

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

VOIMANMITTAUSLAITTEEN SUUNNITTELU KUNTOSALILAITTEISIIN

DESIGN OF A STRENGTH MEASURING DEVICE FOR GYM MACHINES

Ohjaaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Lappeenrannassa 05.01.2010

Henri Saastamoinen

0280447

# SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....   | 1  |
| 1.1 Työn tavoitteet ja rajausta.....                     | 1  |
| 1.2 Emering Oy.....                                      | 2  |
| 2 VOIMANMITTAUSLAITE.....                                | 3  |
| 2.1 Toimintaperiaate ja käyttötarkoitus .....            | 3  |
| 2.2 Toimintakohde .....                                  | 3  |
| 2.3 Lihasvoiman mittaus.....                             | 5  |
| 2.4 Markkinoilla olevat laitteet.....                    | 5  |
| 3 TEHTÄVÄN LÄHTÖARVOJEN JA TAVOITTEIDEN HAHMOTTELU ..... | 8  |
| 3.1 Vaatimusluettelo .....                               | 8  |
| 3.2 Abstrahointi .....                                   | 9  |
| 3.3 Osatoiminnot.....                                    | 10 |
| 3.3.1 Laitteen tuottama vastus .....                     | 10 |
| 3.3.2 Mekaniikka .....                                   | 11 |
| 3.3.3 Mittaustapa.....                                   | 12 |
| 4 KOKONAISRATKAISUT .....                                | 13 |
| 4.1 Kierukkavaihdemalli.....                             | 13 |
| 4.2 Hammastankomalli .....                               | 14 |
| 4.3 Kahden hihnapyörän malli.....                        | 15 |
| 4.4 Johderuuvimalli .....                                | 17 |
| 4.5 Kiihtyvyyssanturimalli .....                         | 18 |
| 4.6 Kokonaisratkaisujen vertailu .....                   | 20 |
| 5 PROTOTYYPPI .....                                      | 21 |
| 5.1 Osat ja materiaalinvalinta .....                     | 21 |
| 5.2 Rakenteen osien mitoitus ja jännitykset.....         | 23 |
| 5.3 Lujuuslaskelmat .....                                | 26 |
| 5.3.1 Laakeripesän kiinnitysruuvien leikkauslujuus.....  | 27 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3.2 Johderuuvien puristuslujuus ..... | 27 |
| 5.3.3 Rungon vetolujuus .....           | 28 |
| 5.4 Prototyypin kustannukset.....       | 29 |
| 5.5 Prototyypin testaus.....            | 30 |
| 5.5.1 Lähtöasetelmat .....              | 31 |
| 5.5.2 Havainnot ja ongelmat .....       | 32 |
| 5.5.3 Tulosten tulkinta .....           | 33 |
| 5.5.4 Kehitysideat .....                | 34 |
| 6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....                  | 35 |
| LÄHDELUETTELO .....                     | 36 |
| LIITTEET                                |    |

## 1 JOHDANTO

Kuntosalipalveluilla on nykyään suuret markkinat. Yhä useampi haluaa harjoittaa kehoaan ja ylläpitää fyysistä suorituskykyään. Monenikäiset ja –kuntoiset kuntoiluharrastajat tarvitsevat tiloja ja laitteita painoharjoitteluun. Monet harrastajat ovat kiinnostuneita maksimaalisesta fyysisestä suorituskyvystään. Urheilijat pyrkivät yleensä parhaaseen mahdolliseen maksimivoimaan, räjähtävään voimaan tai kestävyuteen. Tavalliset harrastelijakuntoilijatkin haluavat toisinaan kokeilla rajojaan maksimivastuksia käyttämällä. Lihusvoimansa lähes kokonaan menettäneet kuntoutettavat tarvitsevat tietoa suorituskyvystään ja sen kehittymisestä.

Fyysisen suorituskyvyn mittaaminen pelkästään kuntosalilaitteita käyttämällä ei aina anna tarpeeseen sopivia tuloksia. Normaalisti kuntosalilaitteen vastus on vakio. Poikkeuksena tähän mainittakoon voimanostajien käyttämät ketjut ja kuminauhat dynaamisen vastuksen aikaansaamiseksi. Vakiovastus ei anna tietoa kuntoilijan voimankäytöstä eri kohdissa liikerataa muuten kuin kiihtyvyydestä tarkastelun kautta. Markkinoilla on jo staattisen voiman mittaamiseen tarkoitettuja laitteita, mutta niiden käyttö rajoittuu tiettyyn liikeradan kohtaan.

