

3D-suunnittelun hyödyntäminen laivavaihteiden suunnittelussa

Jani Minkkinen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Suunnittelu

Tekijä(t) Minkkinen, Jani	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2016
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi 3D-suunnittelun hyödyntäminen laivavaihteiden suunnittelussa		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Antti Henell, Jorma Matilainen		
Toimeksiantaja(t) Santasalo Gears Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Santasalo Gears Oy. Yritys suunnittelee ja valmistaa teollisuusvaihteita sekä tarjoaa niille huoltopalveluja. Yrityksen tuotteisiin ovat aiemmin kuuluneet myös laivavaihteet, mutta viime vuosina uusia laivavaihteita ei ole suunniteltu tai toimitettu. Tämän vuoksi laivavaihteiden suunnittelu oli jäänyt kehityksestä jälkeen. Yritys halusi kehittää laivavaihteiden suunnittelua nykypäivän vaatimuksia vastaavaksi.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteina oli tutkia yrityksessä hiljattain käyttöön otetun uuden suunnitteluhjelmiston ominaisuuksia ja mahdollisuuksia sekä ottaa 3D-suunnittelu osaksi laivavaihteiden suunnittelua luomalla mallit laivavaihteissa käytettävistä osamoduuleista. Työn aikana päätettiin keskittyä mahdollisuuksien tutkimiseen ja yhden moduulin mallien luomiseen. Tavoitteiden saavuttamiseksi perehdyttiin vaihdeteknologiaan sekä 3D-suunnittelun teoriaan. Lisäksi perehdyttiin uuteen suunnitteluohjelmistoon ja harjoiteltiin sen käyttöä ennen varsinaisen työn aloittamista.</p> <p>Työ toteutettiin mallintamalla tarvittavat osat ja luomalla jokaisesta osasta oma osaperheensä. Osaperheiden avulla luotiin tarvittavat variaatiot osista moduulin eri kokoja varten. Osaperheiden jäsenten malleista sekä ulkopuolelta hankituista malleista koottiin kokoonpano. Kokoonpanosta luotiin kokoonpanoperhe, jossa moduulin eri kokojen kokoonpanot olivat jäseninä.</p> <p>Työn tuloksina olivat moduulin eri kokojen kaikki osat ja valmiit kokoonpanot. Lisäksi tehtiin alustava ohje osaperheiden luomisen avuksi. Tämän ohjeen avulla muiden moduulien osat voidaan luoda samalla tavalla kuin työn aikana luodut osat. Jatkossa ohje voidaan myös muokata yleiseksi ohjeeksi koko yrityksen henkilöstön käyttöön.</p>		
Avainsanat (asiasanat) 3D-suunnittelu, 3D-mallinnus, laivavaihte, suunnitteluohjelmisto		
Muut tiedot		

Author(s) Minkkinen, Jani	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 68	Permission for web publication: x
Title of publication Utilizing 3D design in marine gear design		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Henell, Antti; Matilainen, Jorma		
Assigned by Santasalo Gears Oy		
Abstract <p>The thesis was assigned by Santasalo Gears Oy. The company designs and manufactures industrial gears and offers service solutions for them. Marine gears have also been part of the company's catalogue earlier but in the last few years new marine gears have not been designed or delivered. Because of this marine gear design had fallen behind in evolution. The company wanted to improve the design of marine gears to meet the standards of present day.</p> <p>The goals of the thesis were to examine the features and possibilities of a new design software that was recently adopted in the company and to make 3D design a part of marine gear design by creating models of a modules that are used in marine gears. During the process it was decided that the focus will be in examining the possibilities and in creating models for one module. To achieve those goals the theories of gear technology and 3D design were examined. New design software was also studied and using it was practiced before beginning the actual work.</p> <p>The work was executed by modeling the necessary parts and creating part families for each part. The necessary variations of the parts for different sizes of the module were created with the part families. The assembly was created with the models of part family members and models provided by third parties. Assembly was formed into an assembly family where the assemblies for different sizes of the module functioned as members.</p> <p>The results included the models of the parts and the assemblies for every size of the module. In addition, preliminary guide for creating part families was made. Using this guide, parts for the other modules can be created with same method as parts created during this process. In the future, the guide can be adjusted to work as a general guide for the whole personnel of the company.</p>		
Keywords/tags (subjects) 3D design, 3D modeling, marine gear, CAD software		
Miscellaneous		

Sisältö

Termit ja lyhenteet.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat	5
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja aiheen rajaus	5
2 Santasalo Gears Oy.....	6
3 Hammasvaihdeteknologia.....	8
3.1 Hammasvaihteen toiminta ja rakenne	8
3.2 Hammaspyörät	10
3.2.1 Käsitteet.....	10
3.2.2 Hammastus.....	12
3.2.3 Hammaspyörärakenteet.....	13
3.3 Vaihteen muut komponentit.....	16
3.3.1 Kotelo.....	16
3.3.2 Akselit	16
3.3.3 Laakerit	17
3.4 Kytkimet.....	18
3.4.1 Kiinteät kytkimet.....	18
3.4.2 Liikkuvat kytkimet.....	18
3.4.3 Irrotuskytkimet	19
3.5 Jäähdytys ja voitelu	20
3.6 Laivavaihteet	21
3.6.1 Laivavaihteiden erityispiirteet	21
3.6.2 Luokituslaitokset.....	23
4 3D-suunnittelu.....	24
4.1 Tietokoneavusteisen suunnittelun historiaa.....	24
4.2 3D-suunnittelun periaatteet	25
4.2.1 Mallityypit ja mallinnusmenetelmät	25

	2
4.2.2 Top Down- ja Bottom Up -suunnittelu	26
4.2.3 Parametrinen piirremallinnus.....	26
4.3 Modulointi	27
4.4 3D-suunnittelun työvaiheet	29
4.4.1 Esivalmistelut ja lähtötiedot	29
4.4.2 Osamallit	29
4.4.3 Kokoonpanot	30
4.4.4 Piirustukset	31
4.5 Hyödyt ja mahdollisuudet	32
4.6 Solid Edge -suunnitteluohjelmisto	34
5 Opinnäytetyön eteneminen	35
5.1 Tehtävien määrittäminen.....	35
5.2 Perehtyminen	36
6 Lamellikytkinmoduulin mallintaminen.....	38
6.1 Osien mallintaminen	38
6.2 Family of Parts -osaperhe.....	40
6.2.1 Toimintaperiaate	40
6.2.2 Osaperheen luominen	41
6.3 Muut osat	44
6.4 Kokoonpanon luominen	45
6.5 Family of Assemblies -kokoonpanoperhe	46
6.5.1 Toimintaperiaate	46
6.5.2 Kokoonpanoperheen luominen.....	47
6.6 Solid Edge -ohjelmiston muita ominaisuuksia	52
6.6.1 Variable Table -taulukko.....	52
6.6.2 Mallien ohjaaminen Excel-taulukon avulla.....	53
7 Johtopäätökset ja pohdinta	53

Lähteet.....	58
Liitteet	60
Liite 1. Ohje osaperheen luomiseksi	60

Kuviot

Kuvio 1. Santasalon huoltopalvelut.....	7
Kuvio 2. Santasalon historiaa	8
Kuvio 3. Jenkkisylinterin vaihde	10
Kuvio 4. Hammaspyörän suureita	11
Kuvio 5. Hammaspyörärakenteita.....	14
Kuvio 6. Hydraulisesti toimiva lamellikytkin	20
Kuvio 7. Modulaarisuuden tyypit	28
Kuvio 8. MBD-menetelmän mukainen malli	33
Kuvio 9. Solid Edgen käyttöliittymä ja harjoitusmalli.....	37
Kuvio 10. Laippa-akselin ja ulkolamellin kantajan valmiit mallit	39
Kuvio 11. Uuden jäsenen luominen	41
Kuvio 12. Aktiivisen jäsenen valinta	42
Kuvio 13. Osaperheen jäsenten muokkaaminen taulukon avulla	43
Kuvio 14. Kytkimen alkuperäinen ja muokattu malli	44
Kuvio 15. Leikattu lamellikytkinmoduulin kokoonpano.....	46
Kuvio 16. Alternate Assemblies.....	48
Kuvio 17. Hallintataulukko ja komponentin variaation valinta.....	49
Kuvio 18. Vaihtoehtojen listan luominen	50
Kuvio 19. Jäsenen valinta kokoonpanoa avatessa	51
Kuvio 20. Variable Table -taulukko.....	52

Taulukot

Taulukko 1. Hammastuksen laskenta.....	39
--	----

Termit ja lyhenteet

2D	Two dimensional, kaksiulotteinen.
2D-suunnittelu	Yhdellä tasolla tapahtuva kaksiulotteinen suunnittelu.
3D	Three dimensional, kolmiulotteinen.
3D-suunnittelu	Kolmiulotteinen suunnittelu, jonka tuloksena syntyy kolmiulotteinen malli.
CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	Computer-Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta. Osa tuotteen elinkaaren hallintaa.
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta.
STEP	Standard for the Exchange of Product model data, standardi tuotetiedon siirtämiseksi ohjelmistoriippumattomasti.

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Santasalo Gears Oy, joka on pitkän ja laajan kokemuksen omaava teollisuusvaihteiden valmistaja. Yrityksen tuotevalikoimaan ovat aiemmin kuuluneet olennaisena osana myös laivavaihteet. Viime vuosien aikana uusia laivavaihteita ei ole kuitenkaan toimitettu, vaan toiminta on niiden osalta keskittynyt vanhojen vaihteiden huoltoihin ja modernisointeihin. Nyt Santasalo haluaa jälleen kehittää valmiuksiaan myös uusien laivavaihteiden myymiseen ja toimittamiseen.

Koska uusia laivavaihteita ei ole viime vuosina toimitettu, on niiden suunnittelu jäänyt kehityksestä jälkeen. Suunnitteluohjeistus on peräisin 1990-luvulta, ja suunnittelu on tehty jo pääosin käytöstä poistuneilla 2D-ohjelmistoilla. Santasalo näkee tarpeelliseksi kehittää laivavaihtesuunnitteluaan nykypäivän vaatimuksia vastaavaksi, joten nykyiseen tilanteeseen halutaan muutos.

Santasalo on ottanut tai on ottamassa käyttöön Solid Edge -suunnitteluohjelmiston ja Teamcenter PLM-ohjelmiston muussa suunnittelussaan. Tarkoituksena on hyödyntää näitä ohjelmistoja myös laivavaihteiden suunnittelussa.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja aiheen rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda Santasaloon laivavaihteiden suunnittelu tähän päivään ottamalla Solid Edge -suunnitteluohjelmisto käyttöön myös laivavaihteiden suunnittelussa ja päästä näin hyödyntämään 3D-suunnittelujärjestelmän tuomia hyötyjä ja mahdollisuuksia.

Tarkoituksena oli perehtyä Solid Edgeen ja tutkia, kuinka sitä voidaan hyödyntää laivavaihteiden suunnittelussa. Tavoitteena oli luoda laivavaihteissa käytetyistä osamoduuleista 3D-mallit, joita voisi helposti hyödyntää, kun lähdetään suunnittelemaan uutta vaihdetta asiakkaalle tarjottavaksi. Lisäksi tarvittaessa tuli luoda ohjeistus osamoduulien käyttämisestä ja uusien mallien luomista varten.

Lisäksi työstä tullaan todennäköisesti samaan hyötyä myös Santasalon muiden tuotteiden suunnitteluun. Solid Edge on uusi ohjelmisto yritykselle ja sen käyttöönotto on vielä kesken, joten tästä työstä kertyvä tieto on arvokasta myös yrityksen muussa suunnittelussa. Tämä tuo työlle lisäarvoa.

Koska laivavaihdeteknologia ja 3D-suunnittelu ovat laajoja aihealueita ja laivavaihteiden suunnittelussa olisi paljon kehitettävää ja päivitettävää, piti opinnäytetyötä rajata. Aiheeksi rajattiin aiemmin mainittujen osamoduulien mallien luominen, Solid Edgen mahdollisuuksien kartoittaminen ja mahdollisen ohjeistuksen luominen.

2 Santasalo Gears Oy

Santasalo Gears Oy (myöhemmin Santasalo) suunnittelee ja valmistaa teollisuusvaihteita lukuisiin eri käyttökohteisiin. Santasalo kuvailee itseään ”mekaanisten voimansiirtoratkaisujen kokonaistoimittajaksi”, mikä kuvaa hyvin yrityksen toimintaa. Santasalo osallistuu voimansiirtolaitteistojensa suunnitteluun, valmistukseen ja asennukseen sekä tarjoaa tuotteilleen koko niiden elinkaaren kattavat tuki- ja huoltopalvelut. (Voimansiirtoratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin 2015.)

Santasalon ydinosamista ovat räätälöidyt teollisuusvaihteet lukuisten eri teollisuuden alojen vaihteleviin tarpeisiin. Mittavan asiantuntemuksen ja asiakkaan kanssa tehtävän yhteistyön avulla Santasalo pystyy toimittamaan tuotteitaan vaativimpiinkin kohteisiin, joko vakiomalliston tuotteita muokkaamalla tai täysin uusia tuotteita suunnittelemalla. Asiakkaat toimivat mm. kaivosteollisuuden, sellu- ja paperiteollisuuden, sähköntuotannon, sementtiteollisuuden, sokeriteollisuuden, laiva- ja meriteollisuuden, terästeollisuuden sekä jätevedenkäsittelyn parissa. Santasalo pyrkii olemaan lähellä asiakkaitaan tarjoamalla globaalisti kattavan myynti- ja palveluverkoston. Jyväskylässä ja Kiinan Suzhoussa sijaitsevat tuotantolaitokset on sertifioitu ISO

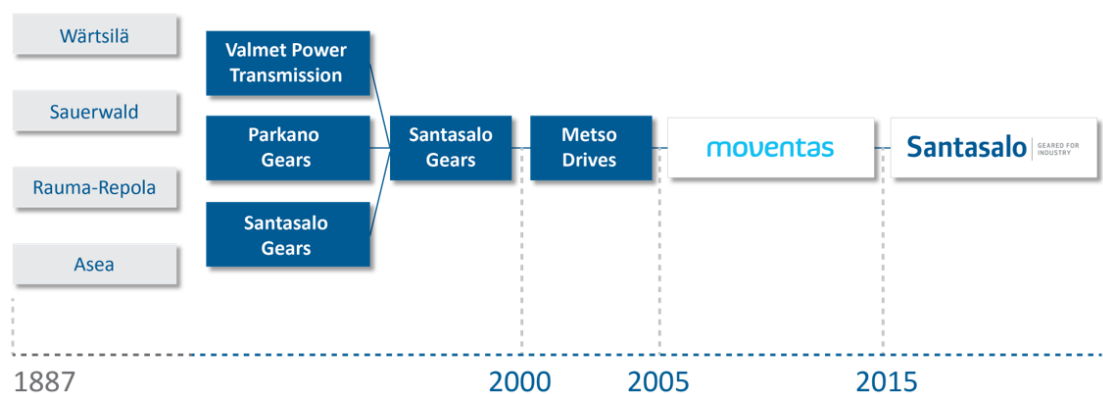
9001 -laatustandardin mukaan. Laatuvaatimuksilla pyritään varmistamaan, että vaihteet täyttävät ankarimmatkin niille asetetut vaatimukset. Ympäristöasioissa Santasalo noudattaa ISO 14001 -standardia. (Mt. 2015.)

Pitkälle räätälöityjen uusien vaihteiden toimituksen lisäksi kattavat huoltopalvelut ovat toinen Santasalons ydinosamisalueista (ks. kuvio 1). Vaihteita voidaan huoltaa paikan päällä tai jossain Santasalons useista huoltokeskuksista. Santasalo tarjoaa mm. kunnonvalvontaa, ennakoivaa huoltoa, varavaihteita, rikkoutuneiden vaihteiden korjauksia sekä päivityksiä ja modernisointeja vaihteen merkistä riippumatta. Tavoitteena on, että vaihde toimii optimaalisesti mahdollisimman pitkään. (Mt. 2015.)



Kuvio 1. Santasalons huoltopalvelut (Voimansiirtoratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin 2015)

Santasalolla on yli sadan vuoden päähän ulottuva historia vaihteiden valmistajana. Tänä aikana vaihteita on valmistettu monien tunnettujen tuotemerkkien, kuten Metso Drives, Valmet Power Transmission ja Moventas, nimellä (ks. kuvio 2). (Mt. 2015.) Kesäkuussa 2016 Santasalo fuusioitui brittiläisen vaihdevalmistajan David Brownin kanssa. Yhdessä yritykset muodostavat yli 1000 ihmistä työllistävän David Brown Santasalon, jolla on seitsemän tuotantolaitosta ja 23 huoltokeskusta ympäri maailmaa kuudessa maanosassa. (Into Top Gear... 2016.)



Kuvio 2. Santasalon historiaa (Santasalo – Geared for Industry 2015)

3 Hammasvaihdeteknologia

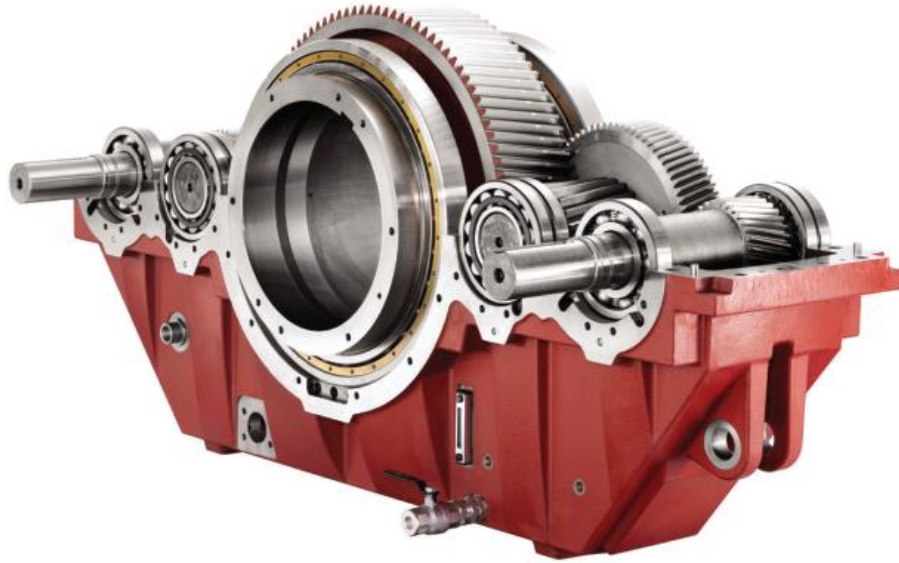
3.1 Hammasvaihteen toiminta ja rakenne

Hammasvaihteen pääasiallinen tehtävä on voiman siirtäminen moottorilta käytettävälle laitteelle. Tämä tapahtuu välittämällä pyörimisliikettä akselilta toiselle hammaspyörien avulla, samalla pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia muuttaen. Vaihde hävittää tehoa hammaspyörä- ja vaihdetyypistä riippuen yhdestä prosentista kymmeneen prosentteihin johtuen hampaiden keskinäisessä liukumisessa ja laakeroinneissa syntyvistä kitkahäviöistä. Menetetty teho muuttuu vaihteessa lämmöksi. (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho 1985, 263; Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Seppänen & Suosara 1999, 247,250.)

Kun pyörimisnopeutta muutetaan pienemmäksi, puhutaan alennusvaihteesta, ja vastaavasti pyörimisnopeutta nostettaessa puhutaan ylennysvaihteesta. Pyörimisnopeuden muutosta kutsutaan välityssuhteeksi. Vaihteen välityssuhde voi olla kiinteä tai vaihteella voi olla useita portaittain säädettäviä välityssuhteita. Teollisuusvaihteilla välityssuhde on useimmiten kiinteä, portaittain vaihtuvia välityksiä käytetään esimerkiksi autoissa. Lisäksi vaihteella voi olla muitakin tehtäviä, kuten pyörimissuunnan muuttaminen tai akselilinjan kääntäminen. (Ansaharju 2009, 180; Blom ym. 1999, 250.)

Hammasvaihte muodostuu yhdestä tai useammasta hammaspyöräparista, jotka toimivat kiinteän runkorakenteen, vaihteen kotelon, varassa. Yhdessä vaihteessa voi olla useita erityyppisiä hammaspyöriä. Hammaspyöräparien lukumäärä määrittelee sen, kuinka moniportaisesta vaihteesta puhutaan. Esimerkiksi kaksi hammaspyöräparia sisältävää vaihdetta kutsutaan kaksiportaiseksi. Portaiden määrä taas vaikuttaa vaihteen välityssuhteeseen. Mitä enemmän vaihteessa on portaita, sitä suurempiin välityssuhteisiin päästään. Hammaspyörien lisäksi vaihte sisältää tavallisesti vähintään kaksi akselia, ensiö- ja toisioakselit, joihin käytävä ja käytettävä laite kytkeytyvät, sekä tarvittavat laakeroinnit, tiivisteet, putkitukset jne. (Airila ym. 1985, 238; Ansaharju 2009, 217.)

