



Komponenttikirjaston luominen parametrisilla malleilla SolidWorksin PDM-ympäristöön

Laura Jokinen
Marianna Ylinikkilä

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka ja tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka ja tuotekehitys

JOKINEN, LAURA & YLINIKKILÄ, MARIANNA:

Komponenttikirjaston luominen parametrisilla malleilla SolidWorksin PDM-ympäristöön

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 24 sivua
Huhtikuu 2021

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mallintaa SolidWorksin PDM-ympäristöön toimiva komponenttikirjasto opetus- ja hankekäyttöön yleisimmille koneenrakennusosille. Komponenttikirjaston luomisen lisäksi tehtiin harjoitustyö parametrisesta mallinnuksesta, jossa harjoitellaan Design Tablen ja CustomWorksin käyttöä.

Työn tilasi Tampereen ammattikorkeakoulu osana PDM2pk-hanketta. Komponenttikirjastoa ja harjoitustyötä tullaan hyödyntämään opetus- ja hankekäytössä. Työn toteuttamiseen kuului komponentteihin tutustuminen, SolidWorksin käytön opettelu sekä parametrinen mallintaminen, attribuuttien määrittäminen ja komponenttien vienti SolidWorksin PDM -järjestelmään.

Työn lopputuloksena saatiin laajennusta TAMK:n SolidWorksin komponenttikirjastolle yleisesti opetus- ja hankekäytössä olevilla koneenrakennuskomponenteilla. Komponenttikirjasto on edelleen melko suppea, ja sitä tullaan jatkossa vielä laajentamaan. Oppilaitoksella ei ole ollut kovin laajaa osaamista parametriseen mallinnukseen, attribuuttien lisäämiseen ja mallien vientiin SolidWorksin PDM-järjestelmään. Opinnäytetyön myötä komponenttikirjaston laajennus onnistuu jatkossa helpommin.

Opinnäytetyössä opittiin paljon parametrisesta mallinnuksesta. Työssä tehty runsas mallintaminen kehitti myös mallinnuslogiikkaa. Projektin loppuvaiheessa CustomWorks lakkasi toimimasta, minkä takia työn eteneminen hidastui. Jotta jatkossa komponenttikirjastoa voitaisiin laajentaa, on ohjelmistojen toimittava kunnolla.

Asiasanat: parametrinen mallinnus, SolidWorks, komponenttikirjasto, PDM, parametrisointi, Design Table, CustomWorks

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering and Product Development

JOKINEN, LAURA & YLINIKKILÄ, MARIANNA:
Creating a Component Library with Parametric Models for the SolidWorks PDM Environment

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 24 pages
April 2021

This work was ordered by Tampere University of Applied Sciences and it is a part of PDM2pk project. The main objective of the PDM2pk project is to increase the expertise in product and lifecycle management (PDM/PLM) of micro and SME personnel and to develop and improve the supply and quality of manufacturing industry training. The project is carried out as a joint project between Tampere University of Applied Sciences (TAMK) and Turku University of Applied Sciences (Turku UAS).

The purpose of this thesis was to create a component library in the SolidWorks PDM environment. The component library will be used for teaching and projects. This project added some common parts for mechanical engineering including for example bearing, different kinds of fastening and screws. In addition, a guideline was also made for students about parametric modelling using SolidWorks Design Table and CustomWorks. The implementation of the work included getting to know the components, learning to use SolidWorks along with parametric modelling and defining attributes and taking components to the SolidWorks PDM environment.

The outcome of this project was an extension to TAMK's SolidWorks component library with the commonly used machine-building components. These components will be used in teaching and projects in TAMK. The component library is still quite narrow and will be expanded. With the increased knowledge about parametric modelling gained from the thesis, it will be easier to expand the library. Further, this thesis contained a lot of modelling with SolidWorks, which also developed the modelling logic.

Key words: parametric modeling, solidworks, component library, pdm, parametrization, design table, customworks

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	PDM2PK – TUOTETIEDON HALLINTAA PK-SEKTORILLE	8
3	SOLIDWORKS.....	9
4	TUOTEPROSESSIN HALLINTA.....	10
	4.1 PDM – product data management	10
	4.1.1 Nimikkeiden hallinta ja attribuutit	11
	4.1.2 Tuotetiedonhallintajärjestelmä.....	12
	4.2 PLM – product life cycle management	12
5	MALLINNUSPROSESSI	13
	5.1 CAD – computer-aided design	13
	5.2 Mallinnussuunnitelma.....	13
	5.3 Mallinnusmenetelmät	14
	5.3.1 Bottom-up-mallinnus.....	15
	5.3.2 Top-down-mallinnus	16
	5.3.3 Skeleton-mallit.....	16
	5.4 Mitoitusmenetelmät.....	16
	5.5 Tietojen hallinta.....	18
6	PARAMETRISOINTI JA SEN PERUSTA.....	19
	6.1 Parametrisuus	19
	6.2 Piirremallinnus.....	19
	6.3 Parametrinen piirremallinnus	20
	6.4 Parametrinen mallinnus SolidWorksilla	20
	6.4.1 Design Table	21
	6.5 SolidWorks PDM:n ominaisuudet.....	21
	6.5.1 CustomWorks	22
7	MALLINTAMINEN PARAMETRISILLA MALLEILLA	23
	7.1 Parametrisoinnin mahdollisuudet ja hyödyt.....	23
	7.2 Suunnittelun tehostaminen parametrisoinnilla.....	23
	7.3 Parametrisoinnin hallinta	24
	7.4 Parametrisoinnin käyttö teollisuudessa	24
	7.4.1 Massaräätälöintiesimerkki, Metso Minerals	25
8	TYÖN KULKU	27
	8.1 Toimeksiannon suoritus	28
	8.1.1 Muoto	28
	8.1.2 Kierteet.....	30
	8.1.3 Reiät.....	33

8.1.4 Design Tablen tekeminen	34
8.2 Kappaleiden vienti PDM-järjestelmään	34
8.3 Nimikkeiden hallinta ja attribuutit.....	36
8.4 Harjoitustyö	40
9 POHDINTA	41
LÄHTEET.....	43
LIITTEET	45
Liite 1. Parametrisen mallinnuksen harjoitustyö	45
Liite 2. Mallinnetut kappaleet	54

LYHENTEET JA TERMIT

Attribuutti	Nimikkeeseen liittyvää määrämuotoista tietoa
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CustomWorks	Attribuuttien hallintaan tarkoitettu sovellus SolidWorksissa
Design Table	SolidWorksin ohjelma, joka ohjaa konfiguraatioiden mittoja ja ominaisuuksia sekä riippuvuuksia
ERP	Enterprise Resource Planning eli toiminnanohjausjärjestelmä
Konfiguraatio	Tiettyyn käyttötarkoitukseen räätälöity komponenttiversio
PDM	Product data management, tuotetiedon hallinta
PLM	Product life cycle management, tuotteen elinkaaren hallinta
pk	Pieni ja keskisuuri (yritys)
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oleva komponenttikirjaston luominen on osa Tampereen ammattikorkeakoulun ja Turun ammattikorkeakoulun PDM2pk -yhteishanketta. Hankkeen tavoitteena on tukea mikroyritysten sekä pienten ja keskisuurien yritysten kasvua ja kykyä vastata tilaus- ja toimitusverkostojen vaatimuksiin.

Työn tarkoituksena on rakentaa SolidWorksin PDM-ympäristöön toimiva komponenttikirjasto, tarvittavine attribuutteineen opetus- ja hankekäyttöön yleisimmille koneenrakennusosille, kuten muun muassa laakereille, kiinnittimille ja ruuveille. Lisäksi osana opinnäytetyötä tehdään harjoitustyö parametrisesta mallinnuksesta, jossa on muun muassa tarkoitus oppia käyttämään SolidWorksin Design Tablea ja CustomWorksia.

Tavoitteena on rakentaa komponenttien mallit parametrisoituna siten, että muun muassa eri kokovaihtoehdot ovat helposti vaihdettavissa ja kappaleiden nimikkeet ja attribuutit päivittyvät oikein PDM-ympäristössä.

TAMK:lla on opetuskäytössä SolidWorks-ohjelma. Tästä syystä komponenttikirjasto on tilattu SolidWorksin PDM-järjestelmään. Tässä opinnäytetyössä keskitytään SolidWorksin mahdollisuuksiin ja ominaisuuksiin parametrisessä mallinnuksessa. Teorian osalta aihe painottuu parametrisen mallintamiseen ja tuotetiedon hallintaan.

2 PDM2PK – TUOTETIEDON HALLINTAA PK-SEKTORILLE

PDM2pk - hankkeen päätavoitteena on mikro ja pk-yritysten henkilöstön tuote- ja elinkaarihallinnan (PDM/PLM) osaamisen lisääminen ja valmistavan teollisuuden koulutustarjonnan ja laadun kehittäminen ja parantaminen. Tarkoituksena on huomioida erityisesti valmistavan teollisuuden mikro ja pk-yritykset ja niiden tarpeet digitalisaation hyödyntämisessä sekä kehittää kilpailukykyä ja yritysten tuottavuutta. (Tampereen ammattikorkeakoulu, n.d.)

Hanke toteutetaan Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) ja Turun ammattikorkeakoulun (Turku AMK) yhteishankkeena. Hankkeessa tullaan tuottamaan ja testaamaan uudenlaisia koulutussisältöjä ja -konsepteja. Hankkeen tavoitteet saavutetaan hyödyntämällä uusimpia viestinnän, median ja virtuaalitodellisuuden mahdollistamia keinoja. (Tampereen ammattikorkeakoulu, n.d.)

Hankkeen toimien on tarkoitus tulla edistämään ja tukemaan yritysten kasvua ja osaamista sekä niiden sidosryhmäverkostojen kehittämistä. Tulosten voimaan saattamisen ja osaamisen laajentamisen on tarkoitus varmistaa kilpailukyvyyn kehittyminen ja yritysten tuottavuuden kasvaminen. (Tampereen ammattikorkeakoulu, n.d.)

3 SOLIDWORKS

SolidWorks on Dassault Systèmes SolidWorks Corp.:n omistama 3D-työkaluja tarjoava ohjelmisto, jolla voidaan simuloida, julkaista ja hallita tietoja. SolidWorksin tuotteet ovat saumattomasti yhteydessä toisiinsa, jolloin suunnittelutyötä voi tehdä helposti ja nopeasti. SolidWorks pyrkii panostamaan tuotteidensa helppokäyttöisyyteen, jotta luominen on mahdollisimman nopeaa ja tehokasta. (Dassault Systemes, n.d.)

Alun perin SolidWorksia tarjoava yritys on perustettu vuonna 1993. Vuonna 1997 Velizyssa ranskalainen Dassault Systèmes osti yrityksen. Nykyään Dassault Systèmes SolidWorks Corp.:n pääkonttori sijaitsee USA:ssa Massachusettsissa Waltham:ssa. (Dassault Systemes, n.d.)

Dassault Systèmes SolidWorks Corp.:n toimialue markkinat ovat teollisuus, tutkimus ja tuotekehitys, lääketeollisuus, kuluttajatuotteet, koulutus, tekniikka ja liikenne. SolidWorks on käytössä 182 300 organisaatiossa eri puolilla maailmaa. (Dassault Systemes, n.d.)

4 TUOTEPROSESSIN HALLINTA

4.1 PDM – product data management

Sääksvuoren ja Immosen teoksen (2002) mukaan tuotetiedonhallinnan eli PDM:n avulla hallitaan ja kehitetään teollisesti valmistettavia tuotteita. PDM on systemaattinen ja ohjattu järjestelmä, jonka avulla ohjataan markkinoillesaattamis- ja kehitysprosessia, tilauksia ja toimituksia sekä tuotteeseen liittyviä tietoja. Tuotetiedonhallintaa hyödynnetään tuotteen koko elinkaaren ajan. Yrityksen valmistaman tuotteen ja yrityksen toimintaan liittyvän tiedon luominen, säilyttäminen ja tallentaminen on PDM:n ydin. Tietojen tallentaminen pitää tapahtua siten, että päivittäisen toiminnan tiedot löytyvät helposti ja niitä on helppo jalostaa ja jakaa päivittäisessä toiminnassa. Tuotetiedonhallinnan ajatuksena on samalla myös muuttaa yrityksen työntekijöiden, asiantuntijoiden, ja osaajien tietotaitoa yrityksen pääomaksi. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 13.)

Yrityksen osaajien tietotaidon hyödyntämisen lisäksi yritysten tulisi panostaa siihen, että ne pystyisivät reagoimaan nopeasti ja kustannustehokkaasti markkinoiden muutoksiin. Markkinoiden muutosnopeuden takia nopea tuotekehitys- ja tilaus-toimitusprosessi on avainasemassa nykypäivän liikemaailmassa. Usein nopeita muutoksia joudutaan tekemään yksittäisiäkin asiakkaita varten. Nykypäivänä yritysten verkostoituminen on tärkeää, sillä tuote saattaa syntyä usean yrityksen yhteistyönä, jolloin käytössä voi olla useita erikoistuneita CAD- ja ERP-järjestelmiä. Tietojärjestelmät ja toiminta hajanaisessa toimintakentässä asettavat suuria vaatimuksia järjestelmien yhdentämiselle ja tiedon siirrolle. Kaikki tämä vaatii toimivaa tiedonhallintaa. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 13–14, 99.)

Toimivan tiedonhallinnan toteutuessa PDM-järjestelmän käyttö mahdollistaa koko tilaus-toimitusketjun järkevyyden ja kustannustehokkuuden kehittämisen. Kommunikaation panostaminen kehittää toiminnan laatua, tehokkuutta ja nopeutta. PDM-järjestelmän avulla on mahdollista vähentää hukkatyötä, sillä aikaisemmin tehdyn työn tietoja voidaan hyödyntää paremmin ja tietoa voidaan etsiä tehokkaammin. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 99–100.)

Sääksvuoren ja Immosen teoksessa (2002) kerrotaan kuinka useissa eri tutkimuksissa, kuten tutkimusinstituutin Coopers & Lybrandin vuonna 1994 tekemässä tutkimuksessa, osoitetaan että esimerkiksi insinöörin ajankäytöstä noin 30 % kuluu tiedon etsimiseen, jakeluun ja ylläpitoon. Noin 20 % ajasta kuluu jo kertaalleen tehtyjen asioiden uudelleen tekoon, ja noin 14 % erilaisissa kokouksissa. Tutkimuksen mukaan vain noin 30 % ajasta kuluisi varsinaiseen insinööriyöhön. Tutkimus on toki jo melkein 30 vuotta vanha, mutta sen tuloksista voidaan siltikin löytää hyviä syitä, miksi toimiva tuotetiedonhallinta ja hukkatyön vähentäminen on tärkeää yrityksille. Tärkeimpinä hyötyinä PDM:n käytössä on päällekkäisen työn osuuden pieneneminen, toiminnan joustavuuden lisääntyminen sekä nimikkeistön minimointi ja standardisointi. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 99–100.)

4.1.1 Nimikkeiden hallinta ja attribuutit

Nimikkeiden hallinta on yksi PDM-järjestelmän perustoimintoja. Nimike on järjestelmällinen tapa identifioida, koodata ja nimetä tuote, tuotteen osa tai komponentti. Tietojen oleellisuus riippuu yrityksestä, mutta oleellisimpia tietoja voivat olla esimerkiksi tuotteen materiaali, tuotenumero tai tuotteen noudattama standardi. Nimikkeistön tulisi olla yhtenäistä, yrityksen oman käytännön tai standardin mukaista ja sen luokittelu tulisi tapahtua sopivalla ja tarkoituksenmukaisella karkeustasolla. Koneteollisuudessa esimerkiksi salmiakkimutterin nimikkeistön luokittelu voidaan aloittaa nimeämällä kappaleen pääluokaksi tai komponenttiluokaksi mutteri ja selventäväksi alaluokaksi salmiakkimutteri. Luokittelua voidaan yritysten tarpeen mukaan jatkaa haluttuun tarkkuuteen asti. Johdonmukainen nimikkeiden luokittelu helpottaa nimikkeistön hallintaa ja yksittäisen nimikkeen etsimistä. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 19.)

Peltosen, Martion ja Sulosen (2015) määritelmän mukaan nimikkeeseen liittyviä määrämuotoista tietoa kutsutaan attribuuteiksi. Attribuutti voi liittyä myös kahden tai useamman nimikkeen väliseen yhteyteen, esimerkiksi jos komponentti A on komponentti B:n osa, komponentteja yhdistävä attribuutti voi kertoa kuinka monta A:ta B:llä on osana. PDM-järjestelmässä nimikkeille määritellään aina joitain attribuutteja. Esimerkiksi nimikkeen tunniste ja kuvaus ovat attribuutteja, jotka ovat automaattisesti kaikilla nimikkeillä järjestelmässä. Pakollisten attribuuttien lisäksi

nimikkeille voidaan määritellä erilaisia attribuutteja. Attribuutteja on myös esimerkiksi luontipäivämäärä, numero ja materiaali. (Peltonen, Martio & Sulonen, 2015, 20, 67.)

4.1.2 Tuotetiedonhallintajärjestelmä

PDM:stä puhuttaessa usein viitataan nimenomaan PDM-järjestelmään. Ideaalitalenteessa PDM-järjestelmä on koko yrityksen kattava tietojärjestelmä. Tietojärjestelmän tarkoituksena on integroida ja hallita yrityksen liiketoimintaprosesseja käsiteltävien tuotteiden ja niihin liittyvien informaatioiden kautta. Tuotetiedonhallintajärjestelmä integroi yrityksen kaikki toiminnot tietotekniikan avulla ja PDM:n tehtävänä onkin luoda edellytykset tietojärjestelmien, prosessien ja automaation yhdistämiselle. (Sääksvuori & Immonen, 2002, 20.)

4.2 PLM – product life cycle management

PLM eli tuotteen elinkaaren hallinta käsittää koko tuotteen elinkaaren lähtien tuotteen kehittämisestä jatkuen suunnittelun, valmistuksen ja huollon läpi aina tuotteen hävittämiseen asti. PLM tarjoaa yrityksen tuoteinformaatiolle perusrungon, joka yhdistää ihmisiä, tietoa, prosesseja ja liiketoimintajärjestelmiä. (Peltonen, Martio & Sulonen, 2015, 9.)

Grievesin (2016) mukaan tuotteen elinkaarenhallinta on lisäksi integroitu, informaatiolähtöinen lähestymistapa kaikkiin tuotteen elinkaaren osa-alueisiin. PLM-järjestelmät mahdollistavat hänen mukaansa tuotetietojen käytön, päivittämisen ja käsittelyn hajautetussa ympäristössä. PLM on yritysjärjestelmien integrointia tuotteen elinkaaren hallitsemiseksi. (Grieves, 2016, 32.)

5 MALLINNUSPROSESSI

5.1 CAD – computer-aided design

CAD eli tietokoneavusteinen suunnittelu on avaintekijä tietokoneella tehtävään piirtämiseen ja suunnitteluun. On olemassa laaja valikoima sekä yksinkertaisia että monimutkaisempia CAD-ohjelmia. CAD-ohjelmat mahdollistavat kaksi- ja kolmiulotteiset piirustuksien luomisen vain hiirtä ja näppäimistöä käyttämällä. CAD:lla on tärkeä rooli monilla aloilla. Sitä käytetään teollisuudenaloilla, sekä rakennesuunnittelussa ja arkkitehtuurissa. Teknisten piirustusten luomisen lisäksi CAD-ohjelmia voidaan käyttää tehokkaiden virtuaalimallien kehittämiseen, joiden avulla pystytään tekemään monipuolisia simulaatioita. (Krebs, 2017, 7.)

Ensimmäiset CAD-ohjelmat kehitettiin 1960-luvulla, ja niitä käytettiin pääasiassa lentokoneiden rakentamiseen. Henkilökohtaisen tietojenkäsittelyn läpimurron ja tietokonetyöasemien alhaisempien kustannusten myötä 1980-luvulla nämä ohjelmat tulivat saataville suuremmalle määrälle käyttäjiä. 2000-luvun alkupuolella kehitetyt tehokkaat, standardoidut tietojenkäsittelyjärjestelmät ovat johtaneet tehokkaisuuteen, suhteellisen edullisiin CAD-järjestelmiin, jotka täyttävät monenlaiset vaatimukset. (Krebs, 2017, 7.)

5.2 Mallinnussuunnitelma

Mallinnussuunnitelmalla tarkoitetaan hahmotelmaa siitä, miten malli tullaan muodostamaan CAD:lla ja kuinka se käyttäytyy, jos sen mittoja myöhemmin muutetaan. Suunnitelmassa on otettava huomioon muun muassa miten käytettävät ehdot, kuten yhdensuuntaisuus, horisontaalisuus, saman keskisyys hyödynnetään ja onko mittojen välille mahdollista määritellä matemaattisia yhtälöitä sekä miten mitoitus toteutetaan siten, että malli on selkeä ja muutoksienkin jälkeen se käyttäytyy oikealla tavalla. Mallinnussuunnitelmassa kannattaa mitoituksien lisäksi kiinnittää huomiota myös siihen, millaisista piirteistä osa muodostetaan. (Hietikko, 2019, 30–31.)

Mallinnussuunnitelmaan täytyy kiinnittää enemmän huomiota, kun kappale on konfiguroitava, toisin kuin jos kappaleesta tehdään vain yksi variaatio. Aluksi täytyy huomioida vaihteluiden määrä konfiguraatioissa. Jos muutoksia tulee vähän, voi suunnittelussa käyttää bottom-up-menetelmää. Tällöin konfiguraatioita joudutaan tekemään osiin ja kokoonpanoihin. Jos puolestaan mahdollisia muunteluita on paljon, tai on paljon muuntuvia komponentteja, on top-down-menetelmä oletettavasti järkevämpi vaihtoehto. (Kainunen, 2016, 18.)