### 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tässä kandidaatintyössä suunnitellaan voimanmittauslaite Emering Oy:lle. Suunniteltavan laitteen tarkoitus on mitata kuntosalilaitteen käyttäjän tuottamaa dynaamista lihasvoimaa ajan funktiona. Työssä pyritään hyödyntämään Emering Oy:n mittausohjelmistoja. Laite suunnitellaan yhdessä Emering Oy:n yhteyshenkilön kanssa asettamien vaatimusten ja toiveiden pohjalta.

Laitteen suunnittelussa hyödynnetään koneensuunnitteluopin periaatteita. Systemaattinen ongelmanratkaisu alkaa tehtävän asettelusta ja päättyy vaatimukset täyttävään ratkaisuun. Luonnosteluvaiheessa käytetään SolidWorks Education Edition 2008 –ohjelmistoa mallinnukseen ja osien mitoitusvaiheessa Mathcad 14.0 –ohjelmistoa laskentaan. Ohjelmistoista saatavien tietojen perusteella valitaan laitteen osille sopivat mitat ja materiaalit. Lujuusopillinen tarkastelu suoritetaan syöttämällä käsikaavat laskentaohjelmaan.

Työn tavoitteena on suunnitella mahdollisimman käyttökelpoinen laite annettujen kriteerien valossa. Kandidaatintyö rajataan pelkästään laitteen toimintaperiaatteen ja rakenteen suunnitteluun. Suunnittelussa keskitytään erityisesti laitteen mekaniikkaan. Elektronisten toimilaitteiden, ohjelmistoiden ja ulkokuoren suunnittelu jätetään tämän työn ulkopuolelle. Jatkokehittelyyn valittavasta laitteesta tehdään prototyyppi, jonka testitulokset sisällytetään tähän kandidaatintyöhön. Työ päättyy prototyypin käyttökokemusten kuvailuun ja johtopäätöksiin.

## 1.2 Emering Oy

Vuonna 2003 perustettu Emering Oy on mittauspalveluihin ja lujuuslaskelmiin keskittynyt yritys. Sen päätoimipaikka on Lappeenrannassa, mutta yrityksellä on myyntikonttorit myös Vantaalla, Tallinnassa, Brysselissä ja Shanghaissa. Yrityksen perustajilla on pitkäaikainen kokemus paperiteollisuuden ja muun raskaan teollisuuden koneiden kunnossapidosta, tuotantovarmuuden ylläpitämisestä ja dynaamisen sekä staattisen lujuuden laskemisesta. (Emering 2009.)

Emering Oy on itse suunnitellut ja tehnyt analyysiohjelmat kutakin käyttötarkoitusta varten. Näitä ohjelmia hyödynnetään värähtely-, väsymiskestävyys-, ja lujuusanalyyseissä. Analyysien kohteina ovat paperi-, sellu ja terästeollisuuden koneet sekä niiden oheislaitteet. Kyseisissä kohteissa dynamiikka ja suuret kuormitukset vaikuttavat koneiden elinikään, laatuun sekä tuotannon kapasiteetin nostoon. Analyysit perustuvat värähtely- ja jännitysmittausten tarkkuuteen ja luotettavuuteen. (Emering 2009.)

