



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# JIGIEN SUUNNITTELU SÄTEILYMITTAREI- DEN TESTAUSRADALLE

Janne Ranta

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio

RANTA, JANNE:

Jigien suunnittelu säteilymittareiden testausradalle

Opinnäytetyö 44 sivua  
Toukokuu 2018

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella kaksi erilaista jigii Millog Oy:n Lieves-  
tuoreen toimipaikan säteilyradalle. Millog on kunnossapitoo sekä elinjakson hallinta- ja  
materiaalipalveluihin erikoistunut yritys. Puolustusvoimien strategisena kumppanina  
Millog on vastuussa maa- ja merivoimien materiaalin kunnossapidosta sekä erikseen so-  
vituiista ilmavoimien materiaaleista.

Tehtävänanto opinnäytetyölle saatiin kesällä 2017, kun Millogin säteilymittareiden tes-  
tausradalla tuli tarvetta uudelle jigille, johon säteilymittarit voidaan kiinnittää testauksen  
ajaksi. Jigi on erikoisvalmisteinen alusta, joka paikoittaa ja kiinnittää jonkin kappaleen.  
Säteilymittareiden testausradalla on jo nyt käytössä jigejä, mutta ne on suunniteltu tie-  
tyille mittarimalleille. Millogille huoltoon tuleva mittariskaala laajentuu, joten on käytän-  
nöllisempää, että yritykselle rakennetaan yksi (lähes) kaikille mittareille sopiva jigi sen  
sijaan, että jokaiselle mittarimallille rakennettaisiin oma jiginsä.

Lisäksi säteilyradalle piti suunnitella toinen jigi, jolla säteilykeilan keskipiste ja säteily-  
mittarien hiukkasilmaisoin saadaan samalle linjalle. Nykyinen menetelmä tälle on osoittaa  
laserosoittimella lasersäde säteilylähteen edestä siihen pisteeseen, missä säteilykeilan  
keskipiste tulee olemaan. Tämän jälkeen säteilymittari tuodaan lasersäteen eteen liikutta-  
malla testauspöytää, jossa mittarit ovat kiinni. Tapaa haluttiin muuttaa sen verran, että  
säteilymittarien huoltaja ei suuntaa enää laserosoittimen sädettä kädellään, vaan sen hoi-  
taisi jigi, joka kiinnittää ja kohdistaa laserosoittimen.

Laitteet suunniteltiin ja mallinnettiin 3D-mallinnusohjelma Autodesk Inventorin avulla.  
Säteilymittarien jigissä päädyttiin käyttämään keskittävää kiinnitysmekanismia, jossa  
mittarit jäävät kahden leuan väliin, jotka saavat puristusvoimansa vetojousista. Lasero-  
soittimen jiginä toimii ruuvipuristin, jota liikutetaan putkesta ja tangosta koostuvan var-  
ren avulla. Laitteiden suunnitteluosuus on hoidettu, mutta niitä ei ole vielä rakennettu  
tämän opinnäytetyön julkaisuhetkellä. Laitteiden valmistuksesta ja siihen liittyvistä kus-  
tannuksista vastaa Millog Oy. Jigit on tarkoitus rakentaa vuoden 2018 aikana.

---

Asiasanat: jigi, säteilymittari, tietokoneavusteinen suunnittelu

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Machine Automation

RANTA, JANNE:

Development of Jigs for Radiation Meter Testing Unit

Bachelor's thesis 44 pages

May 2018

---

The goal of this Bachelor's thesis was to design two different jigs for radiation meter testing unit for Millog Ltd.'s Lievestuore office. Millog is a company that specializes in maintenance and life cycle management. As a strategic partner of the Finnish Defence Forces Millog is responsible for the maintenance of Army and Navy materials.

The assignment for this thesis was given in the summer of 2017 when a need for a new jig emerged in Millog's radiation meter testing unit. Jig is a custom-made tool which localizes and holds an object in place. The purpose of this jig would be to fix the radiation meters when they are being tested. In Millog's radiation meter testing unit there are already jigs of different types but these have been designed for specific meter models. The number of different meters that Millog tests and maintains is growing so a new jig that can hold many different models in place is needed. Up to this point a separate fixture was built for each model.

In addition to this, another jig needed to be designed. The purpose of this jig would be to align the center of the radiation beam and the particle detector of the meter. The current way for doing this is done by holding a laser pointer by hand and directing its beam to the point where the center of the radiation field will be. After this, the radiation meter is brought in front of the laser beam by moving the testing table on which the meters are placed. This method is to be changed so that a jig will hold the laser pointer and direct its beam instead of a maintenance worker doing the work manually.

The devices were designed and modelled with the help of 3D-modeling software Autodesk Inventor. The mechanism that was used for the radiation meter jig is a self-centering fixture in which the meters are held by jaws that are pulled by extension springs. The jig which was designed for the laser pointer uses a vise that is held and moved by an arm which consists of a threaded rod and a pipe. The designing of the jigs has been completed but the devices have not been built yet. Millog Ltd. oversees the manufacturing process of the jigs and the costs associated with it. The jigs are set to be built during the year 2018.

---

Key words: jig, radiation meter, computer-aided design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYKSEN ESITTELY.....	8
3	SÄTEILYMITTAREIDEN TESTAUS JA KALIBROINTI.....	9
	3.1 Säteilyn mittaus.....	9
	3.2 Millogin säteilyrata.....	9
	3.3 Mittareiden testausprosessi.....	10
4	JIGI.....	12
	4.1 Jigin määritelmä ja Millogilla käytössä olevat jigit.....	12
	4.2 Tehtävänanto uuden jigin suunnittelemiselle.....	12
	4.3 Laserosoitin uusi kohdistusmekanismi.....	13
5	TIETOKONEAVUSTEINEN PIIRTÄMINEN JA MALLINTAMINEN.....	14
	5.1 Autodesk Inventor.....	14
	5.2 Osien luominen.....	14
	5.3 Tekniset piirustukset.....	16
	5.3.1 Teknisten piirustusten mitoitus ja merkinnät.....	17
	5.4 Kokoonpanopiirustukset.....	18
6	SÄTEILYMITTAREIDEN JIGIN SUUNNITTELU.....	19
	6.1 Kiinnitysmekanismi.....	19
	6.2 Jigin ensimmäinen versio.....	20
	6.3 Jousijigin alustan suunnittelu.....	21
	6.4 Leuat ja pystylevyt.....	22
	6.5 Päätyseinät.....	23
	6.6 Vastakappaleet.....	24
	6.7 Liukulaakeriholkit.....	25
	6.8 Mittarien pidikkeet.....	26
	6.9 Osien väliset sovitteet.....	27
	6.10 Mittarien liikuttamiseen vaadittavat voimat.....	29
	6.11 Vaatimukset jousen pituudelle ja venymälle.....	30
	6.12 Leuoista aiheutuvat voimat.....	30
	6.13 Jousien valinta.....	32
	6.14 Jousijigin kokoonpano.....	34
	6.15 Jigin luominen RD-8:lle.....	35
7	JIGI LASEROSOITTIMELLE.....	36
	7.1 Laserosoitin jigin suunnittelun lähtöpiste.....	36
	7.2 Laserosoitin-jigin ensimmäinen versio.....	36
	7.3 Laserosoitin-jigin toinen versio.....	37

7.3.1 Alusta ja ohutlevyosien mallintaminen.....	37
7.3.2 Varsi .....	38
7.3.3 Ruuvipuristin.....	39
8 POHDINTA.....	40
LÄHTEET.....	42

**ERITYISSANASTO**

$F_0$	vetojousen alkuvoima, N
$F_t$	vetojousen kokonaisvoima, N
$F_\mu$	kitkavoima, N
$g$	putoamiskiihtyvyyys, m/s <sup>2</sup>
$k$	jousivakio, N/m
$m$	massa, kg
$N$	normaalivoima, N
$S_v$	säteilyn ekvivalenttiansios, Sv
$V$	tilavuus, m <sup>3</sup>
$x$	jousen venymä, m
$\mu$	kitkakerroin
$\rho$	tiheys, kg/m <sup>3</sup>

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi kahden erilaisen jigin suunnitteluprosessi. Jigit suunniteltiin Millog Oy:n Lievestuoreen toimipaikan säteilyradan käyttöön. Yksi jigeistä toimii säteilymittareiden alustana ja kiinnittimenä, ja toisen jigin tehtävänä on kiinnittää laserosoitin ja tuoda se oikeaan sijaintiin. Laserosoittimen avulla säteilymittarin hiukkasilmaisina ja säteilylähteestä tulevan säteilykeilan keskipiste saadaan samalle linjalle.

Opinnäytetyön luvuissa 2 ja 3 perehdytään yritykseen, jolle työ tehtiin sekä käydään läpi säteilymittareiden testaus- ja huoltoprosessi. Luvussa 4 kerrotaan Millogilla jo käytössä olevista jigeistä ja siitä, mitä uusilta jigeiltä haluttiin. Luvussa 5 kerrotaan tietokoneavusteisen suunnittelun periaatteista sekä 3D-mallinnusohjelmasta, jota opinnäytetyön tekemisessä käytettiin. Luvuissa 6 ja 7 kuvaillaan yksityiskohtaisesti jigin suunnitteluprosessi. Viimeisessä luvussa 8 on opinnäytetyöhön liittyvää pohdintaa.

## 2 YRITYKSEN ESITTELY

Millog Oy on vuoden 2006 syyskuussa perustettu yritys, mutta sen toiminta käynnistyi kunnolla vuonna 2009, kun se muodosti Puolustusvoimien kanssa kumppanuussuhteen (Yritystele n.d; Eduskunnan puolustusvaliokunta 2015, 4). Millogin ydinosiamista ovat kunnossapito sekä elinjakson hallinta- ja materiaalipalvelut. Millog huoltaa Puolustusvoimien maa- ja merivoimien materiaaleja sekä osan ilmavoimien materiaalista. (Millog: Tietoa meistä n.d.)

Millog myös valmistaa optisia komponentteja ja järjestelmiä, ja se on Pohjoismaiden suurin tarkkuusoptiikan ja pimeänäkölaitteiden valmistaja. Optisia komponentteja valmistetaan omiin tuotteisiin sekä teollisuuden ja tutkimuslaitteiden tarpeisiin. Pimeänäkölaitteissa Millog valmistaa valonvahvistimia, lämpökameroita ja tulenjohtosensoreita sekä puolustusvoimille, että vientiin. (Millog: Optroniikka n.d.)

Millogilla työskentelee yli 1000 työntekijää ja se toimii 24:llä paikkakunnalla (Kilometrikisa: Millog 2017). Millogin pääomistajat ovat Patria Oyj ja Insta Group Oy. Se kuuluu Patria-konserniin, mutta toimii itsenäisenä yhtiönä. (Millog: Tietoa meistä n.d.) Millogilla on myös tytäryhtiö Senop Oy, joka aloitti toimintansa 1.1.2016. Senop ”muodostettiin yhdistämällä Millogin optroniikan tuotekehitys, myynti ja markkinointi sekä Oricopa Oy:n integrointiliiketoiminta” (Suomen puolustus- ja ilmailuteollisuusyhdistys n.d.). Millogin liikevaihto vuonna 2016 oli noin 173 miljoonaa euroa (Asiakastieto n.d.).



### 3 SÄTEILYMITTAREIDEN TESTAUS JA KALIBROINTI

#### 3.1 Säteilyn mittaus

Säteilymittarit mittaavat ionisoivaa, eli suurenergistä säteilyä (Lasarus Systems n.d; ARPANSA n.d). Säteilymittareilla voidaan mitata kertynyttä säteilyannosta, annosnopeutta ja eri säteilylajeja (Kata n.d). Säteilyannos mitataan sieverteinä (Sv) (Säteilyturvakeskus: Ionisoiva säteily n.d).  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$  (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 532.). Säteilyturvakeskuksen mukaan ”säteilyannos on suure, jolla kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn haitallisia vaikutuksia. – – Annosnopeus ilmaisee, kuinka suuren säteilyannoksen ihminen saa tietyssä ajassa” (Säteilyturvakeskus: Ionisoiva säteily n.d).

Millog on kunnossapitännyt puolustusvoimien säteilymittareita vuodesta 2009 lähtien ja sitä ennen mittareita huolsivat Lievestuoreen varikolla puolustusvoimat yli 20 vuoden ajan. Vuonna 2017 mittareita tuli huolettavaksi ja kalibroitavaksi ensimmäistä kertaa myös ulkopuolisilta tahoilta. Kalibroinnilla tarkoitetaan mittauslaitteen tarkkuuden arviointia ja tarvittaessa säätöä (Wu 2015).

#### 3.2 Millogin säteilyrata

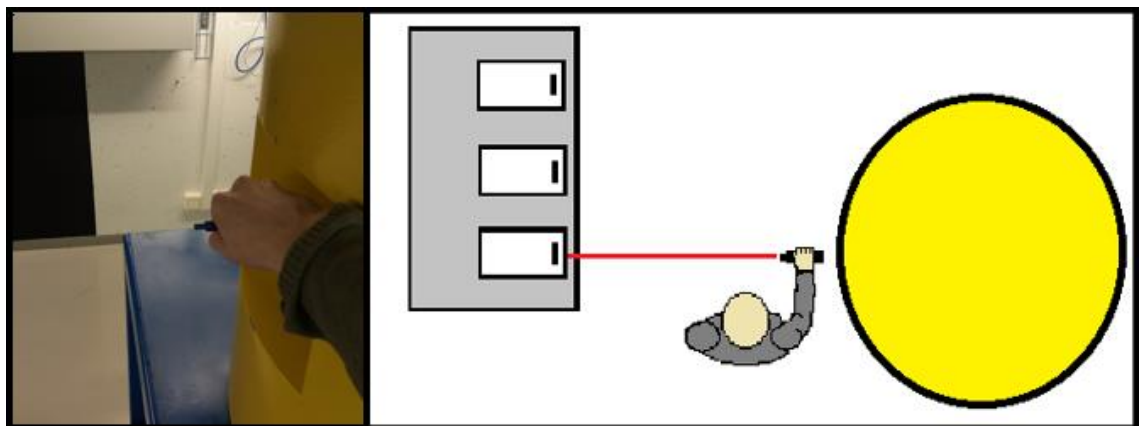
Millog käyttää säteilymittareiden kalibroinnissa apuna säteilyrataa (kuva 1). Säteilylähteenä radalla käytetään Cesium-137:ää, joka on säiliön sisällä. Cesium-137 on cesiumin radioaktiivinen isotooppi, jota käytetään laajasti säteilymittareiden kalibrointiin (Khalid 2005, 16). Säteilylähteen edessä on kiskot, jota pitkin liikutetaan pöytää, johon säteilymittarit asetetaan testauksen ajaksi. Pöytää kutsutaan tässä työssä testauspöydäksi. Testauspöytää voidaan liikuttaa pitkin kiskoja sekä sivu- ja korkeussuunnassa. Säteilymittarien testauspöydän yläpuolella on kamera, joka kuvaa pöydässä olevien mittarien näyttöä. Kameran välityksellä saadaan säteilymittarin näytöllä oleva arvo näkyville kontrollihuoneessa olevaan tietokoneeseen. Kontrollihuoneesta käsin voidaan seurata radan toimintaa ja luoda ohjelma säteilyradan ajolle.



