

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

Opinnäytetyö

Timo Nyblom

TASAUSPYÖRÄSTÖN MALLINNUS JA JÄNNITYSLASKELMAT

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2010

DI Harri Laaksonen  
T&K-projektit, valvojana Markku Oikarainen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

Timo Nyblom

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Toukokuu 2010

Avainsanat

Tasauspyörästäön mallinnus ja jännityslaskelmat

46 sivua + 18 liitesivua

Harri Laaksonen

TAMK, valvojana Markku Oikarainen

tasauspyörästäö, mallinnus, ajoneuvo

## TIIVISTELMÄ

Tämä työ on osana Tampereen ammattikorkeakoulun johtamaa projektia, jossa tarkoituksena on keksijä Godwin Vasanthin ideoiman ja patentoiman /10/ differentiaalipyörästäöjärjestelmän poljettavaan ajoneuvoon jatkosuunnittelu ja myöhemmässä vaiheessa toteutus.

Tämän työn tavoitteena oli saada toimiva 3D-malli tasauspyörästäöstä, joka on käytännössä mahdollinen koota. Jännityslaskelmat suoritettiin, jotta voitaisiin todeta tasauspyörästäön maksimijännitykset ja mahdolliset ongelmakohdat.

Työssä tehtiin 3D-mallinnus Catia V5 -ohjelmalla Godwin Vasanthin suunnitelmien pohjalta. Malleissa pyrittiin ottamaan huomioon tasauspyörästäön koko ja käytännöllisyys valmistusvaiheessa sekä parantamaan mahdollisia heikkouksia. Malleista tehtiin piirustukset jatkokäsittelyn ja tutkimisen helpottamiseksi. Jännityslaskelmat suoritettiin Catia V5 Generative Structural Analysis -ohjelmalla. Laskelmat suoritettiin käyttämällä aiemmin mallinnettuja 3D-malleja.

Työtä tullaan käyttämään jatkossa osana projektissa poljettavan ajoneuvon differentiaalipyörästäöjärjestelmällä kokonaisuuden hahmottelemisessa. Tavoitteena on, että tasauspyörästäö voidaan tulevaisuudessa valmistaa mallien mukaan, muutokset ovat kuitenkin mahdollisia.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Mechanical and Production Engineering

Product development

Timo Nyblom

Modelling and stress calculation of differential gear system

Engineering Thesis

46 pages + 18 attachment pages

Thesis supervisor

Harri Laaksonen

Commissioning company

TAMK, supervisor Markku Oikarainen

May 2010

Keywords

differential gear system, modelling, vehicle

## **ABSTRACT**

This thesis was part of the project led by Tampere University Of Applied Science. Target of the project is to develop and on later stage produce a pedal-driven vehicle that comprises power transmission system.

The goal of this thesis was to model a working differential gear system. Stress values were also calculated to reveal possible weak points.

3D-models were made based on inventor Godwin Vasanth's designs using Catia V5- program. Models were made so, that they consider practical assembling. Drawings were made to make later developing progress easier. Stress values were calculated with Catia V5 Generative Structural Analysis- program. Calculations were based on a 3D-models.

This thesis will be used on later stages of the project. It's a desirable goal that differential gear system can be produced based on these 3D-models on the future.

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää Godwin Vasanthia tuotteen keksimisestä sekä hänen toiveestaan ottaa Tampereen ammattikorkeakoulu mukaan keksinnön jatkojalostamiseen. Erityiskiitoksen haluan antaa Markku Oikaraiselle, joka otti minut mukaan projektiin.

Tampereella 23.5.2010

Timo Nyblom

## SISÄLLYSLUETTELO

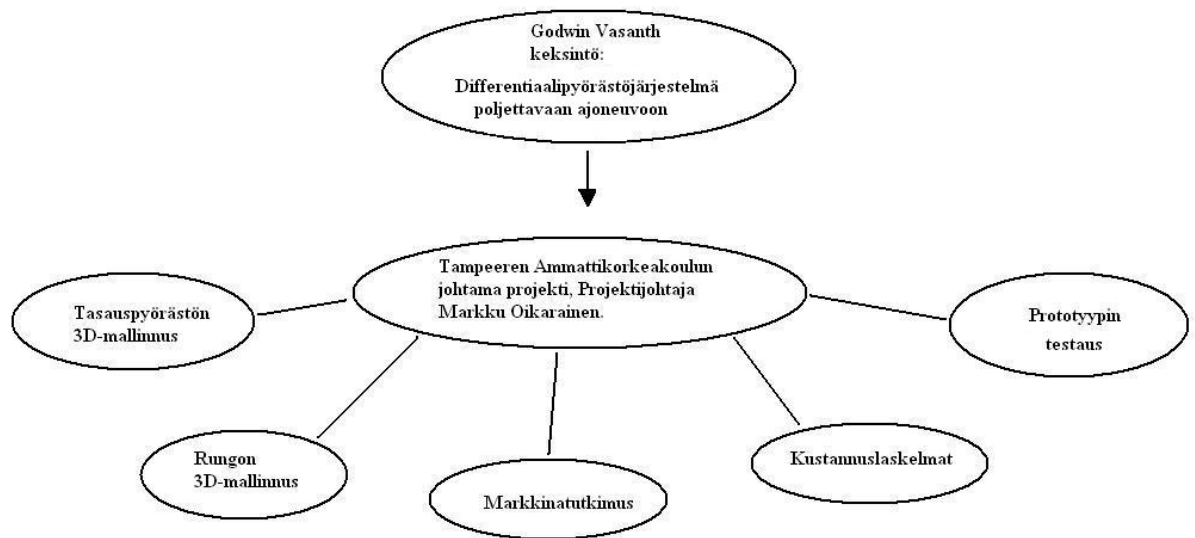
TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 TYÖN KUVAUS	8
3 TASAUSPYÖRÄSTÖN MALLINNUS	9
3.1 LAAKERIHOIKKI JA YKSIRIVISET URAKUULALAAKERIT	9
3.2 PIENEMPI KARTIOPYÖRÄ	11
3.3 SUUREMPI KARTIOPYÖRÄ	13
3.4 TASAUSPYÖRÄSTÖN KOTELO	15
3.5 KETJUPYÖRÄ	19
3.6 TASAUSPYÖRÄSTÖN ULKOPUOLISTEN OSIEN MALLINTAMINEN	20
3.7 KOKOONPANOT	21
4 PIIRUSTUKSET	26
5 JÄNNITYSLASKELMAT	27
5.1 JÄNNITYSLASKELMIEN POHJUSTUS	27
5.2 ELEMENTTIVERKON LUOMINEN	28
5.3 TUENNAN JA KUORMITUKSEN MÄÄRITTELEMINEN	30
5.4 JÄNNITYSHUIPPUJEN PAIKANTAMINEN	31
5.4.1 Laakeriholkki	32
5.4.2 6002*-kuulalaakerit	33
5.4.3 Pienemmät kartiopyörät	35
5.4.4 Suuremmat hammaspyörät	36
5.4.5 Tasaussyörästö ja muut osat	38
6 TULOKSET	40
7 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44
LIITTEET	46

## 1 JOHDANTO

Työ oli osa projektia, jossa keksijä Godwin Vasanth halusi Tampereen ammattikorkeakoulun johtamaan ideansa jatkojalostusta. Projekti jakautuu monen alaprojektiin, joista tämä työ tasauspyörästön mallintamisesta oli ensimmäinen. Tulevaisuudessa projekteja tulee olemaan lisää ja ne tulevat olemaan eri koulutusohjelmille sopivia. Projektin perimmäisenä tavoitteena on saada aikaan poljettava ajoneuvo toimivalla differentiaalipyörästöjärjestelmällä, jotta se olisi mahdollista toteuttaa ja saada markkinoille oikealle kohderyhmälle. Kuvio (1) selventää projektin luonnetta ja kulkua. Erinäisiä aliprojekteja ei ollut vielä määritelty, joten taulukossa esitetyt aliprojektien aiheet ovat vain suuntaa-antavia.

Kyseisessä projektissa tasauspyörästön tehtävänä on koota yhteen polkijoiden tuottama liike-energia ja siirtää se ketjulle. Vapaavaihteet keräävät polkijoiden polkimien kautta tuottaman energian ja siirtävät sen tasauspyörästön kotelolle. Koteloon kiinnitetty ketjupyörä kuljettaa tämän energian ketjujen välityksellä taka-akselille, joka puolestaan siirtää sen pyöriin. Tasauspyörästössä sijaitsevat kartiopyörät vaimentavat polkijoiden lopun energian. Poljettavassa ajoneuvossa polkijoiden ei tarvitse polkea samaan aikaan. Tämän takaavat laakereiden ja ketjupyörien väliset yhteydet.

Työn tavoitteena on tehdä 3D-mallinnus poljettavan ajoneuvon tasauspyörästöstä ja tarvittavat piirustukset sekä laskea kyseisen kokoonpanon jännityslaskelmat Catia V5 -ohjelmalla.



Kuvio 1. Poljettava ajoneuvo differentiaalipyörästöjärjestelmällä, projekti-idea

## 2 TYÖN KUVAUS

Mallinnuksen pohjana on käytetty tuotteen keksijän Godwin Vasanthin tekemiä laskelmia tasauspyörästön osien mitoista. Mitat ja geometria ovat kuitenkin kehitysprosessin aikana osittain vaihtuneet, jotta tasauspyörästön mallista saataisiin toimiva ja lisäksi se olisi käytännössä mahdollista koota.

Tasauspyörästön mallintaminen jakaantui moneen eri koneenosaan, jotka mallinnettiin erikseen. Näistä eri osista saatiin luotua muutamia erinäisiä kokoonpanoja, joista lopulta muodostettiin yksi kokonaisuus.

Piirustukset tehtiin mallinnetun tasauspyörästön tarkastelun helpottamiseksi jatkossa. Kustakin osasta tehtiin oma piirustus, johon merkittiin tärkeimmät ja osan kannalta välttämättömät mitat. Kokoonpanopiirustuksiin merkittiin kokoonpanon kaikki osat sekä välttämättömät mitat.

Jännitysten mittaaminen suoritettiin 3D-mallien pohjalta. Generative Structural Analysis -ohjelmistolla saatiin tarkasteluun tasauspyörästön heikoimmat kohdat. Tämä helpottaa mahdollisesti jatkossa tapahtuvaa tuotteen kehitysprosessia.

### 3 TASAUSPYÖRÄSTÖN MALLINNUS

Eri osien mallinnus ei tapahtunut kokoamisjärjestyksessä vaan osat pystyttiin mallintamaan halutussa järjestyksessä. Tämä oli tärkeää, sillä osien muutostarpeiden vuoksi täytyi Godwin Vasanthin kanssa käydä keskustelua sähköpostin välityksellä, eikä mallinnus päässyt monestikaan pysähtymään.

Tasauspyörästössä käytettiin yksirivisiä urakuulalaakereita. Laakereiden 3-D mallit saatiin suoraan ladattua SKF Group:n internet-sivuilta /2/. Laakerit tulivat STEP-muodossa, jonka Catia V5 R18:lla sai suoraan avattua ja tämän jälkeen muutettua Catian käyttämään .CATPart -muotoon.

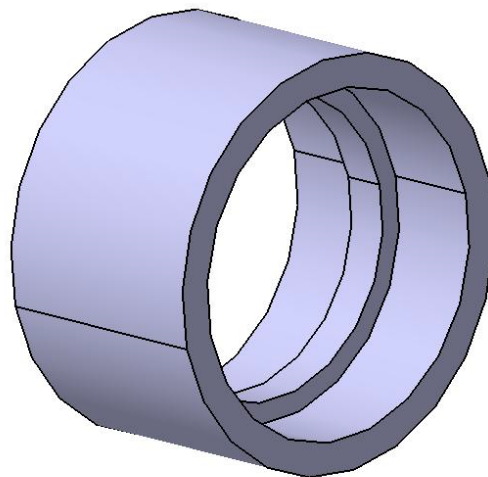
Seuraavissa kappaleissa on esitetty mallinnuksen eri osat, niiden toimintaperiaate ja tärkeimmät mitat sekä mallinnuksen vaiheet.

#### 3.1 Laakeriholkki ja yksiriviset urakuulalaakerit

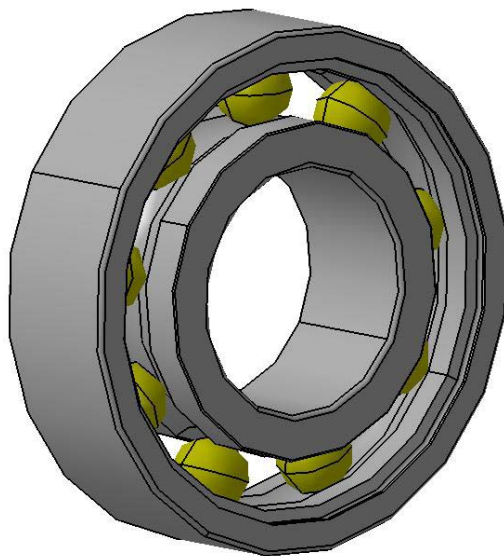
Laakeriholkin tarkoituksena on tukea tasauspyörästöä. Se yhdistää kaksi urakuulalaakeraa, kuitenkin niin, että ne voivat pyöriä erikseen vaikuttamatta toisiinsa. Mallinnettavaan laakeriholkkiin tulee kaksi SKF 6002\* yksirivistä urakuulalaakeraa, joiden väliin tulee laakerit erottava seinämä. Laakereiden lukumääräksi valittiin kaksi, jotta rasitus ei kävisi liian suureksi yhdelle laakerille.

Mallinnuksessa laakeriholkin seinämät valittiin 2 mm:n paksuisiksi, jotta holkista ei tulisi liian suurta. Leveys puolestaan valittiin niin, että laakereiden ja ulkoseinämän välille jää 2 mm:n väli. Tämä vähentää laakereille kohdistuvia ulkoisia kulutuksia. Mallinnus tapahtui käyttämällä pursotus- leikkauspursotustekniikoita. Kuviossa 2. on esitetty SKF 6002\*-

kuulalaakereiden 3D-malli. Laakeriholkin sisällä olevien SKF 6002\*-  
kuulalaakereiden mallit on nähtävissä kuviossa 3.



Kuvio 2. Laakeriholkin 3-D malli



Kuvio 3. 6002\*-laakerin 3-D malli

### 3.2 Pienempi kartiopyörä

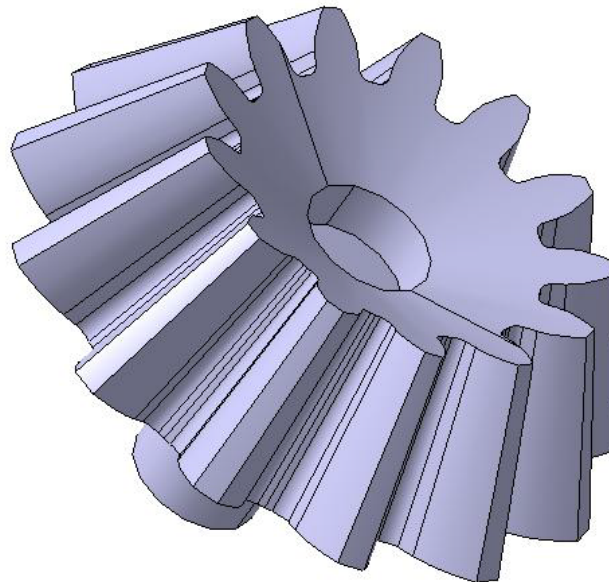
Pienempi kartiopyörä toimii yhdessä suuremman kartiopyörän kanssa voiman siirtäjänä. Kyseisessä tapauksessa kuitenkin voima on siirtynyt jo aikaisemmin polkimien puoleiselta keskittimeltä tasaussyörästön koteloon, ja pienempi kartiopyörä tasaa liikettä yhdessä suuremman kartiopyörän kanssa. Hampaiden lukumääräksi Godwin Vasanth oli valinnut 13. Hampaiden lukumäärän täytyi olla oikea suhteessa seuraavaksi esitettävän isomman kartiopyörän hampaiden lukumäärän kanssa. Akselin halkaisija valittiin niin, että siihen saatiin kiinnitettyä 61901-laakeri. Pienemmän kartiopyörän hampaiden ei tarvinnut olla suuret, sillä käytössä olevat voimat eivät ole kyseisessä systeemissä isot. Näin ollen voimansiirtoon riittävät pienemmät kartiopyörät.

Mallinnuksessa oli tarkoitus mallintaa kartiopyörän geometria ja miettiä hammastuksen mallintamista sen jälkeen. Keksijä Godwin Vasanth oli tehnyt piirustuksen pienestä kartiopyörästä, jossa oli joitakin mittoja valmiina. Tärkeimmistä mitoista oli annettu akselin halkaisija  $\varnothing 12$  mm, jakokartiokulma  $25,70^\circ$ , kartion sivun pituus 59,95 mm, hampaan leveys 19,50 mm sekä jakohalkaisija  $\varnothing 52$  mm.

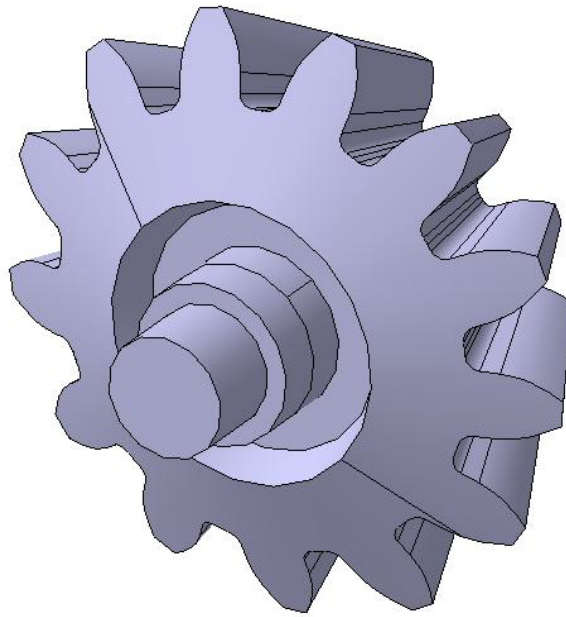
Kartiopyörän piirustuksista puuttui kuitenkin joitakin mittoja, mutta niiden puuttuminen ei haitannut kartiopyörän toimintaa vaan lähinnä sen geometriaa. Godwin Vasanthin kanssa käydyissä keskusteluissa tarkastettiin ja muutettiin kahta mitta, jotta saataisiin kartiopyörästä käyttökelpoinen ja samalla yhteensopiva muiden osien kanssa. Muutetut mitat olivat hampaan takaseinän ja akselin välinen kulma sekä kartiopyörän etuosan aukon mitat.

Mittojen perusteella pystyttiin mallintamaan kartiopyörän runko. Catia V5:ssä ei kuitenkaan ole hammastukseen tarkoitettua ohjelmaa, joten hammastusta ei kyseiseen runkoon saatu mallinnettua. Internet-sivulta /3/ kuitenkin löysin ratkaisun ongelmaani /8/.

Internet-sivulta /3/ saadussa mallissa oli valmiiksi asennettu hammastuksessa käytettävät yhtälöt. Syöttämällä jakokartiokulma, hampaan leveys, moduuli sekä hampaiden lukumäärä saatiin hammastus mallinnettua. Pienemmän kartiopyörän runko muutettiin hammastukseltaan valmiiseen kartiopyörään. Myöhemmät muutokset ovat mahdollisia tuotteen käytännöllisyyden ja toiminnan parantamiseksi. Kuvioissa 4. ja 5. on esitetty pienemmän kartiopyörän 3D-malli edestä- ja takaapäin kuvattuna.



Kuvio 4. Pienemmän kartiopyörän 3D-malli, edestä kuvattuna



Kuvio 5. Pienemmän kartiopyörän 3D-malli, takaa kuvattuna

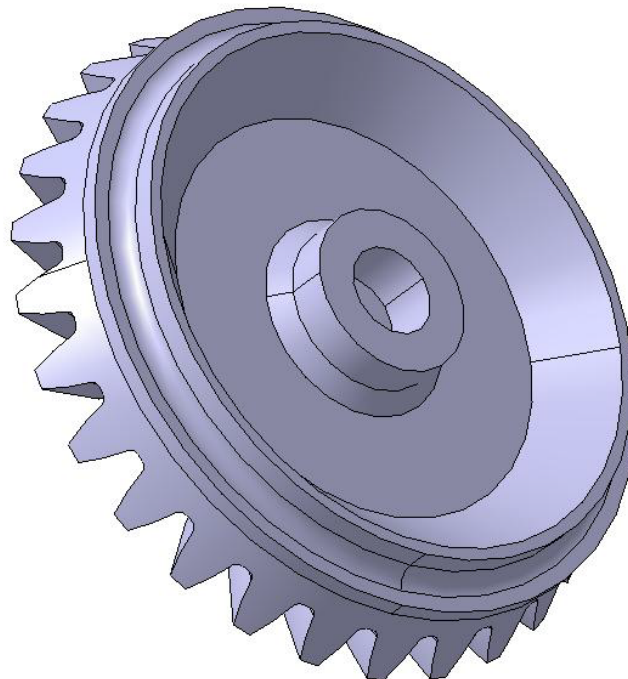
### 3.3 Suurempi kartiopyörä

Suurempi kartiopyörä toimii yhdessä pienemmän kartiopyörän kanssa voiman siirtäjänä. Kyseisessä tapauksessa kuitenkin voima on siirtynyt jo aikasemmin polkimien puoleiselta keskittimeltä tasauspyörästön koteloon, ja suurempi kartiopyörä tasaa liikettä yhdessä pienemmän kartiopyörän kanssa. Lisäksi suurempi kartiopyörä muodostaa yhdessä tasauspyörästön kotelon ja niiden väliin jäävien kuulien kanssa laakerin. Tämä laakerisysteemi takaa kotelolle ja ja ketjupyörälle vapaan pyörimisen vaikuttamatta kartiopyörien toimintaan. Hampaiden lukumääräksi Godwin Vasanth oli laskenut 27. Hampaiden lukumäärän täytyi olla oikeassa suhteessa pienempään kartiopyörään, kuitenkin niin, että hampaiden määrä on mahdollisimman pieni, jotta tasauspyörän ulkomitat eivät kasva suuriksi. Tärkeimpiä mittoja suuremmassa kartiopyörässä olivat akselin halkaisija, kuulauran halkaisija 58,80 mm, jakokartiokulma 64,30°, hampaan leveys 19,50 mm sekä jakohalkaisija 108 mm. Lisäksi

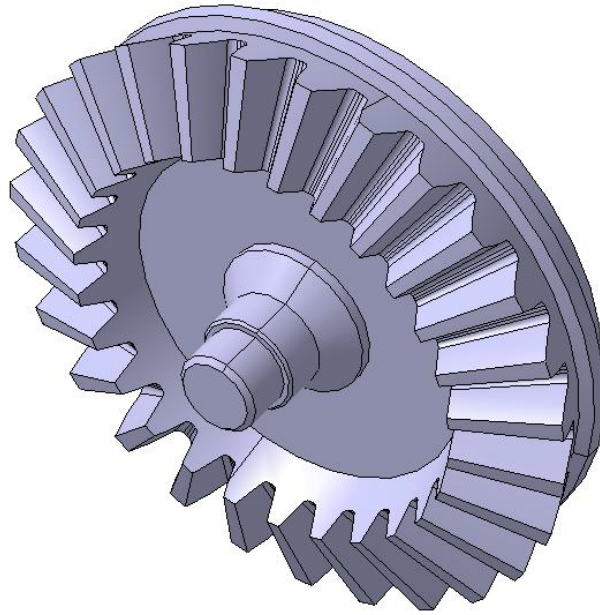
suuremman kartiopyörän akselin vastaiselle puolelle tulee kiinni keskitin, jolle täytyi varata keskittimen akselin levyinen tila, joka näkyy kuviossa 6.