## 2 VOIMANMITTAUSLAITE

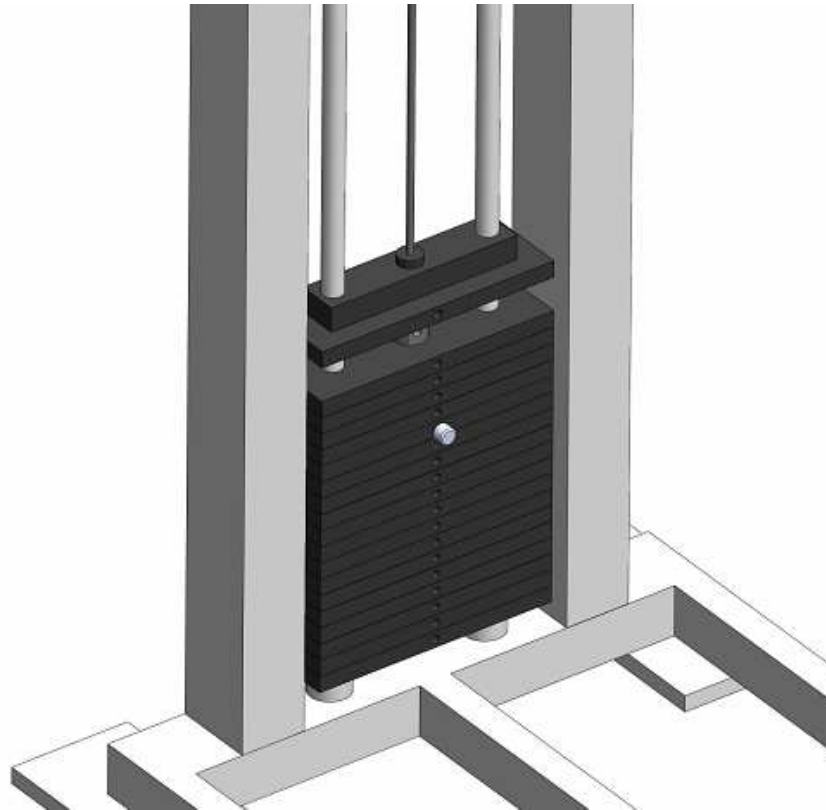
Suunniteltavan laitteen olemassaolon perustaksi käydään läpi laitteen toimintaperiaate ja käyttötarkoitus. Lisäksi luodaan katsaus muihin markkinoilla oleviin laitteisiin, joiden toimintaperiaate on lähes vastaava suunniteltavaan laitteeseen nähden. Myös laitteen toimintakohde rajataan tietyntyyppisiin kuntosalilaitteisiin.

### 2.1 Toimintaperiaate ja käyttötarkoitus

Suunniteltavan laitteen tarkoitus on mitata kuntosalilaitteen käyttäjän tuottamaa dynaamista lihasvoimaa ajan funktiona. Suorituksen jälkeen voimanmittauslaite piirtää voima-aika -käyrän, josta tarkastelija näkee mahdolliset lihasheikkoudet liikeradan matkalla. Laitteen käyttäjäkunnaksi on tarkoitettu erityisesti kuntoutuspotilaat, mutta myös urheilijat voisivat hyötyä kyseisestä laitteesta voimantuoton testaamisessa. Voimanmittauslaitteen antama tieto auttaisi myös raajojen välisiä voimatasapainoja tutkittaessa.

### 2.2 Toimintakohde

Laitteen olisi oltava asennettavissa mahdollisimman moneen erityyppiseen kuntosalilaitteeseen, jotta laite olisi monikäyttöinen. Ensisijaisena käyttökohteena ovat painopakan käyttöön perustuvat kuntosalilaitteet. Kuvassa 1 on SolidWorks-ohjelmistolla mallinnettu tyypillinen toimintakohde suunniteltavalle voimanmittauslaitteelle.



Kuva 1. Kuvassa on SolidWorks-ohjelmistolla mallinnettu kuntosalilaitte, jossa painopakkaa liikutellaan vaijerin välityksellä.

Voimanmittauslaite kiinnitetään tukevasti kuntosalilaitteen runkoon ja painolevyidikkeeseen. Runkorakenteiden eroavaisuudet ja mahdolliset koteloinnit tuottavat haasteita kiinnityksen suunnittelulle. Jotkin kuntosalilaitteet on suojattu koteloinnilla, jotta käyttäjä ei pystyisi jättämään sormiaan tai muita ruumiinosiaan painolevyjen väliin. Kotelointi jättää yleensä vain kiinnitystapin käytölle tarvittavan tilan näkyviin. Tämän vuoksi voimanmittauslaitteen kiinnityksen tulisi onnistua painopakan etupuolelta.

Tässä työssä laitteen kiinnitys suunnitellaan vain tiettyyn painopakkalaitteeseen sopivaksi. Laitteen prototyyppi kiinnitetään ennalta valittuun painopakkalaitteeseen. Kandidaatintyön rajallisuuden vuoksi universaalinen kiinnityksen suunnittelu jätetään pelkästään pohdinnan asteelle.

