

# Parametrinen suunnittelu Autodesk Inventor-ohjelmalla

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Suunnittelupainotteinen  
mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
kevät/2017  
Janne Mökkälä

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

MÖKKÄLÄ, JANNE:  
Inventor-ohjelmalla

Parametrinen suunnittelu Autodesk

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 31 sivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

---

Tietokoneavusteinen suunnittelu eli CAD tarkoittaa tietokoneen käyttöä osana suunnittelua. CAD-suunnittelu yleistyi jo 1980-luvulla ja samoihin aikoihin on myös esitetty ensimmäiset 3D-CAD-suunnitteluohjelmat. Nykyään 3D-suunnitteluohjelmat ovatkin syrjäyttämässä niin sanotut perinteiset kaksiulotteiset suunnitteluohjelmat.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää CAD-suunnitteluprosessia varmemmaksi ja nopeammaksi verrattuna tavalliseen suunnitteluun. Käytössä oleva ohjelma on Autodesk Inventor Professional 2017, jota ohjataan Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Autodesk Inventor 2017 on 3D-suunnitteluohjelma. Osiin tai kokoonpanoihin lisätään Excel-tiedosto, jota voidaan lukea ja käyttää Inventor-ohjelman parametreissa. Parametrit ohjaavat kappaleen mittoja ja kokoonpanoja. Opinnäytetyössä perehdytään myös Inventorin iLogic-työkaluun. Parametrisella suunnitteluprosessilla luodaan kappaleita ja kokoonpanoja.

Työ aloitettiin tutustumalla yleiseen suunnitteluprosessiin ja sen kehittämistarpeisiin. Työssä keskitytään mekaanisiin osiin, jotka ovat järkevästi suunniteltavissa parametrisesti. Osat ovat siis toistuvia, mutta hieman erilaisia toisistaan aina.

Työn toteutus alkoi keväällä 2016 toimeksiantajan yrityksessä havaittujen kehityskohteiden pohjalta.

Asiasanat: parametrinen, 3D-suunnittelu, paperikone, perälaatikko, iLogic

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

MÖKKÄLÄ, JANNE:

Parametric designing using Autodesk  
Inventor

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 31 pages

Spring 2017

ABSTRACT

---

Computer-aided design also known as CAD, means using the computer as a tool in part of the design process. CAD designing became more common in the 1980's and at about the same time, the first 3D design software was introduced. Today the 3D design applications are starting to replace the so-called traditional two-dimensional design programs.

The objective of the thesis was to improve the CAD design process to make it more reliable and faster. The software that was used in the thesis is Autodesk Inventor Professional 2017, which is a 3D design program controlled by Microsoft Excel-spreadsheet. An Excel file is linked with the part or assembly, and can then be read and used in the Inventor parameters. The parameters control the item's dimensions and assemblies. Inventor's iLogic tool was also studied in the thesis. The parametric design will generate parts and assemblies.

The work was started by getting to know the standard procedure in the designing process and its development requirements. In this work, the focus was on mechanical parts that can sensibly be designed using parameters. The parts are repetitive but still mostly unique.

The implementation of the work started in spring 2016 due to development requirements from the client company.

Key words: parametric, 3D design, paper machine, headbox, iLogic

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TARKOITUS JA TAVOITTEET	3
3	PARAMETRISEN SUUNNITTELUN RATKAISUT	4
3.1	Parametrisuus AutoDesk Inventorissa	5
3.2	Parametrisuus-esimerkki	6
3.3	AutoDesk Inventor iLogic	9
3.4	iLogic-esimerkki	10
4	TOIMEKSIANTO	12
4.1	Toimeksiannon suoritus	13
4.1.1	Osien parametrisuus	16
4.2	Kokoonpanon parametrisuus	24
5	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	31

## LYHENNE-JA TERMILUETTELO

3D	Three dimensional, kolmiulotteinen
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
Constraint	Geometrian sitomistyökalu Inventorissa
ERP	ERP-järjestelmä (Enterprise Resource Planning) eli toiminnanohjausjärjestelmä
Extrude	Pursotustyökalu Inventorissa
Floor	Pyyhkii desimaalit Inventorin määrääarvoista. $\text{Floor}(27,9) = 27$
Flush	Constraint-valinta, joka asettaa pinnat samalle tasolle ja samaan suuntaan
Hole	Reikätyökalu Inventorissa
Mate	Constraint-valinta, joka asettaa pinnat vastakkain
Model	3D-malli
Offset	Geometrian monistustyökalu halutulle etäisyydelle
Sketch	2D-tai 3D-geometria, jolla määritellään CAD-mallinnuksessa piirteiden geometriaa
Suppress	Häivyttää osan tai toiminnan
Viira	Verkkomainen kangas, jolle ruiskutetaan paperimassaa
VLOOKUP	Yksi haku- ja viitefunktioista, kun etsitään kohteita taulukosta tai alueelta riveittäin

## 1 JOHDANTO

Suunnittelua tapahtuu koko ajan ja paljon ympäri maailmaa.

Suunnitteluprosessia onkin kehitetty jo pitkään, mutta viimeiset vuodet eivät ole enää kehittäneet itse suunnittelua juurikaan. Suunnitteluprosessi alkaa yleisesti lähtötietojen tutkimisella ja mittaamisella. Suunnittelija kerää tiedot ja alkaa niiden pohjalta suunnittelemaan.

Siirtyminen 2D-suunnittelusta 3D-suunnitteluun ei ole vähentänyt suunnittelutyötä niin paljon kuin olisi toivottu. 3-ulotteinen piirtäminen ei tarvitse yhtä täysmittaista teknistä piirustustaitoa kuin 2-ulotteinen piirtäminen, ja se onkin nykyään suosittu tapa aloittaa suunnittelutyö. Moni työpaikka vaatiikin nykypäivänä vain 3D-ohjelman käyttötaitoja, toki 2-ulotteisen piirto-ohjelman käyttötaidot nähdään erittäin positiivisiksi. 3D-piirtotekniikalla luodaan pintamuotoja sekä tilavuuskappaleita, joita voidaan esimerkiksi koneistaa ja työstää helposti. Uudelle suunnittelijalle 3D-piirtotekniikka on helppo tapa oppia suunnittelua sen visuaalisuuden takia. Mallia on helppo pyöritellä ja tutkia ruudulla, eikä se nykyään ole edes ongelma tavalliselle kodin tietokoneelle. 3D-malleja voidaan myös helpommin hyödyntää työstökoneiden ohjelmoinnissa sekä 3D-tulostimella. 3D-mallinnus helpottaa työkuvioiden valmistusta, sillä malleista saadaan helposti kuvannot, joihin voidaan lisätä mitoitukset.

Parametrinen suunnittelu ei muuta teoriassa suunnittelua mitenkään, ainoastaan arvojen syöttö ohjelmalle tapahtuu eri tavalla. Parametrisen suunnittelun hyödyt ovatkin prosessin nopeuttamisessa ja tuotteen laadun varmistamisessa. Suurin työ on toimivan pohjan eli mallikappaleen luonnissa. Mallikappaleen pitää olla suunniteltu niin, että sen arvoja voidaan onnistuneesti muuttaa ulkoisesti. Kun toimiva malli on saatu luotua, on helppo luoda uusia kappaleita vanhan pohjalta, myös työkuvat saadaan kopioitua vanhasta ja tottelemaan uutta mallia. Tällä toimintatavalla saadaan todistetusti toimivia ja johdonmukaisia kappaleita sekä osia suunniteltua.

Opinnäytetyön käytännön osassa on tutkittu, miten parametrinen suunnittelu parantaisi ja nopeuttaisi paperikoneen perälaatikon alarungon suunnitteluprosessia.

## 2 TARKOITUS JA TAVOITTEET

Toimeksiantajayritys löytyi harjoittelupaikasta, jossa olin jo päässyt tekemään suunnittelutöitä. Olikin helppo päättää opinnäytetyöaihe asiasta, joka on ollut työjonossa jo pitkään. Kokoonnuimme suunnittelujaoston kanssa keväällä 2016 ja päädyimme kyseiseen opinnäytetyöhön.

Tavoitteeksi osoittautuivat seuraavat kohteet: kehittää suunnitteluprosessia virheettömämmäksi ja nopeammaksi parametrissa suunnittelua hyväksi käyttäen. Samassa kokouksessa minulle annettiin perälaatikon alarungon malli, johon minun oli tarkoitus suunnitella parametrisuus. Samalle kappaleelle oli konsultti jo aikaisemmin hahmoitellut parametrissa suunnittelua. Malli on myös siitä hyvä, että siinä on monipuolisesti erilaisia toimintoja, joita voi järkevästi ohjata parametrisesti.

Toimeksiantajayrityksessä on jo käytössä useissa malleissa parametrisiä ohjauksia, joten aihe oli yrityksessä tuttu. Tavoitteeksi muodostui viedä parametrissa suunnittelua pidemmälle ja tutkia myös muita toimintoja, joilla suunnittelua saataisiin kehitettyä. Huomasimme toimeksiantajayrityksen kanssa muutamia seikkoja, joihin yritys haluaisi myös ratkaisuja. Komponentin vaihtaminen mallissa, ja sen ohjaus suoraan ohjaavasta taulukosta. Tämän tulisi toimia niin, että komponentti haettaisiin toiminnanohjausjärjestelmästä, tai niin, että se linkkautuisi siihen. ERP, joka toimeksiantajayrityksessä on SAP, aiheuttaa hieman ongelmia tämänkaltaisissa tilanteissa.