Vaihte voidaan toteuttaa joko jalkavaihteena tai tappivaihteena. Normaali jalkavaihte kiinnitetään vaihdetta varten tehtyyn perustaan ja kytketään toisioakselistaan käytettävään koneeseen. Tappivaihteessa vaihteen toisioakseli on putkiakseli, eli akselissa on reikä käytettävän laitteen akselia varten. Tappivaihte asennetaan siis suoraan käytettävän koneen akselille. Tappivaihte voidaan muiden vaihteiden tapaan kiinnittää perustaan, mutta useimmiten käytettävän laitteen akseli kannattelee vaihdetta. Tällöin vaihteeseen lisätään pyörimisen estävä momenttituki. (Ansaharju 2009, 217; Björk, Hautala, Huhtala, Kivioja, Kleimola, Lavi, Martikka, Miettinen, Ranta, Rininen & Salonen 2014, 348.) Kuviossa 3 on esitetty tappivaihteena toteutettu jenkkisylinterin vaihte kotelon yläosa poistettuna ja sisäosat näkyvissä.



Kuvio 3. Jenkkisylinterin vaihde (Voimansiirtoratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin 2015)

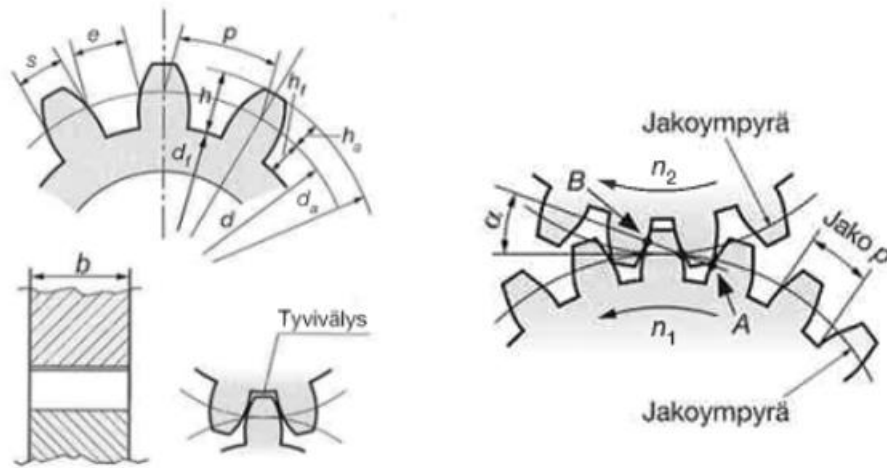
3.2 Hammaspyörät

3.2.1 Käsitteet

Ansaharju (2009, 180–186) sekä Björk ja muut (2014, 332) ovat määritelleet hammaspyöriin liittyviä käsitteitä seuraavasti:

Jakohalkaisija

Kun kaksi hammaspyörää toimii yhdessä hammaspyöräparina, kummallekin pyörälle muodostuu ympyrä niistä pisteistä, joissa hampaat koskettavat toisiaan liukumatta. Tätä ympyrää kutsutaan jakoympyräksi. Jakohalkaisija on jakoympyrän halkaisija. (Ks. kuvio 4.)



Kuvio 4. Hammaspyörän suureita (Ansaharju 2009, 181–182, muokattu)

Hammasjako

Hammasjakoiksi kutsutaan jakoympyrältä mitattua kaaren pituutta hampaan kyljestä seuraavan hampaan vastaavaan kylkeen. Hammasjako on esitetty kuviossa 4 symbolilla p . Kahden vierekkäisen hampaan vastakkaisen sivujen etäisyyttä jakoympyrällä kutsutaan hammasaukoksi.

Moduuli

Moduuli on hampaan kokoa kuvaava apusuure, joka saadaan, kun hammasjako jaetaan piillä. Käytäntöä varten moduulien arvot on kuitenkin standardoitu kokonaisluvuiksi ja päättyviksi desimaaliluvuiksi. Yhdessä toimivilla hammaspyörillä tulee olla sama moduuli.

Päähalkaisija

Hammaspyörän ulointa kehää kutsutaan pääympyräksi. Päähalkaisija on tämän ympyrän halkaisija. Päähalkaisija vastaa sorvattavan hammaspyöräihion halkaisijaa. Päähalkaisija on esitetty kuviossa 4 symbolilla d_a .

Tyvihalkaisija

Hammaspyörän hammaskehän sisimmän ympyrän, tyviympyrän, halkaisijaa kutsutaan tyvihalkaisijaksi. Tyvihalkaisija on esitetty kuviossa 4 symbolilla d_f .

Hampaan korkeus

Hampaan korkeus on säteen suuntainen pää- ja tyviympyrän välinen etäisyys. Vastaa jyrksintäsyvyyttä hammaspyörää valmistettaessa. Hampaan korkeus on esitetty kuviossa 4 symbolilla h.

Tyvivälitys

Toisen hammaspyörän hampaan pään ja toisen tyven, eli pää- ja tyviympyrän, väliin jäävää välystä kutsutaan tyvivälitykseksi. (Ks. kuvio 4.)

Hampaan leveys

Hampaan leveys vastaa lieriöhammaspyörillä hammaspyörän akselin suuntaista paksuutta hammaskehän kohdalta. Kartiohammaspyörillä hampaan leveys vastaa kartion sivun pituutta. Hampaan leveys on esitetty kuviossa 4 symbolilla b.

Ryntö

Ryntö tarkoittaa hampaiden kosketusta toisiinsa. Hammaspyöräparin vieressä toisiinsa vasten hampaiden kosketuspisteet muodostavat ryntöviivaksi kutsutun viivan. Evolventtihammastuksella valmistetuilla hammaspyörillä ryntöviiva on suora. Tämän suoran ja jakoympyröiden tangentin välistä kulmaa kutsutaan ryntökulmaksi. Ryntökulma on lähes poikkeuksetta 20 astetta. (Ks. kuvio 4.)

3.2.2 Hammastus

Hammaspyöräparin toiminnan kannalta on oleellista, että pyörien hammastukset sopivat toisiinsa. Yhdessä toimivilla hammaspyörillä tulee olla sama hammasjako ja moduuli, mutta vastakkaisten hampaiden profiilien ei välttämättä tarvitse olla samanlaiset. Hammaspyöräparin tasainen ja nykimätön toiminta kuitenkin edellyttää, että hammaspyörät vierivät suuren valmistustarkkuuden ja hampaiden kylkimuodon ansiosta liukumatta keskenään. (Blom ym. 1999, 249–251.)

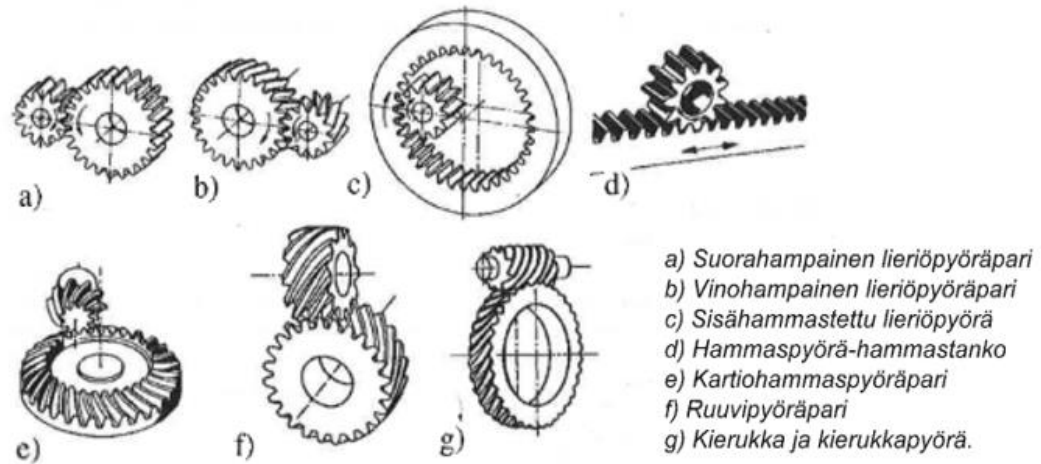
Hammastus voidaan toteuttaa erilaisilla hampaan kyljen muodoilla. Käytettyjä kylki-muotoja ovat muun muassa sykloidihammastus ja evolventtihammastus. Näistä evolventtihammastus on kuitenkin selvästi yleisimmin käytetty. Evolventtihammastuksen nimi tulee niin kutsutusta evolventtikäyrästä, jota hampaan kyljen muoto seuraa. Syinä evolventtihammastuksen suosioon ovat valmistuksen helppous ja tarkkuus, laadunvalvonnallisen tarkastuksen helppous, evolventtipyörien yleinen yhteensopivuus ja se, ettei pieni akselivälivirhe haittaa pyöräparin toimintaa. (Björk ym. 2014, 332; Blom ym. 1999, 253–257.)

Hammastus valmistetaan useimmiten jyrsimällä, mutta myös erilaiset pistoon perustuvat työmenetelmät ovat mahdollisia. Evolventtihammastuksen etuna ollut valmistuksen helppous johtuu osittain siitä, että jyrsintään tarvitaan vain yksi työkalu yhtä moduulia, eli hammaskokoa, kohden. Pelkällä jyrsinnällä päästään tarvittaessa melko hyvään tarkkuuteen, mutta yleensä hampaat vielä hiotaan, jolloin päästään helposti hyviin tarkkuuksiin. Tarkkuusluokan kasvaessa myös tehonsiirtokyky paranee ja äänitaso pienenee. Hampaisiin voidaan lisäksi tehdä helpotuksia, eli muokata hampaan muotoa niin, että ryntöön tulo ja siitä poistuminen pehmenevät. Helpotukset kompensoivat pieniä valmistusvirheitä sekä hampaan ja akselin käynninaikaisia muodonmuutoksia, minkä myötä vaihteen käyntiääni pienenee. (Ansaharju 2009, 179; Björk ym. 2014, 345–346; Blom ym. 1999, 256–257.)

3.2.3 Hammaspyörärakenteet

Lieriöhammaspyörät

Lieriöhammaspyörät valmistetaan lieriömäisistä aihioista. Lieriöhammaspyörän hammastus voi olla suora, vino tai nuolimainen. Suurin osa lieriöhammaspyöristä on vinohampaisia. Lieriöhammaspyörä voidaan toteuttaa myös sisähammastettuna. Tällaisia pyöriä käytetään esimerkiksi planeettapyörästöissä. (Airila ym. 1985, 237,257; Ansaharju 2009, 178–180.) Kuviossa 5 on esitetty erilaisia hammaspyörärakenteita.



Kuvio 5. Hammaspyörärakenteita (Björk ym. 2014, 329, muokattu)

Suorahampaisten hammaspyörien valmistus on halpaa ja helppoa. Vaativiin tarkoituksiin suora hammastus ei kuitenkaan tarjoa tarpeeksi tasaista ja äänetöntä käyntiä. Tällöin voidaan käyttää vinohampaisia lieriöpyöriä, joilla saavutetaan suurempi tehonsiirtokyky ja pienempi käyntiääni. Parempi tehonsiirtokyky johtuu hampaan pituuden kasvamisesta vinouskulman kasvaessa pyörän leveyden pysyessä samana. Käytännössä vinouskulma jää suhteellisen pieneksi, yleensä kahdeksasta viiteentoista asteeseen, vinosta hammastuksesta aiheutuvien laakereita rasittavien akselin suuntaisten voimien vuoksi. Yhdessä toimivan vinohampaisen pyöräparin pyörien tulee aina olla erikätiset, eli hammastuksen tulee olla vino eri suuntaan kuin vastapyörässä. Vinosta hammastuksesta aiheutuvia aksiaalisia voimia voidaan välttää käyttämällä nuolihammastettuja pyöriä. Nuolihammaisesta pyörän voi kuvitella koostuvan kahdesta toistensa peilikuvaksi tehdystä vinohampaisesta pyörästä, jolloin aksiaali-voimat kumoavat toisensa. Nuolihammaisista pyöräistä ei kuitenkaan ole erityisen yleisiä vaativamman valmistuksen vuoksi, mutta niitä käytetään esimerkiksi suuritehoisissa yksiportaisissa vaihteissa sekä joissain laivavaihteissa. (Airila ym. 1985, 257; Ansaharju 2009, 180.)

Kartiohammaspyörät

Kartiohammaspyöriä käytetään, kun halutaan voimansiirto erisuuntaisten akselien välille. Akselien välinen kulma on lähes aina 90 astetta, mutta myös muut kulmat

ovat mahdollisia. Kartiopyörän hampaiden muoto on poikkileikkaukseltaan samanlainen kuin lieriöhammaspyörissä, mutta hampaan koko kasvaa ulkokehää kohti. Hammastus voi olla suora, vino tai kaareva. Suora hammastus soveltuu vaatimattomaan käyttöön, vinoa ja kaarevaa hammastusta käytetään, kun vaaditaan tarkkaa käyntiä ja hiljaista käyntiääntä. Lieriöhammaspyörää vaikeamman valmistuksen sekä pienemmän kysynnän vuoksi kartiohammaspyörät ovat myös kalliimpia. Tästä johtuen kartioporras pyritään sijoittamaan vaihteen ensimmäiseksi ja pienimmäksi portaaksi. (Airila ym. 1985, 295–296; Ansaharju 2009, 185.)

Kierukat ja kierukkapyörät

Kierukkavaihde on ruuvimaisesta yksi- tai monipäisestä hammaspyörästä, eli kierukasta, ja lieriömäisestä kierukkapyörästä muodostuva kokonaisuus. Se kuinka monipäisestä kierukasta puhutaan, määräytyy hampaiden määrän mukaan. Kierukkapyörän hampaat on muotoiltu kierukan kierteelle sopiviksi. Kierukkavälityksellä saadaan aikaan suuria välityssuhteita lieriö- ja kartiovälityksiin verrattuna. Kartiopyöräiden tapaan, myös kierukkavälityksen akselilinja voidaan kääntää 90 asteen kulmaan. Kartiopyörästä poiketen akselien keskilinjat eivät kuitenkaan leikkaa toisiaan, vaan kulkevat toistensa ohi. (Airila ym. 1985, 325; Ansaharju 2009, 187.)

Ruuvipyörät

Ruuvipyörät ovat monipäisiä, hiukan lyhyttä kierukkaa muistuttavia pyöriä. Ruuvipyörät voivat olla joko lieriömäisiä tai kartiomaisia. Kartioimaista ruuvipyöräparia kutsutaan myös hypoidipyöräpariksi. Ruuvipyöräiden etuna on, että pyöräiden akselit voivat olla lähes missä tahansa kulmassa toisiinsa nähden. Suurista kitkahäviöistä johtuva heikko tehonsiirtokyky sekä runsaan voitelun tarve taas ovat ruuvipyöräiden huonoja puolia. (Airila ym. 1985, 316–317; Ansaharju 2009, 188.)

3.3 Vaihteen muut komponentit

3.3.1 Kotelo

Vaihteen kotelo valmistetaan yleisimmin valamalla, mutta yksittäistapauksissa ja erikoisvaihteissa käytetään myös hitsattuja koteloja. Kotelo toimii vaihteen runkona ja roiskevoideltujen vaihteiden osalta myös öljysäiliönä. Kotelo voidaan toteuttaa joko pysty- tai vaakajakotasoisena. Pystyjakotasoisen on helpompi valaa ja koneistaa, kun taas vaakajakotasoisen on helpompi huoltaa. Huollon yhteydessä vaakajakotasoisen vaihteen kotelon yläosa voidaan irrottaa, jolloin hammaspyörät ja akselit jäävät alapuolikkaaseen helposti käsiteltäviksi. (Airila ym. 1985, 290.)

Kotelon muotoilussa on otettava huomioon vaihteelle mahdollisesti asetetut sivutoimintovaatimukset. Koteloon pitää pystyä kiinnittämään helposti erilaisia apulaitteita. Muun muassa erilaisten moottorien, suojuksien tai jarrujen kiinnittämisen tulisi onnistua vaivattomasti kotelon muotoilun puolesta. Kotelon toimiessa öljysäiliönä, myös jäähtymiseen voidaan vaikuttaa kotelon muodolla. Jäähtymistehoa voidaan lisätä esimerkiksi rivoittamalla kotelo. (Mts. 290–292.)

3.3.2 Akselit

Hammasvaihteessa on aina vähintään kaksi akselia, käyttävään koneeseen kytkettävä ensiöakseli ja käytettävään laitteeseen kytkettävä toisioakseli. Joskus näitä kutsutaan myös nopeaksi akseliksi (high speed shaft, HSS) ja hitaaksi akseliksi (low speed shaft, LSS). Alennusvaihteessa ensiöakseli on nopea ja toisioakseli hidaskäyttöinen. Jos hammaspyöräpareja on useampia, myös akseleita on enemmän. Lisäksi vaihteeseen mahdollisesti liitettävät apulaitteet, kuten sähkömoottori tai generaattori, voidaan kytkeä omalle akselilleen. (Ansaharju 2009, 192; Design Guidelines 2000.)

Yksi vaihteen, ja erityisesti hammaspyöröiden rakenteeseen vaikuttava tekijä on se, kuinka pyörä kiinnitetään akseliin. Pienitehoisissa vaihteissa käytetään yleensä kiiloja, kun taas suurempitehoisissa vaihteissa käytetään kutistusliitosta. Asennuksen helpottamiseksi sekä akselin päässä että hammaspyörässä on viisteet. Yleensä hammas-

pyörä asennetaan akseliin koneistettua olaketta varten, muussa tapauksessa on oltava erityisen huolellinen, että pyörä kutistuu oikeaan kohtaan akselille. Usein käytetään niin kutsuttuja hammasakseleita, eli pienemmän pyörän hampaat jyskitään suoraan akseliin. Hammastus voidaan tehdä hiukan vastapyörää leveämmäksi asennuksen helpottamiseksi. (Airila ym. 1985, 286–288; Ansaharju 2009, 188–189.)

Akselit voivat olla hammaspyörien tyypistä riippuen lähes missä tahansa kulmassa toisiinsa nähden. Lieriöhammaspyörien on oltava keskenään samassa linjassa, joten akselien on oltava yhdensuuntaiset. Kartiohammaspyörien osalta akselit ovat taas lähes poikkeuksetta 90 asteen kulmassa. Myös kierukkapyörästä akselit ovat useimmiten kohtisuorassa toisiinsa nähden, mutta toisin kuten kartiopyörillä, akselien keskiviivat eivät leikkaa toisiaan, vaan kulkevat toistensa ohi. Vaihteen käyttöasennosta ja akselien asemoinnista riippuen vaihdetta voidaan kutsua vaaka- tai pystyakseliseksi. (Ansaharju 2009, 185–189; Support Material: Modular Gear Series for Heavy Duty Applications 2015.)

3.3.3 Laakerit

Hammaspyöräakselit tuetaan vaihteen runkoon laakerien välityksellä. Sopivien laakerien valinta vaikuttaa merkittävästi vaihteen toimintaan ja kestävyYTEEN. Yleensä hammasvaihteissa käytetään jonkin tyyppisiä vierintälaakereita tai joskus liukulaakereita. (Blom ym. 1999, 273.)

Vinohampaisten lieriöhammaspyörien aiheuttama aksiaalikuorma vaikeuttaa laakerien valintaa. Radiaalisen kuorman kantokykyvaatimuksen vuoksi joudutaan usein valitsemaan heikosti aksiaalikuormaa kantava laakeri. Tästä johtuen laakerien kestävästä joudutaan tinkimään ja vaihteen tehonsiirtokykyä joudutaan rajoittamaan. (Björk ym. 2014, 340.)

Laivavaihteissa laakerit on hyvän luotettavuuden vuoksi mitoitettu kestävämmän huomattavaa ylikuormitusta. Muiden laakerien lisäksi laivavaihteissa käytetään myös painelaakereita. Painelaakeri ottaa vastaan potkurilta tulevan aksiaalisen voiman ja välittää sen laivan runkoon, mikä saa laivan liikkumaan. Painelaakeri voi olla erillinen tai

se voidaan integroida vaihteeseen. (Marine Propulsion Gears 2014; Häkkinen 1997, 110.)

