

Joonas Pulkkinen

LAMELLIPATTEREIDEN KOKOOJATUK- KIEN SUUNNITTELUN AUTOMATISOINTI

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Joonas Pulkkinen: Lamellipattereiden kokoojatukkien suunnittelun automatisointi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Tässä diplomityössä luotiin it-järjestelmä, joka tilauksen vastaanottamisen jälkeen tuottaa valmistuskuvat lamellipattereiden kokoojatukeista automaattisesti. It-järjestelmästä käytetään nimitystä suunnitteluautomaatti. Työ tehtiin yritykselle Oy Ekocoil, joka on Suomen johtava valmistaja muun muassa lamellipattereissa, levylämmönvaihtimissa ja nestejäähdyttimissä. Syynä tämän työn teettämiseksi olivat yrityksen halu tehostaa tuotantoa ja hyvät kokemukset aikaisemmista suunnitteluautomaatioprojekteista.

Työn keskeinen sisältö jakautuu kahteen osaan: taustatutkimukseen ja suunnitteluautomaatin toteutukseen. Taustatutkimuksella selvitettiin lamellipattereiden ja kokoojatukkien toimintaa ja rakennetta sekä kokoojatukkien suunnittelua ohjaavat säännöt. Nämä selvitettiin tutkimalla alan kirjallisuutta, yrityksen dokumentaatioita ja haastatteleamalla myynnissä, suunnittelussa ja valmistuksessa työskenteleviä henkilöitä. Taustatutkimuksen keskeisimmät tulokset kokoojatukkien suunnittelusääntöjen lisäksi olivat tieto siitä, että nykytilassa kokoojatukkien lopullinen rakenne päätetään vasta valmistuksen aikana. Syy tähän on nykyisen suunnittelun tuottama valmistusdokumentti, joka ei esimerkiksi sisällä yksittäisten osien mittoja. Tuotanto on kuitenkin sujuvaa nykyisten valmistuksen työntekijöiden kokemuksesta johtuen. Taustatutkimuksen perusteella suunnitteluautomaatin toteutukselle asetettiin vaatimukseksi valmistettavien osien mittakuvien tuottaminen, jotta valmistusvaihetta saataisiin nopeutettua.

Suunnitteluautomaatti toteutettiin DriveWorks- ja Solidworks-ohjelmistoilla, jotka oli hankittu yritykselle aiempia lamellipattereiden kehysrakenteen levyosien kuvia tuottavia suunnitteluautomaatteja varten. Kokoojatukkien suunnitteluautomaatti ja sen ohjelmistokomponentit suunniteltiin siten, että ne voidaan liittää osaksi nykyistä tuotannonhallintajärjestelmää aikaisempien automaattien tapaan. Tarvittavat 3D-mallit luotiin Solidworks-ohjelmistolla ja malleja ohjaavat suunnittelusäännöt kirjoitettiin DriveWorks -ohjelmistoon. Näiden lisäksi tehtiin ohjelma, joka muuntaa kokoojatukin liitosputkien paikat saatavilla olevasta tiedosta Solidworksille sopivaan muotoon. Ohjelma toteutettiin Python ohjelmointikielellä. Suunnitteluautomaattiin luotiin lisäksi käyttöliittymä, jolla voidaan muokata tilauksia tarvittaessa tyypillisimpien asiakasvaatimusten mukaisiksi. Käyttöliittymä toteutettiin nykyaikaisia web-tekniikoita hyödyntäen.

Suunnitteluautomaatin ohjelmistokomponentit saatiin valmiiksi, mutta niitä ei ehditty ottaa käyttöön ennen tutkimukseen käytettävissä olevan ajan päättymistä. Tästä syystä työn vaikutuksia tuotannon näkökulmasta ei voida arvioida. Vaikutusten voidaan olettaa kuitenkin olevan myönteisiä aikaisempien automatisointiprojektien tulosten pohjalta.

Avainsanat: Suunnitteluautomaatio, DriveWorks, Lamellipatteri, Kokoojatukit

ABSTRACT

Joonas Pulkkinen: Implementation of design automation system for header tubes of finned coils

Master's thesis

Tampere University

Mechanical Engineering

May 2019

This master's thesis was done to implement a design automation system for header tubes of finned coils. The study was done under contract to Oy Ekocoil, which is a leading manufacturer of finned coils, plate heat exchangers and dry coolers in Finland. The reasons for this study were company's desire to accelerate production and good experiences from earlier design automation projects.

There are two main sections in this study: background research and implementation of the design automation system. The goal in background research was to find out what are the working principles of finned coils and header tubes, what kind of parts and structures are used in manufacturing of header tubes and what are the designing rules of header tubes. The research was done by studying literature and company's documentation and by surveying people working in sales, design and manufacturing. Main results of background research were the designing rules of the header tubes and the awareness of the fact that the final structure of header tubes is decided during manufacturing. The reason for that is the present state of manufacturing document of the header tubes, which is not presenting accurate measurements for individual parts. The manufacture is still fluent mostly because of the experience of the current workers in manufacturing. Producing accurate manufacturing drawings was set as a requirement for the design automation system.

The design automation system was implemented with Solidworks and DriveWorks software that were bought to company because of earlier design automation projects. The design automation system and its software components were planned to be integrated to existing production management system. Necessary 3D models were created with Solidworks and the designing rules of models were written in the DriveWorks. On the top of these there were a need to create a software to convert coordinates of the header tube connection tubes to a format understandable by the Solidworks. Converter software was written in Python. Also, a user interface was created for editing header tube orders to meet the most usual customer requirements. The user interface was implemented with modern web techniques.

All the design automation systems software components were created in the time frame of this study, but the system is not yet used in manufacturing. Because of that, it is hard to estimate the effect of this master's thesis on manufacturing. Because of earlier design automation projects, the effect can be supposed to be positive.

Keywords: Design automation, DriveWorks, Finned coil, Header tubes

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty yritykselle Oy Ekocoil ja sen aihe on jatkoa yrityksessä aikaisemmin toteutetuille suunnittelun automatisointiprojekteille. Työn ohjaajana ja tarkastajana on toiminut professori Asko Ellman ja toisena tarkastajana on toiminut yliopisto-opettaja Ilari Laine. Yrityksen puolelta ohjaajana on toiminut kehitysjohtaja Jouni Mäyrä.

Haluan kiittää Oy Ekocoil:in Leppäkujan ja Rastikankaan työntekijöitä diplomityöhön liittyneestä ja hyvin sujuneesta yhteistyöstä. Kiitokset kuuluvat myös ohjauksesta ja työn tarkastuksesta Asko Ellmanille ja työn tarkastuksesta Ilari Laineelle.

Tampereella 7.5.2019

Joonas Pulkkinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuskysymys ja tutkimusmenetelmät	2
2. TUOTTEEN ESITTELY	4
2.1 Käsitteet ja nimitykset	4
2.2 Lamellipatterin rakenne	6
2.3 Kokoojatukkien rakenne ja osat	8
2.4 Lamellipatterin toiminta	15
2.5 Kokoojatukkien toiminta	16
2.6 Suunnitteluautomaatio	17
3. KOKOOJATUKKIEEN TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILA	19
3.1 Myynti	19
3.2 Suunnittelu	20
3.3 Valmistus	26
3.4 Suunnittelun ja valmistuksen nykytilan tulkinta	28
4. SUUNNITTELUAUTOMAATION TOTEUTUS	30
4.1 Vaatimukset suunnitteluautomaatiolle	30
4.2 Tarvittavat lähtötiedot	30
4.3 Suunnitteluautomaatin aiheuttamat muutokset tuotantoprosessiin	33
4.4 Suunnitteluautomaatin toiminnan kuvaus	33
4.5 Solidworks	36
4.5.1 Kokoonpanomallit	38
4.5.2 Osatiedostot	39
4.5.3 Liitosputkireikien luonti kokoojatukkien malleihin	41
4.6 DriveWorks	43
4.6.1 Suunnitteluautomaation lähtötietojen asettaminen	43
4.6.2 Muuttujien ja taulukoiden käyttö	44
4.6.3 Tiedostojen, piirteiden ja mittojen kaappaaminen	45
4.6.4 Kokoonpanojen konfiguraatioiden muuttaminen ja ylimääräisten osien poistaminen	46
4.6.5 Yksittäisten parametrien muuntelu	48
4.6.6 2D-Työkuvat	48
4.6.7 Osaluettelo ja valmistumisen vaihetta kuvaava tietokantadata	50
4.6.8 DriveWorks Autopilot ja suunnitteluautomaatin käynnistys	52
4.7 Kiertokonvertteri	53

4.7.1 Käynnistys ja alustus	54
4.7.2 Käsittelemättömien kokoojatukkitilausten hakeminen ja sqlconnector-luokka.....	55
4.7.3 Porausdatan hakeminen API:sta ja datan jalostaminen.....	55
4.7.4 Sldptab-tiedostojen luominen	56
4.7.5 Porauslista API:lta saatavan muun datan kirjoittaminen kokoojatukkien tilaustauluun	57
4.8 Käyttöliittymä.....	59
4.8.1 Käyttöliittymän avaaminen	61
4.8.2 Käyttöliittymänäkymän osiot.....	61
4.8.3 Käyttöliittymäkuvien toiminnallisuudet	62
4.8.4 Muokattujen tietojen tallentaminen ja käyttöliittymän sulkeminen	64
5. YHTEENVETO.....	65
LÄHTEET	68

LIITE A: KOKOOJATUKKIEN SUUNNITTELUN JA VALMISTUKSEN VIRTAAUSMAL-
LIN YLEISKUVA

LIITE B: LUODUT SOLIDWORKS TIEDOSTOT

LIITE C: DRIVEWORKS LÄHTÖTIETOLOMAKKEIDEN KENTÄT

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Lamellipatteri ja sen pääkomponentit</i>	6
<i>Kuva 2. Lamellirakenteet 9,52 mm, 12,7 mm ja 15 mm kiertoputkella [1]</i>	7
<i>Kuva 3. Kokoojaputken aihio</i>	8
<i>Kuva 4. Asentamattomia liitosputkia</i>	9
<i>Kuva 5. Putkiyhdytys sisäkierteellä</i>	10
<i>Kuva 6. Kulmamuhvillinen kokoojaputki</i>	11
<i>Kuva 7. Putkiyhde laippaliitoksella</i>	12
<i>Kuva 8. Kierrelaippa</i>	12
<i>Kuva 9. Ulkokierteellinen nippa</i>	13
<i>Kuva 10. Kokoojatukkien päätyaloja</i>	14
<i>Kuva 11. Kokoojan yläpään ilmausta varten asennettu muhvi ja ruuvi</i>	14
<i>Kuva 12. Nesteen ja ilman virtauksen pääsuunnat kanavaan asennetussa lämmityspatterissa</i>	16
<i>Kuva 13. Kokoojatukkiin sisään tulevan nesteen virtaus</i>	17
<i>Kuva 14. Myynnin vaiheet kokoojatukkien tuotantoprosessissa</i>	19
<i>Kuva 15. Suunnittelijan suorittamat kokoojatukin suunnittelun vaiheet</i>	21
<i>Kuva 16. 5x8 putkikuva ecCircuit Editor -ohjelmasta</i>	22
<i>Kuva 17. Käyttöliittymä porareseptin luomiseen</i>	23
<i>Kuva 18. Kokoojatukin rakenteen määrittävät ominaisuudet</i>	31
<i>Kuva 19. Suunnitteluautomaattijärjestelmän toiminta</i>	35
<i>Kuva 20. Solidworks-tiedostojen hierarkia</i>	37
<i>Kuva 21. Kokoojatukkien pääkokoonpanon 3D-mallin oikeakätinen konfiguraatio</i>	38
<i>Kuva 22. Kokoojatukkikokoonpanojen konfiguraatiot</i>	39
<i>Kuva 23. Vakio-osien 3D-mallit</i>	40
<i>Kuva 24. Valmistettavien osien 3D-mallit</i>	40
<i>Kuva 25. Liitosputkireikien aputasot kokoojaputkessa</i>	41
<i>Kuva 26. Liitosputkireikien table driven pattern -asetukset</i>	42
<i>Kuva 27. Osa Kokoojatukit-projektin menokokoojan lähtötietolomakkeesta</i>	44
<i>Kuva 28. Yleisnäkymä DriveWorks Administrator -käyttöliittymän model rules - välilehdeltä</i>	45
<i>Kuva 29. Kaapatun paluukokoojakokoonpanotiedoston ominaisuudet model rules -välilehdellä</i>	46
<i>Kuva 30. Paluukokoojakokoonpanon konfiguraation sääntö</i>	47
<i>Kuva 31. Osa kokoojatukkien pääkokoonpanon pohjapiirustuksesta</i>	49

<i>Kuva 32. Kokoojatukkien osaluettelo.</i>	<i>51</i>
<i>Kuva 33. Osa DriveWorks Autopilot -tietokantakuuntelijan luomisen käyttöliittymästä.</i>	<i>52</i>
<i>Kuva 34. Kiertokonvertterin toiminta.</i>	<i>54</i>
<i>Kuva 35. X-koordinaatin laskenta kiertokonvertterissa.</i>	<i>56</i>
<i>Kuva 36. Muokkauskäyttöliittymän toiminta osana tuotannonhallintajärjestelmää.</i>	<i>60</i>
<i>Kuva 37. Käyttöliittymän osio putkiyhteiden suuntien ja sijaintin määrittämiseen.</i>	<i>61</i>
<i>Kuva 38. Kokoojatukkien sijaintien ja putkiyhteiden pituuksien muokkaamisen käyttöliittymäosio.</i>	<i>62</i>
<i>Kuva 39. Muutokset yhteiden suuntien ja sijaintien käyttöliittymäkuvassa.</i>	<i>63</i>
<i>Kuva 40. Kokoojatukkien sijaintien ja putkiyhteiden pituuksien käyttöliittymäkuvan muutokset.</i>	<i>63</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CAD	Computer Aided Design
3D	Kolmiulotteinen
LTO	Lämmöntalteenotto
API	Application Programming Interface
ODBC	Open Database Connectivity

1. JOHDANTO

Erilaiset myynnin ja tuotannon konfiguraattorit ovat olleet käytössä valmistavan teollisuuden yrityksissä jo useamman vuoden ajan. Yleisen tietotekniikan kehityksen lisäksi asiaa on edesauttanut se, että markkinoille on tullut useita konfiguraattoreiden toteuttamiseen soveltuvia ohjelmistoja. Esimerkki tällaisesta ohjelmistosta on tässä työssä käytettävä *DriveWorks Pro*, joka toimii CAD-ohjelmisto (*Computer Aided Design*) *Solidworksin* lisäosana. DriveWorks mahdollistaa muun muassa CAD-mallien automaattisen konfiguroinnin. Automaattinen konfigurointi vähentää suunnitteluun käytettyä aikaa ja inhimillisten virheiden määrää merkittävästi, jolloin tuotannon kustannukset laskevat. Tässä työssä automaattisesta konfiguroinnista käytetään nimitystä suunnitteluautomaatio.

Tämä diplomityö tehdään Oy Ekocoil:ille, joka on vuodesta 1977 lähtien Turengissa toiminut yritys. Oy Ekocoil valmistaa muun muassa lamellipattereita, levylämmönvaihtimia, lauhduttimia ja nestejäähdyttimiä. Pääosa tuotteista räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaan, joten mitoitus ja suunnittelu ovat iso osa yrityksen tuotantoa. Tähän kuluu myös paljon aikaa. Tästä syystä yrityksessä on otettu käyttöön suunnitteluautomaatti, joka tuottaa lamellipattereiden kehysrakenteen osien kanttauskuvat ja valmistuskuvat levytyökeskukselle. Levykuva-automaatti on vähentänyt huomattavasti suunnittelijoiden työtaakkaa, vaikka aivan jokaisen tilauksen kuvia ei automaatilla tuotetakaan. Toinen automaattiseen suunnitteluun siirtymistä edistänyt tekijä on varautuminen suunnittelun avainhenkilöstön eläköitymiseen lähitulevaisuudessa. Levykuva-automaatista saatujen hyvien kokemusten pohjalta suunnittelun automatisointiprojektia on päätetty jatkaa muihin tuotteisiin.

Tämän työn tavoite on luoda suunnitteluautomaatti, jolla tuotetaan valmistuskuvat lamellipattereiden kokoojatukkien tuotantoa varten. Suunnitteluautomaattia varten luodaan 3D-mallit ja niille työkuvapohjat, joita konfiguroidaan tilauksen tietojen perusteella. Nykytilanteessa kokoojatukit suunnitellaan kokoonpanotasolla päämittojen osalta manuaalisesti suunnittelijan toimesta, eikä niistä tuoteta tarkkoja valmistuskuvia. Tämä on johtanut siihen, että esimerkiksi valmistettavat osat ja niiden sahausmitat ja työvarat suunnitellaan valmistuksen aikana. Tuotanto kuitenkin toimii, koska kokoojatukkivalmistuksen työntekijät ovat kokeneita työssään. Luotavan suunnitteluautomaatin hyödyn on kuitenkin

kin arvioitu olevan suuri, sillä se poistaa manuaalisen suunnitteluvaiheen kokonaan tapauksissa, joissa kokoojatukit ovat rakenteeltaan normaalit tai niihin kohdistuu vain tyyppisimpiä asiakasvaatimuksia. Myös valmistusvaihe tulee todennäköisesti nopeutumaan työvaiheiden ja osien suunnittelutarpeen vähentyessä työkuvienv myötä.

Työn pääsisältö on jaettu kolmeen lukuun: tuotteen esittelyyn, tuotantoprosessin nykytilaan ja suunnitteluautomaation toteutukseen. Alussa esitellään työn kohteena oleviin lamellipattereihin liittyvää käsitteistöä ja niiden rakennetta ja toimintaperiaatetta. Tämän jälkeen käydään läpi kokoojatukkien rakenne osatasolla ja toimintaperiaate osana lamellipatterikokoonpanoa. Luvun lopussa käsitellään suunnitteluautomaatiota käsitteenä ja sitä, millaisia ominaisuuksia automaattisesti suunniteltavalta tuotteelta vaaditaan. Tuotantoprosessin nykytilaa käsittelevässä luvussa tarkastellaan erikseen myynti-, suunnittelu- ja valmistusvaiheita. Myyntivaiheen käsittelyssä pääpaino on mitoitusohjelmasta saatavien parametrien vaikutuksesta kokoojatukkien rakenteeseen ja kokoojatukkeihin kohdistuvien asiakasvaatimusten esittelyssä. Suunnitteluvaiheessa käydään läpi suunnittelijan nykyinen työnkulku kokoojatukkeja suunniteltaessa ja suunnittelun tuotokset. Valmistusvaiheesta esitellään lyhyesti työvaiheet ja valmistettavien osien mittoihin vaikuttavia tekijöitä. Nykytilaluvun lopussa tarkastellaan valmistuksen aikana tapahtuvaa suunnittelua ja syitä sille. Suunnitteluautomaation toteutusta käsittelevän luvun alussa esitellään automaatille kohdistettuja vaatimuksia, lähtötietoja, joita automaatti tarvitsee toimiakseen ja suunnitteluautomaation aiheuttamia muutoksia nykyiseen tuotantoprosessiin. Luvussa käydään läpi myös automaatin käyttämät ohjelmistokomponentit ja niiden toteutukset. Työn lopussa yhteenvetoluvussa arvioidaan työn onnistumista ja jatkokehitystä.

1.1 Tutkimuskysymys ja tutkimusmenetelmät

Tämän diplomityön tutkimuskysymys on: mikä on lamellipattereiden kokoojatukkien tuotantoprosessien nykytila Oy Ekocoil:ssa ja miten niitä on kehitettävä, jotta kokoojatukkien automaattinen suunnittelu on mahdollista ja tuottavaa? Tutkimuksessa tuotantoprosessit on jaoteltu myynti-, suunnittelu- ja valmistusvaiheeseen.

Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuus- ja toimintatutkimusta. Kirjallisuustutkimuksella selvitetään lamellipattereiden ja kokoojatukkien toimintaan ja suunnitteluautomaatioon liittyvää taustatietoa. Lähteinä käytetään pääasiassa termodynamiikkaan ja lämmönvaihtimiin liittyvää kirjallisuutta, aiempia aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja yrityksen dokumentaatioita. Toimintatutkimuksella haetaan ratkaisu suunnittelun automatisointiin

liittyviin ongelmiin haastatteleamalla kokoojatukkien valmistukseen osallistuvia myyjiä, suunnittelijoita ja työntekijöitä, tarkkailemalla heidän toimintaansa ja kokeilemalla eri ratkaisuvaihtoehtoja.

2. TUOTTEEN ESITTELY

Tässä luvussa esitellään kokoojatukkien rakennetta ja toimintaa osana lamellipatterikoonpanoa. Ensin selitetään lamellipattereihin liittyviä käsitteitä ja nimityksiä. Sen jälkeen esitellään lamellipattereiden ja kokoojatukkien toimintaperiaatteet ja tämän jälkeen käydään läpi osat, joista kokoojatukit valmistetaan. Lopuksi avataan suunnitteluautomaatioon ja automatisoitaviin malleihin liittyviä yleisiä käsitteitä ja esitellään projektissa käytettävät ohjelmistot. Kun tässä dokumentissa esitellään lamellipattereiden materiaaleihin, rakenteisiin, suunnitteluun tai valmistukseen liittyvistä asioista, keskitytään ensisijaisesti Oy Ekocoil:ssa käytössä oleviin tekniikoihin ja käytänteisiin.

2.1 Käsitteet ja nimitykset

Lamellipattereiden toimintaan ja rakenteeseen liittyy käsitteitä ja nimityksiä, joiden tunteminen on edellytys tässä työssä käsitellyn asian ymmärtämiselle. Taulukossa 1 on esitetty käsitteet ja lyhyet selitteet niille.

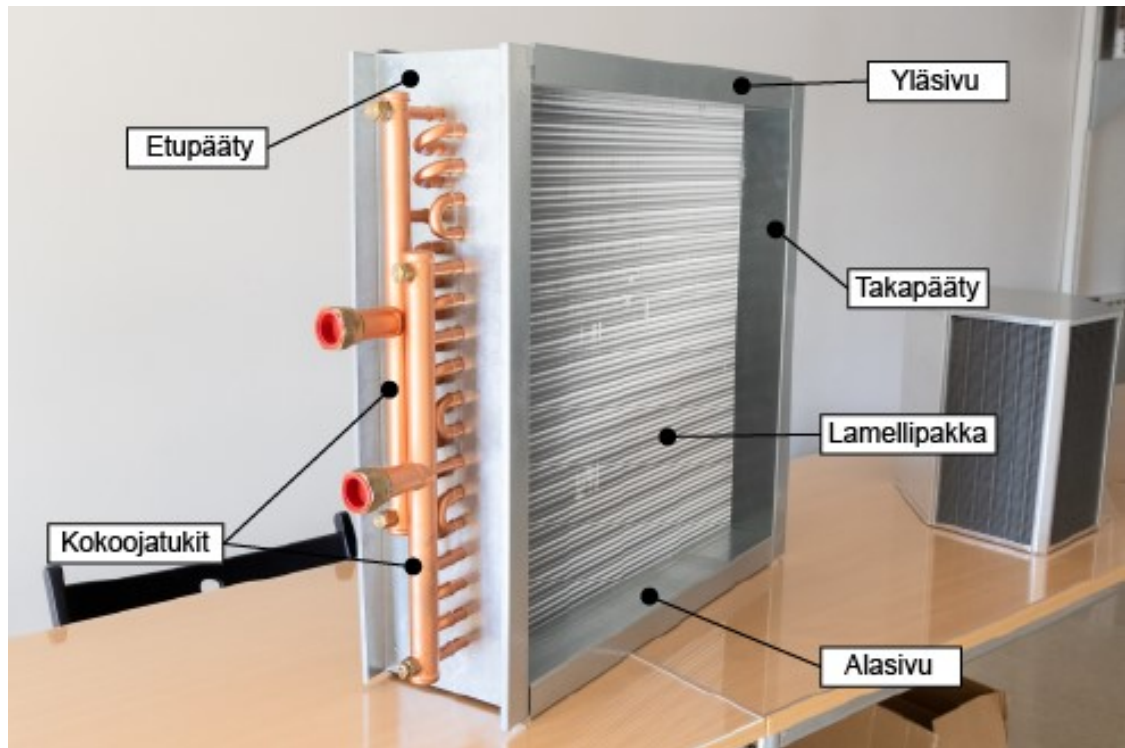
Taulukko 1. Lamellipattereihin liittyvät käsitteet ja niiden selitteet.

Käsite	Selite
Etupääty	Patterin pääty, johon kokoojatukit asennetaan. Etupäädyllä tarkoitetaan myös kehysrakenteen etuosaa.
Kiertojärjestely	Järjestys, jossa patterissa kiertävät kupariputket on yhdistetty toisiinsa.
Kätisyys	Ilman kulkusuunta, jolle patteri on suunniteltu. Kun tarkastellaan patteria ilman tulosuunnasta, oikeakätisen patterin kokoojat ovat oikealla puolella ja vasen kätisen vasemmalla. Jos kokoojat ovat eri päissä, menokokooja määrittää kätisyyden.
Käyrä	Kuparinen 180 astetta kääntyvä putki, jolla yhdistetään kiertoputkia toisiinsa.
Lamelli	Ohut alumiininen tai kuparinen muotoiltu levy.
Lamellijako	Kahden lamellin välinen matka mitattuna lamellin keskeltä toisen lamellin keskelle. Ilmoitetaan millimetreissä.
Lamellipakka	Lamelleista muodostuva nippu, jonka läpi ilma virtaa.
Otsapinta	Patterin pinta, josta ilma virtaa läpi. Otsapinnan korkeudella tarkoitetaan lamellipakan korkeutta ja otsapinnan leveydellä lamellipakan leveyttä katsottuna ilmavirran kulkusuunnasta.
Patterin tyyppi	Patterin käyttötarkoitus. Esimerkiksi lämmityspatteri, jäähdytyspatteri tai LTO-patteri.
Rivisyys	Vierekkäisten kiertoputkien lukumäärä ilman kulkusuunnassa.
Siirtoaine	Patterin putkissa kiertävä neste. Esimerkiksi vesi tai etyyli glykoli.
Sivulevyt	Patterin kehysrakenteen osat, jotka tulevat lamellipakan ala- ja yläpintoja vasten. Joissain patterimalleissa sivulevyt jätetään pois.
Takapääty	Patterin pääty, johon asennetaan kiertoputkia yhdistävät käyrät. Takapäädyllä tarkoitetaan myös kehysrakenteen takaosaa.

Muut kuin taulukossa luetellut, harvemmin käytettävät käsitteet esitellään asiayhteyksissään.

