



# **POLKUPYÖRÄN VOIMANSIIRRON HYÖTYSUHTEEN MITTAUSLAITE**

Mekaaninen suunnittelu

Joonas Ritala

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2011  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät  
Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantojärjestelmät

RITALA, JOONAS: Polkupyörän voimansiirron hyötysuhteen mittausslaite – Mekaaninen suunnittelu

Opinnäytetyö 35 s., liitteet 11 s.  
Kesäkuu 2011

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella mekaniikaltaan laite, joka mahdollistaa polkupyörän voimansiirron hyötysuhteen mittaamisen. Tarkoitus oli suunnitella ja rakentaa prototyyppi mekaniikaltaan toimivaksi niin, että se voidaan viimeistellä myöhemmin rakentamalla laitteen mittaustekniikka. Mittaustekniikan suunnittelu ei kuulu tämän työn aiheeseen. Idea kyseisen laitteiston rakentamisesta oli ollut jo pitkään vireillä Tampereen ammattikorkeakoulun T&K –yksikössä. Projektin kehittäjänä toimi Pekka Kaakinen. Työ aloitettiin Tammikuussa 2011.

Mittausslaiteella on tarkoitus tutkia mitkä asiat vaikuttavat polkupyörän voimansiirron hyötysuhteeseen. Laitteella voidaan testata hyötysuhteen muutoksia, esimerkiksi kokeilemalla erillaisia ja erilaatuisia osia. Projektin alussa hankittiin erityyppisiä polkupyörän voimansiirron osia, jotta vertailukohtia saataisiin.

Osa prototyyppissä käytetyistä osista saatiin koulun varastosta, ja osa täytyi suunnitella ja teettää itse. Koululle varstoidut, jo käytöstä poistetut tarvikkeet olivat vapaasti käytettävänäni. Itse teetettyjen osien suunnittelussa käytin 3D- mallinnusohjelma SolidWorks 2008. Myös valmiit komponentit mallinsin, ja lisäsin 3D- kokoonpanoon, jotta laitteiston suunnittelu olisi helpompaa. Teetettävistä osista on työkuvat tämän opinnäytetyön liitteenä.

Tämän suunnitelman ymmärtämisen helpottamiseksi, työn alussa esitellään polkupyörän voimansiirto ja kaikki siihen kuuluvat osat. Teoriaosuuden jälkeen kerrotaan vaiheittain suunnitelman etenemisestä ja siitä, mihin ratkaisuihin päädyttiin. Työn tuloksia esitellään käyttäen apuna valokuvia ja 3D- kuvia.

Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Modern Production Systems

RITALA, JOONAS: Measuring device of bicycle transmission efficiency – Mechanical designing

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 11 pages  
June 2011

---

## ABSTRACT

This thesis was to design a mechanically device that enables a bicycle efficiency of the transmission measurement. The purpous was to design and build a prototype to work, so that it can be finished later by desining the measuring technique of the device. Designing the measuring technique is not subject of this job. Idea for building the device had been pending in product development unit of Tampere University of Applied Sciences for a long time. The developer of this project was Pekka Kaakinen. Work started in January 2011.

A measuring device is to investigate which things affect the bicycles transmission efficiency. The device can be tested changes of efficiency, for example by trying multiple types and quality of elements. Beginning of the project was purchased different types of bicycle transmission parts, so that baselines would achieve.

Some of the parts which used in prototype were get from store of TAMK and some had to design and subcontract out. Stored and already discarded materials were freely available for the project. I used 3D- modeling software SolidWorks 2008 to design the parts. I modeled also finished components and added in a 3D- assembly, so that would be easier to design the device. Technical drawings of subcontracted parts are attached to this thesis.

The beginning of this thesis there is presented transmission of bicycle and all its parts, so it is easier to understand this planning. After the theoretical part there has explained the progressing of the planning step by step. The results are presented using photographs and 3D- models.

---

Keywords: Product design, Modeling, Product development, Bisycle

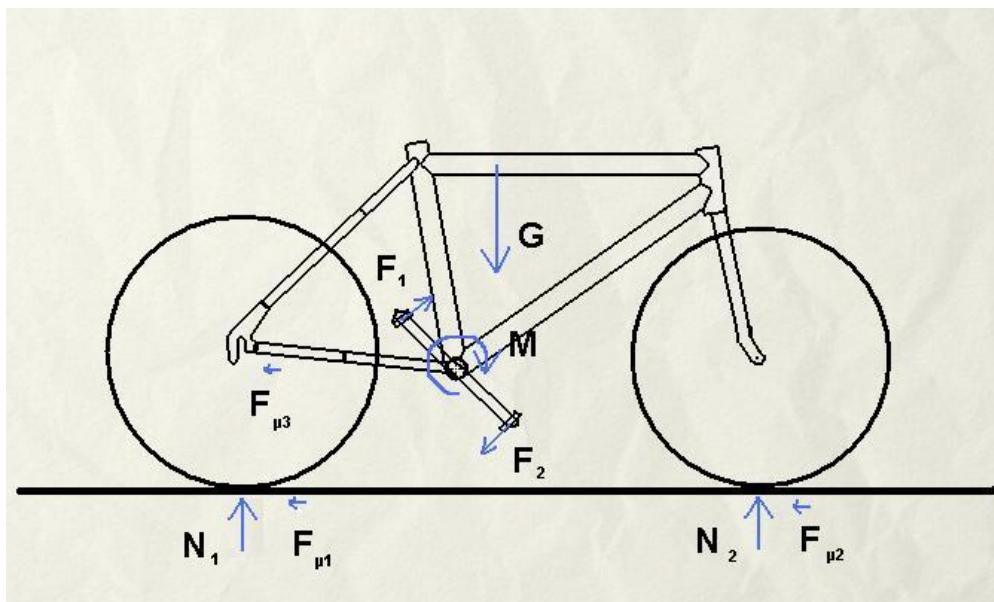
## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	5
2	POLKUPYÖRÄN VOIMANSIIRTO .....	7
2.1	Eturattaat .....	7
2.2	Keskiö.....	8
2.3	Vaihtajat .....	9
2.3.1	Takavaihtaja .....	9
2.3.2	Etuvaihtaja .....	10
2.4	Takanavat .....	11
2.4.1	Ketjuvaihteinen takanapa.....	11
2.4.2	Napavaihteinen takanapa .....	12
2.5	Takarataspakka.....	13
2.6	Ketju.....	13
3	LAITTEEN SUUNNITTELU .....	15
3.1	Moottorin valinta.....	15
3.2	Runko .....	17
3.3	Moottorin kytkeminen polkupyörän keskiö-akseliin .....	20
3.3.1	Moottorin kytkin .....	20
3.3.2	Keskiön kytkin .....	21
3.4	Voima-anturin kiinnitys .....	25
3.4.1	Voima-anturin kiinnitys laitteen runkoon .....	26
3.4.2	Voima-anturin kiinnitys polkupyörän runkoon .....	27
3.5	Alumiinikiekon kiinnitys takanapaan.....	29
3.6	Magneettijarrun kiinnitys polkupyörän runkoon.....	31
3.7	Kokoonpano .....	32
4	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET	
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe on suunnitella prototyyppi laitteesta, jolla pystytään mittaamaan tavallisen polkupyörän voimansiirron hyötysuhdetta. Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun tutkimus- ja tuotekehityksen yksikön pyynnöstä. Projektin kehittäjänä toimi Pekka Kaakinen, jolla oli ollut idea laitteen rakentamisesta jo useita vuosia. Tämän työn tavoitteena on tehdä suunnitelma laitteiston mekaniikasta, ja rakentaa sitä opinnäytetyön sallimassa ajassa. Varsinaisen mittauslaitteiston, kuten anturoinnin suunnittelu ja hyötysuhteen mittaaminen eivät kuulu tämän opinnäytetyön aiheeseen. Valmiiksi prototyyppi tullaan rakentamaan tämän opinnäytetyön jälkeen.

Kun polkupyörä on liikkeessä vaikuttaa siihen monta eri voimaa, jotka ovat esiteltyinä kuvassa 1. Kuvaan merkityt voimat ovat selitettyinä kuvan alla olevassa taulukossa.



Kuva 1. Vapaakappalekuva liikkuvasta polkupyörästä

Eteenpäin liikkuvaan polkupyörään vaikuttavat voimat (kuva 1):

- $G$ , polkupyörän ja polkijan massan aiheuttama painovoima
- $N$ , tukivoimat, jotka maa kohdistaa renkaisiin
- $F_1$  ja  $F_2$ , polkuvoimat, jotka polkija aiheuttaa kampiin
- $M$ , polkuvoimien aiheuttama momentti keskiössä, mikä pyörittää takapyörää
- $F_{\mu 1}$  ja  $F_{\mu 2}$ , kitkavoimat, jotka maa aiheuttaa renkaisiin
- $F_{\mu 3}$ , liikettä vastustavat kitkavoimat jotka polkupyörän voimansiirron osat aiheuttavat

Mittauslaitteiston avulla on tarkoituksena tutkia ja selvittää mitkä seikat vaikuttavat polkupyörän voimansiirron hyötysuhteeseen. Tekemällä mittauksia erityyppisillä ja erilaatuisilla polkupyörän osilla, voidaan saada selville kyseisten osien vaikutus hyötysuhteeseen. Esimerkiksi rattaat, ketjut ja keskiöt ovat osia, joissa on suuria eroja toisiinsa nähden, ja vaikutus hyötysuhteeseen huomattava. Toisinsanoen tarkoitus on selvittää mistä voimansiirron osista syntyy eniten liikettä vastustavaa kitkaa kuten, kuvassa 1. kitkavoima  $F_{\mu 3}$ . Esimerkiksi huonolaatuinen laakerointi voi aiheuttaa suuren kitkan pienentämään hyötysuhdetta.

Mittauslaitteella mitattavaan polkupyörään annetaan keskiötä pyörittävää voimaa laitteen runkoon kiinnitetyn moottorin avulla. Laitteeseen asennettava magneettijarru puolestaan vastaa oikeassa pyöräilytilanteessa vaikuttavaa liikettä vastustavaa voimaa. Vastus voidaan säätää kulloinkin halutuksi, muuttamalla jarrun napojen etäisyyttä. Polkupyörän rungon ja mittauslaitteen rungon välille asennetaan voima-anturi, joka on apuna myöhemmässä vaiheessa hyötysuhteen mittausten tekemisessä.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään ensiksi polkupyörän voimansiirron tärkeimpiin osiin, jotta laitteen käyttötarkoitus ja rakenne olisi helpompi ymmärtää. Teorian jälkeen työssä kerrotaan perinpohjaisesti laitteen suunnittelusta ja ratkaisujen perusteluista.

## 2 POLKUPYÖRÄN VOIMANSIIRTO

Polkupyörän voimansiirrolla tarkoitetaan mekanismia, jolla ajajan poljinvoima, eli polkemalla tekemä työ saadaan muuttetuksi polkupyörän takapyörän pyörimisliikkeeksi. Tätä voiman siirtämistä varten on polkupyörässä lukuisia osia. Tässä kappaleessa kerrotaan polkupyörän voimansiirtoon vaikuttavista osista, niiden toiminnasta, ja siitä, mitkä seikat näissä osissa vaikuttavat merkittävästi hyötysuhteeseen.

### 2.1 Eturattaat

Polkupyörässä on tavallisesti 1-3 eturatasta (kuva 2). Eturattaat ovat kiinnitettynä keskiön poikkileikkaukseltaan neliömäiseen akseliin polkupyörän oikealle puolelle. Uloimpaan eturattaaseen on kiinnitetty oikeanpuoleinen kampi.

Hyötysuhteeseen vaikuttaa rattaiden hampaiden kuluminen, joka johtuu siitä, että ketju kulkee lähes koko ajan rattaissa hieman vinossa. Esimerkiksi, jos ketju kulkee eturataspakassa uloimmalla, ja takarataspakassa sisimmällä rattaalla, kulkee ketju hyvin vinossa rattaaseen nähden. Kuluminen aiheuttaa väljyyttä rattaiden ja ketjun välillä, joten hyötysuhde pienenee.



Kuva 2. Eturatas ja kammet (<http://www.bikeradar.com>)

## 2.2 Keskiö

Polkupyörän keskiö (kuva 3) sijaitsee rungon alaosassa, keskiöputkessa. Se on putkimainen osa, jonka sisään on laakeroitu akseli, jota polkija pyörittää kampien välityksellä. Keskiön akseliin on kiinnitetty eturattat. Keskiön akseli on molemmista päistään poikkileikkaukseltaan neliö, ja kapenee päätä kohden. Eturattat pyörittävät ketjun välityksellä takarattaita, ja sitä myöten polkupyörän takapyörää.