3.4 Kytkimet

Vaihteen toiminnan kannalta on oleellista, kuinka vaihteen ensiö- ja toisioakselit liitetään käyttävän ja käytettävän laitteen akseleihin. Tähän tarkoitukseen käytetään erilaisia kytkimiä. Kytkimien päätehtävä on liittää, sekä jossain tapauksissa myös irrottaa, akselien päät toisiinsa ja välittää vääntömomenttia pyörivältä akselilta toiselle. Käyttötarpeen mukaan kytkimillä on vääntömomentin välittämisen lisäksi monia muitakin tehtäviä. Tällaisia ovat muun muassa akselien asemavirheiden eliminointi sekä erilaisten iskujen ja värähtelyjen vaimentaminen. (Ansaharju 2009, 220; Blom ym. 288–289.)

3.4.1 Kiinteät kytkimet

Kiinteä kytkin muodostuu liitoskappaleista, joilla akselit liitetään kiinteästi toisiinsa. Se on akselikytkimien perusmuoto, jonka ainoa tehtävä on liittää akselit toisiinsa ja välittää vääntömomenttia. Esimerkki kiinteästä kytkimestä on kiinteä laippakytkin. Se muodostuu kahdesta akselien päihin kiinnitettävästä laipasta, jotka kiinnitetään toisiinsa ruuviliitoksella. (Ansaharju 2009, 220–221; Blom ym. 1999, 289.)

3.4.2 Liikkuvat kytkimet

Kytkevissä akseleissa saattaa esiintyä joko aksiaalista tai säteittäistä liikettä, johon esimerkiksi asennusvirheistä, laitteiden toiminnasta tai lämpötilan vaihtelusta. Tällaisessa tapauksessa tarvitaan liikkuva kytkin, eli kytkin, joka sallii akselien liikettä tai poikkeamia toisiinsa nähden. Liikkuva kytkin voi olla joustava tai joustamaton riippuen kytkimen toimintamekanismista. (Ansaharju 2009, 221.)

Joustamattomat kytkimet

Joustamaton kytkin sallii jonkin verran akselien liikkeitä ja asentopoikkeamia, mutta siinä ei ole joustavia elementtejä. Esimerkki joustamattomasta kytkimestä on vaihteissa paljon käytetty hammaskytkin. Hammaskytkin koostuu akselien päihin asennettavista hammaskehällä varustetuista navoista ja sisäpuolisesti kummastakin

päästä hammastetusta napoja yhdistävästä holkista. Väätömomentti siirtyy ulkoholkin kautta hammastuksien välityksellä navalta toiselle. Metallista valmistettu hammaskytkin vaatii voitelun. (Airila ym. 1985, 198–200; Ansaharju 2009, 221.)

Joustavat kytkimet

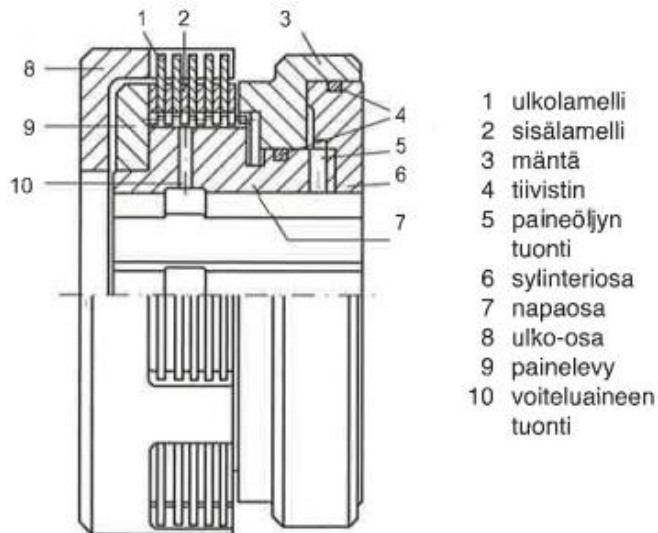
Joustavat kytkimet sallivat myöskin liikettä ja asentopoikkeamia, mutta sen lisäksi ne vaimentavat väätömomentin vaihtelusta johtuvia kuormitushuippuja joustavan elimen tai elimien avulla. Joustava elin voi olla esimerkiksi kumia, muovia tai jousi. Esimerkki joustavasta kytkimestä on hyvin yleinen joustava tappikytkin. Joustava tappikytkin muistuttaa rakenteeltaan hiukan laippakytkintä, mutta tappikytkimen laipoissa on reikiä ja reikiin sopivia kumiholkeilla päällystettyjä tappeja, joiden kautta väätömomentin välittäminen tapahtuu. Laippoja ei kiristetä aivan kiinni toisiinsa, jolloin aksiaalinen liike ja pienet suuntapoikkeamat ovat mahdollisia. (Ansaharju 2009, 222; Blom ym. 1999, 290.)

3.4.3 Irrotuskytkimet

Jos käytettävää laitetta ei ole tarkoitus käyttää aina samaan aikaan käyttävän laitteen kanssa, eli käytettävä laite halutaan esimerkiksi pysäyttää pysäyttämättä koko laitteistoa, voidaan vaihteen yhteydessä käyttää irrotuskytkintä. Väätömomentti voidaan välittää akselilta toiselle kitkan tai toistensa lomiin asettuvien sakaroiden avulla. Sakarakytkin voidaan irrottaa käytön aikana, mutta se voidaan kytkeä ainoastaan koneen seisoessa. Irrotuskytkimistä yleisimpiä ovat kitkakytkimet, joissa toisiaan vasten puristuvat kitkapinnat välittävät väätömomenttia. Kitkakytkimellä sekä kytkentä että irrotus voidaan suorittaa koneen käydessä. Kytchentä on tasainen ja nykäyksetön, koska pinnat liukuvat hetken toisiaan vasten, ennen kuin käytettävä akseli saavuttaa lopullisen pyörimisnopeuden. Kytchentä voidaan suorittaa vipumekanismilla, paineilmalla, sähkömagneettisesti tai hydraulisesti. (Ansaharju 2009, 223–224.)

Yksi esimerkki kitkatyyppisestä irrotuskytkimestä on lamellikytkin. Lamellikytkimessä väätömomentin siirto tapahtuu useiden toisiaan vasten puristuvien lamelleiksi kutsuttujen kytkinlevyjen välityksellä. Lamellipakassa joka toinen lamelli on sisähammastettu ja joka toinen ulkohammastettu. Näin joka toinen lamelli kytkeytyy käyttävälle

ja joka toinen käytettävälle puolelle. Hammastus on toteutettu niin, että se sallii lamellien aksiaalisen liikkeen, jolloin lamellit voidaan puristaa toisiaan vasten tehon siirtämiseksi. (Mts. 224.) Kuviossa 6 on esitetty hydraulisesti toimiva lamellikytkin.



Kuvio 6. Hydraulisesti toimiva lamellikytkin (Björk ym. 2014, 389)

3.5 Jäähdytys ja voitelu

Öljyvoitelu vaaditaan vaihteistolle aina suuritehoisessa hammaspyörävoimansiirrossa. Öljyllä on vaihteistossa useita tehtäviä, tärkeimpinä osien voitelu ja suojaaminen kulumiselta sekä lämmön siirto pois vaihteesta. Öljyn on tarkoitus muodostaa ohut kalvo hampaiden väliin, jolloin vältetään kahden metallisen pinnan välinen kontakti. Öljykalvon paksuuteen vaikuttavat hampaisiin kohdistuva pintapaine, öljyn viskositeetti ja hammaspyörän kehänopeus. Öljykalvon rikkoutuminen johtaa hyvin nopeasti vaihteen vikaantumiseen. Oikein järjestetty voitelu on siis vaihteen toiminnan ja kestävyyskannalta erittäin tärkeää. Sopiva voitelutapa riippuu vaihteen tyyppistä, hammaspyörien pyörimisnopeuksista ja käyttöolosuhteista. (Björk ym. 2014, 350; Blom ym. 1999, 273; Support Material: Modular Gear Series for Heavy Duty Applications 2015.)

Pienimmillä nopeuksilla voidaan käyttää kylpyvoitelua. Kylpyvoitelussa öljyn pinta on korkealla ja hammaspyörät ”kylpevät” jatkuvasti syvällä öljyssä. Yleinen voitelutapa pienillä nopeuksilla on roiskevoitelu. Roiskevoitelussa öljyn pinta on sellaisella tasolla, että hammaspyörä koskettaa öljyn pintaa ja heittää pyöriessään öljyä kotelon seinille. Tämän jälkeen öljy ohjataan muun muassa rivoituksilla ja porauksilla tarvittaviin kohtiin, esimerkiksi laakereille. Näissä tapauksissa vaihteen kotelo toimii öljysäiliönä ja johtaa tehohäviöistä syntyvän lämmön pois öljystä ja vaihteesta. Usein suurin sallittu öljyn lämpötila on noin 80 astetta. Jos kotelon jäähdytysteho, eli nk. terminen teho, ei ole riittävä, voidaan kotelon ulkopinta rivoittaa, jolloin suurentuneen pinta-alan myötä lämpöä johtuu tehokkaammin. Myös vaihteen akselille asennettava tuuletin tai erilaiset öljynjäähdyttimet ovat mahdollisia ratkaisuja. (Björk ym. 2014, 350; Support Material: Modular Gear Series for Heavy Duty Applications 2015.)

Suurilla nopeuksilla ja tehoilla tai vaativissa olosuhteissa joudutaan turvautumaan painevoiteluun. Painevoitelussa käytetään painevoiteluyksikköä, johon kuuluu sähkömoottorilla käytettävä öljypumppu sekä tarvittavat suodattimet, jäähdyttimet, lämmittimet ja muut tarvittavat laitteet. Öljy johdetaan putkia pitkin paineella suoraan tarvittaviin kohtiin. Painevoitelulaitteisto on suhteellisen kallis, minkä vuoksi roiskevoitelu on suosittu ratkaisu, kun sitä on mahdollista käyttää. Joissain tapauksissa vaihteen voitelu voidaan toteuttaa osana suurempaa kiertovoitelujärjestelmää. Esimerkiksi paperikoneen vaihteiden osalta tämä on hyvin yleinen tilanne. (Björk ym. 2014, 350; Support Material: Modular Gear Series for Heavy Duty Applications 2015.)

3.6 Laivavaihteet

3.6.1 Laivavaihteiden erityispiirteet

Hammasvaihteen ensisijainen käyttötarkoitus laivoissa on päävoimalaitteen tai –laitteiden pyörimisnopeuden alentaminen sopivaksi laivan potkurille. Laivavaihteet ovat siis alennusvaihteita. Voimalaitteena voi toimia esimerkiksi dieselmoottori, sähkömoottori tai kaasuturbiini. Näistä kahden ensiksi mainitun osalta vaihdetta ei aina tarvita, koska myös suoraan kytketyillä diesel- ja sähkömoottoreilla voidaan päästä optimaalisiin pyörimisnopeuksiin. Erityisesti dieselmoottorien yhteydessä kuitenkin

yleensä käytetään vaihdetta. Sen sijaan kaasu- ja höyryturbiineilla pyörimisnopeus on niin suuri, että yleensä tarvitaan moniportainen vaihde alentamaan se sopivaksi. Vaihteen tarpeellisuus riippuu siis pitkälti käytettävästä voimalaitteesta. Vaihde tarvitaan, jos kyseessä on monimoottorikäyttö, eli esimerkiksi kahdella dieselmoottorilla pyöritetään yhtä potkuria. Laivavaihteet toimivat kiinteällä välityssuhteella, mutta erikoistapauksissa vaihteessa voi olla useita eri välityssuhteita. (Häkkinen 1997, 110–111; Marine Propulsion Gears 2014.)

Vaihteen etuna on myös se, että siihen voidaan liittää erilaisia apukäyttöjä. Voiman ulosottoa vaihteesta kutsutaan PTO-käytöksi (Power Take Off) ja voiman syöttöä PTI-käytöksi (Power Take In). PTO-käyttö on yleisimmin generaattori, jolla voidaan tuottaa sähköä eri tarpeisiin, mutta myös pumppujen tai hydraulisten moottorien kytkeminen PTO-käytöksi on mahdollista. PTI-käyttönä voi toimia esimerkiksi sähkömoottori, aputurbiini tai apudieselmoottori. Joskus PTO-generaattori rakennetaan toimimaan myös PTI-sähkömoottorina. PTI-käyttöjä käytetään muun muassa kohottamaan matkustusnopeutta hetkellisesti tai varakäyttönä päävoimalaitteen mahdollisesti viikaantuessa. (Häkkinen 1997, 118; Marine Propulsion Gears 2014.)

Laiva on usein haastava kohde vaihteen suunnittelun ja usein myös asennuksen kannalta. Konehuoneessa on yleensä todella ahdasta eikä ylimääräistä tilaa ole. Käyttävän ja käytettävän koneen akselilinja saattavat poiketa toisistaan ja laitteita saatetaan asentaa kallellaan oleviin asentoihin. Erilaisia moottorikäyttöjä ja eri moottorikäyttöjen yhdistelmiä on paljon, niin kuin myös erilaisia potkuriratkaisuja. Vaihteet ovatkin usein hyvin pitkälle kustomoituja juuri kyseisestä laivaa varten. (Häkkinen 1997, 110–111; Marine Propulsion Gears 2014.)

Kylmillä alueilla toimivien laivojen vaihteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset jääolosuhteet. Jos laivalla on tarkoitus pystyä ajamaan jäisessä vedessä tai jopa umpinaisessa jäässä, se vaikuttaa merkittävästi laivan konetehon tarpeeseen sekä propulsiolinjan kuormitukseen ja sitä kautta myös vaihteen mitoitukseen. Suomen ja Ruotsin merenkulkuviranomaiset ovat kehittäneet jääolosuhteita varten erityiset jääluokitukset, joka kertoo millaisissa olosuhteissa jonkin jääluokan omaava alus voi toimia. Korkeimpiin luokkiin kuuluvat alukset pystyvät toimimaan haastavissa

jääolosuhteissa jopa ilman jäänmurtajan apua. Myös muualla maailmassa on kehitetty vastaavia luokituksia. (Alusten jääluokat n.d.; Marine Propulsion Gears 2014.)

3.6.2 Luokituslaitokset

Luokituslaitokset ovat yksityisiä tahoja, jotka omien standardiensa mukaan määrittelevät laivojen turvallisuutta, merikelpoisuutta ja luotettavuutta, ja näiden perusteella myöntävät laivoille luokitustodistuksen. Luokituksesta selviää, kuinka hyvin alus täyttää sille asetetut vaatimukset. Laivanrakentajat ja –varustajat haluavat varmistaa alustensa turvallisuuden ja luotettavuuden, minkä vuoksi jokin luokituslaitos valitaan luokittamaan ne. Myös viranomaiset, rahtaajat, vakuutuslaitokset, rahoittajat, matkustajat jne. saavat luokituksesta tietoa laivan turvallisuudesta ja luotettavuudesta. (Laivojen ja meriteknisten rakenteiden luokitus n.d.; Marine Propulsion Gears 2014)

Eri luokituslaitoksia on lukuisia, ja jokaisella on omat sääntönsä ja vaatimuksensa. Vaatimukset eivät kuitenkaan juuri eroa toisistaan, vaan ovat hyvin pitkälti samankaltaisia eri luokituslaitosten kesken. Merkittäviä luokituslaitoksia ovat muun muassa Det Norske Veritaksen ja Germanischer Lloydin fuusiossa syntynyt DNV GL, Lloyd's Register (LR), Bureau Veritas (BV), Registro Italiano Navale (RINA), Russian Maritime Register of Shipping (RMRS), American Bureau of Shipping (ABS), Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK) ja Korean Register of Shipping (KR). (Marine Propulsion Gears 2014; Työnjako luokituslaitosten kanssa n.d.)

Luokituslaitosten asettamat vaatimukset ja yleiset standardit säätelevät ja ohjaavat tarkasti laivanrakennusta. Näin ollen myös laivavaihteiden suunnittelua ja valmistusta säädellään tarkasti. Tämä tuo oman lisänsä laivavaihteisiin liittyvään liiketoimintaan verrattuna esimerkiksi tavallisiin teollisuusvaihteisiin. Luokituslaitokset ovat mukana aina suunnittelusta laivan rakentamiseen ja tämänkin jälkeen laivan katsastuksissa ja huolloissa. Luokituslaitos muun muassa hyväksyy suunnittelussa syntyvät laskelmat, piirustukset ja materiaalivalinnat, testaa ja hyväksyy käytettävät materiaalit, tarkastaa ja hyväksyy valmistetut kappaleet, tarkastaa kokoonpanot ja valvoo erilaisia testejä, esimerkiksi merikoeajoa, ennen kuin lopullinen luokitus annetaan. (Marine Propulsion Gears 2014.)

4 3D-suunnittelu

4.1 Tietokoneavusteisen suunnittelun historiaa

Tietokoneavusteisen suunnittelun historia ulottuu aina 1950-luvulle asti. Tuolloin useat eri tahot kehittivät tapoja hyödyntää tietokoneilla suoritettavaa numeerista laskentaa insinöörimäisessä suunnittelussa ja valmistavien laitteiden ohjauksessa. Ensimmäiset 2D-suunnitteluun tarkoitetut tietokoneet ja ohjelmat tulivat markkinoille 1960-luvulla. Näillä alkeellisilla ohjelmilla pyrittiin korvaamaan perinteistä käsin suoritettavaa piirtämistä. (Bordegoni & Rizzi 2011, 1–2; Cohn 2010.)

Vaikka ensimmäiset kaupalliset 2D-piirtämiseen tarkoitetut ohjelmat tulivat markkinoille jo 1960-luvulla, alkoivat ne yleistyä toden teolla vasta 1980-luvulla. Tällöin markkinoille tulivat muun muassa Dassault Systemesin CATIA ja Autodeskin AutoCAD. Erityisesti vuonna 1983 julkaistu AutoCAD oli merkittävässä roolissa tietokoneavusteisen suunnittelun yleistymisessä. Se tarjosi muihin ohjelmistoihin nähden vastaavat ominaisuudet huomattavasti aiempaa edullisempaan hintaan. (Bordegoni & Rizzi 2011, 2–3; Cohn 2010)

3D-grafiikkaa tuottamaan kykenevien ohjelmistojen kehittäminen oli alkanut jo 1970-luvulla, mutta ensimmäinen merkittävä 3D-suunnitteluohjelmisto, Pro/ENGINEER, julkaistiin vasta vuonna 1987. Se toimi UNIX-ympäristössä, koska sen aikaiset PC-järjestelmät eivät olleet tarpeeksi tehokkaita. 1990-luvulla tietokoneet olivat kehittyneet tarpeeksi tehokkaiksi 3D-ohjelmistoja varten. Ensimmäinen merkittävä Windows -käyttöjärjestelmälle julkaistu 3D-suunnitteluohjelmisto oli SolidWorks, joka julkaistiin vuonna 1995. Tätä seurasivat Solid Edge, Inventor ja monet muut vielä nykyäänkin käytettävät ohjelmistot. (Bordegoni & Rizzi 2011, 4; Cohn 2010.)

4.2 3D-suunnittelun periaatteet

4.2.1 Mallityypit ja mallinnusmenetelmät

3D-mallintaminen voidaan jakaa kolmeen päämenetelmään, joita ovat kappalemallinnus, ohutlevymallinnus ja pintamallinnus. Näistä lähinnä kappale- ja ohutlevymallinnusta käytetään metalliteollisuudessa suunnittelun apuna. Pintamallinnus on menetelmistä täysin oma lajinsa eikä aivan niin yleinen koneensuunnittelussa. Nykyisin käytetään myös nk. hybridimallinnusta eli kappale- ja pintamallinnusta yhdistettynä. (Tuhola & Viitanen 2008, 26.)

Kappalemallinnuksen eli solidimallinnuksen avulla luodaan kappalemalli (myös solidimalli tai tilavuusmalli), eli malli, jolla on jokin paksuus ja näin ollen myös tilavuus. Usein puhuttaessa 3D-mallista tai mallista tarkoitetaan nimenomaan kappalemallia. Kappalemalli luodaan yleensä luomalla aloituskappale sketsin avulla, minkä jälkeen aloituskappaleeseen lisätään tai siitä poistetaan sopivia muotoja mallinnustyökaluja käyttämällä. Kappalemallinnusta käytetään lastuavilla työstömenetelmillä eli sorvaamalla, jyrsimällä, poraamalla tai näiden yhdistelmillä valmistettävien kappaleiden mallinnukseen. Valmistettava kappale voi olla valu, josta koneistetaan tarvittavat pinnat tai suoraan aihioista koneistettava valmis osa. Kappale voidaan valmistaa mallista tehtävän piirustuksen perusteella tai jopa suoraan syöttämällä mallin data CAM- tai CNC-ohjelmistoon. (Bryden 2014, 18; Tuhola & Viitanen 2008, 22, 26, 81.)

