

Mikael Rutkiewicz

# Teollisuuspuhaltimen siipisäätimen CAD-mallin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

30.10.2014

Tekijä Otsikko	Mikael Rutkiewicz Teollisuuspuhaltimen siipisäätimen CAD-mallin kehittäely
Sivumäärä Aika	34 sivua + 2 liitettä 30.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö Kenneth Törnroos Yliopettaja Jyrki Kullaa
<p>Insinööriyön tavoitteena oli keskipakoisen teollisuuspuhaltimen siipisäätimen CAD (Computer-Aided Design) -mallin kehittäminen Howden Turbo Fans Oy:n toimesta. Mallin avulla puhallinsuunnittelijan olisi mahdollista tarkistaa siipisäätimen hätäsulkutoiminnon toimivuus ja sen perusteella tehdä oikea toimilaittevalinta.</p> <p>Työn pohjaksi tutustuttiin puhaltimien ja niiden säädön teoriaan sekä siipisäätimen ja sitä käyttävien toimilaitteiden toimintaperiaatteisiin. Lisäksi tutustuttiin Creo Parametric -mallinnusohjelman ja sen työkalujen, erityisesti Mechanism-työkalun käyttöön. Siipisäätimen CAD-mallin nykytilanne kartoitettiin ja kartoituksen perusteella päätettiin kehittelytoimenpiteistä.</p> <p>Suunnittelutyö tapahtui ensin 3D-mallintamalla Creo Parametric -ohjelmalla tarvittavat komponentit. Seuraavaksi kehitettävälle kokoonpanomallille, mallinnetuille komponenteille sekä niiden välille luotiin visuaalinen mekanismimalli. Lopuksi kehitettiin kokoonpanomallin parametrissa ohjelmointitiedostoa kokoonpanon ja sen mekanismin ohjaamista varten.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi simulointimalli siipisäätimen mekanismin visualisointia varten parametrisen suunnittelun perusteita käyttäen. Kehitetystä siipisäädinmallista pystytään helposti varmistamaan projektikohtaisten optioiden toimivuus.</p> <p>Tämän työn tuloksena luodut 3D-mallit ja ohjelmointitiedosto ovat liitteinä, ja ne on luovutettu vain työn tilaajalle.</p>	
Avainsanat	siipisäädin, puhallin, CAD-mallinnus, suunnittelu

Author Title	Mikael Rutkiewicz Development of the CAD Model for an Industrial Blower Inlet Guide Vane
Number of Pages Date	34 pages + 2 appendices 30 October 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructors	Kenneth Törnroos, Order Engineering Manager Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to develop a CAD (Computer-Aided Design) model for an industrial blower inlet guide vane. The thesis was commissioned by Howden Turbo Fans Oy. The model would be a tool for ensuring the proper functionality of an emergency switch function of the inlet guide vane and thus, the blower designer could make the correct actuator selection.</p> <p>Information on the theory of blowers and their regulation, as well as the operating principle of the inlet guide vane and actuators were gathered for the design process. In addition, Creo Parametric modelling program and its tools, especially the Mechanism tool were studied. The present state of the CAD model of the inlet guide vane was surveyed and on the basis of this survey the decisions on the development procedures were made.</p> <p>Firstly, the design was conducted by creating the 3D models for the required components with Creo Parametric. Next, a visual mechanism model for the assembly model, modeled components and connection between them was built. Finally, the parametric program of the assembly model was developed in order to control the assembly and its mechanism.</p> <p>The final result was a simulation model for the visualization of the mechanism of an inlet guide vane by using the bases of parametric design. Consequently, with the created inlet guide vane model the functionality of different options of each project can be easily ensured.</p> <p>The 3D models and the program file produced as a result of this thesis are attached as appendices and they have been released only to the client of this project.</p>	
Keywords	inlet guide vane, blower, CAD modeling, designing

## Sisällys

### Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tavoite	1
1.2	Työn rajaus	2
1.3	Työmenetelmät	2
1.4	Työn vaiheet	2
2	Puhaltimet	3
2.1	Puhallintyytit	3
2.2	Keskipakoispuhaltimen rakenne	5
2.3	Puhaltimien käsitteitä ja määritelmiä	7
2.4	Puhaltimien säätömenetelmät	8
2.4.1	Säätömenetelmän valinta	8
2.4.2	Siipisäädin	9
3	CAD-mallinnus	16
3.1	Creo Parametric	16
3.1.1	Parametrinen suunnittelu ja osamallinnus	16
3.1.2	Kokoonpanomallinnus	19
3.1.3	Mekanismimallinnus	20
3.1.4	Program Design	21
3.2	Siipisäätimen CAD-malli	22
4	Suunnitteluprosessi	25
4.1	Nykyisen mallin tutkiminen	25
4.2	Toimilaitteen mekanismiosien luominen	26
4.3	Mekanismin luominen	27
4.4	Program-tiedoston kehittäminen	29
5	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 1. Luodut 3D-mallit	
	Liite 2. Mekanismimallin Program-tiedosto	

## Lyhenteet ja termit

CAD	<i>Computer-Aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
FEM	<i>Finite Element Method</i> , elementtimenetelmä. Lujuuslaskentamenetelmä rakenteeseen kohdistuvien rasitusten analysoimiseksi.
Parametri	Muuttujan arvo. CAD-ohjelmistossa parametrit määrittävät piirteen ominaisuudet.
Piirre	Ennalta määrätty konstruktion ominaisuus, jolle käyttäjä määrittelee parametrit.
Päivittäminen	CAD-mallin muuntaminen halutuille parametrisille arvoille.
Rakennepuu	Yksittäisistä komponenteista koostuva kokonaisuus kokoonpanomallissa.
Relaatio	Mallin yksityiskohtien (esimerkiksi mittojen) välinen riippuvuussuhde.
Skeleton-malli	Kokoonpanon osa, joka sisältää vain apugeometriatietoja.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Howden Turbo Fans Oy valmistaa teollisuuspuhaltimia, jotka pystyvät liikuttelemaan ilmaa, höyryjä ja muita kaasuja haasteellisissa prosessiolosuhteissa. Puhaltimet suunnitellaan energiatehokkaiksi ja ainutlaatuisiksi asiakkaiden tarpeiden ja toiveiden mukaan. Prosessista ja suorituskykyvaatimuksista riippuen valitaan suunniteltavalle puhaltimelle puhallintyyppi ja kokoluokka. HTF Oy:n päätuotteena on ExVel-turbopuhaltimet, joiden komponenttien suunnitteluun tämä työ keskittyy.

Jokaiselle puhaltimille suoritetaan ensin FEM (elementtimenetelmä) -analyysit sen suoritustehojen ja lujuuskestävyyksien suhteen. Analyysien perusteella tehdään CAD (tietokoneavusteinen suunnittelu) -mallinnus ja mallin perusteella työkuviirustukset, jotta puhallin kyetään valmistamaan. HTF Oy:ssä suunnitellaan Creo Parametric -nimisellä CAD-ohjelmalla, jonka käyttö perustuu pääasiassa projektikohtaisten parametrien eli muuttujien arvojen syöttöön. Aina aloitetaan puhaltimen siemenmallilla, jota lähdetään muokkaamaan projektin mukaiseksi. Suunnittelu on pääosin ylempien pääkokoospanojen suunnittelua, joka sitten vaikuttaa kaikkiin kokoonpanojen komponentteihin.

Asiakkaalle tarjotaan erilaisia käyttöratkaisuja muun muassa puhaltimen moottorin, vaihteiston ja säädön suhteen. Asiakkaan valitessa puhaltimen säädöksi siipisäätimen, joka hallitsee läpi kulkevan kaasun virtausta, määrittelee hän myös sille toivotun toiminnon, jolle on erilaisia vaihtoehtoja. Yksi näistä vaihtoehtoista on niin sanottu hätäsulkutoiminto, jonka projektikohtaista toimivuutta ei ole kyetty nykyisellä suunnittelumenetelmällä varmistamaan, ja ongelmat on pystytty toteamaan vasta komponenttien valmistuksen jälkeen kokoonpanovaiheessa. Tämän takia on ilmennyt tarve siipisäädinmallin kehittelylle. Työn tavoitteena on luoda Creo Parametric -ohjelman Mechanism-työkalun avulla simulaatio, jolla hätäsulkutoiminnollisen siipisäätimen toimivuus pystytään tarkistamaan jo suunnitteluvaiheessa.

## 1.2 Työn rajaus

Koska puhaltimen kaikki osat, kuten siipisäädin, ovat komplekseja, useasta toisistaan riippuvaisista komponenteista koostuvia kokoonpanoja, on mallien kehittäminen hyvin haastavaa ja aikaa vaativaa. Tämän takia, vaikka siipisäätimen mallissa on useita kehittämismahdollisuuksia, on aihe rajattu säätimen toimivuuden varmistamista varten olevan mekanismimallin luomiseen. Lisäksi mallia ei luoda kokonaan alusta, vaan kehitetään jo olemassa olevaa mallia.

## 1.3 Työmenetelmät

Työn aluksi tehdään alkuperäisestä siipisäädinmallista taustaselvitys, jonka perusteella kehitysmallinnus voidaan suorittaa. Suunnittelun CAD-mallinnuksessa käytetään Creo Parametric -ohjelmaa. Ohjelmassa on useita työkaluja, joita hyödynnetään eri tavoin työn eri vaiheissa. Näiden avulla saadaan luotua uusia ominaisuuksia, jotka eivät ole ristiriidassa vanhojen tarpeellisten ominaisuuksien kanssa.

## 1.4 Työn vaiheet

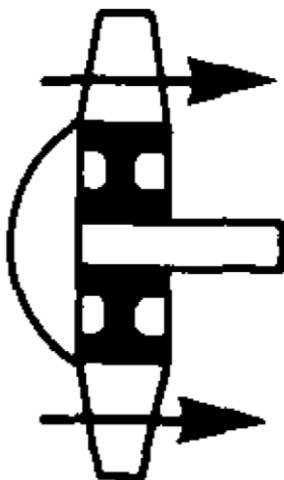
Kirjallisuusosiossa käsitellään puhaltimien yleistä tekniikkaa, käsitteitä ja määritelmiä sekä säätöä. Puhaltimien säädössä käydään läpi eri säätömenetelmät ja lopuksi keskitytään siipisäätimeen ja sen toimintaan. Työssä esitellään myös käytettävä CAD-ohjelma sekä sen ominaisuudet ja työkalut. Sen lisäksi kuvataan kehitettävän siipisäädinmallin nykytilanne. Itse suunnittelutyö perustuu esitellyn CAD-ohjelman työkalujen hyödyntämiseen siipisäädinmallin kehittämisessä. Lopuksi suoritetaan yhteenveto työstä ja pohditaan kehitysmahdollisuuksia tulevaisuutta varten. Insinööriyössä tuotetut 3D-mallit ja ohjelmointitiedosto ovat liitteinä ja ne on luovutettu ainoastaan työn tilaajalle.

## 2 Puhaltimet

Puhaltimiksi voidaan nimetä laitteita, joiden kehittämä paine on enintään 30 000 Pa. Laitteet, jotka ylittävät tämän rajan, luokitellaan kompressoreiksi. Teollisuuspuhaltimilla pystytään kuitenkin pääsemään samoihin tehokkuuksiin ja laatuvaatimuksiin kuin kompressoreilla, mutta paremmalla hyötysuhteella. Puhaltimia käytetään ilman, höyryjen ja kaasujen siirtämiseen, ja joskus jopa pölyn tai muiden pienhiukkasten kuljettamiseen. [1, s. 88.] Puhaltimet voidaan jakaa pääryhmiin niiden moottorilla pyöritettävän siipipyörän läpi kulkevan kaasun reitin ja paineen muodostumisesta aiheutuvan mekanismin mukaan [2, s. 109–110]. Yleisimmät puhallintyypit ovat aksiaali- ja radiaalipuhallin [1, s. 88].

### 2.1 Puhallintyypit

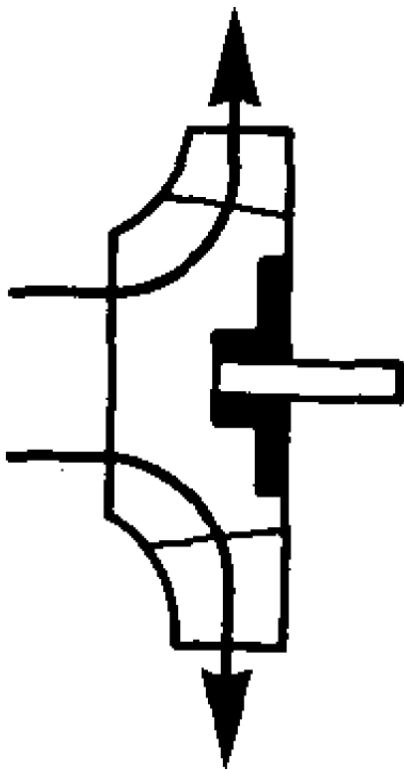
Kun paineentarve on pieni ja puhdistettavuus tärkeää, käytetään aksiaalipuhaltimia [1, s. 88]. Aksiaalipuhaltimessa prosessikaasu kulkeutuu suoraan siipipyörän läpi vakioetäisyydellä sen akselista. Siipien voima aiheuttaa kaasun kulkeutumisen aksiaalisesti sisääntulosta eli imuaukosta ulostuloon eli paineaukkoon ja saa näin aikaan paineen nousun. Siipien voimalla on myös lisävaikutus tangentiaaliseen suuntaan, joka aiheuttaa vääntömomentin. Tämä saa kaasun pyörimään akselin ympäri riippumattomana sen eteenpäinmenosuunnasta. [2, s. 110.] Kuvassa 1 on havainnollistettu nuolilla kaasun kulku aksiaalipuhaltimen siipipyörällä.



