

PARAMETRINEN 3D-MALLINTAMINEN



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Konetekniikka

kevät, 2019

Joona Kirves

Konetekniikka
Riihimäki

Tekijä Joonas Kirves **Vuosi** 2019

Työn nimi Parametrinen 3D-mallintaminen

Työn ohjaaja /t Teppo Syrjäaho

TIIVISTELMÄ

Erityisesti tämän vuosituhannen aikana tapahtunut kehitys tietotekniikassa on mahdollistanut myös 3D-mallinnusohjelmien nopean kehityksen ja 3D-mallien rooli osana nykyaikaista suunnittelutyötä on saanut aivan uuden merkityksen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa lukijalleen käsitys mitä 3D-suunnittelu yleisesti ottaen on ja kuinka sitä toteutetaan. Työn tärkeimpänä tavoitteena oli antaa lukijalleen perusteet Creo Parametric -mallinnusohjelmalla tapahtuvaan parametrisen mallinnukseen.

Työssä esiteltiin lyhyesti 3D-mallinnuksen elinkaarta ja 3D-mallinnuksen tarjoamia hyötyjä. Lukija tutustui CADD-suunnittelussa yleisimmin käytettyihin ohjelmiin sekä mallinnustapoihin. Yksi yleisimmistä mallinnustavoista, parametrinen mallintaminen, oli työn keskipisteenä ja tämä mallinnustapa esiteltiin lukijalle. Parametrisen mallintamisen esittelyyn käytettiin apuna Creo Parametric -mallinnusohjelmaa, jonka parametriset työkalut esiteltiin käyttäjälle esimerkkien avulla. Lopuksi mallinnettiin kolme parametrissa mallinnusharjoitusta.

Työn tuloksena mallinnetut harjoitukset tutustuttavat käyttäjän Creon parametriin työkaluihin ja antavat hyvän käsityksen kyseisten työkalujen toimintaperiaatteista. Harjoitusten avulla käyttäjän on helppo tutustua käytännössä Creon parametriikkaan ja ne tarjoavat hyvät perusteet parametrisen mallinnuksen aloittelijoille.

Avainsanat 3D-mallintaminen, Creo Parametric, mallinnusohjeet, parametrinen mallintaminen, Top-down -mallintaminen,

Sivut 82 sivua, joista liitteitä 59 sivua

Mechanical Engineering
Riihimäki

Author Joonas Kirves **Year** 2019

Subject Parametric 3D-modelling

Supervisors Teppo Syrjäaho

ABSTRACT

Development in the information technology, especially during this millennium, has enabled the fast development of the 3D-modelling software and the role of the 3D-models have reached a whole new purpose as a part of the present-day designing process. The purpose of this Bachelor's thesis project was to give the reader an understanding of what 3D-modelling is and how it is conducted. The main objective of this thesis project was to provide the reader with the basic knowledge of parametric modelling done with Creo Parametric.

The life cycle of 3D-modelling as well as the advantages of 3D-modelling were introduced. The reader will become familiar with the most commonly used modelling software and the modelling methods used in CADD. One of the more often used methods, parametric modelling, was the main focus of this thesis. Parametric modelling was demonstrated to the reader with the help of 3D CAD software, Creo Parametric. Creo's tools for parametric modelling were introduced to the reader and finally, three modelling exercises were carried out.

Each of the three modelling exercises familiarizes the user to Creo's parametric tools and helps to build up an understanding on how to use these particular tools. The modelling exercises provide an easy way to orient with the Creo's parametric elements and offer a basic know-how for a parametric modelling beginner.

Keywords 3D-modelling, Creo Parametric, modeling instructions, parametric modelling, Top-down modeling,

Pages 82 pages including appendices 59 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TIETOKONEAVUSTEINEN 3D-MALLINTAMINEN	2
2.1	Historia	2
2.2	CADD-suunnittelun hyödyt.....	3
2.3	Yleiset 3D-mallinnusohjelmat.....	4
2.3.1	Creo Parametric.....	6
2.4	Mallinnustavat	7
2.4.1	Bottom-up	7
2.4.2	Top-down	8
3	PARAMETRINEN MALLINTAMINEN CREOLLA.....	9
3.1	Skeleton-mallit.....	10
3.2	Relaatiot	10
3.3	Parametrit.....	12
3.4	Program	13
3.5	Family Table.....	14
4	LIITTEIDEN MALLINNUSHARJOITUKSET	16
4.1	Sovitelevy.....	16
4.2	Kaappi.....	17
4.3	Hylsysarja.....	19
5	YHTEENVETO.....	20
	LÄHTEET.....	22

Liitteet

Liite 1	Sovitelevyn parametrinen mallinnus
Liite 2	Kaapin parametrinen mallinnus
Liite 3	Family Table

1 JOHDANTO

3D-mallintaminen on iso osa nykyaikaa ja se tarjoaa laajalti uusia mahdollisuuksia eri toimialojen yrityksille. Mallinnuskohteiden koko vaihtelee pienistä mikrosiruista jopa kokonaisten kaupunkien 3D-malleihin. Nykypäivänä 3D-malleja käytetään muun muassa tuotteiden markkinointiin, tuotteiden ongelmakohtien hahmottamiseen sekä prototyyppien ja eri lopputuotteiden valmistukseen. 3D-mallintaminen tarjoaa valtavan määrän mahdollisuuksia, joita ei ennen nykyaikaisia mallin-
nusohjelmia voitu edes kuvitella todellisiksi.

Jo opiskeluaikana olin erittäin kiinnostunut 3D-mallinnuksesta. Nykyisin työskentelen ammattini puolesta päivittäin parametrusten mallien parissa, ja tämä sai minut haluamaan jakamaan tietotaitoani opinnäytetyön merkeissä vielä opiskeluvaiheessa oleville 3D-mallinnuksesta kiinnostuneille. Opiskeluaikanani 3D-mallinnuksen tunneilla keskityttiin ohjelman ominaisuuksien harjoitteluun, joka on olennaisin osa myös parametrusta mallinnusta. Ilman perustaitoja, parametrusta mallinnusta on mahdotonta toteuttaa. Opinnäytetyöni tarkoituksena on opettaa aloittelijoille parametrin 3D-mallinnuksen perusteita ja tätä opinnäytetyötä apuna käyttäen aloittelijoiden on helppo tutustua Creon parametriikkaan sekä syventää yleistä tietämystä 3D-mallinnuksesta ennen työelämään siirtymistä.

Tämä opinnäytetyö koostuu kolmesta pääaihealueesta. Ensimmäisessä pääluvussa käydään yleisesti läpi tietokoneella tapahtuvaa 3D-mallinnusta. Lisäksi luvussa käsitellään 3D-mallinnuksen alkuvaiheita, esitellään yleisimpiä 3D-mallinnohjelmaa sekä käydään läpi erilaisia mallinnustapoja ja tyyliä, joita suunnittelijat käyttävät 3D-mallinnuksessa. Toinen luku keskittyy erityisesti parametriikan käyttöön mallinnuksessa ja syventyy ensimmäisessä pääluvussa pohjustettuun *top-down* -mallinnukseen. Työn toteutukseen valitun Creo Parametric 4.0 -mallinnohjelman parametriset työkalut esitellään tässä luvussa esimerkkien avulla. Kolmantena pääaihealueena toteutetaan Creolla kolme harjoitustehtävää, joita voidaan käyttää lisäopintomateriaalina Hämeen ammattikorkeakoulun kursseilla. Ensimmäinen tehtävä on yksinkertainen sovitelevyn mallinnus, jossa harjoitellaan parametrin mallinnuksen perusteita ja tutustutaan Creon työkaluihin. Toisessa tehtävässä rakennetaan kaappi, jolle luodaan parametriikka Creon eri työkaluja käyttäen. Viimeinen tehtävä antaa perusteet Creon Family Table -työkalun käyttöön.

2 TIETOKONEAVUSTEINEN 3D-MALLINTAMINEN

Tietokoneavusteinen suunnittelu eli CADD (*computer-aided design and drafting*) on suunnitteluprosessi, jossa tietokoneella käytettävää CADD-ohjelmaa hyödynnetään erilaisiin suunnittelun ja mallinnuksen sovelluksiin. CADD-suunnittelulla viitataan kaikkeen tietokoneiden avulla tapahtuvaan suunnitteluun, jotka vaihtelevat yksinkertaisten 2D-piirustusten suunnittelusta haastavien 3D-mallien sekä animaatioiden luomiseen. (Madsen & Madsen, 2012, s. 70) Tämä opinnäytetyö keskittyy ainoastaan 3D-mallinnukseen kone- sekä tuotantotekniikan näkökulmasta eikä siis ota kantaa 3D-mallinnukseen esimerkiksi viihdeteollisuuden näkökulmasta.

2.1 Historia

Italialaista Leon Battista Albertia voidaan pitää yhtenä arkkitehtuurin ja insinöörisuunnittelun ensivaikuttajista. Alberti kirjoitti 1400-luvulla ensimmäiset teokset, joissa hän toi esille tarpeen käyttää piirustuksissa hyödyksi enemmän geometriaa ja hän myös esitti ajatuksen käyttää piirustuksissa useita kuvantoja aikaisemmin käytetyn yhden kuvannon sijaan. Kaksiulotteisten monikuvantoisten piirustusten hyötyjä painotti myös ranskalainen matemaatikko Rene Descartes, joka on myös Karteesisen koordinaatiston keksijä. Tämä koordinaatisto käyttää numeerisia koordinaatteja pisteiden paikantamiseksi avaruudessa kolmen keskenään leikkaavan akselin välillä. Karteesisen koordinaatiston tapa paikantaa pisteitä avaruudesta toimii perustana myös nykyisille CADD-suunnitteluohjelmille. Myöhemmin 1700-luvulla ranskalainen Gaspard Monge vei tätä ajatusta vielä pidemmälle esitellessään niin sanotun kuvailevan geometrisuuden. Tämä geometrinen tapa käyttää tasojen projektiokuvantoja hyödykseen erilaisten teknisten sovelluksien kuvaamiseen ja analysoimiseen. Myös tätä kuvailevaa geometrisuutta hyödynnetään nykyajan CADD-suunnittelussa. (Madsen & Madsen, 2012, s. 42)

Aina 1900-luvun alkuun saakka keksijät ja insinöörit suunnittelivat valmistettavia tuotteita niin sanotulla yhden tuotteen periaatteella. Osia valmistettiin käsintehdyistä luonnoksista sekä liitutauluille piirretyistä piirroksista ja jokainen tuote oli omanlaisensa. 1800-luvulla paljon käytetty tapa oli luoda osasta puinen malli, jonka pohjalta voitiin osia valmistaa suuremmissa määrin. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Henry Ford, joka piirsi autojaan ja niiden osia kolmiulotteisesti liitutauluille luonnoksiksi. Näiden luonnosten pohjalta Ford valmistutti täysmittaisia puisia malleja, joiden pohjalta autoissa käytetyt osat valmistettiin. (Madsen & Madsen, 2012, s. 43)

1800-luvun alun teollinen vallankumous toi mukanaan suuria muutoksia valmistusprosesseihin. Erityisesti tähän aikaan valmistettujen osien vaihdettavuutta haluttiin parantaa. Vaihdettavuudella viitataan identtisesti valmistettuihin osiin annettujen toleranssien sisällä. Vaihdettavat osat tuli olla mahdollista asentaa mihin tahansa tuotteeseen ne olikaan suunniteltu ilman erityistä tilaustyönä tehtävää vaihtoa. Osien vaihdettavuus mahdollisti uusien tuotteiden helpon asennettavuuden ja olemassa olevien tuotteiden helpomman korjauksen. Vaihdettavuuden toteuttaminen oli erityisen haastavaa ja edes 1800-luvun puolessa välissä kehitetyn mikrometrin avulla osien vaihdettavuutta oli haastava saavuttaa. Ilman vaihdettavissa olevien osien konseptia, tarkat osapiirustukset eivät olleet tarpeellisia, mutta näiden keksintöjen ja tarpeiden johdosta konepiirustukset kehittyivät nopeasti 1800-luvun loppua kohden. (Madsen & Madsen, 2012, s. 43)

1960-luvulla otettiin nykyisen CADD-suunnittelun ensiaskeleet ja yhdysvaltalaisen Ivan Sutherlandin kehittämää Sketchpadiä voidaankin pitää ensimmäisenä CADD-työkaluna. Sketchpadilla käyttäjä luonnosteli piirustuksia kynällä kuvaputkinäytölle ja tätä pidettiin aikanaan erittäin innovatiivisena ratkaisuna toteuttaa suunnittelua. (Tornicasa & Di Monaco, 2010, s. 1) 1960-luvulta alkaen CADD-suunnittelu on yleistynyt yleistymistään, mutta erityisesti 1980-luvulta alkaen CADD-suunnittelua alettiin tosissaan pitämään ammattimaisten konepiirustuksien toteutusmenetelmänä. 1980-luvulla tapahtunut tietokoneiden kehitys mahdollisti myös CADD-ohjelmien kehityksen ja jo 1990-luvun aikana CADD-ohjelmat syrjäyttivät perinteisen piirustusten luomisen käsin piirtämällä. Tähän aikaan tarjolla olleet CADD-ohjelmat olivat lähes poikkeuksetta vain 2D-ohjelmia. (Madsen & Madsen, 2012, s. 44) Vuosituhannen vaihteessa 3D CADD-ohjelmat yleistyivät muun muassa Microsoftin Windows-käyttöjärjestelmien ja Intelin prosessorien kehityksen myötä, jotka mahdollistivat tarpeelliset resurssit tietokoneille 3D-ohjelmien pyörittämiseksi (Tornicasa & Di Monaco, 2010, s. 3).

2.2 CADD-suunnittelun hyödyt

3D-mallinnuksesta on nykypäivänä saatu valtava määrä hyötyä koko suunnitteluprosessin edistämiseksi. 3D-mallinnuksen merkitys erityisesti valmistustekniseltä näkökannalta tarjoaa paljon hyötyjä, joita käsin piirretyistä valmistuskuvista tai 2D-mallinuksista ei saatu irti. Nykyaikajan mallinnusohjelmat pystyvät kääntämään luoduista 3D-malleista 2D-piirrustukset, joka on yksi merkittävimmistä käänteistä. Mallinnusohjelmilla voidaan luoda myös niin sanottuja *flat state* -kuvia, joita voidaan suoraan käyttää esimerkiksi ohutlevyosien leikkauksessa. Enää ei tarvitse käsin laskea tarvittavien ohutlevyarkkien määrää tai kokoa. 3D-mallit sekä 2D-piirrustukset voidaan myös pitää helposti tietokoneilla tallessa.

Tämä mahdollistaa myös niiden helpon saatavuuden sekä jakamisen. CADD-mallien sekä piirustusten kopiointi on näin helppoa ja käsin piirretty versio ei ole ainoa kopio piirustuksesta, joka jo osakseen nostaa tuotannon tehokkuutta.

3D-mallien avulla voidaan myös luoda simulaatioita ja tarkastella esimerkiksi valmistettavan kappaleen lujuusominaisuuksia. Enää ei tarvita läheskään niin monia suunnittelun ja tuotteiden validointiin erikoistuneita spesialisteja, vaan tämä tapahtuu 3D-mallinnusohjelmien helpokäyttöisillä ja optimoiduilla työkaluilla. Tämä 3D-maailmassa tapahtuva prototyyppien testaus mahdollistaa tuotteiden testaamisen ennen kuin siitä on edes valmistettu mitään fyysistä versiota. (Tornicasa & Di Monaco, 2010, s. 16)

2.3 Yleiset 3D-mallinnusohjelmat

Markkinoilla on tarjolla todella monia eri valmistajien mallinnusohjelmia erilaisiin käyttäjien tarpeisiin. Ohjelmat ovat keskenään hyvin samanlaisia, mutta tietyt ohjelmat soveltuvat tietynlaiseen suunnitteluun paremmin kuin toiset. Tänä päivänä ohjelmien kehitys niin sanottujen 3D CAD -ominaisuuksien sijaan on keskittynyt enemmän ohjelmien PLM-ominaisuuksien (*Product Lifecycle Management*) kehittämiseen. Lähes poikkeuksetta kaikki ohjelmistot sisältävät helpokäyttöiset suunnittelun validointityökalut sekä renderöinti- ja animointiominaisuudet. (Tornicasa & Di Monaco, 2010, s. 16) Yhtenä viime vuosien kehityskohteenä voidaan mainita myös ohjelmistoihin kehitetyt suoramallinnustyökalut (*direct modelling*). Yleisimmät 3D-mallinnusohjelmat voidaan luokitella kahteen eri luokkaan: keskitason (*mid-range*) ja ylemmän luokan (*high-end*)-ohjelmat. Usein ylemmän luokan ohjelmat tarjoavat paremmat edellytykset erityisesti haastavien geometrisien ominaisuuksien hallintaan ja niihin on sisällytetty kattavat PLM-ratkaisut. (Tornicasa & Di Monaco, 2010, s. 16)



Nykypäivän 3D-mallinnusohjelmien markkinoita hallitsevat pääasiassa neljä suurta ohjelmistotaloa: Dassault Systemés, Autodesk, PTC ja Siemens. Varsinainen vertailu tarjolla olevien ohjelmien välillä on haastavaa ilman ohjelmista omattua käyttökokemusta, mutta tässä opinnäytetyön luvussa annetaan yleinen esittely markkinoilla olevista tuotteista.

Dassault Systemésillä on tarjota kaksi vahvaa kilpailijaa 3D-mallinnusohjelmien markkinoille: SolidWorks ja CATIA. Molemmat ohjelmista ovat paljon kone- ja tuotesuunnittelun alalla käytettyjä tuotteita. CATIA voidaan luokitella niin sanotuksi *high-end*-ohjelmaksi ja se onkin yksi markkinoiden tehokkaimmista 3D-ohjelmista.

Sitä käytetään erityisesti lentokone-, auto- sekä laivateollisuuden haasteisiin sen suurten ja raskaiden kokoonpanojen käsittelykyvyn sekä hyvien pintamallinnusominaisuuksien (*surface modelling*) johdosta. *Mid-range* -luokkaan kuuluva SolidWorks puolestaan tarjoaa käyttäjälleen erittäin helppokäyttöisen käyttöliittymän, joka soveltuu parhaiten esimerkiksi erilaisten kuluttajatuotteiden ja koneiden suunnitteluun. SolidWorks onkin yksi markkinoiden suosituimmista ohjelmista. (Scan2cad, 2017)

Dassault Systemésin CATIAN tapaan Siemensin tarjoama NX on tehokas *high-end* -luokan ohjelmisto, joka CAD-ominaisuuksien lisäksi tarjoaa myös hyvät CAM (*computer-aided manufacturing*) / CAE (*computer-aided engineering*)-työkalut esimerkiksi CNC-koneistuksiin ja FEA-analyysiin. NX on myös laajalti auto- ja ilmailuteollisuuden alalla käytetty mallinnusohjelma ja siihen onkin saatavilla lisäosia näiden alojen tarpeisiin. (Siemens, 2019) Siemens tarjoaa markkinoille myös Solid Edgen, joka *mid-range* -ohjelmalla kilpailee erityisesti SolidWorksin, Autodeskin Inventorin sekä PTC:n Creon kanssa.

Inventor on puolestaan Autodeskin tarjoama 3D-mallinnusohjelma tuote- ja mekaniikkasuunnitteluun. Inventorista on tarjolla Professional ja LT -versiot, jotka eroavat ominaisuuksiltaan LT:n ollessa hieman riisutumpi versio (kuva 1). Professional tarjoaa muun muassa hyvät työkalut ohutlevy- ja runkorakenteiden suunnitteluun. (Autodesk, 2019)

Products	 Inventor Professional 2019 <small>Free Trial Available</small>	 Inventor LT 2019 <small>Free Trial Available</small>
Easy-to-use 3D mechanical design	✓	✓
3D part modeling	✓	✓
Free-form modeling	✓	✓
Direct editing	✓	✓
Real-time design visualization	✓	✓
Assembly design	✓	
Sheet metal design	✓	
Rules-based design/automation	✓	
Catalog/purchased/standard part library	✓	
Frame and weldment design	✓	
Plastic parts design	✓	

Kuva 1. Autodesk Inventor Professional ja LT (Autodesk, 2019)

Myös suomalaisen Vertex Systems Oy:n Vertex G4 on varteenotettava vaihtoehto 3D-markkinoilla. G4 on mekaniikkasuunnitteluun tarkoitettu ohjelma, jonka ominaisuudet soveltuvat hyvin muun muassa muovi- ja valukappaleiden mallinnukseen. Vertex G4 tarjoaa myös erittäin kattavat osa- ja piirrekirjastot käyttäjilleen. Nämä kymmeniä tuhansia valmiiksi mallinnettuja osia sisältävät kirjastot lisäävät ohjelmalla tapahtuvan mallinnuksen tehokkuutta. Myöskään suurten kokoonpanojen suunnittelu ei aiheuta G4:n käsittelytehon ansiosta ongelmia. (Vertex Systems Oy, n.d.)

2.3.1 Creo Parametric

Parametric Technology Corporation (PTC) puolestaan tarjoaa Creo Parametric -ohjelman kilpailemaan muiden ohjelmistotalojen mallinnusohjelmia vastaan. Creo julkaistiin ensimmäisen kerran markkinoille vuonna 1987 PRO/ENGINEER-nimellä ja se oli yksi ensimmäisiä kiinteän mallinnuksen ohjelmia (*solid modeling*). Creo onkin ollut yksi johtavia 3D-mallinnusohjelmia koko historiansa ajan. (Scan2cad, 2018)

High-end -luokan ohjelmaksi lukeutuva Creo Parametric on laajalti käytössä monilla eri teollisuuden aloilla. Creo tarjoaa erittäin vakaan pohjan 3D-maailman tuotesuunnittelulle sekä tuotekehitykselle. Ohjelma antaa käyttäjälleen erinomaiset edellytykset geometrisesti haastavien muotojen luomiseen. (Scan2cad, 2018) Lisäksi Creo sisältää erittäin hyvät kokoonpanojen hallintaominaisuudet ja pystyy käsittelemään suuriakin kokoonpanoja ongelmitta. Creo antaa käyttäjälleen myös mahdollisuuden luoda haluamiaan pikanäppäimiä. Monia peräkkäisiä komentoja voidaan kirjoittaa pikanäppäimiksi muutaman napin painalluksen taakse. Kirjoittajalla itsellään on käytössä esimerkiksi komento ”MM”, joka avaa Creon mittatyökalun sekä ”OD”, jolloin aktiivisen osan/kokoonpanon piirustus aukeaa. Tarkemmin Creon parametrisiin työkaluihin ja niiden soveltamiseen tutustutaan tämän opinnäytetyön luvussa kolme.

Creon on tarjolla todella mittava määrä lisäosia, jotka ovat suunnattuja tiettyjen mallinnus- ja valmistusvaatimusten helpottamiseksi Osa tarjolla olevista lisäosista löytyy kuvasta 2.



Kuva 2. Creon lisäosia (PTC, 2016b, s. 5).

Yhteensopivuutta muiden 3D-mallinnusohjelmien kanssa on kehitetty viime vuosina. Creolla on mahdollista avata yleisimpien ohjelmien kuten Inventorin, CATIAN, NX:n ja SolidWorksin tiedostotyyppinä ilman kyseisten tiedostotyyppien muuntamista Creolle sopiviksi. Creon mallit on myös mahdollista muuntaa muiden ohjelmien natiiveihin tiedostomuotoihin. Creo tukee myös 3D-tulostimien tiedostotyyppinä ja tarjoaa tähän myös oman lisäosansa (*Additive manufacturing extension*).

2.4 Mallinnustavat

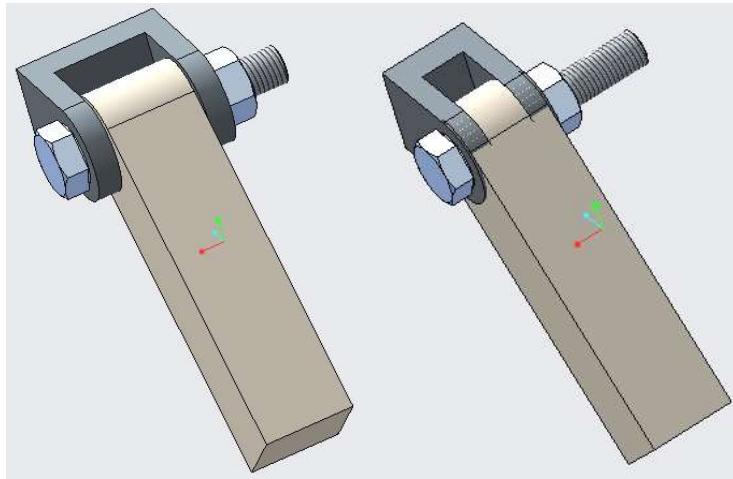
Erilaisia tapoja toteuttaa 3D-mallinnusta on yhtä paljon kuin mallintajiakin. Osamallinnuksen tasolla kukin suunnittelija toteuttaa itseään helpoimmaksi näkemällään tavalla saavuttaakseen mallinnettavalle kappaleelle asetetut vaatimukset. Sama pätee toki kokoonpanojen mallintamiseenkin, mutta yleisesti käytettyjä tyyliä voidaan käyttää hyödyksi erityisesti kokoonpanojen tasolla tapahtuvassa mallinnuksessa. Näitä kokoonpanomallinnuksen tapoja esitellään tämän työn seuraavissa luvuissa.

2.4.1 Bottom-up

Yleisimmin ja eniten käytetty kokoonpanojen mallinnustapa on nimeltä *bottom-up* -mallinnus. Tämä mallinnustapa antaa hyvät perusteet käyttäjälle kokoonpanojen mallinnukseen ja onkin helpoin tapa aloittaa kokoonpanomallinnuksen harjoittelu. Mallinnus perustuu tyyliin, jossa jokainen osa mallinnetaan erillisenä osana. Kun kaikki osat ovat mallinnettu ja tallennettu, kootaan niistä kokoonpano. Kokoonpanossa osat paikoitetaan toisiinsa, eikä osien välille luoda mitään riippuvuuksia toisiinsa tai itse kokoonpanoon. (Solid Solutions, 2014)

Tämän tavan erityisenä heikkoutena onkin kokoonpanojen muokattavuus. Mikäli kokoonpanoon on tarvetta tehdä muutoksia, on muutokset tehtävä osiin erikseen. Yhden osan muokkaaminen saattaa aiheuttaa ongelmia kokoonpanossa ja tämän takia myös muitakin osia joudutaan muokkaamaan. Tästä johtuen myös osien paikoitusta voidaan joutua muuttamaan.

Esimerkkinä tästä voidaan ottaa yksinkertainen kokoonpano (kuva 3), jossa vasemmanpuoleisessa kuvassa tilanne on haluttu. Oikeanpuoleisessa kuvassa nähdään kuitenkin tilanne, jossa haarukan leveyttä on kavennettu. Tällöin haarukkaan pultilla kiinnitetty tanko on liian leveä ja pultti liian pitkä. Esimerkiksi tämän tyylinen ongelma on ratkaistavissa käyttämällä seuraavassa luvussa esiteltävää *top-down* -mallinnustapaa.



Kuva 3. Esimerkki *bottom-up* -tyylin heikkoudesta.

Edellä mainitun heikon muokattavuuden takia tämä mallinnustyyli soveltuukin parhaiten erilaisten standardisoitujen sekä yleisesti käytössä olevien kokoonpanojen rakentamiseen (Solid Solutions, 2014).