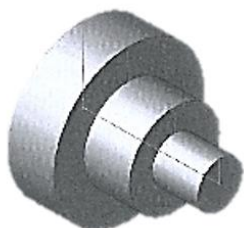
5.3 Mallinnusmenetelmät

Erilaisia CAD:lla toteutettavia 3D-mallinnusmenetelmiä on periaatteessa yhtä paljon, kuin on mallintajiaakin. Kukaan suunnittelija rakentaa mallin helpoimmaksi näkemällään tavalla, jotta kappaleille asetetut vaatimukset saavutettaisiin. Samat asiat pätevät kokoonpanojenkin suhteen. Yleisesti käytettyjä tyylejä voidaan kuitenkin hyödyntää eritoten kokoonpanotasolla tapahtuvassa mallinnuksessa. Yleisimmät kokoonpanomallinnusmenetelmät ovat Bottom-up-mallinnus ja Top-down-mallinnus. (Kirves, 2019, 7.)

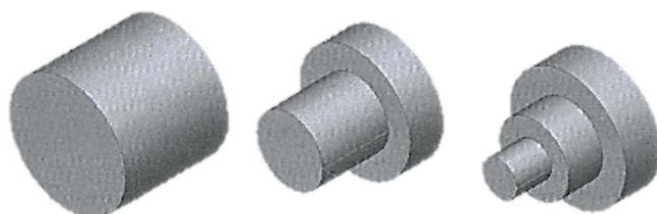
Pyörähdyskappale voidaan mallintaa esimerkiksi niin sanotulla kakkumenetelmällä, pyörähdyskappalemenetelmällä ja sorvausmenetelmällä (KUVA 1.). Kakkumenetelmässä pyörähdyskappale muodostetaan mallintamalla muodot päällekkäin ikään kuin monikerroksiseksi kakuksi. Vaihtoehtoisesti voidaan mallintaa pyörähdyspiirre ja pyöräyttää se keskiakselin ympäri. Yksi vaihtoehto on käyttää sorvausmenetelmää, jossa leikataan isosta sylinteristä leikkaustoiminnolla halutut osat pois. (Hietikko, 2020, 37.)



"Kakkumenetelmä"



Pyörähdyskappalemenetelmä



Sorvausmenetelmä

KUVA 1. Pyörähdyskappaleen mallinnusesimerkkejä (Hietikko 2020, 37)

5.3.1 Bottom-up-mallinnus

Bottom-up -mallinnusmenetelmä on yleisin ja kokoonpanojen mallinnukseen eniten käytetty menetelmä. Tämä on helpoin tapa aloittaa kokoonpanomallinnuksen harjoittelu. Mallinnusmenetelmä perustuu siihen, että jokainen mallin osa mallinetaan erillisenä osana. Kun kaikki osat ovat valmiit ja erilleen tallennettu voidaan osista koota kokoonpano. Kokoonpanossa osat paikoitetaan toisiinsa kiinni ilman mitään toisiinsa tai kokoonpanoon sitovia riippuvuuksia. (Kirves, 2019, 7.)

Kirves (2019) jatkaa, että bottom-up -menetelmän heikkous on kokoonpanojen huono muokattavuus. Jos kokoonpanoon tarvitsee tehdä muutoksia, täytyy muutokset käydä tekemässä jokaiseen kokoonpanon osaan erikseen. Yhden osan muokkaaminen kokoonpanossa aiheuttaa usein sopivuusongelmia, jonka takia joudutaan usein muokkaamaan myös muita osia. (Kirves, 2019, 7.)

5.3.2 Top-down-mallinnus

Top-down-mallinnus on usein käytetty mallinnusmenetelmä. Oikein käytettynä tämä tekniikka on hyvin tehokas ja monipuolinen kokoonpanojen mallinnusmenetelmä. Mallinnettaessa luodaan kokoonpanon osien ja ominaisuuksien välille riippuvuuksia. Kokoonpanon ja sen osien välisiä riippuvuuksien määrittelyyn voidaan käyttää esimerkiksi skeleton-mallia. Näiden riippuvuuksien avulla tieto kulkee suoraan kokoonpanosta osiin. Näin ollen kokoonpanon osille ei siis tarvitse välttämättä antaa edes mitään mittoja, vaan osien mitat määräytyvät kokoonpanosta saatavien mittojen perusteella. (Kirves, 2019, 8.)

Top-down-mallinnusmenetelmä on haastavampi kokoonpanojen mallinnustapa, kuin Bottom-up-menetelmä. Tässä menetelmässä on tärkeää suunnitella malli hyvin ennen mallintamisen aloitusta. Tämän menetelmän vahvuus on valmiin kokoonpanon helppo muokattavuus. (Kirves, 2019, 8.)

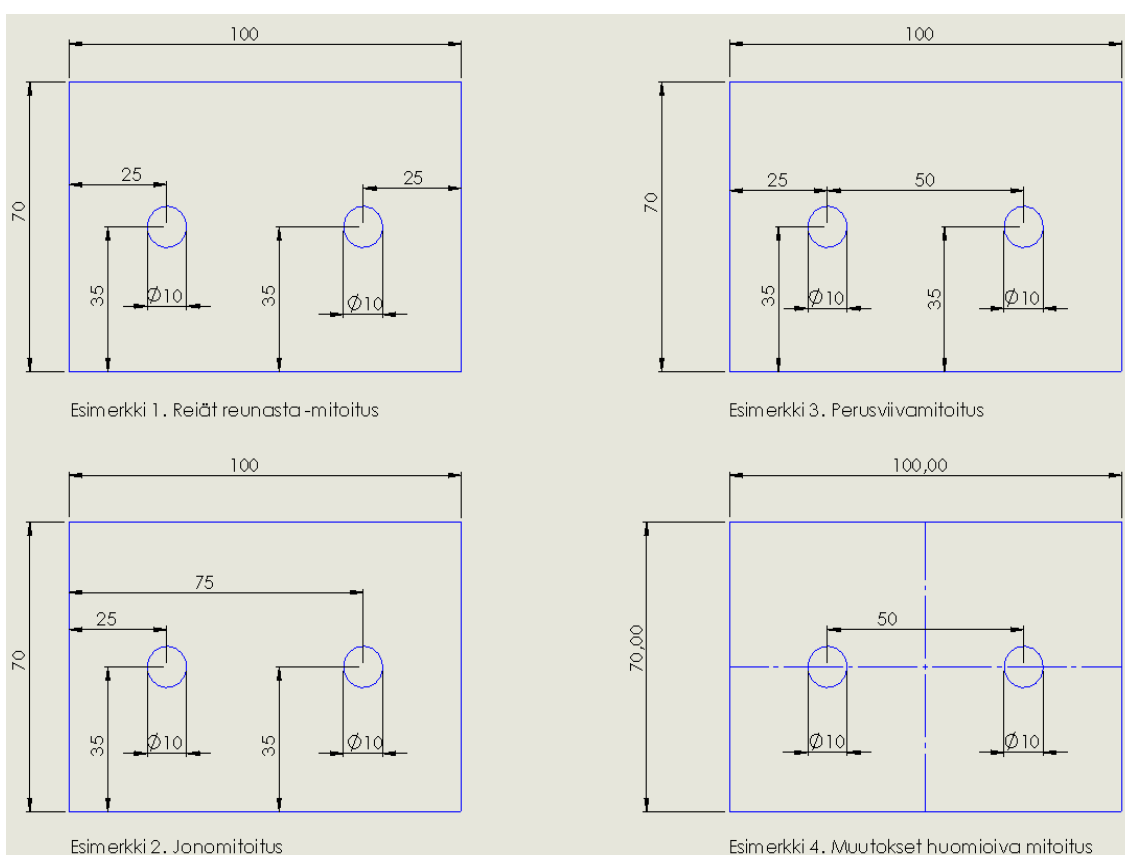
5.3.3 Skeleton-mallit

Skeleton-malleissa on tietoa mallista, jota voidaan jakaa kokoonpanon alempiin kokoonpanoihin tai osatasolle. Yleensä alaspäin jaettavat tiedot ovat mallin geometriaan liittyviä päämittoja tai muualta tullutta geometriaa. Skeleton-malliin tehdyt muutokset muokkaavat automaattisesti sen alemman tason komponentteja. Normaaleilla skeletoneilla luodaan runko mallinnettavalle kokoonpanolle. Skeletonissa voidaan käyttää tasoja, akseleita ja koordinaattipisteitä sekä kokoonpanon päämittoja määrittämään osien paikoituksia sekä ominaisuuksia. Skeletonmallin yksi oleellisimmista tarkoituksista on vakauttaa kokoonpanoa. (Kirves, 2019, 10.)

5.4 Mitoitusmenetelmät

Mallinnusmenetelmän lisäksi on tärkeää miettiä erikseen kappaleen mitoitusmenetelmät. Kuvassa 2 on neljä esimerkkiä erilaisista kappaleen mitoitusmenetel-

mistä. Ensimmäisessä esimerkkitavassa reiät on mitoitettu kummastakin reunasta, jolloin reiät pysyvät aina 20 mm:n etäisyydellä pystysuorista reunoista. Kappaleen leveys ei vaikuta reikien sijaintiin. Toisessa tavassa mitat on asetettu jonoon. Tällöin reikien etäisyys toisistaan on 50 mm ja vasemmanpuoleisen reiän etäisyys on aina 25 mm vasemmasta reunasta riippumatta kappaleen kokonaisleveydestä. Kolmannessa vaihtoehdossa molemmat reiät on mitoitettu vasemmasta reiästä, ja kappaleen kokonaisleveys ei vaikuta reikien sijaintiin. Neljännessä vaihtoehdossa on muutosten kannalta paras vaihtoehto. Ympyrät on paikoitettu luonnosviivojen avulla symmetrisesti pystyviivan molemmille puolille. (Hietikko, 2020, 34.)



KUVA 2. Mitoitusesimerkki (Hietikko, 2020, 34)

5.5 Tietojen hallinta

Hyvin suunniteltu tiedonhallinta on myös yksi tärkeä perusasia 3D-mallinnuksen suunnittelussa. Valmis tuote saattaa koostua sadoista osista, jonka takia niiden järjestäminen ja nimeäminen loogisesti on todella tärkeää. Yrityksillä usein onkin etukäteen määritelty järjestelmä tiedostojen nimeämistä varten. Näin tiedostot on helppo löytää vielä vuosienkin kuluttua. (Myllymäki, 2011, 9.)

6 PARAMETRISOINTI JA SEN PERUSTA

6.1 Parametrisuus

Alun perin termi parametri on lähtöisin matematiikasta. Maurice Ruiterin kerrotaan käyttäneen termiä ensimmäisen kerran suunnittelupuolella vuonna 1988 julkaisussaan *Parametric Design*. Samana vuonna matemaatikko Samuel Geisbergin perustama yritys *Parametric Technology Corporation* julkaisi ensimmäisen kaupallisesti menestyvän parametrisen mallinnusohjelmiston *Pro / ENGINEER*. Väitetään kuitenkin myös, että parametrisuuden todellinen alkuperä oli 1940-luvun arkkitehti Luigi Morettin kirjoituksissa. (Davis, 2013.)

CAD suunnittelussa parametrisuus tarkoittaa, että malliin kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa mallinnuksen eri vaiheissa siten, että geometria muuttuu vastavasti muutoksen mukana (Hietikko, 2020, 23). Haluttaessa muuttaa jotain kappaleen mitoista, ei tarvitse siis kajota kappaleen geometriaan, vaan muutetaan kyseistä mittalukua. Tällöin siihen kytkeytyvät kohteet muuttuvat niin kokoonpanoissa kuin piirustuksissakin.

6.2 Piirremallinnus

Piirremallinnus tarkoittaa kohteen mallin rakentamista piirteistä. Mallintaminen aloitetaan tekemällä peruspiirre. Peruspiireteisiin lisätään uusia piirteitä ja näiden tuloksena syntyy tarkka malli. Piirteet näkyvät itse mallissa ja piirrepuussa. Piirteet helpottavat suunnittelun kytkentää, sillä piirrepuun avulla on helppo nähdä piirteiden keskinäisiä suhteita ja niitä on helppo valita muokattavaksi. (Hietikko, 2019, 25.)

6.3 Parametrinen piirremallinnus

Parametrisella piirremallinnuksella tarkoitetaan suunniteltavan kohteen mallinnusta kolmiulotteisen geometrian avulla (Hietikko, 2020, 23). Parametrinen mallinnus on CAD-ohjelmistosuunnittelutyökalu, jonka avulla suunnittelijan ei tarvitse piirtää mallia aina uudestaan joka kerta, kun jokin mallin mitoista muuttuu, jolloin säästetään suunnittelijan aikaa (Brunelli, 2017).

Mallinnetun kuvion piirteet muodostuvat linkitetyistä solmupisteistä. Parametrisessä mallintamisessa näillä solmupisteillä on nimet ja ominaisuuksia, kuten sen sijainti koordinaatistossa. (Woodbury, 2010, 13.)

Parametrisen mallinnuksen avulla voidaan määrittää mallin elementtien suhteita. Näiden suhteiden avulla voidaan esimerkiksi määrittää viivat aina oikean pituiseksi. (Home, 2015, 32.) Kolmiulotteisen mallin avulla on helppo myös tutkia mekaanisen laitteen toimintaa ja mahdollisia virheitä (Hietikko, 2020, 23).

Suurin osa mekaniikkasuunnittelusta tehdään nykyään parametrinen piirremallinnuksen avulla, sillä sen avulla on helpompaa huomioida kaikki muutokset, joita nykyaikainen tuotesuunnitteluprosessi sisältää (Hietikko, 2020, 25). Tavoitteena on luoda malli, jonka piirteet laaditaan niin, että mittoja muutettaessa, säilyy mallin alkuperäinen tarkoitus ja hallinta.

6.4 Parametrinen mallinnus SolidWorksilla

Parametrinen mallintamistekniikka on laajalti käytössä käytetyimmissä CAD-työkaluissa ja peruseriaate monissa ohjelmissa kuten esimerkiksi SolidWorksissa. Parametrisessä mallintamisessa malli luodaan piirteiden välisten suhteiden avulla. Tällöin pystytään esimerkiksi SolidWorks-ohjelmalla luomaan kappaleita kiinteillä piirteillä ja osien kokoonpanoja valmiille mallille CAD-ympäristössä. SolidWorks-ohjelmalla suunnittelija pystyy määrittelemään ja muuttamaan mallin mittojen riippuvuuksia ja rajoitteita sekä luomaan uusia osien välille, myös kokoonpanoon mallin parametrisoinniksi. SolidWorks-ohjelma regeneroi automaattisesti osat, joihin muutokset vaikuttavat ja sitä kautta muutokset ulottuvat myös

kokoonpanoon ja piirustuksiin. Parametrinen mallinnus ja siihen liittyviä konfiguraatioita voidaan SolidWorksissa tehdä Design Table -työkalun avustuksella. (Almattar, 2019.)

6.4.1 Design Table

SolidWorksissa on mahdollista tehdä erilaisia versioita eli konfiguraatioita osista ja kokoonpanoista. On hyödyllistä, että kaikki konfiguraatiot voidaan luoda yhteen ja samaan SolidWorks-tiedostoon. Konfiguraatioita hallitaan helposti SolidWorks-ohjelmassa Design Table -ominaisuutta käyttämällä. Design Table on käytännössä Excel-taulukko, johon nimetyt mitat ja niiden eri konfiguraatiot kirjoitetaan taulukkomuodossa. Design Tablen avulla voidaan helposti asettaa eri määreitä, kuten mittoja eri konfiguraatioille. Konfiguraation muuttuessa muuttuvat myös halutut piirteet taulukon tietojen mukaan. (Hietikko, 2020, 221.) Design Table siis ohjaa konfiguraatioiden mittoja ja ominaisuuksia sekä riippuvuuksia.

6.5 SolidWorks PDM:n ominaisuudet

SolidWorks PDM-järjestelmällä voidaan hallita ja synkronoida tuote- ja valmistustietoja. SolidWorks PDM on integroitu tiiviisti kaikkiin SolidWorks-sovelluksiin, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon jaon niin suunnittelussa kuin myös valmistuksen puolella. PDM:n avulla varmistetaan, että oikeat valmistus- ja tuotetiedot ovat järjestyksessä ja hallitusti saatavilla ajasta ja paikasta riippumatta. (PLM Group, n.d.)

SolidWorks PDM:llä pyritään automatisoimaan työkiertoja ja hyväksymisprosesseja, joka parantaa tuottavuutta ja laatua. Tietojen ollessa yhdessä keskitetyssä tietokannassa tiedot löytyvät helpommin ja niiden uudelleen käyttäminen on helppompaa. Tämä lisää suunnitteluosastojen tehokkuutta merkittävästi. (PLM Group, n.d.)

6.5.1 CustomWorks

CustomWorks on attribuuttien hallintaan tarkoitettu SolidWorksiin erikseen hankittava sovellus. Attribuuttien hallinnan lisäksi voidaan sovelluksella suorittaa massatulostus ja kopioida malli kaikkien liitännäisdokumenttien kera. (Hietikko, 2020, 119.)

CustomWorks tukee kaikkia SolidWorksin ominaisuuksia kokoonpanoista hitsausosiin. Sillä on mahdollista muokata esimerkiksi kokoonpanon yksittäisiä osia joustavasti ilman, että osaa tarvitsee erikseen avata. (Dassault Systemes, n.d.)

7 MALLINTAMINEN PARAMETRISILLA MALLEILLA

7.1 Parametrisoinnin mahdollisuudet ja hyödyt

Parametrisoinnin hyötyjä ovat muun muassa automaattiset päivitykset jo luotuun malliin, jos sitä muutetaan jotenkin. 3D-mallin automaattisten päivitysten ja parametrisoinnin avulla on helppo ymmärtää, miten mallin tulisi toimia, kun jokin sen piirteistä muuttuu. Parametristen mallien onnistunut integrointi valmistusprosesseihin vähentää myös tuotantoaikaa. (Brunelli, 2017.)

Parametrisoinnin avulla on mahdollista päivittää kokonaisia systeemejä sisältäen osia, kokoonpanoja ja piirustuksia muokkaamalla yhtä parametria kaikista monimutkaisemmissakin malleissa. Parametrisen mallintamisen avulla voidaan helposti ja nopeasti arvioida ja tutkia erilaisia mallin variaatioita parhaimman vaihtoehdon valitsemiseksi. Jo olemassa olevia malleja ja tietoja voidaan käyttää uudelleen toisissa malleissa. (Shih & Schilling, 2019, 6.)

Parametrisella mallintamisella on mahdollista lisätä rajoituksia osiin, jolloin niitä ei voida muuttaa vahingossa myöhemmin suunnitteluprosessissa. Toisin sanoen rajoitukset ovat tapa varmistaa, että kaikki 3D-malliin tehdyt muutokset tehdään tarkoituksen mukaisesti. (Rudeck, 2013.)

7.2 Suunnittelun tehostaminen parametrisoinnilla

Parametrinen mallinnustekniikka vaatii suunnittelijalta ennakointikykyä ja kykyä määritellä osien, kokoonpanojen sekä niiden piirteiden rajoitteita ja suhteita sekä mallin osien välisiä riippuvuuksia. (Kirves, 2019, 13.)

Vaikka parametrinen mallintamistekniikka vaatiikin suunnitelmallisuutta sopivat ne erityisesti suunnittelutehtäviin, joihin liittyy tiukkoja vaatimuksia ja valmistuskriteerejä. Organisaatiot kääntyvät usein parametrisiin malleihin laajentaessaan tai valmistaessaan tuoteperheitä, jotka sisältävät pieniä muunnelmia ydinsuunnittelusta. Suunnittelijan on luotava suunnittelutarkoitus ulottuvuuksien, osien ja

muistioiden välillä. Tämä tukee malleja, joidenka piirteitä tai luonnoksia on muokattava tai muutettava, kuten esimerkiksi reikiä, uria tai viisteitä. (Brunelli, 2017.)

7.3 Parametrisoinnin hallinta

Suunnitteluun parametrisella mallinnuksella liittyy erityisesti mallin mittojen ja geometrian välille määritettävät suhteet. Näiden suhteiden avulla voidaan esimerkiksi määrittää viivojen samansuuntaisuuksia, kaarien samankeskisyyksiä ja mittojen suuruuksien suhteita. Jos jotakin näihin suhteisiin kytkettyä elementtiä muutetaan, muuttuvat kaikki muut elementit vastaavanlaisesti. Geometrioihin määritetyt suhteet, mitat ja mahdolliset yhtälöt täytyy huomioida mallinnussuunnitelmassa. Joissakin tilanteissa muutosten hallinta voi kuitenkin olla vaikeaa tai peräti mahdotonta. Eritoten jos mallinnussuunnitelma on puutteellinen. (Kainunen, 2016, 17.)

7.4 Parametrisoinnin käyttö teollisuudessa

Tietokone on nykyään tärkeä työkalu teknisessä suunnittelussa ja tietokoneavusteisen suunnittelujärjestelmän käyttö on välttämätöntä suunnittelukäytännöissä. Käytetyn sovelluksen tulee tukea alkuperäisen suunnittelun, konfiguraatiosuunnittelun, valmistuksen ja purkamisen koko elinkaarta. Tällä hetkellä trendinä on tuotteen muokattavuus ja vanhojen massatuotantojärjestelmien vaihtaminen massaräätälöintijärjestelmiin. Parametriset mallinnus- ja konfigurointisuunnittelu menetelmät ovat tärkeitä tekijöitä massaräätälöinnissä. Parametrinen mallinnustekniikka on hyödyllinen varsinkin silloin, kun geometrista mallia halutaan muuttaa suunnitteluprosessin aikana. (Myung & Han, 2001.)

Tuotantojärjestelmän joustavuuden avulla voidaan saavuttaa tilanne, jossa valtaosa yrityksen lopputuotteista valmistetaan ilman asiakaskohtaista suunnittelutarvetta. Tällöin kunkin asiakkaan kysyntään vastataan tuotteen tai tuotteen osien konfiguraatioiden avulla. Tällöin panostetaan tuoterakenteen ja konfiguraatiomal-

lin kehittämiseen sen sijaan, että keskityttäisiin tilaus-toimitusprosessin asiakas-kohtaiseen suunnitteluun. Jos asiakkaiden toiveet voidaan toteuttaa ilman merkittävää lisäsuunnittelun tarvetta, koko prosessi tehostuu huomattavasti. Teknologian, kuten erilaisten tietokoneohjelmien kehittymisellä on suuri merkitys suunnittelutoiminnan kehityksessä. (Ahoniemi ym. 2007, 49.)

Nykyaikaisilla tietokoneohjelmilla on mahdollista suunnitella parametrisesti ja kolmiulotteisesti, mikä automatisoi ja nopeuttavat tuotteen määrittelyprosessia huomattavasti. Jopa satoja piirustuksia sisältävät suunnitelmat voidaan tehdä asiakas-kohtaisiksi tietoja konfiguroimalla. Siirtyminen 3D-suunnitteluun nopeuttaa ja vakiinnuttaa yrityksen toimitusprosessia, mutta monet yritykset ovat vieläkin siirtymisvaiheessa ja tämän takia joudutaan 2D-malleja ylläpitämään edelleen, jos kaikki toimitusketjun verkostotoimijat eivät ole siirtyneet 3D-suunnitteluun. (Ahoniemi ym. 2007, 49.)

Ahoniemen teoksessa (2007) mainitaan, että toisinaan 3D-suunnittelumalleja ei käytetä siihen huonosti soveltuvan toimintaympäristön takia. Esimerkiksi satamatai teollisuusinfrastruktuurin kertaluontoisessa projektitoimituksessa ei 3D-suunnittelumalleja käytetä. Koko toimintaketjuun integroituna 3D-suunnittelujärjestelmä parantaa yrityksen tiedonsiirron nopeutta ja lyhentää suunnittelu-aikaa, mikä mahdollistaa entistä vaativampia tuotekokonaisuuksia entistä nopeammin. (Ahoniemi ym. 2007, 49–50.)

7.4.1 Massaräätälöintiesimerkki, Metso Minerals

Metso Minerals on maailman johtavia kiven- ja mineraalikäsitteilyjärjestelmien ja metallin kierrätysjärjestelmien toimittaja. Metso Mineralsin merkittävälle asiakasryhmille, kuten urakoitsijoille lyhyet ja luotettavat toimitusajat ovat avainasemassa asiakasryhmien oman toiminnan huonon ennustettavuuden takia. Metso Mineralsin tavoitteena on tarjota asiakkaille massaräätälöintiä. (Ahoniemi ym. 2007, 94–95.)

Ahoniemi ym. (2007) jatkavat, että massaräätälöinti aloitettiin tuotannon ongelmien lisääntyessä. Tuotteita valmistettiin ennen ennusteen mukaisesti varastoon

ja pyrittiin näin saavuttamaan nopea toimitusaika. Ongelmaksi muodostui tuotevariaatioiden ennustaminen. Varastoon tehtyjä tuotteita jouduttiin muokkaamaan tilauksen spesifikaatioiden mukaan, mikä aiheutti lisäkuluja ja vaikeutti tuotannon ohjattavuutta. (Ahoniemi ym. 2007, 95.)

Päällimmäisenä tavoitteena massaräätälöinnissä oli tehokkaampi tuotevarioinnin hallinta ja siirtyminen varastovalmistuksesta tilausohjautuvaan kokoonpanoon. Ei suunniteltu olemassa olevia tuotteita alusta alkaen uudestaan vaan keskityttiin tekemään muutoksia, jotka mahdollistivat olemassa olevien tuotteiden asiakaskohtaisen varioinnin. Myöhäinen variointi tuotetta suunniteltaessa ja komponenttien yleiskäyttöisyystuotteiden välillä olivat keskeisiä tavoitteita. Tuotteiden variointi ja yleiskäyttöisyys on helppo toteuttaa juuri parametrisen mallintamisen avulla. (Ahoniemi ym. 2007, 95–96.)

Massaräätälöintiin siirtymisen tuloksena on toiminnan parempi hallittavuus sekä nopeuden ja tuottavuuden kehittäminen. Ennen massaräätälöintiä tuotteen läpimenoaika oli 7–8 viikkoa ja massaräätälöinnin käyttöönoton jälkeen noin 4 viikkoa. Tuotekehityksen nopeutuminen oli myös yksi massaräätälöinnin avulla saavutetuista tavoitteista. Tämä massaräätälöintiprojekti aloitettiin vuonna 2001 ja massaräätälöinti-ideologia on saatu hyvin integroitua yritykseen. (Ahoniemi ym. 2007, 97–98.)

8 TYÖN KULKU

Mallinnettavat komponentit (TAULUKKO 1.) määritettiin projektin alussa ja työn edetessä tietoja, kuten esimerkiksi standardeja, tarkennettiin tarvittaessa. Osaan komponenteista on saatavilla niin monia kokoja, että kokojen määrää oli syytä pienentää. Esimerkiksi o-renkaita on käytetyssä standardissa noin 360 eri kokoa. Jos kokovaihtoehtoja on liian paljon, niin komponenttikirjaston lataaminen hidastuu merkittävästi.

TAULUKKO 1 Mallinnettavat kappaleet

Komponentti	DIN/ISO/muu spesifiointi	Koot	Lisätietoja
O-rengas	DIN 3771		
Pidätinruuvi	DIN 913		
Salmiakkimutteri		Kaikki koot	
T-uramutteri	DIN 508	Kaikki koot	
Kierrelevy		Kaikki koot	
Kupukantaruuvi	ISO7380	M4 ... M16 (pituudet saatavuuden mukaan)	
Uppokantaruuvi	DIN 7991	M4 ... M16 (pituudet saatavuuden mukaan)	
Kuulalaakeri	6000-sarja 2Z ja 2RSR	Sisähalkaisija: 6 mm ... 100 mm	
STAUFF 106A-PP → 106A-AL →	DIN3015	Putkikoot: 6 mm ... 76.1 mm	Yksittäisellä- ja tuplaputkella
Hydrauliliitin	P019-BSP sisäkierre R90		

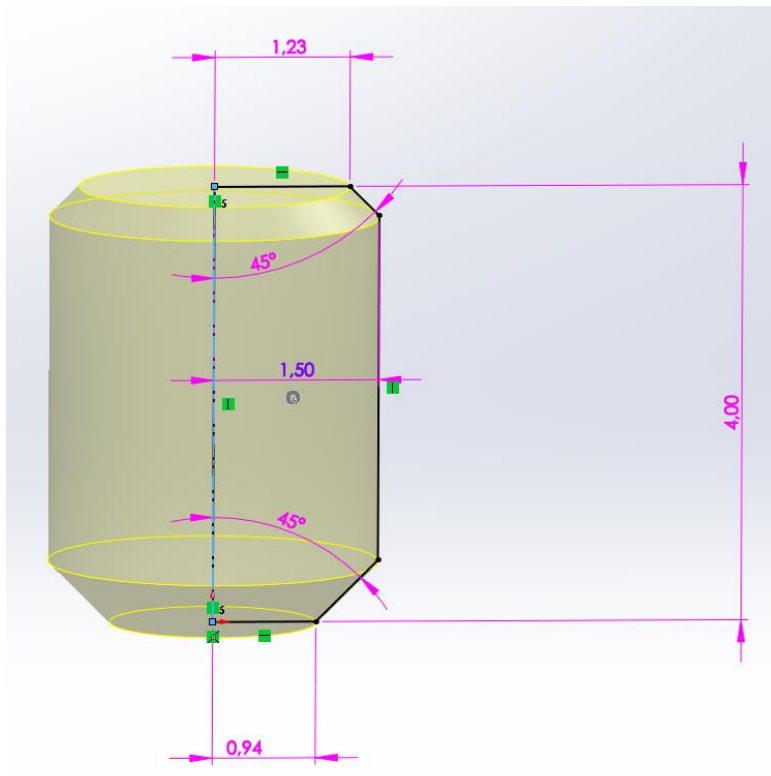
8.1 Toimeksiannon suoritus

Seuraavaksi esitellään komponenttien mallinnuksen eri vaiheita, kuten muun muassa muotojen, mahdollisten kierteiden ja reikien luomista sekä liitännäissovellusten käyttöä. Tässä opinnäytetyössä ei esitellä minkään yksittäisen komponentin mallinnusvaiheita tarkalleen, vaan mallinnuksen vaiheet käydään läpi vain yleisellä tasolla.

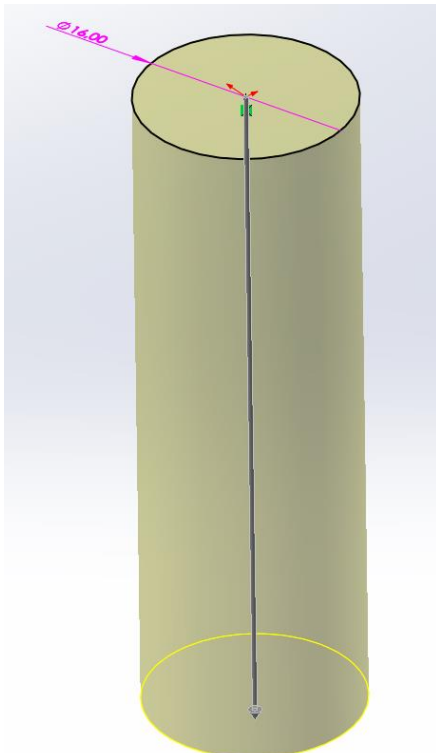
8.1.1 Muoto

Osa kappaleiden aihioista tehtiin pyöräyttämällä ja osa pursottamalla. Esimerkiksi pidätinruuvien aihio on tehty pyöräyttämällä (KUVA 3.) *revolve boss/base* -työkalulla ja kupukantaruuvien pituus on tehty pursottamalla (KUVA 4.) *extruded boss/base* -työkalulla.

Pyöräyttämällä tehtyyn kappaleeseen ei tarvitse erikseen tehdä viisteitä ja muita pyörähdysmuotoja, sillä ne voi mallintaa suoraan pyöräytettävään profiiliin. Pursottamalla tehtyyn kappaleeseen viisteet täytyy tehdä erikseen. Perinteinen viistetyökalu ei toimi, jos kappaleeseen on mallinnettu jo kierre. Toisaalta taas kierre on vaikeampi tehdä, jos viisteet ovat jo paikallaan. Tällöin viisteytettävälle alueelle mallinnetaan viisteen kokoinen kolmio ja kolmion mallinen alue leikataan kappaleesta pois *revolve cut* työkalulla.



KUVA 3. Pyöräyttämällä tehty aihio



KUVA 4. Pursottamalla tehty aihio

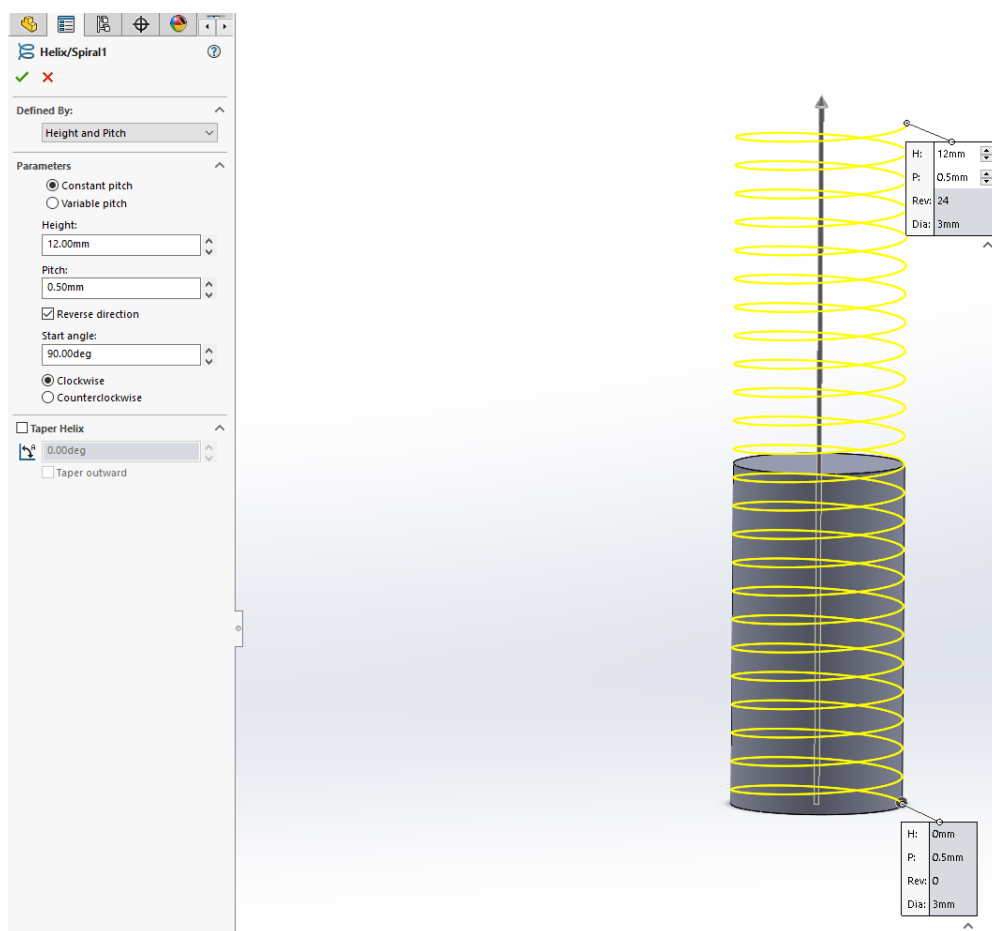
Aihion mallinnusvaiheessa on hyvä nimetä mitat, jotta myöhemmin Design Tableen on helpompi täyttää komponentin arvot. Nimeämiseen kannattaa käyttää

selkeitä ja johdonmukaisia nimityksiä. Kaikille mitoille ei kuitenkaan ole helppoja yleisesti käytössä olevia tunnuksia, kuten esimerkiksi halkaisija D tai korkeus h. Näissä tapauksissa on käytetty pidempiä kuvaavia nimityksiä.

8.1.2 Kierteet

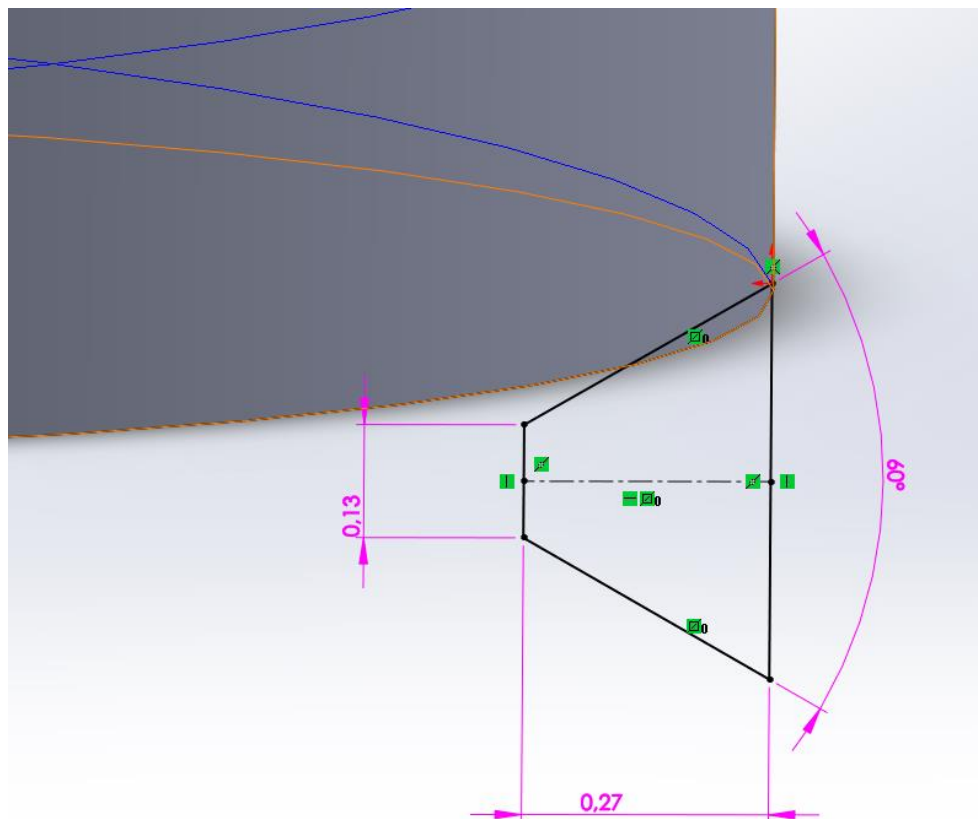
SolidWorksissa on mahdollista käyttää valmista kierretyökalua. Työn etenemisen kannalta Design Tablea rakennettaessa on hyvä nimetä mitat. Kierretyökalua käytettäessä mittojen nimiä on vaikeampi kontrolloida, joten komponenttien mallinnuksessa päädyttiin mallintamaan kierteen profiili ja reitti itse.

Ensimmäisenä kierrettä varten tehtiin spiraali *helix*-työkalulla, johon määritettiin kierteen korkeus, nousu ja nousukulma (KUVA 5.). Työn helpottamiseksi spiraali määritettiin niin sanotusti vakiomittaan, jolloin se on toimiva samanmittaisena erikokoisiin ruuveihin ja muttereihin.

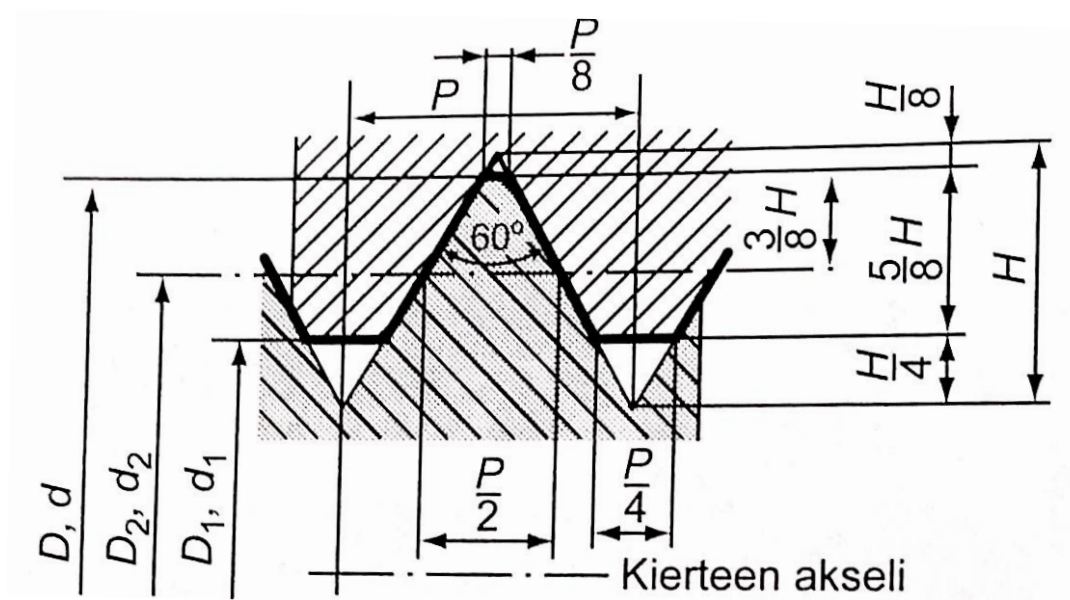


KUVA 5. Kierrettä varten tehty helix

Seuraavaksi spiraalin aloituskohtaan tehtiin taso (plane) ja tälle tasolle luotiin uusi sketsi kierteen profiilia (KUVA 6.) varten. Profiili on tyypistetyn kolmion mallinen. Kierteiden mitat ja niiden laskukaavat (KUVA 7.) on saatu Esko Valtasen (2016) kirjoittamasta Tekniikan taulukkokirjasta. Kierteen profiilin mitoitus varten tarvittiin kierteen kulma, joka on metrisellä ISO-kierteellä 60° . Lisäksi tarvittiin kierteen pohjan mitta, joka saadaan laskukaavalla $\frac{P}{4}$, jossa P on kierteen nousu. Profiiliin tarvittiin myös kierteen korkeus, joka saadaan laskukaavalla $\frac{5}{8}H$, jossa H on kierteen kokonaiskorkeus, jos kierteen profiili ajatellaan kolmioina. H saataisiin kaavalla $\sqrt{3}\frac{P}{2}$. Tämä arvo saatiin kuitenkin suoraan taulukkokirjasta, jolloin tätä ei tarvinnut laskea itse. Nämä valmiiksi lasketut arvot olivat yhtäpitäviä standardin SFS ISO 68-1 kanssa. (Valtanen, 2016, 880.)

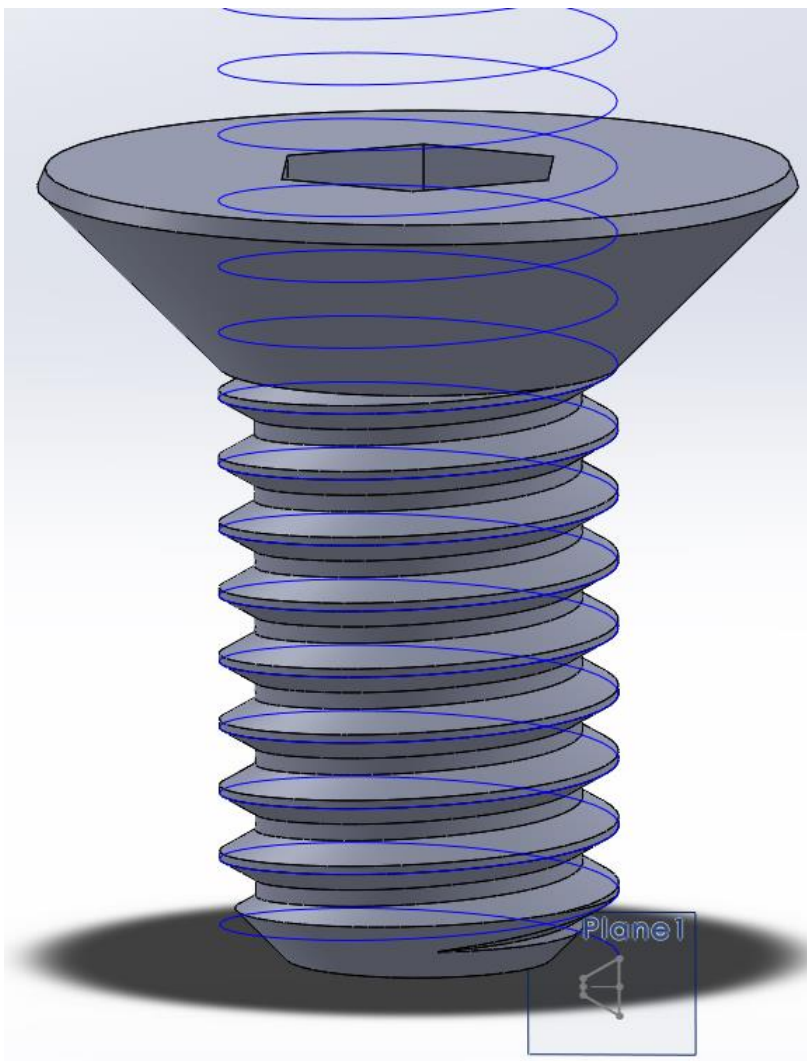


KUVA 6. Kierteen profiili



KUVA 7. Kierteen mittoja (Valtanen 2016, 880)

Swept cut- työkalulla valitaan kierteen profiili leikkaavaksi muodoksi ja *helix* reitiksi. Näin kappaleesta leikkaantuu kierteen profiilin muotoinen alue pois spiraalin muotoa myöten ja kappaleeseen muodostuu kierre (KUVA 8.).



KUVA 8. Valmis kierre

Mallinnettu kierre saattaa varsinkin kokoonpanossa olla näytönohjaimelle hyvin raskas, varsinkin jos niitä on paljon. Näin ollen pelkkä muoto ilman kierteitä voisi olla järkevämpi.

8.1.3 Reiät

Reiät tehtiin *extruded cut* menetelmällä, eli reiän kohtaan piirrettiin reiän muoto ja sitten muoto leikattiin pois umpiaineesta. Reikätyökalulla reiän tekeminen ei olisi ollut järkevää, koska pyöreisiin reikiin tehtiin aina myös kierteet. Lisäksi kapaleissa oli myös esimerkiksi kuusikulmaisia reikiä, joita ei reikätyökalulla pysty tekemään.

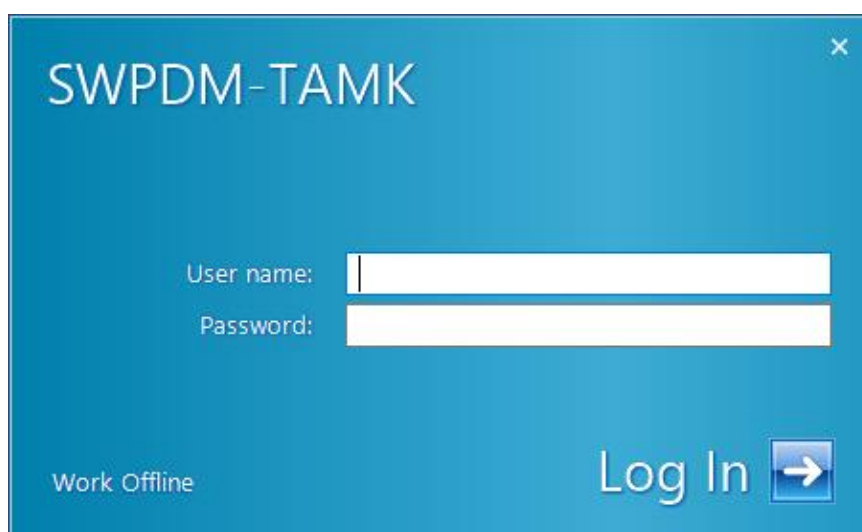
8.1.4 Design Tablen tekeminen

Kun kappaleen mallinnus oli valmis, voidaan luoda Design Table. Design Table luodaan valitsemalla sivun yläreunasta Insert > Tables > Design Table.

Jos komponentin mitoissa on vain vähän muuttuvia mittoja tai kirjoitettavaa on muuten vähemmän, voi mitat kirjoittaa suoraan Design Tablen taulukkoon. Isommissa töissä on kuitenkin kannattavaa kirjoittaa tiedot ensin Excelliin ja kopioida tiedot sitten Design Tableen. Design Tablen taulukossa ei muun muassa pysty kirjoittamaan kaavoja, jolloin kaavat kirjoitetaan Excelissä ja solun numeerinen arvo kopioidaan Design Tableen. Työtä tehdessä todettiin myös, että normaali Ctrl + C kopiointilla ja Ctrl + V liittämistoiminnoilla tietojen siirto ei aina toiminut. Tämä johtuu siitä, että Excel ja Design Table eivät ole täysin yhteensopivat. Näin ollen muun muassa edellä mainittu toiminto toimii vain ajoittain.

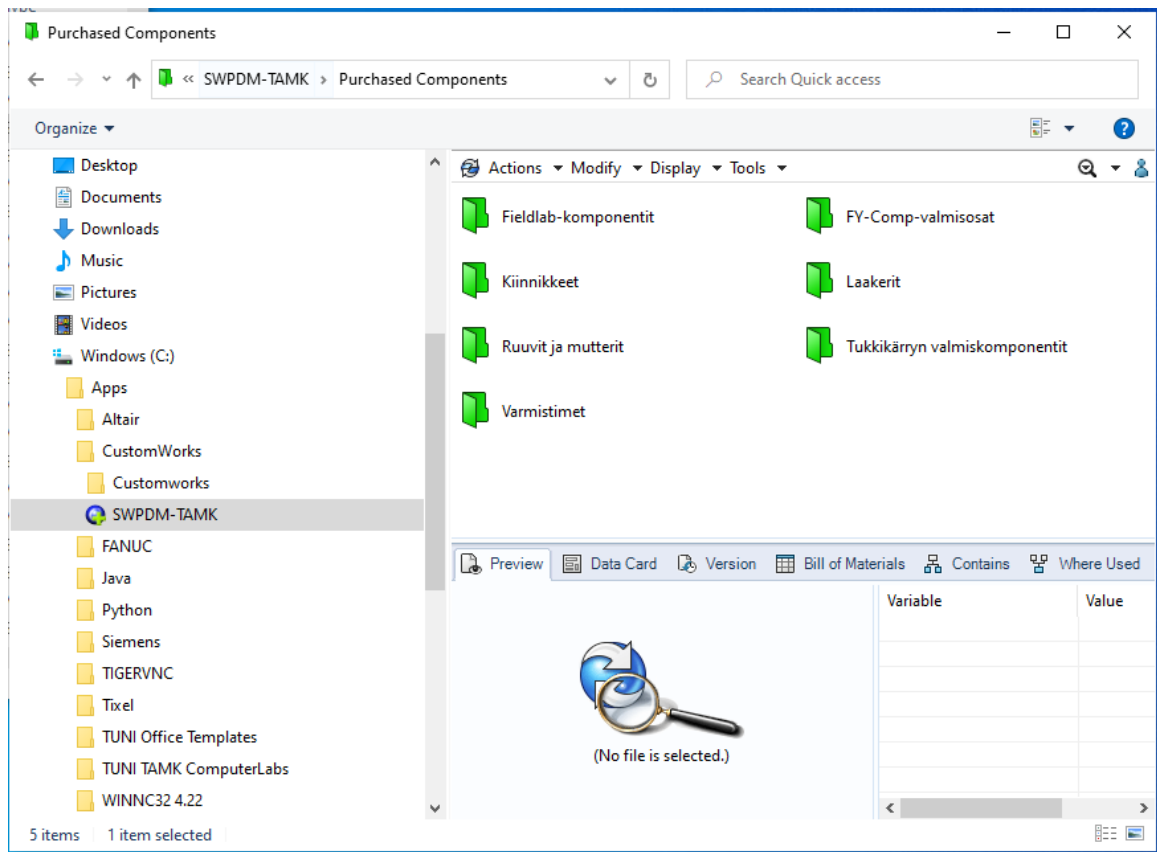
8.2 Kappaleiden vienti PDM-järjestelmään

Kappaleiden valmistuttua ne vietiin oppilaitoksen SolidWorks PDM-järjestelmään. Ensimmäisenä täytyy kirjautua järjestelmään. Tietokoneen sovellusvalikosta etsitään *CustomWorks settings*, jonka kautta päästään SolidWorksin PDM kirjautumissivulle (KUVA 9.).



KUVA 9. SW-PDM kirjautumissivu

PDM-järjestelmään pääsee C aseman kautta Apps > CustomWorks > SWPDM-TAMK. Yleisessä käytössä oleva komponenttikirjasto on *Purchased Components* -kansiossa. Valmis komponenttiedosto siirrettiin PDM järjestelmään sopivaan kansioon (KUVA 10.).



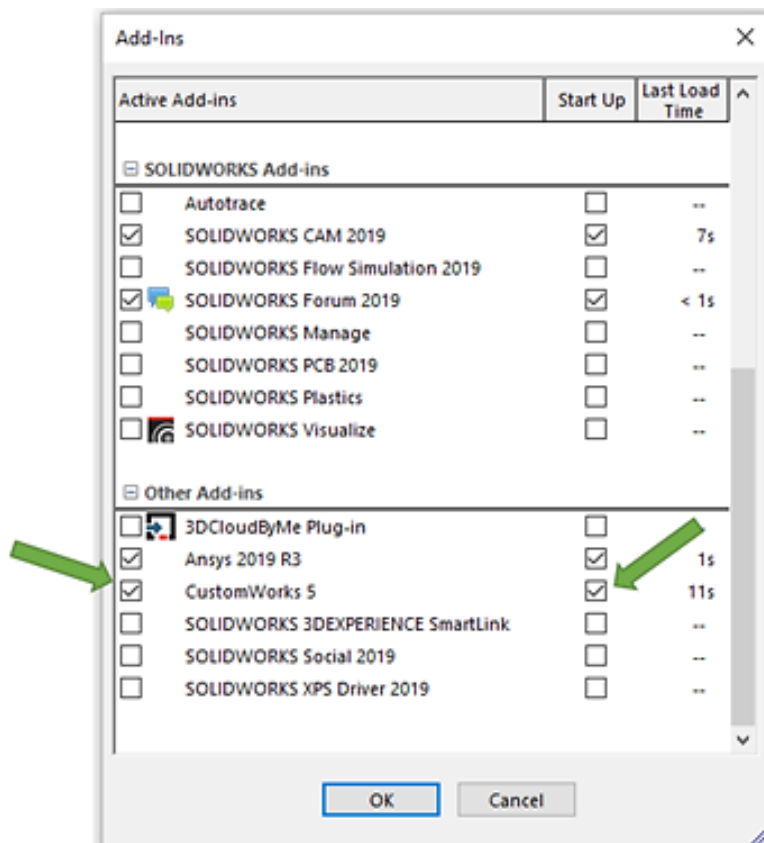
KUVA 10. SolidWorksin PDM komponenttikirjasto

Oppilaitoksella ei tällä hetkellä ole vapaata pääsyä PDM-järjestelmään. Tois- taiseksi pääsy PDM:ään onnistuu vain yhden tietokoneluokan tietokoneilla ja muokkausoikeuden saadakseen täytyy hakea sinne erilliset tunnukset. Tulevai- suudessa PDM:ään pääsyn pitäisi onnistua ainakin kaikissa CAD-luokissa ja tek- niikan alan laboratoriotilojen tietokoneilla.

Kappaleet olisi ollut järkevämpää mallintaa suoraan PDM:ään, mutta tämä oival- lettiin vasta myöhemmin. Näin kappaleiden tiedostoja ei olisi monessa paikassa yhtä aikaa ja tämä onkin PDM-järjestelmän yksi oleellisista tarkoituksista. Projek- tin alkuvaiheessa ei myöskään ollut mahdollista edes päästä PDM-järjestelmään, eikä osaamista sen käyttöön ollut vielä tarvittavasti.

8.3 Nimikkeiden hallinta ja attribuutit

Attribuutit määritettiin SolidWorksin CustomWorksilla. CustomWorks ei normaalisti ole valittavana, vaan se täytyy erikseen käydä laittamassa asetuksista näkyviin (KUVA 11.). Tämän jälkeen CustomWorks löytyy ikkunan oikeassa reunassa *task pane* -välilehtivaihtoehdoissa.



KUVA 11. CustomWorksin tehtäväruudun näkyville asettaminen

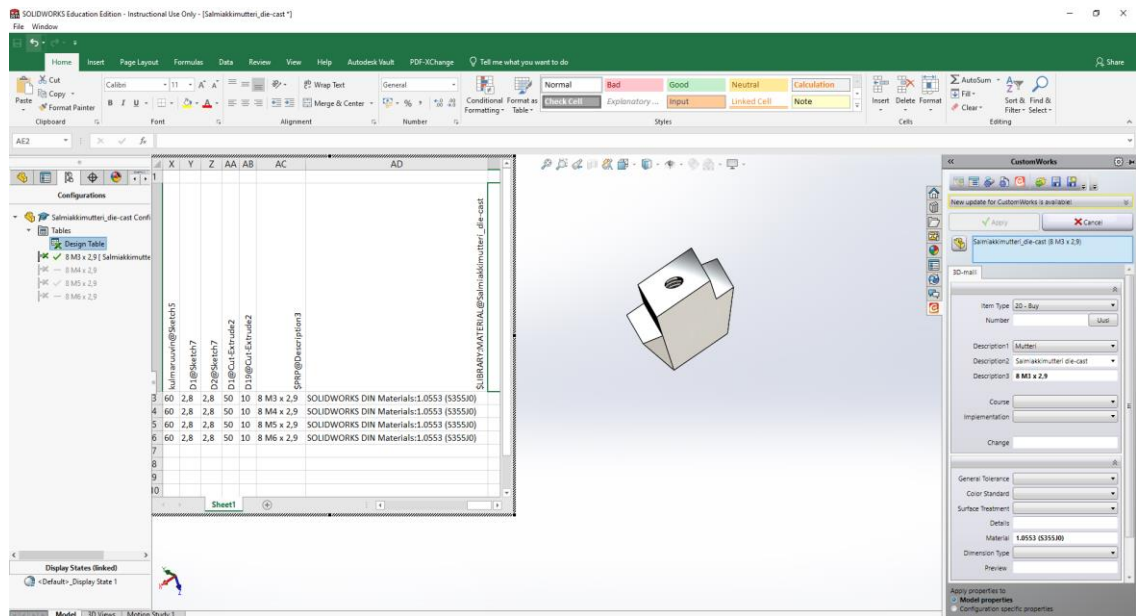
CustomWorksissa on ensimmäisenä valittava haluttu malli, johon attribuutit liitetään. Yksittäisellä kappaleella riittää valita *Select Active Document*. Mallinnetun kappaleen ei tarvitse myöskään olla PDM-järjestelmässä, jotta attribuutteja voitaisiin määrittää.

Tässä projektissa oleellisia tietoja ovat *Item Type*, *Description 1–3* ja *Materials*. *Item Type* (ensimmäinen sarake) oli kaikille komponenteille sama, eli 20 – *Buy*, koska mallinnetut komponentit olivat ostettavia komponentteja, eivätkä omavalmisteita.

Description 1 on komponentin karkeaan lajitteluun. Tässä valittiin pudotusvalikosta lähimpänä oleva komponentin kategoria. Tämä ensimmäinen komponentin kuvaus on samalla komponentilla jokaisessa konfiguraatiossa sama, joten tätä kohtaa on turha lisätä Design Tableen.

Description 2 sisältää hieman tarkemman kuvauksen komponentista. Tähän kenttään laitettiin komponentin nimi ja mahdollinen standardi, jota sen mitoittamisessa noudatetaan. Standardin voisi toisaalta laittaa vasta esimerkiksi *Details*-kohtaan. Tämäkin tieto pysyi muuttumattomana samalla komponentilla jokaisessa konfiguraatiossa.

Description 3 kohtaan laitettiin kyseisen komponentin koko, joka ei ole sama jokaisella konfiguraatiolla. Tämä tieto laitettiin Design Tableen, jolloin jokaiselle konfiguraatiolle ei tarvitse erikseen käydä kirjoittamassa sen kokoa, vaan kenttään tulee automaattisesti jokaiselle konfiguraatiolle oikeat tiedot. Alla yleiskuva (KUVA 12.), jossa salmiakkimutterille on määritetty automaattinen *Description 3*. Lihavoidulla fontilla kirjoitetut kohdat tulevat automaattisesti Design Tablesta.



KUVA 12. Attribuuttien määrittäminen

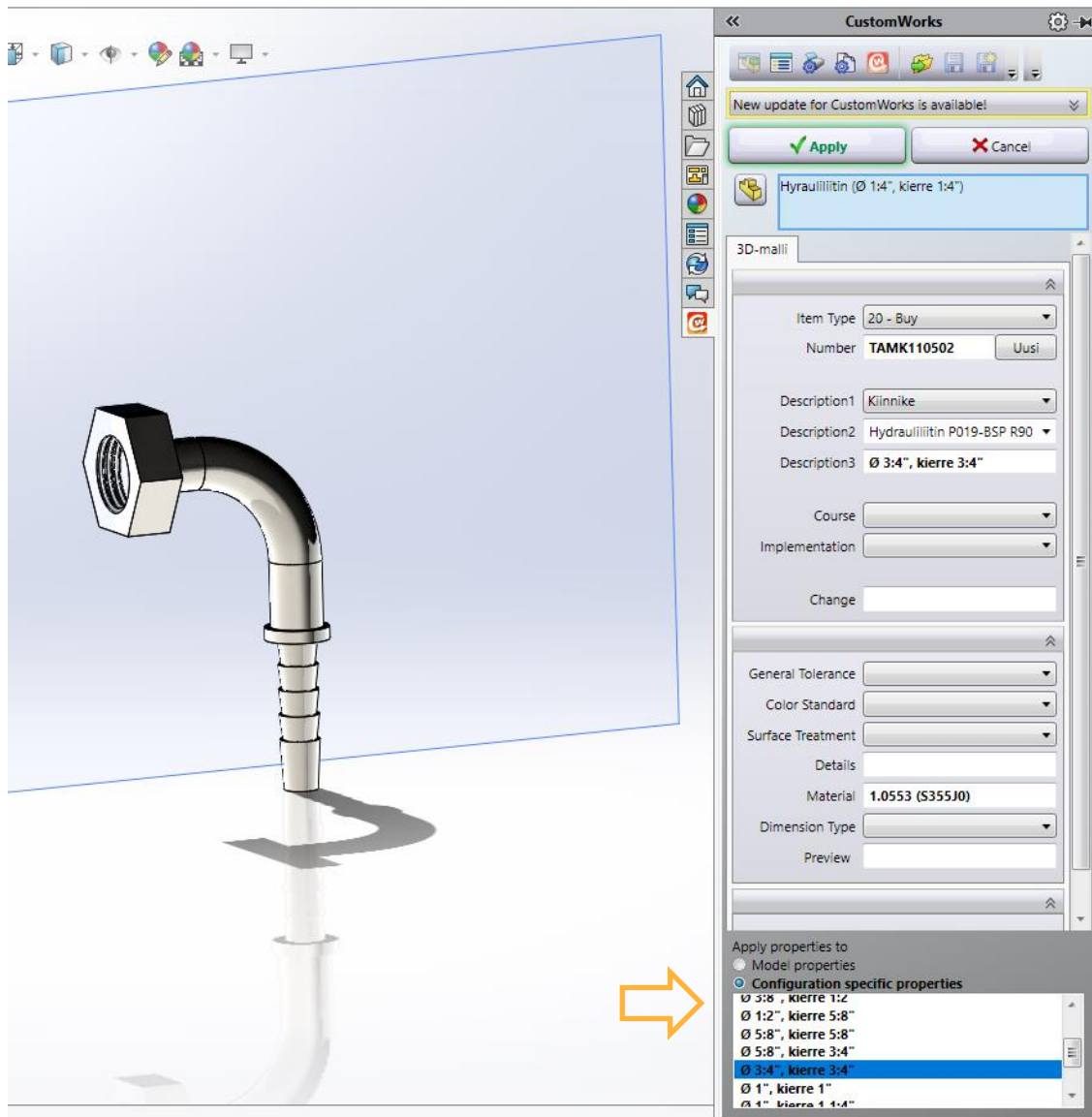
Komponenttien oikeita materiaaleja ei koettu kovin merkittäviksi. Tästä syystä materiaaliksi valittiin satunnainen materiaali, jotta järjestelmään saadaan komponentille sen vaatima paino. Poikkeuksena oli stauffit, sillä niitä mallinnettiin alumiinisina ja polypropeenisinä. Näiden kohdalla materiaalit valittiin tarkemmin.

Halvemmillä varastokomponenteille, joita yleensä löytyy enemmänkin varastosta, ei määritetty tuotenumeroa. Stauffeille, hydrauliliittimille ja laakereille määritettiin omat tuotenumerot jokaiselle eri koolle, koska niitä ei pidetä ylimääräisenä varastossa. Näille komponenteille käytiin määrittämässä ensimmäiselle koolle uusi numero, jonka jälkeen Design Tablessa saatiin juokseva numerointi tehtyä automaattisesti (TAULUKKO 2.).