Kuva 1. Aksiaalivirtaus siipipyörällä [2, s. 110].



Suuria paineita vaadittaessa käytetään yleensä radiaali- eli keskipakoispuhaltimia [1, s. 88]. Keskipakoispuhaltimissa prosessikaasu imeytyy siipipyörälle aksiaalisesti, kääntyy kohtisuorasti ja jatkaa radiaalisesti ulospäin siipien läpi. Siipien voimat ovat pääosin tangentiaalisia, mikä johtaa siihen, että kaasu pyörii siipien mukana. Pyörimisestä johdettu keskipakoinen voima on nyt linjassa ulospäin etenevän kaasun kanssa ja on pääsyy paineen nousuun. [2, s. 110.] Kaasu siis puhaltuu isommalla paineella siipipyörältä sen ympäröimästä kaavusta ulos suuntaan, jonka määrittelee puhaltimen käsisyys ja puhalluskulma. Kuvassa 2 on havainnollistettu nuolilla kaasun kulku puhaltimen siipipyörällä. Tämä työ keskittyy keskipakoisvirtauksellisten puhaltimien ryhmään, joihin myös ExVel-puhallin kuuluu.



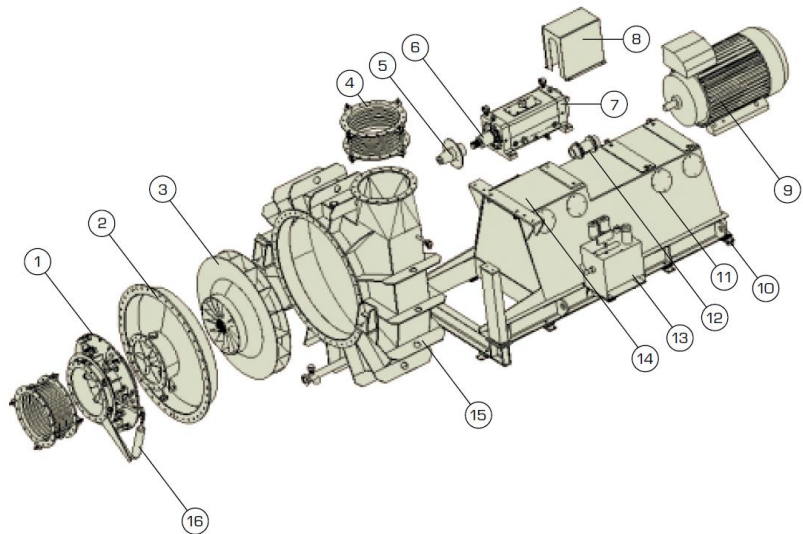
Kuva 2. Radiaali- eli keskipakoisvirtaus siipipyörällä [2, s. 110].

## 2.2 Keskipakoispuhaltimen rakenne

Keskipakoispuhaltimet koostuvat sadoista komponenteista, jotka voidaan jakaa suurempiin pääkokoospanoihin. Kuvassa 3 on esitetty tyypillisen ExVel-yksikön kokoonpanon räjäytyskuva, jossa on lueteltuna ja numeroituna eri pääkokoospanot. Jokainen puhallin kuitenkin suunnitellaan projektikohtaisesti ja monet komponenteista ovat valinnaisia, eikä kuvan 3 tilanne päde jokaisen yksikön kohdalla.

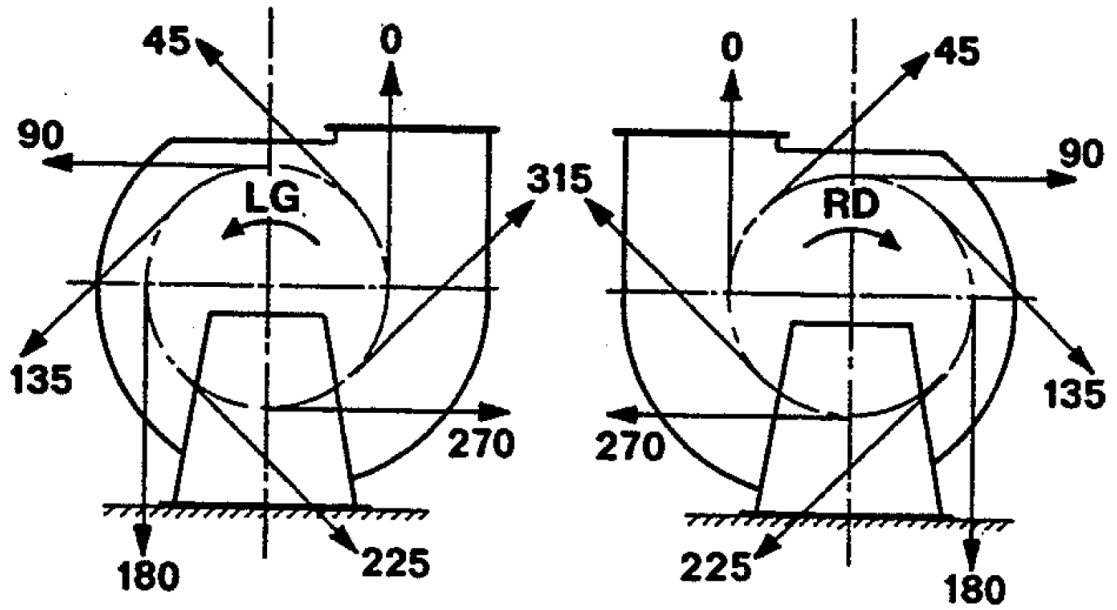
### ExVel Compressor main components

1. Inlet guide vane
2. Inlet cone
3. Impeller
4. Outlet expansion joint
5. Hub
6. Shaft
7. Bearing housing
8. Coupling guard
9. Motor
10. Pedestal bolts
11. Inspection door
12. Coupling
13. Lubrication unit
14. Pedestal
15. Casing
16. Actuator



Kuva 3. ExVel-puhallinkokoonpanon räjäytyskuva osaluetteloineen [3, s. 2].

Puhaltimille määritellään myös pyörimis- ja puhallussuunta siipipyörän (Impeller) käävun (Casing) puhallusaukon suhteen. On sovittu, että pyörimissuunta eli kätisyys määritetään oikeakätiseksi (RD) tai vasenkätiseksi (LG) katsomalla puhallinta akselin suunnassa imuaukon (Inlet cone) vastaiselta sivulta, moottorin puolelta. Puhallussuunta ilmaistaan peruslinjasta mitatulla kulmalukemalla. Peruslinja on puhaltimen akselin kautta kulkeva, kiinnitystasoa vastaan kohtisuorassa oleva suora. Suunta- ja sijaintimäärittely peruslinjan avulla on esitetty kuvassa 4 imuaukon vastaiselta sivulta katsoen. [4, s. 58.]



Kuva 4. Keskivakoispuhaltimen kätisyys ja puhallussuunnat [4, s. 58].

Pyörimis- ja puhallussuunta vaikuttavat puhaltimen rakenneosien sijaintiin ja täten toimintaan, mikä täytyy ottaa suunnittelussa huomioon.

## 2.3 Puhaltimien käsitteitä ja määritelmiä

Puhallintekniikassa ja -säädössä oleellisia käsitteitä ja määritelmiä ovat

- tilavuusvirta
- paine
- tiheys
- mekaaninen hyötyteho.

Tilavuusvirta puhaltimen imuaukolla lasketaan sen läpi kulkevan massavirran ja kaasun tiheyden avulla kaavalla 1.

$$q_{V1} = \frac{q_m}{\rho_1} \quad (1)$$

$q_m$  on massavirta  
 $\rho_1$  on kaasun tiheys imuaukolla.

Puhaltimen kokonaispaine lasketaan paine- ja imuaukolla vallitsevien kokonaispainoiden avulla kaavalla 2.

$$p_{tF} = p_{t2} - p_{t1} \quad (2)$$

$p_{t1}$  on imuaukolla vallitseva kokonaispaine  
 $p_{t2}$  on paineaukolla vallitseva kokonaispaine.

Puhaltimen dynaaminen paine lasketaan paineaukosta virtaavan kaasun keskimääräisen nopeuden ja tiheyden avulla kaavalla 3.

$$p_{dF} = \frac{\rho_2}{2} * v_{m2}^2 \quad (3)$$

$\rho_2$  on kaasun tiheys paineaukolla  
 $v_{m2}$  on kaasun keskimääräinen nopeus paineaukolla.

Puhaltimen staattinen paine lasketaan kokonaispaineen ja dynaamisen paineen avulla kaavalla 4.

$$p_{sF} = p_{tF} - p_{dF} \quad (4)$$

$p_{tF}$  on puhaltimen kokonaispaine  
 $p_{dF}$  on puhaltimen dynaaminen paine.

Kaasun massavirtaan puhaltimessa siirtyvä mekaaninen teho lasketaan kaavalla 5.

$$P_F = k_p * q_{V1} * p_{tF} \quad (5)$$

$k_p$  on kaasun kokoonpuristumiskerroin  
 $q_{V1}$  on tilavuusvirta imuaukolla  
 $p_{tF}$  on puhaltimen kokonaispaine.

Pienipaineisilla puhaltimilla kaasua voidaan pitää kokoonpuristamattomana ja tällöin se voidaan jättää kaavassa 5 huomioimatta. Todellisuudessa kaasu kuitenkin aina puristuu kokoon paineen kasvaessa puhaltimessa, ja tilavuusvirta paineaukossa on pienempi kuin imuaukossa eli kaasun tiheys suurenee. Tämä on otettava suuripaineisilla puhaltimilla ehdottomasti huomioon. [4, s. 43.]

## 2.4 Puhaltimien säätömenetelmät

### 2.4.1 Säätömenetelmän valinta

Keskipakoispuhaltimien säätöön käytetään pääasiassa neljää eri menetelmää. Menetelmän valinta on riippuvainen säädön vaikutuksista seuraaviin puhaltimen ominaisuuksiin:

- tilavuusvirta
- suoritusteho
- kustannukset.

[4, s. 56.]

Kuristussäädössä tilavuusvirtaa kuristetaan kanavistoon asennetulla säätöpellillä tai vastaavalla. Säätömenetelmä on halpa, mutta tehonhukka on suuri. [4, s. 56.]