### 2.3 Lihusvoiman mittaus

Lihusvoima kuvaa lihaksen suorituskykyä. Voima on vektorisuure, jolla on paikka, suunta ja suuruus. Lihasten tuottama voima saa aikaan tietyllä nopeudella tapahtuvan liikkeen. Voimantuotto on isometristä, kun lihas tekee työtä lihaksen pituuden pysyessä muuttumattomana. Isokineettisellä voimalla tarkoitetaan maksimaalista voimantuottoa koko liikeradan matkalla. (TYKS 2009.)

Lihusvoiman mittaus tai arviointi on lähes aina osana ongelman selvittelyä, kun potilaalla on liikkumisongelmia. Lihusheikkous voi olla suurin syy esim. poliomyeliitissa ja lihusdystrofiaa tai –atrofiaa sairastavien potilaiden liikehäiriöissä. (TYKS 2009.)

Lihusvoiman mittauksen tarve on yleisesti tunnustettu ja hyväksytty potilaiden liikkumisongelmissa. Mittausmenetelmät vaihtelevat yksinkertaisten toimintojen havainnoimisesta vaativiin kaupallisiin tietokonepohjaisiin mittausjärjestelmiin. Lihusvoimaa voidaan arvioida silmämääräisesti päivittäisissä toiminnoissa, manuaalisella lihustestauksella, isometrisellä lihusvoimamittarilla tai isokineettisellä lihusvoimamittarilla. (TYKS 2009.)

Yksinkertaiset testit eivät aina ole riittävän herkkiä kuvaamaan muutosta. Hitaasti etenevän sairauden, hoidon tai kuntoutuksen seurannassa tarvitaan tarkka luotettava mittausulos. Näissä tapauksissa yksinkertaiset testit eivät ole tarpeeksi tarkkoja. (TYKS 2009.)

Yhden mittausmenetelmän antama tieto ei yleensä riitä lihusvoiman muutoksen määrittämiseen. Sopivan terapian määrittämiseksi ja lihaksen toiminnallisen kapasiteetin selvittämiseksi tarvitaan tarkkaa diagnostista tietoa. Kuitenkin käytännön työhön soveltuvan testausmenetelmän on oltava nopea, yksinkertainen ja helposti toteutettava ilman erityisvälineistöä. (TYKS 2009.)

### 2.4 Markkinoilla olevat laitteet

Performance Recorder on yrityksen HUR (Human Performance Rehabilitation) Labs Oy valmistama kannettava isometriseen voimamittaukseen tarkoitettu laite. Se on kytkettävissä kaikkiin mittauskiinnityksillä varustettuihin HUR- kuntolaitteisiin. Laitteen voi kytkeä myös muiden valmistajien kuntosalilaitteisiin, mutta tällöin voidaan joutua

turvautumaan lisälaitteisiin tai työkaluihin. Laitetta voidaan käyttää enintään 500 kg:n kuormalla. Korkeimman mitatun arvon voi lukea näytöltä. Kuvasta 2 voidaan nähdä laitteen ulkoasu. Testitulokset analysoidaan laitteen mukana tulevan PC-ohjelmiston avulla. (HUR Labs 2009.)



Kuva 2. HUR Labs Oy:n valmistama Performance Recorder. (HUR Labs 2009.)

Yrityksen HUR Labs Oy valmistama Leg Extension / Curl Testausasema RL1 mittaa jalan ojentaja- ja koukistajalihasten suorituskykyä. Laite soveltuu sekä isokineettiselle ja isometriselle suoritustavalle. Kuvasta 3 ilmenee laitteen rakenne. Laite voidaan asettaa haluttuun kulmaan 90 – 180 asteen välillä elektronisten lukkojen avulla. Laitetta voidaan käyttää myös normaaliin harjoitteluun. Tietokoneohjauksen avulla suorituksen tiedot voi helposti lukea näytöltä ja tarvittaessa siirtää muihin ohjelmistoihin. (HUR Labs 2009.)



Kuva 3. HUR Labs Oy:n valmistama Research Line Leg Extension / Curl RL. (HUR Labs 2009.)

Markkinoilla ei ole helposti liikuteltavaa isokineettisen voiman mittaukseen tarkoitettua laitetta. Kuntoutuslaitokset ja urheiluseurat ovat osoittaneet kiinnostuksensa isokineettisen voiman mittaukseen perustuvaa laitetta kohtaan. (Valkonen 2009.)