Ohutlevymallinnuksen avulla luodaan ohutlevymalli (myös levymalli), eli malli levyäisestä kappaleesta. Ohutlevyllä tarkoitetaan usein alle 6 mm paksua levyä, mutta mallinnusohjelmissa levyjä ei ole jaoteltu. Ohutlevymallit luodaan mallinnusohjelmistojen Sheet metal -työkalujen avulla. Ohutlevymallinnuksella tuotettuja kappaleita valmistetaan muun muassa kanttaamalla, särmäämällä, puristamalla, vetämällä, pyöristämällä ja näiden yhdistelmillä. (Tuhola & Viitanen 2008, 27–28.)

Pintamallinnus tarkoittaa mallin luomista erilaisten pintojen avulla. Näillä pinnoilla ei ole paksuutta eikä näin ollen myöskään tilavuutta. Menetelmä eroaa aiemmin maini-

tuista ja sitä käytetään lähinnä muotoilun työkaluna. Pintamallinnusta voidaan käyttää esimerkiksi valettavien tuotteiden mallintamiseen. (Bryden 2014, 16; Tuhola & Viitanen 2008, 29.)

4.2.2 Top Down- ja Bottom Up -suunnittelu

Osamalleista koostuvien kokoonpanojen suunnitteluprosessia voidaan kuvata termeillä Top Down tai Bottom Up. Top Down -suunnittelulla tarkoitetaan, että suunnitteluprosessi aloitetaan kokoonpanon suunnittelulla. Tämän jälkeen kokoonpano pilkotaan mahdollisiin osakokoonpanoihin. Viimeiseksi määritellään yksittäiset osat, jotka tulee valmistaa kokoonpanoa varten. 3D-mallinnusohjelmistoilla tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että yksittäiset osat mallinnetaan suoraan kokoonpanotilassa yhtä aikaa kokoonpanon luomisen kanssa. (Giesecke 2014, 508.)

Bottom Up -suunnittelu taas tarkoittaa, että suunnittelu aloitetaan yksittäisten osien suunnittelulla, joiden ympärille kokoonpano luodaan. Näin toimitaan erityisesti, jos osat ovat standardoituja. Näiden kahden yhdistelmää kutsutaan Middle Out -suunnitteluksi. Tätä lähestymistapaa voidaan käyttää esimerkiksi silloin, jos jotkut kokoonpanon osista ovat standardiosia ja joitain osia halutaan suunnitella kokoonpanoon mahdollisimman hyvin sopiviksi. (Mts. 508.)

4.2.3 Parametrinen piirremallinnus

Piirremallinnus tarkoittaa, että valmistettavan tuotteen malli luodaan käyttämällä piirteitä. Tarkka malli syntyy, kun luodaan jokin peruspiirre ja siihen tarvittava määrä muita piirteitä. Piirteet luodaan mallinnusohjelmistoissa sketsien ja erilaisten piirretyökalujen avulla. (Hietikko 2015, 23.) Tästä prosessista kerrotaan tarkemmin 3D-suunnittelun työvaiheet -luvussa.

Parametrisyys taas tarkoittaa sitä, että mallin piirteiden avulla luotua geometriaa voidaan muokata muuttamalla siihen sidottuja mittoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos mallin joitakin mittoja halutaan muuttaa, riittää, että muutetaan kyseistä mittalukua, eikä mallin geometriaan tai piirteisiin tarvitse itsessään koskea.

Tämä helpottaa huomattavasti mallinnusta ja erityisesti muutosten tekemistä. Tehdyt muutokset myös päivittyvät kaikkiin malliin linkitettyihin kohteisiin, kuten kokoonpanoihin ja piirustuksiin. (Mts. 23.)

Parametrinen mallinnus mahdollistaa myös erilaisten relaatioiden asettamisen erimittojen välille. Jotkin kaksi mitta voidaan esimerkiksi määrittää yhtä suuriksi. Jos toista mitta tämän jälkeen muutetaan, muuttuu myös toinen. Samoin mittojen välillä voi olla jokin matemaattinen yhteys. Mitta voi olla esimerkiksi kaksinkertainen toiseen mittaan nähden. Lisäksi erilaisten ehtojen, kuten samankeskeytyy- ja yhdensuuntaisuusehtojen, määrittäminen malliin on mahdollista. Jokin piirre voidaan esimerkiksi määrittää sijaitsemaan aina jonkin tason keskellä, mallin mitoista riippumatta. (Mts. 25.)

Parametrinen piirremallinnus mahdollistaa helpon muutoksien huomioimisen, mikä on nykyaikaisessa tuotesuunnitteluprosessissa tärkeää. Tämän vuoksi ylivoimaisesti suurin osa nykyään tehtävästä mekaniikkasuunnittelusta tehdään parametrisilla piirremallinnusohjelmistoilla. (Mts. 25.)

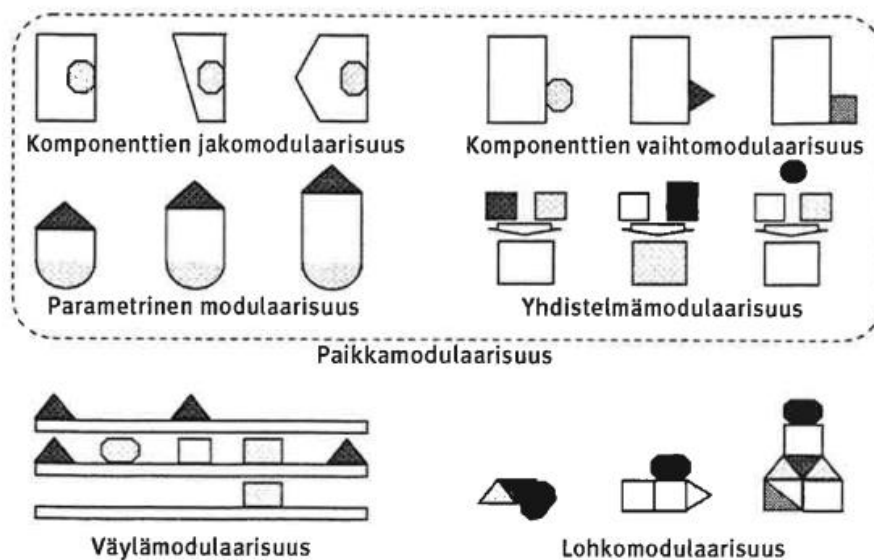
4.3 Modulointi

Tuotteen jakamista itsenäisiin yksiköihin eli moduuleihin kutsutaan moduloinniksi. Moduulien yhdistettävyyden ja vaihdettavuuden vuoksi niille on määritetty tarkasti vakioidut rajapinnat. Moduloinnin avulla tavoitellaan suurta standardikomponenttien määrää ja tuotevariaatioiden helppoa hallintaa. Tuotteen varioinnin vaikutukset koskevat moduloinnin seurauksena vain osaa tuotteesta ja variointi voidaan kohdistaa strategisesti tärkeisiin ominaisuuksiin. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Modulaarisessa tuoterakenteessa yhden moduulin tulisi hoitaa yhtä tai useampaa toimintoa eikä toimintoja pitäisi jakaa moduulien kesken. Moduulien väliset rajapinnat pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi, ja vuorovaikutukset moduulien välillä pyritään minimoimaan. Näin modulaarisuus mahdollistaa moduulien itse-

näisen ja rinnakkaisen suunnittelun sekä tuotteen helpomman kehityksen. Tämä lyhentää tuotekehitykseen ja suunnitteluun kuluva-aikaa. Myös tuotannon läpimeno-aikaa voidaan lyhentää, koska moduulit voidaan valmistaa rinnakkain. (Mts. 8–9.)

Modulaariset tuotteet voidaan jakaa kolmeen modulaarisuuden tyyppiin: väylä-, lohko- ja paikkamodulaarisuuteen. Väylämodulaarisilla moduuleilla on standardoidut rajapinnat, joiden avulla moduuleita voidaan kiinnittää perusmoduuliin monissa eri asennoissa. Lohkomodulaarisuus tarkoittaa, että tuotevariantti muodostetaan melko vapaasti usealla tavalla yhdisteltävistä moduuleista. Paikkamodulaarisuudessa jokainen moduuli liitetään standardirajapinnan avulla tiettyyn asentoon. Se voidaan myös jakaa kolmeen osaan, jotka ovat komponenttien vaihto- ja jakomodulaarisuus sekä parametrinen modulaarisuus. Kahdessa ensimmäisessä vähintään kaksi eri komponenttia voidaan yhdistää samaan perustuotteeseen tai samaa komponenttia voidaan käyttää useissa eri tuotteissa. Parametrisessa modulaarisuudessa parametrisesti muunneltavan komponentin kanssa käytetään yhtä tai useampaa standardikomponenttia. Lisäksi on olemassa myös yhdistelmämodulaarisuus, joka yhdistelee kolmea edellistä. (Mts. 10–11.) Modulaarisuuden tyypit on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Modulaarisuuden tyypit (Österholm & Tuokko 2001, 11)

4.4 3D-suunnittelun työvaiheet

4.4.1 Esivalmistelut ja lähtötiedot

Ennen varsinaisen mallintamisen aloittamista, tulee tehdä tiettyjä esivalmisteluja. Tällaisia ovat muun muassa työskentely-ympäristön luominen ja lähtötietojen kerääminen. Työskentely-ympäristöllä tarkoitetaan tässä tapauksessa laitteiston, käyttöjärjestelmän, mallinnusohjelmiston, tuotetiedonhallintajärjestelmän, tietokantojen jne. muodostamaa kokonaisuutta. Tehokas työskentely vaatii, että laitteet ja ohjelmistot toimivat sujuvasti ja ovat tarkoitukseen sopivia, eli työskentely-ympäristön on oltava kunnossa. Yleensä eri järjestelmät, esimerkiksi mallinnusohjelmistot, räätälöidään vastaamaan yrityksen tarpeita mahdollisimman hyvin. (Tuhola & Viitanen 2008, 44–45, 54.)

Mallintaminen vaatii aina jonkinlaiset lähtötiedot. Suunnittelijalla on oltava käytössään mahdollisimman paljon suunniteltavaan tuotteeseen liittyvää tietoa. Tarvittavia tietoja ovat muun muassa tiedot siitä, kuinka suunniteltavaa konetta käytetään, tiedot käyttöolosuhteista sekä mitoitus- ja kuormitusvaatimukset. Lähtötietojen määrä ja laatu riippuvat siitä, onko kyseessä tuotekehitys tai uusi malli olemassa olevasta tuotteesta vai suunnitellaanko kokonaan uutta tuotetta. Suunnittelun onnistuminen riippuu paljon siitä, millaiset lähtötiedot suunnittelijalla on. (Mts. 54–55.)

4.4.2 Osamallit

Varsinainen mallinnustyö aloitetaan luomalla osamallit. Mallin tekeminen aloitetaan luomalla aloitussketsi. Sketsi eli luonnos tarkoittaa karkeaa piirrosta, jonka avulla muokataan mallin muotoa. Aloitussketsillä luodaan mallille alustava muoto. Riippuen mallinnettavasta kappaleesta sketsi voi olla yksinkertaisimmillaan vain viiva tasolla, hyvin tarkka kuvaus mallin profiilista tai jotain siltä väliltä. Aloitussketsin lisäksi voidaan luoda muokkaussketsiä tai apusketsiä. Muokkaussketsillä mallia muokataan tai siihen lisätään piirteitä, apusketsit taas ovat informatiivisia tai runkosketsiä. Informatiivisella apusketsillä voidaan esimerkiksi paikoittaa reikäkehä malliin, kun taas runkosketsiä käytetään kokoonpanon osien sijoittelun runkona. Sketsit luodaan yleensä jollekin perustasolle, mutta muokausvaiheessa sketsi voidaan luoda myös

suoraan mallin pinnalle tai referenssitasolle. (Tuhola & Viitanen 2008, 54, 61, 64, 70–71.)

Alustava malli syntyy, kun sketsillä määritetty muoto pursotetaan yhteen tai kahteen suuntaan. Pursotus voi tapahtua kohtisuoraan sitä tasoa kohden, jolle sketsi on luotu tai sketsi voidaan pyöräyttää määrätyn akselin ympäri, jolloin syntynyttä mallia kutsutaan pyörähdyskappaleeksi. Tämän jälkeen malli voi olla jo valmis tai sitä pitää muokata edelleen, riippuen osan monimutkaisuudesta ja aloitussketsin tarkkuudesta. Yksinkertainen kappale on mahdollista mallintaa yhden sketsin ja pursotuksen avulla, mutta monimutkaisempien kappaleiden kohdalla alustavaa mallia pitää muokata paljonkin ennen kuin malli on valmis. Mallia muokataan esimerkiksi tekemällä siihen viisteitä, pyöristyksiä, reikiä, pursotuksia tai muita piirteitä. (Bryden 2014, 18–19; Tuhola & Viitanen 2008, 56–59, 70.)

4.4.3 Kokoonpanot

Kun tarvittavat osamallit ovat valmiita, niistä luodaan kokoonpano. Kokoonpano on osamalleista koostuva kokonaisuus, joka voi olla esimerkiksi jokin rakenne, mekanismi tai kone. Periaatteessa kokoonpanoja ovat kaikki ne tuotteet, jotka sisältävät enemmän kuin yhden osan. (Tuhola & Viitanen 2008, 98–99.)

Kokoonpanoja on eritasoisia. Osakokoonpano tarkoittaa itsenäistä kokoonpanoa, joka on jonkin suuremman kokoonpanon osa. Suuret kokoonpanot voidaan jakaa luonteviksi ja valmistuksen kannalta järkeviksi osakokoonpanoiksi. Pääkokoonpanolla tarkoitetaan lopullista tuotetta, joka sisältää kaikki tarvittavat osat. Pääkokoonpano voi siis sisältää useita osakokoonpanoja. Tuotannon kokoonpanossa on osien lisäksi mukana kaikki mahdolliset osille annetut määreet, eli osien tuotetieto on mukana kokoonpanossa. Pääkokoonpano on lähes aina tuotannollinen kokoonpano, mutta joissain tapauksissa se voidaan luoda myös markkinointia varten. (Mts. 99.)

3D-mallinnusympäristössä kokoonpano luodaan yleensä valmiiksi mallinnetuista osista, mutta osat voidaan mallintaa myös kokoonpanon luonnin yhteydessä. Tässä tapauksessa ohjelmisto luo sidokset eri osien välille, kun valmiiksi mallinnetuista

osista kokoonpanoa tehtäessä suunnittelija määrittelee, miten osat sidotaan toisiinsa. Yleensä osat kannattaa mallintaa erikseen, koska tällöin yksittäisen osan tarkastelu on vaivatonta ja esimerkiksi piirustuksien tuottaminen osista on helpompaa. Kun ohjelmistolle määritellään osien sidokset, nähdään miten osat sopivat toisiinsa ja huomataan, jos jokin osa on mitoitettu väärin. Yleensä ohjelmistot ilmoittavat väärin mitoitetuista tai sidotuista osista. (Bryden 2014, 19; Tuhola & Viitanen 2008, 98.)

4.4.4 Piirustukset

Mallinnuksen tavoitteena on yleensä tuottaa 2D-piirustus, joka toimii edelleen tuotannollisena dokumenttina. Piirustus toimii siis ohjeena tuotteen valmistavalle henkilölle, joten sen on sisällettävä niin paljon tietoa, että valmistus onnistuu sen perusteella. 2D-piirustukset ovat siis edelleen säilyttäneet arvonsa, minkä vuoksi periaatteessa kaikki 3D-ohjelmistot sisältävät niiden tuottamiseen tarvittavat työkalut. Lisäksi lähes aina 2D-piirustus voidaan tuottaa 3D-ohjelmistoillakin perinteisesti ilman mallia. (Tuhola & Viitanen 2008, 108, 136–137.)

Nykyiset mallinnusohjelmistot osaavat luoda standardin mukaisen piirustuksen suoraan mallin pohjalta. Kokemuksen mukaan ohjelmiston asetukset tosin pitää yleensä ensin säätää kohdilleen. Piirustus ei kuitenkaan ole valmis vielä tässä vaiheessa, vaan suunnittelijan on lisättävä siihen paljon tarvittavaa informaatiota. Tällaisia voivat olla muun muassa mitoitukset, toleranssit, pintamerkit, osaleikkaukset, leikkauskuvat, suurennokset, osanumerointi ja selventävät tekstit. 3D-ohjelmistoissa malli ja piirustus on linkitetty toisiinsa. Tämä tarkoittaa sitä, että jos malliin tehdään muutoksia, ne päivittyvät myös siitä tehtyihin piirustuksiin. Tämän ansiosta sekä malliin että piirustuksiin on helppo ja nopea tehdä muutoksia ja piirustukset pysyvät aina ajan tasalla. Jos piirustusta halutaan muuttaa, kun osa on jo mennyt tuotantoon, täytyy piirustuksesta luoda uusi versio eli revisio. (Mts. 137–138.)

Piirustukset luodaan kaikista tarvittavista osista ja lisäksi kokoonpanoista. Osapiirustuksista löytyy kaikki se tieto, mikä tarvitaan kyseisen osan valmistamiseen. Tällaisia tietoja ovat muun muassa tarvittava määrä kuvantoja osan muodon havainnollista-

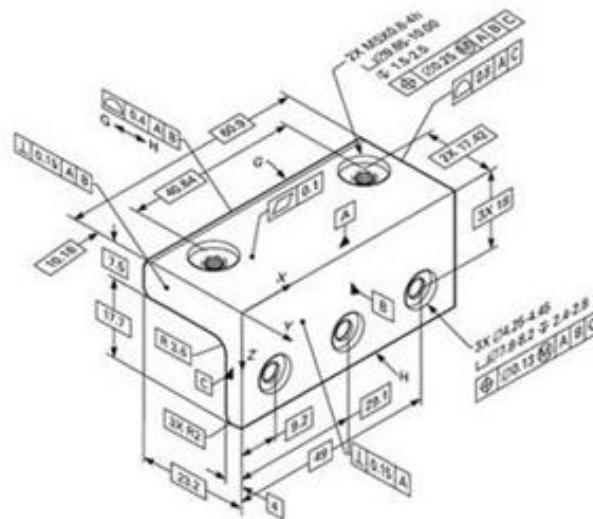
miseksi, kaikki tarvittavat mitat, toleranssit ja materiaalitiedot. Kokoonpanopiirustuksesta taas selviää, kuinka eri osat asettuvat kokoonpanossa suhteessa toisiinsa. Kokoonpano voidaan esittää piirustuksessa niin, että osat ovat toiminnallisissa asemissaan, eli niissä asemissa, joissa ne valmiissa kokoonpanossa tulevat oikeasti olemaan. Lisäksi kokoonpanosta voidaan tehdä niin kutsuttu räjäytyskuva. Räjätyskuvassa kokoonpano on ”räjäytetty”, eli osat on siirretty uusiin asemiin, havainnollisuuden parantamiseksi ja esityksen selventämiseksi. (Giesecke 2014, 511–512; Tuhola & Viitanen 2008, 136, 140.)

4.5 Hyödyt ja mahdollisuudet

Vaikka 3D-suunnittelun tavoitteena on yleensä tuottaa 2D-piirustus, tarjoavat 3D-suunnittelujärjestelmät silti lukuisia hyödyllisiä ominaisuuksia verrattuna 2D-järjestelmiin. Varsinaisen suunnittelutyön kannalta suurin hyöty tulee monimutkaisten kokonaisuuksien helpommasta hahmottamisesta ja hallinnasta. Helpompi hallinta ilmenee esimerkiksi siinä, että 3D-ohjelmistot on yleensä toteutettu niin, että mallia muokatessa muutokset päivittyvät myös malliin linkitettyihin piirustuksiin. Aiemmin 2D-ohjelmistojen aikaan jokainen piirustus täytyi muokata erikseen, mikä oli hyvin työlästä. Myös erilaisten piirteiden hahmottaminen on kolmiulotteisessa ympäristössä paljon helpompaa, varsinkin monimutkaisten kokonaisuuksien osalta. 2D-piirtämisessä monimutkaisten muotojen luominen vaati paljon huolellisuutta ja vei aikaa. 3D-järjestelmät sen sijaan luovat 2D-piirustuksen itse suoraan helposti tarkasteltavasta kolmiulotteisesta mallista. Lisäksi mallista on helppo luoda erilaisia käyntöjä, leikkauksia jne. (Tuhola & Viitanen 2008, 33.)