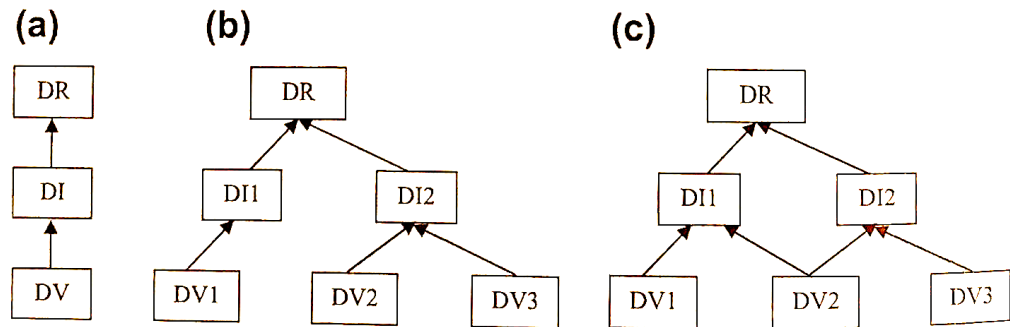


### 3 PARAMETRISEN SUUNNITTELUN RATKAISUT

Tuotteen kehitysvaiheessa kohdataan usein suunnitelman muutoksia. Monimutkaisemman ja useamman kokoonpanon sisältävän tuotteen suunnittelua muutettaessa vaadittava työ usein moninkertaistuu. Yksinkertaisiakin muutoksia tehtäessä saattaa muutos vaikuttaa muutettavan kappaleen läheisiin osiin ja siitä syystä myös tuotteen kokoonpanoon. Osat ja kokoonpano täytyy siis uudelleen määrittää ja rakentaa, jotta ne vastaisivat suunnitteluvaatimuksia sekä suunnittelijan odotuksia.

Hyvinkin määritelty kappale voi hajota täysin, jos sitä ei ole suunniteltu niin, että se kestäisi muutoksia. Toiminnoista tulee ratkaisemattomia ja suunnitteluohjelma ei pysty toteuttamaan niitä. Tästä esimerkkinä voitaisiin mainita sketch, jonka 2D-geometria ei ole muutoksen jälkeen enää suljettu. Tätä tapahtuu usein, eikä ohjelma pysty silloin toteuttamaan toimintoa, ja osa katoaa kokonaan. Geometria on yleensä suhteellisen helppo palauttaa, mutta vaatii silti aina ylimääräistä työtä.

Parametrinen ajattelu edellä mainituissa ongelmatilanteissa olisi hyvä etenemistapa. Ajatellaan, että asetetaan tietty vaatimus kappaleelle (DR) (KUVIO 1). Tämä tapahtuu siis suunnittelijan toimesta. Suunnittelija antaa tietyn vaatimuksen tuotteelle, jonka täytyy toteutua, esimerkkinä säiliön tilavuus. Säiliön tilavuuden on oltava vakio, vaikka muut mitat muuttuisivatkin. Kappaleen parametrisuutta ajateltaessa on lisättävä kappaleelle myös suunnittelutavoite (DI). Suunnittelutavoite on parametri, jota ohjaa yksi tai useampi suunnittelumuuttuja (DV). Kuten kuviossa 1 nähdään, voi suunnittelutavoitteita sekä suunnittelumuuttujia olla useampi, mutta suunnitteluvaatimuksia vain yksi. Kuviossa 1, kohdassa (c) on esitetty, kuinka yksi suunnittelumuuttuja voi ohjata myös useampaa suunnittelutavoitetta. (a) DR, DI ja DV välinen suora yhteys. (b) Erilliset suunnittelutavoitteet. (c) Yhdistetyt suunnittelutavoitteet.



KUVIO 1. Esimerkki suunnitteluvaatimuksen (DR), suunnittelutavoitteen (DI) ja suunnittelumuuttujan (DV) välisistä yhteyksistä. (Chang, 2014)

### 3.1 Parametrisuus AutoDesk Inventorissa

Parametrinen suunnittelu on ollut käytössä Inventorissa noin kymmenen vuotta, ja se on pysynyt tuon ajan hyvin samanlaisena. Inventor tallentaa jokaisen muotoon syötetyn mitan Parameters-osioon. Käyttäjä voi myös lisätä käsin omia parametrejä ohjelman sisällä User Parametreihin, jolloin niitä voidaan käyttää erilaisissa toiminnoissa. Parameters-välilehdellä luodaan myös linkki ulkoiseen tiedostoon, joka tässä opinnäytetyössä tulee olemaan aina Excel-tiedosto. Ohjelma lukee linkatusta tiedostosta numeeriset sekä tekstipohjaiset arvot ja tuo ne User-parametreihin. Tiedosto pitää tallentaa aina muutoksen jälkeen, jotta Inventor lukee uusimmat päivitykset. Inventor hyväksyy monia yksiköitä muun muassa pituudelle, massalle ja voimalle.

Parameter Name	Unit/	Equation	Nominal \	Driving Rule	Tol	Model Va	Ke	Comment
Sheet Metal ...								
Model Param...								
d0	mm	200 mm	200,0...		●	200,0...	<input type="checkbox"/>	
d1	mm	250 mm	250,0...		●	250,0...	<input type="checkbox"/>	
d2	mm	10 mm	10,00...		●	10,00...	<input type="checkbox"/>	
d3	deg	0,0 deg	0,000...		●	0,000...	<input type="checkbox"/>	
d4	mm	200 mm	200,0...		●	200,0...	<input type="checkbox"/>	
d5	mm	250 mm	250,0...		●	250,0...	<input type="checkbox"/>	
d6	mm	10 mm	10,00...		●	10,00...	<input type="checkbox"/>	
d7	deg	0,0 deg	0,000...		●	0,000...	<input type="checkbox"/>	
d8	mm	100,000 mm	100,0...		●	100,0...	<input type="checkbox"/>	
d9	mm	100 mm	100,0...		●	100,0...	<input type="checkbox"/>	
d10	mm	20 mm	20,00...		●	20,00...	<input type="checkbox"/>	
d17	mm	100 mm	100,0...		●	100,0...	<input type="checkbox"/>	
d18	mm	100 mm	100,0...		●	100,0...	<input type="checkbox"/>	
d19	mm	30 mm	30,00...		●	30,00...	<input type="checkbox"/>	
Reference P...								
User Parame...								
Holes	Text	Base					<input checked="" type="checkbox"/>	
Empty	Tr...	True					<input checked="" type="checkbox"/>	
C:\Users\Jan...								
Mass	kg	100 kg	100,0...		●	100,0...	<input checked="" type="checkbox"/>	
Choice	ul	1 ul	1,000...		●	1,000...	<input checked="" type="checkbox"/>	

KUVIO 2. Kuvakaappaus esimerkkikappaleen parametreista

### 3.2 Parametrisuus-esimerkki

Näytetään esimerkki, kuinka toimia parametrista säiliötä suunniteltaessa. Säiliötä tässä tapauksessa kuvaa ainesputki. Ajattelu alkoi lähtökohdasta, jossa tiedetään vain tilavuus, jonka säiliö vaatii. Tapaus voisi kuvata hyvin esimerkiksi suihkuputkea, joka suunnitellun suihkun saavuttaakseen tarvitsee sopivan tilavuuden. Suurin työ tässäkin tapauksessa tapahtuu Excelin sisällä. Kuvakaappaus syntyneestä taulukosta kuviossa 3.

Excelin täydentäminen alkoi tilavuuden merkitsemisellä. Tilavuus, jonka tässä taulukossa nimesin nimellä Volume, on ilmoitettava litroina (l) tai gallonina (gal). Seuraavaksi valitaan ainesputki taulukosta. Solu B6 on pudotusvalikko, joka lukee putkitaulukon sarakkeen 1 vaihtoehdot. Kun

haluttu putki on valittu, saadaan Excelin VLOOKUP toiminnolla automaattisesti muut samalla rivillä olevat arvot, jotka tässä taulukossa ovat putken ulkohalkaisija (Pipe\_OutDiam), putken vahvuus (Pipe\_Thck) ja putken sisähalkaisija (Pipe\_InDiam). Exceliin syötetty kaava lukee putken sisähalkaisijan, jonka avulla lasketaan putken sisäprofiilin pinta-ala. Tilavuus jaettuna sisäprofiilin pinta-alalla ja muutettuna millimetreiksi on halutun putken pituus (solu B10).