TAULUKKO 2. Hydrauliliittimen Design table, jossa määritetty myös tuotenumero

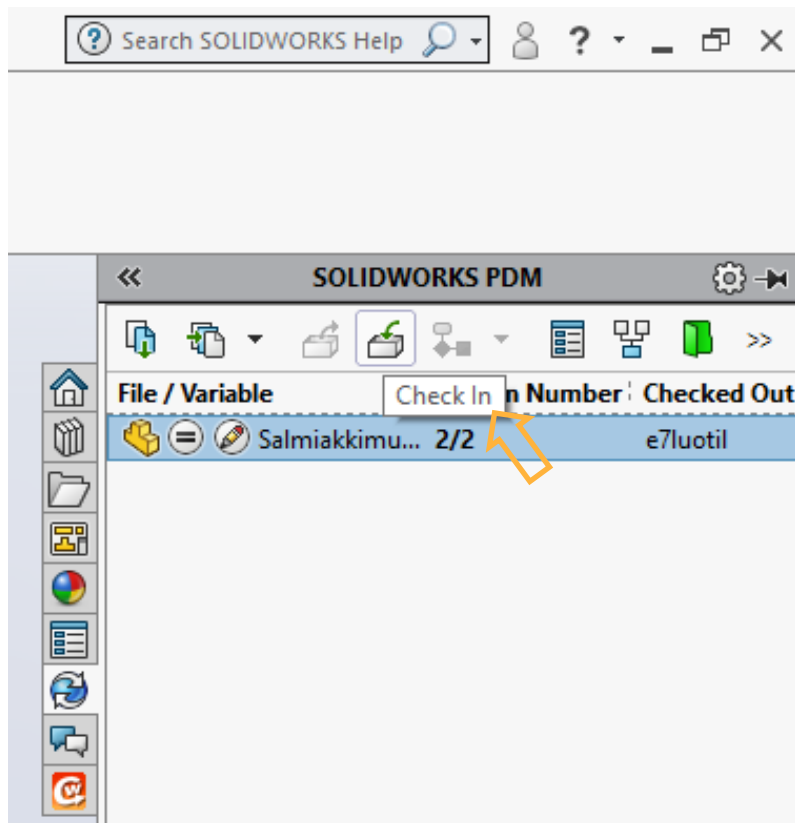
letkuisä@Sketch11	uloke@Sketch11	D1@Revolve1		\$PRP@Description3	\$LIBRARY:MATERIAL@Hydrauliliitin	\$PRP@Number
1,67501	5,175	360	Ø 1:4", kierre 1:4"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110494	
1,67501	5,175	360	Ø 1:4", kierre 3:8"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110495	
3,26251	6,7625	360	Ø 3:8", kierre 3:8"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110496	
4,85001	8,35	360	Ø 1:2", kierre 1:2"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110497	
3,26251	6,7625	360	Ø 3:8", kierre 1:2"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110498	
4,85001	8,35	360	Ø 1:2", kierre 5:8"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110499	
6,43752	9,9375	360	Ø 5:8", kierre 5:8"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110500	
6,43752	9,9375	360	Ø 5:8", kierre 3:4"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110501	
8,02502	11,525	360	Ø 3:4", kierre 3:4"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110502	
11,2	14,7	360	Ø 1", kierre 1"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110503	
11,2	14,7	360	Ø 1", kierre 1 1:4"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110504	
14,375	17,875	360	Ø 1 1:4", kierre 1 1:4"	SOLIDWORKS DIN Materials:1.0553 (\$355J0)	TAMK110505	

CustomWorks-tehtäväruudun alareunasta saa kappaleen eri kokojen tiedot katsottua erikseen (KUVA 13.). Tämä on hyvä tarkistaa, jotta Design Tablesta saatavat tiedot tulevat oikein kaikkiin komponenttien eri kokoihin.



KUVA 13. Hydrauliiliittimen attribuutit

Kun kappaleen muokkaus on valmis, käydään SolidWorks PDM:stä luovuttamassa kirjoitusoikeus *Check In* -kohdasta (KUVA 14.). Näin kappale siirtyy "Read only" -tilaan, jolloin kappaletta ei pysty enää muokkaamaan. Kun ollaan varmoja, että muutoksia ei enää tehdä, niin hyväksytään malli lopullisesti *Check in* kohdan viereisen symbolin "Change State" alasvetovalikosta valitsemalla *approved*.



KUVA 14. Kirjoitusoikeuden luovuttaminen

8.4 Harjoitustyö

Komponenttikirjaston mallinnuksen yhteydessä tehtiin myös harjoitustyö opiskelijoille, jossa harjoitellaan Design Tablen ja CustomWorksin käyttöä. Harjoitustyössä mallinnetaan ensimmäisenä yksinkertainen akseli, jossa molemmissa päissä on pienet urat. Akselille tehdään viisi eri konfiguraatiota, jossa muun muassa sen halkaisija ja pituus muuttuivat. Työhön otettiin tarkoituksella helposti mallinnettava kappale, jotta harjoittelun pääpaino olisi Design Tablessa ja CustomWorksissa. Harjoitustyötä tullaan käyttämään opetuskäytössä mallinnuskursilla. Harjoitus on tehty sillä oletuksella, että harjoitustyön tekijä osaa jo perusteet 3D-mallintamisesta SolidWorksilla. Harjoitustyö on kokonaisuudessaan liitteessä 1.

9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laajentaa TAMK:lla käytössä olevaa SolidWorksin PDM-ympäristössä toimivaa komponenttikirjastoa opetus- ja hankekäyttöön yleisimmillä koneenrakennusosilla. Projektin myöhemmässä vaiheessa työtä laajennettiin siten, että tehtiin myös harjoitustyö parametrisesta mallinnuksesta opetuskäyttöön.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin laajennusta TAMK:n SolidWorksin komponenttikirjastolle jota tullaan käyttämään opetus- ja hankekäytössä. Lisäksi tehtiin myös harjoitustyö opiskelijoille parametrisesta mallintamisesta, jossa harjoitellaan Design Tablen ja CustomWorksin käyttöä. Harjoitustyö on osoitettu opiskelijoille, jolla on jo SolidWorksilla mallintamisen perusteet hallinnassa. Harjoitustyön tarkoituksena on kehittää opiskelijoiden mallinnuslogiikkaa ja edistää suunnittelutaitoja parametrisen mallinnuksen ja konfiguroinnin avulla.

Tätä työtä tehdessä opittiin paljon parametrisesta mallintamisesta, sillä työ sisälsi paljon mallintamista. Tämän myötä mallinnuslogiikkakin kehittyi, jolloin ymmärrys siitä, miten kappaletta kannattaa lähteä mallintamaan ja minne esimerkiksi origo kannattaa sijoittaa parani. Ongelmia projektin edetessä tuli oikeastaan vain ohjelmistojen toimivuuden kanssa. Esimerkiksi CustomWorks katosi yhdessä vaiheessa tietokoneilta, jonka takia muun muassa harjoitustyön tekeminen viivästyi hieman. Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, että tämän kaltaisissa projekteissa tärkeää olisi tarkemman mallinnussuunnitelman tekeminen, jolloin olisi voitu valmiiksi suunnitella esimerkiksi komponenttien origon paikka ja konfiguraatioiden määrä.

TAMK:lla ei valmiiksi ollut kovin laajaa osaamista parametrisesta mallinnuksesta ja niiden toiminnasta SolidWorksin PDM-ympäristössä, joten tämän työn myötä kirjaston laajentamisen jatkaminen onnistuu helpommin. Tulevaisuudessa komponenttikirjastoa tullaankin varmasti vielä laajentamaan.

Parametrisen mallintamisen, PDM-ympäristön ja konfiguroinnin avulla on mahdollista nopeuttaa kaikenlaisia suunnittelutöitä ja se on tärkeä apukeino varsinkin

massaräätälöinnissä. Tällöin kaikkia muutoksia ei tarvitse aina tehdä itse yksi kerrallaan. Komponenttien mallinnusvaiheessa on ratkaisevan tärkeää, että suunnittelija osaa rakentaa mallit täsmälleen oikein käytettyjen standardien tai muun ohjeistuksen mukaan ja osaa myös huomioida niiden käyttötarkoitukset kokoonpanoissa. Komponenttikirjastosta otettavien komponenttien täytyy olla täsmälleen oikein tai se pahimmillaan johtaa ongelmiin käyttäjillä sekä hintaviin valmistusvirheisiin.

LÄHTEET

- Ahoniemi, L., Mertanen, M., Mäkipää, M., Sievänen, M., Suomala, P. & Ruohonen, M. 2007. Massaräätälöinnillä kilpailukykyä. Helsinki: Teknologiainfo Teknova ry.
- Almattar, T. 2019. Learn SOLIDWORKS 2020. 1. painos. Birmingham: Packt Publishing.
- Brunelli, M. 2017. Parametric vs. Direct Modeling: Which Side Are You On. ptc. Julkaistu 4.7.2017. Luettu 26.3.2021 <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on>
- Dassault Systemes. SolidWorks. n.d. CustomWorks. Luettu 19.4.2021 <https://www.solidworks.com/partner-product/customworks>
- Dassault Systemes. SolidWorks. n.d. Tietoja SOLIDWORKSISTA. Luettu 10.3.2021. https://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm
- Davis, D. 2013. History of Parametric. Julkaistu 6.8.2013. Luettu 1.2.2021. <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>
- Grieves, Michael. 2006. Product lifecycle management driving the next generation of lean thinking. 1. painos. New York: McGraw-Hill.
- Hietikko, E. 2019. 3D-suunnittelua pilvessä. Oneshape. 2. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand
- Hietikko, E. 2020. SolidWorks 2020. Tietokoneavusteinen suunnittelu. 8. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.
- Home, L. 2015. AutoCAD ja AutoCAD LT 2016. Jatkokurssi. Cadlink Oy.
- Kainunen, J. 2016. Parametrin suunnittelun hyödyntäminen erikoisajoneuvon suunnittelussa. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Kirves, J. 2019. Parametrinen 3D-mallintaminen. Konetekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Krebs, J. 2017. Basics CAD. Fundamentals of presentation. Basel: Birkhäuser
- Myllymäki, V. 2011. SOLIDWORKS-OPETUSPAKETTI. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Myung, S & Han, S. 2001. Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method. ScientDirect. Julkaistu 16.8.2001. Luettu 19.4.2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417401000306>

Peltonen, H., Martio, A. & Sulonen, R. 2002. PDM – tuotetiedonhallinta. Helsinki: Edita Prima Oy.

PLM Group. n.d. SOLIDWORKS PDM – HALLITSE TUOTETIETOA, PARANNA YHTEISTYÖTÄ JA LISÄÄ INNOVOINTIA. Luettu 12.4.2021 <https://plm-group.fi/tuotteet/ohjelmistot/solidworks-pdm/>

Rudeck, E. 2013. The Pros and Cons of Parametric Modeling. Concurrent Engineering. Julkaistu 11.10.2013. Luettu 30.3.2021. <https://www.concurrent-engineering.co.uk/Blog/bid/97311/The-Pros-and-Cons-of-Parametric-Modeling>

Shih, R & Schilling, P. 2019. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2019. Covers materials found on the CSWA exam. Mission KS: SDC Publications.

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedon hallinta – PDM. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Tampereen ammattikorkeakoulu. n.d. PDM2pk – Tuotetiedon hallintaa pk-sektorille. Luettu 10.3.2021. <https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/pdm2pk-tuotetiedon-hallintaa-pk-sektorille>

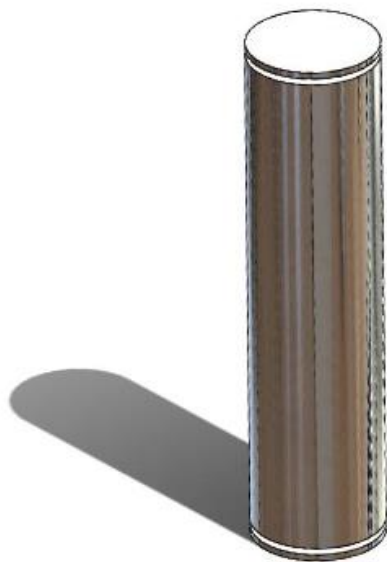
Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. 21. painos. Hyvinkää: Genesis-kirjat Oy.

Woodbury, R. 2010. Elements of Parametric Design. 1. painos. Abingdon: Routledge.

LIITTEET

Liite 1. Parametrisen mallinnuksen harjoitustyö

Parametrisen mallinnuksen harjoitustyö



Akseli

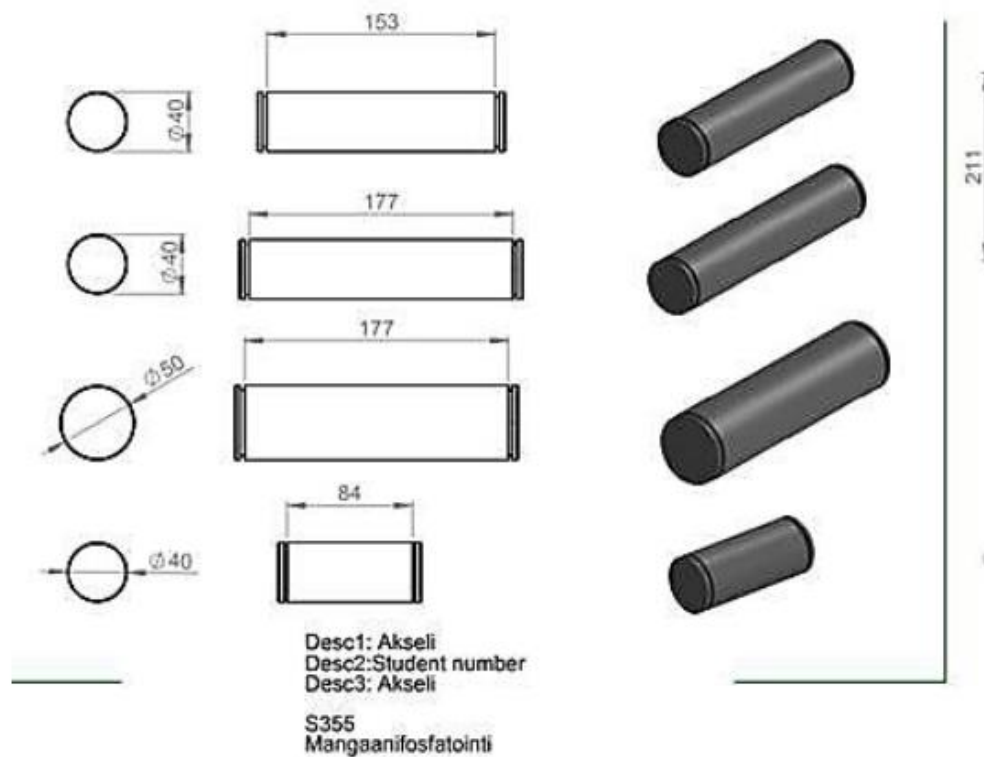
23.3.2021

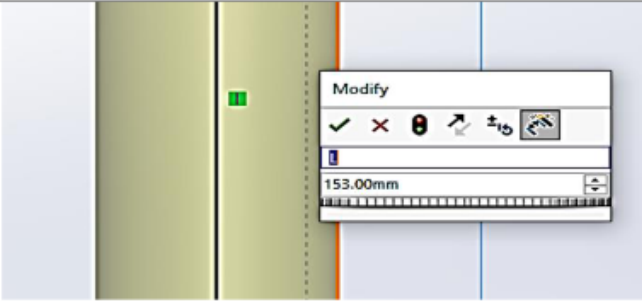
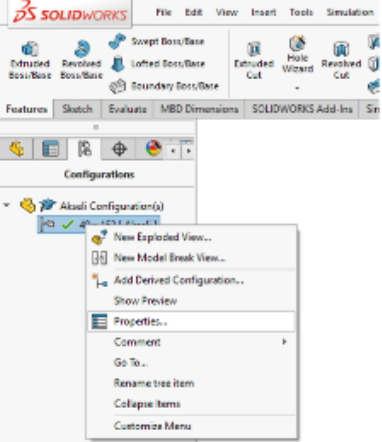
Tampereen

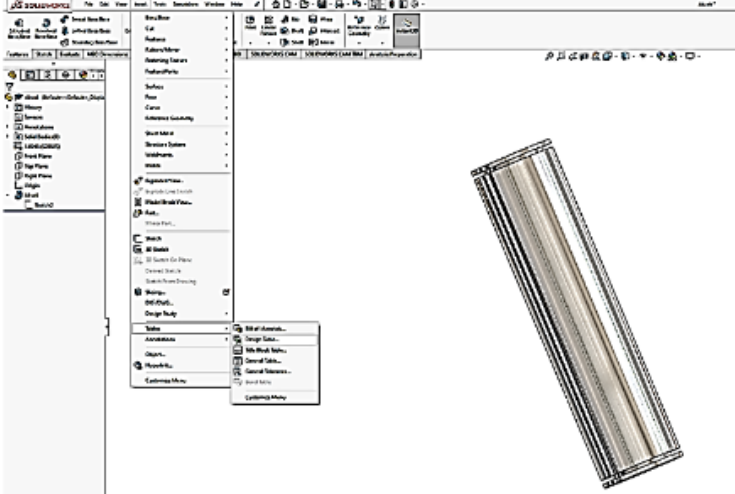
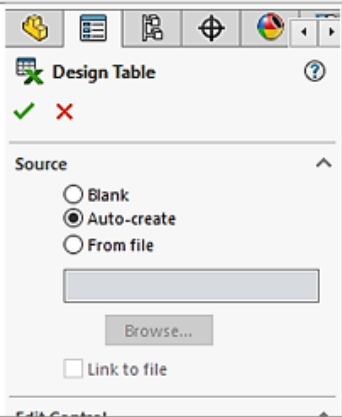
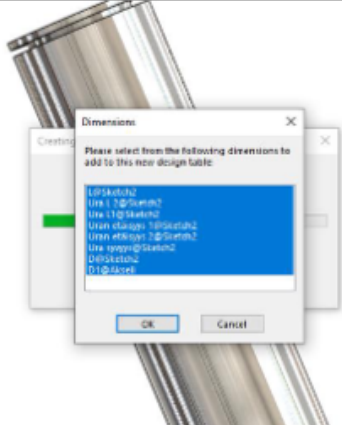
ammattikorkeakoulu

Harjoituksen tarkoitus

Harjoituksen tarkoituksena on mallintaa akseli parametrisesti SolidWorksilla ja samalla harjoitella design tablen ja custom worksin käyttöä.



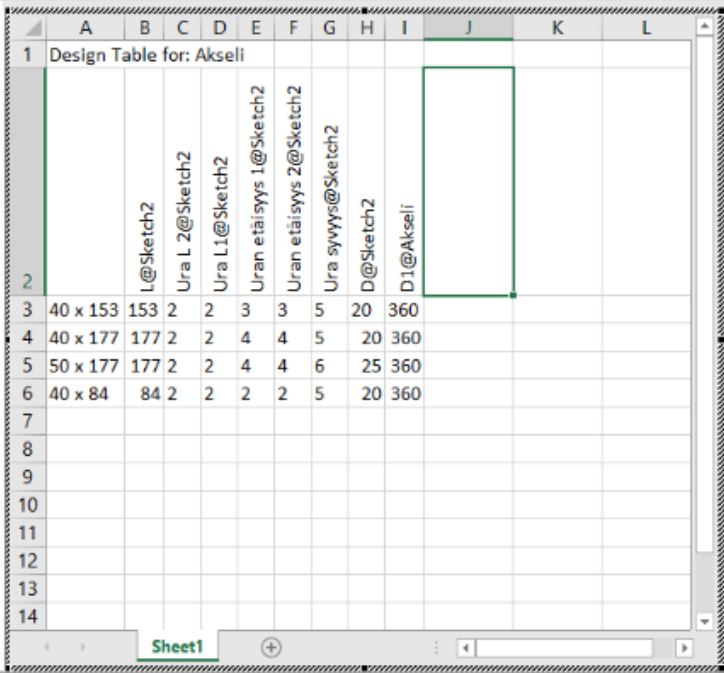
<p>Mallinna kappale ja nimeä mitat sketsiin. Mitan lisätiedot saat kaksoisklikkaamalla mitta. Jos teet kappaleen esimerkiksi pursottamalla, saat mitan nimen muutettua klikkaamalla ensin valmistusta piirrettä, jolloin mitat tulevat esille. Tämän jälkeen tee kuten edellä.</p>	
<p>Nimeä osa configuraatioista esimerkiksi halkaisija x pituus (40 x 153). Klikkaa hiiren oikealla näppäimellä ja valitse properties. Anna osan nimi "configurations name" -kenttään.</p>	

<p>Kun kappale on mallinnettu, luodaan design table. Valitse yläpalkista Insert > Tables > Design Table</p>	
<p>Valitse Auto-create</p>	
<p>Valitse listasta haluamasi mitat.</p>	

Täytä Excel-taulukkoon mitat. Ensimmäiseen sarakkeeseen tulee osien nimet.

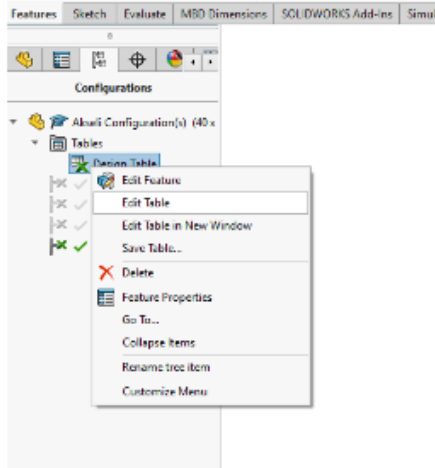
Isommissa töissä kannattaa mitat kirjoittaa erilliseen Exceliin ja kopioida sieltä arvot Design tableen. Kopiointi ei kuitenkaan aina onnistu normaalilla Ctrl + C Ctrl + V toiminnolla. Varmempaa on käyttää kopioi-liitä -toimintoa hiirellä.

Design Table sulkeutuu, kun klikkaat hiirellä taulukon ulkopuolelle.

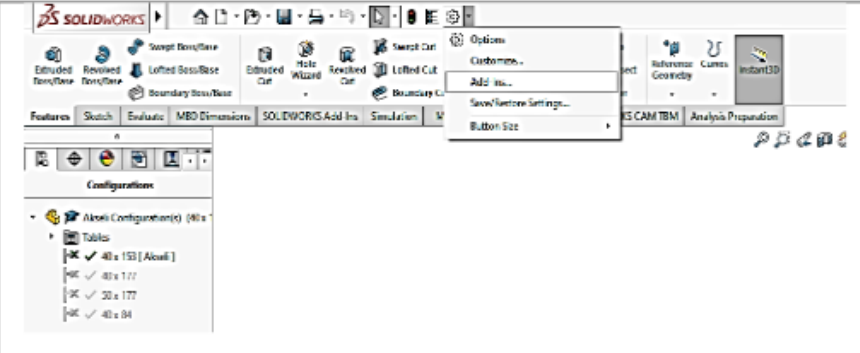


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Design Table for: Akseli											
2		L@Sketch2	Ura L 2@Sketch2	Ura L1@Sketch2	Uran etäisyys 1@Sketch2	Uran etäisyys 2@Sketch2	Ura syvyys@Sketch2	D@Sketch2	D1@Akseli			
3	40 x 153	153	2	2	3	3	5	20	360			
4	40 x 177	177	2	2	4	4	5	20	360			
5	50 x 177	177	2	2	4	4	6	25	360			
6	40 x 84	84	2	2	2	2	5	20	360			
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												

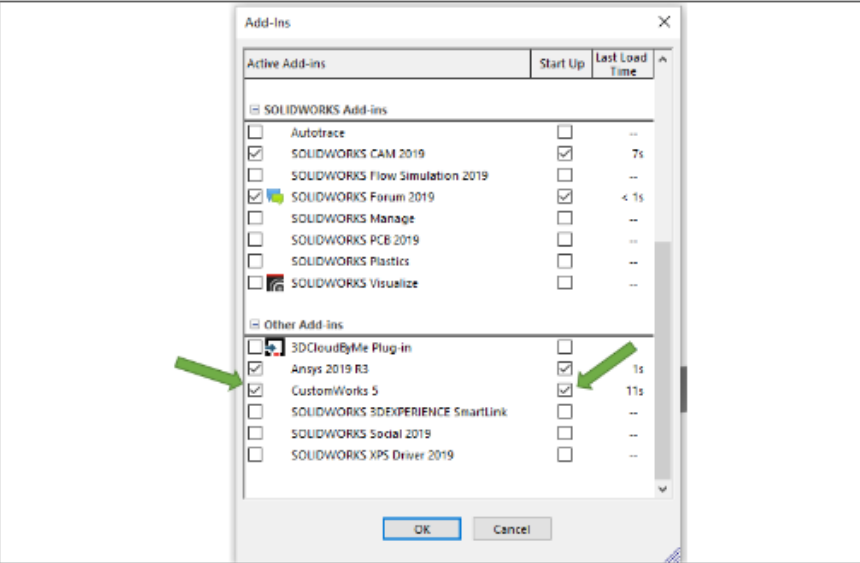
Design Tablea pääsee muokkaamaan jälkikäteen klikkaamalla hiiren oikealla Design Table kohtaa ja valitsemalla "Edit Table".



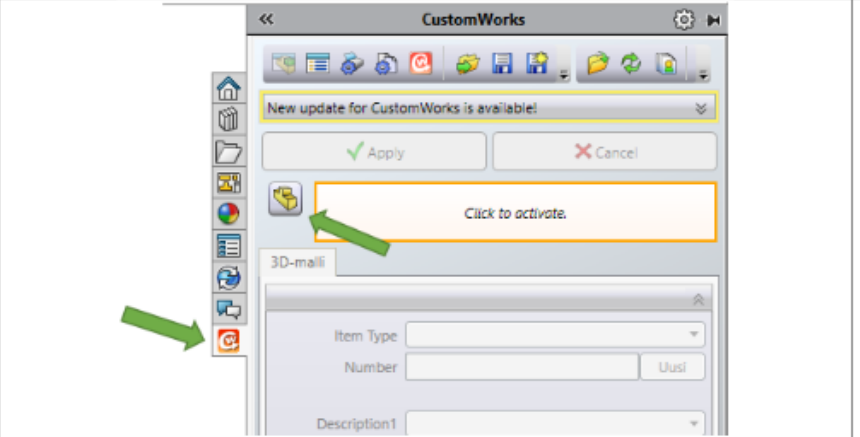
Valitse Options kuvakkeen alta Add-Ins..

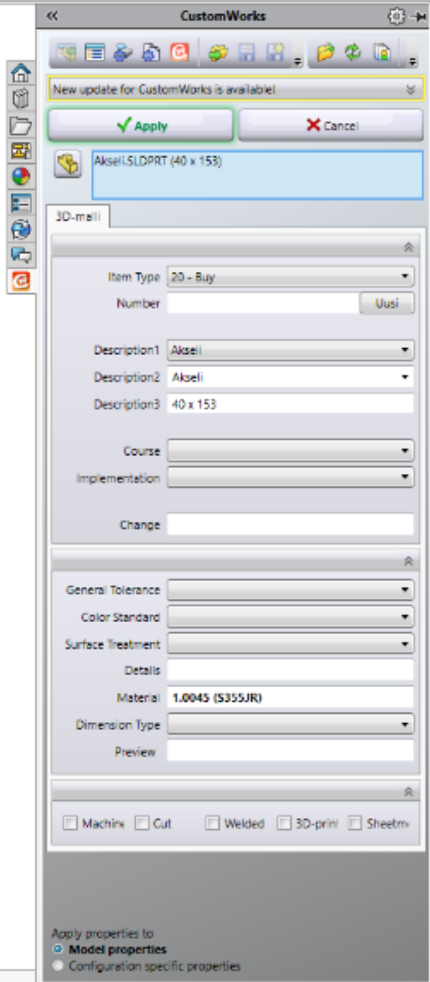
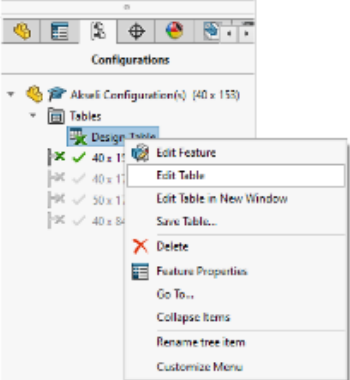


Listan loppupäässä laita rastit molempiin ruutuihin CustomWorks 5 kohdassa.

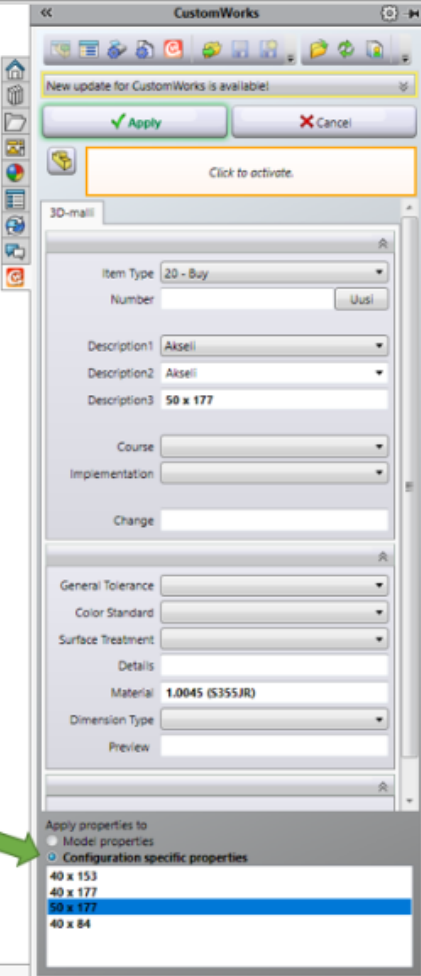


Sivun oikeassa reunassa task paneliin on tullut CustomWorks. Avaa se ja klikkaa "Select Active Document". Näin pystyt muokkaamaan attribuutteja.



<p>Täytä ensimmäisen koon tiedot ja paina Apply.</p>	
<p>Avaa Design Table (Edit Table)</p>	

Tarkista CustomWorks task panelista, että Description 3 kohtaan tulee automaattisesti tiedot. Design Tablesta automaattisesti tulevat tiedot on kirjoitettu lihavoidulla fontilla.



3D-malli

Item Type: 20 - Buy

Number: [] Uusi

Description1: Akseli

Description2: Akseli

Description3: 50 x 177

Course: []

Implementation: []

Change: []

General Tolerance: []

Color Standard: []

Surface Treatment: []

Details

Material: 1.0045 (S355JR)

Dimension Type: []

Preview: []

Apply properties to

Model properties

Configuration specific properties

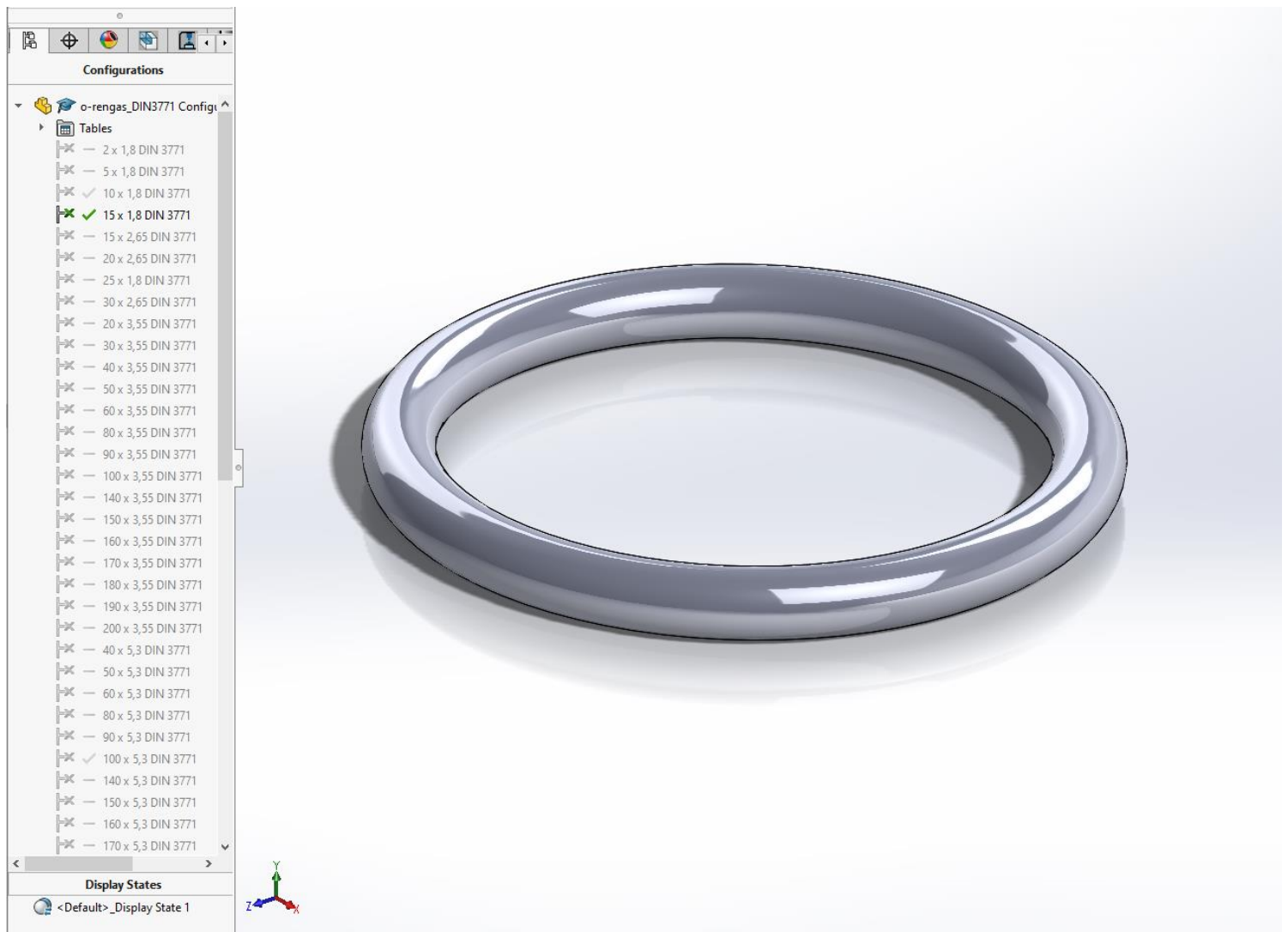
40 x 153

40 x 177

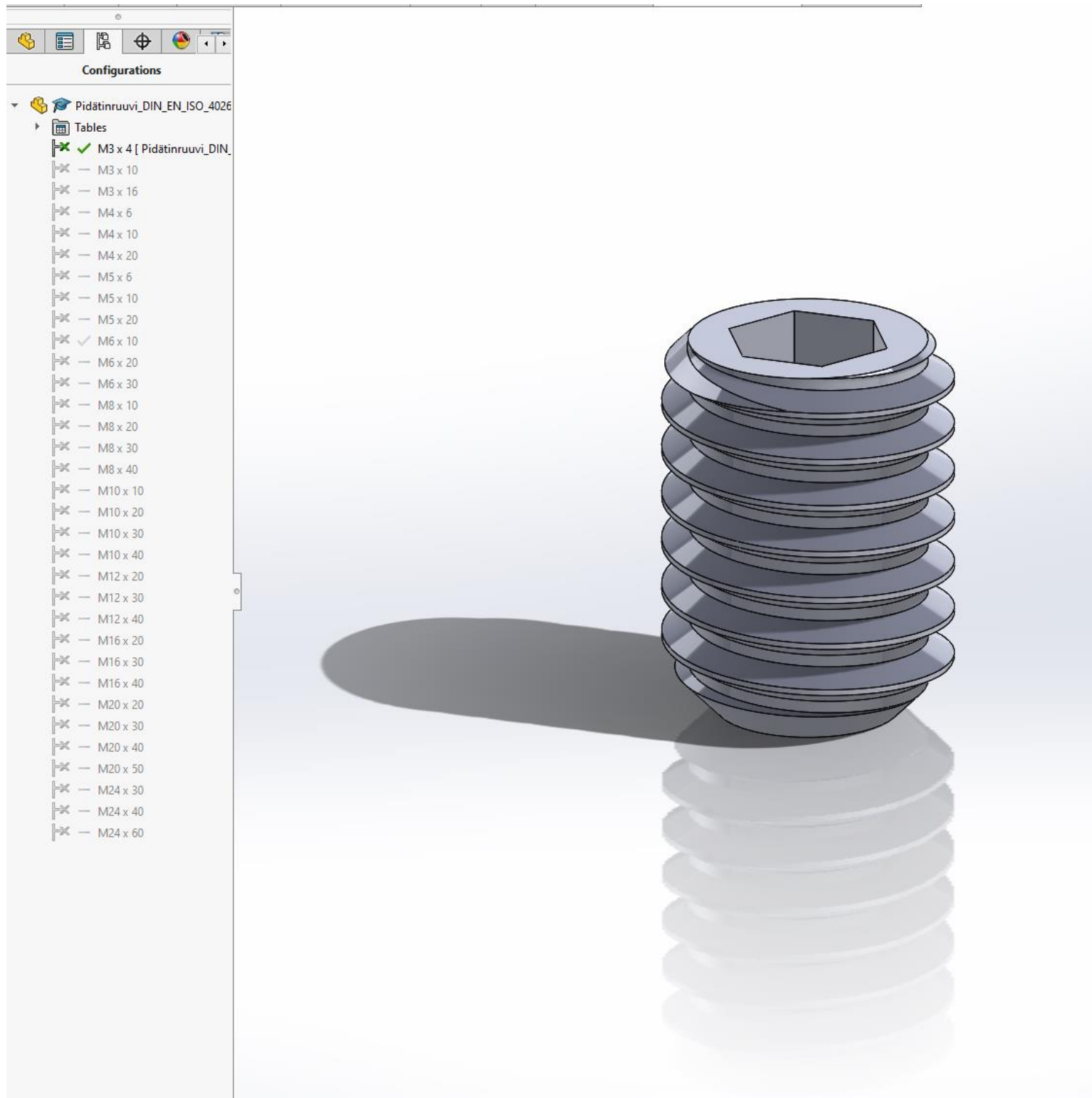
50 x 177

40 x 84

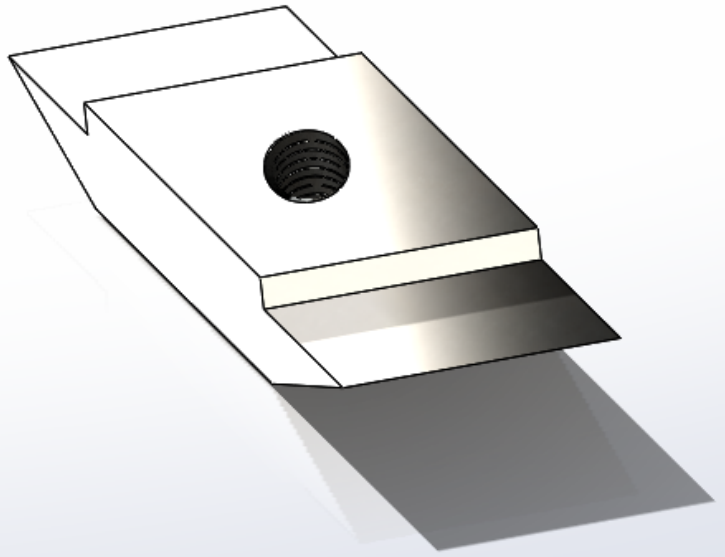
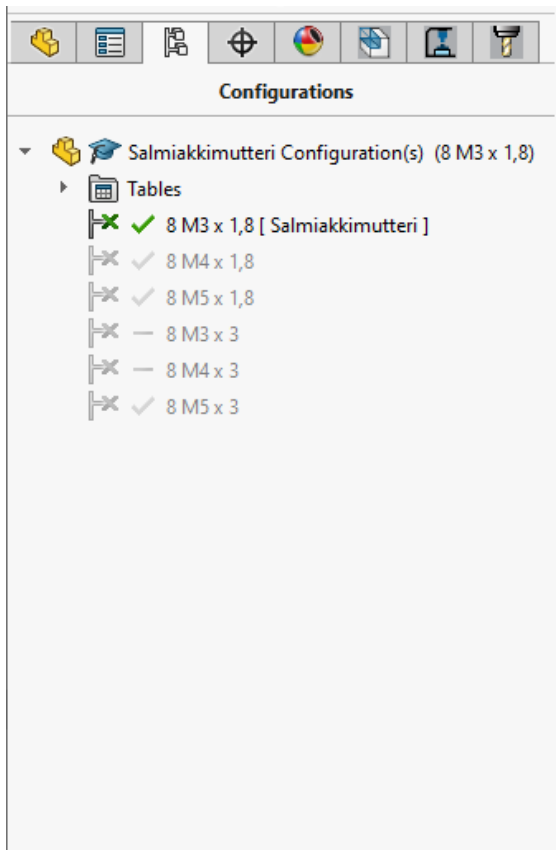
Liite 2. Mallinnetut kappaleet



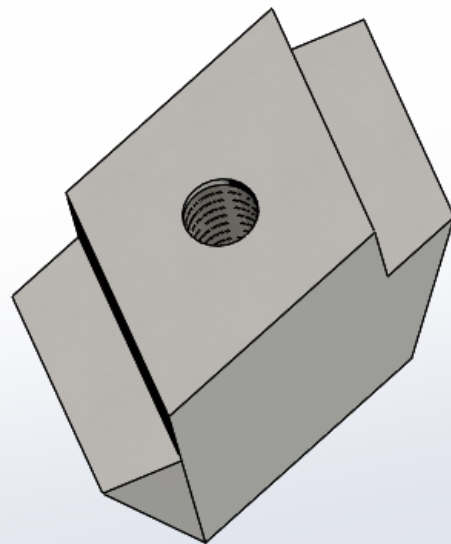
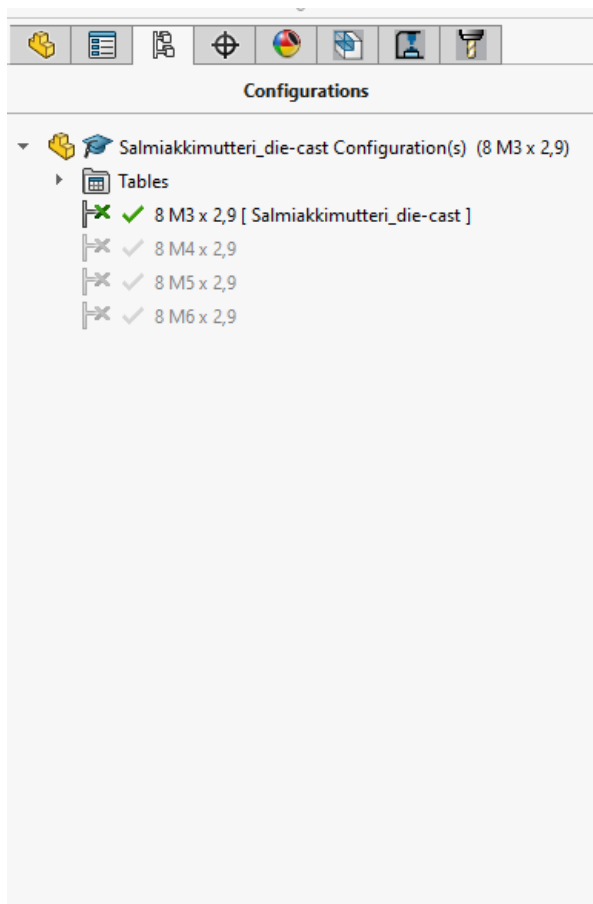
O-rengas