Perinteisten 2D-piirustusten tilalle on 3D-järjestelmien kehittyessä tulossa Model Based Definition (MBD) nimellä tunnettu menetelmä. MBD mahdollistaa tietojen lisäämisen suoraan malliin (ks. kuvio 8). Kaikki tieto, jonka välittämiseen on ennen tarvittu piirustusta, esimerkiksi mitat ja toleranssit, voidaan lisätä suoraan malliin. Standardi ASME Y14.41 määrittä MBD:ia koskevat vaatimukset ensimmäisen kerran vuonna 2003. Tämän jälkeen menetelmä on määritetty muissakin standardeissa. Menetelmää hyödyntävät ohjelmistot tukevat näitä standardeja. (Thilmany 2011; SolidWorks

MBD 2016.) Toinen 2D-piirustuksia korvaava tekniikka on kolmiulotteista sisältöä tukevat 3D PDF -tiedostot. Tällaisen PDF-tiedoston kautta pystytään tarkastelemaan ammattikäyttöön tarkoitetuilla CAD-ohjelmistoilla luotuja 3D-malleja. Mallia pystytään esimerkiksi kääntelemään ja mallin osia poistamaan tai liikuttelemaan sekä tekemään mittauksia mallista. Näin henkilö, jolla ei ole tarvittavaa CAD-ohjelmistoa, pystyy tarkastelemaan mallia muutenkin kuin 2D-kuvien pohjalta. (PDF-tiedostojen sisältämien 3D-mallien näyttäminen 2016; SolidWorks MBD 2016.)



Kuvio 8. MBD-menetelmän mukainen malli (Thilmany 2011)

Tuotteen toimintaa voidaan tarkastella jo suunnitteluvaiheessa hyvin yksityiskohtaisesti erilaisten liike- ja lujuustarkastelujen avulla. Malleille voidaan määrittää fyysiset ominaisuudet (mm. tiheys ja massa) sen mukaan, mistä materiaalista ne tullaan valmistamaan. Näiden pohjalta mallin kestävyttä ja käyttäytymistä tietyn kuormituksen alaisena voidaan arvioida erilaisten lujuustarkastelujen avulla. Kun malleista luodaan kokoonpano, voidaan helposti tarkastella sopivatko osat toisiinsa. Liiketarkastelujen avulla voidaan tutkia, miten osat toimivat yhdessä, esimerkiksi pystyykö jokin osa liikkumaan tarvittavan laajalla alueella vai törmäykö se liikkeessaan johonkin. Jos tarkastelut tehdään huolellisesti ja ammattitaitoisesti, voidaan niistä saada erittäin hyödyllistä tietoa suunnittelun kannalta. Saatujen tuloksien perusteella esimerkiksi osien muotoa ja massaa voidaan optimoida. Lisäksi tuote saadaan jo suunnitteluvaiheessa

kehitettyä tarpeeksi lujaksi ja toimintavarmaksi, eikä valmis tuote vaadi välttämättä juurikaan testaamista. (Tuhola & Viitanen 33–34, 122–127.)

Yksi viime vuosina yleistyneistä mahdollisuuksista 3D-mallinnukseen liittyen on prototyyppien pikavalmistus (rapid prototyping). Tällä tarkoitetaan prototyyppien valmistamista erilaisten tekniikoiden ja prosessien avulla hyödyntäen suoraan tietokoneen CAD-ohjelmistosta saatua dataa. Prototyyppien pikavalmistuksella voidaan tarkoittaa myös levytuotteiden valmistamista 2D-ohjelmiston tuottaman datan avulla, mutta yleisesti termillä tarkoitetaan kolmiulotteisen kappaleen valmistamista 3D-mallin perusteella. Termi pikavalmistus johtuu valmistuksen nopeudesta verrattuna perinteisiin menetelmiin. Pikavalmistusmenetelmillä prototyyppi voidaan valmistaa jopa tunneissa, kun aiemmin on puhuttu päivistä tai jopa viikoista. Nämä menetelmät voivat perustua joko materiaalin poistamiseen tai lisäämiseen (esim. jyrshintä tai 3D-tulostus). Materiaalia lisäävä valmistus (Additive Manufacturing, AM) on vakiintunut termiksi, joka kattaa materiaalin lisäämiseen perustuvat valmistusmenetelmät. Prototyyppien valmistamisen lisäksi menetelmiä voidaan hyödyntää myös lopputuotteiden valmistuksessa. (Bryden 2014, 67–69.)

4.6 Solid Edge -suunnitteluohjelmisto

Solid Edge on Siemensin Siemens PLM Software liiketoimintayksikön kehittämä ja julkaisema 3D-suunnitteluohjelmisto. Uusin versio ohjelmistosta on Solid Edge ST9. Solid Edge on suunniteltu toimimaan yhdessä sekä Siemensin omien että kolmansien osapuolien tarjoamien PLM-, PDM- ja CAM-ohjelmistojen kanssa, esimerkiksi Siemensin PLM-ohjelmiston, Teamcenterin, kanssa. Solid Edge tarjoaa työkalut muun muassa osien mallintamiseen, kokoonpanojen luontiin, ohutlevysuunnitteluun, 2D-piirustusten tuottamiseen ja fotorealistiseen renderointiin.

Solid Edgen erikoisuutena on, että mallintamiseen on ohjelmassa kaksi erilaista tapaa tai tilaa. Ordered-mallinnus on perinteistä historiapohjaista mallintamista. Siinä mallintamisen vaiheet tallentuvat historiarakenteeseen ja uudemmat vaiheet pohjautuvat edellisiin. Kun mallia muokataan, ohjelma laskee muokatun vaiheen jälkeiset vaiheet aina uudelleen. Muilla ohjelmilla tuotettujen mallien muokkaaminen on usein

käytännössä mahdotonta perinteisellä historiapohjaisella tekniikalla. Toisaalta monimutkaisten piirteiden hallinta on helppoa historiarakenteen ansiosta. Toinen mahdollinen tapa mallintaa Solid Edgellä on niin kutsuttuun Synchronous-tekniikkaan perustuva mallinnus. Synchronous-mallinnuksessa mallille ei muodostu historiaa, kuten perinteisellä tavalla. Mallinnus etenee samaan tapaan, kuin perinteisellä tavalla, mutta mallien muokkaaminen eroaa jonkin verran toisistaan riippuen käytettävästä tavasta. Historian puutteen vuoksi myös muilla ohjelmilla tuotettujen mallien muokkaaminen on mahdollista. (Solid Edge 2016; Solid Edge ST8 Peruskurssi 2015.)

5 Opinnäytetyön eteneminen

5.1 Tehtävien määrittäminen

Opinnäytetyön aihe rajattiin käsittelemään laivavaihteiden suunnittelussa käytettäviä osamoduuleja ja yrityksessä vastikään käyttöön otettua Solid Edgeä ja sen mahdollisuuksia vaihdesuunnittelussa. Pää tarkoitus oli luoda osamoduuleista 3D-mallit tutkien samalla Solid Edgen mahdollisuuksia ja sitä, kuinka nämä moduulit olisi järkevintä toteuttaa.

Santasalo on vasta ottanut tai oikeastaan on vasta ottamassa Solid Edgeä käyttöön, joten tietoa tai taitoa ohjelman käytöstä, ominaisuuksista tai mahdollisuuksista ei yrityksessä juurikaan vielä ole. Tämä toi omat haasteensa työhön, sillä mahdollisiin ongelmiin ei välttämättä löytynyt apua kysymällä, vaan lähes kaikki oli selvitettävä esimerkiksi käyttämällä apuna internetistä löytyvää materiaalia. Toisaalta tämä tilanne mahdollisti sen, että tässä työssä päästiin tutkimaan ohjelman käyttöä ja mahdollisuuksia sekä ottamaan ohjelman käyttö haltuun ensimmäisten joukossa yrityksen sisällä.

Solid Edge toimii yhdessä Teamcenter PLM-ohjelmiston, joka on myöskin Siemensin julkaisema, kanssa. Solid Edgen käyttäjä voi valita työskenteleekö yhteydessä Teamcenteriin vai paikallisesti, jolloin luodut tiedostot tallennetaan omalle kiintole-

vylle. Santasalolla tuotantoon tehtävät työt tehdään Teamcenteriin. Tämän opinnäytetyön kohdalla päätettiin, että työ tehdään paikallisesti kiintolevyille tallentaen ja tuloksena syntyvät mallit siirretään tarvittaessa myöhemmin Teamcenteriin.

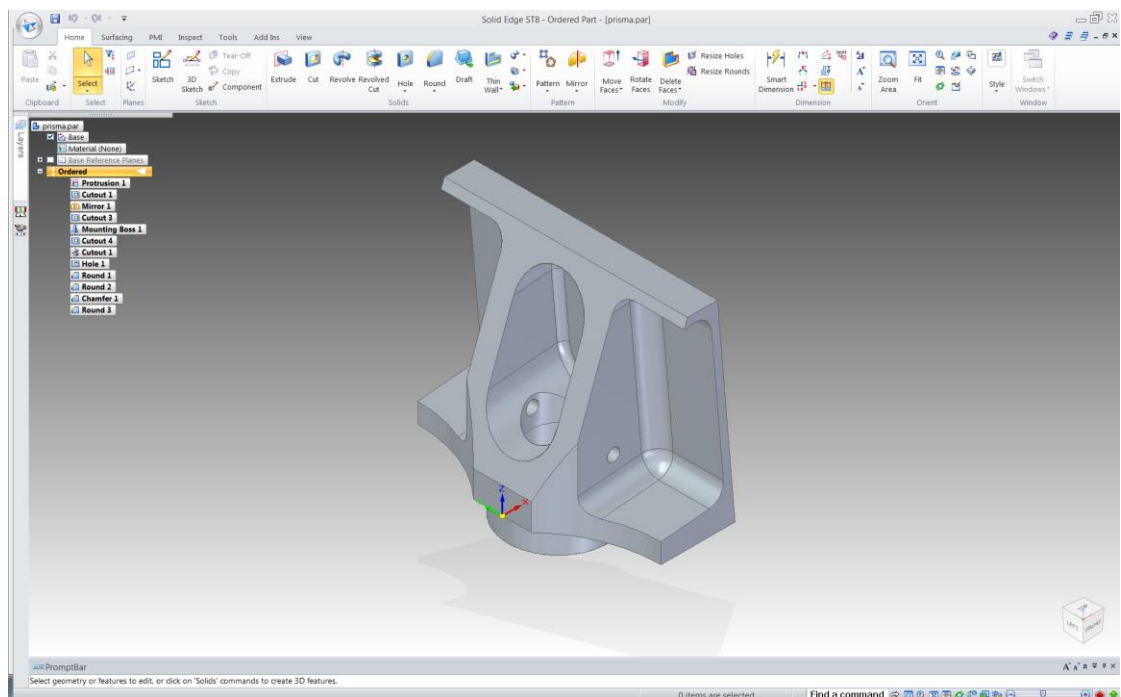
Yhdessä laivavaihteessa on useita erilaisia osamoduuleita ja kaikkien niiden mallintamisessa olisi ollut liikaa työtä yhden opinnäytetyön rajoihin. Tämän vuoksi päätettiin keskittyä ensin vain yhteen osamoduuliin ja tarvittaessa tämän jälkeen seuraavaan. Opinnäytetyön painopiste haluttiin pitää nimenomaan Solid Edgen ominaisuuksien ja mahdollisuuksien tutkimisessa, eikä käyttää liikaa aikaa raakaan mallinnustyöhön. Kun ohjelman mahdollisuudet ovat selvillä ja käyttö hallinnassa, on muiden moduulien parissa työskentelyä helppo jatkaa tämän opinnäytetyön ulkopuolella.

Ensimmäiseksi käsiteltäväksi moduuliksi valittiin lamellikytkinmoduuli. Tämä moduuli koostuu laippa-akselista, ulkolamellin kantajasta, laipasta sekä muutamasta muusta pienemmästä osasta. Lisäksi moduuliin sisältyy itse kytkin ja kaksi laakeria, jotka hankitaan ulkopuolisilta yrityksiltä. Moduulista on olemassa noin kymmenen eri kokoa. Lisäksi jokaisesta koosta on A- ja B-versiot laippa-akselin ja siihen kiinnitettävän laakerin koon mukaan. Kaikki moduulin tiedot oli kerätty yhteen kansioon, jonka alussa oli taulukoituna eri kokojen kokoonpanojen ja osien päämitat ja jäljempänä kaikkien kokojen eri osien työpiirustukset pienimmästä suurimpaan kokoon.

5.2 Perehtyminen

Työ aloitettiin perehtymällä hammasvaihteisiin ja tekniikkaan niiden toiminnan ja valmistuksen takana. Perehtyminen toteutettiin käytännössä kokeneempien insinöörien pitämällä koulutuksilla sekä tutustumalla yrityksen tuotteisiin ja materiaaleihin, alan kirjallisuuteen ja hammasvaihteiden valmistukseen käytännössä. Perehtyminen näihin asioihin toimi osaltaan apuna varsinkin opinnäytetyön teoriaosuuden kirjoittamisessa, mutta on myös välttämätöntä hammasvaihteiden parissa työskentelyä ajatellen. Hammasvaihdeteknologia on aivan oma maailmansa, joten perehtymisessä oli paljon työtä.

Hammasvaihdeteknologian lisäksi perehdyttiin 3D-suunnitteluun ja erityisesti Solid Edge -mallinnusohjelmistoon, joka toimi opinnäytetyön päätyökaluna. 3D-mallintaminen oli ennestään tuttua, mutta Solid Edge oli ohjelmana täysin uusi tuttavuus. Aiempaa käyttökokemusta oli Catiasta ja SolidWorksista, mutta peruskäyttö on kaikilla mainituilla ohjelmilla melko samanlaista. Jokaisessa ohjelmassa on kuitenkin omat erityispiirteensä ja siksi myös Solid Edgen käyttö vaati jonkin verran perehtymistä. Ennen varsinaisen opinnäytetyöhön liittyvän mallinnustyön aloittamista järjestettiin työnantajan puolesta Ideal PLM:n pitämä Solid Edge -peruskurssi. Kurssi oli kaksipäiväinen ja siellä harjoiteltiin Solid Edgen peruskäyttöä aina mallinnuksesta kokoonpanon luontiin ja piirustuksien luomiseen. Tämän lisäksi kurssilta saadusta ope-
tustamateriaalista löytyneitä mallinnusharjoituksia tehtiin myös kurssin jälkeen. Kuviossa 9 on esitetty Solid Edgen käyttöliittymä ja harjoituksena luotu malli.



Kuvio 9. Solid Edgen käyttöliittymä ja harjoitusmalli

6 Lamellikytkinmoduulin mallintaminen

6.1 Osien mallintaminen

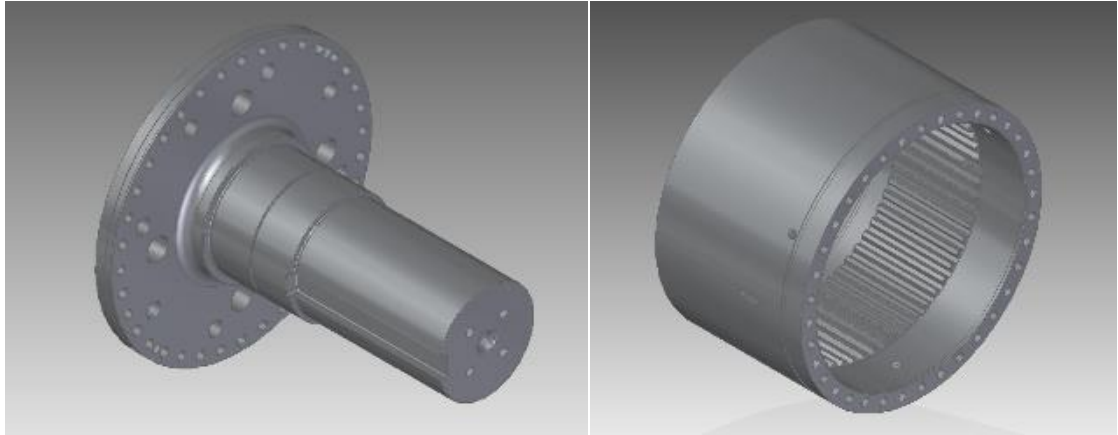
Tarvittavaan aineistoon perehtymisen ja Solid Edgen peruskäytön harjoittelun jälkeen aloitettiin osien mallintaminen. Mallinnettavia osia moduulissa oli seitsemän ja eri kokoja 12. Lisäksi jokaisen koon laippa-akselista on hiukan toisistaan eroavat A- ja B-versiot. Yhteensä lamellikytkinmoduulin kaikkia kokoja varten piti siis mallintaa 96 yksittäistä osaa. Osa osista oli hyvin yksinkertaisia ja helppoja mallintaa, mutta jotkin osista taas sisälsivät paljon erilaisia piirteitä ja näin ollen niiden mallintaminen oli työläämpää.

Alkuperäisenä ideana ei ollut vain mallintaa jokaista osaa erikseen, vaan tutkia ja selvittää kuinka Solid Edgellä työn voisi hoitaa kaikista helpoimmin tai järkevimmin. Koska osien eri koot vastasivat geometrialtaan hyvin pitkälle toisiaan ja lähinnä vain mitat muuttuivat kokojen välillä, pystyy yhtä mallinnettua kokoa hyödyntämään muiden kokojen mallintamisessa. Yksi vaihtoehto työn suorittamiseksi oli osien mallintaminen ja tämän jälkeen mallin mittojen muokkaaminen ja muokatun mallin tallentaminen uudella nimellä, kunnes joka koosta olisi oma mallinsa. Ensisijainen vaihtoehto oli kuitenkin luoda malleista jonkinlaisia konfiguraatioita tai muokata malleista parametrisyyttä hyödyntäen tilanteen mukaan helposti muunneltava.

Mallinnettavien osien tiedot, tärkeimpänä työpiirustukset, oli koottu yhteen kansioon. Kansion alussa oli leikkauskuva moduulin kokoonpanosta ja taulukko, jossa oli esitetty osien ja kokoonpanon päämitat. Tämän jälkeen tulivat eri kokojen kaikkien itse suunniteltujen osien työkuvat järjestettynä pienimmästä koosta suurimpaan. Mallintamiseen oli siis tarjolla hyvät lähtötiedot. Näiden piirustusten pohjalta osat mallinnettiin vastaamaan valmiita osia niin tarkasti kuin mahdollista.

Mallintaminen aloitettiin valitsemalla yksi koko, josta mallinnettiin kaikki kyseisen koon moduuliin mallinnettavat osat. Ensimmäisenä mallinnettavaksi kooksi valikoitui koko 85, joka on yksi suurimmista ko'osta. Ensimmäiseksi mallinnettiin yksinkertaisimmat osat, minkä jälkeen siirryttiin monimutkaisempiin osiin. Näin toimittiin, koska

oletettiin, että yksinkertaisia osia mallintaessa saadaan entistä parempi tuntuma ohjelmistoon ja vaativampien osien mallintaminen sujuu sen ansiosta jouhevammin. Kuviossa 10 on esitetty kahden osan valmiit mallit.



Kuvio 10. Laippa-akselin ja ulkolamellin kantajan valmiit mallit

Mallintaminen onnistui hyvin, eikä suurempia ongelmia tullut vastaan. Osat pystyttiin mallintamaan pitkälti piirustuksissa esitettyjen kuvantojen ja mitoitusten perusteella. Jotkin piirteet oli piirustuksissa kuitenkin esitetty vain esimerkiksi viittaamalla standardiin. Näin oli toimittu esimerkiksi laippa-akselin keskiöporauksien ja ulkolamellin kantajan hammastuksen suhteen. Koska 3D-mallin tavoitteena on kuvata valmistettavaa kappaletta mahdollisimman tarkasti, tutustuttiin näihin standardeihin ja piirteet mallinnettiin näiden perusteella. Hammastuksen mittojen selvittämiseksi käytettiin standardissa esitettyjä kaavoja. Tämän laskennan avuksi luotiin Excel-taulukko, johon syötettiin tarvittavat kaavat ja tiedot. (Ks. taulukko 1.)