2.2 Lamellipatterin rakenne

Lamellipattereiden koko, rakenne ja materiaalit vaihtelevat mitoituksen ja käyttötarkoituksen mukaan, mutta pääkomponentit ovat samat: kehysrakenne, lamellipakka, kierto-putket ja kokoojatukit. Kuvassa 1 on esitetty esittelykäyttöön valmistettu lamellipatteri.



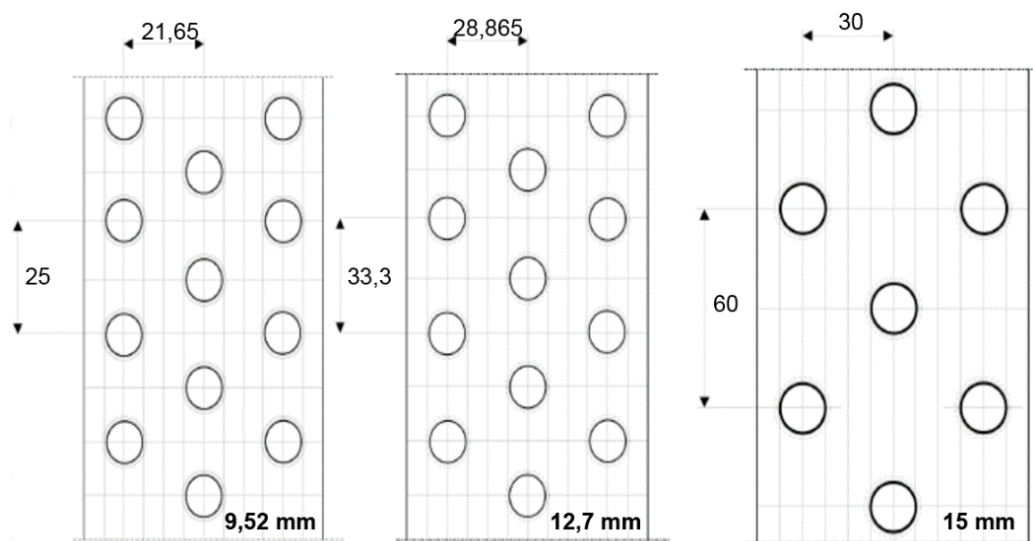
Kuva 1. Lamellipatteri ja sen pääkomponentit.

Kuvan 1 lamellipatterissa on teräskehys, alumiiniset lamellit ja kupariset kierto-putket ja kokoojatukit. Lämmityspattereiden kehykset valmistetaan pääasiassa yhden millimetrin vahvuisesta kuumasinkitystä teräslevystä. Käytössä on myös 1.5 mm vahvuista levyä, jota käytetään yli 1.5 m leveiden pattereiden sivulevyjen valmistamiseen kehysrakenteen jäykkyyden varmistamiseksi. Jäähdytyspattereissa käytetään 3 mm paksua alumiinia, koska se kestää paremmin kondensoituvan veden aiheuttamaa korroosiota. Nykyinen tippuvesiallasrakenne vaatii lisäksi tiiviit saumat, jotka tehdään alumiiniin hitsaamalla. Muita mahdollisia kehysmateriaaleja ovat kupari ja ruostumaton teräs [1]. Kehyksen tarkoitus on jäykistää patteri ja pitää se muodossaan [2].

Lamellit valmistetaan muottitaonnalla poikkileikkaukseltaan siniaallon muotoon 0.12 – 0.35 mm paksusta alumiinista tai kuparista [1]. Aaltoilevaa poikkileikkausta käytetään,

koska sen lämmönsiirto-ominaisuudet ovat parhaat annetulla pinta-alalla verrattuna muihin yleisiin geometrioihin [2]. Lamellipattereissa mahdollinen lamellijako on väliltä 1.6 – 7.5 mm riippuen käytettävästä putkikoosta [1]. Patterin tehon pysyessä samana, patterin otsapinnan kokoa voidaan pienentää tihentämällä lamellijakoa. Pieni lamellijako kuitenkin altistaa lamelleja likaantumiselle, joka heikentää lämmönsiirto-ominaisuuksia. [2] Tästä syystä esimerkiksi erityisen pölyisiksi tiedettyihin ympäristöihin toimitettavat lamellipatterit mitoitetaan normaalia suuremmalla lamellijaolla, jolloin patterin koko kasvaa, mutta likaantumisherkkyys laskee ja lamellipakan puhdistaminen helpottuu.

Lamelleissa on kaulustetut reiät kiertoputkia varten, joiden välit vaihtelevat kiertoputken halkaisijan mukaan. Kauluksen syvyydellä säädetään lamellijakoa [2]. Käytössä olevia kiertoputkia on kolmella eri halkaisijalla: 9,52 mm, 12,7 mm ja 15 mm. Lisäksi kiertoputkia on saatavilla eri seinämävahvuuksilla halkaisijan mukaan 0.3 millimetristä 0.7 millimetriin. Kuvassa 2 on esitetty eri kiertoputkien välit lamellissa.



Kuva 2. Lamellirakenteet 9,52 mm, 12,7 mm ja 15 mm kiertoputkella [1].

Kuvassa 2 mitat on ilmoitettu millimetreinä ja kiertoputken halkaisijat on merkitty kuvan alareunaan. Putkien järjestyksessä käytetään vuorottaista periaatetta, jossa joka toinen putkirivi on nostettu puolikkaan korkeussuuntaisen putkivälin verran ylöspäin. Toinen tapa olisi järjestää putkirivien putket samaan tasoon, mutta tällöin patterin lämmönsiirto-ominaisuudet heikkenevät. Ilmavirta vaikuttaa samassa tasossa oleviin putkiin vähemmän, mikä on kuitenkin etu paikoissa, joissa ilmavirran mukana liikkuu esimerkiksi kuluttavia partikkeleita. [2]

Kiertoputket kiinnitetään lamellin kaulukseen laajentamalla kupariputkea mekaanisesti. Laajennustyökalu kiinnittyy putken päihin ja työntää kupariputkeen laajennuskuulaa, joka on hieman putken sisähalkaisijaa suurempi. Laajentamalla valmistetuissa lamellipattereissa yleisin materiaalipari on kupariputki ja alumiinilamelli, koska molempia on helppo muokata ja niiden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät. Esimerkiksi teräksisillä putkilla ja lamelleilla tehty patteri vaatii 1,5 – 2,5 kertaisen ulkoisen lämmönsiirtopinta-alan kupariputki alumiinilamelli -yhdistelmään verrattuna. [3] Toinen mahdollinen laajennustapa on hydraulinen laajennus, jossa putkien sisään luodaan korkea paine, joka laajentaa putkea. Hydraulista laajennusta käytetään yhden kierron pattereissa.

2.3 Kokoojatukkien rakenne ja osat

Kokoojatukin rungon muodostaa kokoojaputki, johon muut osat kiinnitetään. Kuvassa 3 on esitetty kokoojaputki, johon on porattu paikat liitosputkille ja putkiyhteelle.



Kuva 3. Kokoojaputken aihio.

Kokoojaputket valmistetaan kupariputkesta, jonka halkaisija määräytyy mitoitettun putkiyhteen koon mukaan. Putkiyhteen koko ilmoitetaan DN mitan avulla, joka standardissa ISO 6708 määritellään aakkosnumeeriseksi vertailuarvoksi putkistokomponenttien ko'oilte [4]. Taulukossa 2 on esitetty tuotannossa käytettävien putkien ulkohalkaisijat, seinämänpaksuudet ja DN mitat.

Taulukko 2. Kokoojatukkien valmistuksessa käytettävät putkikoot.

Ulkohalkaisija (mm)	Seinämänpaksuus (mm)	DN
18	1,0	15
22	1,0	20
28	1,2	25
35	1,5	32
42	1,5	40
54	1,5	50
64	2,0	65
76,1	2,0	80
108	2,0	100

Käytettävät kupariputket on valmistettu standardin EN 1057 mukaan, jossa määritetään putkien halkaisijat ja seinämävahvuudet. Lisäksi siinä annetaan DN mitan laskemiseksi kaava: ulkohalkaisija – 2 x seinämänpaksuus [5].

Kokoojaputki yhdistetään patterissa kiertäviin putkiin liitosputkilla ja niiden tehtävä on siirtää nestettä patterissa kiertävien putkien ja kokoojatukin välillä. Liitosputket voivat olla suorina tai taivutettuja riippuen kokoojatukin asemonnista, rivisyydestä ja liitosputkireikien poraustavasta. Ne valmistetaan itse katkaisemalla ja taivuttamalla kupariputkesta. Kuvassa 4 on esitetty taivutettuja ja asentamattomia liitosputkia.



Kuva 4. Asentamattomia liitosputkia.

Liitosputkia valmistetaan varastoon suorina ja vakiokulmilla eri halkaisijoilla. Käytössä olevat halkaisijat ovat samat kuin patterissa kiertävillä putkilla.

Neste tuodaan kokoojaputkiin ja viedään pois kokoojaputkista putkiyhteiden kautta. Liitinten mukaan jaoteltuna käytössä olevia putkiyhteiden tyyppejä on neljä: sisäkierre, laippa, ulkokierre ja suora putki. Lisäksi sisäkierre voidaan toteuttaa kahdella eri tapaa. Kuvassa 5 on esitetty putkiyhteet sisäkierteellä.



Kuva 5. Putkiyhteet sisäkierteellä.

Putkiyhteet koostuvat kokoojaputkeen liitetystä yhdeputkesta, jonka halkaisija on sama kuin kokoojaputken, ja liitinosasta. Kuvassa 5 yhdeputkien päihin on liitetty hanamuhvit, jotka on tulpattu. Hanamuhvin toisessa päässä on liitospinta putkea varten ja toisessa päässä sisäkierre. Muhvin koko valitaan kokoojatukin koon mukaan. Taulukossa 3 on esitetty käytössä olevien hanamuhvien koot.

Taulukko 3. Käytössä olevien hanamuhvien koot [6].

DN	Koko
15	1/2" x 18
15	3/4" x 18
20	3/4" x 22
25	1" x 28
25	1 1/4" x 28
32	1 1/4" x 35
40	1 1/2" x 42
50	2" x 54

Taulukossa 3 on ilmoitettu kierre tuumakoossa ja hanamuhvin liitososan sisähalkaisija millimetreissä. Kaikkien tässä kappaleessa esitettyjen osien kokotaulukoiden lähteenä

on käytetty Merikarvian LVI-tuote Oy:n tuoteluetteloa [7], koska pääosa kokoojatukkien liitososista hankitaan kyseisestä yrityksestä.

Toinen tapa toteuttaa sisäkierrettyyppinen putkiyhde on käyttää kulmamuhvia. Sen toimintaperiaate on sama kuin hanamuhveilla, mutta muhvi kiinnitetään kokoojaputken päähän. Kuvassa 6 on esitetty kulmamuhvillinen kokoojatukki.



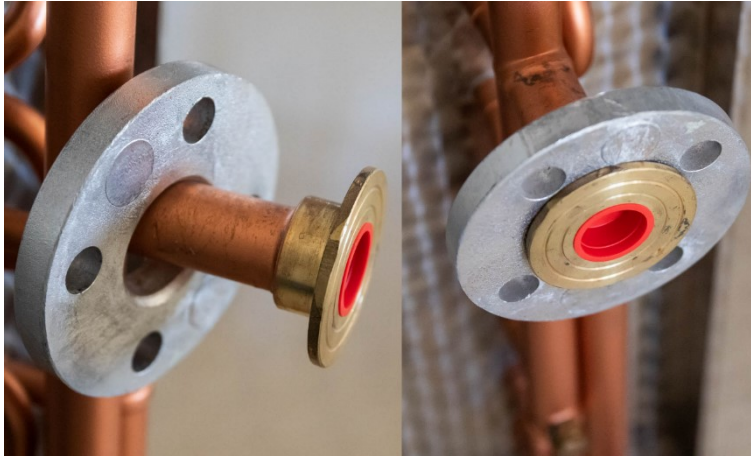
Kuva 6. Kulmamuhvillinen kokoojaputki.

Kulmamuhvin etuna muihin liitostapoihin nähden on nopeampi ja vähätöisempi asennus kokoojatukkia valmistaessa, koska kulmamuhvia varten kokoojaputkeen ei tarvitse tehdä erillistä reikää ja yhdeputkea. Kulmamuhveja on saatavilla kahta eri mallia, joista toisessa on paikka ¼" ilmaruuville ja toisessa ei [8]. Taulukossa 4 on esitetty käytössä olevien kulmamuhvien koot.

Taulukko 4. Käytössä olevien kulmamuhvien koot [8].

DN	Koko
25	1" x 28
32	1 ¼" x 35
40	1 ½" x 42
50	2" x 54

Taulukossa 4 on ilmoitettu kierre tuumakoossa ja kulmamuhvin liitososan sisähalkaisija millimetreissä. Mikäli putkiyhteeseen ei ole saatavissa oikean kokoista kierreliitintä tai asiakas niin haluaa, käytetään laippaliitosta. Kuvassa 7 on esitetty laipallinen putkiyhde.



Kuva 7. Putkiyhde laippaliitoksella.

Laippaliitos koostuu putkiyhteen putkeen kiinnitettävästä keskiöstä ja irtonaisesta laipasta. Kuvassa 7 keskiö on messinkiä ja laippa silumiinia. Laippaliitos on mahdollinen jokaiselle käytössä olevalle putkiyhteen DN koolle [9]. Toinen käytössä oleva laippamateriaali on teräs, jota käytetään, kun patterin paineluokka on yli PN10. Laippaliitos voidaan tehdä myös kierrelaipalla, joka on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kierrelaippa.

Kierrelaippaa käytettäessä yhdeputken päähän kiinnitetään ulkokierteellinen nippa, johon laippa kiinnittyy. Syynä kierrelaipan käyttöön on usein patterin asennus kotelon sisään, jolloin koteloon yhdettä varten tarvittava reikä on huomattavasti pienempi kuin kierteettömällä laipalla liitettäessä. Kierrelaiplat tilataan tarvittaessa ja niitä on saatavissa kaikille käytetyille kokoojaputkikoille. Laitteen paineluokka saattaa kuitenkin rajoittaa kierrelaippojen saatavuutta. [10]

Kolmannessa putkiyhdytyypissä putkiyhteen putken päähän kiinnitetään ulkokierteellinen nippa. Kuvassa 9 on esitetty ulkokierteellinen nippa.



Kuva 9. Ulkokierteellinen nippa.

Ulkokierteellisiä nippoja on saatavissa kaikkiin käytössä oleviin kokoojatukkien DN kokoihin. Taulukossa 5 on esitetty saatavissa olevat nipat.

Taulukko 5. Käytettävissä olevat nipat [11].

DN	Koko
15	1/2" x 18
15	3/4" x 18
20	1/2" x 22
20	3/4" x 22
20	1" x 22
25	3/4" x 28
25	1" x 28
32	1 1/4" x 35
40	1 1/2" x 42
50	2" x 54
65	2 1/2" x 64
80	3" x 76,1

Ulkokierrenipan koko valitaan putkiyhteen koon ja halutun kierteen mukaan.

Neljännessä putkiyhdytyypissä ei ole liitinosaa. Tällöin nestekiertojärjestelmään liittymistä varten kokoojaputkeen liitetään yhdeputki kuten esimerkiksi laippaliitoksessa,

mutta jätetään laippa ja keskiö asentamatta. Toinen tapa liittimettömän putkiyhteen asentamiseen on liittää yhde kokoojaputken päähän joko kuparisella kulmaosalla tai jii-riliitoksella.

Kokoojaputkien avoimet päät suljetaan kuparisilla päätypaloilla. Päätypalat valmistetaan alihankinnassa sinne toimitetusta kuparinauhasta. Päätypaloja on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Kokoojatukkien päätypaloja.

Päätypaloja on saatavissa jokaiselle kokoojaputkikoolle. DN 32 ja 65 ko'oissa yhtä kokoa pienempi päätypala juotetaan putken sisään alihankittavien osien määrän vähentämiseksi. V-mallisten nestejäähdyttimien kokoojatukeissa päätypalat toimivat kiinnityspaikkoina ¼" ilmaus- ja ½" tyhjennysruuvien muhveille. Lamellipattereissa ilmaus- ja tyhjennysruuvien muhvit asennetaan kokoojaputkeen. Kuvassa 11 on esitetty kokoojatukiin asennettu ilmausruuvi.



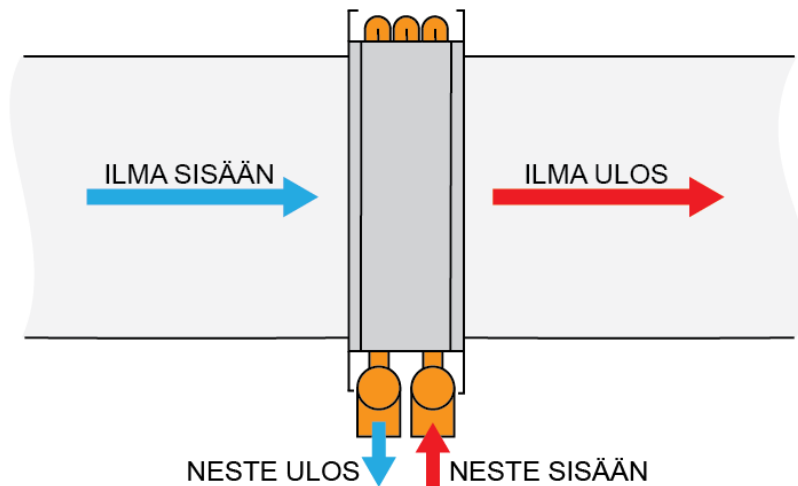
Kuva 11. Kokoojan yläpäähän ilmausta varten asennettu muhvi ja ruuvi.

Ilmausruuvi asennetaan ylimmäisen liitosputkireiän kohdalle ja tyhjennysruuvi asennetaan alimmaisen liitosputkireiän kohdalle. Nimiensä mukaisesti ilmaus- ja tyhjennysruuvit mahdollistavat patterin ilmauksen ja tyhjentämisen.

Lämmityspattereiden kokoojiin voidaan asentaa vielä yksi tai useampi ¼” kierteellä oleva muhvi jäätymissuoja-anturia varten. Sen tehtävä on mitata kierrosta palaavan nesteen lämpötilaa, jotta patterin jäätyminen pystytään estämään. Itse anturi asennetaan yleensä asiakkaan toimesta. Jäätymissuoja-anturin sijoittamisen kriteereitä käsitellään luvussa 3.

2.4 Lamellipatterin toiminta

Lamellipatteri on lämmönsiirrin, jolla siirretään lämpöenergiaa yleensä ilman ja nesteen välillä. Lamellipattereita käytetään muun muassa jäähdyttämiseen, lämmittämiseen ja lämmöntalteenottoon (LTO). [12] Kuhunkin käyttöön soveltuvat ja asiakkaan vaatimusten mukaiset patterit mitoitetaan ja valitaan tarkoitusta varten luodulla mitoitusohjelmalla [1]. Yleisesti lämmönsiirtimien toiminta perustuu lämpötilaerojen tasaantumiseen korkeammassa ja matalammassa lämpötilassa olevien pintojen ja fluidien välillä. Lamellipattereissa lämmön siirtyminen tapahtuu pakotetulla konvektiolla, jossa lämpö siirtyy liikkumaan laitetun ilman ja lämmönsiirtopinnan välillä. Lämmönsiirtopintana toimii ydin, joka on kosketuksissa molempien lämmönsiirrossa mukana olevien fluidien kanssa. Ytimestä voidaan erotella primäärinen ja sekundäärinen lämmönsiirtopinta. Primäärisen lämmönsiirtopinnan muodostaa pinta, joka erottaa ilman ja siirtoaineen toisistaan. Sekundäärisen lämmönsiirtopinnan tehtävä on lisätä lämmönsiirtopinta-alaa, pienentää lämpövastusta ja näin ollen lisätä lämmönsiirron määrää lämpötilan pysyessä vakiona. [12] Lamellipatterissa primäärinen lämmönsiirtopinta on kiertoputket ja sekundäärisen lämmönsiirtopinnan muodostavat lamellit. Kuvassa 12 on havainnollistettu siirtoaineen, joka on yleensä jokin neste, ja ilman virtausta ilmastointikanavaan asennetun lämmityspatterin tapauksessa.

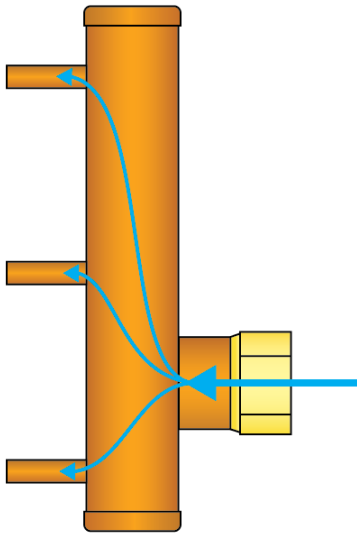


Kuva 12. Nesteen ja ilman virtauksen pääsuunnat kanavaan asennetussa lämmityspatterissa.

Kuvassa 12 lamellipatteri ja ilmastointikanava on kuvattu ylhäältäpäin. Nesteen ja ilman suuntia ja lämpötiloja on kuvattu värillisillä nuolilla: sininen tarkoittaa kylmää ja punainen lämmintä. Ilman virratessa vasemmalta oikealle, nesteen suunta on vastavirtaan oikealta vasemmalle. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaisesti nesteen ja ilman lämpötilaero pyrkii tasaantumaan, jolloin ulostuloilma on lämmennyt ja siirtoaine viilentynyt. Jäähdytyspattereissa prosessi tapahtuu luonnollisesti toisin päin. Jotta lämmönsiirto lamellipatterissa olisi mahdollisimman tehokasta, on otsapinnan läpi kulkevan virtauksen oltava tasalaatuinen. Epäonnistunut kokoojien suunnittelu, yhteiden paikat ja epätasaiset lamellivälit edesauttavat virtauksen jakautumista epätasaisesti. [2]

2.5 Kokoojatukkien toiminta

Lamellipattereissa kokoojatukkeja on yleensä kaksi: meno- ja paluukokoojatukki. Menokokoojatukin tarkoitus on jakaa patterille tuleva nestevirta kiertoputkiin pienemmiksi virtauksiksi, jotka kierron jälkeen yhdistetään takaisin suuremmaksi virtaukseksi paluukokoojatukissa. [13] Lamellipattereiden otsapinnan pituus ja korkeus ovat yleensä suuria verrattuna sen syvyyteen ja yhteiden kokoon. Tämä aiheuttaa sen, että sisään tuleva nestevirta on käännettävä kokoojatukissa. Käännökset puolestaan aiheuttavat painehäviötä ja virtauksen epätasaista jakautumista kiertoputkiin. Kokoojatukkien suunnittelussa tärkeintä onkin mahdollistaa virtauksen tasainen jakautuminen kiertoputkiin ja minimoida käännösten aiheuttama painehäviö. [2] Kuvassa 17 on esitetty yksinkertaistus kokoojatukkiin tulevan nesteen virtauksesta.



Kuva 13. Kokoojatukkiin sisään tulevan nesteen virtaus.

Kuvassa 13 yhteeltä tuleva virtaus haarautuu ja muuttaa suuntaansa kohti liitosputkia. Kokoojatukkien sisällä tapahtuvan virtauksen arviointi on tärkeää, koska lamellipattereiden mitoitus tehdään usein olettaen, että neste jakautuu tasaisesti eri kiertoputkiin ja virtaus otsapinnan läpi on tasaista. [14] [15] Oy Ekocoil:ssa lamellipattereiden mitoitusohjelma tuottaa patterin vaatiman nestevirran suuruuden, jonka mukaan kokoojatukin koko valitaan. Jokaiselle kokoojakoolle on määritetty maksimitilavuusvirta, joka kokoojatukkiin voidaan tuoda ilman, että painehäviö kokoojatukissa kasvaa liian suureksi. Mitoitusohjelman antamat kokoojatukkien koot on todettu toimiviksi mittaamalla valmistettujen patterien suorituskykyä käytännön testeissä.

2.6 Suunnitteluautomaatio

Suunnitteluautomaatiolla tarkoitetaan samaa kuin tuotteen konfiguroinnilla. Konfigurointi on prosessi, joka muuntaa lähtötiedot vaadittuun muotoon joko automaattisesti tai manuaalisesti. Tietojen muuntamisen suorittaa konfiguraattori, joka on suunnittelusäännöt sisältävä it-järjestelmä. Merkittävin syy automaattisen konfiguraattorin käyttöön on suunnittelukustannusten aleneminen. Kustannukset laskevat, koska suunnitteluun käytetty aika voi pudota tunneista sekunteihin. Lisäksi inhimilliset virheet vähenevät, koska samoista lähtöarvoista saadaan aina sama lopputulos. [16] Tässä työssä luotavasta konfiguraattorista käytetään nimitystä suunnitteluautomaatti. Suunnitteluautomaatille kohdistettuja vaatimuksia tuotettavien dokumenttien ja toiminnan automaation tason kannalta käsitellään luvussa 4.

Kaikki tuotteet eivät sovellu konfiguroitavaksi, sillä tuotteen toimitukseen on sisällyttävä tilauskohtaista suunnittelua. Tilauskohtaista suunnittelua ei tehdä tuotteille joiden tuotespesifikaatio on kiinteä ja joita valmistetaan yleensä suurina sarjoina. Konfiguroitavaksi soveltuvan tuotteen varianttien määrä täytyy olla mahdollisimman suuri, mutta myös rajattu. Jälkimmäinen ehto ei täyty usein yksittäiskappaleina valmistettavilla projektituotteilla, jotka suunnitellaan täysin asiakkaan tarpeen mukaan käyttäen ainoastaan aiempaa tietämystä teknologiasta. Tällöin varianttien määrä on ääretön. Konfiguroitavalle tuotteelle vaatimuksena on, että tuotevariantit voidaan valmistaa vakiintuneiden suunnittelusääntöjen perusteella. Variantteja ohjaavat muun muassa asiakkaiden vaatimukset, jotka voivat kohdistua koko tuotteeseen tai johonkin sen osaan. [16] Lamellipattereiden kokoojatukit soveltuvat hyvin konfiguroitaviksi, sillä erilaisia variaatiota on paljon ja niille on olemassa suunnittelusäännöt. Lamellipatterien varioituvuus on myös suurta tilausten välillä, sillä ne räätälöidään asiakkaan tarpeen mukaan.