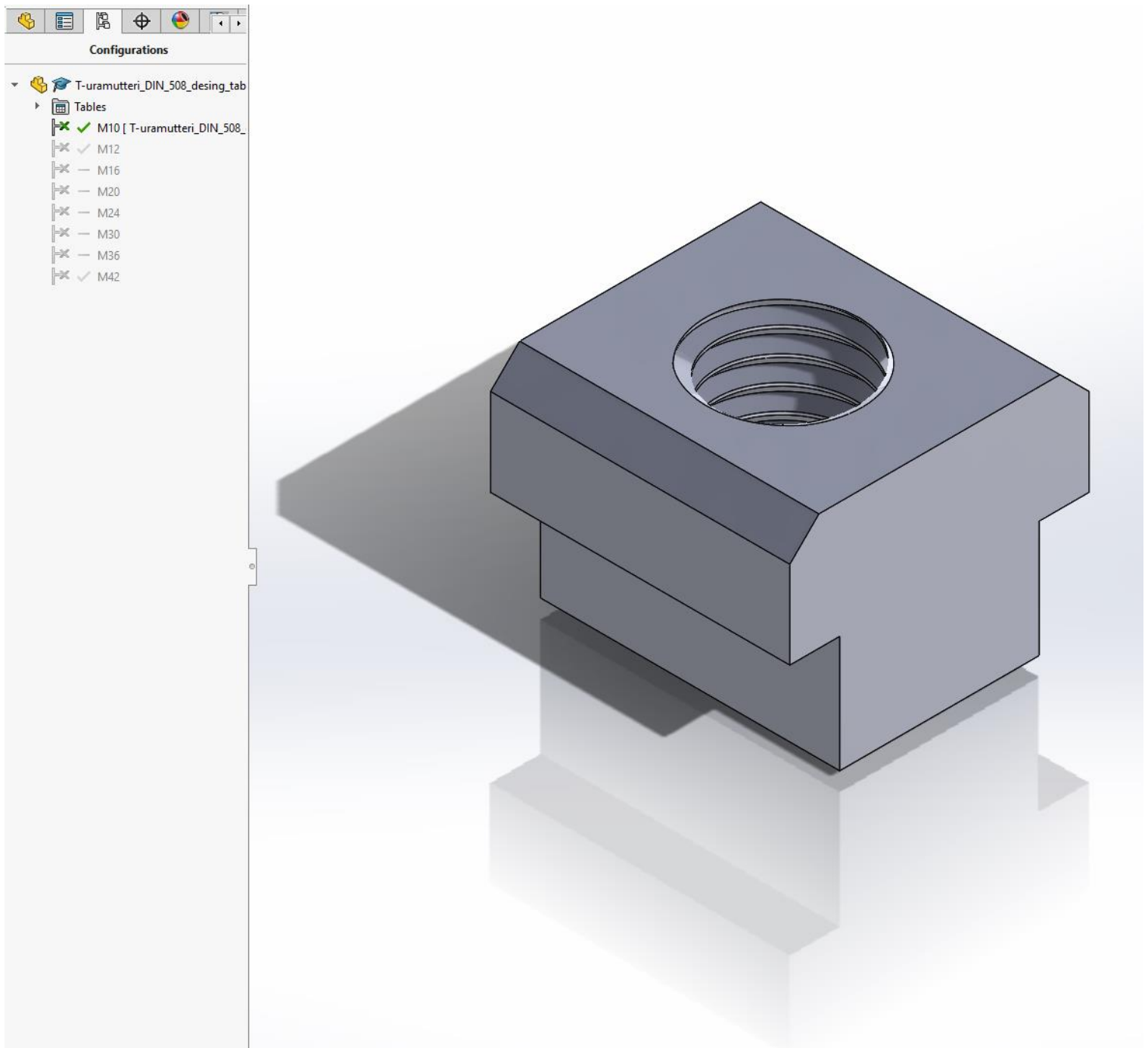
Pidätinruuvi



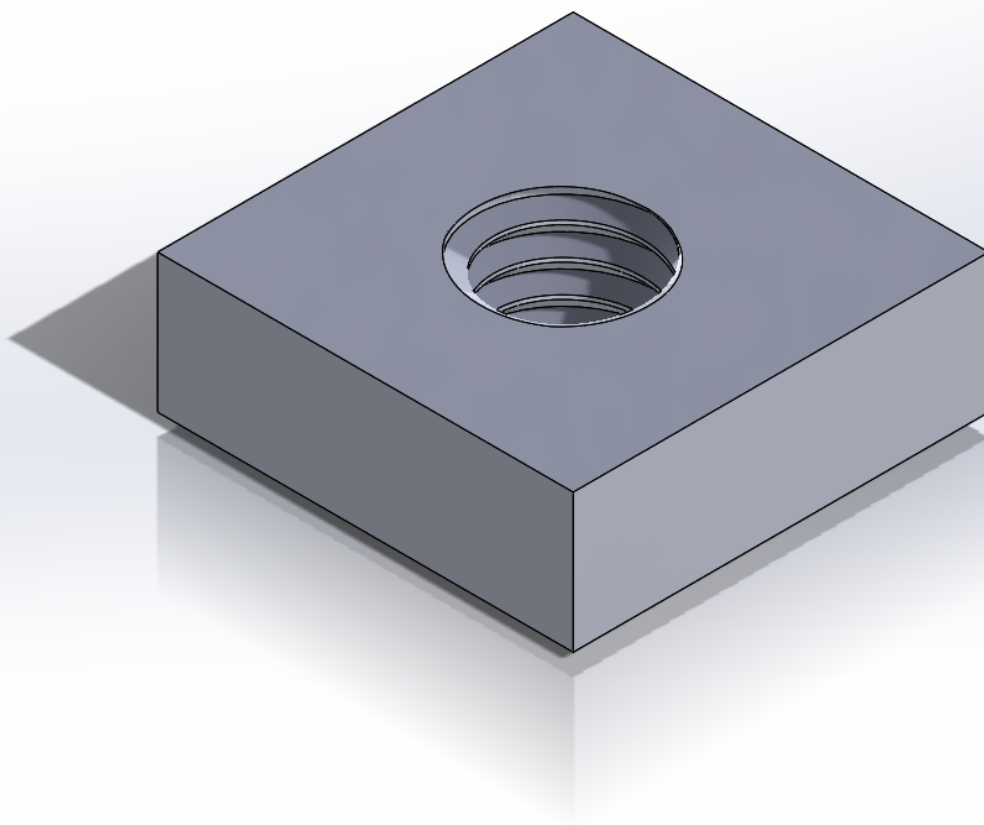
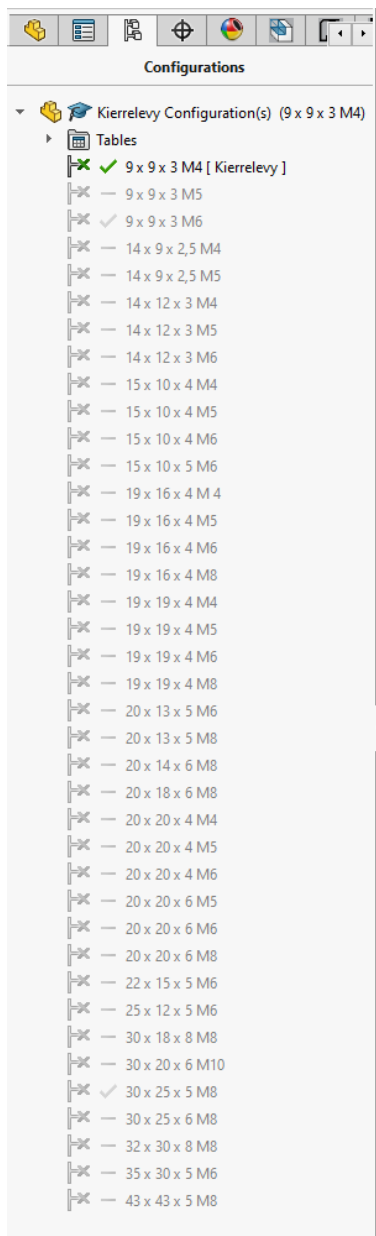
Salmiakkiruuvi



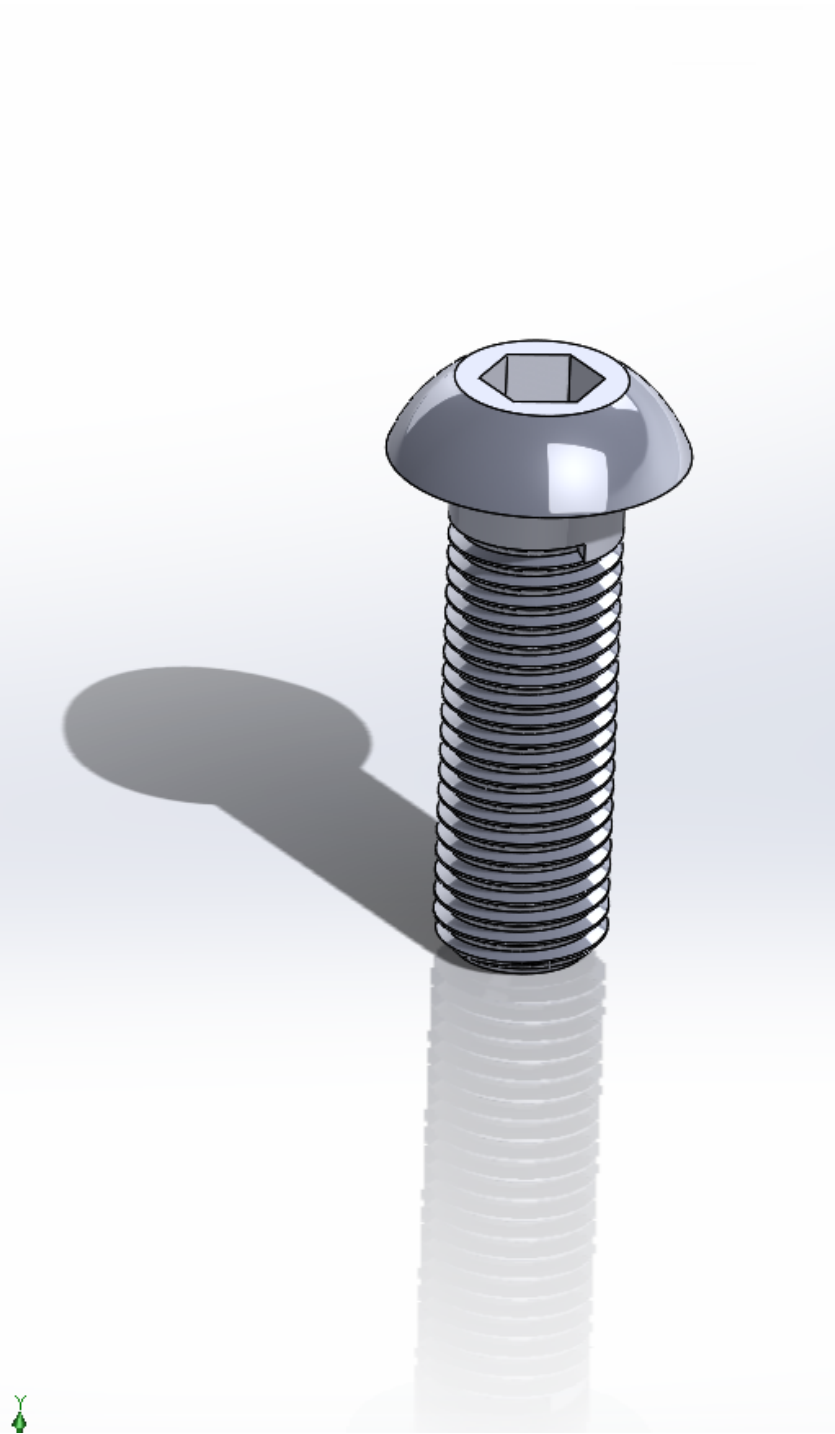
Salmiakkiruuvi - katkaistu



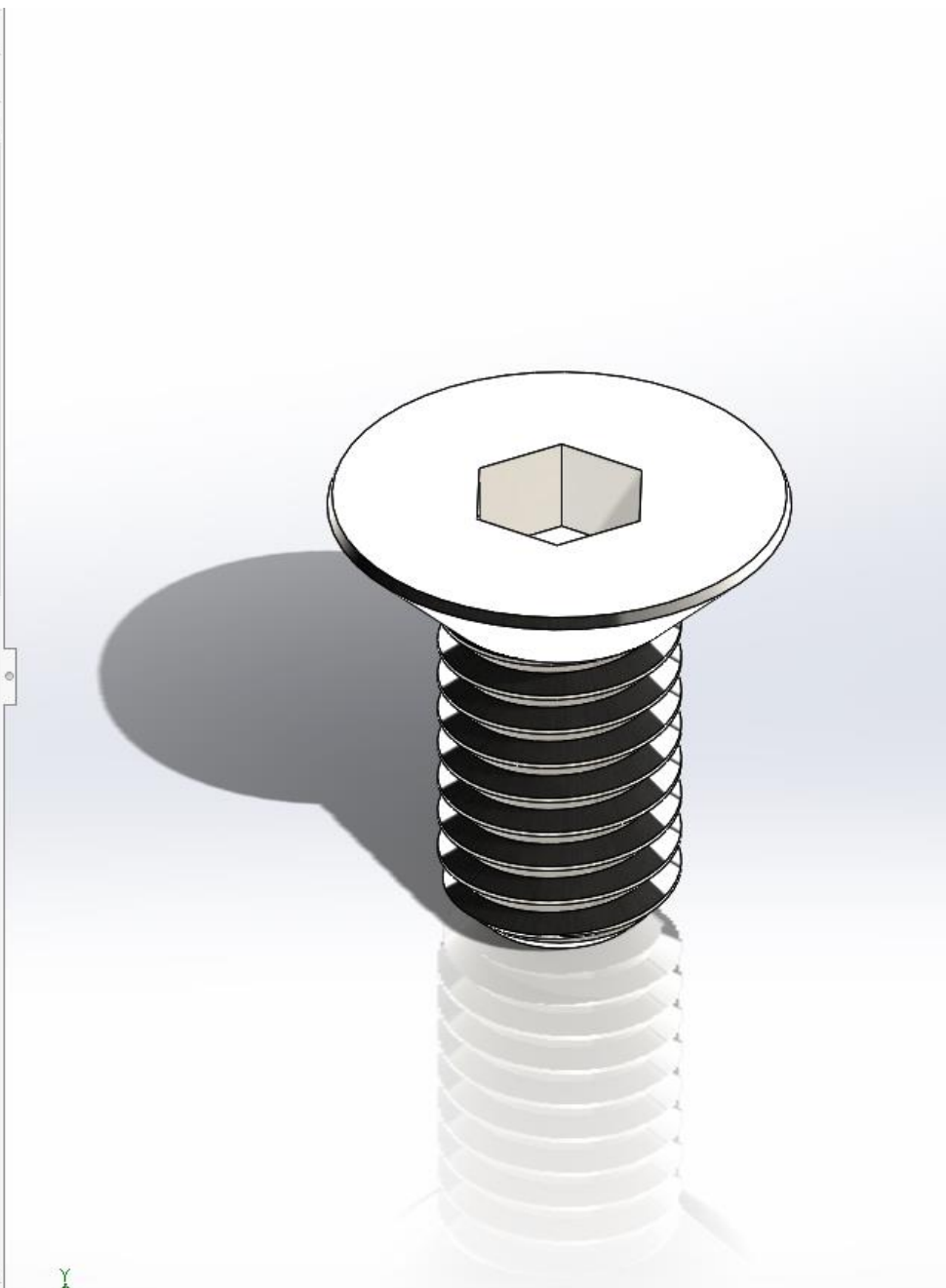
T-uramutteri



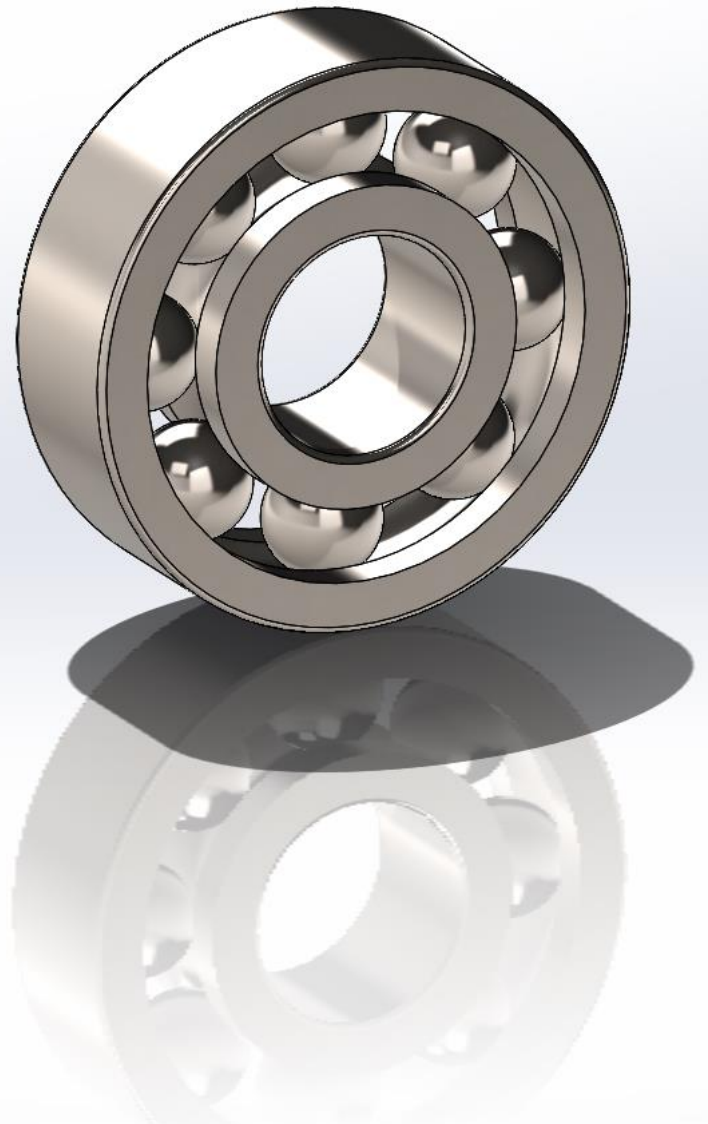
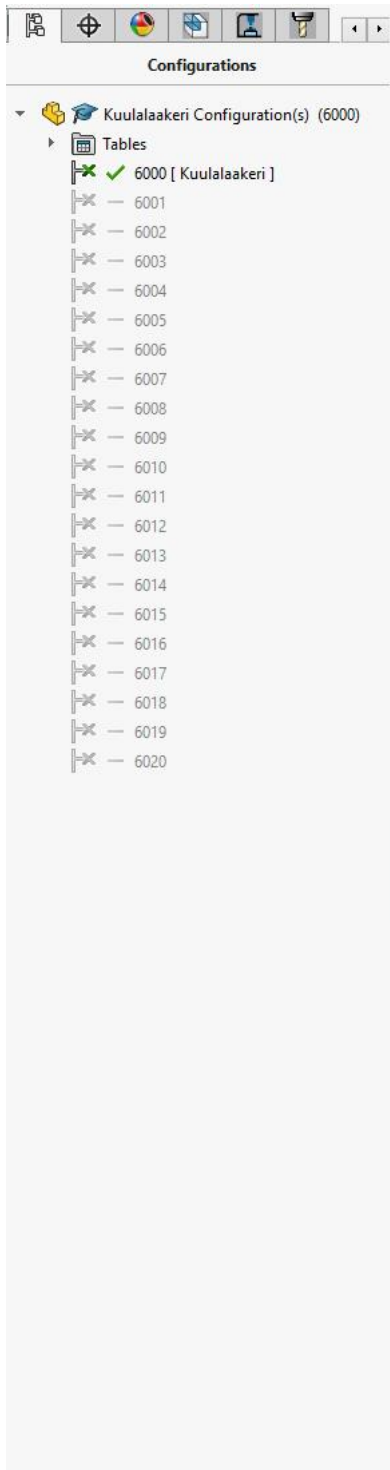
Kierrelewy