### 3 TEHTÄVÄN LÄHTÖARVOJEN JA TAVOITTEIDEN HAHMOTTELU

Suunnittelutyön aloittamiseksi on kerättävä tietoa tehtävän reunaehdoista eli vaatimuksista ja toivomuksista suunniteltavaa laitetta kohtaan. Tehtävän hahmottelu jatkuu abstrahoinnilla, jossa tehtävän ydinolemus selvitetään. Kokonaisratkaisu erotellaan osaratkaisuiksi, jolloin saadaan toimintorakenne. Lopuksi suunniteltavalle laitteelle muodostetaan muutama eri ratkaisuvaihtoehto, joissa yhdistellään osatoimintoja sopivalla tavalla.

#### 3.1 Vaatimusluettelo

Suunniteltavaa laitetta koskeva vaatimusluettelo on laadittu yhdessä Emering Oy:n yhteyshenkilön Matti Taipaleen kanssa. Lisäksi vaatimusluetteloä täydennettiin tarvittaessa työn edetessä. Laitetta koskevat vaatimukset ja toiveet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laitetta koskevat vaatimukset ja toiveet.

| <b>Tunnuspiirre</b> | <b>Vaatimuslista</b>  | <b>Vaatimus (V) /<br/>Toivomus (T)</b> |
|---------------------|---|--|
| <b>Geometria</b>    | Ulkomitat <ul style="list-style-type: none"><li>• Laite on mahdollisimman pieni</li></ul>   | <b>V</b>                               |
| <b>Kinematiikka</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mahdollistaa 1200 millin liikkeen painopakalle</li><li>• Painopakan liikenopeus on vakio</li><li>• Laitetta käytetään 4 sekuntia suoritusta kohden</li></ul>                                    | <b>V</b><br><b>T</b><br><b>T</b>       |
| <b>Voimat</b>       | Laitetta kuormittavat voimat <ul style="list-style-type: none"><li>• Laitteen on kestävä 100 kg:n käyttökuorma</li></ul> Käyttö <ul style="list-style-type: none"><li>• Laitetta voidaan käyttää myös hyvin pienellä voimalla</li></ul> | <b>V</b><br><b>V</b>                   |
| <b>Energia</b>      | Elektroniikan virtalähde <ul style="list-style-type: none"><li>• Toimii ilman verkkovirtaa</li></ul>  | <b>V</b>                               |
| <b>Turvallisuus</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Laite ei saa aiheuttaa vahinkoa käyttäjälle eikä ympäristölle</li></ul>   | <b>V</b>                               |

|                     |  |                      |
|---------------------|--|----------------------|
| <b>Valmistus</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytetään mahdollisimman paljon standardiosia</li> <li>• Toleranssi- ja pinnankarheusvaatimukset täyttyvät</li> </ul>   | <b>V</b><br><b>V</b> |
| <b>Kunnossapito</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitetta ei tarvitse huoltaa usein</li> <li>• Laitteen huoltaminen on helppoa</li> </ul>  | <b>V</b><br><b>T</b> |
| <b>Asennus</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mahdollisimman helppo asennus</li> <li>• Minimaalinen työkalujen tarve asennettaessa</li> </ul>   | <b>T</b><br><b>T</b> |
| <b>Käyttö</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteen käyttökuntoon saattaminen on nopeaa ja helppoa</li> <li>• Laitetta on helppo käyttää</li> </ul>  | <b>T</b><br><b>T</b> |
| <b>Kustannukset</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytetään hinta-laatu-suhteeltaan parhaita osatoimintoratkaisuja</li> <li>• Laitteen sarjatuotantoon varaudutaan jo suunnitteluvaiheessa materiaalinvalinnan ja valmistusmenetelmien keinoin</li> </ul> | <b>T</b><br><b>T</b> |

Kustannusten, valmistuksen ja toimivuuden kannalta suunniteltavan laitteen tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja halpa. Myös pienikokoisuuteen pyritään laitetta suunnitellessa, sillä se vaikuttaa laitteen massaan ja käytettävyyteen. Koska työssä toteutetaan ainoastaan testattavaksi tarkoitettu prototyyppi, todetaan 100 kilogramman käyttöraja riittäväksi.