Keskiön ulkopinnassa on kierteet. Vastaavasti rungon keskiöputkessa on sisäkierre, johon keskiö kieretään. Keskiöputken toisessa päässä on erikätinen kierre kuin toisessa päässä. Toiseen päähän kierretään vastaholkki, joka keskittää keskiön putken sisään. Runkojen keskiöputkissa on eroja, jotka määräytyvät valmistusmaan mukaan. Brittiläisessä rungossa oikeakätinen kierre on vasemmalla puolella, ja vasenkätinen kierre oikealla puolella. Italialaisessa rungossa kierteet ovat toisinpäin, tällöin keskiö on kierrettävä eri puolelta kuin brittiläisessä rungossa. Italialainen kierre on nykypäivänä paljon harvinaisempi tapa kuin brittiläinen.



Kuva 3. Polkupyörän keskiö (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä keskiössä on sen laakereiden kunto ja laatu. Laakerointi on yleisimmin tehty kahdesta urakuulalaakerista (kuva 4). Laakerit ovat keskiössä hyvin suojattuina pölyltä ja lialta, joten epäpuhtaudet eivät pääse haittaamaan laakereiden liikettä.





Kuva 4. Urakuulalaakeri ([www.tasanto.com](http://www.tasanto.com))

### 2.3 Vaihtajat

Ketjuvaihteisissa polkupyörissä on sekä etu-, että takarattailla omat vaihtajat. Vaihtajien tehtävänä on siirtää ketjua rattaalta viereiselle rattaalle. Vaihtajia ohjataan vaihdevaijerin välityksellä vivuista, jotka ovat sijoitettuna polkupyörän ohjaustankoon. Vaijeri kiristyy tai löystyy, riippuen siitä, että halutaanko ketjua siirtää isommalle vai pienemmälle rattaalle.

#### 2.3.1 Takavaihtaja

Takavaihtajassa (kuva 5) polkupyörän ketju kulkee tavallisesti kahden rissan kautta. Rissat yhdessä jousen avulla pitävät ketjun jatkuvasti oikealla kireydellä. Ketju kulkee vaihtajan umpinaisen kehikon, eli ”häkin” läpi. Häkki siirtää ketjua sivusuunnassa rattaalta viereiselle. Vaihdevaijerin avulla häkki siirtää ketjun isommalle rattaalle. Ketjun siirto pienemmälle rattaalle sen sijaan tapahtuu palauttavan jousen tekemän työn avulla, tällöin vaihdevaijeri löystyy.



Kuva 5. Takavaihtaja (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Takavaihtajassa hyötysuhdetta alentavat rissat. Rissoissa ketju tekee kaksi mutkaa, jotka heikentävät ketjun sujuvaa liikkumista. Rissojen laakereiden kunto on myös ratkaiseva tekijä, joka vaikuttaa hyötysuhteeseen. Rissat ovat polkiessa jatkuvassa liikkeessä, joten laakerit kuluvat. Rissat eivät ole kokonaan suojattuja, ja niiden sijainti altistaa rissat pölylle ja lialle. Vaihtamisen aikana häkin kosketus ketjuun tekee liikettä vastustavaa voimaa, mutta tämä vastus on niin lyhytaikaista, että se ei ole huomattava hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä.

### 2.3.2 Etuvaihtaja

Etuvaihtaja (kuva 6) toimii samalla periaatteella kuin takavaihtaja. Ainoa ero on että ketju kulkee suoraan vaihtajan läpi, eli etuvaihtajassa ei ole rissoja. Etuvaihtaja siirtää ketjua sivusuunnassa rattaalta toiselle häkin avulla.

Etuvaihtajasta ainoa vaikutus hyötysuhteeseen tulee silloin, kun ketjua vaihdetaan rattaalta toiselle. Silloin vaihtajan häkki työntää ketjua, ja syntyy kitkaa. Kosketus on niin lyhytaikainen, että voidaan sanoa sen vaikutuksen hyötysuhteeseen olevan lähes olematon.



Kuva 6. Etuvaihtaja (T&K- laboratorio 5.4.2011)

## 2.4 Takanavat

Polkupyörän vaihteistoja on olemassa pääasiassa kahta eri tyyppiä, joten myös takanapojakin on kahdenlaisia. Ketjuvaihteiston ja napavaihteiston ominaisuudet ja erot ovat esiteltyinä alla.

### 2.4.1 Ketjuvaihteinen takanapa

Ketjuvaihteiseen takanapaan (kuva 7) on kiinnitetty erillinen rataspakka. Rataspakassa on yleisimmin 3-10 erikokoista ratasta vierekkäin, joista pienin on uloimpana. Polkupyörän runkoon kiinnitetty takavaihtaja siirtää ketjua rattaalta toiselle. Näin polkija saa käyttöönsä kulloinkin halutun välityksen. Takanavassa on mekanismi, joka mahdollistaa rattaiden vapaan pyörimisen vastapäivään, mutta ei myötäpäivään.

Takanavan laippojen kehissä olevista pienistä rei'istä kiinnitetään pinnat, jotka puolestaan kiinnitetään toisesta päästään renkaan vanteeseen.



Kuva 7. Ketjuvaihteinen takanapa (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Navan laakerointi vaikuttaa merkittävästi voimansiirron hyötysuhteeseen. Yleisimmin takanavassa on kuulalaakerit. Kuluneet tai heikkolaatuiset laakerit lisäävät kitkaa ja aiheuttavat pyörimistä vastustavaa voimaa. Takanavan laakerit ovat erittäin tärkeä tekijä hyötysuhdetta ajatellen, sillä ne ovat suuren rasituksen alla jatkuvasti polkupyörän liikuessa. Takanavan laakerit ovat hyvin suojattuina lialta ja pölyltä.

#### 2.4.2 Napavaihteinen takanapa

Napavaihteelliseen takanapaan (kuva 8) kiinnitetään vain yksi ratas. Navan sisällä on niinsanottu planeettavaihteisto, joka muuttaa välitystä. Tavallisesti napavaihteistosta saadaan 3-14 eri välitystä.



Kuva 8. Napavaihteinen takanapa (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Napavaihteistossa osat ovat vähemmän kulutukselle alttiita kuin ketjuvaihteistossa, koska napavaihteistossa ketju kulkee aina suorassa linjassa. Napavaihteellisessa takanavassa suojaus estää hyvin lian pääsyn navan sisään. Myös napavaihteessa suurin hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä on laakerointi, kuten ketjuvaihteissa. Napavaihteisto sopii parhaiten tasaisille ajomaastoille, jolloin ei tarvita suuria välitysten vaihtoja.

## 2.5 Takarataspakka

Takarataspakka (kuva 9) kiinnitetään ketjuvaihteeseen takanapaan. Pakassa on 3-10 erikokoista ratasta vierekkäin.

Takarataspakan hampaiden kuluminen heikentää polkupyörän hyötysuhdetta. Kuluminen on varsin nopeaa, koska ketjuvaihteellisissa vaihteistoissa ketju kulkee lähes aina hieman vinossa rattaisiin nähden.



Kuva 9. 5-vaihteinen takarataspakka (T&K- laboratorio 5.4.2011)

## 2.6 Ketju

Polkupyörän ketju (kuva 10) kulkee rattaiden puolelta katsottuna myötäpäivään eturattaan ja takarattaan välillä. Ketjuvaihteellisissa polkupyörissä myös etu- ja takavaihtajien läpi.

Polkupyörän ketju huonontaa hyötysuhdetta silloin kun se ei liiku rattailla sujuvasti. Syitä tähän on monia. Ketju on erittäin altis epäpuhtauksille. Kerääntyvä lika tekee ketjusta jäykän, eikä se silloin pääse liikkumaan ratasta pitkin sujuvasti. Tästä syystä ketjua on rasvattava säännöllisesti. Rasvaaminen liuottaa epäpuhtauksia ja estää ketjua ruostumasta. Myös ketjun kireys on yksi tekijä, joka vaikuttaa hyötysuhteeseen. Ketjuvaihteellisessa polkupyörässä ketjun ja rataan välistä kitkaa lisää se, että ketju kulkee lähes aina hieman vinossa rattaaseen nähden. Silloin ketju ei kulje yhtä sujuvasti, kuin suoraan kulkiessa.



Kuva 10. Polkupyörän ketju ([www.fillarikauppa.com](http://www.fillarikauppa.com))

### 3 LAITTEEN SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa esitellään mittauslaitteiston mekaniikan suunnittelua ja sitä, mitä tämän työn aikana on rakennettu. Työn tarkoituksena oli ratkaista laitteen mekaaninen suunnittelu. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteen liikettä tekevät osat saataisiin toimimaan.

Lisäksi jo ennen työn aloittamista tiedettiin, että laitteistoon tulisi voima-anturi, vastustava jarru ja jarrutusvoimaa mittaava anturi. Näille edellä mainituille osille oli myös tarkoitus suunnitella kiinnikkeet siltä osin, mitä tietoja niistä oli jo olemassa. Tapa, jolla hyötysuhde saadaan mitattua ja laskettua, on vielä avoin. Sen sijaan vertailtavia voima-anturin antamia tuloksia saadaan toteuttamalla tämä suunnitelma.

Osissa, jotka jouduttiin suunnittelemaan itse, käytettiin yleistoleranssia ISO 2768-m. Toleransseilla haluttiin varmistaa ennenkaikkea se, että pyörivät osat olisivat samankeskisiä ja suorita. Jos pyörimisliikkeessä tapahtuu pientäkin vääntöä, vaikuttaa se mittaustuloksiin.

Suunnitelmaa esitellään sekä valokuvia, että 3D-malleja apuna käyttäen. 3D-mallinnusohjelmassa tässä työssä käytettiin SolidWorks 2008- ohjelmaa. Mitoitettujen osien työkuvat ovat tämän työn liitteenä.

Varsinaisen hyötysuhteen mittaamiseen tarvittavat anturit ja muut osat kiinnityksineen suunnitellaan vasta tämän opinnäytetyön jälkeen.

#### 3.1 Moottorin valinta

Ensimmäisistä suunnitelmista asti oli selvää, että laitteella mitattavan polkupyörän keskiötä tullaan pyörittämään sähkömoottorilla. Aluksi valittiin kaksi moottoria, joiden soveltuvuutta laitteeseen tutkittiin.

Ensimmäinen tutkittu moottori oli harmonisella vaihteella varustettu 350 W:n Sanyo Denki C-200-2553E08- sähkömoottori, joka oli purettu vanhasta Yamaha YK7000- sarjan robotista. Kierrosluvuksi 67 V:n jännitteellä sain 20 r/min. Kierrosluvun mittaamiseen käytettiin SKF Optical Tachometer TMOT 6- kierroslukumittaria.

Toinen tutkittu moottori oli 80 W:n Sanyo Denki Super U- servomoottori (kuva 11). Kyseinen moottori oli purettu samasta Yamahan robotista kuin ensiksi tutkittu. Samalla jännitteellä kierrosluvuksi sain 57 r/min, joka on lähellä normaalia polkunopeutta. Tämä servomoottori oli huomattavasti pienempi ja kevyempi kuin harmonisella vaihteella oleva sähkömoottori. Myös servomoottorin kiinnitys tuntui paremmin laitteeseen soveltuvalta, joten päätettiin valita se laitteistoon tehoa antavaksi moottoriksi.



Kuva 11. Servomoottori Sanyo Denki Super U (T&K- laboratorio 5.4.2011)



### 3.2 Runko

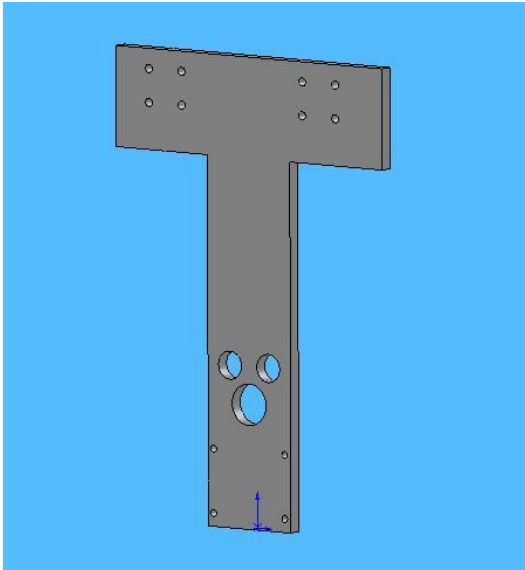
Laitteen runko päätettiin rakentaa muokkaamalla vanhasta Yamaha YK7000 –robotin alustasta. Alustasta on myöhemmin tehty perämoottorin testausteline kiinnittämällä alustaan T-muotoinen levykappale (kuva 12). Robotin alusta ja siihen liitetty lisäosa ovat valmistettu 20 mm:n paksuisesta teräslevystä.