2.4.2 Top-down

Toinen usein käytetty mallinnustapa, *top-down* -mallinnus, on oikein käytettynä erittäin tehokas ja monipuolinen tapa mallintaa kokoonpanoja. *Top-down* -mallinnuksessa kokoonpanon tarkoitus määräytyy itse kokoonpanosta. Mallintaessa luodaan riippuvuuksia kokoonpanon ja sen sisältämien osien sekä osien ominaisuuksien välille. Riippuvuuksien määrittämiseen kokoonpanon ja sen osien välille voidaan käyttää esimerkiksi skeleton-mallia. Näiden riippuvuuksien avulla tieto saadaan kulkemaan kokoonpanosta osiin. Kokoonpanossa käytetyille osille ei siis välttämättä tarvitse antaa mitään mittoja, vaan mitat määräytyvät kokoonpanosta saatavien mittojen perusteella. (Solid Solutions, 2014) Syvämpi perehdytys skeleton-malleihin löytyy tämän opinäytetyön seuraavasta luvusta.

Top-down -mallinnus on huomattavasti haastavampi tapa mallintaa kokoonpanoja *bottom-up* -mallinnukseen verrattuna ja vaatii suunnittelua ennen mallinnuksen aloittamista. Tämän tyylin ehdottomana vahvuutena voidaan kuitenkin mainita sen luoma helppous kokoonpanoja muokatessa. Järkevästi suunnitellun ja rakennetun *top-down* -kokoonpanon muokkaus tapahtuu erittäin kätevästi esimerkiksi muutamaa kokoonpanon tai kokoonpanossa olevan skeletonin parametriä muokkaamalla. Tätä kokoonpanon ominaisuutta kutsutaan parametri-suudeksi, jota käsitellään tarkemmin luvussa kolme.

3 PARAMETRINEN MALLINTAMINEN CREOLLA

Tässä luvussa perehdytään tarkemmin *top-down* -mallinnukseen ja sen erilaisiin käyttötapoihin. Näiden käyttötapojen esittelyyn käytetään esimerkkinä Creo 4.0 -ohjelman ominaisuuksia ja työkaluja, joilla parametrin *top-down* -mallinnusta voidaan toteuttaa.

Parametrinen mallinnustapa antaa suunnitteluun insinöörimäisen näkökannan, joka vaatii suunnittelijalta kykyä ennakoita ja määritellä osien, kokoonpanojen sekä niiden ominaisuuksien rajoitteita, relaatioita sekä kokonaisuuksien välisiä riippuvuuksia. Suunnittelijan tulee varmistaa, että jälkeensä tapahtuvat muutokset päivittyvät oikein kaikkiin päätason alaisiin geometrioihin halutulla tapaa. (PTC, 2016a, s. 2) Parametrinen tapa soveltuu erityisesti tapauksiin, joissa tuotteelta vaaditaan tarkkojen valmistusvaatimusten saavuttamista. Myös tuotteet, jotka ovat pääpiirteiltään hyvin samanlaisia, mutta sisältävä pieniä eroavaisuuksia, soveltuvat hyvin parametriseen mallintamiseen. Jatkuvaa muokkaamista vaativat tuotteet, joita on tarvetta muuttaa haluttuihin konfiguraatioihin, antavat hyvät lähtökohdat parametriseen mallintamiseen. (Brunelli, 2017) Suunnittelijalla on usein käytössä niin sanottu ajautuva ja ylläpidetty pohjamalli, johon muokkauksien tekeminen on nopeaa esimerkiksi muutamaa parametriä tai riippuvuutta muuttamalla. Kokoonpanot sisältävät kaikki osat, joita voidaan mahdollisesti valmistaa sellaisenaankin ilman vaadittavia muokkauksia.

Toki parametrisellä mallintamisella on omat heikkoutensakin. Esimerkiksi konseptisuunnittelun toteuttaminen parametrisesti voi olla yllälyönti, sillä tarkoituksena on saada luotua mahdollisimman monia ideoita nopeasti pöydälle. Parametristen mallien päivittäminen on myös hitaampaa, mikäli ilmenee äkillinen tarve muuttaa suunniteltavaa tuotetta. (Brunelli, 2017)

Yksi parhaista ja yleisimmistä tavoista toteuttaa kokoonpanomallinnusta on yhdistää *top-down* ja *bottom-up* -tekniikat. Tällöin luodaan valmiiksi kokoonpanoon tarvittavat osat, vielä kuitenkin määrittelemättä niiden täyttä kokoa. Osien suurpiirteiset ominaisuudet ja muodot voidaan kuitenkin määritellä. Tarkempi esimerkki tähän liittyen tulee esille tämän opinnäytetyön liitessä 2, jossa harjoitustehtävän muodossa mallinnetaan *top-down* ja *bottom-up* -tekniikkoja yhdistäen parametrinen kokoonpano.

3.1 Skeleton-mallit

Erityisesti *top-down* -mallinnuksessa käytettävät skeleton-mallit luovat pohjan kokoonpanoille. Skeleton-mallit sisältävät tietoa mallista, jota voidaan jakaa kokoonpanon alempiin kokoonpanoihin tai osatasolle. Useimmiten alaspäin jaettava tieto on mallin geometrisia päämittoja tai muualta kopioitua geometriaa. Kaikki skeleton-malliin tehtävät muutokset muokkaavat sen alempia komponentteja. (PTC, n.d.)

Usein skeleton-malli luodaan suunnitteluprosessin alkuvaiheessa antamaan suuntaa suunnittelulle. Skeleton-mallia voidaan kuitenkin huoltaa muokata ja niitä voidaan lisätä suunnittelun aikana tarpeellisten muutosten ilmetessä. Creo sijoittaa skeleton-mallit aina muiden kokoonpanon komponenttien edelle, jolloin se myös generoi skeleton-mallit ensimmäisenä. (PTC, n.d.)

Skeleton-mallit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: normaalit skeleton-mallit sekä liikeskeletonit (*motion skeletons*). Erityisesti normaaleilla skeletoneilla pyritään luomaan runko mallinnettavalle kokoonpanolle. Skeletonissa voidaan käyttää niin tasoja kuin akseleita ja koordinaattipisteitä määrittämään kokoonpanon päämittoja, kokoonpanon osien paikoituksia ja jopa osien ominaisuuksia esimerkiksi luonnoksien (*sketch*) avulla. Yksi skeleton-mallin tärkeimmistä tarkoituksista on myös parantaa kokoonpanojen vakautta. Kokoonpanolla saattaa olla useita eri konfiguraatioita ja tällöin skeleton-malliin voidaan sisällyttää kaikille eri konfiguraatioille tarpeelliset paikoitukset ja ominaisuudet. Kokoonpanon osat paikoitetaan skeleton-malliin, jotta vältetään komponenttien välisten riippuvuuksien syntyminen. (PTC, n.d.) Käytännön esimerkki skeleton-mallin luomiseen ja käyttöön löytyy tämän opin näytetyön liitteestä 2.

3.2 Relaatiot

Relaatiot ovat suunnittelijan antamia yhtälöitä mallin parametrien ja käytössä olevien funktioiden sekä komentojen avulla. Relaatioden avulla suunnittelija voi määrittellä ja ohjata suunniteltavan kappaleen tarkoitusta ja lopputulosta. Tämä tapahtuu määrittelemällä riippuvuuksia komponenttien ja niiden ominaisuuksien sekä kokoonpanojen ja niissä olevien komponenttien välille. (PTC, n.d.)

Relaatioita voidaan käyttää suunnittelun ohjaamiseen esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Kokoonpanoissa ja osissa olevien mittojen arvojen määrittely.
- Mallissa tapahtuvien muutoksien määrittely ja rajaaminen.
- Rajojen määrittely (esimerkiksi reiän etäisyyden pysyminen samana reunasta tehdystä muutoksesta riippumatta).
- Mallin tai kokoonpanon eri osien ehdollisten suhteiden määrittely (esimerkiksi IF-lauseen avulla).

Taulukko 1. Relaatioissa käytössä olevat matemaattiset funktiot. (PTC, n.d.)

Function	Description
sin(x), cos(x), tan(x)	Standard trigonometric functions, where x is an angular value in degrees
asin(x)	Arc sine function, where the value of x is between -1.0 and 1.0. Result is the angular value in degrees
acos(x)	Arc cosine function, where the value of x lies between -1.0 and 1.0. Result is the angular value in degrees.
atan(x)	Arc tangent function, where x is a numeric value. Result is the angular value in degrees
atan2(y,x)	Arc tangent function of y/x, where x and y are any numeric values. Result is the angular value in degrees.
sinh(x)	Hyperbolic sine function, where the value of x lies between -85.0 and 85.
cosh(x)	Hyperbolic cosine function, where the value of x lies between -85.0 and 85.
tanh(x)	Hyperbolic tangent function, where the value of x lies between -85.0 and 85.
sign(x,y)	Sign transfer of y to x. If y<0, the result is -abs(x); if y>0, the result is abs(x)
mod(x,y)	Remainder function, that is $x - \text{int}(x/y) * y$, where int() is "integer part of". The sign of the result is always the same as the sign of x.
if(c,x,y)	The "if" test or the switching functions, where c is the condition, and x and y are the returned values. If condition result is a non-zero value, the result of the function is x; if not, the result of the function is y.
min(x,y)	Returns either x or y, which ever is the minimum value. If $x > y$, the result of the function is x; if $x \leq y$, the result of the function is y.
max(x,y)	Returns either x or y, which ever is the minimum value. If $x < y$, the result of the function is x; if $x \geq y$, the result of the function is y.
log(x)	Common logarithm (logarithm to the base 10)
ln(x)	Natural logarithm (logarithm to the base e)
exp(x)	e to an exponential degree
pow(num1,num2)	Obtains the value of num1 to the power num2
sqrt(x)	Square root of x
abs(x)	Returns the absolute value of x. If $x \geq 0$, the result of the function is x; if $x < 0$, the result of the function is -x.

Taulukko 2. Relaatioissa käytössä olevat komennot (PTC, n.d.)

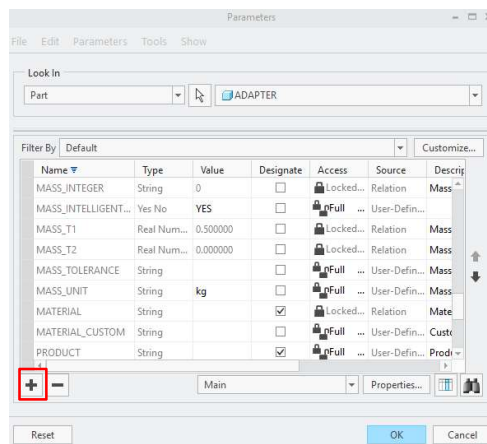
Arithmetic Operators	
+	Addition
-	Subtraction
/	Division
*	Multiplication
^	Exponentiation
()	Parentheses for grouping

Assignment Operator	
=	Equal to

Comparison Operator	
==	Equal to
>	Greater than
>=	Greater than or equal to
!=, <>, ~=	Not equal to
<	Less than
<=	Less than or equal to
	Or
&	And
~, !	Not

3.3 Parametrit

Creon parametreihin voidaan käsin lisätä niin monta parametria kuin vain halutaan. Tyypillisin tarkoitus parametreillä on määrittellä arvo halutulle mitalle. Myöhemmin parametria voidaan käyttää esimerkiksi relaatioissa. Parametrejä voidaan lisätä avaamalla parametrit "Tools"-välilehdeltä ja lisäämällä niitä pluspainikkeesta ikkunan alareunassa (kuva 4).



Kuva 4. Parametrin lisääminen käsin.

Parametrejä voi olla neljää eri tyyppiä:

- Numero – tällöin parametrille annetaan numeraalinen arvo.
- Jono (*String*) – tällöin parametrille annetaan arvoksi merkkejä (voidaan käyttää esimerkiksi osien nimeämiseen).
- Kyllä/Ei (*Yes/No*) – tällöin parametrin arvo on joko Y tai N.
- Kokonaisluku (*Integer*) – tällöin parametrille annetaan arvoksi kokonaisluku.

Vaihtoehtoisesti parametrejä voidaan lisätä myös relaatioiden avulla antamalla parametrin nimi ja haluttu arvo lausekkeeksi relaatioihin (esimerkiksi PAKSUUS = d10). Tällöin ohjelma lisää kyseisen PAKSUUS-parametrin *Local Parameters* -listaan ja parametrin arvo määräytyy relaatioiden mukaan. Parametri voi olla myös käyttäjän itse määrittelemä (*user-defined*), jolloin sen arvo voidaan muokata parametritaulukosta käsin. Tällöin relaatioissa lauseke on toisin päin (d10 = PAKSUUS). Tämä vaatii parametrin lisäämisen käsin listaan ennen relaation antamista. Parametrin arvo voidaan määrittellä myös Programilla ajautuvaksi.

3.4 Program

Jokainen malli Creossa sisältää listan mallin tärkeistä suunnitteluvaiheista ja parametreistä, joita voidaan muuttaa, kun uusia suunnittelumääritelmiä ilmenee. Creossa Program voidaan avata Tools-välilehdeltä niin osissa kuin kokoonpanoissakin. Tyypillisesti Program eli suunnittelun listaus sisältää suunnittelun muuttujat arvoineen, IF-ELSE-lauseita sekä mallin relaatiot. Siinä on myös sisällytettyinä lista kaikista mallin ominaisuuksista (*features*), osista sekä kokoonpanoista, joita voidaan suunnittelun vaatimuksista riippuen poistaa (*suppress*) kokoonpanosta tai esimerkiksi sisällyttää vain tiettyyn konfiguraatioon. Sen sijaan, että Programia muokattaisiin käsin, on mahdollista myös käyttää työkansiota (*working directory*) löytyvää valmista tekstitiedostoa käyttäen *Read File* -toimintoa. (PTC, 2004)

Kaikki Creon relaatioissa olevat komennot ovat myös käytössä Programissa (taulukko 1 ja taulukko 2). Näiden lisäksi Program sisältää myös oman listansa komentoja, joista myös osa on käytössä relaatioiden puolella (taulukko 3). Tarkemmin Programin käyttöön päästään tutustumaan tämän opinnäytetyön liitteistä 1 ja 2 löytyvissä harjoituksissa.

Taulukko 3. Programissa käytössä olevat komennot.

Komento	Selitys
ADD PART ADD SUBASSEMBLY ADD COMPONENT END ADD	Lisää osan, alikokoonpanon tai komponentin kokoonpanoon
CEIL(x.y)	Pyöristää arvon seuraavaan tasalukuun ylöspäin
EXECUTE ... END EXECUTE	Luo linkin seuraavaan alikokoonpanoon; alikokoonpano vaatii INPUT lauseen
EXTRACT	Poimii String-tyyppin parametristä halutut merkit
FLOOR(x.y)	Pyöristää arvon seuraavaan tasalukuun alaspäin
IF ELSE ENDIF	Vertailuun käytetyt komennot, voidaan käyttää esimerkiksi antamaan sääntö osan olemassaolosta kokoonpanossa
INPUT ... END INPUT	PROGRAM pysähtyy ja pyytää oikeita arvoja, ellei EXECUTE käskyä ole käytetty ylemmässä kokoonpanossa
ITOS(x)	Muuntaa numeron String-tyyppin parametriksi
RELATIONS ... END RELATIONS	Relaatio-komento PROGRAM:ssa
SUPPRESSED	Komento ominaisuuden, osan tai alikokoonpanon suppressoimiseksi
/*	Kommenttirivi

3.5 Family Table

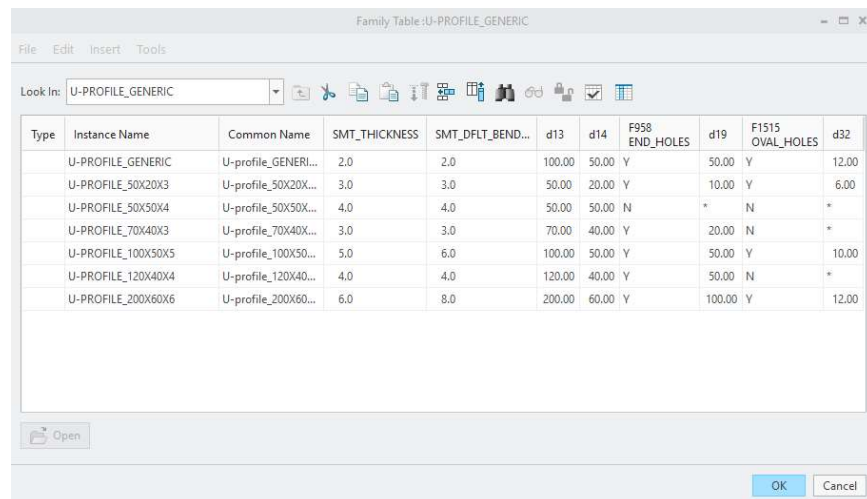
Creon Family Table on keskenään hyvin samanlaisten osien ja kokoonpanojen tai niiden ominaisuuksien kirjastoja. Kappaleissa on kuitenkin pieniä eroavaisuuksia, jotka voivat olla esimerkiksi kappaleen pituus, kokoonpanossa olevien pulttien määrä tai osassa olevan reiän halkaisija. Esimerkiksi voidaan ottaa standardisoidut pultit, joille on usein työympäristöissä luotu Creolla Family Table -kirjastot. Pultit ovat keskenään hyvinkin samanlaisia, mutta niiden kannat saattavat olla erilaisia, pulttien pituudet ja koot vaihtelevat sekä kierteet saattavat olla erilaiset (täyskierteiset ja osakierteiset pultit).

Creon Family Table -kirjastoja käyttämällä voidaan helposti luoda suuria määriä osia ja tallentaa ne helposti kompaktiksi kirjastoksi, josta niitä on helppo käyttää. Niiden käytöllä voidaan myös vähentää osien suunnitteluun käytettyä aikaa, sillä kaikkia osia ei tarvitse mallintaa erikseen. Sen avulla voidaan myös luoda osiin pieniä variaatioita, joutumatta luomaan jokaiselle osalle erikseen relaatioita muutoksen tekemiseksi. Family table -taulukko voidaan myös tulostaa, jolloin luotua taulukkoa on mahdollista käyttää osien katalogeissa.

Käytännössä Family Table -kirjastot on siis riveistä ja kolumneista koostuvia taulukkoja, jotka sisältävät seuraavat kolme komponenttia:

- Niin sanottu geneerinen pohjamalli, johon kaikki taulukon eri versiot pohjautuvat.
- Mitat sekä parametrit, ominaisuuksien numerot sekä muut tarpeelliset käyttäjän valitsemat muuttujat.
- Nimet kaikille taulukon jäsenille ja arvot vastaamaan kohdan kaksi muuttujia.

Family Table -taulukoissa rivit sisältävät kaikki geneeriseen osaan pohjautuvat instanssit ja niille annettavat arvot, kun taas kolumnit puolestaan sisältävät kaikki muuttujat (kuva 5). Geneerinen osa on taulukon ensimmäisellä rivillä. Geneeristä osaa on mahdollista muokata ainoastaan osasta itsestään ja osaa muokkaamalla voidaan lisätä tai poistaa haluttuja taulukon ominaisuuksia.



Type	Instance Name	Common Name	SMT_THICKNESS	SMT_DFLT_BEND...	d13	d14	F958 END_HOLES	d19	F1515 OVAL_HOLES	d32
	U-PROFILE_GENERIC	U-profile_GENERI...	2.0	2.0	100.00	50.00	Y	50.00	Y	12.00
	U-PROFILE_50X20X3	U-profile_50X20X...	3.0	3.0	50.00	20.00	Y	10.00	Y	6.00
	U-PROFILE_50X50X4	U-profile_50X50X...	4.0	4.0	50.00	50.00	N	*	N	*
	U-PROFILE_70X40X3	U-profile_70X40X...	3.0	3.0	70.00	40.00	Y	20.00	N	*
	U-PROFILE_100X50X5	U-profile_100X50...	5.0	6.0	100.00	50.00	Y	50.00	Y	10.00
	U-PROFILE_120X40X4	U-profile_120X40...	4.0	4.0	120.00	40.00	Y	50.00	N	*
	U-PROFILE_200X60X6	U-profile_200X60...	6.0	8.0	200.00	60.00	Y	100.00	Y	12.00

Kuva 5. Esimerkki Creon Family Table -taulukosta.

Jokaiselle taulukon instanssille voidaan määrittää mitkä kaikki geneerisen osan ominaisuudet ja parametrit halutaan mukaan kuhunkin instanssiin valitsemalla taulukon vetovalikoista joko Y tai N (Yes/No). Mikäli halutaan muuttaa taulukkoon valittua mitta, voidaan sille antaa numeraalinen arvo taulukkoon. Jokaisella muuttujalla, joka on mitta, on oltava numeraalinen arvo taulukossa.

Vaihtoehtoisesti on myös mahdollista antaa arvoksi tähti (*), jolloin kyseinen mitta käyttää geneerisen osan arvoa. Kaikki geneerisen mallin ominaisuudet, jotka eivät ole mukana taulukossa, tulevat automaattisesti mukaan jokaiseen taulukon instanssiin. Mikäli geneerisellä osalla on esimerkiksi parametri PITUUS, jonka arvo on 1000, on kaikilla instansseilla sama pituus. (PTC, n.d.) Pituuden arvoa voidaan muokata lisäämällä kyseinen parametri taulukkoon, ja antamalla kullekin instanssille haluttu pituuden arvo. Tarkempi ohjeistus työkalun käyttöön löytyy tämän opinnäytetyön liitteestä 3, jossa harjoitustehtävän muodossa luodaan Family Table -taulukko.

4 LIITTEIDEN MALLINNUSHARJOITUKSET

Mallinnusharjoituksiin valikoitui kolme toisistaan poikkeavaa harjoitusta. Kahden ensimmäisen harjoituksen pääpainona oli vain ja ainoastaan parametrisuuden toteuttaminen mallinnettavissa kappaleissa, eikä esimerkiksi valmistusteknisiä vaatimuksia otettu huomioon lainkaan. Kolmannessa harjoituksessa päällimmäisenä tavoitteena oli luoda onnistuneesti Creon Family Table, mutta osasta pyrittiin luomaan mahdollisimman realistinen.

4.1 Sovitelevy

Ensimmäisessä liitteessä luodussa sovitelevyn parametrinen mallinnuksen harjoituksessa pyrittiin tuomaan esille Creon parametriikkaan liittyviä perusasioita kuten parametrit ja relaatiot. Harjoituksessa käyttäjän tuli lisätä sovitelevylle käsin uusia parametrejä, joita käytettiin apuna relaatioiden määrittelyssä. Relaatioiden avulla osan ominaisuuksien ja piirteiden välille luotiin yksinkertaisia riippuvuuksia relaatioiden avulla. Käyttäjä oppi käyttämään IF-lausetta, jolla luotiin riippuvuus levyn halkaisijan ja levyssä olevan kuvion välille (kuva 6).



Kuva 6. Ensimmäisen harjoituksen sovitelevy.

Harjoituksessa tutustuttiin myös Creon Program-työkaluun, jonka avulla määritettiin osassa olevien ominaisuuksien olemassaoloa sen eri konfiguraatioissa. Kyllä/Ei -parametrin ja Programissa kirjoitetun IF-lauseen avulla käyttäjä pystyi määrittelemään reikien viisteiden olemassaolon mallissa (kuva 7). Osasta luotiin niin sanottu *user defined* -malli, jota käyttäjä pystyi "ajamaan" muuttamalla sille luotujen parametrien arvoja.



Kuva 7. Eräs sovitelevyn konfiguraatioista.

4.2 Kaappi

Toisessa harjoituksessa keskityttiin kokoonpanotasolla tapahtuvaan parametriseen mallinnukseen ja yhdisteltiin *top-down* sekä *bottom-up* -mallinnustapoja. Erityisesti tässä harjoituksessa osat olivat erittäin yksinkertaisia ja osien kopiointia käytettiin hyväksi osien mallinnukseen käytettävän ajan vähentämiseksi. Harjoituksessa mallinnetulle kaapille luotiin heti aluksi skeleton-malli. Skeleton-malli sisälsi kaikki osien ja kokoonpanojen paikoitukseen tarpeelliset tasot ja toimi pohjana koko kokoonpanolle, kuten usein *top-down* -tyylissä kuuluukin. Skeletonille lisättiin käsin parametrejä ja luotiin relaatiot, jotka määrittivät kaapin päämitat. Harjoituksessa mallinnettuun kaappiin haluttavien muutosten tekeminen onnistuu siis helposti vain yhden skeletonin parametrejä muuttamalla.

Harjoituksessa käyttäjä oppi löytämään jokaisella skeletonilla, kokoonpanolla ja osalla olevan niin sanotun *Session ID*:n. *Session ID* mahdollistaa parametrin hakemisen halutusta skeletonista, kokoonpanosta tai osasta. Skeletonin parametreistä *Session ID*:n avulla haetut parametrit toimivat perustana osien pituuksien määrittämisessä. Harjoituksessa pääkokoonpanon alikokoonpanot sekä muut osat sidottiin alussa luotun skeletoniin mallin oikean generoitumisen varmistamiseksi.

Myös tässä harjoituksessa käyttäjä pääsi harjoittelemaan Programin käyttöä. Harjoituksessa kokoonpanoon mallinnetusta kaapin yläosasta luotiin ryhmä (*group*) pääkokoonpanoon, jossa oli kaikki yläosaan kuuluvat osat ja kokoonpanot. Kyseistä ryhmää varten luotiin niin skeletoniin kuin pääkokoonpanoonkin Kyllä/Ei -parametri. Tätä parametriä hyödyntämällä luotiin Program-tiedostoon sääntö, jolla määriteltiin kaapin yläosan olemassaolo kokoonpanossa. Parametrin arvon ollessa "YES", yläkaappi on kokoonpanossa ja muutettaessa parametrin arvoksi "NO", kaikki yläkaapin osat suppressoituvat pois kokoonpanosta.



Kuva 8. Yksi harjoituksessa mallinnetun kaapin konfiguraatioista.

Harjoituksen vuoksi ylä- ja alaoven aukeamiseen määrittämiseen käytettiin eri tyyppin parametrejä ja luotiin niille luotiin erilaiset relaatioita. Näin pyrittiin tutustuttamaan käyttäjä erilaisiin mahdollisuuksiin käyttää parametrejä ja relaatioita.

4.3 Hylsysarja

Viimeisessä harjoituksessa käyttäjä loi Creolla Family Table -kirjaston harjoitukseen valitusta hylsysarjasta. Harjoitus aloitettiin mallintamalla hylsystä geneerinen versio. Tähän geneeriseen osaan sisällytettiin kaikille taulukon instansseille tarvittavat piirteet.

Käyttäjä loi harjoituksessa taulukon, johon lisättiin kaikissa hylsyn eri versioissa muuttuvat mitat sekä piirteet. Taulukkoon tehtyjen muutosten myötä käyttäjä oppi poistamaan tietyiltä instansseilta tarpeettomat geneerisen osan piirteet, ja puolestaan lisäämään niiden tilalle uudet, kyseiselle instanssille tarpeelliset piirteet. Taulukkoon käyttäjä määritteli kullekin hylsysarjan jäsenelle halutut mitat harjoitukseen valitun hylsysarjan perusteella.

Geneeriseen osaan luotiin myös *String*-tyypin parametri, jota käytettiin hyödyksi relaatioissa. Tämän parametrin avulla voitiin määrittellä kullekin instanssille oma relaatio hylsyn keskiosan viisteelle. Erityisesti tämä oli tarpeellista taulukon kahdelle viimeiselle instanssille, sillä niissä käytössä oli eri piirteet, kuin niitä edeltävillä hylsyillä (kuva 9).



Kuva 9. M17 hylsy vasemmalla, M8 oikealla.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä yleisesti 3D-maailmassa tapahtuvaa mallinnusta. Työssä käytiin läpi 3D-mallintamisen alkuvaiheita, esiteltiin markkinoiden yleisimpiä mallinnusohjelmia ja tutustuttiin CAD-suunnittelussa yleisesti käytettyihin mallinnustekniikoihin. Erityisesti työssä keskityttiin yhteen yleisimpään mallinnustekniikkaan, parametriseen mallintamiseen, joka esiteltiin työhön valitun Creo Parametric -mallinnusohjelman avulla.

Työssä etsittiin 3D-mallinnuksen tuomia hyötyjä suunnitteluprosesseihin ja näitä hyötyjä löydettiin useita. Erityisesti valmistustekniikan näkökulmasta katsottuna 3D-suunnittelu on tuonut lukuisia käänteen tekeviä muutoksia toimintatapoihin. Nykyajan mallinnusohjelmien kyky kääntää mallinnetuista kappaleista suoraan 2D-piirrustukset ovat nopeuttaneet suunnitteluprosessia merkittävästi. Myös 3D-mallien sekä 2D-piirrustuksien säilöminen, jakaminen ja uudelleen tuottaminen ovat helpottaneet huomattavasti tietokoneiden kehityksen myötä. Toisaalta myös 3D-maailmassa tapahtuva prototyyppien testaus on helpottanut tuotekehitystä.

Kokoonpanomallinnukseen käytetyistä menetelmistä vertailtiin *bottom-up* ja *top-down* -menetelmiä. *Bottom-up* -menetelmälle löydettiin sopivia käyttötapoja, mutta parametriseen mallintamiseen huomattavasti paremmin soveltuvaksi menetelmäksi voitiin todeta *top-down* -menetelmä. *Top-down* -menetelmä tarjoaa huomattavasti vapaammat kädet suunnittelijalle parametriseen mallintamiseen, sillä se mahdollistaa kokoonpanon vapaamman ja helpomman muokattavuuden.

Kolmannessa pääluvussa pureuduttiin Creon parametriseen mallinnukseen työkaluihin. Luvun tarkoituksena oli antaa lukijalle käsitys käytössä olevista työkaluista ennen niiden käyttöä mallinnusharjoituksissa. Kunkin työkalun käyttötarkoitukset esiteltiin ja esimerkkien avulla pyrittiin antamaan käsitys, millaisissa tapauksissa kutakin työkalua voidaan hyödyntää.

Liitteiden harjoituksissa mallinnetut kappaleet ja kokoonpanossa käytetyt osat pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisina. Mallinnuksen pääpaino ei siis ollut haastavien osien ja geometrinen muotojen luomisessa, vaan harjoituksissa pyrittiin keskittymään enemmänkin mallien parametrisiin ominaisuuksiin. Tavoitteena oli käytännön esimerkkien avulla luoda käsitys Creolla tapahtuvasta parametrisestä mallinnuksesta. Tässä tavoitteessa onnistuttiin ja kukin mallinnusharjoitus toteutui alkuperäisen suunnitelman mukaisesti.

Työn haasteena oli suunnitella mallinnusharjoituksista sopivan haastavia ja opettavaisia, kuitenkin tekemättä niistä liian haastavia parametrinen mallinnuksen aloittelijoille. Kaiken kaikkiaan tämä opinnäyte työ toteutui suunnitellusti ja koen, että mallinnusharjoitusten avulla Creon perustaidot omaavan suunnittelijan on helppo lähteä tutustumaan parametrinen mallinnuksen toimintaperiaatteisiin.

LÄHTEET

Autodesk. (2019). Inventor: Professional-grade 3D CAD software for product design and engineering. Haettu 25.4.2019 osoitteesta <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>

Brunelli, M. (2017). Parametric vs. Direct Modeling: Which Side Are You On? Blogijulkaisu 4.7.2017. Haettu 15.3.2019 osoitteesta <https://www.ptc.com/en/cad-software-blog/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on>

Madsen, D. A. & Madsen, D. P. (2012). Engineering Drawing and Design. 5. painos. Delmar: Cengage Learning

PTC. (n.d.). Creo Parametric Online Help. Haettu 2.2.2019 osoitteesta http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/introduction%2Fabout_PTC_creo_help.html

PTC. (2016a). Parametric or Direct Modeling: why you may need both. Haettu 21.1.2019 osoitteesta https://nxrev.com/wp-content/uploads/2016/02/Parametric_or_Direct_Modeling_Why_You_May_Need_Both.pdf

PTC. (2016b). Creo Parametric. Haettu 16.5.2019 osoitteesta https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/CAD/Creo_4/Datasheet-Creo_Parametric-en.pdf

PTC. (2004). Pro/PROGRAM Help Topic Collection. Haettu 1.5.2019 osoitteesta https://community.ptc.com/sejnu66972/attachments/sejnu66972/partsmodeling/27435/1/Creo%20ProPROGRAM_Guid%20Line.pdf

Siemens. (2019). Glossary: Terms and definitions to help you understand the foundational elements of PLM software. Haettu 24.4.2019 osoitteesta <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/>

Solid Solutions. (2014). Top-Down Modelling: Best Practice. Haettu 21.1.2019 osoitteesta <https://www.solidsolutions.co.uk/solidworks/tutorial-videos/top-down-modelling-best-practice.aspx>

Scan2cad. (2017). CATIA vs SolidWorks: Software Comparison. Blogijulkaisu 20.12.2017. Haettu 25.4.2019 osoitteesta <https://www.scan2cad.com/cad/catia-vs-solidworks/>

Scan2cad. (2018). CAD Software Compared: Creo vs SolidWorks. Blogijulkaisu 11.12.2018. Haettu 16.5.2019 osoitteesta <https://www.scan2cad.com/cad/creo-vs-solidworks/>

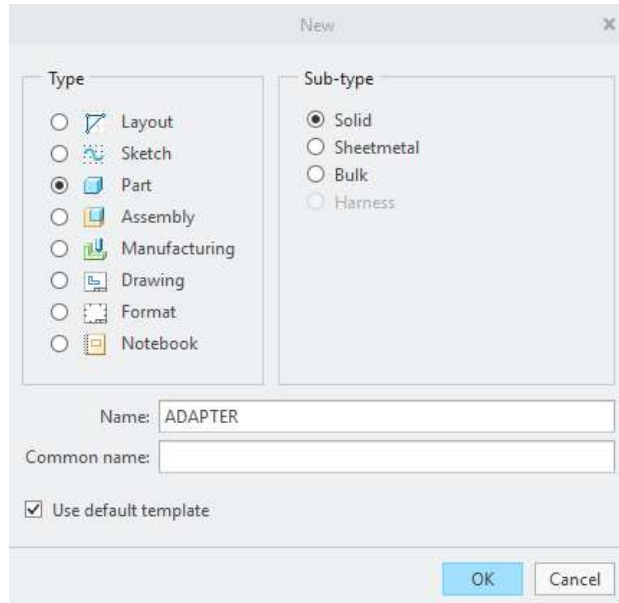
Tornincasa, S. & Di Monaco, F. (2010). The Future and the Evolution of CAD, 14th International Research/Expert Conference. Haettu 15.2.2019 osoitteesta <http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/Keynote-Tornincasa.pdf>

Tritorc. (2014). Impact sockets and accessories. Haettu 12.2.2019 osoitteesta <http://www.tritorc.com/pdf/TRITORC%20IMPACT%20SOCKET.pdf#page=10>

Vertex Systems Oy. (n.d). Vertex G4. Haettu 13.4.2019 osoitteesta <https://www.vertex.fi/documents/99885/106518/VRTXG4F.pdf/83cfe758-b395-4d36-8d5d-172639d24f62>

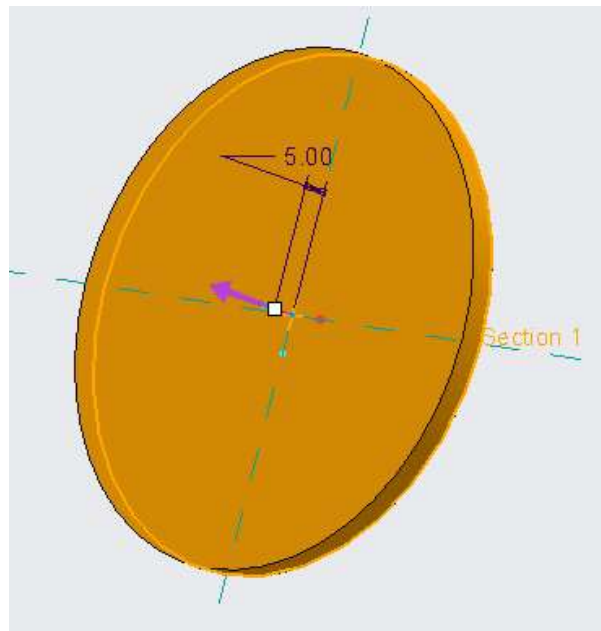
Sovitelevyn parametrinen mallinnus

1. Aloita harjoitus luomalla uusi osa ja nimeä se ADAPTER (kuva 10).



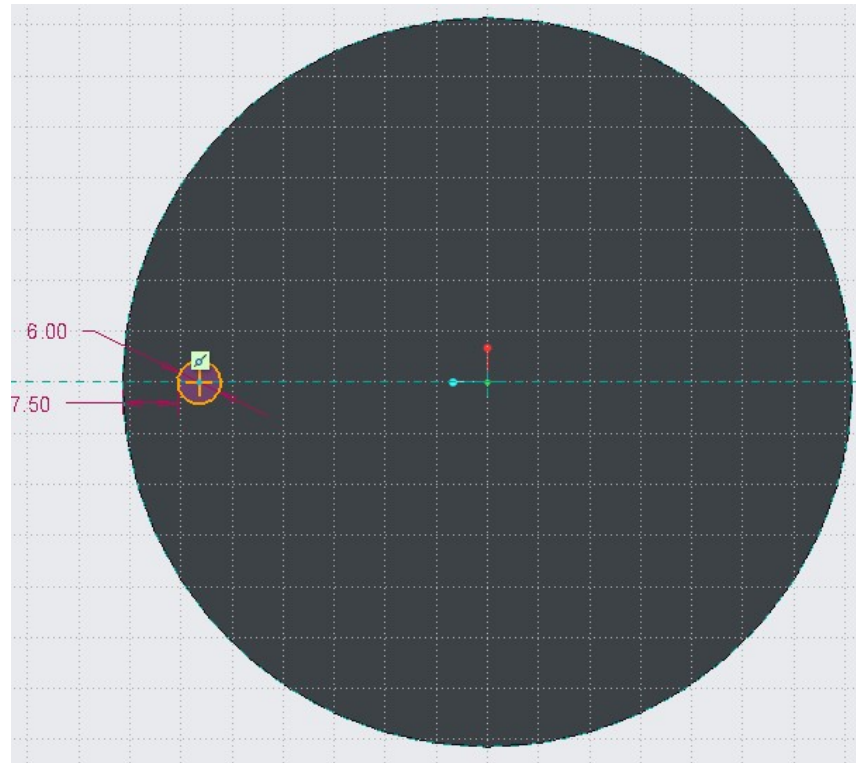
Kuva 10. ADAPTER.

2. Valitse "Model"-välilehdeltä "Extrude" ja pursota TOP -tasoon ympyrä 100mm halkaisijalla (kuva 11).



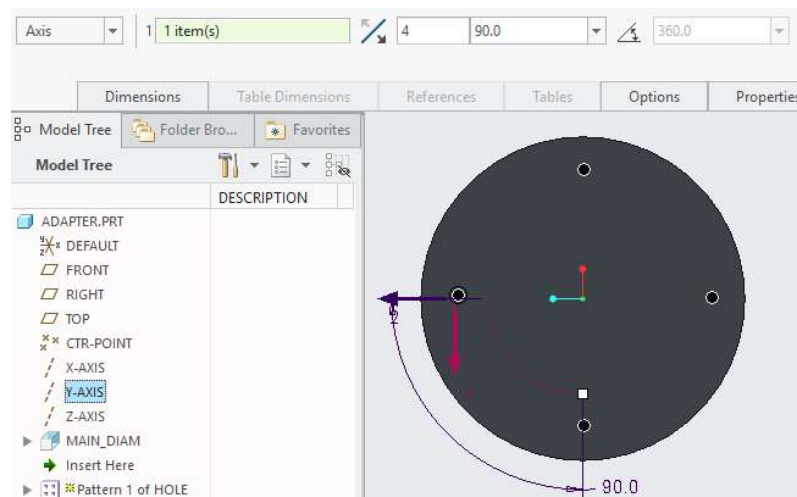
Kuva 11. Sovitelevyn ensimmäinen piirre.

3. Tee uusi pursotus ja valitse pinnaksi ensimmäisen pursotuksen yläpinta. Valitse piirteen reuna referenssiksi ja luonnostele kuvan 12 mukainen reikä. Pursota reikä läpi levyistä (vetovalikosta "Extrude to intersect with all surface").



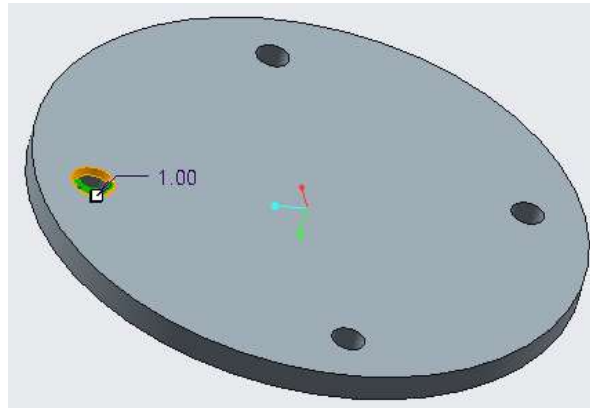
Kuva 12. Reiän pursotus levyyn.

4. Paina hiiren oikealla painikkeella luotua reikää mallipuusta ja valitse "Pattern" ja tee siitä kuvan 13 mukainen.



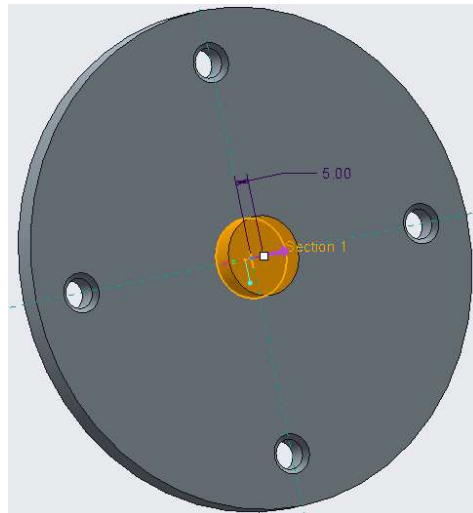
Kuva 13. Reiästä tehty Pattern.

5. Valitse "Chamfer" ja tee kuvan 14 mukainen viiste edellä tehdyn patternin ensimmäiseen reikään. Hyväksytyäsi viisteen luonnin, paina sitä mallipuusta hiiren oikealla painikkeella ja valitse "Pattern". Ohjelman tulisi hakea edellinen patterni automaattisesti referenssiksi.



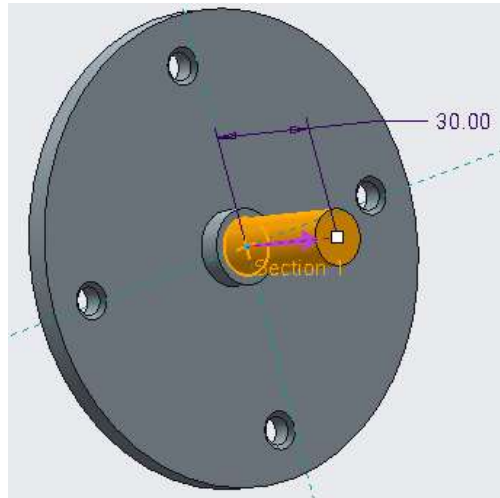
Kuva 14. Reiän viiste.

6. Pursota seuraavaksi levyn keskelle kuvan 15 mukainen ympyrälie-riö. Ympyrän halkaisijalla ei ole vielä tässä vaiheessa merkitystä.



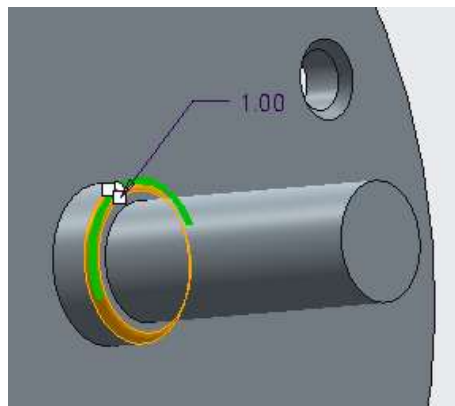
Kuva 15. Pursotus ympyrän keskelle.

7. Tee jälleen uusi pursotus edellisen pursotuksen päälle. Pursotuksen mitoilla ei tässäkään tapauksessa ole vielä merkitystä, mutta tee siitä ympyrän halkaisijasta kuitenkin pienempi kuin kohdan 6 pursotuksesta (kuva 16).

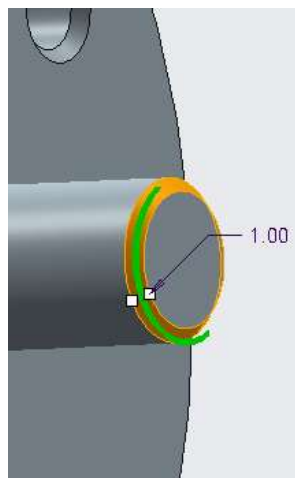


Kuva 16. Uusi pursotus edellisen päälle.

8. Tee seuraavaksi vaipan reunaan pyöritys ja tangon yläpään viiste (kuvat 17 ja 18).

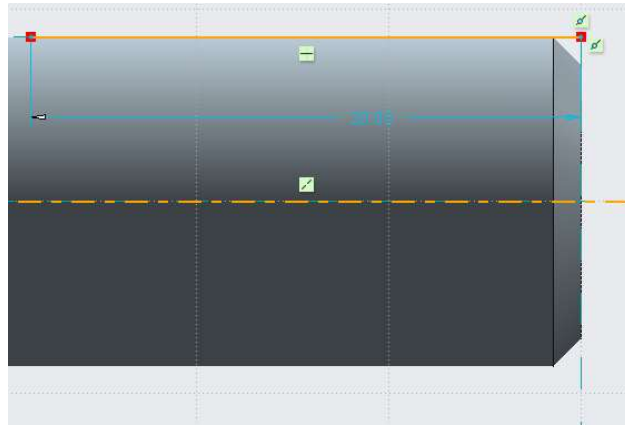


Kuva 17. Pyöritys.



Kuva 18. Viiste.

9. Tee seuraavaksi kierre aikaisemmin pursotettuun tankoon. Aloita kierteen teko valitsemalla "Model"-välilehdeltä "Sketch". Valitse tasoksi RIGHT ja luonnostelee kuvan 19 mukainen viiva. Valitse tangon kylki ja pääty referenssiksi ja muista lisätä keskiviiva tangon keskikohtaan.

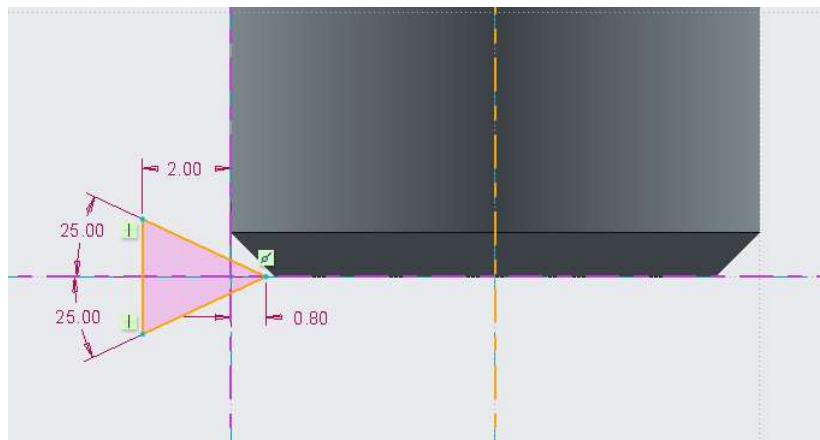


Kuva 19. Luonnosteltu viiva kierrettä varten.

10. Valitse "Model"-välilehdeltä "Sweep"-vetovalikosta "Helical Sweep". Valitse edellisessä kohdassa luotu luonnos (*Sketch*) mallipuusta referenssiksi. Anna hammasjaoksi (pitch) 0.80 ja paina kuvassa 20 ympyröityä painiketta. Luonnostelee kuvan 21 mukainen kolmio tangon kärkeen.

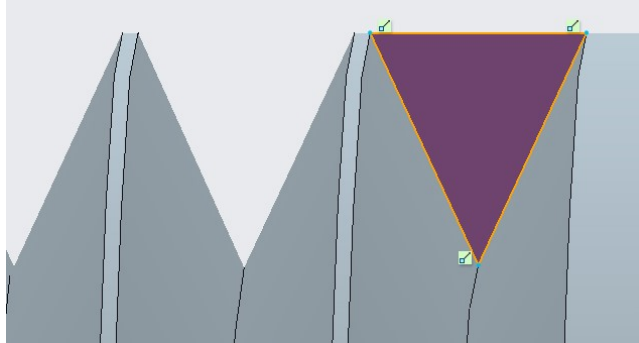


Kuva 20. "Create or edit sweep section".



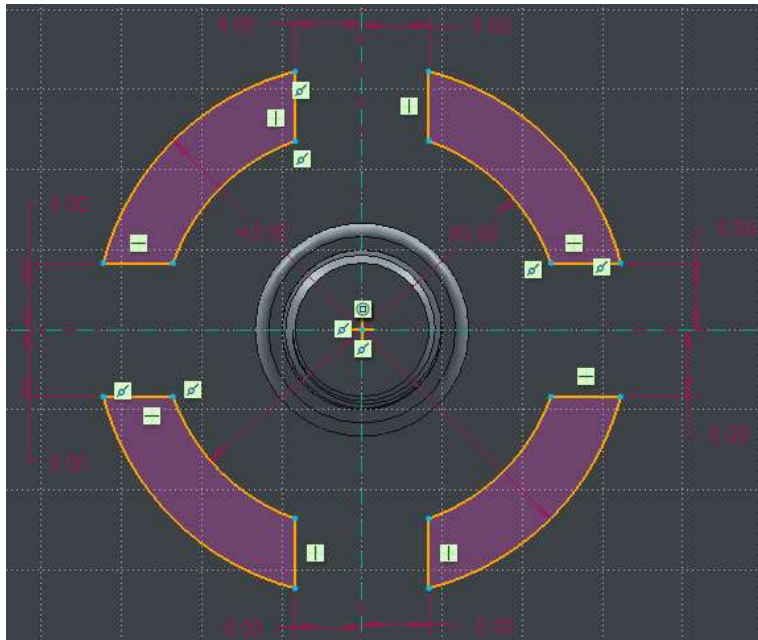
Kuva 21. Kierteen syvyyden ja muodon luonnostelu.

11. Lisää vielä lopetus kierteen päättyyn. Valitse kuvan 22 mukainen pinta, valitse kierteen reunat referenssiksi ja pursota pääty pois.



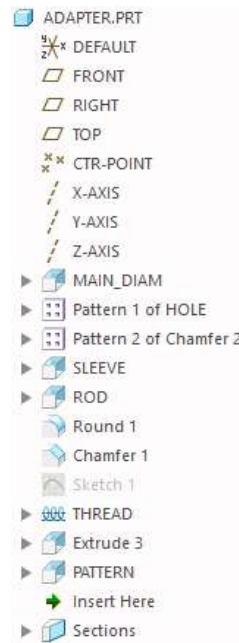
Kuva 22. Kierteen päädyn leikkaus.

12. Lisää vielä viimeiseksi piirteeksi kuvan 23 mukainen kuviointi levyyn.



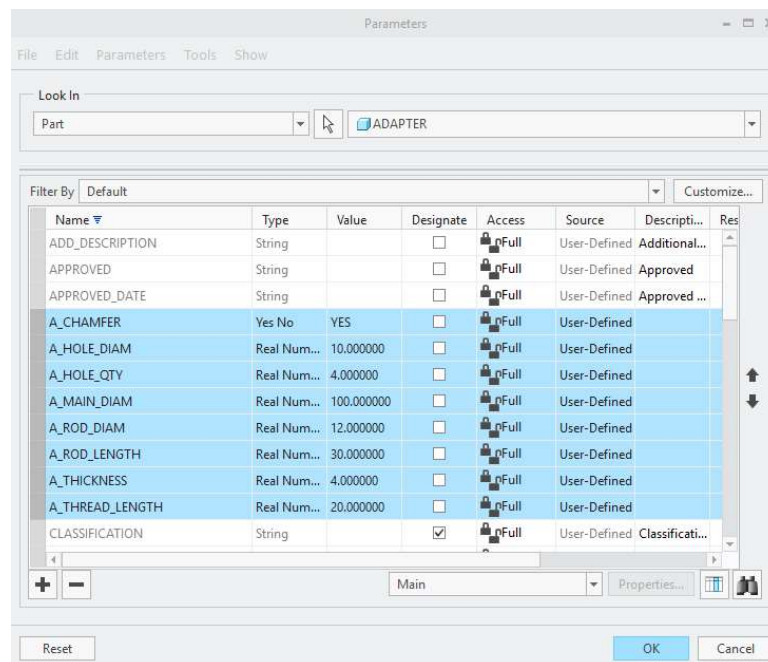
Kuva 23. Kuviointi levyssä.

13. Nimeä mallipuun piirteet helpottamaan niiden tunnistamista (kuva 24).



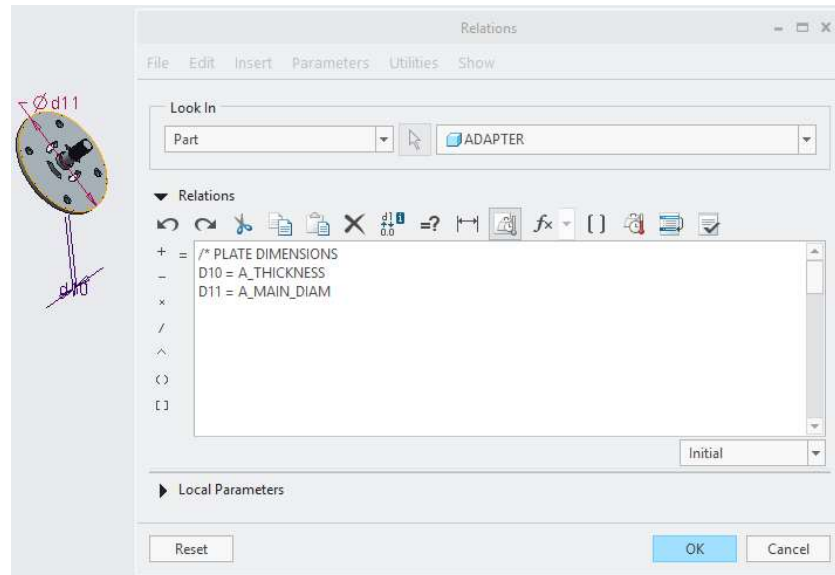
Kuva 24. Uudelleen nimetyt mallipuun piirteet.

14. Avaa seuraavaksi "Tools"-välilehdeltä "Parameters" ja lisää osalle kuvan 25 mukaiset kahdeksan parametriä.



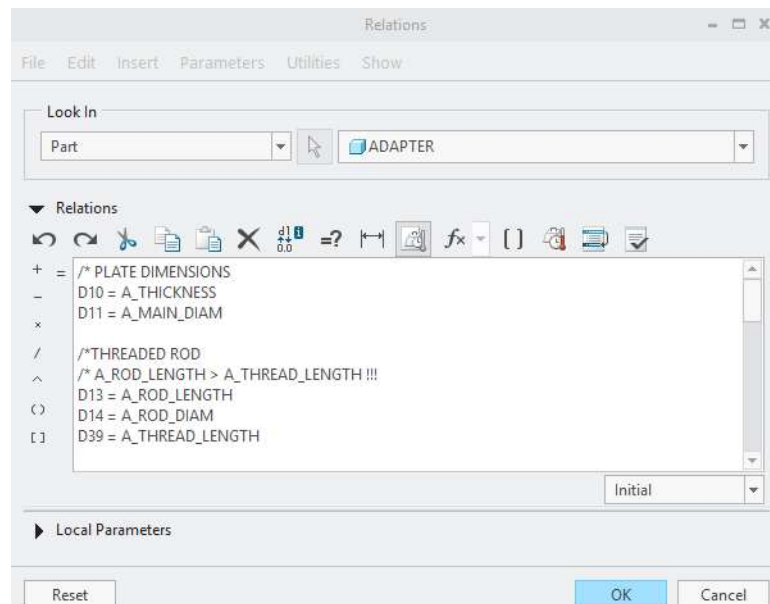
Kuva 25. Lisätyt parametrit.