Suunnitteluautomaatiota varten yritykselle on hankittu Solidworks ja DriveWorks Pro -lisenssit. Lisäksi tuotteisiin liittyvä data ja tilaukset säilötään *MySQL*-tietokantoihin. Solidworks on parametrinen 3D CAD suunnitteluohjelma, jolla luodaan suunnitteluautomaatiossa tarvittavat mallit ja piirustukset. DriveWorks Pro on Solidworks-ohjelmiston kanssa toimiva suunnitteluautomaatio-ohjelmisto, joka koostuu useammasta pienemmästä osasta, joilla on omat käyttötarkoituksensa [17]. Ohjelmista käytössä ovat *DriveWorks Administrator* ja *DriveWorks Autopilot*. Administrator-ohjelmaa käytetään muun muassa automatisoitavien mallien lähtötietojen määrittämiseen ja suunnittelusäännösten luomiseen. Autopilot on ohjelma, joka huolehtii mallien ja kuvien konfigurointiprosessin käynnistämisestä uuden tilauksen tullessa järjestelmään. Ohjelmistoja ja niiden toimintaa käsitellään tarkemmin luvussa 4, jossa kerrotaan suunnitteluautomaatin toteutuksesta.

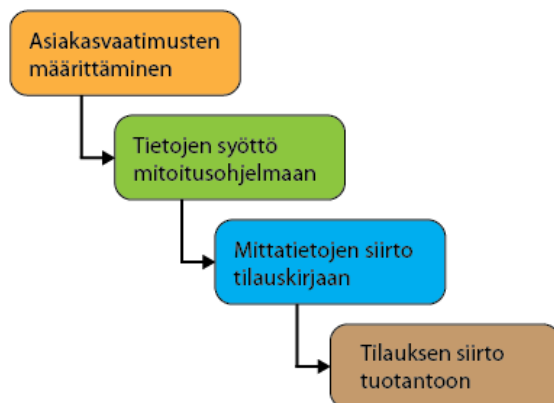
Yritykselle on aikaisemmin edellä mainittujen ohjelmistojen avulla luotu suunnitteluautomaatti, joka huolehtii lamellipattereiden kehysrakenteen ohutlevyosien suunnittelusta automaattisesti lähtötietojen perusteella. Automaatilla luodaan 3D-mallit ohutlevyosista ja kehysrakenteen kokoonpano, 2D-työkuvat ja -kokoonpanokuva osien kanttausta ja suunnittelun tarkistamista varten, aukilevityskuvat dxf-formaatissa levytyökeskukselle ja tilaustiedosto, jonka perusteella levytyökeskuksen ohjausohjelmisto lataa tilauksen osien kuvat ja suorittaa nestauksen. Automaatille on toteutettu myös web-käyttöliittymä, jolla voidaan muuttaa joidenkin patterimallien kehysrakenteen yksityiskohtia, mikäli asiakkaan vaatima patteri poikkeaa rakenteeltaan normaaleista käytännöistä. Käyttöliittymä on ainoastaan yrityksen sisäisessä käytössä.

3. KOKOOJATUKKIEIN TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILA

Tässä luvussa käsitellään lamellipattereiden tuotantoprosessia myynnistä valmiiseen tuotteeseen kokoojatukkien näkökulmasta. Kokoojatukkeja valmistetaan myös muihin tuotteisiin, kuten nestejäähdyttimiin, joissa etenkin kokoojatukkien suunnittelun ja valmistuksen osalta noudatetaan pitkälle samoja periaatteita. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain lamellipattereiden kokoojatukkeihin. Luvun sisältö on jaoteltu kolmeen osaan: myyntiin, suunnitteluun ja valmistukseen. Myyntivaiheessa esitellään mitoitusohjelmasta saatavia parametreja, myyjän mahdollisesti tekemiä muutoksia ja tyypillisimpiä asiakasvaatimuksia. Suunnitteluosiossa keskitytään sovittuihin vakioimitoihin ja parametrien vaikutuksiin kokoojatukkien rakenteeseen. Lopuksi esitellään valmistuksen työvaiheet ja niiden aiheuttamat rajoitteet kokoojatukkien suunnittelulle.

3.1 Myynti

Tuotantoprosessin myyntivaihe alkaa asiakkaalta tulevasta tarjouspyynnöstä ja loppuu, kun tilaus siirretään tuotantoon. Kuvassa 14 on esitetty karkea jako lamellipatteritarjouspyynnön vastaanottamisen jälkeisistä vaiheista.



Kuva 14. Myynnin vaiheet kokoojatukkien tuotantoprosessissa.

Myyjän tehtävä on määrittää asiakasvaatimukset. Riippuen asiakkaasta, ensimmäinen yhteydenotto voi sisältää lähes valmiin mitoituksen mittakuvineen tai vaihtoehtoisesti hyvin niukasti tietoa. Seuraavat parametrit ovat kuitenkin pakollisia lamellipattereiden mi-

toitusohjelman toiminnan kannalta: patterin tyyppi, siirtoaine, otsapinnan leveys, otsapinnan korkeus, ilmavirta, tulevan ilman lämpötila, lähtevän ilman lämpötila, tulevan nesteen lämpötila, lähtevän nesteen lämpötila ja lamellijako. Parametrien perusteella lasketaan patterin mitoitusarvot, joista kokoojatukkien kannalta olennaisimmat ovat patterin rivisyys, putkiyhteiden koko ja kiertojen lukumäärä.

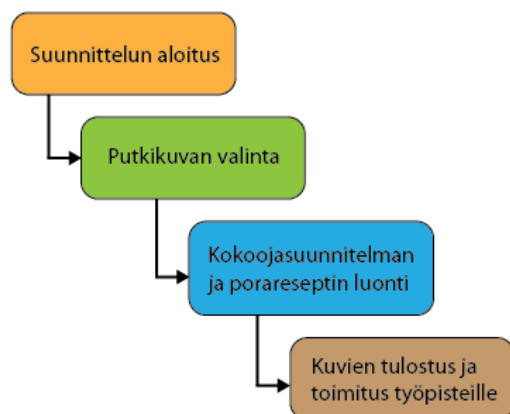
Muita kokoojatukkien rakenteeseen vaikuttavia mitoitusohjelman parametrejä ovat yhteen tyyppi ja jäätymissuoja-anturin muhvien lukumäärä. Näitä ei kuitenkaan lasketa ohjelmassa, vaan mitoitusohjelman käyttäjä täyttää kentät itse joko asiakasvaatimusten tai vakiintuneiden käytäntöjen mukaan. Jäätymissuoja-anturin muhveja valitaan lämmityspattereihin yksi kappale, jos patterin kätisyys on tiedossa ja kaksi, jos kätisyyttä ei tiedetä tai patterin halutaan olevan asennettavissa molemmin päin. Yhteen tyyppi määräytyy putkiyhteen koon mukaan. Normaalitytapauksissa DN 40 kokoon asti yhdetyyppinä käytetään kierremuhvia ja sitä suuremmissa ko'issa laippaliitosta.

Valmis mitoitus siirretään tilauskirjaan, jossa on vielä mahdollista tehdä muutoksia arvoihin ja lisätä mitoitusohjelman ulkopuolisia tietoja, kuten patterin kehysrakenteen mitat. Tilauskirjaan on mahdollista kirjoittaa myös sanallisia huomiota. Huomiolla viestitään tuotantoketjussa eteenpäin esimerkiksi olemassa olevista asiakkaan toimittamista mittakuvista, tai siitä että samanlainen patteri on tehty aikaisemmin jollain tilausnumerolla.

Huomiokenttään kirjataan myös tavallisimmat kokoojatukkeihin liittyvät asiakasvaatimukset, joiden suunnitteluun ja valmistamiseen on olemassa käytännöt. Tiettyjen asiakkaiden kohdalla esimerkki tällaisesta vaatimuksesta on yhteiden asennus ylöspäin. Usein kokoojatukkeihin kohdistuvat tarkat asiakasvaatimukset liittyvät tilanteisiin, joissa tilattava patteri korvaa olemassa olevan, jolloin yhteiden on oltava tietyissä kohdissa asennuksen helpottamiseksi tai tilanteisiin, joissa patterin on mahdollista ilmastointikoneen sisälle kokonaisuudessaan. Näissä tapauksissa asiakas toimittaa yleensä riittävän tarkat mittakuvat tai reunaehdot kokoojatukkien suunnittelua varten. Tilauskirjan täytön jälkeen tilaus siirretään tuotantoon, minkä jälkeen patteri ja kokoojatukit ovat valmiita suunniteltavaksi.

3.2 Suunnittelu

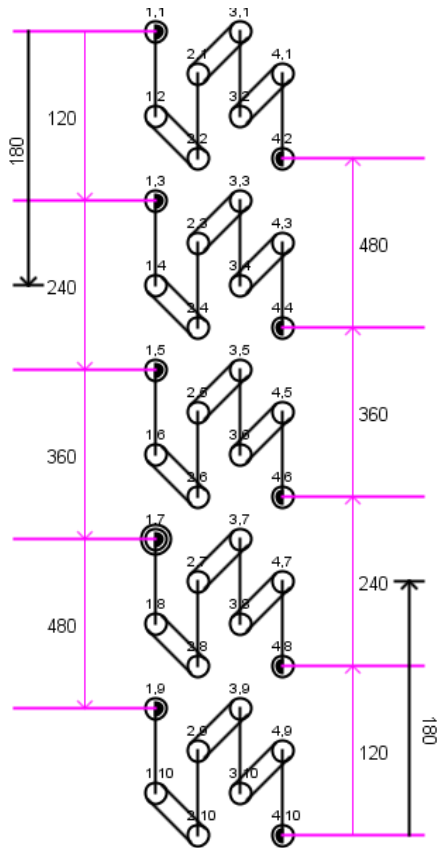
Tilauksen tuotantoon siirron jälkeen seuraava vaihe on tuotteen suunnittelu työmääräimen perusteella. Suunnitteluvaihe on suhteellisen suoraviivainen, sillä patterin suorituskykyyn vaikuttava mitoitus on jo tehty useimmissa tapauksissa myynnin toimesta mitoitusohjelmalla. Kuvassa 15 on esitetty kokoojatukkien suunnitteluprosessin vaiheet.



Kuva 15. Suunnittelijan suorittamat kokoojatukin suunnittelun vaiheet.

Lamellipatterin suunnittelu aloitetaan valitsemalla tilaus tuotannonhallinnasta ja käynnistämällä sen suunnittelu. Tällöin järjestelmä alkaa mittaamaan suunnitteluun käytettyä aikaa ja sen valmistumista, jolloin tilauksen etenemistä ja käytettyä työaikaa voidaan seurata. Kiertojärjestelyn ja kokoojaputkien lisäksi lamellipattereihin suunnitellaan kehysrakenne, jonka suunnittelu on automatisoitu suuressa osassa lamellipattereita. Kehysrakenteen suunnittelua ei käsitellä tässä työssä. Suunnittelun aloituksen jälkeen avataan työmääräin, joka on tuloste tilauskirjan tiedoista. Työmääräin sisältää patterin ja kokoojien suunnitteluun tarvittavat tiedot.

Varsinainen kokoojatukkien suunnittelutyö alkaa kiertojärjestelyn valinnalla. Lamellipattereiden mitoitusohjelma antaa kiertojen ja putkien lukumäärän ja patterin rivisyyden, joiden mukaan kiertojärjestely valitaan tai suunnitellaan. Kiertojen lukumäärä voi olla esimerkiksi 5x8, joka tarkoittaa viittä kahdeksan putkea pitkää kiertoa. Kiertojärjestelyn valintaan käytetään *ecCircuit Editor* -ohjelmaa, joka on kehitetty itse kyseistä tarkoitusta varten. Ohjelma sisältää laajan tietokannan aikaisemmin käytetyistä kiertojärjestelyistä, joista usein löytyy sopiva järjestely suunniteltavaan patteriin. Mikäli vaadittua kiertojärjestelyä ei aikaisemmin ole tehty, voidaan se suunnitella ohjelmalla. Kiertojärjestelyn valinnassa putkien ja kiertojen lukumäärän lisäksi täytyy huomioida kiertojärjestelyn tyhjentyvyys. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kierrot kulkevat patterissa koko ajan ylhäältä alaspäin. Tyhjentyviä kiertoja käytetään lämmitys- ja jäähdytyspattereissa, joissa siirtoaineena on vesi. Kuvassa 16 on esitetty *ecCircuit Editor* -ohjelmalla luotu putkikuva.



Kuva 16. 5x8 putkikuva ecCircuit Editor -ohjelmasta.

Kuvassa 16 on esitetty patterin kiertojärjestely etupäädyn suunnasta. Putkireikiä yhdistävät yksittäiset viivat kuvaavat käyriä takapäässä ja kaksoisviivat käyriä etupäässä. Kiertojärjestelyt vaikuttavat suoraan kokoojatukkien rakenteeseen, sillä liitosputkien paikat määräytyvät yksittäisten kiertojen alku- ja loppupisteistä. Liitosputkien paikat ja niiden välit on merkitty kuvaan värillisillä mittaviivoilla ja etäisyydellä ensimmäisestä porattavasta reiästä, joka on menokokoojassa alin ja paluukokoojassa ylin liitosputkireikä.

Normaalitapauksissa kuviin asetetaan myös putkiyhteiden paikat, jotka merkitään mustilla mittaviivoilla ja etäisyydellä ensimmäisestä porattavasta reiästä. Jos putkiyhteiden paikkaa ei ole määritetty asiakkaan toimesta, asetetaan se vakiintuneen käytännön mukaan jäähdytyspattereissa arvoon 120 – 150 mm. Lämmityspattereissa pyritään käyttämään kulmamuhvia, jolloin yhteiden paikat jätetään merkitsemättä kuvaan. Kulmamuhveja ei käytetä jäähdytyspattereissa siitä syystä, että patterin allasrakenne olisi usein alemman putkiyhteen edessä. Yllä olevassa kuvassa molempien yhteiden paikat ovat 180 mm ensimmäisistä porattavista rei'istä. Otsapinnan leveysuunnassa putkiyhteiden pituutena käytetään vakioarvoa 80 mm liitososan päästä kokoojaputkeen, ellei asiakas ole toisin määrittänyt.

Kiertojärjestelykuviin merkataan myös mahdollisten jäätymissuoja-antureiden muhvien paikat. Jäätymissuoja-anturin muhvi sijoitetaan paluukokoojan keskivaiheille putkiyhteen alapuolelle liitosputken kohdalle. Kiertojärjestelykuviissa muhvin kohdalla oleva liitosputki on ympyröity. Kuvassa 16 jäätymissuoja-anturin muhvi on merkitty ensimmäisen putkiriivin seitsemänteen putkeen. Oikeakätisissä pattereissa, kuten kuvassa 16, ensimmäinen putkirivi on vasemmalla ja vasenkätisissä pattereissa oikealla. Kun putkikuvaan on lisätty tarvittavat tiedot, liitetään se tilaukseen.

Kun putkikuva on liitetty tilaukseen, luodaan kokoojatukkien automaattista poraamista varten tiedosto, joka sisältää tiedon kokoojatukin koosta, porattavista liitosputkien rei'istä ja porauskulmista. Tiedostosta puhutaan nimellä poraresepti. Resepti luodaan samassa ecCircuit Editor -ohjelmassa, jolla putkikuva valittiin. Kuvassa 17 on esitetty porareseptin luomiseen tarkoitettu käyttöliittymä.

Kokoojan halkaisija mm

Liitosputken halkaisija mm

Kokooja 1

Putken pituus

1. reiän etäisyys kokoojan päästä

Yhteen etäisyys 1 mm

Yhteiden etäisyydet annetaan ensimmäisestä porattavasta reiästä

Kokooja 2

Putken pituus

1.reiän etäisyys kokoojan päästä

Yhteen etäisyys 2 mm

Sapluunakulma

Porauskulma 1

Porauskulma 2

Porauskulma 3

Putkipituus 1

Putkipituus 2

Taivutuskorkeus 1 mm

Taivutuskorkeus 2 mm

Reikien väli mm

Luotavien reseptien kätsisyys

Esikatselu (1)

	1	2	3
0	O		
120	O		
240	O		
360	O		
480	O		

```

kokoojan halkaisija mm;42;
liitosputken halkaisija mm;15.0;
putken pituus mm;;
yhteen 1 etäisyys;180;
sapluunakulma;42;
porauskulma 1;-15;
porauskulma 2;+20;
putkipituus 1;135;
putkipituus 2;159;
taivutuskorkeus 1;72;
taivutuskorkeus 2;41;
reikien väli;60.0;
katsisyys;oikea;
==== SEURAAVAT PORATAAN;
poraa;0;1;
poraa;120;1;
poraa;240;1;
poraa;360;1;
poraa;480;1;
LOPPU;
ensimmäisen reiän etäisyys;25;
porauskulma 3;+55;

```

Kuva 17. Käyttöliittymä porareseptin luomiseen.

Käyttöliittymä sisältää vasemmassa laidassa kentät sisään syötettäville tiedoille, keskellä ja oikeassa laidassa on esikatselut liitosputkien reikien paikoista ja luotavasta tiedostosta molemmille kokoojille. Kuvasta 17 oikeanpuoleinen esikatselu on rajattu pois, mutta se on ulkoasultaan identtinen kuvassa näkyvän kanssa.

Ensimmäiseksi valitaan kokoojatukkien halkaisija, jonka perusteella suurin osa kentistä täyttyy automaattisesti. Kaikkia kenttiä on mahdollista muuttaa paitsi reikien väliä, joka määräytyy putkikoosta. Kokoojatukien pituuden määrittämiseen on vakiintunut käytäntö. Pituus saadaan, kun lisätään ylimmän ja alimman liitosputken välimatkaan 50 mm. Esimerkiksi kuvassa 16 esitetyn kiertojärjestelyn molempien kokoojatukien pituudeksi asetettiin 530 mm. Sapluna- ja porauskulmat määräytyvät kokoojatukin halkaisijasta. Kulmat ovat samat DN 80 kokoojatukkiin asti ja pienenevät hieman koossa DN 100. Porauskulmia ei normaalisti muuteta reseptiä luotaessa. Porauskulmat vaikuttavat kokoojatukien liitosputkien taivutuskulmiin.

Porareseptin tallennuksen jälkeen tulostetaan kokoojatukien valmistuspaikalle toimitettava dokumentti, joka sisältää kuvan 16 mukaisen kiertojärjestelykuvan ja taulukossa 6 esitetyt tiedot. Taulukon vasemmassa sarakkeessa on kirjattu tietojen otsikot ja oikeassa lyhyt selitys tiedon sisällöstä.

Taulukko 6. Kokoojatukkien valmistusdokumentin tiedot.

Tieto	Selite
Pvm	Valmistusdokumentin tulostuspäivämäärä
Toimitusviikko	Tilauksen toimitusviikko
Työmääräin	Patterin työmääräin
Työno	Patterin tilausnumero
Rivinro	Patterin tilausrivinumero
Patterityyppi	esim. LÄMM, eli lämmityspatteri
Kpl	Pattereiden lukumäärä
Asiakas	Asiakkaan nimi
Koje	Kojeen tunnus
Tyyppi	Patterin tyypin tunnus
Otsapinta	Otsapinnan mitat, leveys x korkeus esim. 800.0 x 600.0
Ulkomitat	Kehyksen mitat, leveys x korkeus x syvyys esim. 800.0 x 700.0 x 120.0
Rivisyys	Patterin rivisyys, esim. 2
Lamellijako	Patterin lamellijako esim. 2.5
Kierrot	Kiertojen lukumäärä esim. 5x8
Putkiyhde	Putkiyhteen koko ja tyyppi, esim. 32K
Käyrien lukumäärä	Kuparikäyrien lukumäärä esim. 15x43 mm
Kätisyys	Patterin kätisyys esim. vasen
Putkikoko	Patterin putkikoko esim. 15.0
Tyhjennysilmaus	Tieto asennetaanko tyhjennyksen ja ilmauksen muhvit, on tai ei
Jäätymissuoja	Tieto asennetaanko jäätymissuojamuhvi, on tai ei
Allas	Tieto onko patterissa tippuvesiallas, on tai ei

Normaalitapauksissa taulukon 6 ja kiertojärjestelykuvan tiedot riittävät kokoojatukkien valmistamiseen. Mikäli kokoojatukkeihin on kohdistettu asiakkaan toimesta erikoisempia vaatimuksia, kuten esimerkiksi putkiyhteiden asentaminen ilmavirran suuntaisesti, kirjoitetaan se huomioksi valmistusdokumenttiin. Varsinaisia valmistuskuvia mittoineen ei tuoteta kokoojatukkien valmistusta varten, mutta esimerkiksi tapauksissa, joissa patterilla korvataan olemassa oleva vanha patteri, suunnittelija luonnostelee valmistusdokumentin alareunaan kokoojatukkien mitat asiakkaan kuvien perusteella.

3.3 Valmistus

Ensimmäinen tehtävä kokoojatukkien valmistuspaikalla on kokoojatukin rakenteen ja mittojen määrittäminen valmistusdokumentista. Jos suunnittelija ei ole toimittanut piirustuksia tai lisännyt huomioita valmistusdokumenttiin, seurataan valmistuksessa vakiintuneita käytäntöjä. Esimerkki tällaisesta käytännöstä on edellisessä luvussa esitelty kokoojaputken pituuden määräytyminen. Käytännöt ovat loogisia ja perusteltavissa kokoojatukin toiminnalla tai valmistuksen rajoitteilla, mutta niiden dokumentointi on puutteellista.

Varsinainen kokoojatukin valmistus alkaa kokoojaputken sahaamisesta. Putken sahausmitta vaihtelee ylimmän ja alimman liitosputkireiän etäisyyden ja käytettävän putkiyhteen mukaan. Kulmamuhvia käytettäessä sahausmitta määräytyy taulukon 7 mukaan.

Taulukko 7. Kokoojaputken sahausmitat kulmamuhvia käytettäessä.

Putken halkaisija (mm)	Vähennys (mm)
28	2
35	4
42	7
54	5

Taulukon 7 vasemmassa sarakkeessa on ilmoitettu kokoojaputken DN-koko ja oikeassa sarakkeessa sitä vastaava mitan vähennys. Lopullinen kokoojaputken sahausmitta saadaan vähentämällä taulukossa ilmoitettu arvo ylimmän ja alimman liitosputkireiän etäisyydestä. Kokoojaputkesta sahataan lyhyempi kuin ylimmän ja alimman liitosputken väli, koska ylin liitosputki porataan kulmamuhvin keskelle. Kulmamuhviin liitetty liitosputki on nähtävissä kuvassa 6.

Seuraavaksi kokoojaputkeen porataan reiät liitosputkia, jäätymissuoja-, ilmaus- ja tyhjennysmuhveja ja putkiyhdeä varten. Poraus aloitetaan liitosputkireikien teosta, joka voidaan suorittaa automaattiporalla. Automaattiporaa ohjaa poraresepti, joka on luotu suunnitteluvaiheessa. Myös jäätymissuoja-, tyhjennys- ja ilmausmuhvien reiät olisivat porattavissa automaattiporalla, mutta näiden reikien paikkoja ei ole vielä määritelty porareseptiin. Reseptiin on mahdollista tehdä muutoksia kokoojatukkien valmistuspaikalla, jos sille on tarvetta. Tyypillisimmät muutokset koskevat porauskulmia tai lähtöreian paikkaa. Muutoksia tehdään yleensä pienirivisissä pattereissa, joissa on halkaisijaltaan suu-

ret kokoojat. Tällöin kokoojatukit eivät mahdu rinnakkain normaalilla asettelutavalla, jolloin toista joudutaan viemään hieman sivuun. Sivuun vieminen tapahtuu liitosputkien kulkua ja pituuksia muuttamalla, mikä vaikuttaa porauskulmiin. Kahden kokoojatukin väliin on jätävä minimissään noin 25 mm tilaa, jotta kokoojat mahdutaan juottamaan kierto-putkiin kiinni. Sivuun viemisen suunnittelevat työntekijät kokoojatukkien valmistuspaikalla.

Liitosputkien reiät voidaan porata myös manuaalisesti, jolloin putkiyhteen reikä porataan ensimmäisenä putken kiinnittämisen ja asemoinnin helpottamiseksi. Liitosputkien reikien manuaalista porausta käytetään pienissä kokoojatukeissa, joissa reikiä on vähän. Syyinä tähän on automaattiporan asetusajan pituus verrattuna manuaalisen porauksen viemään aikaan. Manuaaliporausta käytetään myös putkiyhteiden, jäätymissuoja-, ilmaus- ja tyhjennysmuhvien reikien poraamiseen. Putkiyhteiden reiät kaulustetaan putkiyhteiden juottamista varten. Kaulustettu putkiyhteen reikä on esitetty kuvassa 3.

Reikien porauksen jälkeen sahataan putkiyhteiden putket. Putken sahauspituus määräytyy putkiyhteen tyyppin ja halkaisijan mukaan. Sahauspituudet ovat taulukoituna kokoojatukkien valmistuspaikan sahauspisteellä. Arvot on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Putkiyhteiden putkien sahauspituudet.

Putkiyhteen tyyppi	Putken halkaisija (mm)	Sahausmitta (mm)
Laippa	108	110
Laippa	76	102
Laippa	65	92
Laippa	50	86
Laippa	42	84
Laippa	35	79
Laippa	28	79
Muhvi	50	86
Muhvi	42	65
Muhvi	35	64
Muhvi	28	69

Sahausmitat on määritetty siten, että asennettuna putkiyhteen pään ja kokoojaputken välinen etäisyys on 80 mm. Mikäli etäisyyden tulee olla jotain muuta, lasketaan sahausmitta taulukon avulla.

Osien valmistamisen jälkeen viimeinen vaihe on juottaminen. Juottamalla kokoojaputkiin kiinnitetään päätypalat, putkiyhde, ilmaus- ja tyhjennysmuhvit ja liitosputket. Juotteen hopeapitoisuus tarkistetaan valmistusdokumentista, jos suunnittelija on sen siihen kirjoittanut.

3.4 Suunnittelun ja valmistuksen nykytilan tulkinta

Suunnittelu- ja valmistusvaihe mallinnettiin virtausmallin avulla, jotta niiden nykytilasta saataisiin oikea käsitys. Yleiskuva virtausmallista on esitetty liitteessä A. Virtausmallin periaatteena on kirjata siihen tuotoksia, kuten esimerkiksi valmistusdokumentti, joka yhdistetään viivoilla tuotoksiin, joiden täytyy olla valmiina ennen tätä.

Kuvassa vasemmalla ylhäällä poikittaisen viivan yläpuolella oleva harmaiden laatikoiden rykelmä kuvaa suunnitteluvaihetta ja alhaalla oikealla oleva kuvaa valmistusvaihetta. Lisäksi punaisilla laatikoilla malliin on lisätty tietoa suunnittelusäännöistä, lamellipatterin ja kokoojien toiminnasta sekä valmistustekniikasta. Punaiset laatikot sisältävät esimerkiksi tuotoksia: tieto putkiyhteen vakiopituudesta, tyhjennysruuvin paikka ja tieto DN- ja mm-mitan välisestä yhteydestä.