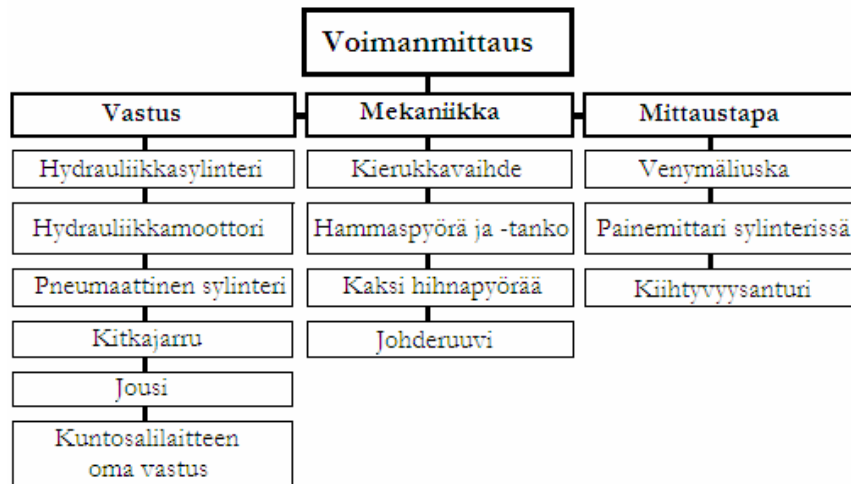
### 3.2 Abstrahointi

Abstrahoinnissa vaatimuslistaa muokataan siten, että jäljelle jää vain tehtävän olennaisin osa. Ensin poistetaan toivomukset ja vähemmän tärkeät vaatimukset. Määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi. Jäljelle jäänyt tieto muotoillaan neutraaliksi lauseeksi, joka ei ota kantaa eri ratkaisuvaihtoehtoihin. (Pahl, G. ja Beitz, W. 1990, s. 74.)

Abstrahoinnin tulokseksi saadaan toteamus: Suunniteltava helposti liikuteltava laite mittaa käyttäjän dynaamisen lihasvoimantuoton täyden liikeradan matkalla.

### 3.3 Osatoiminnot

Tehtävän luonnosteluvaiheessa muodostettu kokonaistoiminto jaetaan osatoimintoihin tehtävän selkeyttämiseksi (Pahl, G. ja Beitz, W. 1990, s. 82). Osatoiminnoiksi valitaan laitteen tuottama vastus, mittaustapa ja mekaniikka. Kokoamalla osatoiminnot toimintarakenteeksi voidaan hahmottaa kokonaistoiminto. Toimintorakenne on kuvassa 4.



Kuva 4. Laitteen toimintorakenne.

#### 3.3.1 Laitteen tuottama vastus

Perinteisesti suorituskyvyn mittarina pidetään nostetun kuorman määrää. Kiihtyvyyssanturia käytettäessä voimanmittauslaitteen ei tarvitsisi vastustaa käyttäjän suoritusta vaan vastuksena toimisi kuntosalilaitteen oma painopakka. Tällöin voimanmittaus perustuu kiihtyvyyden muutoksista saataviin jännitysten muutoksiin. Venymäliuskaa käytettäessä voimanmittauslaitteen on vastustettava käyttäjän suoritusta, jotta johonkin laitteen osaan kohdistuisi jännitys. Jännitetystä osasta saatavat venymäarvot kertovat voimantuoton muutokset. Taulukossa 2 esitetään vaihtoehtoja vastustaa käyttäjän suoritusta, sekä vaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet.

Taulukko 2. Vaihtoehtoja laitteen käyttäjää vastustavaksi toimilaitteeksi.

| Vastustava toimilaite                | Vahvuudet   | Heikkoudet  |
|--------------------------------------|---|---|
| Kaksitoiminen hydrauliikkasyylinteri | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vastus helppo säätää virtausta kuristamalla</li> <li>Öljy on lähes kokoon</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vuotaa aina vähän öljyä</li> </ul> |

|  | puristumatonta  |   |
|--|---|---|
| Kaksitoiminen hydraulikkasyylinteri läpimenevällä varrella | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ei vaadi öljytankkia</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vaatii paljon tilaa pituussuunnassa</li> </ul>   |
| