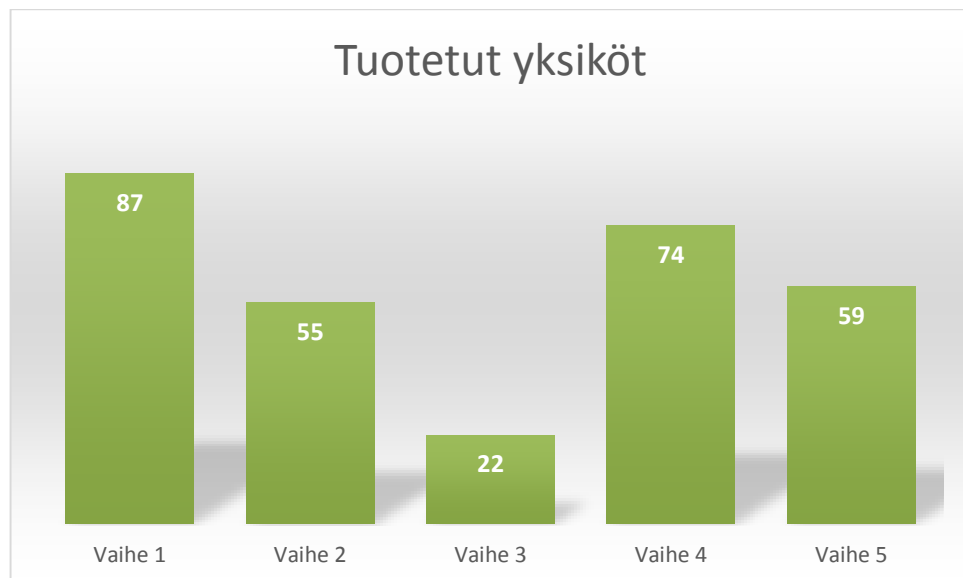
Kuva 11. Jatkuva kehittäminen mallinnuksessa (muokattu OGC 2011, 35).

Alla on esitelty kyseinen ongelmanratkaisumalli myöhemmin esiteltävän levypäätyautomaatin case-tapauksessa:

1. Standardilevypäätyjä (KAS) ei löydy kaikilla koko- ja materiaalivaihtoehdoilla.
2. Yleisimmin käytetyistä päädyistä valmiit standardit.
3. Mistä tahansa päädyistä löytyy standardi.
4. Yksi koneistuslista kaikista vaihtoehdoista tai levypäätyautomaatti.
5. Toteutettiin levypäätyautomaatti, joka antaa kammion, levypäädyn paksuuden ja päädyn tyyppin perusteella valmiin mallin ja lähes valmiin piirustuksen.
6. Piirustus ei toimi täydellisesti kaikille vaihtoehdoille. Olisiko yleisstandardi mahdollinen, jolloin projektikohtaista piirustusnumeroa ei tarvittaisi?

3.2.1 Esteiden teoria (TOC)

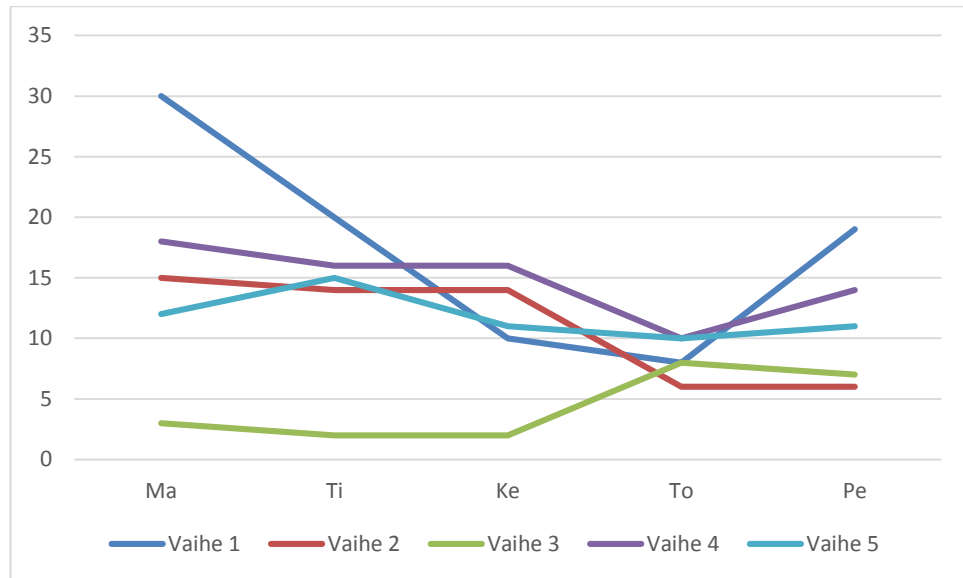
Virtauksen parantamisessa voidaan hyödyntää esteiden teoriaa eli TOC-mallia (Theory of Constraints). Mallia voidaan käyttää osana OPDCA-mallia pullonkaulojen havainnointiin. Se on ohjaus- ja johtamismalli esteiden hallintaa varten, jota on hyödynnetty myös Lean-tuotannossa. Yleensä jokaisessa prosessissa on vähintään yksi ja yleensä vain yksi este, joka rajoittaa systeemin suorituskykyä. Tunnistamalla tämä rajoittava piste ja kuinka sitä kuormitetaan, voidaan parantaa prosessia keskittymällä tähän pisteeseen. Pidemmällä aikavälillä prosessi ei pysty tuottamaan enempää kuin mitä kyseinen vaihe pystyy tuottamaan, joten prosessi on epätasapainossa, mikäli sitä ei korjata. Muita vaiheita parantamalla on kyseenalaista syntykö parannusta jos kyseistä pullonkaulaa ei poisteta.



Kuva 12. Viisivaiheinen prosessi ja tuotetut yksiköt eri vaiheissa.

Jos ajatellaan kuvan 12 viisivaiheista prosessia, jossa luvut vastaavat tuotettuja yksiköitä, on selvää, että prosessin pullonkaula on vaiheessa kolme. Parantamalla prosessia vaiheessa kolme lyhenee koko prosessin läpimenoaika pidemmällä aikavälillä. Prosessin pullonkaulan löytäminen ei aina kuitenkaan ole yksinkertaista, koska vaihtelun vuoksi

pidemmällä aikavälillä saattaa tuntua, että pullonkaula vaeltaa vaiheesta toiseen. Saman esimerkin päiväkohtainen tuotanto on esitetty kuvassa 13, josta huomataan, että torstaina ja perjantaina pullonkaula onkin vaiheessa kaksi. Tällöin lienee tarpeellista seurata tilannetta vaiheessa kaksi sen jälkeen kun vaihe kolme on parannettu ja prosessi tasaantunut, ja arvioida tarvitaanko parannusta myös vaiheessa kaksi. (Sixsigma.fi, Esteiden teoria (TOC), 2016).

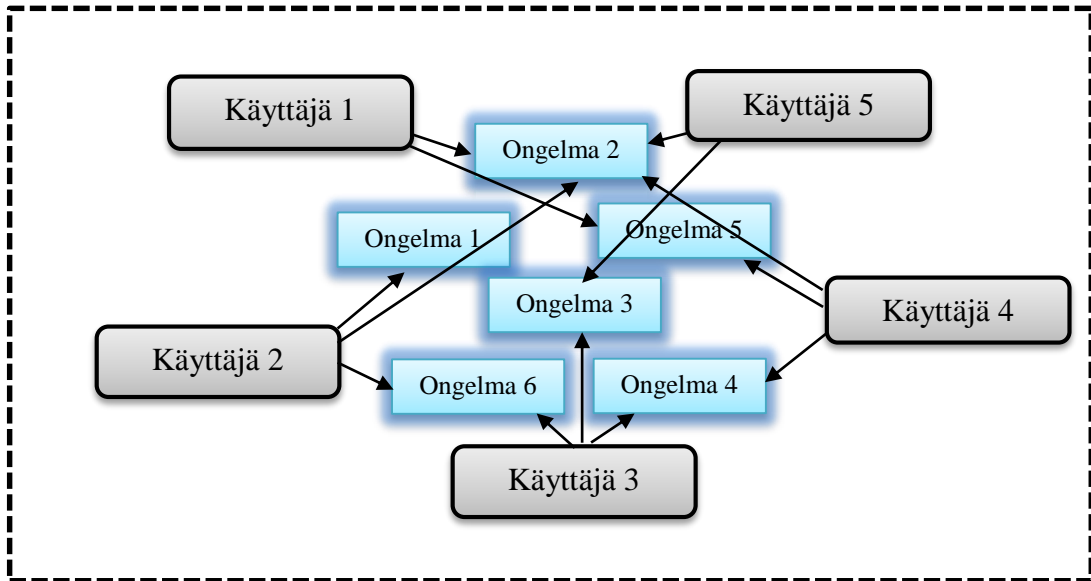


Kuva 13. Saman viisivaiheisen prosessin päiväkohtainen vaihtelu.

3.3 Tiedon jakaminen

Ryhmän osaaminen koostuu siihen kuuluvien yksilöiden osaamisesta. Ryhmän sisällä erilaiset koulutus- ja työkokemukset edesauttavat työssä kehittymistä. Jotta oppimista tapahtuisi, on ryhmän jäsenten välillä oltava yhteinen näkemys asioista.

Mallinnusongelmia on eritasoisia ja monesti niiden ratkaisuihin on käytettävissä samoja elementtejä. Käyttäjillä on erilaista osaamista erilaisten ongelmien ratkaisussa ja tästä syystä tehokkainta olisi suunnata ongelmat niille käyttäjille, joille ongelma on ennalta tuttu. Kuvassa 14 on havainnollistettu sitä, miten ongelmanratkaisu tavallisesti tapahtuu, mikäli minkäänlaista yhteistä työtapaa ei ole. Ongelmana tässä mallissa on se, että ongelmat ratkaistaan useampaan kertaan, sillä käyttäjien väliltä puuttuu riittävä kommunikatio.



Kuva 14. Ongelmanratkaisu ilman yhteisiä toimintatapoja.

Tietojen jakaminen työyhteisöissä on harvemmin automaattista, mutta sitä voidaan parantaa erilaisin keinoin. Jokaisen työyhteisön rutiineihin on kätkeytynyt hiljaista tietoa, jota on vaikea pukea sanoiksi ja jota on vaikea siirtää henkilöltä toiselle. Hiljainen tieto karttuu kokemuksen myötä ja sitä saattaa olla vaikea opettaa eteenpäin siten, että muutkin sen oppisivat. (Toivonen & Asikainen 2004, 12-13.)

Hiljainen tieto tulee esiin ja siirtyy eteenpäin tavallisesti sosiaalisessa vuorovaikutuksessa tai havainnoinnin avulla, kun kokemusta jaetaan kertomalla tai näyttämällä esimerkkiä. On suuri haaste tehdä työyhteisön toimintatavat sellaisiksi, että hiljainen tieto tulisi näkyväksi ja näkyvä tieto sisäistyisi toiselle yksilölle hiljaiseksi tiedoksi ohjaamaan yksilön toimintaa. (Strömmer 1999, 180.)

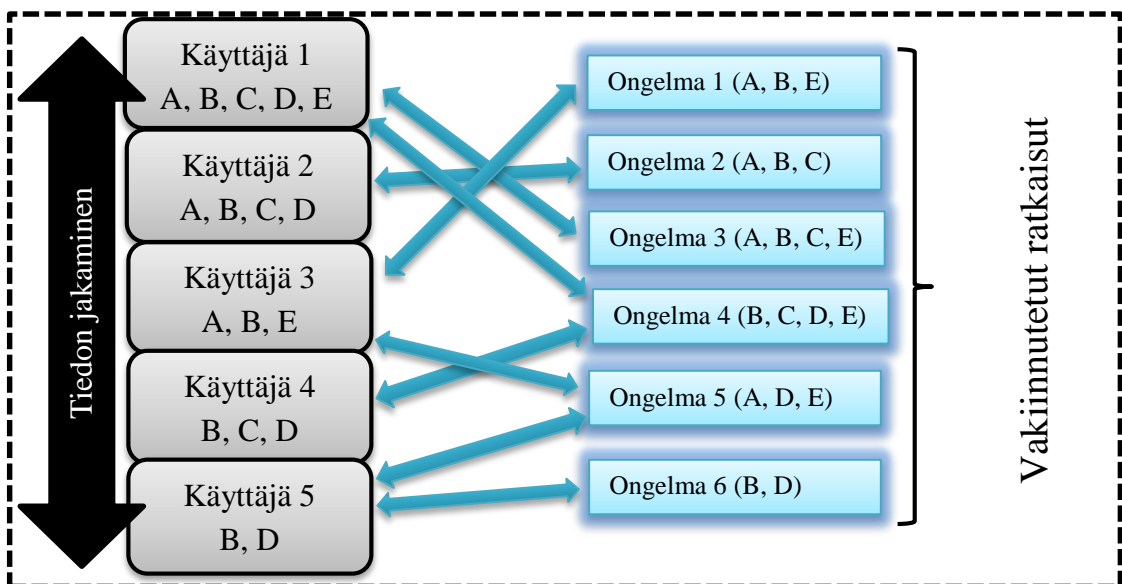
Paremmalla kommunikaation avulla opitaan tuntemaan työyhteisön sisällä piilevää osaamista ja saadaan kohdistettua ongelmien ratkaiseminen oikeille käyttäjille. Jatkuvan henkilöstön kehittämisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että ryhmän sisällä myös työntekijät, joilla ei ole osaamista kyseiseen asiaan, näkevät ongelman ratkaisun. Tämä säästää työntekijöitä aikaa vieraalta tiedon hakemiselta, sillä tieto usein jo löytyy ryhmän sisältä jakamattomana hiljaisena tietona.

Henkilöstön osaamisen kehittäminen on käytännössä osaamisen siirtymistä, joka tapahtuu usein esimerkiksi koulutuksilla, työnohjauksella, tiimityöllä tai mentoroinnilla. Yksi tehokas tapa on myös osaamisyyhteisöt, jossa samasta aiheesta kiinnostuneet jäsenet jakavat tietoa. (Hovila & Okkonen 2006, 107-109.)

Osaamisen puutteiden kartoittamista varten järjestettiin SolidWorks-käyttäjien kesken anonymi kysely, jossa tiedusteltiin eri SolidWorks-työkalujen käyttökokemuksia. Kartoituksella tarkasteltiin yksikön SolidWorks-osaamisen nykytilaa ja verrattiin sitä tavoitettiin ja kartoitettiin tällä tavoin kehitystarpeet. Tavoitetila olisi, että käyttäjillä olisi

tietämystä kyseisten työkalujen olemassaolosta. Vastauksien perusteella päätettiin, mistä työkaluista olisi tarpeellista järjestää koulutuksia SolidWorks-käyttäjien kesken. Tästä toiminnasta lisää luvussa 6.2.

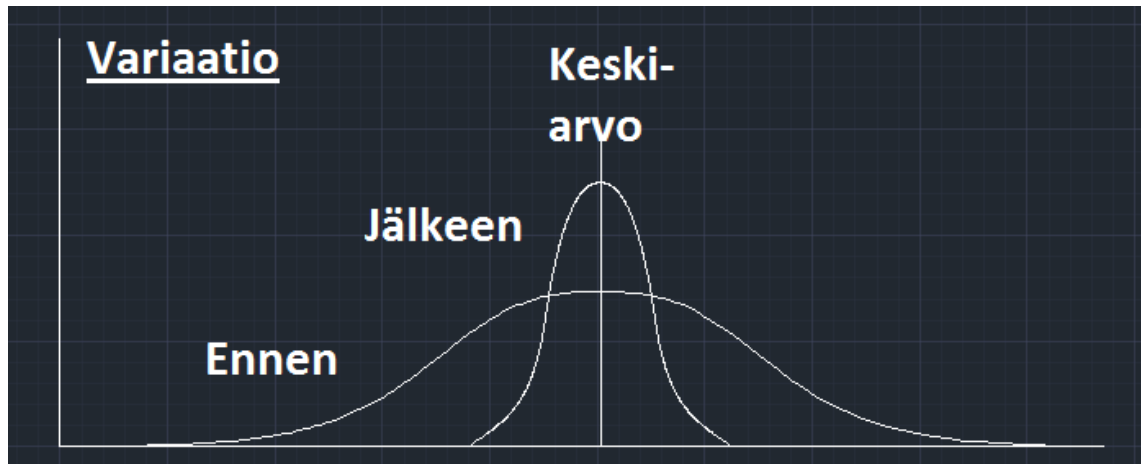
Avoimen tiedonkulun tavoitteena on, että työryhmän jäsenet tuntisivat toistensa osaamistason niin hyvin, että työtehtävien jakaminen osaamistason perusteella olisi vaivatonta. Kuvan 15 esimerkissä käyttäjien osaamistaso tunnetaan, jolloin ongelmat voidaan jakaa käyttäjille ongelman vaativuuden ja käyttäjän osaamisen perusteella. Ongelman kohdalla kirjaimet kuvaavat ongelman ratkaisuun vaadittavaa erikoisosaamista, ja käyttäjän kohdalla kirjaimet tarkoittaa vastaavaa käyttäjän erikoisosaamista. Helpommat ongelmat jaetaan kokemattommille käyttäjille, kun taas haastavat ongelmat jaetaan kokeneille käyttäjille ratkaistaviksi. Tietoa jaetaan käyttäjien kesken ja ongelmia ratkaisemalla käyttäjien erikoisosaaminen lisääntyy. Tällaisen mallin avulla samoja ongelmia ei ratkaista useampaan kertaan vaan ratkaisut pyritään standardisoimaan helppokäyttöiseksi toimintatavaksi ja jakamaan tieto muille käyttäjille. Ongelmien ratkaisussa hyödynnetään vakiinnutettuja ratkaisuja ja standardeja mahdollisimman paljon.



Kuva 15. Järjestelmällinen ongelmanratkaisu.

3.4 Laadun parantaminen

Usein laatuun keskittymällä saadaan myös kustannuksia pienennettyä enemmän kuin keskittymällä kustannusten vähentämiseen (Liker 2006, 24). Jatkuvan kehittämisen myötä työmenetelmät saavuttavat jossain vaiheessa sellaisen tason, että työteho ja laatu ovat tasaisia. Tasaisuuteen pyritään, sillä vaihtelu laadussa aiheuttaa hukkaa, ja tasaisen työtehon ansiosta on helpompi arvioida työtahtia ja kustannuksia. Mallinnustoimintaa kehittämällä erilaisia ongelmatilanteita, ja täten myös vaihtelua, saadaan vähennettyä. (Kuva 16.)



Kuva 16. Laatuun keskittyminen vähentää vaihtelua ja hukkaa.

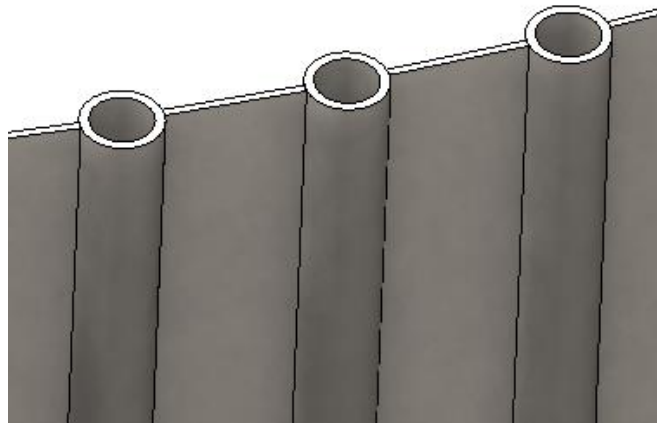
3D-suunnittelu saattaa jollain saralla vaikuttaa kalliimmalta tavalta tehdä suunnittelua, mutta pidemmällä tähtäimellä se auttaa vähentämään virheitä muun muassa törmäilytar- kastelujen avulla ja näin parantamaan laatua. Se myös helpottaa asiakkaan kanssa yksi- tyiskohtien visualisoimista ja siten parantaa palvelun laatua.

Toyotan tavassa laadun parantaminen on kiinni työntekijöiden sitoutuneisuudesta, sillä juuri työntekijät huomaavat puutteet parhaiten ja heillä on mahdollisuus vaikuttaa niihin, mikäli heillä on siihen motivaatiota ja aikaa.

4. PROSESSIIN TUTUSTUMINEN

4.1 Kattilatekniikkaa lyhyesti

Valmetin päätuotteet höyrykattilapuolella ovat BFB-kattila HYBEX, CFB-kattila CYMIC ja sellun tuotantoprosessissa käytettävä soodakattila RECOX. Ne ovat luonnonkiertokattiloita, jossa vesi ja höyry liikkuvat johtuen niiden tiheyserosta. Kattilan sisällä tapahtuva paloreaktio saa aikaan sen, että ympärillä olevissa putkiseinissä oleva vesi alkaa höyrystyä. Kattilaa ympäröivää seinärakennetta kutsutaan membraaniseinäksi (kuva 17). Se on kaasutiivis vesiputkiseinärakenne, jossa putkien väliin on hitsattu lattarauta koko matkalta. Seinän ulkopuolella on vielä eristevilla ja pellitys. Sisäpuoliset pinnat, jotka ovat eniten alttiina korroosiolle tai eroosiolle suojataan muurauksella.



Kuva 17. Membraaniseinä.

Pääkomponentit luonnonkiertokattiloissa ovat (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000. 113-114.):

- Ekonomaiserit, joiden tehtävänä on lämmittää höyrystettävää vettä lähemmäksi höyrystyslämpötilaa savukaasujen avulla. Lämpö savukaasuista siirtyy konvektion avulla. Ekonomaiserin toinen päätehtävä onkin laskea savukaasujen lämpötilaa.
- Lieriö, joka erottelee veden ja höyryn toisistaan. Lieriöön tulee ekonomaiserilta syöttövedtä, jota lieriö syöttää laskuputkille. Se myös ottaa vastaan kattilan seiniltä nousseen veden ja höyryn sekoituksen ja erottelee lieriössä olevien pienten syklonien avulla höyryn ja veden toisistaan. Lieriö säätelee jatkuvasti syöttöveden määrää mitaten tulevan ja poistuvan veden sekä poistuvan höyryn määrää.
- Höyrystin eli esimerkiksi kattilan membraaniseinät, joissa vesi höyrystyy.
- Tulistimet, joissa höyry kuumennetaan nesteettömässä tilassa, eli tulistetaan.

Höyryn lämpötilan nostamiseen käytettäviä tulistimia on neljää eri tyyppiä (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000. 188-190.):

1. Tulipesän yläosassa sijaitseva säteilytulistin, johon lämpö siirtyy liekistä.
2. Verhotulistin, joka on myös säteilytulistin, mutta se on lisäksi tarkoitettu suojaamaan sen perään sijoitettuja konvektiotulistimia laskemalla savukaasun lämpötilaa.
3. Konvektiotulistin, joka on suojassa liekkien säteilyltä ja johon lämpö siirtyy savukaasuista konvektion avulla.
4. Yhdistelmätulistin, jossa osa tulistinputkista on liekkien säteilyn alaisena ja osainoastaan savukaasujen vaikutuksen alaisina.

BFB- ja CFB-kattilat perustuvat leijukerrospolttotekniikkaan, joista ensimmäisessä leijutetaan ja toisessa kierrätetään kuumaa hiekkaa tasaisemman paloreaktion aikaansaamiseksi. Tulipesän pohjassa on ilmasuuttimia, jotka saavat aikaan kuplimisen. Hiekka lämmitetään polttimilla ja tämän jälkeen polttoainetta syötetään tulipesän alaosassa leijuvaan hiekkaan, jolloin palamisreaktio käynnistyy. Pienemmissä kokoluokissa käytetään tavallisesti kuplivapeti-ratkaisua (BFB) ja isommissa kokoluokissa kiertopeti-ratkaisua (CFB). BFB-kattiloiden tehoalue on 10-400 MW ja CFB-kattiloiden 50-1200 MW.

Kattilan rakenteeseen kuuluu paljon aukkoja, joita ovat mm. poltinaukot, ilmansyöttöaukot, polttoaineensyöttöaukot, huolto- ja kulkuaukot, mittausaukot, näkölasien aukot sekä nuohoinaukot. Aukkoja varten putket on taivutettu sivuun ja tiivistetty koteloilla, jotka täytetään massalla.

Kattiloiden osista on tehty SolidWorksillä useita automaatteja mallintamisen nopeuttamiseksi. Lisäksi usein toistuvista osista on tehty vakiomalleja. Tällaisia ovat esimerkiksi suurin osa koteloista ja koteloiden putkiaukoista, tiivistyskammoista, jotka auttavat tiivistämään levyosia putkiseiniin, sekä tukikehien kannatusosista, jotka kiertävät kattilaa. Kohdassa 4.2 käydään läpi kattilamallinnukseen liittyviä automaatteja ja esitellään mallinnusprosessia.

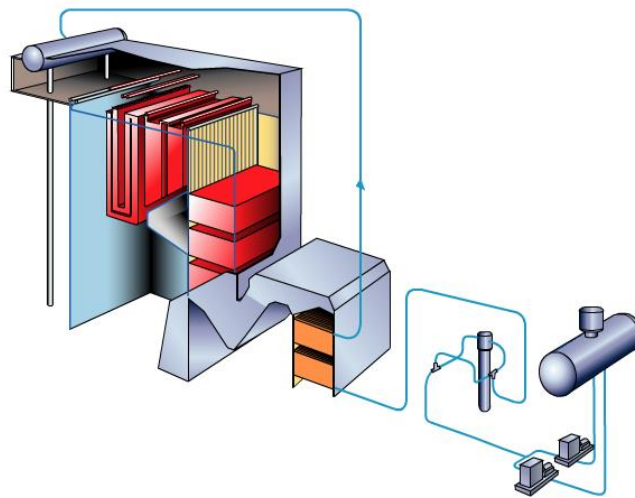
4.1.1 HYBEX-kattila

HYBEX on Valmetin tuotemerkki BFB-kattilasta. BFB, joka tulee englannin kielen sanoista *bubbling fluidized bed*, on kerrosleijukattila (tai leijukerroskattila), jonka päätehtävä on tuottaa höyryä biopolttoaineista, jäteperäisistä polttoaineista ja teollisista sivutuotteista. BFB-kattilan etuna on, että siinä voidaan polttaa monenlaisia polttoaineita. Kattilan pohjalla leijuva kuuma hiekka imee itseensä kosteutta ja auttaa säilyttämään palamisen tasaisena, vaikka polttoaineessa olisi suuri kosteusprosentti ja matala lämpöarvo.

BFB:n pohjalla on noin 50 cm paksu hiekkakerros, joka saadaan kuplimaan pohjassa olevien ilmasuuttimien avulla. Kattilan pohja on patentoitu vesijäähdytteinen Hydro Beam –arina, joka mahdollistaa tehokkaan epäpuhtauksien ja karkean materiaalin poiston tulipesän pohjalta. Hiekka kuumennetaan startti-polttimien avulla noin 400 asteeseen, jonka

jälkeen siiloista pedin päälle syötettävä polttoaine syttyy palamaan korkean lämpötilan vaikutuksesta. Tämän jälkeen starttipolttimet sammutetaan ja ilmaa syötetään tulipesään ylempiin osiin palamisen edistämiseksi, mikä nostaa lämpötilaa entisestään. Palamisreaktio saa veden seinäputkissa höyrystymään. Palamisesta syntyvä savukaasu lämmittää seiniä ja tulistimia kulkien tulipesästä takavedolle ja jatkaen siitä matkaa savukaasukanaavaan. Painerungon eli tulipesän ja takavedon rakenne on membraanirakennetta.

HYBEX-kattilan tyypillinen vesikierto on seuraavanlainen, vaikka variaatioitakin löytyy: Syöttövesijärjestelmä, jonka tarkoitus on pitää vesi ja höyrykierto tasapainossa, korvaa lähtevän korkeapaineisen höyryn vastaavalla määrällä syöttövedtä. Tehokkuuden lisäämiseksi syöttövesi voidaan lämmittää keskipaineisella höyryllä yhdessä tai useammassa korkeapaineisessa esilämmittimessä (kuva 18).

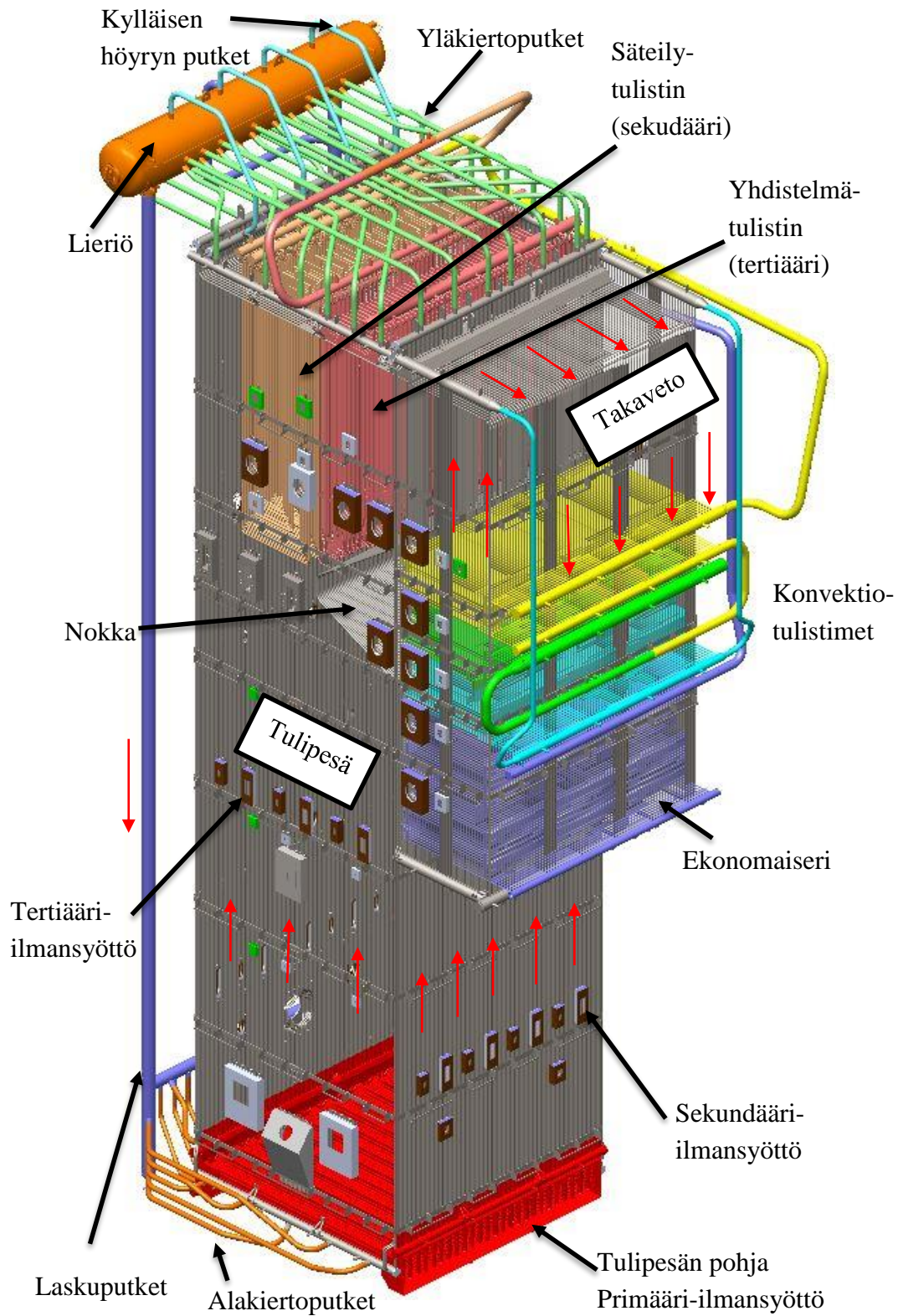


Kuva 18. Syöttöveden kierto lieriölle (Valmet MyAcademy).

Kuvassa 19 näkyy painerunkoalue. Syöttövesi tulee kuvassa tummansinisellä näkyville ekonomaisereille ja jatkaa siitä ylös lieriölle. Lieriöltä vesi jatkaa matkaansa alas laskuputkille, joilta se siirtyy alakiertoputkien kautta tulipesän pohjaan ja siitä seinille jakokammioiden kautta. Tulipesässä tapahtuva palaminen lämmittää seinäputkissa olevaa vettä, joka nousee seiniä pitkin ylös seinien kokoojakammioille ja sieltä yläkiertoputkia pitkin takaisin lieriölle, jonne se tulee veden ja höyryn sekoituksena. Kylläinen höyry ja kattilavesi erotellaan pienissä sykloneissa lieriössä, josta vesi kulkeutuu takaisin laskuputkille ja höyry nousee ylös kylläisen höyryn putkille. Lieriön vesimäärä pidetään stabiilina mittaamalla jatkuvasti veden korkeutta, syöttöveden määrää ja poistuvan höyryn määrää.

Kylläisen höyryn putket johtavat höyryn kattoa pitkin takavedolle, jonka läpi kuljettuaan höyry siirtyy yhdysputkia pitkin primääritulistimelle. Primääritulistimissa höyry tulistetaan vastakkaiseen suuntaan virtaavan kuumen savukaasun avulla. Tulistettua höyryä tulistetaan vielä tulipesän yllä roikkuvissa sekundääri- ja tertiääritulistimissa, joissa höyry liikkuu kuvan tapauksessa savukaasun kanssa samaan suuntaan. Sekundääritulistin on

tässä tapauksessa säteilytulistin ja tertiääritulistin on yhdistelmätulistin. Höyryn lämpötilaa säädelään tulistimien välisissä putkissa olevissa ruiskutuskammioiden haluttuun lämpötilaan.

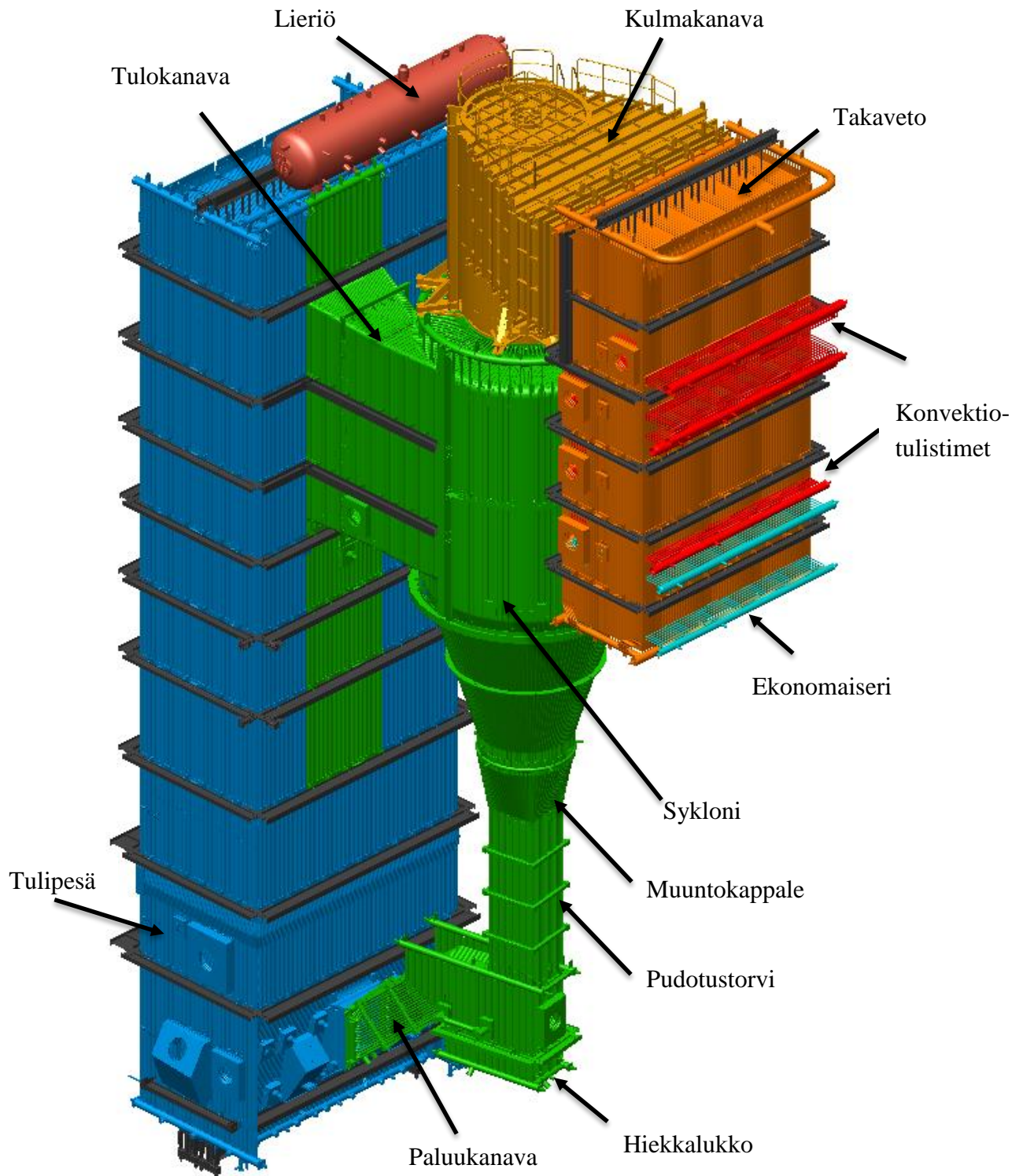


Kuva 19. Esimerkki HYBEX-kattilan painerungosta.

4.1.2 CYMIC-kattila

CFB, joka tulee englannin kielen sanoista *circulating fluidized bed*, on kiertoleijupeti-kattila tai kiertoleijukattila, jonka päätehtävä on tuottaa höyryä biopolttoaineista, hiilestä ja erilaisista seoksista. Palaminen tapahtuu tulipesässä. Palamisen tehokkuus perustuu leijukerrospolttotekniikkaan, jossa kierrätetään kuumaa hiekkaa tasaisemman paloreaktion aikaansaamiseksi. CYMIC-kattiloissa tulipesä, sykloni, hiekkalukko ja takaveto ovat tyypillisesti membraanirakennetta. Tulipesän pohjalla olevaan petiin syötetään suuttimilla ilmaa niin, että hiekka alkaa kiertämään tulipesältä sykloniin ja syklonista hiekkalukon kautta takaisin tulipesään. Leijutusnopeus on 1,5-3 kertaa suurempi kuin HYBEX-kattiloissa, joten hiekka-polttoaineseos leijuu koko tulipesän alueella ja sekoittuu tehokkaammin. Kuuma savukaasu ja partikkelit kulkevat palaessaan syklonin tulokanavaan, josta virtaus tulee tangentiaalisesti sykloniin. Tämä saa aikaan pyörimisliikkeen syklonissa, jolloin keskipakovoima erottaa partikkelit kaasusta eli sykloni toimii partikkelierottimena. Pyörimisliikettä edesauttaa syklonin keskellä oleva keskusputki, joka estää palamattomia partikkeleita pääsemästä ulos kierrosta. Sykloni erottaa palamattomat partikkelit palokaasuista ja palauttaa ne takaisin tulipesään hiekkalukon kautta. Hiekkalukko myös estää tulipesän palokaasuja pääsemästä suoraan tulipesän alaosasta sykloniin. Tätä kiertoa kutsutaan ulkoiseksi kierroksi, ja sen ansiosta lämmönsiirto tulipesän alueella tehostuu.

Syklonissa eroteltu savukaasu johtuu keskusputken kautta jäähdyttämättömään, muurat-tuun kulmakanaavaan, joka ohjaa virtaavan savukaasun takavetoon. Takavettoa alaspäin virtaava savukaasu menee ensimmäisenä tulistimien läpi. Tämän jälkeen tulee rakenteesta riippuen vielä keittopinta (*engl. generating bank* tai *boiler bank*), joka tarvittaessa imee lämpöä itseensä, jottei takavedossa seuraavana olevissa ekonomaisereissa oleva vesi alkaisi höyrystyä. Viimeisimpänä lämmönvaihtimena toimii savukaasukanavassa sijaitseva luvo, joka hyödyntää loput savukaasujen lämmöstä ennen kuin ne siirtyvät savukaasujen puhdistukseen ja savupiipusta ulos. Muut tulistimet ovat sijoitettuna kattilaan vaihtelevasti riippuen kattilan rakenteesta. Kuvassa 20 on esitelty CYMIC-kattilan painerunko-osuuden pääkomponentit.



Kuva 20. Esimerkki CYMIC-kattilan painerungosta.

Kuva 21 havainnollistaa kiinteiden partikkeleiden kiertoa CFB-kattilassa. Tulipesän alaosassa, sykloni ja hiekkalukko muurataan sisäpuolelta, jotta suurella nopeudella ja suuressa lämpötilassa liikkuva hiekka ei pääsisi aiheuttamaan eroosiota seinäputkiin. Muuraus auttaa myös lämmön tasaisemmassa jakautumisessa.



Kuva 21. Valmetin CYMIC-kattilan mainoskuva.