Yleiskuvaa tarkastelemalla huomataan, että punaisia laatikoita on yhdistetty valmistusvaiheen tuotoksiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kokoojatukkeja ei voida valmistaa ilman, että valmistuksen työntekijät tietävät suunnittelusääntöjä. Esimerkiksi kulmamuhvin käyttö päätellään siitä, että yhteen tyyppi on sisäkierre ja putkikuvaan ei ole merkattu yhteiden paikkoja. Suunnittelun ja valmistuksen aikana mietitään myös samoja asioita useaan kertaan. Esimerkiksi kokoojaputken pituus määritetään ensin porareseptiä luotaessa, mutta mitta ei ole näkyvässä valmistusdokumentissa, joten pituus määritetään uudestaan valmistusvaiheessa putkikuvan avulla. Kokoojatukkien lopullinen rakenne määräytyy siis valmistuksen aikana, mutta tämä ei ole nykytilanteessa valmistuksen sujuvuuden kannalta ongelma. Syy tähän on nykyisten työntekijöiden pitkä kokemus kokoojatukkien valmistuksesta. Ongelmia valmistuksen sujuvuudessa saattaa ilmetä lähitulevaisuudessa valmistuksen työntekijöiden eläköityessä.

Suunnittelun tarve valmistuksen aikana on suuri, koska nykyisessä valmistusdokumentissa ei ole kaikkia tarvittavia tietoja suoraan luettavassa muodossa, vaan tietoja täytyy johtaa suunnittelusääntöjen avulla. Syy ratkaisuun käyttää vain minim tiedot sisältävää valmistusdokumenttia on kokoojatukkien täydellisten valmistuskuvien piirtämiseen kuluva aika ja sitä kautta kustannukset. Kirjoittajan omiin kokemuksiin pohjautuen, yhden

tilauksen kokoojatukkien suunnittelu ja täydellisten valmistuskuvien tuottaminen manuaalisesti nykyaikaisilla menetelmillä osaavalta suunnittelijalta veisi keskimäärin noin 15 – 30 minuuttia riippuen esimerkiksi kokoojatukin koosta ja asiakasvaatimusten määrästä. Arvio pätee tilanteessa, jossa on valmiiksi luotu hyvin organisoidut osakirjastot, putkiyhdeydyntyyppien mukaiset kokoonpanojen pääkonfiguraatiot ja valmistuskuvapohjat. Käytännössä tämä tarkoittaisi erillisen henkilön palkkaamista kokoojatukkien suunnittelua varten.

4. SUUNNITTELUAUTOMAATION TOTEUTUS

Tässä luvussa esitellään suunnitteluautomaatin toteutus. Alussa määritetään taustatutkimukseen perustuvat automaatille kohdistetut vaatimukset automaation tason ja tuotettavien dokumenttien kannalta. Tämän jälkeen selvitetään lähtötiedot, jotka ovat tarvitaan kokoojatukkien automaattiseen suunnitteluun, missä vaiheessa tuotantoprosessia ne ovat saatavilla ja aiheuttaako tiedon tarve muutoksia tuotantoprosessiin. Luvun loppupuolella käsitellään suunnitteluautomaatin ohjelmistokomponenttien käytännön toteutusta ja esitellään niiden toiminta osana automaattia. Ohjelmistokomponentit esitellään niiden toteuttamisjärjestyksessä.

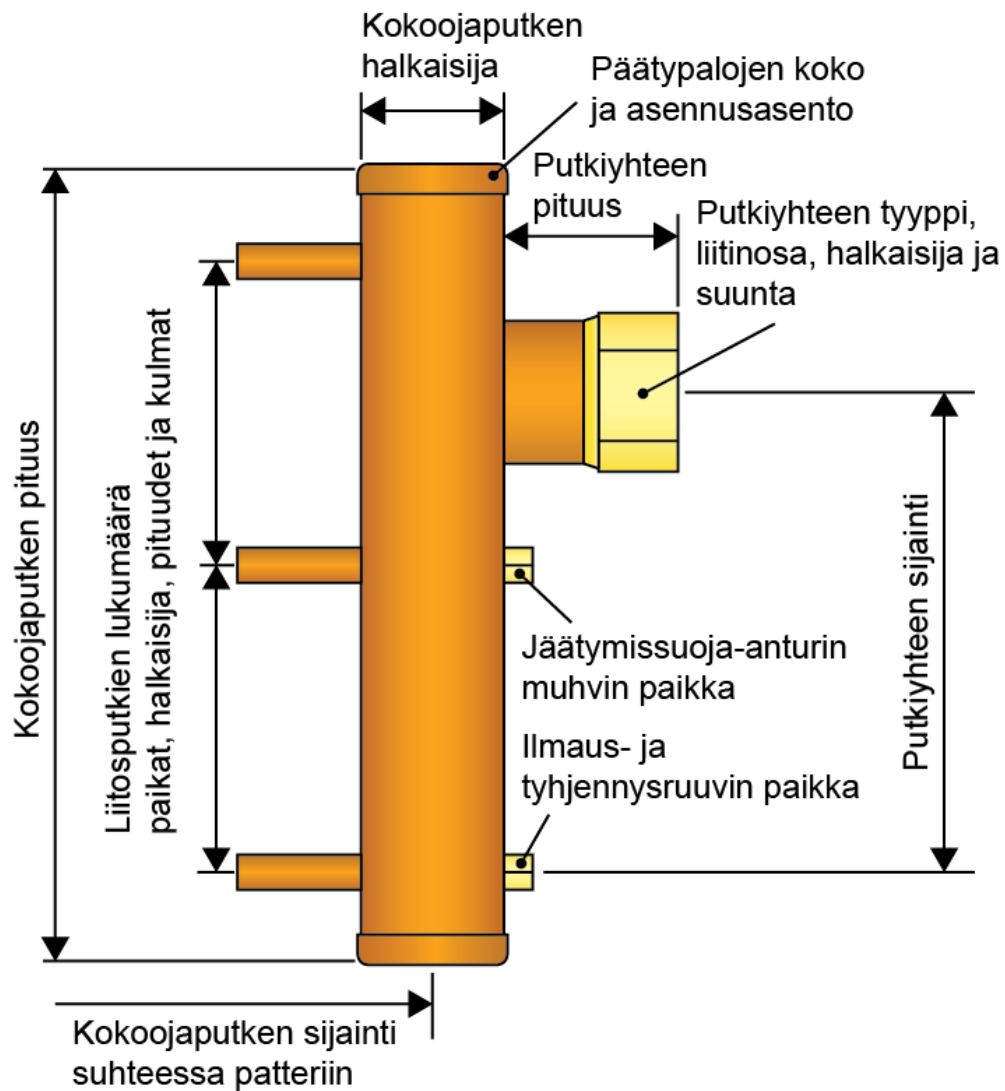
4.1 Vaatimukset suunnitteluautomaatiolle

Suunnitteluautomaatin tarkoitus on lyhentää kokoojatukkien suunnitteluun ja valmistukseen käytettävää aikaa. Käytännössä tämä tarkoittaa kokoojatukkien suunnitteluvaiheen korvaamista kokonaan automaatiolla aina kun se on mahdollista ja tarkkojen valmistuskuvien tuottamista. Suunnitteluautomaatin on tuotettava kokoojatukin itse valmistettavien osien mittakuvat, kokoonpanokuva ja lista tarvittavista osista. Osalistasta on käytävä ilmi osien nimet ja niiden kappalemäärät. Valmistuskuvat siirtävät vastuun kokoojatukin lopullisesta rakenteesta pois valmistusvaiheesta ja lyhentävät työvaiheisiin ja niiden suunnitteluun käytettyä aikaa. Täysin automaattisen kokoojatukkien suunnittelun lisäksi suunnitteluautomaattiin on luotava konfigurointikäyttöliittymä, jolla tyypillisimmät erikoistapaukset saadaan suunniteltua nopeasti. Näitä erikoistapauksia ovat asiakkaan määrittelemät putkiyhteiden suunnat, pituudet ja sijainnit.

Suunnitteluautomaatti on toteutettava siten, että se toimii rinnakkain olemassa olevien levyrakenneautomaattien kanssa ja käyttää lähtötietoinaan nykyisin käytössä olevaa mitoitusohjelmien ja tilauskirjan dataa. Toteutuksessa on myös pyrittävä minimoimaan tuotantoprosessiin aiheutettava lisätyö.

4.2 Tarvittavat lähtötiedot

Suunnitteluautomaatiota varten kokoojatukista on määritettävä ominaisuudet, joita muuttamalla saadaan luotua kokoojatukin kaikki erilaiset variantit. Nämä ominaisuudet on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Kokoojatukin rakenteen määrittävät ominaisuudet.

Osalle ominaisuuksista saadaan lukuarvo kohtuullisen suoraan tilauskirjasta, mitoitusohjelmasta tai kiertojärjestelystä. Esimerkiksi liitosputkien halkaisija on sama kuin patterin putkikoko tai kokoojaputken pituus saadaan kiertojärjestelystä lisäämällä 50 mm ylimmän ja alimman putkireiän etäisyyteen. Taulukossa 9 on esitetty riveittäin ominaisuus ja lähtötieto, josta se on johdettavissa.

Taulukko 9. Kokoojatukin rakenteen määrittävät ominaisuudet ja niitä vastaavat lähtötiedot.

Ominaisuus	Lähtötieto
Ilmausruuvin muhvin paikka	Kiertojärjestely
Jäätymissuoja-anturin muhvin paikka	Kiertojärjestely
Kokoojaputken pituus	Kiertojärjestely
Liitosputkien lukumäärä	Kiertojärjestely
Liitosputkireikien paikat	Kiertojärjestely
Tyhjennysruuvin muhvin paikka	Kiertojärjestely
Putkiyhteen sijainti	Kiertokuva
Liitosputkien halkaisija	Patterin putkikoko
Kokoojaputken halkaisija	Putkiyhteen DN-koko
Päätypalojen asennusasento	Putkiyhteen DN-koko
Päätypalojen koko	Putkiyhteen DN-koko
Putkiyhteen halkaisija	Putkiyhteen DN-koko
Putkiyhteen tyyppi	Putkiyhteen tyyppi
Kokoojaputken sijainti	Suunnittelusääntö
Liitosputkien kulmat	Suunnittelusääntö
Liitosputkien pituus	Suunnittelusääntö
Putkiyhteen liitinosa	Suunnittelusääntö
Putkiyhteen pituus	Suunnittelusääntö
Putkiyhteen suunta	Suunnittelusääntö

Ominaisuuksille, joiden lähtötiedoksi on kirjattu suunnittelusääntö, ei ole olemassa yhtä selkeää lähtötietoa. Nämä ominaisuudet määräytyvät sovittujen vakioarvojen ja sääntöjen perusteella. Vakioarvoista voidaan poiketa esimerkiksi asiakasvaatimuksista johtuen. Kokoojaputken sijaintiin vaikuttavat liitosputkien pituus ja se, että yksi liitosputkiriveistä pidetään suorana. Liitosputken minimipituus määräytyy kiertoputkia yhdistävän kupari-käyrän koosta, jotta kokoojatukki mahdutaan asentamaan. Liitosputkien kulmat ovat vakioita ja riippuvaisia kokoojaputken halkaisijasta. Putkiyhteen liitinosa määräytyy luvuissa 2.3 ja 3.2 esiteltyjen sääntöjen mukaan. Putkiyhteen pituudelle ja suunnalle on vakioarvot ja putkiyhteen sijainti määritetään kiertojärjestelyn valinnan yhteydessä kiertokuvaan.

Taulukosta nähdään, mitkä lähtötiedot on oltava tilauksessa, jotta sen kokoojatukin rakenne voidaan suunnitella automaattilla. Tilauskirjasta saatavien patterin putkikoon, putkiyhteen DN-koon ja putkiyhteen tyyppin lisäksi tarvitaan kiertojärjestely ja putkiyhteiden sijainti, jotka suunnittelija valitsee.

4.3 Suunnitteluautomaatin aiheuttamat muutokset tuotantoprosessiin

Jotta suunnitteluautomaatiolla saavutetaan kaikki sille asetetut vaatimukset, tuotantoprosessia on muokattava. Täysin automaattisesti toimivaa suunnitteluautomaattia varten kaikki tarvittavat lähtötiedot ovat jo olemassa. Osa tiedoista täytyy kuitenkin liittää tilaukseen nykyistä aikaisemmassa vaiheessa tuotantoprosessia ja spesifimmässä muodossa. Käytännössä tämä näkyy tilauskirjassa, johon lisätään kenttiä kokoojatukkeihin liittyvien tietojen sisään syöttämiseksi. Lisättäviä kenttiä ovat putkiyhteiden sijainnit ja liitososan tyyppi nykyistä tarkemmin. Myyntivaiheessa tehtävän työn määrä lisääntyy hieman, mutta se on välttämätöntä suunnitteluautomaation toiminnan kannalta.

Tavoitteena on se, että automaatti voi tuottaa vaaditut dokumentit heti, kun tilaukseen on liitetty kiertojärjestely. Nykytilanteessa tämä tarkoittaa sitä, että suunnitteluvaiheeseen jäisi ainoastaan kiertojärjestelyn valinta. Tämänkin vaiheen automatisointia on kuitenkin jo suunniteltu, joten tulevaisuudessa suunnitteluvaihe voitaneen jättää normaali-rakenteisten kokoojatukkien osalta kokonaan pois. Asiakasvaatimusten takia vakiomitoista poikkeavien kokoojatukkien suunnittelua pyritään nopeuttamaan ja helpottamaan konfiguraatiokäyttöliittymällä, jonka käyttäminen tapahtuu suunnitteluvaiheessa.

Automaatin käyttöönotto ei varsinaisesti aiheuta muutostarvetta valmistusprosessiin. Automaatin tuottamat kuvat on kuitenkin toimitettava jollain tavalla kokoojatukkien valmistuspaikalle. Dokumenttien määrän kasvaessa tulostaminen ei välttämättä ole enää järkevin vaihtoehto, vaan työkuvioiden sähköistä jakamista tulisi miettiä. Tämä tarkoittaisi muutamien tietokoneiden ja näyttöjen hankkimista työpisteille ja niiden sijoittelua siten, että niiden katsominen ja käyttö olisi mahdollista työvaihetta suorittaessa.

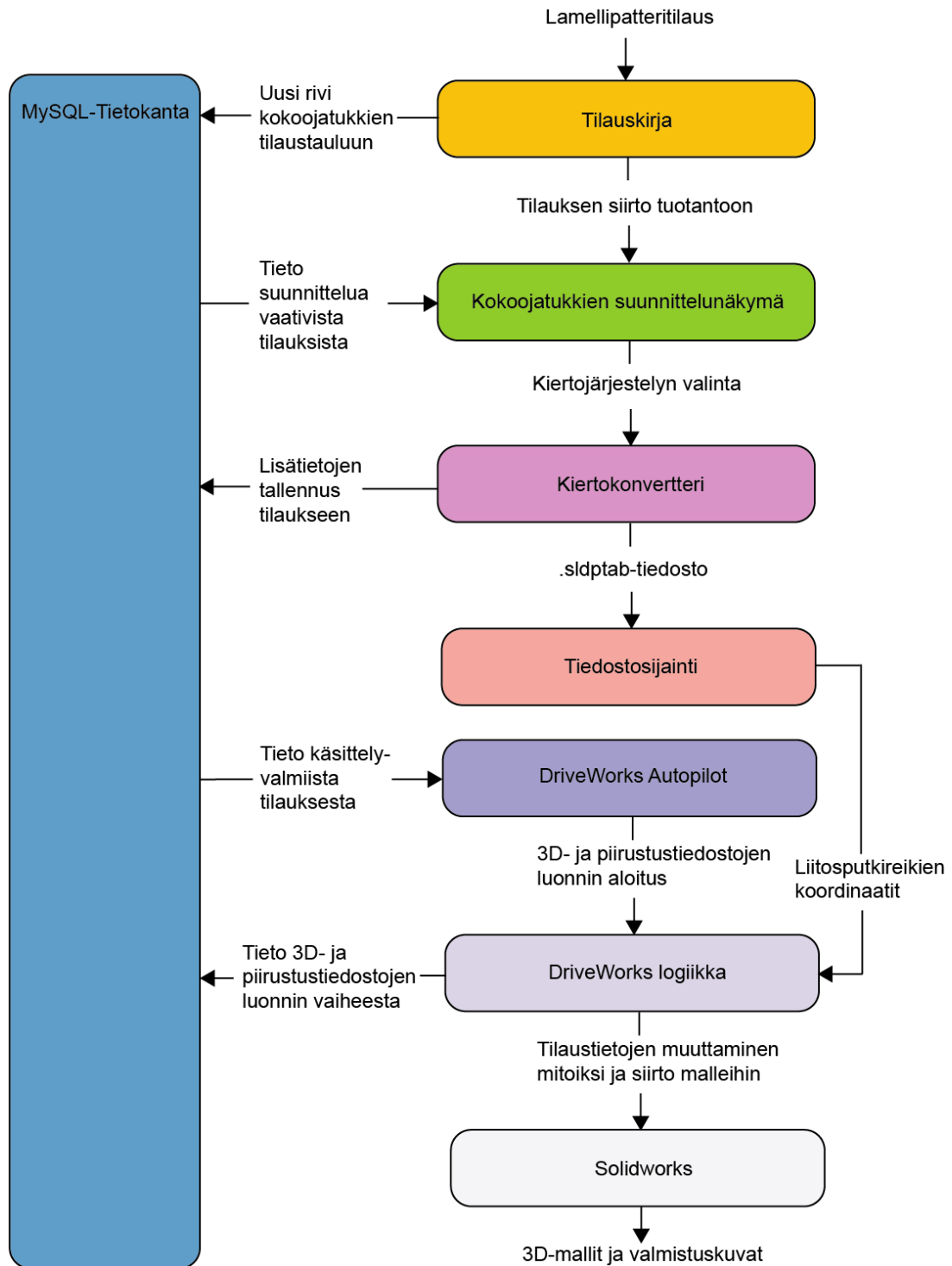
4.4 Suunnitteluautomaatin toiminnan kuvaus

Suunnitteluautomaatti koostuu useammasta eri ohjelmistokomponentista. Näitä ovat 3D-mallien ja piirustusten luomiseen käytettävä Solidworks, suunnittelulogiikan rakentami-

seen ja Solidworksin automaattiseen käyttöön tarkoitettu DriveWorks, kiertotiedon Solidworksille oikeaan muotoon muuttava kiertokonvertteri ja käyttöliittymä, jolla muokataan normaalirakenteesta poikkeavia kokoojatukkeja ennen työkuviin luomista. Lisäksi käytössä on SQL-tietokanta, josta haetaan muun muassa kiertojärjestelytiedot ja kokoojatukkiin tilaukset.

Pääperiaatteeltaan suunnitteluautomaatti toimii seuraavasti: Lamellipatteritilauksesta tallennetaan tarvittava data *dw_tilauksen_kokooja* -nimiseen tietokantatauluun, jota kutsutaan kokoojatukkiin tilaustauluksi. Kun tilaustauluun tallennetaan uusi tilaus, DriveWorks Autopilot käynnistää 3D-tiedostojen ja työkuviin luonnin siirtämällä tilaustaulun datan DriveWorks Administratorilla luodun suunnittelulogiikan käsiteltäväksi. Tämän jälkeen DriveWorks siirtää lähtödatasta mitoituksi muutetut tiedot Solidworksilla luotuihin malleihin, jotka tallennetaan lopuksi paikkaan, jossa ne ovat tuotannonhallintajärjestelmän saatavilla.

Todellisuudessa tilauksen käsittely ei ole aivan yhtä suoraviivaista, sillä lopullinen tilaustaulun rivi muodostuu useamman eri ohjelmistokomponentin tuotoksista. Kuvassa 19 on esitetty kaavio, joka käsittelee suunnitteluautomaatiojärjestelmän toimintaa.



Kuva 19. Suunnitteluautomaattijärjestelmän toiminta.

Kuvan 19 kaaviossa järjestelmän toiminta on esitetty kronologisesti ylhäältä alaspäin. Aluksi lamellipatteritilaukset lisätään tuotannonhallintajärjestelmään tilauskirjan kautta. Valmis tilaus siirretään tuotantoon, jonka yhteydessä kokoojatukkien tilaustauluun kirjoitetaan uusi rivi jokaista tilauksen patteria kohden. Tilaus tulee myös näkyviin suunnitte-

lijan näkymään, jossa valitaan patterin kiertojärjestely. Valittu kiertojärjestely tallennetaan järjestelmään ja tieto kiertojärjestelyn olemassaolosta kirjoitetaan kokoojatukkien tilaustauluun. Kiertojärjestelyn valinnan jälkeen järjestelmä käynnistää kiertokonvertterin ajon. Konvertteri hakee käsittelemättömät tilaukset kokoojatukkien tilaustaulusta ja porattavien reikien paikat porauslista API:lta. Tämän jälkeen konvertteri tallentaa slcptab-tiedostopäätteisen taulukon reikien paikoista tiedostosijaintiin, josta se voidaan lukea DriveWorksilla myöhemmin. Lisäksi konvertteri kirjoittaa kokoojatukkien tilaustauluun kiertojärjestelyyn liittyvää dataa. Kiertokonvertterin ajon päättymisen jälkeen tilaus on valmis työkuvien luomista varten. Suunnittelijalla on kuitenkin mahdollisuus avata kokoojatukkien muokkauskäyttöliittymä, jolla voidaan suunnitella normaalista poikkeavia rakenteita. Käyttöliittymä lukee käsiteltävän patterin tiedot kokoojatukkien tilaustaulusta ja muuttaa niitä tarpeen mukaan. Käyttöliittymäkomponenttia ei ole esitetty kuvassa 19 kuvan selkeyttämisen vuoksi.

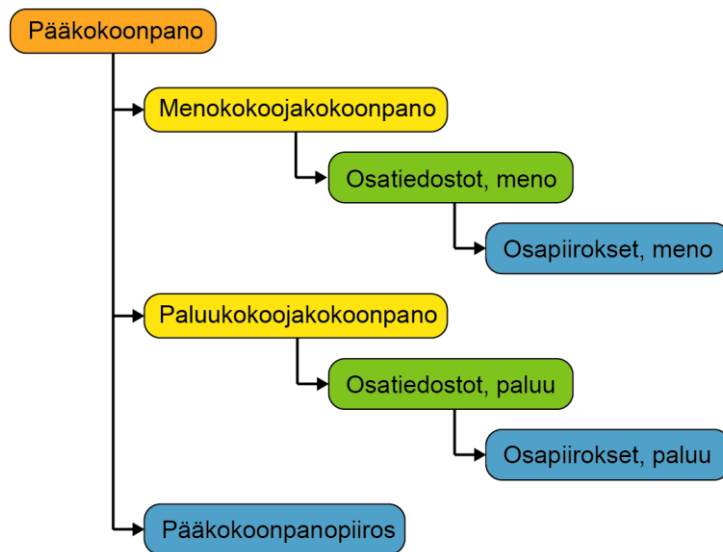
Kun kokoojatukkien tilaustaulun rivi on valmis, aloittaa DriveWorks Autopilot 3D-mallien ja työkuvien luonnin siirtämällä tilaustaulun datan DriveWorks Administratorilla luodun logiikan käsiteltäväksi ja käynnistämällä Solidworksin. DriveWorks logiikka muuntaa lähtödatan tarvittaviksi mitoiksi ja siirtää ne Solidworks-malleihin. Lopuksi valmiit mallit ja piirustukset tallennetaan, siten että ne ovat tuotannonhallintajärjestelmän saatavissa. Solidworks-luomisen päätyttyä DriveWorks logiikka päivittää vielä kokoojatukkien tilaustauluun kentän, joka indikoi, onko tilauksen työkuvat luotu. Luvuissa 4.5, 4.6, 4.7 ja 4.8 kerrotaan tarkemmin kunkin ohjelmistokomponentin toiminnasta ja siitä, kuinka kyseinen komponentti on toteutettu. Lukujen on tarkoitus toimia myös suunnitteluautomaatin dokumentaationa yritystä varten.

4.5 Solidworks

Pohjan suunnitteluautomaatille muodostavat Solidworks-tiedostot, joiden parametreja muokataan kunkin tilauksen mukaisesti. Automaattia varten luotiin useita eri osa-, kokoonpano- ja piirustustiedostoja. Nämä tiedostot on esitetty liitteen B taulukossa. 3D-mallien suunnittelussa ja toteutuksessa oli huomioitava kokoojatukkien rakenteen ja suunnittelusääntöjen aiheuttamat vaatimukset. Tämä johti siihen, että 3D-malleja luotiin kahdella eri tekniikalla. Vakio-osissa, kuten putkiyhdeiden liitososissa, 3D-malleihin luotiin konfiguraatioita eri putkiyhdekokojen mukaan. Näiden osien tapauksessa suunnitteluautomaatiolla ohjataan vain konfiguraatioita, eikä yksittäisiin mittoihin vaikuteta. Tähän toimintamalliin päädyttiin eri konfiguraatioiden vähäisen määrän ja yksinkertaisten suunnittelusääntöjen takia. Toisessa tekniikassa mallit luotiin siten, että jokainen piirre olisi

mahdollisimman itsenäinen, eli mittojen muutos yhdessä piirteessä ei aiheuta muutoksia toisessa. Käytännössä tämä tarkoitti useiden aputasojen ja referenssipisteiden luomista, jotta piirteiden mitoittaminen ulkopuolisesta geometriasta riippumatta olisi mahdollista. Tätä tekniikkaa käytettiin osissa, joiden yksittäisiä mittoja on muutettava suunnitteluautomaatiolla. Esimerkki tällaisesta osasta on kokoojaputki.

Lamellipattereissa meno- ja paluukokoojatukki ovat usein hyvin samanlaisia, mikä periaatteessa mahdollistaisi vain yhden kokoojatukin kokoonpanon luomista automaattia varten, jolloin suunnittelusääntöjen kirjoittamisessa vältyttäisiin päällekkäiseltä työltä. Päällekkäisellä työllä tarkoitetaan tässä muun muassa suunnittelusäännön kirjoittamista käytännössä samanlaisena kahteen eri paikkaan. Tätä ratkaisua yritettiin luomalla pääkokoonpano, jossa oli saman kokoojatukkikokoonpano meno- ja paluukokoojana. Tämä ratkaisu todettiin kuitenkin toimimattomaksi, koska DriveWorks ei pystynyt tarvittaessa tekemään kokoonpanoista erilaisia. Tästä syystä päädyttiin luomaan oma tiedostonsa jokaista mahdollista osaa varten. Tiedostojen välinen hierarkia on esitetty kuvassa 20.

