

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Muovitekniikan koulutusohjelma

Anssi Kostamo, Ville Tahvanainen

NOJAPYÖRÄN PROTOTYYPIN VALMISTUS JA SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATTIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2012**  
**Muovitekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 Joensuu  
p. (013) 260 6800

Tekijät

Anssi Kostamo, Ville Tahvanainen

Nimeke

Nojapyörän prototyypin suunnittelu ja valmistus

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa kolmipyöräisen nojapyörän prototyyppi. Tavoitteena oli saada mekaanisesti toimiva ja helposti hallittava nojapyörä opinnäytetyön ohjaajalle ja toimeksiantajalle, Jukka Tuloselle.

Nojapyörän suunnittelu alkoi rungosta, jossa tutkimus- ja kehitystyö perustui siihen, että tarkasteltiin jo olemassa olevia nojapyörämalleja, mutta kehitettiin kuitenkin täysin omiin tarpeisiin vastaava runko. Jokaiselle rungon kehitysvaiheelle suoritettiin lujuuslaskenta, jotta varmistuttaisiin sen kestävydestä kovassakin käytössä.

Rungon lisäksi täytyi suunnitella ja valmistaa ohjaukseen, jarruihin ja penkkiin liittyviä komponentteja. Ohjaukseen ja etupyörien kiinnitykseen liittyvien komponenttien koneistukset jouduttiin ulkoistamaan. Kaikki komponentit täytyi saada lisäksi toimimaan yhdessä.

Jatkokehitysmahdollisuutena on sähköavusteisuuden kehittäminen ja rungon valmistaminen hiilikuidusta. Myös nojapyörän muu kehittäminen esimerkiksi ajettavuuden parantamiseksi olisi mahdollista tulevaisuudessa.

Kieli

suomi

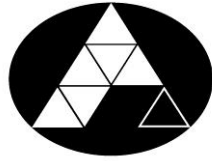
Sivuja 63

Liitteet 17

Liitesivumäärä 18

Asiasanat

mekaniikkasuunnittelu, 3D-mallinnus, nojapyörän valmistus



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**May 2012**  
**Degree Programme in Plastics**  
**Engineering**

Karjalankatu 3  
80200 Joensuu  
p. (013) 260 6800

Author(s)

Anssi Kostamo, Ville Tahvanainen

Title

Recumbent Trike Prototype Design and Manufacture

Commissioned by Jukka Tulonen

Abstract

The purpose of this thesis was to design and manufacture a recumbent trike prototype. The objective was to produce a mechanically operated and easy-to-manage recumbent trike for thesis supervisor and client, Jukka Tulonen.

Planning of the recumbent trike started from a frame, in which research and development was based on examining the existing recumbent trike models, but the development work was, however, done entirely to the client's specifications. For each stage of development of the frame finite element analysis was carried out in order to see its durability even in heavy use.

In addition to the frame also steering, brakes and components for the bench had to be designed and manufactured. Machining services for steering and the components of front wheel mounting had to be outsourced. The aim was to get all the components to work together.

Further development possibility would be electricity-assistive development and manufacturing the frame out of carbon-fiber. Further development of the recumbent trike, for example the possibility to improve the handling in the future.

Language

Finnish

Pages 63

Appendices 17

Pages of appendices 18

Keywords

recumbent trike manufacture, mechanics design, 3D modeling

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Käytetyt merkit, lyhenteet ja erikoissanat	
1 Johdanto.....	8
3 Tavoitteet.....	10
4 Nojapyörän suunnitteluun ja valmistukseen liittyvää teoriaa.....	11
4.1 MIG/MAG-hitsaus .....	11
4.2 TIG-hitsaus.....	12
4.3 Muototeräksen taivutus .....	14
4.4 Lujuuslaskenta.....	14
4.4.1 Yleistä .....	14
4.4.2 Nurjahdus .....	15
4.4.3 FEM-analyysi .....	16
4.5 Laakerit .....	18
4.5.1 Laakerin valinta.....	18
4.5.2 Laakeroinnin suunnittelu.....	18
4.5.3 Yksiriviset viistokuulalaakerit .....	19
4.6 Hydrauliset levyjarrut .....	19
4.7 Ohjausgeometria .....	20
5 Nojapyörän suunnittelu .....	22
5.1 Projektisuunnittelu .....	22
5.2 Tuotesuunnittelu.....	23
5.3 Sähköistys .....	38
5.4 Lujuuslaskenta ja sen vaikutus rungon suunnitteluun.....	38
6 Nojapyörän valmistus ja kokoonpano .....	42
6.1 Runko .....	42
6.2 Penkki.....	46
6.3 Renkaat ja ohjaus .....	48
6.4 Voimansiirto ja jarrut .....	53
6.5 Muut osat.....	54
7 Hienosäätö ja testaus .....	56
8 Opinnäytetyön arviointia .....	58
8.1 Suunnittelu .....	58
8.2 Valmistus ja kokoonpano.....	59
8.3 Raportointi .....	60

9 Pohdinta ja nojapyörän tulevaisuuden näkymät .....	61
Lähteet .....	63
Liitteet	

## Käytetyt merkit, lyhenteet ja erikoissanat

**Recumbent trike** - kolmipyöräinen nojapyörä.

**Nuijapää** - kolmirenkainen nojapyörä, jossa on kaksi rengasta edessä.

**FEM** eli finite element method (elementtimenetelmä) – tietokonepohjainen laskentamenetelmä, jolla voidaan analysoida rakenteita.

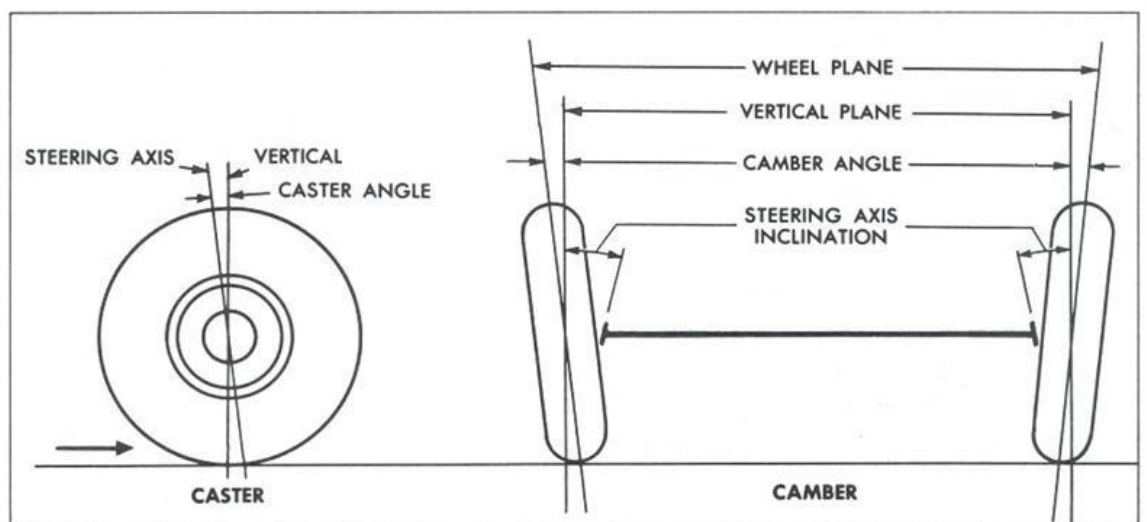
**Olkatappi** eli kingpin tai steering pivot axis - akseli jonka ympäri eturengas kääntyy.

**Renkaan sisäkallistuma** eli camber - pystysuoran ja renkaan sisäkallistuman välinen kulma.

**Olkatappin takakallistuma** eli caster - pystysuoran ja olkatappin takakallistuman välinen kulma (kuvassa 1 caster angle).

**Olkatappin sisäkallistuma** eli kingpin inclination – pystysuoran ja olkatappin sisäkallistuman välinen kulma (kuvassa 1 steering axis inclination).

**Nollapisteohjaus** eli center point steering – olkatappin sisäkallistuman kulma kohtaa renkaan keskikohdan maan pinnassa.



Kuva 1. Caster- ja camber-kulma [1].

**Nollapisteohjaus** - ohjaus jossa olkatappin linja jatkuu kohti eturenkaan ja maan kosketuspistettä.

**Suora ohjaus** - ohjaus jossa ohjaukshahvat ovat kiinnitettyinä suoraan eturenkaita kääntävään ohjausakseliin.

**Epäsuora ohjaus** - ohjaus jossa on jonkinlainen niveljärjestelmä ohjausakselin ja ohjauskahvojen tai -tangon välillä.

**Ackermann-ohjaus** – etupyöraohjauksen geometria, jossa käännettäessä sisempi etupyörä kääntyy jyrkemmin kuin ulompi etupyörä.

**Alaohjaus** - ohjaustanko tai -kahvat nousevat istuimen alta tai sen sivuilta ylöspäin.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheeksi saatiin nojapyörän suunnittelu, prototyypin valmistus ja testaus. Työ tehdään kahdestaan ja vastuualueet on jaettu karkeasti kahtia. Anssin vastuualueena on suunnittelu ja Villen valmistus. Heti alussa kuitenkin päätettiin, että jokaisessa opinnäytetyöprosessin vaiheessa molemmat ovat aktiivisesti mukana. Toimeksianto saatiin opettaja Jukka Tuloselta, joka myös toimii opinnäytetyön ohjaajana. Tarkoituksena on saada toimeksiantajalle toimiva prototyyppi nojapyörästä, josta myöhemmin on mahdollisesti tulossa varsinainen versio. Ohjausgeometrian huolellinen suunnittelu on yksi keskeisimmistä asioista toimivan nojapyörän aikaansaamiseksi. Prototyypin runko on tarkoitus tehdä teräsputkesta ja mahdollinen varsinainen versio olisi hiilikuitukomposiittirunkoinen. Prototyypin valmistuksessa ja suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon sen painoa, mutta tärkeää on saada siitä toimiva ja turvallinen.

Nojapyörän malli on ns. nuijapää eli siinä on kaksi pienempää rengasta edessä ja yksi isompi rengas takana. Kuvassa 2 on tämän tyyppinen nojapyörä, jonka on rakentanut opinnäytetyönä Lahden ammattikorkeakoulussa opiskellut Santtu Rantanen. Päärungosta on tarkoitus tulla yksiputkinen, mutta eturenkaille tulee oma poikkiputki ja takapyörälle tuettu haarukka. Kaikkien putkien paksuuden ja myös muiden tärkeiden osien määrittämiseen käytetään apuna lujuuslaskentaa. Lujuuslaskut suoritetaan PTC:n Creo 1.0 -ohjelmistolla. Jarrutusjärjestelmäksi on tarkoitus tehdä hydraulinen levyjarrujärjestelmä etupyöriin ja rumpujarru takapyörään. Ohjausmekanismiksi suunnitellaan todennäköisesti yleisesti käytetty epäsuora ohjaus, jossa ohjaus välittyy niveltankojen kautta. Ohjauskahvoihin tulee myös jarrukahvat. Ajoasento on nojatuolimainen tai jopa viistosti selällään makaava, kuten nojapyörissä on nimensä mukaan tapana käyttää. Nojapyörä mahdollistaa pienemmän ilmanvastuksen ja rennomman ajoasennon verrattuna perinteiseen polkupyörään.





Kuva 2. Santtu Rantasen nojapyörä Fly! [2, s. 58].

Työn on tarkoitus valmistua toukokuun 2012 loppuun mennessä, mutta työtä on paljon ja vastoinkäymisiä on odotettavissa. Pyörään käytetyt osat saadaan melko pitkälti tavallisen polkupyörän osista ja niitä muokkaamalla, mutta monissa kohdissa joudutaan valmistamaan ja valmistuttamaan osia. Runko saadaan putkesta taivuttamalla ja hitsaamalla. Osien liittämiseen käytetään hitsaus- ja pulttiliitoksia. Laakerien valitsemisen täytyy pohjautua tarkoituksenmukaisiin laskuihin. Laakereita käytetään eri kohdissa pyörää, kuten ohjauksessa ja pyörissä.

Lopullinen testaus on tarkoitus pitää toukokuun loppuun mennessä, jossa onnistunut suoritus arvioidaan hyvin onnistuneella ja turvallisella koeajolla. Pyörän täytyy muutenkin toimia tarkoituksenmukaisesti ja sen tulisi olla hyvänä pohjana lopulliselle nojapyörälle.

### 3 Tavoitteet

Tavoitteena on suunnitella ja valmistaa täysin toimiva, mutta yksinkertainen nojapyörän prototyyppi. Suunnittelun tarkoituksena on kehittää ja varmistaa riittävän luja rakenne kantamaan tarvittava kuorma ja kestäämään ulkoiset rasitukset. Suunnittelun tulee olla yksityiskohtainen ja tarkka, sekä jokaisen toteutustavan kohdalla tulee esitellä vaihtoehtoja ja miksi päädyttiin kyseiseen toteutustapaan.

Runko on tarkoitus valmistaa teräksestä, mutta koska kyseessä on prototyyppi, ei sen painolla ole suurta merkitystä. Rakenteen tulee olla riittävän yksinkertainen, jotta valmistaminen olisi mahdollisimman yksinkertaista ja edullista. Pyrkimyksenä on ottaa suunnittelussa huomioon myös turvallisuus tekemällä virheriskianalyysi (Failure Mode and Effect Analysis) sekä yleisesti miettimällä rakenteen ja valmistustavan mahdollisia turvallisuusriskejä. Virheriskianalyysi on tarkoitus suorittaa Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun laatutekniikan kurssilla (2011–2012) opitulla menetelmällä. Käytössä on kurssimateriaalista löytyvä taulukkopohja, mutta vastaavanlaisia on yleisesti käytössä. Tarkoituksena on löytää ja korjata mahdollisia riskejä nojapyörän suunnittelussa ja valmistuksessa virheriskianalyysiä tekemällä ja tulkitsemalla sitä.

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös pyörään mahdollisesti myöhemmin tuleva apusähkömoottori ja sille tarkoitetut oheislaitteet. Niiden tarvitsema tila, painon lisäys sekä voimansiirto vaikuttavat suunnitteluun.

Aikataulullisesti tämä projekti tulee olemaan haasteellinen, koska työtä on paljon ja pyörän pitäisi olla valmis jo keväällä. Aikataulut menevät sekaisin muiden koulutöiden vaatiessa omat aikansa. Valmistuksessa joudutaan turvautumaan suurelta osalta koneistuksista Pohjois-Karjalan aikuisopistoon sekä Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun koneistajiin. Koska opinnäytetyö on jatkuvan oppimisen projekti, niin tavoitteena on oppia mahdollisimman paljon hyödyllisiä asioita tulevaisuutta silmällä pitäen. Tarkoituksena on kehittyä 3D-mallinnuksessa sekä luku- ja laskennassa, saamaan kontakteja koulun ulkopuolelta sekä kehittämään yleisesti projektin hallinnasta. Myös kädentaitojen kehittämien on tavoitteena.

## 4 Nojapyörän suunnitteluun ja valmistukseen liittyvää teoriaa

### 4.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsausta pidetään nykyään eräänlaisena yleishitsausmenetelmänä, jota voidaan käyttää erilaisissa hitsaustöissä. Se soveltuu hyvin sarjatuotantoon ja on helposti mekanisoitavissa. [3, s. 301.]

MIG/MAG-hitsauksessa lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteen avulla kelalta tasaisesti hitsisulaan. Lisäainelangan paksuus on tyypillisesti 0,6 mm–1,6 mm. Valokaaren vaikutuksesta perusaine ja lisäainelanka sulavat. Tunkeumaa voidaan säätää hitsausvirtaa sekä langansyöttönopeutta muuttamalla ja vapaalangan pituutta muuttamalla. Hitsisula ja valokaari suojataan hitsauskohtaan johdettavalla suojakaasulla, joka voi olla aktiivinen tai inertti. MAG-hitsauksessa aktiivinen suojakaasu (esim. hiilidioksidi) reagoi hitsisulan kanssa, kun taas MIG-hitsauksessa inertti suojakaasu (esim. argon) ei reagoi sulan metallin kanssa. [3, s. 297.] Suojakaasu määräytyy hitsattavan metallin mukaan. Terästen (myös ruostumattomien terästen) hitsaus on MAG-hitsausta, kun taas ei-rautametallien hitsaus on MIG-hitsausta. [4, s. 159.]

MIG/MAG-hitsauslaitteiston muodostavat virtalähde, langansyöttölaite, hitsauspistooli ja suojakaasun virtaukseen liittyvät laitteistot. Virtalähteenä käytetään yleensä tassauntaajia, jotka ovat yleensä vakiojännitevirtalähteitä. Näissä virtalähteissä voidaan kaarijännite valita halutun kaarityypin, suojakaasun ja lisäainelangan paksuuden mukaan. Lisäainelanka syötetään lankakelalta polttimeen syöttöpyörästä avulla ja yleensä langansyöttö tapahtuu työntämällä. Hitsauspistoolin päässä olevan hitsauspolttimen tehtävä on johtaa lisäainelanka, suojakaasu ja hitsausvirta hitsattavaan kohteeseen. [3, s. 297–299.] Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen MIG/MAG-hitsauslaitteisto.



Kuva 2. MIG/MAG-hitsauslaitteisto.

#### 4.2 TIG-hitsaus

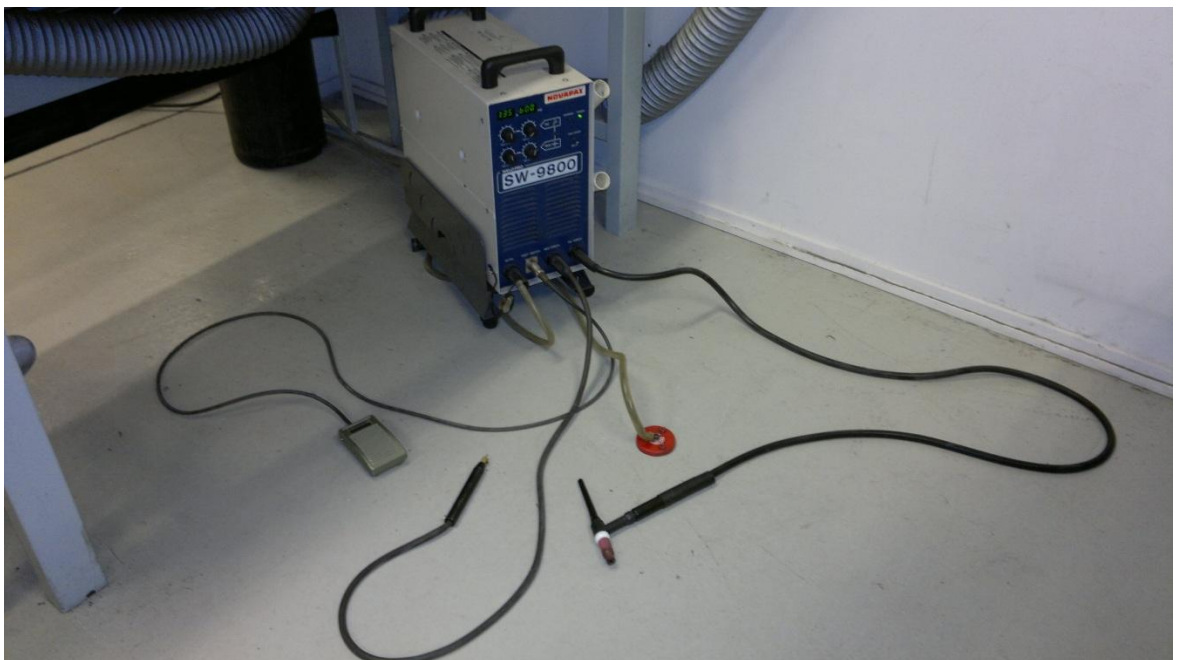
TIG-hitsausta käytetään pääasiassa kohteissa, joissa hitsataan ohuita ainevahvuuksia [3, 297]. Se on käytössä teollisuudessa tuotanto- ja korjausprosessina sekä tuotanto- että asennusolosuhteissa. Hitsattaviksi materiaaleiksi käyvät lähes kaikki metallit. [4, s. 255.]

TIG-hitsauksessa kulumattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä palaa valo-kaari suojakaasun ympäröimänä. Hitsatessa voidaan käyttää tarvittaessa lisäainetta, joka tuodaan sivulta lankana käsin tai koneellisesti. [3, s. 297.] Hitsaustapahtumaa suojaa

inerti suojakaasu, jona käytetään argonia tai heliumia. Samalla kaasu myös suojaa elektrodin kärjen hapettumiselta. Valokaaren lämpö sulattaa työkappaletta muodostaen hitsisulan. [4, s. 249.]

TIG-hitsauksessa käytetään yleensä tasavirtaa ja elektrodi kytketään negatiiviseen napaan, koska sulatetaan perusainetta elektrodin sijaan. Yleensä sytytysmuotona käytetään kipinäsytytystä, joka vaatii erityisen sytytyslaitteen. Valokaari syttyy suurjännitekipinällä pitämällä elektrodi lähellä työkappaletta. [4, s. 251.]

Laitteisto koostuu siis virtalähteestä, suurjaksolaitteesta ja ohjausyksiköstä, hitsauspolttimesta sekä kaasupullosta. Jalkakytkimellä tai polttimeen asennetulla kytkimellä ohjataan hitsausvirtalähdettä. Suojakaasu tuodaan paineenalennusventtiiliin ja määrämittarin kautta kaasupullosta ohjauslaitteessa olevaan magneettiventtiiliin, jonka avautuessa suojakaasu pääsee lopulta polttimeen. [3, s. 294.] Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen TIG-hitsauslaitteisto.



Kuva 3. TIG-hitsauslaitteisto.

### **4.3 Muototeräksen taivutus**

Pysyvän muodonmuutoksen aikaansaamiseksi kappaleen ulkoisen voiman tulee olla niin suuri, että myötöraja ylittyy. Myötörajan ylityttyä syntyy muodonmuutoksia, jotka eivät enää palaa ennalleen. [5, s. 61.]

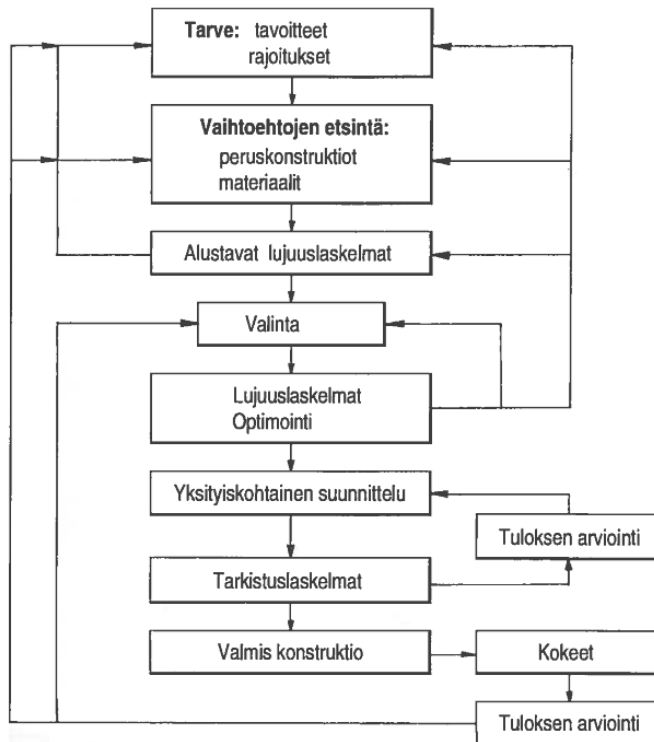
Muototeräksen taivutus tapahtuu joko kylmänä tai kuumana riippuen poikkileikkauksen koosta ja muodosta. Muototeräksiä kylminä taivuttaessa esiintyy haittatekijänä takaisinjousto. Lisäksi muototeräksen kohdalla vaikeuttavana tekijänä on poikkileikkauksen muodonmuutos. Kyseinen ilmiö vaatii työkalut, jotka tukevat muototerästä taivutuksen aikana niin, ettei tätä muodonmuutosta pääse tapahtumaan. Putket ovat muototeräksistä oma ryhmänsä erilaisine putkentaivutuskoneineen. Nämä koneet toimivat siten, että putki säilyy pyöreänä sen kaikissa taivutusvaiheissa. [3, s. 277–279.]

Kappaletta taivutettaessa sen muodonmuutoskohtaan syntyy erilaisia jännityksiä. Taivutettavan kohdan ulkoreunaan syntyy venytystä ja sisäreunaan puristusta. Ulkoreunan ainevahvuus ohenee taivutuskohdasta tyypillisesti 10–20 %. Ainevahvuuden ohentuessa neutraalitaso siirtyy kohti sisäreunaa. Poikkipinnan keskiosaa kutsutaan neutraalitasoksi, koska ainekerrokseen ei synny jännityksiä ja se pysyy muuttumattomana. [5, s. 61–62.]

### **4.4 Lujuuslaskenta**

#### **4.4.1 Yleistä**

Lujuusopillinen suunnittelutehtävä etenee lyhyissä jaksoissa ja tarvittaessa toistaen kunnes tulokset ovat hyväksytyjä. Tämä johtuu rakenteiden monimutkaisuudesta ja siitä, että kaikkia suunnitteluparametreja ei pysty pitämään muuttujina laskelmissa. [6, s. 19.]



Kuvio 1. Lujusopillisen suunnitteluprosessin vaiheet [6, s. 19].

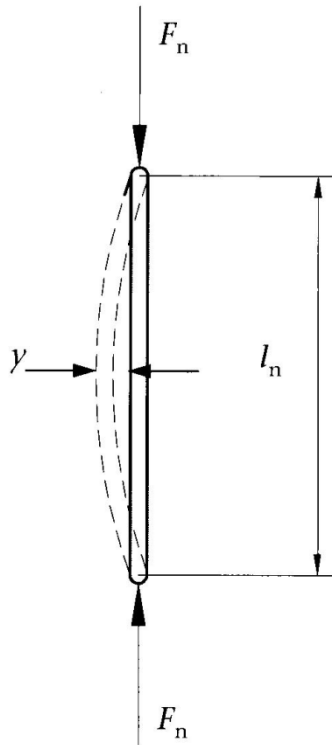
Lujusoppi ottaa kantaa siihen, kuinka rakenneosat mitoitetaan ja ettei kuormittaessa ylitetä materiaalikohtaista myötörajaa. Materiaalin sallittu jännitys kuormituksessa saadaan jakamalla myötölujuus varmuusluvulla. Varmuusluvulla pyritään varmistamaan, ettei myötöraja ylitä lievässä ylikuormitustilanteessakaan. [7, s. 64.]