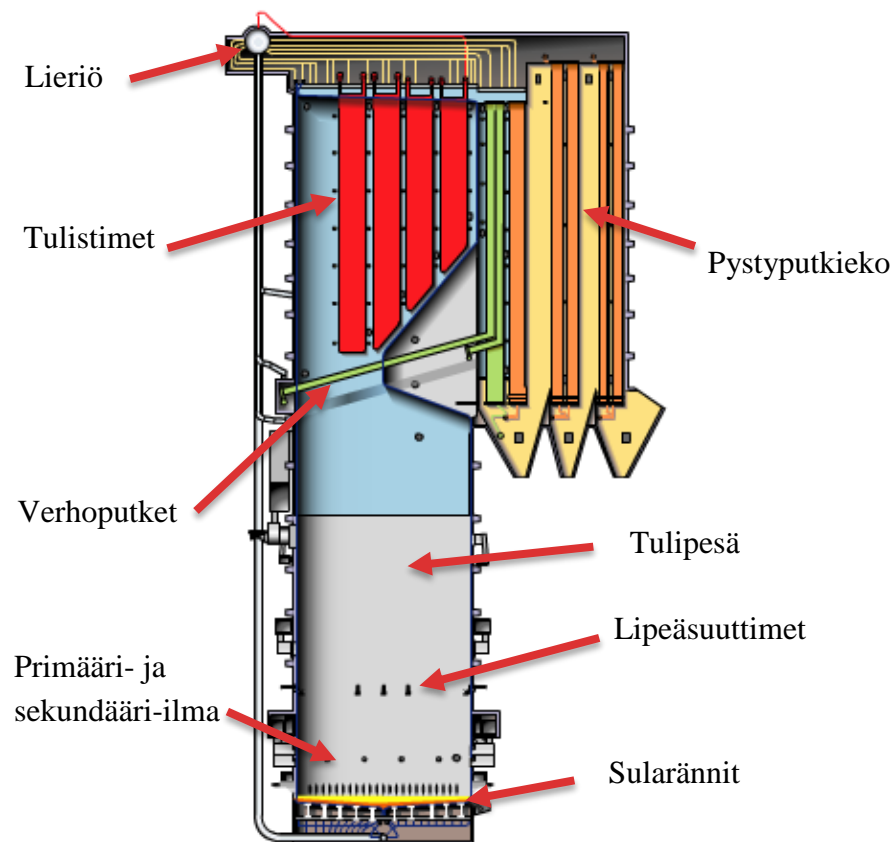
Vesikierto painerunkoalueella on CFB-kattilassa tyypillisesti seuraavanlainen: syöttövesi tulee ekonomaisereille, joista se nousee ylöspäin lieriölle. Lieriöltä vesi kulkee laskuputkia pitkin tulipesän ja hiekkalukon alaosaan. Tulipesässä vesi siirtyy jakokammioille seinille ja pohjaan ja nousee lämmön vaikutuksesta ylös kokoojakammioille. Kokoojakammioilta vesi-höyryseos siirtyy yläkiertoputkia pitkin lieriölle, joka erottelee veden ja höyryn siirtämällä höyryn kierrossa eteenpäin ja veden takaisin laskuputkiin. Lieriöltä hiekkalukon alaosaan virrannut vesi nousee vastaavasti lämmön vaikutuksesta hiekkalukon ja syklonin seiniä pitkin ylös takaisin lieriölle. Mikäli rakenteeseen kuuluu keittopinta (*engl. Generating bank*), siihen syötetään vesi suoraan lieriöltä, jonne se myös palaa suoraan takaisin veden ja höyryn sekoituksena. Lieriöltä kylläinen höyry siirtyy tulistukseen. Tullistinhöyryn lämpötilaa voidaan säädellä tulistimien välisissä putkissa olevilla ruiskuilla.

4.1.3 RECOX-kattila

RECOX-kattila on Valmetin tuotemerkki soodakattilasta ja tulee englannin kielen sanoista *Recovery boiler*. Soodakattilassa käytetään polttoaineena sellutuotantoprosessissa

syntyvää sivutuotetta, mustalipeää, jota syötetään suuttimilla kattilan pohjalla olevalle paloalueelle. Toisin kuin BFB- ja CFB-kattiloissa, polttoainetta ei leijuteta vaan se poltetaan kasassa tulipesän pohjalla. Tulipesän pohjalla olevista sulakouruista valuu poltosta syntynyttä kemikaalisulaa, joka liuotetaan liuotussäiliössä viherliperäiseksi ja jatkojalostetaan valkoliperäiseksi, jota voidaan uudelleen hyödyntää sellunkeittoprosessissa. Soodakattilan tuottamaa lämpöä hyödynnetään prosessihöyrynä ja käytetään myös sähköntuotannossa. Mustaliperäisen suuren energiasisällön ansiosta monet selluloosatehtaat tuottavat enemmän energiaa kuin kuluttavat.

Myös soodakattilat perustuvat luonnonkiertoon. Soodakattiloiden tyyppiä on kahdenlaisia: vanha kaksilieriöinen rakenne, ja uusi yksilieriöinen, joka ei sisällä niin paljon putki-liitoksia. Kuvassa 22 on esitelty soodakattilan rakennetta.



Kuva 22. Soodakattilan läpileikkaus (Valmet MyAcademy).

Tyypillisesti RECOX-kattiloissa ensimmäisenä savukaasun suunnassa tulee vastaan verhoputket, joiden tarkoitus on pienentää savukaasun lämpötilaa, jotta sulat tuhka ja suolat eivät pääsisi tarttumaan seuraavana savukaasun kulkusuunnassa sijaitseviin tulistimiin. Lisäksi verhoputket jakavat palotilasta nousevat savukaasut tasaisemmin yllä oleville tulistimille. Seuraavana tulevat tulistimet, jotka ovat normaalisti kahdessa vaiheessa oleva primääritulistin, sekä sekundääri- ja tertiääritulistin. Tämän jälkeen savukaasu lämmittää

verhoputkien yläosaa ja höyrystinputkista koostuvaa vesivarastoa, *boiler bankia*, ja tämän jälkeen ekonomaisereita.

RECOX-kattilassa syöttövesi, joka koostuu yleensä prosessista palautuvista lauhteista, pumpataan ekonomaisereille, jotka ovat malliltaan pystyputkiyksiköitä. Savukaasu kulkee vastakkaiseen suuntaan syöttöveden kanssa lämmittäen vettä lähes kiehumispisteeseen. Ensimmäisenä vesi menee tulipesästä katsottuna kauimmaiselle ekonomaiserille ja virtaa lähemmäs tulipesää kunnes nousee lieriölle. Lieriöltä vesi laskeutuu laskuputkia pitkin tulipesän alaosaan ja nousee seiniä ja verhoputkia pitkin takaisin lieriölle. Lieriöltä vesi palaa takaisin laskuputkia pitkin alas ja höyry jatkaa matkaansa tulistimille, jotka ovat sijoitettuna tulipesän nokan päälle. Höyry tulistetaan tavallisesti kolmessa tai neljässä vaiheessa.

Soodakattiloiden alaosa on altis korroosiolle, minkä vuoksi alaosassa käytetään compound-putkea. Kyseisessä putkessa sisäosa on normaalia kattilaputkea ja ulkokerros ruostumatonta austeniittiterästä. Lisäksi tulipesän alaosa on suojattu keraamisella massalla.

4.2 Mallinnusprosessi

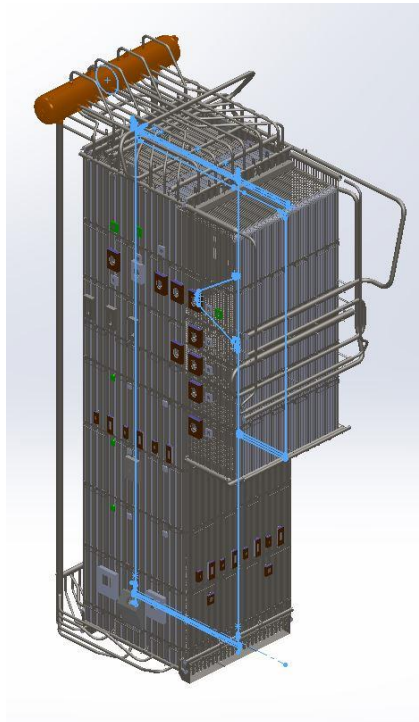
Kattilamallintamisen vaikeudet johtuvat kattiloiden erilaisuudesta. Vaikka useita mallinnusautomaatteja kattilan eri osista on olemassa, jokainen kattila on tapauskohtaisesti räätälöity käyttöpaineen ja lämpötilan mukaan sekä siihen liittyvien laitteiden, ulkopuolisten tasojen, rakennuksen ja muiden asiakasvaatimusten mukaan.

Kohdeyrityksessä kattilan mallinnuksessa on annettu joitain vakioparametreja, joita noudattamalla erilaisten variaatioiden määrää saadaan hieman vähennettyä. Määrittelyt ovat yrityksen tietokannassa olevista rakennesuunnittelumanuaaleista, joista käytetään yhteisnimitystä SYM. Esimerkiksi tulipesän ja takavedon koon määrittelyyn on olemassa taukko, jonka perusteella määräytyy pohjan leveys ja syvyys. Näiden parametrien avulla voidaan myös nopeuttaa laskentaa, komponenttien valintaa, sekä komponenttien sijoitusta tulipesässä. Samoin syklonin ja hiekkalukon kokoluokat on vakioitu ja ne ovat tyypillisesti keskenään samaa kokoluokkaa. Poikkeustilanteissa, syklonin ja hiekkalukon ollessa eri kokoluokkaa, tarvitaan hieman lisätyötä moduulien rajapintojen yhteensovittamisessa.

Toistuvasti käytettävistä komponenteista on tehty standardimalleja, joilla saattaa olla useampi konfiguraatio. Tällaisia ovat esimerkiksi suurin osa putkiaukoista, aukkojen muurauskoteloista, tiivistyskammoista sekä tukikehien kannatusosista. Näistä KAS-standardista on valmiit piirustukset, joihin viitataan osaluetteloissa, joten ne nopeuttavat suunnittelua ja vähentävät dokumentointia. Niitä voidaan käyttää vain, jos ne sopivat tapaukseen täydellisesti. Mikäli esimerkiksi materiaali tai putkikoko poikkeaa standardissa annetuista vaihtoehdoista, joudutaan varaamaan uusi piirustusnumero ja kopioimaan malli muokkaamista varten. KAS-osia sisältyy usein myös automaatteihin.

Suurten kokoonpanojen hallinnassa on tärkeää, että mallilla on olemassa selkeä runko, etteivät mahdolliset virheet yksittäisissä osissa pääse vaikuttamaan kokonaisuuteen. Mallinnus tehdään layout-periaatteella eli mallin pohjalla on ”luuranko”, johon sidotaan kokoonpanoja. Tämä helpottaa mallin hahmottamista ja kokoonpanojen nopeaa sitomista paikoilleen. Lisäksi se vähentää riskiä, että mallia muokatessa sen sidospisteet häviäisivät.

Mallinnus aloitetaan tekemällä layout-osa (kuva 23), joka sisältää skitsejä eri suunnista ja näihin linkitettyjä tasoja helpottamaan osien ja kokoonpanojen sitomista layoutiin. Tämän jälkeen layout ja alikokoonpanot voidaan tuoda pääkokoonpanoon osiksi. Kokoonpano voi myös sisältää useamman layoutin, mutta yleensä yhden pääasiallisen layoutin (engl. *Main layout*). Isompiin alikokoonpanoihin voidaan myös tuoda tarvittavia layouteja, jolloin rakenteen hahmottaminen ja pääkokoonpanoon sitominen on helpompaa.



Kuva 23. HYBEX-kattila, jonka layout-skitsi näkyy sinisellä.

Hyvin rakennetun layoutin pohjalle on helppo sijoittaa automaateilla ajetut mallit, jotka sijoitetaan hierarkkisesti oikeiden alikokoonpanojen alle. Näin malli alkaa nopeasti hahmottua ja muut tilaa vievät osat on helpompi sijoittaa oikeille paikoilleen. Kun pääkomponentit ja tärkeimmät liitospinnat ovat paikallaan, aloitetaan tarkempi detalji-suunnittelu liittyen esimerkiksi rakenteen tiivistämiseen ja törmäystarkastelulla etsittyihin päällekkäisyyksiin mallissa.

Tutkimuksen aikana tarkkailtiin painerunkomallinnusta erilaisissa kattilaprojekteissa. Taulukkoon 2 on listattu vastaan tulleita mallinnuskohteita ja huomioita:

Taulukko 2. Mallinnuskohteet ja kehitysehdotukset.

Mallinnuskohde	Kuvailu	Kehitysehdotukset
Lieriö	Kohtalaisen hyvin toimiva layout-pohjainen muunneltava malli	Selkeämpi rakenne, jossa muokkaukset tehtäisiin yhdessä paikassa
Tulipesän pohja (HYBEX)	Automaatti	Tarvitsee hieman päivityksiä ja paremman ohjeistuksen
Tulipesän pohja (CYMIC)	Automaatti	Ei testattu
Sykloni (CYMIC)	Hyvin toimiva automaatti	Vaatii testailua uusimpien korjausten jälkeen
Hiekkalukko (CYMIC)	Hyvin toimiva automaatti	Ilman hiekkatulistinta kehitteillä
Tulokanava tulipesä-sykloni (CYMIC)	Hyvin toimiva automaatti	Vaatii testailua uusimpien korjausten jälkeen
Muuntokappale ja pudotustorvi (CYMIC)	Hyvin toimiva automaatti	Vaatii testailua uusimpien korjausten jälkeen
Paluukanava hiekkalukko-tulipesä (CYMIC)	Kopioimalla vanhasta	Automaatti työn alla
Kulmakanava (CYMIC)	Malli on melko helppo muokata vanhasta	Automaatti kehitteillä
Verhoputket ja keittopinta (RECOX)	Hyvin toimiva automaatti	
Ekonomaiseri (RECOX)	Automaatti	
Sekundääritulistin (HYBEX, vertikaali)	Kohtalaisen hyvin toimiva automaatti	Tarvitsee paremman ohjeistuksen. On erikoistapauksissa vaikeasti muokattavissa.
Tertiääritulistin (HYBEX, vertikaali)	Kohtalaisen hyvin toimiva automaatti	Tarvitsee paremman ohjeistuksen. On erikoistapauksissa vaikeasti muokattavissa.
Primääritulistin	Elementtiputki tehty tapauskohtaisesti, muut osat vakio-osia	Automaatti
Ekonomaiseri (levyseinämalli)	Automaatti	Vaatii päivityksiä
Laskuputket	Toteutettavissa esimerkiksi kammioautomaatin avulla	Helposti muokattavat, hyvät pohjat, joita on helppo kopioida projektista toiseen
Ala- ja yläkiertoputket	Tehty tavallisesti alusta tai kopioitu vanhasta projektista pohja ja muokattu sitä	Helposti muokattavat, hyvät pohjat, joita voi kopioida projektista toiseen
Tukikehien kannatus	Toteutettu yleensä yleiskäyttöisellä layout-tyyppisellä pohjalla	Helppokäyttöisempi pohja

Seinät	Rakentuu putkista, kammi- oista, tukikehien kannatuk- sista, koteloista ja putkia- koista. Yleensä toteutetaan ta- pauskohtaisesti layoutin poh- jalta, kopioimalla tai standar- dipohjista.	Yleispohja, jossa valmiina kaikki yleiset aukot ja tukikehät. Toistu- vien aukkojen sijoituksessa voisi hyödyntää enemmän sketch-dri- ven patternia
Kammiot	Toteutettu yleensä kopioi- malla vanhasta tai kammiope- rusmallilla	Kammioautomaatti
Tulipesän katto	Tehty tavallisesti alusta al- kaen layoutin pohjalta käyttä- mällä joitain vakio-osia tiivis- tyksissä tai kopioimalla van- hasta	Selkeä, helposti muokattava pohja eri kattilatyypeille
Screen	Yleensä muokattu kopiota vanhasta projektista	Helpommin muokattavissa oleva malli

4.3 Käyttäjäkysely

Sen lisäksi, että mallinnuskohteita tarkkailtiin työn tekijän henkilökohtaisesta näkökulmasta, järjestettiin ongelmien tunnistamiseksi käyttäjäkysely osaston SolidWorks-käyttäjille. Kyselyssä käyttäjiä pyydettiin listaamaan osa-alueita, jotka aiheuttivat heillä ongelmia tai ylimääräistä ajankulua. Tietoa kerättiin sekä sähköisen kyselyn että henkilökohtaisten keskusteluiden avulla, jotta saatiin mahdollisimman laajalti kartoitettua osaston sisäisten toimintatapojen ongelmakohdat. Ongelmat koottiin taulukkoon 3 ja päällekkäisyydet poistettiin. Ongelmat nimettiin kohdentamisen helpottamiseksi koodeilla O1...Ox.

Taulukko 3. Käyttäjäkyselyn tulokset.

Nro	Ongelma / ehdotus	Kuka	Ratkaisuehdotukset
O1	Suurten mallien / Suurten piirustusten käsittely raskasta	Kaikki	-Asetukset SolidWorksiin -Lisätehoa koneisiin -Simplify konfiguraatio ylhäältä alas asti -Mallin jakaminen pienempiin alikoonpanoihin -Riippuvuuksien vähentäminen mallin komponenttien välillä
O2	Paljon samanlaisia projekteja, mutta liian vähän sen hyödyntämistä	O.H, V.H	-Toistuviin piirustuksiin valmiita pohjia -Valmiit piirustusohjelmat eri kokoonpanoille.
O3	Blockien etsiminen vie usein liikaa aikaa kirjastosta	J.S	Kartta bloqueista, missä nimi ja kuva
O4	Mallien kopiointi (esim. automaattimallin) hidasta	J.L	
O5	Suunnitteluautomaattien vaikeakäyttöisyys	J.L	Parempi ohjeistus, joka sisältää automaatin käytön ja läpikäytävän tarkastuslistan
O6	Tiivistysevien mallintaminen on työlästä	J.L	Työkalu, joka luo automaattisesti evän kahden putken väliin

O7	Kammion koneistus	J.L	Automaatti
O8	Maanjäristystuet	J.L	Kirjasto erilaisista tuista, esim. aihiot erilaisista ratkaisuista
O9	E-drawings mallien parempi hyödyntäminen	J.L	Ohjeistus. Uudessa SW-versiossa large design review (nopea mallin esikatselu)
O10	Centerline-ongelma piirustuksissa (erityisesti mirror-objektit)	J.P	
O11	SW-mallien konfiguraatiot sekoittuvat projektin aikana (piirustuksiin tulee usein väärän konfiguraation tiedot)	J.P	
O12	PDMS-malli kääntö on työlästä tuottaa	J.P	-Mitä oikeasti tarvitsee kääntää (mihin tarkoitukseen, kuinka tarkasti, kuinka usein). Onnistuisiko kääntö öisin? -Kattilasta mukana seuraava eristyskuori sekä aukkojen paikat, liittyvien putkien näyttäminen tarkastamisen kannalta -Kääntöjen värikoodaus (kun valmista väritys pois)
O13	SW-attribuuttien siirtäminen PDMS-malliin	J.P	
O14	Proarc-linkki SolidWorksiin	J.P	-Master arkistointipaikka, joten piirustusnumeron haku ja hyväksynnän jälkeinen tallennus pitäisi tapahtua automaattisesti -Kehitteillä
O15	Poraustaulukon automatisointi	J.P	
O16	EPDM:n kansiorakenteen järjestyttäminen	V.H	
O17	Toimintaperiaate myyntiprojektin aloituksesta projektin lopetukseen eli kokonaisuuden hahmotteleminen.	V.H	
O18	Tiedon jakaminen. Samaa työtä tekevät voisivat jakaa tietojaan tehokkaammin.	V.H, J.S	-Usein eri työntekijät suorittavat samat toiminnot projektissa toisistaan tietämättä. -Tiedon jako tulisi myös projektin toteutuksessa olla tarkempaa. -Mallinnustekniikoiden jakaminen.
O19	Mill/machine rakenne projekteille	V.H	-Kehitteillä
O20	Kun malliin tarvitsee osan tai kokoonpanon (esim. yhteen, tiivistyslevyn, levypäädyn, tiivistyskotelon tms.), sen voisi tuoda siihen muutamalla hiiren klikkauksella.	V.H	-Vaatii toteuttajalta osaamista, mutta hieinan yksinkertaisempi ajatus voisi olla yhdeautomaatti tai levypäätöautomaatti.
O21	Hitsausblockien laittamiseen automaatti siten, että valitaan EN/ASME, kammion halkaisija, seinämänvahvuus, liittyvä putki ja materiaali	V.H	

O22	Mallien jakaminen alihankkijalle eri tiedostomuodossa (jos ei SolidWorksia käytössä)	J.S	-Miten saisi SolidWorksin attribuutit mukaan esim. STEP:iin? -Lähetetään STEP sekä piirustus missä autoballoon osanumerot ja osaluettelo
O23	Valmistuksen kanssa parempi kommunikointi	J.S	Kommunikointikäytännöt
O24	Piirustusten kommentointi helpommaksi	J.S	Hyvät referenssit, jotka löydettävissä helposti

Kuten huomata saattaa, puutteita on paljon ja osa niistä hyvinkin haastavia ratkaista, joten kaikkia ongelmia ei voida tässä työssä ratkaista. Luvussa 5 joitain ongelmista on otettu tarkastelun alle. Muun muassa yllä olevasta listasta lihavoituja ongelmia on käsitelty tässä työssä.