15. Parametrit lisättyäsi avaa "Tools"-välilehdeltä "Relations". Paina hiiren vasemmalla painikkeella mallipuusta MAIN_DIAM, jolloin saat näkyviin piirteen mittojen tunnisteet. Piirteiden tunnisteet voivat olla sinun tapauksessasi eri kuin harjoituksessa. Lisää relaatioihin kuvan 26 mukaiset relaatiot.



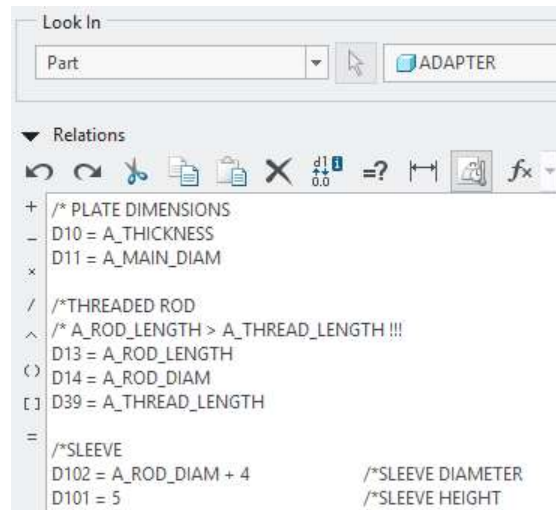
Kuva 26. Ensimmäiset lisätyt relaatiot.

16. Lisää seuraavaksi relaatiot kierretangon pituudelle ja halkaisijalle (kuva 27). Paina mallipuusta ROD nähdäksesi kierretangon tunnisteet. Kierteen pituus määräytyy Sketch1 pituuden mukaan.



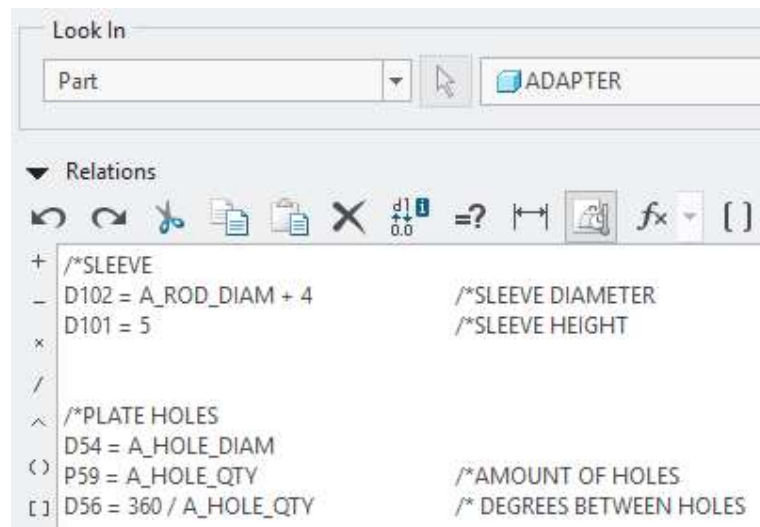
Kuva 27. Kierretangolle lisätyt relaatiot.

17. Lisää kuvan 28 mukaiset relaatiot kierretangon alla olevalle vaipalle (SLEEVE).



Kuva 28. Vaipalle lisätyt relaatiot.

18. Anna relaatiot seuraavaksi sovitelevyä kiertäville rei'ille (kuva 29). Tarvitavat tunnisteet saat näkyviin painamalla mallipuusta Pattern1 ja sen alta mikä tahansa patternin pursotuksista.



Kuva 29. Reikien relaatiot.

19. Luo vielä lopuksi relaatiot levyssä olevalle kuviolle. Relaatioiden tarkoituksena on pitää kuvio sopivan kokoisena suhteessa levyn halkaisijaan. Valitse mallipuusta PATTERN nähdäksesi tunnisteet ja valitse ulko- sekä sisähalkaisija mukaan relaatioihin. Kirjoita kuvan 30 mukaiset IF-lauseet määrittämään kuvion kokoa.

```

Look In
Part ADAPTER

Relations
+
- /*PLATE HOLES
x D54 = A_HOLE_DIAM
x P59 = A_HOLE_QTY /*AMOUNT OF HOLES
/ D56 = 360 / A_HOLE_QTY /* DEGREES BETWEEN HOLES
^
<
() /*PATTERN
[] IF A_MAIN_DIAM >= 80
= D117 = 40
D118 = 30

IF A_MAIN_DIAM >= 130
D117 = 60
D118 = 50

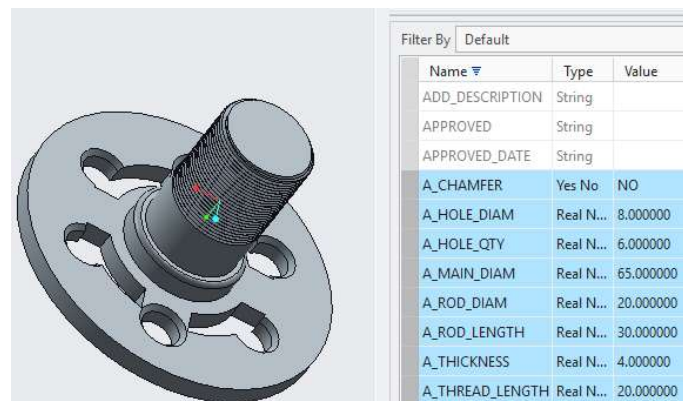
IF A_MAIN_DIAM >= 150
D117 = 80
D118 = 70

ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

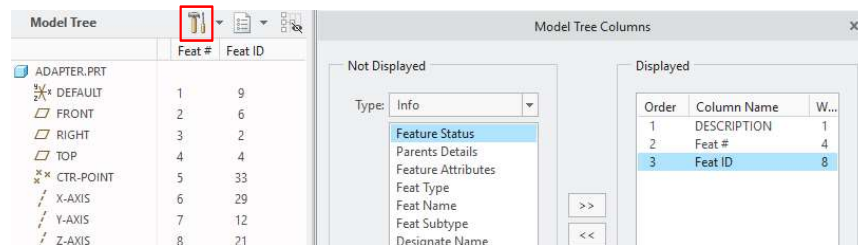
Kuva 30. Kuvioinnille määritetyt IF-lauseet.

20. Avaa parametrit ja anna luoduille parametreille kuvan 31 mukaiset arvot. Hyväksy muutokset ja generoi malli uudelleen (pikanäppäin GG). Kuvasta on huomattavissa, että vaikka A_CHAMFER-parametriä muutettiin, ei viisteille tapahtunut mitään. Myös levyn kuviointi hajotti mallin, koska levyn halkaisija muutettiin tarpeeksi pieneksi.



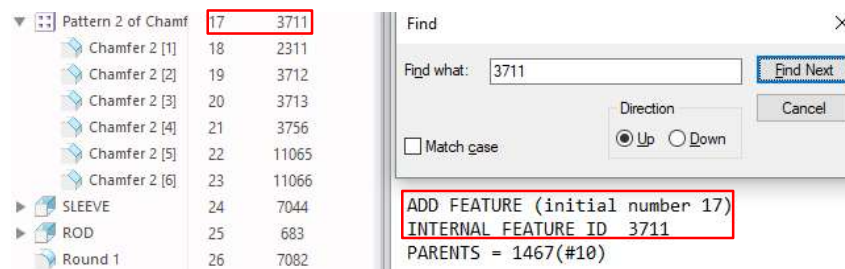
Kuva 31. Väärin generoituva sovitelevy.

21. Korjaa edellisessä kohdassa huomattut mallin generoitumiseen liittyneet ongelmat. Tuo "Feat #" ja "Feat ID" näkyviin mallipuuhan painamalla kuvan 32 ympyröityä painiketta ja valitsemalla "Tree Columns". Siirrä kyseiset kolumnit oikean puoleiseen "Displayed" kohtaan valitsemalla kolumni listasta ja painamalla nuolta oikealle ja hyväksymällä OK painikkeesta.



Kuva 32. Kolumnien lisääminen mallipuuhan.

22. Mene "Tools"-välilehdelle ja valitse "Model Intent"-vetovalikosta "Program". Valitse uudesta ikkunasta "Edit Design", jolloin tekstitiedosto aukeaa. Mikäli ohjelma kysyy "Which Design", ei valinnalla ole merkitystä. Etsi tekstitiedostosta (CTRL+F) kohta, missä Program lisää viisteet rei'ille (kuva 33).



Kuva 33. Program ja Feature ID.

23. Lisää patternin alkuun IF-lause (kuva 34) ja päätä lauseke lisäämällä ENDIF-komento patternin viimeisen jäsenen alle (kuva 35).

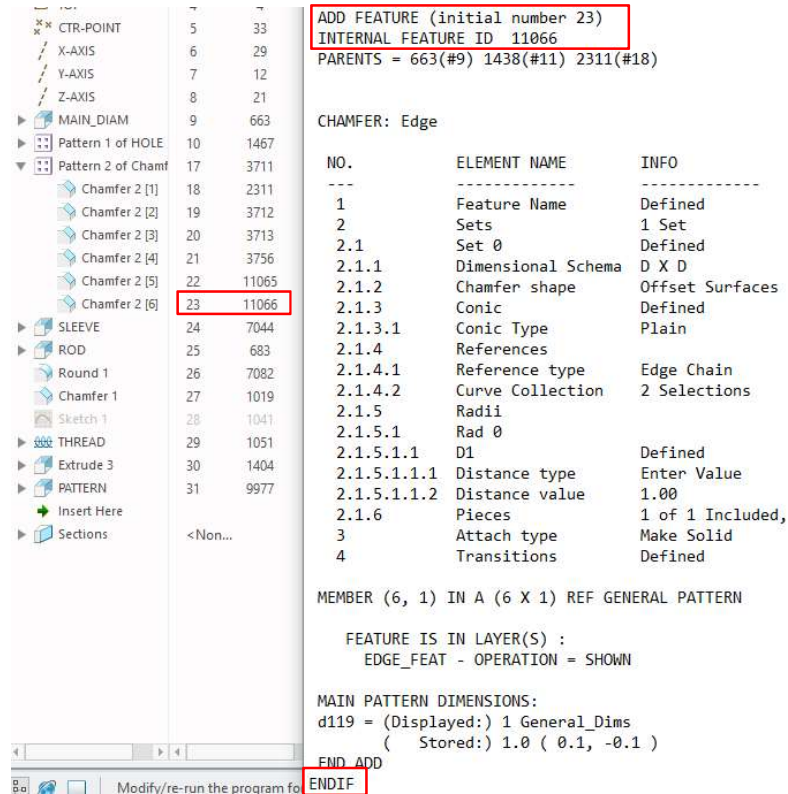
IF A CHAMFER == YES

```
ADD FEATURE (initial number 17)
INTERNAL FEATURE ID 3711
PARENTS = 1467(#10)
```

```
NO. ELEMENT NAME      INFO
-----
1  Type              Reference
```

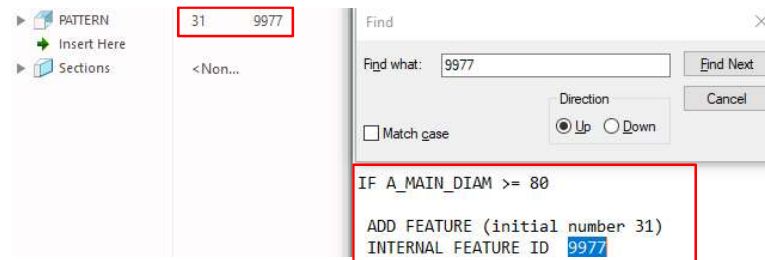
```
LEADER OF A (6 X 1) REF GENERAL PATTERN
```

Kuva 34. Lisätty IF-lause.



Kuva 35. ENDF-patternin viimeisen piirteen jälkeen.

24. Etsi tekstitiedosta seuraavaksi PATTERN-piirre ja lisää myös tälle piirteelle IF-lause samaan tyyliin kuin edellisessä kohdassa (kuva 36). Lisää ENDF-komento ennen seuraavan piirteen alkua (kuva 37).



Kuva 36. IF-lause PATTERN-piirteelle.

```
d118 = (Displayed:) 30 General_Dims Dia
( Stored:) 30.0 ( 0.2, -0.2 )
END_ADD
ENDIF
```