KUVA 1. Säteilyrata

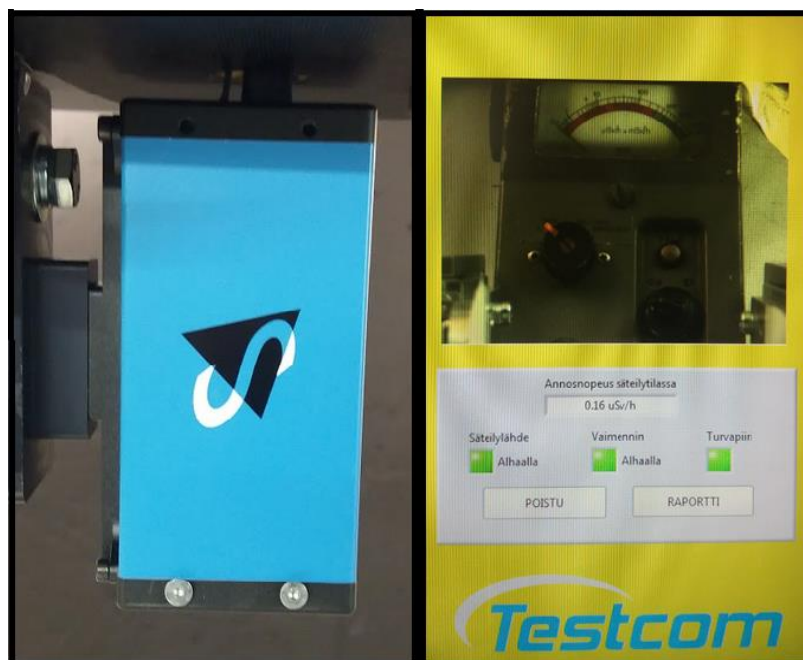
### 3.3 Mittareiden testausprosessi

Säteilymittarit asetetaan testauksen ajaksi kiinni jigiin, joka taas kiinnitetään säteilymittareiden testauspöytään. Kun jigi on kiinnitetty, säädetään pöytää manuaalisesti sivu- ja korkeussuunnassa. Pöytää liikutetaan siten, että säteilymittarin hiukkasilmäin ja säteilykeilan keskipiste saadaan samalle linjalle. Säteilykeilan keskipistettä vastaa testauspöydän säätövaiheessa laserosoittimella suunnattava lasersäde. (Tämä kohdistusmenetelmä on esitetty kuvassa 2 valokuvalla, joka on otettu todellisen säteilylähteen edestä, sekä ylhäältä päin esitetyllä kuviolla.) Seuraavaksi pöytä ajetaan huoneen päähän, jonka jälkeen huoneesta poistutaan ja sen ovi lukitaan.



KUVA 2. Säteilylähteen edestä suunnataan lasersäde säteilymittariin

Kontrollihuoneessa olevalla tietokoneella käytetään ohjelmaa, jonka avulla testauspöydän ajo tehdään. Ohjelmalla luodaan pisteet, joihin pöytä ajaa ja pysähtyy. Testauksen alussa avataan säteilytynnyri, jotta säteily pääsee vapaasti etenemään säteilytilassa. Tänä aikana ei testauksessa saa olla läsnä ihmisiä. Altistuminen Cesium-137:stä tulevalle säteilylle voi aiheuttaa palovammoja, säteilypahoinvointia ja johtaa kuolemaan (Centers for Disease Control and Prevention n.d.). Testauspöytä käy ajon aikana kiskon pituussuunnassa kolmessa pisteessä ja jokaisessa näistä se ajetaan myös sivuttain, jotta kaikista mittareista saadaan ylös niiden näyttämät annosnopeudet. Mittarin näyttämä lukema välitetään kontrollihuoneeseen mittarin yläpuolella olevan kameran avulla (kuva 3). Kun testauspöytä on suorittanut ajon, suljetaan tynnyri ja mittarit haetaan säteilytilasta. Ne mittarit, joiden näyttämät annosnopeudet poikkeavat todellisista lukemista yli sallitun rajan (ts. eivät täytä tarvittavia tarkkuusvaatimuksia), säädetään kuntoon Millogilla. Vertailulukema mittareille saadaan vertailumittarin avulla, jolla selvitetään säteilyannosnopeus pitkin rataa. Vertailumittarina käytetään säteilymittaria, jonka on kalibroinut Säteilyturvakeskus.

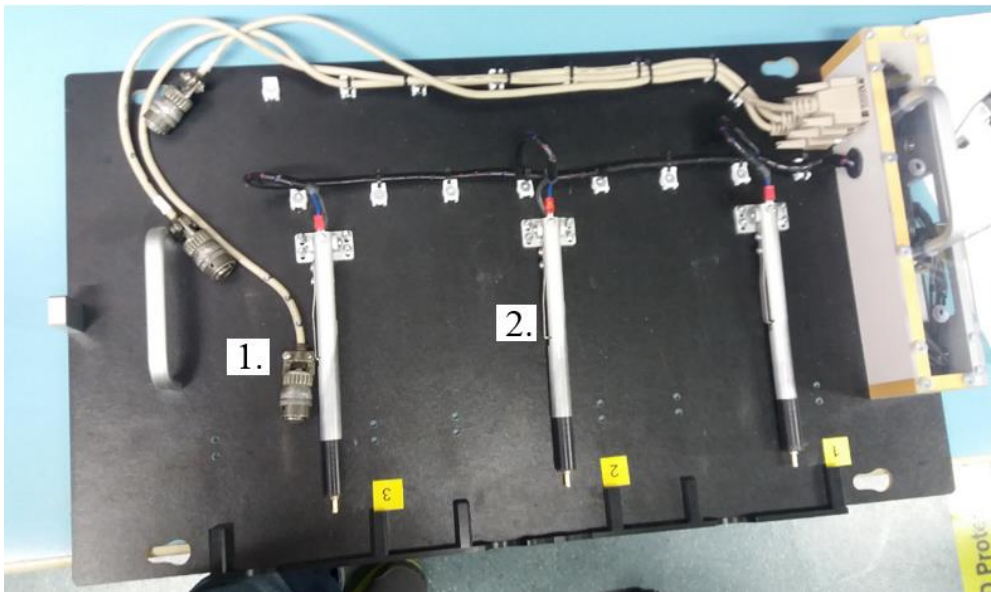


KUVA 3. Kamera ja kontrollihuoneeseen saapuva kuva

## 4 JIGI

### 4.1 Jigin määritelmä ja Millogilla käytössä olevat jigit

Jigi tarkoittaa mittatilaustyönä tehtyä laitetta, joka pitää työstettävää kappaletta paikallaan ja ohjaa sitä työstävää työkalua (Collins Dictionary n.d.). Tässä opinnäytetyössä jigillä ei kuitenkaan viitata koneistamisessa käytettävään laitteeseen. Mutta koska Millogilla käytetään säteilymittareiden kiinnittämistä nimeä jigi, käytetään sitä myös tässä opinnäytetyössä. Tähän asti jokaiselle Millogille tulevalle mittarimallille on rakennettu oma jiginsä. Kuvassa 4 näkyy jigi, joka on tehty säteilymittari RDS-120:lle. Siinä on paikka kolmelle mittarille. Kuvassa 4 näkyvä 1. komponentti on jigin dataliitin ja 2. komponentti on 12 voltin virtalähde, joka korvaa testauksen aikana mittarissa tavallisesti olevat paristot.



KUVA 4. Säteilymittari RDS-120:n jigi

### 4.2 Tehtävänanto uuden jigin suunnittelemiselle

Millogilla käytössä olevat jigit toimivat hyvin, mutta jokaiseen niistä pystyy asettamaan vain yhtä mittarimallia. Millogin saadessa enemmän asiakkaita, kasvaa myös mittariskaala niin suureksi, että olisi epäkäytännöllistä ja aikaa vievää luoda jigi jokaiselle mittarimallille; etenkin, jos tiettyä mittarimallia tulee huoltoon vain muutamia kappaleilta.

Näistä syistä Millogille tarvittiin uusi jigi, johon pystyy asettamaan useita erilaisia mittareita. Uuden jigin suunnittelemiselle annettiin muuten vapaat kädet, mutta haluttiin, että jigiin pystyy asettamaan samaan aikaan kolme säteilymittaria. Mittareiden testauspöydästä on mahdollista tuoda sähköt jigiin, mutta tätä ominaisuutta ei haluttu yhdistää uuteen jigiin, koska sähkökomponentit veisivät tilaa, joka voidaan käyttää mittareille. Mittarit tulevat siis toimimaan uudessa jigissä omilla virtalähteillään. Lisäksi haluttiin ratkaisu säteilymittari Wallac RD-8:n testaukselle. Tässä mittarissa on kallellaan oleva näyttö, eikä jigin yläpuolella olevalla kameralla näe mittarissa olevaa lukemaa tarpeeksi hyvin, mikäli mittari on vaakatasossa (kuva 5). Jigiin tuli siis suunnitella alusta jossa Wallac Rd-8 voi olla kallellaan.



KUVA 5. Wallac RD-8 ja asento, jossa sen tulee olla testauksen aikana

### 4.3 Laserosoittimen uusi kohdistusmekanismi

Kappaleessa 3.3 kuvattiin, miten laserosoittimen avulla säteilymittarit tuodaan säteilykeilan keskipisteen kohdalle. Nykyinen menetelmä tälle on pitää laserosoittimesta kädellä kiinni ja osoittaa sen säde säteilykeilan keskipisteen suuntaisesti. Tämä toimintatapa haluttiin korvata jigillä, joka kiinnittää laserosoittimen ja suuntaa sen säteen oikeaan kohtaan. Laserosoittimen jigin suunnittelusta tuli siis toinen merkittävä osa opinnäytetyötä.

## 5 TIETOKONEAVUSTEINEN PIIRTÄMINEN JA MALLINTAMINEN

### 5.1 Autodesk Inventor

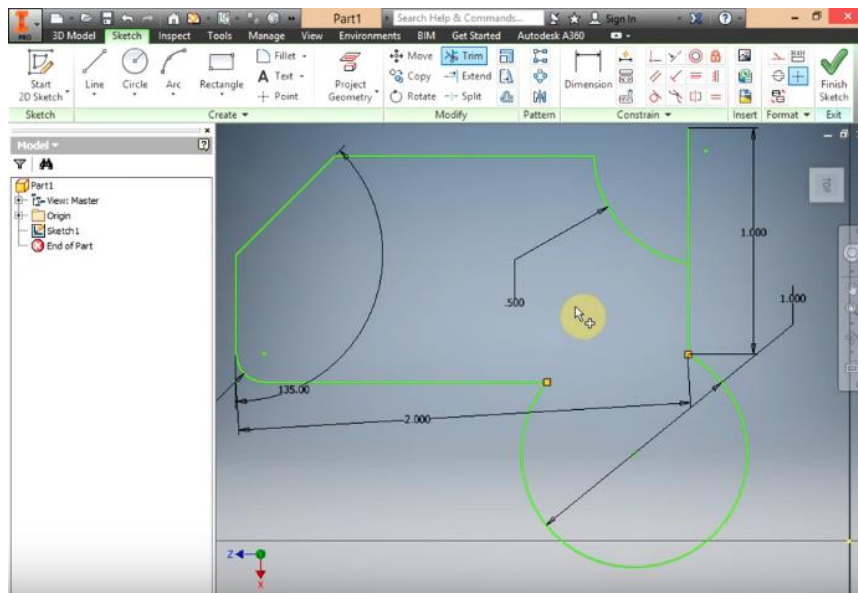
Kirjassa Konetekniikan perusteet todetaan: ”Kaikki tekninen piirtäminen ja suunnittelu tapahtuvat nykyisin tietokoneiden avulla” (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 51). Tässä työssä kuvattujen jigien suunnittelu ja piirtäminen tehtiin 3D-ohjelma Autodesk Inventorilla. Kyseisellä ohjelmalla voidaan luoda

- osia
- kokoonpanoja ja räjäytyskuvia
- ohutlevyosia
- teknisiä piirustuksia
- animaatioita
- hitsauskokoonpanoja. (Heikkilä 2012, 5.)

Jigien suunnittelussa tarvittiin edellä mainituista kaikkia, paitsi hitsauskokoonpano- ja animaatiotyökaluja. Suurin osa työskentelyajasta meni osien mallintamiseen.

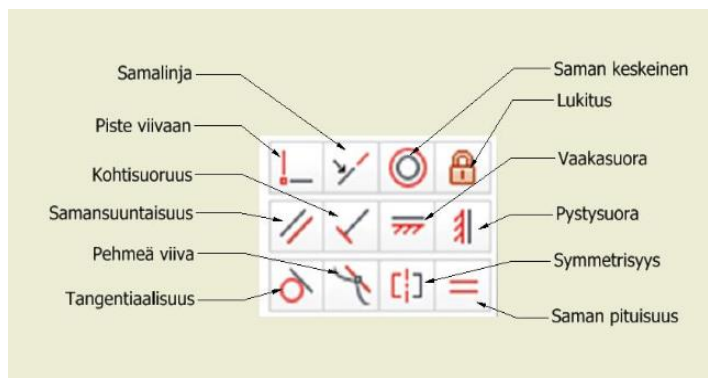
### 5.2 Osien luominen

Autodesk Inventorilla osien luominen aloitetaan tekemällä luonnos 2-ulotteiselle tasolle (kuva 6). Luonnos piirretään valitsemalla työkalu, kuten viiva, kaarre, ympyrä, suorakulmio tai monikulmio. Näillä työkaluilla voidaan luoda suunnitellulle kappaleelle muoto, jota täsmennetään myöhemmin. (Home 2008, 35.)



KUVA 6. Kuvakaappaus Autodesk Inventorin luonnosnäkymästä (AutoDesk Inventor 2016 : 01 : 2D Drawing, Youtube 2015)

Piirtämistä helpottavat määritteet (kuva 7). Näillä voidaan esimerkiksi lisätä tangenti-määrite viivan ja kaaren välille, asettaa kaksi viivaa kohtisuoraan toisiinsa nähden tai luki-ta kahden eri ympyrän keskipisteet yhteen. Luonnokseen lisätään lopuksi mitat Dimen-sion-työkalulla. Autodesk Inventorissa luonnoksen viivat muuttuvat siniseksi, kun luon-nos on rajoitettu maksimiinsa. (Heikkilä 2012, 16.)

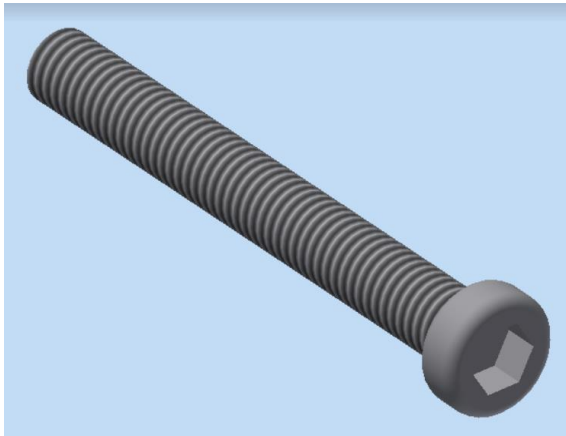


KUVA 7. Autodesk Inventorin luonnosnäkymän määritteet (Heikkilä 2012, 19)

Kun luonnos on valmis, siitä muodostetaan 3-ulotteinen malli (kuva 8). Tämän luomiseen on useita vaihtoehtoja. Työkalut, mitä tässä työssä käytettiin eniten, olivat pursotus (le-vyjen mallintamiseen), pyöräytys (ruuvien ja pulttien mallintamiseen) sekä kela (jousien mallintamiseen). 3D-osaan voidaan tehdä viisteitä, pyöristyksiä tai useita eri tyyppisiä reikiä, mitä myös todellisuudessa käytetään. Valitsemalla yhden kappaleen sivuista, tai luomalla uuden tason mihin tahansa koordinaatiston pisteeseen, voidaan malliin piirtää



uusia luonnoksia, joilla voidaan joko lisätä tai poistaa materiaalia. (Home 2008, 53–65.) Autodesk Inventorissa on 3D-osien mallinnukseen huomattavasti enemmän välineitä, mutta edellä kuvatuilla menetelmillä saatiin luotua suurin osa tähän opinnäytetyöhön tarvittavista osista.

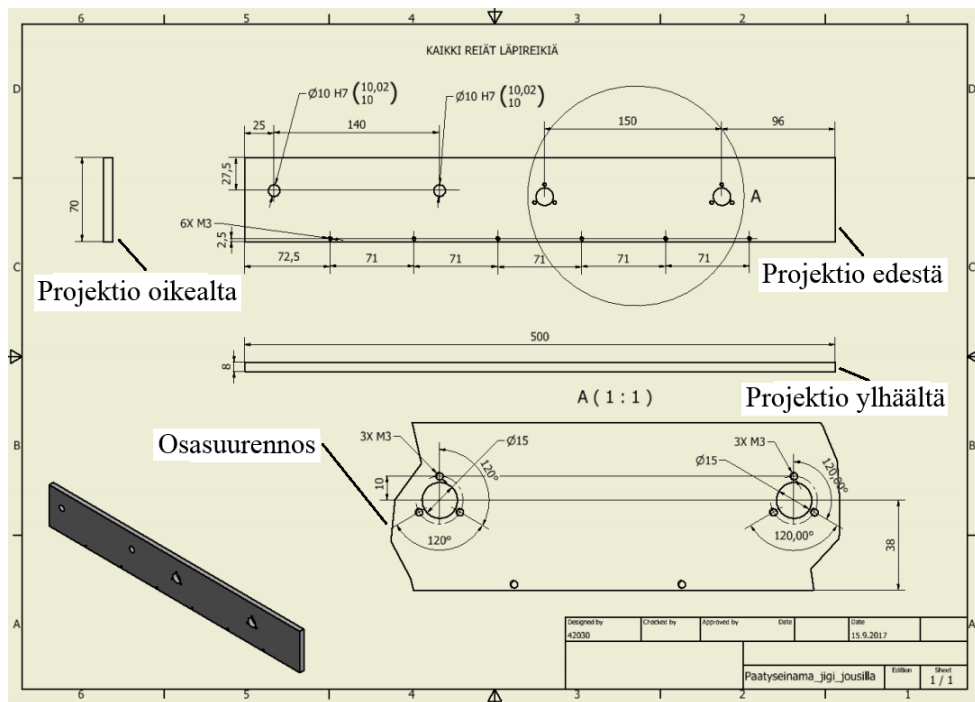


KUVA 8. 3D-mallinnettu ruuvi

### 5.3 Tekniset piirustukset

Jotta mallinnetut osat pystytään valmistamaan fyysisesti, on niistä tehtävä tekniset piirustukset. Piirustuksissa esitetään kappaleen eri puolilla olevat muodot luomalla projektiot kappaleen eri suunnista (Autio & Hasari 1999, 40). Kuvassa 9 on jigin päätyseinän tekninen piirustus. Siinä on otettu pääprojektioksi levyn asento, jossa tulee kappaleesta ilmi kaikki muu oleellinen paitsi sen paksuus. Pääprojektion vasemmalla puolella on projektiio oikealta, eli osaa on käännetty pääprojektiosta katsottuna sivuttain  $90^\circ$ . Pääprojektion alla on projektiio ylhäältä, jossa kappaletta on käännetty piirustuksen lukijan suuntaan vertikaalisesti  $90^\circ$ . Lisäksi projektioita olisi voitu luoda vasemmalta, alhaalta ja takaa. Tässä niitä ei kuitenkaan tarvita. ”Projektioita piirretään niin monta, että piirustuksesta saadaan yksiselitteinen” (Autio & Hasari 1999, 43). Kuvassa 9 on myös osasuurennos alueesta, joka on merkitty pääprojektiioon ympyrällä A. Osasuurennoksia käytetään, kun halutaan saada mitoittamisen helpottamiseksi pienet yksityiskohdat esiin (Autio & Hasari 1999, 44).

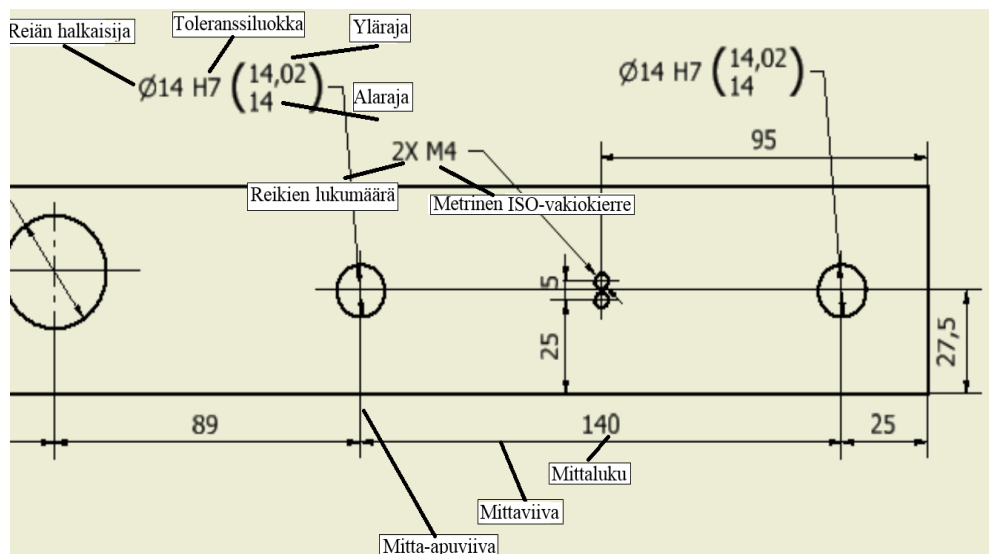




KUVA 9. Jigin päätyseinän tekninen piirustus

### 5.3.1 Teknisten piirustusten mitoitus ja merkinnät

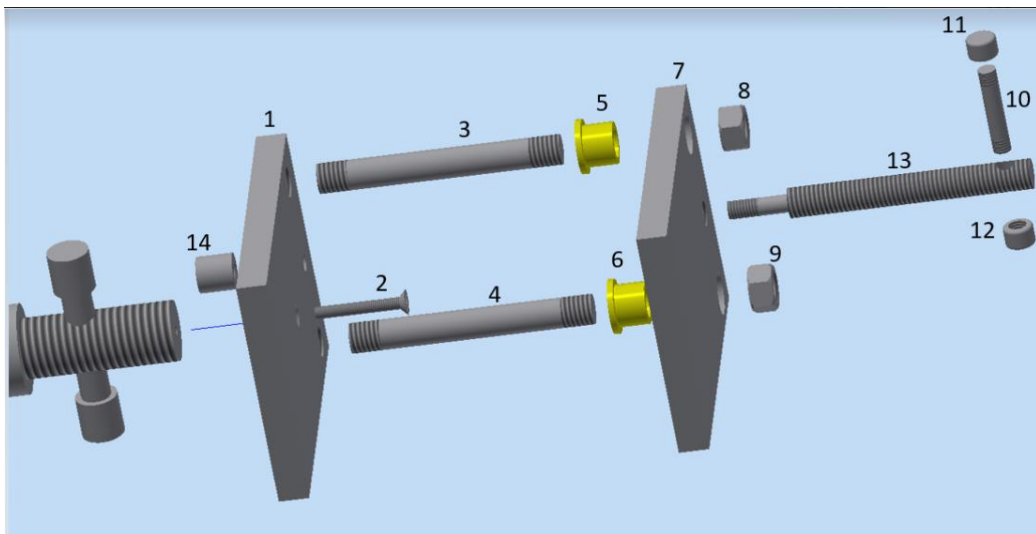
Jotta osat voidaan valmistaa mallinnettuja kappaleita vastaaviksi, tulee kappaleen valmistajalla olla nähtävillä tarvittavat mitat. Mittoja pitää antaa sen verran, että piirustusta käytävän ei tarvitse selvittää yhtäkään mitta laskutoimituksilla. Toisaalta kukin mitta tulisi antaa vain kerran piirustuksessa, eli samoja mittoja ei tule toistaa eri projektioidissa. (Autio & Hasari 1999, 59.) Kuvassa 10 on osa jigin leuan piirustuksesta. Siihen on merkitty, mistä kaikesta mitoitus koostuu.



KUVA 10. Osan mitoitus

## 5.4 Kokoonpanopiirustukset

Kokoonpanopiirustuksen tai räjäytyskuvan (kuva 11) avulla suunnittelija pystyy selvittämään muille osapuolille, miltä laite tulee näyttämään valmistuessaan ja missä järjestyksessä osat kiinnitetään. Räjäytyskuvissa kokoonpanon osat ovat erotettuina toisistaan ja niitä tarvitaan etenkin huolto- ja korjausohjeissa sekä varaosaluetteloissa (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 48). Suunnittelija itse näkee kokoonpanoa tehdessä tietokoneella, sopivatko osat toisiinsa, vai onko osien mitoituksessa tehty virheitä.

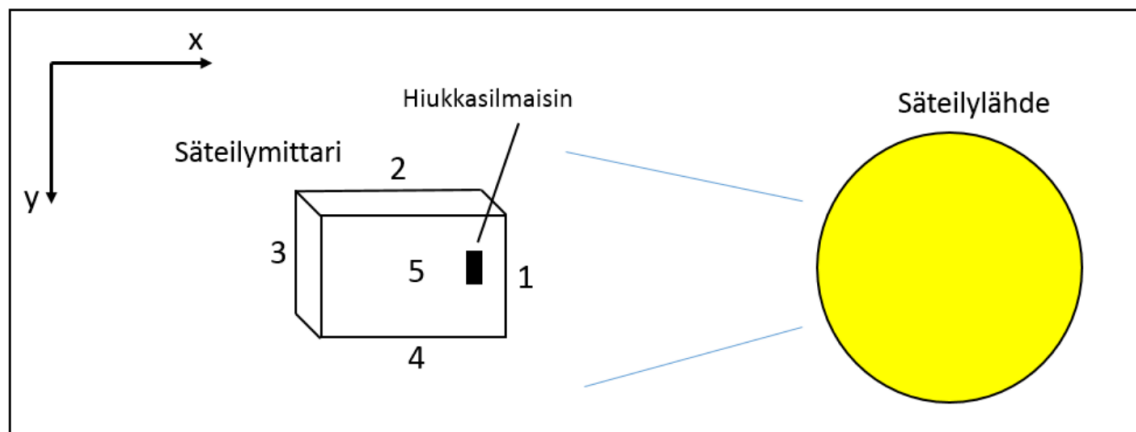


KUVA 11. Räjäytyskuva laserosoittimen jigin puristimesta

## 6 SÄTEILYMITTAREIDEN JIGIN SUUNNITTELU

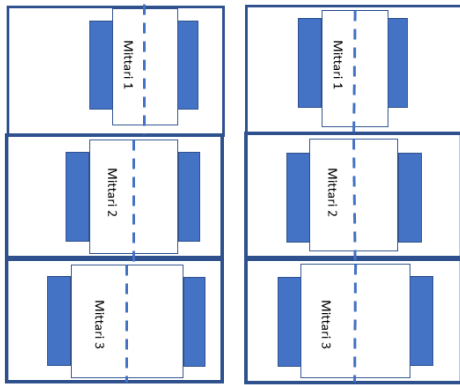
### 6.1 Kiinnitysmekanismi

Jigiä lähdettiin suunnittelemaan miettimällä säteilymittareiden kiinnitysmekanismia. Yksi yleinen ja helposti toteutettava menetelmä on luoda kiinnitettävään kappaleeseen puristusta tasaisesti eri puolilta kappaletta. Suunniteltavassa jigissä paras kiinnitystapa on kuviosta 1 katsottuna tehdä kiinnitys mittarin sivuilta 2 ja 4. Puristuksen voi toteuttaa myös mittarin päältä (sivu 5), tai sivuilta 1 ja 3, mutta tällöin mittarit täytyisi paikoittaa joka kerta manuaalisesti y-suunnassa, kuviosta 1 katsottuna. Muuten mittarit olisivat joka testauksella hieman eri etäisyyksillä toisistaan. Lisäksi toinen puristuslevy peittäisi hiukkasilmäimen, jos kiinnitys tehtäisiin sivuilta 1 ja 3.



KUVIO 1. Mittari kuvattuna ylhäältä

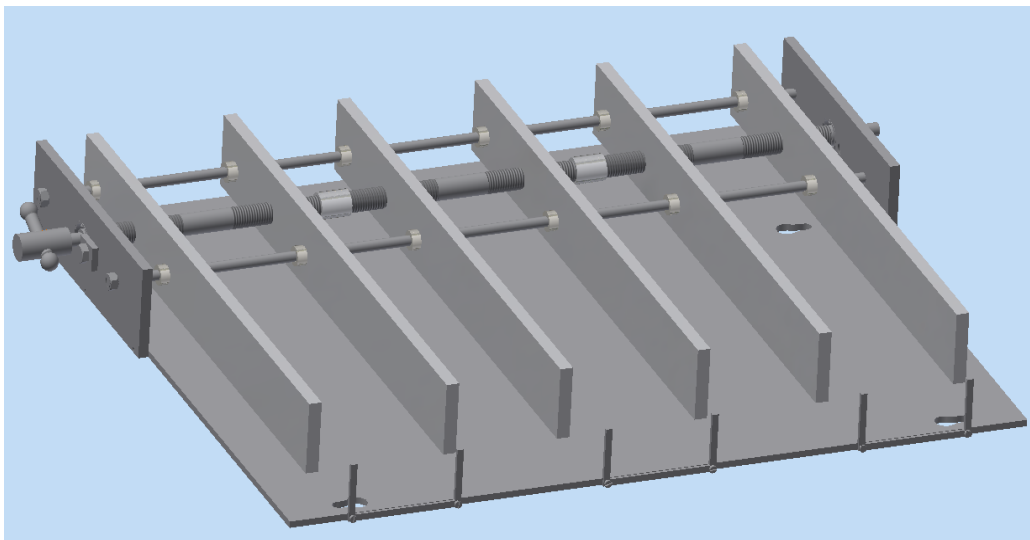
Tämän lisäksi haluttiin välttää kuvion 2 vasemmalla puolella oleva tilanne. Kuvion 2 molemmilla puolilla on kuvattuna kolme jigii perätysten. Vasemmassa jigissä oikea leuka on kiinteä ja vasen liikkuu. Tästä johtuen jokaisen mittarin keskipiste on leveysuunnassa eri kohdassa jigii. Kuvion oikealla puolella olevassa jigissä molemmat leuat liikkuvat samassa suhteessa toisiinsa nähden ja tästä johtuen ne pystyvät keskittämään eri kokoisten mittarien keskipisteet samaan kohtaan jigii leveysuunnassa.



KUVIO 2. Ei-keskittävä ja keskittävä jigi

## 6.2 Jigin ensimmäinen versio

Säteilymittareiden jigin ensimmäinen versio tehtiin keskittävän ruuvipuristimen toimintaperiaatteen mukaisesti. Keskittävässä ruuvipuristimessa on kaksi leukaa, jotka avautuvat ja sulkeutuvat samaan tahtiin. Tämän mahdollistaa leukojen läpimenevä, paikoillaan pyörivä ruuvi, jossa on sekä oikean, että vasemman käden kierteet. (Instanko Oy n.d.) Jotta jigissä, joka noudattaa keskittävän ruuvipuristimen toimintaperiaatetta, voi olla kolme mittaria rinnakkain, tulee siinä olla yhteensä kuusi leukaa. Kuvassa 12 on mallinnus jigistä, joka suunniteltiin näiden periaatteiden mukaan. Siinä leukoina toimivat metalliset levyt, joiden läpi kulkee pyörötanko. Jokaiselle levyille on tangossa trapetsikierteet, joista joka toinen kierre on oikeakätinen, ja joka toinen vasenkätinen. Näin levyt muodostavat leukaparit, jotka pyörötankoa pyöritettäessä avautuvat ja sulkeutuvat samassa suhteessa. Säteilymittarit asetetaan leukojen väliin vaakatasossa, siten että se puoli, jossa on mittarin hiukkasilmäin, tulee päätypidikkeiden väliin.

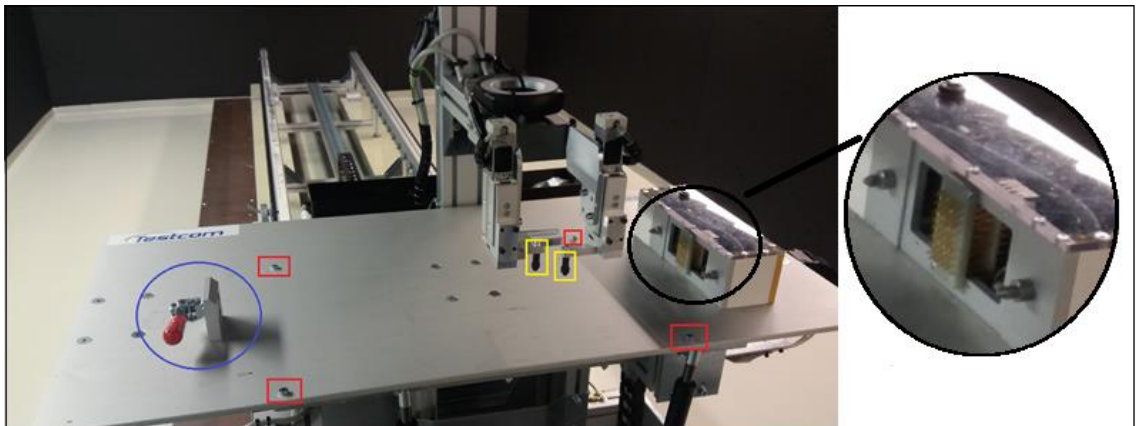


KUVA 12. Ruuvijigin kokoonpanokuva

Tällaisen jigien kiinnitysmekanismien etuna on sen toimintavarmuus. Koska leukoja liikutetaan käsin pyöriteltävällä ruuvilla, ei tarvitse laskea saavatko leuat riittävästi voimaa mittareiden kiinnittämiseen. Haittapuoli ruuvipuristimessa on, että jos voimaa käytetään liikaa, pystyy sillä aiheuttamaan vahinkoa etenkin muovista tehtyjen mittareiden kuoriin. Ja koska kaikkia leukoja ohjataan samalla mekanismilla, pystyy siihen asettamaan kerrallaan ainoastaan saman kokoisia mittareita. Tämän vuoksi säteilymittareiden jigistä suunniteltiin toinen versio, jota kutsutaan tässä opinnäytetyössä jousijigiksi. Tässä leukojen luoma puristus saataisiin vetojousista, joista kiinnitetään toinen pää leukaan ja toinen pää leukojen väliin asetettavaan levyyn. Kun avattujen leukojen väliin asetetaan mittari, jouset venyvät ja pyrkivät palaamaan lepoasentoonsa, vetäen samalla leukoja takaisin. Näin mittarit saadaan keskitettyä ja kiinnitettyä.

### 6.3 Jousijigin alustan suunnittelu

Jousijigin mallintaminen aloitettiin suunnittelemalla sen alusta. Tämä piti tehdä mittareiden testauspöydän rakenteen ehdoilla. Testauspöydässä on kiinnitystappi, joka on rajattu sinisellä ympyrällä kuvassa 13. Kiinnitystapilla jigi saadaan painettua testauspöydän piikkeihin, joka on rajattu samassa kuvassa mustalla ympyrällä. Kiinnitystapin ja piikkien väli on noin 600 mm, joten se valittiin alustan leveydeksi.

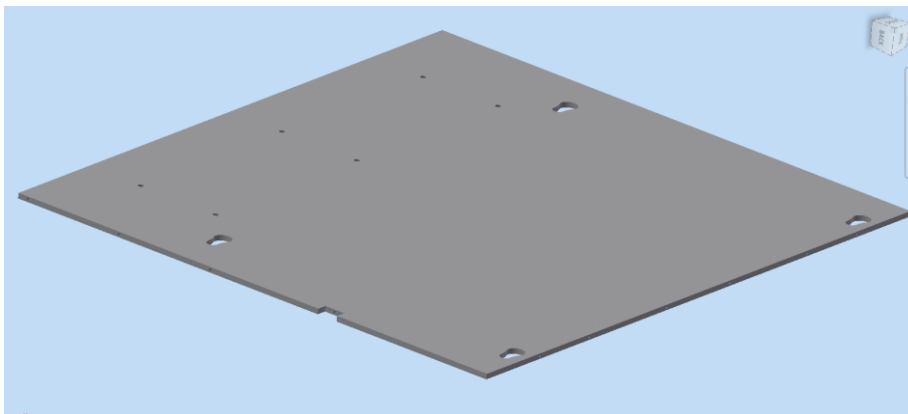


KUVA 13. Testauspöytä

Alustan paksuudeksi asetettiin 5 mm, koska testauspöydän yläpuolella oleva rakenne jättää mittareille hyvin rajallisen tilan. Kuvassa 13 keltaisilla suorakaiteilla rajatut sormet toimivat RDS-120 mittarin painikkeiden käyttäjinä radan ajon aikana. Sormet pystytään irrottamaan, mutta etäisyys pöydän pinnasta sen yläpuolella olevaan runkoon on silti vain 115 mm. Testauspöydässä on lisäksi neljä osaa, jotka ovat rajattu punaisilla suorakaiteilla

kuvassa 13. Nämä helpottavat alustan paikoittamista. Milloilla jo käytössä olevissa jigissä on tehty reiät näitä osia varten, joten näiden reikien suuruudet ja etäisyydet toisistaan tarvitsi vain mitata ja kopioida uuden jigin alustaan. Mallinnetun alustan yhdestä reunasta leikattiin pieni suorakaiteen muotoinen pala pois, koska siihen asetetaan pöydän kiinnitystapin vastakappale.

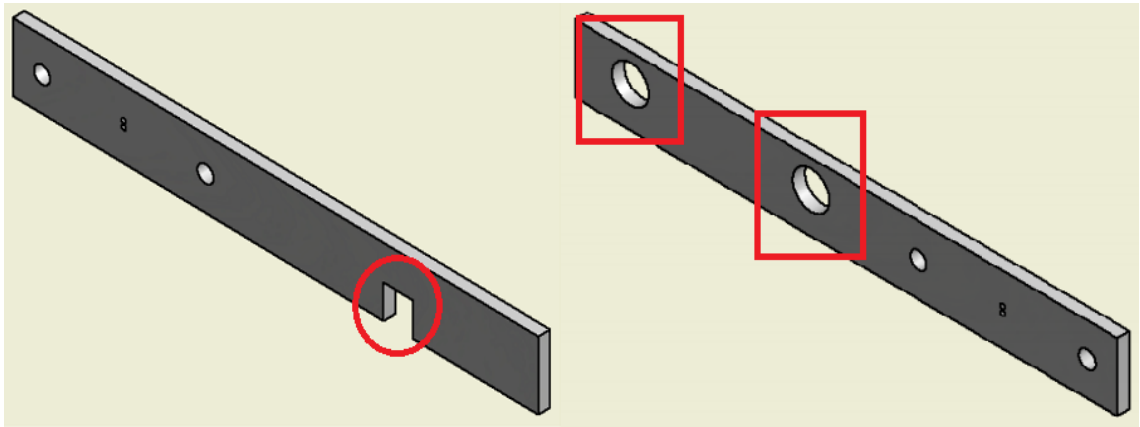
Alustavasti suunniteltiin, että jokaiselle mittarille tulisi alustan päälle oma erillinen kannatin. Jigin leukojen läpi kulkevat pyörötangot asetettiin tässä tapauksessa kannattimien alle. Tätä ei kuitenkaan voitu toteuttaa, koska korkeusero jigin ja sen yläpuolella olevan testauspöydän rakenteen välillä on niin pieni, etteivät korkeimmat mittarit enää mahtuisi jigisiin. Koska pyörötangot piti siirtää mittareiden alta niiden taakse, pidennettiin alustan pituutta 300 mm:stä, joka sille oli alun perin annettu. Rajoitteen alustan uudelle pituudelle asetti testauspöytä, jonka pituus on 500 mm. Tämä asetettiin siis myös alustan pituudeksi. Materiaaliksi alustalle valittiin alustavasti alumiini, koska se on kevyt ja helposti muokattava materiaali, mutta kuitenkin kestävä. Mallinnettu alusta esitetään kuvassa 14.



KUVA 14. Jousijigin alusta

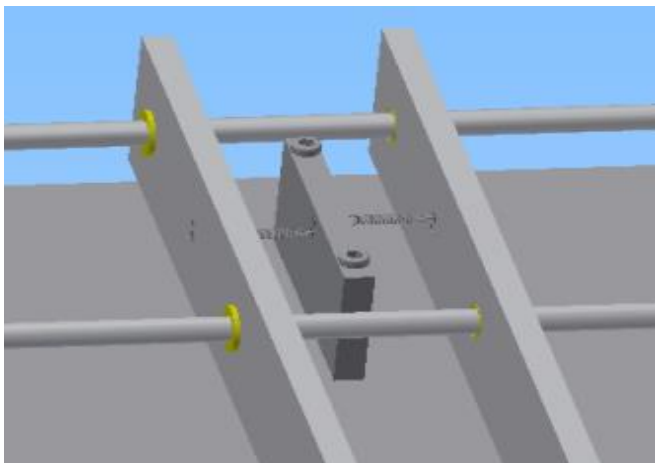
#### 6.4 Leuat ja pystylevyt

Jousijigin leuat mallinnettiin suorakaiteen muotoisiksi levyiksi, joiden koko on millimetreissä 450x55x10 (leveys, pituus, paksuus). Leukojen materiaaliksi valittiin alustavasti alumiini. Leuat liikkuvat jigissä 10 mm paksuja, teräksestä valmistettuja pyörötankoja pitkin. Jousijigin reunimmaisiiin leukoihin lisättiin reiät, jotka ovat rajattu punaisella kuvassa 15. Reiät lisättiin leukoihin jousijigissä olevien (testauspöydän kiinnitystappia ja piikkejä varten tulevien) vastakappaleiden takia. Ilman näitä reikiä leuat eivät voi liikkua alustan päätyihin saakka, vaan ne ottavat kiinni vastakappaleisiin.



KUVA 15. Jousijigin leuat

Jousijigin leuat saavat puristusvoimansa vetojousista. Vetojouset kiinnitetään jokaisesta leukaparista niiden välissä olevaan kiinteään levyyn, jota kutsutaan tämän jigin yhteydessä pystylevyksi (kuva 16). Kun leukoja vedetään kauemmaksi pystylevystä, pyrkivät vetojouset palauttamaan leuat takaisin niiden aloitusasentoon. Pystylevyjen koko on millimetreissä 100x46x10 (leveys, pituus, paksuus). Pystylevyt mitoitettiin jigin alustan pituussuunnassa siten, että ne mahtuvat leukojen tukitankojen väliin. Leveyssuunnassa pystylevyjen sijainti mitoitettiin jakamalla alusta ensin kolmeen yhtä suureen osaan, jonka jälkeen pystylevyjen kiinnittämiseen tarvittavat kierrereivät sijoitettiin näiden osien keskelle. Näin jokaiselle leualle saatiin jousijigissä yhtä suuri liikkumisalue.

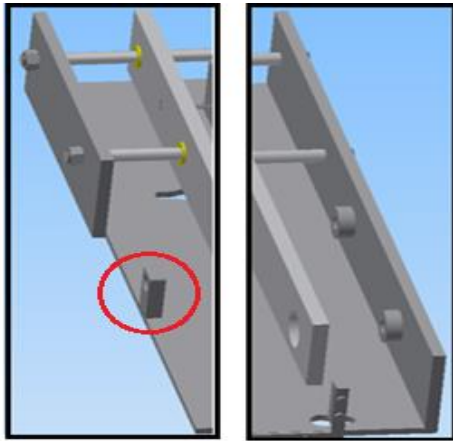


KUVA 16. Jigin leuat ja niiden välissä oleva pystylevy

## 6.5 Päätysseinät

Jousijigin alustan päihin mallinnettiin suorakaiteen muotoisesta levystä tehdyt päätysseinät (kuva 17), joihin kiinnitetään leukojen pyörötangot. Päätysseinien korkeus on 70 mm

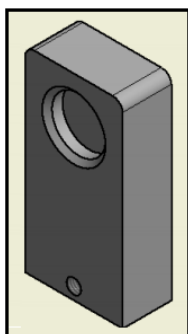
ja paksuus 10 mm. Toinen päätyseinistä on pidempi (500 mm) ja siihen kiinnitetään vastakappaleet testauspöydän piikeille. Toisen puolen vastakappale tehdään erillisestä osasta, joten tämän puolen päätyseinä on lyhyempi (215 mm). Päätyseinät voidaan valmistaa joko alumiinista tai teräksestä.



KUVA 17. Jousijigin päätyseinät

## 6.6 Vastakappaleet

Kuvassa 18 on testauspöydän kiinnitystapille (kuva 13, s. 21) tarkoitettu vastakappale. Kiinnitystappi painetaan vastakappaleen reiän sisään. Osan mitoitusta varten piti mitata tapin halkaisija (10 mm), jotta tiedettiin kuinka suuri reiän pitää olla. Lisäksi mitattiin kiinnitystapin etäisyys testauspöydän pöydän pinnasta ja reunasta, jotta vastakappale saatiin sijoitettua oikeaan kohtaan alustassa. Vastakappale valmistetaan joko alumiinista tai teräksestä ja se kiinnitetään alustaan pidätinruuvilla ja kahdella lieriösokalla.

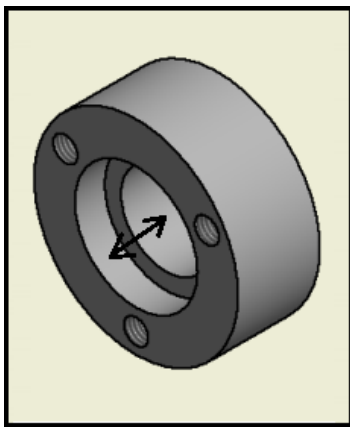


KUVA 18. Vastakappale testauspöydän kiinnitystapille

Kuvassa 19 on vastakappale testauspöydän piikeille (kuva 13, s. 21). Testauspöydän piikkien vastakappaleista mallinnettiin ensin omat erilliset osansa, mutta myöhemmin ne si-



sällytettiin päätyseiniin. Tällä välttyttiin kahden ylimääräisen komponentin valmistamiselta. Testauspöydän piikin ohuempi osa menee sisään vastakappaleen pienemmästä reiästä ja piikin paksumpi osuus mahtuu sisään vain suuremmasta reiästä. Vastakappaleen mitoituksessa piti olla tarkka suuremman reiän syvyydestä. Jos syvyys on liian pieni, ei pöydän kiinnitystappia saa painettua tarpeeksi pitkälle, eikä sen kiinnitysmekanismi silloin toimi. Jos ulkoreiän syvyys taas on liian suuri, eivät testauspöydän piikit ota kiinni lainkaan vastakappaleisiin. Samoin kuin edellisessä osassa, piti tässäkin mitata testauspöydän piikkien etäisyys pöydän reunasta ja pinnasta, jotta tiedettiin, mihin kohtaan päätyseinää vastakappaleet sijoitetaan.



KUVA 19. Vastakappale testauspöydän piikeille

## 6.7 Liukulaakeriholkit

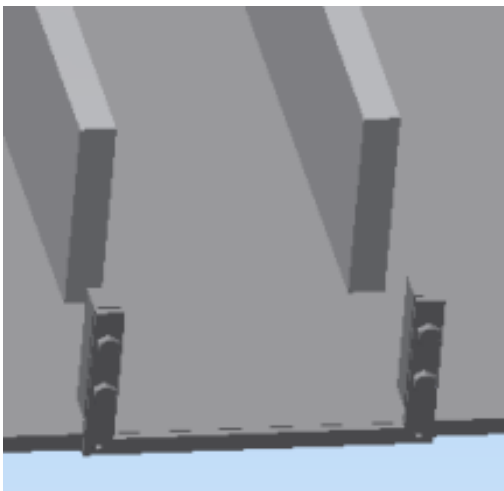
Jousijigissä on liukulaakeriholkit, joiden pesinä toimivat jigien leuat ja akseleina pyörötangot. Liukulaakeriholkit lisättiin, jotta osien välinen kitka saadaan mahdollisimman pieneksi. Ensimmäiset jigisiin valitut laakerit olivat itsevoitelevia, sintrattuja öljypronssilaa-kereita. Joissakin lähteissä näitä kuitenkin suositeltiin välttämään edestakaisen liikkeen käyttöön, joten laakerit vaihdettiin kolmikerros-laakeriin (kuva 20), jonka liukupinta on teflonin ja lyijyn sekoitus (MachineBuilding.net n.d). Sen sisähalkaisija on 10 mm, ulkohalkaisija 12 mm ja pituus 10 mm. (Valkeakosken laakeri n.d.)



KUVA 20. Liukulaakeriholkki (Valkeakosken laakeri n.d)

### 6.8 Mittarien pidikkeet

Jigin leuat keskittävät säteilymittarit oikeaan sijaintiin alustan leveyssuunnassa. Pituussuunnassa mittarien sijainnit saadaan yhdenmukaiseksi pidikkeillä, jotka tulevat alustan päihin (kuva 21). Pidikkeet ovat hakasnaulan muotoisia ja ne voidaan valmistaa joko teräksestä tai alumiinista. Pidikkeistä piti tehdä sen verran leveitä, että ne eivät ole minkään mittarin hiukkasilmäisimen tiellä, mutta toisaalta yksikään mittari ei saa mahtua niiden läpi. Pidikkeistä tehtiin alkuun irrotettavia ja niiden tilalle pystyi laittamaan kiilat säteilymittari RD-8:aa varten, jonka näyttö on kallellaan. Tämä meni kuitenkin Millogilla opinnäyteyöprojektin edistymistä valvovan järjestelmäinsinöörin sanoin ”liikaa palapeleksi”, joten RD-8:lle tehtiin oma jiginsä. Tämän suunnitteluprosessi kuvataan myöhemmin kappaleessa 6.15.



KUVA 21. Mittarin pidike

## 6.9 Osien väliset sovitteet

Sovite viittaa siihen kuinka tiukasti tai väljästi kaksi osaa sopivat toisiinsa (Autio & Hasari 1999, 135). Sovitteet jaetaan kolmeen ryhmään:

- Välyssovitteeseen, jossa reikä on suurempi kuin akseli.
- Välisovitteeseen, jossa akseli voi olla joko suurempi tai pienempi kuin reikä.
- Ahdistusovitteeseen, jossa akseli on suurempi kuin reiän ylärajamitta. (Autio & Hasari 1999, 136.)

Sovitteet jaetaan reikäkantaa ja akselikantaa. Jos käytetään reikäkantaa, pidetään reiän toleranssiasema muuttumattomana ja akselin halkaisijan toleransseja muutetaan sitä mukaan mitä sovitetta halutaan käyttää. Akselikannassa reikä taas muokataan sopivaksi akselille. Sovitteiden valintaan on luotu standardoituja taulukoita, joissa annetaan suosituksia toleransseista, mitä kussakin sovitteessa kannattaa käyttää, niin reikä- kuin akselikannalle. Se, mitä kolmesta edellä luetellusta sovitteesta käytetään, pitää kuitenkin määrittää itse. (Autio & Hasari 1999, 135–136.)

Jokaiseen sovitetyyppiin kuuluu omat alakategoriansa. Standardissa ANSI B4.2-1978 on annettu taulukko, jossa on kymmenen esimerkkiä sovitteiden käyttökohteista (Advanced Mechanical Engineering Solutions n.d). Kyseisestä taulukosta valittiin sovitteet

- liukulaakeriholkin sisäosalle ja pyörötangon keskiosalle
- päätyseinän reiälle ja pyörötangon päälle
- leuan reiälle ja liukulaakeriholkin ulko-osalle.

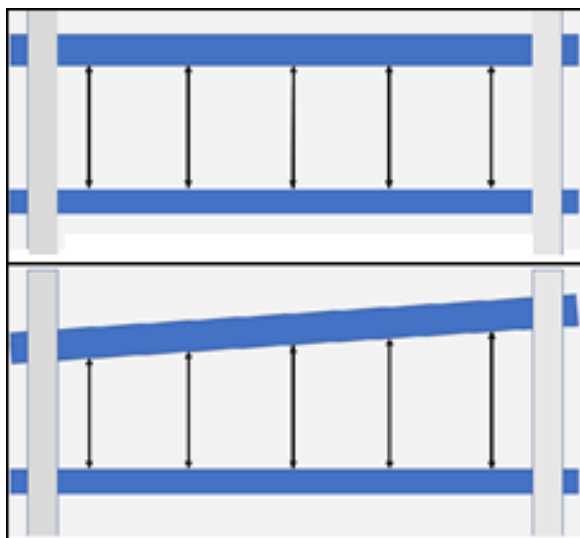
Pyörötangolle on siis kaksi eri sovitetta, toinen sen päässä ja toinen keskiosassa. Tangot ovat päästään kiinni jigien seinissä ja loppuosa tangoista toimii liukulaakeriholkkien akselina. Tanko ei voi olla tasapaksu, koska sen tulee olla kiinni päätyseinässä tiukasti ja laakerissa väljästi. Sovitteiden valitsemisen jälkeen laskettiin reiän ja akselin toleranssit ISO Tolerances nimisellä sovelluksella, joka käyttää ISO 286-1 standardia (Google Play n.d). Sovellukseen syötetään nimellismitta ja toleranssiluokat, joiden perusteella ohjelma antaa minimi ja maksimi koon sekä reiän, että akselin halkaisijalle.

Tangon ja päätyseinän reiän sovitteeksi valittiin reikäkantainen välyssovite H7/h6. Sen kuvaus on: ”Paikoittava välyssovite, joka antaa tiukan sovitteen paikallaan oleville osille,

mutta [osat] voidaan vapaasti kokoonpanna ja purkaa” (Advanced Mechanical Engineering Solutions n.d). 10 mm nimellimitalla päätyseinän reiän halkaisijan tulee olla soviteen mukaan 10–10,015 mm ja akselin halkaisijan 9,99–10 mm.

Liukulaakeriholkin ulkohalkaisijan ja leuan reiän (eli laakerin pesän) sovite saatiin liukulaakeriholkin jälleenmyyjän sivulta, vaikka tosin valitulle laakerille ei annettu asennustoleransseja kyseisellä sivulla. Saman kokoiselle öljypronssi liukulaakeriholkille suositeltava pesän halkaisijan asennustoleranssi on 0...+0,018 mm, joten tämä toleranssi lainattiin myös jousijigin liukulaakeriholkkiin (Laakerinetti n.d). Koska laakerin ulkohalkaisija on 12 mm, on leuan reiän sallittu koko siis 12,00–12,018 mm.

Liukulaakeriholkille ohjeistus oli, että sen läpikulkevan akselin suositeltu asennustoleranssi on -0,013...-0,028 (Laakerinetti n.d). Jigissä akselin halkaisijasta haluttiin kuitenkin vielä pienempi, sillä tässä akseleita on kaksi. Ideaalisesti akselit ovat täysin yhdensuuntaisia (kuvion 3:n ylempi malli). Todellisuudessa tangot eivät välttämättä ole täysin yhdensuuntaisia, koska vastakkaisten päätyseinien reiät, joissa tukitangot ovat kiinni, voivat poiketa toistensa sijainnista joko pysty- tai sivusuunnassa. Kuvion 4 alemmassa piirroksessa on liioiteltu tätä poikkeamaa. Kun tangot eivät ole yhdensuuntaisia, liukulaakeriholkien ja tankojen välille aiheutuu hankausta. Tankojen keskiosan paksuudeksi valittiin siis välisovite H11/c11, joka on väljin ANSI-standardin esimerkkisovitteista (Advanced Mechanical Engineering Solutions n.d). Tällä laskettuna akselin koon on oltava 9,83 ja 9,92 mm välillä.



KUVIO 3. Yhdensuuntaiset- ja ei-yhdensuuntaiset akselit

## 6.10 Mittarien liikuttamiseen vaadittavat voimat

Ennen jousien valintaa piti laskea, kuinka suuret voimat mittareiden liikuttamiselle vaaditaan. Nämä voimat selvitettiin jousivaa'an avulla. Jousivaa'an molemmilla puolilla on koukut, joista toinen kiinnitetään vedettävään kappaleeseen ja toisesta vedetään kiinnitettyä kappaletta. Millogilla käytetyn jousivaa'an runko on muovista tehty säiliö, jonka sisällä on vetojousi, joka venyy vedettäessä kappaletta. Rungossa on sekä newton, että kilogramma asteikko, eli sillä voidaan mitata kappaleen liikuttamiseen tarvittava voima sekä kappaleen massa. Kuvassa 22 on säteilymittari RDS-120 vedettävänä alumiinialustan päällä sekä kuva neljästä mittarista, joita testattiin.



KUVA 22. Säteilymittareiden kitkavoimien selvittäminen

Kunkin mittarin kitkavoimat määritettiin vetämällä mittaria ja ottamalla ylös jousivaa'an näyttämä voima hetkellä, jolloin mittari lähti liikkeelle. Mittarien alustoina käytettiin alumiinia, puuta ja muovia. Testaustulokset näkyvät taulukossa 1.

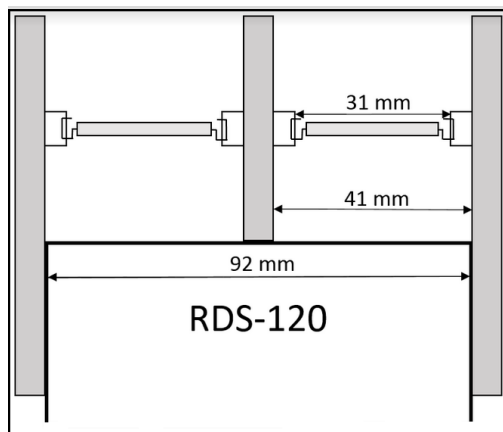
TAULUKKO 1. Säteilymittareiden liikuttamiseen tarvittavat voimat newtoneissa (N)

	Alumiinialusta	Puualusta	Muovialusta
RDS-120	1,25	0,8	1,0
RD-8	2,7	1,5	2,1
RD-7M	4,5	2,4	3,0
RD-10	3,0	1,5	1,8

Taulukosta saaduilla arvoilla laskettuna mittareiden liikuttamiseen puupintaa vasten tarvitaan keskimäärin 44,2 % pienempi voima kuin alumiinilla, ja muovipinnalle vastaava luku on 28,9 %. Alumiinin huonojen kitkaominaisuuksien vuoksi vaihdettiin jousijigin alustan materiaali polyasetaalimuoviin.

### 6.11 Vaatimukset jousen pituudelle ja venymälle

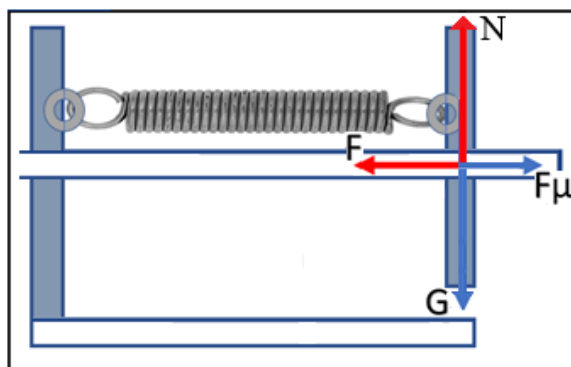
Jouselta vaadittava pituus määrittyy seuraavanlaisesti. RDS-120 on pienin jigiin tulevista mittareista ja sen leveys on 92 mm. Leveys jaetaan kahdella, koska mittaria kiinnittäviä jousia on kaksi. Tästä (46 mm:stä) vähennetään vielä puolet pystylevyn paksuudesta (5 mm) sekä jigin jousille tehtyjen kiinnityskoukkujen yhteispituus (10 mm). Jousen pituus on siis 31 mm, kun kiinnitetään mittaria RDS-120 (kuvio 4). Suurin mittari RD-10 on leveydeltään 152 mm. Laskettaessa, kuten edellä, saadaan jousen venymäksi 61 mm, kun kiinnitetään RD-10:tä. Tästä seuraa, että jousen vapaan pituuden tulee olla siis alle 31 mm ja suurimman venytetyn pituuden vähintään 61 mm. Säteilymittareiden RD-8 ja RD-7M leveys on 100 mm, joten jousen venytetty pituus on näitä kiinnitettäessä 35 mm.



KUVIO 4. Jousen venytetty pituus kiinnitettäessä RDS-120:tä

### 6.12 Leuoista aiheutuvat voimat

Myös jigin leukojen liikuttamiseen tarvitaan jousilta voimaa. Leukoihin kohdistuvat voimat havainnollistetaan kuvion 5 vaakakappalekuvassa.



KUVIO 5. Leuan vaakakappalekuva

Pystysuunnassa leukoihin vaikuttavat painovoima sekä massaa alhaalta kannatteleva normaalivoima. Näiden voimien on oltava yhtä suuret, sillä muuten leuka liikkuisi joko ylös tai alas. Sivuille leuassa vaikuttavat kaksi voimaa: jousen venymästä aiheutuva voima ja tätä vastustava kitkavoima. Kitkavoima on suoraan riippuvainen kitkakertoimesta ja normaalivoimasta. Se lasketaan kaavalla (1)

$$F_{\mu} = \mu N, \quad (1)$$

jossa  $\mu$  on kitkakerroin ja  $N$  on normaalivoima. (Khan Academy n.d.) Yhtälöstä (1) saadaan johdettua, että kitkakerroin on kitkavoiman ja normaalivoiman suhdeluku. Kitkakerroin riippuu kosketuspintojen materiaalista ja mitä suurempi se on, sitä enemmän voimaa tarvitaan kappaleen liikuttamiseen. Kitkakerroin on tavallisesi nollan ja yhden välillä, mutta myös ykköstä suurempi kitkakerroin on mahdollinen. Jos kitkakertoimen arvo on yksi, tarvitaan kappaleen nostamiseen sama voima, kuin mitä tarvitaan sen liikuttamiseen pintaa pitkin. (Linde n.d.)

Kitkavoiman laskemiseksi tarvittava normaalivoima saadaan laskettua kaavalla (2)

$$N = mg, \quad (2)$$

jossa  $m$  on kappaleen massa ja  $g$  on painovoimasta aiheutuva putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s<sup>2</sup>). (Haarto 2012.) Normaalivoiman laskeminen aloitetaan siis kappaleen massan selvittämisellä. Massa lasketaan kaavalla (3)

$$m = \rho V, \quad (3)$$

jossa  $\rho$  on tiheys ja  $V$  on tilavuus. Leuan materiaaliksi oli alustavasti valittu alumiini, mutta tämä vaihdettiin polyasetaalimuoviin sen kevyemmän painon vuoksi. Polyasetaalin tiheys on 1,41 g/cm<sup>3</sup> (Plastic Materials | Free Online Database for Plastic Industry n.d.). Jigiin mallinnetun leuan tilavuus taas on 247,5 cm<sup>3</sup>. Kun nämä sijoitetaan kaavaan (3), saadaan leuan paino

$$m = 2,475 \text{ m}^3 \cdot 10^{-4} \cdot 1410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,35 \text{ kg}.$$

Kun leuan massa kerrotaan maan putoamiskiiktyvyydellä ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) saadaan leuan normaalivoima kaavalla (2).

$$N = 0,35 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,4 \text{ N}.$$

Kitkavoiman laskemiseksi tarvitaan vielä kitkakerroin, joka syntyy tässä tapauksessa leuassa olevan liukulaakeriholkin PTFE-pinnan ja teräksestä tehdyn tukitangon välisestä kitkasta. PTFE on teflonin ja lyijyn sekoitus. Näiden pintojen välinen kitkakerroin on 0,05–0,2 (Friction and Friction Coefficients n.d). Jos oletetaan, että suurempi kitkavoima pitää paikkansa, saadaan kaavalla (1) leukojen kitkavoimaksi

$$F_k = 0,2 \cdot 3,4 \text{ N} = 0,7 \text{ N}.$$

Jousia mitoitettaessa tämä voima pitää siis vähentää jousen tuottamasta voimasta.

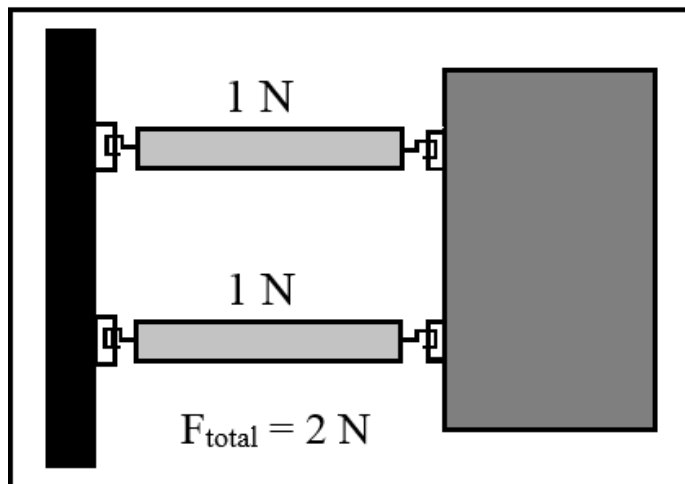
### 6.13 Jousien valinta

Jousityyppi mikä jigiin valittiin, on vetojousi. Vetojousien päissä on koukut, joten jousi voidaan helposti ripustaa kahden osan väliin. Vetojousien vapaassa asennossa jousen kela on kiinni itsessään ja jousen avaamiseksi pitää ylittää jousen oma alkuvoima. (Axxess Spring n.d-a.) Vetojousen tuottaman kokonaisvoima saadaan kaavalla 4

$$F_t = F_0 + kx, \tag{4}$$

jossa  $F_0$  on jousen alkuvoima,  $k$  on jousikerroin ja  $x$  on jousen venymä (Encyclopaedia Britannica n.d; Axxess Spring n.d-b). Jousen luoma voima on siis suoraan verrannollinen sen venymään ja jousivakioon. On siis mahdollista, että tietty jousi pystyy jousijigissä liikuttamaan leveää mittaria, jonka liikuttamiseen tarvitaan esimerkiksi 3 N voima, mutta ei välttämättä ohuempaa mittaria, jonka liikuttamiseen tarvittava voima on vain 2 N. Jos yksi jousi ei riitä vetämään tiettyä kuormaa, voidaan jousia asettaa rinnakkain (kuvio 6). Tällöin kuorma jakautuu jousille tasaisesti, mikäli käytetään kahta samanlaista joustia (Weisstein n.d).





KUVIO 6. Jouset rinnakkain

Jousen valintaa varten vertailtiin useita eri vaihtoehtoja. Jousi valittiin lopulta tanskalaisen Sodemann-nimisen jousivalmistajan verkkokaupasta. Valittuun jouseen kuuluu seuraavat ominaisuudet:

- Jousi on jousiteräksestä valmistettu ja sen halkaisija on 7,5 mm ja langan paksuus on 0,7 mm.
- Jousen vapaa pituus on 28 mm ja suurin kuormitettu pituus on 70,2 mm.
- Jousen jousivakio on 0,31 N/mm ja alkuvoima 2,32 N. (Sodemann Industrifjedre A/S n.d.)

Jousen vapaa pituus on tarpeeksi pieni siihen, että se pystyy tuottamaan puristusta RDS-120:lle, joka on pienin neljästä tarkastellusta säteilymittarista. Jousen suurin pituus taas riittää helposti leveimmälle mittarille, RD-10:lle. Seuraavaksi piti laskea, kuinka suuren voiman valittu jousi tuottaa niissä venymissä, mitä kukin säteilymittari sille aiheuttaa [kaava (4)]. Tämän jälkeen vähennettiin näistä voimista leuan ja mittarin aiheuttamat kitkavoimat. Tulokset esitetään taulukossa 2.

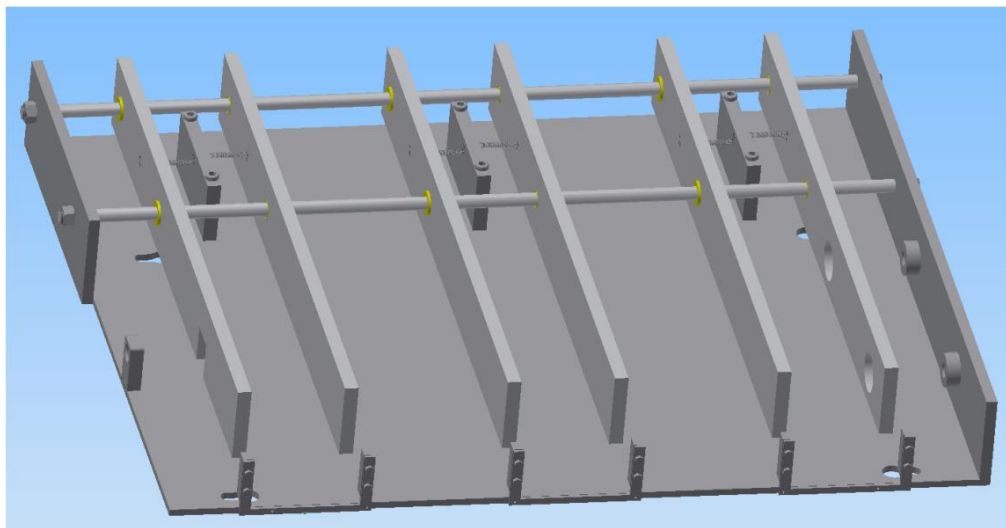
TAULUKKO 2. Säteilymittaria vastaava jousen venymä, voima sekä jousen tuottaman voiman ja sitä vastustavien kitkavoimien erotus.