Taulukko 1. Hammastuksen laskenta

Koko	55	59	63	66	72	75	78	79	81	85	89	91
Moduuli	5	5	5	6	6	8	8	8	8	10	8	8
Ryntökulma°	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ryntökulma Rad	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524
Profiilinsiirto	-3,25	1,75	1,75	-1,2	1,8	-3,6	-3,6	-1,6	-3,6	-2,5	-2,1	2,9
Prof. siirtok.	-0,65	0,35	0,35	-0,2	0,3	-0,45	-0,45	-0,2	-0,45	-0,25	-0,2625	0,3625
Jakohalkaisija	225	255	285	306	360	384	432	480	528	600	672	768
Hampaan paksuus	4,101	9,875	9,875	8,039	11,503	8,409	8,409	10,719	8,409	12,821	10,141	15,915
Hampaiden lkm	45	51	57	51	60	48	54	60	66	60	84	96
Hampaan pään viiste	0,75	0,75	0,75	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,2	1,2

6.2 Family of Parts -osaperhe

6.2.1 Toimintaperiaate

Jo osien mallinnuksen aikana alettiin tutkia ja selvittää mahdollistaisiko Solid Edge jonkin muun tavan eri kokojen luomiseksi samasta osasta, kuin muokkaaminen ja tallentaminen eri nimellä. Koska ohjelman käytöstä ei yrityksessä ollut kokemusta, toteutettiin tutkiminen lähinnä internetin avulla sekä kokeilemalla ohjelman eri työkaluja.

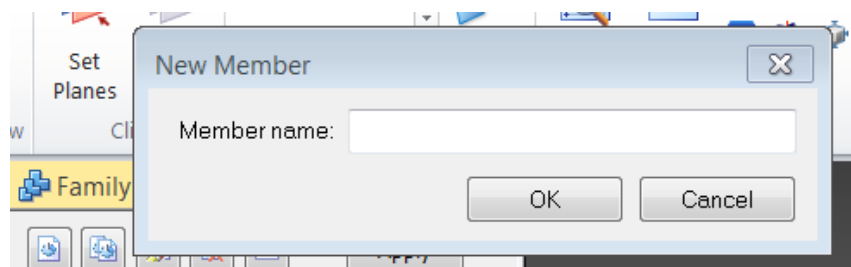
Tämän selvitystyön yhteydessä tuli esille Family of Parts nimellä tunnettu työkalu. Nimensä mukaisesti Family of Parts (myöhemmin FoP) on tarkoitettu osaperheiden luomiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa erilaisten variaatioiden luomista yhdestä osasta. Nämä variaatiot ovat piirteiltään samankaltaisia, mutta geometria, esimerkiksi mitat, voi vaihdella eri variaatioiden välillä. FoP:in idea on sama kuin SolidWorksin konfiguraatioissa (Configurations), mutta toimintaperiaatteelta nämä kaksi ovat erilaisia. SolidWorksin konfiguraatiot luodaan yhteen tiedostoon, kun Solid Edge taas luo jokaiselle osaperheen ”jäsenelle” (member) oman tiedostonsa. Jäsenet ovat omissa tiedostoissaan Part Copy -muodossa, eli ne ovat kopiota isäntätiedoston määrittämistä malleista. Perusperiaatteena on, että kaikki mallien muokkaaminen tapahtuu isäntätiedoston kautta. Kokoonpanojen ja piirustusten luontiin sen sijaan ei koskaan käytetä isäntätiedostoa, vaan näissä hyödynnetään jäsenten omia tiedostoja. (Hietikko 2015, 217–221; Lester 2016.)

Kuten aiemmin on mainittu, moduulin osien eri koot olivat keskenään samankaltaisia, lähinnä mittojen muuttuessa kokojen välillä. Tämän vuoksi päädyttiin testaamaan, kuinka FoP toimii ja voisiko sitä hyödyntää moduulien osien mallintamisessa.

6.2.2 Osaperheen luominen

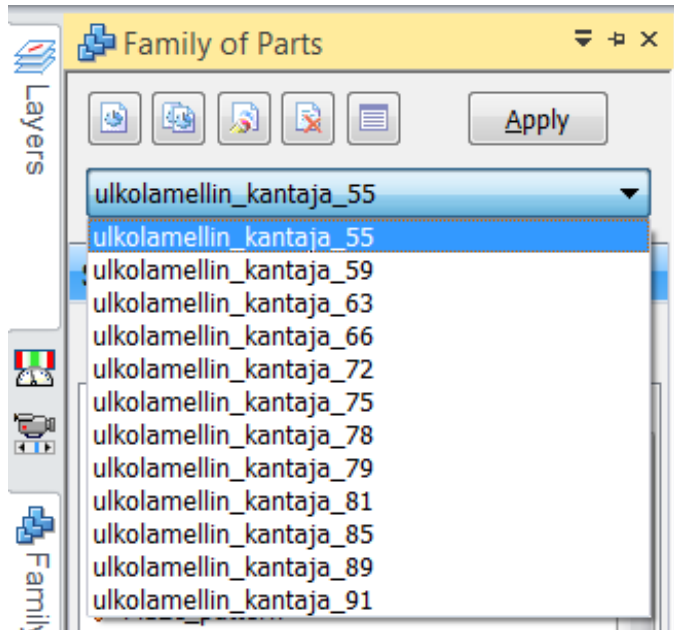
Kun moduulin kaikki mallinnettavat osat yhden koon osalta olivat valmiita, aloitettiin osaperheiden luominen niiden pohjalta. Yksi osa kaikkine kokoineen muodostaa yhden osaperheen. Osaperheen jäseniä muokataan ”isäntätiedoston” (master) kautta, kun taas kokoonpanojen ja piirustusten luomiseen käytetään jäsenten omissa tiedostoissa sijaitsevia malleja. Kaikkiaan tässä työssä muodostettiin siis seitsemän osaperhettä.

Osaperheen luominen aloitetaan avaamalla muokattavaksi malli, josta osaperhe halutaan luoda. Tämän jälkeen avataan Family of Parts -työkalu ja valitaan New. Tämä tarkoittaa, että halutaan luoda uusi jäsen osaperheeseen. Ohjelma pyytää nimeämään uuden jäsenen, mikä vahvistetaan painamalla OK (ks. kuvio 11). Tämän jälkeen tämä toistetaan, kunnes tarvittava määrä jäseniä on luotu. Jäseniä voi luoda lisää myöhemminkin missä tahansa vaiheessa, joten tässä vaiheessa ei ole välttämätöntä tietää kuinka monta jäsentä tarvitsee luoda. Myös jäsenten nimiä voi muokata jälkeenpäin.



Kuvio 11. Uuden jäsenen luominen

Jäsenten luomisen jälkeen voidaan aloittaa niiden muokkaaminen. Alasvetovalikosta voidaan valita, mikä jäsenistä halutaan muokattavaksi tai tarkasteltavaksi (ks. kuvio 12). Valitaan haluttu jäsen ja vahvistetaan valinta painamalla Apply, jolloin ohjelma ottaa valitun jäsenen aktiiviseksi ruudulle. Tämän jälkeen valittua jäsentä voidaan muokata vapaasti.

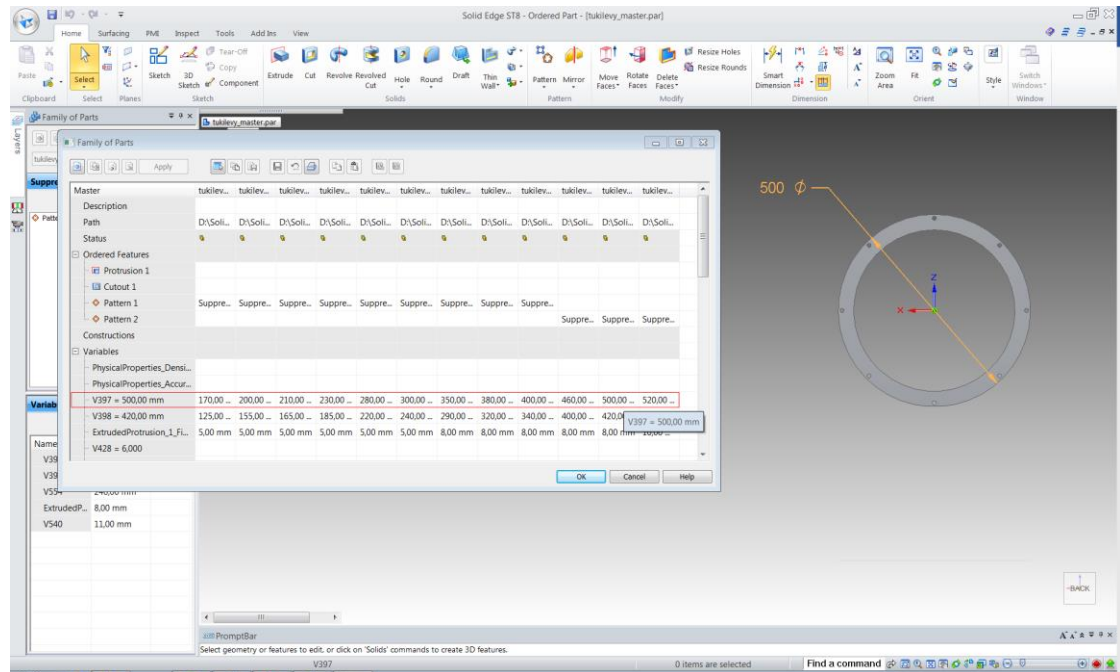


Kuvio 12. Aktiivisen jäsenen valinta

Muokkaaminen onnistuu helpoiten osaperheen hallintataulukon kautta. Taulukko avautuu valitsemalla Edit Table -toiminnon. Tämä taulukko sisältää osaperheen kaikkien jäsenten mallien ohjaamiseen tarvittavat tiedot. Taulukko avautuu omaan ikkunaansa, jonka ylälaudassa on erilaisia työkaluja mm. uuden jäsenen luomista, jäsenen tietojen kopioimista, tietojen tallentamista ja taulukon tietojen tulostamista varten. Itse taulukossa on sivuttaissuunnassa sarakkeissa esitetty kaikki osaperheen jäsenet alkaen vasemmalta isäntätiedostosta.

Taulukon riveillä ylhäältä alas on esitetty kaikki malleihin liitetyt piirteet ja mitat. Ensimmäisillä riveillä voidaan kirjoittaa jonkin kuvaus jäsenestä, osoitetaan polku jäsenen omaan tiedostoon ja esitetään missä tilassa linkki isäntä- ja jäsentiedoston välillä on. Näiden jälkeen tulevat mallin piirteet (features) ja viimeisenä muuttujat (variables) eli mitat ja fyysiset ominaisuudet. Taulukkoa muokataan Excel-tyylillä valitsemalla solu ja kirjoittamalla haluttu arvo. Piirteiden kohdalla solu antaa vaihtoehdot Suppress ja Unsuppress, eli valittu piirre asetetaan passiiviseksi tai aktiiviseksi kyseisessä jäsenessä. Kun jotain piirrettä tai mitta osoitetaan taulukossa, ohjelma

näyttää mihin se viittaa itse mallissa. Tämä helpottaa taulukon muokkaamista. Kuviossa 13 on esitetty muokkaaminen taulukon avulla.



Kuvio 13. Osaperheen jäsenten muokkaaminen taulukon avulla

Kun tarvittavat tiedot on muokattu taulukkoon, jäsenille luodaan omat tiedostonsa käyttämällä Populate Member(s) -komentoa. Tällöin ohjelma "asuttaa" tiedostopolkujen osoittamat sijainnit taulukon tietojen perusteella muodostetuilla malleilla. Oletuksena ohjelma luo polun johtamaan samaan kansioon, minne isäntätiedosto on tallennettu. Tiedoston nimeksi ohjelma asettaa sen nimen, jonka käyttäjä on ensimmäisenä kyseiselle jäsenelle määrittänyt. Käyttäjä voi kuitenkin muokata näitä myös itse.

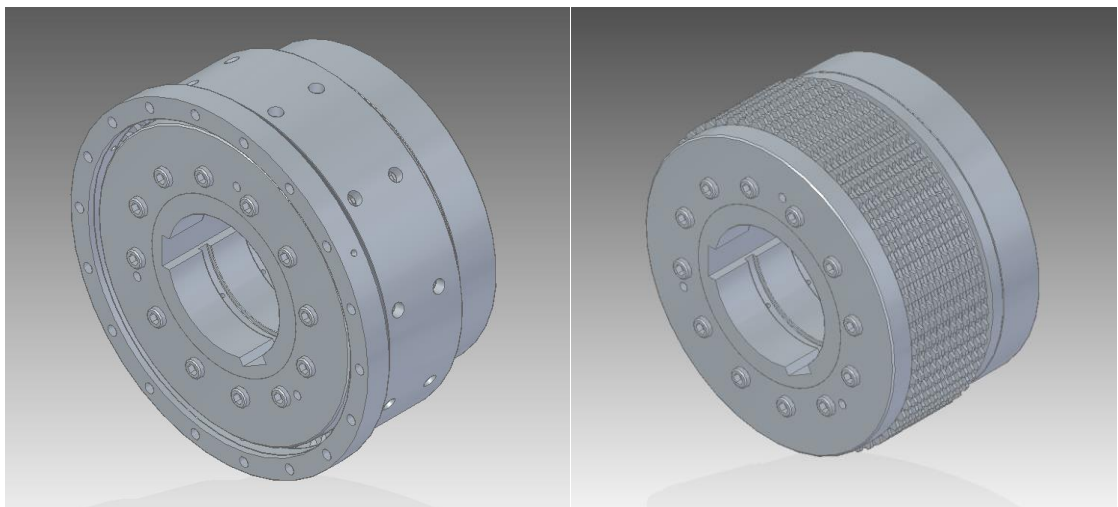
Tällä tavoin luotiin kaikista mallinnetuista osista osaperheet. Osaperheiden luominen yksinkertaisista vähän piirteitä ja muuttujia sisältävistä malleista oli hyvin sujuvaa. Yhdestä osasta sai nopeasti ja helposti luotua useita eri kokoja. Monimutkaisempien osien kohdalla työtä oli tietysti enemmän. Kun piirteitä ja muuttujia oli paljon, tuli taulukosta vaikeampi lukea ja hallita. Taulukon hallintaa helpotti mittojen nimeäminen kuvaavilla nimillä, jolloin hahmotettiin helposti mitä mittaa milloinkin muokataan, eikä asiaa tarvinnut aina tarkistaa mallista.

Osaperheen luomisen avuksi koottiin ohje, jonka avulla osaperheiden luominen onnistuu jatkossa helposti. Ohjeessa on kuvattu osaperheen luomisprosessi hiukan samaan tapaan kuin tässä luvussa. Ohje on liitetty raporttiin Liitteeksi 1.

6.3 Muut osat

Santasalon itsensä suunnitteleminen osien lisäksi lamellikytkinmoduuliin sisältyi itse kytkin, kaksi laakeria ja kiinnitysruuveja. Lähtökohtana pidettiin, että näitä osia ei mallinnetta, jos mallit ovat saatavissa muulla tavoin. Tavoitteena oli kuitenkin saada kokoonpanoon kaikki moduuliin kuuluvat osat.

Kytkimen eri kokojen mallit saatiin kytkimet toimittavalta yritykseltä. Mallit olivat STEP-muotoisia, mutta niiden avaaminen ja käsittely onnistuivat helposti Solid Edgellä. Malleissa oli mukana kytkinvalmistajan omat ulkolamellin kantajat. Koska Santasalo käyttää omissa tuotteissaan itse suunniteltuja ulkolamellin kantajia, olivat valmiina malleissa olleet kantajat turhia ja ne piti saada malleista pois. Solid Edgellä ulkopuolisten mallien käsittely on suhteellisen helppoa ja kantajat saatiin poistettua malleista. Kuviossa 14 on esitetty kytkimen malli ennen muokkausta ja muokkaamisen jälkeen.



Kuvio 14. Kytkimen alkuperäinen ja muokattu malli

Moduulissa käytettävät laakerit etsittiin SKF:n sivustolta. Kaikista käytetyistä laakeista löytyi sivustolta 3D-mallit. Sivustolla on mahdollista valita missä tiedostomuodossa malli halutaan ladata ja vaihtoehtojen joukossa oli myös Solid Edgen oma tiedostomuoto. Moduulissa käytetään kahta erityyppistä laakeria, mutta kummastakin useita eri kokoja. Yhteensä SKF:n sivustolta haettiin 26:n laakerin mallit.

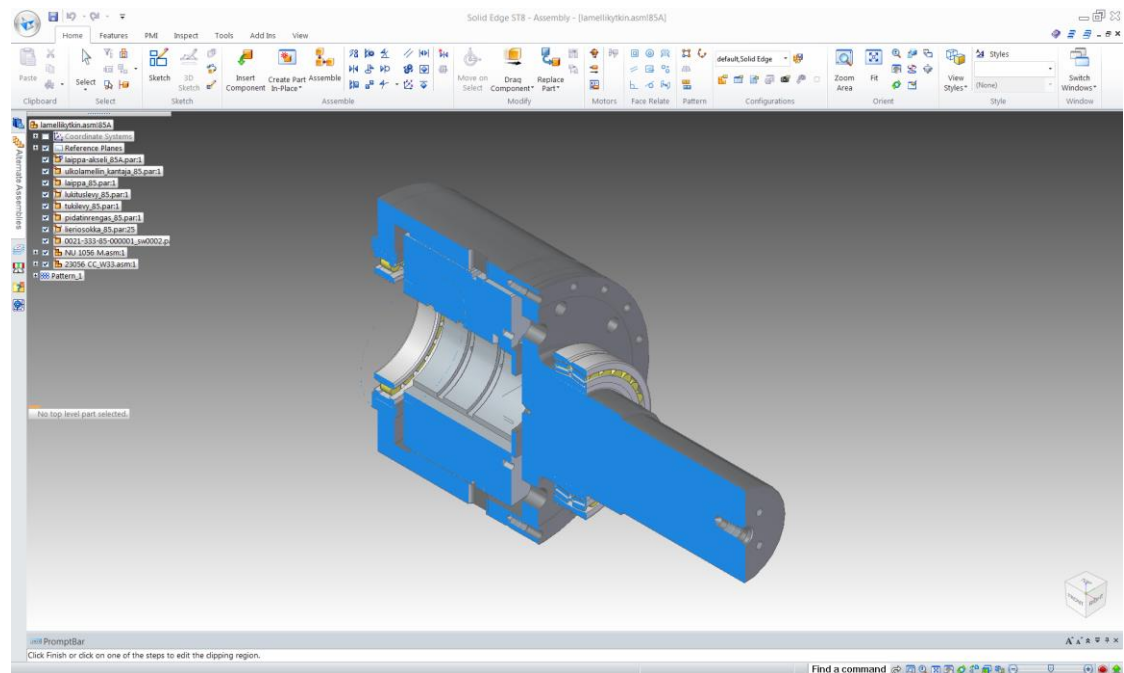
Kokoonpanoon tarvittavat ruuvit ovat standardiosia, jotka on mahdollista hakea kokoonpanoon Solid Edgen Parts Library -osakirjastosta Standard Parts -toiminnon avulla. Santasalolla standardiosien kirjasto sijaitsee Teamcenterissa. Koska tässä työssä ei työskennelty Solid Edgen Teamcenter-tilassa, vaan paikallisesti, ei standardiosia voitu hakea. Päätettiin, että kiinnitysruuvit lisätään kokoonpanoihin myöhemmin, kun ne ja osien mallit on siirretty Teamcenteriin.

6.4 Kokoonpanon luominen

Solid Edgellä kokoonpanon luominen tapahtuu hyvin perinteisesti tuomalla tarvittavat osat kokoonpanoon ja määrittämällä näiden välille tarvittavat sidokset. Osien tuonti aloitetaan Insert Component -komennolla, joka avaa Parts Library -osakirjaston. Tätä kautta päästään esimerkiksi selaamaan tiedostoja tai osakirjastoon tallennettuja standardiosia. Kun haluttu osa on löydetty, tuodaan se kokoonpanoon. Tarvittavien osien haun jälkeen, voidaan aloittaa sidosten luominen niiden välille. Sidokset löytyvät yläreunan työkaluriviltä. Jokaisella sidostyökalulla on kyseistä sidosta kuvaava nimi ja ohjelma myös opastaa sidosten oikeaoppiseen käyttöön.