```
ADD FEATURE (initial number 32)
INTERNAL FEATURE ID 654
PARENTS = 6(#2)
```

Kuva 37. ENDF-komento piirteen lopussa.

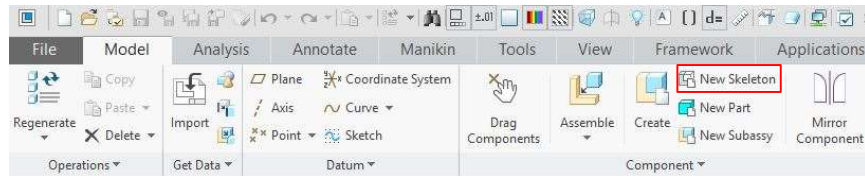
25. Tallenna tekstitiedosto (CTRL+S) ja sulje raksista. Kun ohjelma kysyy: "Do you want to incorporate your changes into the model?", valitse "Yes". Mikäli koodissa on virheitä, "Menu Manager" antaa vaihtoehdot "Abort" ja "Edit". Valitse "Edit" ja etsi tekstitiedostosta virheilmoitus ja pyri ratkaisemaan ongelma.
26. Generoi malli uudelleen ja mikäli reikien viisteet sekä kuviointi häviävät mallista, generoituu se oikein. Harjoitus on nyt valmis. Alla vielä kuvassa 38 yksi sovitelevyn konfiguraatioista.



Kuva 38. Sovitelevy kaikki piirteet sisällytettynä.

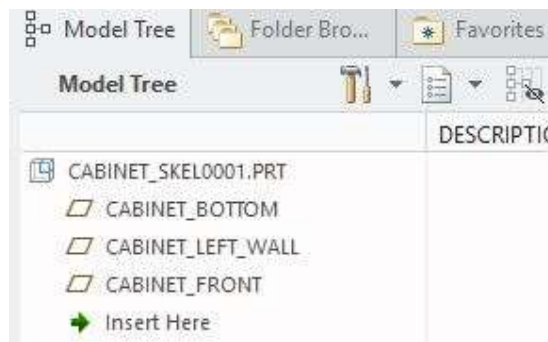
Kaapin parametrinen mallinnus

1. Aloita mallinnusharjoitus luomalla uusi kokoonpano. Harjoituksessa kokoonpanojen ja osien nimeämiseen on käytetty englanninkielisiä nimityksiä ja pääkokoonpanon nimi on CABINET. Valitse "Model"-välilehdeltä uusi skeleton (kuva 39) ja skeletonin tyyppiä "Standard Skeleton", jonka jälkeen aukeavassa ikkunassa valittiin tässä tapauksessa "empty". Riippuen Creo:n asetuksista ohjelma saattaa käyttää automaattisesti tiedosta, josta Creo luo itse skeletoniin vakiotasot sekä akselit.



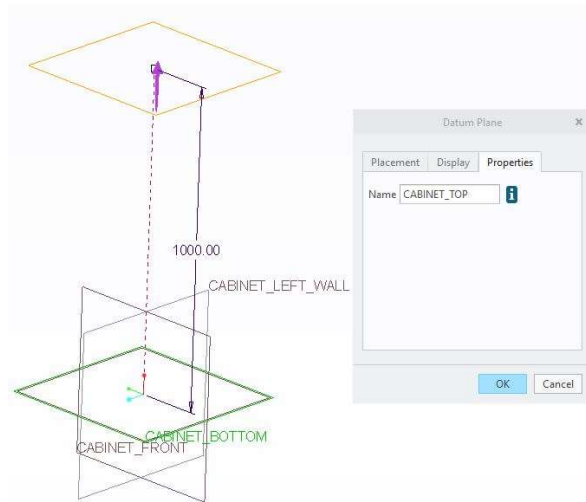
Kuva 39. Uuden skeletonin luonti.

2. Avaa luotu skeleton mallipuusta. Valitse "Model" -välilehdeltä tasot, joka luo skeletoniin kolme tasoa. Nimeä tasot kuvan 40 mukaisesti.



Kuva 40. Tasojen uudelleen nimeäminen.

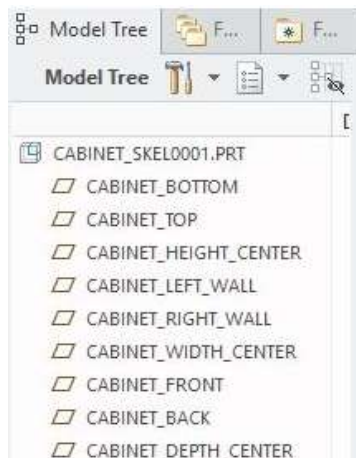
3. Luo tarvittavat tasot skeletoniin kuvien 41 ja 43 mukaisesti. Tässä vaiheessa ei tason etäisyyksillä toisistaan ole merkitystä, sillä niille luodaan myöhemmin relaatiot. Kuva 42 ohjeistaa keskitasojen luomiseen (DEPTH_MID, WIDTH_CENTER ja HEIGHT_CENTER).



Kuva 41. CABINET_TOP-tason luonti.

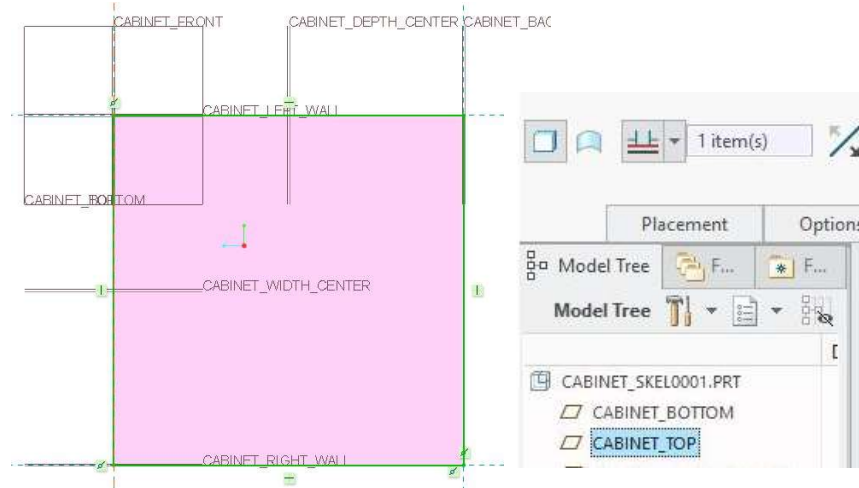


Kuva 42. CABINET_WIDTH_CENTER-tason luonti.



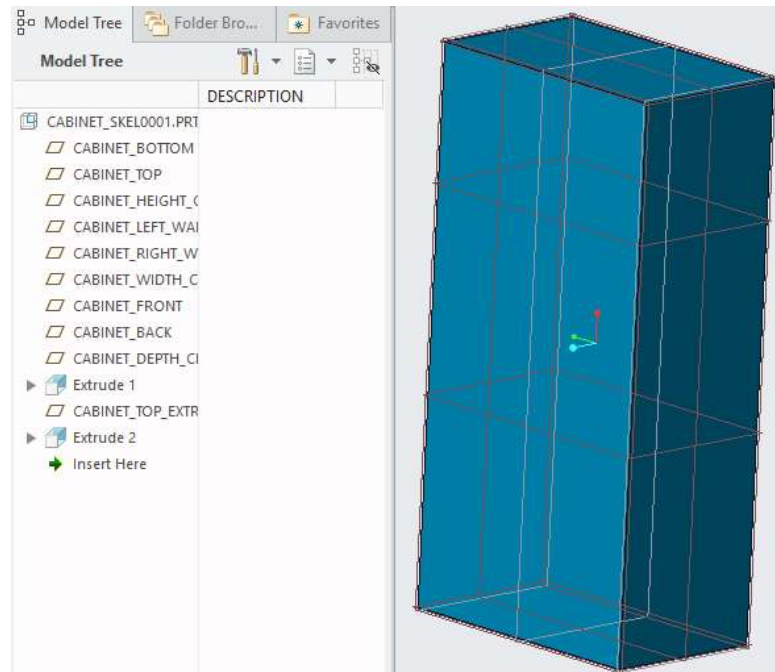
Kuva 43. Luodut tasot ja niiden nimeäminen.

4. Pursota skeletoniin niin sanottu tilavaraus. Tee uusi pursotus (*extrude*) ja valitse CABINET_BOTTOM aloitustasoksi. Valitse kuvan 44 mukaiset tasot referensseiksi pursota tasoon CABINET_TOP.



Kuva 44. Tilavaruksen pursotus.

5. Luo uusi taso CABINET_TOP_EXTRA (CABINET_TOP-tasosta ylöspäin, samalla periaatteella kuin kuvassa 41). Pursota myös tilavaraus CABINET_TOP-tasosta uuteen luotuun tasoon samalla periaatteella kuin kohdassa neljä. Tämän jälkeen skeletonin tulisi näyttää kuvan 45 mukaiselta.



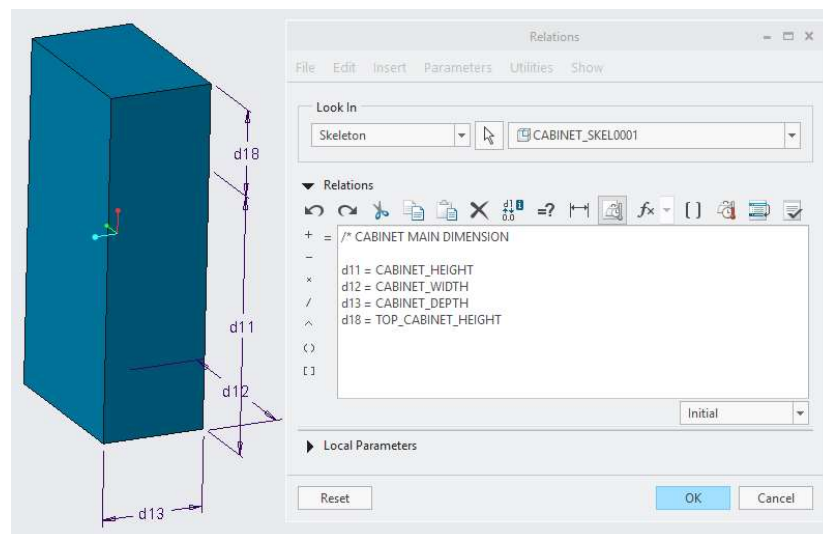
Kuva 45. Skeleton tällä hetkellä.

6. Avaa Parametrit "Tools" -välilehdeltä, luo kuvan 46 mukaiset parametrit ja anna niille arvot.

Name	Type	Value	Designate	Access	Source
CABINET_DEPTH	Real Num...	600.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defin...
CABINET_HEIGHT	Real Num...	2000.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defin...
CABINET_WIDTH	Real Num...	1000.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defin...
TOP_CABINET_HEIGHT	Real Num...	400.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defin...

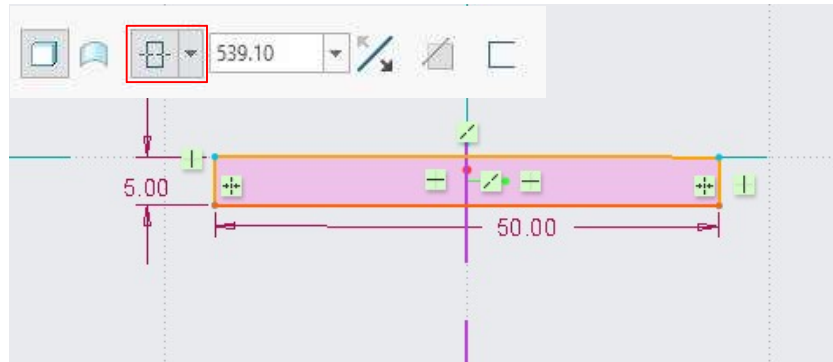
Kuva 46. Luodut parametrit.

7. Avaa Relaatiot "Tools"-välilehdeltä. Paina CABINET_TOP -tasoa mallipuusta. Tämä näyttää mallissa kyseiselle tasolle kuuluvan tunnisteen. Tunnisteet saattavat olla eri numeroilla kuin tässä ohjeessa. Kirjoita kuvan 47 mukainen relaatio tälle tasolle ja samaa periaatetta käyttäen toista sama tasolle CABINET_RIGHT_WALL, CABINET_TOP_EXTRA ja CABINET_BACK. Avaa parametrit uudelleen ja muuta niille annettuja arvoja. Päivitä malli (CTRL + G tai pikanäppäin GG) jolloin malli muuttuu annettujen parametrien mittoihin.



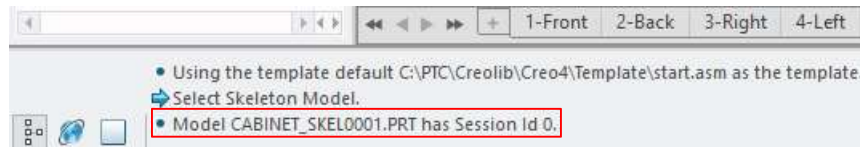
Kuva 47. Relaatioilla luodut skeletonin päämitat.

8. Mallinna seuraavaksi kaapin runkoon käytettävät lattaraudat. Luo uusi osa ja nimeä se FRAME_VERTICAL. Tässä tapauksessa osa on tehty "solid"-kappaleeksi, mutta halutessaan sen voi tehdä myös ohutlevyosaksi. Valitse tasoksi RIGHT ja pursota kuvan 48 mukainen suora-kaide ja valitse pursotustavaksi kuvassa ympyröity tyyli.



Kuva 48. FRAME_VERTICAL.

9. Luo relaatio edellisessä kohdassa mallinnetun osan pituudelle. Osan pituus määritetään aikaisemmin luodun skeletonin korkeudesta. Tähän käytetään relaatioista löytyvää apukeinoa nimeltä "session ID". Avaa alussa luotu CABINET-kokoonpano ja kokoonpanossa relaatiot. Paina yläpalkista "show" ja valitse "session ID". Valitse "skeleton" ja paina mallipuusta skeletonia CABINET_SKEL. Tällöin skeletonin tunnistetunnus tulee näkyviin ikkunan alareunassa olevaan tekstikenttään (kuva 49). Avaa FRAME_VERTICAL ja sen relaatiot. Lisää kuvan 50 mukainen relaatio määrittämään osan pituutta.

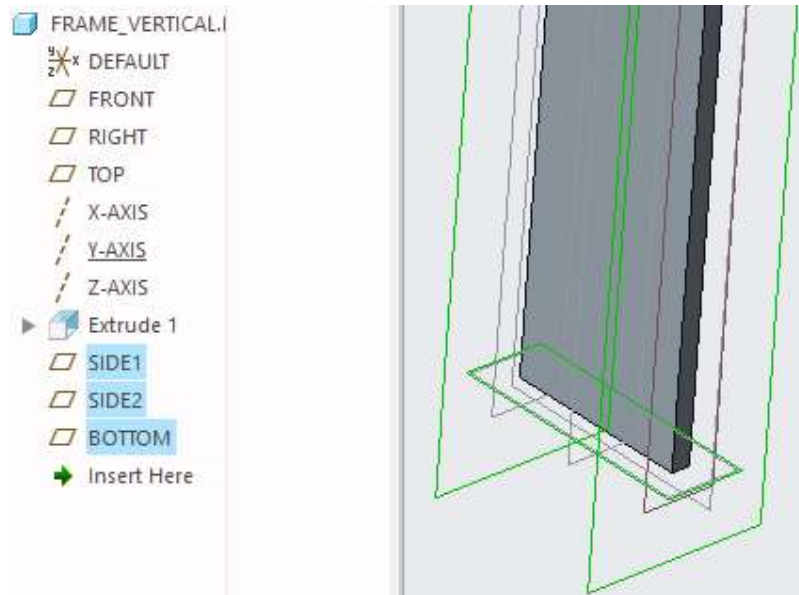


Kuva 49. CABINET_SKEL session ID.



Kuva 50. FRAME_VERTICAL pituus.

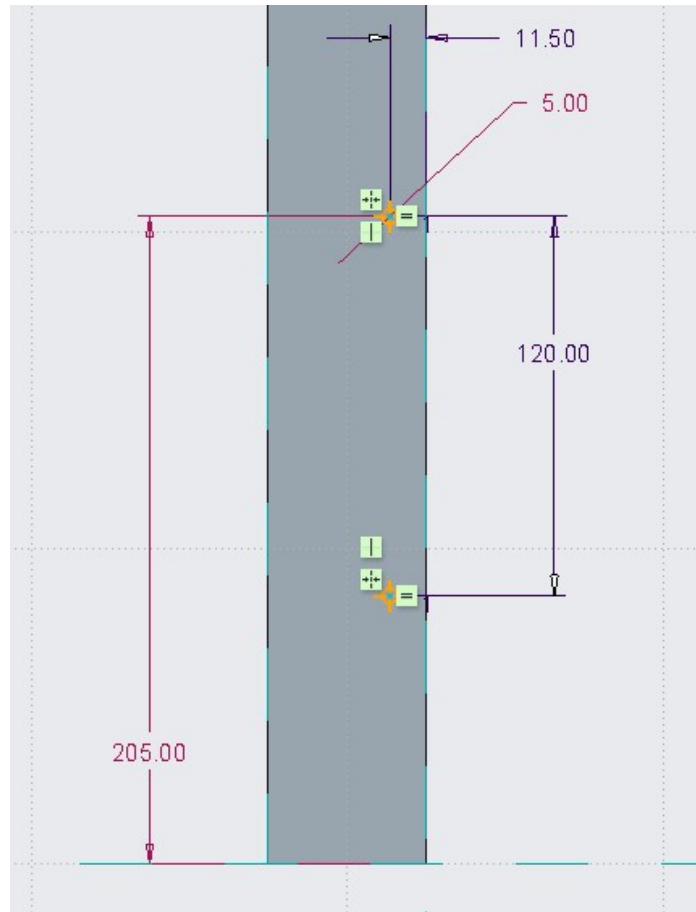
10. Lisää kuvan 51 mukaiset tasot helpottamaan osan paikoitusta kokoonpanovaiheessa (SIDE1 kuvassa vasemmalla).



Kuva 51. Aputasot.

11. Tallenna FRAME_VERTICAL kopiona (save as >> save a copy) ja nimeä osa FRAME_SIDE. Avaa FRAME_SIDE, avaa relaatiot ja muokkaa pituus vastaamaan skeletonin syvyyttä ja vähennä syvyydestä lisäksi vielä 100mm (2 x lattaraudan leveys): $d4 = \text{CABINET_DEPTH}:0 - 100$.
12. Tallenna FRAME_SIDE kopiona ja nimeä osa FRAME_BACK. Avaa FRAME_BACK, sen relaatiot ja muokkaa pituus vastaamaan skeletonin leveyttä. Vähennä leveydestä lattarautojen leveyden lisäksi myös 10mm (2 x lattaraudan paksuus): $d4 = \text{CABINET_WIDTH}:0 - 100 - 10$.

13. Tallenna FRAME_SIDE kopiona ja nimeä osa FRAME_HINGE. Avaa FRAME_HINGE ja lisää kuvan 52 mukaiset reiät saranointa varten. Lisää vastaavat reiät myös lattaraudan yläpäähän.



Kuva 52. Saranoiden kiinnitysreiät.

14. Luo seuraavaksi kokoonpano kaapin rungolle. Tee uusi kokoonpano ja nimeä se. Valitse "Model"-välilehdeltä "Assemble" ja valitse CABINET_SKEL. Skeloton paikoittuu kokoonpanoon automaattisesti.
15. Paikoita sivuseinät ensin aloittamalla oikeanpuoleisesta seinästä. Tarkoituksena on paikoittaa osat niin, että niiden ulkosivut ovat skeletonmallin tasoissa kiinni. Paikoita osat skeletoniin seuraavin tasoparein käyttäen "Coincident" -tapaa:

FRAME_VERTICAL:
side1/cabinet_back
front/cabinet_right_wall
bottom/cabinet_bottom

FRAME_HINGE:
side2/cabinet_front
front/cabinet_right_wall
bottom/cabinet_bottom

FRAME_SIDE:
right/cabinet_depth_center
side2/cabinet_top
front/cabinet_right_wall

FRAME_SIDE:
right/cabinet_depth_center
side1/cabinet_bottom
front/cabinet_right_wall

16. Paikoita vasemman puoleisen seinän osat samaan tyyliin käyttäen "Coincident" -tapaa.

FRAME_VERTICAL:
side2/cabinet-back
front/cabinet_left_wall
bottom/cabinet_bottom

FRAME_VERTICAL:
side1/cabinet_front
front/cabinet_left_wall
bottom/cabinet_bottom

FRAME_SIDE:
right/cabinet_depth_center
side2/cabinet_top
front/cabinet_left_wall

FRAME_SIDE:
right/cabinet_depth_center
side1/cabinet_bottom
front/cabinet_left_wall

17. Paikoita takaseinän osat samaan tyyliin kuin edellä (käytä tapaa "Coincident" mikäli toisin ei mainita):

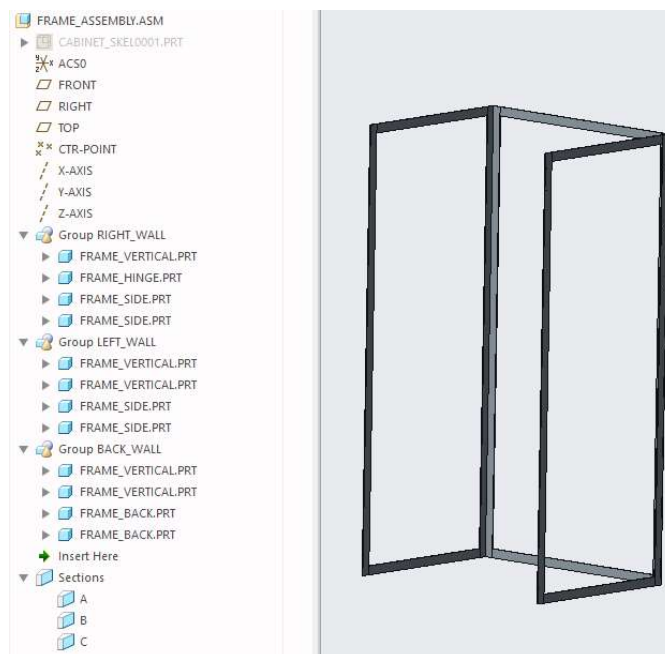
VERTICAL_FRAME:
 side2/cabinet_right_wall(distance=5)
 front/cabinet_back
 bottom/cabinet_bottom

FRAME_VERTICAL:
 side1/cabinet_left_wall(distance=5)
 front/cabinet_back
 bottom/cabinet_bottom

BACK_FRAME:
 right/cabinet_width_center
 side2/cabinet_top
 front/cabinet_back

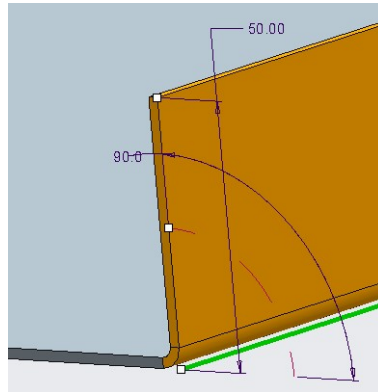
BACK_FRAME:
 right/cabinet_width_center
 side1/cabinet_bottom
 front/cabinet_back

18. Kun kaikki osat ovat koottuna kokoonpanon, kokoonpanon tulisi näyttää kuvan 53 mukaiselta. Osat voidaan jakaa ryhmiin mallipuun selkeyttämiseksi.

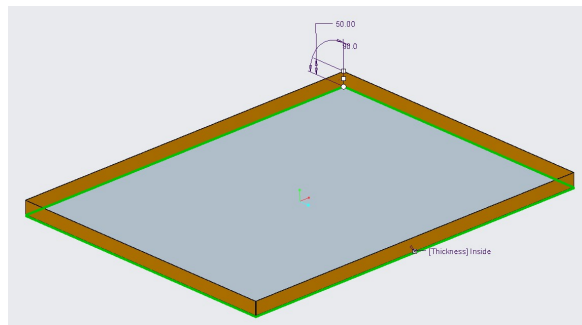


Kuva 53. FRAME_VERTICAL.

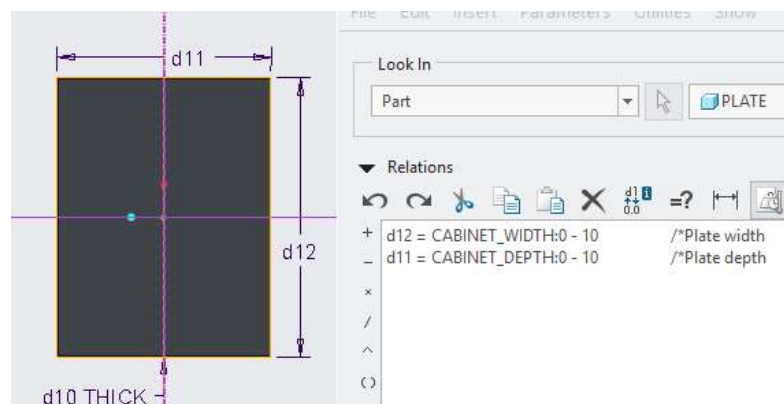
19. Mallinna seuraavaksi kaapin pohja- ja kattolevy. Tee uusi ohutlevyosa, valitse "Planar" ja tee symmetrinen suorakaide TOP -tasolle käyttäen apuna keskiviivoja. Mitoilla ei ole tässä vaiheessa merkitystä, sillä ne määritetään relaatioiden avulla. Valitse seuraavaksi "Flange" ja tee kuvan 54 mukainen taitos peltiin valitsemalla pellin reuna. TOP -tason tulee olla osan ylin pinta. Tämän jälkeen pidä näppäimistöä "Shift" pohjassa ja valitse pellin kaikki sivut, kuten kuvassa 55. Osan paksuus on 1mm. Avaa relaatiot ja anna osalle kuvan 56 mukaiset relaatiot.



Kuva 54. Taitoksen mitat.



Kuva 55. Kaikki sivut valittuna.

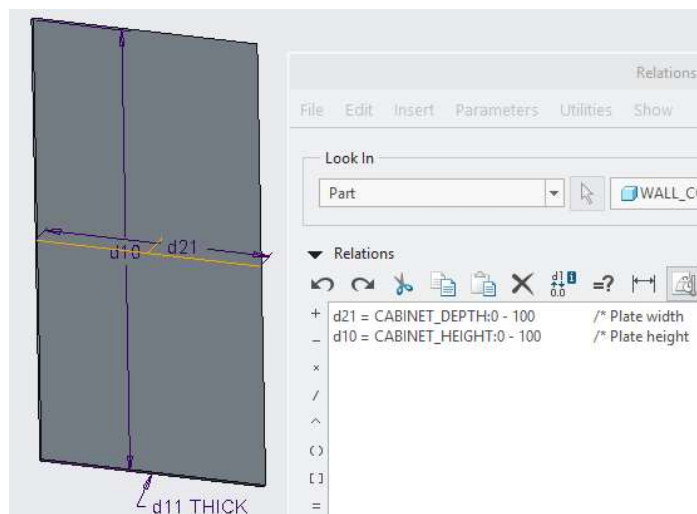


Kuva 56. Katto- ja pohjapellin relaatiot.

20. Mallinnetaan seuraavaksi seinien peitepellit. Tee uusi osa ja nimeä se WALL_COVER_SIDE. Valitse "Extrude", tasoksi TOP ja luonnostele kuvan 57 mukainen viiva. Hyväksy luonnos ja anna osan paksuudeksi 1mm. Avaa relaatiot ja anna osalle kuvan 58 mukaiset relaatiot.

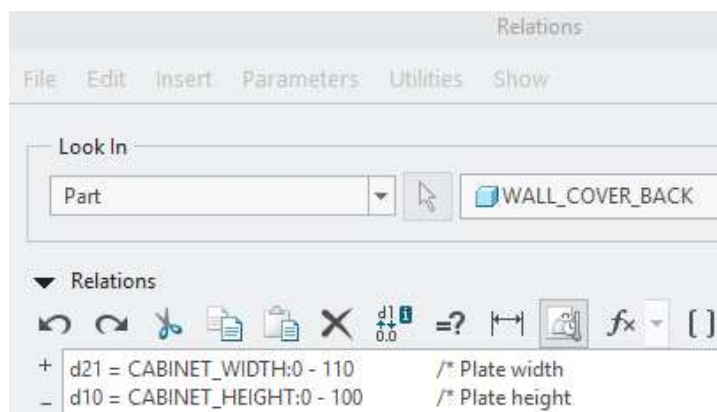


Kuva 57. WALL_COVER_SIDE.



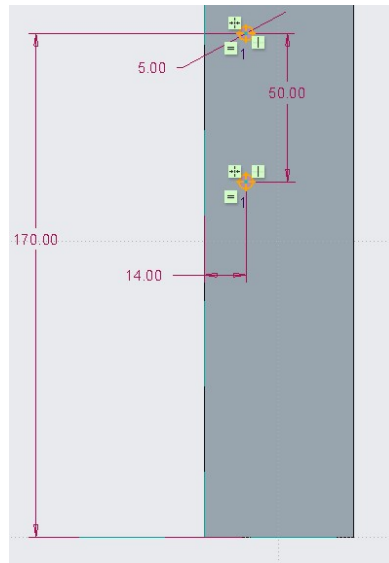
Kuva 58. WALL_COVER_SIDE relaatiot.

21. Tallenna WALL_COVER_SIDE kopiona ja nimeä osa WALL_COVER_BACK. Avaa osa ja lisää kuvan 59 mukaiset relaatiot osalle.



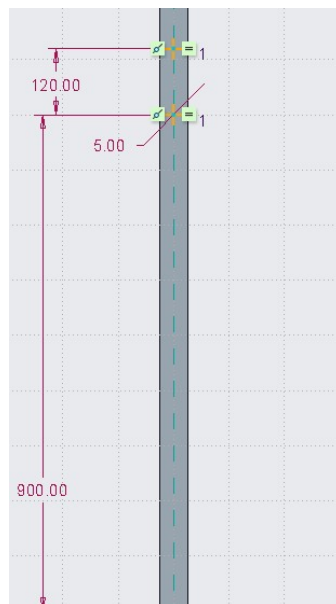
Kuva 59. WALL_COVER_BACK relaatiot.

22. Seuraavaksi mallinnetaan kaapille ovi. Luo uusi kokoonpano, nimeä se DOOR_ASSEMBLY ja tallenna kokoonpano. Avaa FRAME_HINGE, tallenna se kopiona ja nimeä osa FRAME_HINGE_DOOR. Muokkaa saranoiden kiinnitysreiät kuvan 60 mukaisiksi. Muokkaa myös osan yläpäässä olevat reiät.



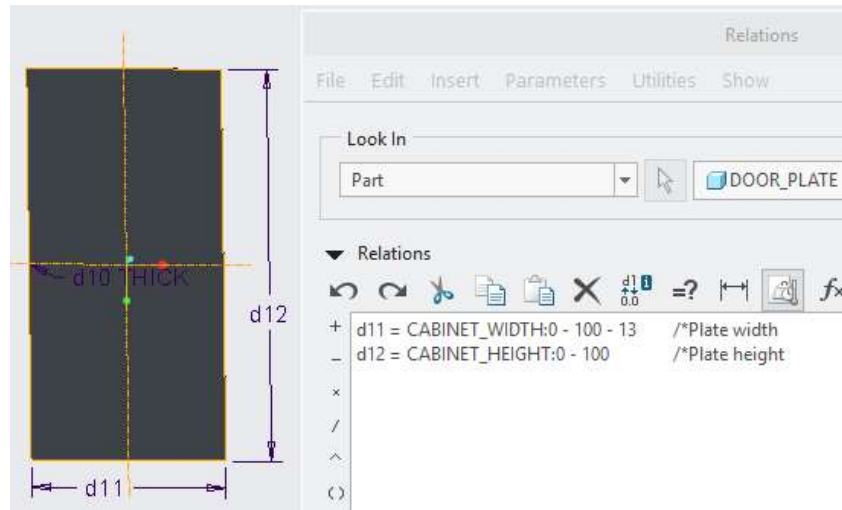
Kuva 60. Oven saranoiden reiät.

23. Avaa FRAME_VERTICAL, tallenna se kopiona ja nimeä osa FRAME_DOOR_VERTICAL. Valitse "Extrude" ja teen osaan kuvan 61 mukaiset reiät ovenkahvaa varten.



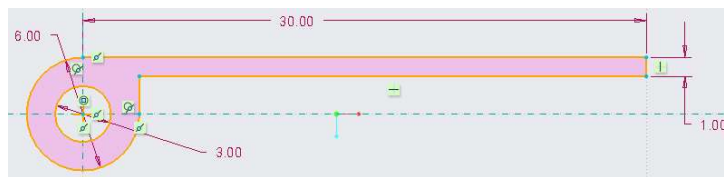
Kuva 61. FRAME_DOOR_VERTICAL ovenkahvan reiät.

24. Avaa FRAME_SIDE, tallenna se kopiona ja nimeä osa FRAME_DOOR_HORIZONTAL. Avaa luotu osa ja muokkaa relaatioissa pituus seuraavasti: $d4 = \text{CABINET_WIDTH:0} - 100 - 13$.
25. Mallinna uusi osa ja nimeä se DOOR_PLATE. Valitse "Planar", tasoksi "FRONT" ja luonnostelee symmetrinen suorakaide. Anna kuvan 62 mukaiset relaatiot osalle. Lisää osalle vielä aputaso BOTTOM kokoonpanon helpottamiseksi.

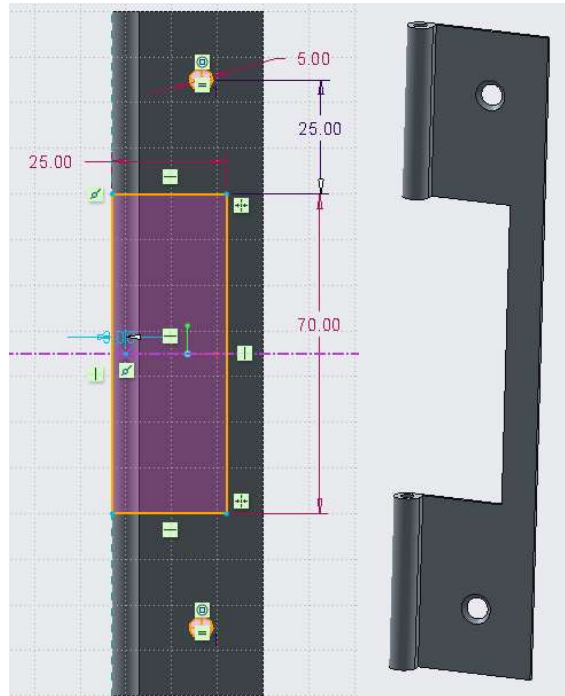


Kuva 62. DOOR_PLATE relaatiot.

26. Tee uusi kokoonpano ja anna sille nimi HINGE ja tallenna kokoonpano. Tämän jälkeen luo uusi osa, nimeä se HINGE_PIECE ja mallinna se kuvan 63 mukaisesti. Tee osaan kuvan 64 mukaiset leikkaukset ja lisää vielä lopuksi rei'ille viisteet.

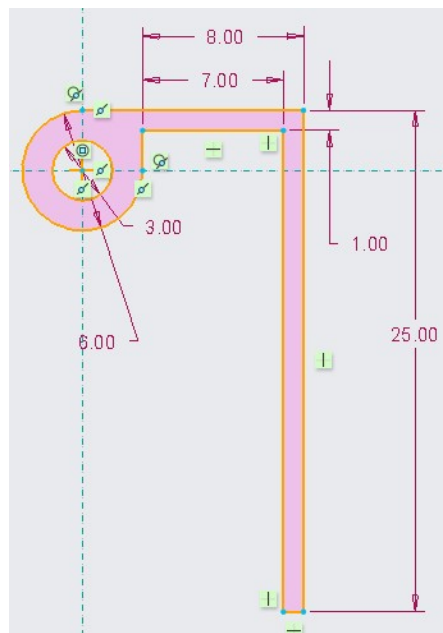


Kuva 63. HINGE_PIECE päämitat.

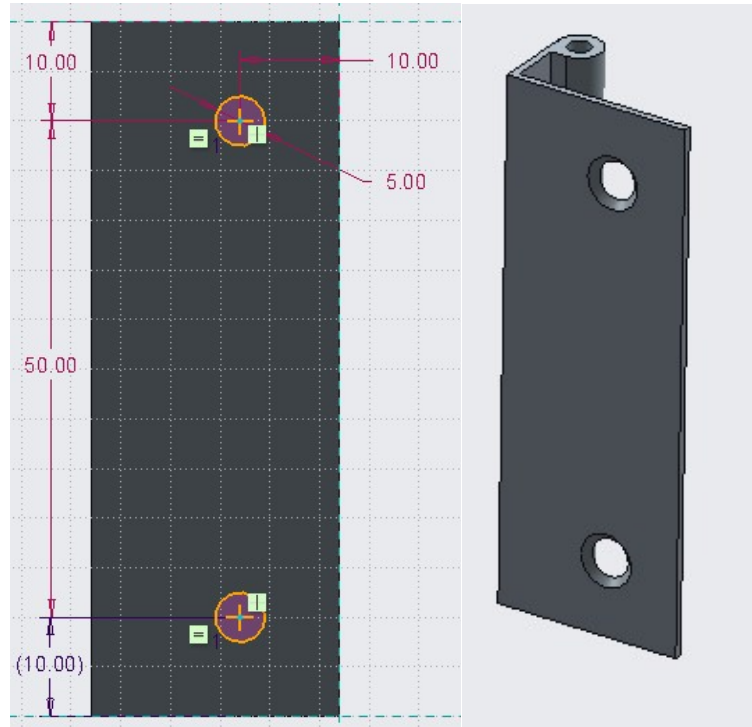


Kuva 64. HINGE_PIECE valmiina.

27. Luo uusi osa ja nimeä se esimerkiksi HINGE_PIECE_DOOR. Pursota osalle kuvan 65 mukaiset päämitat ja kuvan 66 mukaiset reiät. Lisää myös tämän osan rei'ille viisteet.

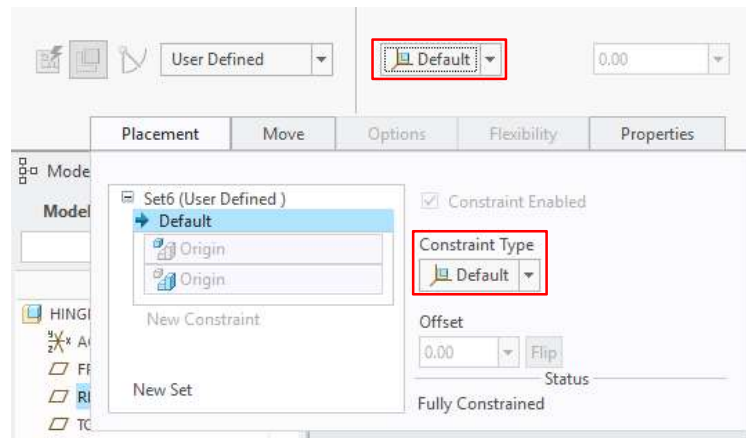


Kuva 65. HINGE_PIECE_DOOR päämitat.



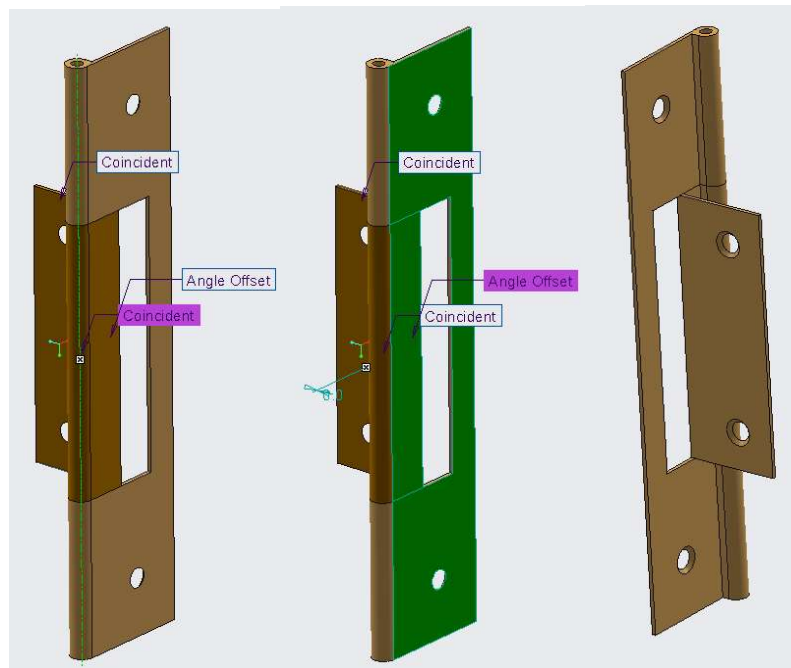
Kuva 66. HINGE_PIECE_DOOR reiät.

28. Avaa HINGE-kokoonpano ja paikoita saranan osat kokoonpanoon. Paikoita HINGE_PIECE valitsemalla alasetoalvikosta paikoitustyyppiä "Default" (kuva 67).



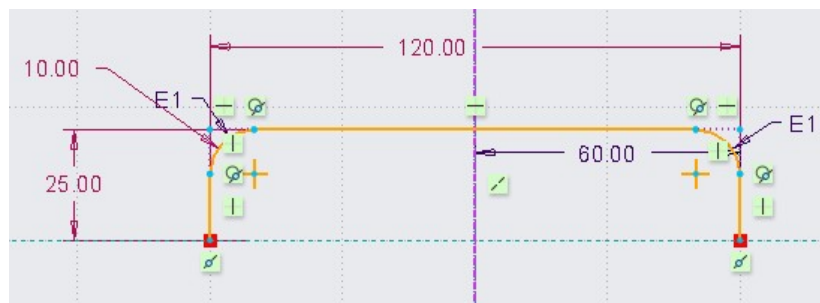
Kuva 67. HINGE_PIECE paikoitus.

29. HINGE_PIECE_DOOR-osaa paikoittaessa valitse saranan osien keskiakselit ja niiden paikoitustyyppiä "Coincident". Seuraavaksi valitse saranan osien ulkopuolen tasot ja niiden paikoitustyyppiä "Angle Offset". Lopuksi valitse saranan aukotuksen yläpinta ja HINGE_PIECE_DOOR -yläpinta ja liitä ne keskenään "Coincident"-tyylillä. Saranan tulisi näyttää kuvan 68 mukaiselta.



Kuva 68. HINGE_PIECE_DOOR paikoitus ja sarana valmiina.

30. Viimeisenä osana oveen mallinnetaan kahva. Luo uusi osa ja nimeä se. Valitse "Model"-välilehdeltä "Sketch" ja tee kuvan 69 mukainen luonnos.

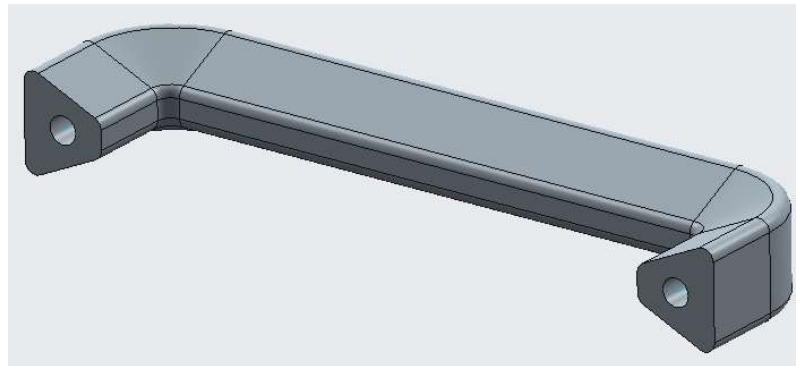


Kuva 69. Ovenkahvan päämitat.

31. Luonnoksen tehtyäsi pysy "Model"-välilehdellä, valitse luonnos aktiiviseksi mallipuusta ja valitse tämän jälkeen "Sweep". Valitse vasemmassa yläkulmasta "Create or edit sweep section" (kuva 70), jolloin uusi näkymä aukeaa ja voit luonnostella kahvan muodon. Muoto voi olla käytännössä mitä tahansa, mutta tässä tapauksessa on käytetty kuvan 71 mukaista muotoa. Lisää vielä pyöritykset kahvan reunoihin ja reiät kiinnitystä varten. Reikien väli tulee olla 120 mm, jotta se sopii oven rungossa oleviin reikiin.



Kuva 70. "Create or edit sweep section".



Kuva 71. Ovenkahva takapuolelta.

32. Avaa DOOR_ASSEMBLY ja paikoita oven osat kokoonpanoon. Alla olevasta listasta näet tasoparit, joilla osat ovat paikoitettu kokoonpanoon. Kuten kohdassa 18, käytä paikoitukseen "Coincident" -tapaa mikäli toisin ei mainita.

FRAME_HINGE_DOOR:

front/front

side1/right (Distance=500, reikien puolelta katsottuna vasemmalle)

bottom/top

FRAME_DOOR_VERTICAL:

front/front

side2/right (distance=500, vastakkaiseen suuntaan kuin edellä)

bottom/top

FRAME_DOOR_HORIZONTAL:

front/front

right/right

side2/top

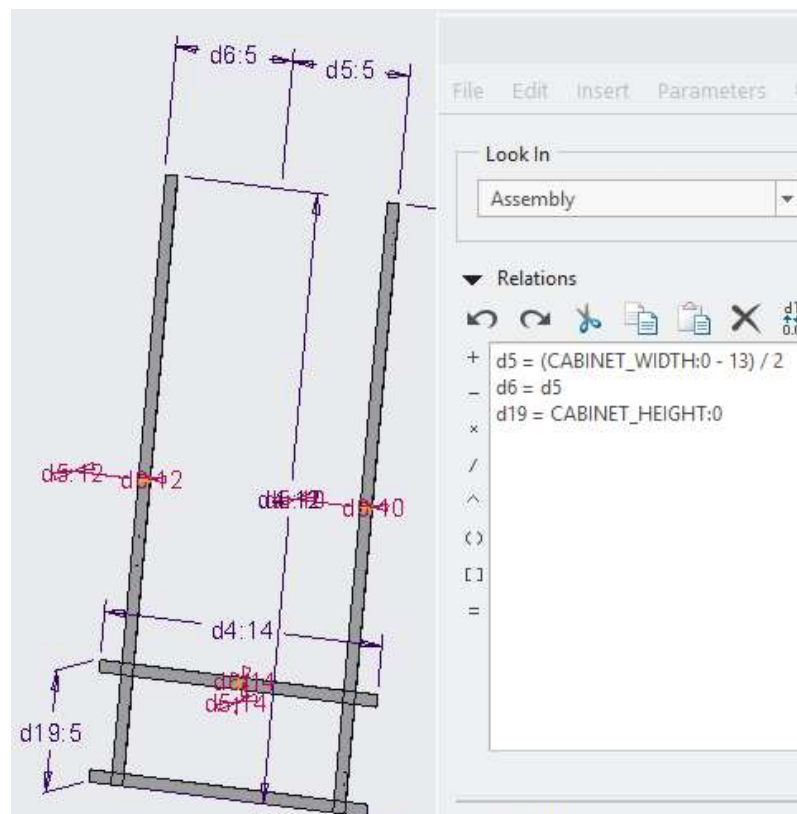
FRAME_DOOR_HORIZONTAL:

front/front

right/right

side1/top (distance=500, ylöspäin)

33. Tällä hetkellä oven runko ei siis näytä siltä miltä pitäisi. Korjaa tämä määrittämällä osien paikoille relaatiot. Valitse osat, joissa käytettiin "Distance"-tapaa paikoitukseen ja määritä osien etäisyydet antamalla seuraavat relaatiot (kuva 72). Jälleen kerran, tunnisteet saattavat olla eri kuin tässä ohjeessa. Päivitä malli, jolloin osien tulisi olla oikeilla paikoillaan.



Kuva 72. Oven lattarautojen relaatiot.

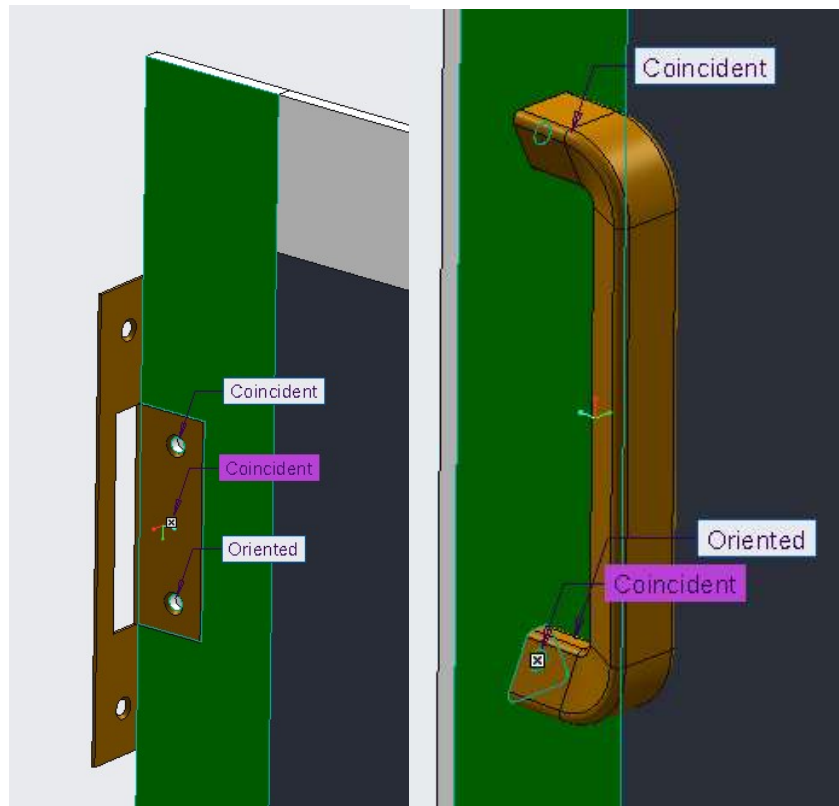
34. Paikoita DOOR_PLATE seuraavin tasoparein:

front/front (Distance=4)

right/right

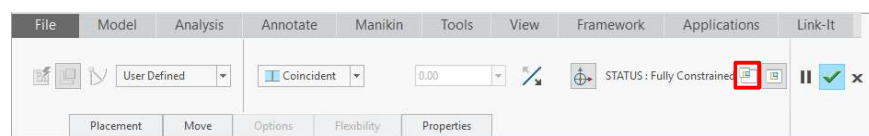
bottom/top (Distance=50)

35. Paikoita lopuksi vielä saranat ja ovenkahva paikoilleen. Valitse saranan HINGE_DOOR_PIECE-osan sisäpinta ja liitä se oven rungon sisäpintaan (kuva 73). Tämän jälkeen valitse saranassa olevien reikien keskiakselit ja liitä ne ovesa olevien reikien keskiakseleihin. Samaa periaatetta käyttäen paikoita toinen sarana oven alareunaan ja ovenkahva oven etupuolelle.



Kuva 73. Saranoiden ja ovenkahvan paikoitus.

36. Mallinna kaapille vielä jalat. Tässä harjoituksessa jaloiksi mallinnettiin yksinkertaiset 50x50x100 palikat.
37. Seuraavaksi paikoitetaan osat pääkokoontaan. Avaa CABINET ja aloita paikoittamalla FRAME_ASSEMBLY paikoilleen. Avaa paikoitettava kokoonpano uuteen ikkunaan paikoittamisen helpottamiseksi (kuva 74). Tämä avaa ruudun vasempaan laitaan kokoonpanon oman mallipuun.



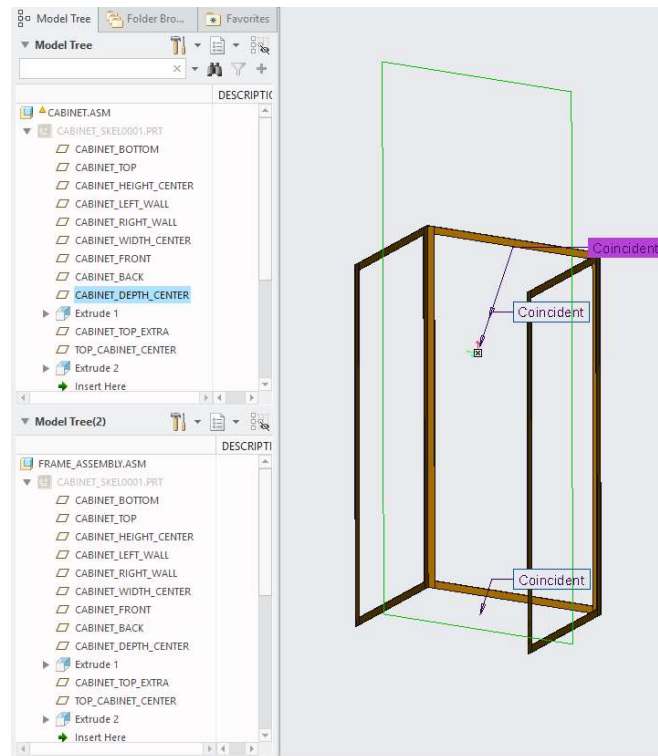
Kuva 74. Erillisen ikkunan avaaminen.

38. Avaa molemmista mallipuista CABINET_SKEL auki (kuva 75), jolloin voit valita mallipuusta seuraavat tasoparit kokoonpanon paikoittamiseksi:

cabinet_bottom/cabinet_bottom

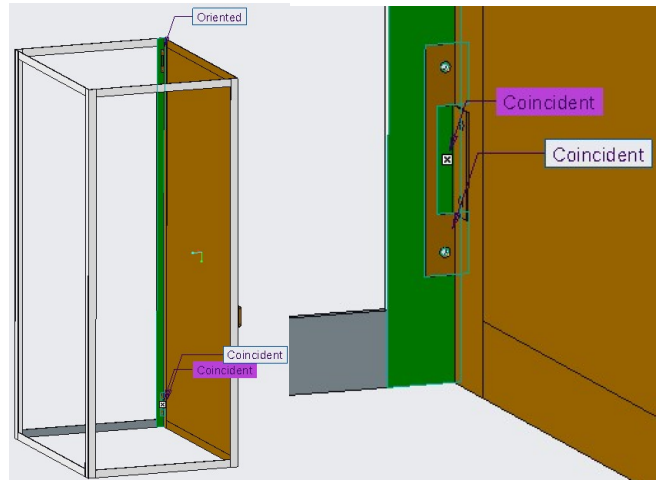
cabinet_width_center/cabinet_width_center

cabinet_depth_center/cabinet_depth_center



Kuva 75. FRAME_ASSEMBLY

39. Paikoita seuraavaksi DOOR_ASSEMBLY kokoonpanoon. Valitse saranan ulkopinta ja liitä se rungon sisäpintaan. Tämän jälkeen valitse molemmista saranoista toisen reiän keskiakseli ja liitä ne rungon pystylatassa olevien reikien keskiakseleihin (kuva 76).

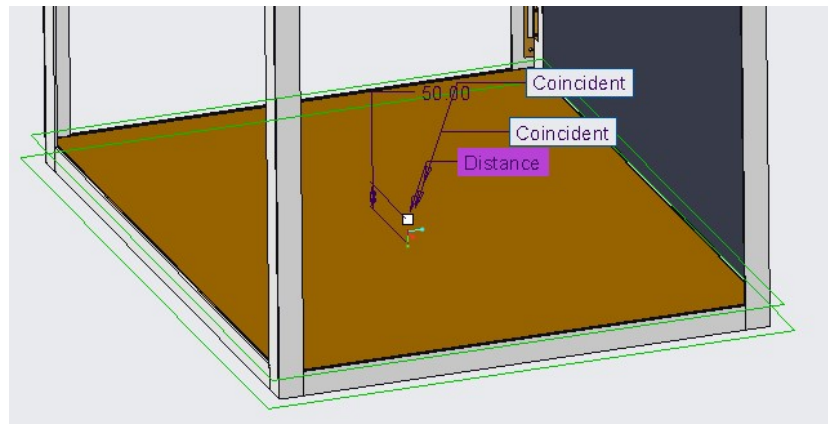


Kuva 76. DOOR_ASSEMBLY

40. Paikoita seuraavaksi kaapin pohjapelti (kuva 77). Valitse paikoitukseen seuraavat tasoparit:

top/cabinet_bottom (Distance=50, ylöspäin)
 front/cabinet_depth_center
 right/cabinet_width_center

Samaa periaatetta käyttäen paikoita kaapin kattopelti. Vaihda CABINET_BOTTOM -tason tilalle CABINET_TOP ja vaihda paikoitustyyppiä "Coincident".

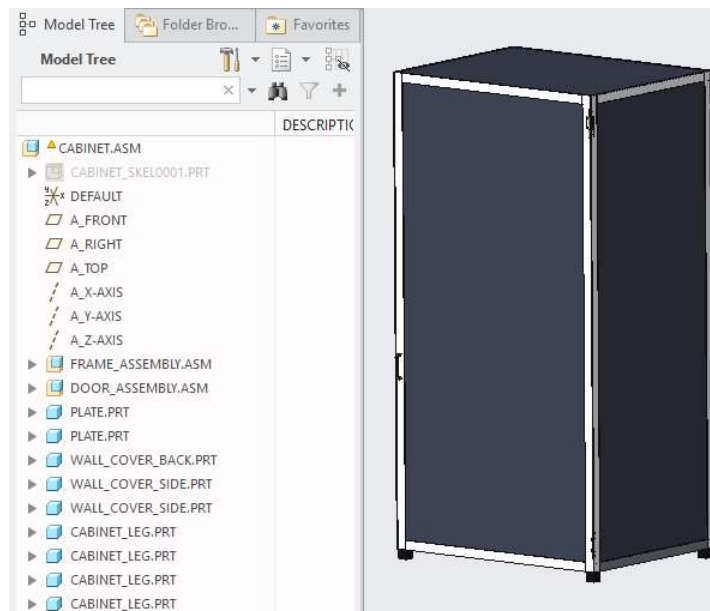


Kuva 77. Pohjapellin paikoitus.

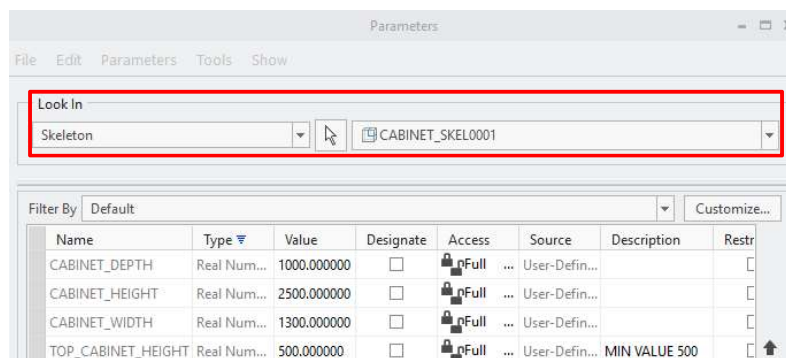
41. Paikoita seuraavaksi WALL_COVER_BACK seuraavin tasoparein:

front/cabinet_back (Distance=4, sisäänpäin)
 right/cabinet_width_center
 top/cabinet_height_center

42. Edellisen kohdan periaatetta noudattaen, paikoita WALL_COVER_SIDE molemmille sivuseinille. Paikoita vielä lopuksi kaapin jalat paikoilleen pohjan jokaiseen kulmaan. Kaapin tulisi tässä vaiheessa näyttää kuvan 78 mukaiselta. Varmista tässä vaiheessa parametriikan toimivuus. Muokataksesi skeletonin parametreja, avaa kokoonpanon parametrit. Valitse "Look In" -vetovalikosta "Skeleton" ja CABINET_SKEL (kuva 79). Vaihtoehtoisesti voit aktivoida skeletonin mallipuusta painamalla hiiren oikealla painikkeella skeletonista ja valitsemalla "Activate". Tällöin parametrit avatessasi olet skeletonin parametreissa. Vaihda skeletoniin luotujen parametrien arvoja, hyväksy muutokset ja generoi malli uudestaan. Mikäli aktivoit skeletonin mallipuusta, muista aktivoida CABINET-kokoonpano, jotta generointi toimii oikein. TOP_CABINET_HEIGHT-parametrin muuttaminen ei tässä vaiheessa vaikuta vielä mihinkään.