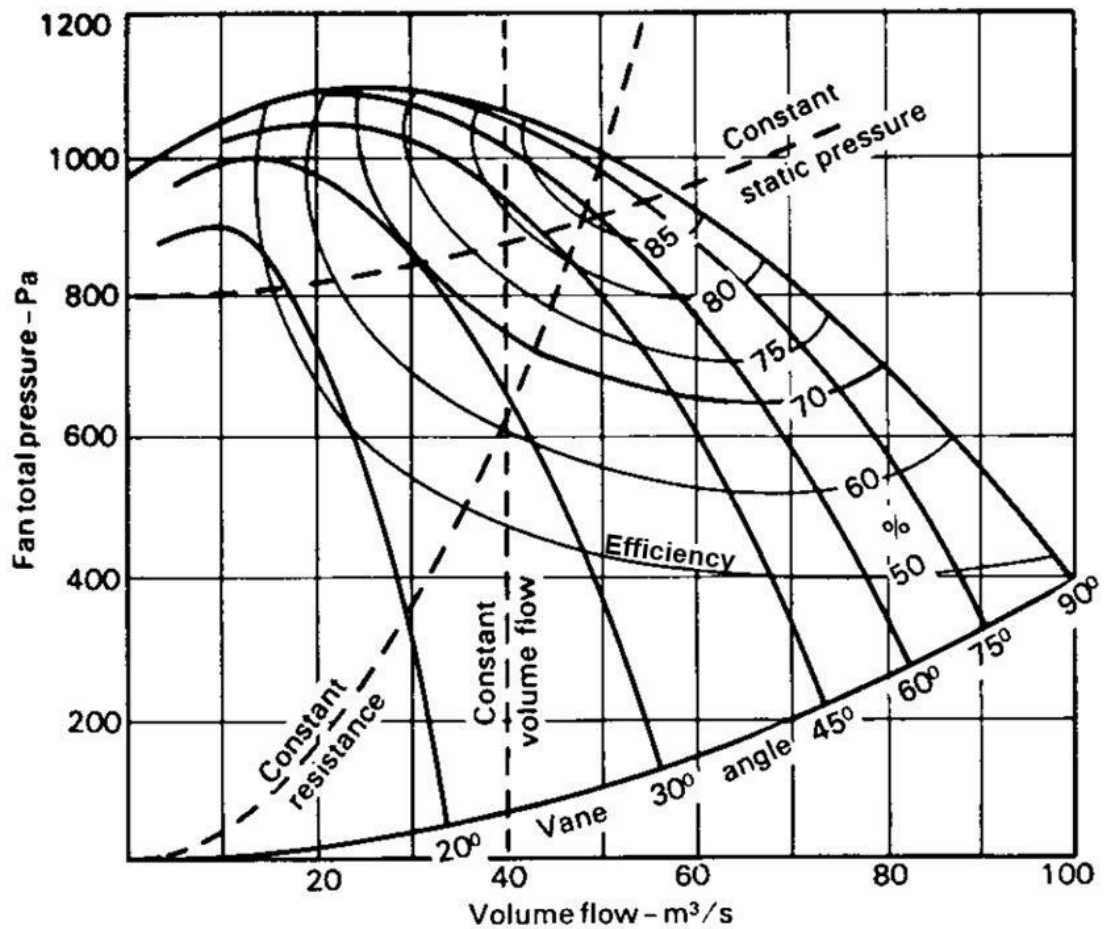
Siipisäätimellä, joka asennetaan puhaltimen imuaukolle, saadaan kaasuvirta samansuuntaiseen pyörimisliikkeeseen kuin siipipyörä. Tilavuusvirta pienenee, mutta tehoviivo saadaan pienemmäksi kuin kuristussäädöllä. Siipisäädin on suhteellisen halpa ja varma säätömenetelmä, sillä sen toimintaperiaate on yksinkertainen. [4, s. 56; 6.]

Pyörimisnopeussäätömenetelmä voidaan jakaa portaittaiseen ja portaattomaan säätöön. Portaittaisessa säädössä käytetään kaksi- tai useampinopeuksista moottoria tai välivaihetta. Portaattomassa säädössä käytetään hydraulista kytkintä tai erilaisia sähköisiä menetelmiä, kuten tasavirtamoottoria tai jännite- tai taajuusmuuntajaa. Portaattomalla pyörimisnopeudensäädöllä puhaltimen suoritusarvoille ei aiheudu säädön aikana lisähäviöitä. Säätolaitteiden hinta on kuitenkin suurempi esimerkiksi siipisäätöön nähden. [4, s. 56.]

#### 2.4.2 Siipisäädin

Imupään ohjaimia eli siipisäätimiä käytetään imupään virtausmäärän hallintaan. Asentamalla se imuosaan siipisäätimen siivillä säädellään puhaltimen tehon kulutusta, ulostulopainetta ja -virtaa. Siivet ovat kytkettynä toisiinsa, jotta ne kääntyisivät yhtenäisesti. Siipisäätimen tarkoituksena on ohjata imuvirtaa ja saamaan se pyörimään samansuuntaisesti kuin siipipyörä. [2, s. 190; 5, s. 1–11; 6.]

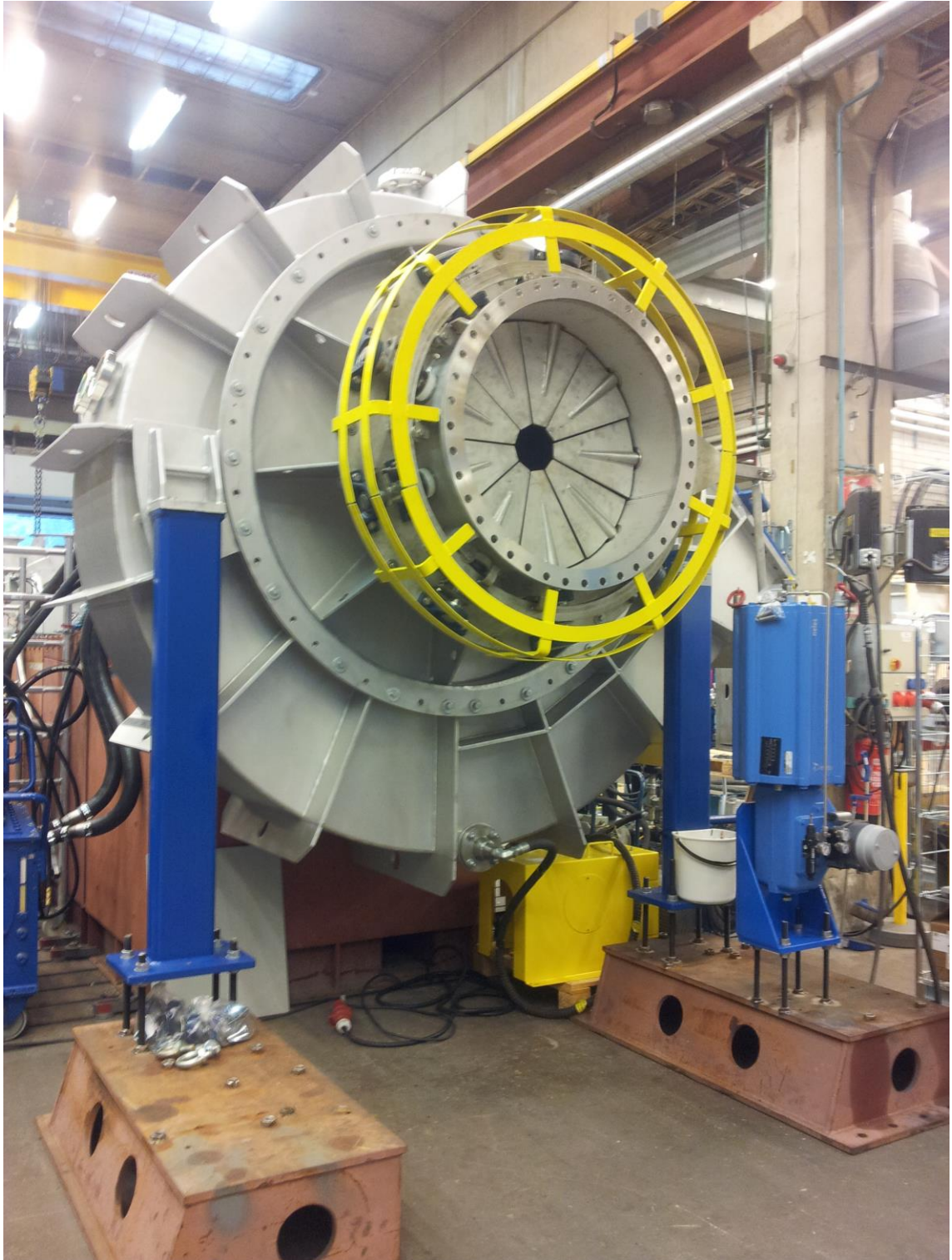
Esimerkkiprosessissa olevan radiaalipuhaltimen ominaiskäyrä siipisäätimellä, tietyllä siipipyörägeometrialla ja -pyörimisnopeudella on esitetty kuvassa 5. Puhaltimen tehoa (Efficiency) voidaan säätää prosessin kanaviston vakiovastus- (Constant resistance), vakio paine- (Constant static pressure) tai vakiotilavuusvirtakäyrällä (Constant volume flow) siipisäätimen siipien asennosta riippuen. Esimerkiksi siipisäätimen ollessa täysin auki eli kun siipien kulma (Vane angle) on  $90^\circ$ , ei siipisäätimellä ole lähes mitään vaikutusta puhaltimen tehoon. Kun taas esimerkiksi prosessin staattisen paineen ollessa vakio ja siipisäätimen siipien kulman  $30^\circ$ :ssa, on puhaltimen teho 70 %.



**Vane control of a backward-curved centrifugal fan: 2500mm diameter, 400 rev/min.**

Kuva 5. Radiaalipuhaltimen ominaiskäyrä siipisäätimellä, tietyllä siipipyörägeometrialla ja -pyörimisnopeudella [2, s. 191].

Siipisäädin kytketään puhaltimen imuosaan kuvan 6 osoittamalla tavalla. Kuvan 6 mukainen rakenneosien sijoitus on yksi puhallinvariaatio tietyllä projektikohtaisella optioyhdistelmällä.

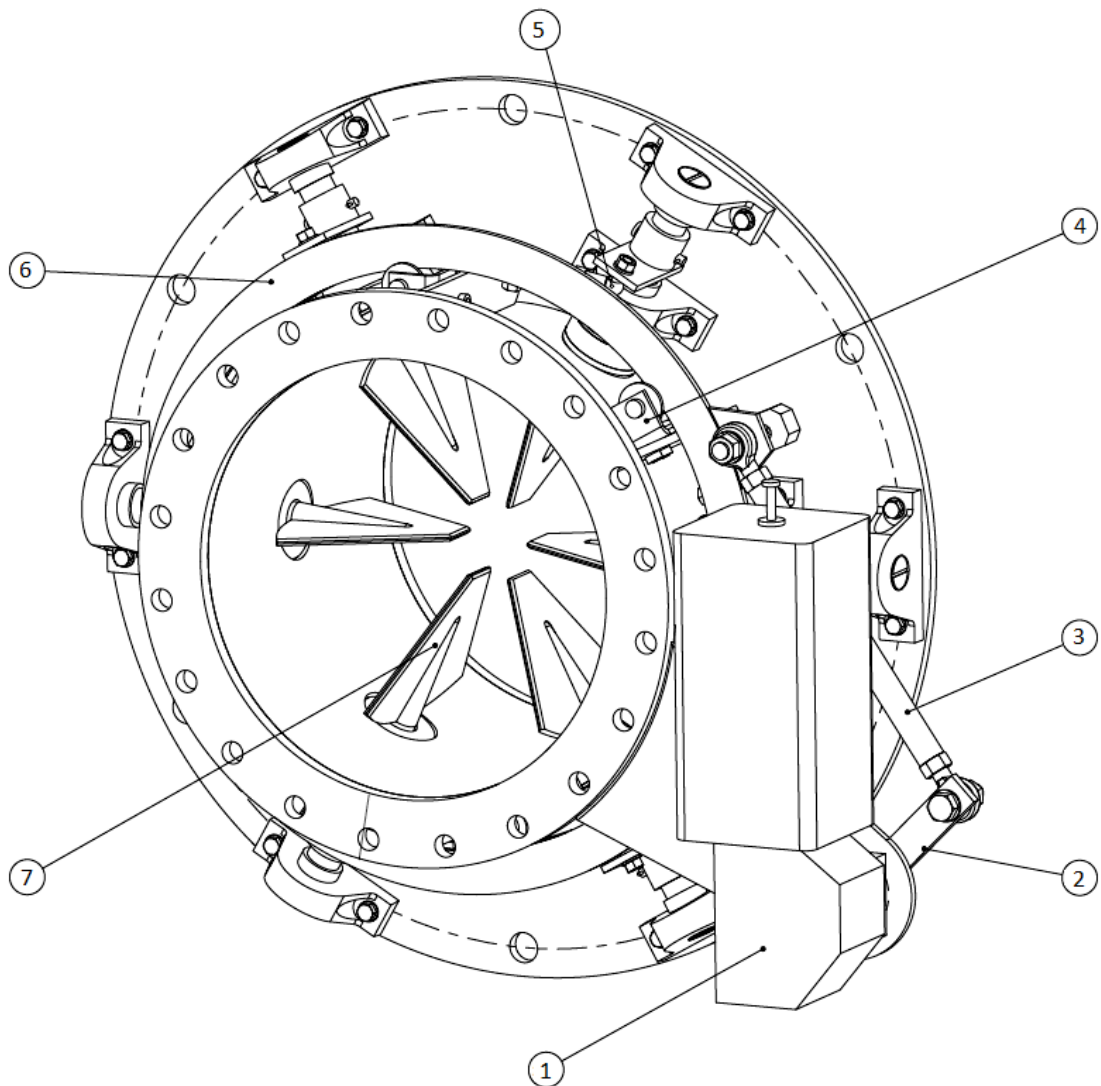


Kuva 6. Siipisäädin puhaltimen imuosaan kytkettynä.

Kuvassa 7 on esitettyä siipisäädinkokoonpano ja sen tähän työhön nähden oleelliset komponentit numeroituna. Siipisäätimen ohjaus tapahtuu siihen tai betoniin tuetulla pneumaattisella tai sähköisellä toimilaitteella (1). Toimilaitteessa oleva vipumekanismi



muuttaa sen männän lineaariliikkeen toimilaitteivun (2) kiertoliikkeeksi [7, s. 13], joka johtaa toimilaitteivun ja säätötangon (3) kiertymiseen. Säätötanko puolestaan vaihtaa säätörenkaan (6) kulmaa tukirullien (4) avustuksella. Yhdestä päästä säätörenkaan kehälle ja toisesta siipiin kiinnitettyt pallonivelsauvat (5) kääntyvät renkaan mukana ja saavat aikaan siipien (7) yhtenäisen kääntymisen. Ohjainkokoönpanossa toimilaitte mahdollistaa ohjainten vaihtelevan avaamisen ja sulkemisen, mikä taas vaikuttaa prosessin kaasun virtaukseen [5, s. 1–11; 6].



Kuva 7. Siipisäädinkokoönpano ja sen mekanismin kuuluvat komponentit numeroituna.

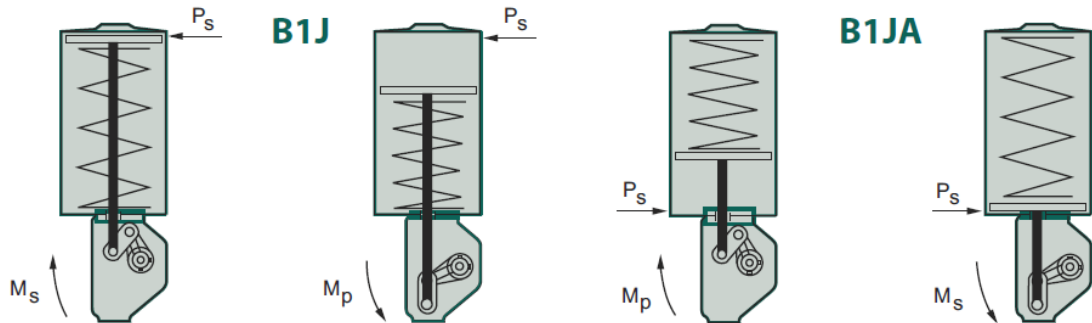
Siipisäätimen toimilaitteina käytetään pääasiassa Metson Neles pneumaattisia B-sarjan mäntätoimilaitteita, joihin kuuluvat kuvassa 8 esitetyt B1C- ja B1J-toimilaitteet. B1C on kaksitoiminen ja B1J on jousitoiminen. Molemmat toimivat pneumaattisesti tai sähköi-

sesti ohjatulla männällä, joka liikkeellään kiertää toimilaittevipua. Tyyppi määrittelee toimilaitteen toimintaperiaatteen sähkön tai paineen katketessa eli prosessin pysähtyessä. Yhtenä haasteena siipisäätimen suunnittelussa on, että käytetyt toimilaitteet on suunniteltu pääasiassa venttiilien ohjaamiseen, eikä siipisäädintä varten ole suunnittelijalle valmista tietoa sille sopivasta toimilaittevalinnasta. Toimilaittevalinnan teko on vaikeampaa myös siksi, että ei ole käytössä valmiiksi määriteltäviä vaadittuja maksimi ope- rointimomenteja, kuten usein venttiilien teknisissä tiedoissa on [7, s. 13]. Tämä johtuu siitä, että siipisäädin on itsenäinen tuote, joka on suunniteltu toimilaitteista riippumat- tomasti.



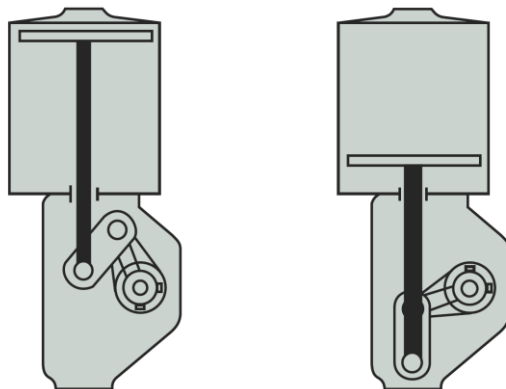
Kuva 8. Metson Neles B1C- (vasemmalla) ja B1J-toimilaitteet [7, s. 1].

Jousikäyttöinen toimilaitte mahdollistaa hätäsulku toiminnon, jossa toimilaitteen jousi palauttaa sen männän alkuasentoon prosessin pysähtyessä. Jousikäyttöisiä toimilaitteita on kahta eri tyyppiä, B1J- ja B1JA. Niiden toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. B1J- ja B1JA-toimilaitteiden toimintaperiaate, jossa  $P_s$  kertoo paineen syöttökohdan ja  $M_p$  operointimomentin suunnan [7, s. 13].

Kaksitoimisessa toimilaitteessa sen mäntä joko vapautuu tai lukittuu asentoon, jossa se oli prosessin pysähtyessä. B1C-toimilaitteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 10. Paine voidaan syöttää sekä toimilaitteen männän ala- että yläpuolelta.



Kuva 10. B1C-toimilaitteen toimintaperiaate [7, s. 6].

Howden Turbo Fans tarjoaa asiakkailleen mahdollisuuden erilaisille siipisäätimen toiminnolle. Toimilaitte valitaan sen mukaan, mihin tilaan asiakas haluaa siipisäätimen siipien jäävän prosessin pysähtyessä. Kaksitoiminen toimilaitte mahdollistaa siipien mielivaltaisen asennoitumisen ja prosessin pysähtyessä se voi vaihtoehtoisesti lukita tai jättää vapaaksi sen männän ja täten siipisäätimen siivet. Kaksitoiminen toimilaitte on siis aina siipisäätimen rakenteesta riippumatta toimiva ratkaisu. Kun halutaan hätäsulku toiminto, jossa toimilaitte joko sulkee (Fail-Close) tai avaa (Fail-Open) siivet prosessin

pysähtyessä, on valittava oikea jousikäyttöisen toimilaitteen tyyppi siipisäätimestä riippuen. Jousikäyttöinen toimilaitteen toimivuus on siis siipisäätimen rakenteesta riippuva, ja se on otettava huomioon toimilaitetyyppejä valitessa.

Puhaltimen kätisyys vaikuttaa rakenneosien sijoittumiseen ja näin myös toimilaitteen sijoittumiseen ja täten sen toimivuuteen, sillä vasenkätinen siipisäädin toimii ikään kuin päinvastaisesti oikeakätiseen nähden. Tämän takia kätisyys on otettava suunnittelussa huomioon jousikäyttöisten toimilaitteiden tyyppiä valitessa. Tämä seikka aiheuttaa hankaluuksia suunnittelussa ilman siipisäätimen ja toimilaitteen välisen mekanismin toimivuuden visuaalista varmistamista. Tässä työssä luodaan ratkaisumenetelmä siipisäädinsuunnitteluun ja toimilaittevalintaan jousikäyttöisiä toimilaitteita varten, jotta ongelmat niissä voitaisiin välttää.

### 3 CAD-mallinnus

#### 3.1 Creo Parametric

Creo Parametric, aikaisemmin Pro/Engineer, on Parametric Technology Corporationin kehittämä CAD-ohjelma. Se keskittyy lähinnä insinöörin näkökulmaan koneenrakennuksen tuotesuunnittelussa ja -analyysissä sekä tuotteiden valmistukseen erilaisia suunnittelun työkaluja käyttäen. Työssä esitellään Creo Parametric -ohjelman työkaluja, joita käytettiin tässä työssä. [8, s. 12.]

##### 3.1.1 Parametrinen suunnittelu ja osamallinnus

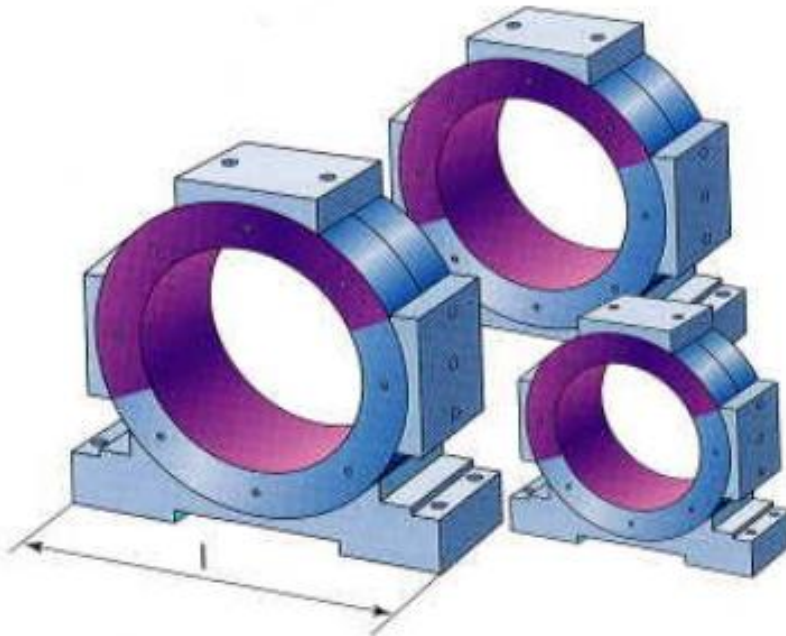
Creo Parametric -ohjelman käyttö perustuu pääasiassa piirrepohjaiseen parametriseen mallintamiseen, jossa mallin geometrisia määritelmiä, kuten mittoja, voidaan muokata parametrisilla syöttöarvoilla missä tahansa suunnittelun vaiheessa [8, s. Intro-6]. Piirteellä tarkoitetaan ennalta määrättyä ominaisuutta, jolle käyttäjä määrittelee parametrin. Parametreja ovat kaikki mitat tai muuttujanimet, joilla malleja voidaan ohjata ulkoapäin tai joiden arvot ovat sidottuja parametrien arvoihin asetettujen relaatioiden mukaan [9, s. 118]. Relaatioilla tarkoitetaan mallin yksityiskohtien (esimerkiksi mittojen) välisiä riippuvuussuhteita [9, s. 304]. Kun jotain muokataan, malli rakentuu uudelleen ja päivittyy (muuttuu halutuille parametrisille arvoille) muutoksen mukaan käyttäjän määrittämistä rajoituksista kiinni pitäen. Jos halutaan muuttaa esimerkiksi jonkin viivan pituutta, syötetään sen pituudelle arvo ja myös sen pituuden suhteen rajoitetun toisen viivan pituus muuttuu. Muuttujia voidaan käyttää rajattomasti, mikä mahdollistaa useamman eri helposti toteutettavan suunnitteluvaihtoehdon tarkastelun ja tulevaisuuden kehittelyn mallille.

Parametrisen mallintamisen hyödyt:

- mallintamisen yksinkertaisuus vähäisillä yksityiskohdilla, missä mallin muoto on oleellisin
- mahdollisuus muokata kokonaista järjestelmää, johon voi kuulua osia, kokoonpanoja ja työkuvapiirustuksia muuttamalla vain yhtä kompleksin mallikokonaisuuden parametria
- eri suunnitteluvariaatioiden helppo kartoitus ja valinta
- jo olemassa olevien suunnittelutietojen uudelleen käyttömahdollisuus uutta luodessa
- nopeus.

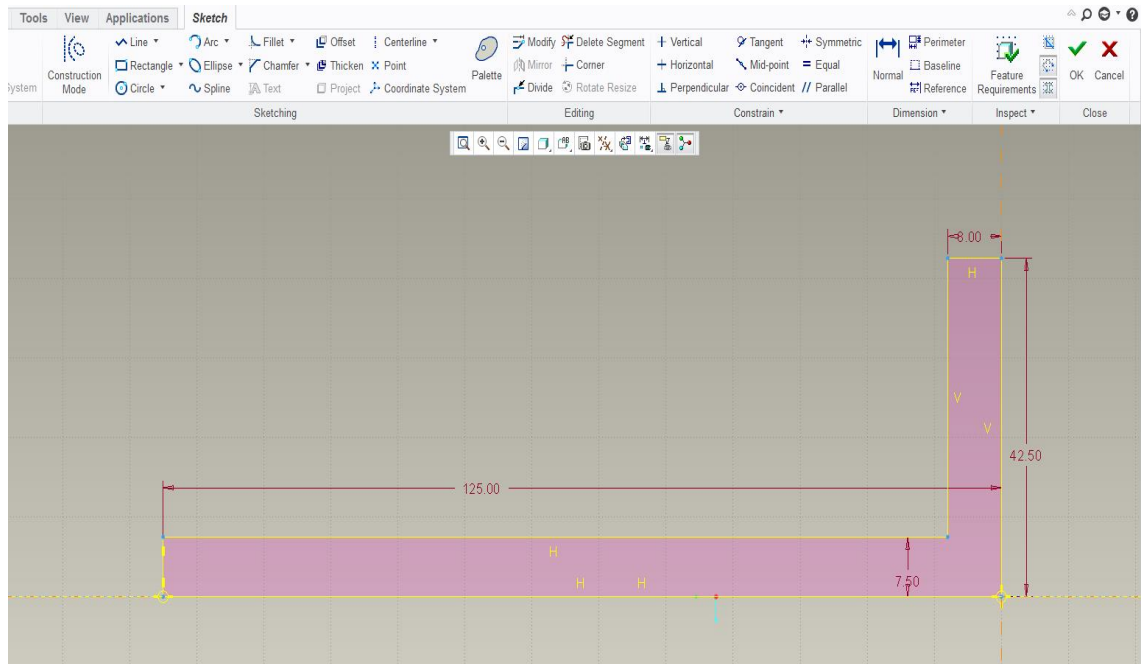
[8, s. Intro-6.]