Inventorissa luodaan sketch, johon lisätään ympyrä. Ympyrä mitoitetaan putken, joko sisä- tai ulkohalkaisijan parametrilla. Mitoitettu ympyrä kopioidaan offset-toiminnolla putken vahvuuden verran ulko- tai sisäpuolelle, riippuen kumpaa mitta käytettiin putken mitoittamiseen. Tämän jälkeen pursotetaan kahden ympyrän väliin jäävää aluetta aikaisemmin lasketun putken pituuden verran. Pursotus-työkalun distance-laatikkoon syötetään parametri, jotta pursotusta voidaan ohjata parametrisesti. Inventorissa mallinnus on yleensä pieni osa työmäärästä, jota parametrisessa suunnittelussa suunnittelija kohtaa. Hyvin valmistettu ja tarkoin ajateltu taulukko on tärkeä pohja suunniteltaessa parametrisesti.

	A	B	C	D	I	J	K	L
1	Nimitys	Arvo	Yksikkö					
2	Mass	100	kg		1. Sarake	2. Sarake	3. Sarake	4. Sarake
3	Choice	3	ul		26,9 / 22,9	26,9	2	22,9
4	Chamfer_Fillet_0	2	ul		26,9 / 22,3	26,9	2,3	22,3
5	Volume	10	l		31,8 / 27,8	31,8	2	27,8
6	Pipe	114,3 / 107,9	mm		31,8 / 26,6	31,8	2,6	26,6
7	Pipe_OutDiam	114,3	mm		33,7 / 29,7	33,7	2	29,7
8	Pipe_Thck	3,2	mm		33,7 / 28,5	33,7	2,6	28,5
9	Pipe_InDiam	107,9	mm		38 / 33,4	38	2,3	33,4
10	Pipe_Length	1093,6	mm		38 / 32,8	38	2,6	32,8
11					38 / 34	38	2	34
12					42,4 / 37,8	42,4	2,3	37,8
13					42,4 / 37,2	42,4	2,6	37,2
14					48,3 / 43,7	48,3	2,3	43,7
15					48,3 / 43,1	48,3	2,6	43,1
16					60,3 / 55,7	60,3	2,3	55,7
17					60,3 / 54,5	60,3	2,9	54,5
18					63,5 / 58,9	63,5	2,3	58,9
19					63,5 / 57,7	63,5	2,9	57,7
20					70 / 64,8	70	2,6	64,8
21					70 / 64,2	70	2,9	64,2
22					76,1 / 70,9	76,1	2,6	70,9
23					76,1 / 70,3	76,1	2,9	70,3
24					88,9 / 83,1	88,9	2,9	83,1
25					88,9 / 82,5	88,9	3,2	82,5
26					101,6 / 95,8	101,6	2,9	95,8
27					101,6 / 94,4	101,6	3,6	94,4
28					114,3 / 107,9	114,3	3,2	107,9
29					114,3 / 107,1	114,3	3,6	107,1
30					127 / 120,6	127	3,2	120,6
31					127 / 119	127	4	119
32					139,7 / 132,5	139,7	3,6	132,5
33					139,7 / 131,7	139,7	4	131,7
34					168,3 / 160,3	168,3	4	160,3
35					168,3 / 159,3	168,3	4,5	159,3

KUVIO 3. Kuvakaappaus esimerkissäilön Excel-taulukosta

### 3.3 AutoDesk Inventor iLogic

Inventor-suunnitteluohjelma sisältää myös iLogic-sääntöjen luomiseen tarkoitettun aliohjelman. iLogic laajentaa laskennallisia kykyjä Autodeskin sisällä sallimalla säännöt. Nämä säännöt toimivat Autodesk Inventorin parametripäivitysmekanismilla ja sallivat lisätä paljon hienostuneimpia suunnittelupäämääriä malliin. (Autodesk 2014.)

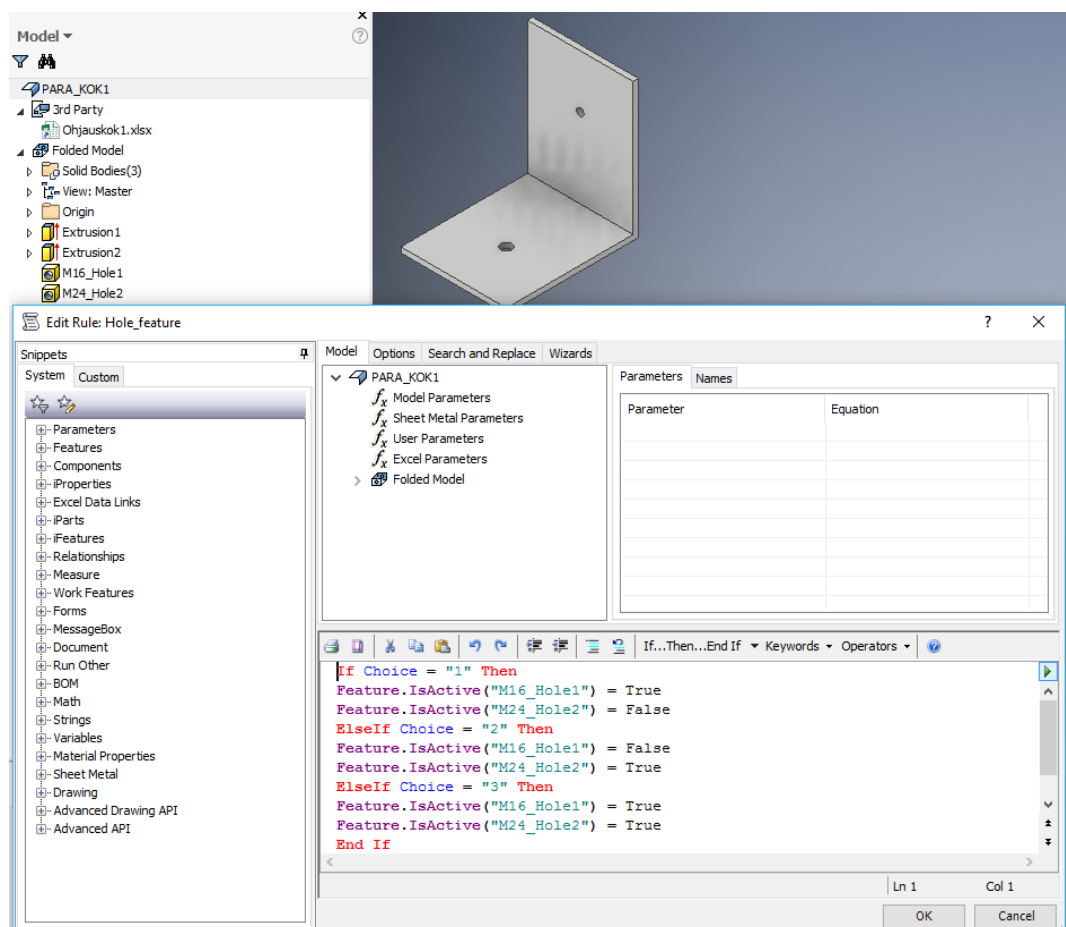
iLogic upottaa säännöt objekteina suoraan osaan, kokoonpanoon ja piirustusdokumenttiin. Säännöt määräävät ja ohjaavat parametri- ja ominaisuusarvoja suunnittelussa. Hallitsemalla näitä arvoja voidaan määrittellä mallin attribuuttien, ominaisuuksien ja komponenttien käyttäytymistä. Tieto tallentuu suoraan dokumenttiin, samalla tavalla kuin geometriset suunnittelu-elementit tallentuvat. (Autodesk 2016.)

Tavallisen parametrisen suunnittelun heikkous on sen toiminnallinen suppeus. Inventorissa sen ratkaisut jäävät mittojen ja määrien muuttamiseen. Tämä herätti mielenkiinnon parempien keinojen tutkimiseen. Olin jo aikaisemmin huomannut Autodeskin iLogic-toiminnon, mutten ollut vielä käyttänyt sitä. iLogic lisää Inventorin parametrisesti ohjattavia toimintoja runsaasti. iLogic muistuttaa paljon yksinkertaista koodaamista, eikä se välttämättä vaadi kokemusta ohjelmoinnista. Kirjottajallakaan ei ollut käytännössä ollenkaan ohjelmointikokemusta työtä aloitettaessa. iLogic lisättiin ensimmäistä kertaa Inventoriin vuonna 2011 julkaistussa versiossa.

### 3.4 iLogic-esimerkki

Tässä luvussa kerrotaan kuinka iLogic-toiminnolla ohjataan mallia. Käytetään kuvion 4 mukaista kappaletta.

Kuvion 3 solussa B3 on alasvetovalikko, jonka valintoina on 1, 2 ja 3. Huomasin, että numeraaliset arvot toimivat paremmin kuin sanalliset ja ovat nopeampia käyttää. Valinta 1 sallii M16-kierrereiän toteutuksen mallikappaleelle, valinta 2 sallii M24-kierrereiän ja valinta 3 molemmat samaan aikaan.



Kuvio 4. Esimerkkikappaleen malli ja iLogic ikkuna

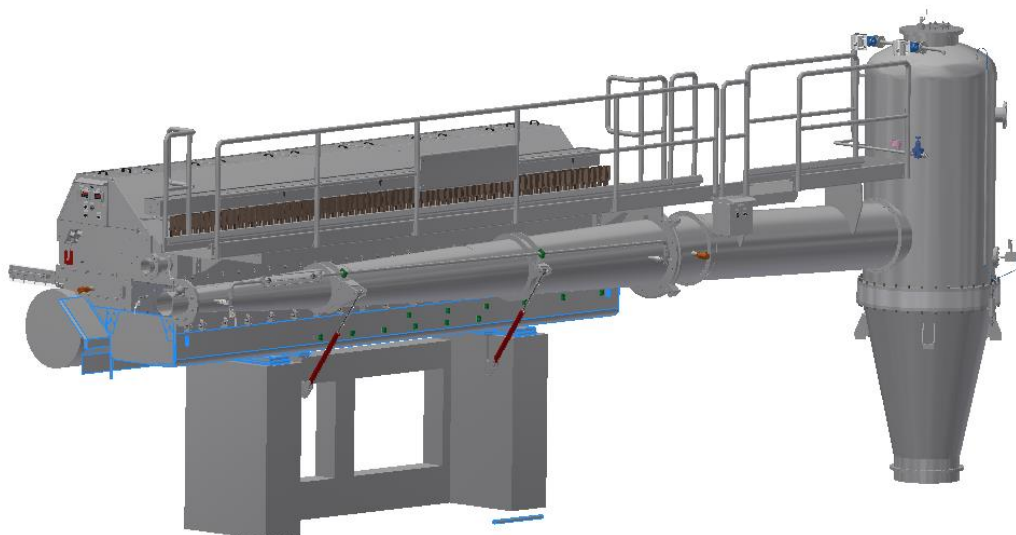
Kuvion 4 iLogic ikkunassa on esitetty yksinkertainen koodi, jolla ohjataan kahta Hole-toimintoa. Hole-toiminnot on nimetty M16\_Hole1 ja M24\_Hole2, kuten Model-puussa näkyy. iLogic löytää kaikki malliin tuodut omat sekä ohjelmassa syntyneet parametrit. Koodin kirjoittaminen on helppoa ja virheetöntä, koska käytännössä mitään ei tarvitse kirjoittaa itse. Kaikki tarvittavat toiminnot, ohjelman käskyt ja parametrit löytyvät iLogicista. Kaksoisklikkaamalla toimintoa se kirjoittuu tekstialustalle. Esimerkissä on yksi if-lausuke ja kaksi elseif-lauseketta. If-eli jos-lauseke toteutuu silloin kun haluttu valinta toteutuu. Kuten esimerkin ensimmäisellä rivillä näkyy, jos "Choice" antaa arvon "1", if-lauseke toteutuu ja toteuttaa sen alla olevat käskyt. Käskyt tässä tapauksessa ovat Feature.IsActive-tyyppiä, eli asettavat toiminnon joko päälle tai pois päältä. Käskyn jäljessä oleva toiminto menee päälle, jos se on asetettu = *True* ja pois päältä jos = *False*. *Elseif*-lauseke on aina if-lausekkeen perässä, ja se toimii aina kun If-lausekkeen valinta ei toteudu. *Elseif*-toimii muuten täysin samanlailla kuin If-lauseke. If-lauseke lopetetaan lauseella *End If*.

Koodi siis suorittaa kolme erilaista tulosta Choice-valinnan perusteella. Samalla esimerkillä onnistuu myös Component.IsActive-käskyn ohjaus, joka asettaa eri komponentit päälle tai pois päältä eli komponentin Suppress-tilaan tai pois siitä. Esimerkissäni kokeilin siis reiän ohjauksen sekä siihen sopivan ruuvien sekä mutterien tuonnin. Tämä on erittäin helppo ja kätevä tapa ohjata mallia parametrisesti. iLogic tuo tavalliseen parametriseen suunnitteluun paljon lisäpotentiaalia.



#### 4 TOIMEKSIANTO

Toimeksianto alkoi toimeksiantajayritykseltä saadusta pohjasta ja sen tutkimisesta. Pohjaan kuului alarungon 3D-malli, sekä ohjaus excel-tiedosto. Tietämykseni paperikoneen perälaatikosta oli työtä aloitettaessa vielä suhteellisen vajaa. Olin perillä perälaatikon pääpiirteistä ja toiminnoista, mutta mitään tarkempaa en tiennyt. Perälaatikon mitoitus onkin äärimmäisen tarkkaa, jotta halutut massavirtaukset ja ominaisuudet täyttyvät. Asiakkaan vaatimukset on pystyttävä toteuttamaan. Tässä työssä mitoitus on kuitenkin vain suuntaa antavaa, jotta toimeksiantajayrityksen mallisuoja säilyy. Alarunko on iso osa paperikoneen perälaatikkoa ja se sisältää noin 40 suunniteltavaa osaa ja yhteensä melkein 100 osaa. Alarunko ei kuitenkaan ole perälaatikon läheskään teknisin osa, eikä se sisällä kuin yhden toimilaitteen. Toimilaitte alarungossa on pumppu, joka kierrättää vettä alarungon kanavissa.



Kuvio 5. Paperikoneen perälaatikon kokoonpano, alaosa korostettu sinisellä

#### 4.1 Toimeksiannon suoritus

Kun uusi projekti aloitetaan ja saadaan lähtöarvot perälaatikon suunnittelulle, luodaan excel-tiedosto johon esimerkiksi projektipäällikkö täyttää yleisemmät tiedot yhdelle sivulle. Tästä excel-tiedosto saapuu suunnittelijalle, joka täyttää loput tiedot. Taulukossa olisi siis yksi sivu, joka olisi visuaalisempi ja helpommin luettava, sekä yksi sivu joka olisi suunnittelijan käytössä ainoastaan. Visuaalisemmalla sivulla on perälaatikon yhteiset tiedot ja toisella ohjaussivulla on alarungon ohjausparametrit, jotta selkeys säilyy. Visuaalisempi sivu on esitetty kuviossa 6 sekä suunnittelijan parametrit taulukossa 1. Muille perälaatikon osille on omat sivut, mutta tässä työssä ei niitä toteuteta. Tässä työssä joitain alarunkoon vaikuttamattomia arvoja on myös piilotettu pääohjaussivulta.

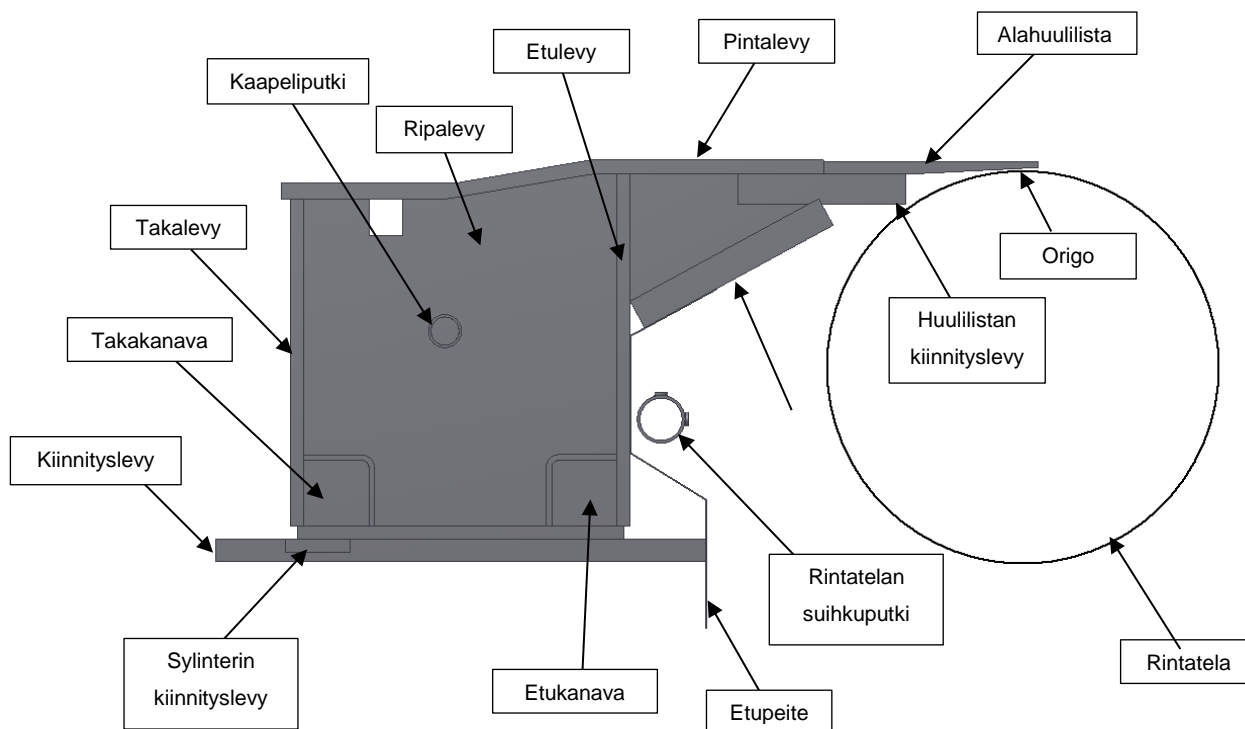
Tässä opinnäytetyössä esitellään monta alarungon osaa ja niistä tärkeimmät ovat esitetty kuviossa 7. Alaosan tärkeimpiä osia ovat alahuulilista ja pintalevy. Kaikki mallin parametrit on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Ohjausmallin parametrit excel-tiedostosta.

Nimitys	Arvo	Yksikkö
Ulosvirtausleveys	5750	mm
Alapinta	650	mm
Hitsauskutistuma_ohimenevä	7	mm
Hitsauskutistuma_väliintuleva	4	mm
Huulilista_paksuus	23	mm
Huulilistan_takapinta	300	mm
Huulilistan_atureuna_paksuus	7	mm
Huulilistankiinnitys_pääty	70	mm
Huulilistankiinnitys_perusjako	150	mm
Huulilistan_ruuvit	215	mm
Pintalevy_paksuus	25	mm
Taivutussäde_pintalevy	50	mm
Alahuulen_ja_viiran_vällys	5,5	mm
Ripajako	450	mm
Sisäjalkojen_keskiväli	3000	mm
Ulkojalkojen_keskiväli	2500	mm
Rintatela_D	800	mm
Muoviblokin_paksuus	50	mm
Muovibloki_taka_alanurkka	62,5	mm
Välikammio_alapinta	57,25	mm
Jakoputkiston_takapinta	1500	mm
Turbo_alapinta	7,2	mm
Välikammio_atureuna	927	mm
Välikammio_takareuna	1270	mm
Jakoputkisto_etulevyn_atureuna	1279	mm
Taka_kiinnitysruuvi	1504	mm
Etu_kiinnitysruuvi	581	mm
Takapinnan_koneistus	277,25	mm
Turbon_kevennys_atureuna	740	mm
Huulilistan_ruuvit	215	mm
Huulilistankiinnitys_perusjako	150	mm
Huulilistankiinnitys_pääty	70	mm
Huulilistan_paksuus	7	mm
Turbon_ruuvit	902	mm
Jakotukiston_ruuvit	1288	mm
Ruuvijako_perus_turbo	75	mm
Toimilaite_oik_reunasta	50	mm
Jakoputkiston_ruuvijako	150	mm
Kätisyys_o_0_v_1	0	ul
Laimennus_toimilaite	36	ul
Laimennus_1_laimentamaton_0	1	ul
Jakoputkiston_jako	75	mm
Muoviblokin_pituus	163	mm
RT_suihkuputken_korko	393,5	mm
Takaruuvi_korko	100	mm
Eturuuvi_korko	22,5	mm
Takaruuvi_etäisyys	1420	mm
Eturuuvi_etäisyys	228	mm
Päätylevyn_paksuus	30	mm
Ripalevy_paksuus	8	mm
Anturi_etäisyys	713	mm
Anturi_korko	503,5	mm
Kanavan_vasen_siirto	50	mm
Kanavan_oikea_siirto	125	mm
Pumppu_vaihtoehto_0_1	1	ul
Kaapeliputki_halk	60,3	mm
Kaapeliputki_vahv	2,3	mm
Rintatelsuihku_halk	60,3	mm
Rintatelsuihku_vahv	2,9	mm
Etupeitelevy_s	1,5	mm
Rintalevy_s	25	mm
Sylinterilevy_lkm	2	ul
Kanavalevy_pituus	4975	mm

	A	B	C	D
7				
9		<b>Projektin kuvaus</b>		
10				
11		<b>Projektikoodi</b>		
12		<b>Nimitys</b>		
13		<b>Sijainti</b>		
14		<b>Malli</b>		
15		<b>Projektinnumero</b>		
16				
17				
18		<b>Tekniset tiedot</b>		
19				
20		Ratanopeus		850 m/min
21		Rakennenoisuus		950 m/min
22		Etuseinän nostovaihde/kpl-määrä		3
23		Etuseinän siirtovaihde/kpl-määrä		2
24		Kokoonpanon piirustus		
25		Kokoonpanon pvm		
26		Ulosvirtausleveys		3000
27		Kätisyys		Oikea
28		Paino		9000
29		Jännite		Jännite 400V 50HZ
30		RintaTela halk. - huulipöytä/etäisyys rt:sta		800
31		Huulen liike		10-70, 3-40
32		Laimennus		Kyllä
33		Laimennuksen toimilaitteita		36
69		Pumpun valinta		MAGNA1_40-40
70		Kaapeliputki		60,3 / 55,7
71		Rintatelansuihku		60,3 / 54,5

Kuvio 6. Kuvakaappaus Excel-tiedoston pääohjaussivusta.



Kuvio 7. Alarungon poikkileikkaus, osat nimettyinä.

#### 4.1.1 Osien parametrisuus

Ohjausmalli, jota osien parametrisoinnissa esitetään, on ipt-tiedosto eli yksi osa ainoastaan. On yleinen tapa käyttää ohjausmallia juuri tällä tavalla. Tästä kyseisestä ohjausmallista muutoksien jälkeen tehdään erillisiä osia Make Components-toiminnolla.

Pintalevyn, sekä huulilistan parametrisuus on toteutettu samassa 2D-geometriassa seuraavasti. Horisontaalisella linjalla pintalevyn mittoja ohjaavat parametrit: Jakoputkiston takapinta, Välikammio takareuna, Välikammio etureuna sekä Huulilistan takapinta. Kaikki parametrit ovat mitoitettu samaan pisteeseen, joka on myös koko ohjausmallin origo.

Origo on määritetty rintatelan päälle, eli rintatelan säteen verran rintatelan keskipisteestä pystysuorasti ylöspäin.

Jakoputkiston takapinta-parametri ohjaa koko pintalevyn pituutta ja sen ohjaavan mitan toinen piste on pintalevyn vasemmassa reunassa kuvion 7 suunnasta katsottaessa. Jakoputkiston takapinta-parametri ohjaa siis samalla myös koko alarungon leveyttä, ja onkin tärkeä parametri alarungon parametrisuudessa. Leveydellä tarkoitetaan kuvion 7 suunnasta katsottaessa leveyttä vasemmalta oikealle. Pintalevyn taivutus on toteutettu niin, että taivutuksen sisäsäde on kaksi kertaa levyn vahvuus. Parametrit Välikammio takareuna ja Välikammio etureuna ohjaavat samassa geometriassa erillistä geometriaa, joka ohjaa pintalevyn koneistusta alarungon kokoonpanossa. Koneistuksessa ei ole tärkeitä parametrisia ratkaisuja, joten sitä ei tässä työssä esitellä. Huulilistan takapinta-parametri nimensä mukaisesti määrittelee huulilistan pituutta origon suhteen. Huulilista ulottuu myös origosta vakiomitan verran oikealle kuvion 7 suunnasta katsottaessa.

Pystysuoria mittoja ohjaavia parametreja samassa 2D-geometriassa ovat: Pintalevy paksuus, Alahuulen ja viiran välys, huulilista etureuna paksuus sekä turbo alapinta. Pintalevy paksuus-parametri ohjaa pintalevyn paksuutta. Turbo alapinta-parametri ohjaa pintalevyn koneistuksen syvyyttä kokoonpanossa. Huulilista etureuna paksuus-parametri ohjaa huulilistan etureunan paksuutta, ja Alahuulen ja viiran välys-parametri ohjaa huulilistan alareunan ja viiran välillä olevaa välystä. Yhdessä nämä kaksi parametria määrittävät alahuulen yläreunan etäisyyden viirasta eli rintatelan pinnalta. Alahuulilistan pursotuksessa on käytetty tätä geometriaa sekä toista geometriaa, jossa on määritelty vielä alahuulilistan paksuus parametrilla Huulilistan paksuus.

Etu- ja takalevyn mallinnuksessa on käytetty parametrisuutta ainoastaan korkeuden mitoituksessa, joka ohjautuu Alapinta-parametrilla. Muu geometria ei muokkaudu parametrisesti. Pitkien osien hitsauskutistuma on otettu huomioon lyhentämällä kappaleiden pituuksia parametrisesti. Tässä työssä se on toteutettu Move face-toiminnolla, joka siirtää jo mallinnettujen kappaleiden pintoja haluttuun suuntaan. Hitsauskutistuma ohimenevä-parametri määrittelee hitsauskutistuman kompensoinnin määrän. Hitsauskutistuma voi olla jopa useamman millimetrin. Kyseisiä pitkiä osia tässä työssä ovat etulevy, takalevy, rintalevy sekä huulilistan kiinnityslevy.

Rintalevyssä sekä huulilistan kiinnityslevyissä ei juurikaan ole omia parametreja, vaan ne mallintuvat muiden geometrioiden avulla. Hyvin määritelty geometria pysyy kasassa itsestään ja muokkaantuu muiden mukana. Ripalevy on myös parametrinon.