5. TYÖMENETELMIEN KEHITTÄMINEN

5.1 Ajan ja resurssien tuhlauksen eliminointi

Tässä luvussa käsitellään kehityskohteita, jotka liittyvät ajan ja resurssien tuhlaukseen, ja etsitään niihin ratkaisuja. Osa ongelmista ilmenee turhana ajankäyttönä, jolloin ongelmien ratkaisemisen suurimpana motivoijana on kiireen helpottaminen. Näin toimiessa pyritään siis eliminoimaan ajan ja resurssien tuhlausta, kuten Toyotan tapa neuvoo.

Yksi pitkällä aikavälillä aikaa säästävä toimenpide on suunnitteluautomaatit. Suunnittele automatisoimalla saadaan helposti hukkatyötä vähennettyä, kun usein tehtäviä toimintoja ei tarvitse toistaa. Mikäli automaatteja ei ole olemassa, käyttäjät toistavat usein samat mallinnusvaiheet joka projektissa kopioimalla projektia ja muokkaamalla siitä oikeanlaisen. Kopiointi saattaa olla nopeampi ja paremman tuntuinen vaihtoehto mallinnettaessa kiireellistä projektia, mutta pitkällä tähtäimellä tällainen työn toisto on turhaa. Automaateissakin on usein kehityksen alkuvaiheessa virheitä, mutta poistamalla virheen automaattista, tulee se poistettua myös tulevista projekteista, joissa automaattia käytetään.

Alla olevissa esimerkeissä käydään läpi joitakin luvussa 4 kerättyistä kehitysideoista ja ongelmakohteista. Lisäksi kehitetään työkaluja, kuten pienimuotoisia automaatteja sekä uusia työskentelymenetelmiä mallinnuksen helpottamiseen. Esimerkit, joissa otsikon perässä on numero, ovat ratkaisuja kyselyssä kerättyihin ongelmiin.

5.1.1 CASE 1: Suuret kokoonpanomallit ja -piirustukset (O1)

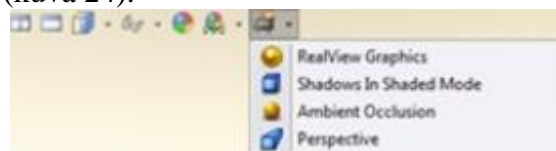
Suuret kokoonpanot tekevät SolidWorks–työskentelystä hidasta, sillä mallit ja piirustukset avautuvat hitaasti niiden runsaiden yksityiskohtien vuoksi. Tämä ongelma on kriittinen, koska suurten tiedostojen käsittely käy kalliiksi, jos pelkästään niiden avaaminen kestää kymmeniä minuutteja tai jopa tunteja. Ongelmaan on löydettävissä yksinkertaisia ratkaisuja, jotka ainakin vähentävät hukkaa, mutta usein nämä toimenpiteet jäävät kiireessä suorittamatta. Hyviä käytäntöjä hidastavien tekijöiden minimointiin:

- **3D-mallin avaaminen vain tarvittavalla tarkkuudella.** Taulukossa 4 on esitelty HYBEX-kattilan PPA-mallin (*Pressure parts assembly*) avautumisaikoja eri moodeissa. Ajat ovat tietenkin riippuvaisia tietokoneen tehosta, ja vaihtelevat paljon riippuen mallista sekä siitä kuinka kuormitettuna kone on muilla tehtävillä. Aikojen prosentuaalisista eroista kuitenkin voidaan päätellä, mikä ero on hitaimman ja nopeimman vaihtoehdon välillä.

Taulukko 4. Mallin avaustarkkuus.

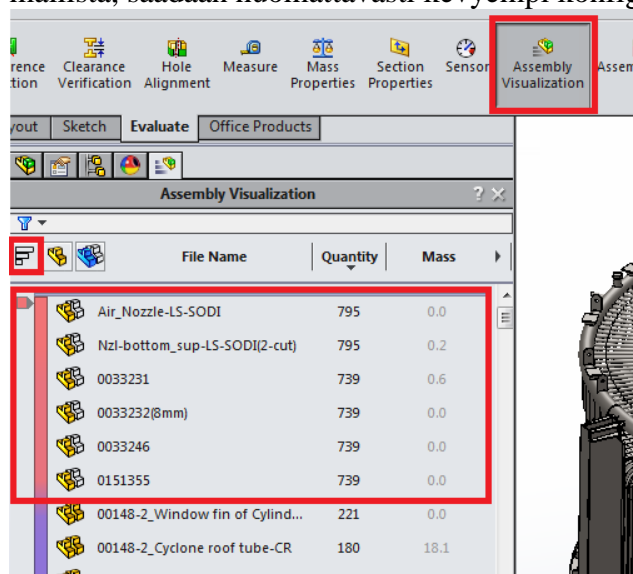
Moodi	Avautumis-aika	Ominaisuudet
Resolved	3 min 16 s (100%)	Tiedostot avautuvat kokonaan luetuina
Lightweight Höyhensymboli		Tiedostot aukeavat kevennettyinä
Large Assembly Mod Voit myös manuaalisesti aktivoida Large assembly moden Tools-valikosta Large Assembly Mode		Tiedostot aukeavat kevennettyinä mikäli kokoonpanon osien määrä ylittää annetun arvon. Tällöin SolidWorks yksinkertaistaa mallin grafiikkaa. Voit muuttaa tätä asetusta kohdasta Tools → Options → System options → Assemblies → Large assemblies
Large Design Review Merkkinä silmäsymboli mallin piirrepuussa	10-20s (5-10%)	Suurien kokoonpanojen kanssa voidaan käyttää hieman rajoitetumpaa mallin tarkastelua, jolloin mallin avaaminen on huomattavasti nopeampaa. Mallissa voidaan esimerkiksi käydä tarkastamassa mittoja tai otta- massa kuvia asiakkaalle. Mallista voidaan myös avata alikokoonpanoja tai vaihtaa resolved tai lightweight moodiin.

- Voit muuttaa asetukseksi niin, että komponentit ladataan aina kevennettyssä moodissa (engl. *lightweight*) valitsemalla Tools → Options → System options → Performance → Assemblies → Automatically load components lightweight.
- Mallin rakenteessa kannattaa suosia alikokoonpanoja, jolloin voidaan avata pienempiä kokonaisuuksia muokkaukseen. Esimerkiksi CYMIC-kattilan rakenteessa tehdään PPA-mallin alle alikokoonpano, joka sisältää kokoonpanot syklonista, tulokanavasta, adapteriosasta, pudotustorvesta, hiekkalukosta ja palautuskanavasta.
- Vähennä mallin näyttävyyttä poistamalla käytöstä *RealView Graphics*, varjostukset ja perspektiivi (kuva 24).



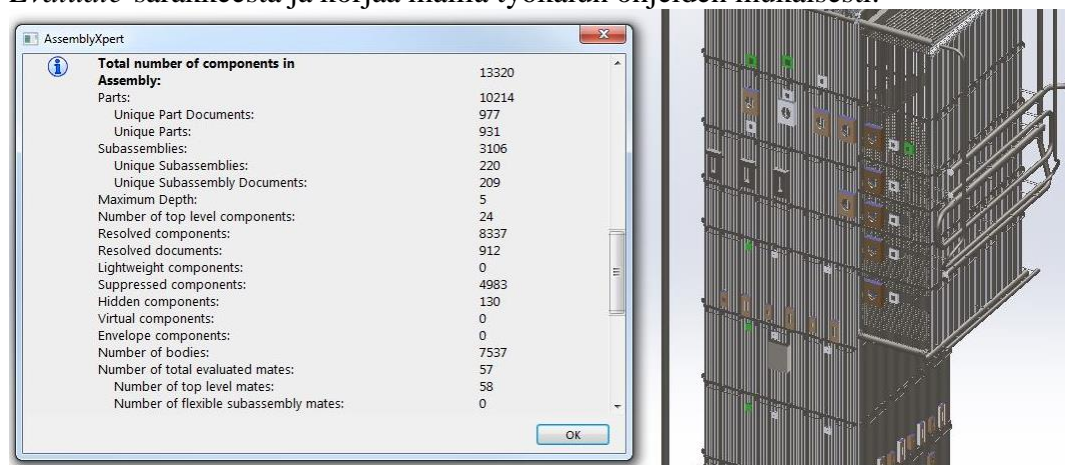
Kuva 24. Grafiikan määrittäminen.

- Suurista kokoonpanoista voidaan luoda *Simplify*-konfiguraatio, jossa on mitoitukseen tarvittavat osat ja josta selviää rakenne, mutta joka on lataamisen nopeuttamisen vuoksi yksinkertaistettu alkuperäisestä. Tällöin on pidettävä huolta, että osaluettelosta on valittu konfiguraatio, joka sisältää kaikki osat. Huomaa, että konfiguraatiot kasvattavat tiedostokokoa huomattavasti, joten konfiguraatioiden määrä on hyvä pitää niin pienenä kuin mahdollista.
- Käytä *patternointia* eli osien tai kokoonpanojen monistamista mieluummin kuin osan uudelleen käyttöä. Huomaa eri patternointivaihtoehdot linear, circular, sketch-driven, curve-driven pattern.
- Käytä *isolate*-toimintoa mallin käsittelyn helpottamiseksi.
- Syitä mallin hitauteen voi arvioida Assembly Visualization -työkalun avulla (kuva 25). Esimerkiksi alla olevan kuvan listasta voidaan tehdä johtopäätös, että tekemällä konfiguraatio, jossa kuusi useimmin toistuvaa osaa suppressoidaan mallista, saadaan huomattavasti kevyempi konfiguraatio.



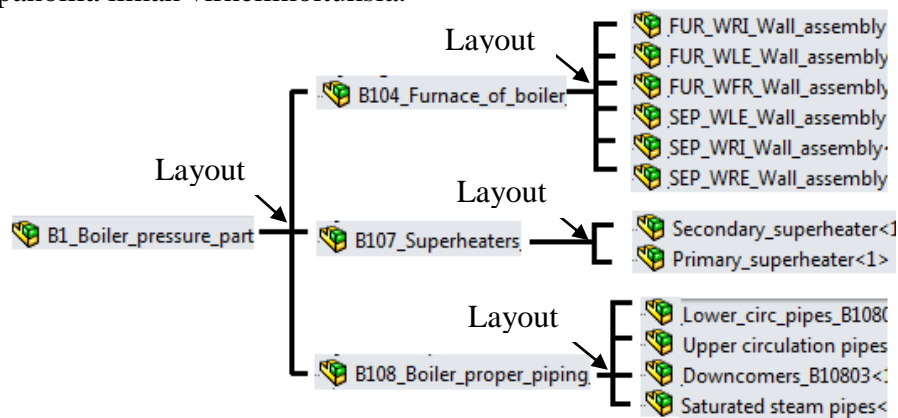
Kuva 25. Assembly Visualization -työkalu

- Tarkasta mallisi säännöllisesti AssemblyXpert -työkalulla (kuva 26), joka löytyy *Evaluate*-sarakeesta ja korjaa mallia työkalun ohjeiden mukaisesti.



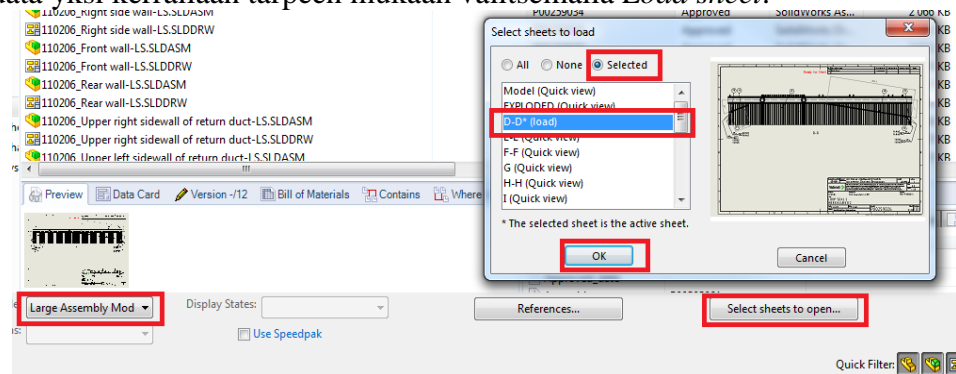
Kuva 26. AssemblyXpert-työkalu.

- Osien relaatiot (*engl. mate*) SolidWorksissä on hyvä tehdä niin, että vältetään ketjuttamista ja ulkoisia referenssejä. Mieluiten relaatio tehdään mahdollisimman yksinkertaisesti omaan kokoonpanoonsa ja pidetään mielessä, että relaatiot ovat selkeitä. Paras tapa on luoda layout, josta ohjataan tärkeimpiä mittoja ja luoda relaatio layoutin ja kokoonpanon välille (kuva 27). Esimerkiksi kaksi samalla tasolla olevaa kokoonpanoa kannattaa liittää toisiinsa yhdistäen ne samaan layouttiin sen sijaan, että kytkisi eri kokoonpanoja tai niiden osia yhteen. On tärkeää, että osat eivät pääse liikkumaan, jolloin ohjelman ei tarvitse käsitellä jokaista mahdollista vapausastetta mahdollisena muuttuvana tekijänä. Relaatiota ei kannata tehdä myöskään monistettuun eikä vapaasti liikkuvaan osaan. On myös suositeltavaa tehdä mallit siten, että origot on mahdollista yhdistää layoutiin *Coincident* komenolla ja valitsemalla käskyn *Align axes*, joka yhdistää saman nimiset akselit samansuuntaisiksi. Tällöin relaatioita on vähemmän ja ne ovat käyttäjälle nopeita luoda. Tällä pyritään myös siihen, että kokoonpanot ovat korvattavissa toisilla kokoonpanoilla ilman virheilmoituksia.



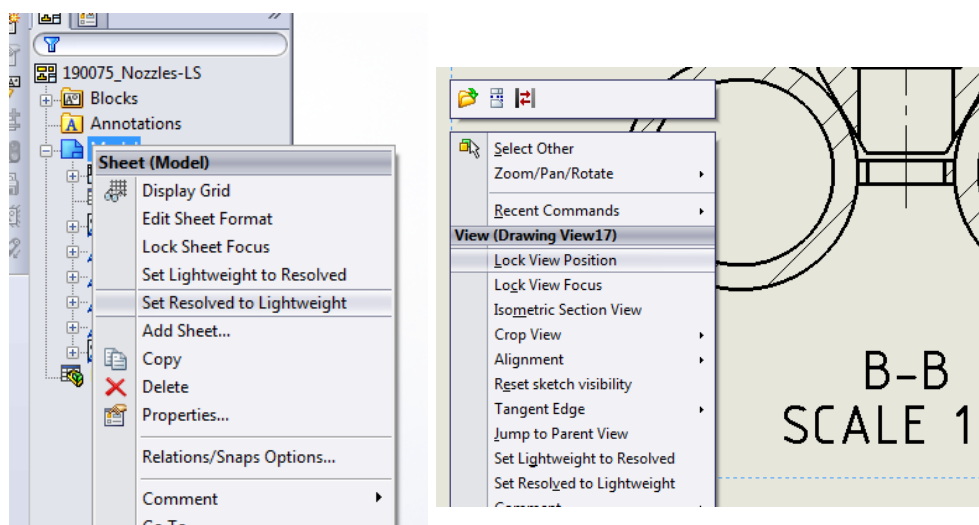
Kuva 27. Mustat viivat kuvaavat osien relaatioita.

- Mikäli malli on raskas, niin silloin on myös piirustus. Jotta piirustukset olisivat kevyempiä käyttää, olisi hyvä olla käyttämättä *Crop View* sekä *Broken-out Section* työkaluja. Niiden käyttäminen ei ole väärin, mutta kannattaa miettiä onko niiden käytölle vaihtoehtoja, koska ne hidastavat piirustusta.
- *Select sheets to open*: Suuret piirustukset, jotka sisältävät useamman arkin, voidaan avata valitsemalla haluttu arkki *Select sheets to open*-toiminnolla (kuva 28). Loput arkit aukeavat *Quick view* eli esikatselutilassa. Tämän jälkeen arkit voidaan ladata yksi kerrallaan tarpeen mukaan valitsemalla *Load sheet*.



Kuva 28. *Select sheets to open* -toiminnon käyttö.

- Mikäli piirustus käy raskaaksi, voidaan harkita raskaiden detaljien muuttamista *block*-muotoon, jolloin ne eivät enää hae tietojaan mallista. Tämä on kannattavinta detaljeissa, jotka eivät luultavasti enää muutu. Tämä tehdään valitsemalla haluttu kuvanto hiiren oikealla näppäimellä ja valitsemalla *Convert view to sketch* ja sen alta valinta *Replace view with block*.
- Yhtenä vaihtoehtona nopeuttamisessa voidaan käyttää SpeedPak-toimintoa, mikäli se sopii tilanteeseen käytettäväksi. SpeedPak-toimintoa käytettäessä piirustuksista valitaan osat, joihin aiotaan mitoittaa. Muut osat jäävät haamuosiksi, joihin ei voida mitoittaa.
- Piirustuksissa hyväksi käytännöksi on myös osoittautunut piirustuksen keventäminen valinnalla *Set Resolved to Lightweight* sekä kuvantojen lukitseminen paikalleen käskyllä *Lock View Position* (kuva 29).



Kuva 29. Set resolved to lightweight ja lock view position.

5.1.2 CASE 2: Kammioautomaatti (O7)

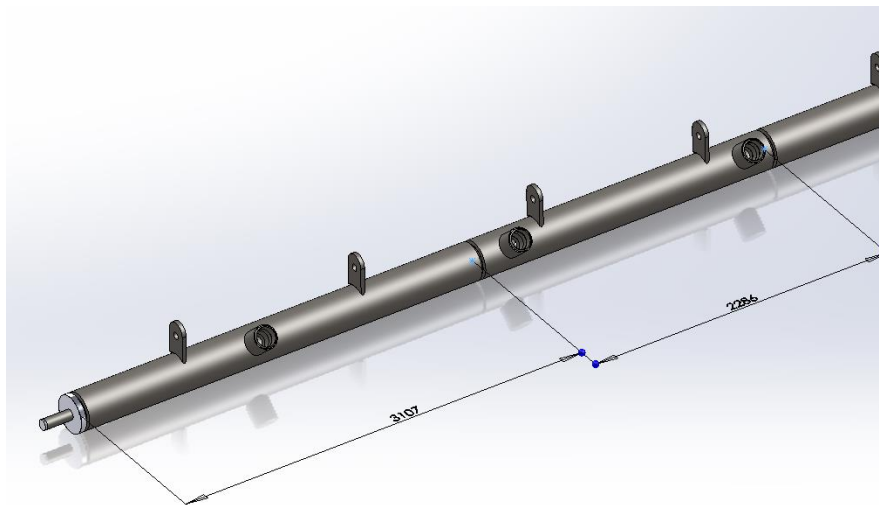
Kammiot ovat kattilaprojekteissa usein toistuva mallinnuskohde, ja siksi niiden mallinnusta ja piirustusten tekoa on hyvä tehostaa. Tämän vuoksi kehitettiin puoliautomaattinen kammiomalli, jota muokkaamalla saadaan luotua suhteellisen helposti tilanteeseen sopiva malli kammioista.

Automaatin kehittämisessä käytettiin pohjana standardiin perustuvia koneistusmittoja, jotka ovat laskettavissa kaikille yleisille halkaisija- ja seinämäkombinaatioille. Tämän pohjalta luotiin kammioputken malliin automaatiikka, joka antaa annetuilla lähtötiedoilla oikeanlaisen kammion määrittelyyn vaaditut koneistusarvot. Muokkaus tapahtuu kammiomallin (*part*) sisältä löytyvästä *Design table* –taulukosta (kuva 30).