Mittauslaitteen runkoon kiinnitettäviä elementtejä on kaksi, kiinnikkeet moottoria ja voimanturia varten.



Kuva 12. Perämoottoriteline, josta runko valmistettiin (T&K- laboratorio 10.2.2011)

Moottoria varten rungon t-muotoiseen levyyn porataan yksi  $\varnothing 62$  mm:n reikä keskelle, josta moottorin takaosa mahtuu läpi (kuva 13). Tämän reiän yläpuolelle porataan kaksi  $\varnothing 42$  mm:n reikää, joihin hitsataan kiristettävät kartioholkit moottorin kiinnitystankoja varten (kuva 13, liite 1).



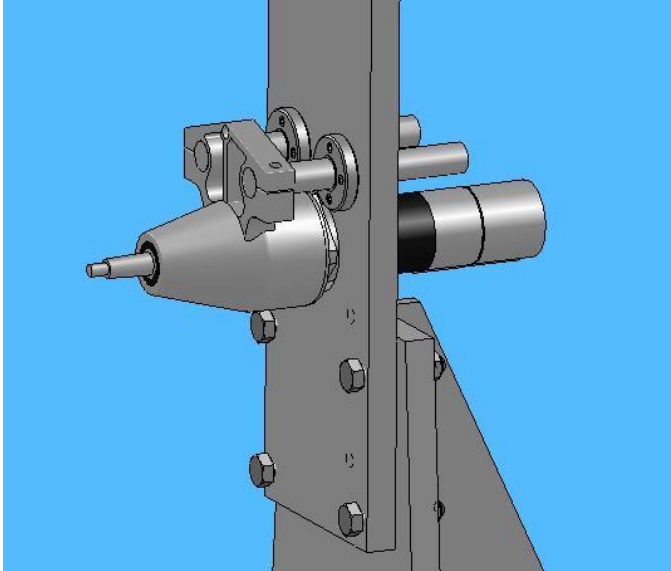
Kuva 13. Alustan reiät moottorin kiinnitystä varten

Kartioholkkien (kuva 14) ansiosta moottorin etäisyyttä rungosta on helppo säätää. Täten myös erityyppiset ja -kokoiset polkupyörän rungot sopivat kiinnitettäväksi laitteeseen. Kartioholkit hankittiin Tampereen Insinööritoimisto Oy:stä. Kartioholkin 3D- CAD- malli ladattiin valmistajan, eli SKF:n Internetsivuilta. Malli liitettiin CAD- kokoonpanoon, jotta kokoonpanon hahmottaminen olisi helpompaa.



Kuva 14. Kartioholkki (T&K- laboratorio 5.4.2011)

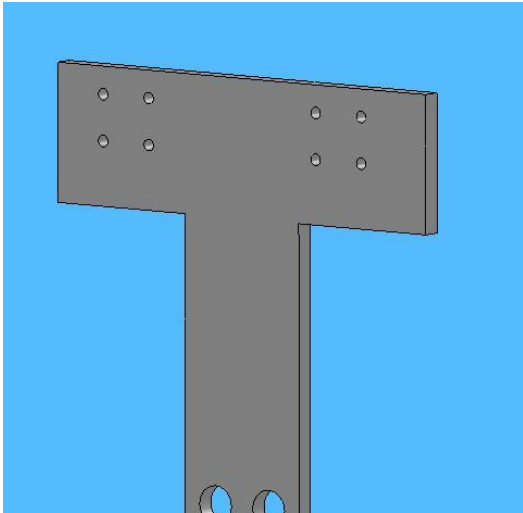
Kartioholkkien (kuva 14) ulkopinnassa on olakkeet, joita myöten ne upotetaan runkolevystä läpi. Olakkeet ovat nähtävissä kuvassa 14. Kartioholkit hitsataan kiinni levyyn kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. Moottorin kiinnitys runkoon

Kartioholkkeihin asennetaan halkaisijaltaan  $\varnothing$  20 mm:n tangot, jotka kiristetään päällä olevista ruuveista holkkien sisälle. Moottorissa puolestaan on kiristysrenkaat, joihin tangot kiristetään. Moottori kiristetään myös ruuveilla. Kartioholkkien ja moottorin kiristysmekanismin avulla voidaan helposti säätää moottorin etäisyyttä rungosta. Säätömahdollisuus on erittäin tarpeellinen varsinaisia mittauksia tehdessä, koska polkupyörän runkoja on paljon erimallisia ja -kokoisia.

Koska tiedossa oli millainen on laitteeseen tuleva voima-anturi, voitiin sen kiinnitys suunnitella jo tässä vaiheessa projektia. Rungon yläosaan porataan kahdeksan  $\varnothing$  12,5 mm:n reikää, jotka ovat voima-anturin kiinnikelevyä varten (kuva 16, liite 1). Voima-anturin kiinnikkeen suunnittelusta kerrotaan tämän kappaleen loppupuolella.



Kuva 16. Reiät voima-anturin kiinnityslevyä varten

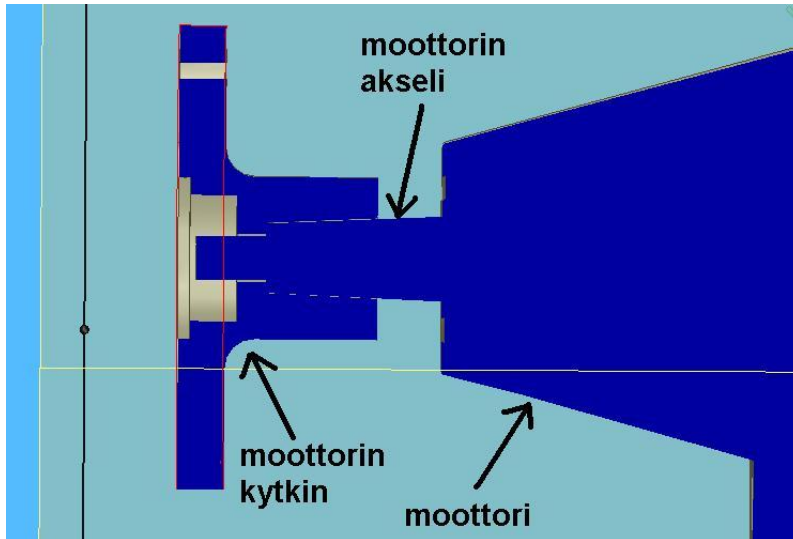
### 3.3 Moottorin kytkeminen polkupyörän keskiö-akseliin

Kun moottori on kiinnitetty runkoon, on seuraavaksi kiinnitettävä moottorin akseli pyörittämään polkupyörän keskiöakselia.

Haastavuutta liitoksen suunnittelussa lisäsi se, että moottorin akseli on kartion mallinen ja keskiön akseli poikkileikkaukseltaan neliömäinen, ja samalla kartio. Liitos ratkaistiin suunnittelemalla laippaliitos, eli molempiin akseleihin suunniteltiin omat laippamaiset kytkimet, jotka liitetään toisiinsa.

#### 3.3.1 Moottorin kytkin

Moottoriin kiinnitettävä kytkin (liite 2) on  $\varnothing$  80 mm teräksinen laippa. Laipassa on napa, johon moottorin akseli asetetaan. Napa on sisältäpäin mitoitettu samaan kartiomittaan kuin akselin ulkopinta. Mittaamalla kartiokkuudeksi saatiin 1:10, joka on yleisesti käytetty kartio koneenrakennuksessa. Navan sisäpuolelle on myös jyrstittävä kiilaura. Kytkin kiristetään moottorin akseliin kiristysmutterilla, joka kierretään akselin päässä olevaan kierteytettyyn osaan. Mutteria varten laippaan jyrstetään upotus. Akselin ja kytkimen liitos toisiinsa on esiteltyä poikkileikkauksena kuvassa 17.



Kuva 17. Poikkileikkaus moottorin kytkimestä

Laipan kehään porataan 6 kappaletta  $\text{Ø}$  6,5 millimetrin reikiä keskiön kytkimeen kiinnittämistä varten. Laippaan sorvataan vielä 2 millimetriä syvä upotus, johon keskiön kytkin ohjautuu (kuva 17).

### 3.3.2 Keskiön kytkin

Keskiön kytkimen valmistamisessa käytettiin hyväksi polkupyörän kampea. Kammesta sahattiin irti se pää, joka kiinnitetään keskiöakseliin (kuva 18). Kyseisessä osassa on valmiina kartiomainen neliöreikä, joka sopii suoraan keskiöakseliin kiinnitettäväksi. Kampi on yleisimmin valmistettu alumiinista.



Kuva 18. Kampi, josta sahattu pää irti (T&K- laboratorio 22.3.2011)

Kammesta irti sahattu osa kiinnitettiin vanhaan keskiöakseliin, joka pystytettiin kiinnittämään sorvin leukoihin (kuva 19). Kammen pää kiinnitettiin keskiöakseliin keskiön omalla ruuvilla hyvin tiukasti, jotta se ei pääsisi liikkumaan sorvauksen aiheuttamien voimien takia.



Kuva 19. Kammen pää kiinnitettynä sorviin keskiöakselin avulla (TAMK 22.3.2011)

Katkaistusta kammesta sorvattiin kuvassa 20 näkyvä lieriömäinen napa (liite 3), jossa on yksi olake, joka helpottaa laipan asennusta. Työstön jälkeen mitattiin sorvatun navan keskeisyys mittakellolla. Mittauksista saatiin selville, että navassa on epäkeskeisyyttä 0,3 mm, joten oli suunniteltava uusi menetelmä työstää kappale.



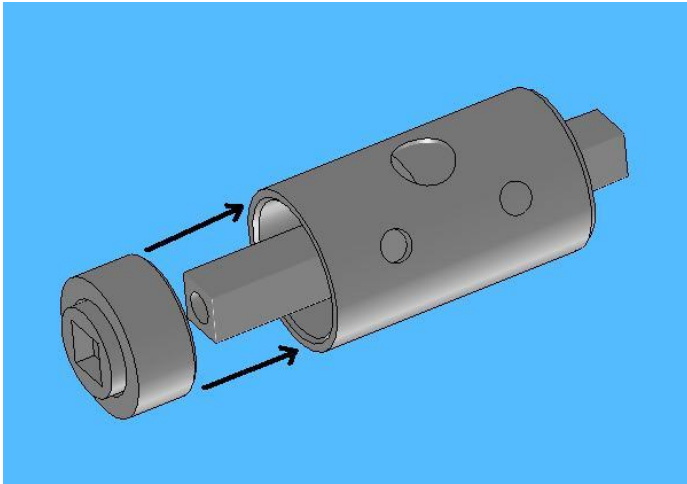
Kuva 20. Kammesta sorvattu lieriömäinen napa (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Jotta kappaleesta saataisiin mahdollisimman keskeinen päätettiin se sorvata erillisen keskiöputken avulla. Helkaman runkotehtaalta saatiin käytettäväksi kyseisiä keskiöputkia (kuva 21).



Kuva 21. Irrallinen rungon keskiöputki (T&K- laboratorio 5.4.2011)

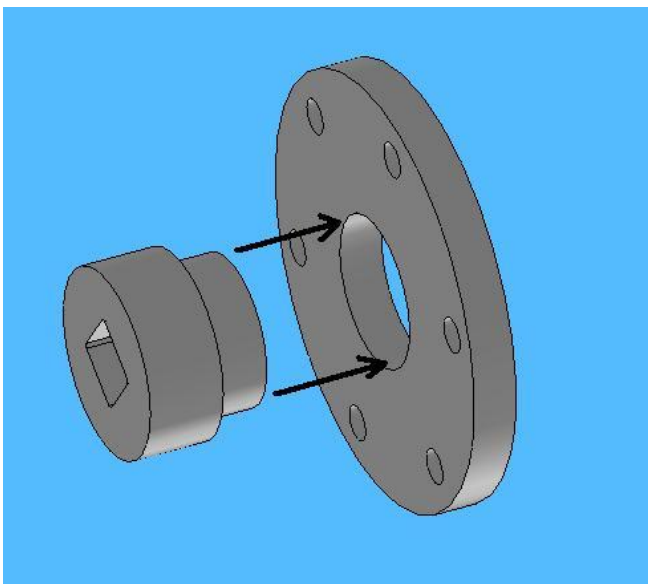
Keskiö kierretään keskiöputken paikalleen ilman toisesta päästä ruuvattavaa vastaholkkia. Vastaholkin tilalle teetetään osa (liite 4 ja 5), joka kierretään keskiöputken toiseen päähän kuten keskiön vastaholkki. Lisäosa tehdään kahdesta osasta, keskiöputken kierrettävästä kierreholkista ja holkin päälle hitsattavasta levystä, jossa on neliömäinen reikä. Keskiöputken kierrettävän kierreholkin metrinen ulkokierre on mitaltaan M34,8x1,06 mm, joka on saatu tuumamittaisesta kierteestä 1,37x24 tpi (threads per inch). Lisäosan tehtävänä on estää keskiöakselin pyöriminen sorvauksessa. Akselin pyöriminen estetään neliömäisen reiän avulla (kuva 22).



Kuva 22. Keskiö, keskiöputki ja lisäosa sorvausta varten

Seuraavaksi keskiöakseliin kiinnitetään tiukasti kammesta irti sahattu pää. Tämä kokoonpano kiinnitetään sorvin leukoihin keskiöputkesta. Tällöin sorvaus saadaan tehtyä mahdollisimman suoraksi, epäkeskeisyyttä synny. Kyseisellä menetelmällä sorvataan jo edellä esitelty, kuvan 20 mukainen napa.

Kytkemistä varten teetetään alumiininen laippa (liite 6), joka kiinnitetään kammesta sorvattuun lieriömäiseen napaan kuvan 23 mukaisesti. Osat hitsataan kiinni toisiinsa.

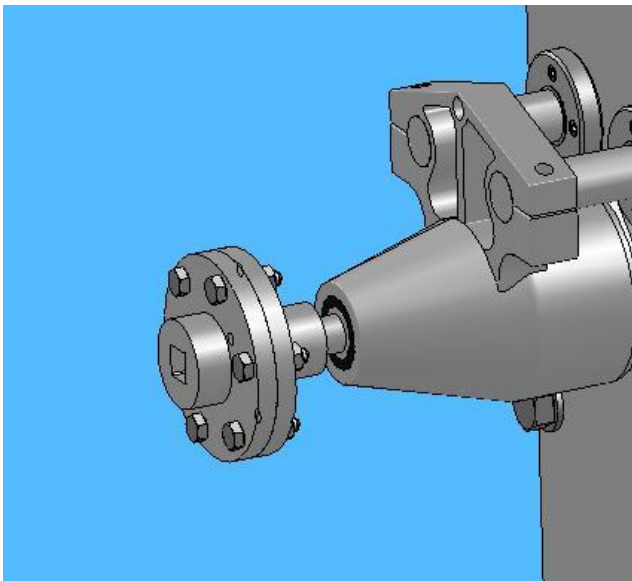


Kuva 23. Keskiön kytkimen laippa ja napa hitsataan yhteen



Laippa tulee olla materiaaliltaan sellaista, jota voidaan hitsata alumiiniseen osaan. Alumiinin hitsaus on yleisesti hyvin haastavaa, johtuen sen pinnassa olevasta oksidikerroksesta. Hitsausmenetelmä ja materiaalit on oltava oikeanlaiset. Parhaiten alumiinin hitsaukseen soveltuu kaasukaarihitsaus, eli MIG- ja TIG- hitsaus. Kaasukaarihitsauksessa valokaari pystyy poistamaan alumiinin pinnassa olevan haitallisen oksidikalvon. Koska alumiinin lämmönjohtavuus on erittäin hyvä, on olemassa suuri riski että laippa muotoutuu hitsatessa. Tästä syystä laippa kiinnitetään hitsauksen jälkeen keskiöön, joka on kierrettynä keskiöputkeen. Keskiöputki kiinnitetään sorviin, ja laipan kiinnityspinta sorvataan suoraksi.

Laippa on mitoitettu halkaisijaltaan samankokoiseksi kuin moottorin kytkimen laippa. Myös kehälle tulevat kuusi kiinnitysreikää porataan samalla jaolla, jotta kytkimet voidaan liittää toisiinsa ruuvikiinnityksellä. Kiinnitykseen käytetään M6x40- ruuveja. Kytkimet ovat liitettyinä toisiinsa kuvassa 24.



Kuva 24. Moottorin ja keskiön kytkimet liitettyinä toisiinsa

### 3.4 Voima-anturin kiinnitys

Laitteen voima-anturiksi valittiin HBM U3 (kuva 25). Anturi mittaa voiman, jonka polkupyörän runko kohdistaa mittauslaitteen runkoon. Anturi asetetaan kahden erillisen komponentin välille, joiden välistä voiman suuruutta halutaan mitata. Anturilla voidaan

mitata sekä vetävää, että puristavaa voimaa. Anturin toinen pää kiinnitetään polkupyörän satulakiinnikkeeseen.

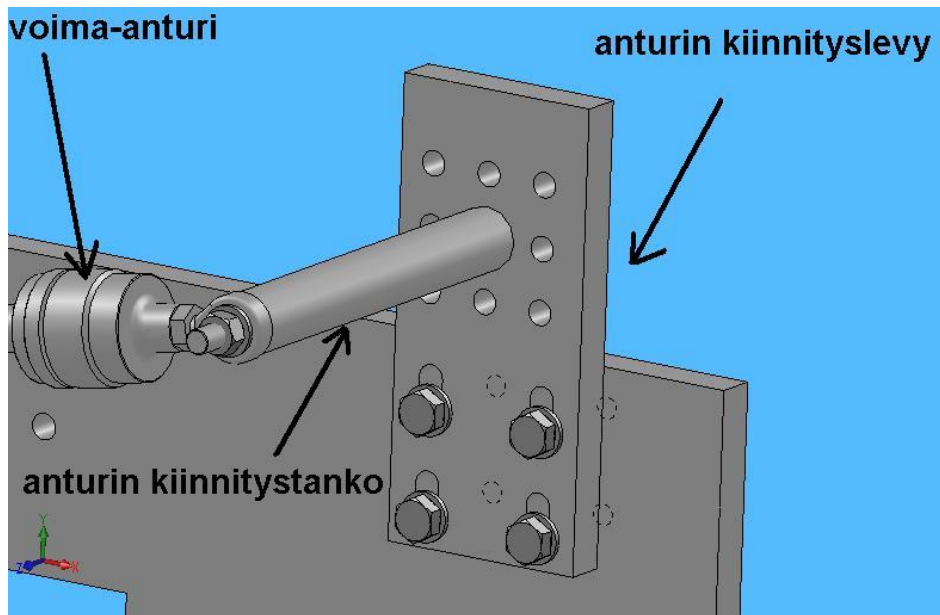


Kuva 25. Voima-anturi HBM U3 ([www.hbm.com](http://www.hbm.com))

#### 3.4.1 Voima-anturin kiinnitys laitteen runkoon

Anturia varten laitteen runkoon porataan aluksi kahdeksan kappaletta  $\varnothing 12,5$  mm:n reikiä (kuva 16), joista koostuu kaksi neljän reiän kiinnityskohtaa anturin kiinnityslevylle (liite 7), eli anturin kiinnityslevy voidaan asentaa kanhteen eri paikkaan. Kiinnityslevy valmistetaan 20 mm:n paksuisesta teräslevystä, ja kiinnitetään neljällä M12x60- ruuvilla (kuva 26). Levyn kiinnitysreiät ovat pitkiä reikiä, joiden ansiosta kiinnityslevyn korkeutta voidaan säätää pystysuunnassa.

Anturin kiinnityslevyyn porataan 9 kappaletta  $\varnothing 12,5$  mm:n reikiä, joihin voidaan kiinnittää  $\varnothing 30$  mm:n paksuinen akseli (liite 8). Reikiä porataan useampia siksi, jotta niistä voidaan valita kiinnittämiseen kulloinkin parhaassa paikassa oleva reikä. Akselin päät ovat sorvattu halkaisijaltaan  $\varnothing 12$  mm:n. Päihin tehdään M12- kierteet, jotta ne voidaan kiinnittää muttereilla. Toinen pää kiinnitetään anturin kiinnityslevyyn, ja toinen pää anturin kiinnityssilmukkaan kuvan 26 mukaisesti.



Kuva 26. Anturin kiinnitys laitteen runkoon

### 3.4.2 Voima-anturin kiinnitys polkupyörän runkoon

Anturi kiinnitetään polkupyörän runkoon satulakiinnikkeen (kuva 27) välityksellä. Satulakiinnike kiristetään rungon satulaputken kiristimellä, joka on satulaputken yläpäässä. Kiristimen ansiosta saadaan anturin kiinnitykselle hyvä pystysuuntainen säätö.

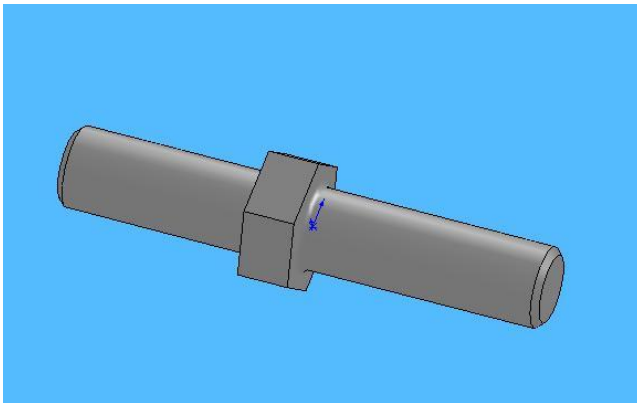


Kuva 27. Satulakiinnike, johon voima-anturi kiinnitetään (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Anturin päästä, joka kiinnitetään satulaputkeen, poistetaan kiinnityssilmukka. Silmukka korvataan 90 asteen kulmanivelellä (kuva 28). Kulmaniveleen anturiin kiinnittämistä varten valmistetaan kierretappi (liite 9), jonka molemmissa päissä on kierteytettyä M12-tankoa (kuva 29). Osan toinen pää kierretään anturin päässä olevaan kierrereikään, ja toinen pää kulmaniveleen kierrereikään. Kierreosuuksien välissä on kuusikulmio avaimella kiristämistä varten.

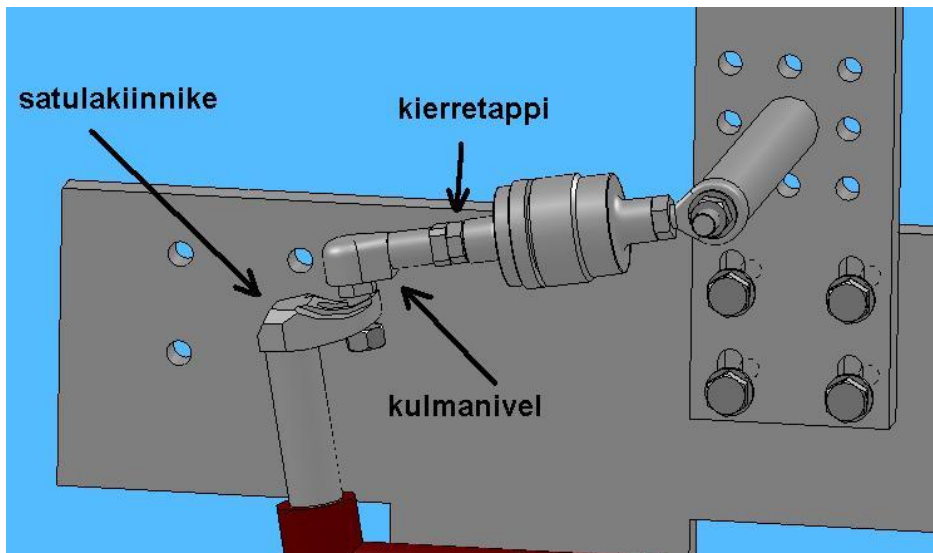


Kuva 28. Kulmanivel, jolla anturi kiinnitetään satulakiinnikkeeseen (T&K- laboratorio 5.4.2011)



Kuva 29. Kierretappi anturin ja kulmaniveleen liittämiseen

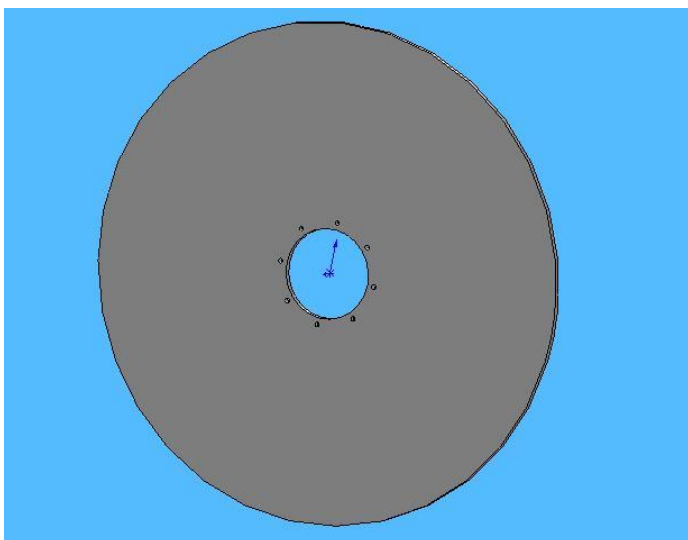
Satulakiinnikkeessä on leveydeltään 8 mm:n pitkä reikä (kuva 27), joka levennetään poraamalla 12,5 mm leveäksi, koska kulmaniveleen kierteytetty osa on M12- kierrettä. Kierreosa kiinnitetään satulakiinnikkeeseen levennettyyn reikään mutterilla kuvan 30 mukaisesti. Anturi on asetettava suoraan kulmaan satulaputkeen nähden, jotta mittaustulokset olisivat mahdollisimman tarkkoja.



Kuva 30. Anturin kiinnitys polkupyörän runkoon

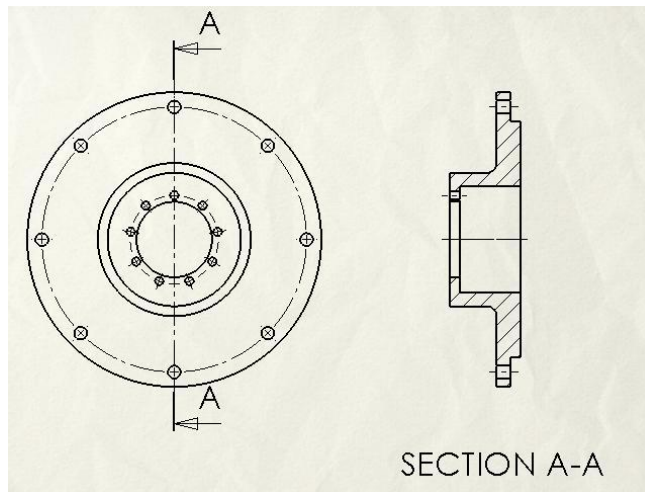
### 3.5 Alumiiniekikon kiinnitys takanapaan

Mitattavan polkupyörän takanavan pyörimistä on tarkoitus vastustaa magneettisella jarrulla. Takanapaan kiinnitetään pyörän tilalle alumiininen kiekko, joka pyörii magneettijarrun napojen välissä. Magneettinen jarru valitaan siksi, että se ei jarruta kiekkoa kitkan avulla, vaan sen napojen välillä oleva sähkömagneettinen virtaus jarruttaa takanapaan kiinnitettyä alumiiniekkoa (kuva 31). Tällöin jarrutusteho pysyy vakiona, eikä tapahdu kulumista. Alumiiniekikon halkaisija on  $\varnothing$  650 mm, ja paksuus 8 mm.



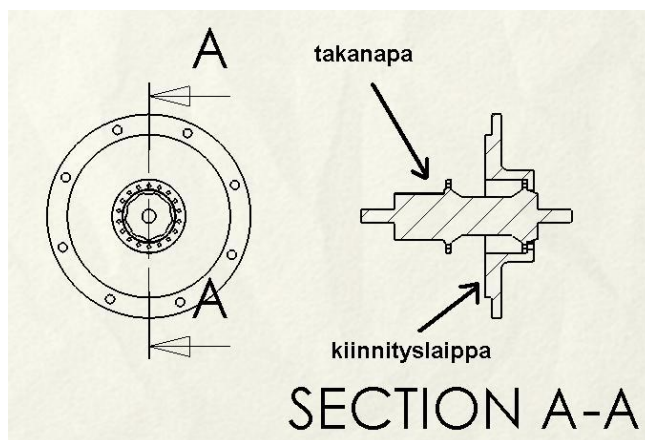
Kuva 31. Takapyörän tilalle asetettava alumiiniekikko

Alumiinikiekko kiinnitetään takanapaan teräksestä valmistettavalla holkkimaisella laipalla (kuva 32, liite 10 ja 11). Laippa on suunniteltu siten, että sen ulkokehällä olevista  $\varnothing 6$  mm:n rei'istä kiinnitetään alumiinikiekko laippaan kiinni ruuvikiinnityksellä. Kiinnityslaippoja suunniteltiin tässä vaiheessa kaksi erillaista, toinen on mitoitettu ketjuvaihteelliselle Shimano Parallax fh-ct90- takanavalle, ja toinen napavaihteelliselle Shimano Nexus sg-7c25- takanavalle.



Kuva 32. Alumiinikiekkon kiinnityslaippa

Takanavan lehdissä oleviin pinnoille tarkoitettuihin  $\varnothing 3$  mm:n reikiin porataan M4- kierteet, joista se kiinnitetään laipan navassa oleviin reikiin M4- ruuveilla. Kuvassa 33 näkyy poikkileikkauskuvat takanavan ja laipan kiinnityksestä.



Kuva 33. Takanapa kiinnitettynä alumiinikiekkon kiinnityslaippaan

### 3.6 Magneettijarrun kiinnitys polkupyörän runkoon

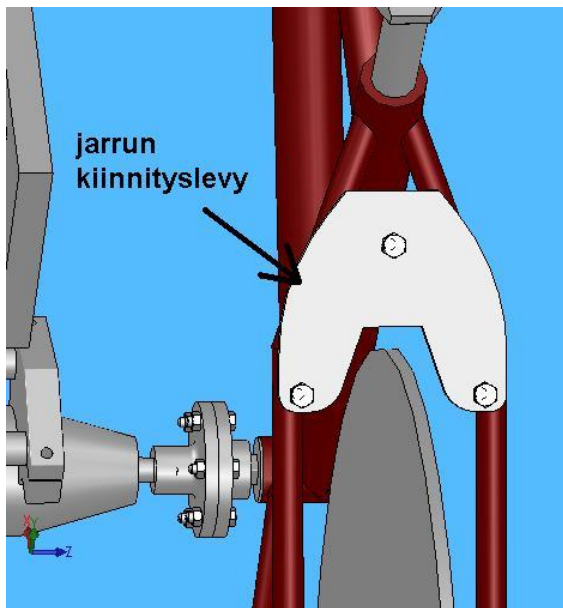
Polkupyörän runkoon on tarkoitus kiinnittää projektin myöhemmässä vaiheessa magneettijarru, antamaan vastusta takapyörän tilalla olevan alumiiniekikon pyörimisliikkeelle. Tässä vaiheessa voidaan kuitenkin jo suunnitella jarrun kiinnityskohtaa. Jarrussa tulee olemaan kaksi magneettista napaa, joiden välissä alumiiniekikko liikkuu. Napojen väliin syntyy sähkömagneettinen kenttä, joka jarruttaa kiekkoa. Jarrutustehoa säädetään napojen etäisyyttä toisistaan muuttamalla. Muita tietoja kyseisestä jarrusta ei tässä vaiheessa ollut, joten kovinkaan tarkasti kiinnitystä ei voitu suunnitella.

Polkupyörän runkoon päätettiin valmistaa kiinnityslevy jarrua varten. Levyä voitaisiin muokata myöhemmin jarrun kiinnitystä varten. Levy päätettiin kiinnittää rungon kahdessa takahaarukan putkissa oleviin kierreisiin, ja niiden välissä olevaan tukiputken reikään (kuva 34).



Kuva 34. Reiät, joihin jarrun kiinnityslevy kiinnitetään (T&K- laboratorio 5.4.2011)

Kiinnityslevyyn (kuva 35) porataan reiät kiinnittämistä varten. Materiaalina käytetään 6 millimetrin paksuista teräslevyä.



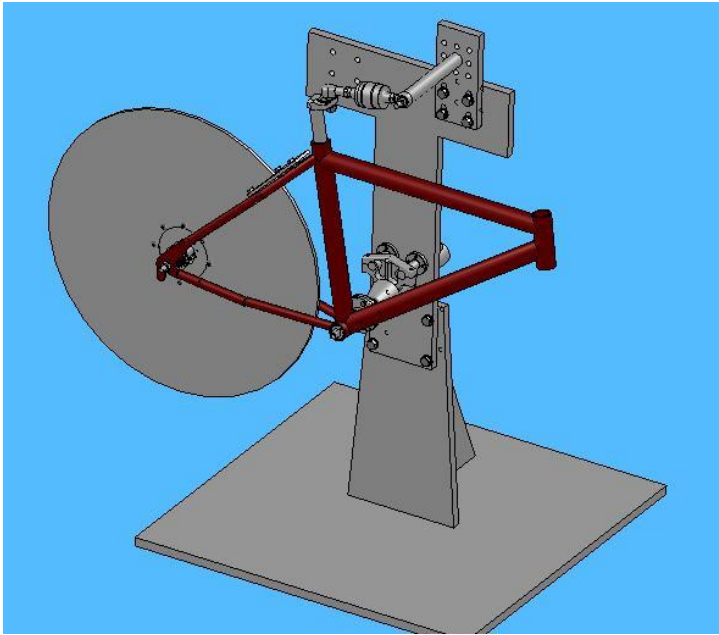
Kuva 35. Jarrun kiinnityslevyn sijainti takahaarukassa

Samaan kiinnityslevyyn voidaan kiinnittää vielä anturi, joka mittaa jarrutustehon määrää. Jarrutustehon täytyy tietää siksi, että jarrun navat voidaan jokaisen kiinnityksen jälkeen asettaa samalle etäisyydelle toisistaan. Näin jarrutusteho saadaan jokaiseen mittaukseen täsmälleen samaksi, jolloin mittaustulokset ovat vertailukelpoisempia.

### 3.7 Kokoonpano

Edellä esiteltyjen suunnitelmien mukaan mittauslaitteiston kokoonpano on kuvan 36 mukainen. Polkupyörän runko mallinnettiin, jotta kokoonpanokuvasta saataisiin mahdollisimman havainnollistava.





Kuva 36. Mittauslaitteen kokoonpanokuva

#### 4 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella polkupyörän voimansiirron hyötysuhteen mittauslaitteen prototyypin mekaniikka, ja kiinnittimet kahdelle anturille ja magneettijarrulle.

Laitteen mekaniikan suunnittelu sujui kokonaisuudessaan hyvin, ja tavoitteeseen päästiin. Joitakin työvaiheita tullaan tekemään itse, mutta suuri osa laitteen komponenteista tullaan tilaamaan ulkopuolisilta tekijöiltä. Eniten haastavuutta työssä teetti moottorin liittäminen polkupyörän pyörää liikuttavaksi tehonlähteeksi. Laitetta ei ehditty kovinkaan paljoa rakentamaan, koska itse suunnitelluille kappaleille oli vaikea löytää työstäjiä.

Tulevaisuudessa prototyyppi kuitenkin tullaan rakentamaan valmiiksi. Tarkoitus olisi, että laitteesta saataisiin hyötyä polkupyöräilyyn niin harrastajille, kuin ammattilaisillekin. Esimerkiksi kilpapyöräilijät ja osien valmistajat ovat niitä, joiden toivotaan olevan kiinnostuneita mittaustuloksista.

## LÄHTEET

[www.bikeradar.com](http://www.bikeradar.com)

[www.fillarikauppa.com](http://www.fillarikauppa.com)

[www.hbm.com](http://www.hbm.com)

[www.tasanto.com](http://www.tasanto.com)

Valtanen, E. 1997. Koneenrakentajan taulukkokirja, 9. painos

Hautamäki, J., Vähämaa, P., Koskela, A. 2008. Alumiinihitsauksen opetuksen kehittäminen Ähtärin ammatti-instituutissa

## LIITTEET

Liite 1: Moottorin kiinnityslevy

Liite 2: Moottorin kytkin

Liite 3: Kammen kytkimen napa

Liite 4: Sorvityökalu (napaa varten)

Liite 5: Sorvityökalun akselinlukituslevy

Liite 6: Kammen kytkimen laippa

Liite 7: Anturin kiinnikelevy

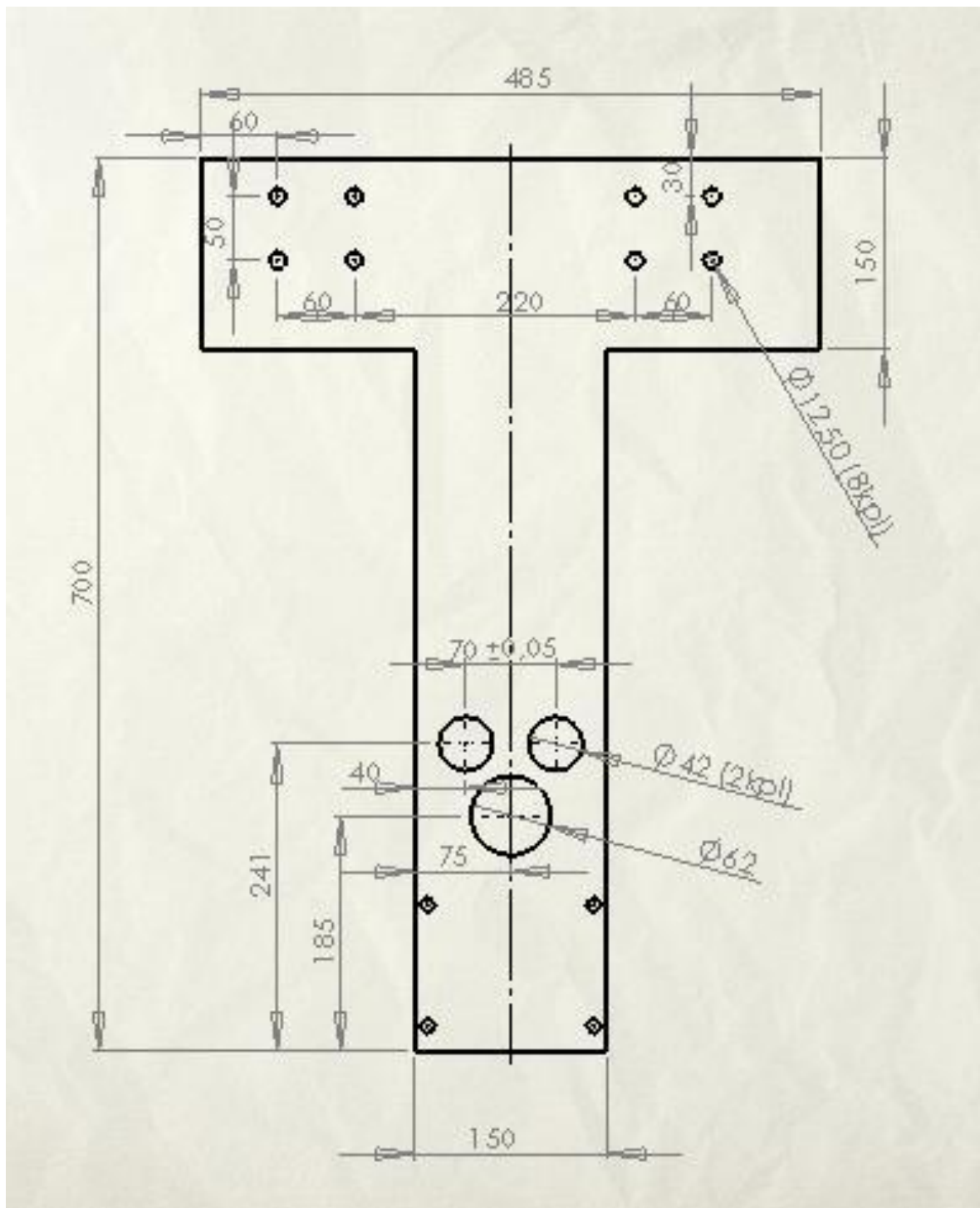
Liite 8: Anturin kiinnitystanko

Liite 9: Kierretappi anturille

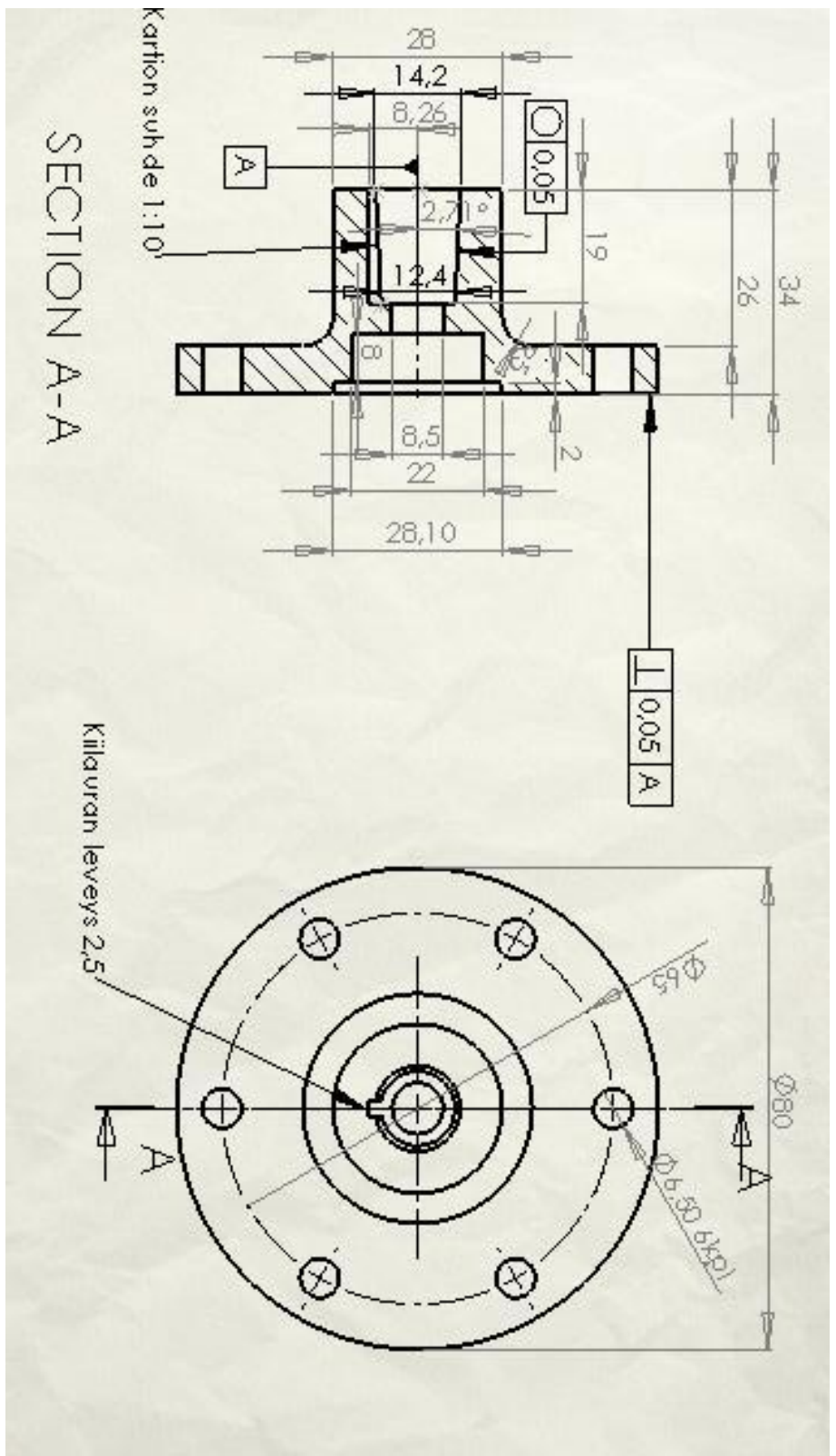
Liite 10: Takanavan adapteri (ketjuvaihteiselle)

Liite 11: Takanavan adapteri (napavaihteiselle)

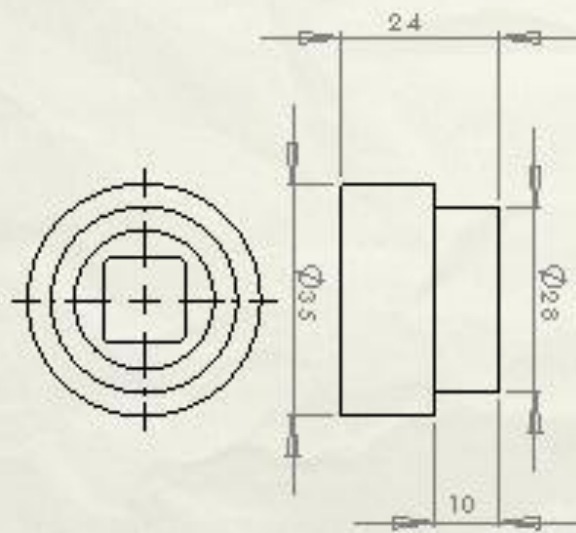
Liite 1



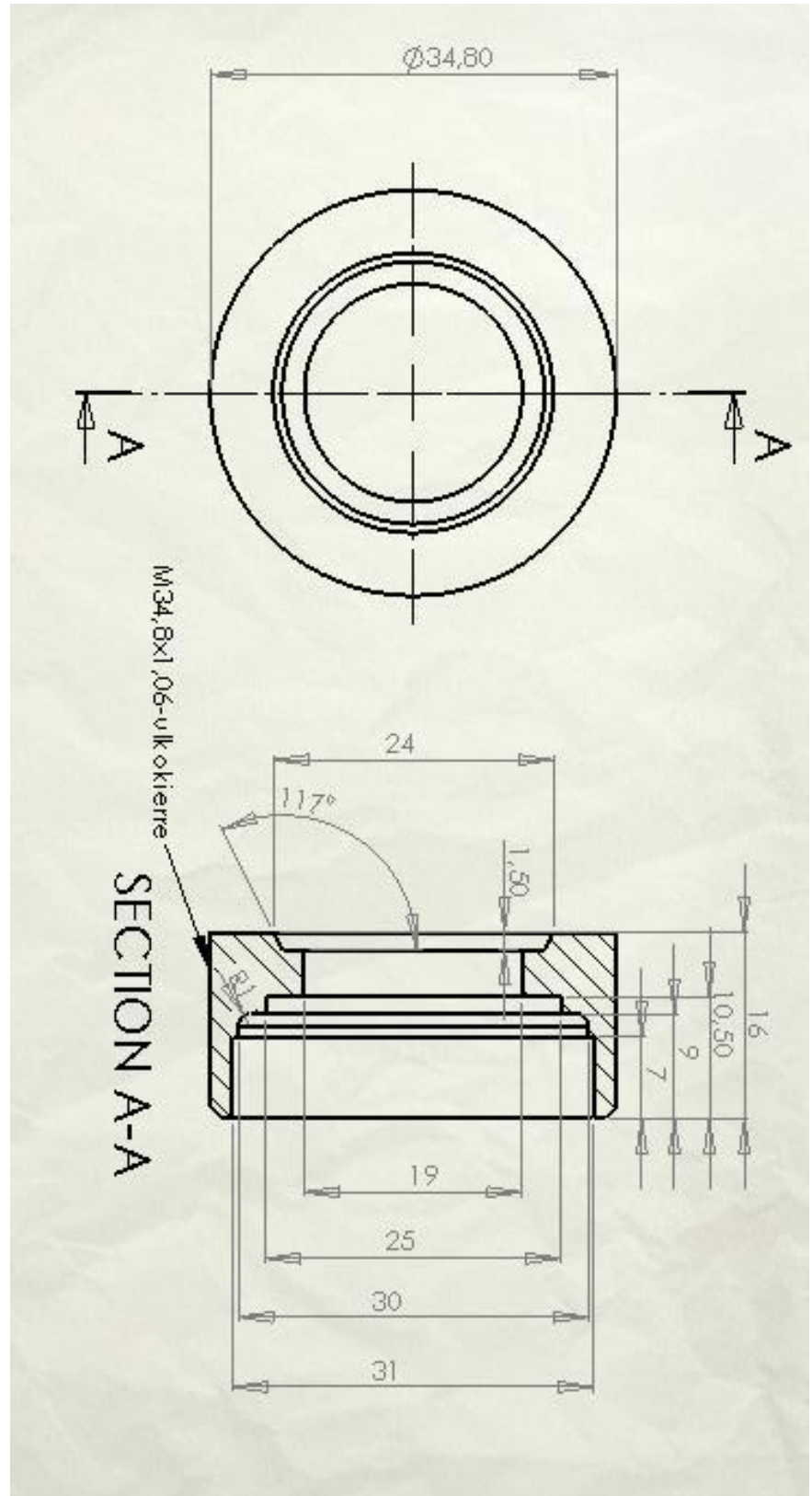
Liite 2



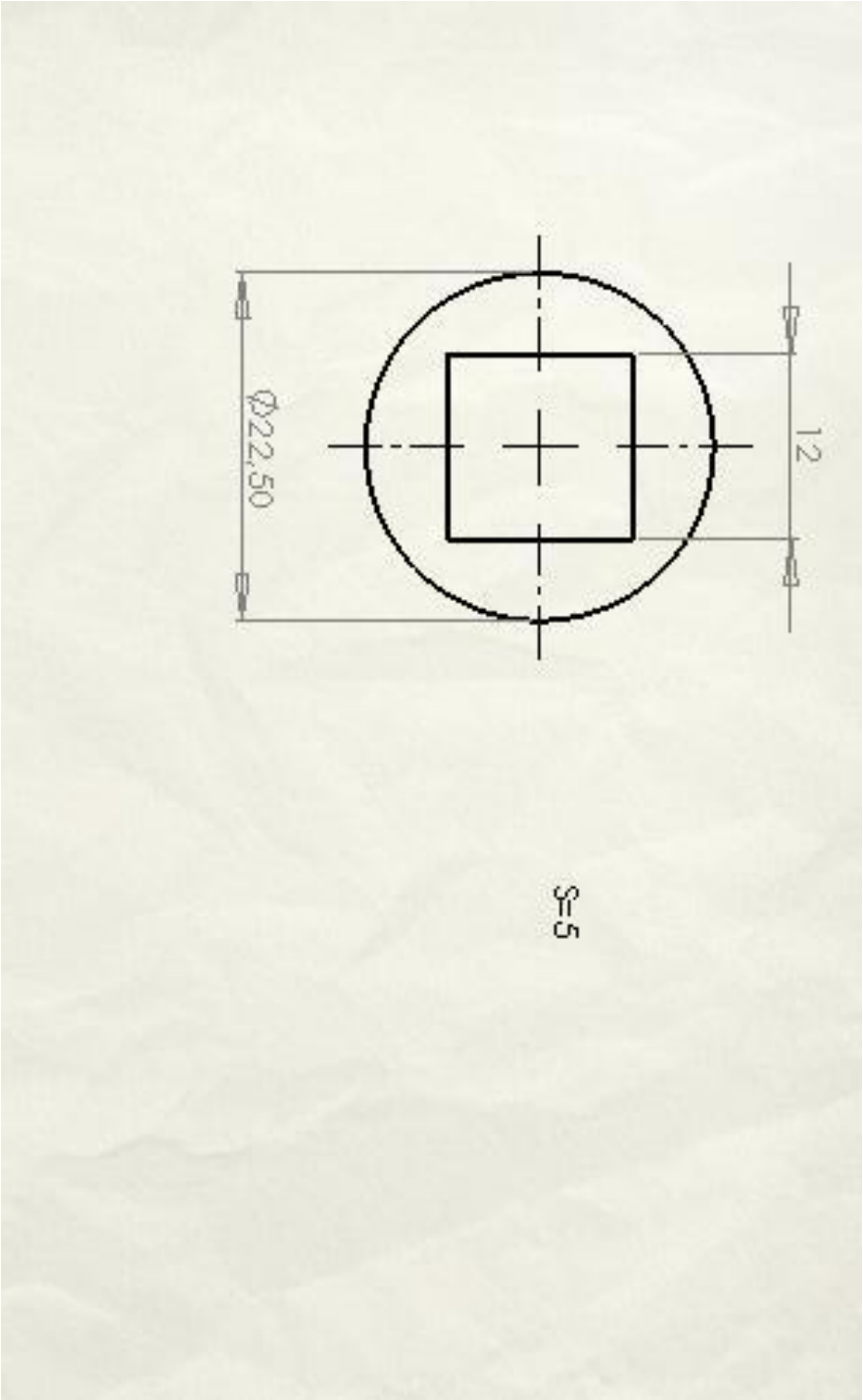
Liite 3



Liite 4

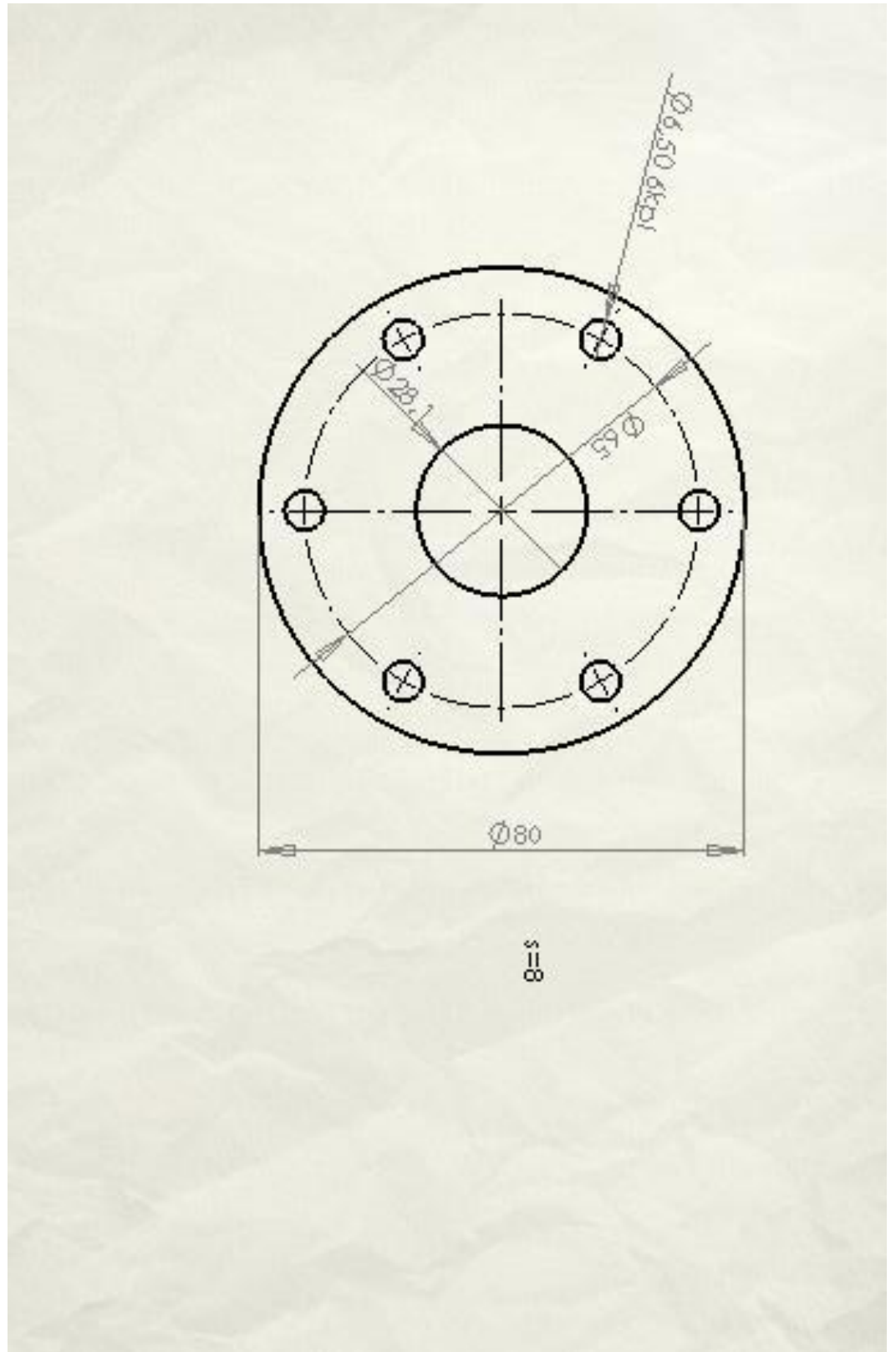


Liite 5

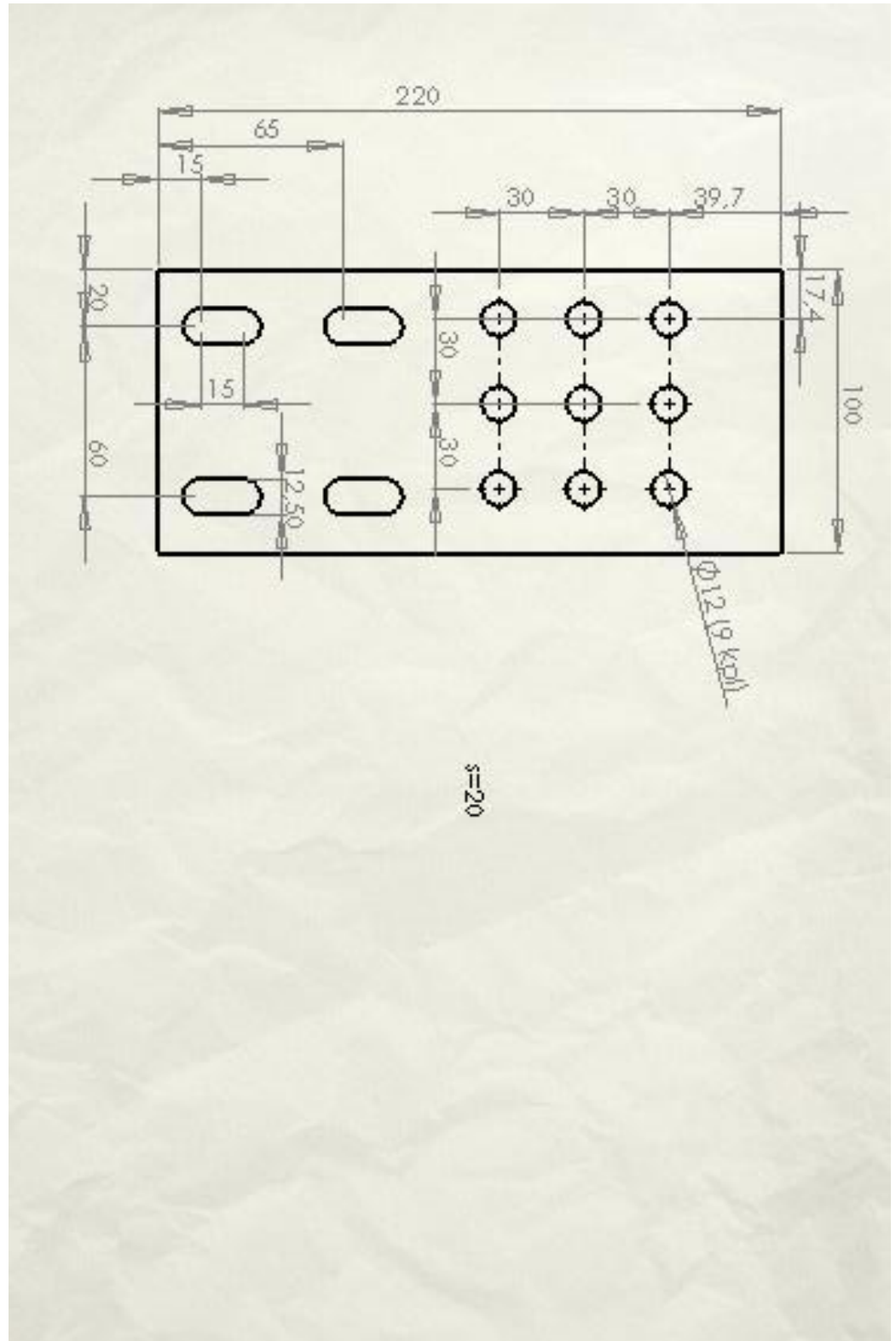




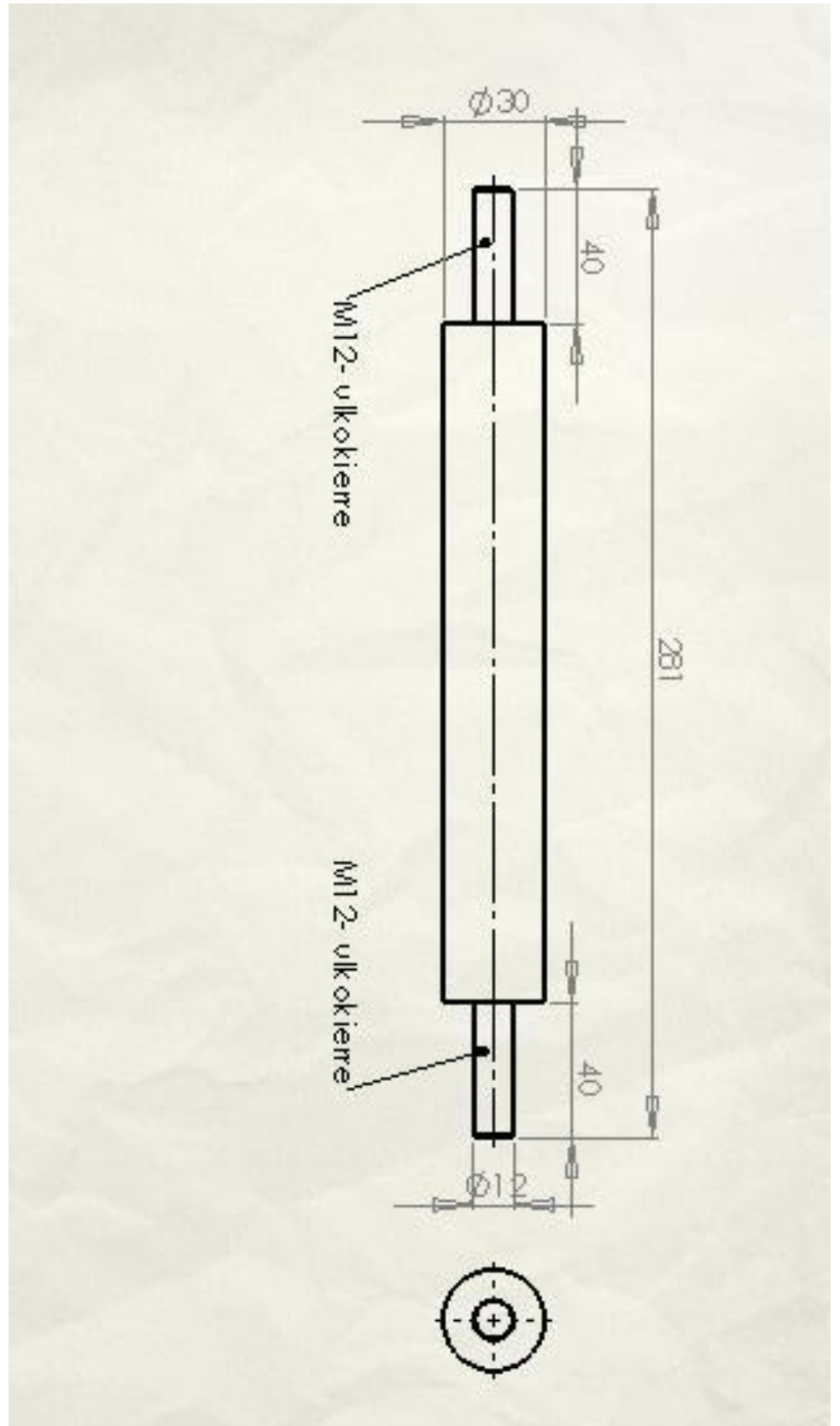
Liite 6

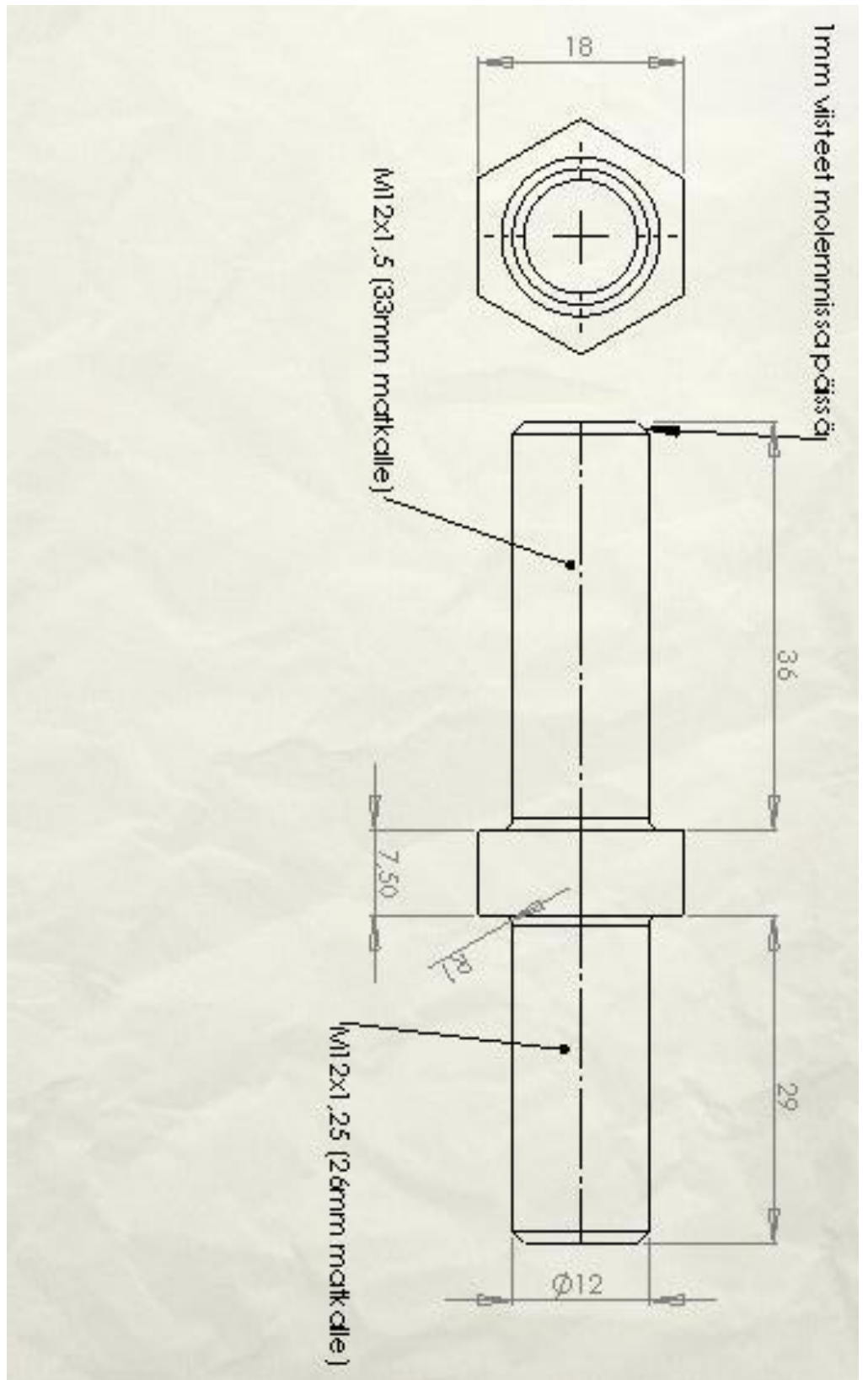


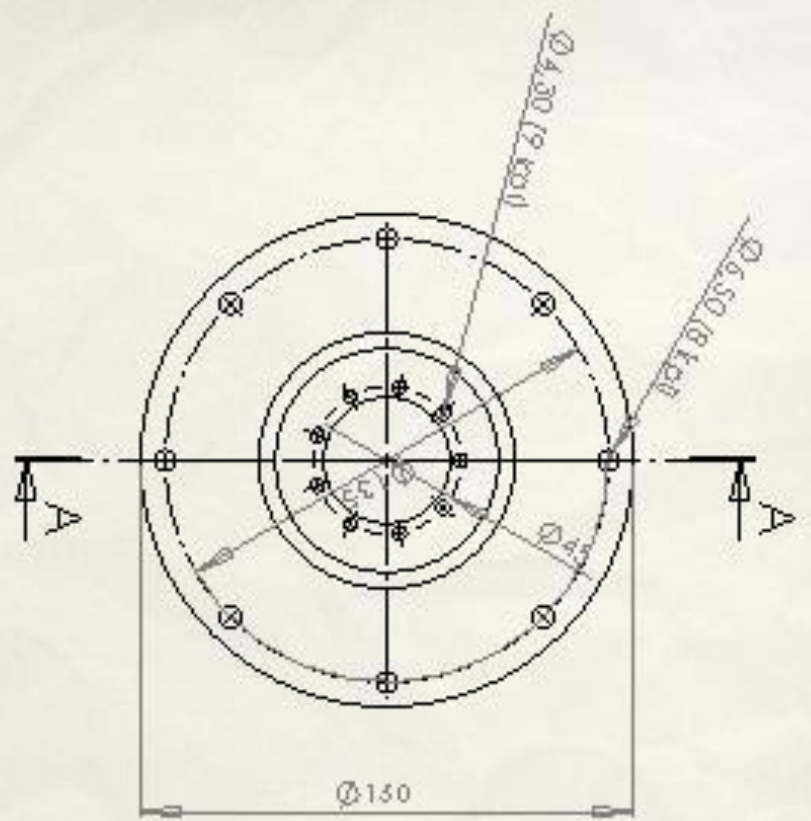
Liite 7



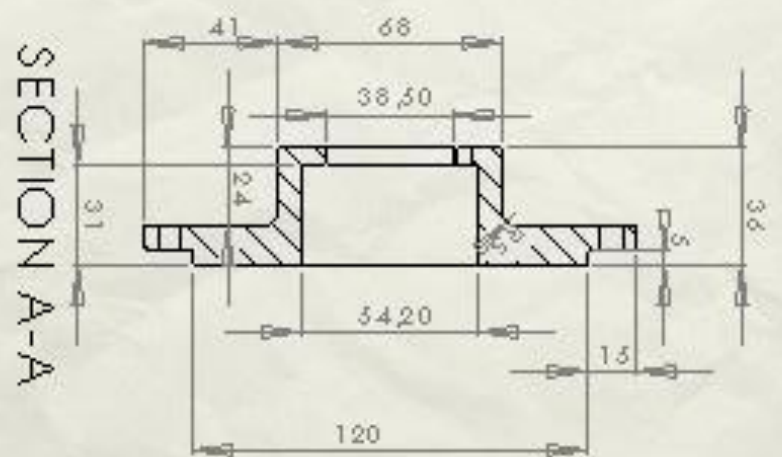
Liite 8



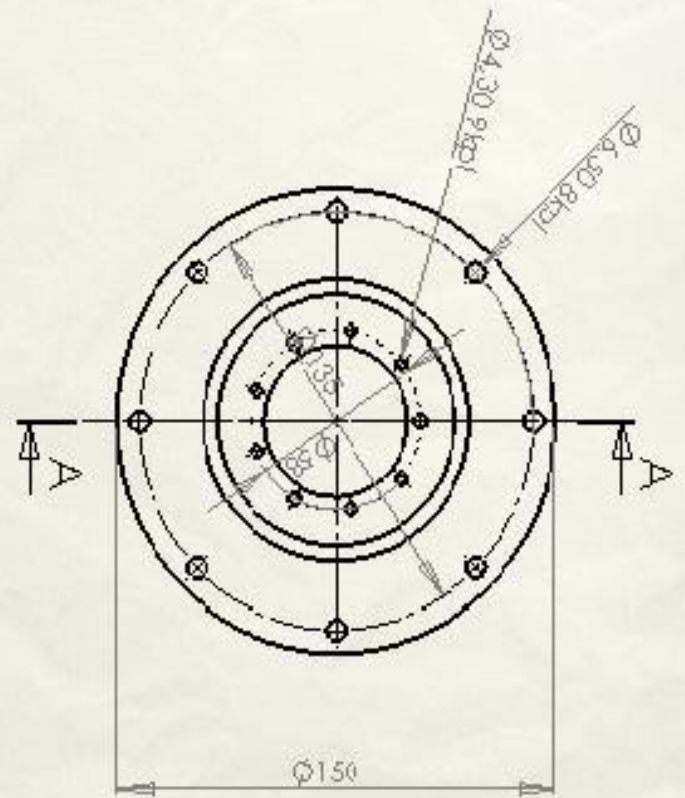




adaptien yak on ovaille :  
shimano paraillox th - ct90



adapтери takonavalle:  
Shimano Nexus sg-7c25



SECTION A-A