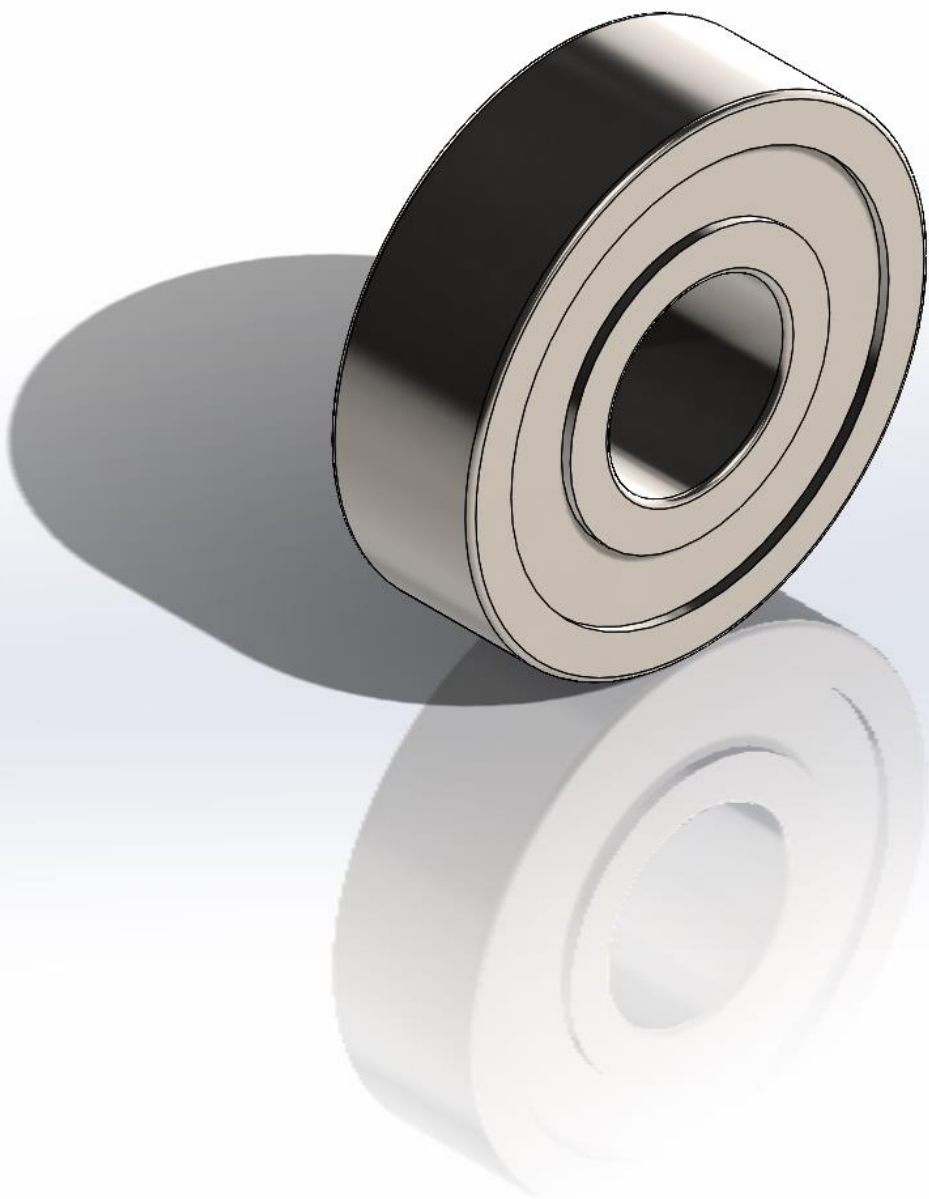
Kupukantaruuvi



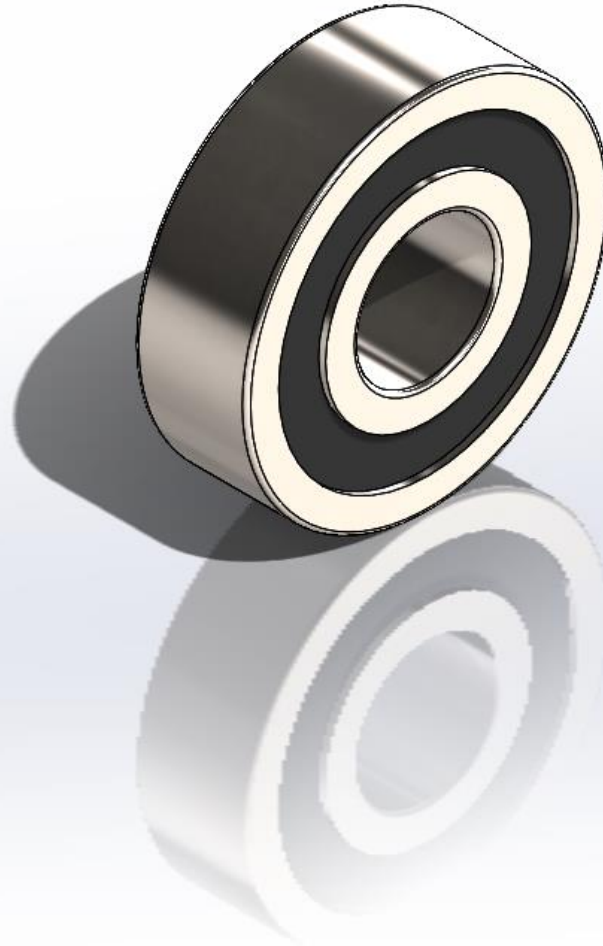
Uppokantaruuvi



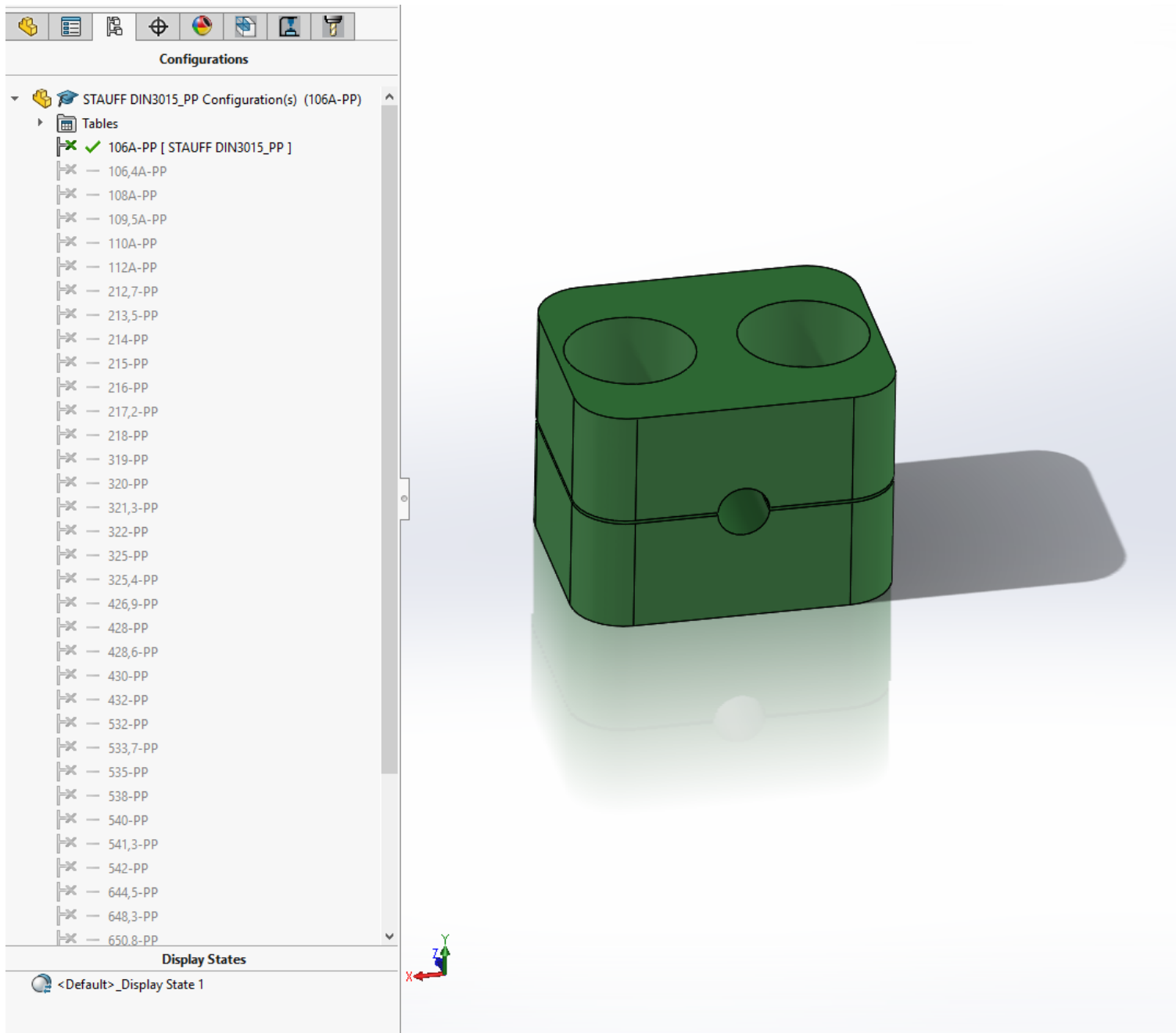
Kuulalaakeri (6000-sarja)



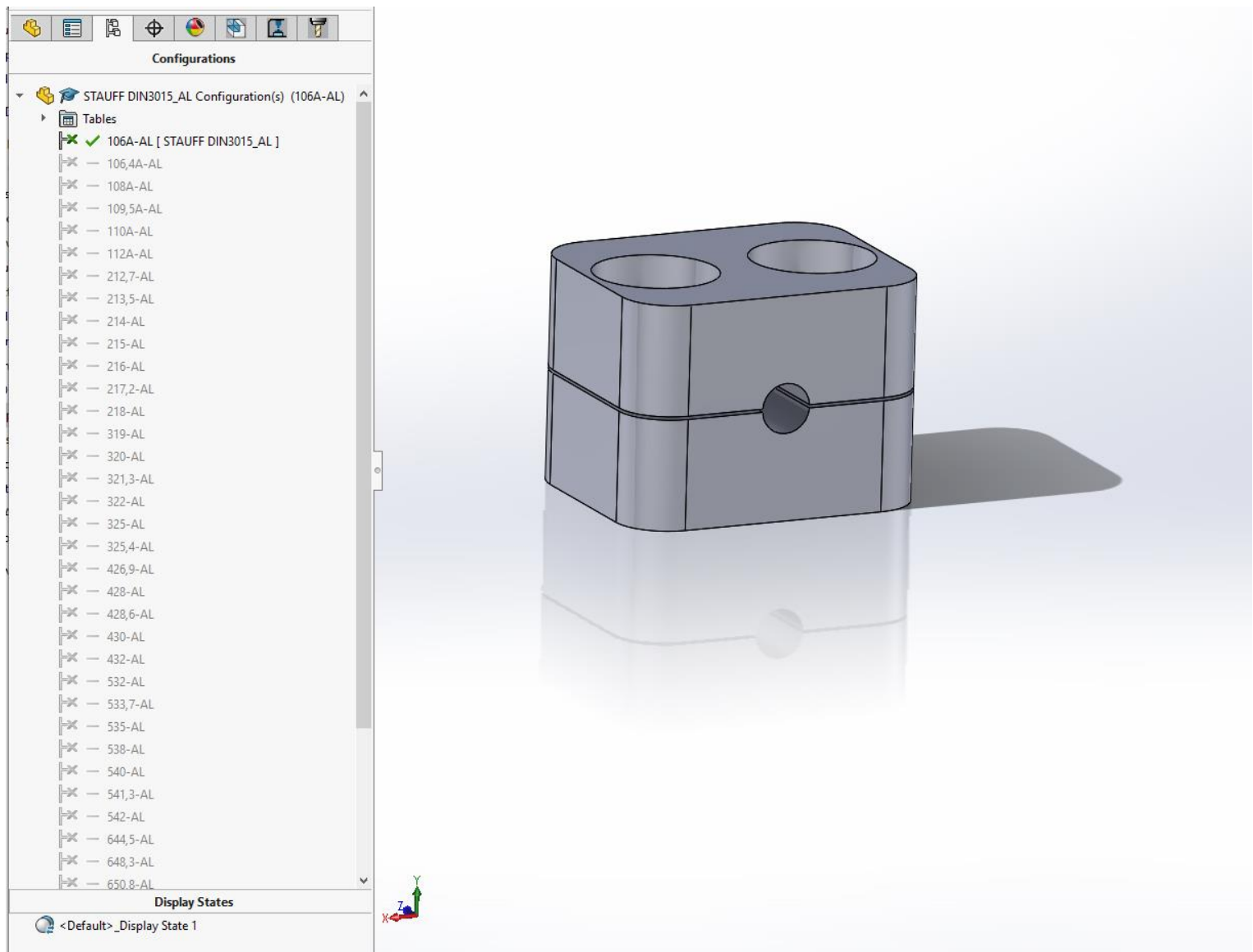
Kuulalaakeri (6000-2Z -sarja)



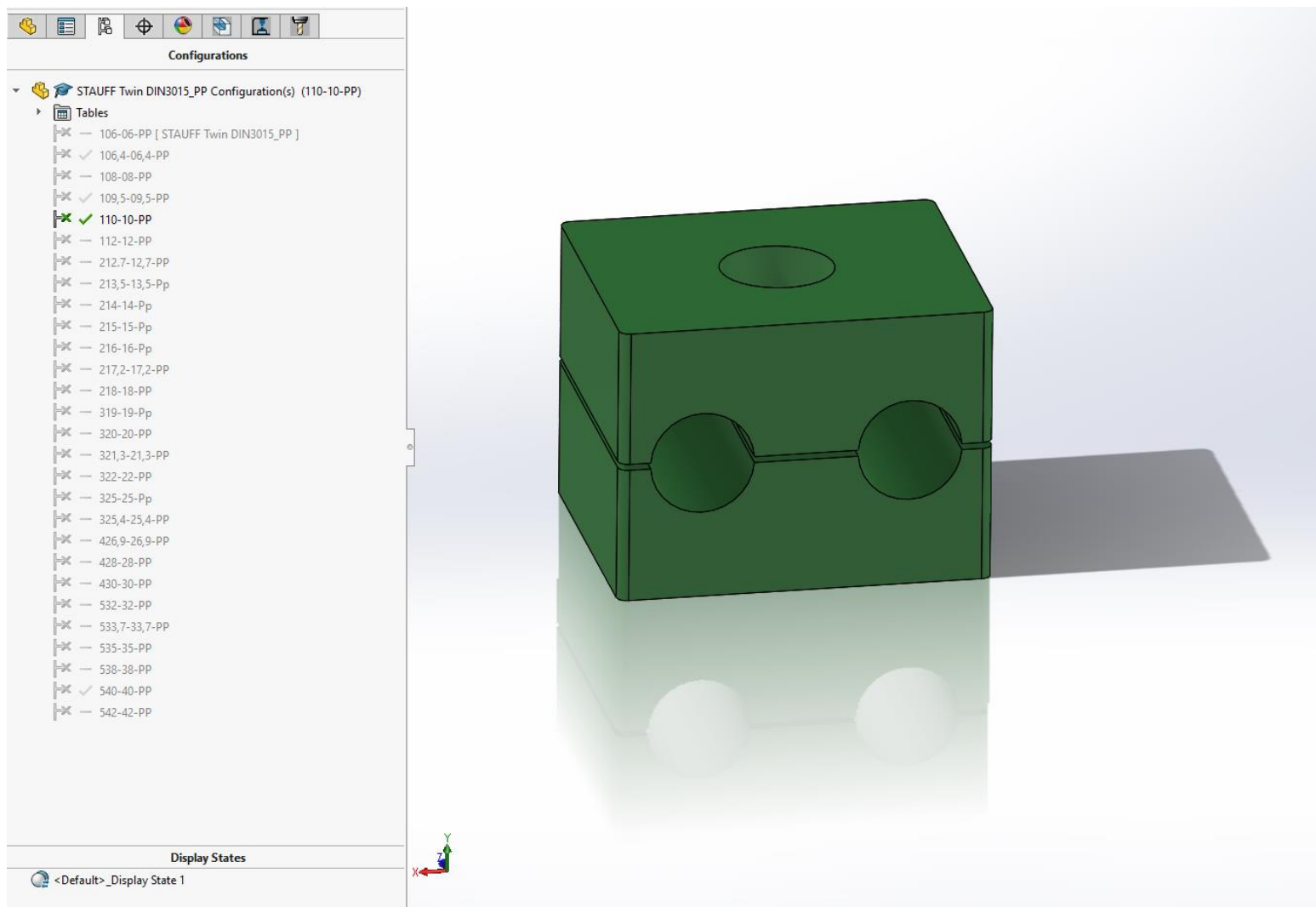
Kuulalaakeri (6000-2RSR -sarja)



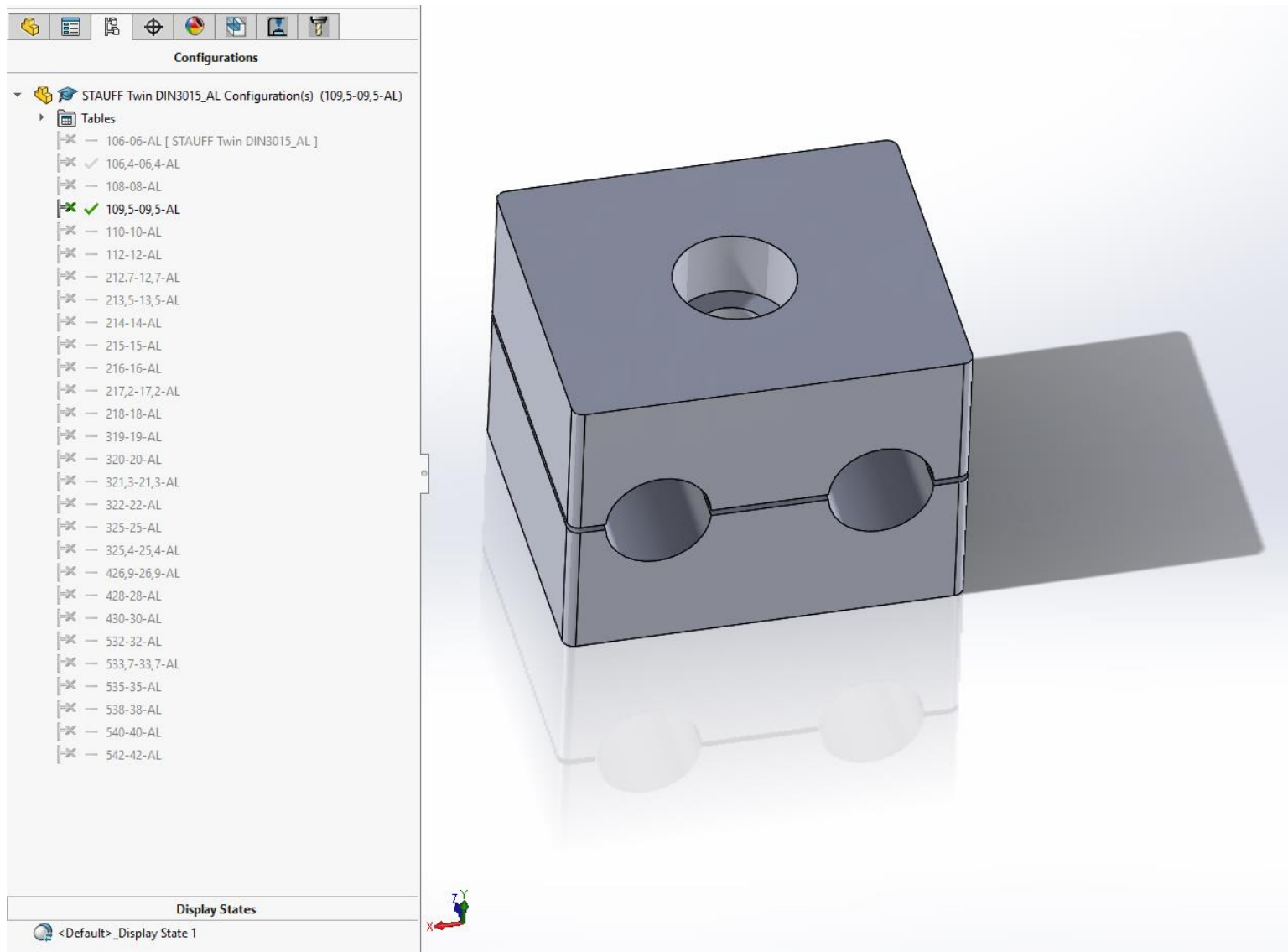
Stauff PP



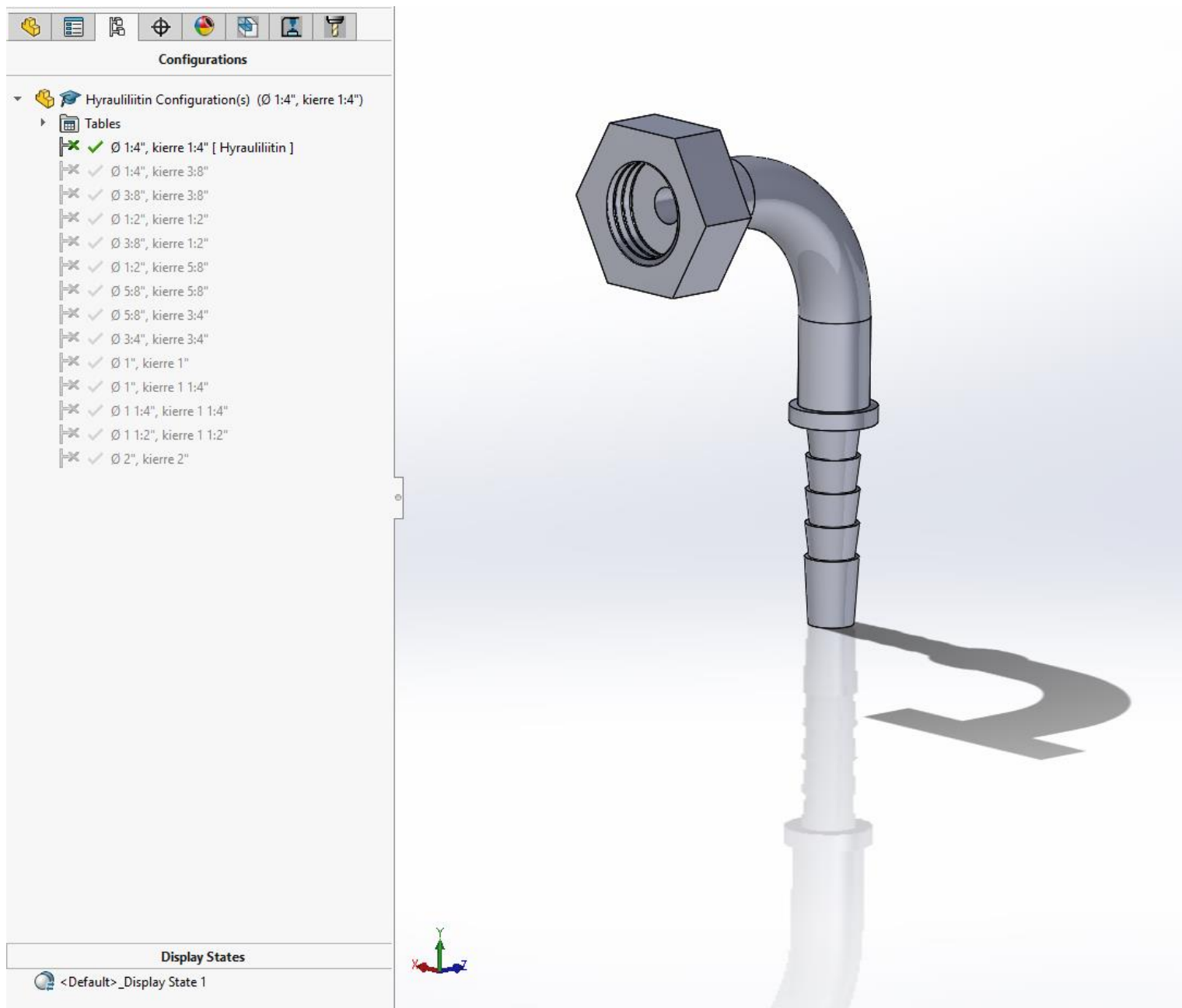
Stauff AL



Stauff AL tuplaputkella



Stauff AL tuplaputkella



Hydrauliliitin P019-BSP, sisäkierre R90