Kun kappaleeseen kohdistuu voimia, siihen syntyy jännityksiä ja tiettyihin kohtiin syntyy jännityshuippuja. Jännityshuiput ovat jännityksen keskittymiä, joita esiintyy kappaleen muodonmuutoksissa tai epäjatkuvuuskohtissa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kappaleen käyristyminen, akselin olakkeet ja kiilaurat tai kappaleessa olevat reiät. [8, s. 131.]

#### 4.4.2 Nurjahdus

Jos pitkää ja hoikkaa sauvaa puristetaan kokoon kasvavalla voimalla, jossain vaiheessa sauva menettää varsin nopeasti tasapainonsa ja taipuu voimakkaasti. Tätä ilmiötä nimitetään nurjahdukseksi. On helppo ymmärtää, että sauvan nurjahdamiseen tarvittava voima on yleensä paljon pienempi kuin voima, jolla materiaali saavuttaa puristusmyötörajan. [8, s. 114.]

Nurjahdustapahtuma on esitetty kuvan 4 mukaisen rakenteen avulla. Kuvan tapahtumassa sauvaan on kehittymässä nurjahdus ja siihen syntyy samalla myös siirtymä  $y$ . Tällöin hyvinkin pienen voiman  $F_n$  lisäys aiheuttaa suurta siirtymän kasvua ja se aiheuttaa nopean sauvan hajoamisen. Voiman pienentyessä sauva palautuu taas suoraksi. Tästä tapahtumasta pystytään määrittämään kriittinen kuormitus  $F_n$ . Voima  $F_n$  on maksimi voima, jonka sauva pystyy vastaanottamaan nurjahtamatta. [8, s. 114.]



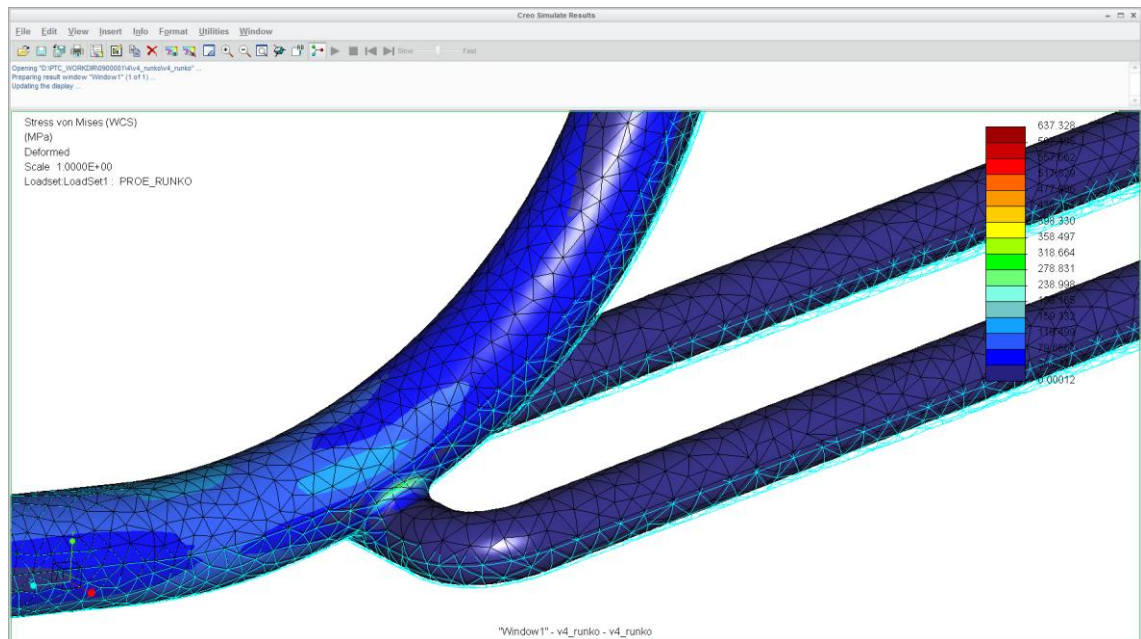
Kuva 4. Nurjahdus [8, s. 114].

#### 4.4.3 FEM-analyysi

FEM (Finite Element Method) eli elementtimenetelmä on tietokonepohjainen analysointiväline, jolla pystytään tekemään likimääräisratkaisuja kaikenlaisten kappaleiden ja kokonaisuuksien jännitysten laskennasta. Elementtimenetelmässä rakenne on jaettu pienempiin osiin eli elementteihin. Nämä elementit on kytketty solmupisteiden avulla toisiinsa. Elementit ovat useimmiten kolmion muotoisia, mutta yhdistelemällä niitä ja tihentämällä tai harventamalla niiden kokoa tarpeen mukaan kyetään mallintamaan lähes millaisia muotoja tahansa. [8, s. 148.] Kuvassa 5 näkyy elementtirakenne, joka on muodostettu kolmioista.



FEM-mallia voidaan kuvitella jousien muodostamaksi systeemiksi. Kun siihen vaikuttaa ulkoinen kuorma, systeemin kaikki elementit (jouset) muuttavat muotoaan kunnes systeemi on jälleen tasapainossa. Rakenteen jokaista elementtiä kohden voidaan kirjoittaa tasapainoyhtälöt, jotka yhdistetään yhteensopi-  
vuusehtojen avulla solmupisteissä. [8, s. 148.]



Kuva 5. Esimerkki elementtimallista.

## 4.5 Laakerit

### 4.5.1 Laakerin valinta

Jokaisella laakerimallilla on erikoisominaisuutensa, joiden takia se soveltuu nimenomaan tiettyihin laakerointeihin. Laakerimallin valinnassa ei kuitenkaan voida esittää mitään yleispäteviä sääntöjä, koska useimmiten on otettava huomioon monet tekijät ja punnittava näitä keskenään. [9, s. 18.]

Tila on yksi laakerimallin valintaan vaikuttava asia. Laakeroinnin rakenteesta määräytyy yleensä laakerin päämitat, esimerkiksi sisähalkaisija. Päämitat määräävät sitten taas omalta osaltaan sen, minkä mallinen laakeri on sopivin. Lisäksi laakerin mallin valintaan vaikuttavia asioita ovat kuormituksen suuruus ja suunta tai suunnat. Myös akselin yhdensuuntaiseron suuruus vaikuttaa siihen, minkä mallisen laakerin voi valita. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat pyörimisnopeus, tarkkuus, äänetön käynti, jäykkyys, aksiaalisiirtävyys sekä asennus ja irrotus. [9, s. 19–26.]

Laakerimallin lisäksi laakerin koko liittyy laakerin valintaan. Tähän vaikuttavia asioita ovat vaadittu kantokyky, kestoikä ja käyttövarmuus sekä tietysti tila. Laakerin kantokyvyn suuruuteen vaikuttaa suoraan kuormituksen suuruus. Kestoiällä tarkoitetaan joko kierrosmäärää tai käyttötunteja tietyllä vakio pyörimisnopeudella. [9, s. 27.]

Hyvin valittu laakerimalli ja laakerikoko helpottavat laakeroinnin asennusta sekä varmistavat laakeroinnille riittävät ominaisuudet suunniteltuun tilanteeseen. Oikein valitut ja asennetut laakerit takaavat hyvän käyttövarmuuden ja kestoian.

### 4.5.2 Laakeroinnin suunnittelu

Laakeroinnin kohteena on yleensä laite, jossa on pyörivä akseli. Akseli vaatii yleensä kaksi laakeria, jotka kantavat ja ohjaavat sitä esimerkiksi laakeripesään nähden säde- ja aksiaalisuunnassa. Toinen laakeri on ns. ohjaava laakeri, joka kantaa koneenosaa säteen suunnassa ja ohjaa sitä aksiaalisesti molempiin suuntiin. Siksi sen on oltava kiinni akselissa ja laakeripesässä sivusuunnassa esimerkiksi muttereilla tai sokilla. Toinen laakeri taas on ns. vapaalaakeri, joka ohjaa vain säteen suunnassa. Sen on mahdollistettava siirtymä aksiaalisuunnassa niin, että laakerit eivät purista toisiaan. [9, s. 66.]

Laakereiden säteiskiinnityksen täytyy olla hyvä joko akselilla tai laakeripesässä, jotta laakerit eivät pyörisi sovitepinnoilla. Jos laakerirenkaat pääsevät pyörimään, ne voivat vahingoittaa laakereita tai viereisiä koneenosia. Säteiskiinnitys tapahtuu reiälle ja ulkohalkaisijalle annettujen toleranssien avulla. Sopivilla toleransseilla saadaan aikaan sovite esimerkiksi laakeripesälle ja laakerin ulkokehän välille, joka toimii säteiskiinnityksenä ja pitää laakerin oikeassa asennossa laakeripesällä. [9, s. 68–71.]

### 4.5.3 Yksiriviset viistokuulalaakerit

Yksirivistä viistokuulalaakeria käytetään tyypillisesti käyttöolosuhteissa, joissa laakerin täytyy kestää suuria pyörimisnopeuksia ja aksiaalikuormia sekä silloin kun tarvitaan hyvää lämmönkestoa ja pitkää huoltoväliä. Tyypillisiä yksirivisen viistokuulalaakerin käyttökohteita ovat erilaiset tuulettimet ja vaihteet. Lisäksi tällaista laakeria käytetään yleisesti myös esimerkiksi polkupyöriteollisuudessa.

Yksirivinen viistokuulalaakeri pystyy kantamaan aksiaalikuormituksia vain yhteen suuntaan. Säteiskuormituksella laakerissa muodostuu aksiaalivoima, jota tasapainottamaan tarvitaan vastavoima. Laakeri tuetaan tämän vuoksi toista laakeria vasten. [9, s. 173.]

Laakerit ovat itsestään koossa pysyviä (niitä ei siis voida purkaa), ja ne soveltuvat suhteellisen suurille pyörimisnopeuksille. -- Pareittain asennusta käytetään, kun yksittäisen viistokuulalaakerin kantokyky ei ole riittävä (peräkkäisjärjestelmä) tai kun laakeroinnin on pystyttävä kantamaan aksiaalikuormituksia kumpaakin suuntaan, niin että on tietty aksiaalivälitys. [9, s. 173.]

## 4.6 Hydrauliset levyjarrut

Hydraulisia levyjarruja alettiin kehittää ja valmistaa, kun ajoneuvoteollisuus vaati menetelmää, jolla jarrutusteho saataisiin välitettyä käyttäjältä kohteeseen ilman kitkaa. Jarrutus täytyi saada välitettyä niin, että jousitus ja ohjaus toimivat siitä riippumatta. Hydrauliiikan käyttö jarrujärjestelmässä mahdollisti lisäksi tehokkaamman jarrutuksen. Hydraulisten jarrujärjestelmien käyttö on laajentunut ajoneuvoteollisuudesta monille eri

aloille. Levyjarruja valmistetaan sekä yksi- että monilevyisinä. Yleisimmin käytetään ns. osalevyjarruja, joita näkee lähinnä ajoneuvoissa sekä erilaisista teollisuusovelluksista. Jarrutusvoima syntyy, kun jarrusatula puristaa jarrupaloja jarrulevyä vasten. Puristus tapahtuu joko hydraulisylintereillä tai jousitoimisesti. Jos kohteessa tarvitaan säätötarkkuutta, niin puristuksen vaatima voima välitetään hydraulisesti. [10, s. 28.]

Koska jarrutuksessa kaikki energia muutetaan lämmöksi, lämmön johtuminen pois jarrusta muodostuu usein ongelmaksi. Jäähdytyksen tehostamiseksi voidaan jarrulevyyn tehdä uria tai reikiä. Käyttämällä paksumpaa levyä tai kasvattamalla sen halkaisijaa voidaan saada levyn lämpökapasiteetti kasvamaan. Lisäksi kasvattamalla levyn halkaisijaa saadaan lämpöä pois johtavaa pinta-alaa suuremmaksi ja siten myös vähennetään jarrutuksessa syntyvää energiaa pinta-alayksikköä kohden. [10, s. 28.]

Levyn halkaisijan kasvattaminen parantaa samalla myös jarrukäytön lineaarisuutta, koska jarrupalojen ja levyn välisen kitkan muutos lepo- ja liikekitkan välillä tapahtuu pienemmällä akselin kulmanopeudella. Kitkamateriaalien yksi tavoiteltava ominaisuus olisi lepo- ja liikekitkan arvojen mahdollisimman pieni ero. Jarrupalojen kitkamateriaalina käytetään nykyisin joko orgaanisiin kitkamateriaaleihin ja niiden metalliseoksiin perustuvia materiaaleja tai sintrattua pronssia. Näiden materiaalien ja vastapinnan väliseen kitkakertoimeen vaikuttavat myös mm. lämpötila ja liukunopeus. [10, s. 28.]

#### **4.7 Ohjausgeometria**

Ohjausgeometrian oikeanlainen suunnittelu ja toteutus ovat yksi keskeisimmistä asioista hyvän ajokokemuksen aikaansaamiseksi. Nojapyörän tyyppi, koko ja käyttötarkoitus vaikuttavat vahvasti siihen, minkälainen ohjausgeometria olisi sopivin. Nojapyörän ohjausgeometria ja sen vaikutukset ohjattavuuteen muistuttavat hyvin paljon autojen ohjausgeometriaa.

Auraus ja haritus tarkoittavat eturenkaiden kulmaa pituusakseliin nähden. Renkaiisiin asetetaan joko aurausta tai haritusta, jotta renkaat saadaan pyörimään yhdensuuntaisina ja helpottamaan ohjauksen palautumista pienillä kääntökulmilla. Pyörän kulmat on pidettävä mahdollisimman pieninä, jotta vierintävastus ja renkaiden kuluminen pysyy mahdollisimman pienenä. [11, s. 7.]

Camber-kulma eli renkaan sisäkallistuma kuvaa kulmaeroa eturenkaan pyörintätason kulmaeroa pystysuoraan nähden [12, s. 11]. Camber on positiivinen, kun renkaiden yläreunat ovat kääntyneet ulospäin [11, s. 8].

Camber-kulma ei yksinään vaikuta ajo-ominaisuuksiin, vaan sen vaikutus yhdistyy muiden kulmien kanssa. Kaarreajossa negatiivisella camber-kulmalla saavutetaan hyvä renkaan sivuttaispitokyky, ja positiivisella arvolla sivuttaispitokyky heikkenee. Kun camber-kulma on positiivinen, niin kuormituksen kasvaessa kulma pienenee ja renkaan epätasainen kuluminen vähenee, liian suuri camber-kulma lisää voimakkaasti renkaan kulumista. Positiivinen camber-kulma vähentää tien epätasaisuuksista johtuvia ohjauslaitteisiin kohdistuvia tärinöitä. Positiivinen camber-kulma aiheuttaa renkaan pintaan esijännitystä, joka poistaa laakerivälyksistä johtuvia haittoja. [11, s. 9.]

Caster-kulmalla eli olkatapin takakallistumalla tarkoitetaan kulmaa, jonka olkatappi muodostaa pystysuoraan nähden. Kun olkatappi on kallistettu taaksepäin, eli olkatapin kautta piirretty akseli kohtaa maan pinnan eturenkaan etupuolella, on caster positiivinen. Positiivinen caster lisää eturenkaiden ja samalla ohjauksen keskittymistä parantaen suoraminaisuuksia. Tyypillisesti nojapyörissä käytetään noin  $5\text{--}15^\circ$  olkatapin takakallistumaa. [12, s. 11.]

KPI eli Kingpin Inclination on olkatapin sisäkallistuman ja pystysuoran välinen kulma. Kun olkatapin akselin kautta kulkevan linjan osuessa maahan eturenkaan keskikohdassa edestäpäin katsottuna, puhutaan nollapisteohjauksessa. [12, s. 14–15.]

KPI:llä on suuri merkitys auton ohjauksen kannalta, sillä sen vaikutus ohjauksen palautuvuuteen on suuri pienillä kääntökulmilla. Kun suoraan ajettaessa käännetään rattia, niin KPI:n vaikutuksesta auton kori nousee ylöspäin. Kun rattista päästetään irti, niin auton paino kääntää renkaat suoraan. [11, s. 10.]

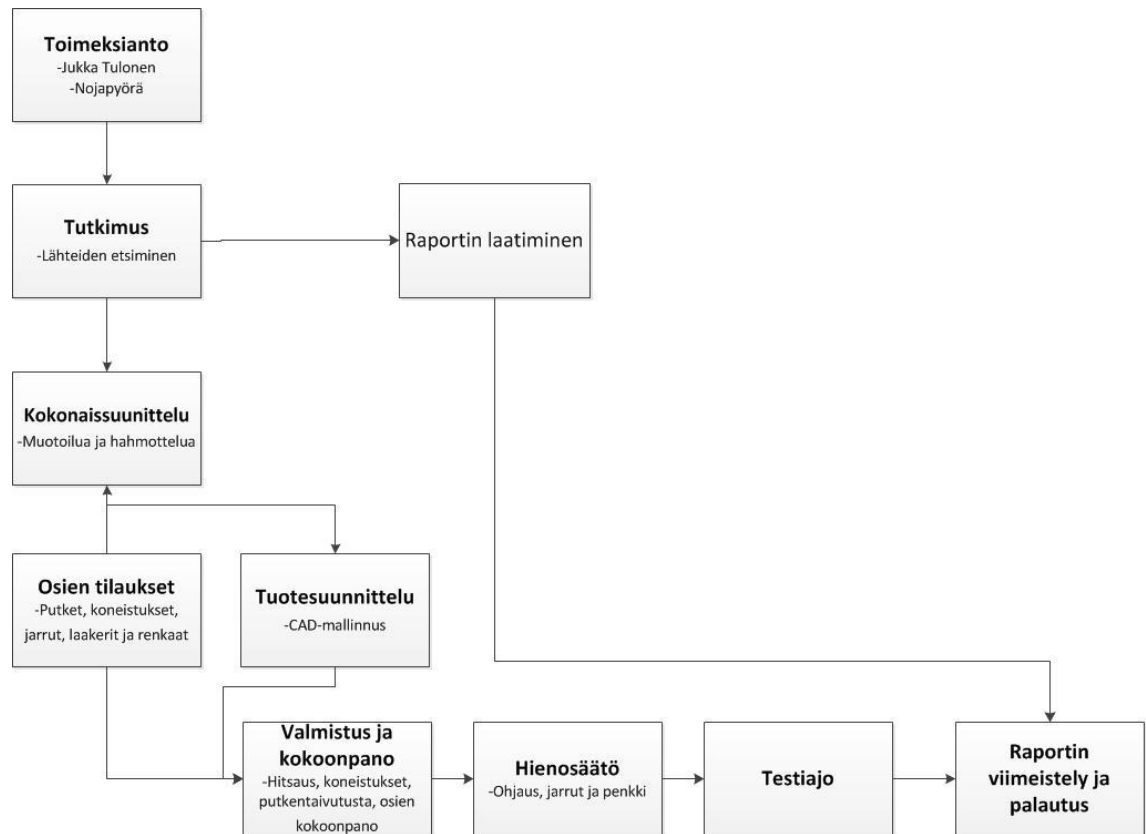
Kun esimerkiksi autolla käännyttään mutkassa, täytyy ulomman renkaan kääntyä suuremmalla säteellä kuin sisemmän renkaan, jotta kääntyminen olisi optimaalista. Ackermann-ohjauksessa sisempää rengasta käännetään enemmän kuin ulompaa, jolloin aikaansaadaan optimaalinen ohjaus käännoksissä. Tämä toteutetaan niin, että ohjausvarret ovat linjassa takarenkaan napaa kohti. Täydellinenkin Ackermann-ohjaus ei takaa täydellistä ohjattavuutta, vaan yleensä suositaan hieman pienempää Ackermann-kompensaatiota vähentämään yliohjautuvuutta. [1, s. 37–38.]

## 5 Nojapyörän suunnittelu

### 5.1 Projektisuunnittelu

Opinnäytetyöprojektin suunnitteleminen aloitettiin heti toimeksiannon varmistuttua ja alustava aikataulu laadittiin Microsoft Project -ohjelmistolla, joka löytyy liitteestä 2. Aluksi arvioitiin projektin vaiheet ja luotiin vuokaavio (kuvio 1). Lisäksi arvioitiin myös tarvittavat materiaalit, laitteet ja koneistus ja muu alihankinta, joita mahdollisesti tarvitaan. Tiettyjen osien, kuten jarrujen ja laakereiden ostoa täytyi lisäksi miettiä. Osien hintaa tai tarkempia ominaisuuksia ei vielä tässä vaiheessa ollut tiedossa.

Ennen tarkempaa suunnittelua ja valmistusta tehtiin virheriskianalyysi niin suunnittelua kuin valmistustakin ajatellen (liite 1). Tällä tavalla pyrittiin etsimään mahdollisia riskejä ja ongelmia. Virheriskianalyysissä arvioitiin, että hitsausaumojen tekemisessä ja jarrujen asennuksessa täytyisi tehdä lisätoimenpiteitä riskien vähentämiseksi. Toimenpiteiksi suunniteltiin hitsausaumojen tarkastelua ja testaamista sekä kaksi toisistaan erillistä jarrujärjestelmää nojapyörän jarruiksi. Lisäksi jos jarrujärjestelmä puretaan osiin, sen asentamisen tekisi ammattilainen. Tällainen voisi tulla kyseeseen, jos esimerkiksi hydraulisen jarrujärjestelmän purkaa osiin.



Kuvio 1. Prosessikuvauksen vuokaavio.

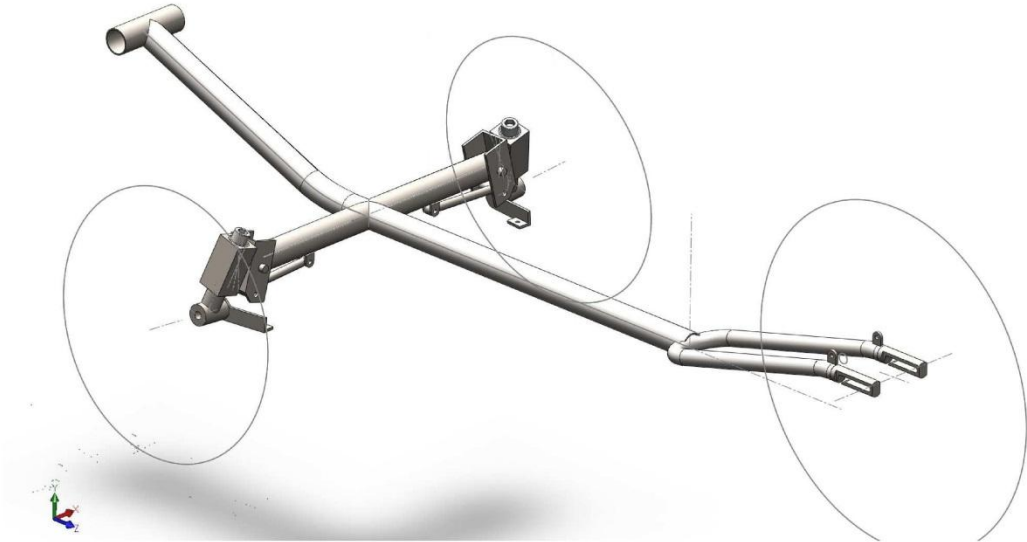
Projektin edetessä tuli vastaan useita viivytyksiä ja vastoinkäymisiä. Tästä johtuen suunniteltua aikataulua jouduttiin muuttamaan aika ajoin. Jatkuva aikataulun päivittäminen koettiin turhaksi, joten tarkan aikataulun ylläpitäminen lopetettiin. Ainoana aikatauluna pidettiin projektin valmistumista toukokuun 2012 loppuun mennessä.

Opinnäytetyöprojektin alussa keskusteltiin toimeksiantajan kanssa budjetista, mutta tarkempaa rahamäärää ja maksajaa ei ollut tiedossa. Kustannukset pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, tinkimättä kuitenkaan liikaa laadusta.

## 5.2 Tuotesuunnittelu

Nojapyörän suunnittelu aloitettiin hahmottelemalla rakenteita ja muotoja, jotka olisivat helposti toteutettavissa ja riittävän lujia. Ensimmäiset suunnitelmat rungosta tehtiin jo ensimmäisen viikon aikana opinnäytetyöprosessin alettua. Aluksi suunnitteluun käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa, ja tarkoituksena oli hahmotella rungon muotoilua ja erilaisia liitos- ja rakennustapoja. Kuvassa 6 on ensimmäinen hahmotelma nojapyörästä. Täs-

sä vaiheessa suunnitelmissa oli vielä säätävä renkaiden sisäkallistuma, mutta sen todettiin olevan turhaa ja hankala valmistaa.



Kuva 6. Ensimmäinen versio nojapyörästä.

Päärunko oli ensimmäisestä versiosta lähtien 50 mm teräsputkea. Poikkiputki, joka on myös 50 mm teräsputkea ja takahaarukka, joka on 30 mm putkea, suunniteltiin taivutettavaksi kuvan 7 muotoiseksi. Näiden putkikokojen uskottiin olevan riittävän lujia 2 mm:n seinämävahvuudella. Myös rungon keskiputki muotoiltiin uudelleen tarkoituksena saada takahaarukan putkien tukeminen helpommaksi. Tässä vaiheessa keskityttiin enimmäkseen rakenteen yksinkertaisuuteen, liitosten toimivuuteen ja eturenkaiden olkatappien kiinnitykseen. Suurin muutos ensimmäisen ja toisen version välillä oli olkatappien kiinnityksen yksinkertaistaminen.

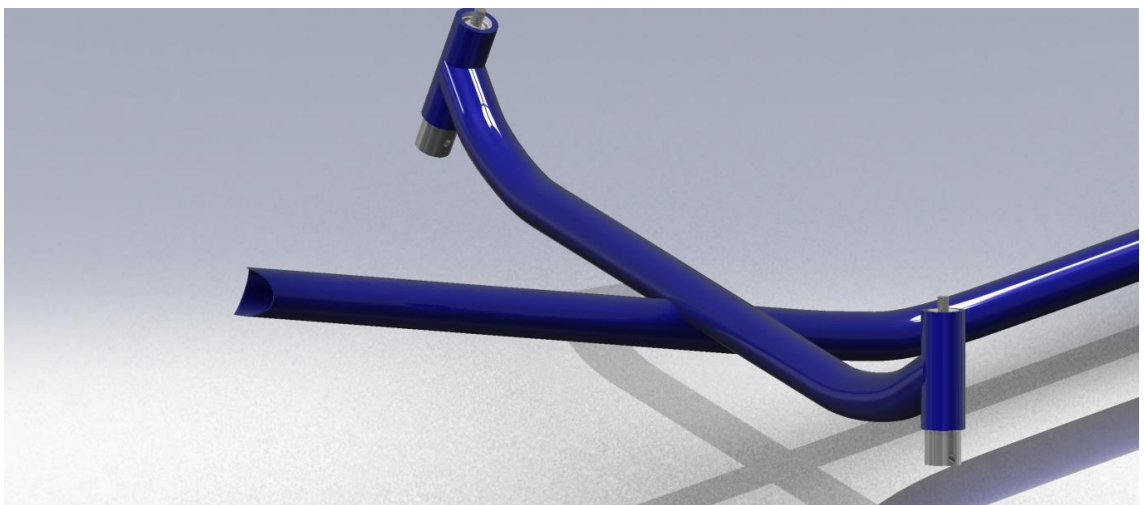




Kuva 7. Nojapyörän toinen versio.

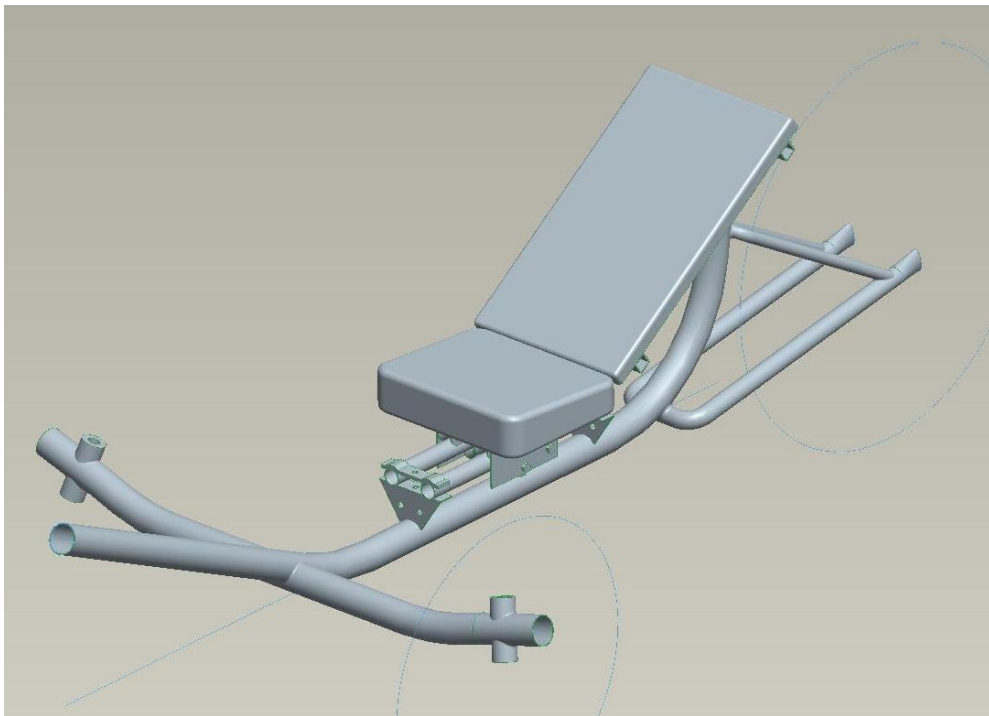
Kolmanteen versioon nojapyörästä tuli kiinteät olkatapin laakeripesät (kuva 8). Tämä osoittautui yksinkertaiseksi ja kestäväksi rakenteeksi verrattuna edelliseen versioon. Ongelmaksi toisessa versiossa tuli laakereiden kiinnitys olkatappiin. Tiedettiin että laakereita ei voi sijoittaa renkaiden keskiöihin vaan niiden täytyy olla olkatapeissa, koska sopivien laakereiden sisähalkaisija olisi jäänyt liian pieneksi. Riittävän kestävä akseli ei olisi mahtunut näiden laakereiden sisään.

Runko- ja etuputken liitos muuttui yksinkertaisemmaksi kolmanteen versioon. Siinä etuputki on runkoputken päällä ja puoliksi sen sisällä. Liitos suunniteltiin hitsausliitokseksi.

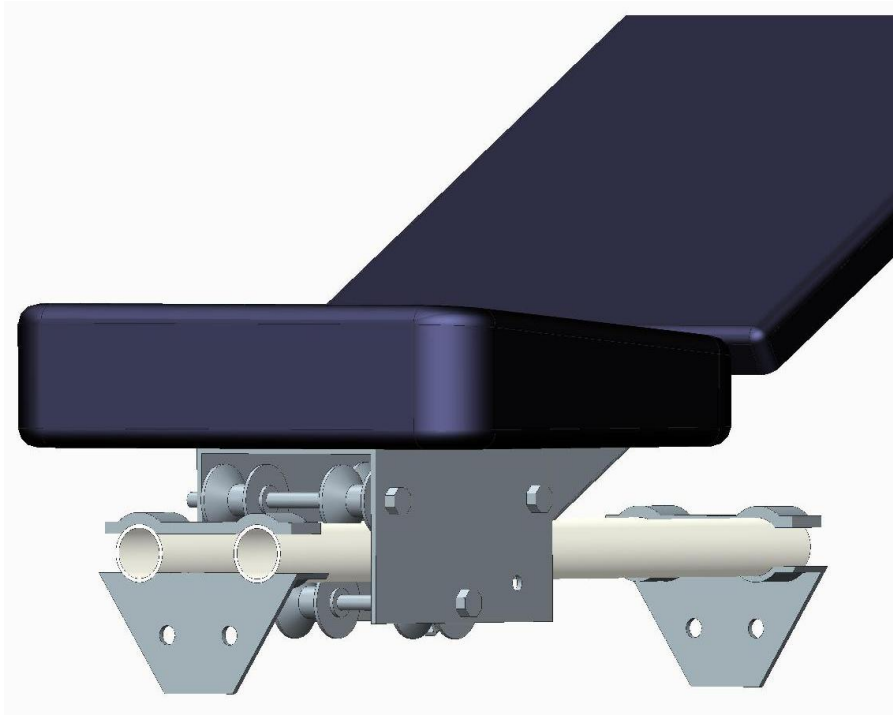


Kuva 8. Nojapyörän kolmas versio.

Kuvassa 8 näkyvä etu- ja runkoputken liitos osoittautui huonoksi valinnaksi, koska hitaussauman peittäessä etuputki pääsisi iskeytymään ajajan jalkoihin. Neljänteen versioon tämä korjattiin, eli etuputki sijoitettiin runkoputken alapuolelle, jotta liitos olisi vahvempi. Runkoputken taivutuskulmaa joutui muuttamaan, kun etuputki sijoitettiin runkoputken alapuolelle, jotta ajoasento pysyisi samanlaisena. Kuvassa 9 näkyy kyseiset muutokset, sekä uudenlainen takahaarukka. Myös penkki, joka saatiin vanhasta sou- tulaitteesta, mallinnettiin ja sen liitoksia sekä ajoasentoa haettiin tietokoneympäristössä. Tämän penkin 3D-malli näkyy kuvassa 10.

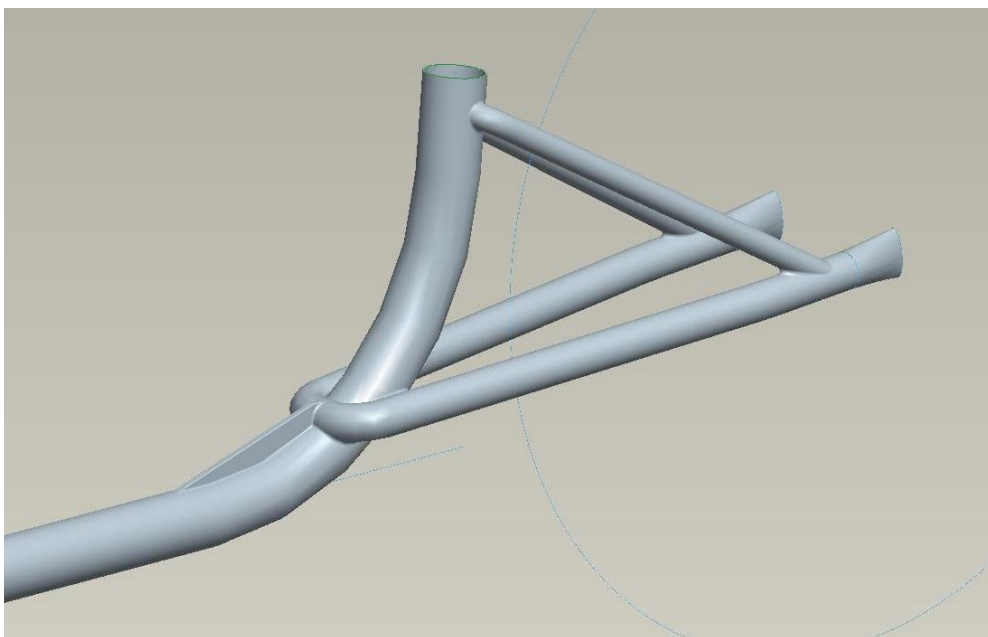


Kuva 9. Nojapyörän versio 4.



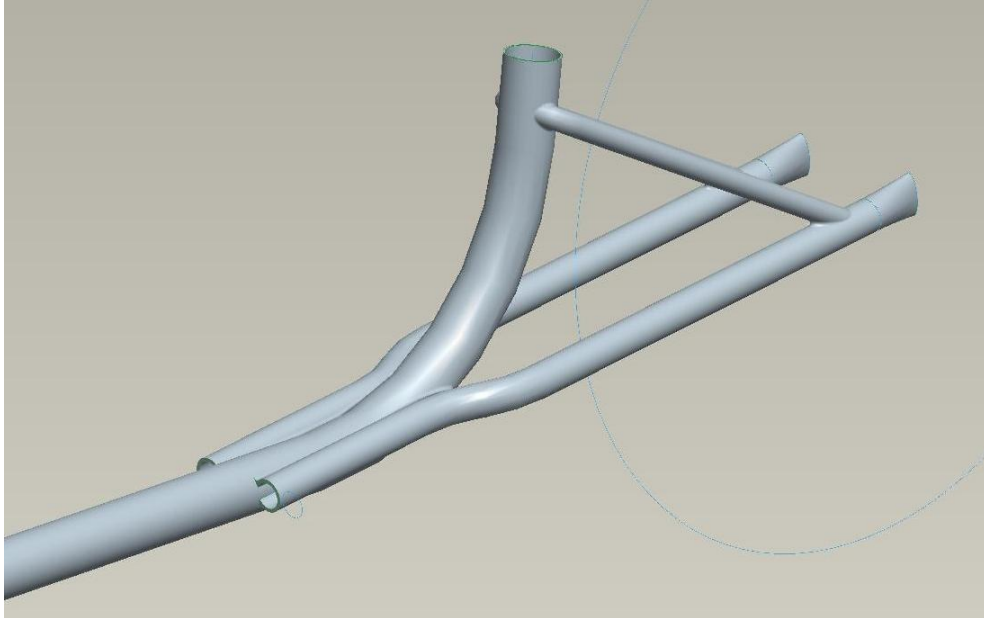
Kuva 10. Alkuperäisen penkin 3D-malli.

Takahaarukan liitos runkoputkeen osoittautui lujuuslaskentojen perusteella ongelmalliseksi, joten seuraavissa kahdessa versiossa haettiin kestävämpää liitosta. Versiossa 5 takahaarukan mutka sijoitettiin runkoputken etupuolelle ja sille suunniteltiin lisäksi vahviste (kuva 11). Tässäkin suunnitelmassa ilmeni jännityskeskittymiä, ja selvisi että kiinnitys täytyy saada pidemmälle matkalle runkoputkeen.



Kuva 11. Nojapyörän versio 5.

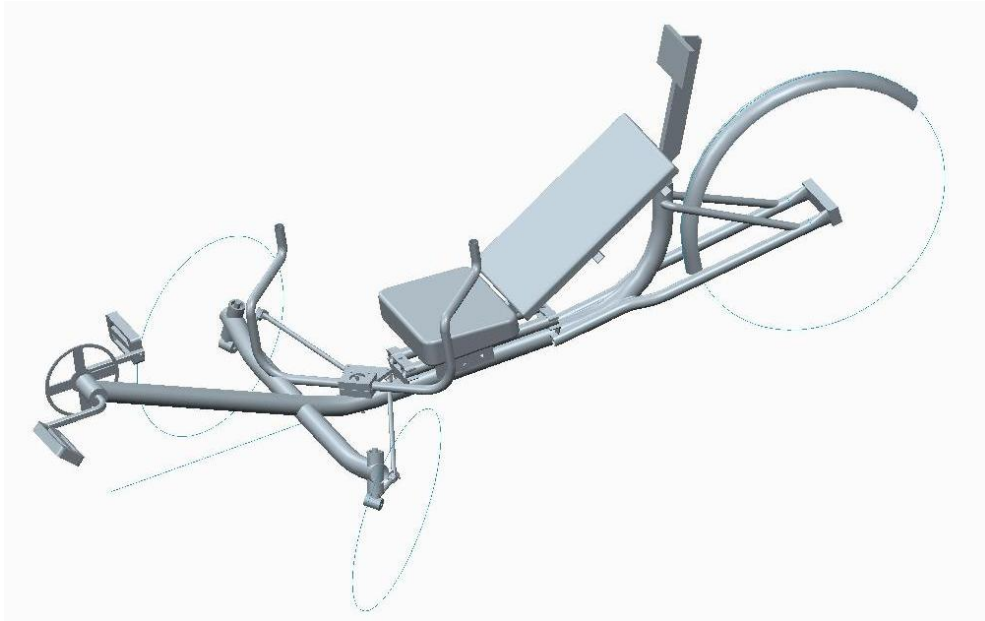
Niinpä versioon 6 (kuva 12) takahaarukka muodostuu kahdesta putkesta, jotka kiinnitetään pitkillä hitsisaumoilla runkoputken sivuille. Tällä liitostavalla jännityskeskittymät hävisivät ja liitoksesta tuli lujuuslaskennan perusteella riittävän vahva.



Kuva 12. Nojapyörän versio 6.

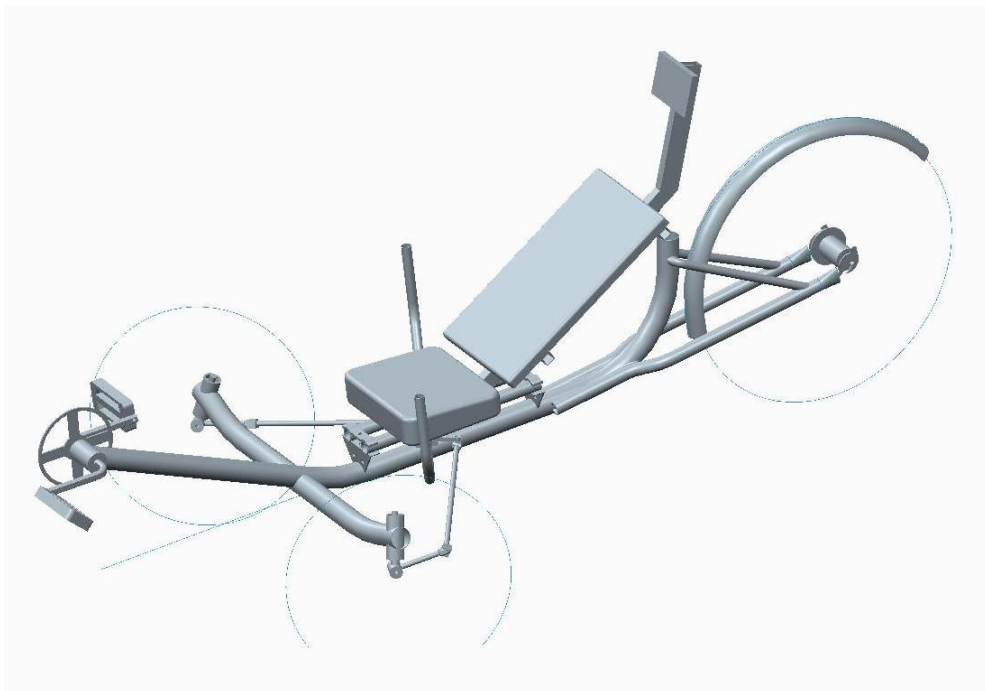
Rungon suunnitelmat näyttivät tällä hetkellä hyvältä, joten versioon 7 alettiin suunnitella ohjausta, ajoasentoa ja muita tarvittavia osia. Ohjaukseksi suunniteltiin epäsuoraa ohjausta, jota monet nojapyörävalmistajat suosivat. Epäsuorassa ohjauksessa ohjauksen välittää raidetangot, jotka ovat kiinnitetty pallonivelten väliin. Suorassa ohjauksessa ohjaustankoja olisi ollut kaksi, yksi molemmille käsille, ja ohjaustangot olisivat olleet suoraan kiinni olkatapeissa. Toimeksiantaja halusi kuitenkin epäsuoran ohjauksen.

Ohjaustanko suunniteltiin sijoitettavaksi penkin eteen penkin alla olevan tilan vähyyden takia ja tällöin ohjaustanko mahtuisi kääntymään hieman paremmin. Ohjaustangon erilaisia muotoja ja kiinnitystapoja haettiin parhaan ohjattavuuden ja kääntösäteen saavuttamiseksi. Kuvassa 13 ohjaustanko on taivutettu taaksepäin kohti kuljettajaa.

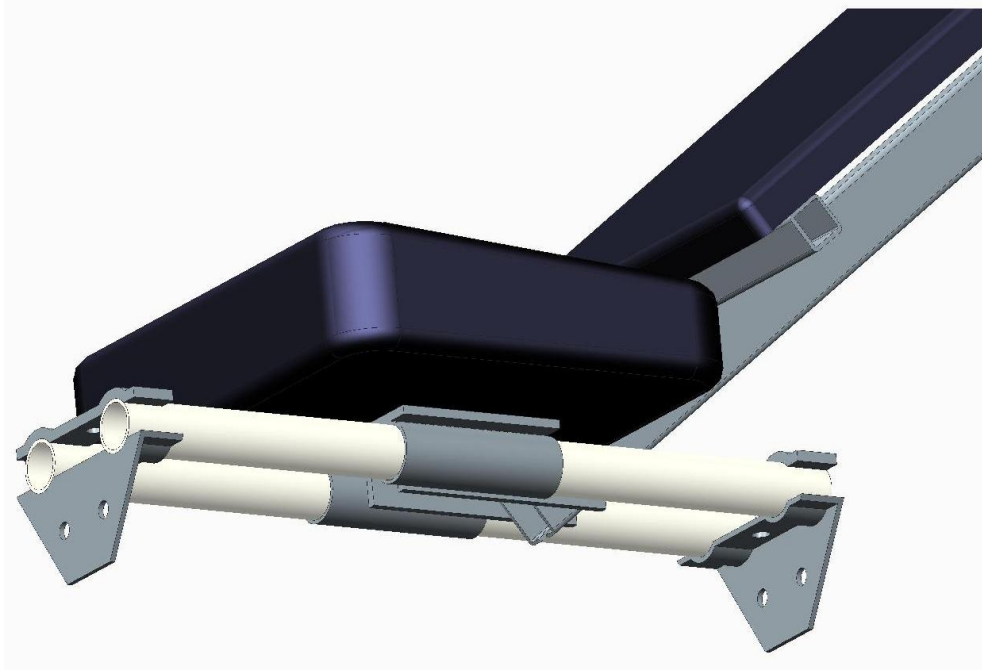


Kuva 13. Nojapyörän versio 7.

Ohjaustangon sijoitus penkin eteen ei kuitenkaan tuntunut toimivalta, vaan se sijoitettiin versiossa 8 penkin alapuolelle (kuva 14). Ohjaustankoa ei olisi käännettäessä ylettynyt pitämään ulommalla kädellä kiinni. Tämän seurauksena penkin kiinnityksiä jouduttiin muuttamaan lisätilan luomiseksi ohjaukselle. Alun perin penkissä oli tilaa vievät rullat johdetankojen molemmin puolin. Nämä poistettiin ja tilalle asennettiin johdetankojen päällä liukuvat kaksi putkea (kuva 15).



Kuva 14. Nojapyörän versio 8.



Kuva 15. Penkin uusi kiinnitys.

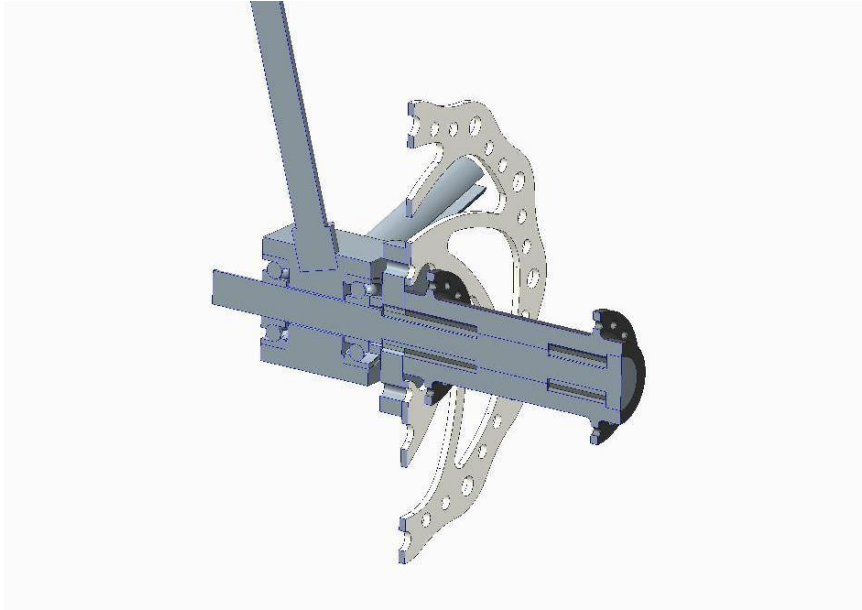
Lisäksi penkin säätömahdollisuudet otettiin suunnittelussa huomioon. Säätömahdollisuuksiksi tulivat penkin rungonsuuntainen säätö, selkänojan kaltevuuden säätö sekä niskatuen korkeussäätö.

Versioon 9 (kuva 16) tärkeimpänä suunnitelmana tuli levyjarrujen kiinnitysten toteutus. Levyjarrujen kiinnitys osoittautui haastavaksi tehtäväksi. Olemassa olevien etupyörien keskiöt olivat erilaiset ja akselin lukitseminen niihin olisi ollut hyvin hankalaa. Tämän seurauksena päätettiin suunnitella uudet keskiöt.



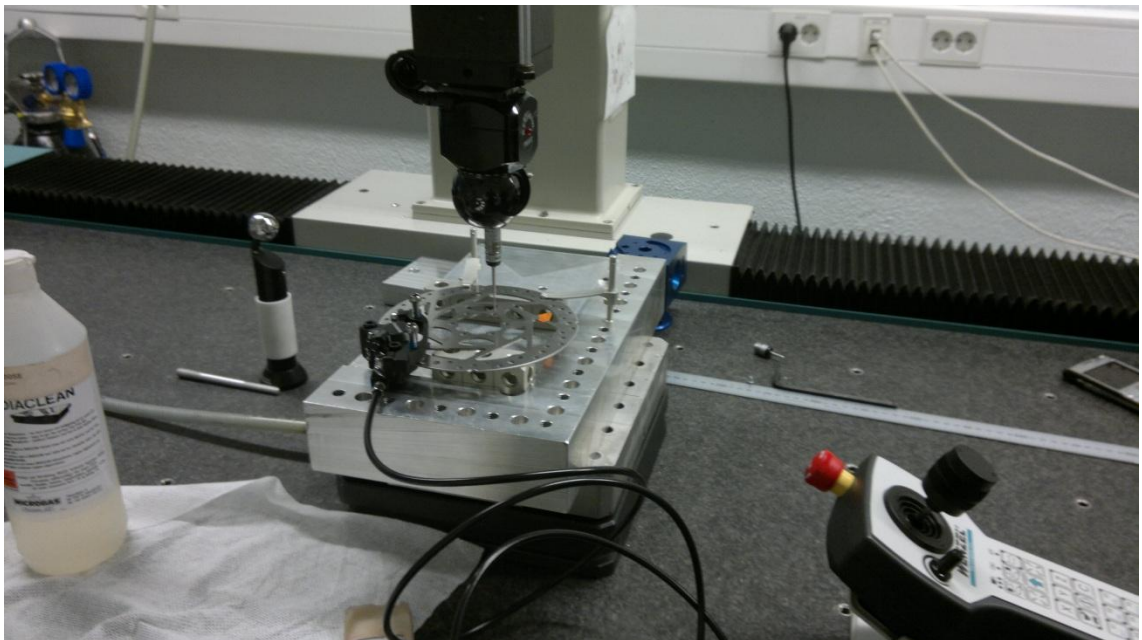
Kuva 16. Nojapyörän versio 9.

Nojapyörän versiossa 9 keskiön lukitus akseliin suunniteltiin käyttämällä kiiloja. Keskiön sisäpuolella on kaksi kiilauraa molemmin puolin estämässä akselin pyörimisen keskiön sisällä. Kuvassa 17 on esitettyä olkatapin ja etupyörän keskiön välinen kokoonpano leikkauskuvantona. Tässä vaiheessa laskettiin Schaeffler Groupin Internet-sivuilla olevan laakerilaskurin avulla sopivat laakerit, joita käytettäisiin etuakselin laakeripesissä ja olkatapin laakeripesissä [13]. Liitteessä 16 ja 17 on esitetty laakerilaskennan tulokset sekä laakerin tiedot. Laskennan jälkeen päädyttiin suojattuihin yksirivisiin viistokuulalaakereihin. Viistokuulalaakerit tulivat kysymykseen, koska ne kestävät paremmin aksiaalivoimia ja niiden kestoikä laskelmien mukaan on suurempi kuin urakuulalaakereilla. Lisäksi viistokuulalaakerien välystä voidaan säätää kiristämällä niitä tiukemmalle. Myös sopivat urakuulalaakerit valittiin laskurin avulla siltä varalta, ettei tarpeeksi edullisia viistokuulalaakereita löydy. Ulkohalkaisijaksi laakereille valittiin 32 mm ja sisähalkaisijaksi 12 mm.



Kuva 17. Etupyörän keskiön kiinnitys olkatappiin kiilauralla.