Kun luodaan 2D-geometriaa, joka ohjautuu muiden osien geometrioista, on tärkeää, että geometria pysyy halutussa muodossa. Tätä varten geometriaa pitää sitoa olemassa olevaan geometriaan Constraint-työkaluilla. Esimerkiksi ripalevyn geometria on sidottu useilla Constraint-ehtoilla pintalevyyn, takalevyyn ja etulevyyn. Yleisimpiä Constraint-ehtoja ovat esimerkiksi horisontaalinen, vertikaalinen, tangentti sekä yhdensuuntainen sitominen. Sitomisen onnistumiseksi suunnittelijan täytyy projisoida uudella geometrialle halutut geometriat toisista osista. Tämä onnistuu Inventorin Project geometry toiminnolla, kun ollaan luomassa uutta geometriaa. Tämän takia onkin tärkeää miettiä järjestys jossa osia kannattaa suunnitella ja mallintaa.

Kiinnityslevy sekä Sylinterin kiinnityslevy ovat mallinuksessa parametrittomia. Niiden geometriat ovat sidottuina Taka- ja Etulevyyn. Molempien levyjen sijainnit toisaalta taas ovat parametrilla ohjattuja. Kiinnityslevyn sijainti ohjataan parametrilla Ulkojalkojen keskiväli, ja mitoitus toimii niin, että mitta on kiinnityslevyjen keskipisteiden välimitta. Alarungon ohjausmallissa siis kiinnityslevyn keskipisteen etäisyys, mallin keskipisteestä on parametrin mitta jaettuna kahdella.

Sylinterin kiinnityslevyn sijainti on hieman monimutkaisempi, johtuen alarungon pituuden vaikutuksesta sylinterien määrään. Määrittelin sylinterien määrän seuraavasti. Kun alarungon parametri Ulosvirtausleveys on alle 3000 mm, niin sylinterien ja sylinterilevyjen määrä on 1 ja sijainti keskellä alarunkoa tulee kaavasta 1. Kun alarungon parametri Ulosvirtausleveys on yli 3000 mm, mutta alle 6000 mm, niin sylinterien ja sylinterilevyjen määrä on 2 ja etäisyys keskilinjasta lasketaan kaavalla 1. Kun alarungon parametri Ulosvirtausleveys on yli 6000 mm, niin sylinterien ja sylinterilevyjen määrä on 3 ja etäisyys lasketaan edelleen kaavalla 1. Sylinterilevyjen lukumäärä tulee excelin if-lausekkeella, joka ohjaa parametria Sylinterilevy\_lkm. Tämä sovellus esittää selkeästi kuinka yhdellä kaavalla sekä yhdellä muuttuvalla parametrilla saadaan monipuolinen ohjaustapa.



$$Mitta = 1500 \text{ mm} \times \text{Sylinterilevy\_lkm} - 1500 \text{ mm} \quad (\text{Kaava 1})$$

Etu- ja takakanavalevyjen parametrisointi on toteutettu seuraavasti. Levyjen muodot ovat geometriassa, joka on vakio ja kanavat ovat aina Etu- ja takalevyissä kiinni. Parametrilla muotoilua kanavalevyissä toteuttaa pursotuksen pituus, eli kuinka pitkä kanavalevy on. Pituus saadaan kun vähennetään haluttu pituus parametrilla Ulosvirtausleveys, sekä perälaatikon kätisyydestä aiheutuvat siirrot. Syntynyt parametri on esitetty kaavassa 2.

$$\begin{aligned} \text{Kanavalevy pituus} &= \text{Ulosvirtausleveys} - 600 \text{ mm} - \\ &\text{Kanava vasen siirto} - \text{Kanava oikea siirto} \end{aligned} \quad (\text{Kaava 2})$$

Nimetään se parametriksi Kanavalevy pituus. Pituudesta vähennetään vakiomitta 600 mm, jotta kanava jäisi sopivasti lyhyemmäksi kuin itse alarunko. Kanavan siirto-parametreilla ideana on tehdä levystä hieman epäsymmetrinen keskilinjaan verrattuna. Tämä johtuu siitä, että kanavien väliin liitettävä kiertovesipumppu tarvitsee hieman pidemmän kanavalevyn kuin toiseen päähän tuleva putki.

Kätisyydellä tarkoitetaan paperikoneen käyttöpuolen suuntaa, kun seisotaan perälaatikolla ja katsotaan virtauksen suuntaan. Kuten kuviosta 5 nähdään, niin tässä perälaatikossa kätisyys on oikea. Kun kätisyys on oikea, niin alarunkoon ja kanaviin tuleva kiertovesipumppu tulee hoitopuolelle. Kätisyys\_o\_0\_v\_1-parametri antaa oikealla arvolla 0 ja vasemmalla arvolla 1. Näitä lukuarvoja käytetään ohjaamaan esimerkiksi juuri kanavan siirtoja.

Kanavan oikea siirto-parametri on esitetty kaavassa 3 ja Kanavan vasen siirto-parametri kaavassa 4.

$$\begin{aligned} \text{Kanavan oikea siirto} &= 125 \times (1 - \text{Kätisyys}_{o_0_v_1}) + 50 \times \\ &\text{Kätisyys}_{o_0_v_1} \end{aligned} \quad (\text{Kaava 3})$$

$$\begin{aligned} \text{Kanavan vasen siirto} &= 125 \times \text{Kätisyys}_{o_0_v_1} + 50 \times (1 - \\ &\text{Kätisyys}_{o_0_v_1}) \end{aligned} \quad (\text{Kaava 4})$$

Kanavan siirto-parametreista täytyy huomata, että tarkastelusuunta on eri kuin kätisyyttä tutkittaessa. Eli alarunkoa katsotaan rintatelan suunnasta ja kun kätisyys on oikea, niin Kanavalevykin on hieman pidempi oikealta kuten kaavoista 3 ja 4 nähdään. Kiertovesipumpun putkelle sekä kanavia yhdistävälle putkelle tarkoitetut reiät täytyy myös ohjata parametrisesti kätisyyden vaihtuvuuden takia. Kaavat ovat täysin samanlaiset, mutta mitat ovat mitoitettu eri pisteisiin. Kiertovesipumpun reikä on mitoitettu kanavalevyn oikeaan reunaan ja kanavia yhdistävän putken reikä vasempaan reunaan rintatelalta katsottaessa. Reikien sijainti esitetty kaavassa 5.

$$\begin{aligned} \text{Mitta} &= 40 \text{ mm} + ( \text{Kätisyys}_{o_0_v_1} \times ( ( \text{Kanavalevy\_pituus} ) + \\ &\text{Kanavan\_vasen\_siirto} + \text{Kanavan\_oikea\_siirto} - 80 \text{ mm} ) ) \end{aligned} \quad (\text{Kaava 5})$$

Kaapeliputken ja rintatelan suihkuputken parametrisointi on hyvin samankaltainen, joten ne esitetään tässä samaan aikaan. Molemmissa putkissa halkaisija voi vaihdella ja haluttiinkin luoda joustava parametrisointi putkien muokkaamiseksi. Käytetään samaa parametrasta ratkaisua, jonka esitin jo luvussa 3.2. Putket haetaan kuvion 6, solujen D70 ja D71 alasetoalikoista, joten putket ovat aina standardien mukaisia. Kaapeliputken alasetolaatikko ohjaa siis parametreja Kaapeliputki\_halk sekä Kaapeliputki\_vahv. Rintatelan suihkuputken alasetolaatikko ohjaa parametreja Rintatelansuihku\_halk sekä Rintatelansuihku\_vahv. Molemmat alasetolaatikot löytyvät excel-pohjan visuaaliselta sivulta, ja ohjaavat yllä lueteltuja parametreja parametri-sivulla. Kaapeliputken geometria sijaitsee tietyn mitan päässä alarungon oikeasta reunasta, joten se muuttuu suoraan Ulosvirtausleveys-parametrin mukana. Se on puresotettu To-määritteellä alarungon XY-tasolle eli keskilinjalle ja tämä määrittelee kaapeliputken pituuden. Kappale peilataan Mirror-toiminnolla, joten se on symmetrinen keskilinjan suhteen. Rintatelan suihkuputken pituus on Ulosvirtausleveys-parametrin mitta ja vakiomitta, jolla putkea pidennetään hoitopuolella Move face-toiminnolla. Suihkuputki ei siis ole symmetrinen koneen keskilinjan kanssa. Suihkuputkessa on myös mallinnettu nipat, jotka kuvaavat suihkun suuttimia. Ensimmäisen suuttimen etäisyys keskilinjalta on määritelty kaavassa 6 ja suuttimien monistus kaavassa 7.

$$\text{Mitta} = ( \text{floor}(\text{Ulosvirtausleveys} / 200 \text{ mm}) * 200 \text{ mm} ) / 2 \text{ ul} \quad (\text{Kaava 6})$$

$$\text{Määrä} = \text{floor}(\text{Ulosvirtausleveys} / 200 \text{ mm}) + 1 \text{ ul} \quad (\text{Kaava 7})$$

Etupeitteen geometria sivuaa rintalevyä ja etulevyä ja kiertää kiinnityslevyn ja jatkaa siitä vielä hieman alaspäin, kuten kuvioista 7 nähdään.

Etupeitteen geometriassa parametrisuus rajoittuu vain peitelevyn vahvuuteen, jota ohjataan parametrilla Etupeitelevy\_s. Samalla parametrilla on myös ohjattu geometriassa säteitä, joilla levyä taivutetaan. Tämä tarkoittaa sitä kun levyä taivutetaan Inventorissa on sen sisätaivutussäteen oltava sama kuin levyn vahvuus, kun taas ulkوتاivutuksen on oltava kaksi kertaa levyn vahvuus.

Geometria on ainostaan yksi viiva, joten pursotus suoraan Solid-malliksi ei onnistu. Etupeitelevyn mallinnuksessa on tässä käytetty pursotusta pinnaksi, joka onkin erittäin hyvä työkalu ohuiden levyjen mallinnuksessa. Kun levy on pursotettu pinnaksi sillä ei ole vielä vahvuutta ollenkaan. Thicken-toiminnolla voimme antaa halutun vahvuuden pinnalle ja haluttuun suuntaan. Tässä työssä on käytetty parametria Etupeitelevy\_s Thicken-toiminnon etäisyytenä. Suunnalla on myös iso merkitys, jotta malli muodostuisi oikeaan suuntaan ja että taivutukset menisivät oikein.

Etupeite on toteutettu kolmesta levystä, joista keskimäinen on pidempi kuin oikea- ja vasen levy, jotka taas ovat keskenään yhdenmittaisia. Keskimäisen peitelevyn pinnan pursotuksen pituus on keskilinjalta symmetrisesti  $\text{Sylinterilevy\_lkm} * 1500 \text{ mm}$ . Oikean peitelevyn pinnan pursotus on keskimäisen peitelevyn reunasta tasolle, jonka etäisyys keskilinjalta on Ulosvirtausleveys jaettuna kahdella johon lisätään 300 mm vakiomitta. Vasen peitelevy luodaan Mirror-toiminnolla oikeasta peitelevystä.

## 4.2 Kokoonpanon parametrisuus

Tässä luvussa esitetään aikaisemmin mallinnettujen kappaleiden parametrisuutta kokoonpanotasolla.

Kun ohjausmalli on saatu vastaamaan suunnitteluvaatimuksia ja Solid-kappaleet on ajettu erillisiksi osiksi, voidaan alkaa kasaamaan kokoonpanoa. Ideana ohjausmallissa oli, että vaikka osia esiintyy kokoonpanossa useampi, niin ne mallinnetaan vain kerran ja yhdestä mallista on aina vain yksi osa. Tällöin saadaan varmasti toimivan parametrinen ohjauksen myös kokoonpanoon.

Kokoonpanossa siis kerätään osat yhdeksi tai useammaksi kokoonpanoksi. Alaosasta luomme kaksi kokoonpanoa. Ensimmäisessä kokoonpanossa esitetään levyt työvaroineen ja levyjen hitsaukset sekä putkiyhteet hitsattuina. Toisessa kokoonpanossa esitetään edellinen kokoonpano, muut osat, komponentit, toimilaitteet ja kiinnitystarviket. Myös alarungon koneistus on esitetty tässä kokoonpanossa.

Aloitettaessa uutta projektia kannattaa kopioida mahdollisimman paljon vanhasta pohjasta. Kun kopioidaan aikaisemmasta projektista ohjausmalli, kokoonpanot sekä niiden piirustukset, niin säästetään paljon aikaa, kun suurin osa osista ja piirustusmerkeistä on jo paikallaan. Täten uusi ohjausmalli ohjaa uusia kokoonpanoja ja piirustuksia. Jos kokoonpanot luodaan tyhjästä pitää kaikki monistukset ja osien siirrot tehdä alusta asti. Sama koskee myös piirustuksia, jotka täytyy luoda tyhjästä. Vaikka kokoonpanot ja piirustukset kopioitaisiinkin, joudutaan niitä usein jonkin verran korjaamaan varsinkin jos muutokset mallissa ovat suuria. Kun kokoonpanoon tuodaan ohjausmallista luotuja osia, niiden sijainti on vielä täysin määrittelemätön. Olisi todella työlästä asettaa jokainen osa paikoilleen kokoonpanomääreillä, siksi Inventorissa on Ground and root component-työkalu, joka asettaa osat niiden ohjausmallin sijainteihin. Paikoitus toimii niin, että työkalu lisää osalle kolme Flush-kiinnitystä osan omien sekä kokoonpanon origotasojen välille. Tässä kiinnitystavassa on

se hyöty, että kun osa on kolmella tasolla sidottu, sen siirtäminen onnistuu myös tasokohtaisesti lisäämällä etäisyyttä haluttuun Flush-kiinnitykseen. Työkalu myös lukitsee osan paikoilleen, jolloin sen liikuttamiseksi täytyy valita Grounded-valinta pois päältä.

Kiinnityslevyn sijainti olikin jo määritelty kappaleessa 4.1.1. Toisen kiinnityslevyn sijainti saadaan monistamalla olemassa oleva Kiinnityslevy Pattern Component-toiminnolla ja syöttämällä monistuksen välimitaksi parametri *Ulkojalkojen\_keskiväli*. Tämä on hyvä esimerkki siitä, kuinka yhdellä parametrilla saadaan paikoitettua osa täydellisesti ja automaattisesti.

Sylinterin kiinnityslevyn sijainti on määritelty kappaleessa 4.1.1. Sylinterin kiinnityslevyn monistaminen on toteutettu parametrisesti niin, että monistuksen määrä-valintaan syötetään parametri *Sylinterilevy\_lkm* ja monistuksen välimitaksi kaava 8.

$$Mitta = ( 1500 \text{ mm} \times \text{Sylinterilevy\_lkm} - 1500 \text{ mm} ) \times ( 4 \text{ ul} - \text{Sylinterilevy\_lkm} ) \quad (\text{Kaava 8})$$

Alarungon sisällä sijaitseva ripalevy on myös monistettava osa. Kun ripalevy on mallinnettu ohjausmallissa alarungon keskelle, täytyy se monistua kahdessa osassa eri suuntiin. Ensimmäinen monistus toteutetaan alkuperäisellä ripalevyllä, jolloin monistuksen määräksi ollaan määritelty kaava 9 ja monistuksen välimitaksi syötämme parametrin Ripajako. Toisen ripalevyn monistamiseksi täytyy kokoonpanoon tuoda toinen ripalevy, jonka sijainti määritellään muuten samaksi, mutta siirretään Ripalevy-parametrin verran ensimmäisen monistuksen vastakkaiseen suuntaan. Monistuksen välimitaksi määritetään sama parametri ja monistuksen määräksi sama kaava, josta kuitenkin täytyy vähentää yksi kappale, koska kyseinen ripalevy on jo siirretty Ripalevy-parametrin verran.

$$\begin{aligned}
 \text{Määrä} = & \text{floor}(( \text{Ulosvirtausleveys} / 2 \text{ ul} - ( ( ( \text{Ulosvirtausleveys} / \\
 & 25 \text{ mm} ) - 1 \text{ ul} ) * 25 \text{ mm} / 2 \text{ ul} - \text{floor}(( ( \text{Ulosvirtausleveys} / \\
 & 25 \text{ mm} ) - 1 \text{ ul} ) * 25 \text{ mm} / 2 \text{ ul} / 25 \text{ mm} ) * 25 \text{ mm} + 25 \text{ mm} + \\
 & 125 \text{ mm} ) ) / \text{Ripajako} )
 \end{aligned}$$