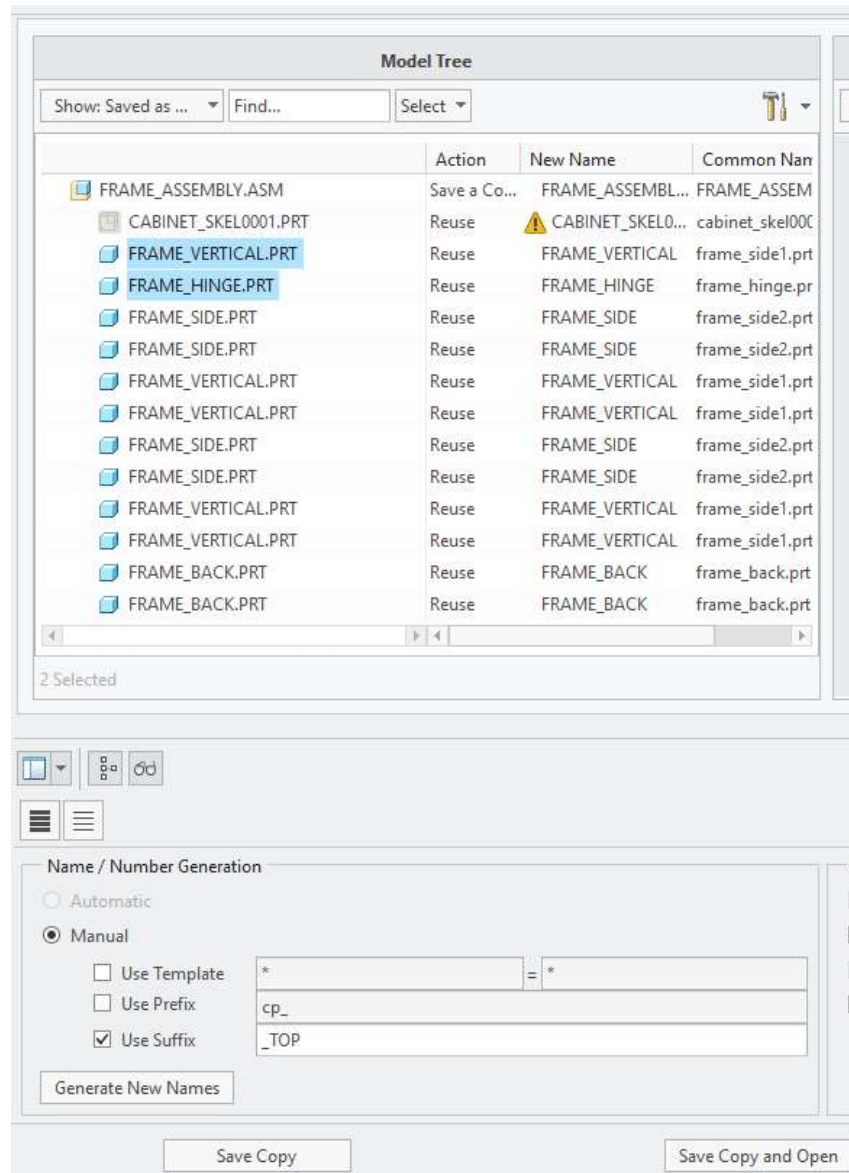


Kuva 78. Pääkokoonpano tällä hetkellä.



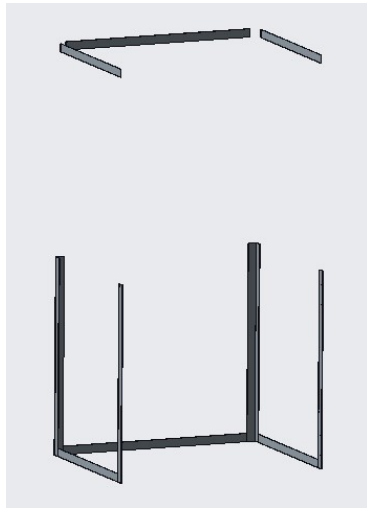
Kuva 79. CABINET_SKEL parametrit.

43. Kaapin alaosa on nyt valmis, mutta yläosa puuttuu. Tässä vaiheessa voidaan hyödyntää kokoonpanon kopiointia, jotta kaikki osia ei tarvitse kopioida ja paikoittaa yläosaan erikseen. Avaa FRAME_ASSEMBLY ja valitse "File"-valikosta "Save As" >> "Save a Copy". Kirjoita "File Name"-kohtaan kokoonpanolle uusi nimi FRAME_ASSEMBLY_TOP ja paina OK. Uuden ikkunan avauduttua noudata kuvan 80 mukaisia asetuksia. Tämän jälkeen paina "Generate New Names" ja "Save Copy and Open".



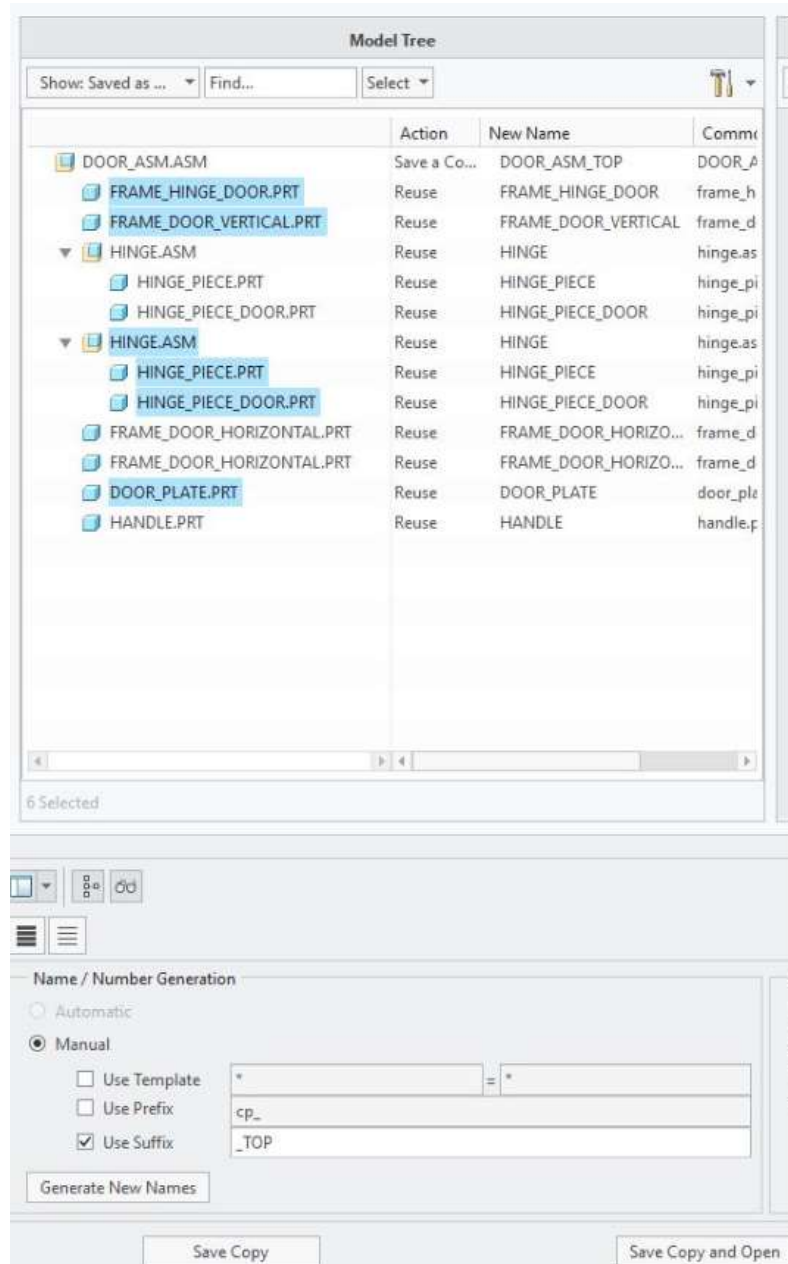
Kuva 80. FRAME_ASSEMBLY-kokoonpanon kopiointi.

44. Mikäli kopiointi meni oikein, uudessa kokoonpanossa tulisi olla FRAME_VERTICAL_TOP ja FRAME_HINGE_TOP osa. Muokkaa molempien osien relaatioilla määritetty pituus vastaamaan yläkaapin korkeutta: $d4 = TOP_CABINET_HEIGHT:0$. Tästä muutoksesta johtuen malli generoituu kuvan 81 mukaiseksi osien ollessa vielä vanhoilla paikoillaan.



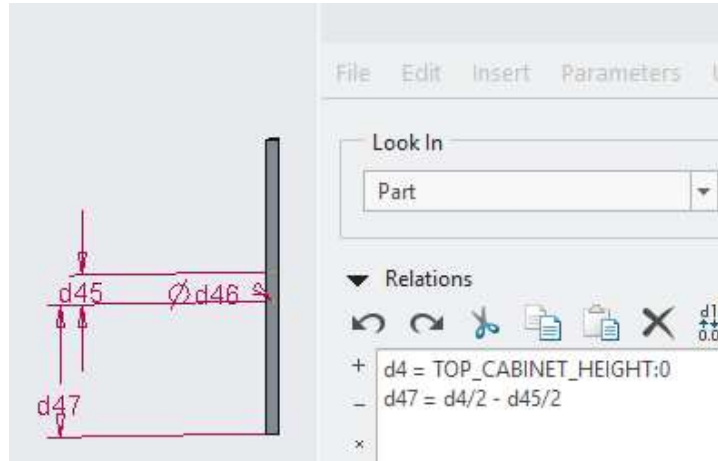
Kuva 81. FRAME_ASSEMBLY_TOP ennen osien uudelleenpaikoitusta.

45. Korjaa edellisen kohdan väärin generoituva malli paikoittamalla osat uudelleen. Pääperiaatteena on siirtää CABINET_BOTTOM -tasoon paikoitetut osat CABINET_TOP -tasoon (alaosa kuvasta 81) ja CABINET_TOP -tasoon paikoitetut osat CABINET_TOP_EXTRA -tasoon (yläosa kuvasta 81).
46. Kopioi seuraavaksi seinien peitelevyt kaapin yläosaa varten. Avaa WALL_COVER_BACK, tallenna osa kopiona ja nimeä se TOP_WALL_COVER_BACK. Muokkaa jälleen relaatioilla määritetty osan pituus vastaamaan yläkaapin korkeutta: $d10 = TOP_CABINET_HEIGHT:0 - 100$. Kopioi edellä mainittua tapaa käyttäen myös WALL_COVER_SIDE, nimeä se TOP_WALL_COVER_SIDE ja muokkaa relaatiot vastaamaan yläkaapin korkeutta.
47. Yläkaapille tarvitaan vielä ovi. Avaa DOOR_ASSEMBLY ja tallenna kokoonpanosta kopio kohdan 44 ohjeita noudattaen. Katso kopioitavat osat kuvasta 82. Avaa FRAME_HINGE_DOOR_TOP ja muokkaa osan pituus vastaamaan yläkaapin korkeutta: $d4 = TOP_CABINET_HEIGHT:0$. Avaa myös FRAME_DOOR_VERTICAL_TOP ja tee osalla sama edellä mainittu muutos.



Kuva 82. DOOR_ASSEMBLY-kokoonpanon kopiointi.

48. Muokkaa vielä ylemmän oven rungon yläkarmin paikka vastaamaan yläkaapin korkeutta. Avaa DOOR_ASSEMBLY_TOP relaatiot ja muokkaa d19 relaatio seuraavaksi: d19 = TOP_CABINET_HEIGHT:0. Lukitse vielä lopuksi ylemmän kaapinoven kahvan paikka keskelle ovea antamalla sille kuvan 83 mukainen relaatio.

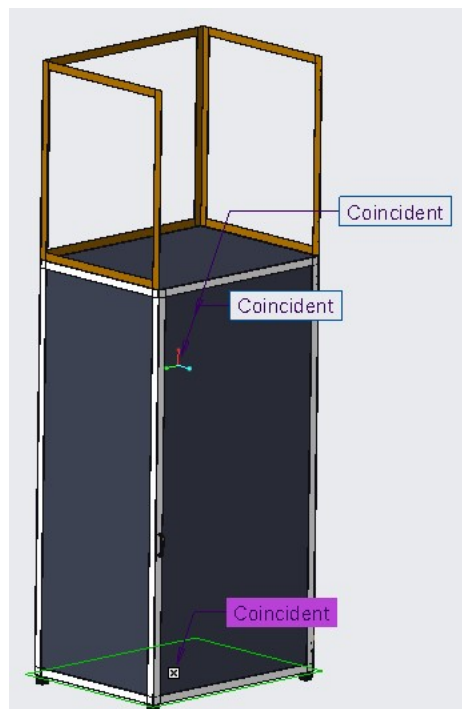


Kuva 83. Kahvan reikien relaatio.

49. Paikoita seuraavaksi yläkaapin osat CABINET-kokoonpanoon. Paikoita FRAME_ASSEMBLY_TOP kokoonpanoon seuraavin tasoparein:

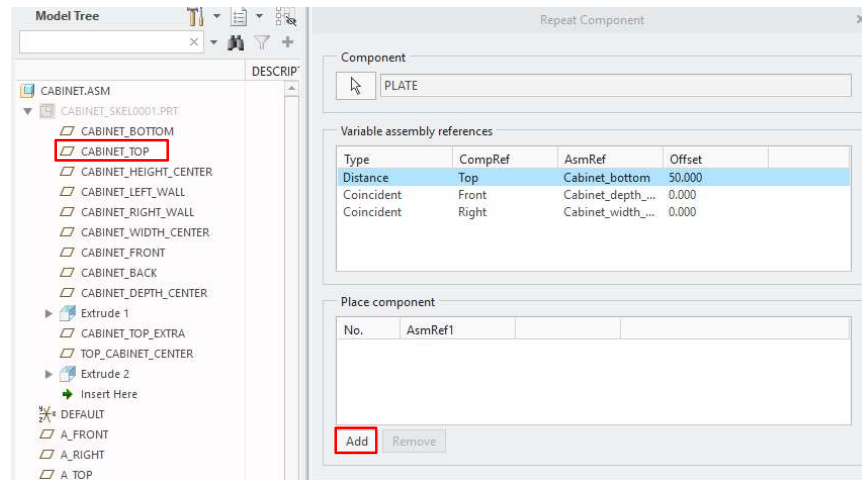
cabinet_bottom/cabinet_bottom
 cabinet_width_center/cabinet_width_center
 cabinet_depth_center/cabinet_depth_center

Osien paikoituksesta johtuen kokoonpano tulee näin automaattisesti oikealle paikalleen, vaikka käytössä ovat samat tasoparit kuin alemman runkokokoonpanon paikoituksessa (kuva 84).



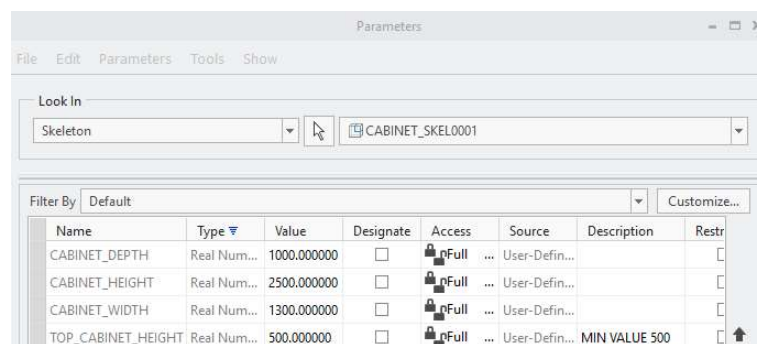
Kuva 84. FRAME_ASSEMBLY TOP paikoitus.

50. Paikoita seuraavaksi yläkaapille pohja- ja kattolevyt. Tähän voidaan käyttää hyödyksi Creon "Repeat"-toimintoa (kuva 85). Paina hiiren oikealla painikkeella mallipuusta alakaapin pohjalevyä ja valitse "Repeat". Valitse uudesta ikkunasta korvattava taso, johon uusi osa paikoittuu. Muut tasot pysyvät samoina. Tason valittuasi paina "Add" ja valitse mallipuusta CABINET_TOP. Paina OK ja uusi osa tulee mallipuuhun. Toista sama alakaapin kattolevylle, mutta valitessasi tasoa mallipuusta valitse CABINET_TOP_EXTRA.



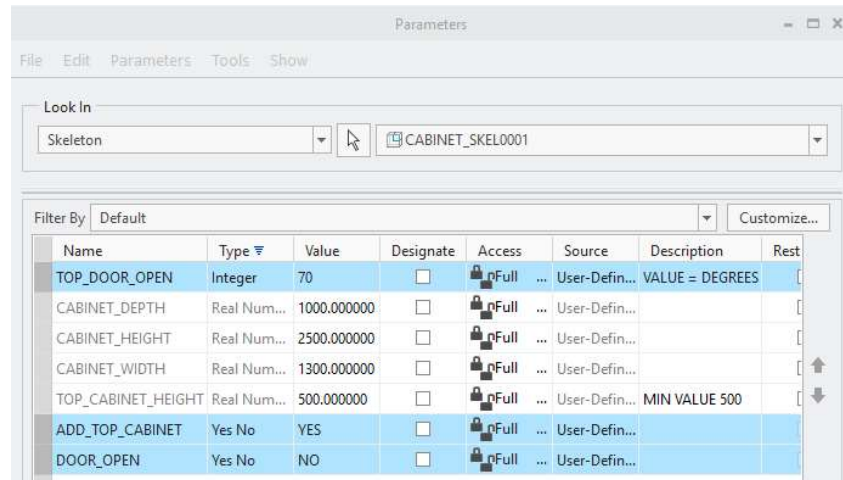
Kuva 85. Creon "Repeat Component" -toiminto.

51. Paikoita seuraavaksi DOOR_ASSEMBLY_TOP. Paikoita ovi samaan tapaan kuin alempi ovi kohdassa 40. Paikoita vielä lopuksi yläkaapin seinien peitepellit samaan tapaan kuin alemmat pellit kohdissa 42 ja 43.
52. Tarkista tässä vaiheessa, että mallin parametrisuus toimii edelleen. Kuten kohdassa 43, avaa skeletonin parametrit ja muuta kaapin mittoja (kuva86). Nyt TOP_CABINET_HEIGHT -parametrin muuttaminen ajaa yläkaapin korkeutta. Saranoiden paikoituksesta johtuen yläkaapin minimikorkeus on 500.



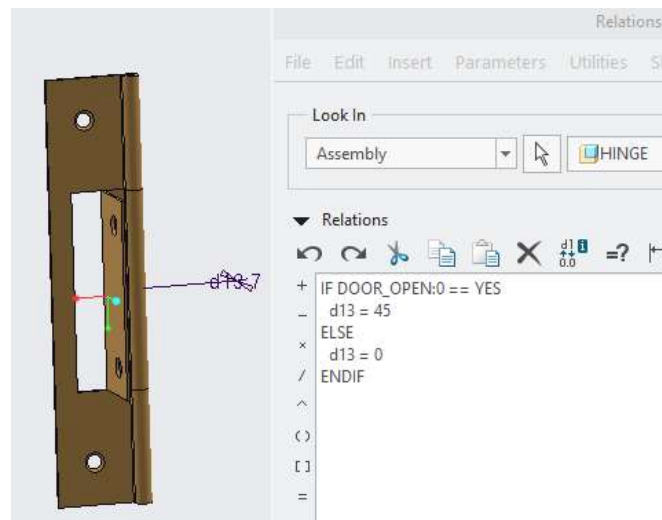
Kuva 86. CABINET_SKEL parametrit.

53. Lisää malliin parametrisuutta antamalla sille kolme uutta parametriä. Avaa CABINET_SKEL, sen parametrit ja lisää kuvassa 87 valittuna olevat kolme parametriä.



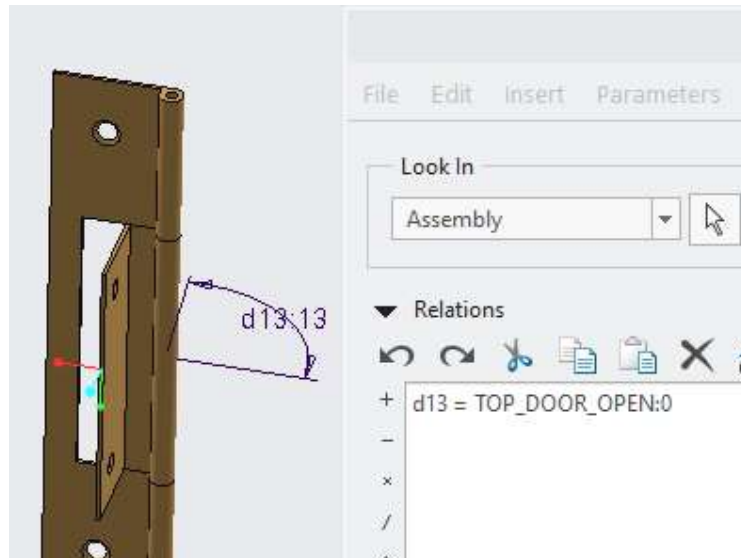
Kuva 87. Skeletoniin lisättävät parametrit.

54. Avaa seuraavaksi HINGE-kokoonpano. Aikaisemmin HINGE_PIECE_DOOR paikoitettiin kokoonpanoon käyttäen "Angle Offset" -paikoitustapaa. Tätä hyödyntäen lisää relaatioihin IF-sääntö tälle paikoitukselle. Paina mallipuusta hiiren oikealla painikkeella HINGE_PIECE_DOOR ja valitse "Edit Dimensions" (ei "Edit Definition"). Malli näyttää ainoastaan "Angle Offset" -paikoituksella tehdyn mitan, sillä muut ovat "Coincident". Vie hiiri mitan päälle (älä kuitenkaan paina sitä), jolloin näkyviin tulee paikoituksen tunniste (ID). Avaa kokoonpanon relaatiot ja anna paikoitukselle kuvan 88 mukainen relaatio.



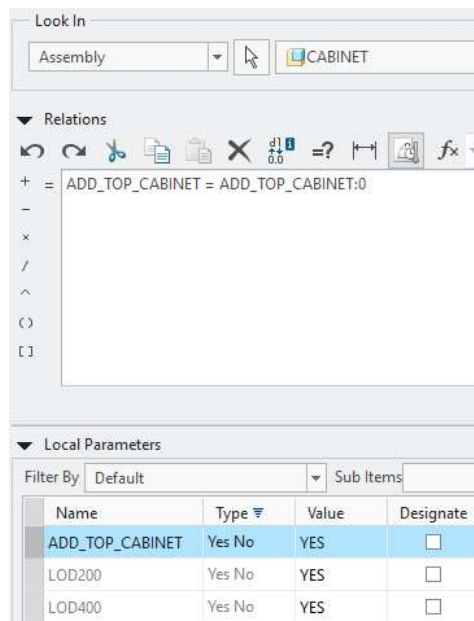
Kuva 88. HINGE.ASM relaatiot.

55. Tee myös HINGE_TOP-kokoonpanon relaatioihin sääntö oven aukeamista varten. Avaa HINGE_TOP ja sen relaatiot. Lisää relaatioihin kuvan 89 mukainen lauseke. Tunnisteen tulisi olla sama, sillä kokoonpano on kopioitu HINGE-kokoonpanosta, mutta mikäli se ei ole, tarkasta paikoituksen tunniste kohdan 55 tapaa käyttäen.



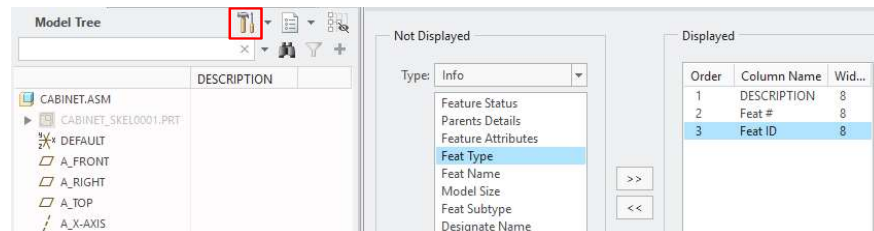
Kuva 89. HINGE_TOP.ASM relaatiot.

56. Avaa pääkokoonpano ja sen relaatiot. Paina alareunan nuolesta "Local Parameters" auki ja lisää kuvan 90 mukainen parametri. Lisää tämän jälkeen kuvassa 90 oleva relaatio kokoonpanoon.



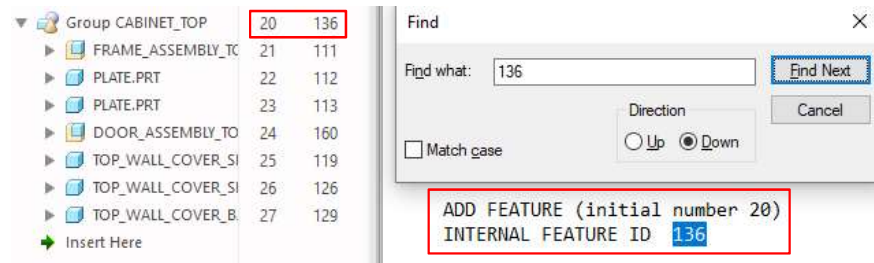
Kuva 90. Lisätty parametri sekä relaatio.

57. Tuo "Feat #" ja "Feat ID" näkyviin mallipuhun painamalla kuvassa 91 ympyröityä painiketta ja valitsemalla "Tree Columns". Siirrä kyseiset kolumnit oikean puoleiseen "Displayed"-kohtaan valitsemalla kolumnilistasta ja painamalla nuolta oikealle ja hyväksymällä OK-painikkeesta.



Kuva 91. Kolumnien lisääminen mallipuhun.

58. Mene "Tools"-välilehdelle ja valitse "Model Intent"-vetovalikosta "Program". Valitse uudesta ikkunasta "Edit Design", jolloin tekstitiedosto aukeaa. Mikäli ohjelma kysyy "Which Design", ei valinnalla ole merkitystä. Etsi tekstitiedostosta (CTRL+F) kohta, missä Program lisää ryhmän kokoonpanoon (kuva 92).



Kuva 92. PROGRAM ja feature ID.

59. Lisää ryhmän alkuun IF-lause (kuva 93) ja päätä lause ENDIF-komennolla ryhmän viimeisen jäsenen jälkeen (kuva 94).

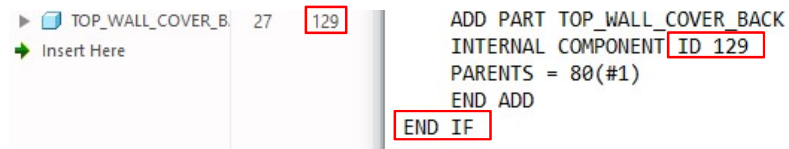
```
IF ADD_TOP_CABINET == YES
    ADD FEATURE (initial number 20)
    INTERNAL FEATURE ID 136
```

GROUP HEAD

NO.	ELEMENT NAME	INFO
1	Name	Defined
2	Features	Defined
3	Construction	Defined

Kuva 93. Lisätty IF-lause.

Liite 2/31



Kuva 94. ENDIF ryhmän viimeisen komponentin jälkeen.

60. Tallenna tekstitiedosto (CTRL+S) ja sulje raksista. Kun ohjelma kysyy: "Do you want to incorporate your changes into the model?", valitse "Yes". Mikäli koodissa on virheitä, "Menu Manager" antaa vaihtoehdot "Abort" ja "Edit". Valitse "Edit" ja etsi tekstitiedostosta virheilmoitus ja pyri ratkaisemaan ongelma.
61. Avaa CABINET_SKEL parametrit ja muuta parametrien arvoja ja tarkista, että kaikki toimii. Mikäli kaikki toimii ja kokoonpano generoituu haluttuihin parametreihin, on harjoitus valmis.
62. Alla vielä kaksi kuvaa (kuvat 95 ja 96) kokoonpanon eri konfiguraatioista.



Kuva 95. CABINET_ASM ovet suljettuina.



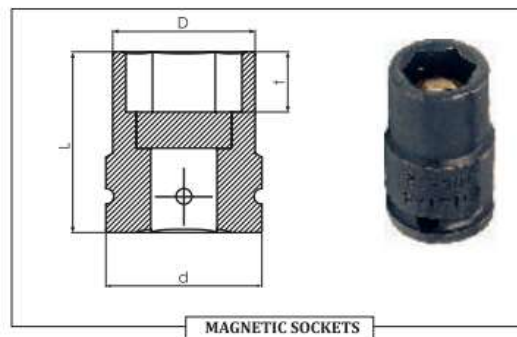
Kuva 96. CABINET_ASM ilman yläkaappia.

Family Table

Tässä harjoituksessa luodaan kuvan 97 mukainen hylsysarja Creon Family Table -työkalua käyttäen.

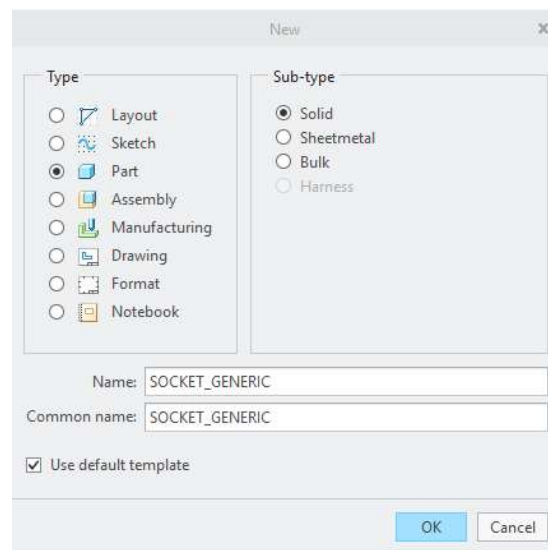
MAGNETIC SOCKETS

PART NO.	A/F mm	D mm	d mm	L mm	t mm	Weight kg
TM28	8	13.5	19	34	3	0.05
TM210	10	16	19	34	5	0.05
TM211	11	17.2	19	34	5	0.05
TM212	12	18.5	19	34	5	0.05
TM213	13	19.8	22	34	5	0.06
TM214	14	21	22	34	7	0.07
TM216	16	23.8	22	34	8	0.07
TM217	17	25	22	34	8	0.07



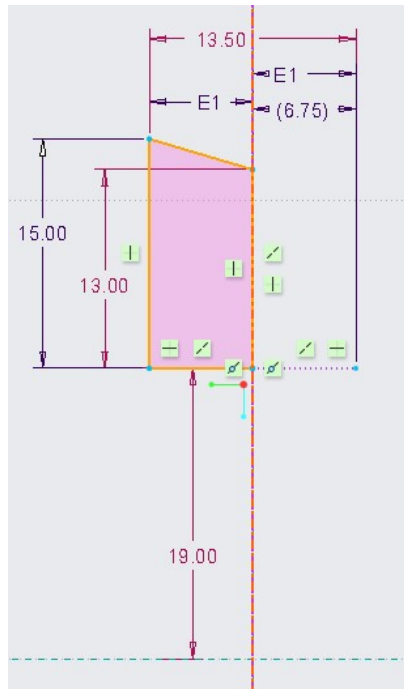