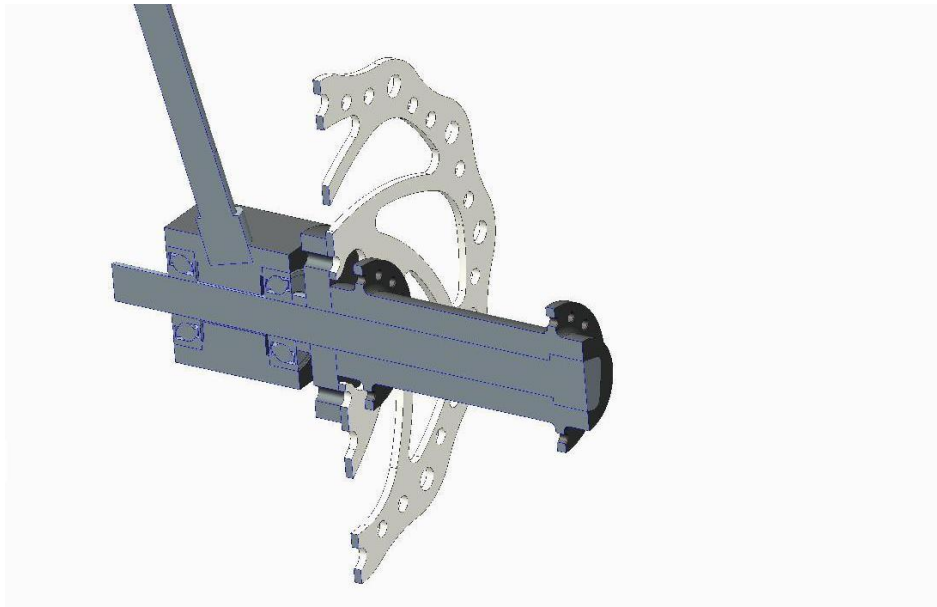
Jarrulevyn kiinnitystä keskiöön ja jarrusatulan paikoitusta oikeaan asentoon suunniteltaessa päädyttiin käyttämään koordinaattimittakoneetta (kuva 18). Tarkoituksena oli saada reikien koko ja paikat tarkasti 3D-malliin, jotta koneistettava osa ei epäonnistuisi epätarkan mittauksen takia. Lisäksi samalla jarrulevylle asetettiin jarrusatula oikeaan asentoon ja kulmaan. Tämä yksinkertaisti jarrusatulan kiinnikkeen suunnittelua.



Kuva 18. Jarrulevyn kiinnitysreikien ja jarrusatulan kierteiden paikoitus koordinaattimittakoneella.



Kuvassa 19 on versioon 10 suunniteltu olkatapin ja etupyörän keskiön välinen kokoonpano leikkauskuvantona. Kiilaurien koneistus osoittautui vaikeaksi Pohjois-Karjalan aikuisopiston koneistajan kanssa käydyssä keskustelussa. Versioon 9 verrattuna muutoksena on kiilojen käytön korvaaminen muotolukituksella akselin ja keskiön välille kuvan 19 mukaisesti. Muotolukitus sijaitsee akselin päässä ja keskiön ulkoreunassa.



Kuva 19. Etupyörän keskiön kiinnitys olkatappiin muotolukituksella.

Putkien mitat jouduttiin muuttamaan Feteco Oy:n vierailun jälkeen versioon 10 (kuva 20), koska heillä käytössä olevat mitat olivat erilaiset ja materiaaliksi he suosittelivat Ruukin Combi 200 -rakenneterästä. Uusiksi putkien mitoiksi tuli keski- ja etuputkien halkaisija 42,4 mm ja seinämänvahvuus 3,2 mm. Takahaarukan putkien halkaisijaksi tuli 33,7 mm ja seinämänvahvuudeksi 2,6 mm.

Myös putkien taivutussäteet jouduttiin muuttamaan sellaisiksi, jotta putkentaivuttimella pystyy taivutukset toteuttamaan. Takahaarukan putkien paksuudelle taivutussäteeksi Feteco Oy:stä neuvottiin, että 112 mm olisi sopiva. Lisäksi erisuuntaisten taivutusten välinen suora olisi oltava vähintään 80 mm pitkä. Takatukiputken valmistuksen helpottamiseksi neuvottiin, että se tehtäisiin kahdesta osasta, 56 mm taivutussäteellä. Runkoputkelle, jonka halkaisija on 42,4 mm taivutussäteiksi neuvottiin, että sekä takaosan jyrkkä taivutus että etupään loiva taivutus tulisi tehdä 130 mm taivutussäteellä. Etuputken taivutussäteiksi tuli myös sama 130 mm, koska putken halkaisija oli sama kuin runkoputkella.



Kuva 20. Nojapyörän versio 10.

Ajoasentoa haettiin katsomalla kuvia ja videoita kaupallisista nojapyöristä sekä hake-  
malla ajoasentoa sohvalla istumalla sopivassa ajoasennossa. Kuvattiin istumista sivusta  
päin ja hahmoteltiin tätä samaa ajoasentoa pyörän rungon muotoon, penkkiin ja hallinta-  
laitteisiin. Ajoasennossa täytyy ottaa huomioon penkin säädettävyys, jotta eripituiset  
ajajat löytävät sopivat säädöt.

Nojapyörään tuleva penkki on vanhasta soutulaitteen penkistä muokattu. Se on ilmainen  
ja muokattuna se soveltuu mainiosti nojapyörän penkiksi. Siihen on myös helposti lisät-  
tävissä säätöominaisuus runkoputkea pitkin. Penkki on tarkoitus kiinnittää putkikiskoil-  
le hitsaamalla penkkiin hieman paksummat putket kuin kiskot ovat ja näin penkki liu-  
kuu kiskoputkilla ja se lukitaan rei'illä ja tapeilla tai vain kiristämällä pultilla kiskoput-  
keen.

Penkkiin on tarkoituksena lisätä samasta soutulaitteesta selkänöja, joka kiinnitetään  
penkin alle pultilla. Selkänöjan yläosasta täytyy asentaa kaksi putkea taaksepäin kohti  
runkoputken takapäätä ja sinne niille sopivat kiinnittimet. Kiinnittimet suunniteltiin vain  
alustavasti ajanpuutteen vuoksi. Säätävien putkien ansiosta saadaan säätävä selkänöja.  
Aluksi suunniteltiin näiden putkien säätö, jota putkissa olevien reikien ja niihin tulevien  
tappien avulla voi sitten lukitta. Päädyimme kuitenkin portaattomaan säätöön, jossa  
putket lukitaan kiristämällä muttereilla kiinnittimet putkien ympärille.

Renkaiden koot haettiin sopiviksi rungon muodon ja ajettavuuden mukaan. Eteen päädyttiin 20 tuumaisiin renkaisiin, jotta ne rullaavat epätasaisellakin pinnalla kuten soralla ja lumessa, mutta toisaalta mahtuvat hyvin kääntymään. Eturenkaat eivät saaneet olla liian suuret, koska pinnoihin kohdistuu vääntöä niiden kallistuessa. Eturenkaat kallistuvat käännettäessä johtuen sisäkallistumasta. Eturenkaiden koon valitsemisen perustaksi tulivat myös vaikutteet muista nojapyöristä. Takarenkaaksi valittiin 28 tuumainen rengas, koska sellainen oli valmiiksi jo hankittu ja sen kokoisia käytetään useasti nojapyörissä. Suunnitellun rungon muodolle tämä koko oli myös sopiva.

Valitun ohjaustavan suunnitteluun kului paljon aikaa ja se täytyi saada mahdollisimman hyväksi, koska se on merkittävä asia pyörän ajettavuuden ja hallinnan kannalta. Vaihtoehtoina olivat suora ja epäsuora ohjaus. Suorassa ohjauksessa ohjaukshahvat ovat suoraan liitettyinä olkatappeihin (kuva 21). Renkaat pysyvät samansuuntaisina niiden olkatappien välille liitetyn tangon ansiosta.



Kuva 21. Suora ohjaus [14].

Ohjaustavaksi valittiin epäsuora ohjaus, jossa etupyörät kiinnittyvät olkatappien laakereihin kiinteän akselin avulla. Akseli on kiinni pyörän keskiössä kiinteästi kiilojen ja muttereiden avulla. Olkatappin laakeripesästä lähtee ohjausvarsi, jonka päästä pallonivelen välityksellä lähtee raidetanko kohti ohjaustangon kiinnikettä. Myös raidetangon ja ohjaustangon kiinnikkeen välissä on pallonivel, jotta kaikki tangot pääsevät vapaasti

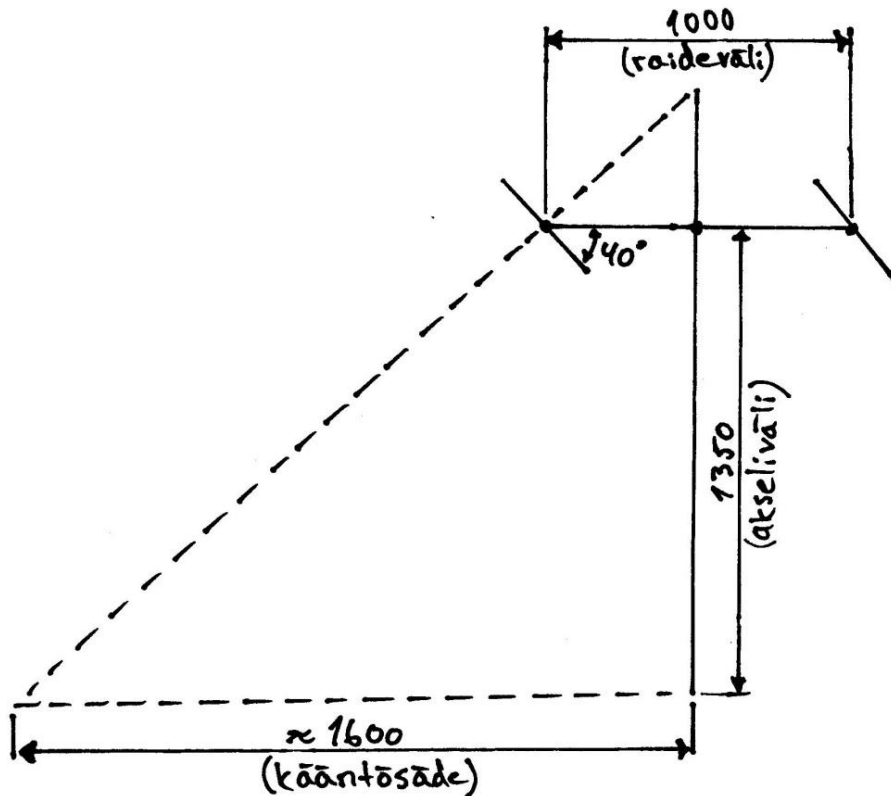
kääntymään. Ohjaustangon kiinnike pyörii kiinteän akselin ympäri, jossa on myös laakerit. Kiinnikkeestä lähtee lopulta ohjaustanko josta pyöriä käännetään. Kuvassa 22 näkyy kuinka nojapyörävalmistaja ICE on toteuttanut epäsuoran ohjauksen.



Kuva 22. Malliesimerkki epäsuorasta ohjauksesta [15].

Olkatappi on nojapyörän edestäpäin katsottuna  $15^\circ$  kulmassa positiiviseen suuntaan ja taaksepäin  $15^\circ$ . Näiden kallistumien tarkoituksena oli saada nollapisteohjaus ja parempi pyörän käsiteltävyys käänöksissä. Olkatappien takakallistumat vaikuttavat ohjattavuuteen vakauttavasti ja sivukallistumat mahdollistavat pyörän kallistumisen kääntösuuntaan, joka pienentää hieman kääntösädettä. [12, s 14.] Lisäksi mietittiin Ackermann-ohjauksen ohjausgeometriaa eli ohjausvarsien linjan kulkemista kohti takapyörän napaa. Tällöin käännettäessä sisempi rengas olisi kääntynyt enemmän kuin ulompirengas. [1, s. 37–38.] Ohjausvarret suunniteltiin niin, että niitä voi hieman kääntää sisäänpäin valmistusvaiheessa mahdollistaen näin pienen Ackermann-ohjauksen kompensaaion.

Kääntösäteen suuruus arvioitiin hahmottelemalla ympyrä, jossa nojapyörän pitäisi mah-  
tua kääntymään. Sillä pitäisi pystyä kääntymään hyvin risteyksissä ja tiukoissakin mut-  
kissa. Kääntösädettä säädettyä täytyi pelata akselivälin ja etupyörien kääntymiskul-  
man kanssa. Kuvassa 23 on ensimmäisiä hahmotelmia kääntösäteestä. Akseliväliksi  
suunniteltiin aluksi 1350 mm, raideväliksi 1000 mm ja etupyörän kääntökulmaksi  $40^\circ$ .



Kuva 23. Kääntösäteen hahmottelua.

Jarruiksi valittiin hydrauliset levyjarrut eturenkaisiin. Levyjarrut olivat paras ratkaisu koska ne ovat tehokkaat ja luotettavat sekä niiden asennus on mahdollista suoraan eturenkaiden keskiöihin ilman monimutkaisia kiinnityksiä. Vannejarrut olisivat edulliset ja yksinkertaiset, mutta niiden kiinnitys on liian hankalaa. Mekaaniset levyjarrut olivat toinen vartenotettava vaihtoehto, mutta niitä on vaikea saada molempia toimimaan samalla jarrukahvalla ja olisi joutunut asentamaan erilaisia vaijerin ohjaimia ja välikappaleita. Toki hydraulisiin jarruihin joutuu tekemään letkuun haaroituksen, jotta yhdestä kahvasta voima välittyy molemmille jarruille.

### 5.3 Sähköistys

Yhteistyötä tehtiin myös kahden sähkötekniikan opiskelijan kanssa nojapyörän sähköistuksen osalta. Heidän on tarkoitus suunnitella ja hankkia sähköinen apumoottori tarvittavine lisälaitteineen. Tarkoituksena oli jättää riittävästi tilaa akuille ja lisälaitteille.

Pyörän sähköistys jäi kuitenkin pois aikatauluongelmien takia pois projektin puolivälissä. Nojapyörän muihin suunnitelmiin sähköistuksen poisjäänti ei kuitenkaan vaikuttanut, mutta se on myöhemmin mahdollista lisätä kokoonpanoon.

### 5.4 Lujuuslaskenta ja sen vaikutus rungon suunnitteluun

Rungon lujuuslaskentaan käytettiin FEM:iä rungon versiosta 4 lähtien. Ohjelmistona käytettiin Pro/Engineer Wildfire 4:ää. Ensimmäiset rungot suunniteltiin käyttäen 50 mm putkiprofiilia 2 mm seinämävahvuudella. Takahaarukka ja sen tuet olivat 30 mm ja 20 mm putkia 2 mm seinämävahvuudella. Materiaaliksi valittiin alustavasti S235-rakenneteräs, joka kuitenkin muuttui myöhemmin.

Painojakaumaa hahmoteltiin käsin laskemalla, jotta saataisiin arvioitua pyöriin kohdistuvia voimia. Arvioimme painavimman mahdollisen kuorman sekä otimme huomioon varmuuskertoimen.

Aluksi kokeiltiin ja haettiin erilaisia kiinnitystapoja ja voimien sijoittelua, joilla saataisiin mahdollisimman todenmukainen lopputulos. Kokonaisen rungon osalta käytettiin kahta erilaista tapaa tehdä kiinnitys ja sijoittaa voimat. Ensimmäinen tapa oli tehdä kiinnitys keskelle runkoa lyhyeltä matkalta penkin kiinnitysosien väliltä. Voimat sijoitimme etupyörien olkatappien laakeripesien alapuolelle sekä takahaarukan päähän mallinnettuun palaan, ja voimat kohdistuivat suoraan alhaalta ylöspäin.

Suoritettiin myös lujuuslaskuja käsinlaskien nurjahduksen osalta koska Pro/Engineerin nurjahduslaskenta ei opettajamme Jukka Tulosen mukaan ole riittävän luotettava. Nurjahdusta tarkasteltiin takahaarukan tukiputkien osalta, koska takarengaasta kohdistuu tukiputkiin niiden suuntaisia voimia. Nurjahdusvoima laskettiin yhdelle putkelle.

Nurjahdusvoima  $P_n = F_n = \frac{\pi^2 * E * I}{L_n^2}$ , jossa  $L_n$  on laskennallinen pituus.

Eulerin tapaukset määräävät  $L_n$ :n kertoimen. (Jäykkä-jäykkä  $0,5 * L$ )

$$L = 356 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow L_n = 356 * 0,5 = 178 \text{ mm}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

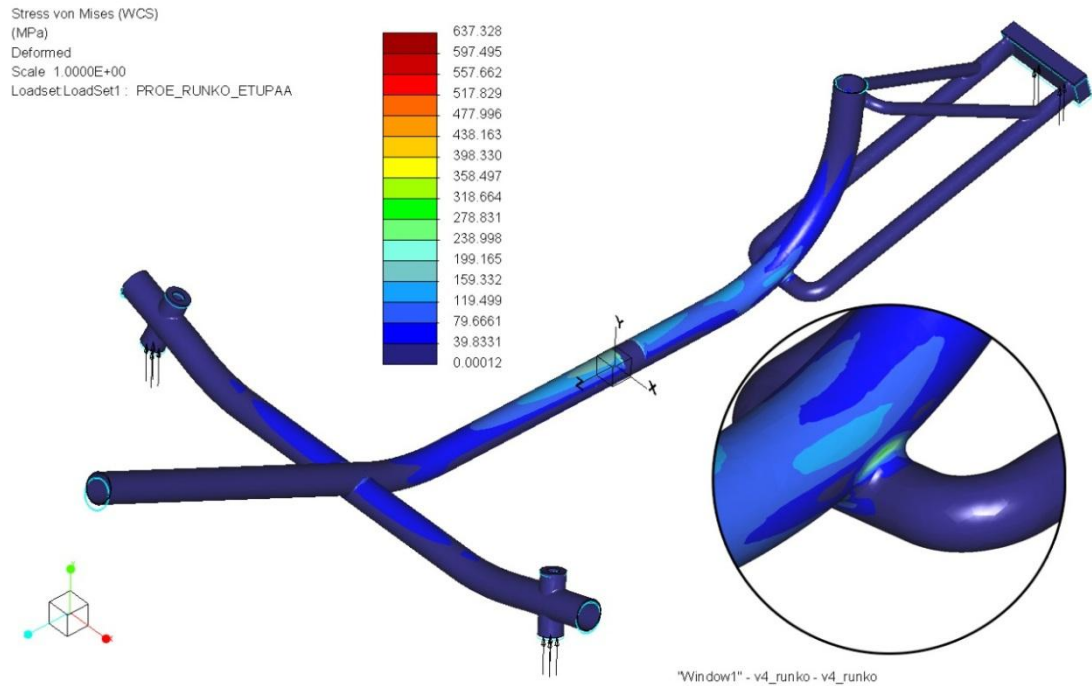
$$I = \frac{\pi * D^4}{64} * \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right], \text{ johon sijoittamalla lähtöarvot saadaan } I = 5368,9 \text{ mm}^4$$

$$F_n = \frac{\pi^2 * E * I}{L_n^2} = \frac{\pi^2 * 210000 \text{ MPa} * 5368,9 \text{ mm}^4}{(178 \text{ mm})^2} = 351208 \text{ N}$$

Nurjahdukseen tarvittava voima olisi niin suuri, ettei nurjahdusta tulisi tapahtumaan. Vaikka myöhemmin putkien materiaali ja mitat muuttuivat hieman, ei nurjahduksen osalta tulisi ongelmia.

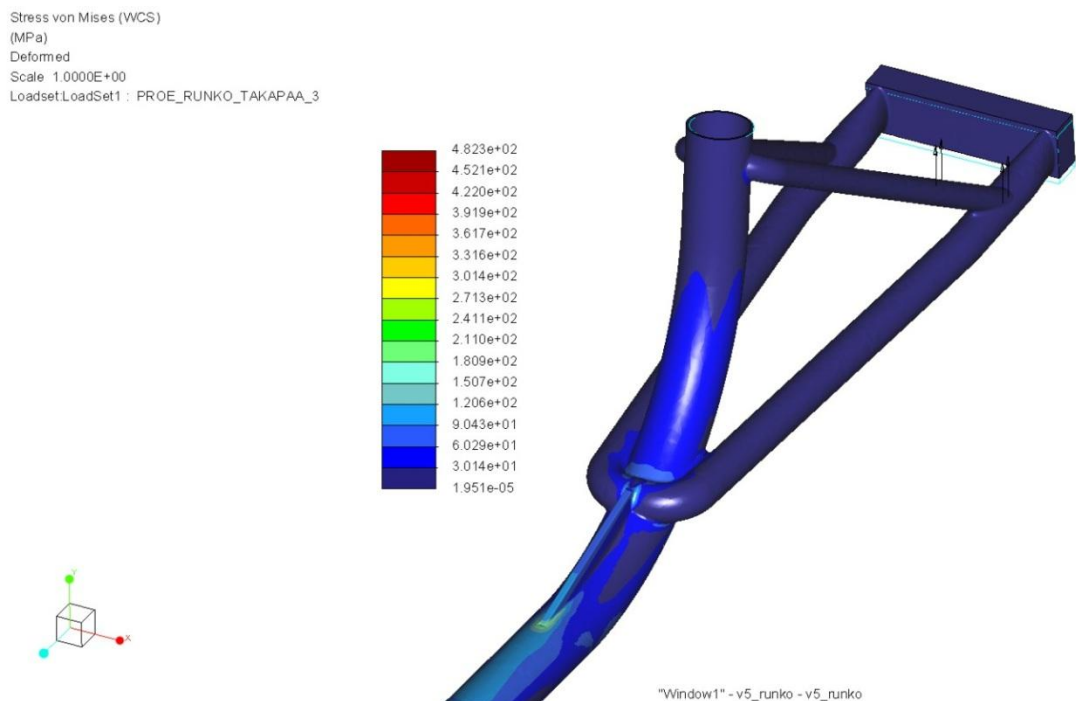
Heti FEM-analyysejä aloitettaessa huomattiin, että ainoastaan yhden tietokoneluokan tietokoneissa riittää muisti laskujen suorittamiseen. Suorituskykyisimmistä tietokoneista huolimatta jouduttiin 3D-mallit jakamaan lujuuslaskentoja varten pienempiin osiin. Lujuuslaskennoissa käytettiin solidimalleja. FEM-ohjelma luo kappaleen pinnalle verkkorakenteen, jonka tiheyden käyttäjä voi määrittää. Tiheydeksi annettiin 5–15 mm riippuen analysoitavasta osasta.

Lujuuslaskujen mukaan ongelmia ilmeni runkoputken ja takahaarukan liitoskohdassa, jossa jännitystä syntyi reilusti yli materiaalin myötörajan (kuva 24). Tämä johti rungon version 5 suunnitteluun.



Kuva 24. Rungon version 4 FEM-analyysin tulokset.

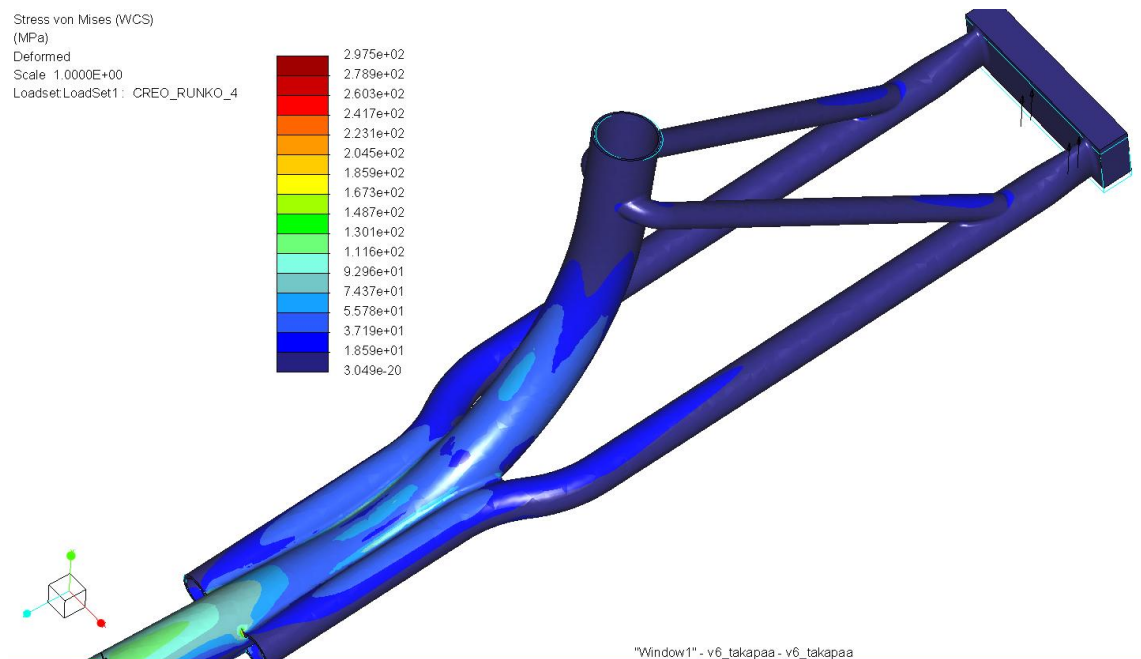
Kuvan 25. mukaisessa versiossa muutoksena on takahaarukan sijoitus ja kiinnitys runkoputkeen. Takahaarukka on sijoitettu runkoputken sisäpuolelle ja hitsattu siihen kiinni. Lisäksi liitosta vahvistamassa ja lujuutta parantamassa oli hitsattu tukilevy. Tästä ratkaisusta huolimatta syntyi liian suuria voimakeskittymiä runkoputkeen eikä tämäkään suunnitelma ollut hyvä.



Kuva 25. Versio 5.



Kuvassa 26. on versio 6. Tässä vaiheessa siirryimme PTC:n Creo -ohjelmistoon, koska haluttiin käyttää ajanmukaista ohjelmistoa ja myös sen luotettavuuden ja ominaisuuksien takia, kuten Flexible Modeling. Versiossa 6 takahaarukka on tehty kahdesta osasta, ja ne kiinnittyvät runkoputken molemmille puolille pidemmältä matkalta. Putkien halkaisijat, seinämävahvuudet sekä materiaalit pysyivät tähän versioon asti ennallaan. Tämä oli ensimmäinen versio jossa saavutimme hyvän lopputuloksen lujuuden ja suunnittelun osalta.



Kuva 26. Versio 6.

Vierailu putkentaivutuksia tekevässä Feteco Oy:ssä aiheutti muutoksia suunnitelmiin putkien halkaisijoiden, seinämävahvuuksien sekä materiaalien osalta, mutta myös putkien pyöristyksien ja niiden välisten suorien pituuksien osalta. Putkien halkaisijat ja seinämän paksuudet täytyi valita taulukosta. Heillä oli käytössä putkentaivutuslestejä vain tietyn kokoisille putkille ja materiaaliksi he suosittelivat Ruukin Combi 200 -rakenneterästä, jonka taivutusominaisuudet ovat erinomaiset. Lujuuslaskennasta saatiin muutoksista huolimatta toivotunlaiset tulokset.

## 6 Nojapyörän valmistus ja kokoonpano

### 6.1 Runko

Rungon valmistus alkoi lähettämällä tarjouspyyntö ja piirustukset putkentaivutusten sekä materiaalien osalta Feteco Oy:lle. Putkentaivutus jouduttiin ulkoistamaan heille, koska ei löydetty sopivaa putkentaivutinta käytettäväksi. Lisäksi etuputken taivutus on tehtävä tarkasti, joka on siksi hyvä tehdä mahdollisimman hyvin ja se onnistuu alan ammattilaisilta paremmin. Piirustukset runkoputkien valmistusta varten löytyvät liitteistä 3–7.

Taivutustapahtumaa menttiin seuraamaan paikan päällä. Etuputki, keskiputki ja takahaarukan tukiputket taivutettiin tavallisella hydraulisella putkentaivuttimella. Kuvassa 27 näkyy putkentaivutusta kyseisellä taivuttimella.



Kuva 27. Etuputken taivutus hydraulisella putkentaivuttajalla.

Takahaarukan putket taivutettiin kuvan 28 CNC-ohjatulla putkentaivuttimella. Nämä putket täytyi tehdä CNC-ohjatulla taivuttimella, koska niissä oli vaikeat kaksisuuntaiset mutkat.



Kuva 28. Takahaarukan putken taivutus CNC-ohjatulla putkentaivutuskoneella.

Etuputkeen teetettiin lisäksi olkatapin laakeripesille muodot, johon ne on helppo hitsata myöhemmin. Hionta suoritettiin kuvan 29 laitteella molempiin päihin putkea kiinnittämällä putki mahdollisimman tarkasti oikeaan kulmaan ja painamalla putkenpäättä kohti hiomapäätä.



Kuva 29. Etuputken päädyn hionta olkatapin laakeripesälle.

Putkentaivutusten jälkeen alettiin suunnitella ja valmistaa putkille sopivaa hitsausjigiä, jossa hitsaaminen onnistuu vakaasti ja tarkasti. Hitsausjigiksi valittiin tasainen pöytä,

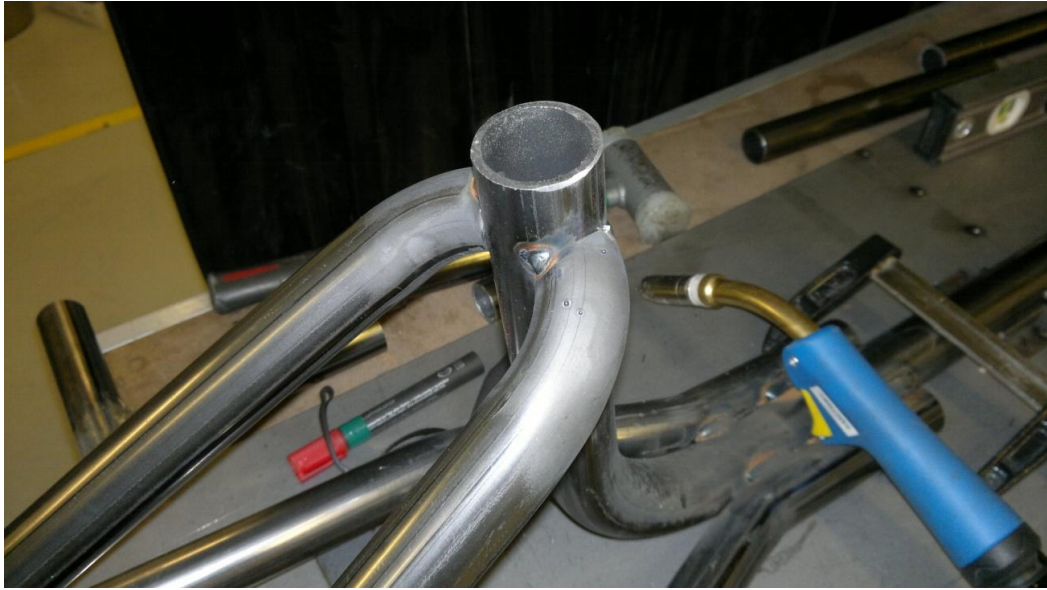
jonka päälle laitettiin kaksi teräslevyä. Pöytä ja teräslevyt asetettiin tasalleen käyttäen vesivaakaa kuvan 30 mukaisesti. Levyjen päälle laitettiin runkoputket, ja ne tuettiin hitsaamalla keskiputki ja takahaarukka kiinni pöytään.

Hitsaukseen käytimme koulun omaa MIG/MAG-hitsauslaitteistoa, jossa suojakaasuna oli käytössä hiilidioksidi. Kyseinen hitsauslaitteisto oli jo ennestään tuttu, joten sen käyttäminen oli helppoa.



Kuva 30. Hitsausjigin hahmottelua ja pöydän suoristusta.

Ennen varsinaista hitsausta täytyi harjoitella hitsausliitoksia ja säätää hitsauslaitteen arvot sopiviksi kyseiselle materiaalille. Sopivien hitsausarvojen löydyttyä kokeilimme hitsata harjoitukseksi kahta ylimääräistä putkea toisiinsa. Hitsauksen jälkeen leikkasimme kohtisuoraan liitoksen halki ja tarkasteltiin tunkeumaa ja hitsaussauman laatua. Hitsaussauma näytti hyvältä, joten päätettiin aloittaa nojapyörän rungon hitsaus. Itse hitsaustapahtuma alkoi takahaarukan putkien sovittamisella keskiputkeen, jonka jälkeen putket hitsattiin varovasti kiinni toisiinsa pienin pistein ja katsottiin, jäivätkö ne oikeaan asentoon (kuva 31). Lopuksi hitsattiin ne kunnolla kiinni. Hitsauksen jälkeen suoritettiin lisäksi hitsisauman ulkoista tarkastelua ja testattiin vääntelemällä ja iskemällä vastaavansuuruisilla voimilla, mitä arvioimme hitsaussaumaan kohdistuvan. Jatkossa teimme samalla tavalla jokaiselle hitsisaumalle, toteuttaen virheriskianalyysin tuloksia.



Kuva 31. Takahaarukan hitsaus.

Laakeripesien hitsausta varten hiottiin hieman etuputken päitä, jotta saataisiin laakeripesät tukevasti oikeaan kulmaan ja asentoon. Hitsausta varten tehtiin jigi teräslevyn päälle, jotta laakeripesät pysyisivät paikoillaan hitsauksen ajan. Hitsauksessa täytyi olla varovainen, jotta lämpö ei vääntäisi tarkoin asetettuja kulmia. Hitsauksen täytyi olla silti hyvin vahva, koska kyseessä on turvallisuuden kannalta kriittinen liitos. Hitsaus aloitettiin tekemällä pistehitsejä symmetrisesti putken ympärille ja välillä tarkastaen, että kulmat säilyvät ennallaan. Seuraavaksi hitsattiin liitoskohtaa sivuilta ja lopuksi ylä- ja alapuolelta. Välillä annettiin hitsauskohdan jäähtyä, jotta ei syntyisi liikaa lämmön aiheuttamaa muodonmuutosta. Liitokset saatiin säilymään tarkasti 15°:een kulmassa.

Seuraava vaihe oli etuputken ja runkoputken liittäminen. Etuputkessa on nyt kiinni laakeripesät, jotka täytyi saada vaakatasoon muuhun runkoon nähden. Tämä liitos oli kriittinen, joten se täytyi tehdä tarkasti ja huolella. Putkien linjaukset ja paikoitukset katsottiin ristimitoilla, vesivaa'an ja digitaalisen ja perinteisen astemitan avulla. Suoritimme hitsauksen samalla periaatteella kuin etuputken ja laakeripesien kanssa. Tämän jälkeen etuputki tuettiin vielä hitsaamalla suunnitellut tukiputket kuvan 32 mukaisesti.



Kuva 32. Etuputken ja runkoputken liitosta tukevat putket.

Tämän jälkeen lyhennettiin takahaarukan putket sopivan mittaisiksi ja hitsattiin takapyörän akselille kiinnikkeet. Takahaarukan putkien etäisyys toisistaan oli suunniteltu sähköistä napamoottoria silmällä pitäen, joten putkia täytyi vääntää hieman sisäänpäin sopivaksi tavalliselle pyörän akselille. Tässä vaiheessa takapyörä asetettiin vain paikoilleen.

Viimeisinä hitsattiin runkoon kiinteästi tulevat penkin kiinnittimet, takajarrulle kiinnityskorvake ja ketjunohjaimet tukevasti paikoilleen. Ketjunohjaimien sijoittamisessa oli suunnittelussa jätetty paljon pelivaraa, joten oikeat kiinnityskohdat täytyi etsiä kokeilemalla. Sopivien paikkojen löydyttyä ketjunohjaimet hitsattiin paikoilleen ja näin ketju pääsee liikkumaan sulavasti. Kun kaikki runkoon tulevat kiinteät osat olivat paikoillaan, runko maalattiin ympäriinsä harmaalla ruostesuojapohjamaalilla.

## 6.2 Penkki

Penkki täytyi irrottaa soutilaitteesta ja purkaa osiin. Turhat osat poistettiin ja penkin pohjaan hitsattiin kaksi putkea, jotka ovat sopivat liikkumaan pitkin kiskoputkia. Nämä kiskoputket saatiin myös soutilaitteesta. Selkänöjä liitettiin penkin alle erillisellä lisälävällä ja siihen kiinni yhdellä pitkällä pultilla. Tämä täytyi tehdä tukevasti, jotta sel-

känoja ei pääse liikkumaan sivusuunnassa, mutta pääsee kuitenkin kallistumaan taaksepäin. Kuvassa 33 näkyy kiskoputkien päällä liukuva penkin kiinnike, johon on liitetty selkänoja.



Kuva 33. Penkin kiinnitys.

Penkin kiskot ovat kiinnitetty päätykiinnikkeisiin tukevasti, ja päätykiinnikkeet ovat hitsattu runkoputkeen. Selkänoja kiinnitettiin takaa säädettävillä putkilla kuvan 34 mukaisesti, jotta saatiin selkänojalle säätö. Siitä täytyi tehdä mahdollisimman tukeva, koska pyörällä polkiessa siihen kohdistuu polkijasta melkoisia voimia. Rungon ja selkänojan välillä on kaksi putkea, jotka liukuvat kiinnittimien sisällä. Putket ovat kiinnitetty selkänojaan pultilla ja ne pääsevät vapaasti pyörimään säädettäessä. Kiinnittimet ovat rungossa olevassa akselissa kiinni. Kiinnittimien ollessa löysällä ne pääsevät pyörimään akselin ympäri mahdollistaen selkänojan kaltevuuden säädön. Kiinnittimet voidaan kiristää muttereilla, jolloin ne lukitsevat selkänojan haluttuun asentoon.



Kuva 34. Selkänojan säätökiinnikkeet.

Selkänojan keskiputken yläpäähän hitsattiin sopivaan kulmaan niskatuelle tuleva suorakaideputki. Tämän putken sisällä on pienempi suorakaideputki, joka liikkuu antaen säätömahdollisuuden niskatuen korkeudelle. Itse niskatuki on tehty 20 mm vanerista, joka on kiinnitetty neljällä pultilla suorakaideputken päällä olevaan hitsattuun teräslevyyn. Vanerin päälle asennettiin superlonipehmuste, jonka päällä on verhoilunahka. Istuinosa ja selkänoja olivat jo valmiiksi pehmustetut ja päällystetyt, mutta niiden huonon kunnon takia ne päällystettiin uudelleen.

### 6.3 Renkaat ja ohjaus

Eturenkaat saatiin kierrätyskeskuksesta ostetuista kahdesta pyörästä, joista otettiin sopivat 20 tuumaiset eturenkaat. Niihin jouduttiin koneistuttamaan kuitenkin uudet keskiöt, koska ne olivat liian heikot ja sopimattomat. Keskiöt valmisti Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä Kiteellä, ja se teki hyvää laatua ja nopealla aikataululla. Vanteet täytyi vain pinnata uudelleen vanhoilla pinnoilla ja suorittaa niiden rihtaus eli linjaus. Pinna-



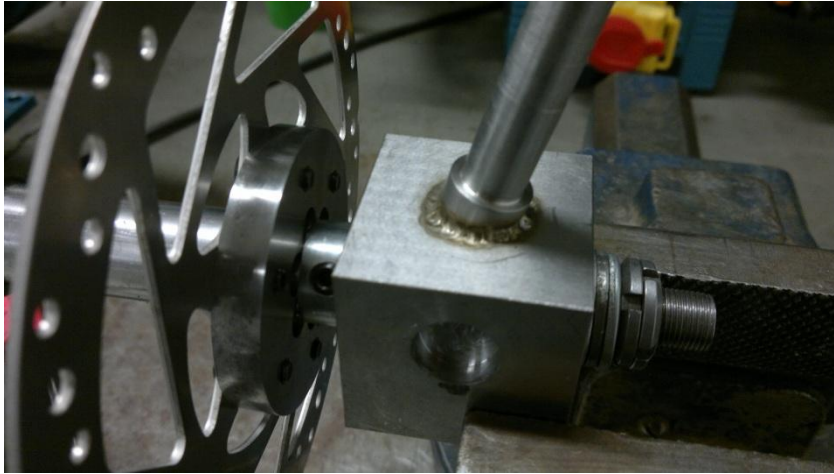
tessa täytyi olla huolellinen ja kärsivällinen, jotta pinnat tulevat oikeassa järjestyksessä oikeaan paikkaan. Vanteet saatiin pinnattua ja rihdattua hyvin ja niistä tuli suorat. Takarengas saatiin vanhasta polkupyörästä, ja sille ei tarvinnut tehdä suurempia muutoksia. Näin ollen se ei tuonut lisätyötä ja rengas vain asetettiin takahaarukkaan samoin kuin tavallisessa polkupyörässä.

Eturenkaiden kiinnityksen ja ohjauksen tärkeät komponentit, olkatapin laakeripesät, valmisti Pohjois-Karjalan aikuisopisto eli AIKO Joensuussa (ks. liitteet 10–11). Etuakselin laakeripesiin hitsattiin olkatapit ja ohjausvarret, jotka valmisti Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä eli PKKY Kiteellä (ks. liitteet 8–9 ja 12–15). Ohjausvarsiin täytyi aluksi koneistaa urat jarrusatulan kiinnikkeelle ja tehdä päihin kierrereikä pallonivelelle (kuva 35). Tämänkaltaiset yksinkertaiset koneistukset suoritettiin pienellä Optimum BF 30 -jyrsinkoneella.



Kuva 35. Ohjausvarsi.

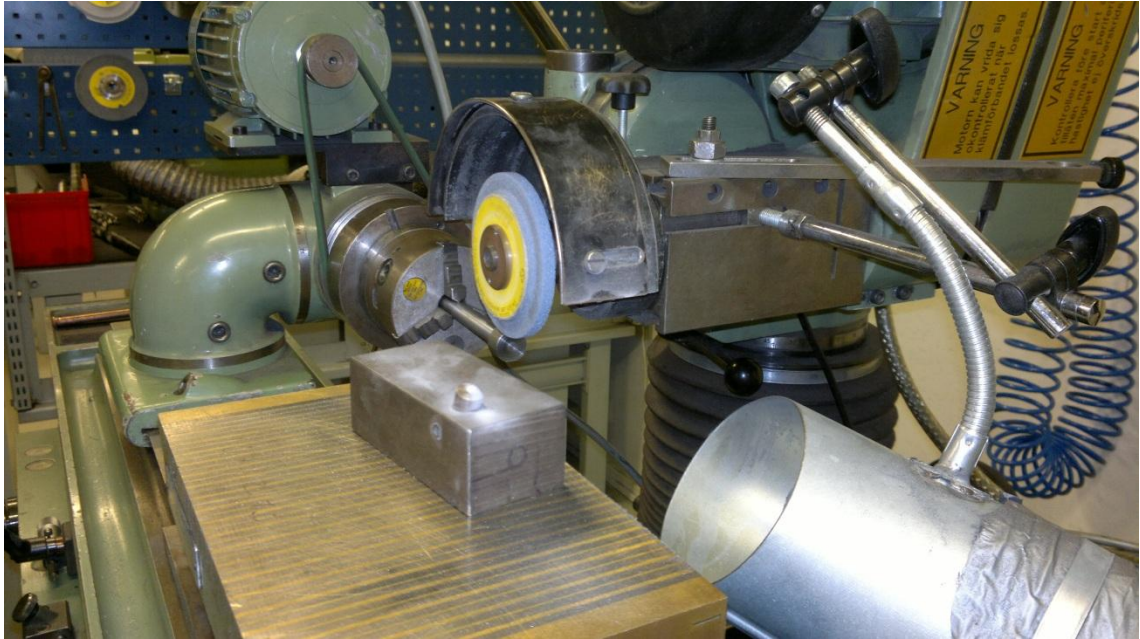
Hitsaus suoritettiin TIG-hitsauslaitteistolla AIKO:n erikoisammattimiehen opastuksella, koska kyseisellä hitsausmenetelmällä saadaan siistimpi jälki ja se soveltuu muutenkin paremmin tarkkaan hitsaamiseen. Aluksi harjoiteltiin hieman TIG-hitsauslaitteiston käyttöä ja kun se alkoi sujua, siirryttiin hitsaamaan varsinaisia komponentteja. Hitsaus onnistui ja saatiin aikaan tukevat hitsaukset (kuva 36).



Kuva 36. Olkatapin ja laakeripesän liittäminen TIG-hitsaamalla.

Viistokuulalaakerit, lukkomutterit, väliholkit sekä pallonivelet ostettiin ulkomailta, koska tarpeeksi edullisia laakereita ei löydetty Suomesta. Laakereita etsittiin useista kaupoista Suomesta, mutta jopa suurien laakerivalmistajien viistokuulalaakerit olivat kallista ostettaessa muutamia kappaleita.

Etupyörän asennus runkoon aloitettiin keskiöstä, johon asennettiin levyjarrulle kiinnike kuudella M5 pultilla. Tätä varten täytyi ostaa matalakantaisia kuusiokolopultteja. Tämä kiinnikkeen on myös valmistanut PKKY Kiteellä. Tämän kiinnikkeen jälkeen asennettiin väliholkki ja etuakseli. Etuakselin pää ja keskiö oli suunniteltu muotolukitteiseksi. Keskiössä on neliönmuotoinen syvennys, johon etuakselin neliönmuotoinen pää lukitetaan pyörimissuunnassa. Etuakselin päät täytyi hioa itse tasohiomakoneessa, jossa on pieni 3-leukapakka kiinnitettynä pyöröpöytään. Hiontaprosessia on esitetty kuvassa 37. Olkatapin kantaa vasten asennettiin viistokuulalaakeri, jonka jälkeen asennettiin olkatapin laakeripesä, toinen viistokuulalaakeri sekä lukkomutterit. Laakeripesää täytyi hieman hioa käsin, jotta laakerit saatiin menemään helposti paikoilleen, jotta ne myös saataisiin tarvittaessa pois. Tämän jälkeen olkatapitkin hiottiin sorvissa hiomapaperilla, jotta laakerit sai helpommin asennettua. Olkatappi (yhdessä laakeripesien kanssa) asennettiin etuputken laakeripesään alhaalta päin. Toinen laakeri asennettiin ylhäältä päin ja akseli lukittiin kahdella lukkomutterilla. Asennus tapahtui samalla tavalla myös nojapyörän toiselle puolelle.

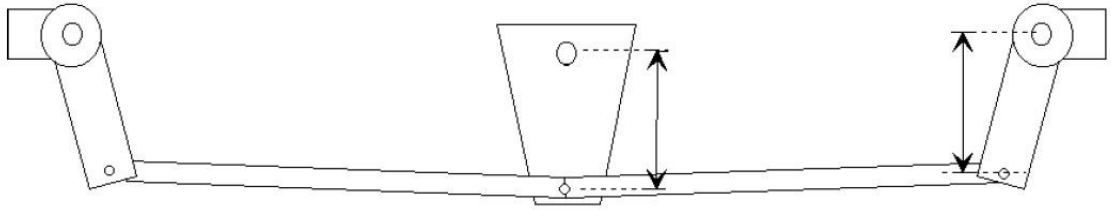


Kuva 37. Etuakselin muotolukituksen hionta.

Varsinaisen ohjauksen valmistus alkoi ohjaustangon ja rungon välisestä kiinnittimestä. Runkoon porattiin reikä, johon asennettiin akseli. Akselille asennettiin prikka, laakeri, väliholkki, toinen laakeri ja mutteri. Näiden ympärille tuli halkaistu putki, joka toimii laakeripesänä ja se kiristettiin tiukasti laakerien ympärille.

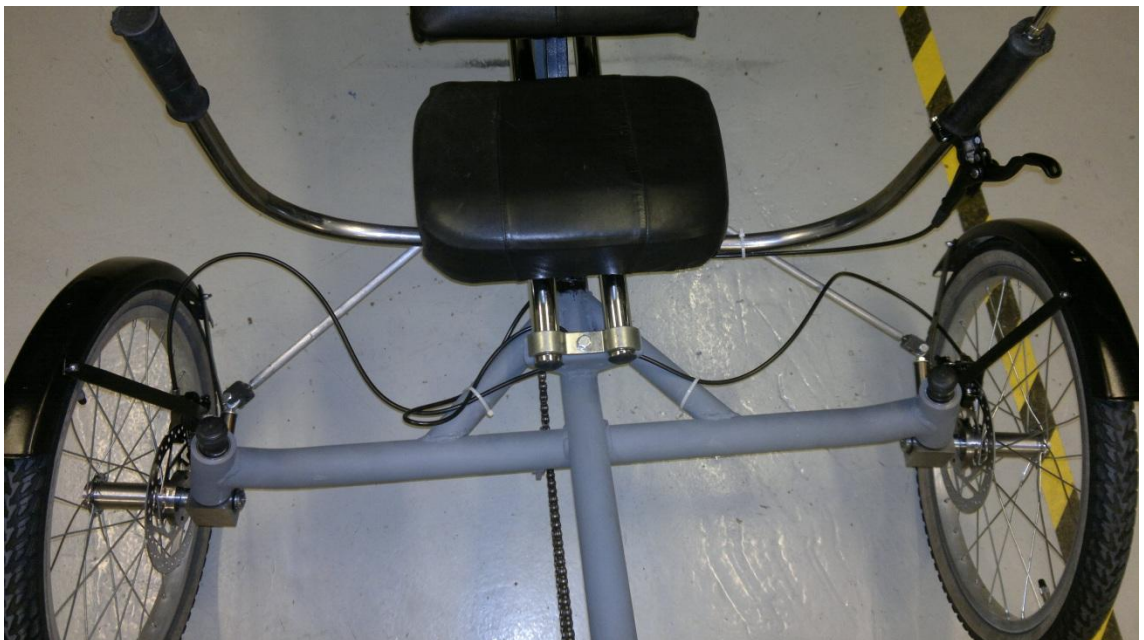
Ohjaustanko taivutettiin 22 mm paksusta teräsputkesta. Taivutus tapahtui vääntämällä suoraan putkeen kaksi 90°:een kulman suuruista mutkaa. Mutkien etäisyys toisistaan selvitettiin kokeilemalla sopivaa ohjaustangon muotoa istuen nojapyörän penkillä. Ohjaustangon putken paksuuden määräsi jarrukahvojen kiinnikkeet.

Ohjaustangon kiinnitys tehtiin vain hitsaamalla se ohjauksen laakeripesään tukipalojen kanssa eli eri tavalla kuin alun perin suunniteltiin, jotta ei tarvinnut koneistaa enempää osia. Ohjaustankoon tehtiin kiinnike, johon tulevat pallonivelet kiinni. Yksi keskeisimmistä asioista oli löytää kiinnityskohta ohjaustangon ja raidetangon välille, jotta kääntäessä molemmat eturenkaat kääntyisivät riittävästi ja harmonisesti toisiinsa nähden. Kiinnikkeessä olevien pallonivelten kiinnitysreikien etäisyys ohjaustangon pyörimisakseliin täytyy olla sama kuin etupyörän keskiakselin etäisyys ohjausvarren palloniveleen (ks. kuva 38).



Kuva 38. Ohjaukseen liittyvää mitoitusta [12, s. 18].

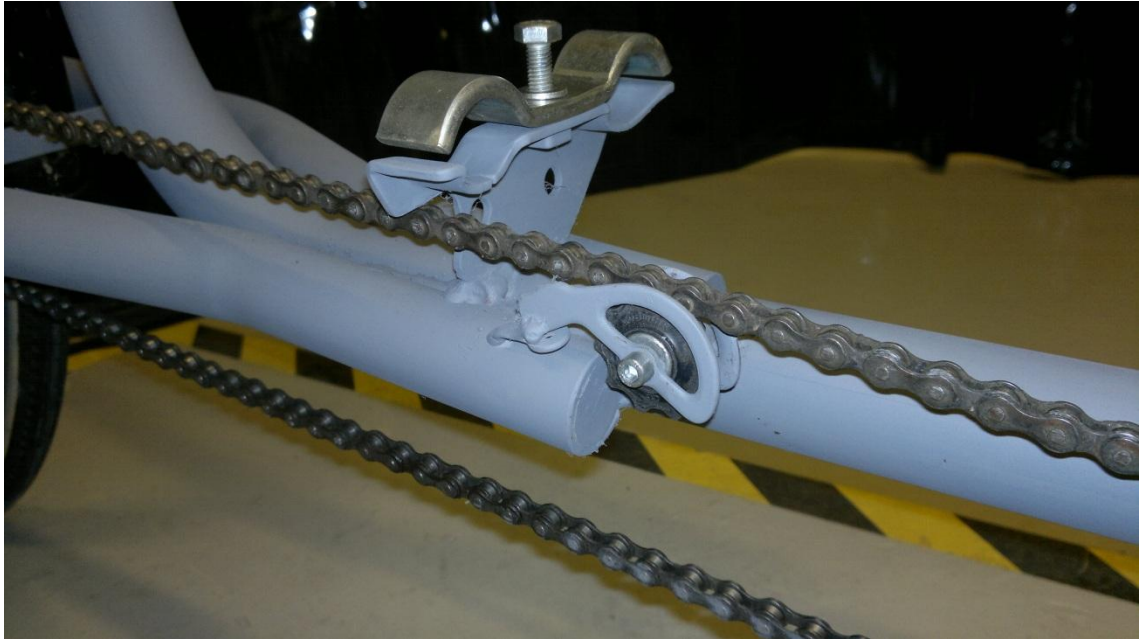
Palloniveleen kiinnitettiin raidetanko ja ulompaan päähän kiinnitettiin myös pallonivel u-kiinnikkeen avulla. Raidetanko on alumiinitankoa, johon toiseen päähän on tehty sisäpuolinen kierre ja toiseen päähän ulkopuolinen kierre. Ulomman pään pallonivel kiinnitettiin ohjausvarren päähän, jolloin ohjausjärjestelmän osat on yhdistetty toisiinsa. Sama asennus tehtiin tietenkin myös toiselle puolelle nojapyörää. Jo suunnittelussa huomattiin, että ohjaustangon kääntymistä täytyisi rajoittaa. Ohjaustangon kääntyessä liikaa raidetanko ja ohjausvarsi menevät suoraksi eivätkä enää palaudu tai pyörähtävät kääntymään väärään suuntaan. Tämän estämiseksi täytyi ohjaustangon etupuolelle runkoputkeen hitsata pieni kulmaraudan pala rajoittamaan ohjaustangon kääntymistä ja säädöksi kaksi pulttia, jotta tanko saataisiin kääntymään molempiin suuntiin riittävästi ja yhtä paljon (kuva 39).



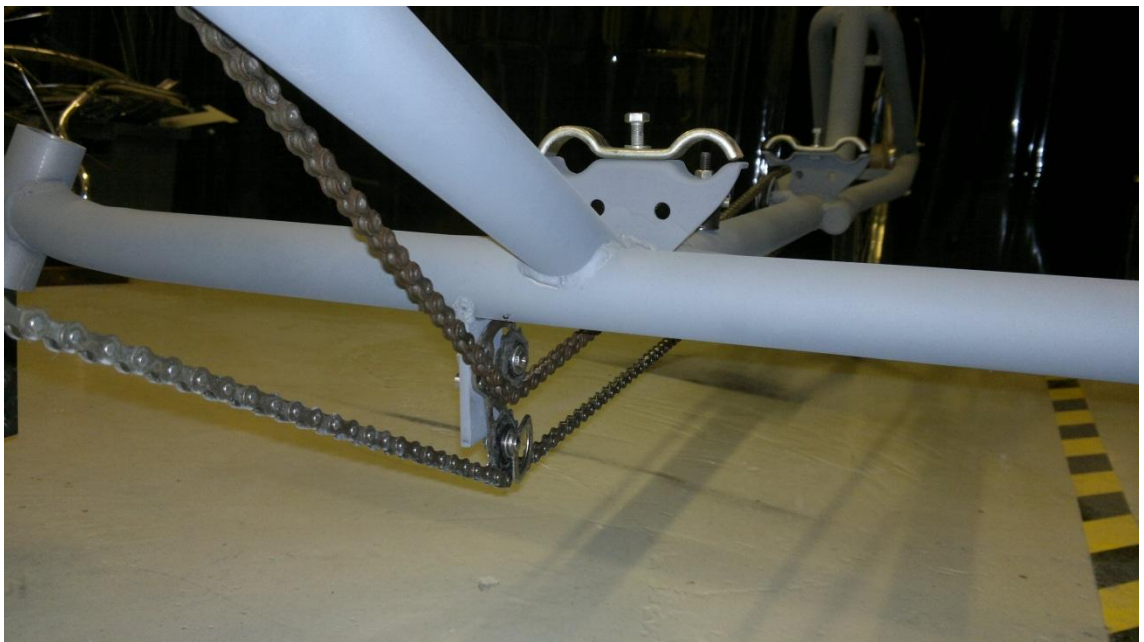
Kuva 39. Ohjausmekanismi.

## 6.4 Voimansiirto ja jarrut

Voima siirtyy polkimista eturattaan kautta pitkiä ketjuja pitkin takarattaalle. Ketju kulkee kahden ketjunohjaimen kautta rungon alapuolella, sen oikealla sivulla. Ketjunohjaimet tehtiin vanhojen polkupyörien ketjunohjaimista ja yksi ohjain tehtiin kokonaan itse ja kiinnitettiin hitsaamalla kuvien 40 ja 41 mukaisesti.



Kuva 40. Ketjun takaohjain.



Kuva 41. Etupään ketjunohjaimet.

Etulevyjarrut ostettiin MT-Bike-pyöräliikkeestä Joensuusta. Jarruille täytyi tehdä olkatapin laakeripesästä lähtevälle ohjausvarrelle oma kiinnike lattaraudasta ja hitsata se oikeaan kohtaan olkatappiin koneistettuun uraan. Jarrujen hydrauliletkut haaroitettiin Jokihydro Oy:stä ostetulla venttiilillä, jotta molemmat etujarrut saatiin toimimaan yhdellä kahvalla. Venttiilin asennuksessa aluksi öljyt laskettiin pois jarrujärjestelmästä, sitten leikkasimme sopivista kohdista letkut poikki ja lopuksi letkun päät kiristettiin venttiiliin tiiviisti. Sitten jarrujärjestelmä vietiin ilmattavaksi samaan pyöräliikkeeseen, josta ostimme jarrut. Ilmauksen jälkeen jarrut voitiin asentaa pyörään.

Etujarrujen asennuksen yhteydessä huomattiin, että jarrusatulat hankaavat hieman eturenkaiden pinnoihin. Tästä seurasi, että jouduttiin laittamaan prikoja jarrulevyn ja keskiön välille, jotta etäisyys pinnojen ja jarrusatulan välillä suurenee. Seuraavaksi asennettiin jarrukahva ohjaustankoon, hydrauliletkut laitettiin kulkemaan runkoputkea pitkin siististi ja jarrusatulat kiinnitettiin kunnolla paikoilleen. Nojapyörässä toimii myös takarenkaalla rumpujarru normaalisti polkimilla taaksepäin poljettaessa. Näin nojapyörässä on kaksi erillistä jarrujärjestelmää, jos toinen pettää niin toinen on vielä käytössä. Tämä tehtiin virheriskianalyysin nojaten.

## **6.5 Muut osat**

Lokasuojat ravan roiskumisen estämiseksi asennettiin sekä takarenkaalle että eturenkaille. Lokasuojat saatiin vanhoista polkupyöristä pienten muokkausten jälkeen. Lokasuojiin täytyi tehdä ainoastaan kaksi reikää kiinnityksille ja yhtä lokasuojaa täytyi hieman lyhentää ja taivuttaa. Takarenkaan lokasuoja asennettiin pulteilla kahteen hitsattuun kiinnikkeeseen. Etulokasuojia varten jouduttiin tekemään kiinnittimet, jotka näkyvät kuvassa 42. Kiinnittimet laitettiin kiinni jarrusatuloiden kiinnityspulttien alle ja kiinnittimet kiinnitettiin lokasuojiin pulteilla, joita varten lokasuojiin täytyi tehdä reiät.



Kuva 42. Etulokasuojien kiinnitys.

Seuraavaksi asennettiin vanhasta polkupyörästä otettu ja muokattu tavarateline takalokasuojan yläpuolelle (kuva 43). Tavaratelineen kiinnitys tapahtui telineen omien kiinnikkeiden lisäksi toisella tukikiinnikkeellä, joka hitsattiin paikoilleen. Tavaratelineeseen hitsattiin myös kiinnike heijastimelle ja siihen laitettiin heijastin kiinni. Ohjaustankoon asennettiin myös taustapeili, jotta ei tarvitse kurkkia nähdäkseen takaa tulevaa muuta liikennettä.



Kuva 43. Tavarateline.

## 7 Hienosäätö ja testaus

Opinnäytetyön käytännön osuus päättyi nojapyörän hienosäätöön ja testaukseen. Hienosäätöä tehtiin ennen testausta ja sen aikana tarpeen vaatiessa. Testaus tapahtui Joensuuissa 23–25.5.2012, sisätiloissa ja yleisillä pyöriteillä, asianmukaiset pyöräilijän turvavarusteet päällä.

Hienosäätöä tarvittiin etujarruissa, jotta jarrupalat osuvat tasaisesti ja suoraan jarrulevyille. Jarrusatulan kiinnikkeen hienosäädöllä keskitettiin jarrut lopuksi kohdalleen (kuva 44). Säätö tapahtui kahta jarrusatulaa kiinni paikoillaan pitävää pulttia löystyttämällä ja siirtämällä sitten satulaa varovasti irti jarrupaloista ja pitäen satula suorassa linjassa jarrulevyyn nähden.



Kuva 44. Levyjarrujen hienosäätöä.

Myös ohjausta täytyi hienosäätää raidetankojen osalta, jotta ohjaus toimisi halutunlaaisesti. Tarkoituksena oli päästä lähelle suunnitellun 40°:een kääntökulmaa, mikä lähes toteutuikin. Raidetankojen pituuden säädöllä asetettiin etupyörien aurasukulma sopivaksi, jotta ohjaustuntuma saatiin mahdollisimman hyväksi ja renkaat pyörisivät sulavasti.



Testausvaiheessa pyrittiin varmistamaan kaikkien nojapyörän hallintaan liittyvien osa-alueiden toimivuus. Tärkeimpinä testauskohtina oli ohjauksen ja jarrujen toimivuus tiukoissakin tilanteissa. Myös nojapyörän yleinen käyttäytyminen ja hallittavuus eri tilanteissa olivat testauksen kohteina.

Testaaminen alkoi normaalilla ajolla tasaisella alustalla. Ajo onnistui ja nojapyörä liikkui eteenpäin ja ohjaus vaikutti toimivalta. Testiajossa vetävänpuolen ketjunohjaimen ratas hajosi, koska se oli muovinen. Tilalle vaihdettiin toinen metallinen ratas. Myös ohjauksen aurasukulmia täytyi säätää vielä hieman lisää.

Kun kaikki osa-alueet tuntuivat toimivan, siirryttiin haastavimpiin ajotestauksiin. Toisessa testiajossa pyrittiin testaamaan ajoa vaikeissakin tilanteissa kuten jyrkkien alamäkien ajossa, tiukkojen jarrutuksien ja mutkien selviytymisessä eri nopeuksissa. Nojapyörä selviytyi kaikista testeistä ja pysyi ehjänä. Sillä oli helppoa ajaa ja se tuntui luotettavalta. Pientä hienosäätöä tarvittiin vielä niskatuen kulman asennossa. Niskatukea päätettiin nostaa hieman pystympään asentoon, jotta pää pysyisi sellaisessa asennossa, että eteenpäin on helppoa katsoa eikä niskaa tarvitse jännittää. Onnistuneiden testiajojen myötä nojapyörä päätettiin antaa koeajoon toimeksiantaja Jukka Tuloselle.

Jukka koeajoi nojapyörän ja sanoi sen toimineen hyvin. Hänen mukaansa ohjaus ja jarrut toimivat hyvin ja runko oli riittävän jäykkä. Ajoasento tuntui hyvältä ja pyörällä oli hänen mukaansa miellyttävä ajaa. Ajamista hankaloitti pyörän suuri massa sekä vaihteiden puuttuminen. Vaihteiden puuttuminen korjattiin vaihtamalla takarengas, jossa on 7 vaihdetta.

## 8 Opinnäytetyön arviointia

### 8.1 Suunnittelu

Opinnäytetyön suunnitteluvaihe kesti suhteellisen pitkään verrattuna koko projektiin käytettyyn aikaan. Suunnitteluvaihe onnistui loppujen lopuksi varsin hyvin, vaikka koettiin paljon haasteita ja vastoinkäymisiä sen aikana. Ongelmia tuli tietokoneiden ja ohjelmistojen käytössä, lujuuslaskentojen suorittamisessa ja tietysti yleisesti haettaessa toimivinta ratkaisua nojapyörän eri osissa ja kokoonpanoissa. Lujuuslaskut jouduttiin suorittamaan kahdessa eri luokkatilassa, joista toisessa oli käytössä tehokkaammat koneet. Lähes aina molemmat luokkatilat olivat varattuja, joten lujuuslaskujen tekeminen oli katkonaista ja se häiritsi paljon niiden tekemistä.

Ohjausmekanismeja suunniteltaessa huomattiin, ettei verkosta käynnistettävässä PTC Creossa toiminut mekanismit-lisäosa. Sen toimintaan saaminen edellytti Creon asennusta kovalevyille, ja tässä ei taas toiminut itse 3D-mallintaminen. Kahden ohjelman välillä vaihteleva aiheutti haasteita ja hidasti suunnittelutyötä huomattavasti.

Koneistettavien osien osalta jälkeenpäin ajateltuna tärkeintä olisi ollut teettää osat yhdessä paikassa, ja käydä palavereja koneistajien kanssa. Tällä tavalla osista olisi heti saanut helposti valmistettavia, varmasti yhteensopivia, sekä olisi säästynyt aikaa ja vaihua. Useamman yhteistyökumppanin kanssa toimiessa osien yhteensovittaminen ei ole valmistusvaiheessa mahdollista ja näin toleranssit täytyy mitoittaa tarkasti. Palautetta saatiin vasta silloin, kun piirustukset oli viety koneistajille. Osa koneistajilta saadusta palautteesta oli hieman ristiriitaista. Eri koneistajat neuvoivat hieman eri tavalla ja muutosten tekeminen täytyi tehdä omien tietojen ja taitojen pohjalta. Lisäksi vasta myöhemmin saatiin tietää, että tällä toisella valmistajalla olisi ollut työhön soveltuvammat koneet ja työntekijät sekä heillä olisi ollut käytössä enemmän aikaa.

Suunnittelu toimi hyvänä pohjana valmistukselle ja lopulta raportin laatimiselle. Pieniä suunnitteluvirheitä sattui, mutta ne saatiin ratkaistua valmistuksen ja kokoonpanon yhteydessä. Aivan kaikkea nojapyörän valmistuksessa tehtyjä asioita ei tarkoituksella suunniteltu, mutta ne suunnitelmat mitkä oli laadittu, pitivät yleensä hyvin.

## 8.2 Valmistus ja kokoonpano

Valmistus alkoi runkoputkien taivutuksista. Taivutukset onnistuivat mallikkaasti Feteco Oy:ssä ja niistä tuli sellaiset kuin suunniteltiin. Näiden putkien hitsaaminen nojapyörän rungoksi onnistui myös hyvin, koska materiaalia oli helppo hitsata ja tehty hitsausjigi toimi oikein. Myös laakeripesiin onnistuttiin hitsaamaan olkatapit ja ohjausvarret tarkasti ja tukevasti. Hitsausta helpotti laakeripesiin suunnitellut ja valmistetut poterot, joihin komponentit saatiin tarkasti kohdalleen.

Valmistuksessa suurimmat ongelmat keskittyivät koneistettaviin osiin. Osat valmisti PKKY Kitee sekä Pohjois-Karjalan aikuisopisto Joensuussa. Osia sai odottaa pitkään, eikä tiennyt varmasti milloin ne olisivat valmiita. Osat tulivat eri paikoista eri aikaan, mikä ei ollut hyvä asia jälkepäin ajatellen. Osat sopivat yllättävän hyvin toisiinsa, vaikka laakeripesiä ja akseleita hieman hiottiinkin asennuksen helpottamiseksi. Lisäksi pienien suunnitteluvirheiden takia tuli hieman lisätöitä, mutta niistäkin selvittiin ja pyörä saatiin valmiiksi ja toimivaksi (kuva 45).



Kuva 45. Valmis nojapyörä TahKo.

Nojaypyörälle kertyi lopulta painoa lähes 45 kg ja hintaa ostetuille osille tuli yhteensä hieman yli 500 euroa. Ostettujen osien lisäksi tuli vielä paljon koneistettuja osia, joiden hinnoista ei ole tarkkaa tietoa. Suuri osa osista oli ilmaisia, joita saatiin omasta takaa ja lisäksi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun varastoista. Nojaypyörän runko olisi voinut ehkä olla hieman lyhyempi, koska sähköistyksen vaatimia akkuja ei lopulta tarvinnut.

nutkaan sijoittaa penkin taakse, koska sähköistys jäi pyörästä ainakin vielä tässä vaiheessa pois. Pitkästä rungosta ja akselivälisestä johtuen kääntösäde jää melko suureksi, mutta toisaalta se ei haittaa, koska kyseessä on enemmän matkapyörä.

### 8.3 Raportointi

Raportointia tehtiin lähes koko projektin ajan, sitä mukaa kun muu projekti eteni. Suunnitteluvaiheessa tehtiin raporttia johdannon ja suunnittelun osalta, ja valmistusvaiheessa luonnollisesti kirjoitettiin raporttia valmistuksen osalta. Raportti eteni siis sitä mukaa kun pyörä valmistui ja se oli hyvä ratkaisu, koska asiat olivat aina tuoreessa muistissa. Valokuvia otettiin koko projektin etenemisen ajan, jotta pyörän eri kehitysvaiheet saatiin taltioitua.

Raportille alussa luotu runko toimi yleisesti hyvin. Suurin osa tekstin ja muotoilun asetuksista tehtiin heti raportoinnin alussa. Pieniä ongelmia ilmeni kuitenkin kuvien asettelussa sopiville paikoille. Ongelma syntyi, koska alussa ei ollut tiedossa, mitä kuvia raporttiin tulee ja mihin kohtaan tekstiä. Tekstiä kirjoitettaessa ja kuvia myöhemmin lisätessä oli vaikea pitää kuvien numerointi järjestyksessä. Myös lähdeluetteloon tuli raportin edetessä muutoksia niin itse lähteissä kuin niiden järjestyksessäkin. Tästä seurasi lähdenumeroinnin järjestyksen hankala ylläpito. Välillä täytyi myös tarkastaa, mistä lähteestä tietoa oli haettu, jotta numerointi täsmäisi.

Raportin kirjoittaminen kahdestaan ei tuottanut ongelmia. Kirjoitimme sekä yhdessä että erikseen, ja tilaisuuden tullen yhdistelimme kirjoituksemme samaan raporttiin samalla tarkastaen että teksti on virheetöntä ja ehyttä. Toiselta saadun palautteen perusteella uskomme oppineemme virheistämme ja kehittyneemme kirjoittajina.

## 9 Pohdinta ja nojapyörän tulevaisuuden näkymät

Suunnittelussa onnistuimme omasta mielestämme yleisesti ottaen hyvin ja opimme käyttämään paremmin tietokonepohjaisia suunnittelun, lujuuslaskennan ja työpiirustusten työkaluja (PTC Creo 1.0). Tulevaisuuden työelämässä näistä opituista taidoista on paljon hyötyä, varsinkin jos työtehtävät liittyvät suunnitteluun. Kehittämisen varaa näissä asioissa meillä molemmilla vielä tietenkin on.

Valmistuksen osaltakin koimme onnistuneemme varsin hyvin ottaen huomioon melko tiukan aikataulun ja koetut vastoinkäymiset. Kädentaidot kehittyivät paljon esimerkiksi hitsauksen osalta. Opimme paljon uusia asioita kuten esimerkiksi TIG-hitsauksen ja polkupyörän vanteen pintojen asentamisen ja rihtaamisen. Erilaisten koneiden kuten muun muassa manuaalijyrsinkoneen sekä pyöröhiomakoneen käyttö tuli tutuksi. Myös putkentaivutuksen käytännön puoli tuli tutuksi Feteco Oy:n vierailun myötä ja se antoi valmiuksia suunnitella putkentaivutuksia tulevaisuutta silmällä pitäen.

Raportointikin sujui hyvin muun työskentelyn ohessa ja samalla oppi käyttämään paremmin Microsoft Wordia. Aikaisempien raporttien tekemisestä oli paljon apua tämän raportin rakenteen ja muotoilun kanssa. Huomasimme, että pitkän projektin aikana raportointia kannattaa tehdä koko prosessin ajan, jotta vanhat asiat eivät pääse unohtumaan. Alussa raporttia kannattaakin käyttää eräänlaisena päiväkirjana.

Teimme opinnäytetyötä kahdestaan ja se toi opinnäytetyön tekemiseen omat haasteensa. Työskentelyajat täytyi sopia päivittäin ja aina täytyi neuvotella ja kysyä toisen mielipidettä eri asioissa. Koimme kuitenkin, että parityötä tehdessämme opimme paljon enemmän kuin, jos olisimme tehneet työn yksin. Yhteistyöstä oli myös paljon hyötyä, koska saimme käyttöön molempien tiedot ja taidot. Pystyimme hyödyntämään molempien vahvuuksia ja paikkaamaan toistemme heikkouksia. Jos toisella meistä oli joskus motivaatio ongelmia, toinen yleensä kannusti ja motivoi jatkamaan. Molemmilta löytyi usein omia ehdotuksia eri tilanteissa, joista valitsimme aina parhaalta vaikuttavan vaihtoehdon. Yhdessä ratkoessamme ongelmatilanteita, oli helpompi tehdä päätöksiä ja keilla erilaisia ratkaisuja, koska niitä ei tarvinnut tehdä yksin.

Näinkin pitkän projektin tekeminen parityönä auttaa myöhemmin työelämässä, koska insinööreinä joudumme työskentelemään toisten ihmisten kanssa. Lisäksi saimme uusia kontakteja ammattikorkeakoulun ulkopuolelta ja opimme, että ongelmatilanteissa kannattaa rohkeasti ottaa yhteyttä ammattilaisiin ja kysyä heiltä neuvoa. Yhteenvetona koko projekti onnistui tietoihimme ja taitoihimme nähden hyvin. Opimme paljon ja kehitimme monella eri osa-alueella tulevaisuutta ajatellen.

Valmistuneen nojapyörän prototyypin tulevaisuuden näkyminä olisi se, että siitä voisi kehittää kevyemmän ja toimivamman version. Tämä nojapyörä tulisi jokapäiväiseen käyttöön kulkuvälineeksi ja sillä ajettaisiin ympäri vuoden. Koska tällainen nojapyörä vie paljon tilaa, siitä voisi kehittää kokoontaitettavan version, jolloin sen varastointi olisi helpompaa. Myös opinnäytetyön alussa suunniteltu, mutta myöhemmin pois jäänyt apusähkömoottorin lisääminen olisi mahdollista. Lisäksi tähän versioon voisi suunnitella ja valmistaa suojakatteet, jotta ajaja olisi suojassa säältä ja muotoilusta saataisiin aerodynaamisempi.

Nojapyörän prototyypistä olisi tarkoitus ottaa toimivia asioita mahdolliseen myöhemmän nojapyörän valmistukseen. Tällaisia kehittämiskohteita voisivat olla esimerkiksi ohjaus- ja jarrutusjärjestelmä. Prototyypin olemassaolo helpottaa seuraavan version kehittämistä, koska toimeksiantajallamme on nyt käytössään hankkimaamme tietoa ja suunnittelemissamme ja valmistamissamme ratkaisuja eri osa-alueille. Jatkossa nyt on helpompaa keskittyä vain kehittämään ja parantamaan jo olemassa olevan nojapyörän pohjalta.

## Lähteet

1. Club VeeDub. Saatavissa: <http://www.clubvw.org.au/oldart009> [viitattu 10.5.2012].
2. Rantanen, S. Fly! – Nojapyörä työmatkalle. Lahden Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2010.
3. Ihalainen, E. ym. Valmistustekniikka. Hakapaino Oy. Helsinki. 2007.
4. Lukkari, J. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. Oy Edita Ab. Helsinki. 1997.
5. Katainen, H. & Mäkinen A. Muovaava ja leikkaava työstö. WSOY. Porvoo. 1989.
6. Outinen, H. ym. Lujuusopin perusteet. Pressus Oy. Tampere. 1998.
7. Laitinen, E. ym. Konetekniikan materiaalioppi. Oy Edita Ab. Helsinki. 1998.
8. Hietikko, E. Palkki. Lujuuslaskennan perusteet. Otava Oy. Keuruu. 2004.
9. SKF. Pääluettelo. 1982.
10. Kunnossapito 2. Verkojulkaisu. 2007. Saatavissa: <http://www.promaint.net/downloader.asp?id=2328&type=1> [viitattu 28.5.2012].
11. Sivula, T. Raskaan kaluston akselistosuunnaukset ja suuntaustöiden lisääminen Raskoneen Tampereen korjaamolla. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö. 2006.
12. Horwitz, R. M. 2010. The Recumbent Trike Design Primer (Version 8.0) [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa: [http://www.hellbentcycles.com/trike\\_projects/Recumbent%20Trike%20Design%20Primer.pdf](http://www.hellbentcycles.com/trike_projects/Recumbent%20Trike%20Design%20Primer.pdf).
13. Schaeffler Group. Saatavissa: <http://www.schaeffler.fi> [viitattu 2.3.2012].
14. Terratrike Rover. Saatavissa: <http://www.bentrideronline.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/04/rover6.jpg> [viitattu 10.5.2012].
15. Inspired Cycle Engineering Limited. Saatavissa: <http://www.icetrikes.co> [viitattu 10.5.2012].

## **Liitteet**

- Liite 1 Virheriskianalyysi
- Liite 2 Microsoft Project -aikataulu
- Liite 3 Runkoputken valmistuspiirustus
- Liite 4 Etuputken valmistuspiirustus
- Liite 5 Takaputken valmistuspiirustus
- Liite 6 Takatukiputken valmistuspiirustus
- Liite 7 Nojapyörän rungon kokoonpanopiirustus
- Liite 8 Olkatapin laakeripesän valmistuspiirustus
- Liite 9 Olkatapin valmistuspiirustus
- Liite 10 Oikean etupyörän laakeripesän valmistuspiirustus
- Liite 11 Vasemman etupyörän laakeripesän valmistuspiirustus
- Liite 12 Etupyörän keskiön valmistuspiirustus
- Liite 13 Etupyörän väliholkin valmistuspiirustus
- Liite 14 Etuakselin valmistuspiirustus
- Liite 15 Ohjausvarren valmistuspiirustus
- Liite 16 Laakerilaskennan tulokset
- Liite 17 Viistokuulalaakerin tiedot

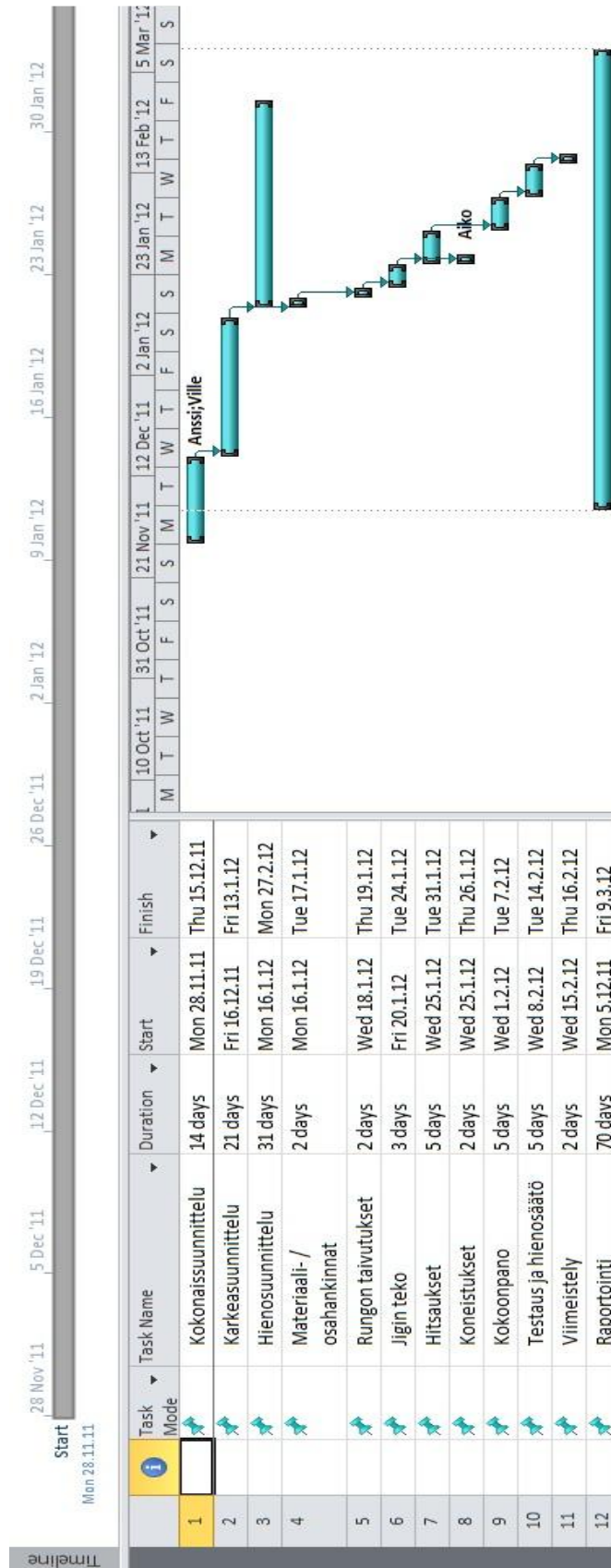


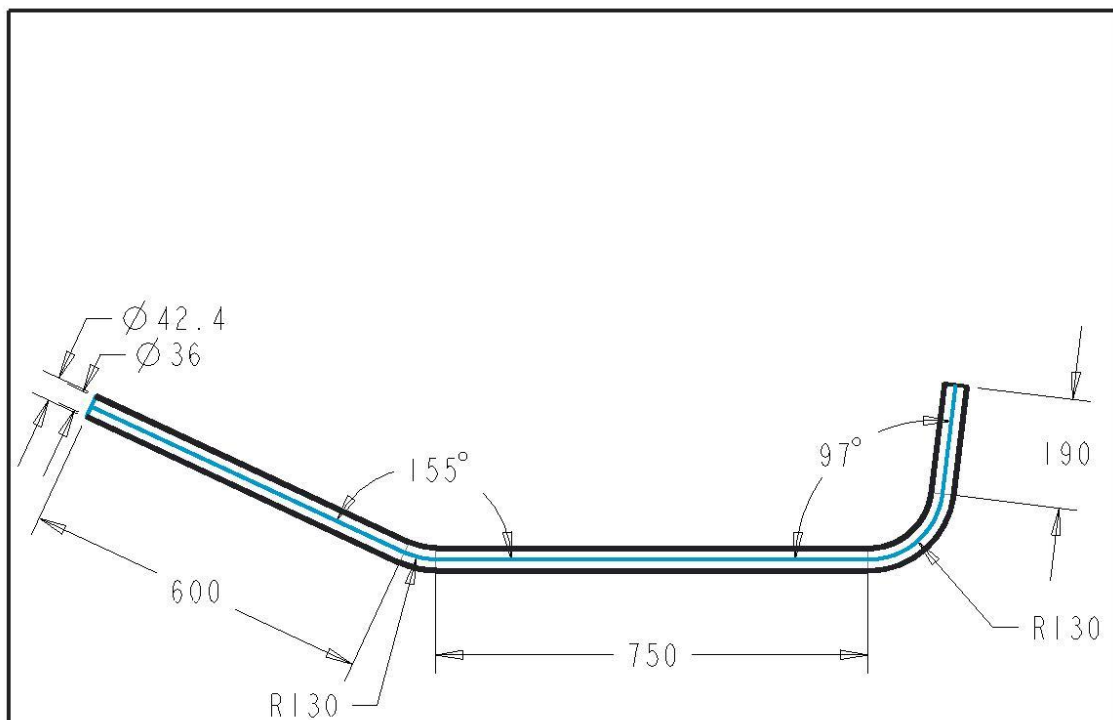
**PROCESS FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (PFMEA)**  
 Anssi ja Ville  
 Process Responsibility  
 RIMEA Number  
 1  
 Prepared By  
 RIMEA Date (Orig)

Process  
 Suunnittelu- ja valmistusriehiden vaikutus turvallisuuteen  
 Key Date  
 1  
 RIMEA Date (Orig)

Core Team  
 Anssi ja Ville

Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	Seriousness	Criticality	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrences of Failure	Current Process Controls	Detection	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	Action Results
Runko	Runkopulttien vääntyminen tai murtuminen	Runko hajoo. Mahdollinen onnettomuus.	9	Vakava	Lujuusaskennan virheellisyys. Yliäärää ulkoinen kuormitus.	2	Varmuuskertoimen lisääminen. Lujuusaskennan tarkistaminen.	5	Lujuusaskentojen uudelleenlaskenta. Rungon testaus.	Suunnittelijat ja valmistajat.		
Akselit	Et-, olka- tai taka-akselin murtuu	Pyöriä irtoaa. Mahdollinen onnettomuus.	9	Vakava	Lujuusaskennan virheellisyys. Yliäärää ulkoinen kuormitus.	2	Varmuuskertoimen lisääminen. Lujuusaskennan tarkistaminen.	5	Lujuusaskentojen uudelleenlaskenta. ja valmistajat.	Suunnittelijat ja valmistajat.		
Laakerit	Laakeri hajoo	Pyöriä lukittuu.	4	Kohtalainen	Laakerien huono laatu tai sormittomuus käyttötarvikkeeseen.	2	Laskentojen tarkistaminen.	8	Laadukkaampien laakereiden ostaminen.	Suunnittelijat ja valmistajat.		
Ohjaus	Ohjauspetiä	Nojapyörän hallinta vaikeutuu / menetetään. Mahdollinen onnettomuus.	10	Vakava	Ohjauskomponenttien huono kiinnitys tai laatu.	3	Huollisuus komponenttien valinnassa ja asennuksessa.	3	Ohjauksen huollellinen testaus.	Suunnittelijat ja valmistajat.		
Jarrut	Jarrut petivät	Nojapyörän pysäyttämisen vaikeutuu. Mahdollinen onnettomuus.	8	Vakavahko	Hydrauliikkakalvon tai liittimen petäminen.	3	Huollisuus komponenttien valinnassa ja asennuksessa.	5	Ammattitaitoinen asentamaan hydraulikan komponentit.	Suunnittelijat ja valmistajat.	Takapyörällä oma jarrujärjestelmä.	8 2 4 64
Hitsausaumat	Hitsausauma murtuu	Mahdollinen onnettomuus riippuen hitsausauman sijainnista.	8	Vakavahko	Huono hitsausauma.	2	Huollisuus.	8	Hitsausaumojen testaus.	Suunnittelijat ja valmistajat.	Hitsausaumoje n tarkastelu ja testaaminen.	8 2 6 96
Penkaat	Keskio murtuu, pinnat katkeaa, ku mi puhkeaa	Yliäärää ulkoinen kuormitus. Lujuusaskennan puute.	7	Keskitaso		3	Lujuusaskennan tekeminen / varmistaminen.	4	Vahvemmat pinnat ja vanteet sekä puhkeamattomat renkät.	Suunnittelijat ja valmistajat.		



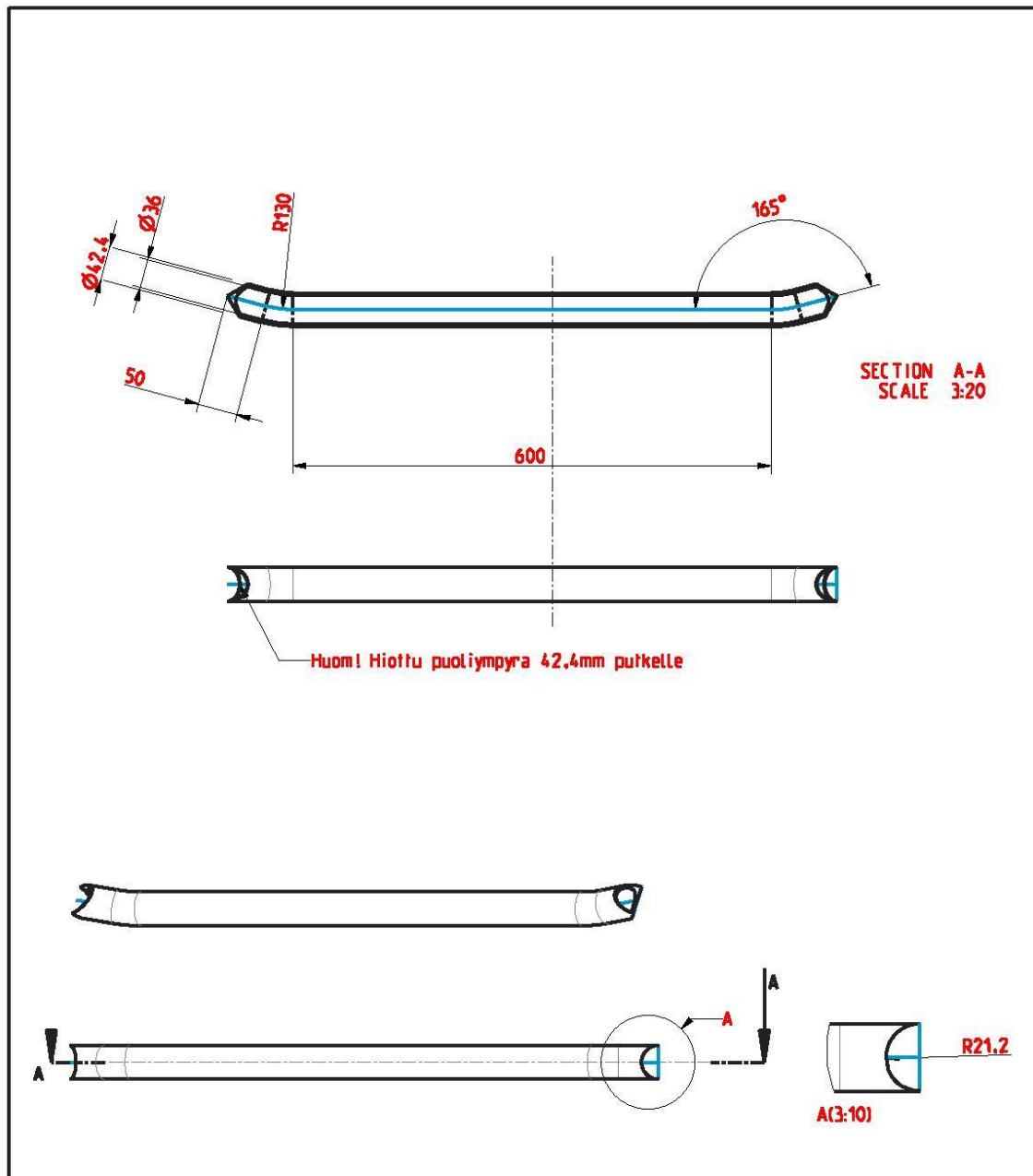


For Educational Use Only

Materiaali: Ruukki, Combi 200

Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	
SFS-EN ISO 13920-BE		0.100	Keskiputki	Nojapyörä	CREO KESKIPUTKI	
Piirt	Feb-27-12 ak		<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">PKAMK</p>	Ent	Uusi	Rev
Suun	AK			Piirustusnumero		
Tark				1		
Hyv						

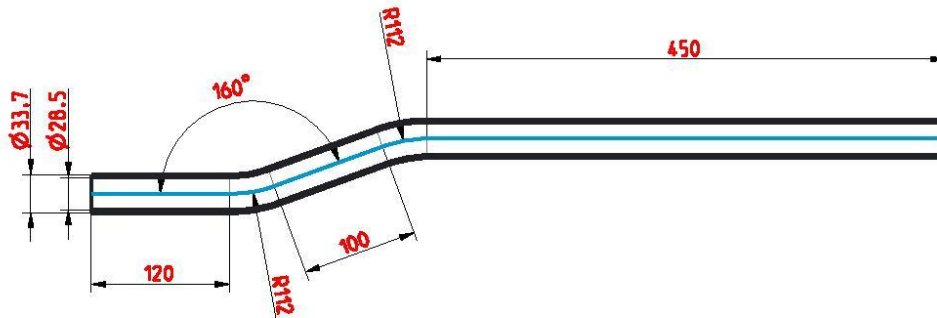
For Educational Use Only



For Educational Use Only

Oso	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanoryhmän nimitys	NO	Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys					
SFS-EN ISO 13920-BE		3:20		Nojapyora	ETUPUTKI					
Piirt	060212 NO		<h1 style="margin: 0;">PKAMK</h1>			Ent	Uusi	Rev		
Suus						Piirustusnumero				
Torb						<h2 style="margin: 0;">2</h2>				
Hyy										

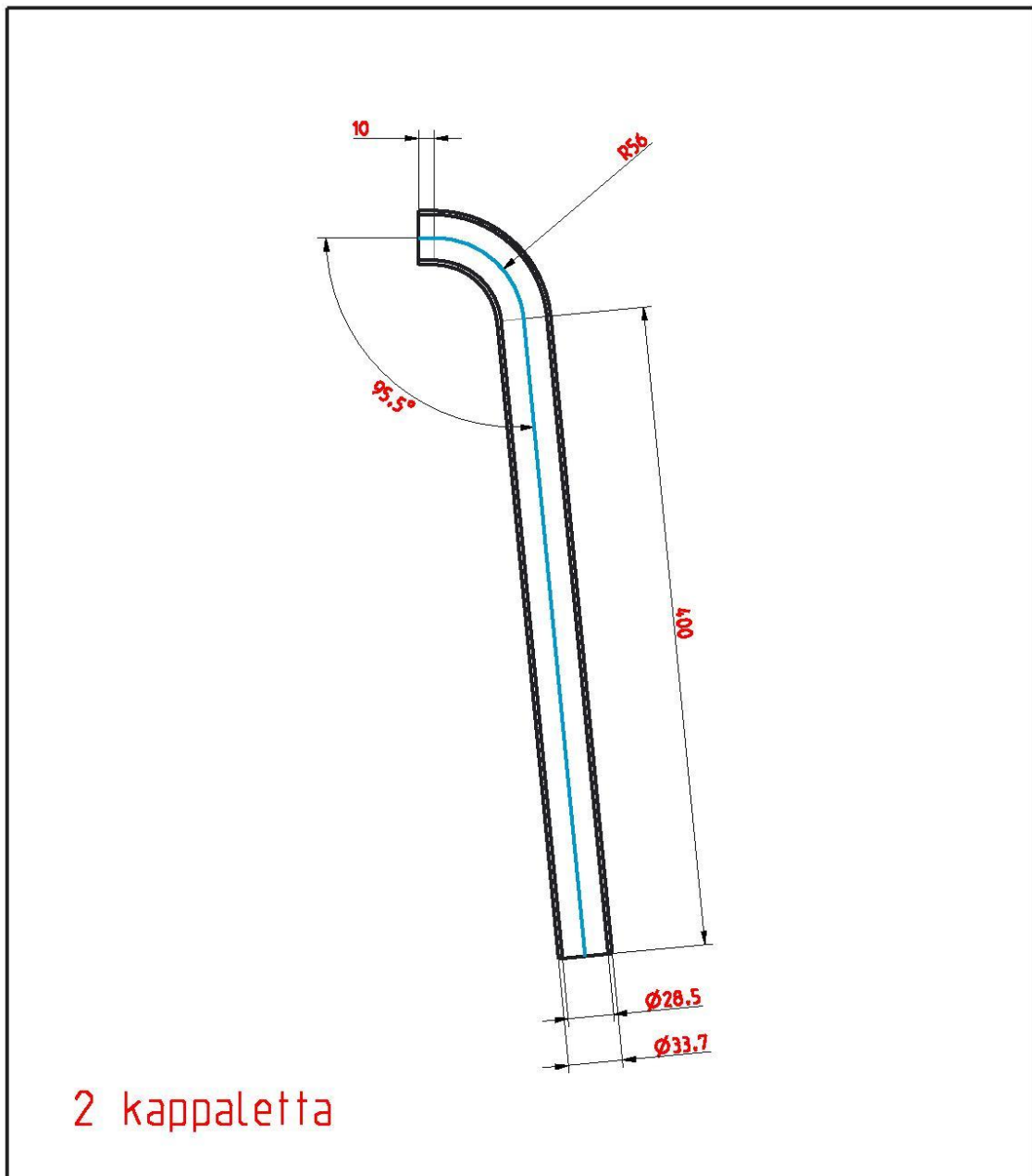
For Educational Use Only



2 kappaletta

			NO			
Osa	Piirustusnumero	Osaan tai kateenpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Nyöle, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Willekeeva	Tuote	Liittely	Nimitys	
SFS-EN ISO 13920-BE		15		Nojapyora	TAKAPUTKI	
Piiri	060212 NO		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suon				Piirustusnumero		
Tark		Messa		3		
Hyr						

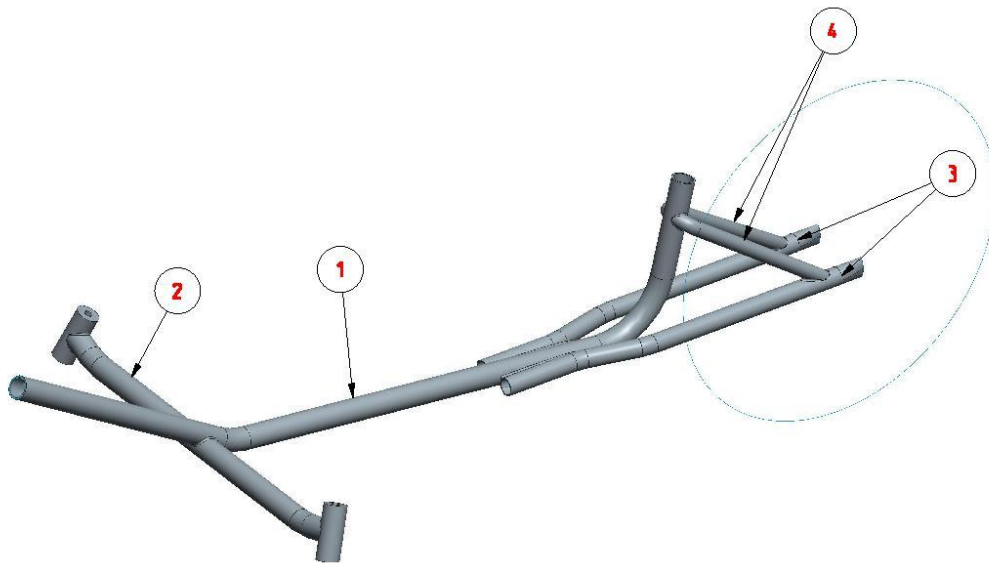
For Educational Use Only



For Educational Use Only

			NO					
Oso	Piirustusnumero	Osan tai kokonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, mitat Lajimerkki	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit SFS-EN ISO 13920-BE		Millikaava 25	Tuote	Liittyy Nojapyora	Nimitys TAKATUKI			
Piiri	090212 NO	 Messu	<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev	
Suon					Piirustusnumero			
Tark					<h1>4</h1>			
Hyv								

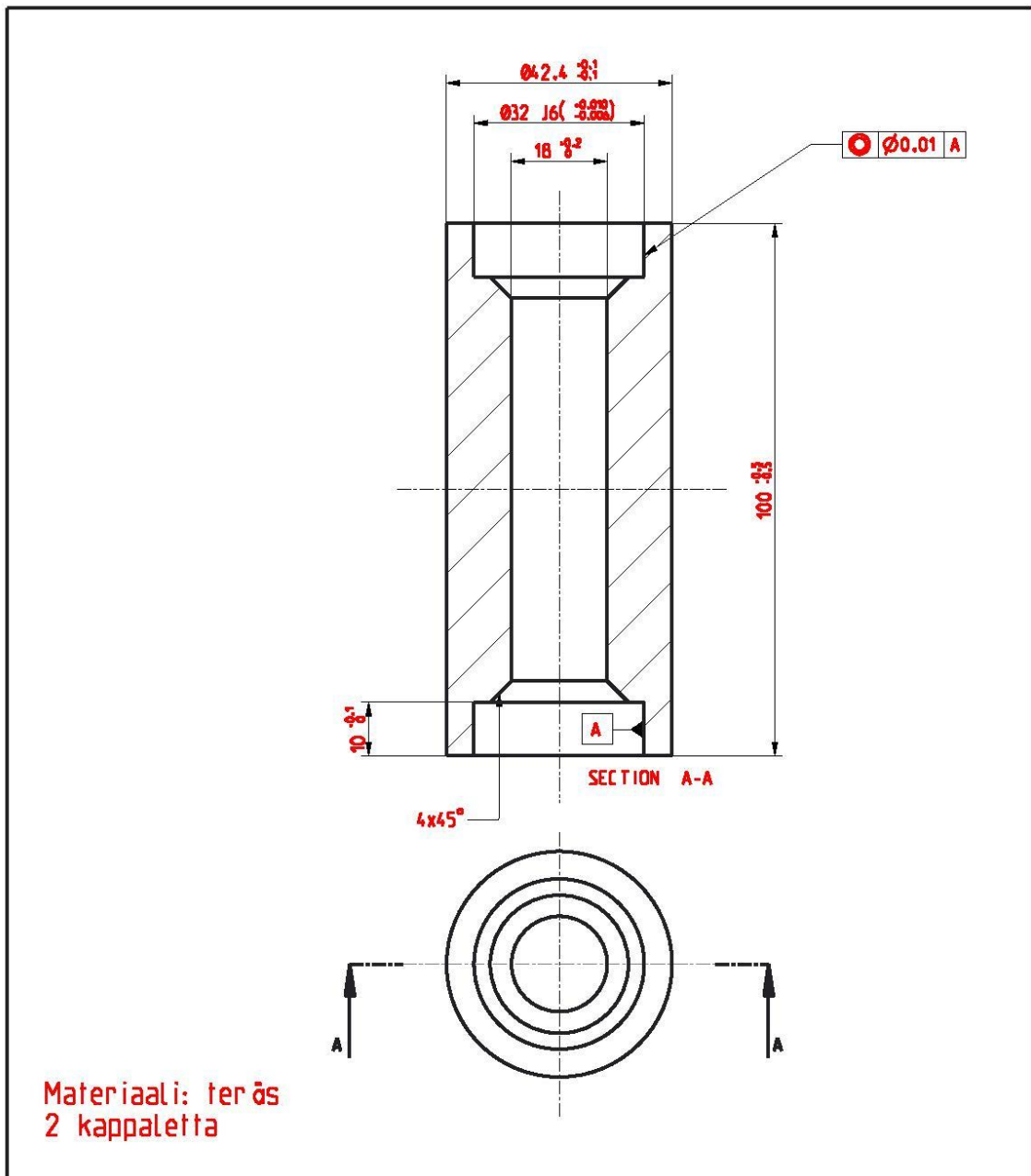
For Educational Use Only



For Educational Use Only

			NO			
<b>Osa</b>	<b>Piirustusnumero</b>	<b>Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys</b>	<b>Standardi tai luettelo</b>	<b>Muoto, malli, mitat Leijimerkki</b>	<b>Laatu</b>	<b>Kpl</b>
<b>Yleistoleranssit</b>		<b>Willekeeva</b>	<b>Tuote</b>	<b>Liittyy</b>	<b>Nimitys</b>	
		<b>ISO</b>		<b>Nojapyora</b>	<b>CREO_RUNKO_4</b>	
<b>Piiri</b>	<b>270212 NO</b>		<b>PKAMK</b>		<b>Ent</b>	<b>Uusi</b>
<b>Suon</b>					<b>Piirustusnumero</b>	
<b>Tark</b>		<b>Messa</b>			<b>5</b>	
<b>Hyr</b>						

For Educational Use Only

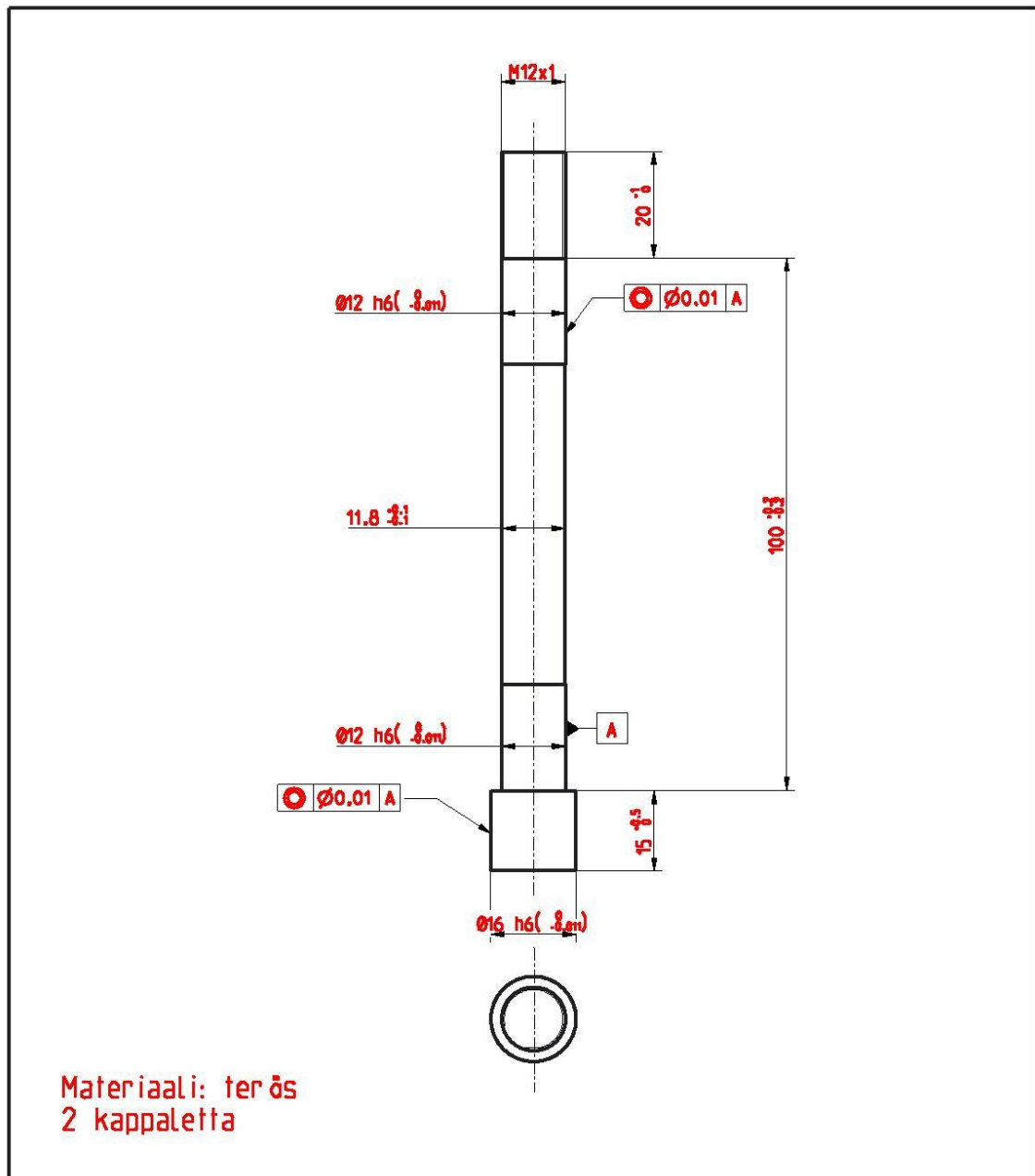


For Educational Use Only

Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokonpanoryhmän nimitys	NO	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Willekeeva	Tuote	Liittyy	OLKATAPIN LAAKERIPESA			
Piiri	120312 NO	 			Enti	Uusi	Rev	
Suon	Piirustusnumero				7			
Tark	Messa							
Hyr								

For Educational Use Only

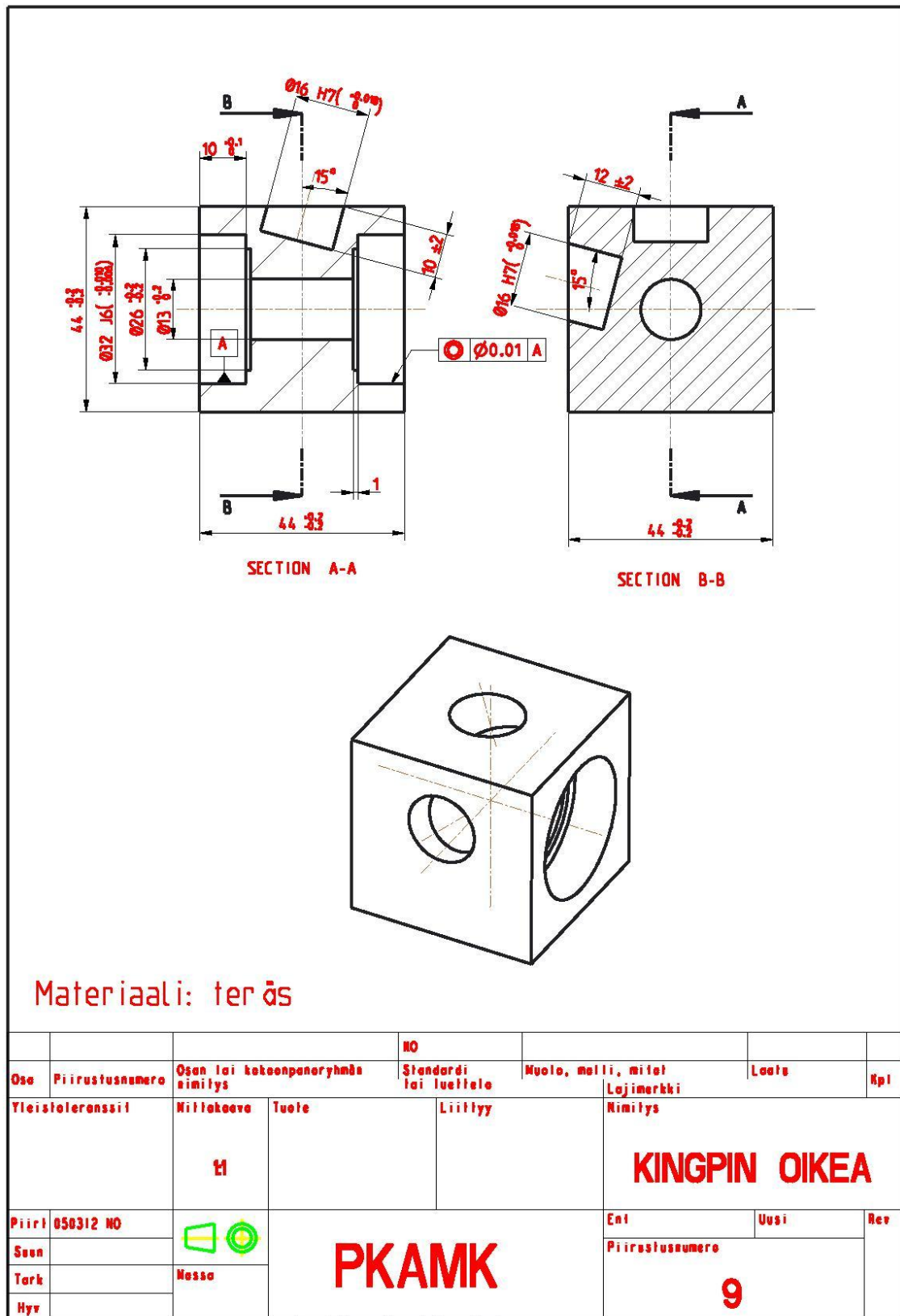




For Educational Use Only

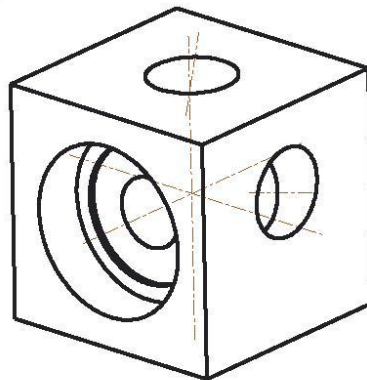
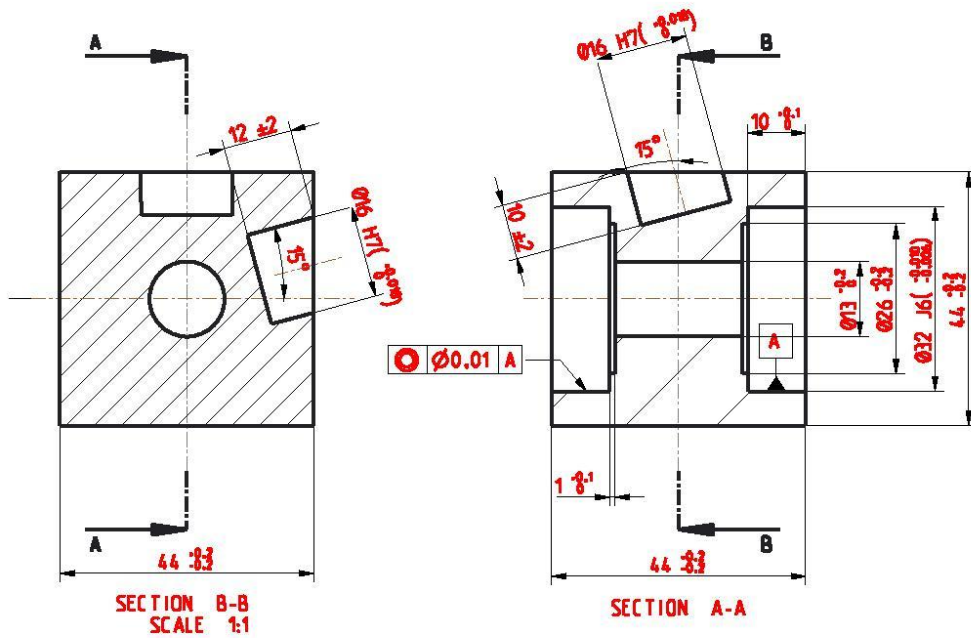
Osa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanoryhmään viittaus	NO	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Willekeava	Tuote	Liittyy	Leijimerkki	
		ti			<b>KINGPIN_PYSTYAKSELI</b>	
Piiri	120312 NO		<b>PKAMK</b>	Ent	Uusi	Rev
Suon		<b>8</b>		Piirustusnumero		
Tark	Messa					
Hyr						

For Educational Use Only



For Educational Use Only

For Educational Use Only

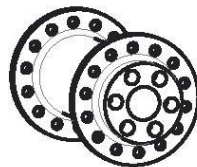
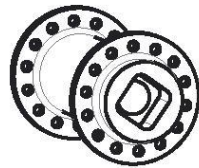
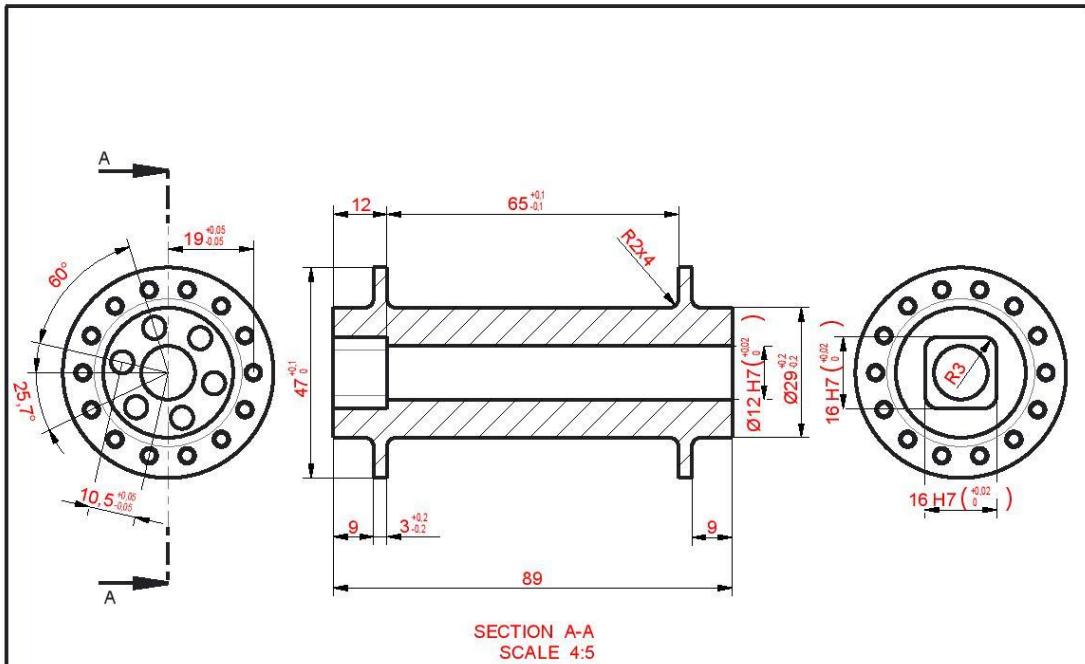


Materiaali: teräs

Osa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanoryhmään viittaus	NO	Standardi tai luokittelu	Muoto, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Willekeava	Tuote	Liittely	Nimitys	<b>KINGPIN2 VASEN</b>		
Piiri	050312 NO		<b>PKAMK</b>		Enti	Uusi	Rev	
Suon					Piirustusnumero			
Tark		Messa			10			
Hyr								

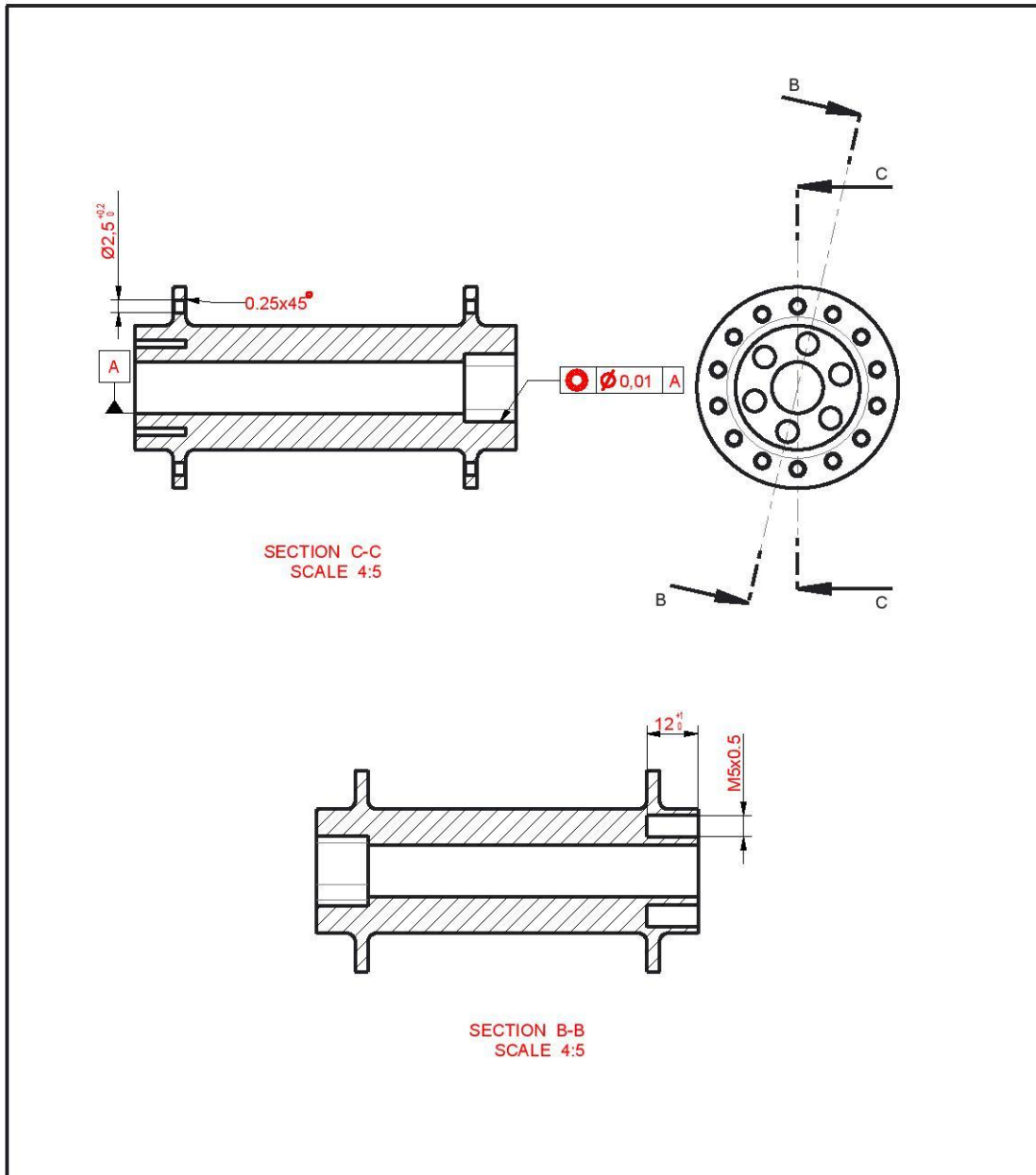
For Educational Use Only

For Educational Use Only

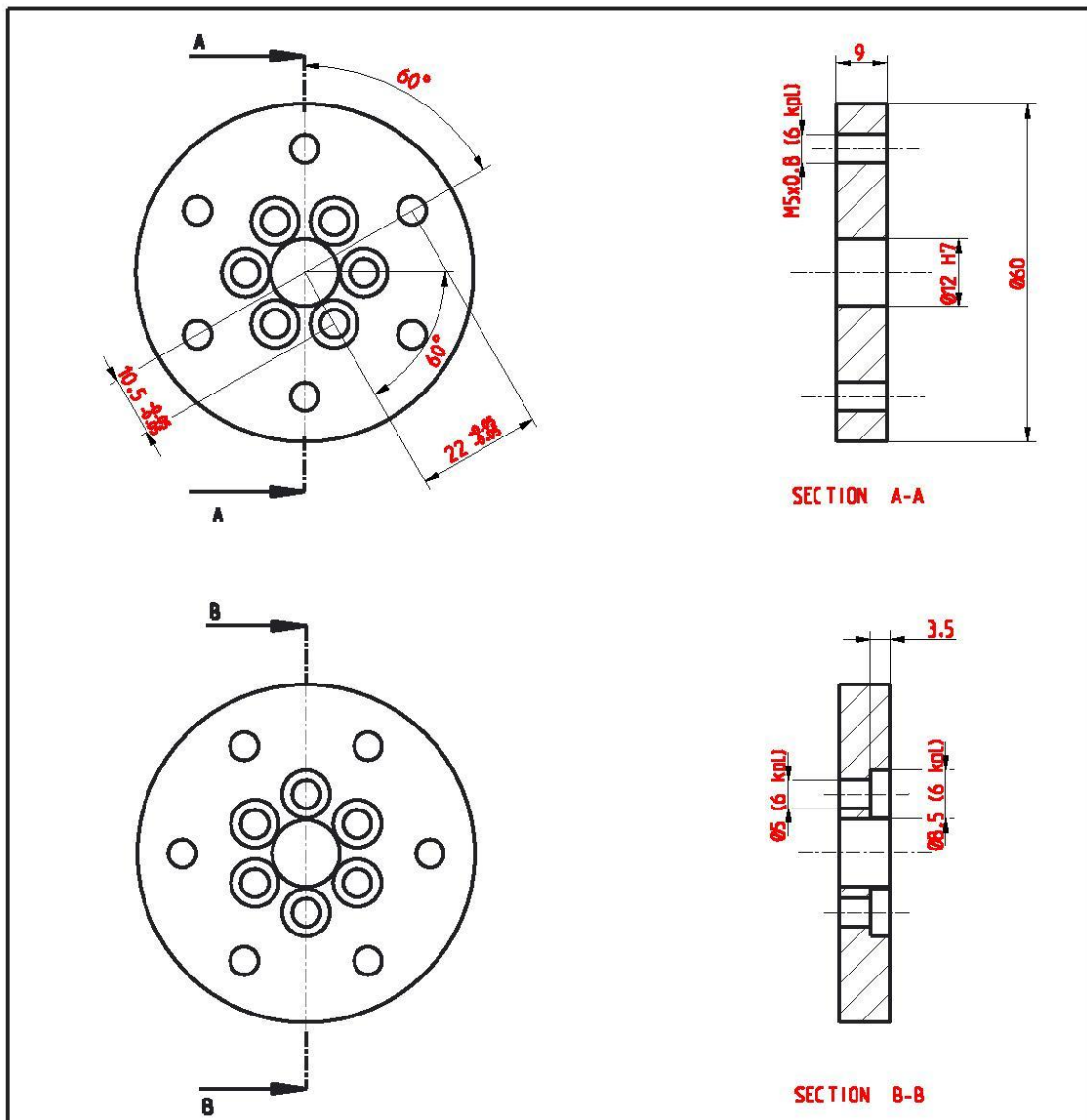


**Materiaali: teräs**  
**2 kappaletta**



			NO				
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava 1:3	Tuote	Liittyy	Lajimerkki Nimitys <b>KESKIO_V2</b>		
Piirt	120312 NO		<b>PKAMK</b>		Ent	Uusi	
Suun					Piirustusnumero		Rev
Tark		Massa			<b>11</b>		
Hyv							



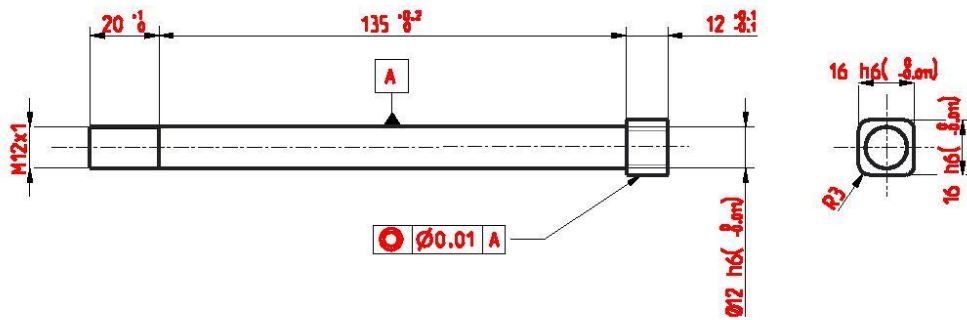
				NO					
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys			
		1:3			KESKIO_V2				
Piirt	120312 NO	 <b>PKAMK</b>			Ent	Uusi	Rev		
Suun					Piirustusnumero		11		
Tark					Massa				
Hyv									



Materiaali: teräs  
2 kappaletta

Osa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanoryhmään sijitys	NO	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Willekeeva	Tuote	Liittyy	Nimitys					
Piiri	120312 NO		<b>PKAMK</b>			Enti	Uusi	Rev		
Suon						<b>12</b>			Piirustusnumero	
Tark		Messa								
Hyr										

ETUPYORA\_VALIHOLKKI\_V2

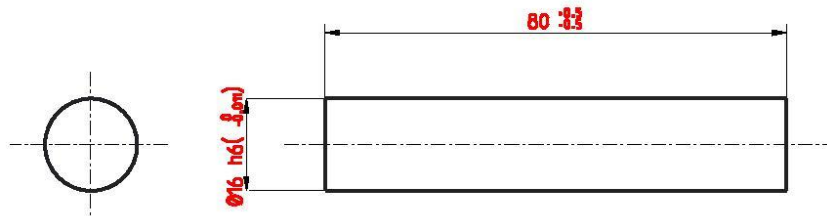


Materiaali: teräs  
2 kappaletta

Osa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanoryhmään viittaus	NO	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Leijimerkki	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Willekeeva	Tuote	Liittely	Nimitys			
		35			<b>ETUAKSELI_V2</b>			
Piiri	120312 NO		<b>PKAMK</b>		Ent	Uusi	Rev	
Suon					Piirustusnumero			
Tark		Messa			13			
Hyr								

For Educational Use Only

For Educational Use Only



Materiaali: teräs  
2 kappaletta

For Educational Use Only

Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokonpanoryhmän nimitys	NO	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Lejimerkki	Laatu	Kpl
<b>Yleistoleranssit</b>		<b>Willekeeva</b>	<b>Tuote</b>	<b>Liittyy</b>	<b>Nimitys</b>		
		<b>TI</b>			<b>KINGPIN_OHJAUSVARSI</b>		
<b>Piiri</b>	<b>120312 NO</b>				<b>Ent</b>	<b>Uusi</b>	<b>Rev</b>
<b>Suon</b>					<b>Piirustusnumero</b>		
<b>Tark</b>		<b>Messa</b>			<b>15</b>		
<b>Hyr</b>							

For Educational Use Only



# medias®



## Bearing analysis

### Calculation / Installation proposal

Date: 2012-03-09 16:38:41

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

### Table of contents

- 1 Input
- 2 Results

### 1 Input

#### Bearing:

Designation	7201-B-2RS-TVP	
Inside diameter	d	12.000 mm
Outside diameter	D	32.000 mm
Width	B	10.000 mm
Basic dynamic load rating	C	7400 N
Basic static load rating	C0	3550 N
Fatigue limit load	Cu	241 N
Limiting speed	n_lim	14000.0 1/min
Limiting speed, grease	n_lim_g	14000.0 1/min

#### Basic frequencies:

Overrolling frequency on inner ring	BPFI	5.44 1/s
Overrolling frequency on outer ring	BPFO	3.56 1/s
Overrolling frequency on rolling element	BSF	1.75 1/s
Ring pass frequency on rolling element	RPFB	3.51 1/s
Speed of rolling element set for rotating inner ring	FTF_i	0.40 1/s
Speed of rolling element set for rotating outer ring	FTF_o	0.60 1/s

#### Lubrication data:

Permitted lubricants	Oil or grease	
Type of lubrication	grease lubrication	
Type of grease	Arcanol BIO2	
Contamination	normal cleanliness	
External heat flow	dQ/dt	0.0 kW

#### Other conditions:

Ambient temperature	t	20 °C
Requisite reliability	90 %	
Condition of rotation	rotating inner ring	

#### Load case 1:

Time portion	q	100.000 %
--------------	---	-----------

**FAG**

## Angular contact ball bearings 7201-B-2RS-TVP (Series 72..-B-2RS)



main dimensions to DIN 628-1, contact angle  $\alpha = 40^\circ$ , lip  
seals on both sides

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue selection system (<http://www.fag.de/content.fag.de/en/services/mediathek/library/library.jsp>) or by telephone on +49 (91 32) 82 - 28 97.

d	12 mm
D	32 mm
B	10 mm
a	14 mm
D <sub>1</sub>	24,6 mm
d <sub>1</sub>	19,8 mm
D <sub>2</sub>	26 mm
D <sub>3</sub>	28,9 mm
D <sub>a</sub>	27,8 mm
max	
d <sub>a</sub>	16,2 mm
min	
D <sub>b</sub>	29,6 mm
max	
r <sub>1</sub>	0,3 mm
min	
f <sub>a1</sub>	0,3 mm
max	
f <sub>a</sub>	0,6 mm
max	
f <sub>min</sub>	0,6 mm
m	0,037 kg Mass
C <sub>r</sub>	7400 N Basic dynamic load rating, radial