Kuten osien mallintaminen, myös kokoonpanojen luominen aloitettiin koosta 85. Kokoonpanoon tuotiin mallinnetut osat, muokattu kytkinvalmistajalta saatu kytkimen malli ja laakerit. Kuten aiemmin on mainittu, tarvittavat kiinnitysruuvit lisätään kokoonpanoon myöhemmin, kun mallit siirretään Teamcenteriin. Osien kokoonpanoon tuonnin jälkeen niiden välille asetettiin tarvittavat sidokset. Suurimmaksi osaksi käytettiin yleisimpiä sidoksia, kuten Mate (asettaa kaksi pintaa kiinni toisiinsa) ja Axial Align (asettaa osat aksiaalisesti yhdensuuntaisiksi). Ulkolamellin kantaja ja laippa-akseli kiinnittyvät toisiinsa ruuvien lisäksi myös momenttia välittävien lieriösokkien

kautta. Nämä sokat asetettiin paikoilleen käyttäen hyväksi Pattern -työkalua. Tällä tavoin saatiin asetettua kaikki sokat kerralla niille tarkoitettuihin reikiin aiemmin mainituissa osissa. Myös ruuvit voidaan asettaa myöhemmin paikoilleen tämän työkalun avulla. Kokonaisuutena kokoonpanon luominen oli yksinkertaista ja onnistui melko vaivattomasti. Kuviossa 15 on esitetty koon 85A leikattu kokoonpano.



Kuvio 15. Leikattu lamellikytkinmoduulin kokoonpano

6.5 Family of Assemblies -kokoonpanoperhe

6.5.1 Toimintaperiaate

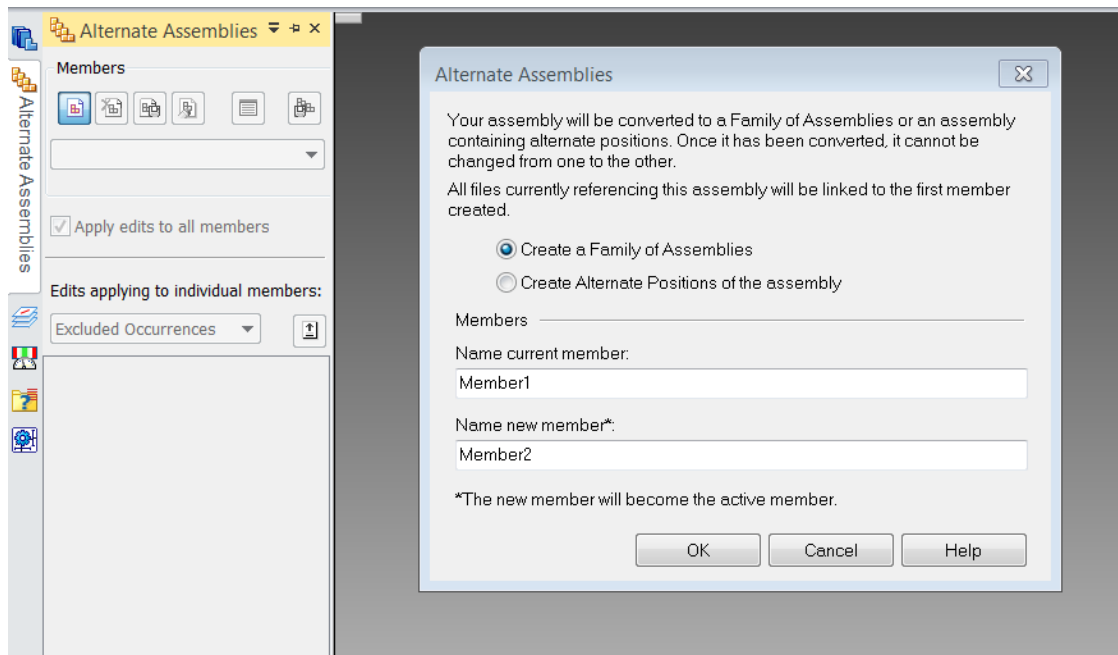
Family of Parts -osaperheen tavoin Solid Edgellä on mahdollista luoda myös Family of Assemblies (FoA) -kokoonpanoperhe. FoA on tarkoitettu variaatioiden luomiseen yhdestä kokoonpanosta. FoP:in tapaan perheessä on isäntä ja jäseniä. Eri jäsenet ovat keskenään samankaltaisia, mutta esimerkiksi kokoonpanon muodostavat osat voivat vaihdella. FoP:ista poiketen, FoA ei luo jäsenille omia tiedostoja, vaan kaikki toiminta tapahtuu yhdessä kokoonpanotiedostossa. FoA on toinen Solid Edgen Alternate Assemblies -toiminnon tarjoamasta kahdesta vaihtoehdosta. Toinen vaihtoehdoista on

Alternate Positions, joka on nimensä mukaisesti tarkoitettu erilaisten asentojen esittämiseen kokoonpanosta. Esimerkiksi venttiili voitaisiin tämän avulla esittää auki- ja kiinni-asennoissaan.

Myös kokoonpanojen luomisessa päätettiin kokeilla perheeseen perustuvaa lähestymistapaa. Vaihtoehtoisesti jokaisen eri koon kokoonpano olisi voitu luoda yksitellen tai hyödyntäen Solid Edgen Replace Part -työkalua. Näillä tavoilla uusi kokoonpano olisi luotu aina joko alusta asti uudestaan tai aiempaa kokoonpanoa hyödyntäen, mutta kuitenkin tallentamalla uusi versio aina omalla nimellään omaan tiedostoonsa. Tällainen toimintatapa on perinteinen ja varmasti toimiva. Työn tutkivan luonteen vuoksi päädyttiin kuitenkin testaamaan kokoonpanoperheen luomista ja toimintaa.

6.5.2 Kokoonpanoperheen luominen

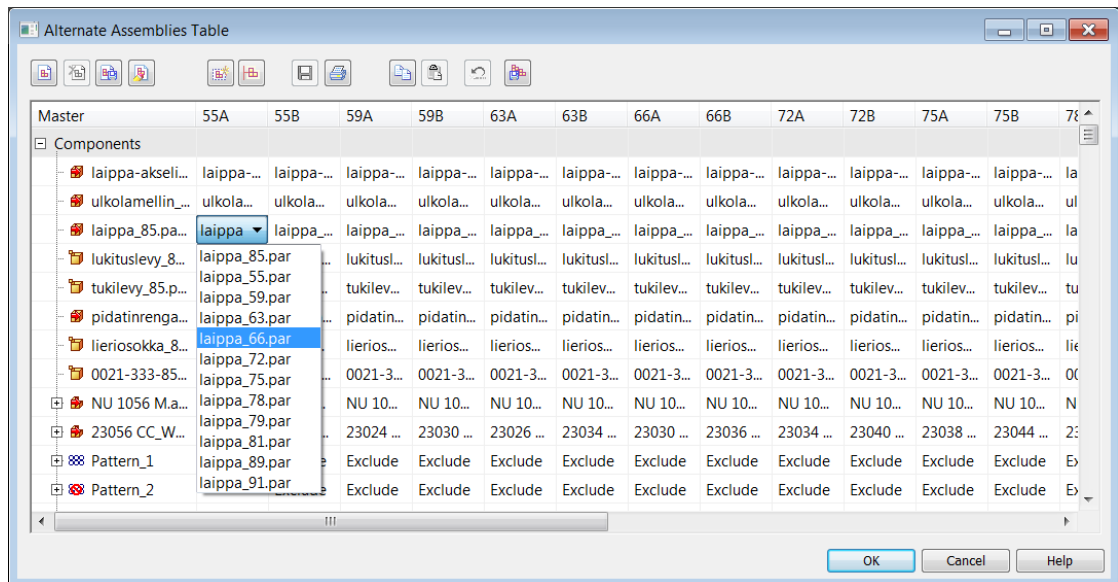
Kokoonpanoperheen luominen aloitetaan avaamalla Alternate Assemblies -toiminto ja valitsemalla New alkuperäisen kokoonpanon ollessa auki Solid Edgen Assembly-tilassa. Ohjelma antaa vaihtoehtoiksi Family of Assemblies ja Alternate Positions of the assembly (ks. kuvio 16). Tehtyä valintaa ei voi tämän jälkeen muuttaa, joten on tärkeää, että käyttäjä valitsee omaan käyttöönsä oikean vaihtoehdon. Ohjelma pyytää tässä vaiheessa myös nimeämään nykyisen sekä uuden luotavan jäsenen.



Kuvio 16. Alternate Assemblies

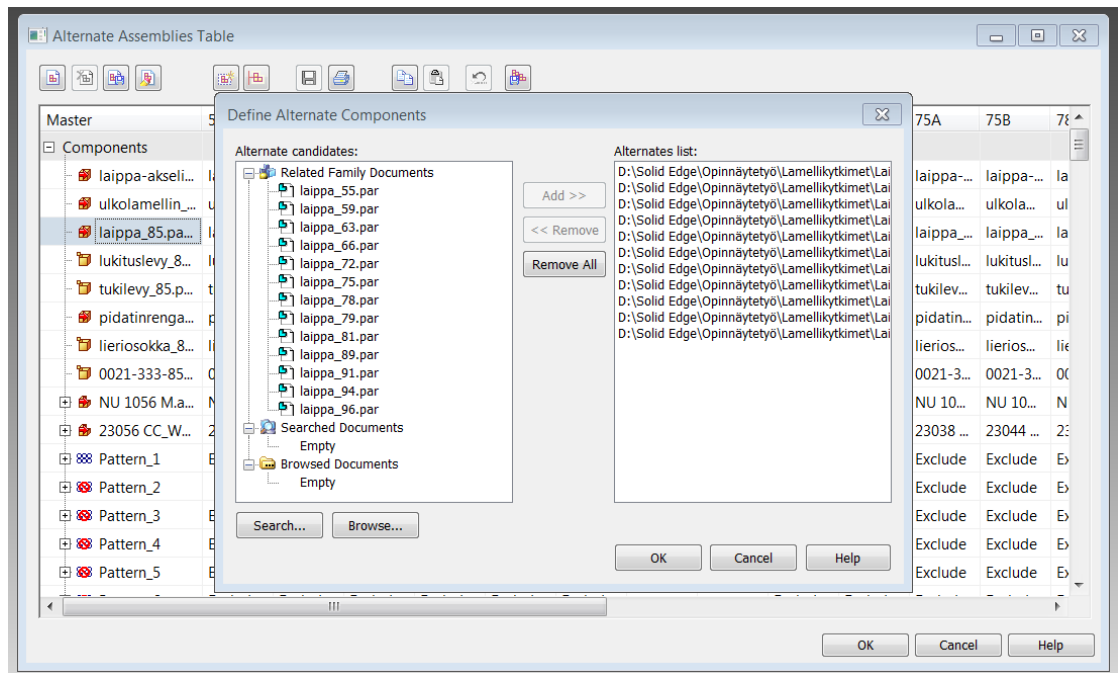
Kun kokoonpano on muokattu kokoonpanoperheeksi, luodaan siihen tarvittava määrä uusia jäseniä. Tarvittavien jäsenten luomisen jälkeen voidaan aloittaa niiden muokkaaminen. Ohjelma antaa valita tehdäänkö muutokset kaikkiin jäseniin vai pelkästään aktiiviseen jäseneseen.

Samaan tapaan kuin FoP:ia myös FoA:ia voidaan muokata hallintataulukon kautta (ks. kuvio 17). Taulukon riveillä on esitetty ensimmäisen kaikki kokoonpanoissa käytetyt komponentit, eli esimerkiksi osat, alikokoonpanot ja monen osan kerralla sijoittamiseksi luodut patternit. Tämän jälkeen taulukossa tulevat muuttujat eli käytännössä kokoonpanon mitat. Taulukon kautta voidaan kuitenkin hallita lähinnä, mistä komponenteista mikäkin jäsen koostuu ja mitkä piirteet (esimerkiksi patternit) ovat aktiivisina missäkin jäsenessä. Sen sijaan esimerkiksi osien välisiä relaatioita ei esitetä taulukossa. FoA:ia ei voi siis muokata yhtä kattavasti hallintataulukon kautta kuin FoP:ia, vaan muokkaamista pitää tehdä tietyissä tilanteissa myös itse mallin kautta.



Kuvio 17. Hallintataulukko ja komponentin variaation valinta

Jäsenen muodostavien komponenttien määrittämiseen on erilaisia tapoja. Yksi tapa on valita muokattava jäsen aktiiviseksi, rajata muutokset koskemaan vain aktiivista jäsentä ja tämän jälkeen muokata mallia esimerkiksi Replace Part -työkalun avulla. Helpoiten komponenttien määrittäminen onnistuu hallintataulukon kautta. Taulukossa voidaan tietyn jäsenen vaihdettavan komponentin kohdalla painaa hiiren oikeaa näppäintä ja valita komento Replace. Tämän jälkeen valitaan uusi komponentti, jolla valittu komponentti halutaan korvata. Toinen tapa määrittää komponentit taulukon kautta on painaa hiiren oikeaa näppäintä halutun komponentin kohdalla taulukon isäntjäsenen sarakkeessa ja valita komento Define Alternate Components. Tämän komennon avulla voidaan määrittää, mitä vaihtoehtoja kyseisestä komponentista tarjotaan. Komennon kautta päästään selaamaan tiedostoja ja valitsemaan halutut variaatiot komponentista (ks. kuvio 18). Kun tarvittavat variaatiot on valittu, lisätään ne vaihtoehtojen listaan (Alternates list) Add-komennon avulla. Tämän jälkeen listasta voidaan helposti valita, mitä variaatiota komponentista halutaan missäkin jäsenessä käyttää (ks. kuvio 17).

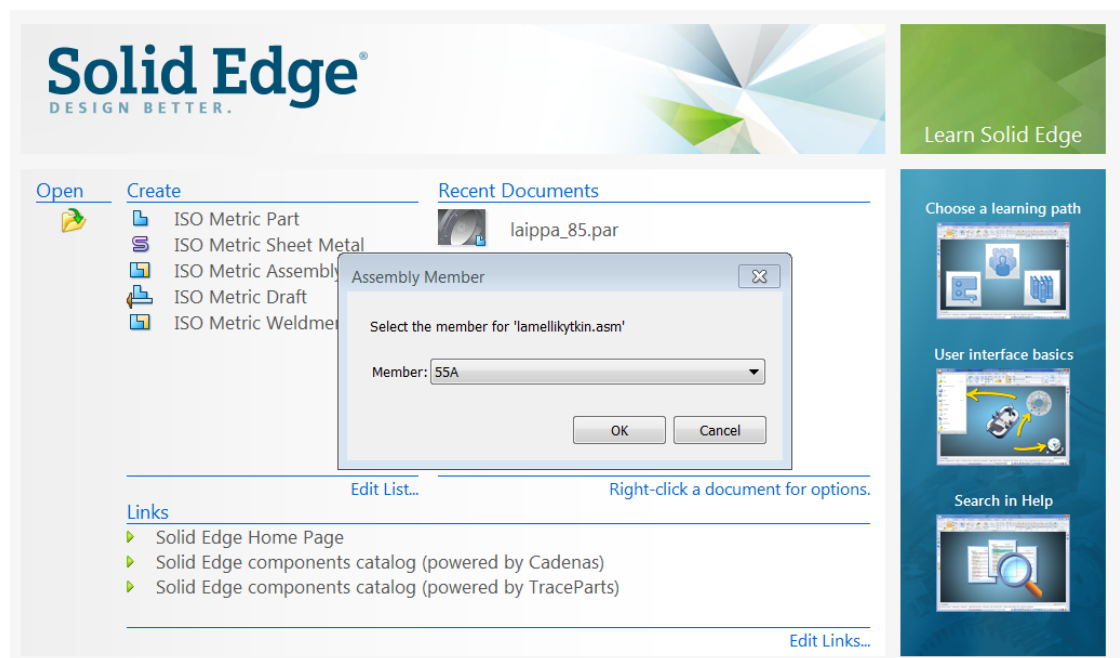


Kuvio 18. Vaihtoehtojen listan luominen

Kokoonpanoperhe on periaatteessa valmis, kun on määritelty, mistä komponenteista mikäkin jäsen koostuu. Osien välille asetettujen relaatioiden tulisi säilyä jäsenten välillä, vaikka osista olisi käytössä eri variaatiot eri jäsenissä. Käytännössä tämä vaikuttaa kuitenkin riippuvan pitkälti siitä, mikä relaatio on kyseessä ja miten se on asetettu. Relaatio häviää esimerkiksi silloin, kun se on sidottu johonkin pintaan, joka muuttuu variaatioiden välillä. Tämän voi välttää asettamalla relaatiot ”oikein” eli käyttämällä sopivimpia relaatioita ja relaatioiden sitomiseen mahdollisimman paljon esimerkiksi osien muuttumattomia referenssitasoja. Tarvittavat relaatiot on kuitenkin helppoa ja nopeaa käydä asettamassa uudelleen, jos ne häviävät uuden jäsenen luomisen yhteydessä. Tällöin valitaan muokattava jäsen aktiiviseksi ja asetetaan halutut relaatiot samalla tavoin kuin luotaisiin uutta kokoonpanoa.

Kun kaikki aiemmin mainitut asiat ovat kunnossa ja tiedot on tallennettu, on kokoonpanoperhe valmis. Kun kokoonpano tämän jälkeen halutaan avata, ohjelma kysyy mikä perheen jäsenistä avataan (ks. kuvio 19). Kokoonpanotilassa jäsentä voidaan kuitenkin vaihtaa Alternate Assemblies -välilehden kautta. Samalla tapaa ohjelma kysyy, mikä jäsenistä avataan, kun jokin jäsenistä halutaan liittää osaksi suurempaa ko-

koonpanoa. Muut jäsenet eivät ole mukana tässä toisessa kokoonpanossa, vaan valittu jäsen toimii itsenäisesti suuremman kokoonpanon komponenttina. FoA:in jäsenet ovat siis normaalisti kaikki samassa tiedostossa, mutta jäsenet toimivat itsenäisesti esimerkiksi suuremman kokoonpanon osana. Jäseniä voi myös tallentaa nimellä omiksi tiedostoikseen Save Member As -toiminnon avulla. Tällöin kokoonpanoperheen jäsenestä luodaan oma itsenäinen kokoonpano, joka ei ole enää linkittyneenä kokoonpanoperheen toimintaan.



Kuvio 19. Jäsenen valinta kokoonpanoa avatessa

Tässä työssä lamellikytkinmoduulista muodostettiin kokoonpanoperhe hyödyntäen Family of Assemblies -toimintoa aiemmin kuvatulla tavalla. Kokoonpanoperheen jäsenten osina ja osien variaatioina käytettiin aiemmin luotujen Family of Parts -osaperheiden jäseniä, kytkinvalmistajalta saaduista malleista muokattuja kytkimien malleja ja SKF:n sivustolta ladattuja laakereiden malleja. Yhteensä mallinnettuja kokoja oli 12, joista jokaisesta tehtiin A- ja B-versiot hiukan eriävillä laippa-akseleilla ja laakereilla. Kaikkiaan perheeseen luotiin siis 24 jäsentä eli tuloksena syntyi 24 versiota lamellikytkinmoduulin kokoonpanosta.

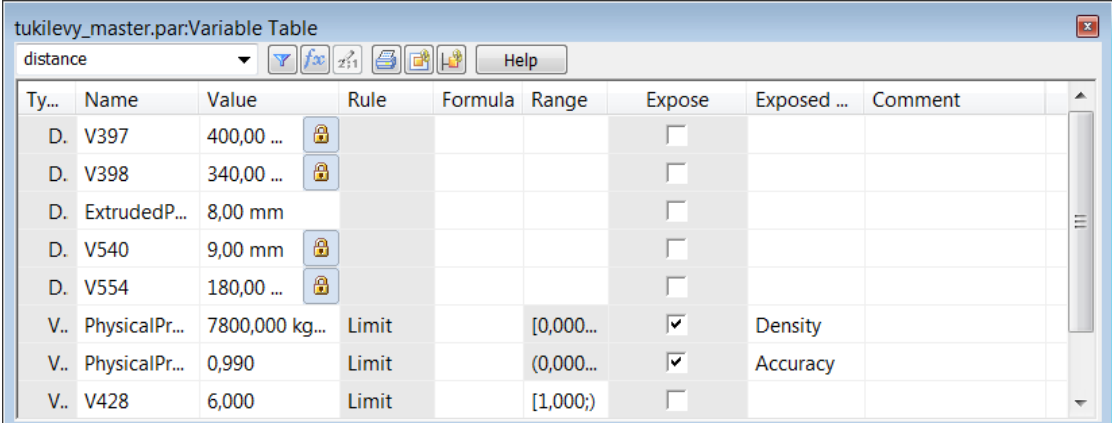
Kokoonpanojen luominen oli nopeaa ja vaivatonta verrattuna tilanteeseen, jossa jokainen kokoonpano olisi luotu itsenäisesti. Vaikka esimerkiksi osien välisiä relaatioita ja osien sijoittamiseksi luotuja patterneja jouduttiin luomaan uudestaan uutta jäsentä muokattaessa, ei kaikkia osia ja osakokoonpanoja tarvinnut tuoda ja asetella uudestaan jokaiseen kokoonpanoon. Kun hallintataulukon kautta oli määritetty kussakin jäsenessä käytettävät komponentit, ei tarvinnut kuin tarkistaa, että osat on si-
dottu oikein toisiinsa, ja tarvittaessa tehdä pieniä korjauksia.