Erityisesti jos mallilla on useita erikokoisia kappaleita, joiden muoto on sama, voidaan parametrisuudella suuresti helpottaa muutosten tekoa. Tällöin yhdellä parametrisella mallilla pystytään esittämään kaikki kappaleet, kuten kuvassa 11. [9, s. 58.] Yleensä kappaleilla muuttuu kuitenkin koon lisäksi myös muoto, mikä vaatii useampien piirteiden sitomisen parametreihin.



Kuva 11. Esimerkki parametrin arvoa (tässä mittaa  $l$ ) muuttamalla mallinnetuista kappaleista [9, s. 58].

Parametrinen mallintaminen aloitetaan ensin luonnostelemalla karkeasti 2D-maailmassa mallinnettavan kappaleen piirteet eli muodot ja mitat, joihin sidotaan parametreja. Luonnoksen tarkkuus ei ole vielä tässä vaiheessa oleellinen, sillä kaikki ovat myöhemmin sidottujen parametritietojen avulla muokattavissa. [10, s. 1–2.] Kuvassa 12 on esitetty mallintamista Creo Parametric -ohjelman Part Design -työkalun Sketcher-tilassa.

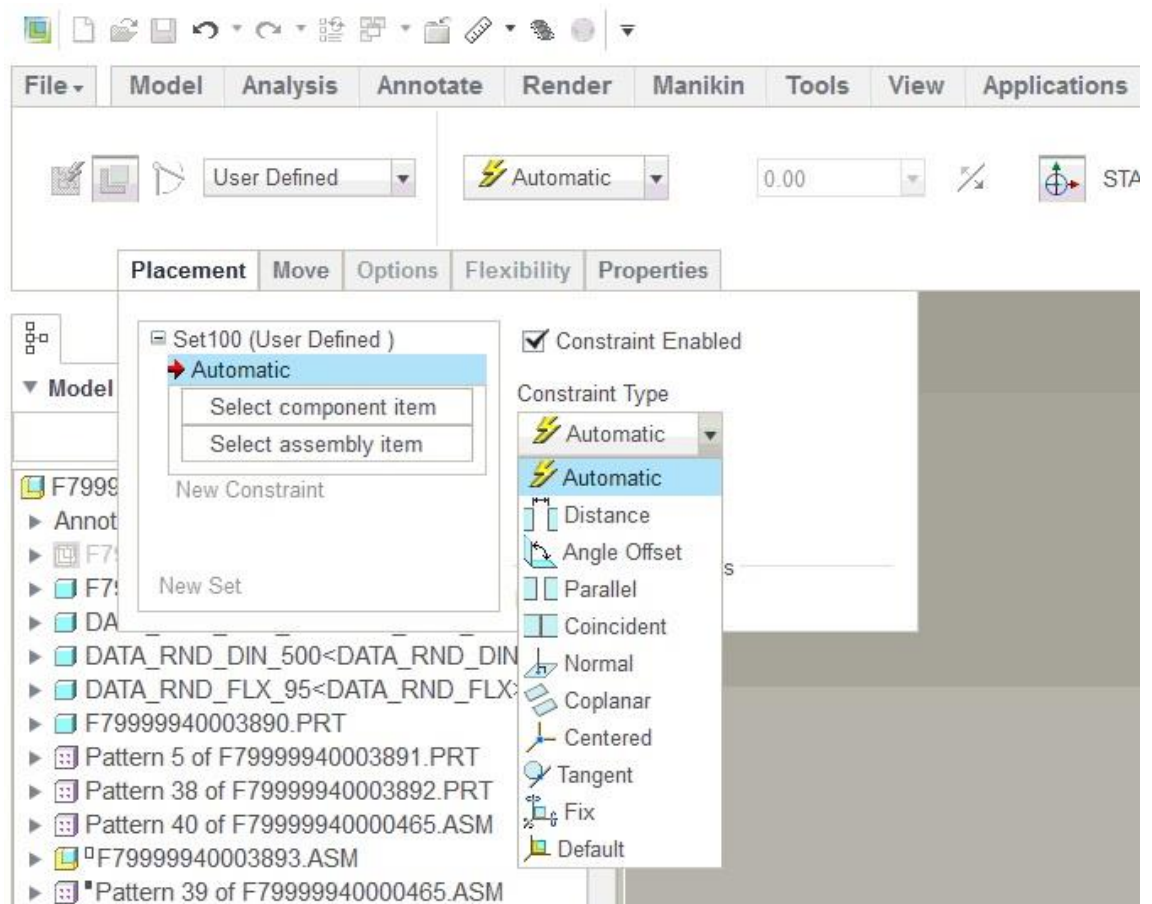


Kuva 12. Mallin luominen Sketcher-tilassa.

Luonnos voidaan tuoda 3D-maailmaan esimerkiksi pursotus- tai pyörytystyökaluilla. [10, s. 1–2.] Tämän jälkeen parametrien muokkaaminen vaikuttaa sekä 2D- että 3D-malliin. Myös 3D-mallissa tehtävät piirteet voidaan sitoa parametreihin.

### 3.1.2 Kokoonpanomallinnus

Mallinnetuista osista voidaan luoda kokoonpanoja Assembly Design -työkalulla, jossa osat tuodaan ja sijoitellaan kokoonpanotiedostoon muodostamalla niiden välille erilaisia rajoituksia. Perinteinen kokoonpanomallinnus perustuu kuvan 13 mukaisiin jäykkiin rajoitustyyppisiin (Constraint Type), kuten esimerkiksi osien akseleiden yhteneväisyyteen (Coincident) tai pintojen välisiin kulmiin (Angle Offset) ja etäisyyksiin (Distance).



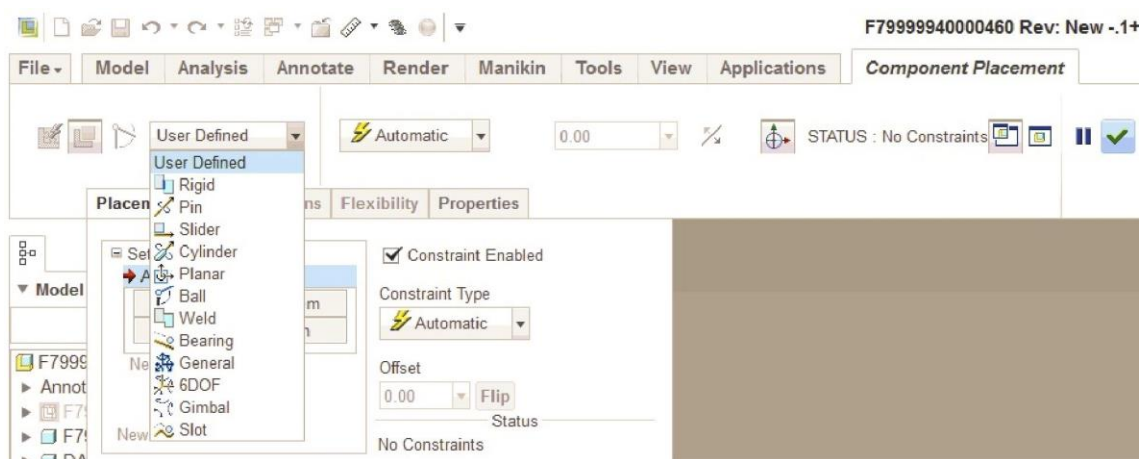
Kuva 13. Komponentin tuonti kokoonpanoon Assembly Design -option jäykillä rajoituksilla.

Assembly Design -työkalun rajoitukset ovat jäykkiä, sillä ne sitovat osien vapausasteita. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi Angle Offset -rajoitus mahdollistaa määriteltävälle komponentille vain yhden tietyn arvon, jota kulma voi olla. Komponentti voi liikkua muiden vapausasteiden suhteen miten tahansa, kunhan kulman arvo pysyy samana. Yleensä komponenttien kaikki vapausasteet sidotaan, jotta niiden sijainti pysyisi samana malleja muokatessa.



### 3.1.3 Mekanismimallinnus

Creo Parametricin Mechanism-optiolla saadaan käyttöön työkaluja, joilla pystytään simuloimaan ja näin jo suunnitteluvaiheessa varmistamaan komponenteissa tapahtuvia liikkeitä, voimia ja kiihtyvyyksiä tekemällä erikoisrajoituksia kokoonpanojen komponenttien välille. Assembly Design -tilassa jäykkien rajoitusten lisäksi voidaan luoda kuvassa 14 esiintyviä mekanismirajoituksia, kuten esimerkiksi Cylinder-, Ball- tai Pin-rajoitus, jotka mahdollistavat eri määriteltäviä vapausasteita komponenteille. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi Pin-rajoitus mahdollistaa määriteltävälle komponentille kulmavälin, jonka sisällä kulman arvo voi vaihdella. Vaikka muut vapausasteet olisi rajoitettu, voi komponentin kulma vaihdella Pin-rajoituksen mukaisten rajojen sisällä. Näin voidaan luoda kokoonpanoja, joissa komponentit ovat toisiinsa kytkettyjä, mutta voivat kuitenkin liikkua tietyissä rajoissa toisiinsa nähden, mikä tekee niistä mekanismikokoonpanoja.



Kuva 14. Komponentin tuonti kokoonpanoon Mechanism-option mekanismirajoituksilla.

Komponenttien välisien mekanismirajoitusten avulla luodun mekanismin simulointi voidaan tehdä eri arvoilla ohjatulla Mechanism Analysis -työkalulla tai yksinkertaisemmin eri komponentteja voidaan manuaalisesti "vetää" Drag Components -työkalulla. Mechanism Analysis on pääasiassa tarkoitettu visualisoinnin lisäksi analysoimaan mekanismin liikkeessä aiheutuvia voimia ja kitkaa. Tämän työn tavoitteen kannalta Drag Components -työkalu riittää mekanismin visualisointiin.

### 3.1.4 Program Design

Creo Parametricissä tehdyt mallinnustoiminnot ja niiden muuttujat kirjautuvat mallien ohjelmointi- eli Program-tiedostoon tekstinä esimerkkikoodin 1 tavalla. Teksti toimii ohjelmointikoodina, jota tekstieditorilla muokkaamalla pystytään myös suorittamaan mallinnusta. Mallien muuttuvien parametritietojen muokkaus ja luominen onnistuu tämän koodin kautta erilaisilla komennoilla ja relaatioilla (RELATIONS), jotka asettavat malleihin ehtoja. Kun jotain muokataan, malli päivittyy laskemalla arvot peräkkäisessä järjestyksessä uudelleen käyttäen Program-tiedostossa määriteltyä parametrisarjaa. [9, s. 57.]

```
INPUT
  ANGLE STRING
  "SET OPEN OR CLOSE"
END INPUT

RELATIONS
  IF ANGLE==CLOSE
    ANGLE:1=0
  ENDIF

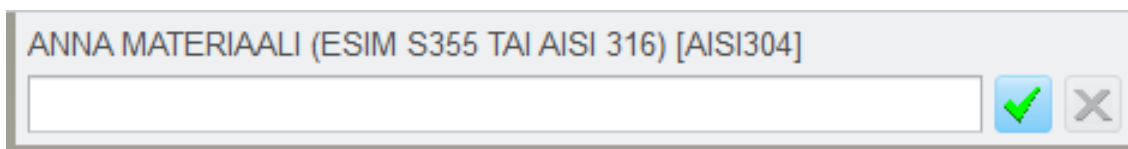
  IF ANGLE==OPEN
    ANGLE:1=90
  ENDIF
END RELATIONS

ADD PART OS000001
INTERNAL COMPONENT ID 1111
PARENTS = 70(#1) 319(*)
END ADD
```

Esimerkkikoodi 1. Tyypillinen koodifragmentti kokoonpanon Program-tiedostossa.

Suunnittelijan työn helpottamiseksi luodaan usein Program-tiedostoon esimerkkikoodissa 1 esiintyviä INPUT-komentoja, jotka ilmenevät mallia päivitettäessä INPUT-kysymyksinä. INPUT-kysymykset esiintyvät mallinnusohjelman omalla graafisella käyttöliittymällä kuvan 15 tavalla. Niillä pystytään vaikuttamaan suunniteltavan komponentin

tin parametreihin ja relaatioihin ilman ohjelmointitiedoston koodin manuaalista muuttamista. Kysymyksille annetut syöttötiedot voivat olla numeerisia (NUMBER) tai ei-numeerisia (STRING).