Godwin Vasanth oli tehnyt piirustuksen suuremmasta kartiopyörästä, josta saatiin lähtömittoja mallinnukseen. Käydyissä keskusteluissa, jotka koskivat suuremman kartiopyörän mittoja, päädyttiin muuttamaan muutamia akselin suuntaisia pituuksia, jotta kokoonpanot onnistuisivat.

Suuremman kartiopyörän mallinnus tapahtui aivan kuten aikaisemmin mainitun, pienemmän kartiopyörän tapauksessa käyttäen hyväksi internet-sivulta /3/ saatua mallikappaletta. Suurempaan kartiopyörään tulevat muutokset ovat mahdollisia käytännöllisyyden ja toiminnan parantamiseksi. Suuremman kartiopyörän 3D-mallit on esitetty kuvioissa 6. ja 7.



Kuvio 6. Suuremman kartiopyörän 3D-malli, edestä kuvattuna



Kuvio 7. Suuremman kartiopyörän 3D-malli, takaa kuvattuna

### 3.4 Tasauspyörästön kotelo

Tasauspyörästön kotelo koostuu kahdesta puoliskosta. Kotelo pyörii suuremman kartiopyörien ulkokehällä olevien kuulien päällä ja muodostaa näin kuulalaakerisysteemin. Koteloon yhdistetään kummankin puolen polkimien tuottama voima sisääntulojen välityksellä ja se muutetaan kotelon liike-energiaksi, jonka kotelo puolestaan välittää ketjupyörän avulla pyöriin.

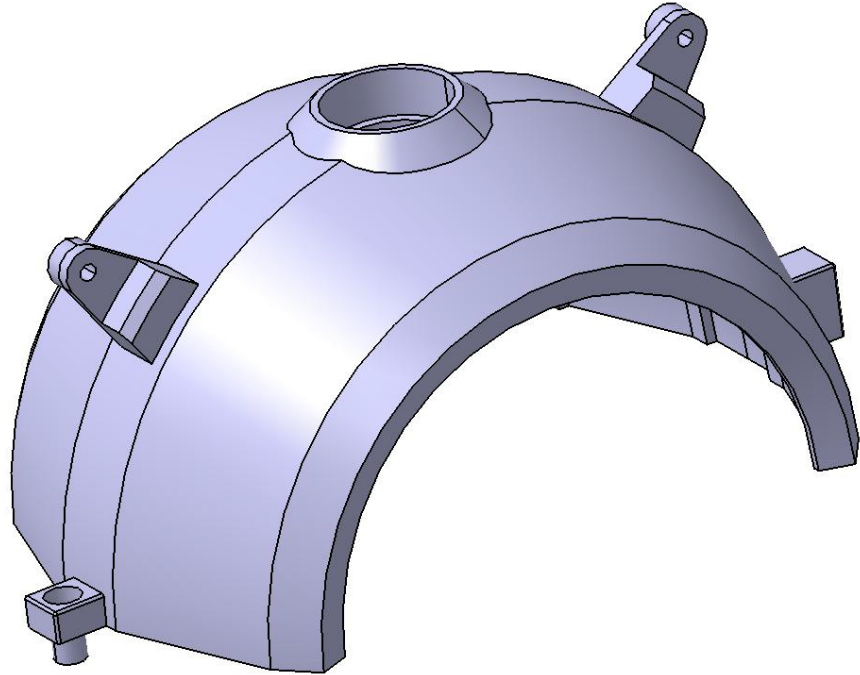
Kotelon kahdelle vastakkaiselle puolelle tulee SKF 61901 -yksiriviset urakuulalaakerit, joihin pienempi kartiopyörä kiinnittyy. Tämä takaa sen, että ulkomittoja saadaan pienemmäksi ja tasauspyörästö saadaan tukevammaksi. Sisäpinnalla, kummassakin osassa kulkevat urat, joihin laitetaan 27 kappaletta halkaisijaltaan 6 mm:n kokoisia kuulia. Kotelo toimii kuulien avulla, yhdessä suuremman kartiopyörän kanssa, kuulalaakerina. Kuulien päälle tulee kumieristys, jossa on sisäpuolella

lokeroitu paikka kullekin kuulalle. Tämä pitää kuulien tasaisen jakauman urassa. Eristystä ei kuitenkaan ole mallinnettu tässä työssä. Kotelon ympärille tulee ketjupyörä, joka kiinnitetään neljästä kohdasta kiinni koteloon.

Godwin Vasanth oli tehnyt kotelon piirustuksen sekä muutaman kokoonpanokuvan, joista sain lähtömittoja mallintamista varten. Tärkeimpiä mittoja olivat kuulauran halkaisija (98,8 mm), kuulaurien välinen etäisyys (84 mm), kotelon sisäpuolen mitat sekä ketjupyörän kiinnityskohtien etäisyys (185 mm). Kotelon sisäpinnan mittoja kasvatettiin, millä varmistettiin, että kartiopyörät eivät koskettaisi kotelon sisäpintaa. Godwin Vasanthin kanssa käytyjen keskustelujen tuloksena muutoksia tehtiin ketjupyörän kiinnityskohtiin. Alkuperäiset suunnitelmat oli tehty niin, että ketjupyörää oli mahdoton saada paikalleen puoliskojen yhteenliittämisen jälkeen.

Kokoonpanossa käytettävät puolikkaat, jotka muodostavat koko kotelon, ovat symmetrisiä. Mallinnuksessa kotelon puolikkaita tarvitsi tehdä vain yksi. Kotelon rungon mallinnus tehtiin pyöräytyspursotuksen avulla. Kotelon kiinnitys- ja liitoskohdat mallinnettiin erikseen.

Kuulien paikalleen laittaminen olisi kuitenkin erittäin työlästä tai jopa mahdotonta kyseisellä kotelolla /9/. Tasauspyörästä koteloon täytyi tehdä muutos, joka mahdollistaisi kuulien asennuksen. Kuviossa 8 on esitetty tasauspyörästä kotelon ensimmäinen 3D-malli.

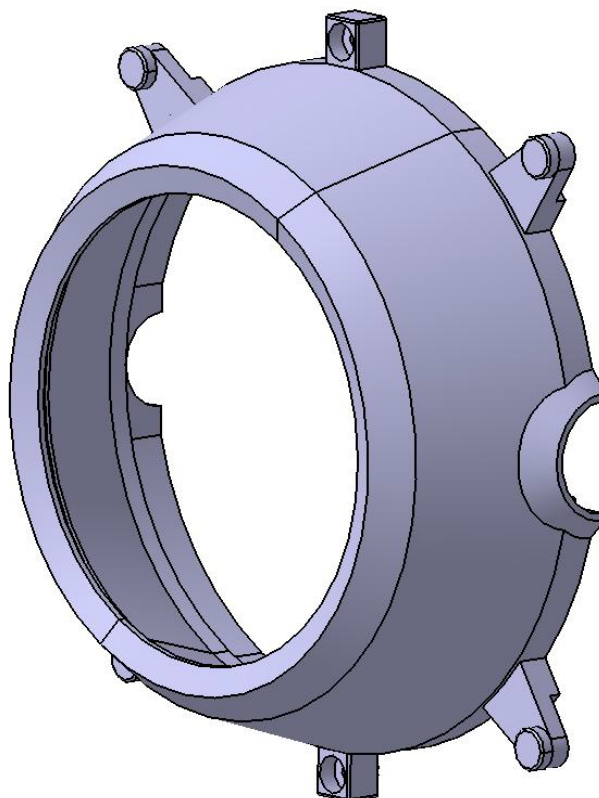


Kuvio 8. Ensimmäisen tasauspyörästön kotelon 3D-malli

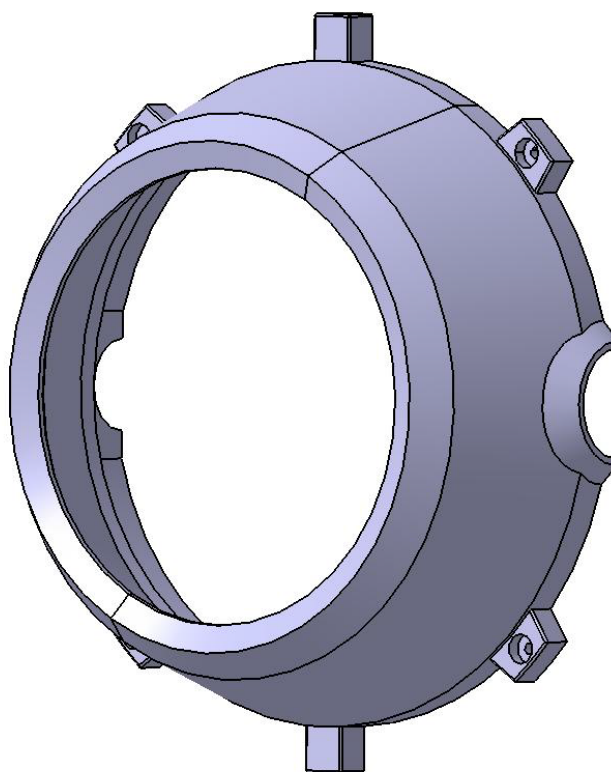
Kotelosta tehtiin kaksi puoliskoa, kuitenkin niin, että puoliskot olivat pystytasossa. Näin kuulat saataisiin kuulauraan tasaisesti ja puoliskojen toisiinsa kiinnittäminen olisi helpompaa.

Kotelon muutos tehtiin jo olemassa olevaan malliin. Kappaleiden geometria ei muuttunut lukuun ottamatta puoliskojen kiinnityskohtia. Viimeisessä mallissa puoliskot kuitenkin eivät tulleet olemaan symmetrisiä. Kutsuin näitä puoliskoja A- ja B-puoliskoksi.

Puoliskojen kiinnityskohtia tehtiin kuusi kappaletta, joista neljä sijoitettiin ketjupyörän kiinnityskohtien alle. Ketjupyörän kiinnikkeet mallinnettiin A-puoliskoon ja B-puoliskon kiinnikettä lyhenettiin, jotta ketjupyörän asennus mahdollistui. Kuvioissa 9 ja 10 on esitetty lopullisen tasauspyörästön kotelon puoliskojen A ja B 3D-mallit.



Kuvio 9. Lopullinen tasauspyörästäön kotelon 3D-malli, A-puolisko



Kuvio 10. Lopullinen tasauspyörästäön kotelon 3D-malli, B-puolisko

### 3.5 Ketjupyörä

Ketjupyörän tarkoituksena on välittää tuotettu voima ketjun välityksellä pyörille. Ketjupyörä kiinnittyy neljästä kohdasta tasauspyörästön koteloon. Se kiertää kotelon ympäri sen keskikohdasta. Ketjupyörän ympäri valittiin ISO 606: 2004 short pitch transmission 06B-1-118- standardin mukainen ketju, joka on yleisesti ketjuvoimansiirroissa käytetty ketju.

Catiassa ei ole hammastuksen tekoa varten omaa ohjelmaa, joten jouduin tekemään hammastuksen manuaalisesti. Sain mittoja Godwin Vasanthilta sekä Martin Sprocket & Gearin sivustolta /4/. Ketjupyörän tärkeimmät mitat olivat sisähalkaisija (160 mm), sekä hammastuksen mitat.

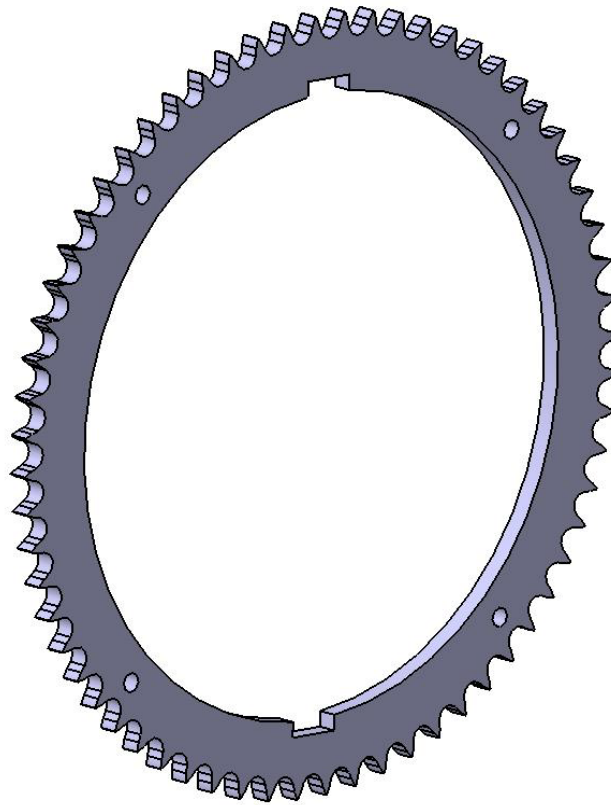
Mallinnuksessa hammaspyörän levyn ulkohalkaisija oli 200 mm. Levyn paksuudeksi tuli 5,31 mm. Kiinnitysreikien paikat mallinnettiin levyyn 88 mm:n etäisyydelle levyn keskustasta. Tasauspyörästön kotelon kiinnityskohtia varten tehtiin reiät ketjupyörän sisäpinnoille.

Hammastukset tehtiin annettujen ja haettujen mittojen avulla. Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin hammastuksen mallintamisen vaiheista, sillä automaattinen hammastuksen teko ei ole Catian valikoimissa.

Ensimmäiseksi tehtiin ketjupyörän sivupinnan sketsiin apuympyrä, joka mitattiin 194,12 mm etäisyydelle keskipisteestä. Tähän apuympyrälle tehtiin yksi halkaisijaltaan 6,42 mm ympyrä, joka leikkauspursotuksella poistettiin levystä. Circular Pattern -kommennolla toistettiin 64 kohtaan sama leikkauspursotus. Näin saatiin hammastuksen tyviosa valmiiksi.

Ulompi osa hammastuksesta saatiin tehtyä niin, että ensin levyn sivupinnan sketsiin mitattiin hampaiden keskikohta. Tähän keskikohtaan tehtiin levyn ulkohalkaisijaa pitkin kulkeva viiva, pituus 0,23 mm. Keskikohdan kummallekin puolelle sketsiin tehtiin kaaret, joiden säde oli 5,11 mm. Näiden kaarien ja tyviosan ympyrän tangentit yhdistettiin vastakkaisen suuntaisella kaarella. Kun kaikki kaaret oli saatu tehtyä,

leikkauspursotuksella poistettiin levyn ulkopuolen hammastuksen osa. Circular Pattern- komennolla kopioitiin edellä mainittu leikkauspursotus ympyrälevyn 64 kohtaan. Kuviossa 11 on esitetty ketjupyörän 3D-malli.



Kuvio 11. Ketjupyörän 3D-malli

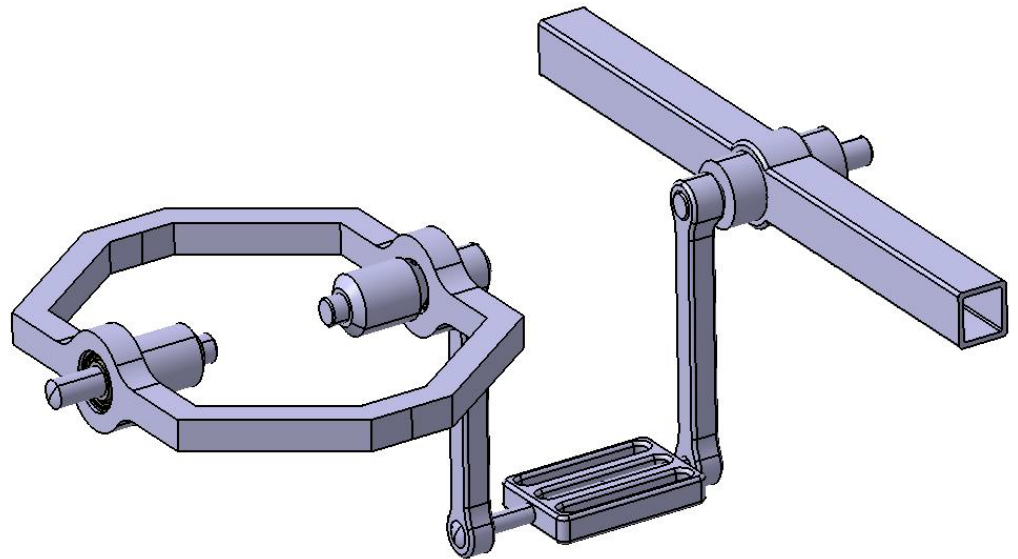
### 3.6 Tasauspyörästäön ulkopuolisten osien mallintaminen

Itse tasauspyörästäön lisäksi täytyi mallintaa kuusi muuta osaa. Nämä olivat keskitin, tasauspyörästäön tukivarsi, polkimen varsi, poljin sekä polkijan puoleinen keskitin ja tukivarsi. Nämä osat mallinnettiin, jotta saataisiin tehtyä lujuuslaskelmat Generative Structural Analysis -ohjelmalla.

Mittojen tarkkuus mallintamisessa ei ollut kovin tarkkaa, sillä ne toimivat vain apuvälineinä itse tasauspyörästäön heikoimpien kohtien löytämisessä. Osien mitat mitattiin Godwin Vasanthin piirtämästä kokoonpanokuvasta

viivoittimen avulla. Mitat olivat kuitenkin hieman epätarkkoja, ja muutaman millimetrin poikkeamia esiintyi.

Osat mallinnettiin mahdollisimman yksinkertaisiksi jotta ohjelmiston oli helppo suorittaa jännityslaskelmat. Kuviossa 12. on esitetty muut osat kokoonpanomuodossa.



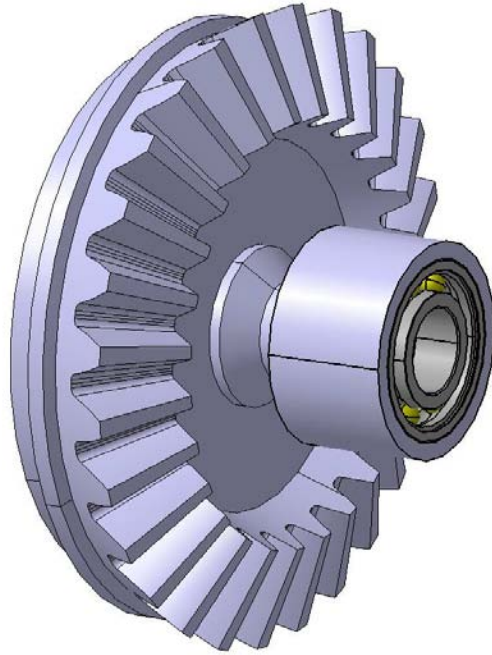
Kuvio 12. 3D-kuva muiden osien kokoonpanosta

### 3.7 Kokoonpanot

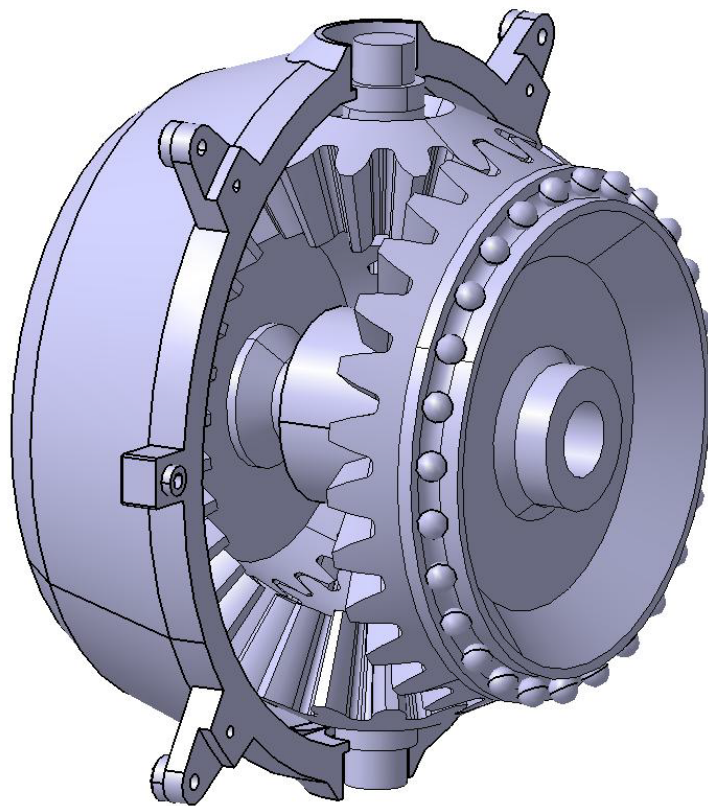
Tasauspyörästäön pääkokoonpanon tarkoituksena oli koota yhteen mallinnetut osat ja samalla tarkastaa niiden yhteensopivuus. Lisäksi pääkokoonpano havainnollistaa visuaalisesti tasauspyörästäön ja mahdollistaa jännityslaskelmien tekemisen Catian Generative Structural Analysis -ohjelman avulla. Tasauspyörästäön pääkokoonpano suoritettiin niin, että osien väliset suhteet määrittävät kappaleen juuri sille tarkoitetulle kohdalle, eikä tasauspyörästäötä ole mahdollista tarkastella animaatiomuodossa. Tämä tehtiin jännitystarkastelun helpottamiseksi. Pääkokoonpano koostuu kahdesta erillisestä kokoonpanosta, tasauspyörästäön kokoonpanosta ja muiden osien kokoonpanosta.

Kokoonpanot jaettiin kahteen pienempään kokoonpanoon, jotta mallia olisi tulevaisuudessa helpompi tarkastella. Kokoonpanot tehtiin tietyssä järjestyksessä, jotta samalla pystyttiin varmistamaan käytännössä tapahtuva kokoonpano.

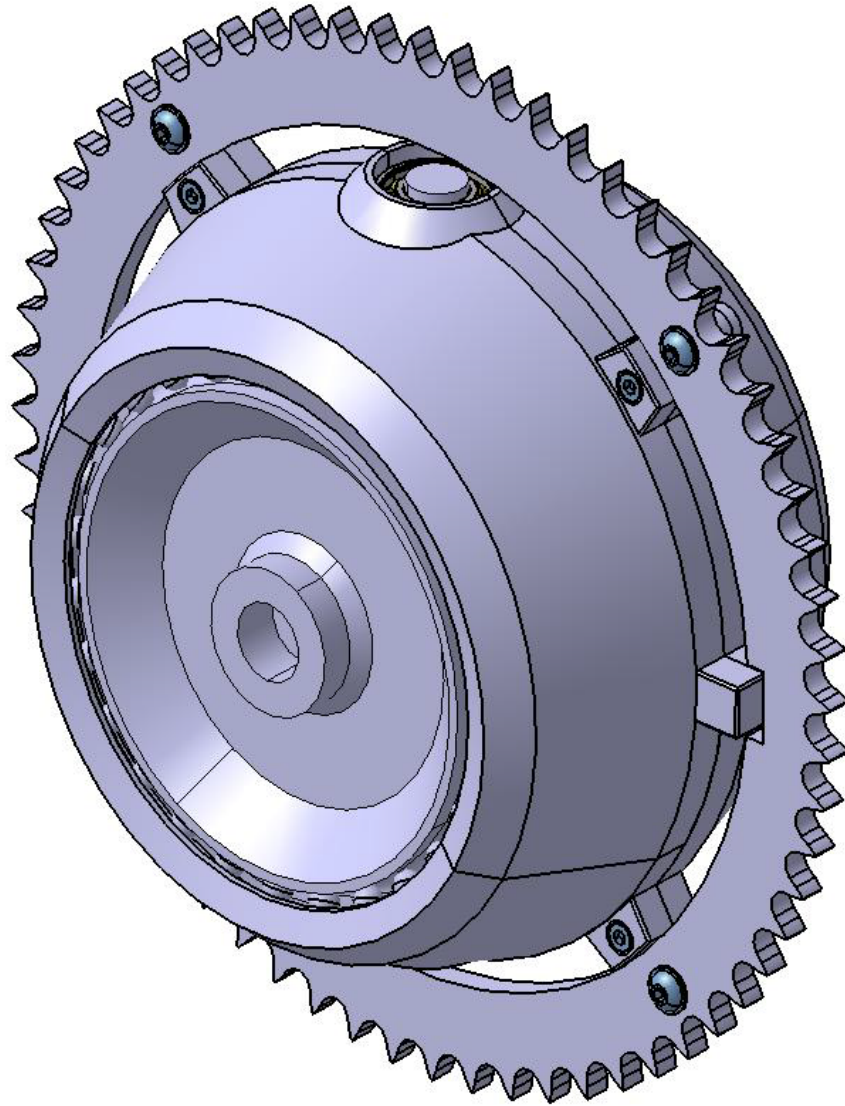
Tasauspyörästä kokoonpanossa laakeriholkki ja kaksi SKF 6002\*-kuulalaakeria liitettiin yhteen. Suurempien kartiopyörien akselit asetettiin kuulalaakereiden sisään, kuten kuvasta 13 nähdään. Kuulat liitettiin toisen suuremman kartiopyörän uriin. Tasauspyörästä kotelo asetettiin kuulien päälle. Kotelon ollessa paikallansa liitettiin pienemmät kartiopyörät niin, että hammastukset sopivat yhteen suurempien kartiopyörien kanssa (Kuva 14). Toisen suuremman kartiopyörä uriin lisättiin kuulat, joiden päälle saatiin asennettua tasauspyörästä kotelo B-puolisko. Koteloiden puoliskot kiinnitettiin yhteen ISO 4762 M3x10- ja M4x10 -kuusiokoloruuveilla. Ketjupyörä työnnettiin paikalleen kotelo ympärille. Käyttämällä ISO 4017 -ristipääruuveja ketjupyörä kiinnitettiin tasauspyörästä koteloon. Kuviossa 15 on esitetty tasauspyörästä kokoonpanon 3D-malli.