Kuva 97. Harjoituksessa käytettävä hylsysarja (Tritorc, 2014).

1. Aloita harjoitus luomalla uusi osa ja nimeä se SOCKET_GENERIC (kuva 98).



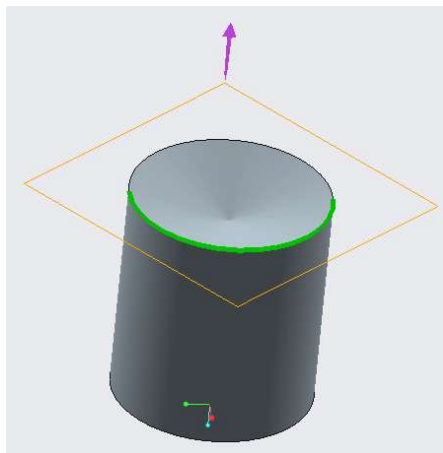
Kuva 98. SOCKET_GENERIC.

- Valitse "Model"-välilehdeltä "Revolve". Aloita luonnostelu lisäämällä pystysuuntainen keskiviiva, jonka jälkeen tee kuvan 99 mukainen nelikulmio. Aktivoi "Construction mode", piirrä keskiviivan oikealle puolelle vaakatasoon viiva ja mitoita keskiviivan molemmat puolet yhtä leveiksi "Constrain"-kohdan "Equal"-toimintoa hyväksikäyttäen.



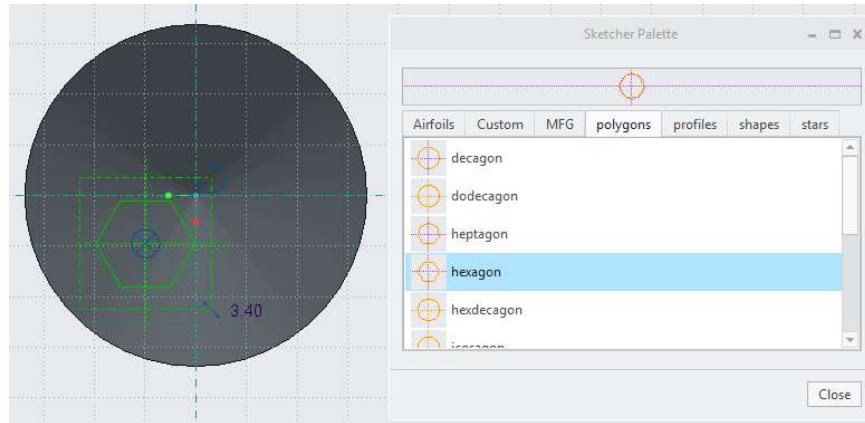
Kuva 99. Hylsyn ensimmäinen piirros.

- Lisää uusi taso valitsemalla hylsyn yläreuna referenssiksi (kuva 100).



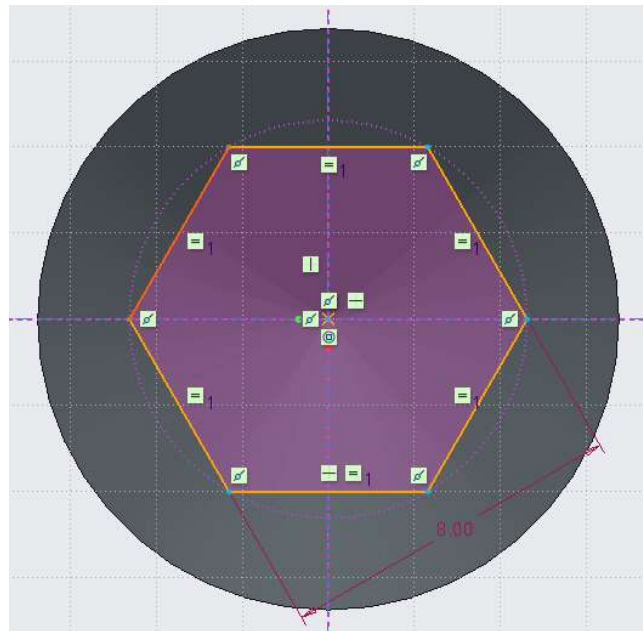
Kuva 100. Uuden tason lisääminen.

4. Valitse "Model"-välilehdeltä "Extrude" ja valitse pursotuspinnaksi edellisessä kohdassa luotu taso. Avaa "Sketch"-välilehdeltä "Palette" ja raahaa "polygons"-välilehdeltä hiiren vasenta näppäintä pohjassa pitäen "hexagon" mallin päälle (kuva 101). Kuusikulmion ei tarvitse vielä tässä vaiheessa olla oikealla paikalla. Hyväksy vielä "Import section".



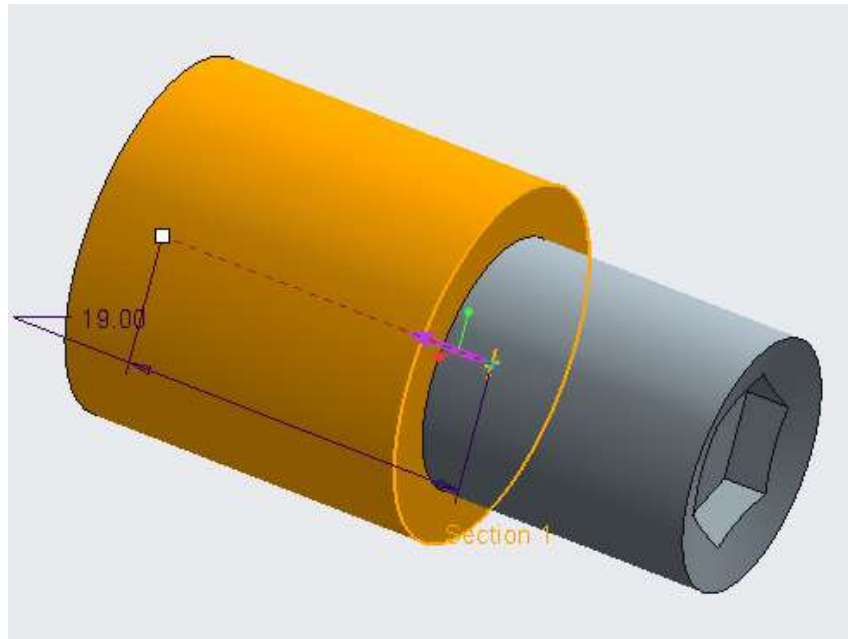
Kuva 101. Kuusikulmion tuominen pursotukseen.

5. Lisää paikoituspiste keskelle hylsyä. Tämän jälkeen paikoita kuusikulmio keskelle holkkia valitsemalla "Constrain"-kohdasta "Coincident", jonka jälkeen valitse kuusikulmion sekä hylsyn keskipisteet (kuva 102). Hyväksy luonnos ja pursots 3mm alaspäin (poista materiaalia).



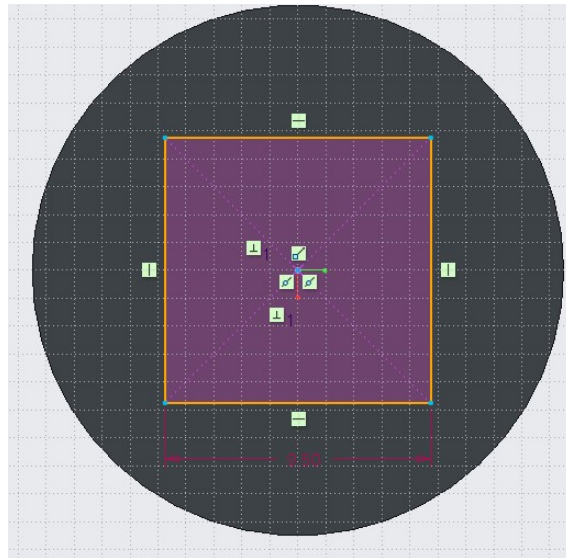
Kuva 102. Kuusikulmion paikoitus keskelle hylsyä.

6. Tee uusi "Extrude" ja pursota kuvan 103 mukainen ympyrälieriö. Ympyrän halkaisija on 19mm.



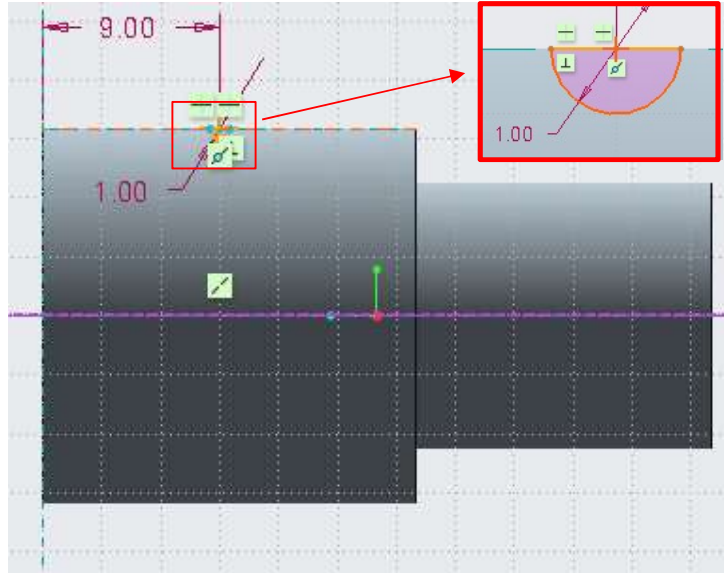
Kuva 103. Ympyrälieriön pursotus.

7. Tee uusi "Extrude", valitse pursotustasoksi TOP ja luonnosteile kuvan 104 mukainen neliö keskelle hylsyä. Pursota neliö 15mm hylsyn sisään.



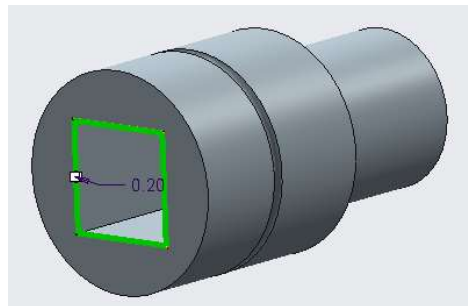
Kuva 104. Neliön pursotus hylsyn pohjaan.

8. Tee vielä ura holkin alaosan kylkeen. Valitse "Revolve" ja tasoksi RIGHT. Tee hylsyn keskelle keskiviiva ja valitse hylsyn kylki referenssiksi. Luonnostelee kuvan 105 mukainen puoliympyrä.

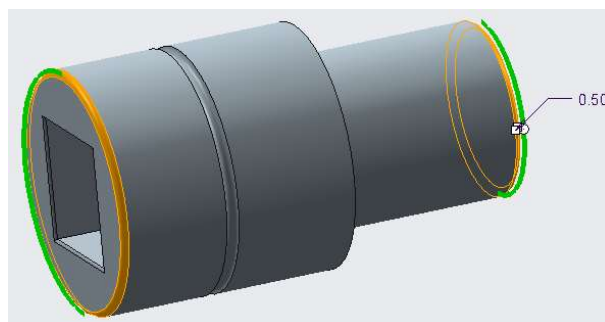


Kuva 105. Ura hylsyn kyljessä.

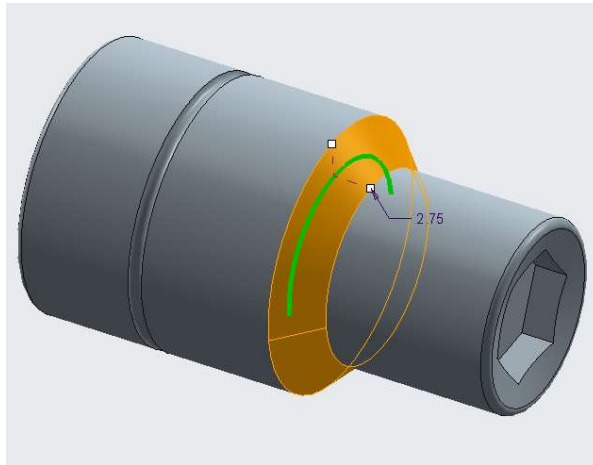
9. Tee vielä viiste hylsyn ylä- ja alaosan välille sekä reunapyöristykset kuvien 106, 107, 108 ja 109 mukaan.



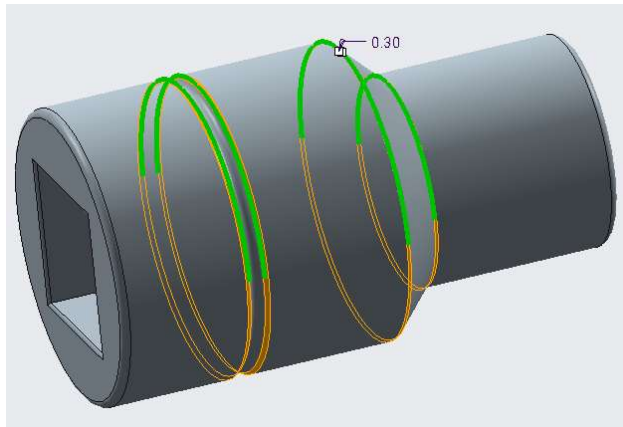
Kuva 106. Pohjareian pyöristys.



Kuva 107. Päätyjen pyöristykset.

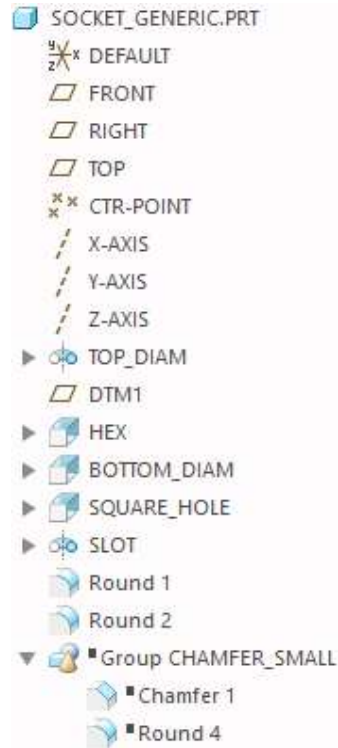


Kuva 108. Viiste.



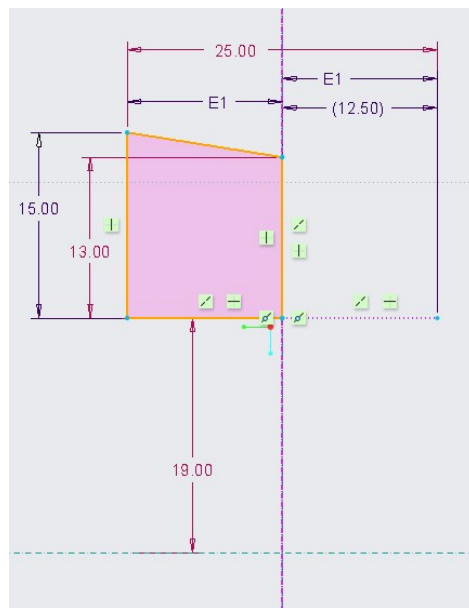
Kuva 109. Uran ja viisteen reunojen pyöritykset.

10. Kuvan 97 taulukosta nähdään, että M16 ja M17 hylsyjen pohjan halkaisija on suurempi kuin yläosan halkaisija. Näille hylsyille on tehtävä uudet piirteet ylä- ja alaosan väliselle viisteelle SOCKET_GENERIC osaan. Tätä varten tee viisteen kahdesta piirteistä kuvan 110 mukainen uusi ryhmä ja suppressoi se (valitse piirrepuusta ja hiiren oikealla näppäimellä "Suppress").

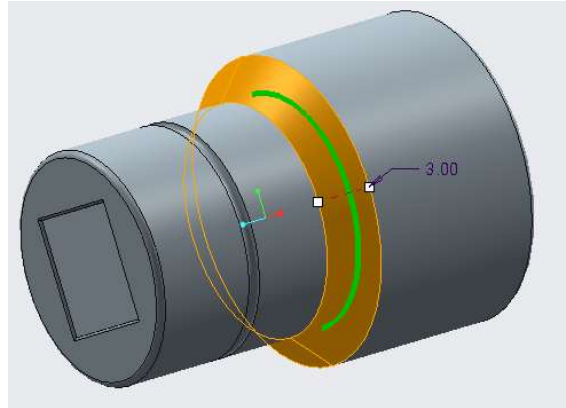


Kuva 110. Suppressoidut piirteet mallipuussa.

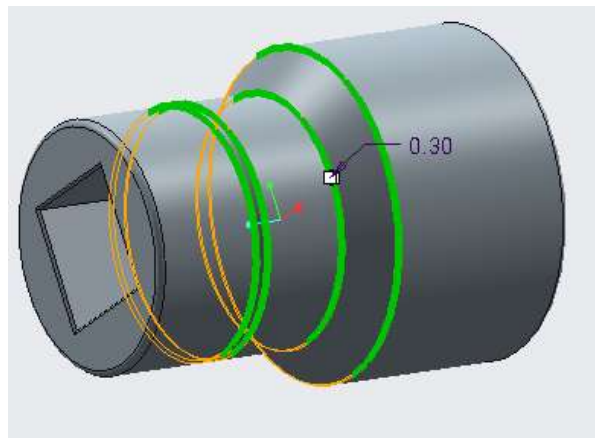
11. Muokkaa kohdassa kaksi tehty hylsyn yläosa kuvan 111 mukaiseksi ja lisää uusi viiste ja sille pyöristykset (kuvat 112 ja 113). Tee uudesta viisteestä ja pyöristyksistä uusi ryhmä CHAMFER_BIG (kuten CHAMFER_SMALL kuvassa 110).



Kuva 111. TOP_DIAM muutos.

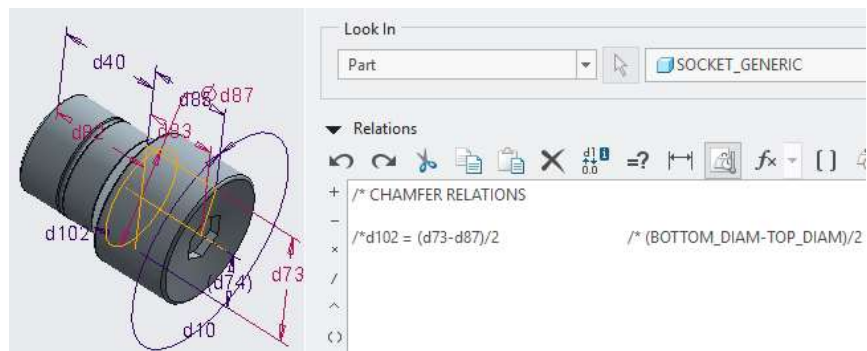


Kuva 112. Uusi viiste.



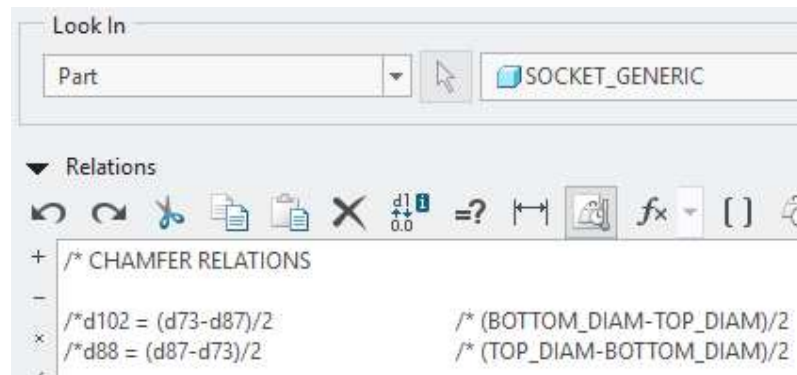
Kuva 113. Uudet pyöristykset.

12. Avaa relaatiot ja tee viisteen koolle kuvan 114 mukainen relaatio. Kommentoi kuitenkin relaatio vielä tässä vaiheessa pois, tarkemmat relaatiot sille luodaan myöhemmin. Kuvassa d102 on viisteen koko, d73 on yläosan halkaisija ja d87 alaosan halkaisija. Huomioi, että mittojen tunnisteet ovat sinulla todennäköisesti eri. Mittojen tunnisteet saat näkyviin painamalla tarvittavaa piirrettä piirrepuusta (TOP_DIAM, BOTTOM_DIAM ja Chamfer 2)



Kuva 114. Viisteen relaatiot.

13. Supressoi seuraavaksi CHAMFER_BIG -ryhmä, muuta yläosan halkaisija takaisin alkuperäiseen (13.5mm) ja palauta CHAMFER_SMALL-ryhmä (hiiren oikealla "Resume"). Avaa relaatiot ja lisää relaatio myös tämän ryhmän viisteelle. Huomaa relaatioiden ero kuvassa 115.



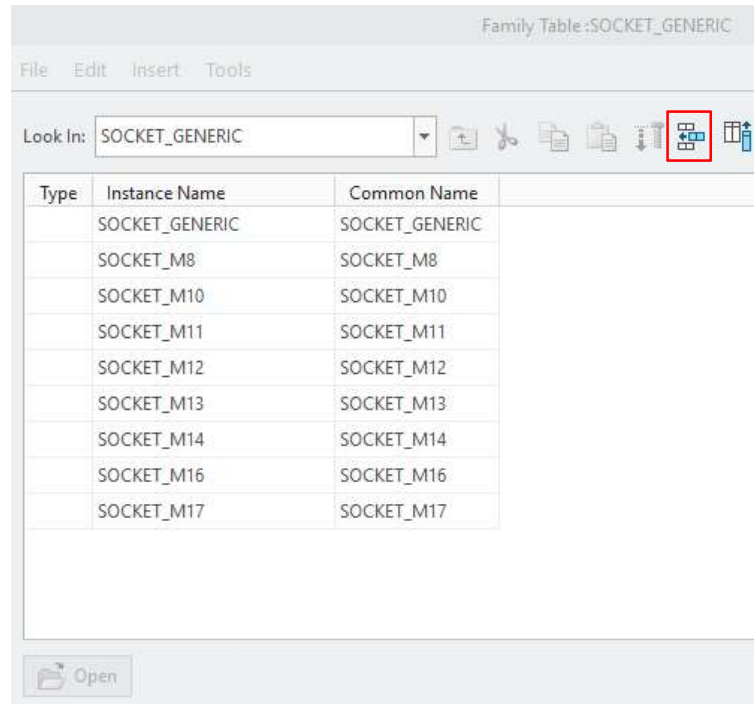
Kuva 115. Molempien viisteiden relaatiot.

14. Avaa osan parametrit ja lisää kuvan 116 mukainen parametri. Huomioi, että parametrin tyyppi on oltava "String".



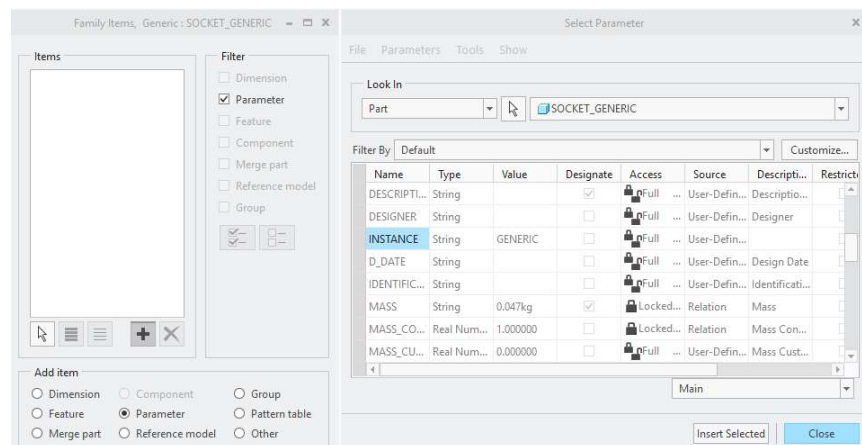
Kuva 116. Luo parametri INSTANCE.

15. Luo seuraavaksi osalle Family Table. Valitse "Tools"-välilehden "Model Intent"-osiosta "Family Table". Kuvassa 117 ympyröidystä painikkeesta voit lisätä taulukkoon uusia rivejä. Lisää tarpeellinen määrä rivejä ja anna jokaiselle instanssille kuvan 117 mukainen nimi.



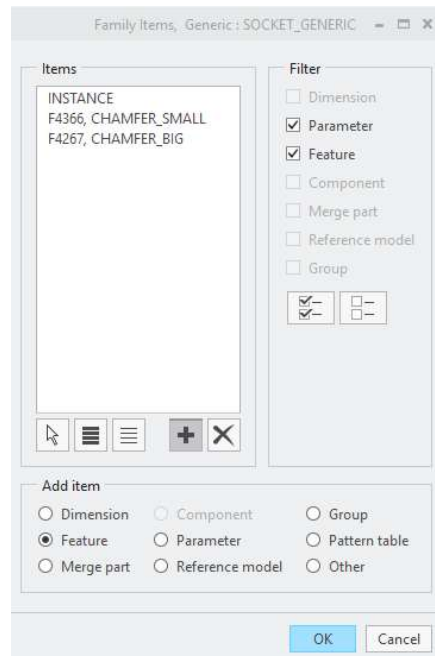
Kuva 117. Taulukkoon lisättävien instanssien lisäys.

16. Lisää seuraavaksi taulukkoon kohdassa 14 luotu parametri. Piirteitä voit lisätä taulukkoon painamalla kuvassa 117 ympyröidyn painikkeen oikealla puolella olevaa painiketta. Uuden ikkunan auettua, valitse "Parameter" ja aukeavasta listasta etsi parametri INSTANCE ja lisää se listaan valitsemalla "Insert Selected" (kuva 118).



Kuva 118. Parametrin lisääminen taulukkoon.

17. Lisää samalla taulukkoon viisteille luodut ryhmät. Valitse "Add item" -kohdasta "Feature" ja valitse mallipuusta CHAMFER_SMALL ja CHAMFER_BIG (kuva 119). Hyväksy lisäykset ja valitse lisätyille ominaisuuksille kuvan 120 mukaiset arvot.

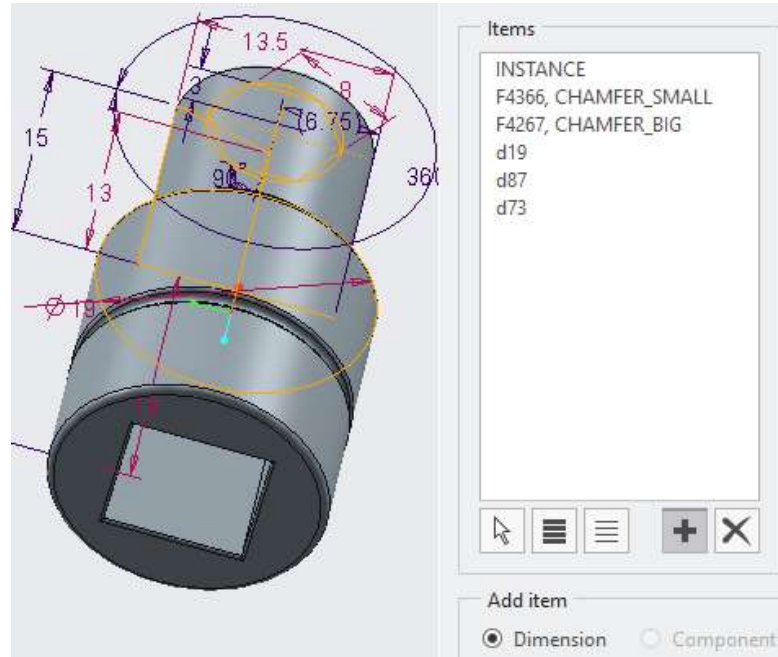


Kuva 119. Ryhmien lisääminen taulukkoon.

Type	Instance Name	Common Name	INSTANCE	F4366 CHAMFER_SMALL	F4267 CHAMFER_BIG
	SOCKET_GENERIC	SOCKET_GENERIC	GENERIC	Y	N
	SOCKET_M8	SOCKET_M8	M8	Y	N
	SOCKET_M10	SOCKET_M10	M10	Y	N
	SOCKET_M11	SOCKET_M11	M11	Y	N
	SOCKET_M12	SOCKET_M12	M12	Y	N
	SOCKET_M13	SOCKET_M13	M13	Y	N
	SOCKET_M14	SOCKET_M14	M14	Y	N
	SOCKET_M16	SOCKET_M16	M16	N	Y
	SOCKET_M17	SOCKET_M17	M17	N	Y

Kuva 120. Arvot taulukkoon lisätyille kolumneille.

18. Lisää taulukkoon seuraavaksi TOP_DIAM, HEX ja BOTTOM_DIAM pursotuksista saatavat mitat ylä- ja alaosan halkaisijoille sekä kuu-sikulmion koolle samaan tyyliin, kun niitä relaatioihin lisätessään (valitse mallipuusta, kuva 121). Anna taulukkoon lisätyille mitoille harjoituksen alussa olevaa kuvan 97 taulukkoa vastaavat arvot (kuva 122).



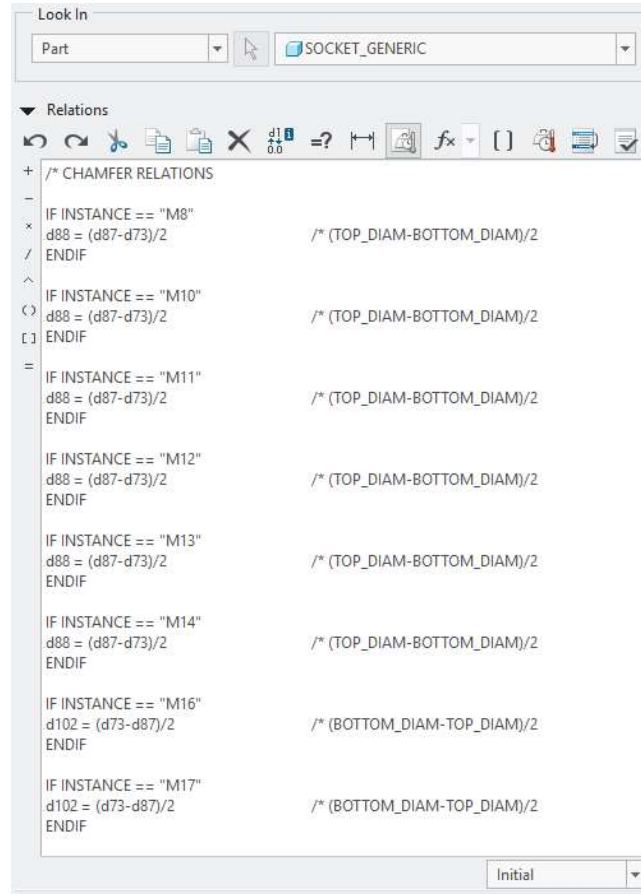
Kuva 121. Mittojen lisääminen taulukkoon.

Look In: SOCKET_GENERIC

Type	Instance Name	Common Name	IN...	F...	...	d19	d87	d73
	SOCKET_GENERIC	SOCKET_GENERIC	GE...	Y	N	8.00	19.00	13.50
	SOCKET_M8	SOCKET_M8	M8	Y	N	8.00	19.00	13.50
	SOCKET_M10	SOCKET_M10	M10	Y	N	10.00	19.00	16.00
	SOCKET_M11	SOCKET_M11	M11	Y	N	11.00	19.00	17.20
	SOCKET_M12	SOCKET_M12	M12	Y	N	12.00	19.00	18.50
	SOCKET_M13	SOCKET_M13	M13	Y	N	13.00	22.00	19.80
	SOCKET_M14	SOCKET_M14	M14	Y	N	14.00	22.00	21.00
	SOCKET_M16	SOCKET_M16	M16	N	Y	16.00	22.00	23.80
	SOCKET_M17	SOCKET_M17	M17	N	Y	17.00	22.00	25.00

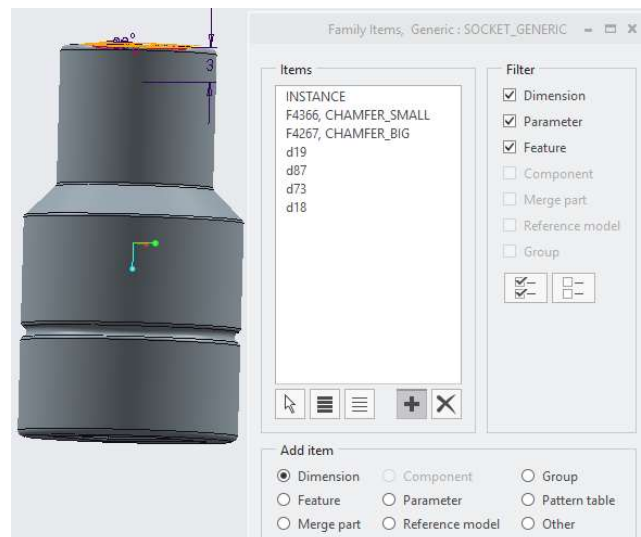
Kuva 122. Arvot lisätyille mitoille.

19. Hyväksy annetut arvot ja sulje Family Table painamalla OK. Avaa seuraavaksi relaatiot ja muokkaa viisteille annetut relaatiot vastaamaan kuvaa 123. Relaatioilla varmistamme, ettei viisteestä tule liian iso eri instansseille, joka hajottaisi piirteen generoitumisen.



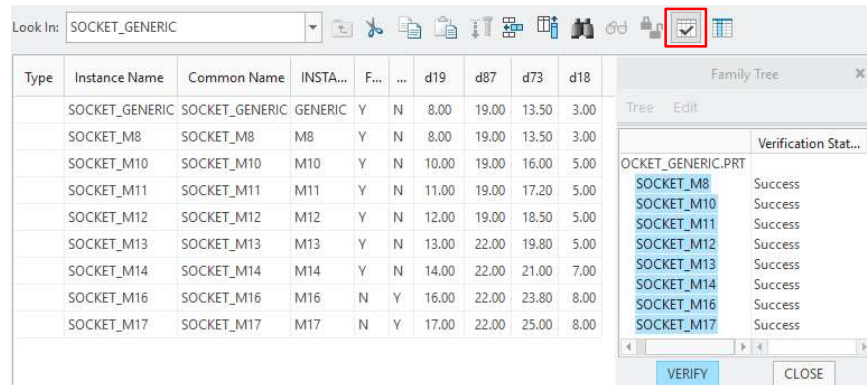
Kuva 123. SOCKET_GENERIC relaatiot viisteille.

20. Avaa vielä "Tools"-välilehdeltä Family Table ja lisää kuusikulmion syvyyttä vastaava mitta taulukkoon (kuva 124). Arvot mitalle löytyvät kuvan 97 taulukosta.



Kuva 124. Kuusikulmion syvyyden lisääminen taulukkoon.

21. Varmista vielä taulukon toimivuus painamalla kuvassa 125 ympyröidystä painikkeesta, jolloin uusi ikkuna aukeaa. Valitse kaikki instanssit ja paina "VERIFY". Mikäli jokin instansseista antaa virheen, avaa kyseinen instanssi ja pyri selvittämään mistä piirteen hajoaminen johtuu. Instanssit voit avata taulukosta valitsemalla haluamasi instanssin taulukosta, jolloin "Open" aktivoituu ruudun alareunassa. Mikäli kaikki instanssit generoituvat oikein, on harjoitus valmis.



Kuva 125. Family Tablen toimivuuden tarkistaminen.

22. Alla vielä kuva yhdestä taulukon instanssista (kuva 126).



Kuva 126. SOCKET_M11