Muokattavat / Modify only these			
7	END1		END2
8	EN		EN
9	ϕDo	273,0	
10	t	30,0	
11	e1	30,0	Connecting pipe wall t
12	ϕDi	216,0	
13	e	28,5	
14	L	90	
15	n	10	
16	Header joint	U	U=unsup, S=supp
17	Circ pipe joint	S	U=unsup, S=supp
18	Tube joint A	S	U=unsup, S=supp
19	Tube joint B	S	U=unsup, S=supp
20	End plate	No	Matters if e1>10, e<=15
21	Saddle end	No	Conn pipe size (equal or larger) 273
22			Saddle end No Conn pipe size (equal or larger) 323,9

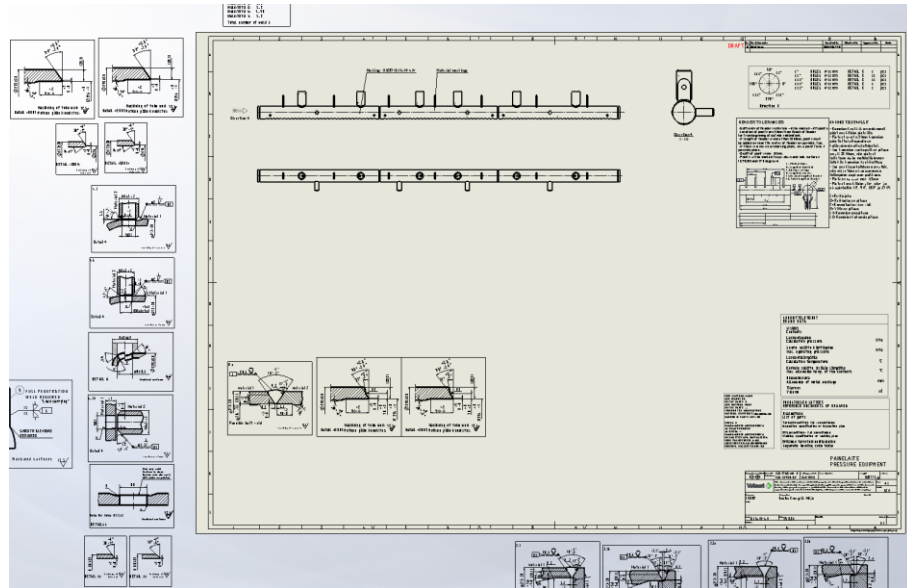
Kuva 30. Kammioautomaatin määrittelyikkuna.

Kammion kokoonpanomalliin (kuva 31) valitaan yhteyden ja kannatuskorvien paikat. Kokoonpanon muokkaus tapahtuu layoutin kautta, jolloin käymällä layoutissa olevan listan läpi saadaan kammio muokattua lähes valmiiksi. Tämän jälkeen tarvitsee enää aktivoida tai de-aktivoida tarvittavat ja tarpeettomat piirteet.



Kuva 31. Kammioautomaatilla ajettu kammiomalli.

Malli toimii yhteydessä piirustukseen (kuva 32) ja muuttaa piirustuksen tiedot pienellä muokkauksella oikeanlaiseksi. Helpointa on valita suunnilleen vastaava kammio jostain projektista, jossa on käytetty kammioautomaattia, jolloin muokkaaminen on vähäisempää ja automaatti toimii varmemmin. Jotta kammioautomaatin käyttö onnistuisi muiltakin kuin sen tekijältä, tehtiin myös ohjeistus automaatin käytöstä. Pikakäyttöopas löytyy myös kokoonpanomallin kommentteissa nimellä ”How to use”.



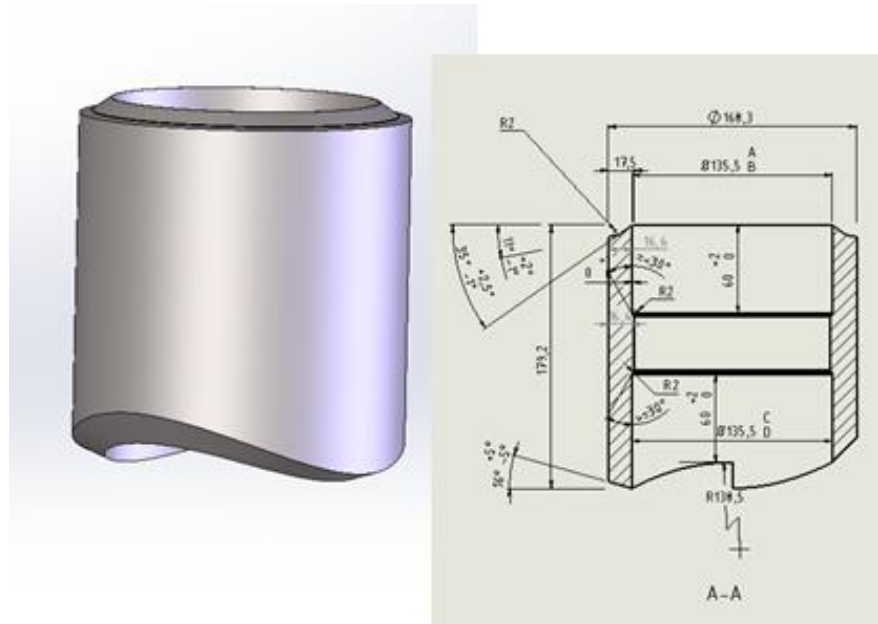
Kuva 32. Kammioautomaatin piirustuksesta poistetaan ylimääräiset kuvannot.

5.1.3 CASE 3: Yhdeautomaatti (O20)

Kammioissa on yleensä yhteitä, joiden kautta vesi tai höyry johdetaan kammioon tai sieltä ulos. Tavallisesti projekteissa pyritään käyttämään yrityksen vakioyhteitä, mutta usein mallinnuksessa tulee tarve vakiomalleista poikkeaville yhteille. Kammioautomaatin rakenteen pohjalta tehtiin Excel-pohjainen yhdeautomaatti (kuva 33), joka määrittelee *Design table* –taulukkoon syötettyjen alkuarvojen perusteella yhteen mallin. Automaatti päivittää myös piirustuksen niin, ettei sille tarvitse tehdä juurikaan korjauksia (kuva 34). Automaatilla saadaan yhteisiin niin standardin mukaiset sisäkoneistusmitat, kuin myös siitä poikkeavat mitat.

ϕD	273,0	Header size
ϕD_o	139,7	Nozzle size
t	17,5	Nozzle wall Thickness
L	350,0	Nozzle length from middle
Connecting pipe equal to nozzle size?	Yes	20
D_i	107,5	Calibration size
e	16,1	Calibrated wall thickness
Standard calibration length (UPPER)?	Yes	20
CaL	60,0	Calibration length
n	10,0	
Inner calibration on header end (LOWER)?	Standard	120
D_{iL}	107,5	Hole to header
e_L	16,1	Calibrated wall thickness
Standard calibration length (LOWER)?	Yes	20
CaL	60,0	Calibration length to header

Kuva 33. Yhdeautomaatin määrittelyikkuna.

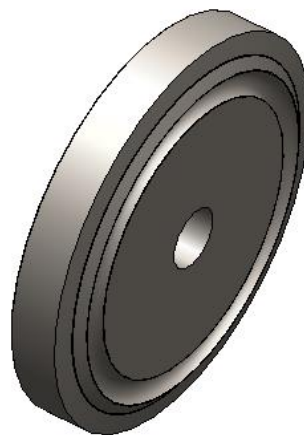


Kuva 34. Yhdeautomaatilla tehty malli ja piirustus.

5.1.4 CASE 4: Levypäätyautomaatti (O20)

Kammioiden päädyissä on tyypillisesti levypäädät. Eniten käytetyistä päädyistä on tehty standardimallit ja -kuvat, mutta kaikkien vaihtoehtojen standardointi olisi turhaa. Tästä syystä myös levypäädystä tehtiin automaatti, joka kysyy halutun paksuuden, halkaisijan, kammion seinämän, päädyn tyypin sekä tiedot tarkastusreiästä, mikäli semmoinen on. Tämän jälkeen automaatti päivittää mallin ja piirustuksen halutun mukaiseksi. Määrittely tapahtuu tässäkin tapauksessa *Design table* –taulukossa (kuva 35). Piirustus saattaa vaatia pieniä korjauksia esimerkiksi koneistusmerkintöihin, mutta muuten automaatti toimii hyvin.

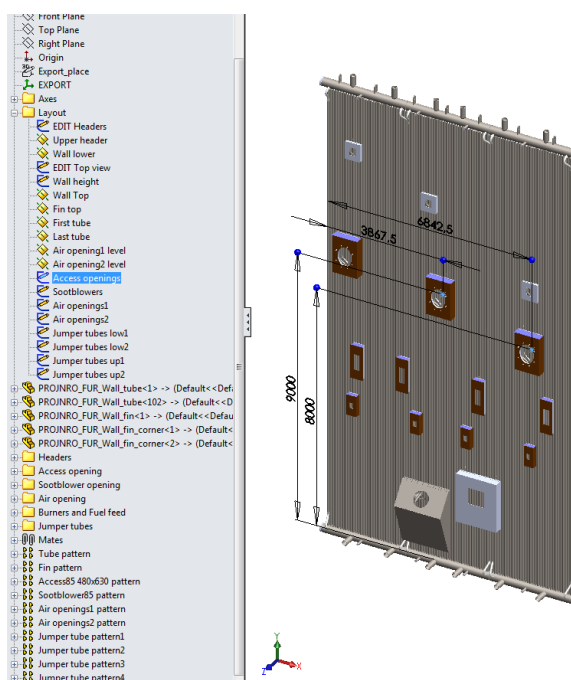
END PLATE			
EN			
Thickness	50	mm	
øDo	323,9	Header size	
t	30,0	Wall thickness of header (t > 1	
Type	Groove		
Hole	Yes	Hole size	50 mm
Joint angles	35	11	
øDi	268,0	Calibrated inner diameter of h	
e	28,0	Header e	
n	10	Header n	
PLUG END			
øDi end	267,0	Plug diameter	
GROOVE END			
Groove R	10,0		



Kuva 35. Levypäätyautomaatin määrittelyikkuna ja valmis malli.

5.1.5 CASE 5: Seinäautomaatti

Myös seinistä tehtiin koekäyttöön layout-pohjainen automaatti (kuva 36). Seinässä käytetään kammioautomaatilla tehtyjä kammioita ja standardiosia kuten kotelointia ja putkiaukkoja. Kyseinen seinäautomaatti sopii parhaiten pienempien seinien esimerkiksi BFB-kattilan tulipesän ja 2-vedon seinien valmistukseen, mutta useampiloikkoisille seinille sen käyttö on haasteellisempaa. Se toimii irrallisena yksikkönä ja on suhteellisen helppo liittää ulkoiseen layoutiin, joten se voidaan tuoda helposti paikalleen projektista riippumatta. Varsinkin jos projekti poikkeaa standardista paljon, on tällaisten irrallisten automaattien käyttö kannattavaa, koska sen jälkeen, kun yksi seinä on muokattu kuntoon, se voidaan kopioida käytettäväksi pienellä muokkauksella myös muissa seinissä.

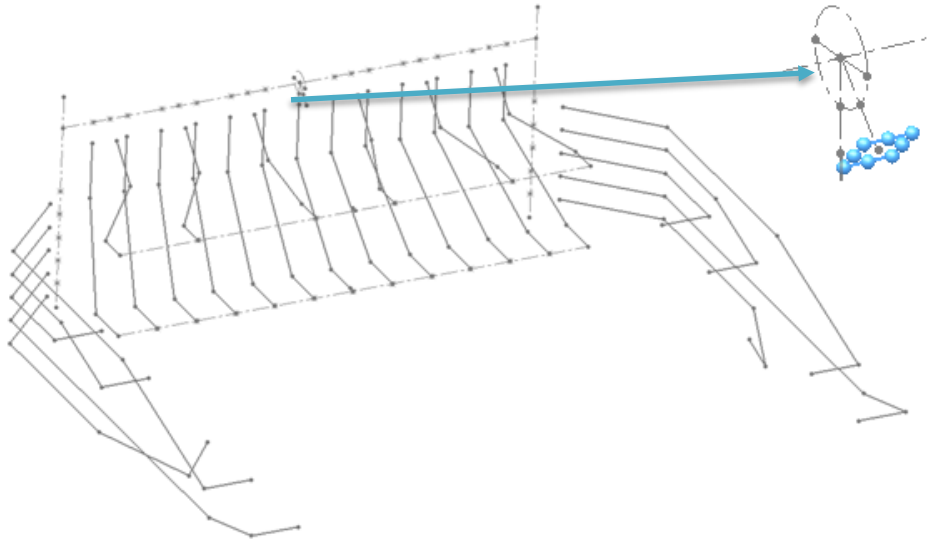


Kuva 36. Seinäautomaatin määrittelyikkuna ja valmis malli.

5.1.6 CASE 6: Putkien mallintaminen Routing-työkalulla

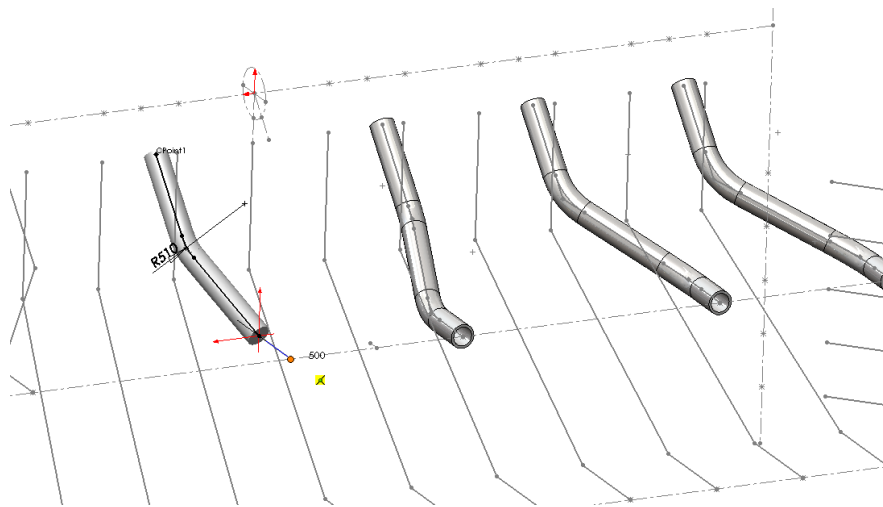
Kiertoputket tai muut vastaavat putkiryhmät, joissa on paljon erilaisia putkireittejä ja joita ei voida standardoida projektien erilaisuudesta johtuen, voidaan tehdä käyttämällä routing-työkalua. Normaalisti tällaiset putket tehdään SolidWorksissä *Sweep*-työkalulla, mutta se on hieman altis virheille, mikäli putken reititystä joudutaan muuttamaan. *Routing*-työkalu on tarkoitettu putkien tai kaapeleiden mallintamiseen ja on melko käyttökelpoinen työkalu erityisesti jos putken reitti muuttuu tai jos siihen tulee saumoja. Valmetin *Routing*-kirjastosta löytyvät putkien standardikoot ja standardiosat kuten T-haarat, käyrät, laipat ja muut yleisesti käytössä olevat komponentit. Tämä tekee kyseisestä työkalusta erittäin hyödyllisen laajemmassa putkistosuunnittelutyössä.

Mallinnus voidaan aloittaa tekemällä yksinkertainen layout, joka helpottaa putkien reititystä. Yksi tapa on luoda kokoonpanoon osa, johon piirtää viivat alkupisteestä päätepisteeseen (kuva 37). Putkia luodaan yleensä 3D-sketcheillä, jolloin koordinaatiston XYZ-tasojä vaihdellaan TAB- tai A-näppäimillä. Viivoja ei välttämättä tarvita, sillä routing-työkalu tarvitsee vain aloituspisteen ja tason, joka on kulkusuuntaan kohtisuorassa, sekä nurkkapisteet. Viivat helpottavat putkien tuomista loppupisteeseensä oikeassa kulmassa.



Kuva 37. Putkien skitsaus.

Piirtämällä viivoja nurkkapisteestä toiseen, SolidWorks mallintaa viivojen mukaan putken ja viivojen väliin valitulla taivutusarvolla mutkan. Mikäli putkiin tulee jatkosauma, valitaan *Split route* ja merkitään jatkosauman paikka pisteellä. Tällöin kokoonpanon alle tulee kaksi osaa. Kuvassa 38 on meneillään putken pursotus.



Kuva 38. Putkien pursotus routing-työkalulla.

5.1.7 CASE 7: Piirustusohjat (O2)

Yhtenä ongelmana on käyttäjäkyselyssä mainittu se, että projektit ovat usein samankaltaisia ja sitä hyödynnetään liian vähän. Mallinnuksessa on jo melko paljon käytetty automaatteja ja hyödynnetty kopiointitoimintoja, mutta jos suunnittelija haluaa tehdä malliin uudenlaisen osan puhtaalta pöydältä ja tehdä tästä piirustuksen, voidaan toimintoa nopeuttaa tekemällä valmiita piirustusohjaita, mistä löytyy tarvittavat, usein käytetyt detaljit. Valmiit piirustusohjat myös parantavat laatua, koska niitä käyttäessä tarvittavia detaljeja ja blokkeja ei pääse unohtumaan.

Piirustusohjaita luotiin joillekin usein toistuville komponenteille, joita ovat painerunkosuunnittelun tapauksessa esimerkiksi seinät, paneelit, heittoputket, kamparaudat ja tiivistyslevyt. Ne tallennettiin template-muotoon (*.drwdot), jolloin ne toimivat arkkipohjien tavoin.

5.1.8 CASE 8: Piirustukseton valmistus

Sen lisäksi, että tutkitaan mitä voitaisiin tehdä paremmin, voidaan miettiä mitkä asiat ovat prosessille tarpeellisia ja mitkä toiminnot turhia. Yksinkertaisimmillaan tällaista prosessia voisi demonstroida tavallisella kokoonpanoprosessilla, missä komponentti haetaan kokoonpanolinjalle usean metrin päästä, asetetaan komponentti linjalle, haetaan pultit toisesta paikasta, haetaan työkalut, kiristetään pultit jne. Näistä lisäarvoa tuottavana työnä voidaan pitää komponentin asettamista linjalle ja pulttien kiristämistä. Samanlaista ajatustyötä voidaan tehdä suunnittelun parantamisessa ja tehostamisessa. Voidaan miettiä mitkä työvaiheet ovat prosessille todella tarpeellisia, mitä voidaan jättää tekemättä ja mitkä voitaisiin tehdä yksinkertaisemmin.

Useimmissa prosessissa on melko vähän lisäarvoa tuottavia vaiheita, joten näiden vaiheiden nopeuttaminen ei välttämättä tee kokonaisprosessista juurikaan tehokkaampaa. Toisin on jos prosessista onnistutaan poistamaan huomattavia lisäarvoa tuottamattomia hukkavaiheita. Kuvassa 39 on esimerkki työvaiheista suunnittelusta valmistukseen käyttämällä alihankintana tehtävää kuvien valmistusta, mikä on melko yleistä kohdeyrityksen tapauksessa. Lisäarvoa tuottava työ on merkitty harmaalla.

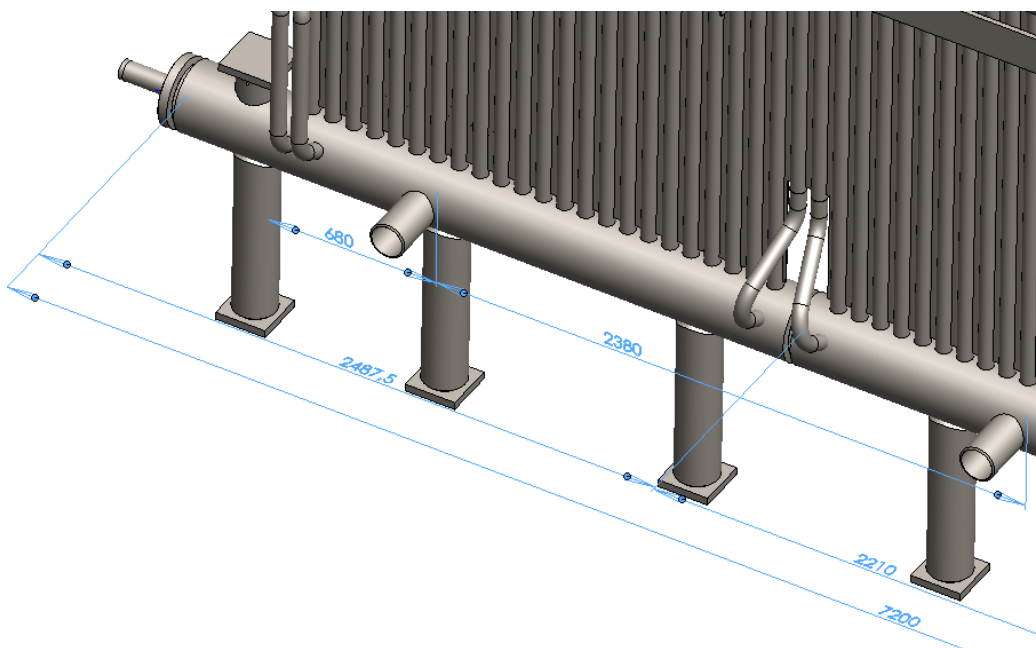
Suunnittelu	Mallinnus	Kuvien tekeminen	Kuvien lähetys	Kuvien vastaanotto	Kuvien tarkastus	Virheiden korjaus	Kuvien lähetys	Kuvien vastaanotto	Korjausten tarkastus	Kuvien hyväksyntä	Kuvien arkistointi	Dokumentit valmistukseen	Mahdollinen revisiointikierros
-------------	-----------	------------------	----------------	--------------------	------------------	-------------------	----------------	--------------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------------

Kuva 39. Tyypillisiä työvaiheita suunnittelusta valmistukseen.