Kuvio 13. 3D –kuva kokoonpanosta, kun toinen suurista kartiopyöristä on liitetty paikalleen



Kuvio 14. 3D –kuva kokoonpanosta ennen kotelon toisen puoliskon asentamista

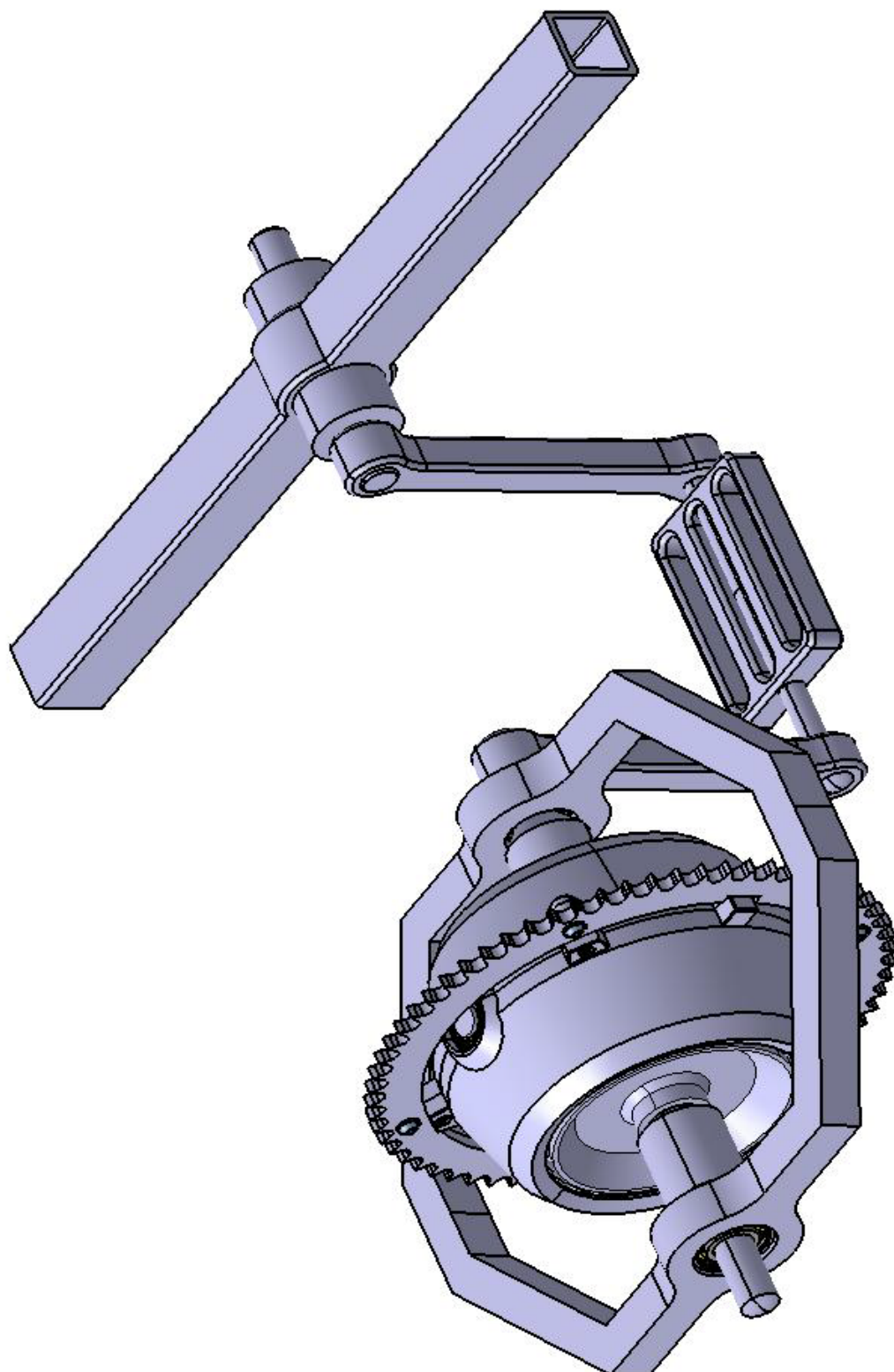


Kuvio 15. 3D-kuva tasauspyörästön mallista

Muiden osien kokoonpanon osalta tärkein mainittava asia on osien liittäminen niin, että poljin asettuu ala-asentoon. Tämä tehtiin sen takia, että polkimelle kohdistuu pyörää ajettaessa suurin voima polkimen ollessa alhaalla.

Pääkokoonpanossa liitettiin muiden osien kokoonpano tasauspyörästön kokoonpanoon. Kuviossa 16. on pääkokoonpanon 3D-malli.

Pääkokoonpano toimii pohjana jännityslaskelmille, joita käsitellään työssä myöhemmin.

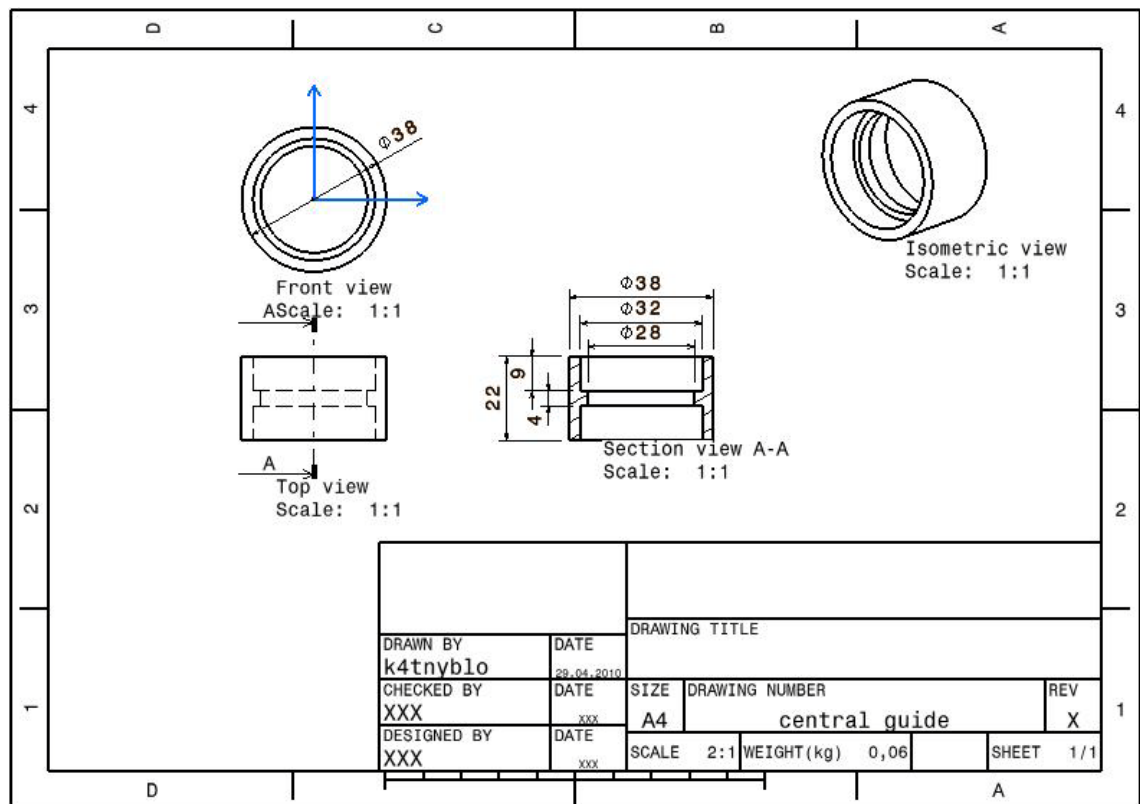


Kuvio 16. 3D-kuva tasauspyörästön pääkoonpanosta

## 4 PIIRUSTUKSET

Piirustukset luotiin Catia V5 -ohjelmalla tehdyistä malleista. Niiden tarkoituksena oli helpottaa poljettavan ajoneuvon jatkossa tapahtuvaa tasauspyörästäön tarkastelua. Jokaisesta osasta ja kokoonpanosta tehtiin oma piirustus, johon merkittiin tärkeimmät mitat osan toiminnan kannalta sekä kokoonpanoissa käytetyt osat. Vaikka työn tarkoituksena oli tasauspyörästäön mallintaminen, on rakennetta helpompi tarkastella piirustuksesta, josta löytyy kaikki tarvittava tieto kerralla.

Kuviossa 17. on esitetty esimerkkinä laakeriholkin piirustus. Siihen on merkitty holkin ulko- ja sisähalkaisija, paksuus sekä väliseinän paksuus. Näin ollen piirustuksen lukija löytää heti etsimänsä mitan. Piirustukset ovat esitettyinä liitteissä 9 - 18.



Kuvio 17. Laakeriholkin piirustus, esimerkki

## 5 JÄNNITYSLASKELMAT

### 5.1 Jännityslaskelmien pohjustus

Tasauspyörästäön jännityslaskelmat suoritettiin käyttämällä Catia V5:n Generative Structural Analysis –ohjelmaa, johon löytyi avustavaa materiaalia internetistä /6/. Ohjelma käyttää hyväksi Catia V5:llä mallinnettuja kappaleita ja kokoonpanoja. Näille malleille ohjelma luo elementtiverkon käyttäjän määrittelemien ominaisuusliitännöiden avulla. Kappaleelle tai kokoonpanolle annetaan tuennat sekä kuormitukset haluttuun pintaan, kulmaan tai pisteeseen. Generative Structural Analysis laskee annettujen määreiden pohjalta kappaleen tai kokoonpanon siirtymä- ja von Mises -vertailujännityksen arvot sekä muodostaa muodonmuutos elementtiverkoston.

”Lujuusopin perusdifferentiaaliyhtälöiden analyttinen ratkaiseminen onnistuu vain yksinkertaisen geometrian, kuormituksen ja tuennan omaavissa perustapauksissa. Elementtimenetelmässä geometrisesti mutkikas kappale jaetaan äärellisiin osiin, jotka ovat geometrialtaan tarpeeksi yksinkertaisia. Näitä jako-osia sanotaan elementeiksi.” (Matti Lähteenmäki. TAMK. Elementtimenetelmän perusteet, sivu 2.) /5/.

”Kappale kuvataan elementtijoukolla, jota sanotaan elementtiverkoksi tai laskentamalliksi. Elementtiverkko kuvaa todellista kappaletta usein vain likimääräisesti varsinkin pinta- ja solidirakenteilla, mikä aiheuttaa saataviin tuloksiin virhettä.” (Matti Lähteenmäki. TAMK. Elementtimenetelmän perusteet / sivu 2.) /5/.

Tasauspyörästäön jännityslaskelmissa tarkasteltiin tilannetta yhdessä kuormitustapauksessa, jossa massaltaan 120 kg oleva henkilö painaa koko massansa tasauspyörästäötä lähinnä olevan polkimen päälle. Oletettiin, että staattinen kuormitus on jakautunut tasaisesti koko polkimen päälle.

Voiman liikeyhtälön mukaan saatiin laskettua vakiovoima yhtälön (1) mukaisesti /1/

$$F = m * a \quad (1)$$

jossa  $m$  on massa ja  $a$  on kiihtyvyys.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tasauspyörästä jännityslaskemat kohta kohdalta.

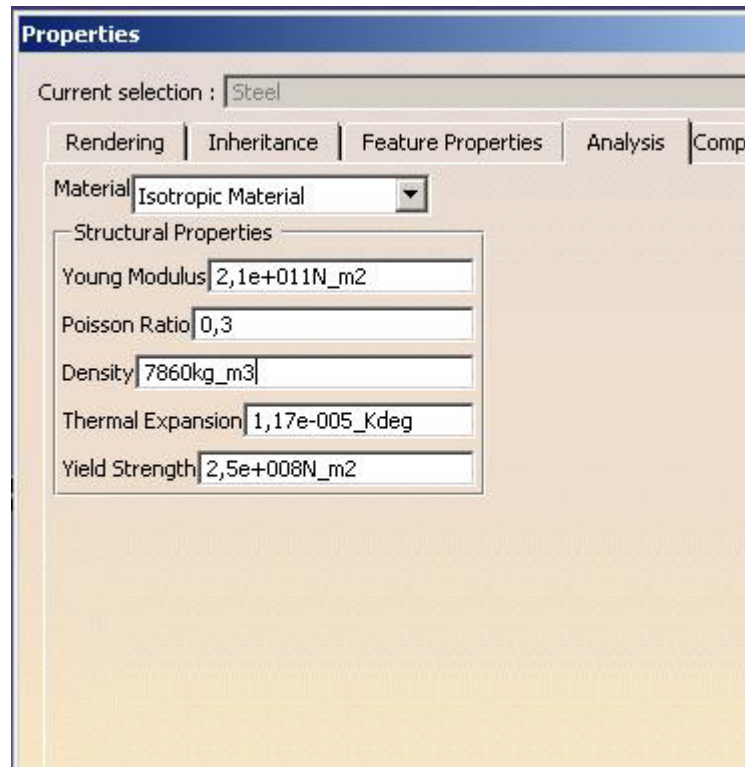
## 5.2 Elementtiverkon luominen

Ensimmäinen muutos koskee laakeriholkin sisällä olevia laakereita. 6002\*-laakereille täytyi mallintaa kiinteät mallit, sillä Generative Structural Analysis ei pysty luomaan elementtiverkkoa kyseisille osille. Tämä johtuu siitä, että laakereiden rakenne on tuotu muualta käyttämällä step-tiedostoa, eikä osilla ole kiinteää rakennetta. Uusi laakerin malli luotiin käyttämällä 6002\*-laakerin ulko- ja sisähalkaisijan mittoja sekä laakerin paksuutta.

Laskettava malli on suuri ja monimuotoinen kokoonpano, mikä vaatii tietokoneelta paljon muistia. Käytettävissä olevan tietokoneen muisti ei kuitenkaan riitä koko tasauspyörästä ja muiden osien analysoimiseen. Tästä syystä valittiin tasauspyörästä jännityslaskelmiin mukaan ne osat, joihin kohdistuvat suurimmat jännitykset. Tasauspyörästä jännityslaskelmista poistettiin seuraavat osat:

- kuulat
- tasauspyörästä kotelot
- ketjupyörä
- ruuvit ja aluslevyt.

Jokaiselle osalle täytyi valita materiaali, jotta ohjelma osaa laskea tarkasti tulokset. Keksijä Godwin Vasanth oli suunnittelut käytettävän 55Cr70-terästä. Osille määriteltiin materiaaliksi teräs ja muutettiin mekaanisten ominaisuuksien arvoja. Kimmokertoimen arvoksi muutettiin 210 Gpa ja Poissonin jakauman arvoksi 0.3. Kuviossa 18 on esitetty käytetyt mekaanisten ominaisuuksien arvot.



Kuvio 18. Käytetyn materiaalin mekaanisten ominaisuuksien arvot

Elementtiverkko luotiin käyttämällä ominaisuusliitäntöjä. Nämä liitännät määriteltiin kokoonpanovaiheessa tehtyjen kokoonpanoliitosten pohjalta. Taulukossa 1 on esitelty käytetyt ominaisuusliitännät sekä niiden yhteys kokoonpanoliitoksiin.

Taulukko 1 . Elementtiverkon ominaisuusliitännät ja kokoonpanoliitokset

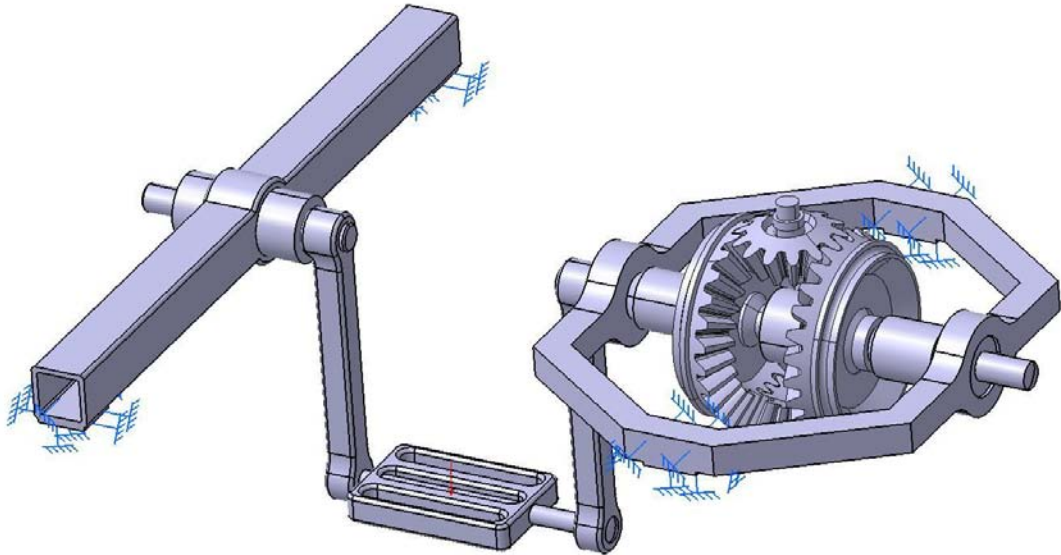
Ominaisuusliitäntä	Kokoonpanoliitokset	Liitoksessa käytetyt osat
Fastened connection	Surface contact	Laakeriholkki, 6002*-laakeri 1
Fastened connection	Surface contact	Laakeriholkki, 6002*-laakeri 2
Fastened connection	Surface contact	6002*-laakeri 1, Suurempi kartiopyörä 1
Fastened connection	Surface contact	6002*-laakeri 2, Suurempi kartiopyörä 2
Fastened connection	Surface contact	6002*-laakeri 3, Tukivarsi
Fastened connection	Surface contact	6002*-laakeri 4, Tukivarsi
Fastened connection	Surface contact	Keskitin 1, 6002*-laakeri 3
Fastened connection	Surface contact	Keskitin 2, 6002*-laakeri 4
Fastened connection	Surface contact	Polkimen varsi 1, Keskitin 2
Fastened connection	Surface contact	Polkimen pedaali, polkimen akseli
Fastened connection	Surface contact	Polkimen akseli, Polkimen varsi 1
Fastened connection	Surface contact	Polkimen varsi 2, Polkimen akseli
Fastened connection	Surface contact	Polkijan puoleinen keskitin, Polkimen varsi 2
Fastened connection	Surface contact	Keskitin 1, Suurempi kartiopyörä 1
Fastened connection	Surface contact	Keskitin 2, Suurempi kartiopyörä 2
Fastened connection	Surface contact	Polkijan puoleinen tukivarsi, Polkijan puoleinen keskitin
User-defined connection	Surface contact	Pienempi kartiopyörä 1, Pienempi kartiopyörä 2
User-defined connection	Offset	Pienempi kartiopyörä 1, Suurempi kartiopyörä 1
User-defined connection	Offset	Pienempi kartiopyörä 2, Suurempi kartiopyörä 2
User-defined connection	Offset	Polkimen tukivarsi, 6002*-laakeri 1

### 5.3 Tuennan ja kuormituksen määrittäminen

Tasauspyörästä kokoonpanolle määriteltiin tuenta sekä kuormitus. Tuenta määriteltiin kummankin tukivarren päätyihin. Tasauspyörästä puoleiselle tukivarrelle tuenta sijoitettiin kummankin päädyn reuna- sekä alapintoihin. Polkijan puoleisen tukivarren tuenta sijoitettiin myös kummankin päädyn reuna- sekä alapintoihin. Kuviossa 17 on esitetty analysoitavan tasauspyörästä tuennat.

Kuormitus laskettiin tapauksessa, kun massaltaan 120 kg henkilö seisoo koko massallaan tasauspyörästä lähinnä olevan pedaalien päällä. Oletettiin, että massa jakaantuu tasaisesti koko pedaalille. Laskemassa käytettiin putoamiskiihtyvyyttä  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Sijoittamalla arvot yhtälöön

(1) saatiin tasauspyörästön jännityslaskelmissa käytettävä voima 1177,2 N. Kuviossa 19 on esitetty voiman paikka ja suunta.



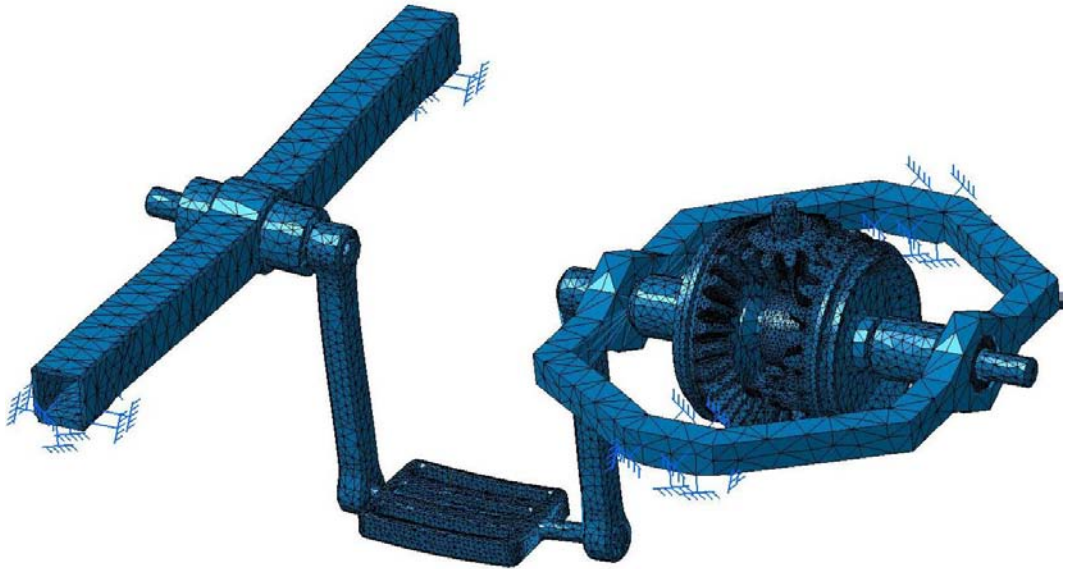
Kuvio 19. Tasauspyörästön tuenta ja kuormitus

#### 5.4 Jännityshuippujen paikantaminen

Generative Structural Analysis laskee luodun elementtiverkon, ominaisuusliitäntöjen ja materiaaliominaisuuksien pohjalta, kappaleelle tai kokoonpanolle siirtymä- ja Von Mises -vertailujännityksen arvot sekä muodonmuutoksen. Kuviossa 20 on esitelty muodonmuutoksen elementtiverkko tasauspyörästön tapauksessa. Kuvioista nähdään, että suurin muodonmuutos tapahtuu polkijan puoleisella tukivarrella. Jatkossa pyörän muita osia suunniteltaessa ja materiaaleja valittaessa on otettava huomioon tukivarren rakenne ja materiaali.

Laskuissa keskityttiin kuitenkin Von Mises -vertailujännitysten tutkimiseen ja paikantamiseen tasauspyörästön osalta. Jännitykset laskettiin, jotta materiaalin kestävyys varmistettaisiin. Jokaista tasauspyörästön jännitysmittauksissa käytettävää kappaletta tutkittiin erikseen ja paikallistettiin suurin jännitysarvo. Lisäksi etsittiin

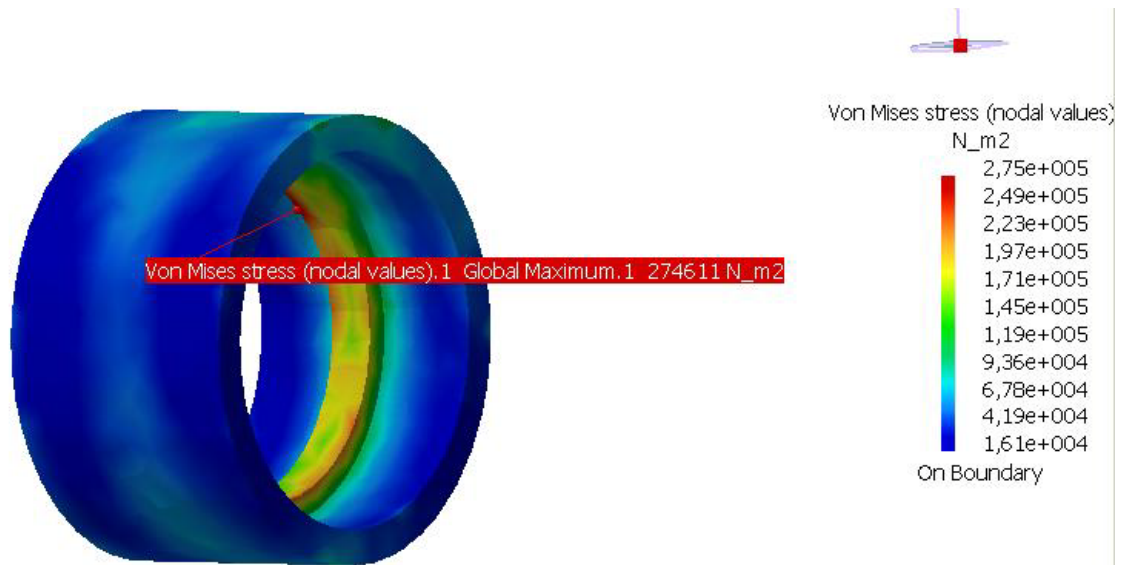
tasauspyörästä ja muiden osien kanssa koko systeemin suurin jännitysarvo ja -sijainti.



Kuvio 20. Tasauspyörästä elementtiverkko

#### 5.4.1 Laakeriholkki

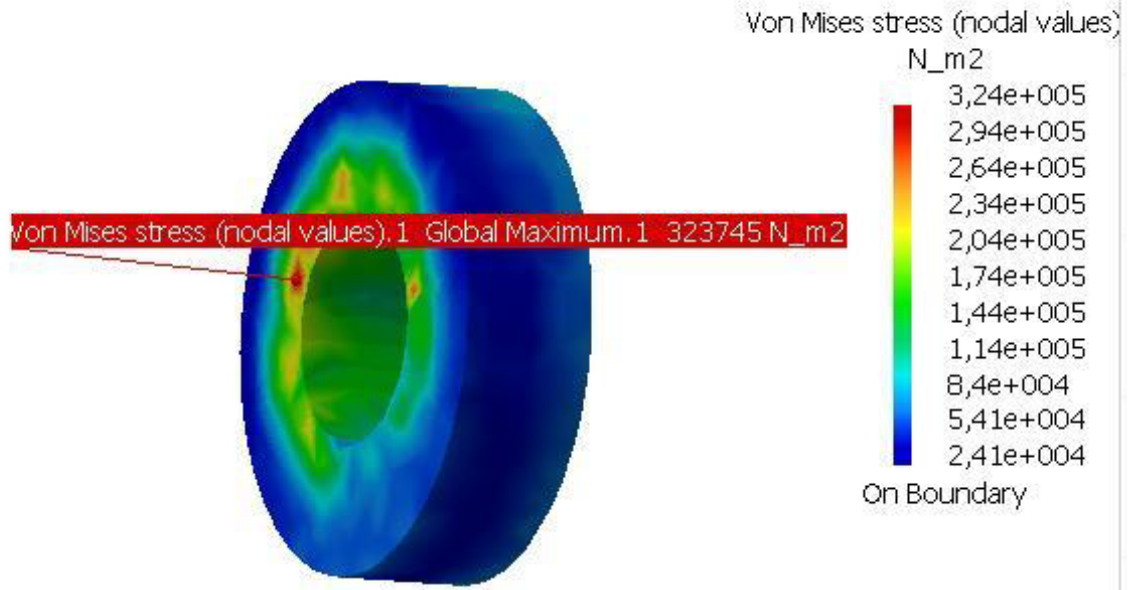
Laakeriholkki yhdistää suuremmat kartiopyörät laakereiden välityksellä ja samalla tukee niitä. Tästä syystä suurimmat jännitykset kohdistuvat holkin sisäpinnalle sekä laakerit erottavaan seinämään. Kuviossa 21 on esitelty laakeriholkin jännitysarvot sekä maksimijännitys ja sen paikka.



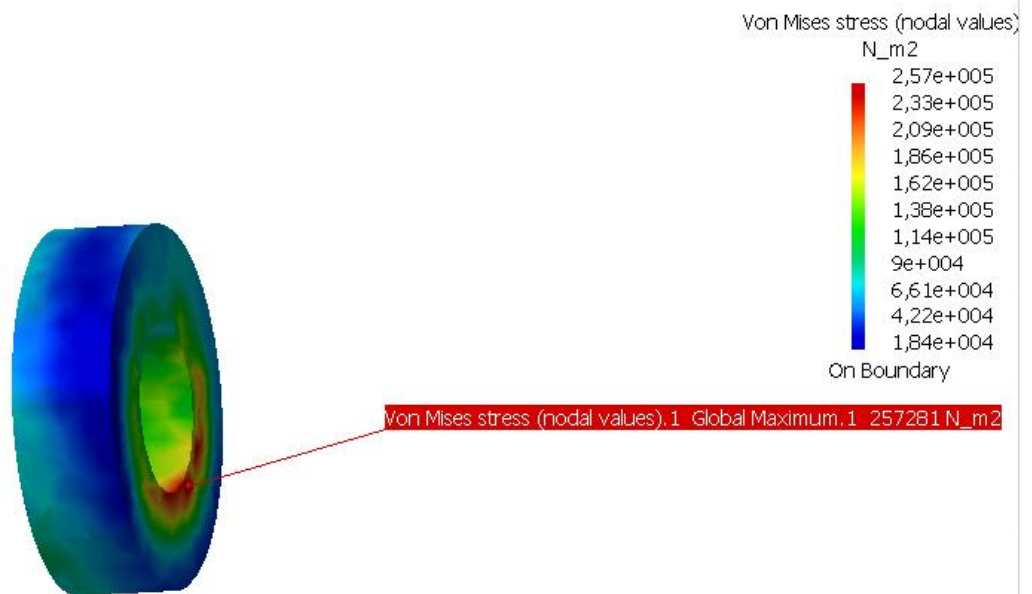
Kuvio 21. Laakeriholkin tasauskäyrät

#### 5.4.2 6002\*-kuulalaakerit

Laakeriholkin sisällä sijaitsevat kuulalaakerit toimivat yhdyskappaleena suuremman kartiopyörän ja laakeriholkin välillä. Kuulaakerit mahdollistavat tasauspyörästön pyörimisen ja samalla laakeriholkin käytön tasauspyörästön tukena. Laakereiden suurimmat jännitykset sijaitsevat kartiopyörien puoleisella pinnalla lähellä kartiopyörien akseleita. Kuviossa 22 on esitelty polkijan puoleisen laakerin jännitysarvot sekä maksimijännitys ja sen paikka. Kuviossa 23 on esitetty vastakkaisen puolen laakerin jännitysarvot sekä maksimijännitys ja sen paikka.



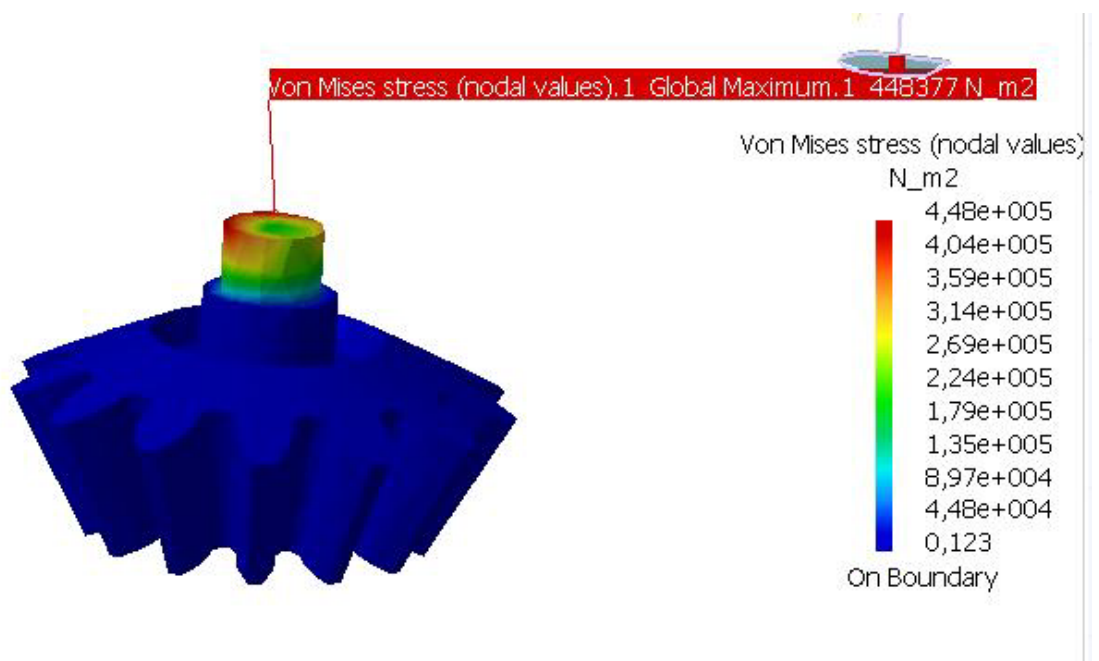
Kuvio 22. 6002\*-kuulalaakeri 1:n tasauskäyrät



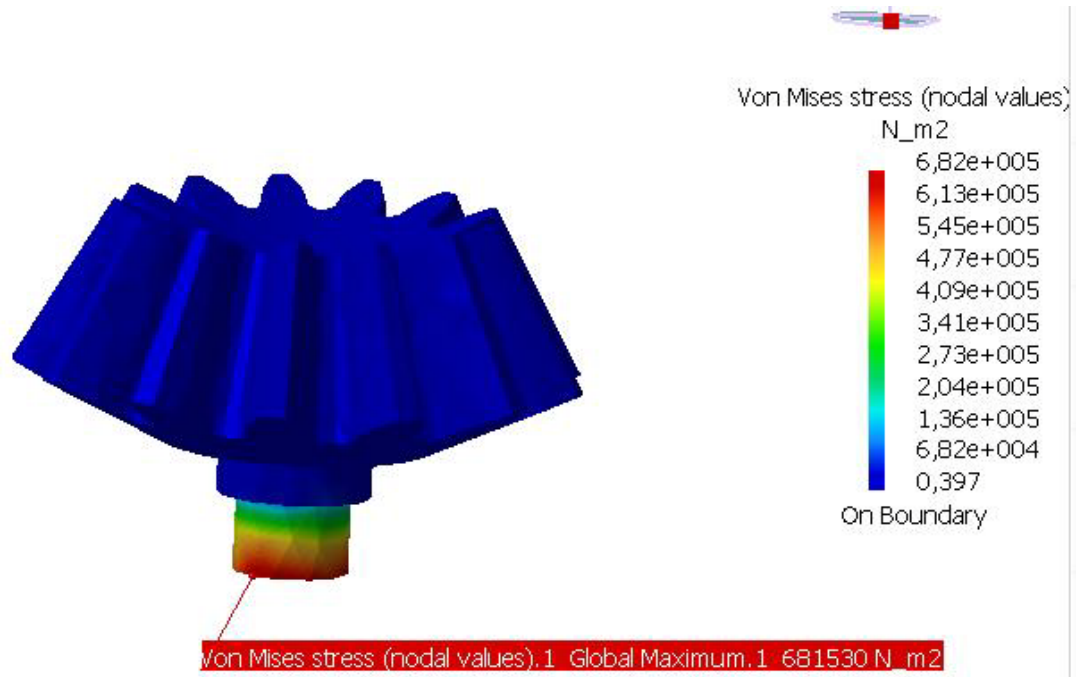
Kuvio 23.6002\*-kuulalaakeri 2:n tasauskäyrät

### 5.4.3 Pienemmät kartiopyörät

Pienemmät kartiopyörät ovat kosketuksissa hammaspyörien välityksellä suurempiin kartiopyöriin. Yhdessä ne toimivat voiman siirtäjänä ja näin ollen hammastuksissa ei saisi olla suuria jännityksiä. Lisäksi pienempiä kartiopyöriä tasapainottaa ja tukee laakereiden välityksellä tasauspyörästä kotelo. Jännitysmittauksissa ei ole tasauspyörästä kotelon elementtiverkkoa, mutta niissä on huomioitu kotelon tuennallinen vaikutus. Tästä syystä suurimmat jännitykset pienemmissä kartiopyörissä kohdistuvat kotelon puoleiselle akselille, kuten kuvioista 24 ja 25 nähdään.



Kuvio 24. Ensimmäisen pienemmän kartiopyörän tasauskäyrät

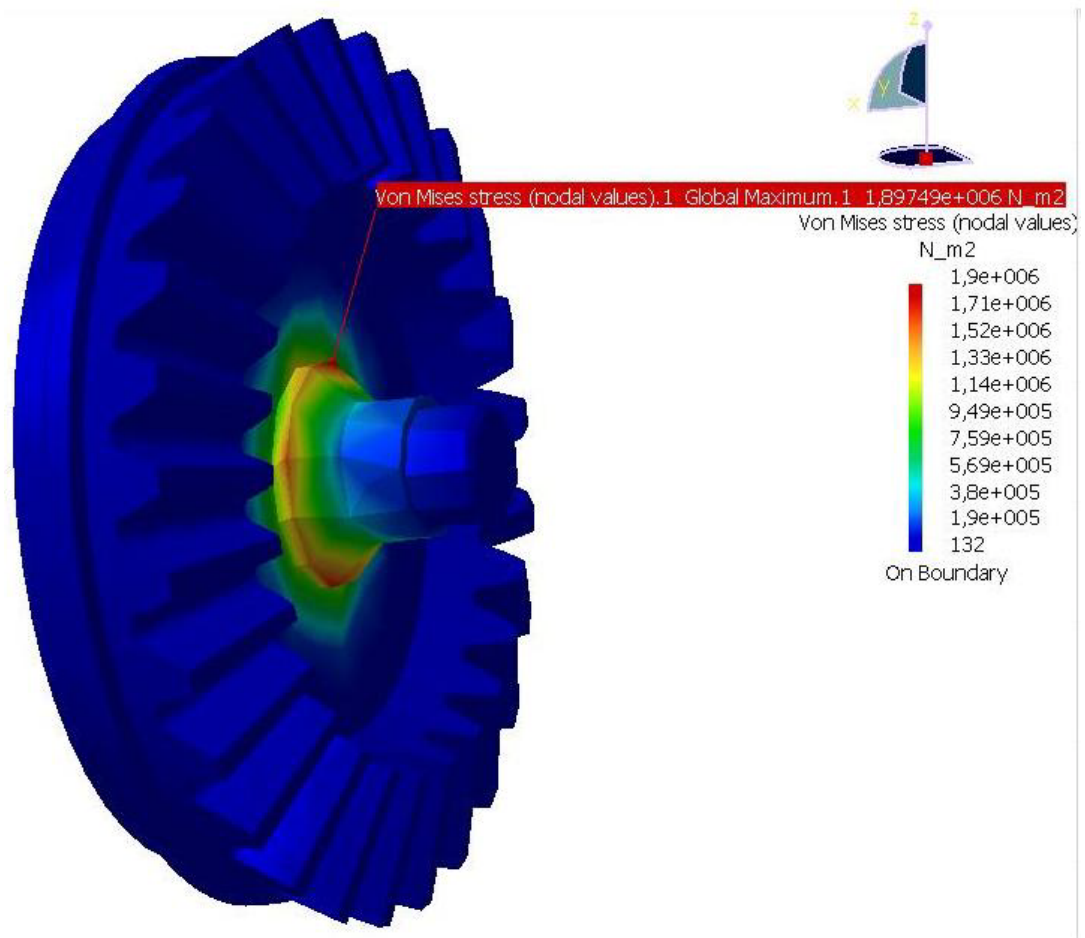


Kuvio 25. Toisen pienemmän kartiopyörän tasauskäyrät

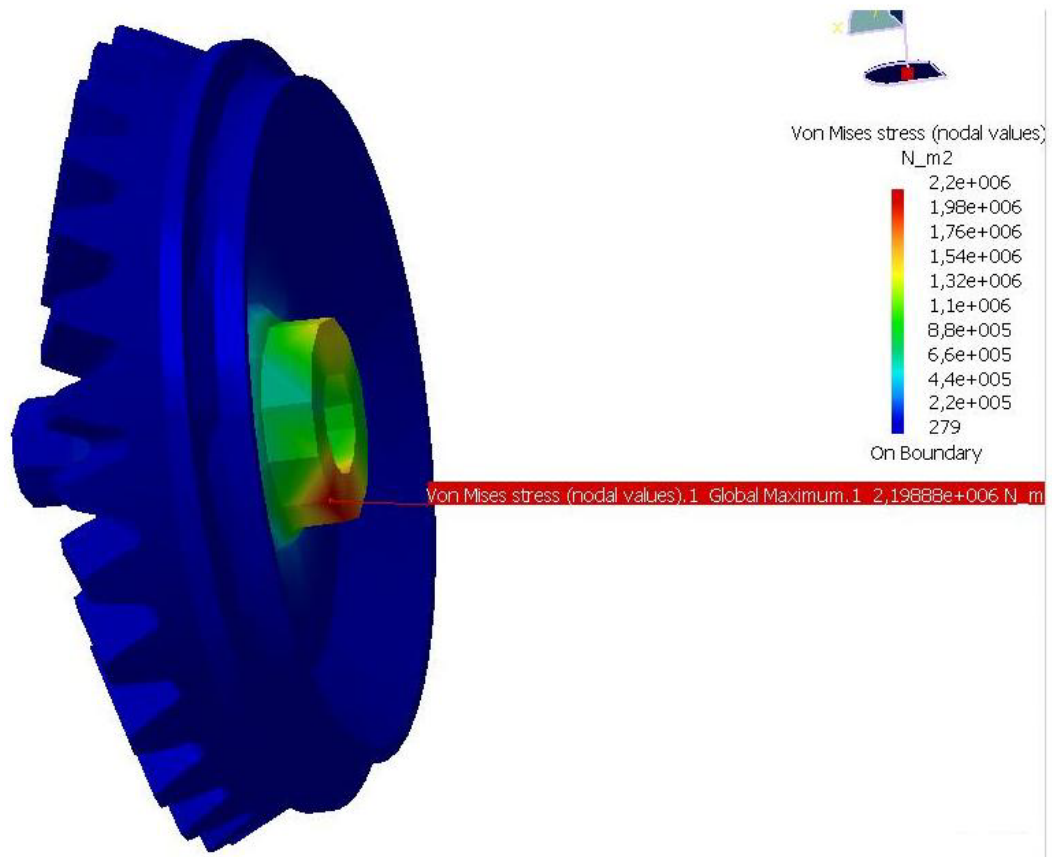
#### 5.4.4 Suuremmat hammaspyörät

Suuremmat kartiopyörät ovat siis yhteydessä pienempiin kartiopyöriin hammastuksen välityksellä ja laakeriholkkiin laakereiden välityksellä. Ulkopuolelta suuremmat kartiopyörät ovat kuitenkin kiinnitettynä keskittimiin. Suurimmat kuormitukset kartiopyöriin kohdistuvatkin keskittimien kautta. Kun suuremmat kartiopyörät ovat vielä tuettuina laakeriholkkiin, lähellä keskiakselia olevat pinnat saavat suurimmat jännitysarvot. Kuvioissa 26 ja 27 on esitetty suurempien kartiopyörien jännitysarvot sekä maksimijännitys ja sen paikka.

Kuvioista 24, 25, 26 ja 27 näkee, että hammastusten kohdalla kartiopyörien jännitykset ovat pieniä. Tämä takaa vakaamman ja paremman pyörimisliikkeen. Lisäksi kartiopyörien kuluminen on pienempää, mikä takaa pidemmän käyttöiän.



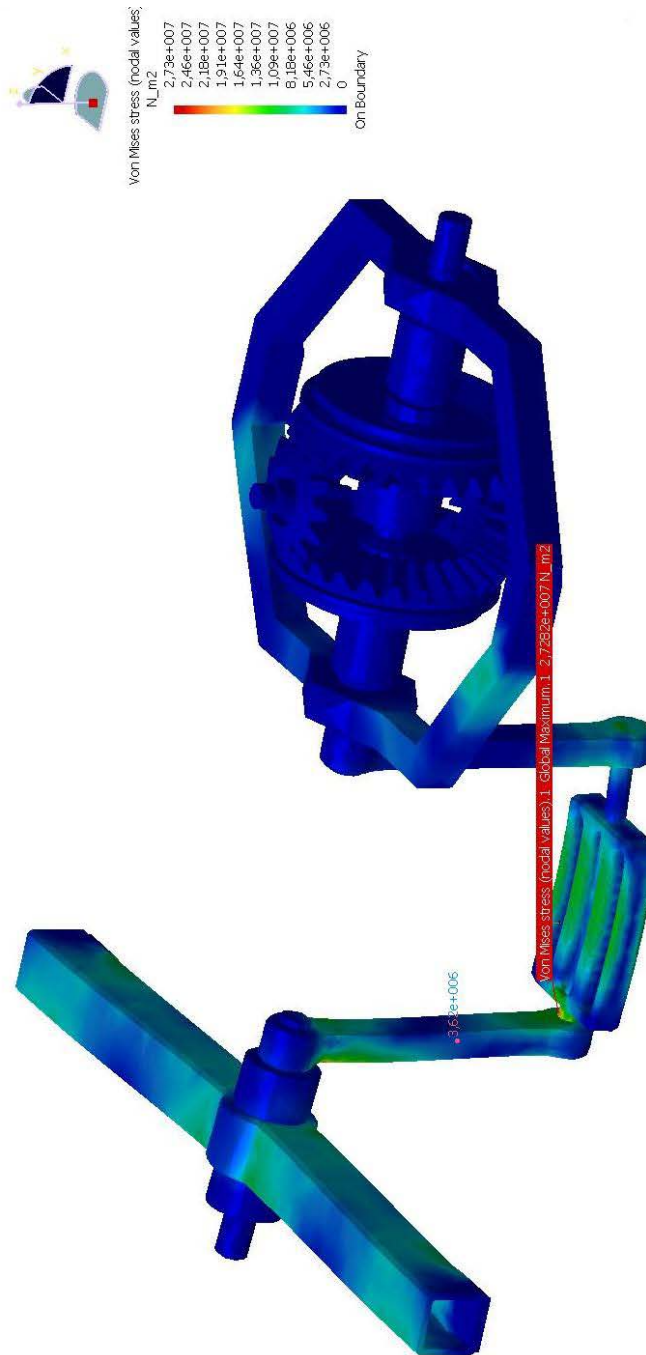
Kuvio 26. Ensimmäisen suuremman kartiopyörän tasauskäyrät



Kuvio 27. Toisen suuremman kartiopyörän tasauskäyrät

#### 5.4.5 Tasauspyörästä ja muut osat

Jännitysmittausten tarkoituksena oli tutkia tasauspyörästä jännityksiä. Kuitenkin tarkasteluihin otettiin mukaan muiden osien maksimijännitys. Tämä tehtiin, jotta pyörän jatkosuunnittelussa voitaisiin ottaa huomioon heikoimmat kohdat myös tasauspyörästä ulkopuolelta. Voiman kohdistuessa polkimelle suurimmat kuormitukset saa pedaalin välityksellä polkimen akseli. Kuviossa 28 on esitetty tasauspyörästä ja muiden osien muodostaman kokoonpanon jännitykset sekä maksimijännitys ja sen paikka.



Kuvio 28. Tasauspyörästä ja muiden osien tasauskäyrät

## 6 TULOKSET

Tasauspyörästäön mallinnus saatiin toteutettua onnistuneesti. Lähtötiedoista aloitettuja malleja parannettiin käytännöllisempään suuntaan. Niissä otettiin enemmän huomioon käytännön kokoamisen helpottaminen. Mallit luovat vahvan pohjan poljettavan ajoneuvon jatkotutkimuksiin ja valmistukseen. Tasauspyörästäön 3D-mallit tallennettiin työn mukana tulevalle cd -levylle, josta niitä voidaan käyttää hyväksi projektin tulevissa osakokonaisuuksissa. Taulukossa 2 on esitetty mallien nimet, niiden tiedostonimet sekä mallien sijainti cd -levyllä, Dif\_gear\_system.

Taulukko 2. 3D -mallit ja niiden sijainti cd -levyllä

Malli	Mallin tiedostonimi	Tallennuspaikka
Laakeriholkki	central_guide.CATPart	Dif_gear_system/Models/
SKF 6002* -kuulalaakeri	skf6002.CATPart	Dif_gear_system/Models/
SKF 61901 -kuulalaakeri	61901_2_14b.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Pienempi kartipyörä	planet_gear.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Suurempi kartipyörä	ring_gear.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Kuula	ball_6mm.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Tasauspyörästäön kotelo A-puolisko	Sun housing2_a.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Tasauspyörästäön kotelo B-puolisko	Sun housing2_b.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Ketjupyörä	Drive sprocket.CATPart	Dif_gear_system/Models/
ISO 4762 M4x10 -kuusiokoloruuvi	ISO_4762_M4x10_STEEL_HEXAGON_SOCKET_HEAD_CAP_SCREW.CATPart	Dif_gear_system/Models/
ISO 4762 M3x10 -kuusiokoloruuvi	ISO_4762_M3x10_STEEL_HEXAGON_SOCKET_HEAD_CAP_SCREW.CATPart	Dif_gear_system/Models/
ISO 4017 M4x10 -kuusiokoloruuvi	ISO_7380_M4x10_HEXAGON_SOCKET_BUTTON_HEAD_SCREW.CATPart	Dif_gear_system/Models/
ISO 7089 4x9 -aluslevy	ISO_7089_4x9_STEEL_GRADE_A_NORMAL_SERIES_PLAIN_WASHER.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Tasauspyörästäön tukivarsi	Holding frame.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Keskitiin	Driven hub.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Polkimen varsi	Crank.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Polkimen akseli	Pedal pin.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Polkimen levy	Pedal plate.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Poljin, kokoonpano	Pedal.CATProduct	Dif_gear_system/Models/
Polkijan puoleinen keskitiin	Drivers crank_hub.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Polkijan puoleinen tukivarsi	Frame.CATPart	Dif_gear_system/Models/
Tasauspyörästäö, kokoonpano	Differential gear system.CATProduct	Dif_gear_system/Models/
Muut osat, kokoonpano	Other_parts.CATProduct	Dif_gear_system/Models/
Pääkokoonpano	Whole system.CATProduct	Dif_gear_system/Models/

Piirustukset tehtiin mallien pohjalta perusajatuksena mallien helpompi ja sujuvampi tutkiminen ilman tietokonetta. Piirustuksiin merkittiin tärkeimmät mitat toiminnan kannalta. Ne tallennettiin myös työn mukana

tulevalle cd -levylle jatkotutkimuksia varten. Taulukossa 3 on esitetty piirustukset ja niiden sijainti cd –levyllä, Dif\_gear\_system.

Taulukko 3. Piirustusten nimikkeet ja niiden sijainti cd -levyllä

Piirustuksen nimike	Piirustuksen tiedostonimi	Tallennuspaikka
Laakeriholkki	Central_Guide.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
SKF 6002* -kuulalaakeri	skf_6002.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
SKF 61901 -kuulalaakeri	skf_61901.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Pienempi kartiopyörä	Planet_Gear.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Suurempi kartiopyörä	Ring_Gear.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Tasauspyörästön kotelo A-puolisko	Sun_Housing_A.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Tasauspyörästön kotelo B-puolisko	Sun_Housing_B.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Ketjupyörä	Drive_Sprocket.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Tasauspyörästö, kokoonpano	Differential_Gear.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/
Muut osat, kokoonpano	Other_Parts.CATDrawing	Dif_gear_system/Drawings/

Tasauspyörästön jännityslaskelmat suoritettiin vuoden 2010 huhtikuun aikana. Laskelmissa saatiin laskettua jännitysarvot tasauspyörästön eri osille sekä muiden osien muodostaman systeemin maksimijännitys.

Taulukossa 4 on lueteltu eri osien ja koko systeemin maksimijännitykset.

Siitä nähdään, että tasauspyörästöön kohdistuvat jännitykset eivät ole suuria. Ne jäävät Godwin Wasanthin valitseman materiaalin 55CR70 - teräksen myötörajan alle, sillä 55Cr70 –teräksen myötöraja on 637

MPA/7/. Hammastuksen jännitykset jäivät myös alhaisiksi, mikä takaa luotettavan ja vakaan pyörimisen. Tasauspyörästön jännityslaskelmien

tiedosto tallennettiin työn mukana tulevalle cd –levylle, Dif\_gear\_system.

Jännityslaskelmat löytyvät tiedostosta:

Dif\_gear\_system/Analysis/Whole\_System.CATAnalysis.

Taulukko 2. Osien ja koko systeemin maksimijännitykset

Osa	Maksimijännitys (Mpa)
Laakeriholkki	0,27
6002*kuulalaakeri 1	0,32
6002*kuulalaakeri 2	0,26
Pienempi kartiopyörä 1	0,45
Pienempi kartiopyörä 2	0,68
Suurempi kartiopyörä 1	1,9
Suurempi kartiopyörä 2	2,2
Koko systeemi	27,3

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tehdä 3D-mallinnus poljettavan ajoneuvon tasauspyörästöstä ja tarvittavat piirustukset sekä laskea kyseisen kokoonpanon jännityslaskelmat. Jännityslaskelmat suoritettiin, jotta voitaisiin todeta tasauspyörästön maksimijännitykset ja mahdolliset ongelmakohdat.

3D mallinnus suoritettiin Catia V5 –suunnitteluohjelmalla. Mallien tekemiseen käytettiin keksijä Godwin Vasanthin mitoituksia tasauspyörästön osille. Piirustukset luotiin tehtyjen 3D mallien pohjalta. Tasauspyörästön jännityslaskelmat suoritettiin Catia V5 - suunnitteluohjelman General Structural Analysis- ohjelmalla. Tuloksena saatiin toimiva malli. Lähtötiedoista aloitettuja malleja parannettiin käytännöllisempään suuntaan. Tasauspyörästön jännitykset jäivät selvästi alle materiaaliksi valitun 55Cr70 -teräksen myötörajan.

Työstäni tulee olemaan jatkossa hyötyä poljettavan ajoneuvon differentiaalipyörästöjärjestelmällä jatkotoimenpiteissä ja muissa osaprojekteissa. Malleja tullaan mahdollisesti parantelemaan kehitysprosessin aikana.

## LÄHTEET

- 1 Mäkelä Mikko, Soininen Lauri, Tuomola Seppo, Öistämö Juhani.  
Tekniikan kaavasto. Tammertekniikka. Gummerrus kirjapaino Oy.  
Jyväskylä 2002. 91 s.

### Sähköiset lähteet

- 2 SKF Group. [www-sivu]. [Viitattu 15.1.2010]. Saatavissa:  
[http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/productTableView.r.jsp?&lang=en&tableName=1\\_1\\_3&presentationType=3&startnum=5](http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/productTableView.r.jsp?&lang=en&tableName=1_1_3&presentationType=3&startnum=5)
- 3 Gildas Trébaol. Designing parametric bevel gears with Catia V5. [www-sivu]. [Viitattu 27.1.2010]. Saatavissa:  
[http://gtrebaol.free.fr/doc/catia/bevel\\_gear.html](http://gtrebaol.free.fr/doc/catia/bevel_gear.html)
- 4 Martin Sprocket & Gear Inc. [www-sivu]. [Viitattu 2.2.2010]. Saatavissa  
<http://www.martinsprocket.com/2001/SecEb.pdf#E114>
- 5 Matti Lähteenmäki. TAMK. Elementtimenetelmän perusteet. [www-sivu]. [Viitattu 23.3.2010]. Saatavissa:  
[http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/elpe\\_pdf/johdanto.pdf](http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf)
- 6 MSC.Software Corporation. Catia V5 Structural Analysis for the Designer. [www.sivu]. [Viitattu 24.3.2010]. Saatavissa:  
<http://www.scribd.com/doc/14583772/Catia-v5-Structural-Analysis-for-the-Designer>
- 7 S.N. Bagchi, Kuldip Prakash, Industrial Steel Reference Book. [www-sivu]. [Viitattu 20.5.2010]. Saatavissa:  
[http://books.google.fi/books?id=c9g632fk4mQC&pg=PA60&lpg=PA60&dq=55cr70+standardi&source=bl&ots=8SqbiZSfXB&sig=sLF7HmzBII8\\_cfYgmBoGGaTZgY&hl=en&ei=ZD2S8WvIt-UsQaP9N3zBQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBEQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.fi/books?id=c9g632fk4mQC&pg=PA60&lpg=PA60&dq=55cr70+standardi&source=bl&ots=8SqbiZSfXB&sig=sLF7HmzBII8_cfYgmBoGGaTZgY&hl=en&ei=ZD2S8WvIt-UsQaP9N3zBQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBEQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false)

**Painamattomat lähteet**

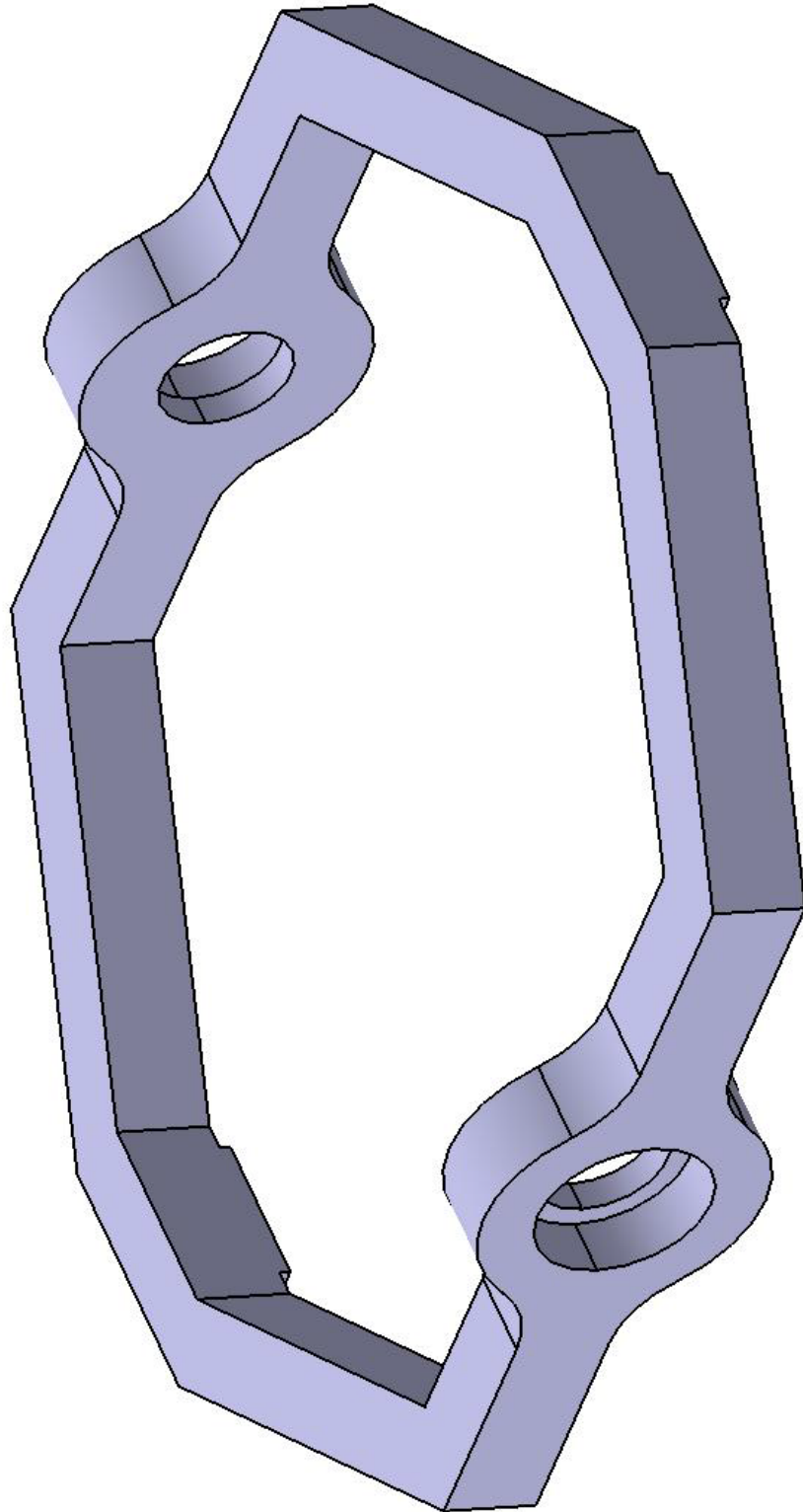
- 8 Sähköpostikeskustelu 12/2009.. Esko Kurki. Tampereen ammattikorkeakoulu
- 9 Palaveri 21.2.2010. Erkki Nuutio. Tampereen ammattikorkeakoulu

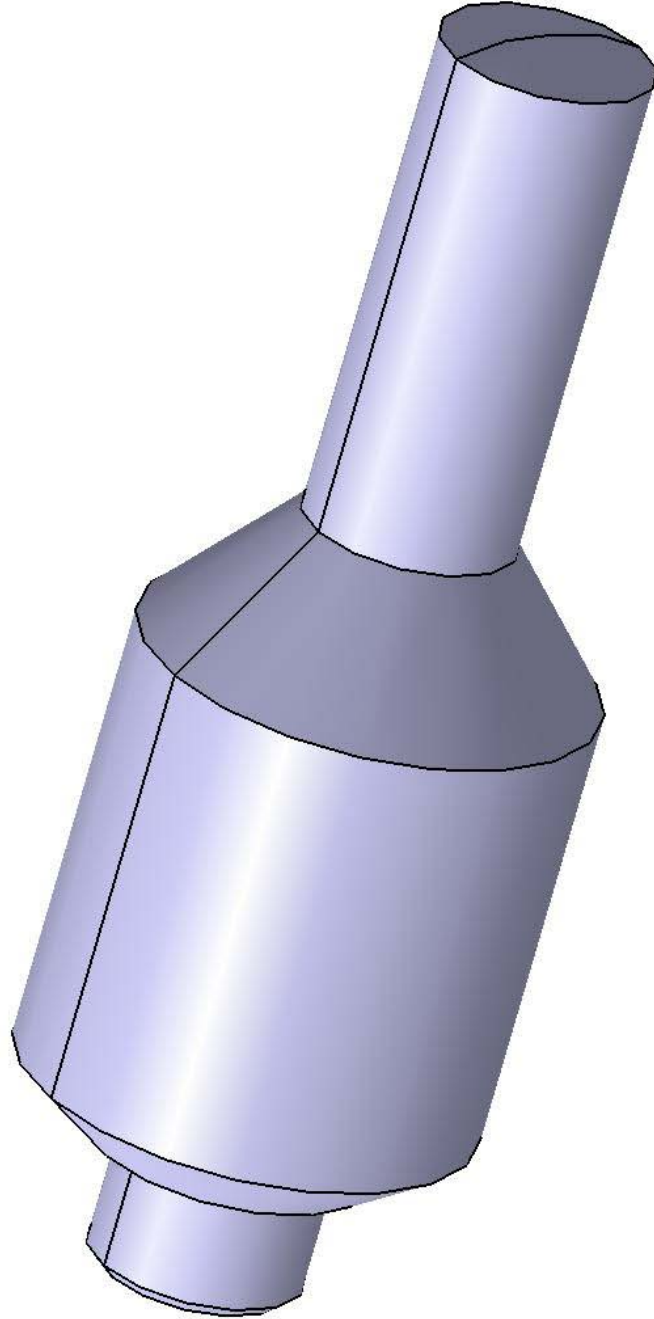
**Muut lähteet**

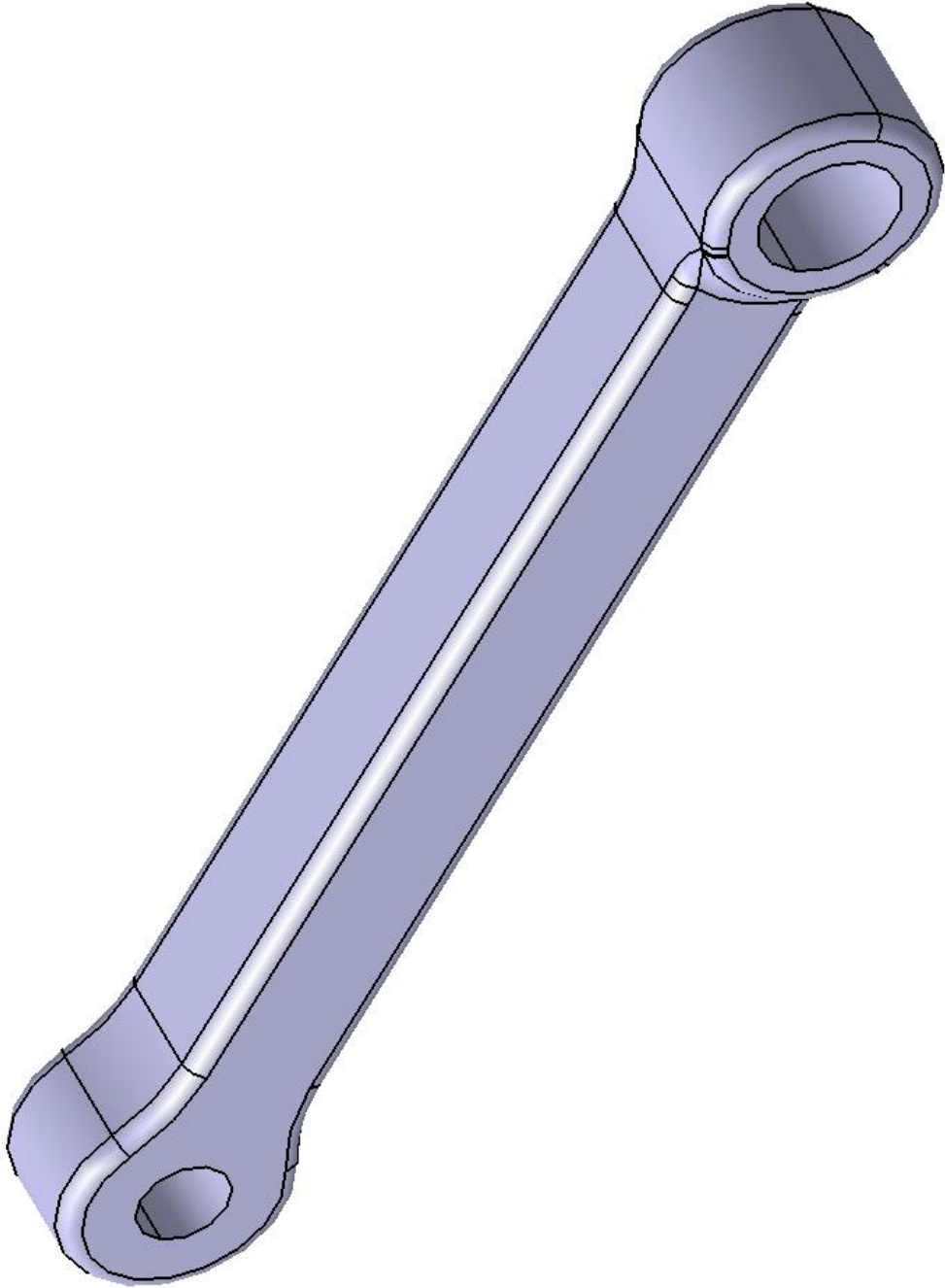
- 10 Patenttihakemus FI20085900 (A). Godwin Wasanth Bosco. Differentiaalipyörästöjärjestelmä poljettavaan ajoneuvoon. Julkaisupäivämäärä 24.03.2010. [Viitattu 20.5.2010].

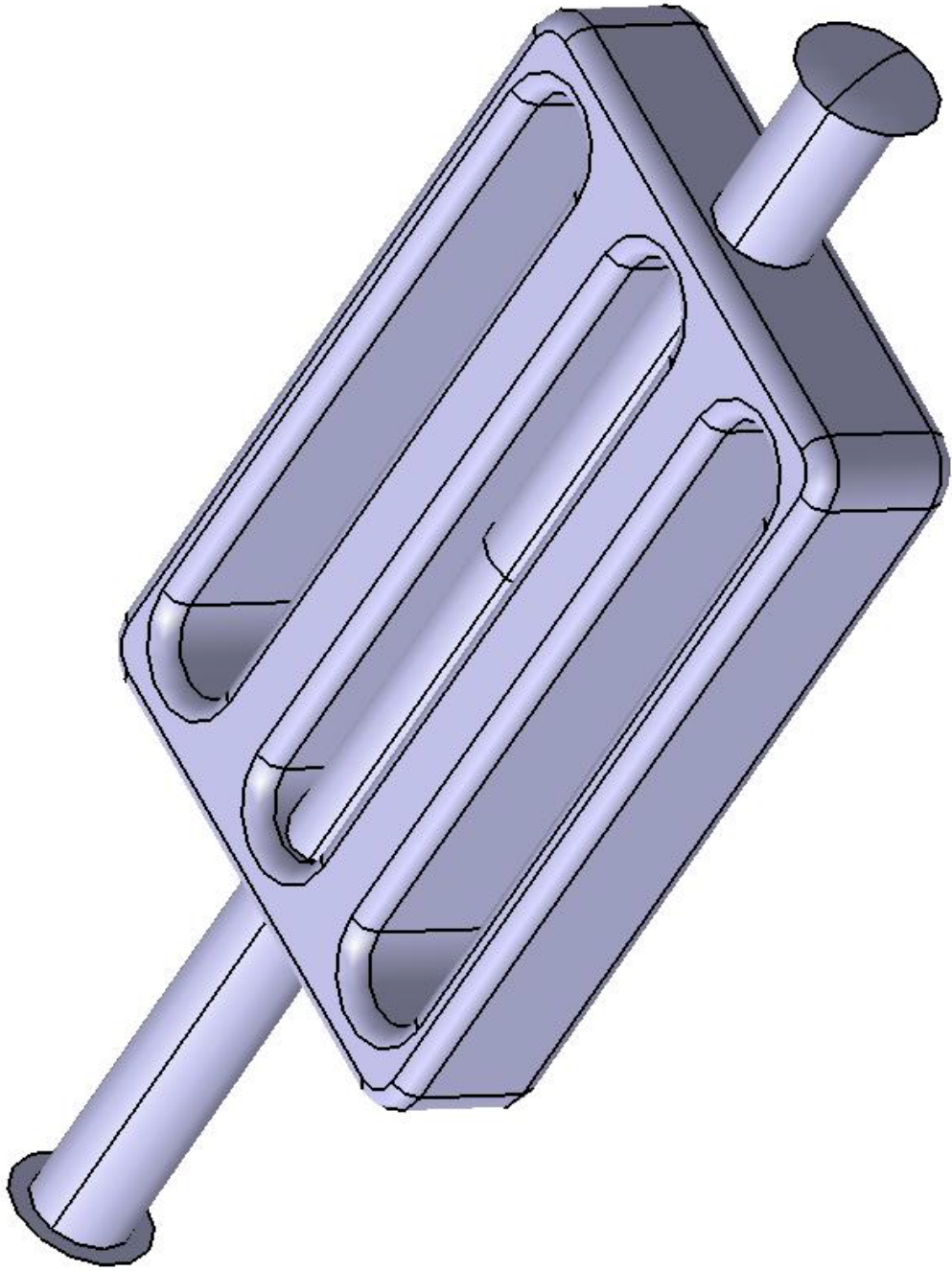
## 9 LIITTEET

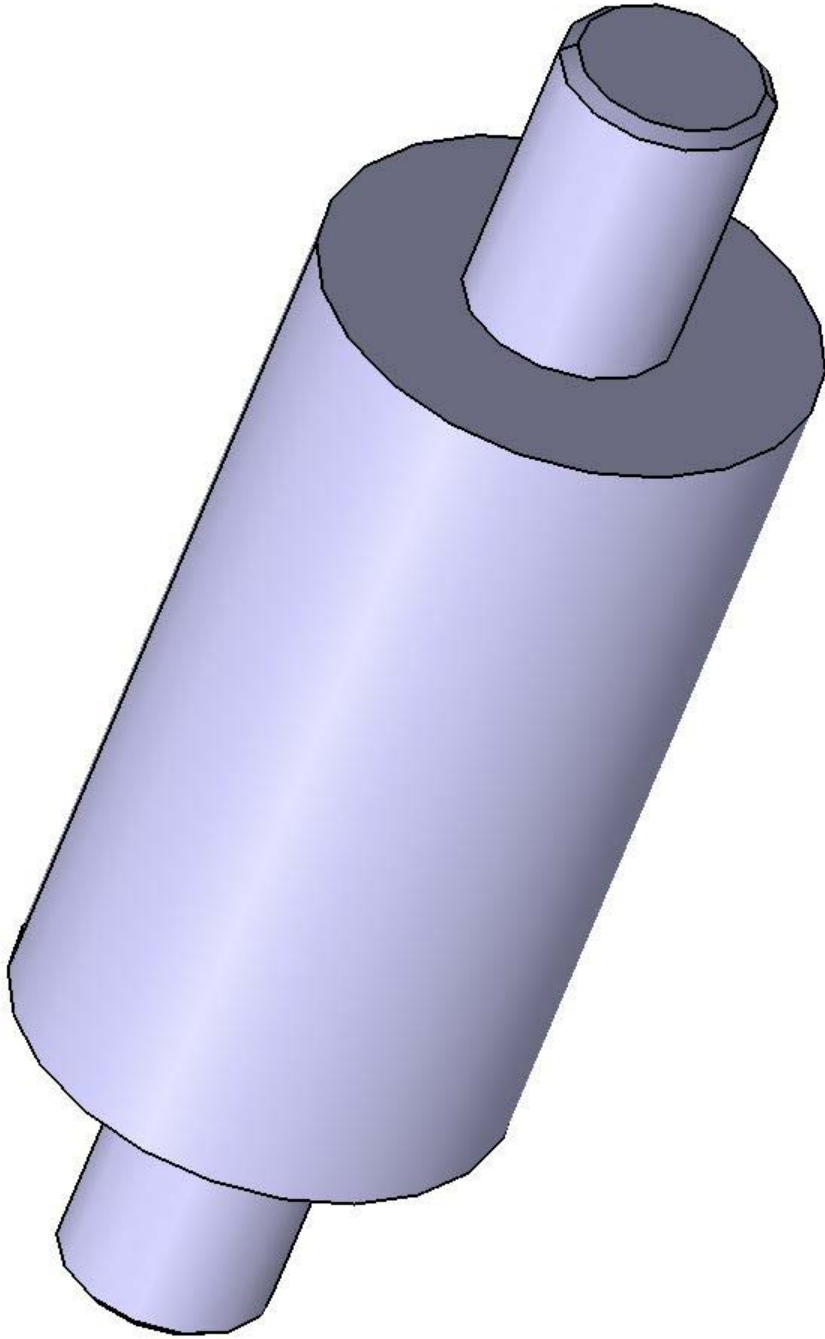
- LIITE 1 Tukivarren 3D-kuva
- LIITE 2 Tasauspyörästön puoleisen keskittimen 3D-kuva
- LIITE 3 Polkimen varren 3D-kuva
- LIITE 4 Polkimen kokoonpanon 3D-kuva
- LIITE 5 Polkijan puoleisen keskittimen 3D-kuva
- LIITE 6 Polkijan puoleisen tukivarren 3D-kuva
- LIITE 7 Tasauspyörästön kokoonpanon iso 3D-kuva
- LIITE 8 Pääkokoonpanon iso 3D-kuva
- LIITE 9 Laakeriholkin piirustus
- LIITE 10 SKF 6002\* yksirivisen urakuulalaakerin piirustus
- LIITE 11 Suuremman kartiopyörän piirustus
- LIITE 12 Pienemmän kartiopyörän piirustus
- LIITE 13 SKF 61901 yksirivisen urakuulalaakerin piirustus
- LIITE 14 Tasauspyörästön kotelon A-puoliskon piirustus
- LIITE 15 Tasauspyörästön kotelon B-puoliskon piirustus
- LIITE 16 Ketjupyörän piirustus
- LIITE 17 Tasauspyörästön kokoonpanon piirustus
- LIITE 18 Muiden osien kokoonpanon piirustus

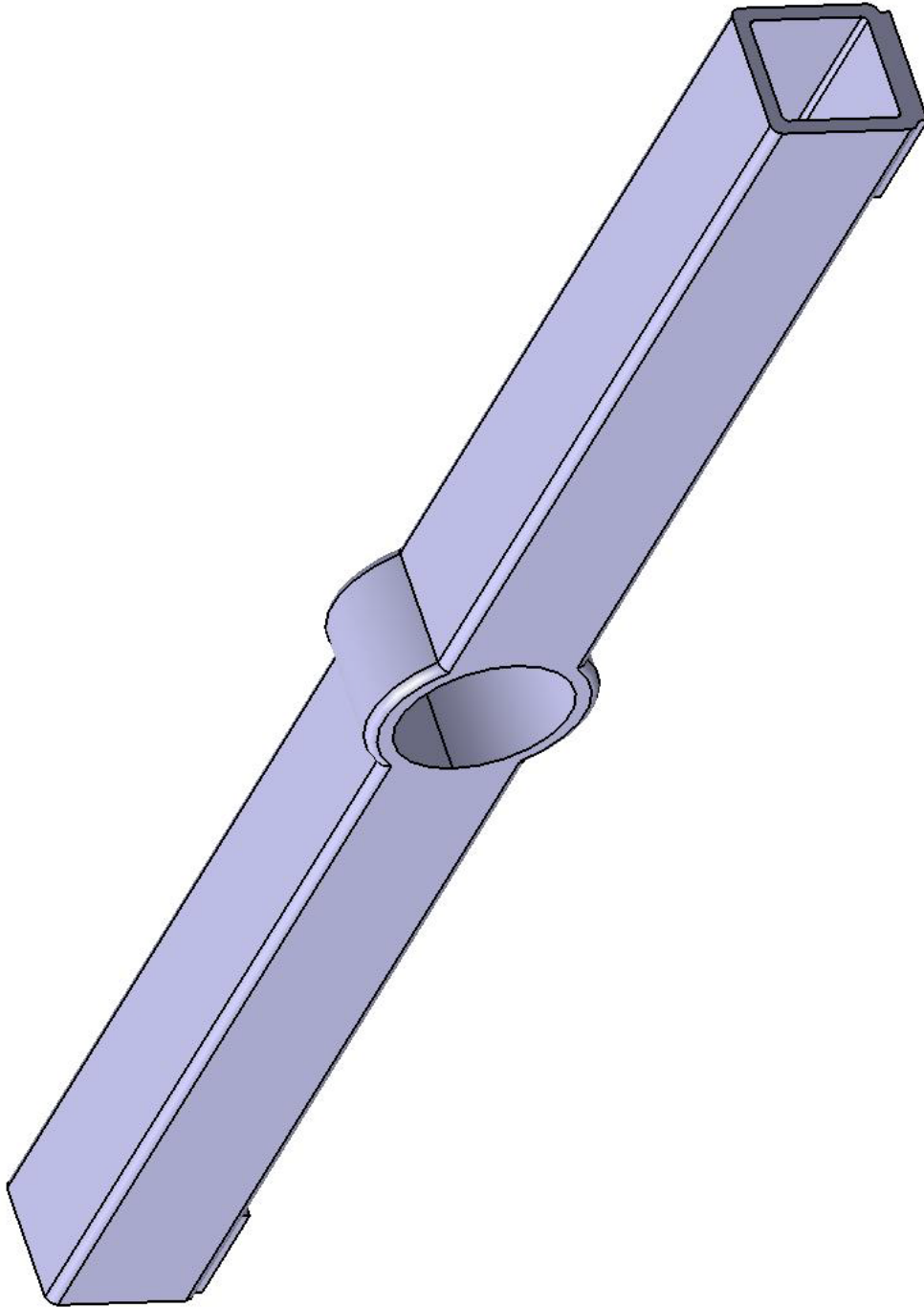


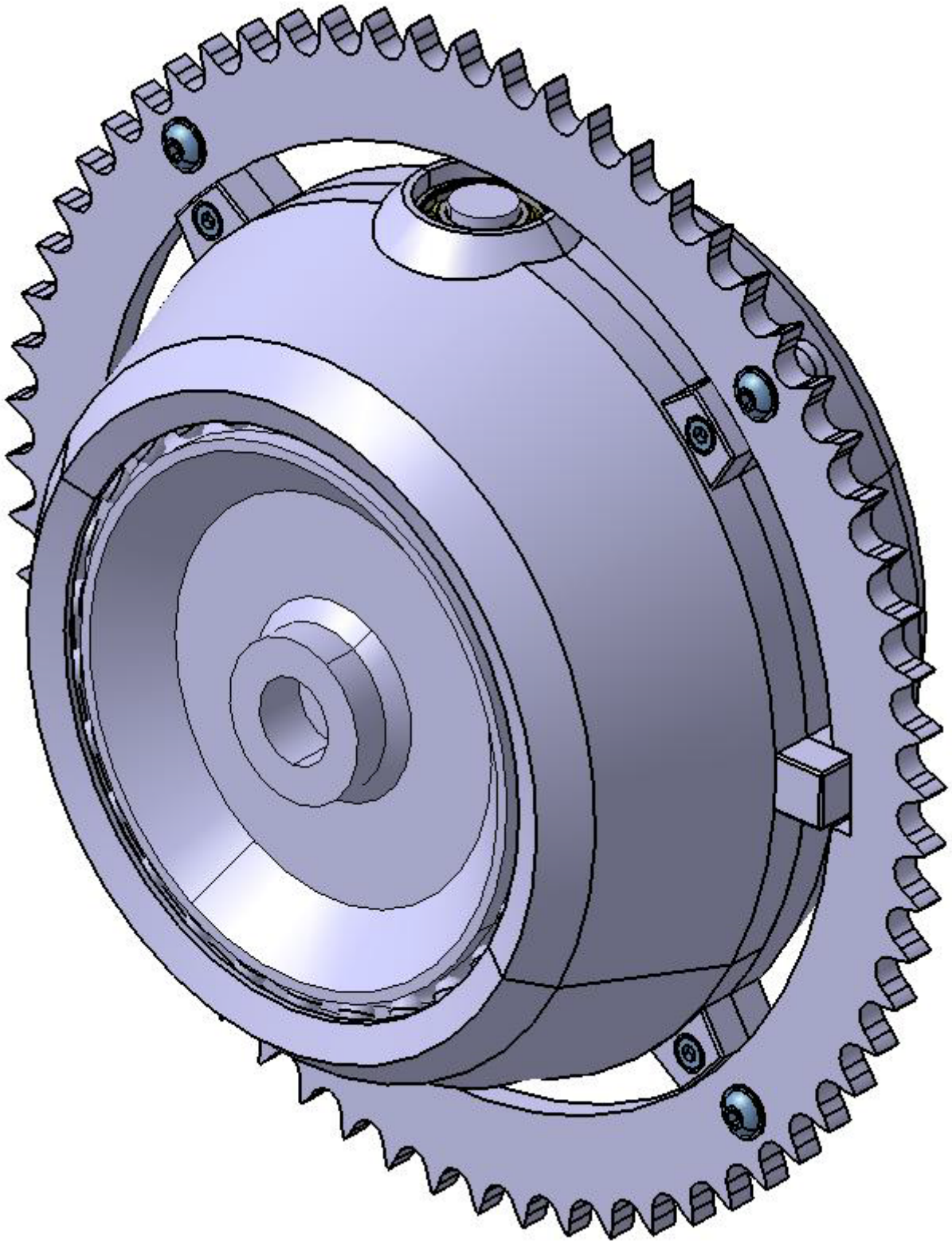


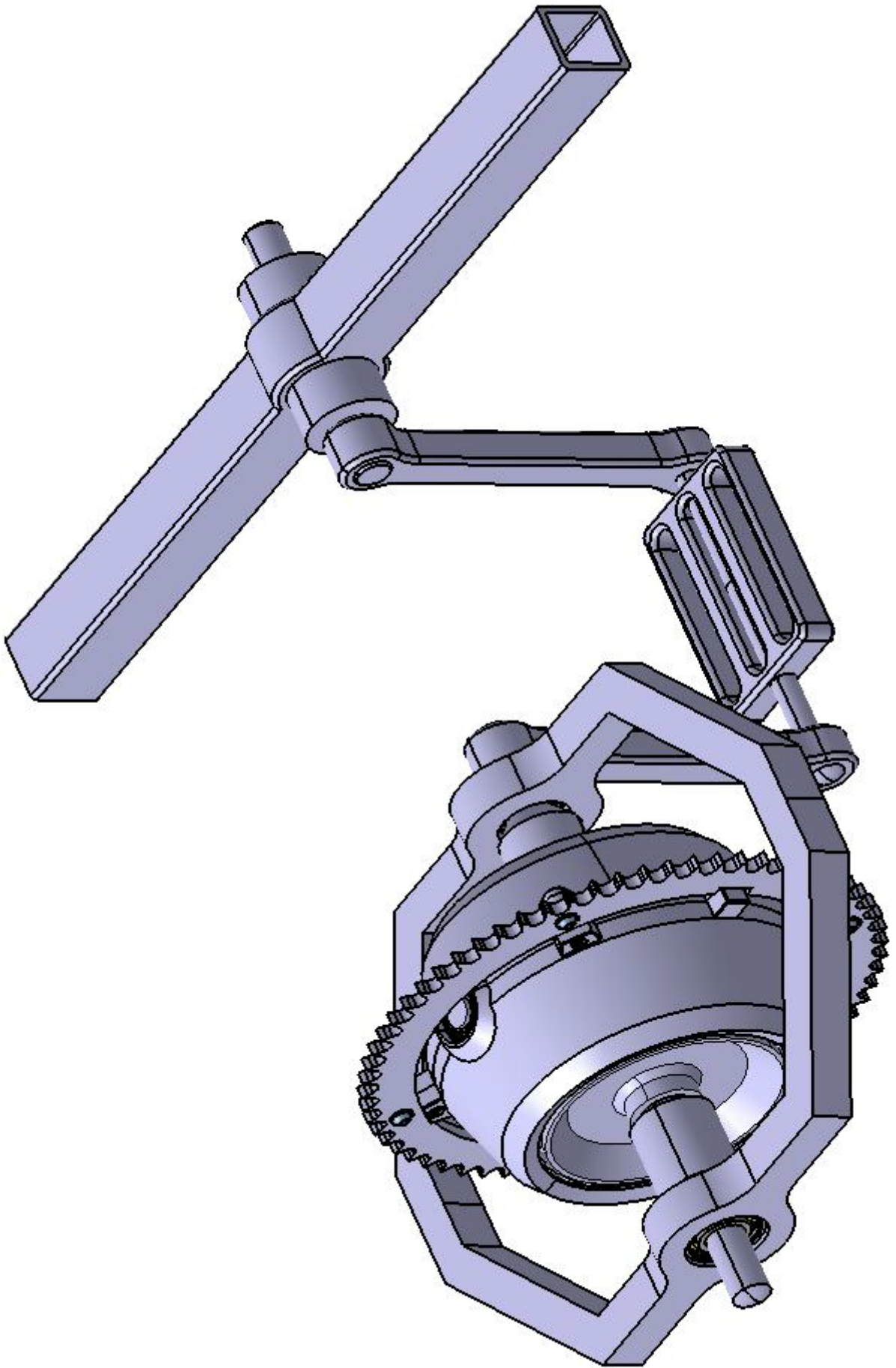


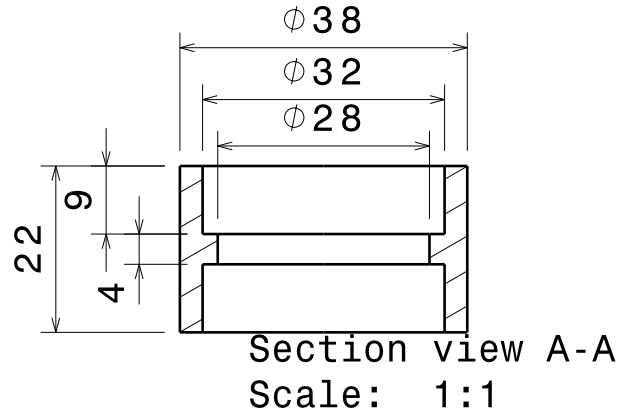
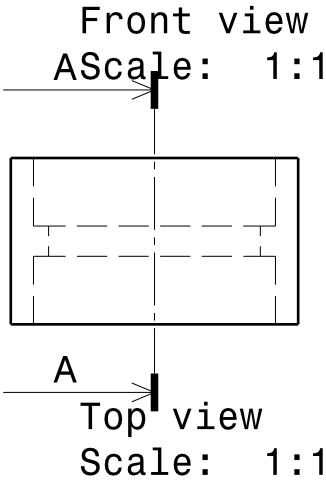
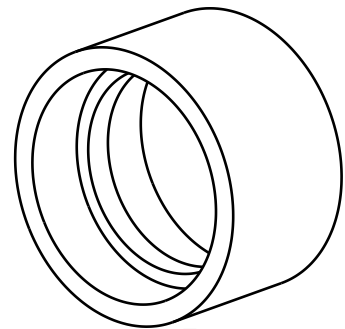
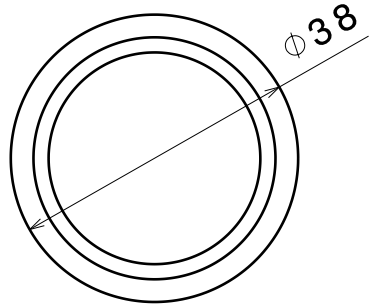






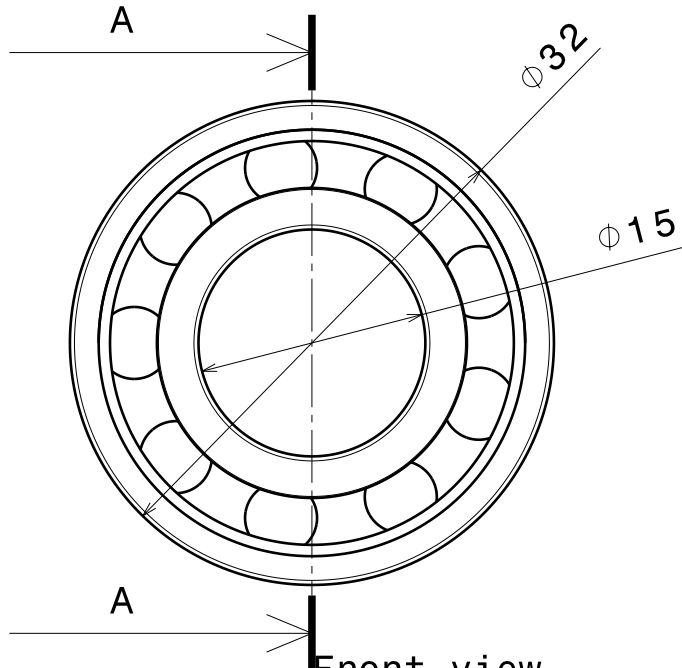




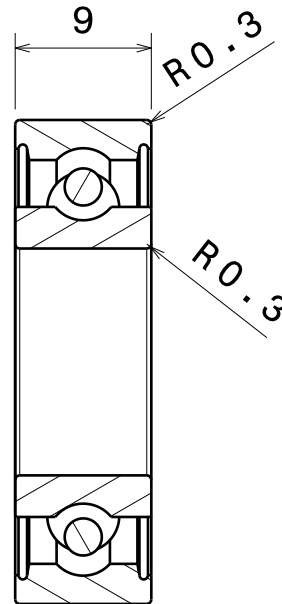


DRAWN BY <b>k4tnyblo</b>		DATE 29.04.2010	DRAWING TITLE <b>Central guide</b>		
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE XXX	SIZE <b>A4</b>	DRAWING NUMBER <b>1</b>		REV <b>X</b>
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE XXX	SCALE <b>2:1</b>	WEIGHT(kg) <b>0,06</b>	SHEET <b>1/1</b>	

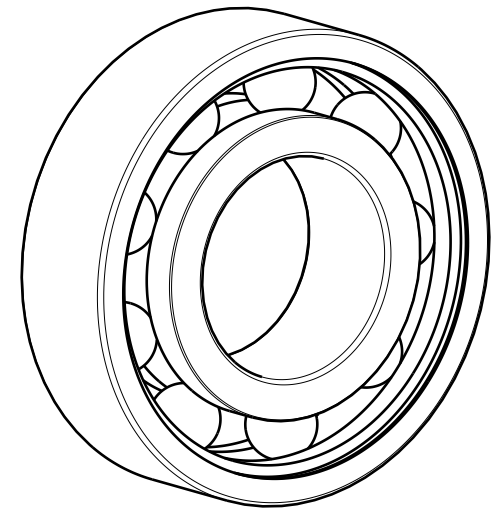
Liite 10



Front view  
Scale: 2:1



Section view A-A  
Scale: 2:1



Isometric view  
Scale: 2:1

		DRAWING TITLE			
DRAWN BY k4tnyb1o		DATE 03.05.2010		SKF 6002* -ball bearing	
CHECKED BY XXX		DATE XXX		SIZE A4	DRAWING NUMBER 2
DESIGNED BY XXX		DATE XXX		SCALE 2:1	WEIGHT(kg) 0,00
				SHEET	1/1

D

C

B

A

A

A

9

R0.3

R0.3

Ø32

Ø15

4

3

2

1

4

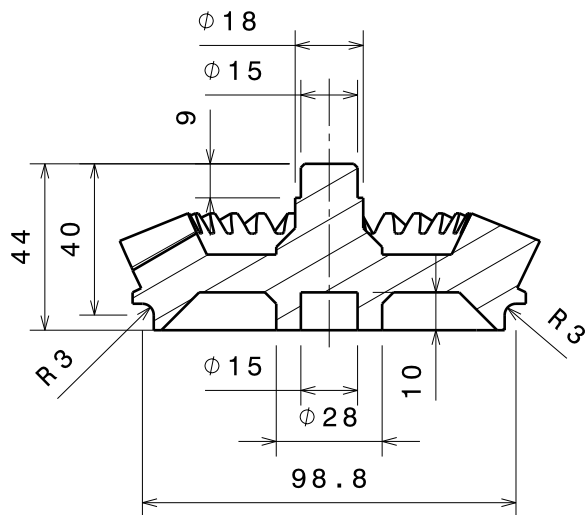
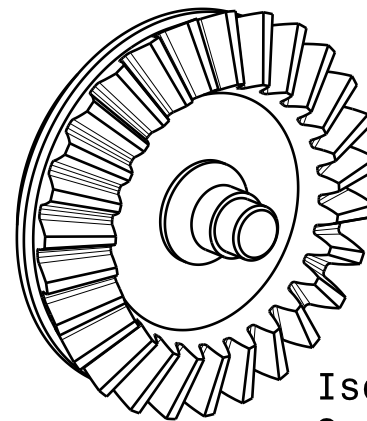
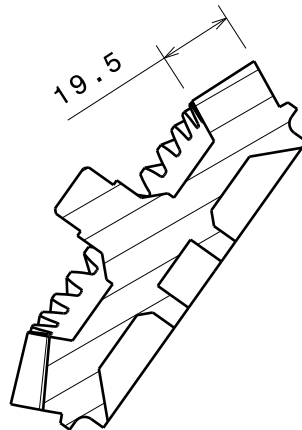
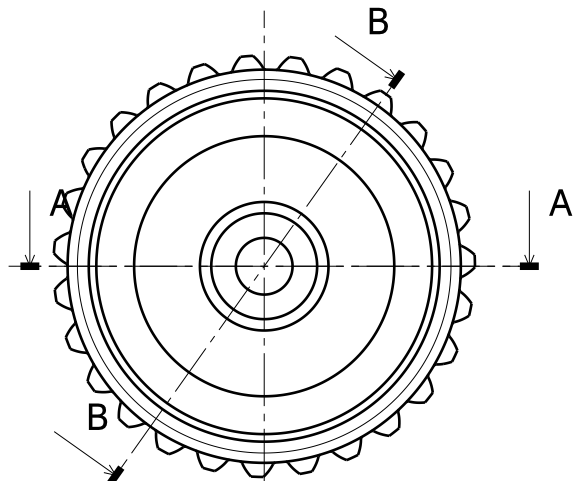
3

2

1

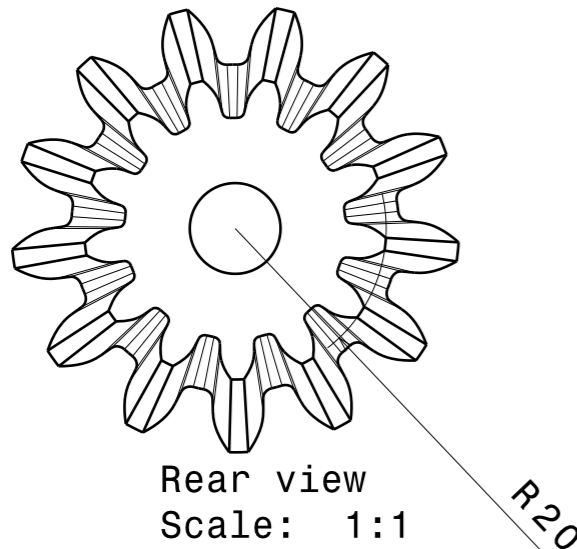
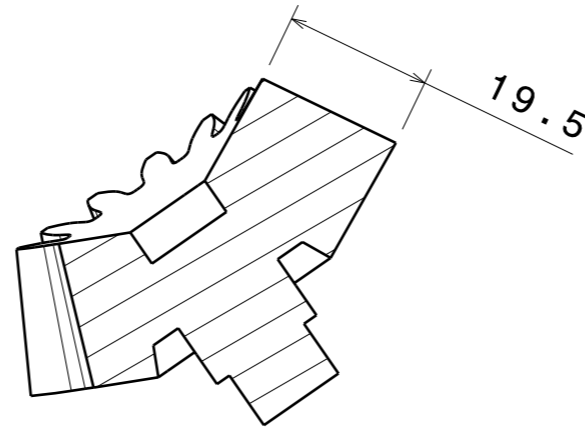
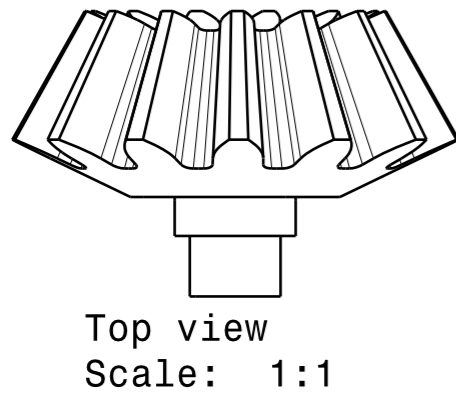
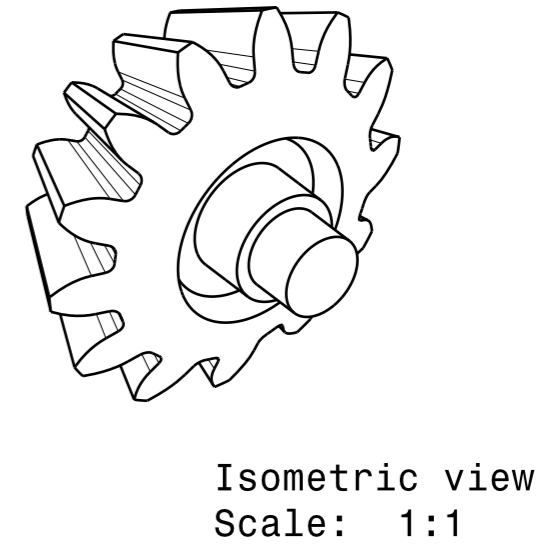
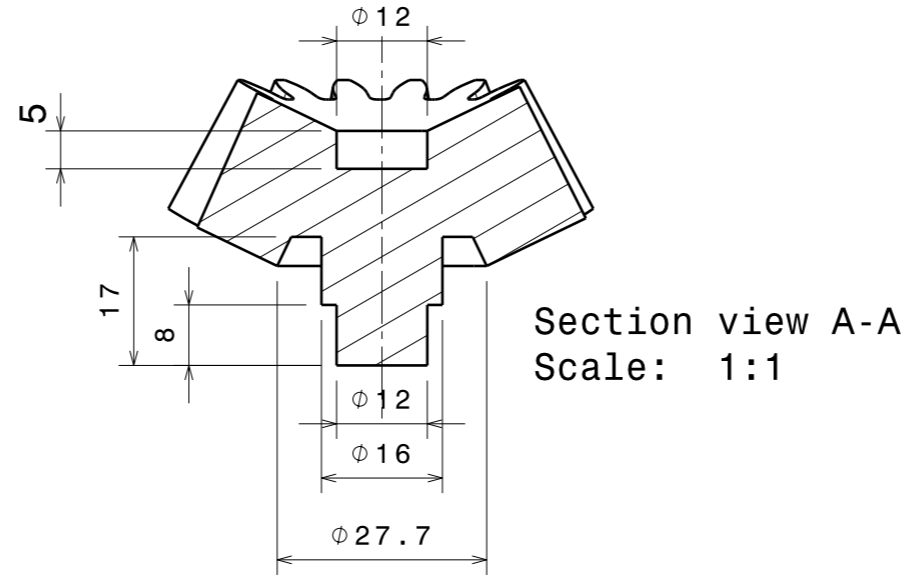
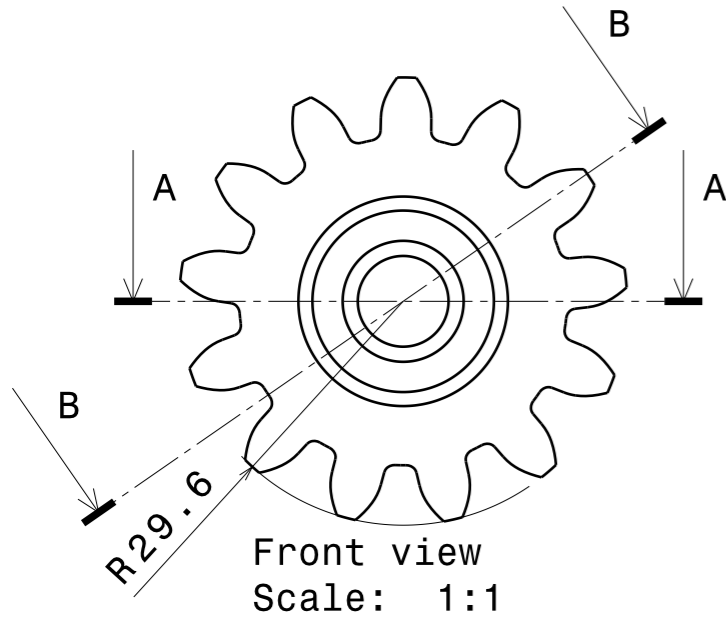
D

A



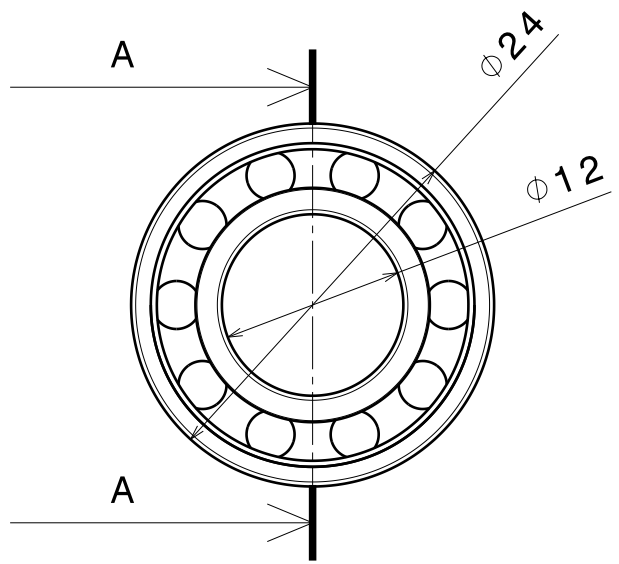
Jakokartiokulma 64,30°  
Kartion sivun pituus 59,95 mm  
Jakohalkaisija 108 mm

DRAWN BY <b>k4tnyblo</b>		DATE 03.05.2010		DRAWING TITLE <b>Ring gear</b>			
CHECKED BY <b>XXX</b>		DATE XXX		SIZE <b>A4</b>	DRAWING NUMBER <b>3</b>		REV <b>X</b>
DESIGNED BY <b>XXX</b>		DATE XXX		SCALE 1:2	WEIGHT (kg) 0,00	SHEET 1/1	

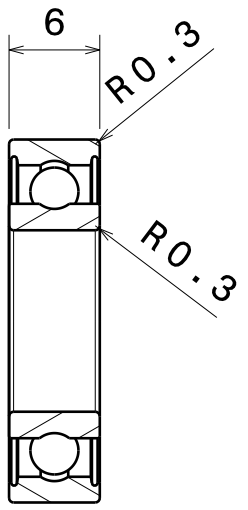


Jakokartiokulma 25,70°  
Kartion sivun pituus 59,95 mm  
Jakohalkaisija 52 mm

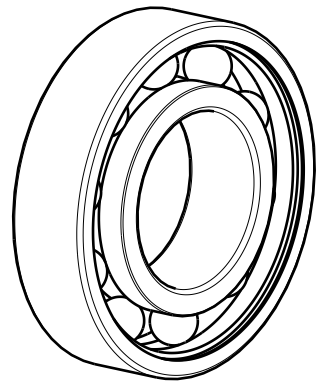
		DRAWING TITLE			
		Planet gear			
DRAWN BY k4tnyblo	DATE 03.05.2010	SIZE A3	DRAWING NUMBER 4		REV X
CHECKED BY XXX	DATE xxx	SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,00	SHEET 1/1	
DESIGNED BY XXX	DATE xxx				



Front view  
Scale: 2:1



Section view A-A  
Scale: 2:1



Isometric view  
Scale: 2:1

		DRAWING TITLE			
DRAWN BY k4tnyb1o		DATE 03.05.2010		SKF 61901 -ball bearing	
CHECKED BY XXX		DATE XXX		SIZE A4	DRAWING NUMBER 5
DESIGNED BY XXX		DATE XXX		SCALE 2:1	WEIGHT(kg) 0,01
				SHEET	1/1
				REV	X

D C B A

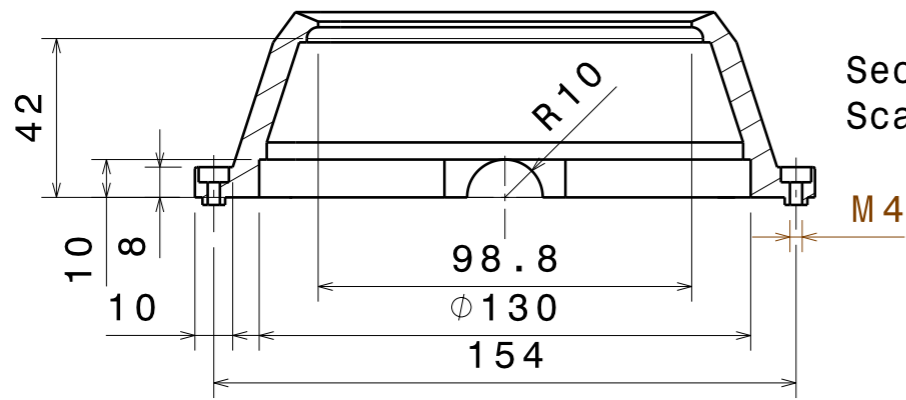
4

3

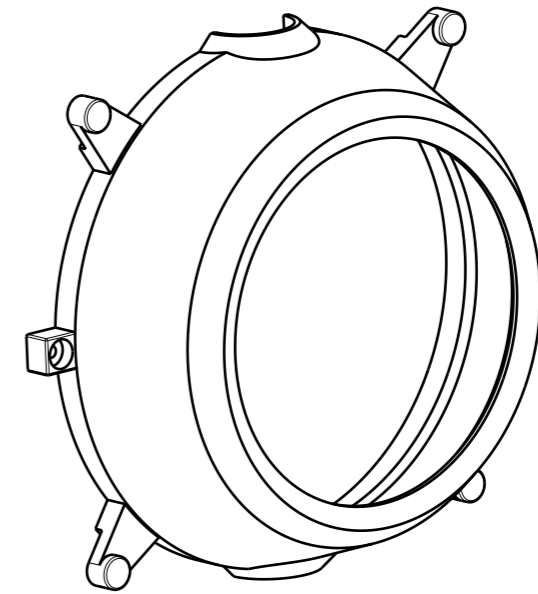
2

1

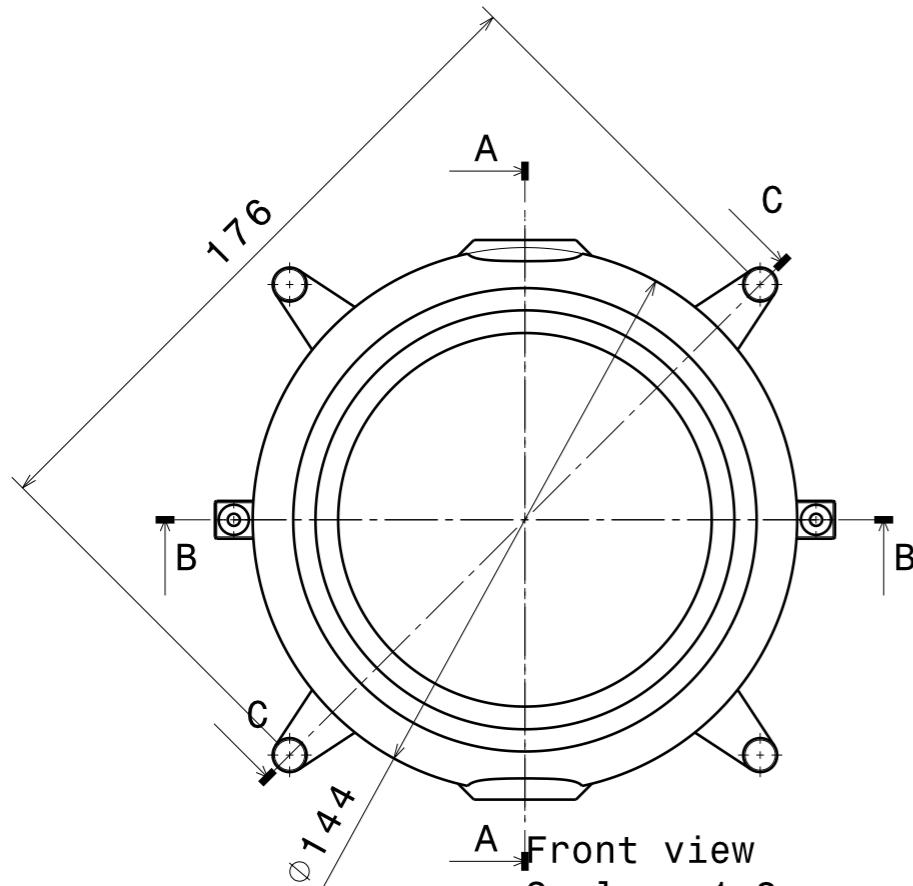
D A



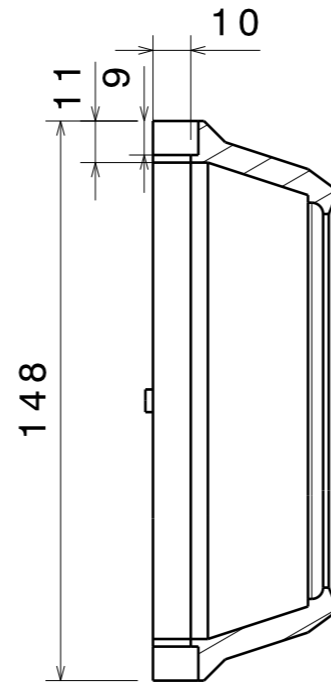
Section view B-B  
Scale: 1:2



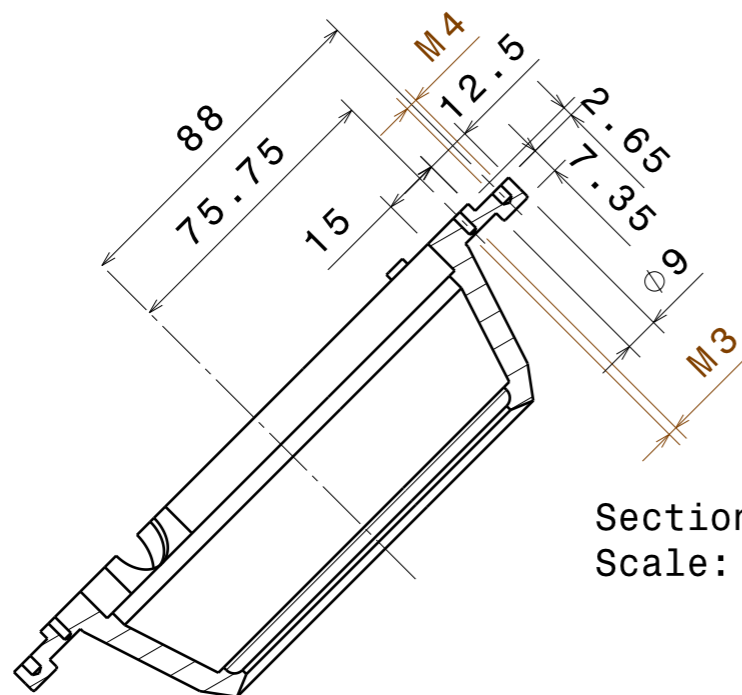
Isometric view  
Scale: 1:2



Front view  
Scale: 1:2

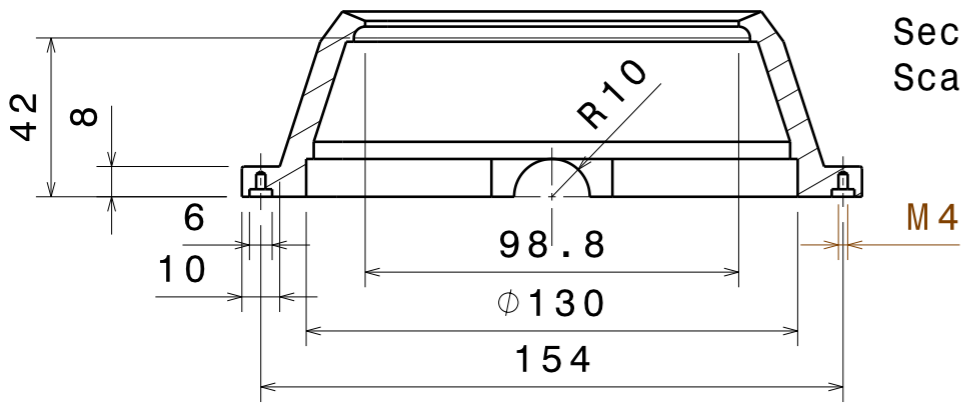


Section view A-A  
Scale: 1:2

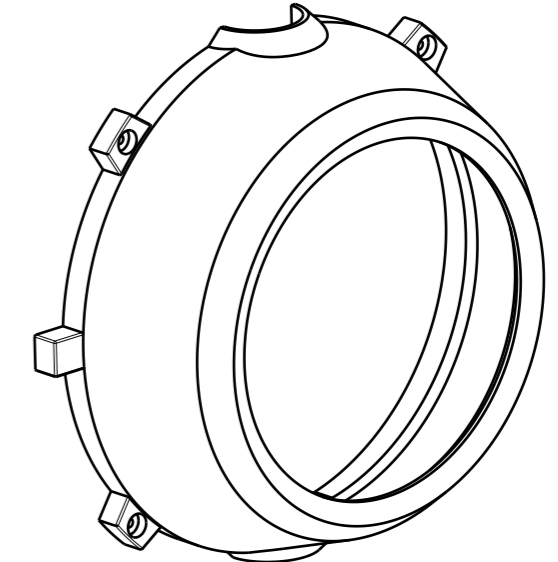


Section view C-C  
Scale: 1:2

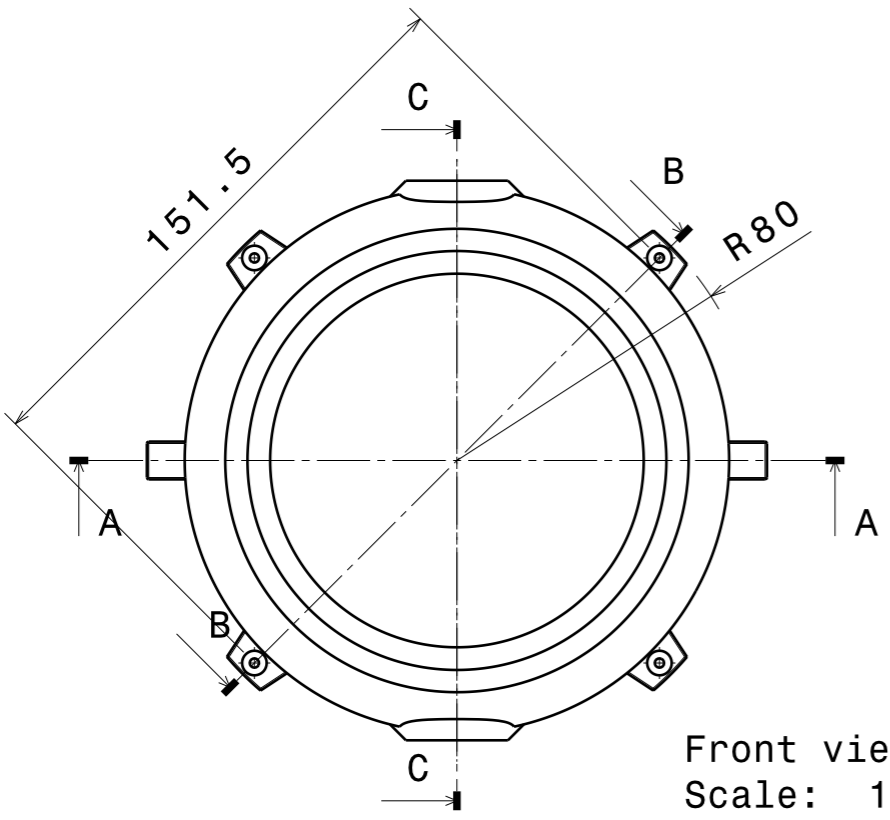
DRAWING TITLE		Sun housing A			
DRAWN BY k4tnyblo	DATE 03.05.2010	SIZE A3	DRAWING NUMBER 6	REV X	
CHECKED BY XXX	DATE xxx	SCALE 1:2	WEIGHT (kg) 0,00	SHEET 1/1	
DESIGNED BY XXX	DATE xxx				



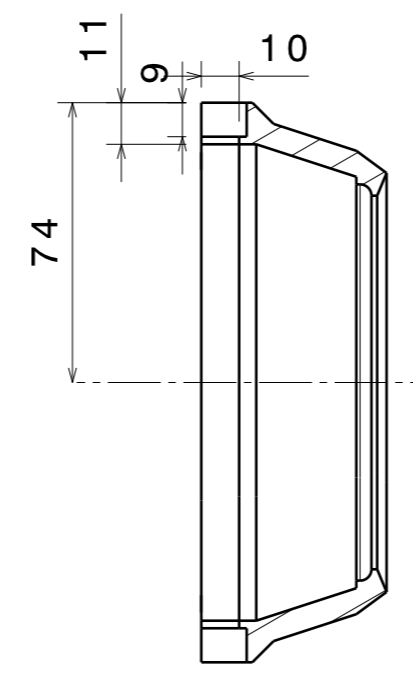
Section view A-A  
Scale: 1:2



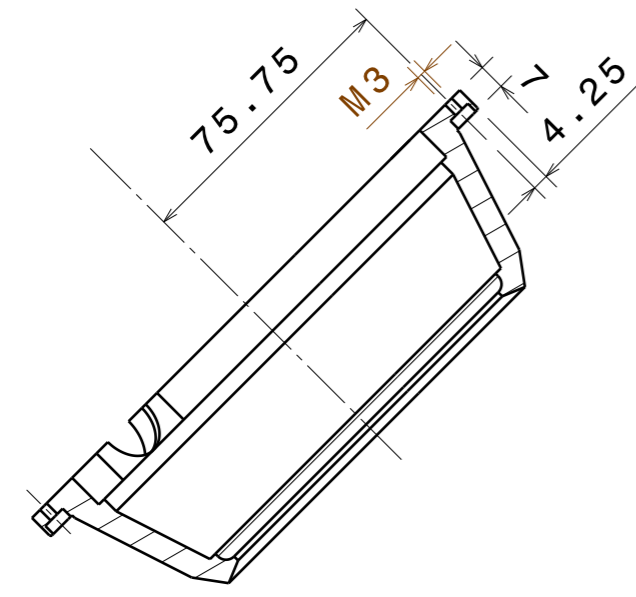
Isometric view  
Scale: 1:2



Front view  
Scale: 1:2



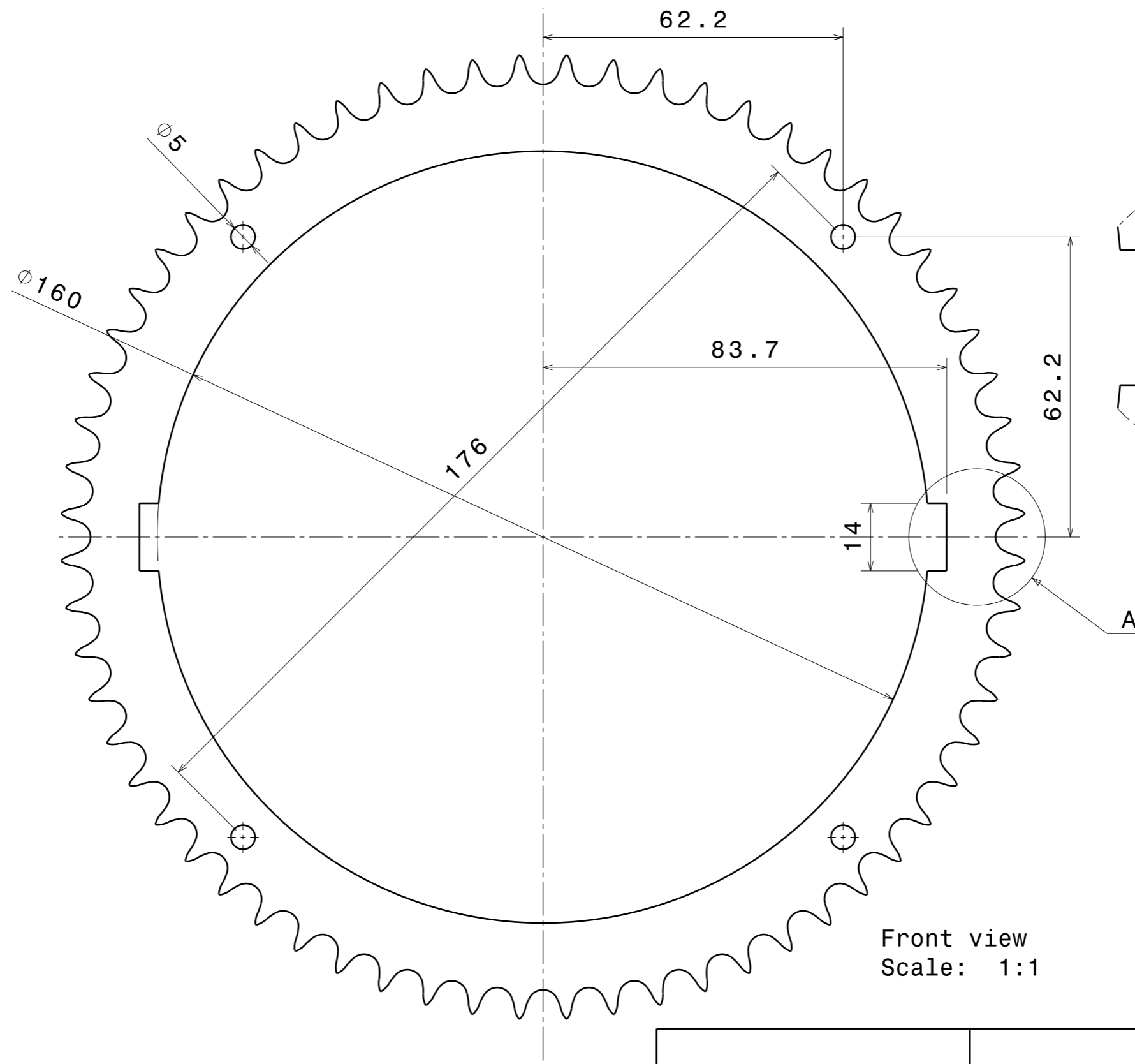
Section view C-C  
Scale: 1:2



Section view B-B  
Scale: 1:2

Liite 15

DRAWN BY <b>k4tnyblo</b>		DATE 03.05.2010	DRAWING TITLE <b>Sun housing B</b>			
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SIZE <b>A3</b>	DRAWING NUMBER <b>7</b>		REV <b>X</b>	
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SCALE <b>1:1</b>	WEIGHT (kg) <b>XXX</b>	SHEET <b>1/1</b>		

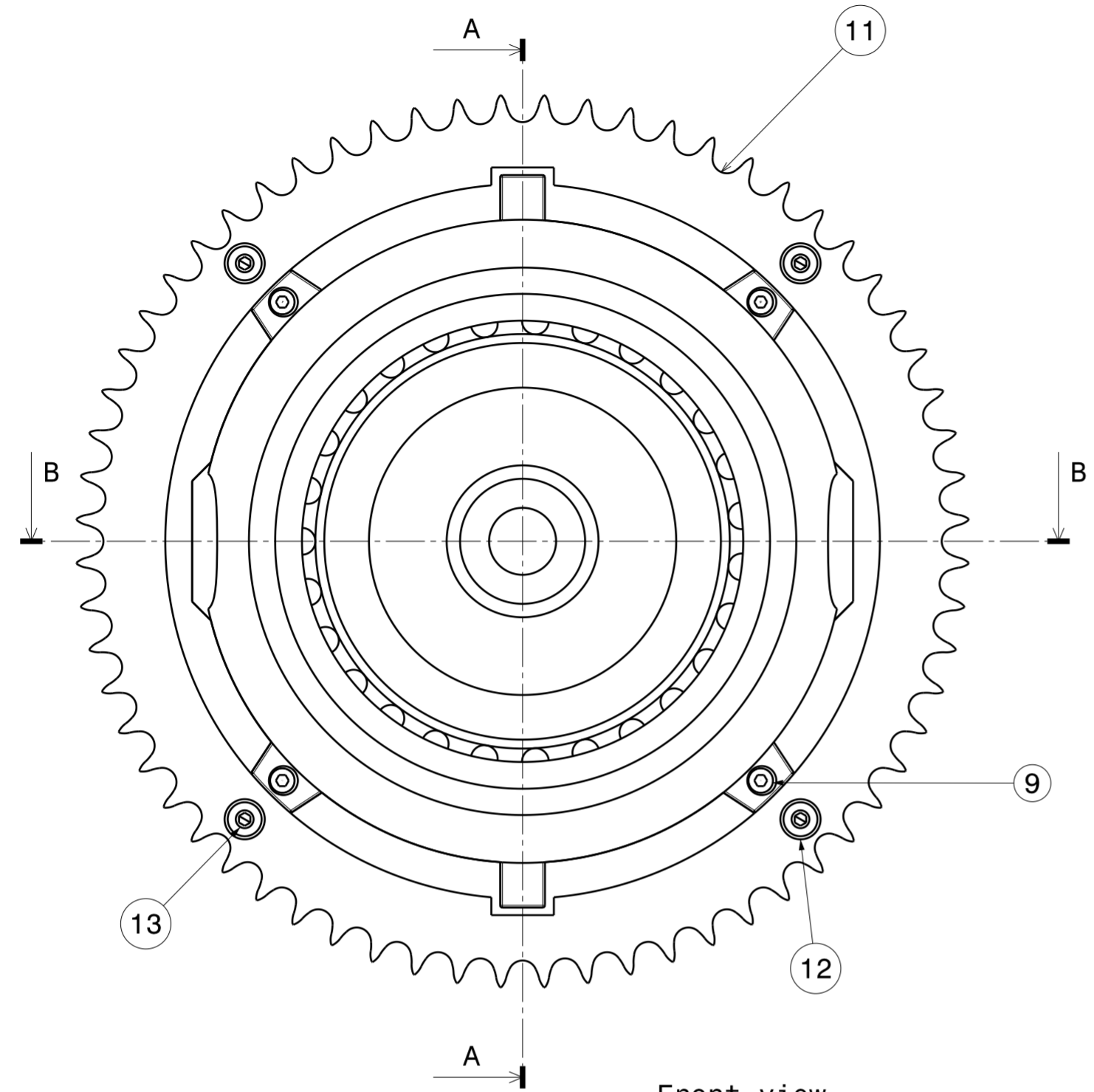


Left view  
Scale: 1:1

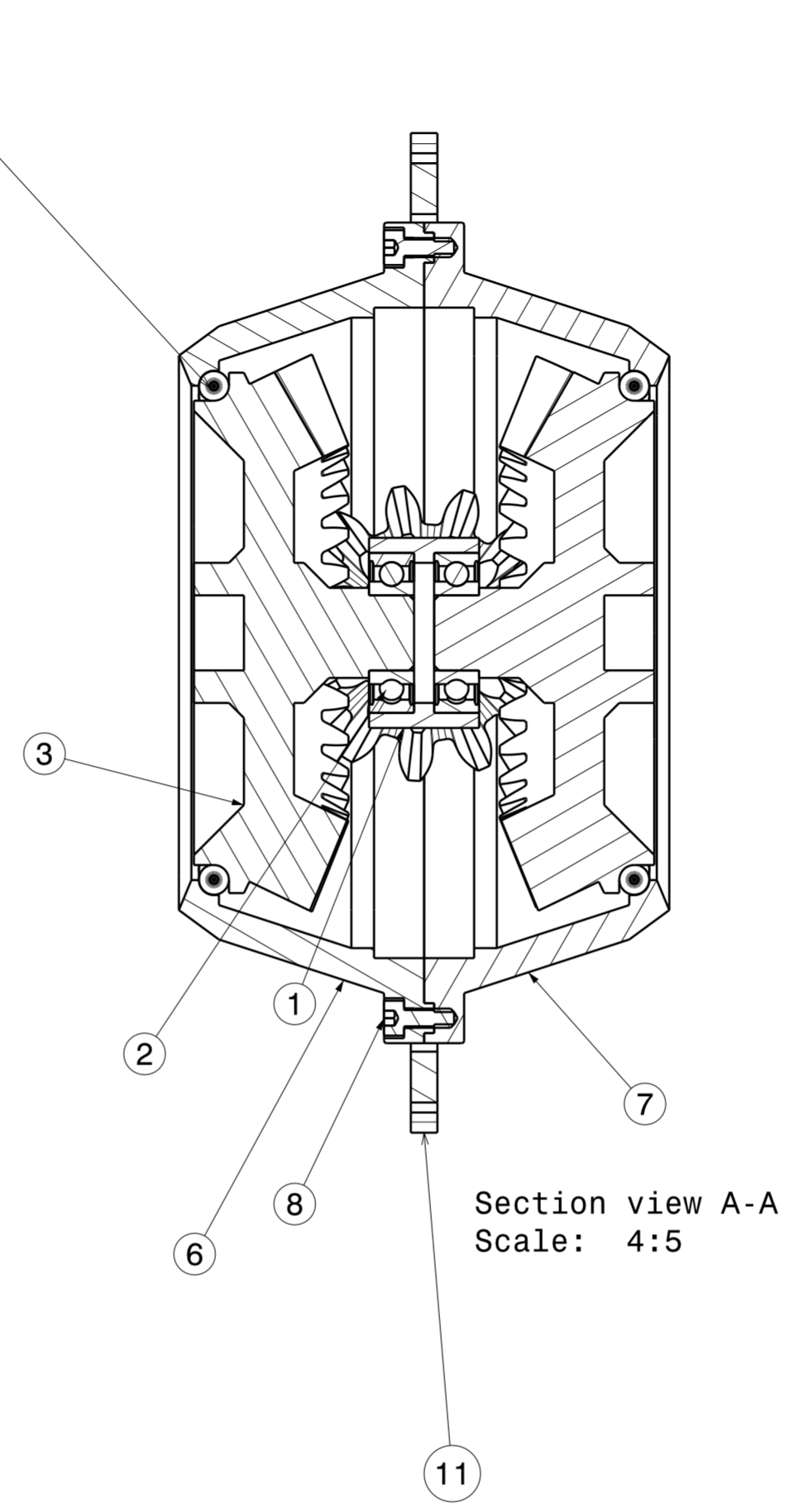
Front view  
Scale: 1:1

Detail A  
Scale: 2:1

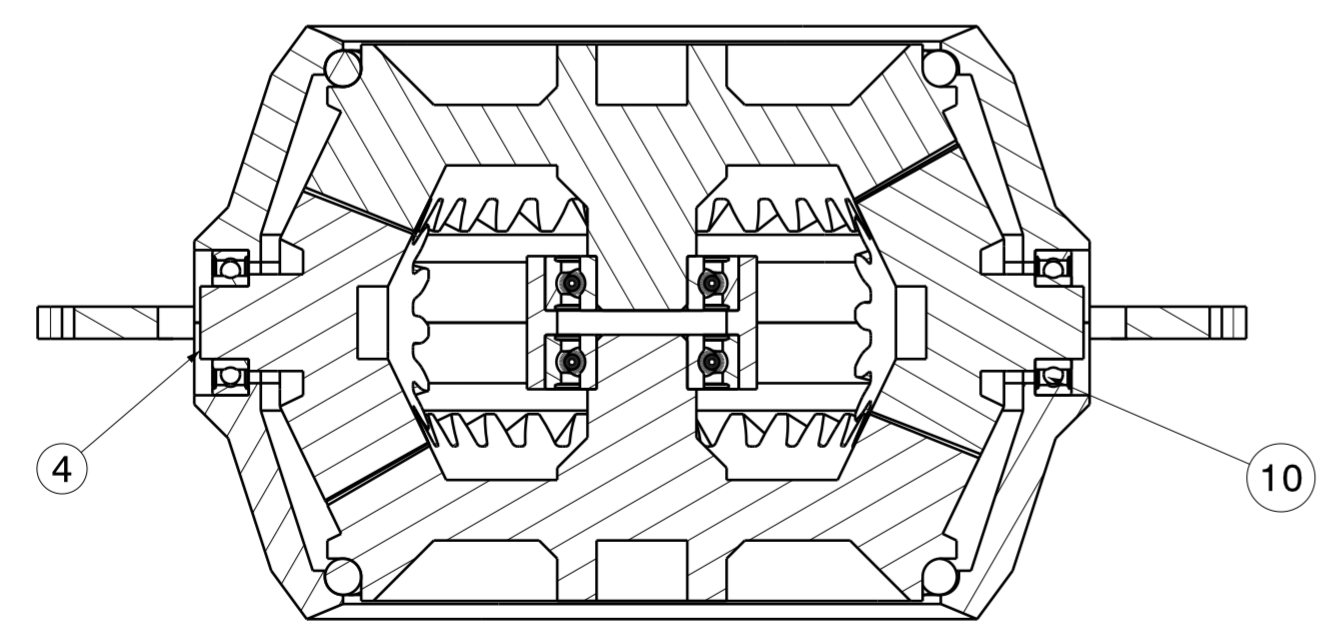
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY k4tnyblo		Drive sprocket			
DATE 03.05.2010		SIZE A3	DRAWING NUMBER 8		REV X
CHECKED BY XXX		DATE XXX		WEIGHT (kg) 0,36	
DESIGNED BY XXX		DATE XXX		SHEET 1/1	



Front view  
Scale: 4:5



Section view A-A  
Scale: 4:5

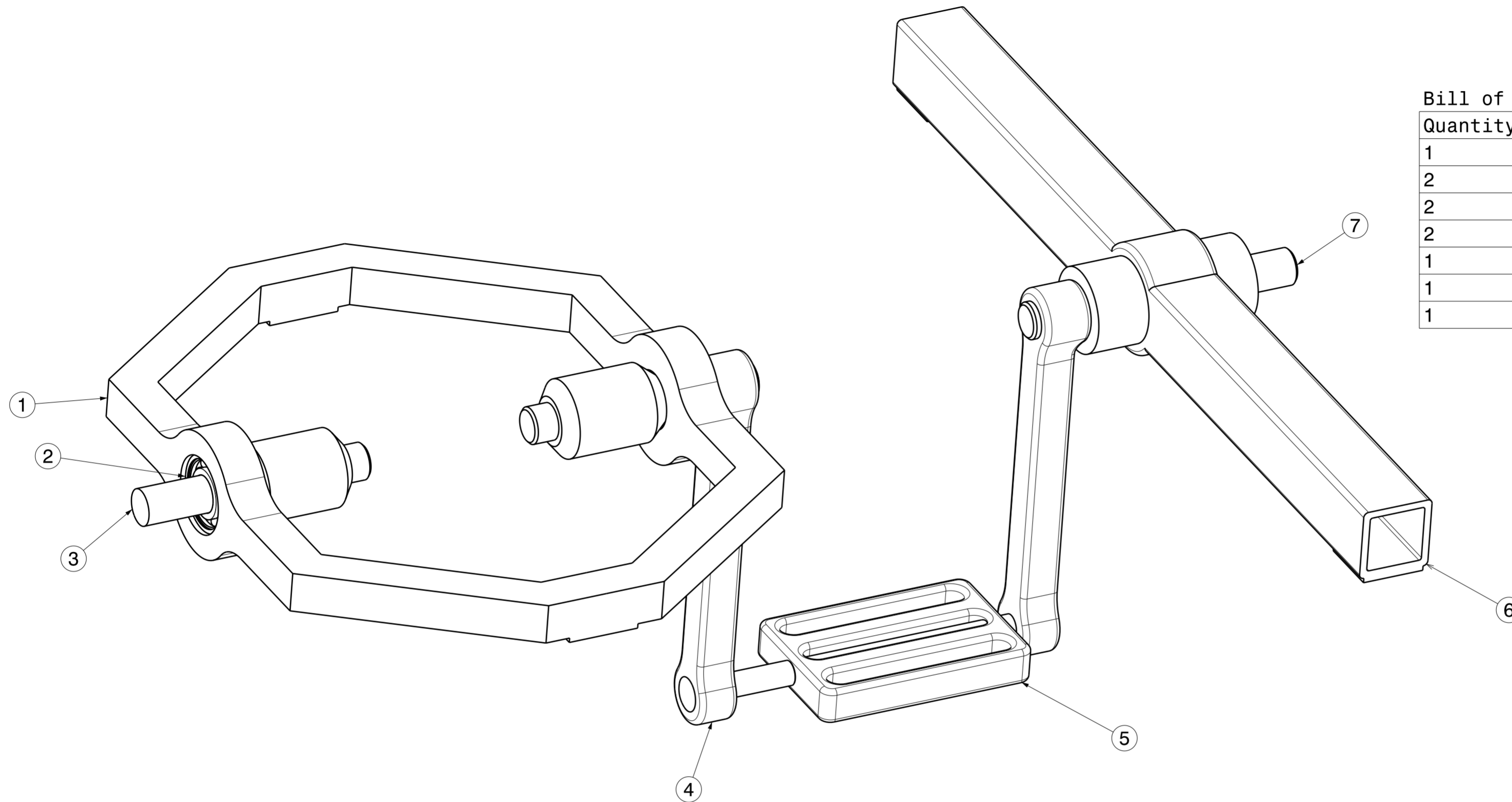


Section view B-B  
Scale: 4:5

Bill of Material: Differential Gear System

Quantity	Part	Number
1	central guide	1
2	6002_2_14b	2
2	ring gear	3
2	planet gear	4
1	kuula	5
1	sun_housin_a	6
1	sun_housing_b	7
2	ISO 4762 SCREW M4x10 STEEL HEXAGON SOCKET HEAD CAP	8
4	ISO 4762 SCREW M3x10 STEEL HEXAGON SOCKET HEAD CAP	9
2	61901_2_14b	10
1	drive_sprocket	11
4	ISO 7089 WASHER 4x9 STEEL GRADE A PLAIN NORMAL SERIES	12
4	ISO 4017 SCREW M4x10 STEEL GRADE A HEXAGON HEAD	13

DRAWN BY <b>k4tnyblo</b>		DATE 03.05.2010	DRAWING TITLE <b>Differential gear system, assembly</b>		
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SIZE <b>A2</b>	DRAWING NUMBER <b>9</b>		REV <b>X</b>
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SCALE <b>4:5</b>	WEIGHT(kg) <b>5,46</b>	SHEET <b>1/1</b>	



Isometric view  
Scale: 2:3

Bill of Material: Other parts

Quantity	Part	Number
1	Holding frame	1
2	6002_2_14b	2
2	Driven hub	3
2	Crank	4
1	Pedal	5
1	Frame	6
1	Drivers_crank_hub	7

DRAWN BY <b>k4tnyblo</b>		DATE 03.05.2010	DRAWING TITLE <b>Other parts</b>			
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SIZE <b>A2</b>	DRAWING NUMBER <b>10</b>		REV <b>X</b>	
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE xxx	SCALE <b>2:3</b>	WEIGHT(kg) <b>XXX</b>	SHEET <b>1/1</b>		