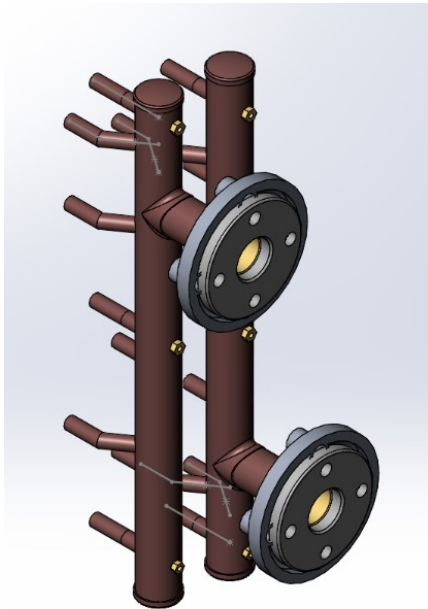


Kuva 20. Solidworks-tiedostojen hierarkia.

Kokoojatukkien malli koostuu pääkokoonpanosta, joka sisältää meno- ja paluukokoojatukkien kokoonpanot, jotka ovat identtiset, mutta omat tiedostonsa. Tiedostojen nimissä on käytetty jälkiliitteitä *in* ja *out* sen mukaan, onko kyseessä meno vai paluukokoojaan kuuluva osa.

4.5.1 Kokoonpanomallit

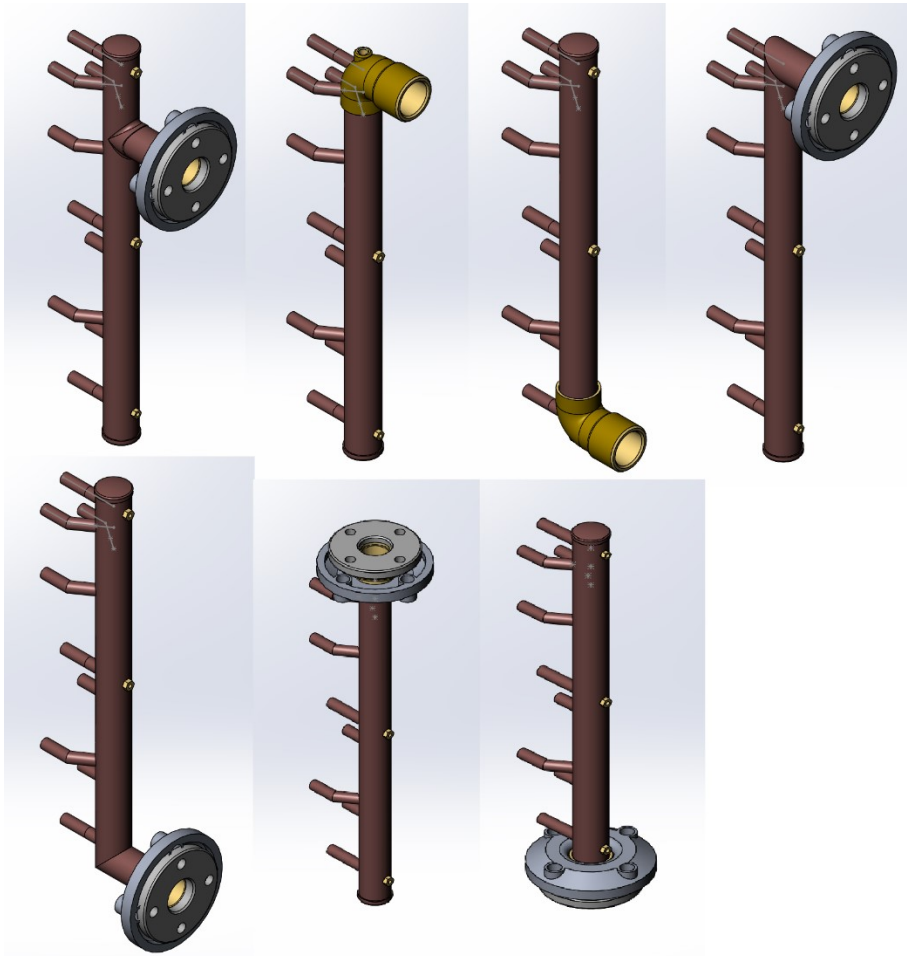
Kokoojatukkien pääkokoonpano sisältää kaksi eri lamellipatterin kätisyyksien mukaan luotua konfiguraatiota: oikea ja vasen. Kuvassa 21 on esitetty pääkokoonpanon 3D-malli.



Kuva 21. Kokoojatukkien pääkokoonpanon 3D-mallin oikeakätinen konfiguraatio.

Kuvassa 21 oikealla puolella on menokokoojatukin kokoonpano ja vasemmalla paluukokoojatukin kokoonpano. Kuvassa 21 on esitetty oikeakätinen konfiguraatio. Vasenkätinen konfiguraatio eroaa oikeasta siten, että menokokoojatukki on kokoonpanossa vasemmalla puolella. Pääkokoonpanossa menokokoojatukin kokoonpano on ylösalaisin verrattuna paluukokoojatukkiin. Pääkokoonpano luotiin tällä tavoin, koska porareseptin luonnissa käytetään vastaavaa logiikkaa, eli menokokoojassa ensimmäinen porattava reikä on alin, ja paluukokoojassa ylin. Kokoojatukkien väliset x-, y-, ja z-suuntaiset etäisyydet on määritetty pääkokoonpanossa käyttäen *distance mate* -ominaisuutta.

Meno- ja paluukokoojatukin 3D-malleissa on seitsemän eri konfiguraatiota, jotka ovat nimeltään: *putkiyhde*, *kulmamuhvi_yla*, *kulmamuhvi_ala*, *jiiri_yla*, *jiiri_ala*, *paatyhde_yla* ja *paatyhde_ala*. Ylä- ja alasuunta on nimetty kokoojatukin ollessa asemoituna pääkokoonpanon mukaisesti. Kuvassa 22 on esitetty kokoojakokoonpanojen konfiguraatiot edellä luetellussa järjestyksessä.

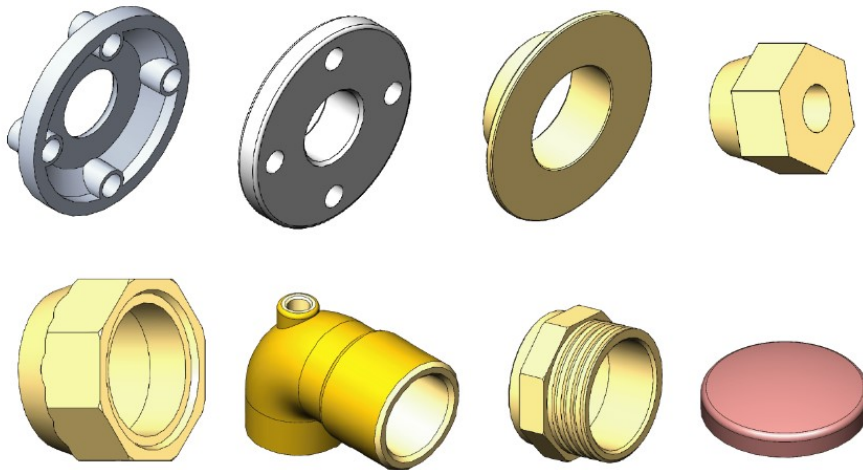


Kuva 22. Kokoojatukkikokoonpanojen konfiguraatiot.

Konfiguraatioiden väliset erot liittyvät liitostyyppin asettamiin vaatimuksiin. Konfiguraatiossa putkiyhde yhteelle tehdään kaulustettu reikä kokoojaputkeen. Kulmamuhvia käytettäessä kokoojaputkea lyhennetään päästä, jotta ensimmäinen putkireikä saadaan kulmamuhvin keskelle. Jiiriyhteessä kokooja- ja yhdeputken päät viistotaan 45 asteen kulmaan ja pääty-yhteissä ensimmäisen liitosputkireiän yläpuolella on tilaa liitososalle. Kaikkien liitososien, paitsi kulmamuhvin, käyttö on mahdollistettu putki-, jiiri- ja pääty-yhdekonfiguraatioissa.

4.5.2 Osatiedostot

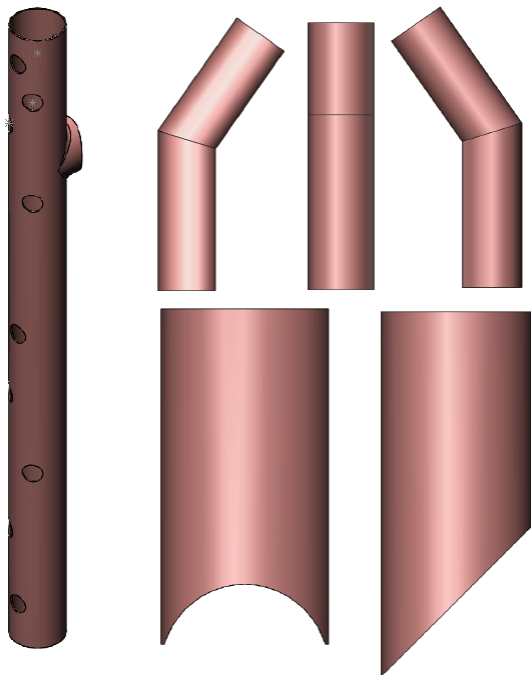
Kokoojatukkien kokoonpanot koostuvat valmistettavista osista ja vakio-osista. Vakio-osia ovat laippa, kierrelaippa, laipan keskiö, ilmausruuvien muhvi, muhvi, kulmamuhvi, nippa ja pääty pala. Kuvassa 23 on esitetty vakio-osien 3D-mallit edellä luetellussa järjestyksessä.



Kuva 23. Vakio-osien 3D-mallit.

Myös tyhjennysruuvin- ja jäätymissuoja-anturin muhveilla on omat 3D-tiedostonsa, mutta ne ovat identtisiä ilmausruuvin muhvin kanssa, joten ne jätettiin pois kuvasta. Vakio-osiin mallinnettiin konfiguraatiot eri putkikyhteiden kokojen mukaan. Konfiguraatiot on nimetty DN-koon numerolla.

Valmistettavia osia ovat kokoojaputki, liitosputket, yhdeputki ja jiiryhteen putki. Kuvassa 24 on esitetty kaikkien valmistettavien osien 3D-mallit edellä luetellussa järjestyksessä.



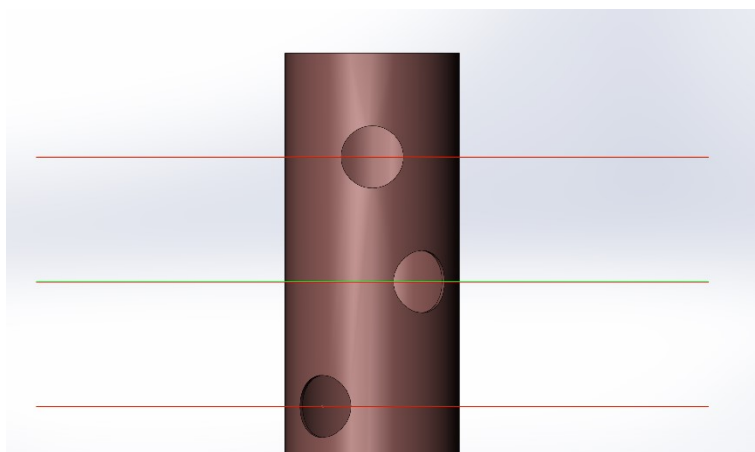
Kuva 24. Valmistettavien osien 3D-mallit.

Kuvan 24 vasemmassa laidassa on kokoojaputki, ylärivissä liitosputket, alarivissä vasemmalla putkiyhde ja alarivissä oikealle jiiiriyhde. Ylä- ja alajiiiryhteellä on omat tiedostonsa, mutta ne ovat keskenään identtiset. Valmistettavista osista ainoastaan kokoojaputket sisältävät konfiguraatioita. Ne on nimetty samoin kuin kokoojatukkikokoonpanojen konfiguraatiot. Kaikille kokoojaputken konfiguraatioille yhteisiä piirteitä ovat runkoputki ja liitosputkien reiät. Erot aiheutuvat putkiyhdeyypin asettamista vaatimuksista.

Kaikille valmistettaville osille on luotu 2D-piirustustiedostot työkuvia varten. Piirustusten luonti DriveWorks-automaattia ajatellen ei juurikaan poikkea normaalista piirustusten luomisesta Solidworksilla. Piirustusten liittämistä DriveWorks-projektiin ja piirustusten luomisessa hyväksi havaittuja käytäntöjä esitellään luvussa 4.6.

4.5.3 Liitosputkireikien luonti kokoojatukkien malleihin

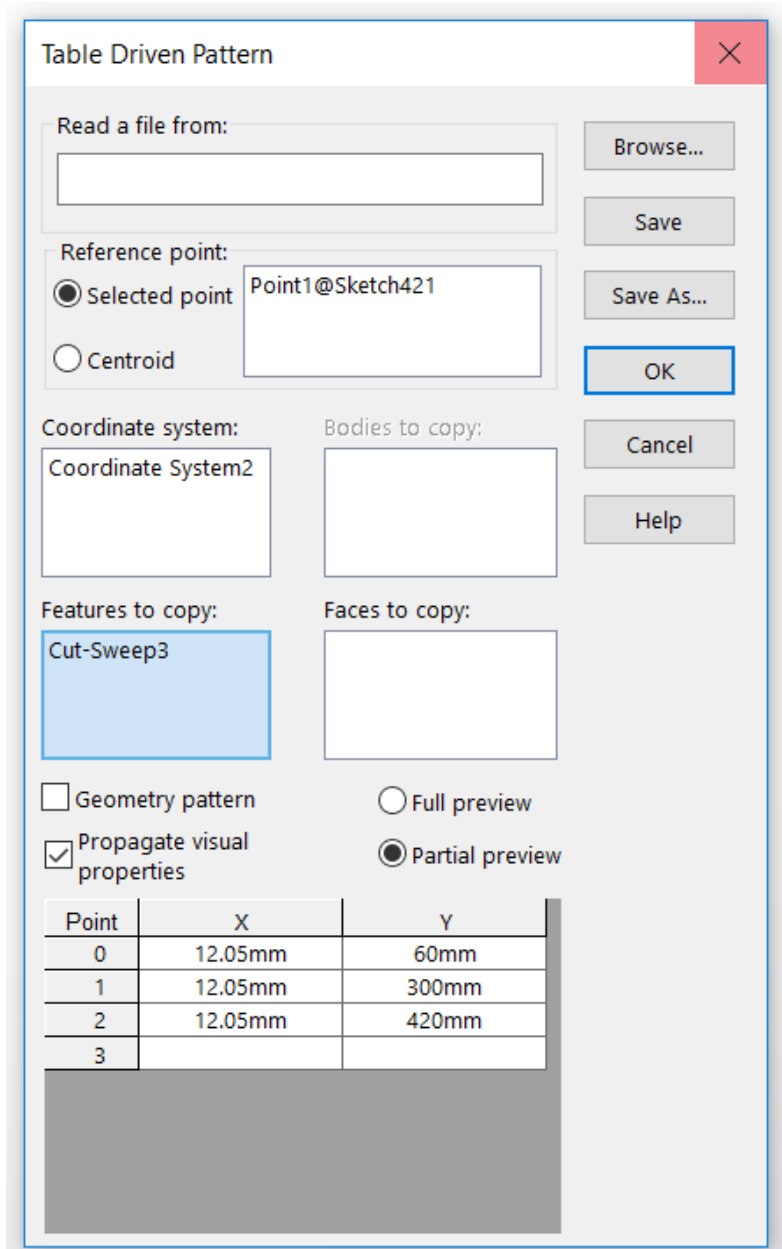
Liitosputkien reikien luonti aiheuttaa suurimman haasteen suunnitteluautomaation kannalta, koska sijainnit vaihtelevat ja reikien paikkatieto haetaan tiedostosta, joka on luotu erillisellä ohjelmalla. Reikien luonti on aloitettu sijoittamalla malliin piste, joka kuvastaa ylintä putkireikää. Pisteen avulla on asetettu kolme aputasoa ylhäältä alaspäin. Kuvassa 25 on esitetty kokoojaputkimallin yläpää, ensimmäiset liitosputkireiät ja aputasot.



Kuva 25. Liitosputkireikien aputasot kokoojaputkessa.

Kuvassa 25 näkyvät ylimmät liitosputkireiät luodaan *sweep cut*-piirteillä, joita varten aputasoille piirretään liitosputken mallinen luonnos (*sketch*). Tällä tavoin reiän porauskulma saadaan vastaamaan liitosputken taivutuskulmaa. Kullekin liitosputkiriville luodaan oma aloitusreikänsä. Kuvan 25 tapauksessa ylin liitosputkireikä on keskimmaisessä rivissä, jolloin keskimmaisen putkirivin aputason etäisyys ylintä putkireikää kuvaavasta pisteestä on nolla. Muutkin aputasot ovat mitoitettu etäisyydellä ylintä putkireikää kuvaavasta pis-

teestä, mikä mahdollistaa ylimmän putkireiän sijoittamisen muullekin riville kuin keskimäiselle. Loput liitosputkireiät luodaan *table driven pattern* -piirteellä. Kuvassa 26 on esitetty vasemmanpuoleisen putkirivin piirteen asetukset.



Kuva 26. Liitosputkireikien *table driven pattern* -asetukset.

Piirteessä käytetään referenssipisteenä pistettä, joka on luonnosteltu kunkin putkirivin ylimmän reiän aputasolle, rivin ylimmän reiän keskelle ja kokoojaputken ulkopintaan. Piirteen keskikohdan sijaan käytetään referenssipistettä, koska sen sijainti on helpommin laskettavissa kiertokonvertereissa, jonka toiminnasta kerrotaan luvussa 4.7. Pattern-piirrettä varten on luotu koordinaatisto, jonka nollapisteenä toimii ylintä putkireikää ku-

vaava piste. Samaa koordinaatistoa käytetään jokaista putkiriviä luotaessa. Liitosputkireikien paikkoja ohjataan taulukoilla, jotka sisältävät reikien x- ja y-koordinaatit. Taulukot luodaan kiertokonvertterilla. Luodut table driven pattern -piirteet ohjaavat myös liitosputkien asemointia kokoojatukkikokoonpanossa *pattern driven pattern* -piirteiden avulla.

4.6 DriveWorks

Suunnitteluautomaatti on luotu DriveWorks 16 -ohjelmistolla, joka vastaa tilausten muokatuista 3D-mallien ja työkuvien konfiguroinnista. Tässä luvussa esitellään aluksi kokoojatukkiautomaattiin liittyviä *DriveWorks Group* – ja *-Project* -käsitteitä. Tämän jälkeen keskitytään automaatin lähtötietoihin, ohjauslogiikkaan ja ulostulotiedostoihin ja -dataan. Lopuksi esitellään DriveWorks Autopilot -ohjelmistolla luotu tietokantakuuntelija.

Ryhmä (group) sisältää kaiken DriveWorks-datan liittyen esimerkiksi sen sisälle luotuihin käyttäjätileihin ja projekteihin (project). Ryhmiä on kahdenlaisia: yksittäinen (*individual*) ja jaettu (*shared*). Näiden ero on se, että jaetun ryhmän data on tallennettuna tietokantaan ja sillä voi olla useampi yhtäaikaan käyttäjä. Jaettu ryhmä mahdollistaa ryhmän käytön yhtä aikaa Administrator- ja Autopilot-ohjelmistoilla. [18] Ryhmän sisään luotava projekti sisältää muun muassa tiedot lähtötietolomakkeista (*form*), kaapatuista (*captured*) 3D-malleista ja niitä ohjaavista säännöistä. Tämän suunnitteluautomaatin projekti on luotu *driveworks16_jamellipatterit*-nimisen jaetun ryhmän sisään. Ryhmä sisältää aiemmin luotujen levyrakennautomaattien projektit ja se on tallennettu *wincalc01*-serverille MSSQL-tietokantaan. Kokoojatukkien suunnitteluautomaation projekti on nimeltään *Kokoojatukit*.

4.6.1 Suunnitteluautomaation lähtötietojen asettaminen

DriveWorks-ohjelmistossa projektin lähtötietoja varten täytyy luoda erilaisia kenttiä sisältävä lomake. Lomaketta olisi mahdollista käyttää manuaalisesti web-käyttöliittymän taapaa, mutta se vaatisi *DriveWorks Live* -lisäosan. Tässä projektissa lähtötietolomaketta käytetään siten, että kokoojatukkien tilaustaulun kentät yhdistetään lähtötietolomakkeen kenttiin DriveWorks Autopilotin avulla. Kuvassa 27 on esitetty osa Kokoojatukit-projektin menokokoojan lähtötietolomakkeesta.

putyh (DN) in	<input type="text" value="25"/>	
pituus_in	<input type="text" value="300"/>	Ylimmän ja alimman putkireijän väli
putyh_pituus_in	<input type="text" value="80"/>	
putyh_liitos_in	<input type="text" value="2"/>	
putyh_sijainti_in	<input type="text" value="0"/>	
ylinreika_in_1	<input type="text" value="0"/>	reikia_sarake_in_1 <input type="text" value="2"/>
alinreika_in_2	<input type="text" value="0"/>	reikia_sarake_in_2 <input type="text" value="0"/>

Kuva 27. Osa Kokoojatukit-projektin menokokoojan lähtötietolomakkeesta.

Projektin selkeyden parantamiseksi lähtötiedot on jaettu eri lomakkeille meno- ja paluukokoojan välillä. Lisäksi projektissa on yksi yleistietolomake, joka sisältää muun muassa lamellipatteriin liittyviä tietoja kuten putkikoon ja tilaukseen liittyviä tunnuksia kuten tilausnumeron ja työmääräimen.

Lomakkeiden kentillä on nimi, joka voi erota sen otsikosta. Esimerkiksi kuvassa 27 näkyvä ”putyh (DN) in” on kyseisen kentän otsikko, mutta kentän nimi on *putyh_in*. Kentän nimeä käytetään muuttujan tavoin malleja ohjaavissa säännöissä ja itse luoduissa muuttujissa. Kentän nimi on kirjoitettava myös Autopilot-ohjelmaan yhdistettäessä lomakkeen kenttiä tietokannan kenttiin. Liitteessä C on taulukoitu kaikki lomakkeiden lähtöarvot ja niiden nimet. Taulukossa on myös lyhyet selitteet sisään syötettävistä arvoista. Lomakkeiden kentät on nimetty jälkiliitteillä in ja out sen mukaan, onko kyseisen arvon tarkoitus vaikuttaa meno- vai paluukokoojaan.

4.6.2 Muuttujien ja taulukoiden käyttö

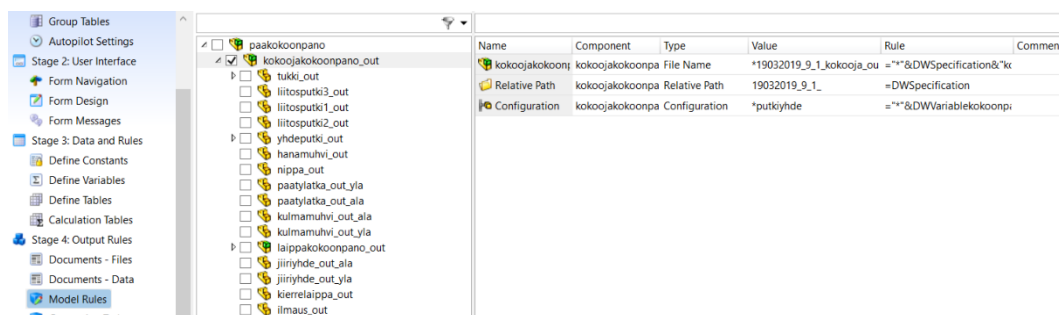
DriveWorks Administrator mahdollistaa omien muuttujien ja taulukoiden luomisen. Niiden käyttö ei ole pakollista, mutta ne yksinkertaistavat suunnittelusääntöjen luomista, vähentävät päällekkäistä työtä ja helpottavat korjauksien tekemistä sääntöihin jälkikäteen. Tässä projektissa taulukoihin on kirjattu vakiona pysyviä arvoja, kuten putkiyhteen liitososat, porauskulmat ja kokoojaputken lyhennys kulmamuhvia käytettäessä. Muuttu-

jiin tallennetaan taulukkojen arvoja, lasketaan lukuarvoja lähtötietojen tai toisien muuttujien perusteella ja kirjoitetaan logiikkaa, joka päättää esimerkiksi osan poistamisesta lopullisesta kokoonpanosta.

Taulukoista haetaan dataa pääasiassa *DWVLookup*-funktiolla. Esimerkiksi menoyhteen liitososaa haettaessa, funktio ottaa lähtöarvonaan *putyh_liitos_in*-kentän numeroarvon, vertaa sitä taulukon ensimmäisen sarakkeen numeroihin ja palauttaa sitä vastaavan liitososan nimen taulukon toisesta sarakkeesta. Edellä mainitussa tapauksessa liitososan nimi tallennetaan muuttujaan *liitososaln*. Projektiin luodut muuttujat löytyvät *define variables* -välilehdeltä. Muuttujille on luotu kategorioita, jotka helpottavat yksittäisen muuttujan löytämistä. Kategorioita ovat muun muassa *kokoojaln* ja *kokoojaOut*, jotka sisältävät meno- ja paluukokoojan rakenteeseen liittyviä muuttujia. Muut kategoriat ovat: *nimeltn*, *nimetOut*, *Piirustustiedostonimet* ja *Skaalaus*.




4.6.3 Tiedostojen, piirteiden ja mittojen kaappaaminen

Linkki DriveWorksin ja Solidworksin välille luodaan kaappaamalla halutut tiedostot, piirteet ja mitat. Kaappaaminen tapahtuu Solidworksin sisälle aukeavalla DriveWorks-käyttöliittymällä. Käyttöliittymän saa auki oikeanpuoleisesta sivuvalikosta, kun DriveWorks-lisäosa (*Add-Ins*) on käynnistetty. Kaikki liitteessä B luetellut automaattia varten luodut tiedostot on myös kaapattu projektiin. Kaapatut tiedostot lisätään projektiin *model rules* -välilehdellä. Kuvassa 28 on esitetty DriveWorks Administrator -käyttöliittymän *model rules* -välilehti.



Kuva 28. Yleisnäkymä DriveWorks Administrator -käyttöliittymän *model rules* -välilehdeltä.

Kuvassa 28 vasemmalta valitaan välilehti, keskellä näkyvät projektiin kaapatut tiedostot ja oikealla valitun tiedoston kaapatut ominaisuudet. Ominaisuuksien säännöt luodaan myös yllä näkyvältä välilehdeltä. Kun tiedosto kaapataan, sillä on kolme kuvassa 29 esitettyä muutettavaa ominaisuutta.

Name	Component	Type	Value	Rule	C
 kokoojakokoonpano	kokoojakokoonpa	File Name	*19032019_9_1_kokooja_ou	=**&DWSpecification&"k	
 Relative Path	kokoojakokoonpa	Relative Path	19032019_9_1_	=DWSpecification	
 Configuration	kokoojakokoonpa	Configuration	*putkiyhde	=**&DWVariablekokoonpa	

Kuva 29. Kaapatun paluukokoojakokoonpanotiedoston ominaisuudet model rules -välilehdellä.

Muutettavat ominaisuudet ovat: tiedostonimi (*File Name*), ulostulotiedostosijainti (*Relative Path*) ja Konfiguraatio (*Configuration*). Samalle välilehdelle tulee näkyviin tiedostosta kaapatut mitat ja piirteet. Solidworksin DriveWorks-käyttöliittymän ollessa auki, mittojen kaappaus suoritetaan valitsemalla haluttu mitta 3D-mallista, antamalla mitalle nimidun oikealla laidalla sijaitsevaan kenttään ja tallentamalla se. Kun projekti on tallennettu Solidworksin puolella, saadaan kaapatut mitat näkyviin kuvassa 29 esitetyle DriveWorks Administratorin mallien säännöt -välilehdelle päivittämällä projekti refresh-painikkeesta ja valitsemalla osa, josta mitat kaapattiin.

4.6.4 Kokoonpanojen konfiguraatioiden muuttaminen ja ylimääräisten osien poistaminen

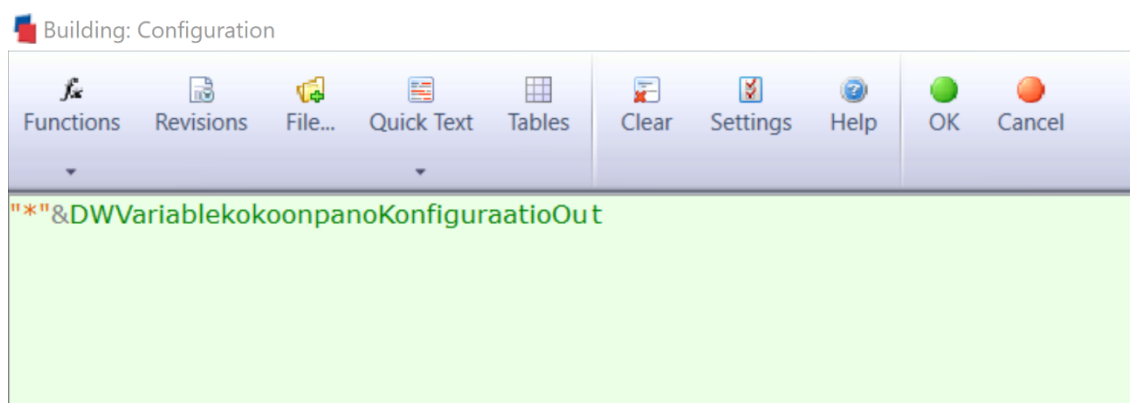
Automaatin toimintalogiikka perustuu pitkälti 3D-malleihin luotuihin konfiguraatioihin ja ylimääräisten osien poistamiseen. Tiedoston konfiguraatiota muutetaan kirjoittamalla sääntö tai staattinen arvo kuvassa 29 näkyvälle konfiguraatio-ominaisuudelle. Säännön kirjoittaminen tapahtuu kaksoisklikkaamalla ominaisuuden nimeä, jolloin säännön kirjoitusikkuna avautuu. Tarpeettomat tiedostot poistetaan lopullisesta 3D-mallista asettamalla tiedostonimiominaisuuden arvoksi: DELETE. Muissa tapauksissa tiedostonimet ovat muotoa: *tilausnumero_tilausrivinnumero_wincalcid_osanimi*. Projektissa jokaiselle tiedostolle on luotu muuttuja sen konfiguraation muuttamista ja tiedoston poistamista varten. Muuttujat sisältävät logiikan konfiguraation valinnalle ja tiedoston poistamiselle ja ne on asetettu tiedoston vastaavien ominaisuuksien suunnittelusäännöiksi. Seuraavaksi on kuvattu, kuinka konfiguraatioiden muuttaminen on toteutettu projektissa.

Tiedostojen konfigurointi aloitetaan pääkokoonpanosta, jonka konfiguraatio valitaan patterin käsisyyden mukaan. Tämän jälkeen meno- ja paluukokoojaputkien konfiguraatiot valitaan putkiyhteen sijainnin ja käytettävän liitososan mukaan. Taulukossa 10 on esitetty kokoojatukkikonfiguraation määräytymisen perusteet.

Taulukko 10. Kokoojatukkikonfiguraation määräytyminen.

Liitososa	Putkiyhteen sijainti	Valittu konfiguraatio
= Kulmamuhvi	Mitä tahansa	kulmamuhvi
≠ Kulmamuhvi	0	jiiri
≠ Kulmamuhvi	> 0	putkiyhde

Jos valittu liitososa on kulmamuhvi, valitaan kulmamuhvikonfiguraatio kokoojatukkiin. Täysin automaattisesti ei ole siis mahdollista luoda kokoojatukkia, jossa olisi putki- tai jiiriyhde ja kulmamuhvi. Tähän päädyttiin, koska kyseistä yhdistelmää ei todennäköisesti ole tarpeellista valmistaa. Jos liitososa on jokin muu, kuin kulmamuhvi, ja putkiyhteen sijainti on 0, valitaan kokoojatukkiin jiirikonfiguraatio. Tapauksissa, joissa liitososa on jokin muu, kuin kulmamuhvi ja putkiyhteen sijainti on suurempi kuin nolla, valitaan putkiyhdekonfiguraatio. Pääty-yhdekonfiguraatio valitaan lomakkeen kenttien *yhteen_suunta_in* ja *yhteen_suunta_out*, mukaan. Kentän arvo 1 tarkoittaa ylös, kentän arvo 2 alas ja kentän arvo 0 tarkoittaa, että pääty-yhdettä ei käytetä. Vakio-osien, kuten päätypalojen ja liitososien, konfiguraatiot valitaan suoraan putkiyhteen DN-koon numeroarvon mukaan. Kuvassa 30 on esitetty paluukokoojakokoonpanon konfiguraation sääntö kirjoitusikkunassa.



Kuva 30. Paluukokoojakokoonpanon konfiguraation sääntö.

Paluukokoojakokoonpanon konfiguraatio saadaan muuttujasta *kokoonpanoKonfiguraatioOut*, joka määräytyy taulukon 10 periaatteilla. Lisäksi konfiguraation eteen lisätään tähtimerkki, joka on DriveWorksin käyttämä syntaksi sille, että kaikki muut kuin valittu konfiguraatio poistetaan tiedostosta. Säännön tuloksena voi olla siis esimerkiksi kuvassa 29 näkyvä: *putkiyhde.

4.6.5 Yksittäisten parametrien muuntelu

Konfiguraatiomuutosten ja ylimääräisten osien poistamisen jälkeen suoritetaan yksittäisten parametrien eli mittojen ja piirteiden muuntelu. Muunneltavat parametrit on valittu varianttien määrän perusteella. Esimerkiksi kokoojaputken pituus voi vaihdella noin kahdenkymmenen sentin ja kahden metrin välillä, joten konfiguraation luominen jokaiselle pituudelle ei olisi mielekäästä. Parametreja on kokooja-, liitos- ja yhdeputkissa sekä pääkokoonpanossa, jossa muutetaan ainoastaan kahden kokoojatukin asemointia toisiinsa nähden. Kokooja-, liitos- ja yhdeputkissa muunneltavia parametreja on huomattavasti enemmän. Parametrit liittyvät muun muassa putkien halkaisijoihin, pituuksiin, taivutuskulmiin ja liitosputkien paikkoihin. Pääosa parametrien arvoista saadaan yksinkertaisilla ja suoraviivaisilla suunnittelusäännöillä. Esimerkiksi kokooja- ja yhdeputken halkaisijat muunnetaan taulukon avulla DN-koosta millimetreiksi ja samojen osien pituudet saadaan joko suoraa lähtötietona tai peruslaskutoimituksilla. Seuraavassa on kerrottu kuinka ennalta suunnitteluautomaatin työläimmäksi ominaisuudeksi arvioitu liitosputkien paikkojen siirtäminen tiedostosta Solidworksiin on toteutettu DriveWorksissa.

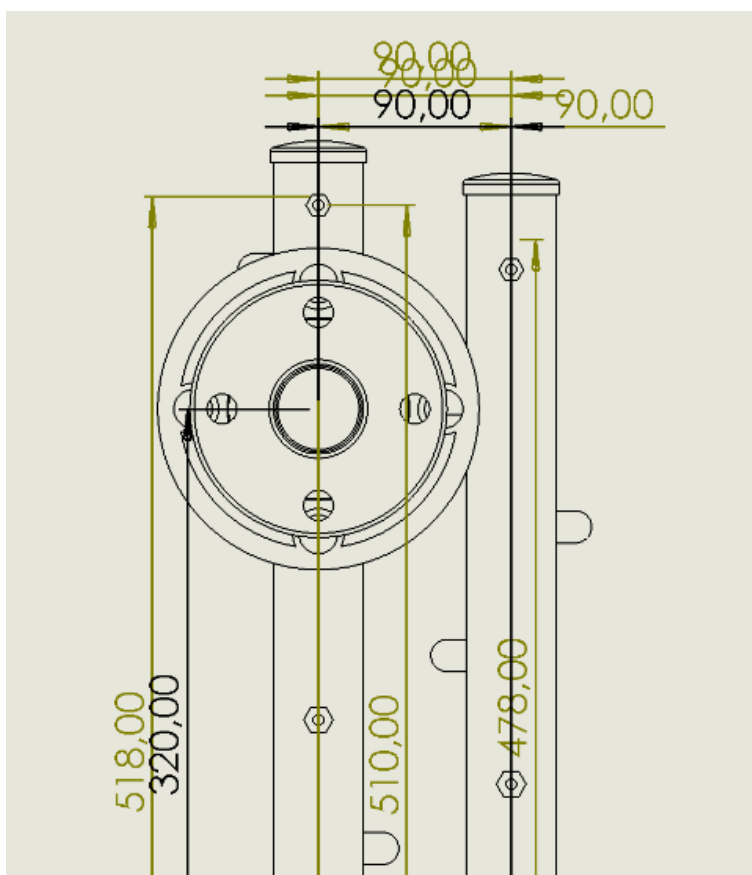
Liitosputkireikien paikat ovat DriveWorksin näkökulmasta kohtuullisen yksinkertaisesti muunneltavissa. Kokoojaputkista on kaapattu mitat *oikea_reika_korkeus*, *vasen_reika_korkeus* ja *keski_reika_korkeus*, joilla muunnellaan liitosputkireikärievien ylimmän reiän paikkaa suhteessa kokoojaputken ylimmän liitosreiän paikkaan. Muuntelu tapahtuu kuvassa 25 esitettyjen aputasojen ja referenssipisteen välisiä etäisyyksiä muuttamalla. Mitat saadaan lähtötietona, jotka on laskettu kiertokonvertterilla. Kokoojaputkeen ei useinkaan tule kolmea liitosputkireikärieviä, joten reikien luontiin käytetyt sweep cut -piirteet on kaapattu, jotta tarpeettomat rivit voidaan poistaa asettamalla piirteen arvoksi DELETE. Liitosputkireikien x-suuntaiset sijainnit määräytyvät sweep cut -piirteiden luonnoksien x-suuntaisesta putkivälistä ja porauskulmasta. Loput rivien liitosputkireiät luodaan table driven pattern -piirteillä, joiden ominaisuuksista on kaapattu taulukon tiedostonimi (*table filename*). Tiedostonimen säännöksi kirjoitetaan kiertokonvertterilla luotu taulukon nimi tiedostosijainteineen.

4.6.6 2D-Työkuvat

3D-tiedostojen lisäksi DriveWorksilla tuotetaan 2D-työkuvat valmistettavista osista. Työkuvien luontia varten suunnitteluautomaattia varten luoduista 3D-tiedostoista on luotu piirustustiedostot. Piirustustiedostot päivittyvät automaatin ajon aikana vastaamaan muunneltua 3D-mallia. Piirustusten luonti ei juurikaan eroa normaalista Solidworks-pii-

rustusten luomisesta. Yksi DriveWorksin vaatima vaihe on kuitenkin piirustuksen yhdistäminen 3D-malleihin, joita se sisältää. Piirustusten yhdistäminen tapahtuu Solidworksin DriveWorks-käyttöliittymän *drawings*-välilehdeltä, jossa valitaan 3D-tiedostolle luotu piirustus tiedostoselaimen avulla. Suunnitteluautomaatti tallentaa piirustukset myös PDF-muodossa, jotta ne olisivat luettavissa mahdollisimman monella laitteella. Seuraavaksi tässä luvussa on esitelty piirustusten toteutustapaa ja edellisissäkin automatisointiprojekteissa toimiviksi havaittuja käytäntöjä.

Työkuvien tärkein sisältö on usein työstettävään kappaleeseen liittyvät mitat. Mittoja asettaessa on huomioitava se, että konfiguraatioita sisältävistä tiedostoista on mitoitettava kaikki halutut mitat kaikista konfiguraatioista. Niiden mitoitus onnistuu esimerkiksi vaihtamalla 3D-tiedostojen konfiguraatioita, jolloin konfiguraatiot päivittyvät myös piirustukseen ja mitoitus on mahdollista tehdä. Kuvassa 31 on esitetty osa kokoojatukkien pääkokoospanon pohjapiirustuksesta.



Kuva 31. Osa kokoojatukkien pääkokoospanon pohjapiirustuksesta.

Kuvassa 31 on esimerkin vuoksi jätetty näkyville myös mitat, joiden referenssipisteet ovat hävinneet (*dangling dimensions*). Kyseiset mitat näkyvät kuvassa vihertävällä vä-

rillä. Mitat eivät ole virheellisiä, vaan ne ovat peräisin eri konfiguraatioista verrattuna näkyvissä olevaan. Kaikissa pohjapiirustuksissa on otettu käyttöön asetus, joka piilottaa mitat, joiden referenssit ovat hävinneet. Asetus on nimeltään *hide dangling dimensions and annotations* ja se löytyy dokumentin asetuksista (*Document properties*) *detailing-välilehdeltä*. Yksittäisiä mittoja on myös mahdollista poistaa näkyvistä DriveWorksissa asettamalla sille arvon DELETE samaan tapaan kuin tiedostojen kohdalla. Kyseistä ominaisuutta käytetään kokoojatukkien pääkokoonpanon pohjapiirustuksessa liitososatonta putkiyhdeettä mitoittaessa, sillä kyseisen mitan referenssit eivät häviä, vaikka yhdeputken päähän asetetaan liitososa.

Työkuvien ymmärrettävyyden kannalta kuvien skaalaus ja mittojen sijainnit ovat erittäin olennaisia. Piirustuksen skaalan muutostarpeen aiheuttaa piirustuksessa olevien osien koon muutos, joka voi olla suuri kokoojatukkien osissa eri tilausten välillä. Skaalaus suoritetaan muuttamalla sivun skaalausta (*sheet scale*) DriveWorksissa. Skaalausta varten on luotu muuttujia, joihin lasketaan arvot kuvissa olevien osien todellisten mittojen ja kuvaan haluttujen mittojen perusteella. Esimerkiksi menokokoojaputken osapiirustuksen skaalaus lasketaan muuttujaan *tukkiInScale* jakamalla kokoojaputken pituus luvulla 180, joka on kokoojaputken piirustukseen haluttu korkeus millimetreissä, ja pyöristämällä saatu arvo ylöspäin lähimpään kokonaislukuun. Koska DriveWorks muuttaa sivun skaalausta, on piirustuksessa olevien näkymien (*drawing view*) oltava skaalattuna käyttäen asetusta *use sheet scale*.

Piirustuksiin mitoitettujen arvojen sijainnit voidaan asettaa Solidworksin DriveWorks-käyttöliittymässä *annotation positions* -välihdellä. Mitat voidaan paikoittaa etäisyytenä piirustuskäytännön rajan ylä- tai alareunasta ja oikeasta tai vasemmasta reunasta. Automaatille luoduissa piirustuksissa mitat on paikoitettu mahdollisimman lähelle rajaa, koska skaalauksen muuttuessa kokonaislukujen välein, muuttuu piirustuskäytännön koko suhteessa sivuun eri tilausten välillä. Jos mitta olisi paikoitettu esimerkiksi 100 mm rajasta, ei se välttämättä mahtuisi sivulle enää piirustuskäytännön suhteellisen koon suurentuessa.

4.6.7 Osaluettelo ja valmistumisen vaihetta kuvaava tietokantadata

Työkuvien lisäksi DriveWorksilla tuotetaan kokoojatukkien osaluettelo ja tilaustietokantadataa, joka kertoo kokoojatukkien 3D-mallien ja työkuvien valmistumisesta. Osaluettelo luodaan, jotta kokoojatukkeihin tarvittavat osat olisivat helppo ja nopea kerätä ko-

koonpanoa varten. Osalistaa on myös mahdollista käyttää kokoojatukkien osien työkuviin avaamiseen listaan asetettujen linkkien avulla. Kuvassa 32 on esitetty esimerkki kokoojatukkien osaluettelosta.



Osaluettelo

Tilausno-rivi: 26042019-4

Luotu: 26 huhtikuuta 2019

Työmääräin: 888777

Kokoojatukit

#	TYÖKUVA	KOKO	OSA	KPL
1	Avaa	DN100	Kokoojaputki meno	1
2	Avaa	DN100	Kokoojaputki paluu	1
3	Avaa	DN100	yhdeputki	2
4		DN100	laippa	2
5		DN100	laipan keskiö	2
6		DN100	päätylätkä	4
7	Avaa	15 mm	Liitosputki meno, sarake 1	21
8	Avaa	15 mm	Liitosputki meno, sarake 2	21
9	Avaa	15 mm	Liitosputki paluu, sarake 1	21
10	Avaa	15 mm	Liitosputki paluu, sarake 2	21
11	Avaa		Pääkokoonpano	

Kuva 32. Kokoojatukkien osaluettelo.

Osaluettelon luomiseen käytetään DriveWorksin XML-osaluettelopohjaa (*BOM template*), jota on hieman muokattu kokoojatukkiautomaatin tarpeisiin sopivammaksi. Pohjan otsikointeja ja tyyliä on muutettu, siihen on lisätty sarake osan koon ilmoittamiseen ja työkuva sarakkeen data on muutettu linkiksi, joka avautuu uuteen välilehteen. Automaattilla luodut pdf-työkuvat avautuvat linkkiä painamalla. Osaluettelo toimii pääperiaatteeltaan siten, että kaikille mahdollisille osille on luotu oma rivi XML-tiedostoon, mutta riviä ei näytetä, jos kyseistä osaa ei ole kokoonpanossa. Jos meno- ja paluukokoojatukkien osat ovat keskenään samanlaisia, näytetään osaluettelossa kuvan tapaan esimerkiksi yhdeputki kappalemäärällä kaksi. Mikäli osissa on eroa, näytettäisiin esimerkiksi yhdeputki meno kappalemäärällä yksi ja yhdeputki paluu kappalemäärällä yksi. Tällöin molemmille osille olisi myös omat työkuvansa. DriveWorks generoi XML-pohjasta kuvan 32 mukaisen HTML-tiedoston, joka voidaan näyttää kokoojatukkien valmistuspaikalla.

Valmistumisen vaihetta kuvaavaa dataa tuotetaan, jotta tuotannonhallintajärjestelmä tietää, milloin työkuvat ovat valmiina siirrettäväksi järjestelmään ja näkyville tuotannossa.

Tätä toimintoa varten kokoojatukkien tilaustauluun on luotu kenttä nimeltä *dw_status_malli*. Kenttää päivitetään DriveWorksin *ODBC data export* -toiminnolla tiedostojen luomisen aloituksen yhteydessä arvolla *processing* ja tiedostojen luonnin päätyttyä arvolla *complete*.

4.6.8 DriveWorks Autopilot ja suunnitteluautomaatin käynnistys

DriveWorks Autopilot on ohjelma, jolla huolehditaan kokoojatukkien tilaustaulun datan siirtämisestä suunnittelulogiikan käsiteltäväksi. Autopilotilla luodaan tietokantakuuntelija (*connector*), jonka tehtävä on tarkkailla kokoojatukkien tilaustaulua ja käynnistää suunnitteluautomaatti, mikäli tauluun kirjoitetaan uusi tilaus. Kuuntelijan tyyppi on valittu ODBC (*Open Database Connectivity*), jonka avulla voidaan yhdistää DriveWorks tuotannonhallinnan MySQL-tietokantaan. Kuuntelijalla yhdistetään tilaustaulun kentät DriveWorks Administratorissa luodun lomakkeen kenttiin. Kuvassa 33 on esitetty yhdistämiseen käytettävä käyttöliittymä.

putyhyapaikka_paluu	Input Field	Constant/Control Name	putyh_sijainti_in
putko	Input Field	Constant/Control Name	putko
		Process Value	New
dwstatus	Process State Field	Processing Value	Processing
		Success Value	Complete
		Failed Value	Failed
dwstatus_malli	No Binding		
ylinreikameno_1	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_in_1
ylinreikameno_2	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_in_2
ylinreikameno_3	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_in_3
ylinreikapaluu_1	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_out_1
ylinreikapaluu_2	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_out_2
ylinreikapaluu_3	Input Field	Constant/Control Name	ylinreika_out_3
reikiameno_1	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_in_1
reikiameno_2	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_in_2
reikiameno_3	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_in_3
reikiapaluu_1	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_out_1
reikiapaluu_2	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_out_2
reikiapaluu_3	Input Field	Constant/Control Name	reikia_sarake_out_3

Kuva 33. Osa DriveWorks Autopilot -tietokantakuuntelijan luomisen käyttöliittymästä.

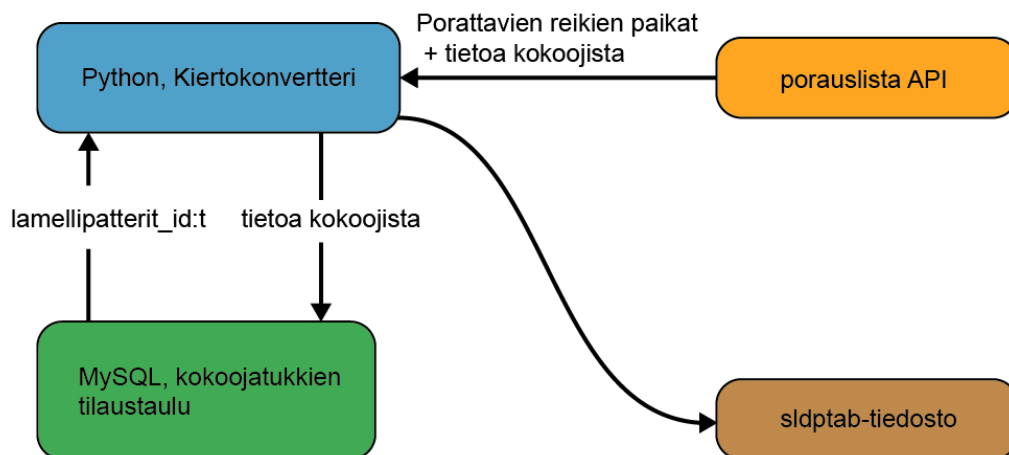
Käyttöliittymässä vasemmalla näkyvät yhdistetyn tietokantataulun kenttien otsikot, keskellä yhdistämisen tyyppin valinnan pudotusvalikko ja oikealla tekstikenttä, johon kirjoitetaan lomakkeen kentän nimi. Käyttöliittymä jättää tietokantataulujen otsikoista ensimmäisen alaviivan pois, joten esimerkiksi `dw_status`-kenttä näkyy käyttöliittymässä `dwstatus`-otsikolla. Yleisin kenttien yhdistämisen tyyppi on *Input Field*, jolla yhdistetään tilaustaulun kenttä nimettyyn lomakkeen kenttään datan siirtämistä varten. Muita käytettyjä tyyppejä ovat *Id Field* ja *Process State Field*, joiden käyttämistä DriveWorks vaatii toimiakseen. *Id Field* on yhdistettynä tilaustaulun `id_dw`-kenttään, joka sisältää juoksevan numeroinnin tilauksille.

Suunnitteluautomaatti käynnistetään *Process State Field* -tyyppisellä kentällä. Jotta tiedostojen luominen alkaa, kokoojatukkien tilaustaulun `dw_status`-kenttään on kirjoitettava arvo *New*. Käynnistymisen jälkeen DriveWorks muuttaa kentän arvoa prosessoinnin vaiheen mukaan. Kenttä ei kuitenkaan kuvaa tiedostojen valmistumisen vaihetta vaan tilaustaulun datan muuntamista suunnittelulogiikan avulla 3D-malleille siirrettäviksi arvoiksi. `Dw_status`-kenttä indikoi prosessin olevan valmis, eli kentän arvo on *Complete*, siinä vaiheessa, kun 3D-tiedostojen luonti aloitetaan.

4.7 Kiertokonvertteri

Liitosputkien reiät luodaan kokoojaputkien 3D-malleihin table driven pattern -piirteiden avulla, jotka tarvitsevat kopioitavien piirteiden (*features to copy*) avulla luotavien piirteiden paikoittamiseksi *sldptab*-päätteiset koordinaattitiedostot. Kopioitavat piirteet ovat tässä tapauksessa liitosputkirivien ylimmät reiät. Tiedostojen tulee sisältää porattavien liitosputkireikien x- ja y-koordinaatit suhteessa valittuun koordinaatistoon. Liitosputkireikien paikat muuttuvat kiertojärjestelyn mukaan, joka vaihtelee tilauskohtaisesti. Tästä syystä jokaiselle tilaukselle luodaan omat koordinaattitiedostonsa. Tässä luvussa liitosputkiriveistä käytetään jatkossa nimitystä sarake.

Koordinaattitiedostojen luomista varten kirjoitettiin kiertokonvertteriksi kutsuttu ohjelma *Python*-ohjelmointikielellä. Kielestä käytettiin versiota 3.5.2. Ohjelma koostuu useasta eri tiedostosta, jotka ovat: *settings.ini*, *init.py*, *main.py*, *logger.py*, *sqlconnector.py*, *webconnector.py*, *kokooja.py*, *coil.py* ja *converter.py*. *Main*-tiedosto toimii ohjelman runkona, ja sitä seuraamalla saa käsityksen ohjelman suorituksen kulusta. Ohjelman toiminta on esitetty yksinkertaistettuna kuvassa 34.



Kuva 34. Kiertokonvertterin toiminta.

Pääperiaatteeltaan konvertteri toimii siten, että se hakee ensin tietokannasta kokoojatukkien tilaustaulusta lamellipatterit_id:t, joita ei ole käsitelty konvertterilla. Tämän jälkeen id:n perusteella haetaan tilauksen porausdata API:lta. Lopuksi porausdatasta luodaan sldptab-tiedosto ja automaatin tarvitsemaa dataa kirjoitetaan lisäksi tilaustauluun. Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin kiertokonvertterin toiminnasta ohjelman suoritusjärjestyksessä.

4.7.1 Käynnistys ja alustus

Kiertokonvertteri käynnistetään suorittamalla tiedosto main.py sen jälkeen, kun lamellipatteritilaukseen on liitetty kiertojärjestely tuotannonhallintajärjestelmässä. Ohjelma alustetaan käsittelemällä settings-niminen asetustiedosto ja luomalla loki. Asetustiedosto sisältää ohjelman toiminnan kannalta olennaisia tietoja, jotka pysyvät vakioina, mutta joita täytyy päästä muuttamaan tarpeen vaatiessa. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi sql-serveriin liittyvät asetukset, kuten käyttäjätunnukset ja taulujen nimet. Asetukset luetaan init-tiedoston sisältämään Settings-luokkaan. Asetusten lukemiseen ja tietojen käyttäminen suoritetaan *configparser*-kirjastolla.

Asetusten lukemisen jälkeen luodaan *logging*-kirjastoa käyttäen loki, jonka avulla ohjelman toimintaa voidaan seurata. Logger-tiedosto sisältää lokin luomiseen ja muokkaamiseen käytettäviä funktioita. Asetustiedostosta löytyy kohta *writelogtofile*, jonka arvon ollessa *True* loki tallentuu tiedostoon, jonka sijainti määritetään myös asetustiedostossa. Lokin kirjoittamisen tasoa voidaan myös vaihtaa asetustiedostosta.

4.7.2 Käsittelemättömien kokoojatukkitilausten hakeminen ja sqlconnector-luokka

Alustuksen jälkeen ohjelma hakee kokoojatukkien MySQL-tilaustaulusta *lamellipatterit_id*-kentän arvon tilauksilta, joihin on liitetty kiertojärjestely, mutta se on konvertoimatta. Konvertoimattomuuden tarkastamista varten tilaustaulussa on kenttä *konvertoitu*, jonka arvo on 0, kun tilaus on konvertoimatta ja 1 kun tilaus on konvertoitu. Lamellipatterit_id-kenttä sisältää lukuarvon, joka on yksilöllinen jokaiselle tuotannonhallintajärjestelmään syötetyille lamellipatterille.

MySQL-tietokannan käsittelyyn konvertterissa käytetään sqlconnector-tiedoston sisältämää Sqlconnector-luokkaa. Luokka alustetaan asetustiedoston asetuksilla ja tietokantaan yhdistämisessä se käyttää *pyodbc*-kirjastoa. Luokan olion luomisen jälkeen tietokantaan yhdistetään *connect*-funktiolla, tietojen hakuun ja päivittämiseen käytetään omia funktioitansa ja lopuksi olion yhteys tietokantaan katkaistaan *disconnect*-funktiolla. Kaikki ohjelman käyttämät sql-yhteydet on suoritettu Sqlconnector-luokassa.

4.7.3 Porausdatan hakeminen API:sta ja datan jalostaminen

Kokoojiin liittyvä poraus- ja kokotieto haetaan tarkoitusta varten luodusta API:sta (*Application Programming Interface*) *get*-metodilla käyttäen tilaustaulusta saatua lamellipatterit_id:tä. Onnistuneen kutsun vastauksena on kokoojaputkien liitosputkien paikat millimetreinä ensimmäisestä porattavasta reiästä ja reiän sarake. Samassa vastauksessa saadaan lisäksi kokoojaputkien pituus, DN-koko, ensimmäisen reiän etäisyys putken päästä, liitosputken koko, putkiyhteen paikka, putkiyhdeyyppi ja porauskulma jokaiselle putkisarakkeelle. Vastauksena saatava data on JSON-formaatissa.

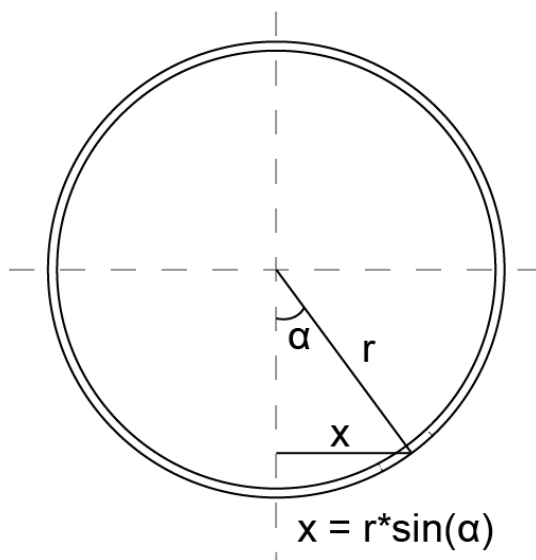
Get-kutsun lähetys ja vastauksen käsittely suoritetaan webconnector-tiedoston sisältämällä Webconnector-luokalla. Luokka sisältää funktiot tietojen hakemiseen ja muuntamiseen jatkokäsittelyn kannalta toimivaan muotoon. Jos haetulla lamellipatterit_id:llä ei löydy porausdataa, kutsun vastauksena saadaan virhekoodi. Virhekoodillisia tilauksia ei yritetä käsitellä ohjelmassa, vaan kyseisten tilausten lamellipatterit_id:t kirjataan lopuksi virheenä lokiin.

Ennen koordinaattien laskentaa ja sldptab-tiedoston luontia tilauksen tiedoista luodaan Kokooja- ja Coil-luokkien oliot. Luokkien tarkoitus on yksinkertaistaa tietojen käsittelyä ja

selkeyttä ohjelman toimintaa konvertointivaiheessa. Kokooja-luokka kuvaa kokoojaputkea ja se sisältää liitosputkireikien paikat, porauskulmat ja putken DN-koon, ylimpien reikien paikat ja reikien määrän sarakkeittain. Meno- ja paluukokoojalle luodaan omat olionsa. Luodut kokoojaoliot lisätään lamellipatteria kuvaavaan Coil-luokan olioon. Luokan muita tietoja ovat lamellipatterit_id, tilausnumero, tilausrivinumero, wincalc_id, kätiys ja putkikoko. Luokat sisältävät ainoastaan funktioita, jotka palauttavat pyydetyn arvon.

4.7.4 Sldptab-tiedostojen luominen

Sldptab-tiedostot tiedostojen luontia varten luodaan converter-tiedostosta löytyvän Converter-luokan olio, joka sisältää konvertoitavan lamellipatterin Coil-luokan olion sekä putkiväleihin ja -kokoihin liittyvää tietoa asetustiedostosta. Converter-luokka sisältää funktion, joka muuntaa kokoojatukin poraustiedot sldptab-tiedostoksi. Liitosputkireikien y-koordinaatit saadaan suoraan haetusta datasta. X-koordinaatit lasketaan porauskulman ja kokoojatukin säteen perusteella. Kuvassa 35 on esitetty x-koordinaatin laskentaperiaate.



Kuva 35. X-koordinaatin laskenta kiertokonvertterissa.

Solidworksissa table driven pattern -piirteen referenssipisteeksi on valittu piste kokoojaputken ulkolaidalla liitosputkireiän keskellä, joten tämän pisteen x-koordinaattia käytetään myös sldptab-tiedostoissa. Kuvassa 35 on esitetty koordinaatin laskentakaava. Kaavassa r on kokoojaputken ulkosäde ja α on porauskulma. Kaksirivisissä kokoojissa

saatu x-arvo muutetaan negatiiviseksi, jos patteri on vasenkätinen. Tämä johtuu table driven pattern -piirteen koordinaatistosta. Sldptab-tiedoston formaatti on seuraava: $\{x\text{-koordinatti}\}mm \{y\text{-koordinatti}\}mm$. Jokaisen reiän koordinaatit kirjoitetaan omalle rivilleen.

Koordinaattitiedostojen alku nimetään samalla tyylillä kuin automaatilla luodut 3D-tiedostot ja piirustukset: *tilausnumero_tilausrivinnumero_wincalcid*. Tiedostonimen loppuosaan lisätään kokoojan suunta ja sarake, jonka koordinaatit tiedosto sisältää. Tiedostonimi voisi olla esimerkiksi: *4042019_1_1_kokooja_meno_col1.sldptab*. Tiedostot tallennetaan sijaintiin, josta DriveWorks hakee ne käyttöönsä nimen alkuosan perusteella. Tiedostosijainti määritetään konvertterin asetustiedostossa.

4.7.5 Porauslista API:lta saatavan muun datan kirjoittaminen kokoojatukkien tilaustauluun

Koordinaattitiedostojen luomisen jälkeen konvertteri kirjoittaa porausdataan liittyvää tietoa kokoojatukkien tilaustauluun. Konvertterin täyttämät kentät on esitetty taulukossa 11.

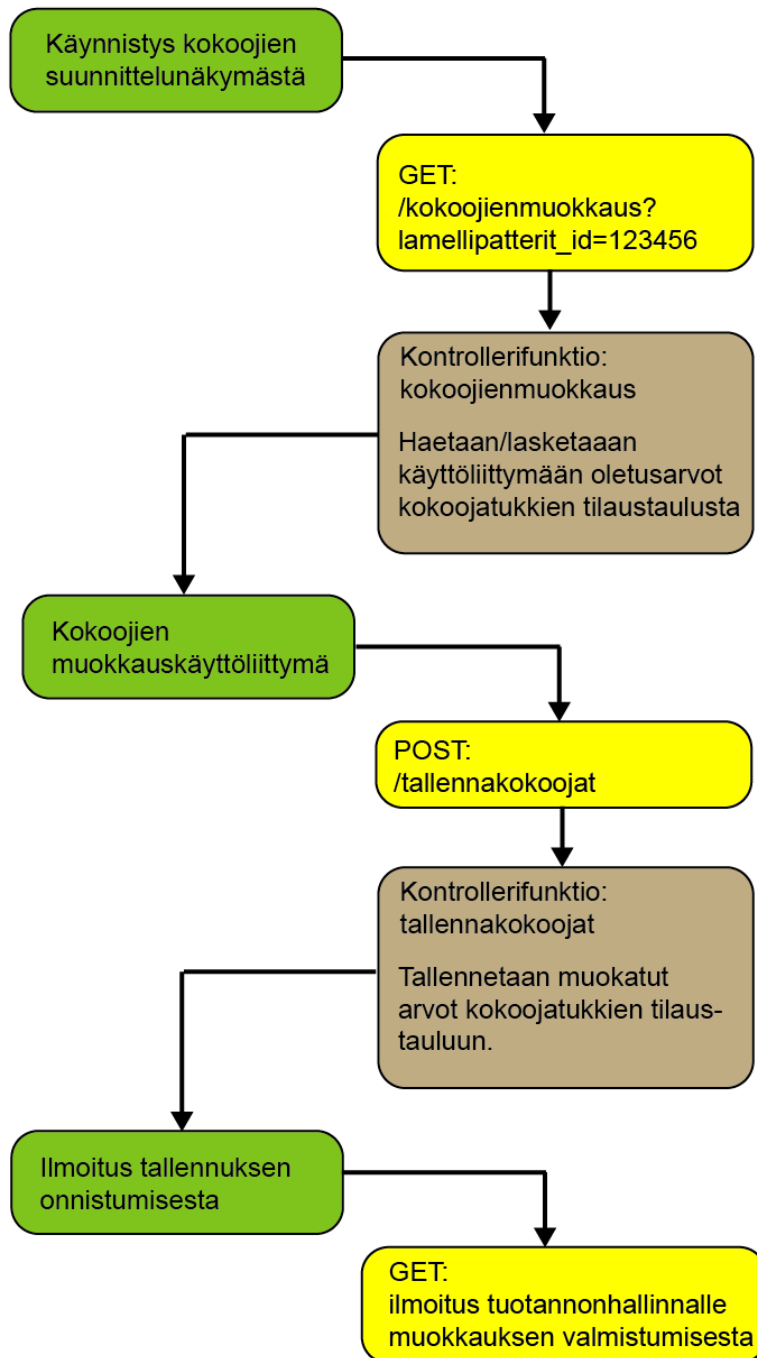
Taulukko 11. Kiertokonvertterin täyttämät kokoojatukkien tilaustaulun kentät.

Kentän nimi	Selite
pituus_meno	Menokokoojatukin ylimmän ja alimman liitosputkireiän väli.
pituus_paluu	Paluukokoojatukin ylimmän ja alimman liitosputkireiän väli.
ensimmäinen-reika_meno	Menokokoojatukin ensimmäisen ja viimeisen reiän etäisyys kokoojaputken päästä.
ensimmäinenreika_paluu	Paluukokoojatukin ensimmäisen ja viimeisen reiän etäisyys kokoojaputken päästä.
ylinreika_meno_1	Menokokoojatukin 1 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
ylinreika_meno_2	Menokokoojatukin 2 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
ylinreika_meno_3	Menokokoojatukin 3 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
ylinreika_paluu_1	Paluukokoojatukin 1 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
ylinreika_paluu_2	Paluukokoojatukin 2 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
ylinreika_paluu_3	Paluukokoojatukin 3 liitosputkisarakkeen ensimmäisen porattavan reiän y-koordinaatti.
reikia_meno_1	Menokokoojatukin 1 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
reikia_meno_2	Menokokoojatukin 2 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
reikia_meno_3	Menokokoojatukin 3 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
reikia_paluu_1	Paluukokoojatukin 1 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
reikia_paluu_2	Paluukokoojatukin 2 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
reikia_paluu_3	Paluukokoojatukin 3 liitosputkisarakkeen reikien määrä.
meno_etaisyys_paluu	Meno- ja paluukokoojien ylimpien reikien etäisyys toisistaan.
jaatymissuoja_meno	Menokokoojan jäätymissuojamuhvin paikka.
jaatymissuoja_paluu	Paluukokoojan jäätymissuojamuhvin paikka.
jaatymissuojien_lkm	Jäätymissuojien lukumäärä.
konvertoitu	Kenttä kertoo, onko tilausta käsitelty konvertterilla.

Kentistä kokoojatukkien pituudet ja ensimmäisten reikien etäisyydet kokoojaputken päästä vaikuttavat suoraan kokoojaputken 3D-mallin mittoihin. Muita tietoja käytetään apuna liitosputkisarakkeiden reikien luomisen logiikassa ja liitosputkien määrän laskennassa. Lopuksi konvertteri kirjoittaa kokoojatukkien tilaustaulun kenttään konvertoitu arvon 1, jolla muun muassa viestitään tuotannonhallintajärjestelmälle siitä, että kokoojatukkitilausta on mahdollista muokata käyttöliittymällä. Yhdessä kiertokonvertterin ajossa kestää noin sekunti, joten odotusaikaa ei juurikaan ole ennen käyttöliittymän käynnistämisen mahdollisuutta.

4.8 Käyttöliittymä

Täysin automaattisen kokoojatukkisuunnittelun lisäksi suunnitteluautomaatin vaatimukseen kuuluu käyttöliittymä, jolla voidaan muokata kokoojatukkien rakennetta tyypillisimpien erikoistapausten mukaisiksi. Käyttöliittymä toteutettiin osaksi tuotannonhallintajärjestelmää web-tekniikoita hyödyntäen. Tärkeimmät työkalut olivat *Laravel 5.7* -Php-viitekehys ja *Vue.js 2.6.10* -Javascript-viitekehys. Käyttöliittymän toimintaperiaate tuotannonhallinnan osana on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. Muokkauskäyttöliittymän toiminta osana tuotannonhallintajärjestelmää.

Kuvassa 36 vasemmalla puolella vihreällä on esitetty käyttäjälle ruudulla näkyvät näkymät, oikealla keltaisella *http*-kutsut näkymien välillä ja ruskealla palvelimella suoritettavat toiminnot. Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu käyttöliittymän suorituksen vaiheet tarkemmin.

4.8.1 Käyttöliittymän avaaminen

Kokoojatukkien muokkauskäyttöliittymä avataan kokoojatukkien suunnittelunäkymästä. Käyttöliittymä on avattavissa vasta kiertojärjestelyn valinnan ja kiertokonvertterin ajon suorituksen jälkeen. Avaaminen suoritetaan lähettämällä get-kutsu tuotannonhallinnan osoitteeseen *kokoojienmuokkaus*. Kutsussa on oltava mukana muokattavan tilauksen lamellipatterit_id-arvo. Kutsu on siis esimerkiksi muotoa: /kokoojienmuokkaus?lamellipatterit_id=123456.

Ennen muokkauskäyttöliittymän näyttämistä palvelin hakee tilauksen lamellipatterit_id:n avulla kokoojatukkien tilaustaulusta muokattavan rivin, jonka arvoja käytetään käyttöliittymässä kenttien oletusarvoina. Kaikkia oletusarvoja ei saada suoraan muokattavan tilauksen tiedoista, vaan osa on laskettava.

4.8.2 Käyttöliittymänäkymän osiot

Kokoojatukkien muokkauskäyttöliittymä sisältää yhden näkymän. Näkymä sisältää osion putkiyhteiden suuntien ja sijaintien asettamiselle sekä osion, jolla säädetään kokoojatukkien paikkaa suhteessa patteriin ja putkiyhteiden pituuksia. Kuvassa 37 on esitetty putkiyhteiden suuntien ja sijaintien muokkaamiseen käytetty osio.

Yhteiden suunnat ja sijainnit



Menoyhteen suunta:

Eteen
▼

Paluuyhteen suunta:

Eteen
▼

Menoyhteen etäisyys ensimmäisestä liitosputkireiästä

330

Paluuyhteen etäisyys ensimmäisestä liitosputkireiästä

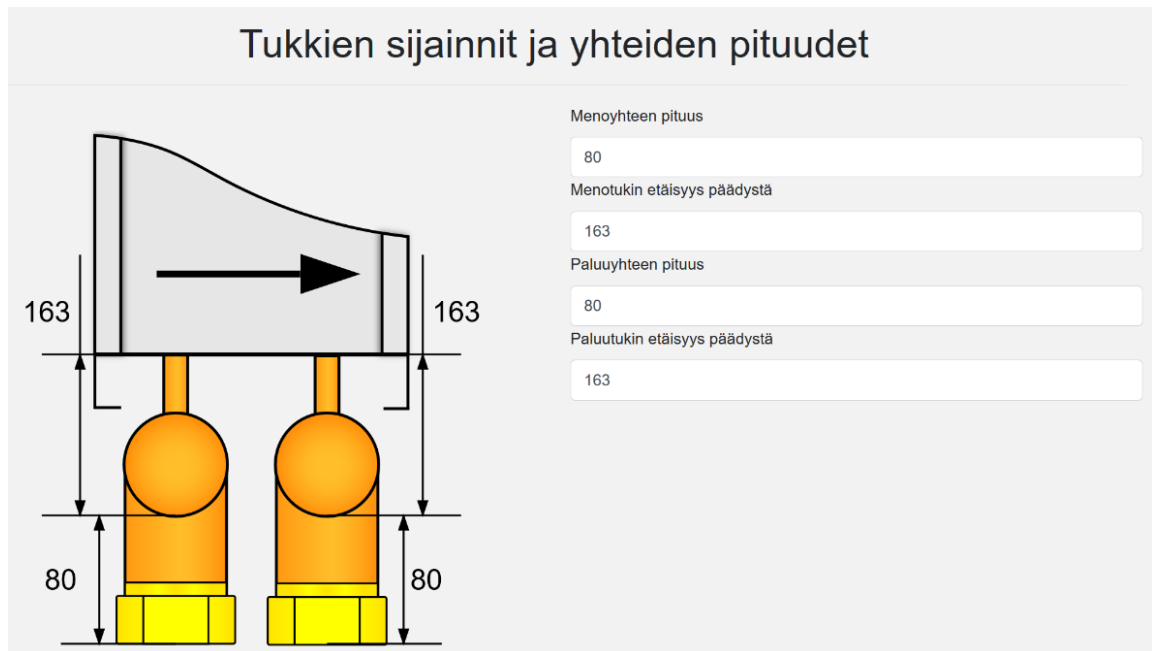
300

Yhteiden väli

600

Kuva 37. Käyttöliittymän osio putkiyhteiden suuntien ja sijaintin määrittämiseen.

Kuvassa 37 vasemmalla näkyy yksinkertaistettu kuva lamellipatterista edestäpäin katsottuna. Sen tarkoituksena on havainnollistaa oikealla puolella olevien kenttien muuttamisen vaikutusta kokoojatukkien rakenteeseen. Lisäksi vasemman puolen kuvassa on nuoli merkitsemässä ilman kulkusuuntaa patterissa. Kokoojatukkien sijaintien muuttamiseen suhteessa patteriin ja yhdeputkien pituuksien määrittämiseen käytettävä käyttöliittymäosio on esitetty kuvassa 38.



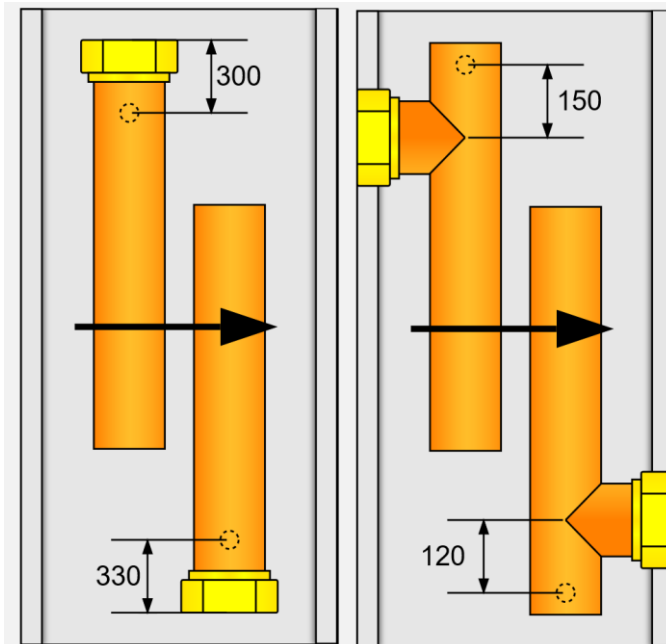
Kuva 38. Kokoojatukkien sijaintien ja putkiyhteiden pituuksien muokkaamisen käyttöliittymäosio.

Kuvassa 38 vasemmalla näkyvän lamellipatteria ylhäältäpäin kuvaavan kuvan tarkoitus on sama kuin yhteiden suuntien ja sijaintien muokkaamiseen käytetyssä käyttöliittymän osiossa, eli havainnollistaa oikealla puolella olevien kenttien muokkaamisen vaikutusta kokoojatukkien rakenteeseen. Kuvassa 38 on esitetty myös ilman kulkusuuntaa kuvaava nuoli.

4.8.3 Käyttöliittymäkuvien toiminnallisuudet

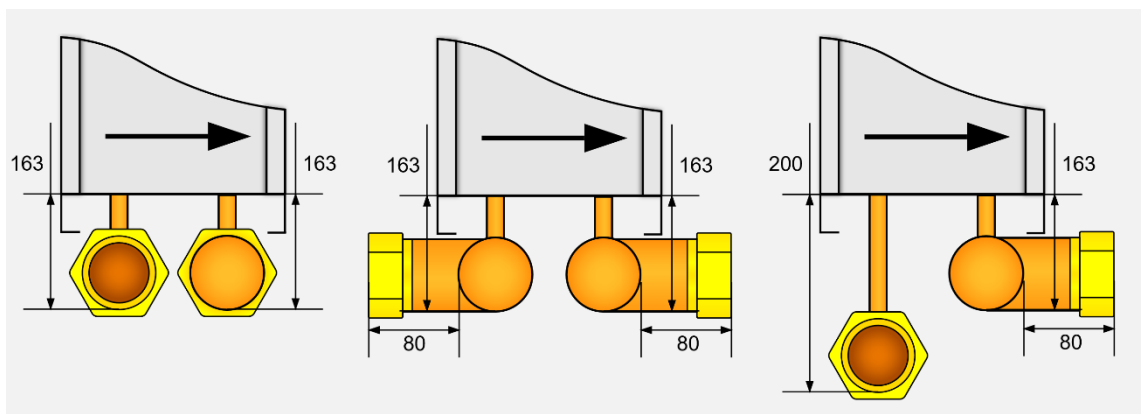
Käyttöliittymäkuvat muuttuvat käyttäjän valintojen ja käyttöliittymään asetettujen arvojen mukaan. Tämä on toteutettu svg-formaatin avulla. Kuvan eri osioita piilotetaan, näytetään ja siirretään yhteiden suunta ja pituus -kenttien valintojen mukaan ja etäisyyksien numeroarvoja muutetaan etäisyyskenttien numeroarvojen mukaan. Käyttöliittymäkuva päivittyy reaaliajassa, koska käyttöliittymä on toteutettu Vue-komponenttina. Kuvassa 39

on esitetty putkiyhteiden suuntien ja sijaintien määrittämiseen käytettävän osion käyttöliittymäkuvassa tapahtuvat muutokset verrattuna kuvaan 37, jossa molempien putkiyhteiden suunnat on asetettu arvoon eteen.



Kuva 39. Muutokset yhteiden suuntien ja sijaintien käyttöliittymäkuvassa.

Kuvan 39 vasemmanpuoleisessa tapauksessa menoyhteen suunnaksi on asetettu arvo alas ja paluuyhteen suunnaksi arvo ylös. Oikean puoleisessa tapauksessa menoyhteen suunnaksi on asetettu arvo ilmavirran suuntaan ja paluuyhteen suunnaksi on asetettu arvo ilmavirtaa vastaan. Lisäksi oikeanpuoleisessa tapauksessa yhteiden etäisyyttä ensimmäisistä rei'istä on muutettu kuvaan 37 verrattuna. Putkiyhteiden suuntien muuttaminen vaikuttaa myös käyttöliittymäosioon, jolla muutetaan putkiyhteiden sijaintia suhteessa patteriin ja yhdeputkien pituuksia. Näitä muutoksia on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. Kokoojatukkien sijaintien ja putkiyhteiden pituuksien käyttöliittymäkuvan muutokset.

Kuvassa 40 vasemmalla yhteiden suunnat on valittu samoin kuin kuvan 39 vasemmalla puolella. Kuvan 40 keskellä suunnat on valittu samoin kuin kuvan 39 oikealla puolella.

Mikäli tukkien etäisyydet päädyistä -kenttien arvot on asetettu samoiksi, kuten kuvan 40 vasemmassa ja keskimmaisessä tapauksessa, kuvassa kokoojatukit ovat samalla tasolla. Mikäli toisen kentän arvo on suurempi, kyseinen kokoojatukki siirretään pidemmälle muutoksen ymmärtämisen helpottamiseksi. Kuvassa etäisyyden muutos on kuitenkin aina sama riippumatta etäisyyksien arvojen erosta, joten jää käyttäjän vastuulle miettiä, onko kokoojatukkikonfiguraatio oikeasti mahdollinen. Käyttöliittymää olisikin mahdollista parantaa siinä, että se ilmoittaisi, mikäli konfiguraatio ei ole mahdollinen. Yhteiden suuntien muokkauksen lisäksi niiden välinen etäisyys saattaa aiheuttaa mahdollottoman konfiguraation esimerkiksi tapauksissa, joissa pienirivisessä patterissa on suuret kokoojat ja laippaliitos.

4.8.4 Muokattujen tietojen tallentaminen ja käyttöliittymän sulkeminen

Haluttujen muokkausten teon jälkeen kenttien arvot lähetetään palvelimelle post-metodilla osoitteeseen *tallennakokoojat*. Palvelimella muokattava tilaus haetaan tietokannasta lamellipatterit_id-kentän avulla, joka on muokkausnäkyssä piilotettuna kenttänä. Muokkausnäkyvän dataa muokataan osittain ennen tietokantaan tallennusta. Esimerkiksi putkiyhteen suunnan perusteella lasketaan kulma-arvo asteissa ja putkiyhteen etäisyys ensimmäisestä reiästä tallennetaan eri kenttään, jos yhteen suunnaksi on asetettu ylös tai alas.

Tietokantataulun tallentamisen jälkeen käyttäjälle näytetään näkymä, joka kertoo tallentamisen onnistumisesta. Tämän jälkeen käyttöliittymä voidaan sulkea. Samasta näkymästä lähetetään taustalla kutsu get-metodilla tuotannonhallintajärjestelmään. Kutsun tarkoitus on viestiä siitä, että kokoojatukkien muokkaus on päättynyt ja tilaus on valmis kuvien tuottamista varten.

5. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli luoda suunnitteluautomaatti lamellipattereiden kokoojattukien työkuvienv tuottamista varten. Työ tehtiin yritykselle Oy Ekocoil, jossa vastaavia suunnitteluautomaatteja on aikaisemmin toteutettu lamellipattereiden kehysrakenteen levyosien valmistukseen. Toteutuksessa käytettiin aikaisempia automaatteja varten hankittuja DriveWorks- ja Solidworks-ohjelmistoja. Syynä suunnittelun automatisoinnille on yrityksen halu tehostaa tuotantoa ja varautuminen nykyisten suunnittelijoiden eläköitymiseen lähitulevaisuudessa.

Suunnitteluautomaatin toteuttamista varten suoritettiin taustatutkimus, jolla selvitettiin lamellipatterin ja kokoojattukien rakennetta, valmistuksen käytössä olevia osia ja kokoojattukien tuotantoprosessin nykytilaa myynnin, suunnittelun ja valmistuksen kannalta. Taustatutkimuksen motiivina oli kokoojattukien suunnittelusääntöjen ja niiden perustelujen selvittäminen. Nykyisiä prosesseja tutkittiin myös mahdollisten parannuskohteiden löytämiseksi.

Kokoojattukien valmistuksen käytössä olevien osien tutkimuksella selvitettiin muun muassa kokoojattukien koot, mahdolliset liitososat ja valmistettavat osat, joista automaatin olisi tuotettava työkuvat. Myyntivaiheen nykytilan tutkimuksella saatiin selville mitoitusohjelmasta tuleva automaatin käytettävissä oleva lähtödata ja kokoojattukkeihin kohdistuvia tyypillisimpiä asiakasvaatimuksia. Useimmiten asiakasvaatimukset koskevat putkiyhteiden sijaintia. Suunnitteluvaiheen tutkimuksella saatiin selville konkreettisia suunnittelusääntöjä, käytettäviä vakiomittoja sekä nykyisen kokoojattukien valmistusdokumentin sisältö. Valmistuksen tutkimuksessa keskityttiin valmistusvaiheisiin ja niiden rajoitteisiin, jotka toimivat usein perusteluina suunnittelussa käytettäville vakiomitoille. Prosessien nykytilan tutkimuksessa selvisi, että nykytilassa kokoojattukien lopullinen rakenne päätetään valmistuksen aikana. Tämän aiheuttaa valmistusdokumentti, joka ei sisällä mittakuvia kokoonpanosta tai valmistettavista osista. Nykytilassa tämä ei ole tuotannon sujuvuuden kannalta suuri ongelma, sillä kokoojattukivalmistuksen työntekijöillä on pitkä kokemus valmistuksesta. Kunnollisten valmistusdokumenttien puutteen on arvioitu olevan ongelma lähitulevaisuudessa, kun nykyisiä kokoojattukivalmistuksen työntekijöitä eläköityy.

Taustatutkimuksen jälkeen sen tuloksia käytettiin selvitettäessä vaatimuksia suunnitteluautomaatin toiminnalle, pakollisia lähtötietoja ja vaikutuksia nykyisiin prosesseihin. Yksi tärkeimmistä vaatimuksista suunnitteluautomaatille oli, että sen on nopeutettava kokoojatukkien suunnittelua ja valmistusta. Tähän arvioitiin päästävän sillä, että automaatti tuottaa työkuvat valmistettavista osista ja osalista, josta selviää kokoojatukkien osat ja lukumäärät. Suunnitteluautomaatin toiminta pyrittiin toteuttamaan siten, että se ei aiheuta lisätyötä tuotantoprosessiin. Tästä huolimatta tilauskirjaan päädyttiin lisäämään kentät putkiyhteiden sijainneille ja liitososien tarkemmalle ilmoittamiselle, jotta kokoojatukkien automaattinen suunnittelu olisi mahdollista heti kun kiertojärjestely on valittu suunnitteluvaiheessa. Muissa tapauksissa muutokset nykyisissä prosesseissa olivat työtä vähentäviä. Nykyisin kokoojatukkien valmistusdokumentti toimitetaan valmistuspaikalle tulostettuna, mutta tämä ei todennäköisesti ole kannattavin tapa automaatin käyttöönoton jälkeen, sillä dokumenttien määrä kasvaa huomattavasti. Tästä syystä tulisi miettiä tietokoneiden ja näyttöjen sijoittamista kokoojatukkien valmistuspaikalle siten, että piirustusten katsominen olisi mahdollista työvaihetta suorittaessa.

Suunnitteluautomaatin käytännön toteutus aloitettiin suunnittelemalla tarvittavat ohjelmistokomponentit ja automaatin toiminta osana tuotannonhallintajärjestelmää. DriveWorks- ja Solidworks-ohjelmistojen lisäksi tarvittiin ohjelma, joka hakee tiedon valitusta kiertojärjestelystä ja kokoojatukkiin porattavista rei'istä ja muuntaa sen taulukkotiedostoksi, joka pystytään lukemaan Solidworksilla. Tämän lisäksi automaattiin haluttiin ominaisuus, jolla voidaan muokata tilauksia tarpeen vaatiessa tyypillisimpien asiakasvaatimusten mukaisiksi. Automaatin toteuttaminen aloitettiin mallintamalla tarvittavat 3D-mallit ja työkuvapohjat Solidworksilla ja kaappaamalla näistä tarvittavat piirteet ja mitat DriveWorks Administratoriin. Tämän jälkeen kaapatuille ominaisuuksille kirjoitettiin taustatutkimuksen perusteella saadut suunnittelusäännöt. MySQL-tietokantaan luotiin kokoojatukkien tilauksia varten taulu, jolle asetettiin DriveWorks Autopilot -tietokantakuuntelija. Kiertojärjestelytiedon Solidworksiin siirtämistä varten kirjoitettiin kiertokonverterri Python ohjelmointikielellä. Ohjelman päätehtävä on tuottaa taulukkotiedostot kokoojatukin liitosputkien paikasta ja täyttää kokoojatukkien tilaustaulua kiertojärjestelyyn liittyvällä tiedolla. Kun kiertokonverterriohjelma on suoritettu tilaukselle, on tilaus valmis työkuvien luomista varten. Kokoojatukkien asiakasvaatimusten mukaisiksi muokkaamista varten automaattiin luotiin web-tekniikoilla käyttöliittymä, jolla muokataan kokoojatukkien tilaustaulun tietoja. Käyttöliittymän käyttäminen ei ole pakollista työkuvien luomisen kannalta. Suunnitteluautomaatti ja sen kaikki ohjelmistokomponentit saatiin toteutettua siten, että ne täyttävät niille asetetut vaatimukset ja ovat valmiita käyttöönottoon. Käyttöönottoa ei

kuitenkaan ehditty tekemään ennen diplomityön palauttamista. Käyttöönotto vaatii muutamia lisäyksiä tuotannonhallintajärjestelmään. Näitä lisäyksiä ovat muun muassa datan kirjoittaminen kokoojatukkien tilaustauluun lamellipatterin tuotantoon siirron yhteydessä ja käyttöliittymän siirtämistä tuotantopalvelimelle.

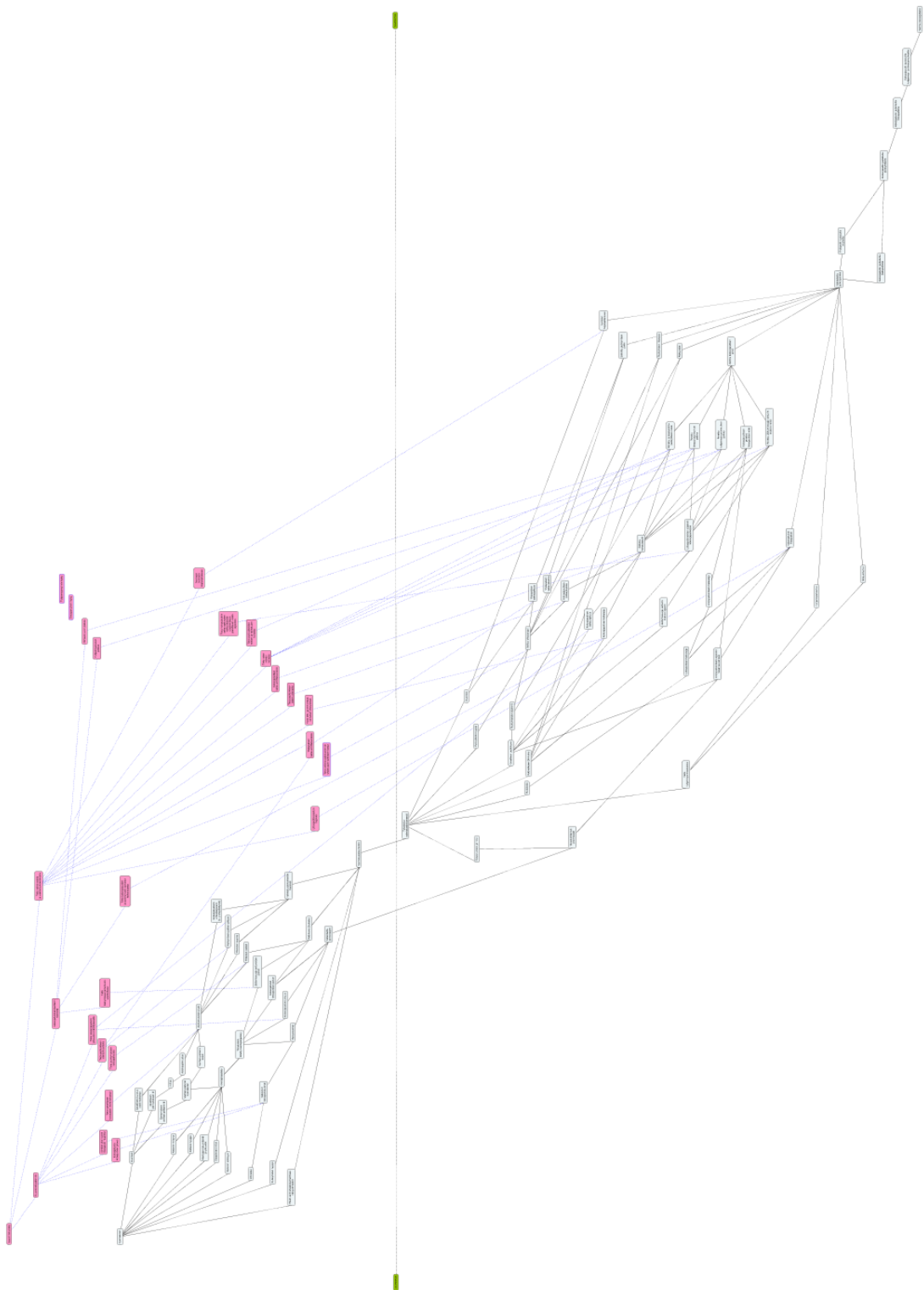
Kokonaisuudessaan diplomityön kohteena ollut lamellipattereiden kokoojatukkien suunnittelun automatisointiprojektia voidaan pitää onnistuneena. Automaatille asetetut tavoitteet saatiin täytettyä ja työ valmistui sille varatussa ajassa. Työn onnistumista tuotannon tehostamisen kannalta ei voida vielä arvioida, koska valmistettu suunnitteluautomaatti ei ole tuotantokäytössä. Edellisten automatisointiprojektien vaikutusten pohjalta voidaan kuitenkin olettaa automaatin vaikutusten olevan myönteisiä. Suunnitteluautomaatin jatkokehitys aloitetaan heti käyttöönoton jälkeisessä vaiheessa, jossa automaatin tuottamat kuvat tarkistetaan suunnittelijan toimesta ennen niiden siirtämistä kokoojatukkien valmistuspaikalle. Tämä toimintatapa on havaittu toimivaksi edellisten automatisointiprojektien yhteydessä, koska sillä varmistutaan siitä, että tuotantoon ei päädy virheellisiä kuvia ja automaatin suunnittelusääntöihin mahdollisesti jääneet virheet tulevat esiin, jolloin ne voidaan korjata.

LÄHTEET

- [1] Lamellipatteriesite, Oy Ekocoil, verkkosivu Saatavissa (viitattu 17.1.2019): http://ekocoil.fi/assets/lamellipatterit_uusi_pohja.pdf
- [2] T. Kuppan, Heat Exchanger Design Handbook Second Edition, CRC Press, Boca Raton Florida, 2013, 1186 p.
- [3] A. Aittomäki, Kylmäteknikka 4. painos, Suomen kylmäyhdistys, Helsinki, 2012, 413 s.
- [4] Pipework components. Definition and selection of DN (nominal size), Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 6708, Helsinki, 1996
- [5] Kupari ja kupariseokset. Saumattomat pyöreät kuparikutket LVI-käyttöön = Copper and copper alloys. Seamless, round copper tubes for water and gas in sanitary and heating applications, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN 1057 + A1, Helsinki, 2010
- [6] 5490 Hanamuhvi, Merikarvian LVI-tuote Oy, verkkosivu Saatavissa (viitattu 16.1.2018): <https://www.mlvi.fi/fi/tuotteet/tuotteet/messinkiset-putkiyhteet/5490-hanamuhvi/>
- [7] Tuotteet, Merikarvian LVI-tuote Oy, verkkosivu Saatavissa (viitattu 16.1.2019): <https://www.mlvi.fi/fi/tuotteet/tuotteet/>
- [8] Kulmamuhvi 1/4" Ilmaruuvia varten, Merikarvian LVI-tuote Oy, verkkosivu Saatavissa (viitattu: 16.1.2019): <https://www.mlvi.fi/fi/tuotteet/tuotteet/messinkiset-putkiyhteet/kulmamuhvi-14-ilmaruuvilla/>
- [9] Kevytmetallilaippa/messinkikaulus, Merikarvian LVI-tuote Oy, verkkosivu Saatavissa (viitattu: 16.1.2019): <https://www.mlvi.fi/fi/tuotteet/tuotteet/laipat/kevytmetallilaippamessinkikaulus/>
- [10] Kierralaippa EN 1092-1 type 13 tekniset tiedot, Onninen, verkkosivu Saatavissa (viitattu 21.1.2019): <http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/10170212.pdf>
- [11] 5410 Kupariputkennippa, Merikarvian LVI-tuote Oy, verkkosivu Saatavissa (viitattu: 16.1.2019): <https://www.mlvi.fi/fi/tuotteet/tuotteet/messinkiset-putkiyhteet/5410-kupariputkennippa/>

- [12] W. M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho, Handbook of Heat Transfer, McGraw-Hill Education, New York, 1998
- [13] R. Pigford, M. Ashraf, Y. Miron, Flow Distribution in Piping Manifolds, Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, Vol. 22, Iss. 4, 1983, pp. 463-471
- [14] F. Lu, Y.Luo, S.Yang, Analytical and Experimental Investigation of Flow Distribution in Manifolds for Heat Exchangers, Journal of Hydrodynamics, Vol. 20, Iss. 2, 2008, pp. 179-185
- [15] Z. Jian, S. Zhongning, D. Ming, B. Haozhi, Z. Nan, M. Zhaoming, CFD simulation for flow distribution in manifolds of central-type compact parallel flow heat exchangers, Applied Thermal Engineering, Vol. 126, 2017, pp. 670-677
- [16] A. Martio, Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta, Amartekno Oy, Espoo, 2015, 304 s.
- [17] DriveWorks Pro, DriveWorks Ltd, verkkosivu Saatavissa (viitattu 4.2.2019):
<https://www.driveworks.co.uk/products/driveworkspro/>
- [18] Info: Individual and Shared Groups, Driveworks Ltd, verkkosivu Saatavissa (viitattu 25.3.2019):
<http://docs.driveworkspro.com/Topic/InfoIndividualAndSharedGroups>

LIITE A: KOKOOJATUKKIEN SUUNNITTELUN JA VALMISTUKSEN VIRTAUSMALLIN YLEISKUVA



LIITE B: LUODUT SOLIDWORKS-TIEDOSTOT

Tiedostonimi	Tyyppi	Selite
paakokoonpano	SLDASM	Molemmat kokoojatukit sisältävä kokoonpano. Sisältää oikea- ja vasenkätisen konfiguraation
kokoojakokoonpano_in	SLDASM	Menokokoojan kokoonpanotiedosto
hanamuhvi_in	SLDPRT	Menokokoojan muhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
ilmaus_in	SLDPRT	Menokokoojan ilmausmuhvi
jaatymissuoja_in	SLDPRT	Menokokoojan jäätymissuojamuhvi
jiiriyhde_in_ala	SLDPRT	Jiiri-tyyppisen yhteen kupariosa kokoojatukin alapäähän
jiiriyhde_in_yla	SLDPRT	Jiiri-tyyppisen yhteen kupariosa kokoojatukin yläpäähän
kierrelaippa_in	SLDPRT	Menokokoojan kierrelaippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
kulmamuhvi_in_ala	SLDPRT	Menokokoojan alapäähän kiinnitettävä kulmamuhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
kulmamuhvi_in_yla	SLDPRT	Menokokoojan yläpäähän kiinnitettävä kulmamuhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
laippakokoonpano_in	SLDASM	Menokokoojan laippakokoonpano. Sisältää laipan keskiön ja laipan. Sisältää eri kokoojien konfiguraatiot
laipankaulus_in	SLDPRT	Menokokoojan laipan keskiö. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
laippa_in	SLDPRT	Menokokoojan laippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
liitosputki1_in	SLDPRT	Poraussuunnasta katsottuna oikeanpuoleinen menokokoojan liitosputki.
liitosputki2_in	SLDPRT	Keskimmäinen menokokoojan liitosputki
liitosputki3_in	SLDPRT	Poraussuunnasta katsottuna vasemmanpuoleinen menokokoojan liitosputki
nippa_in	SLDPRT	Menokokoojan nippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot

paatylatka_in_ala	SLDPRT	Menokokoojan alapäädyn sulkeva päätypala. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
paatylatka_in_yla	SLDPRT	Menokokoojan yläpäädyn sulkeva päätypala. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
tukki_in	SLDPRT	Menokokoojan kokoojaputki. Sisältää konfiguraatiot eri yhdetyypeille
tyhjennys_in	SLDPRT	Menokokoojan tyhjennysmuhvi
yhdeputki_in	SLDPRT	Menokokoojan yhdeputki
kokoojakokoonpano_out	SLDASM	Paluukokoojan kokoonpanotiedosto
hanamuhvi_out	SLDPRT	Paluukokoojan muhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
ilmaus_out	SLDPRT	paluukokoojan ilmausmuhvi
jaatymissuoja_out	SLDPRT	Paluukokoojan jäätymissuojamuhvi
jiiriyhde_in_out	SLDPRT	Jiiri-tyyppisen yhteen kupariosa kokoojatukin alapäähän
jiiriyhde_in_out	SLDPRT	Jiiri-tyyppisen yhteen kupariosa kokoojatukin yläpäähän
kierrelaippa_out	SLDPRT	Paluukokoojan kierrelaippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
kulmamuhvi_in_out	SLDPRT	Paluukokoojan alapäähän kiinnitettävä kulmamuhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
kulmamuhvi_in_out	SLDPRT	Paluukokoojan yläpäähän kiinnitettävä kulmamuhvi. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
laippakokoonpano_out	SLDASM	Paluukokoojan laippakokoonpano. Sisältää laipan keskiön ja laipan. Sisältää eri kokoojien konfiguraatiot
laipankaulus_out	SLDPRT	Paluukokoojan laipan keskiö. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
laippa_out	SLDPRT	Paluukokoojan laippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
liitosputki1_out	SLDPRT	Poraussuunnasta katsottuna oikeanpuoleinen paluukokoojan liitosputki.
liitosputki2out	SLDPRT	Keskimmäinen paluukokoojan liitosputki

liitosputki3_out	SLDPRT	Poraussuunnasta katsottuna vasemmanpuoleinen paluukokoojan liitosputki
nippa_out	SLDPRT	Paluukokoojan nippa. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
paatylatka_out_ala	SLDPRT	Paluukokoojan alapäädyn sulkeva päätypala. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
paatylatka_out_yla	SLDPRT	Paluukokoojan yläpäädyn sulkeva päätypala. Sisältää eri kokojen konfiguraatiot
tukki_out	SLDPRT	Paluukokoojan kokoojaputki. Sisältää konfiguraatiot eri yhdetyypeille
tyhjennys_out	SLDPRT	Paluukokoojan tyhjennysmuovi
yhdeputki_out	SLDPRT	Paluukokoojan yhdeputki
kokoojatukki_in_piirustus	SLDDRW	Menokokoojan kokoojaputken piirustus
kokoojatukki_out_piirustus	SLDDRW	Paluukokoojan kokoojaputken piirustus
paakokoonpanopiirustus	SLDDRW	Pääkokoonpanon piirustus
yhdeputki_in_piirustus	SLDDRW	Menokokoojan yhdeputken piirustus
yhdeputki_out_piirustus	SLDDRW	Paluukokoojan yhdeputken piirustus

LIITE C: DRIVEWORKS

LÄHTÖTIETOLOMAKKEIDEN KENTÄT

Nimi	Lomake	Selite
putyh_in	kokooja_in	Menoputkiyhteen DN koko
pituus_in		Menotukin ylimmän ja alimman liitosputkireiän väli
putyh_pituus_in		Menoyhdeputken pituus
putyh_liitos_in		Menoyhteen liitososan numero
putyh_sijainti_in		Menoyhteen etäisyys ylimmästä liitosputkireiästä
ylinreika_in_1		Menotukin 1. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
ylinreika_in_2		Menotukin 2. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
ylinreika_in_3		Menotukin 3. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
sarakkeitaln		Menotukin liitosputkisarakkeiden lukumäärä
y_sijainti_in		Menotukin etäisyys etupäädystä
yhdekulma_in		Menotukin putkiyhteen kulma, 90 suoraan eteenpäin
yhteen_suunta_in		Menotukin yhteen suunta, 0 eteen, 1 ylös, 2 alas
reikia_sarake_in_1		Menotukin 1. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä
reikia_sarake_in_2		Menotukin 2. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä
reikia_sarake_in_3		Menotukin 3. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä

jaatymissuoja_in		Menotukin jäätymissuojamuhvin sijainti
ensimmäinen-reika_in		Menotukin ensimmäisen liitosputkireiän etäisyys tukin päädyistä
ensimmäinen-reika_in_paatyyhde		Menotukin liitososan etäisyys ensimmäisestä putkireiästä pääty-yhdekonfiguraatiossa.
putyh_out	kokooja_out	Paluuyhteen DN koko
pituus_out		Paluutukin ylimmän ja alimman liitosputkireiän väli
putyh_pituus_out		Paluuyhdeputken pituus
putyh_liitos_out		Paluuyhteen liitososan numero
putyh_sijainti_out		Paluuyhteen etäisyys ylimmästä liitosputkireiästä
ylinreika_out_1		Paluutukin 1. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
ylinreika_out_2		Paluutukin 2. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
ylinreika_out_3		Paluutukin 3. sarakkeen ylimmän liitosputkireiän etäisyys ensimmäisestä porattavasta reiästä
sarakkeitaOut		Paluutukin liitosputkisarakkeiden lukumäärä
y_sijainti_out		Paluutukin etäisyys etupäädyistä
yhdekulma_out		Paluutukin putkiyhteen kulma, 90 suoraan eteenpäin
yhteen_suunta_out		Paluutukin yhteen suunta, 0 eteen, 1 ylös, 2 alas
reikia_sarake_out_1		Paluutukin 1. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä
reikia_sarake_out_2		Paluutukin 2. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä
reikia_sarake_out_3		Paluutukin 3. liitosputkisarakkeen reikien lukumäärä

jaatymissuoja_out		Paluutukin jäätymissuojamuhvin sijainti
ensimmäinen- reika_put		Paluutukin ensimmäisen liitosputkireiän etäisyys tukin päädystä
ensimmäinen- reika_out_paatyyhde		Paluutukin liitososan etäisyys ensimmäisestä putkireiästä pääty-yhdekonfiguraatiossa.
vastavirta	yleiset	1 tai 0, tehdäänkö patteri vastavirtaperiaatteella
tilausnro		Patterin tilausnumero
tilausrivinro		Patterin tilausrivinnumero/positio
wincalc_id		Tietokantataulun rivin id
katisyys		Patterin kätisyys
putko		Patterin putkikoko
tyomaaraimet_id		Patterin työmääräin
tyhjennysilmaus		1 tai 0, tuleeeko kokoojiin tyhjennys ja ilmausruuvit
jaatymissuojien_lkm		Jäätymissuoja-anturin muhvien lukumäärä patterissa
menon_etäisyys_paluusta		Meno- ja paluukokoojatukkien ylimpien liitosputkireikien välinen etäisyys
zfys		Patterin rivisyys