Yksi keino tavanomaisessa Lean-valmistuksessa on tehostaa työntekoa yhdistämällä lisäarvoa tuottavat prosessit samaan soluun. Tapauksessa, jossa osa töistä suoritetaan eri maassa, täytyy soluja muodostaa useampi. Menetelmän tulos on helpoiten nähtävissä valmistusprosessissa, mutta myös suunnitteluprosessissa on löydettävissä paljon lisäarvoa

tuottamattomia vaiheita, joista on mahdollista päästä eroon paremmalla työjärjestyksen suunnittelulla ja turhien vaiheiden karsimisella.

Tehokkaimmillaan suunnitteluprosessi on silloin, kun erillisiä piirustuksia ei tarvitse tuottaa (kuva 40). Silloin säästytään myös kuvien valmistamiselta ja kaikelta sen oheistoinninalta. Raskaassa konepajateollisuudessa piirustuksetonta valmistusta on vielä tois- taiseksi melko vähän, vaikka valmistuspiirustuksista on jo monessa yrityksessä luovuttu, korvaamalla ne mallin tarkasteluun tarkoitetuilla kannettavilla älylaitteilla tai suurilla näytöillä. SolidWorksillä on tähän tarkoitettu työkalu MBD (*engl. Model-based definition*) eli mallipohjainen määrittely.



Kuva 40. SolidWorksin piirustukseton käyttö.

5.2 Laadun rakentaminen työpaikan järjestelmiin

Alla esitellyt ongelmat liittyvät puutteellisiin toimintatapoihin ja käytäntöihin tiedonsiirrossa tai kommunikaatiossa. Usein näissä tapauksissa ohjeistus on puutteellista tai sitä ei ole, joten jokainen kehittää oman tapansa toimia.

5.2.1 CASE 9: SW-Pulse -palaverit (O18)

Pulse-palaveri on menetelmä, jossa työntekijät, tiiminvetäjät ja johtajat kohtaavat ja seuraavat työn tai toiminnan edistymistä. SW-Pulse -palaveri otettiin käyttöön ratkaisuna ongelmien suureen määrään ja tiedon jakamisen parantamiseen. Tämän menetelmän avulla ongelmia voidaan jakaa tehokkaasti ratkottavaksi koko tiimille siten, ettei ongelmien ratkaisusta syntyisi kehityksen pullonkaulaa. Yhteisen työlistan avulla jokainen voi ottaa listasta ratkaistavakseen haluamansa ongelman. Palaverin tarkoituksena on parantaa

tiedonjakoa ja yhteistyötä eri osastojen SolidWorks-käyttäjien kesken. Jotta palaveri ei vähentäisi työtehoa, se päätettiin pitää noin 15–30 minuutin pituisena.

Pulse-palavereissa jaetaan tietoa uusista kehityskohteista, jotta kaikki käyttäjät olisivat tietoisia siitä, minkälaista osaamista ja minkälaisia työkaluja yrityksen sisällä on kehitteillä. Tällöin vältetään tekemästä samaa työtä useaan kertaan ja saadaan paremmin infoa keneltä kannattaa kysyä neuvoa.

Palaverin runkona toimii pilveen tallennettu Excel-tiedosto, jota kaikki käyttäjät saavat käydä päivittämässä kehittämisen edetessä. Lista voi käydä kirjoittamassa omia kehitysideoitaan, ja kehityskohteesta vastaava henkilö voi kirjata tietoja aikataulusta ja kehityksen kulusta. Näin lista pysyy ajan tasalla ja on helposti löydettävissä yrityksen sisäisessä verkossa. Tällainen toimintamalli helpottaa vastuunjakoa koko työryhmälle, jolloin kaikki ottavat vastuuta kehitystehtävistä. Näin toimimalla työntekijät, joilla on syystä tai toisesta ylimääräistä aikaa, voivat hyödyntää ajan muita käyttäjiä auttaakseen. Myös tässä työssä ratkaisematta jääneitä ongelmia merkittiin kyseiseen työlistaan.

Informaation jakamisen helpottamiseksi otettiin käyttöön videoleikkeet uusien ideoiden jakamisessa. Kun käyttäjät keksivät uuden tavan tehdä asioita tai luovat jonkin mallinusta helpottavan apumallin, he voivat ottaa tästä videoleikkeen käyttämällä *Snagit* ohjelmaa tai SolidWorksin sisään rakennettua *Recording video*-työkalua, joka on ominaisuuksiltaan hieman huonommin opetukseen soveltuva. Videoiden linkit löytyvät kyseisestä kehityslistasta.

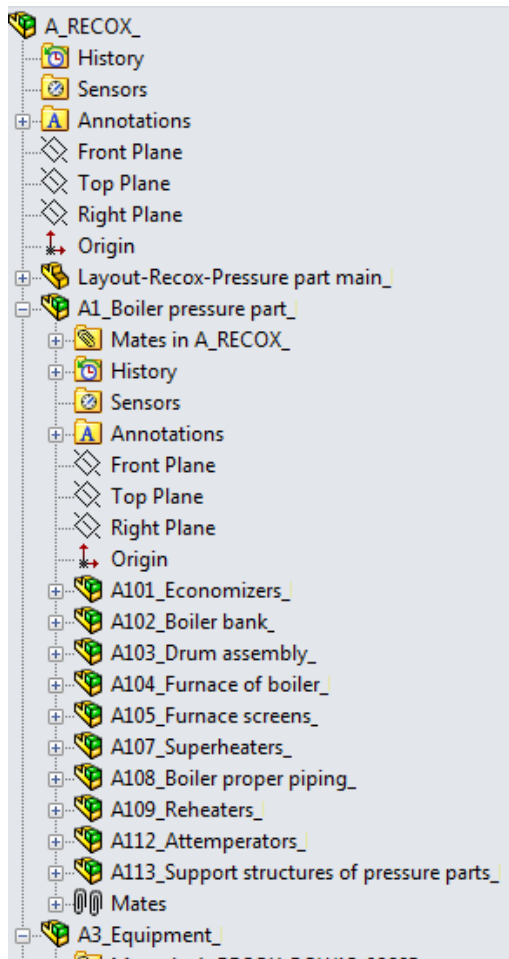
Pulse-palavereiden tiukan aikataulun vuoksi on palaverilla hyvä olla jonkinlainen agenda. SW-Pulsea kehitettiin järjestämällä kysely kävijöille, jonka perusteella palaverin kulkua kehitettiin. Tästä lisää tuloksissa kohdassa 6.1.

5.2.2 CASE 10: Mallinnuskäytännöt (O18)

Uusista mallinnuskäytännöistä järjestettiin osaston SolidWorks-käyttäjien kesken useampi palaveri, jossa suunniteltiin ja päätettiin yhteisiä mallinnussääntöjä ja käytäntöjä, jotta mallit olisivat yhdenmukaisempia ja mahdollisimman hyvin tarkoitukseen sopivia. Yhdenmukaistamisen tarve syntyi mallien erilaisuudesta ja niiden tutustumiseen kuluva ajasta. Mallihierarkian ollessa aina samanlainen käyttäjän on nopeampi omaksua vieras malli ja jatkaa työn tekoa siitä, mihin toinen on jäänyt.

Mallinnuskäytäntöjä haluttiin myös parantaa johtuen raskaista kokoonpanomalleista. Tähän ratkaisuna päätettiin vähentää riippuvuussuhteita mallin eri komponenttien kesken, jottei malli vaatisi niin paljon prosessitehoa. Lisäksi mallista saadaan modulaarisempi kun komponentteja pystytään vaihtelevaan malliin ilman virheilmoituksia, jotka ovat tyypillisiä ongelmia korvattaessa mallin osia toisilla.

Mallirakenteessa päätettiin seurata WBS-rakennetta (*Work Breakdown Structure*), joka on kohdeyrityksen dokumentoinnissa pitkään käytössä ollut projektinositusrakenne. Kyseisessä rakenteessa käytetään etuliitteitä A=Recox, B=Hybex ja C=Cymic. Etuliitteen jälkeen tulee numero, joka määrää mikä kohde on kysessä. Tavallisesti kohteet rajoittuvat kattilamallinnuksessa kattilan paineosiin (1 *Boiler pressure part*), laitteisiin (3 *Equipment*), levyrakenteisiin ja kanaviin (5 *Platwork and duct*) ja rakennuksen osiin (6 *Building*). Tästä rakenne jakautuu pienempiin osiin, kuten 101 Ekonomaiserit, 102 Keittopinta, 103 Lieriö, 104 Tulipesä, 105 Verhoputket, 107 Tulistimet, 108 Kattilan sisäisen kierron putket, 109 Välitulistimet, 110 Syklonit ja hiekkalukot, 111 Takaveto, 112 Ruisikut ja 113 Kattilan tukirakenteet. Lisäksi tämän jälkeen kohteesta riippuen tulee esimerkiksi syklonin järjestysnumero, mikäli niitä on useampi. Näin ollen esimerkiksi 2-syklonisen kattilan toisen syklonin WBS-numero on C11012. Tämän jälkeen joissain osissa rakennetta on vielä täsmennetty, esimerkiksi kyseisen syklonin sylinteriosuus on C11012-10. Kuva 41 esittää tällaisen mallihierarkian.



Kuva 41. Mallihierarkia.

WBS-rakenteen mukainen malli helpottaa mallintajaa myös siinä, että välikokoonpanojen avulla voidaan avata hieman pienempiä kokoonpanoja, jollei ole tarvetta saada koko painerunkoalueen mallia auki. Mikäli haluaa esimerkiksi tarkkailla kaikkia tulistimia, mutta

ei tarvitse muuta rakennetta näkyviin, voi avata huomattavasti pienemmällä latausajalla A107_Superheaters -kokoonpanon.

Kokoonpanot pyritään pitämään toisistaan irrallisina, mutta ne sidotaan toisiinsa osakokoonpanon layoutin ja päälayoutin kautta. Layout toimii runkona, johon on koottu pisteet ja tasot joihin kokoonpanot viittaavat. Tartunnat näihin pisteisiin pyritään tekemään niin, etteivät ne aiheuta virheilmoituksia, mikäli niiden sijaintia tai kulmaa halutaan muuttaa.

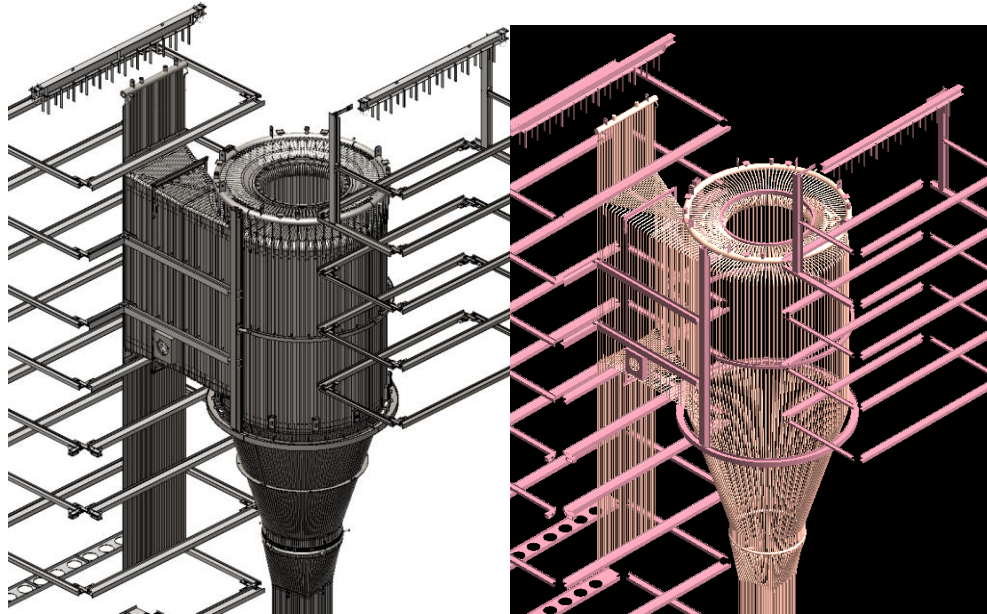
PDMS-kääntöön tarvittava EXPORT-koordinaatisto toimii mallissa PDMS-kääntöä varten, mutta sen avulla voidaan myös sitoa kokoonpanojen origot ja akselit yhteiseen pisteeseen. Näin toimittuna kokoonpanojen oma origo voidaan pitää kokoonpanolle luontaisessa paikassa, esimerkiksi syklonilla keskellä syklonin pohjassa, mutta EXPORT-koordinaatisto voidaan sijoittaa PDMS-mallin SITE-origoon. Näin mallin sisäiset riippuvuussuhteet voidaan sitoa omaan origoon ja ulkoiset EXPORT-koordinaatistoon. Tämä myös helpottaa piirustusten tekoa, kun origo ei ole jokin kaukainen piste vaan sijaitsee mallin sisällä. Vaihtoehtoisesti kokoonpanojen sidontapisteenä voidaan käyttää layoutin origoa.

5.2.3 CASE 11: PDMS–SolidWorks (O12)

PDMS on Valmetilla käytettävä laitosuunnitteluohjelma, joka on käyttöliittymältään kevyempi ja grafiikaltaan yksinkertaisempi kuin SolidWorks ja soveltuu sen vuoksi paremmin käytettäväksi suurien laitosmallien käsittelyyn kuin SolidWorks. Vakiintuneeksi käytännöksi Valmetilla on viime vuosina tullut näiden ohjelmien rinnakkaiskäyttö, jossa kattila-alueen mallinnus hoidetaan SolidWorksin avulla ja laitoksen muu osuus mallinnetaan PDMS:llä. Mallia päivitetään satunnaisin väliajoin PDMS:ään kääntötyökalun avulla, jotta PDMS malli pysyisi ajan tasalla. Ongelmana näiden kahden ohjelman yhteiskäytössä on muun muassa se, ettei päivitys tapahdu automaattisesti eikä PDMS:ssä olevaa kattilan mallia voida näin ollen pitää täysin luotettavana.

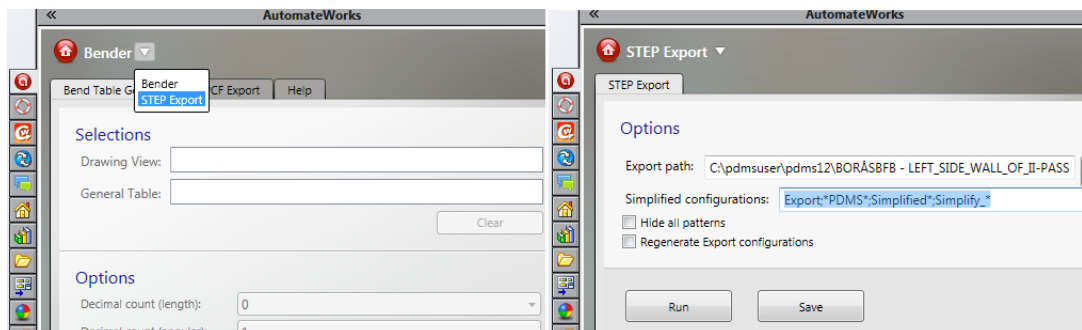
Mallin siirto on toteutettu kahdessa vaiheessa: toisessa vaiheessa muunnetaan putket AutomateWorks-työkalun avulla PCF-muotoon ja toisessa tuodaan loput osat STEP-muodossa. PCF-tiedostomuodosta on se etu, että siitä pystytään ajamaan taivutuskoodi ja se ei tee PDMS-mallista yhtä raskasta kuin STEP. SolidWorksissä luotu EXPORT-koordinaatisto auttaa kohdistamaan nämä kaksi eri tiedostomuotoa oikeaan pisteeseen PDMS-mallissa.

Uudessa ratkaisussa vähennetään käännettävää dataa vain tarpeellisiin (kuva 42). Levyosien määrää pyritään minimoimaan, koska niiden käännessä on käytettävä STEP-tiedostomuotoa, joka tekee PDMS:n raskaaksi käyttää. Tärkeitä käännettäviä levyosia voisivat olla esimerkiksi tukikehät ja nuohointen kotelot, joiden paikasta laitosuunnittelu saa tarvitsemansa tiedon. Putkia ei ole pakko karsia, koska PCF-muodossa ne eivät juurikaan vaikuta PDMS:n nopeuteen.



Kuva 42. Vasemmalla malli SolidWorksissä ja oikealla sama malli käännettynä PDMS:ään yksinkertaistettuna.

SolidWorksin ja PDMS:n välistä käyttöä helpottamaan saatiin yrityksen käyttöön uusi työkalu (kuva 43), jossa on yhdistetty saman valikon alle putkien kääntötyökalu *Bender* ja STEP-tiedostojen kääntötyökalu *STEP Export*. Periaate käännessä on sama kuin aiemmin eli kääntö tapahtuu kahdessa osassa, mutta työkalu nopeuttaa erityisesti STEP-tiedoston tallentamista. STEP Exportia voidaan käyttää joko komennolla *Run*, jolloin työkalu antaa valita mitä käännetään, tai vaihtoehtoisesti piilottamalla osat, joita ei haluta kääntää ja tallentamalla jäljelle jääneet komponentit komennolla *Save*. SolidWorks-malli on projektin alusta lähtien sidottu vastaavanlaiseen koordinaatistoon kuin PDMS:ssä ja luotu EXPORT-koordinaatisto, jonka STEP Export kääntötyökalu löytää automaattisesti ja kääntää mallin oikeaan asentoon ja paikkaan PDMS:n puolella. Mikäli SolidWorksissä on luotu yksinkertaistettu konfiguraatio, kääntötyökalu osaa etsiä ne konfiguraation nimen perusteella. STEP Export myös nimeää tiedoston automaattisesti, luo käyttäjän PDMS-kansioon alikansion ja tallentaa tiedoston sinne.



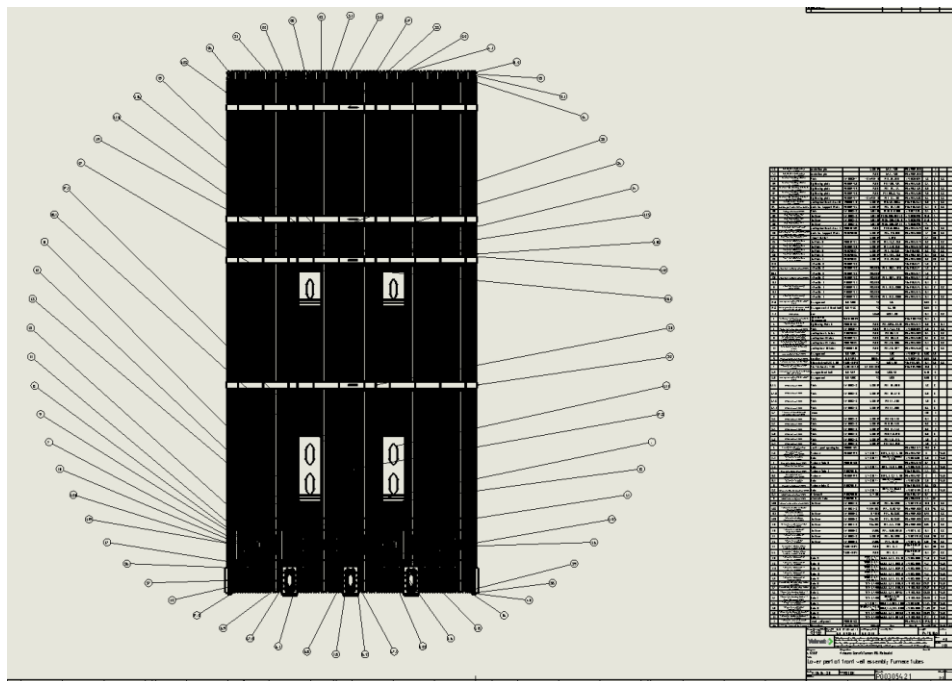
Kuva 43. SW/PDMS-kääntötyökalu.

5.2.4 CASE 12: Valmistuskysely (O22)

Valmistuskyselymateriaalin nopea kerääminen on tärkeää, jotta valmistus saataisiin mahdollisimman nopeasti käyntiin. Valmistuskyselyssä pajalle lähetetään tietoa tarvittavasta rakenteesta. Mikäli valmistaja ei käytä SolidWorksiä, malli lähetetään STEP-muodossa tai muussa tiedostomuodossa, jota valmistajan CAD-ohjelma osaa lukea.

SolidWorksin yksi ominaisuus on, että malleihin saadaan sisällytettyä runsaasti attribuuttitietoja, kuten osan materiaali, dimensiot, tunnistenumerot ja muita piirustukseen tarvittavia tietoja. STEP-tiedostojen kanssa ongelmallista on se, etteivät SolidWorksin sisältämät erilaiset attribuuttitiedot, kuten putken seinämänvahvuus tai materiaalitiedot, siirry mallin mukana. Usein malleihin syötetään turhan työn välttämiseksi pelkät materiaalitiedot, mikäli valmistus tapahtuu jossain muualla kuin omalla pajalla.

Jos valmistus tehdään alihankintana, tavallinen toimintatapa on ollut, että malli on lähetetty STEP-tiedostona ja muut tiedot esimerkiksi Excel-tiedostona. Uudessa ratkaisussa päädyttiin siihen, että luodaan piirustus, johon tuodaan mallin kuvannot sekä osaluettelo ja tehdään automaattinen osanumerointi (kuva 44). Tästä valmistaja saa tietoonsa materiaalit, osien aihiot ja vakio-osien piirustusnumerot. Tämän rinnalla lähetetään STEP-malli, josta valmistava paja voi katsoa tarkemman geometrian.



Kuva 44. STEP-tiedostojen liitteeksi annetaan piirustus, josta selviää mm. osien materiaalit.

6. TULOKSIEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa arvioidaan kehityksessä saavutettuja tuloksia ja tulevien kehityskohteiden vaikutuksia. Tavoitteena työn alussa oli tehdä kehityksestä itseohjautuvaa, koska tässä opinnäytetyössä kaikkia ongelmia ei pystytä ratkomaan ja lisää ratkaistavaa tulee aina.

6.1 SW-pulse

Viikoittaisessa pulse-palaverissa pidettiin lyhyitä video-esittelyitä kehitetyistä malleista ja toimintatavoista. Pulse-palaverien hyötynä on erityisesti niiden lyhyys, sillä pysyminen 15-30 minuutin aikataulussa ei jätä aikaa millekään turhalle, vaan asiat hoidetaan ytimekkäästi. Kun kehityskohteesta vastaava henkilö tekee aiheesta videon, voi aiheesta tietämätön käydä videolta tarkastamassa ohjeen aina uudelleen kunnes oppii asian. SolidWorks pulse-palaverien hyödyllisyyttä arvoitiin käyttäjäkyselyllä (kuva 45).

SW-pulse				
1. Onko SW-pulse lisännyt tietämystäsi kehityskohteista?				
1. Vähän	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Onko SW-pulse tuottanut mielestäsi tarpeellisia kehitysideoita?				
1. Vähän	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Oletko saanut SW-pulsessa käsitellyistä asioista uusia kehitysideoita?				
1. En lainkaan	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Onko SW-pulse lisännyt yhteistyötäsi oman toimiston kollegoiden kanssa?				
1. Ei lainkaan	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Onko SW-pulse parantanut yhteistyötä muiden yksiköiden SW-osaajien kanssa?				
1. Ei lainkaan	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Onko SW-pulse lisännyt tietoasi kollegoiden osaamistasosta?				
1. Vähän	2.	3.	4.	5. Paljon
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Onko 15 minuuttia mielestäsi hyvä pituus pulse-palaverille?

1. Liian lyhyt 2. 3. Hyvä 4. 5. Liian pitkä

8. Onko kerran viikossa mielestäsi hyvä tahti SW-pulselle?

1. Liian harvoin 2. 3. Hyvä 4. 5. Liian usein

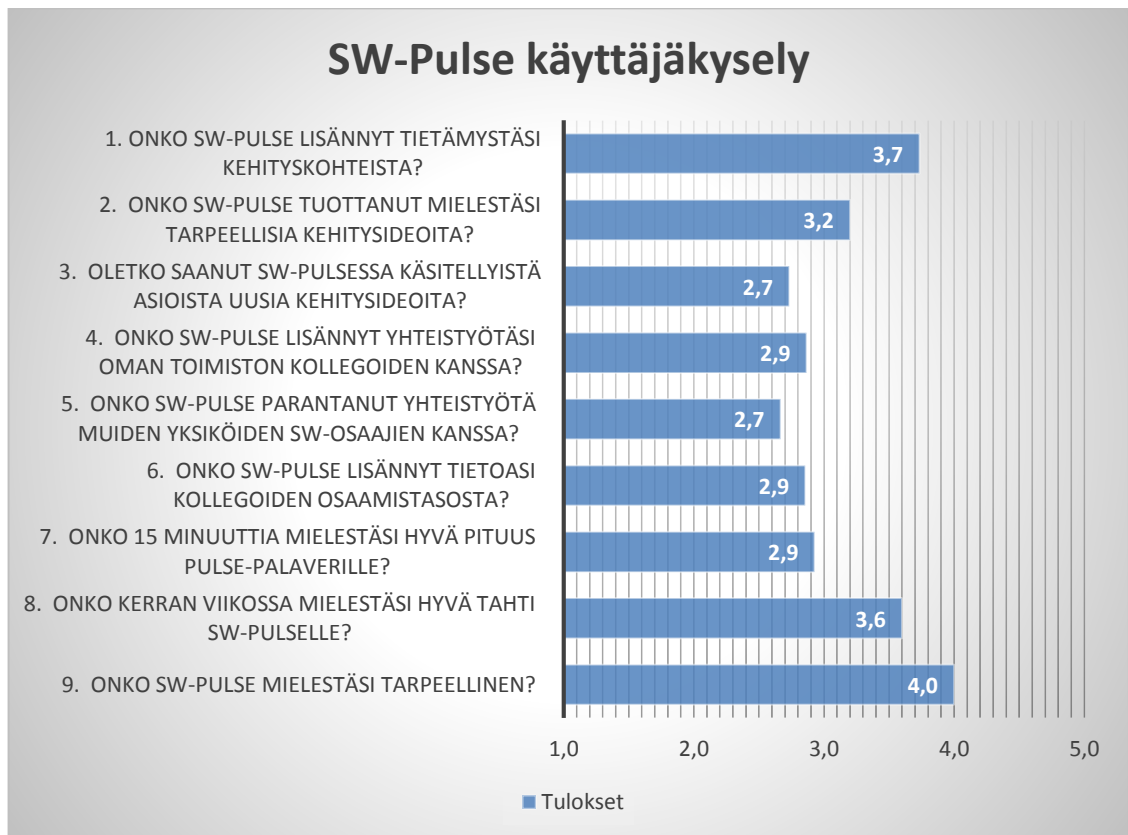
9. Onko SW-pulse mielestäsi tarpeellinen?

1. Ei tarpeellinen 2. 3. 4. 5. Hyvin tarpeellinen

10. Mikäli sinulla on vielä jotain palautetta liittyen SW-pulseen, kirjoita se tähän tekstikenttään.

Kuva 45. SW-pulse käyttäjäkysely.

Käyttäjäkyselyn tulokset kerättiin yhteen ja analysoitiin (kuva 46). Tulosten perusteella toimintaa muokattiin vastaamaan paremmin tarpeita.



Kuva 46. Käyttäjäkyselyn tulokset.

Pääasiassa tulokset olivat positiivisia ja jonkinlaista kehitystäkin vastauksien perusteella oli tapahtunut. Vapaamuotoiseen palauteosioon tulleet palautteet käsiteltiin miettimällä uudenlaisia toimintatapoja SW-pulsea varten. Yksi yleisimmistä palautteista oli, että palaverien haluttiin jollain tavalla kehittävän käyttäjien osaamista ja tietämystä SolidWorksistä. Tätä varten SW-pulsen alkuun lisättiin lyhyt opetustuokio ja Excel-listaan lisättiin *Themes*-välilehti, jossa on kerrottu tulevien viikkojen opetusaiheet. Toinen esille noussut palaute liittyi työlistan turhan perusteelliseen läpikäyntiin, koska melko nopeasti kävi ilmi, että viikon aikana lista ei juurikaan muuttunut. Tätä puutetta varten listaan lisättiin *Last edit* -sarake, joka kertoo, milloin mitäkin riviä on viimeksi muokattu.

Kehityskohteisiin tarttumisen koettiin edelleen olevan liian vähäistä. Ratkaisuksi ehdotettiin pientä osallistavaa tehtävää ennen jokaista palaveria, jolloin osallistujat kertoisivat ajatuksiaan tai mieltisivät ratkaisua annettuun kysymykseen. Ensimmäisessä uudistetussa SW-pulsessa tähän kehitysehdotukseen vastattiin pyytämällä osallistujilta ideoita CustomWorks-käyttöliittymän parantamiseen.

SW-pulse-palaveri näyttäisi olevan hyvä tae kehityksen jatkuvuudelle ja käyttäjien hiljaisen tiedon jatkuvalle jakamiselle. Niin kauan kuin yhteisö on aktiivinen, kehitys ei ole riippuvainen vain yhden käyttäjän aktiivisuudesta vaan yhteisöstä. Pulse-palaverit ovat myös auttaneet kartoittamaan käyttäjien osaamistasoa sekä erityisosaamista. Tämän tutkimuksen pohjalta voidaan suositella vastaavan toiminnan käyttämistä myös muissa kehitykseen keskittyvissä yhteisöissä.

6.2 Kehitystarvekartoitus

Jatkuvaa parantamista varten luotiin SW-pulse palavereihin liittyvä kysely (kuva 47), jonka avulla kartoitetaan säännöllisin väliajoin osaston SolidWorks-mallintajien kehittämistarpeita. Oppimistarpeita kartoitetaan lyhyellä matriisikyselylomakkeella, josta valitaan omaa osaamistasoa parhaiten kuvaava taso jokaiselle listassa mainitulle työkalulle.

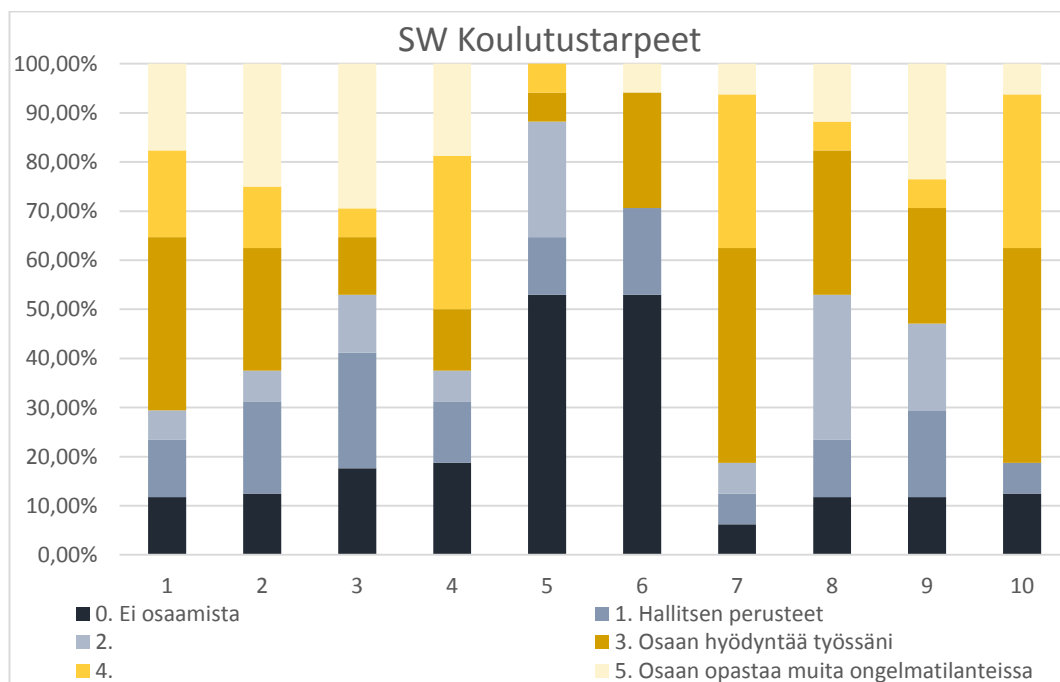
Työkalut, joiden käytössä huomataan kyselyn mukaan eniten puutteita, lisätään SW-pulse palaverien *Themes*-listalle tuleviin opetuskohteisiin. Kun lista on käyty läpi, kartoitetaan ryhmän uusia kehitystarpeita vastaavalla kyselyllä.

1. SW kehitystarvekartoitus

	0. Ei osaamista	1. Hallitsen perusteet	2.	3. Osaan hyödyntää työssäni	4.	5. Osaan opastaa muita ongelmatilanteissa
1. Layout-pohjainen mallinnus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Structural member -työkalun käyttö (weldments)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Mallinnusautomaattien käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Design table -taulukon käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Routing-työkalun käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. SW-PDMS muunnostyökalun käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Equationien käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Suurten piirustusten käsittely SolidWorksissä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Sketch driven pattern ja Curve driven pattern -työkalujen käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Exploded view -työkalun käyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Onko muita SolidWorks-työkaluja, joista haluaisit koulutusta?

Kuva 47. Ensimmäinen kehitystarpeiden kartoituskysely.



Kuva 48. Koulutustarpeiden analysointi.

Kyselyn tulokset kerättiin Exceliin ja tulokset koottiin kuvan 48 pinottuun pylväskaavioon, josta nähdään hyvin eniten koulutusta tarvitsevat alueet. Kaaviosta huomataan nopeasti, että kohdissa 5 ja 6 on eniten puutteita, kun taas kohdat 1, 7 ja 10 ovat käyttäjien itsensä mielestä parhaiten hallussa. Värit valittiin niin, että mikäli vastaajien taso on 3 (*osaan hyödyntää työssäni*) tai sen yli, väri on eri kuin sitä pienemmillä, jolloin suurimmat puutokset erottuvat selkeämmin. Kyselyn perusteella tarkastelun kohteiksi päätettiin ottaa kohdat 3, 5, 6 ja 8. Näistä kohta 6 voidaan jättää pois, sillä siitä on jo ohjeistus olemassa ja puutteet liittyvät luultavasti enemmän työkalun käytön vähyyteen kuin puutteelliseen ohjeistukseen. Taulukkoon 5 on listattu ensimmäiset koulutustarpeet.

Taulukko 5. Ensimmäisen koulutustarpeiden arvioinnin tulokset.

Kehityskohta	Kehitystarve
Kohta 3	<i>Mallinnusautomaattien käyttö:</i> vaatii parempia ohjeistuksia automaattien käyttöä varten. Ohjeistus on oltava seikkaperäinen, alkaen siitä mistä ja millä tavalla malli kopioidaan omaan hakemistoon, ja miten se nimetään. Lisäksi monimutkaisemmista automaateista olisi hyvä olla <i>Checklist</i> asioista, jotka mallista tulee tarkastaa, ennen kuin malli hyväksytään.
Kohta 5	<i>Routing-työkalun käyttö:</i> vaatii ohjeistusvideon, mutta sitä ennen on tarpeen ottaa selvää, missä kaikkialla työkalu olisi hyödynnettävissä ja minkälaisia etuja sillä saadaan verrattuna tavalliseen Sweep-työkalun käyttöön.
Kohta 8	<i>Suurten piirustusten käsittely SolidWorksissä:</i> vaatii hyvien piirustuskäytäntöjen ja erilaisten keinojen jakamista. Esimerkiksi joitain leikkaustyökaluja on syytä välttää suurien kokoonpanojen piirustuksissa.

6.3 Pullonkaulat mallinnuksessa

Mikäli suurimpia mallinnuksen pullonkauloja ei saada hallintaan, prosessin parantamisen merkitys voidaan kyseenalaistaa. Suurimmat pullonkaulat mallintamisessa voidaan karkeasti jakaa mallinnusongelmiin, tietokoneen liian pieneen tehoon ja tietoliikenneyhteyksien peittämiseen. Mallien ongelmat ovat tavallisesti peräisin huonoista mallinnuskäytännöistä tai virheistä automaateissa, jotka kostaavat pahimmin piirustuksissa.

Usein malleista tulee huomaamatta raskaita. Liittämällä kokoonpanoja toisiinsa mallin sisältämien osien määrä kertautuu, ja melko pian huomataan mallin käytössä jo pientä kankeutta. Vähentääkseen tällaisen ongelman vaikutusta mallintaja voi käydä etsimässä jokaisen keskisuuren alikokoonpanomallin pullonkaulat käyttämällä *Evaluate* vä-

lilehdeltä löytyvää työkalua *Assembly Visualization*. Tämä työkalu paljastaa komponentit, jotka eniten hidastavat mallia. Luomalla *simplify*-konfiguraatio, missä kyseiset komponentit on piilotettu (*suppress*) voidaan nopeuttaa mallin lataamista ja tehdä kokoonpanon käsittely sujuvammaksi mallin kasvaessa. Tällöin on kuitenkin pidettävä huoli, että osaluettelo liitetään sellaiseen konfiguraatioon mallissa, jossa osia ei ole suppressoitu.

Toinen pullonkaula johtuu mallien vaatimasta suuresta laskentatehosta. Koneen hinnassa lienee turha säästellä, jos lataamisajastakin joudutaan maksamaan työntekijälle palkkaa. Kolmantena ongelmana voidaan nähdä tietoliikenneyhteyksien kangertelu ja jopa väliaikainen katkeaminen, sillä EPDM eli SolidWorksin tuotetiedon hallintajärjestelmä vaatii nopeita yhteyksiä toimiakseen sujuvasti. Tätä tapahtuu satunnaisin väliajoin, mutta siihen on käyttäjätasolla vaikeampi vaikuttaa, koska ongelmien alkuperä on epäselvä.

6.4 Seinä, kammio, yhde ja levypääty

Osittaista automatisointia, jota Lean-ajattelussa kutsutaan nimellä *Jidoka*, sovellettiin myös suunnittelussa. Jokainen kattila sisältää useita seiniä, joissa on yleensä 1-2 kammioita ja niistä suurimmassa osassa on yhteitä ja levypäätyjä. Niinpä näiden kyseisten komponenttien mallintamista päätettiin nopeuttaa. Mallit tehtiin niin, että niitä voidaan käyttää yhdessä tai erikseen, jotta hyöty olisi mahdollisimman suuri. Erillisten pienten automaattien etuna on se, että niitä voidaan käyttää osana suurempaa kokonaisuutta, jolloin tuotteen variointi on yksinkertaisempaa.

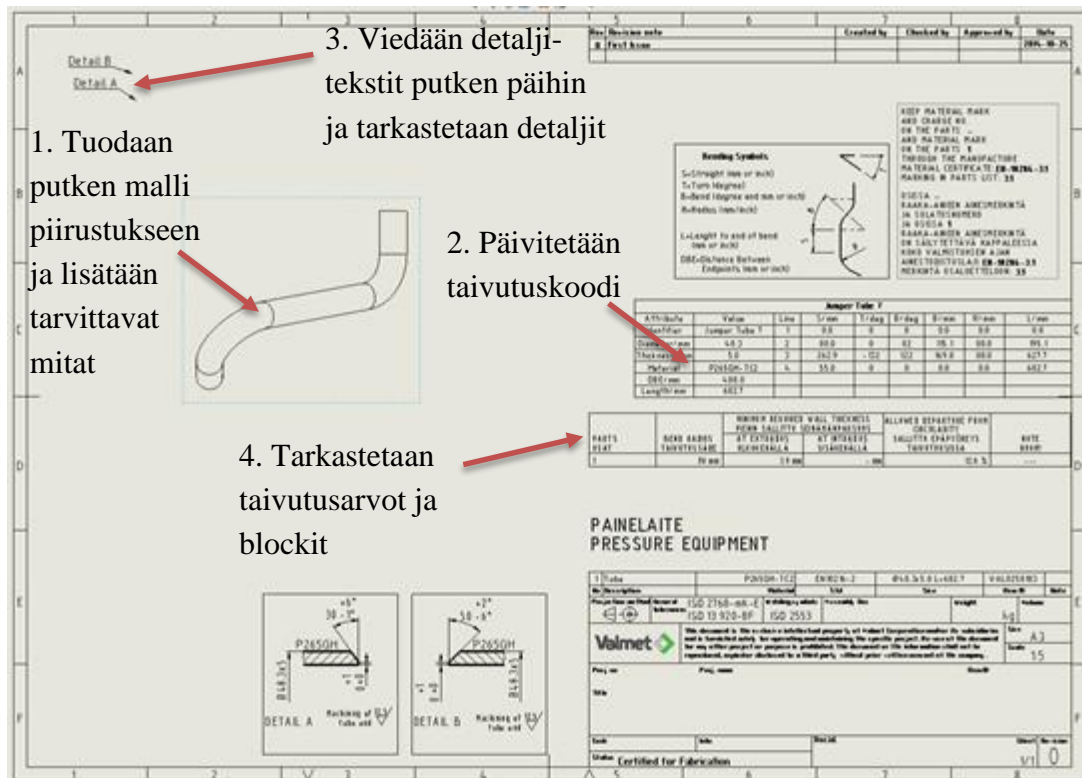
Tämän työn laajuuteen sisällytettiin EN-standardin mukaiset versiot kammioista, yhteistä ja levypäädystä ja ne sisältävät tiedot erilaisista kammiohalkaisijoista, seinämän vahvuuksista ja hitsauspäiden koneistuksista. Lisäksi kammiomallissa on vaihtoehtona satulapääty, mikäli kammio halutaan liittää toiseen kohtisuoraan kammioon. Kammiomalliin on myös valittavissa reikien porauksia useaan eri suuntaan mallintajan valitsemilla jaoilla ja reikäkoolla. Malleja voidaan vielä laajentaa koskemaan esimerkiksi ASME-standardin koneistusmittoja.

Parannuksia kyseisten komponenttien mallintamisaikaan on vaikea arvioida, sillä aiemmin vastaava työ on tavallisesti tehty kopioimalla vanha malli ja muokkaamalla sitä. Kopioidun mallin muokkaamisnopeus on riippuvainen siitä, kuinka lähellä kopioitu malli on haluttua lopputulosta, ja siitä, kuinka paljon muokatessa tulee virheilmoituksia. Kuitenkin kammio-, yhde- ja levypäätyautomaatti ovat joustavuudessaan nopeakäyttöisempiä kuin kopioidut mallit, sillä niillä saadaan helposti juuri sellainen malli kuin tarvitaan. Lisäksi ne ovat nopeasti löydettävissä, jolloin käyttäjän ei tarvitse etsiä tarpeeksi vastaavanlaista mallia järjestelmästä.

6.5 Piirustusohjat

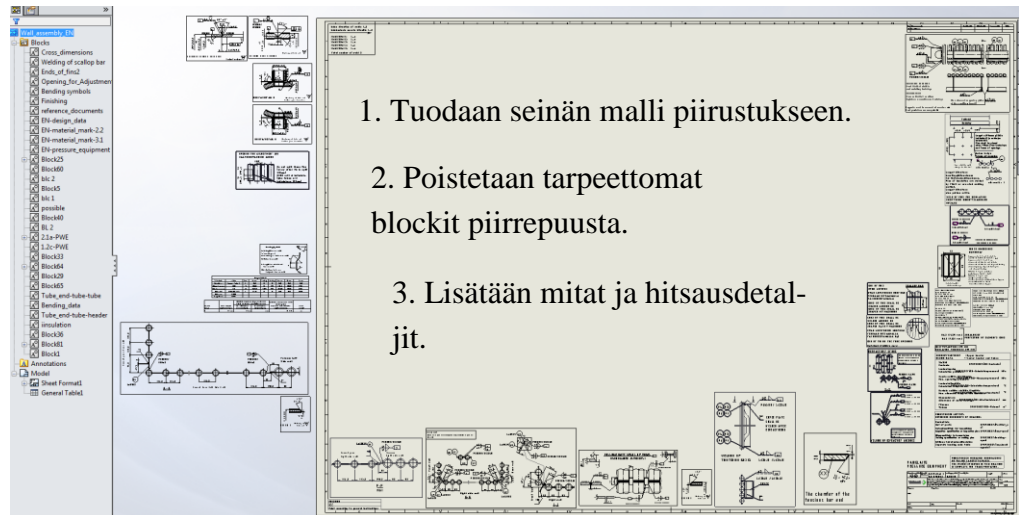
Piirustusten nopeampaa valmistusta varten tehtiin joistain yleisimmistä piirustuksista pohjat, jotka sisältävät tarvittavat taulukot ja blockit. Näitä valmiita pohjia hyödyntämällä piirustusten teko saadaan vaivattommaksi, ja niiden avulla piirustuksesta ei unohdu vaadittavia tekstejä ja detaljeja, jolloin laatu pysyy tasaisempana.

Ensimmäinen piirustusohja tehtiin taivutetusta putkesta (kuva 49), jossa on muun muassa valmis taulukko taivutuskoodeja varten, joka päivitetään kun putken malli tuodaan piirustukseen. Taivutettu putki valittiin valmispohjaksi siitä syystä, että niitä on projekteissa runsaasti ja niitä on paljon erilaisia.



Kuva 49. Taivutetun putken piirustusohja.

Toinen piirustusohja tehtiin seinästä (kuva 50). Seinän piirustus sisältää paljon blockeja, mutta hiukan erilaisia riippuen seinästä. Piirustukseen tuotiin kaikki vakioblockit, joita piirustuksen tekijä voi tarpeen mukaan karsia pois.



1. Tuodaan seinän malli piirustukseen.
2. Poistetaan tarpeettomat blockit piirrepuusta.
3. Lisätään mitat ja hitsausdetaljit.

Kuva 50. Seinän piirustus pohja.

6.6 Hukan vähentäminen

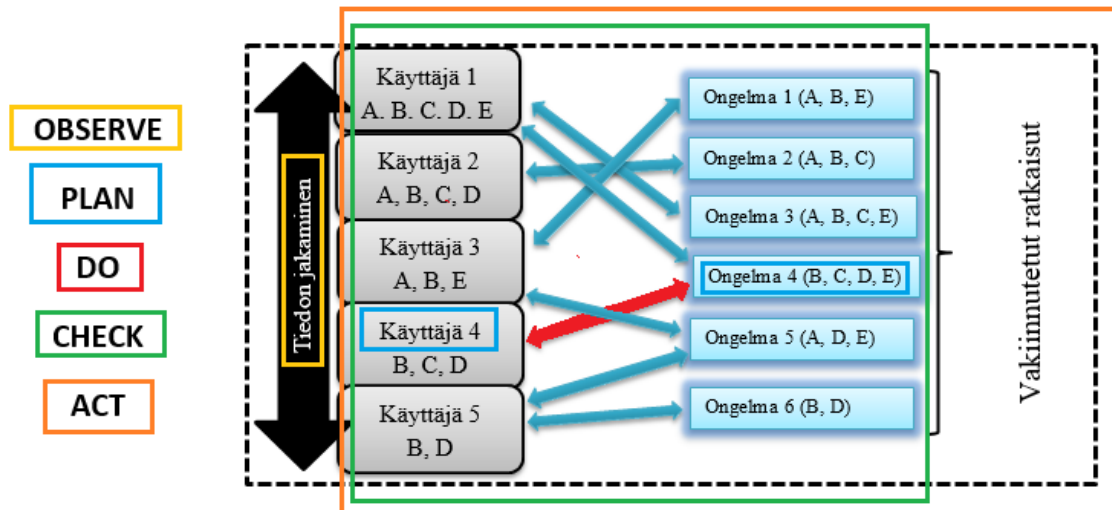
Hukan vähentäminen voi yksinkertaisimmillaan tapahtua havainnoimalla omaa mallinnusprosessia kriittisemmin ja löytämällä siitä turhia vaiheita. Tarkoitus ei siis ole juosta nopeammin vaan kulkea lyhyempi matka, kuten TPS:n kehittäjän neuvo kuului. Alle on listattu joitain parantavia toimenpiteitä liittyen aiemmin mainittuihin hukkatyyppeihin.

- **Korjaukset – suunnittelutyössä tapahtuvat virheet** → Mallinna valmista, merkitse esim. *display statea* käyttämällä värien avulla keskeneräiset ja epäselvät asiat ettei unohda niitä.
- **Ylituotanto – liikaa liian aikaisin, liiallista tarkkuutta, liiallista dokumentointia** → Pyri mallintamaan kohde kerrallaan aloittaen varmistuneista lähtötiedoista. Mieti miten tarkkaa infoa mallissasi tarvitaan. Käytä järkeä, voisiko asiat tehdä jotenkin toisin kuin aina ennen, mutta muista, että vanhoille tavoille on usein syynsä.
- **Ylimääräiset toiminnot prosesseissa – ei hyödynnetä jo opittua, kommunikointi, ylilaatu** → Käytä apuna vanhoja projekteja ja kehitettyjä automaatteja. Vältä *equation* -työkalua, koska se usein aiheuttaa myöhemmässä käytössä virheilmoituksia. Vältä myös turhia referenssejä eli viittauksia toisiin malleihin, koska nekin ovat usein syy virheilmoitukseen.
- **Odotusaika – Seuraavan työvaiheen odottaminen, tietokoneen lataaminen, odotusajan hyödyntäminen** → Tee itsellesi työlistä asioista, joita tehdä kun ohjelma on varattuna.
- **Turhat varastot** → Nimeä kansiorakenteet selkeästi. Tee mallin rakenteesta selkeä. Käytä standardiosia kun mahdollista.
- **Viat – ajanhukkaa aiheuttavat tekijät, korjaukset suunnittelussa ja tuotannossa** → Kommunikoiki muiden projektin työntekijöiden kanssa. Kysy, jos et tiedä.
- **Liikkuminen – tarpeettomat palaverit, tiedon kääntäminen toiseen järjestelmään, asiakirjojen liikkuttelu, tiedon jakaminen tehokkaammin, pirstaloituneen tiedon hakeminen** → Sovi pienemmät asiat henkilökohtaisesti tai sähköpostilla, kirjoita ylös tai arkistoi sähköposti. Selkeät tiedostorakenteet. Keskitetty tiedon jako serverille (sähköpostit hukkuu muiden sekaan).

- **Kapasiteetin eli henkilöstön vajaakäyttö – osaamisen huono hyödyntäminen, motiivoinnin puute, osaamista vastaavat tehtävät, koulutus, kehitysideoiden kuunteleminen.** → Kartoita alaisten osaamista, tarjoa osaamistasoa vastaavia työtehtäviä, motivoi uusilla työtehtävillä ja kouluta niihin. Tartu haasteisiin oppiaksesi, delegoi rohkeasti opettaaksesi muita, opasta aktiivisesti. Kannusta kehitysideoista.

6.7 Vakiinnutetut ratkaisut

Seurataan aiemmin läpikäytyä ongelmanratkaisumenetelmää uusien kehityskohteiden avulla (kuva 51). Ensimmäisenä vaiheena on tiedon jakaminen, joka tapahtuu esimerkiksi SW-Pulsen avulla. Tämä vastaa OPDCA-mallissa kohtaa *observe* eli tilanteen tarkastelua. Koska tietoa on jaettu, ongelman ratkaisija löytää ongelmakohdan, johon hänellä on jonkinlaista osaamista. Tällöin henkilö alkaa hahmotella ratkaisua päässään ja siirtyy OPDCA-mallin kohtaan *Plan* eli suunnittele. Vaihtoehtoisesti joku työntekijä, joka tuntee toisen työntekijän osaamisen, pyytää häntä ratkaisemaan ongelman. Kehityskohdan ratkaisija lisää listan kohtaan vastuuhenkilöksi itsensä ja kirjaa aloitusajan ja arvioi kehityskohteen valmistusajankohdan listaan. Tällöin hän siirtyy vaiheesta *Plan* vaiheeseen *Do* eli toteuta. Kun ongelma on ratkaistu, hän testaa kehityskohdetta projektissa mikäli mahdollista, jolloin hän toteuttaa kohdan *Check* eli tarkasta. Näin mahdolliset virheet huomataan aikaisemmassa vaiheessa, ennen kuin ne pääsevät muihin projekteihin. Tämän jälkeen hän esittelee ratkaisun muille käyttäjille esimerkiksi ohjeistuksen muodossa. Tämä toiminta vastaa OPDCA-mallin kohtaa *Act* eli toimi. Ohjeistukset kootaan vakiinnutetuiksi ratkaisuiksi serverille, josta ne ovat kaikkien käyttäjien löydettävissä.

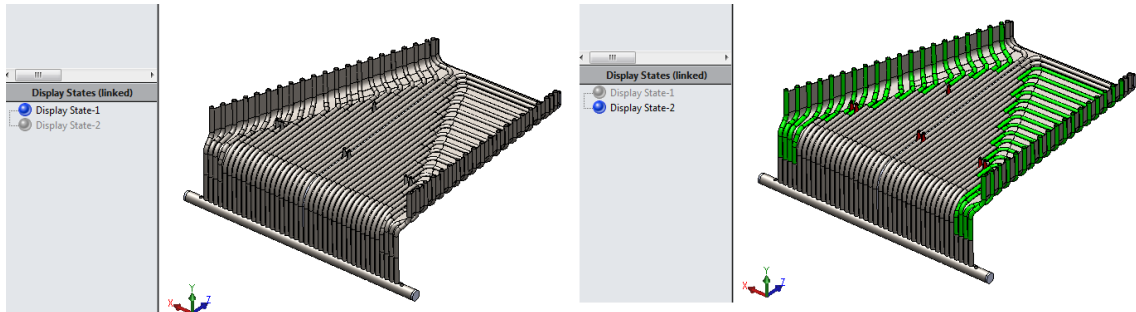


Kuva 51. Tiedon jakamisesta vakiinnutettuihin ratkaisuihin

Tämän lisäksi koulutustarpeiden analysoinnin avulla voidaan tarjota koulutusta oikeisiin tarpeisiin ja näin lisätä käyttäjien osaamista, jolloin ratkaisijoita ongelmille on enemmän.

6.8 Havainnollistamisen parantaminen

Joskus mallissa tai piirustuksissa on tarpeen korostaa joitain osia, esimerkiksi asennusosia tai standardiosia. Tätä tarvetta varten voidaan käyttää *Display state* -työkalua, joka toimii konfiguraation tapaan, mutta esimerkiksi värjää osia (kuva 52).



Kuva 52. Samasta mallista kaksi Display statea. Oikealla vakio-osat korostettuina.

Piirustuksissa on myös mahdollista käyttää 3D-mallista tuttua grafiikkaa vaihtamalla kuvannosta *Display style*. Tällöin voidaan myös käyttää korostettuja näkymiä vaihtamalla Display state toiseen. Erilaisen Display staten käyttäminen esimerkiksi isometrisessä kuvannossa parantaa monessa tapauksessa piirustuksen antamaa informaatiota ja vähentää erilaisten huomiomerkintöjen tarvetta.

6.9 Ohjeistukset

Työtä helpottamaan tehtiin myös muutamia ohjeistuksia ja muistilistoja, jotka löytyvät alla luetelluista liitteistä. Ohjeistuksien puute aiheuttaa paljon päänvaivaa käyttäjälle ja pahimmillaan virheitä malliin. Parantamalla ohjeistuksia ja käyttöohjeita säästetään suunnittelijoiden aikaa.

- LIITE A: Muistilista – Suurten mallien ja piirustusten käsittely
- LIITE B: SolidWorks/PDMS-kääntötyökalun käyttö
- LIITE C: Seinäautomaatin käyttö
- LIITE D: Kammioautomaatin käyttö
- LIITE E: Levypäätö- ja yhdeautomaatin käyttö
- LIITE F: Lista helppokäyttöisyyttä parantavista toiminnoista

Muista tarvittavista ohjeistuksista lisättiin kohta kehitystarvelistaan.

7. YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää SolidWorks-mallintamisen toimintatapoja osaston sisäisesti. Tavoitteena oli myös, että kehitystyö jatkuisi itseohjautuvasti myös tämän työn valmistuttua.

Tutkimuksen aikana moneen ongelmaan kehitettiin monen eri tekijän toimesta ratkaisuja, joiden hyöty konkretisoituu vasta tulevien projektien aikana. Ratkaisut myös jatkojalostuvat, kun niiden mahdollisia puutteita huomataan ja korjataan.

Tutkimuksen teoriaosassa perehdyttiin Lean-teoriaan ja jatkuvan kehityksen teoriaan, ja rinnastettiin niitä tehtyyn kehitystyöhön. Lean-teorian avulla etsittiin lisäarvoa tuottamattomia ja hukkaa aiheuttavia asioita mallinnusprosessista ja pyrittiin etsimään keinoja niiden vähentämiseksi. Lisäarvoa tuottamattomia toimintoja ja huonoja toimintatapoja pyrittiin karsimaan myös käyttäjäkyselyistä saatujen tuloksien pohjalta. Jatkuvan parantamisen teorian avulla pyrittiin etsimään henkilöstön ja työtapojen kehittämisen keinoja paremman tiedonjaon avulla.

Työ oli luonteeltaan kehittävä tutkimustyö, jonka tarkoituksena oli parantaa toimintatapoja niin, että mallinnustavat olisivat optimaalisempia ja mallit olisivat rakenteeltaan yhtenäisempiä. Työn edetessä huomattiin, että useat työntekijät olivat tehneet henkilökohtaista kehitystyötä ja toimivia työkaluja eri mallinnuskohteisiin, eikä suurella osalla työntekijöistä ollut niistä tietoa. Näistä syistä tiedon jakoon ja yhteisten mallinnustapojen kehittämiseen panostettiin. Kehitystä varten järjestettiin sähköisiä kyselyitä, joiden avulla otettiin selvää työntekijöiden toiveista liittyen yhteisiin kehitystapoihin ja toivottuihin koulutuksiin.

Joitain kehityskohteita saatiin myös paranneltua. Työn edetessä kuitenkin näkyi selvästi, että uusia kehityskohteita tuli runsaasti, mutta niiden ratkaisemiseen oli harvalla käyttäjällä aikaa. Tällaisessa tilanteessa käy helposti niin, ettei kehitystä tapahdu tai se tapahtuu projekti projektilta hyvin hitaasti, ellei resursseja kyseiseen toimintaan lisätä.

LÄHTEET

- [1] Womack, J. Jones, D. Roos, D. 1990. The Machine that changed the world: The Story of Lean Production. New York, Free Press. 352 s.
- [2] Leong, M.S. Ward, S. Koskela, L. 2015. Towards an operational definition of lean construction. 10 s. [Viitattu 9.3.2016]. Saatavissa: www.iglc.net/Papers/Details/1233/pdf
- [3] Liker, J. 2006. Toyotan tapaan. 2006. Helsinki, Readme.fi. 323 s.
- [4] Karjalainen, E.E. 2010. Ymmärrä Lean ja Six Sigma oikein – Leanin kymmenen harhaluuloa ja väärinymmärrystä. 8 s. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavissa: http://www.qk-karjalainen.fi/index.php/download_file/view/1159/424/424/
- [5] Lean ja johtaminen. Quality Knowhow Karjalainen Oy. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/yleinen/lean-ja-johtaminen/>
- [6] Gädda, J. Kiviharju, M. 2014. Vakk, Lean ammatillisessa koulutuksessa. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavissa: <http://www.vakk.fi/Dokumentit/Vakk%20LEAN%20Ammatillisessa%20koulutuksessa%2020141110%20MiKi.pdf>
- [7] OGC. 2011. ITIL Continual Service Improvement. London, TSO. 238 s.
- [8] Graban, M. 2011. Lean hospitals. Improving Quality, Patient Safety and Employee Engagement. CRC press. 268 s.
- [9] Graban, M. Swartz, J. 2012. Healthcare Kaizen: Engaging Front-Line Staff in Sustainable Continuous Improvements. CRC press. 408 s.
- [10] Dumitrescu, C. Dumitrache, M. 2011. Academy of Economic Studies, Bucharest, Romania. The Impact of Lean Six Sigma on the Overall Results of Companies. 10 s. [Viitattu 24.2.2016]. Saatavissa: <http://www.management.ase.ro/reconomia/2011-2/26.pdf>
- [11] Huhtinen, M. Kettunen A. Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka, viides painos. Edita Oy, Helsinki. 379 s.
- [12] Moisio, J. 9/2008. Lean periaatteita prosessien kehittämisessä. [Viitattu 24.2.2016]. Saatavissa: http://media.ims.fi/Artikkelit/Lean-Management/Lean_perustyokaluja_5S_9_hukkaa_lisaarvovaiheet_Lean_mittareita.pdf

- [13] Syvänen, S. 2008. Hyvinvoinnin, osaamisen ja tuloksellisuuden tekijät vanhuspalveluissa 2005-2008. Hoteva-projektin loppuraportti. [Viitattu 24.2.2016]. Saatavissa: <http://www.tsr.fi/tsarchive/files/TietokantaTutkittu/2006/106112Loppuraportti.pdf>
- [14] Stenvall, J. & Virtanen, P. 2012. Sosiaali- ja terveystieteiden uudistaminen. Kehittämisen mallit, toimitavat ja periaatteet. Tietosanoma, Helsinki. 282 s.
- [15] Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit - hyödynnä SPC. Metalliteollisuuden kustannus, Helsinki. 400 s.
- [16] Karhu, M. Salo-Lee, L. Sipilä, J. Selänne, M. Söderlund, L. Uimonen, T. & Ylikokko, P. 2008. Asiantuntija viestii. Ajatuksesta vaikutukseen. Kolmas painos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 323 s.
- [17] Rhoades, D. 2/2015 The Kaizen Approach to SEO. [Viitattu 25.2.2016]. Saatavissa: <http://www.weareo3.com/notebook/kaizen-approach-seo/>
- [18] Toivonen, V-M. & Asikainen, R. 2004. Yrityksen hiljainen osaaminen – kehittämisen uusi taso. Ai-ai Kustantamo, Porvoo. 125 s.
- [19] Strömmer, R. 1999. Henkilöstöjohtaminen. Edita, Helsinki. 335 s.
- [20] Hovila, H. & Okkonen, J. 2006. Kokemus organisaation voimavaraksi. Tampere University of Technology and University of Tampere, Tampere. [Viitattu 26.2.2016]. Saatavissa: https://www.tsr.fi/c/document_library/get_file?folderId=13109&name=DLFE-1942.pdf
- [21] Karjalainen E.E. Lean ja johtaminen. [Viitattu 22.03.2016]. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/yleinen/lean-ja-johtaminen/>