Kaava 9

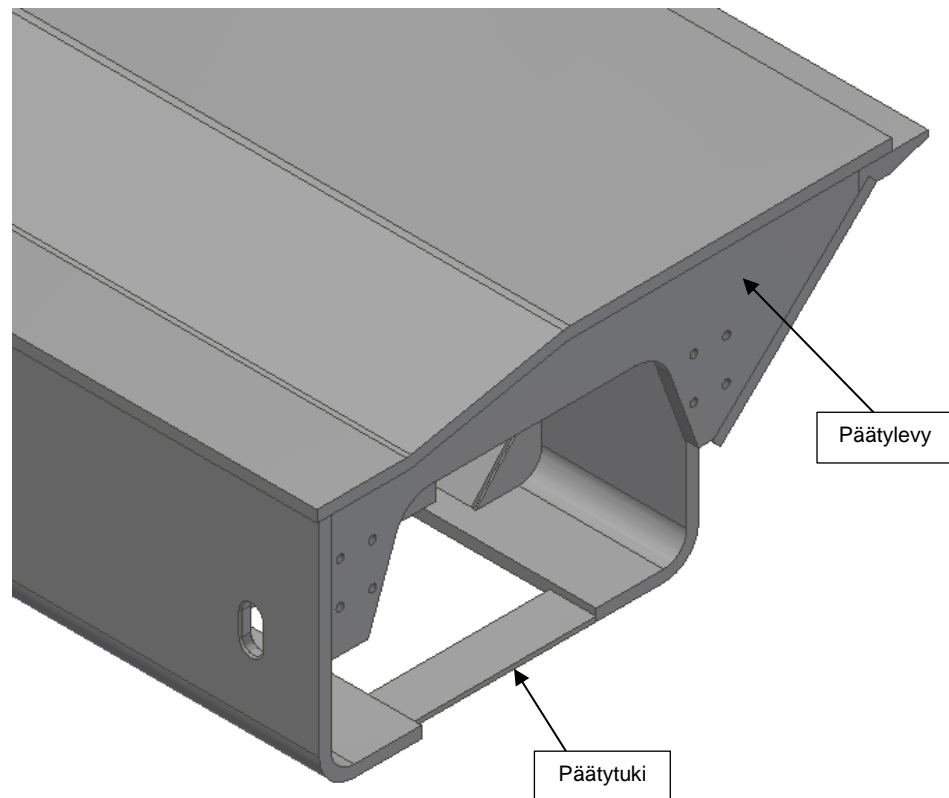
Päätylevy sekä päätytuki, joita ei esitelty luvussa 4.1.1 esitellään kuitenkin tässä luvussa ja kuviossa 8. Nämä molemmat osat ovat hyviä esimerkkejä siitä, kuinka kokoonpanomääreiden parametrinen ohjaus paikoittaa osan sen oikealle paikalla. Usein kokoonpanossa saattaa tulla tilanne, jossa kappale luodaan muuten oikein, mutta yhden tason sijainti ei ole oikea. Jos osa on jostain syystä paikoitettu mallissa väärin, voidaan kokoonpanossa silti käyttää Ground and root-työkalua. Tämän jälkeen voidaan muuttaa väärän sijainnin sitovaa Flush-kiinnitystä ja lisätä siihen haluttu parametri. Esimerkki esitetään kappaleilla päätylevy sekä päätytuki, jotka kuvitellaan paikoittuvan muuten oikein, mutta koneen keskilinjalle. Päätylevystä etsitään oikeiden tasojen välinen Flush-kiinnitys ja lisätään sen mitta-valintaan kaava 10. Tehdään sama myös päätytuelle ja lisätään mitta-valintaan kaava 11. Toiseen suuntaan siirto on sama, mutta negatiivisilla mitta-arvoilla.

$$\text{Mitta} = \text{Ulosvirtausleveys} / 2 \text{ ul} - ( \text{Päätylevyn\_paksuus} / 2 \text{ ul} - 5 \text{ mm} )$$

(Kaava 10)

$$\text{Mitta} = \text{Ulosvirtausleveys} / 2 \text{ ul} - 50 \text{ mm} - \text{Päätylevyn\_paksuus} + 5 \text{ mm}$$

(Kaava 11)



Kuvio 8. Päätylevy ja päätytuki

Uutta laitetta luotaessa tai vanhaa muokattaessa usein myös komponentit vaihtuvat. Tätä varten on hyvä olla keinoja myös komponentin vaihdon parametrisointiin. Yksi tapa esitettiin jo luvussa 0, jolloin komponentin vaihto tapahtuu iLogic-toiminnon Component.Is.Active-käskyllä. Myös toisella iLogic-toiminnosta löytyvällä käskyllä Component.Replace voidaan ohjata komponenttien tuontia kokoonpanoon. Käsky korvaa kokoonpanossa jo olemassa olevan komponentin halutulla komponentilla. Jälkimmäisen käskyn hyöty on se, että kappaletta ei tarvitse olla tuotuna kokoonpanossa, vaan iLogic-koodiin kirjoitetaan osan tiedostonimi, jolloin se haetaan automaattisesti projektin kansioista. Haittana tässä toimintatavassa on se, että kun kappale tuodaan kokoonpanoon, sen kiinnitysmääreet usein ovat määrittämättömiä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei se välttämättä paikoitu oikein. Kiinnitysmääreet pysyvät varmasti paikoillaan, jos käytetään luvun 0 tuontitapaa. Tämän tavan heikkous on se, että jokaisen osan täytyy jo olla olemassa kokoonpanossa ja oikeilla paikoilla.



Tässä kappaleessa toteutetaan kiertovesipumpun vaihto parametrisesti iLogic-toiminnon Component.Replace-käskyllä. Kyseinen tilanne on hyvä esimerkki siitä, kuinka suuri hyöty saadaan parametrisesta ohjauksesta komponentin vaihdossa. Kuvion 9, excel-sivulla toteutettu alavetolaatikko solussa D33 antaa parametrille Pumppu\_vaihtoehto\_0\_1 arvon 0 tai 1, riippuen pumpun valinnasta. Kokoonpanolle lisätään iLogic-sääntö, johon lisätään kuvion 8 koodi. Pumpuissa ainoana erona on ainoastaan nostokorkeus, joten asentamisessa mikään ei muutu (Grundfos 2017). Excel-sivua täytettäessä pumppu tulee lisäksi tarkistettua varmemmin kuin mallista.

```
If Pumppu_vaihtoehto_0_1 = "0" Then
Component.Replace("MAGNA1_40-60:1", "MAGNA1_40-40.ipt", True)
ElseIf Pumppu_vaihtoehto_0_1 = "1" Then
Component.Replace("MAGNA1_40-40:1", "MAGNA1_40-60.ipt", True)
End If
```

Kuvio 9. Kiertovesipumpun vaihto toiseen iLogic-toiminnolla ja Component.Replace-käskyllä.

Ongelma toiminnanohjausjärjestelmän kanssa, joka esitettiin luvussa 2 voidaan ratkaista kummallakin esitetyllä komponentin vaihdolla. Component.Replace-käskyllä toteutettu komponentin vaihto saattaa kuitenkin lakata toimimasta, jos tiedostonimi jostain syystä muuttuu tai projektin kansio vaihtuu. Todistetusti varmemman onnistumisen toteuttaa Component.Is.Active-käsky. Molemmilla käskyillä yhteys toiminnanohjausjärjestelmään kuitenkin säilyy, joten ratkaisu on tältä osalta toimiva.

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoitus oli tutkia parametrinen suunnittelun hyötyjä suunnitteluprosessin nopeuttamiseksi sekä sen saamiseksi virheettömämmäksi. Vaikka parametrinen suunnittelu nopeuttaakin monia suunnitteluprosesseja, täytyy ottaa huomioon myös sen haasteet. Yksinkertaiselle osalle ei välttämättä kannata luoda monimutkaista parametrinen ohjausta, saati sitten lisätä malliin omaa ohjaustiedostoa. Huomioitavaa on myös se, että suunnittelijan kannattaisi olla perehtynyt sekä tietoinen kokoonpanoista ja piirustuksista, joita hän valmistaa. Parametrisesti suunniteltu kappale saattaa syntyä nopeasti ja vaivattomasti, mutta kappale ja piirustus kannattaa silti aina tarkistaa erittäin hyvin. Jos virhe tapahtuu ja johtaa vielä materiaali- tai valmistusvirheisiin, saattaa se tulla hyvinkin kalliiksi. Suunnittelijan tulisikin aina suunnitteluprosessia aloittaessa miettiä kustannustehokkainta toimintatapaa, joka on usein kuitenkin laitteen toimivuuden ohella tärkein asia.

Opinnäytetyön käytännön osioon kuului parametrinen suunnittelun toteutus paperikoneen perälaatikon alarungolle. Työssä päästiin tavoitteeseen, jolloin alarunko saatiin ohjattua mahdollisimman hyvin parametrisesti. Tämänlaisessa prosessissa, jossa luodaan malliin parametrinen ohjaus, ei ole oikeaa eikä väärää tapaa. Jokainen suunnittelija saa varmasti aikaan aina hieman erilaisen parametrinen ohjauksen. Tärkein ominaisuus onkin sen toimivuus, mutta myös helppolukuisuus sekä yksinkertaisuus ovat tärkeitä piirteitä.

Tämän työn parametrinen suunnittelumalli on helposti yleistettävissä myös muihin suunnittelukohteisiin. Työssä on esitetty laajasti yhden kokonaisuuden parametrinen suunnittelu, eikä vastaavia suomenkielisiä teoksia ole tarjolla. Työ on tehty hyvin yleisellä tasolla, ja sen avulla saattaakin olla helpompi aloittaa parametrinen suunnittelu, vaikkei kohde olisikaan tämän työn tapainen. Aiheesta on mahdollista tehdä jatkotutkimusta monenkin osa-alueen kannalta, kuten iLogic-sääntöjen

muiden käyttökohteiden tutkimuksesta sekä muista parametrisista kohteista.

## LÄHTEET

Autodesk 2014. Help: Tutorials: iLogic basics [viitattu 3.12.2016].

Saatavissa:

<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2014/ENU/?guid=GUID-C470E36C-4130-4B6C-A4F9-EE85545FDF7F>

Autodesk 2016. Help: iLogic [viitattu 3.12.2016]. Saatavissa:

<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2016/ENU/?guid=GUID-9372F2A9-377E-40AB-92AA-5FC371BACF8C>

Chang, K.-H. 2014. Product design modeling. Waltham: Academic Press cop.

Grundfos 2017. MAGNA1 kiertovesipumput [viitattu 3.3.2017]. Saatavissa:

[http://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from\\_suid=1491396307953004985674260992923&pumpsyste mid=201103598&qcid=211696506](http://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=1491396307953004985674260992923&pumpsyste mid=201103598&qcid=211696506)