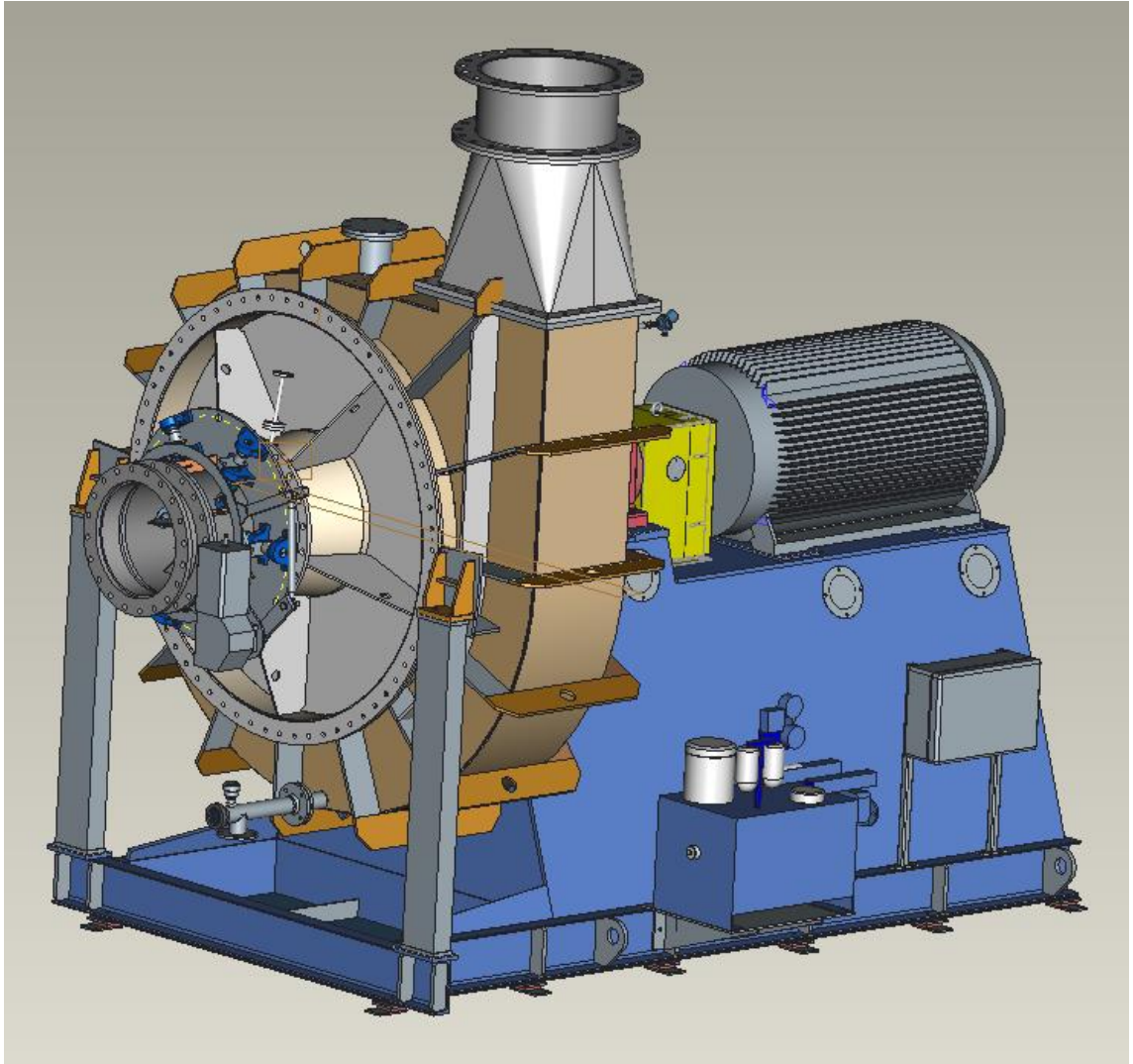


Kuva 15. Tyypillinen Program-tiedoston suorittama INPUT-kysymys.

Program-tiedosto lukee annetun syöttötiedon ja muokkaa mallia sen mukaan erilaisilla ehtolauseilla (IF). Program-tiedostossa voi olla määritelty, että jos esimerkiksi laipan ulkohalkaisijaksi syötetään isompi mitta kuin 500 mm, muuttuu laipan paksuus 3 mm:stä 5 mm:iin. Syöttötieto voi myös määrittää lisäämään (ADD) osia ja kokoonpanoja kokoonpanomalleihin tietyillä sijainneilla (INTERNAL COMPONENT ID) ja rajoituksilla muiden komponenttien suhteen (PARENTS). Lisäksi koodissa esiintyvät satunnaiset numeroinnit erottavat samannimiset piirteet toisistaan (kuten esimerkiksi ANGLE:1).

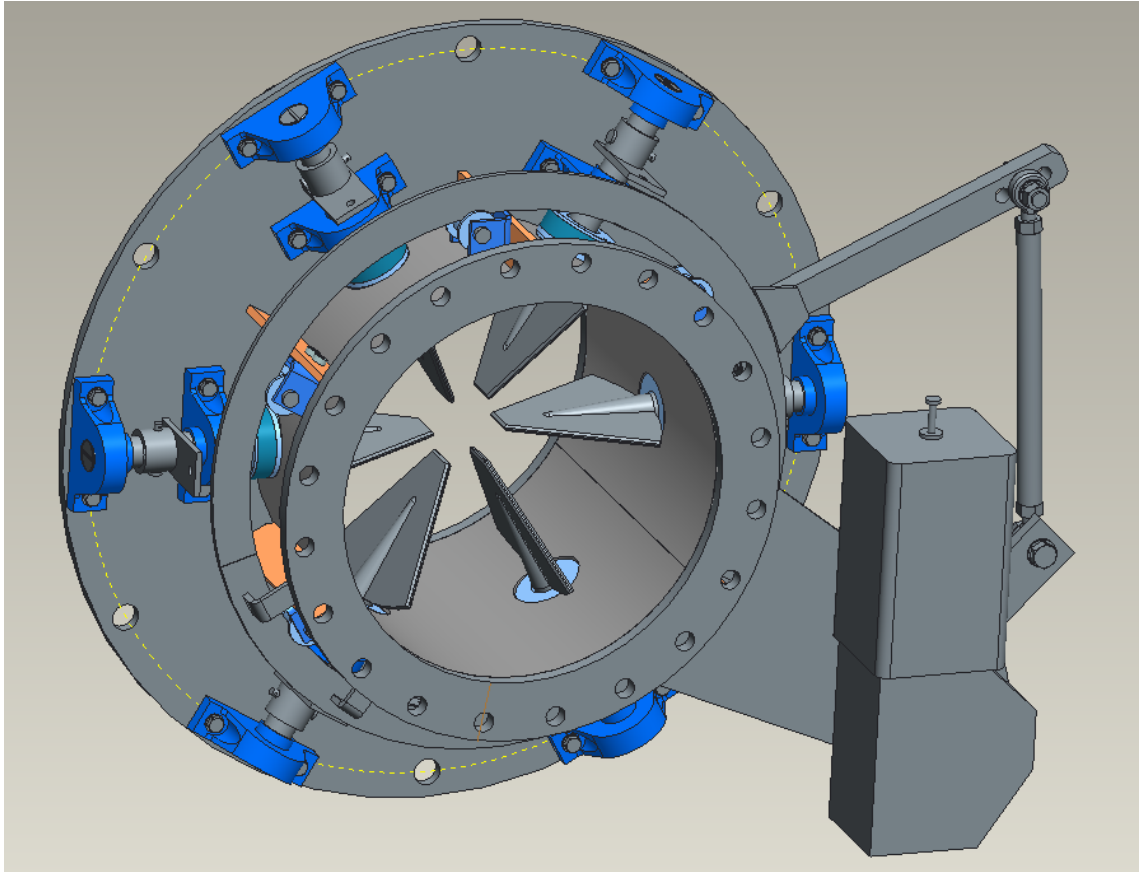
### 3.2 Siipisäätimen CAD-malli

Siipisäädinkokoonpanon malli on yksi puhaltimen päämallin valinnaisista kokoonpanoista, jolla on myös oma pitkälle kehitelty Program. Jos projektille on valittu puhallinsäätöä varten taajuusmuuntaja, ei siipisäädin tule puhallinmalliin. Tämä tieto annetaan puhaltimen päämallin Program-tiedostolle. Kuvassa 16 on puhaltimen päämalli siipisäätimen kanssa.



Kuva 16. Puhaltimen päämalli siipisäätimen kanssa.

Toimilaitemallia lukuun ottamatta, siipisäädin on mallinnettu (kuva 17) suhteellisen tarkaksi muotojen ja mittojen suhteen ja siinä on kaikki siipisäätimen komponentit. Kaikkien siipisäädinkokoonpanon komponenttien mitat ja kokoonpanorajoitukset ovat määritetty jäykästi siipisäätimelle luodun Skeleton-mallin (kokoonpanon osa, joka sisältää vain apugeometriatietoja) suhteen, mitä Program-tiedosto ohjaa. Program on luotu pyytämään INPUT-kysymyksillä parametreja, kuten siipisäätimen kätisyys, laippojen koot, materiaali, siipien asento, toimilaitteen paikannus ja koko sekä mekanismin osien asento. Vaikka mekanismin osallistuville komponenteille voidaan nykyisen Program-tiedoston avulla antaa asento, ei mekanismin liikkuvuutta voida visualisoida ja siksi toimivuutta ei pystytä varmistamaan.



Kuva 17. Siipisäädinmalli.

Siipipyörän mallia on kehitelty monien vuosien ajan, mikä on mallinnusohjelman versioiden uusiutuesssa ja vaihtuessa aiheuttanut erilaisia konflikteja. Parametreja muuttaessa malli ei välttämättä kaikilta osin päivity, ja täten joitakin osia täytyy päivittää manuaalisesti, esimerkiksi muokkaamalla käsin mittoja halutulle arvolle. Lisäksi siipisäädinmalli on tiukasti sidoksissa puhaltimen päämallin Program-tiedostoon, minkä takia muutokset siipisäätimessä voivat aiheuttaa muutoksia päämallissa.

Työn lopputuloksena syntyy niin sanottu suunnitteluautomaatti eli työkalu, joka helpottaa siipisäädinsuunnittelua. Puhallinsuunnittelijan tarvitsee syöttää mallille vaaditut parametritiedot, joiden avulla se päivittyy automaattisesti oikeille arvoille. Näin saadaan tehtyä toimiva toimilaittevalinta kyseiselle projektille. Työssä on otettava huomioon mallin nykytila ja mahdolliset tulevaisuuden kehittelyt ja sen perusteella tehtävä toteuttamisratkaisut.

## 4 Suunnitteluprosessi

### 4.1 Nykyisen mallin tutkiminen

Suunnittelutyö aloitettiin selvittämällä, miten siipisäädinmallin mekanismiin liittyvät komponentit oli määritelty. Kaikki komponentit oli sidottu jäykällä Assembly Design -rajoituksilla siipisäätimen Skeleton-malliin. Tämä olisi muutettava Mechanism-rajoituksilla mekanismiin osallistuvien komponenttien osalta, mutta kuitenkin niin, että mallin päivittäminen onnistuisi ongelmitta.

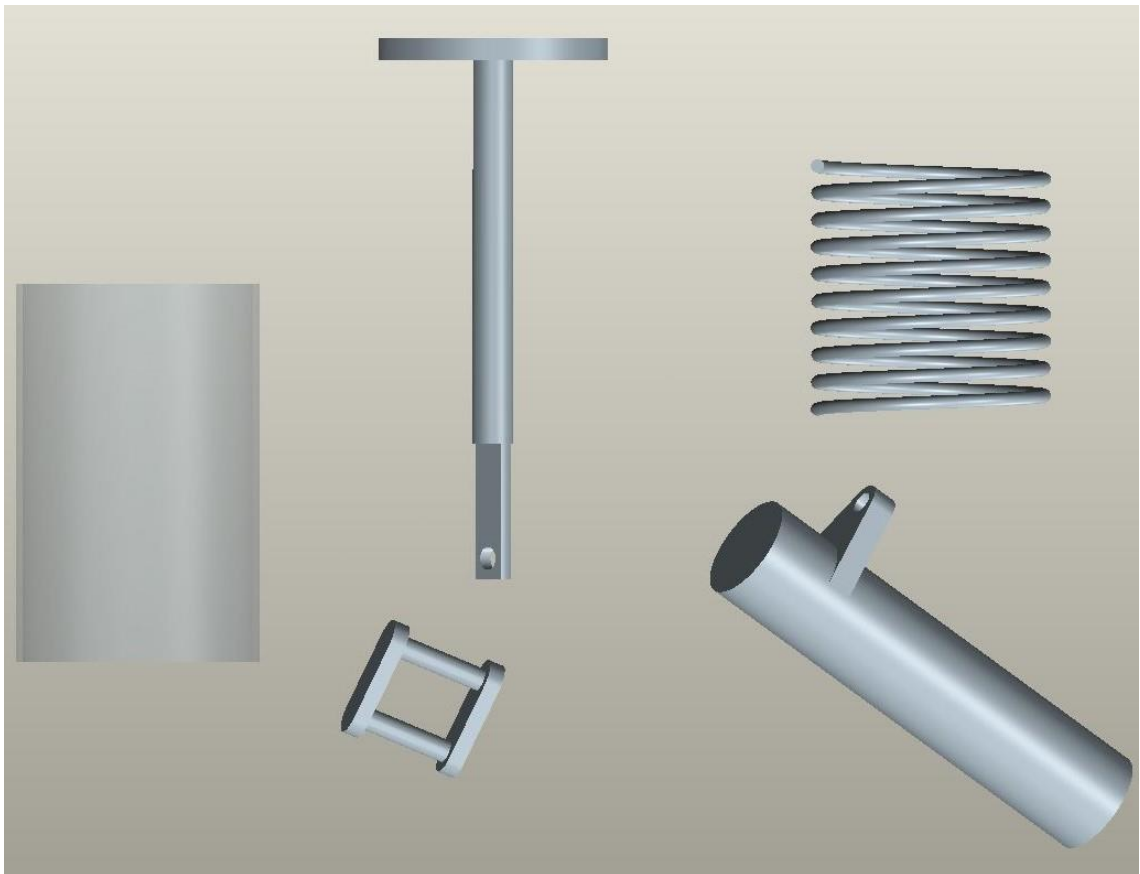
Mallia tutkittaessa todettiin, että siipisäädinmallin ominaisuudet ovat vahvasti sidottuna myös puhaltimen päämalliin. Tämän takia siipisäädinmallin kehittäminen luomalla siihen uusia ominaisuuksia voisi johtaa koko puhallinmallin kuormittumiseen ja mallinusoelman hidastumiseen sekä ei-haluttuihin muutoksiin. Tämän takia päätettiin, että työn toteuttamista varten luodaan siipisäätimen nykyisestä mallista kopio, joka toimii mekanismisimulaationa riippumattomana päämallista. Näin puhallinsuunnittelija voi simulaatiomallin avulla varmistaa mekanismin toimivuuden ja tehdä sen mukaiset muutokset alkuperäiseen malliin.

Kopiomalli (liite 2) mahdollisti myös kaiken ylimääräisen, joka ei liittyisi mekanismiin, poistamisen rakennepuusta (yksittäisistä komponenteista koostuva kokonaisuus). Tämän avulla malli saatiin kevyemmäksi. Mallista poistettiin toimilaitteen malli, joka oli tarpeeton mekanismin simuloimiseen, sillä siihen ei ole mallinnettu mekanismiin liittyviä toimilaitteen sisäosia. Lisäksi kevennystä saatiin aikaan käyttämällä mallissa vain yhtä siipisäätimen siipikomponenttia, joka riitti simuloimiseen. Mallin rakennepuun kasvamisen ja siitä johtuvan kuormittumisen välttäminen oli pidettävä mielessä työssä tehtäviä muokkauksia tehtäessä.

#### 4.2 Toimilaitteen mekanismiosien luominen

Tarkoituksena oli luoda jousikäyttöisten B1J- ja B1JA-toimilaitteiden toimintaperiaatemalli kuvan 9 perusteella. Tätä varten luotiin Part Design -työkalua käyttäen yksinkertaiset mallit (kuva 18) toimilaitteen mekanismiin osallistuville komponenteille:

- kampiakseli
- kiertokanki
- jousi
- mäntä
- sylinterirata.



Kuva 18. Jousikäyttöisen toimilaitteen mekanismia varten mallinnetut komponentit.

Sylinteriradan tarkoituksena on toimia apukomponenttina rajoittamassa männän liikkuvuutta. Mäntää varten luotiin kaksi mallia, sillä B1JA-typin mäntä on hieman B1J-

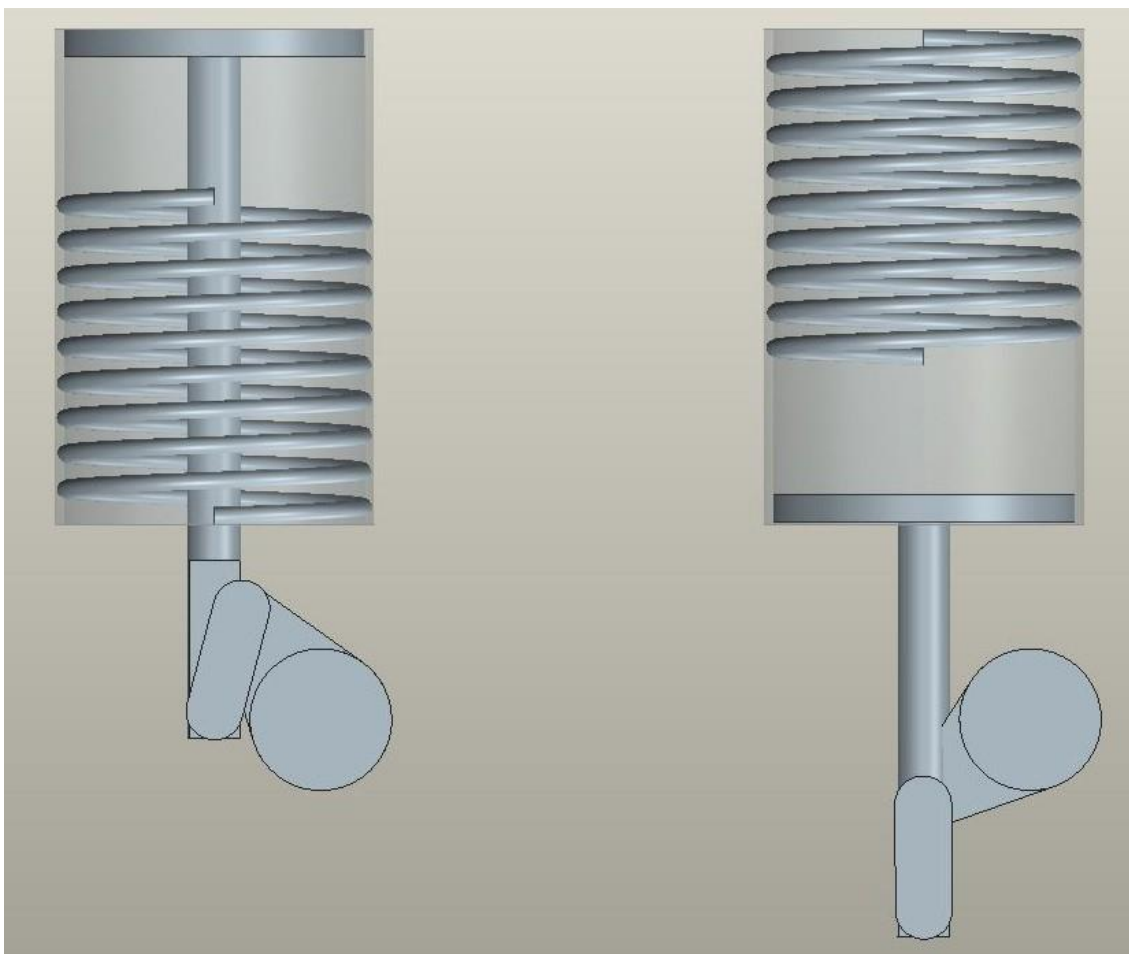
tyypin mäntää lyhyempi. Liitteeseen 2 on sisällytetty kaikki toimintaperiaatemallien komponentit.

#### 4.3 Mekanismin luominen

Koska Mechanism-työkalu ei ollut aikaisemmin suunnittelijoiden käytössä, piti asiaan perehtyä ensin itsenäisesti. Lisäksi koulutusta työkalun käytölle ei ollut tarjolla. Ennen varsinaista mekanismin mallintamistyön aloittamista tutustuttiin Parametric Technology Corporationin tarjoamiin Creo Parametricin käytön opastukseen tarkoitettuihin opetusohjelmiin ja neuvoja antaviin keskustelufoorumeihin. Näistä opittuja toimintoja pystyttiin sitten hyödyntämään työssä.

Mallinnetuista toimilaitekomponenteista tehtiin kaksi kokoonpanoa kuvassa 9 esitettyjen B1J- ja B1JA-toimintaperiaatteiden mukaisesti, kuten kuvasta 19 näkyy. Kokoonpanojen komponenttien välillä käytettiin sekä perinteisiä rajoituksia että mekanismirajoituksia. Sylinterirata kiinnitettiin paikalleen sitomalla sen kaikki vapausasteet ja mäntä määriteltiin siihen Cylinder-rajoituksella. Cylinder-rajoituksella männälle pystyttiin määrittämään, että se liikkuu sylinteriradan akselin mukaan tietyillä maksimi- ja minimiarvoilla. Kiertokanki kiinnitettiin männän kiinnitysreikään ja kampiakseli kiertokankeeseen Coincident- ja tietyillä Distance-rajoituksilla, kuitenkin vapausasteiden liiallista rajoittamista välttämällä. Näin saatiin aikaan mekanismi, jossa männän liike sylinterirataa pitkin välittyy kiertokankea kautta kampiakselille. Mallinnettu jousi ei osallistu mallin mekanismin liikkeeseen, mutta sen tarkoitus on ilmaista, kummasta toimilaitetyypistä on kyse.



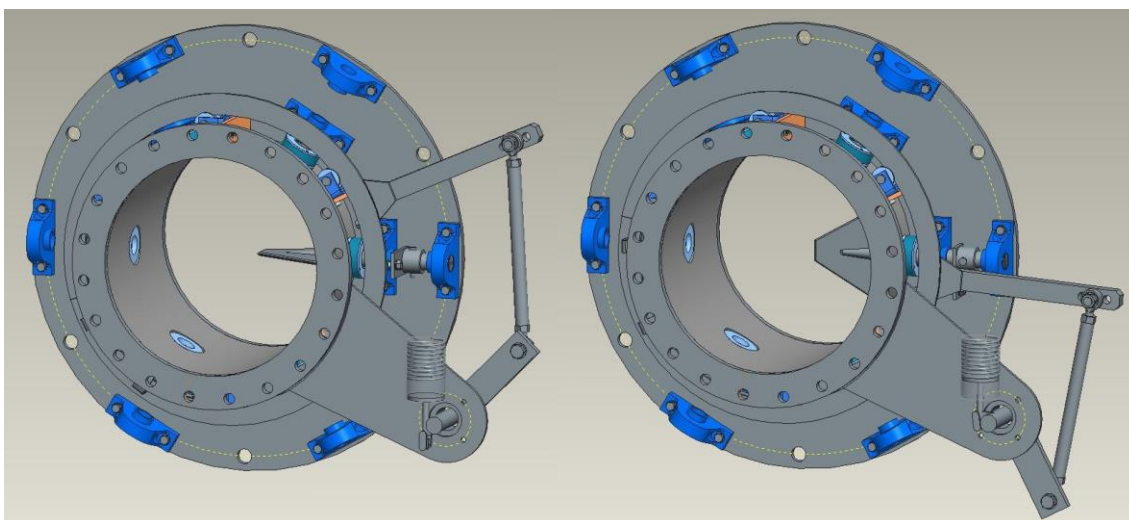


Kuva 19. B1J- (vasemmalla) ja B1JA-toimintaperiaatteiden mukaiset mekanismimallit.

Ennen kuin toimilaitteen mekanismimallit voitiin tuoda siipisäädinmalliin, oli siipisäätimelle luotava mekanismi kuvan 7 mukaisesti. Skeleton-malliin sidotut rajoitukset sammutettiin, mutta ei poistettu, jotta tarvittaessa ne olisi mahdollista palauttaa ennalleen. Sitten pystyttiin luomaan uudet vapausasteita sallivat rajoitukset. Haasteellista komponenttien uudelleen määrittämisessä oli se, että ne olivat vahvasti vaikutuksessa toisiinsa eivätkä välttämättä päivittyneet oikein, jos niiden rajoituksia muutettiin liian radikaalisti. Sekä toimilaittevipu ja säätötanko että säätötanko ja säätörengas sidottiin toisiinsa niiden kiinnitysreikien akseleita hyväksikäyttäen Coincident-rajoituksilla. Säätörengas rajoitettiin Coincident- ja Distance-rajoituksilla pystymään kääntymään tukirullia vasten siipisäätimen akselin ympäri. Pallonivelsauva määriteltiin Ball-rajoituksella säätörengaseen ja siipiin, jolloin sen pallonivelet mahdollistaisivat sauvan oikeanlaisen kääntymisen. Siiville tehtiin Pin-rajoitus, jotta niiden kulma-asento voitaisiin rajoittaa ja määrittellä. Näin saatiin aikaan mekanismi, jossa toimilaittevivun kulman vaihtuessa vipu

kiertää säätötangon kautta säätörengasta, johon kiinnitetty pallonivelsauva muuttaa mukanaan siiven kulmaa.