	Jousen venymä	Jousen tuottama voima ( $F_t = F_0 + kx$ )	Jousen voima leuan ja mittarin kitkavoimia vastaan (N)
RDS-120	3 mm	$2,32 \text{ N} + 310 \text{ N/m} \cdot 0,003 \text{ m}$ $= 3,25 \text{ N}$	$3,25 - 1 - 0,7 = 1,55$
RD-8	7 mm	$2,32 \text{ N} + 310 \text{ N/m} \cdot 0,007 \text{ m}$ $= 4,5 \text{ N}$	$4,5 - 2,1 - 0,7 = 1,7$
RD-7M	7 mm	$2,32 \text{ N} + 310 \text{ N/m} \cdot 0,007 \text{ m}$ $= 4,5 \text{ N}$	$4,5 - 3,0 - 0,7 = 0,8$
RD-10	33 mm	$2,32 \text{ N} + 310 \text{ N/m} \cdot 0,033 \text{ m}$ $= 12,5 \text{ N}$	$12,5 - 1,8 - 0,7 = 10$

Jousen voima ylittää kaikissa tapauksissa mittarin ja leuan aiheuttaman yhteisvoimat, joten valittu jousi pystyy keskittämään ja kiinnittämään jokaisen mittarit.

#### 6.14 Jousijigin kokoonpano

Kuvassa 23 on jousijigin kokoonpanokuva. Päätyseinät, vastakappaleet sekä mittarien pidikkeet kiinnitetään jigiiin M3 pidätinruuveilla. Leukojen pyörötangot ovat kiinni päätyseinissä M10 muttereilla. Pystylevyt kiinnitetään alustaan kuusiokoloruuveilla. Jouset voidaan kiinnittää pystylevyihin ja leukoihin esimerkiksi u-lenkeillä, silmukkaruuveilla tai rautalangasta tehdyillä koukuilla.

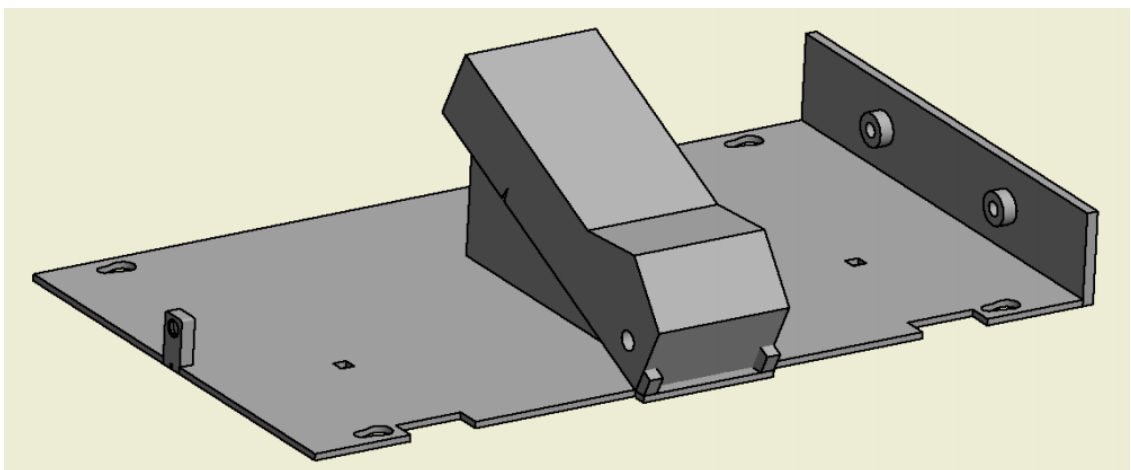


KUVA 23. Jousijigin kokoonpanokuva

### 6.15 Jigin luominen RD-8:lle

Säteilymittari RD-8:n näyttö on vinossa, joten mittarin tulee olla 25° kulmassa, jotta säteilyradan testauspöydän yläpuolella olevalla kameralla saadaan lukema mittarin näytöltä. Alun perin ideana oli, että RD-8 kiinnitettäisiin samaan jigiin kuin muutkin säteilymittarit. Jotta RD-8 voi olla jigissä oikeassa asennossa, on osa mittarista alustan ulkopuolella. Tässä tapauksessa jousijigin pidikkeet pitäisi irrottaa aina, kun RD-8 asetetaan jigiiin. Kuten kappaleessa 6.8 todettiin, tämä idea hylättiin. Toinen ajatus mitä yritettiin toteuttaa, oli kallistusmekanismi, jolla koko jousijigin olisi voinut kääntää oikeaan kulmaan RD-8:n mittausta varten. Tässä jigien pohjaan mallinnettiin syvennykset, joihin asetettiin kiilat, jotka kallistaisivat koko jigiiä 25°. Testauspöydän yläpuolella oleva runko kuitenkin tuli jälleen esteeksi. Tämän vuoksi mittarille tehtiin oma jiginsä (kuva 24). Muutoksia, joita tehtiin:

- RD-8:n jigissä alusta on lyhyempi kuin jousijigissä.
- Toinen päätyseinä puuttuu, koska leukoja kannattelevia tukitankoja ei tarvita. (Jäljelle jätetyn päätyseinän on tarkoitus toimia alustana testauspöydän piikkien vastakappaleille.)
- Jigin alustaan tehtiin kolme neliöreikää ja yhdestä sivusta leikattiin kolme suorakaiteen muotoista palaa pois. Näihin asetetaan säteilymittareiden kannattimet.
- Mittarin kannatin koostuu kiilasta, jonka pohjaan kiinnitetään kuusitahokas, joka sopii alustan neliöreikiin. Kiilan päähän tulee mittarin pidikkeet.



KUVA 24. RD-8:n jigi

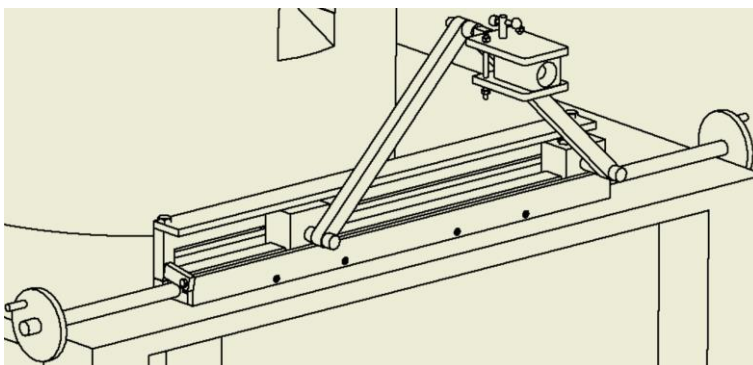
## 7 JIGI LASEROSOITTIMELLE

### 7.1 Laserosoittimen jigin suunnittelun lähtöpiste

Säteilyannokset ovat suurimmillaan säteilykeilan keskipisteessä (Heikkinen & Sepponen 2017, 38). Tästä syystä säteilymittarin hiukkasilmäisin pyritään saamaan samalle linjalle säteilykeilan keskipisteen kanssa. Kuten kappaleessa 3.3 mainittiin, nykyinen menetelmä tämän toteuttamiselle on osoittaa laserosoittimen säde säteilykeilan keskipisteen suuntaisesti ja tuomalla mittarin hiukkasilmäisin säteen eteen liikuttamalla testauspöytää. Tämä toimintatapa haluttiin Millogilla korvata jigillä, joka kiinnittää laserosoittimen ja tuo sen siihen sijaintiin, jossa säde on säteilykeilan keskipisteen kanssa samalla linjalla.

### 7.2 Laserosoitin-jigin ensimmäinen versio

Ensimmäinen idea laserosoitin-jigille oli luoda kisko, jossa on kaksi kuusitahokkaan muotoista kappaletta, joista toinen kiinteä ja toinen liikkuva (kuva 25). Näissä kappaleissa on kiinni kaksi vartta, jotka liikkuvat ylös ja alas, kun liikkuvaa kuusitahokasta viedään kiskoa pitkin. Varsien päässä on pieni ruuvipuristin, johon laserosoitin kiinnitetään. Tämä jigii ajaa asiansa, mutta on melko monimutkainen ja tilaa vievä tarkoitukseensa nähden. Lisäksi varsien päässä olevan ruuvipuristimen asento muuttuu varsien liikkeen aikana. Tälle pitäisi suunnitella oma vakauttamismekanismi tai sitten vakauttaa puristin vaakasuuntaan joka käyttökerralla käsin. Puristinosaa lukuun ottamatta koko rakennelman on tarkoitus nostaa laserosoitin sopivaan asentoon korkeussuunnassa. Tämän saman toiminnon pystyy toteuttamaan helpomminkin, joten laserosoittimen jigistä mallinnettiin toinen versio.



KUVA 25. Laserosoitin-jigin ensimmäinen versio

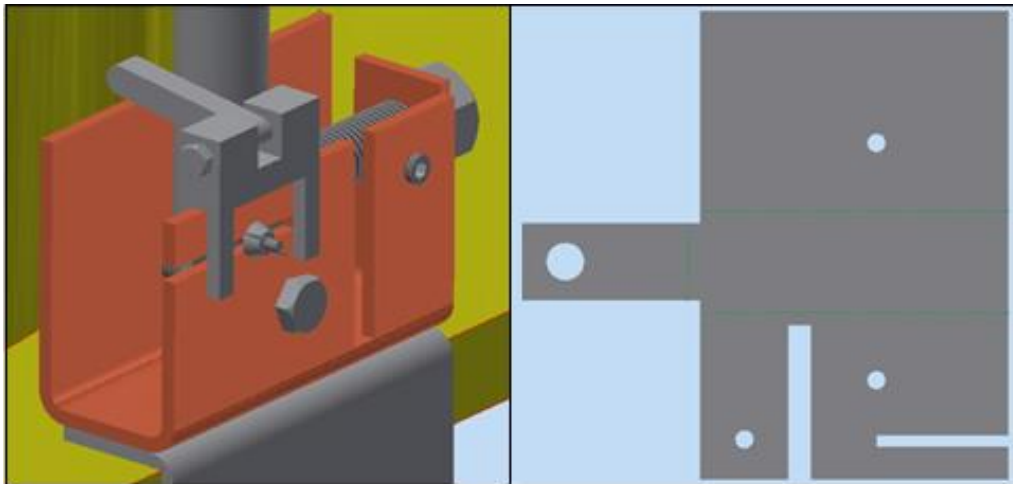
### 7.3 Laserosoitin-jigin toinen versio

Laserosoittimen jigi vaihdettiin ratkaisuun, jossa käytetään samanlaista ruuvipuristinta kuin edellisessäkin, mutta muuten rakenne muutettiin täysin. Ruuvipuristin on tässä jiginä kiinni varressa, jota liikutetaan sivuttain pöydän pinnalta säteilylähteen kohdalle.

#### 7.3.1 Alusta ja ohutlevyosien mallintaminen

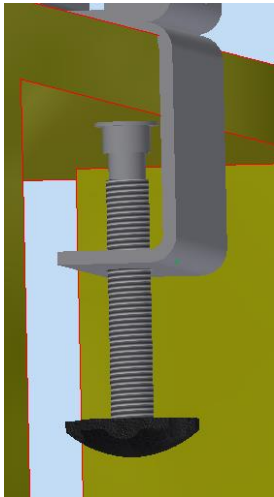
Laserosoitin-jigin alusta suunniteltiin ohutlevystä. Autodesk Inventorilla ohutlevyosien mallintamiseen on omat työkalunsa. Ensiksi piirrettiin suorakaiteen muotoinen alusta ja annettiin levyille ainevahvuus. Ohjelmassa on komento, jolla mallinnettuun levyyn luodaan taivutuksia: tästä määritetään taivutuksen pituus, kulma ja taivutussäde. Kun levy on valmis, voidaan siitä tehdä levityskuva ja tästä tekninen piirustus.

Kuvassa 26 oikealla on alustan levityskuva ja vasemmalla alusta on varsinaisessa kokoonpanossa (väriä on muutettu, jotta osa näkyy selkeämmin). Alusta on taivutettu U-muotoon ja sen pystyseiniin kiinnitetään varrelle tarpeelliset pultit ja muut osat.



KUVA 26. Laserosoitin-jigin alusta

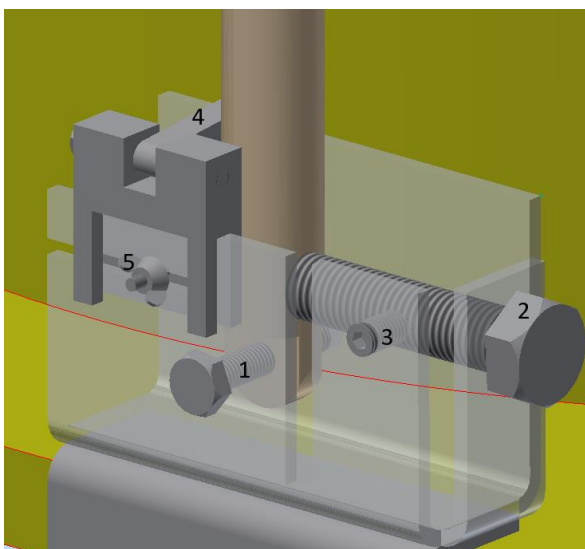
Alustan alempi ohutlevy hitsataan ylemmän ohutlevyn pohjaan. Tämän läpi viedään ruuvi säteilylähteen pöydän pohjaan (kuva 27).



KUVA 27. Laserosoitin-jigin kiinnitys säteilylähteen pöytään

### 7.3.2 Varsi

Jigin varsi tehtiin kahdesta osasta. Ulkovarsi mallinnettiin 30 mm paksuksi ja 225 mm pitkäksi pyörötangoksi. Tankoon porataan akselin suunnassa 20 mm halkaisijaltaan oleva kierreleikkaus, joka on 100 mm syvä. Tangon pohjasta mallinnettiin ohuempi ja siihen tehtiin 10 mm halkaisijaltaan oleva kierreleikkaus. Tähän reikään tulee alustan pystyseisät läpäisevä pultti, joka toimii varren pyörimisakselina (kuva 28, osa 1). Tangon etenemisen liian pitkälle estää kuvaan 28 numerolla 2 merkitty pultti. Tälle on vielä samassa kuvassa numerolla 3 merkitty pidätinruuvi, joka vakauttaa pultin nro. 2. Jotta varsi ei putoo takaisin, on toisella puolella pieni neliötanko (kuva 28, osa 4), joka käännetään varren eteen, kun varsi on pystyssä. Neliötangon runko kiinnitetään alustaan ruuvin ja siipimutterin avulla (kuva 28, osa 5).

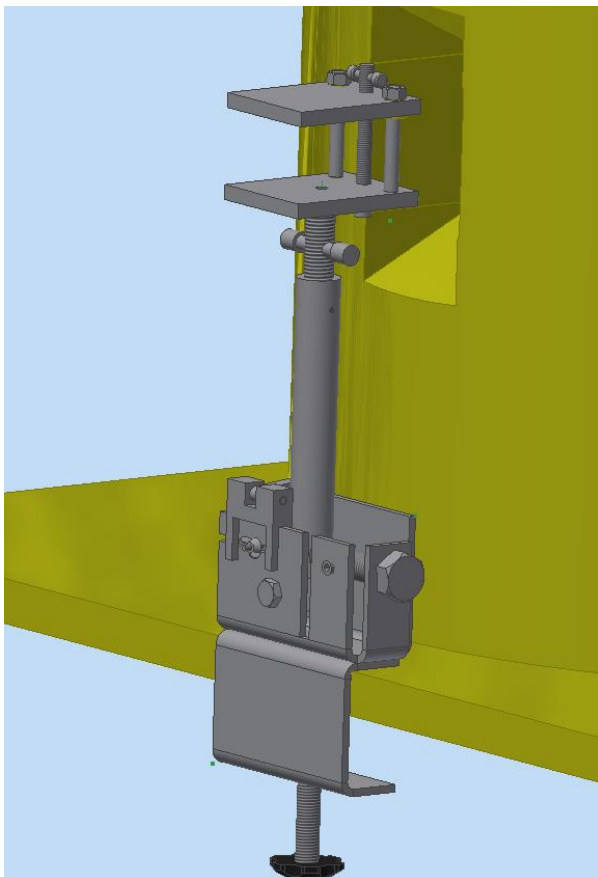


KUVA 28. Laserosoitin-jigin rungon osat

Ulkovarren sisään menevä varsi mallinnettiin 20 mm paksusta ja 150 mm pitkästä tangosta, jossa on ulkokierre koko sen pituudeltaan. Sisävarren poikki mallinnettiin 10 mm paksu reikä, jonka sisään tulee tappi, jota kääntämällä tankoa voi liikuttaa ylös ja alas ulkovarressa. Sisävarren päähän tehtiin 4 mm halkaisijaltaan oleva kierrereikä, johon tulee puristimen kiinteän leuan ja varren yhdistävä ruuvi.

### 7.3.3 Ruuvipuristin

Laserosoitin kiinnitetään jiggin varren päässä olevaan ruuvipuristimeen. Ruuvipuristimen leukoina toimivat kaksi suorakaiteen muotoista teräslevyä, joiden koko on millimetreissä 80x100x10 (leveys, pituus, paksuus). Toinen leuoista on kiinteä ja toinen liikkuva. Ruuvipuristimen paikallaan oleva leuka kiinnitetään M4 uppokantaruuvilla varren sisäosaan. Leuat ovat kiinni toisissaan kolmella osalla: leukaa liikuttavalla ruuvilla ja kahdella, 10 mm paksulla teräspyörötangolla. Pyörötankojen ja liikkuvan leuan väliin asetetaan vielä liukulaakeriholkit, jotta liikkuminen on mahdollisimman sulavaa. Puristimen ruuvi on tehty 10 mm paksusta, paikallaan pyörivästä tangosta. Kuvassa 29 on kokoonpanokuva laserosoittimen jigistä.



KUVA 29. Laserosoittimen jiggin kokoonpanokuva

## 8 POHDINTA

Jigit on Millogilla hyväksynyt säteilymittareiden huollosta vastaava järjestelmänsinööri, mutta niihin saatetaan tehdä modifiointeja valmistuksen yhteydessä. Tällä hetkellä jigit ovat tuotannon työjonossa ja ne on tarkoitus valmistaa vuoden 2018 aikana. Opinnäytetyön lopullisen onnistumisen määrittää se, saadaanko jigit toimimaan, kuten on tarkoitettu ja tehostamaan säteilymittarien testausta. Mallinnetut jigit eivät kuitenkaan ole kiveen hakattuja, vaan Millog voi muuttaa niiden rakennetta kuten parhaaksi näkee, mikäli se helpottaa valmistusta tai parantaa laitteiden toimintaa.

Yleisellä tasolla opinnäytetyötä tehdessä oppi paljon teknisestä suunnittelusta, kun se tehdään ilman suuria rajoitteita. Osien mallinnuksessa tuli vastaan jatkuvasti pientä hienosäätöä: kun yhtä asiaa muutettiin, muuttui samalla moni muukin asia. Lisäksi huomattiin, että kun jotain kokonaisuutta aletaan rakentamaan, kannattaa osien yksityiskohtaisempi suunnittelu ja mallintaminen jättää vasta loppuvaiheeseen. Esimerkiksi laserosoittimen jigin ensimmäistä versiota mallintaessa käytettiin paljon aikaa jokaisen osan tekemiseen. Koska kyseisestä jigistä ei käytetty muuta kuin sen ruuvipuristin, meni jigin luomiseen käytetty aika muuten hukkaan. Parempi ratkaisu olisi ollut tehdä summittaisempi mallinnus useasta erilaisesta jigistä ja sen jälkeen valita näistä yksi. Lisäksi suunnittelussa oli usein hankala valita, mihin ratkaisuun päätyä, kun käytettävissä oli useita toimivia vaihtoehtoja. Yksityiskohtaisemmalla tasolla opinnäytetyössä oppi Autodesk Inventorin käytöstä, sovitteista ja välyksistä, jousien mitoituksesta ja erilaisten materiaalien ominaisuuksien huomioimisen tärkeydestä teknisessä suunnittelussa. Opinnäytetyön kirjoituksessa taas oppi ennen kaikkea eron tekemistä arvokkaan ja tarpeettoman tekstin välillä. Kirjoitusvaiheessa tuotettiin pitkiä kappaleita asioista, jotka olivat kiinnostavia, mutta eivät lopulta työn tarkoituksen kannalta relevantteja, ja ne jouduttiin karsimaan.

Opinnäytetyön esitystavassa yleisesti pyritään siihen, että se on mahdollisimman tieteellinen. Tämä merkitsi sitä, että työn rakenne ja järjestys olivat ennalta määrätynmiä kuin aiemmissa opiskelujen aikana tehdyissä raporteissa. Toinen suuri muutos on se, että käytännössä kaikki ilmaistut asiat, mitkä eivät perustu omaan kokemukseen, pitää opinnäytetyössä tukea ulkopuolisilla lähteillä. Näiden etsintään kului paljon aikaa: tietoa ja kuvia kerättiin lopulta 37:stä eri lähteestä. Positiivinen seuraus tästä oli kuitenkin se, että tiedonhakeminen kehittyi (ja nopeutui) opinnäytetyötä tehdessä ja lauseiden täsmällisyyteen



kiinnitettiin paljon huomiota. Joten asiat, jotka koettiin projektin alussa lähinnä hidasteena, paransivat lopulta opinnäytetyön laatua huomattavasti.

## LÄHTEET

Advanced Mechanical Engineering Solutions. N.d. Preferred Fits and Tolerances Charts (Iso & Ansi Metric Standards). Luettu 16.2.2018.

<http://www.amesweb.info/FitTolerance/FitToleranceMain.aspx>

Access Spring a. N.d. Extension Spring Design Technical Information. Luettu 31.1.2018

<https://www.accessspring.com/extension-spring-design.html>

Access Spring b. N.d. Initial Tension. Luettu 31.1.2018

<https://www.accessspring.com/initial-tension-in-extension-springs.html>

Asiakastieto. N.d. Millog Oy. Tulostettu 20.12.2017

<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/millog-oy/20518595/taloustiedot>

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). N.d. What is ionising radiation?. Luettu 23.2.2018.

<https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation>

Autio, A. & Hasari, H. 1999. Koneenpiirustus ammattikorkeakouluille ja teknillisille opilaitoksille. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

AutoDesk Inventor 2016 : 01 : 2D Drawing. Kuvakaappaus Autodesk Inventorin luonnosnäkymästä. Youtube 2015. Katsottu 10.1.2018.

[https://www.youtube.com/watch?v=5S4RW17eI\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=5S4RW17eI_Y)

Centers for Disease Control and Prevention. N.d. Radioisotope Brief: Cesium-137 (Cs-137). Tulostettu 27.12.2017.

<https://emergency.cdc.gov/radiation/isotopes/cesium.asp>

Collins Dictionary. N.d. Definition of Jig. Tulostettu 28.12.2017.

<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/jig>

Eduskunnan puolustusvaliokunta. 2015. Kumppanuus puolustusvoimissa. Julkaistu 5.11.2015. Luettu 19.12.2017

<https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2015-AK-23437.pdf>

Encyclopaedia Britannica. N.d. Hooke's Law. Luettu 31.1.2018.

<https://www.britannica.com/science/Hookes-law>

Friction and Friction Coefficients. N.d. Engineering Toolbox. Luettu 4.2.2018.

[https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d\\_778.html](https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html)

Google Play. N.d. ISO Tolerances (DIN ISO 286-1). Luettu 16.2.2018.

[https://play.google.com/store/apps/details?id=de.dzapps.iso\\_system\\_din286\\_1](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.dzapps.iso_system_din286_1)

Haarto, A. 2012. Fysiikan perusteet – Voimat ja kiihtyvyys. Luettu 19.2.2018.

[http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/FysiikanPerusteetEL13/3\\_FP\\_voimat.pdf](http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/FysiikanPerusteetEL13/3_FP_voimat.pdf)

Heikkilä, T. 2012. Opiskelijan Inventor-opas. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Heikkinen, J. & Sepponen, P. 2017. Sironta kartiokeilatietokonetomografiatutkimuksissa. Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Home, L. 2008. Inventor 2008 perusteet. Luettu 23.1.2018.  
<http://users.jyu.fi/~kimrant/JYO-Inventor%202008%20perusteet.pdf>

Inkinen, P. Manninen, R. & Tuohi, J. 2002. Momentti 2 Insinöörifysiikka. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Kata. N.d. Käyttöohje Kata@DGM-1500 Turva säteilymittari. Luettu 23.2.2018.  
[http://www.kata.fi/DGM-1500\\_Turva.pdf](http://www.kata.fi/DGM-1500_Turva.pdf)

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2009. Konetekniikan perusteet. 7. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Khalid, R. 2005 Calibration of Radiation Survey Meter Using Cs-137 Gamma Source. Fysiikan tutkimuslaitos. Khartoumin yliopisto. Tutkintotyö. Saatavissa:  
<http://khartoumspace.uofk.edu/bitstream/handle/123456789/13280/alibration%20of%20a%20Radiation%20Survey%20Meter%20Using%20Cs-137%20Gamma%20Source.pdf?sequence=1>

Khan Academy. N.d. What is friction. Luettu 19.2.2018.  
<https://www.khanacademy.org/science/physics/forces-newtons-laws/inclined-planes-friction/a/what-is-friction>

Kilometrikisa. 2017. Millog. Tulostettu 20.12.2017  
<https://www.kilometrikisa.fi/teams/millog/>

Instanko Oy. N.d. 50 mm Koneruuvipuristin. Luettu 20.1.2018  
[http://instanko.fi/index.php?route=product/product&path=75\\_84&product\\_id=1028](http://instanko.fi/index.php?route=product/product&path=75_84&product_id=1028)

Laakerinetti. N.d. BNZF10x12x6-15x2 liukulaakeri itsevoiteleva sintrattu öljypronssi laipalla [10x12x6-15x2]. Luettu 19.1.2018.  
<https://www.laakerinetti.com/bnzf10x12x615x2-liukulaakeri-itsevoiteleva-sintrattu-oljypronssi-laipalla-p-11977.html>

Laurus Systems. N.d. Survey Instruments and Handhelds. Luettu 23.2.2018.  
<http://www.laurussystems.com/Radiation-Survey-Meters.htm>

Linde, S. N.d. Coefficient of Friction: Definition, Formula & Examples. Luettu 14.12.2017  
<https://study.com/academy/lesson/coefficient-of-friction-definition-formula-examples.html>

MachineBuilding.net. N.d. Technopolymer bearings - the advantages over alternatives. Luettu 20.1.2018  
<http://www.machinebuilding.net/ta/t0167.htm>

Millog. N.d. Tietoa meistä. Luettu 20.12.2017  
[http://www.millog.fi/portal/fi/tietoa\\_meista/missio\\_ja\\_visio/](http://www.millog.fi/portal/fi/tietoa_meista/missio_ja_visio/)

Millog. N.d. Optroniikka. Luettu 20.12.2017  
<http://www.millog.fi/portal/fi/optroniikka/>

Plastic Materials | Free Online Database for Plastic Industry. N.d. Density of Plastics: Technical Properties. Tulostettu 4.2.2018  
<https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/density>

Suomen puolustus- ja ilmailuteollisuusyhdistys. N.d. Millogin tytäryhtiö Senop Oy aloitti toimintansa 1.1.2016. Tulostettu 20.12.2017  
<http://pia.teknologiateollisuus.fi/uutiset/millogin-tyt%C3%A4ryhti%C3%B6-senop-oy-aloitti-toimintansa-112016>

Sodemann Industrifjedre A/S. N.d. Vetojouset Jousiteräs - Sarja A & B. Luettu 1.11.2017  
<http://www.jouset.com/verkkokauppa/search?pid=31260>

Säteilyturvakeskus. N.d. Ionisoiva säteily. Luettu 23.2.2018.  
<http://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily>

Valkeakosken laakeri a. N.d. KU1010 liukulaakeri itsevoiteleva sileä PTFE. Luettu 19.1.2018.  
<https://www.laakerinetti.com/ku1010-liukulaakeri-itsevoiteleva-silea-ptfe-p-5348.html>

Weisstein, E. N.d. Springs – Two Springs in Parallel. Tulostettu 4.2.2018.  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/SpringsTwoSpringsinParallel.html>

Wu, Jenny. Instrument Calibration. 2015. Tulostettu 21.12.2017  
[https://chem.libretexts.org/Core/Analytical\\_Chemistry/Data\\_Analysis/Instrument\\_Calibration\\_over\\_a\\_regime](https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Data_Analysis/Instrument_Calibration_over_a_regime)

Yritystele. N.d. Millog Oy - Perustettu. Luettu 19.12.2017  
<http://www.yritystele.fi/yritykset/perustettu/197113>