6.6 Solid Edge -ohjelmiston muita ominaisuuksia

Lamellikytkinmoduulin luomisen yhteydessä havaittiin ja myös käytettiin aiemmin mainittujen FoP:in ja FoA:in lisäksi muitakin Solid Edgen ominaisuuksia. Tässä on esitelty niistä merkittävimmät.

6.6.1 Variable Table -taulukko

Variable Table on mallien hallinnan avuksi tarkoitettu taulukko (ks. kuvio 20). Taulukko avataan mallinnus- tai kokoonpanotilassa Tools-välilehdeltä löytyvän Variables-toiminnon kautta. Nimensä mukaisesti taulukko sisältää käsiteltävän mallin kaikki muuttujat. Taulukon kautta näitä muuttujia voidaan muokata, nimetä uudelleen, määrittää kaavojen avulla tai rajata jollekin alueelle. Lisäksi muuttujien välille voidaan luoda yhteyksiä tai muuttujiin voi liittää kommentteja.



Ty...	Name	Value	Rule	Formula	Range	Expose	Exposed ...	Comment
D.	V397	400,00 ...				<input type="checkbox"/>		
D.	V398	340,00 ...				<input type="checkbox"/>		
D.	ExtrudedP...	8,00 mm				<input type="checkbox"/>		
D.	V540	9,00 mm				<input type="checkbox"/>		
D.	V554	180,00 ...				<input type="checkbox"/>		
V..	PhysicalPr...	7800,000 kg...	Limit		[0,000...	<input checked="" type="checkbox"/>	Density	
V..	PhysicalPr...	0,990	Limit		(0,000...	<input checked="" type="checkbox"/>	Accuracy	
V..	V428	6,000	Limit		[1,000;)	<input type="checkbox"/>		

Kuvio 20. Variable Table -taulukko

Lamellikytkinmoduulia mallintaessa Variable Tablea hyödynnettiin lähinnä mittojen kuvaavampaan nimeämiseen ja yhteyksien luomiseen mittojen välille kaavojen avulla. Malleihin asetettiin esimerkiksi kaavoja, joiden perusteella jokin mitta on aina tietyn mittainen toiseen mittaan nähden. Muuttujia myös kommentoitiin mm. kirjoittamalla jokin selventävä kuvaus mitan kohdalle.

6.6.2 Mallien ohjaaminen Excel-tilukon avulla

Solid Edgen malleja pystytään ohjamaan myös ulkoisen Excel-tilukon avulla. Myös tämä hoidetaan osittain Variable Tablen kautta. Käyttäjä luo Excel-tilukon ja tallentaa sen johonkin sopivaan sijaintiin. Tallentaminen on olennaista, koska mallin ohjaaminen tilukon avulla ei onnistu, jos tilukkoa ei ole tallennettu tai se on tallennettu sijaintiin, josta Solid Edge ei tavoita sitä. Tämän jälkeen tilukon tietoja voidaan alkaa linkittää Solid Edgen Variable Tablen kautta malliin. Excel-tilukon puolella käyttäjä valitsee haluamansa solun ja kopioi sen. Tämän jälkeen siirrytään Solid Edgen puolelle ja Variable Tablen kautta valitaan muuttuja, johon aiemmin valitun solun sisältämä tieto halutaan linkittää. Painamalla hiiren oikeaa painiketta, saadaan esiin Paste Link -komento, jolla linkki liitetään muuttujaan.

Excel-tilukon käyttäminen tuo mallien hallintaan lisää vapautta, koska Excelillä pystytään esimerkiksi luomaan helpommin paljon monimutkaisempia ja laajempia kaavoja kuin Variable Tablella. Tässä työssä Excelin avulla laskettiin ulkolamellin kantajan hammastuksen arvoja. Tietojen linkittämistä suoraan Excelistä malliin harkittiin, mutta tätä ei kuitenkaan toteutettu, koska ei tiedetty, miten Excel-tilukon ja mallin yhteys käyttäytyy siirryttäessä Teamcenteriin.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa 3D-suunnittelu osaksi Santasaloon laivavaihteiden suunnittelua käyttäen työkaluna Siemensin Solid Edge -suunnitteluohjelmistoa. Tavoite oli määritelty aluksi suhteellisen laajaksi, koska laivavaihteiden suunnittelu oli

viime vuosina jäänyt taka-alalle ja kaikki aiempi suunnittelu oli toteutettu 2D-järjestelmillä. Tämän vuoksi laivavaihteiden tuomisessa 3D-ympäristöön olisi kokonaisuudessaan todella paljon työtä. Lisäksi Solid Edge oli yritykselle täysin uusi ohjelmisto, joten sen mahdollisuuksista ei ollut selkeää näkemystä. Työn alkuvaiheessa tavoitteeksi tarkentui Solid Edgen ominaisuuksien ja mahdollisuuksien selvittäminen sekä laivavaihteissa käytettävien osamoduulien luominen.

Työn edetessä havaittiin, että kaikkien laivavaihteissa käytettävien moduulien luominen olisi ollut liian työlästä ja aikaa vievää yhden opinnäytetyön puitteissa tehtäväksi. Tämän vuoksi päätettiin rajata 3D-mallinnus koskemaan vain yhtä moduulia, joksi valikoitiin lamellikytkinmoduuli. Näin työn painopiste pystyttiin pitämään Solid Edgen mahdollisuuksien tutkimisessa.

Tuloksina saatiin mallit lamellikytkinmoduuliin vaadittavista osista sekä kokoonpanot kaikista moduulin eri ko'ista. Moduulin osat mallinnettiin hyödyntäen Solid Edgen Family of Parts -työkalua, joka on tarkoitettu variaatioiden luomiseen yhdestä osasta. Jokaisesta mallinnetusta osasta luotiin siis oma osaperheensä, joissa osien eri koot toimivat jäseninä. Lisäksi moduulissa käytettävien kytkimen ja laakerien mallit hankittiin kytkinvalmistajan edustajalta ja laakerivalmistajan sivustolta. Kokoonpanot luotiin vastaavasti hyödyntäen Family of Assemblies -työkalua, jolla kokoonpanosta voidaan luoda erilaisia variaatioita. Näin luotiin kokoonpanoperhe, jonka jäseninä toimivat lamellikytkinmoduulin eri kokojen kokoonpanot. Lisäksi opinnäytetyön tekemisen aikana havaittiin useita muitakin Solid Edgen ominaisuuksia, jotka saattavat osoittautua tulevaisuudessa hyödyllisiksi, vaikkei kaikkia tässä työssä hyödynnetty. Yhtenä tuloksena voidaan pitää myös Solid Edgen yleisen tietotaidon lisääntymistä yrityksessä. Ohjelmisto on yrityksessä uusi, joten kaikki siihen liittyvä osaaminen on yritykselle arvokasta ja hyödyllistä. Opinnäytetyön tekemisen aikana kertyneen kokemuksen ja osaamisen perusteella koottiin ohje Family of Parts -osaperheen luomisen tueksi.

Opinnäytetyön tavoitteet siis saavutettiin suurimmalta osin. Laivavaihteissa käytettävistä osamoduuleista vain yhdestä saatiin työn tuloksena valmiit 3D-mallit, mutta toisaalta kaikkien moduulien luominen olisi ollut mahdotonta yhden opinnäytetyön aikana. Keskittymällä vain raakaan mallinnustyöhön olisi opinnäytetyön aikana voitu

varmasti saada valmiiksi jonkin toisenkin moduulin osat ja kokoonpanot, mutta tämä olisi vienyt aikaa Solid Edgen mahdollisuuksien kartoittamiselta ja erilaisten toimintojen kokeilemiselta. Kuten jo aiemmin todettiin, loput moduulit pystytään joka tapauksessa luomaan kertyneen kokemuksen avulla tämän työn ulkopuolella.

Yksi opinnäytetyön aikana avoimeksi jäänyt tärkeä kysymys on luotujen mallien ja kokoonpanojen toiminta Teamcenter-ympäristössä. Santasalo käyttää tuotetiedonhallinnassaan Siemensin Teamcenter PLM-ohjelmistoa, joka toimii yhdessä Solid Edgen kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tuotantoa varten tehtävät mallit, kokoonpanot, piirustukset jne. tehdään Solid Edgellä suoraan Teamcenteriin. Tämän työn kohdalla malleja ja kokoonpanoja ei kuitenkaan tehty Teamcenteriin vaan paikallisesti tietokoneen kiintolevylle tallentaen, joten toiminnasta Teamcenterissä ei ole vielä varmaa tietämystä. Tarkoituksena on kuitenkin viedä mallit ja kokoonpanot Teamcenteriin. Syy, miksi mallien käyttäytymistä erilaisessa ympäristössä tulee miettiä, on Family of Parts -osaperheen toimintaperiaate, jossa isäntä- ja jäsentiedostot toimivat linkittyneinä toisiinsa. Toisin sanoen tulee selvittää miten nämä linkit käyttäytyvät, kun mallit siirretään kiintolevyltä Teamcenteriin, ja miten linkit toimivat Teamcenterissä. Kokoonpanojen kohdalla kysymys liittyy taas Family of Assemblies -kokoonpanoperheen toimintaperiaatteeseen ja Teamcenterin nimikerakenteeseen: onko Teamcenteriin mahdollista tai järkevää luoda nimike kokoonpanolle, joka sisältää useita eri variaatioita yhdestä kokoonpanosta.

Opinnäytetyön aikana havaittiin, että Solid Edgellä perusmallintaminen on hyvin samanlaista, kuin muillakin vastaavilla ohjelmistoilla. Joitakin eroavaisuuksia tietysti on, mutta tässä työssä saadun kokemuksen mukaan ainakin tavallinen mallintaminen Solid Edgellä on helppo omaksua, jos on aiemmin käyttänyt jotain muuta vastaavaa 3D-suunnitteluohjelmaa. Samoin kokoonpanon luominen vastasi pitkälti muiden suunnitteluohjelmistojen vastaavaa prosessia.

Family of Parts -osaperheen luominen oli helppo ja nopea tapa luoda osasta useita variaatioita. Muokkaamalla aiemmin mallinnettua osaa ja tallentamalla muokattu osa omalla nimellään voidaan myös luoda variaatioita melko pienellä vaivalla. Osaper-

heessä on kuitenkin useita etuja verrattuna tähän, minkä vuoksi se tietyissä tapauksissa voisi olla hyvä vaihtoehto osien mallintamiseksi. Suurimpia etuja ovat useiden variaatioiden nopea ja vaivaton luominen sekä muokkaamisen vaivattomuus. Esimerkiksi jos useaan osaperheen jäsenen pitäisi tehdä jokin muutos, se onnistuisi paljon nopeammin ja pienemmällä työllä, kuin jos muutos tehtäisiin moneen yksittäiseen osaan osa kerrallaan. Osaperheen jäseniä voi käyttää esimerkiksi kokoonpanoissa ja piirustuksissa aivan samalla tavalla kuin muitakin malleja. On vain muistettava, että tällaiseen käytetään aina jäsenten omia tiedostoja eikä isäntätiedostoa.

Osaperhe ei edusta huolimatta ole kuitenkaan kaikissa tapauksissa järkevin tapa luoda variaatioita malleista. Jos etukäteen on suurin piirtein tiedossa, kuinka paljon variaatioita mahdollisesti tulee ja millaisia variaatiot tulevat olemaan, on osaperhe hyvä vaihtoehto. Jos taas osasta täytyy silloin tällöin tehdä uusia variaatioita eivätkä esimerkiksi variaatioiden mitat ole tiedossa, ei osaperheen luominen ole järkevää, vaan uudet osat kannattaa tehdä muokkaamalla aiempaa mallia. Parhaimmillaan osaperhe olisi mallinnettaessa jonkin standardoidun tuotesarjan komponentteja. Osien ja niiden variaatioiden tiedot olisi etukäteen määritetty, joten osaperhe voitaisiin luoda järkevästi. Jos tuotteen johonkin komponenttiin tehtäisiin muutos, se olisi helppo tehdä kyseisen osaperheen isäntätiedoston kautta kaikkiin jäseniin tai vaihtoehtoisesti luoda uusia jäseniä, joissa tuo muutos olisi.

Monimutkaisen mallin osaperheen jäsenten muokkaaminen voi olla haastavaa, koska paljon muuttujia sisältävästä osaperheen hallintataulukosta tulee helposti sekava. Tämä kannattaa monimutkaisten mallien kohdalla huomioida esimerkiksi nimeämällä mittoja kuvaavasti ja luomalla piirteitä niin, että niiden muokkaaminen olisi mahdollisimman vaivatonta.

Osaperheen luomisen avuksi koottu ohje toimii jatkossa tukena, jos tätä metodologiaa halutaan hyödyntää jatkossakin. Ohje on alustava, koska esimerkiksi Teamcenterin roolia osaperheiden toiminnassa ei ole vielä selvitetty. Jatkossa ohjeesta voidaan kuitenkin helposti muokata virallinen ohje yrityksen koko henkilöstön käyttöön, jos tälle nähdään tarvetta. Ohjeen avulla kuka tahansa Solid Edgen peruskäytön hallitseva henkilö pystyisi itsenäisesti luomaan osaperheitä.

Family of Assemblies -kokoonpanoperheeseen pätevät oikeastaan samat huomiot kuin Family of Parts -osaperheeseen. Variaatioita kokoonpanosta on helppo ja nopea luoda ja muutoksia pystytään tekemään useaan jäseneseen kerralla. Kokoonpanoperheen luomisen järkevyyden ja kannattavuus riippuvat myös samoista tekijöistä kuin osaperheenkin kohdalla. Näiden tekijöiden lisäksi tulee huomioida, että toisin kuin osaperheen kohdalla, kokoonpanoperheen kaikki jäsenet avautuvat yhden tiedoston alta. Osana suurempaa kokoonpanoa jäsenet toimivat itsenäisesti omina osakokoonpanoinaan, aivan kuten mikä tahansa muukin kokoonpano. Tällöin kaikki perheen jäsenet eivät siis ole mukana, vaikka ne tavallisesti toimivat yhden tiedoston sisällä. Esimerkiksi kokonaisen vaihteen pääkokoonpano voitaisiin koota Family of Assembliesin avulla tehtyjen osamoduulien kokoonpanoperheiden jäsenistä.

Yhden tiedoston sisällä toimiminen tarkoittaa kuitenkin sitä, että jäsenten määrän tai kokoonpanon koon ollessa suuri kokoonpanoperheestä voi tulla hyvinkin raskas. Jo tämän opinnäytetyön aikana havaittiin, että kokoonpanosta tuli suhteellisen raskas, vaikkei kokoonpanossa ollut erityisen paljon komponentteja. Kokoonpanoperheessä oli kuitenkin niin monta jäsentä, että esimerkiksi kokoonpanon tallentaminen hidastui työn aikana selkeästi raskauden vuoksi. Jos kokoonpanoperheeseen jouduttaisiin tekemään paljon uusia jäseniä, tulisi siitä jossain vaiheessa todella raskas. Tämän ongelman voisi kiertää tallentamalla perheen jäsenet omilla nimillään omiin tiedostoihinsa, mutta tällöin ne eivät tietenkään olisi enää perheen jäseniä, vaan niitä pitäisi käsitellä omina kokoonpanoinaan.

Jatkossa tulee selvittää, kuinka Family of Parts ja Family of Assemblies toimivat Teamcenterissä. Jos Teamcenter ei aseta niiden käytölle esteitä tai suuria rajoituksia, tulee tapauskohtaisesti tarkastella olisiko kyseisten työkalujen käyttö järkevää. Laivavaihteiden osalta loppujen osamoduulien luomisessa nämä menetelmät, erityisesti Family of Parts, olisivat erittäin hyödyllisiä suunnittelun apuvälineitä. Yleisesti myös Solid Edgen muiden mahdollisuuksien selvittämistä kannattaa jatkaa. Erityisesti ulkopuolisten mallien muokkaaminen on varmasti erittäin hyödyllinen ominaisuus, jolle voi olla paljonkin käyttöä. Lisäksi Variable Tabellen ja Excel-taulukoiden hyödyntämistä mallien luomisessa ja hallinnassa kannattaa mahdollisuuksien mukaan selvittää.

Lähteet

Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985. Koneenosien suunnittelu 3: Tehonsiirto. Porvoo: WSOY.

Alusten jääluokat. N.d. Artikkelin Liikenteen turvallisuusvirasto Trafifin sivustolla. Viitattu 6.7.2016. http://www.trafi.fi/merenkulku/alusten_jaaluokat

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit

Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. 4. uud. p. Helsinki: Edita.

Bordegoni, M. & Rizzi, C. 2011. Innovation in Product Design: From CAD to Virtual Prototyping. New York: Springer.

Bryden, D. 2014. CAD and Rapid Prototyping for Product Design. London: Laurence King Publishing.

Cohn, D. 2010. Evolution of Computer-Aided Design. Desktop Engineering 1.12.2010. Viitattu 12.7.2016. <http://www.deskeng.com/de/evolution-of-computer-aided-design/>

Design Guidelines. 2000. Koulutusmateriaali. Santasalo Gears Oy:n sisäinen materiaali. Vain sisäiseen käyttöön.

Giesecke, F. 2014. Technical Drawing with Engineering Graphics. 14. uud. p. Harlow: Pearson Education Limited.

Hietikko, E. 2015. Tietokoneavusteinen suunnittelu: SolidWorks 2016. 7. uud. p. Helsinki: Books on Demand.

Häkkinen, P. 1997. Laivan kuljetuskoneisto. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Into Top Gear – David Brown and Santasalo Merge to Create a new Global Force in Mechanical Power Transmission. 2016. Artikkelin Santasalo Gears Oy:n sivustolla. Viitattu 9.6.2016. <http://santasalo.com/into-top-gear-david-brown-and-santasalo-merge-to-create-a-new-global-force-in-mechanical-power-transmission/>

Laivojen ja meritekniikan rakenteiden luokitus. N.d. Artikkelin Bureau Veritas Finlandin sivustolla. Viitattu 5.7.2016. http://www.bureauveritas.fi/services+sheet/laivojen_ja_meritekniikan_rakenteiden_luokitus

Lester, S. 2016. Solid Edge: Family of Parts. Kirjoitus Scott Lesterin Drafting & Design -blogissa 6.7.2016. Viitattu 22.9.2016. <http://www.sldraftingdesign.com/single-post/2016/07/06/Solid-Edge-Family-of-Parts>

Marine Propulsion Gears. 2014. PowerPoint esitys koulutuskäyttöön. Santasalo Gears Oy:n sisäinen materiaali.

PDF-tiedostojen sisältämien 3D-mallien näyttäminen. 2016. Ohje Adobe Acrobatin tukisivustolla. Viitattu 12.10.2016. <https://helpx.adobe.com/fi/acrobat/using/displaying-3d-models-pdfs.html>

Santasalo – Geared for Industry. 2015. PowerPoint esitys. Santasalo Gears Oy:n intranet. Viitattu 9.6.2016.

Solid Edge. 2016. Tuotetietoa Siemens PLM Softwaren sivustolla. Viitattu 20.7.2016. http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/solid-edge/index.shtml

Solid Edge ST8 Peruskurssi. 2015. Ideal Product Data Oy:n koulutusmateriaali.

SolidWorks MBD. 2016. Tuotetietoa SolidWorksin sivustolla. Viitattu 12.10.2016. <http://www.solidworks.com/sw/products/technical-communication/solidworks-mbd.htm>

Support Material: Modular Gear Series for Heavy Duty Applications. 2015. Koulutusmateriaali. Santasalo Gears Oy:n sisäinen materiaali . Vain sisäiseen käyttöön.

Thilmany, J. 2011. Digital Tolerance. Artikkelit The American Society of Mechanical Engineers -yhteisön (ASME) sivustolla. Viitattu 12.10.2016. <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/design/digital-tolerance>

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

Työnjako luokituslaitosten kanssa. N.d. Artikkelit Liikenteen turvallisuusvirasto Trafifin sivustolla. Viitattu 5.7.2016. http://www.trafi.fi/merenkulku/katsastukset/tyonjako_luokituslaitosten_kanssa

Voimansiirtoratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin. 2015. Yritysesite. Santasalo Gears Oy:n intranet. Viitattu 9.6.2016.

Österholm, J & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus.

Liitteet

Liite 1. Ohje osaperheen luomiseksi