Seuraavaksi tuotiin luotu toimilaitemekanismin kokoonpano siipisäädinmalliin. Kokoonpanon sijaintia varten sen eri tasot sidottiin siipisäätimen tasoihin ja se kytkettiin siipisäätimen mekanismiin luomalla kampiakselille toimilaittevivun kanssa niiden akselien välille Coincident-rajoitus. Tämä mahdollisti sen, että toimilaitteen männän liike välittyi myös siipisäätimen mekanismille. Drag Components -työkalun avulla pystyttiin visualisoimaan mekanismi kuvan 20 mukaisesti.



Kuva 20. Toimilaitteen mekanismimallin ja siipisäädinmallin välille luodun mekanismin visualisointi.

Näillä rajoituksilla ei kuitenkaan vielä pystytä varmistamaan mekanismin rakenneosien oikeanlaista paikoittumista mallissa projektikohtaisesti. Tätä varten on kehitettävä mallin Program-tiedostoa, jotta mekanismimallista saataisiin parametrinen.

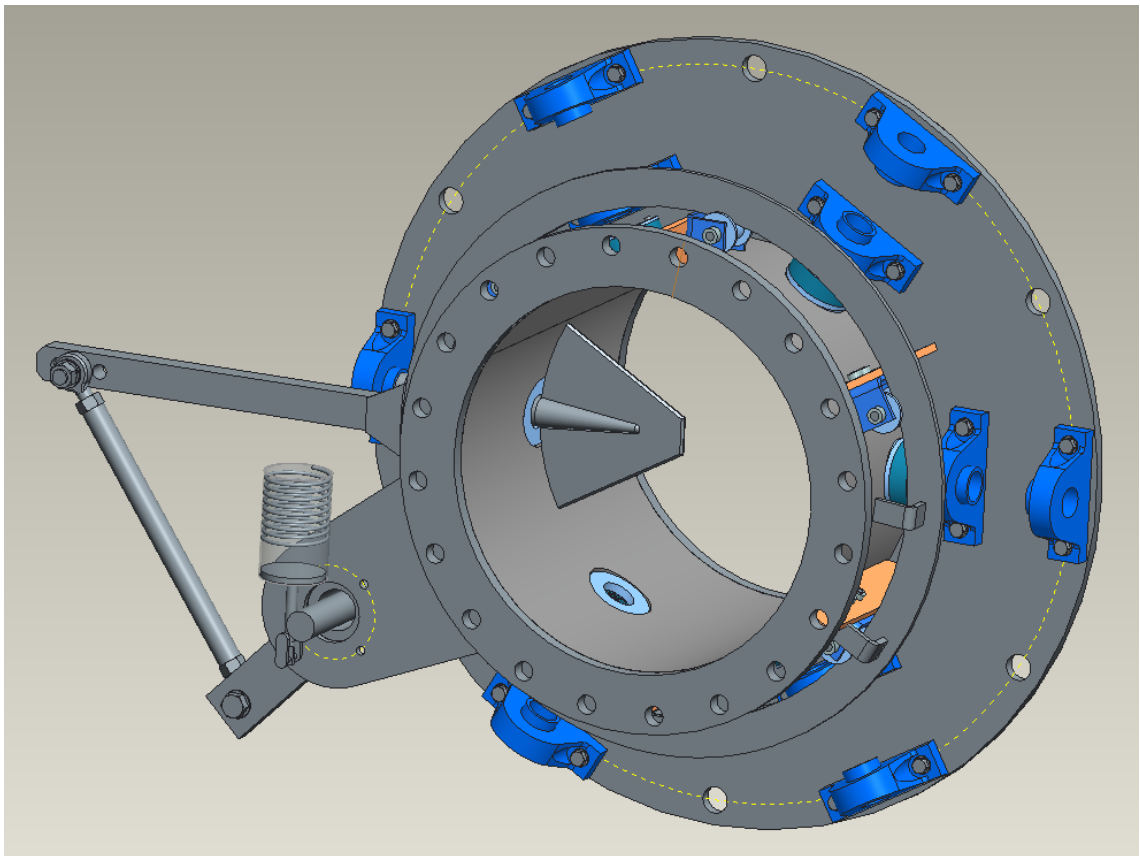
#### 4.4 Program-tiedoston kehittäminen

Kaikki rajoitukset toimilaitemekanismin kokoonpanon ja siipisäätimen välillä piti vielä määrittää siipisäätimen eri optioille, jotka vaikuttavat sen rakenneosien, kuten esimerkiksi toimilaitteen paikoittumiseen. Siksi niiden toimivuuden tarkistamista varten oli muokattava mallin Program-tiedostoa. Liite 1 on mekanismimallia varten muokattu siipisäätimen Program-tiedosto.

Mekanismin parametreihin vaikuttavat optiot ovat

- siipisäätimen kätisyys (RD tai LG)
- hätäsulku toiminnon tyyppi (Fail-Open tai Fail-Close)
- toimilaitetyyppi (B1J tai B1JA).

Siipisäätimen optioita varten luotiin ehtolauseita, joiden INPUT-kysymyksille annettujen syöttötietojen mukaan Program lisää valitun toimilaitteen mekanismin mallin oikealla sijainnilla siipisäädinmalliin. Tämä pystyttiin määrittämään aikaisemmin luotujen rajoitusten avulla, mitkä piti luoda jokaiselle optiolle erikseen. Hätäsulku toiminnon tyyppin antaminen vaikuttaa siipien kulma-asentoon, joka pystyttiin määrittämään aikaisemmin luodun Pin-rajoituksen avulla. Kuvassa 21 on yksi siipisäätimen esimerkkivariaatio yhdellä optioyhdistelmällä.



Kuva 21. Siipisäädinmalli LG, Fail-Close ja B1J-optiolla.

Näiden uusien Program-tiedoston ominaisuuksien avulla suunniteltavan siipisäätimen toimivuus on mahdollista varmistaa eri projektikohtaisilla ominaisuuksilla ja toiminnoilla.

Säätimen Program-tiedostolle syötetään ensin kätisyys ja haluttu hätäsulkuoiminto. Kun nämä on syötetty, asettuvat siipisäätimen mekanismin osat siihen asentoon, jossa siipisäädin on hätäsulkuutilassa. Sen jälkeen selvitetään, mikä toimilaitetyyppi on kyseiseen optioyhdistelmään sopiva. Tämä tapahtuu siten, että lisätään jokin toimilaitetyyppiä ja kokeillaan visuaalisesti avaamalla mekanisme hätäsulusta vetämällä toimilaitteen mäntää josta kohti Drag Components -työkalun avulla. Jos tällöin mekanismin osat ja siipi liikkuvat oikeaan suuntaan, on valinta oikea. Jos mekanismin osat liikkuvat väärään suuntaan tai eivät liiku ollenkaan ja siipi kääntyy vajavaisesti, on valinta väärä. Tällöin on valittava toinen toimilaitetyyppi ja varmistettava sen toiminta kyseisellä optioyhdistelmällä.

## 5 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä kehiteltiin siipisäätimen CAD-mallia siten, että puhallinsuunnittelija pystyy helposti visualisoimaan ja täten tarkistamaan siipisäätimen hätäsulkutoiminnon toimivuuden sen eri optioilla. Mallin avulla säästyttäisiin isoilta kustannuksilta, jotka ovat aiheutuneet väärän toimilaitetyypin valinnasta. Mallissa on kuitenkin vielä hyvin paljon kehiteltävää, ja sitä tullaan muokkaamaan vielä jatkossakin. Työn tavoite kuitenkin saavutettiin. Mallin käyttöönotto vaatii todennäköisesti vielä sen lisäkehittelyä sekä eri ihmisten hyväksytyskierroksen. Tämän jälkeen on vielä koulutettava suunnittelijat mallin oikeaan käyttöön.

Työ aloitettiin tutustumalla puhaltimiin ja niiden säätöön sekä uusiin Creo Parametric -ohjelman työkaluihin. Tämän jälkeen kartoitettiin siipisäädinmallin nykytilanne ja päätettiin kehitystoimenpiteistä. Päätösten perusteella tehtiin CAD-mallinnusta parametrisen suunnittelun perustein ja saatiin aikaan visualisoiva mekanismimalli.

Puhaltimien ja niiden säädön teoriaan tutustuminen oli antoisaa. Puhallintekniikasta kirjoitetut teokset, joita hyödynnettiin myös tässä työssä, ovat kattavia ja vaativat paljon perehtymistä. Teorian soveltaminen käytäntöön suunnittelussa vaatii paljon kokemusta ja asian ymmärtämistä. Tämän takia tässä työssä ja muutenkin puhaltimia suunniteltaessa puhaltimien tuotannon tutkiminen on hyvin tärkeää suunnittelun kehittämiseksi.

CAD-ohjelman käyttöön liittyvissä asioissa opittiin paljon. Koska monet työssä käytetyt menetelmät eivät olleet yrityksessä vakituisesti käytössä, oli niihin saatavilla oleva apu vähäinen ja tämän takia niiden käyttö opittiin itsenäisesti. Perinteisimpiin työkaluihin kuitenkin saatiin tarvittaessa apua yrityksen pätevilta suunnittelijoilta. Koulutus CAD-ohjelman käyttöön olisi voinut olla tarpeellista, sillä Parametric Technology Corporationin tarjoamista Creo Parametricin käytön opastukseen tarkoitetuista opetusohjelmista saatu tieto ei ollut täysin kokonaista.

CAD-mallinnus, joka oli työssä eniten aikaa vievä osuus, suoritettiin onnistuneesti. Luodut mallit ja niihin kehitetyt ominaisuudet suunniteltiin havainnollisiksi ja yksinkertaisiksi ilman niiden tai niihin liittyvien mallien kuormittamista, mikä johtaisi CAD-ohjelman hidastumiseen. Toisen luoman mallin muokkaaminen on haasteellista, sillä on vaikea ennustaa etukäteen tehtävien muutosten vaikutusta. Työtä tehdessä sovellettiin Trial

and Error -menetelmää, joka lopulta toi esiin parhaimmat ratkaisut. Haastetta loi myös uusien CAD-työkalujen käyttö ja mallien kuormittumisen välttäminen.

Lopputyö oli palkitseva ja riittävän haasteellinen projekti. Sen toteutus tapahtui hyvin itsenäisesti ja vastuullisesti sekä siinä pystyttiin soveltamaan useita koulussa ja aikaisemmalla työkokemuksella opittuja taitoja. Työn vaativuudesta huolimatta aikataulusta pystyttiin pitämään kiinni. Työn teki motivoivaksi se, että siitä on tulevaisuudessa työn tilaajalle suurta hyötyä. Myös uuden CAD-mallinnuksen työkalun käyttöönotto mahdollistaa uusia suunnittelumahdollisuuksia. Lisäksi työtä varten suoritettu tutustuminen puhallinteoriaan auttaa jatkossakin ymmärtämään suunnittelutyöskentelyä.

Tulevaisuudessa mallille on useita kehitysmahdollisuuksia, joita ilmeni jo tätä työtä tehdessä. Luodusta mekanismista voitaisiin määritellä Mechanism-työkalun avulla voimiin ja kitkaan liittyviä analyyseja. Kehitysmahdollisuutena on myös toimilaitemallien parantelu, jotta kyettäisiin varmistamaan niiden sopiva sijoittuminen ja mahtuminen siipisäädinkokoonpanoon. Lisäksi aiheellista olisi mallin nykyisten päivittämiskonfliktien poisto sekä Program-tiedoston INPUT-toimintojen kehittäminen ja kääntäminen englanniksi yrityksen kansainvälistyessä.

## Lähteet

- 1 Perttula, Jarmo. 2000. Energiatekniikka. 1. painos. Helsinki: WSOY.
- 2 Daly, Brian. 1992. Woods Practical Guide to Fan Engineering. Sixth Edition. Haverhill: G&C Company.
- 3 ExVel Compressors. Fläkt Woods Oy:n tuote-esite. Espoo: Fläkt Woods Oy.
- 4 Pukkila, Olli. 1986. Puhallintekniikan käsikirja. Vantaa: Ilmateollisuus.
- 5 ExVel-tuotteet. 2014. HTF Oy:n sisäinen verkkomateriaali. Versio 6.3. Espoo: Howden Turbo Fans.
- 6 ExVel Products / 9 J. Version 6.3. 2014. HTF Oy:n sisäinen verkkomateriaali. Espoo: Howden Turbo Fans.
- 7 Pneumaattinen sylinteritoimilaite. 2013. B-sarja, Metso Automation Inc:n tuote-esite. Vantaa: Metso Automation Inc.
- 8 Shih, Randy H. 2013. Parametric Modeling with Creo Parametric 2.0. USA: SDC Publications.
- 9 Laakko, Timo. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. 1. painos. Helsinki: WSOY.
- 10 Lamit, Louis Gary. 2014. Creo Parametric 2.0. Stamford: Cengage Learning.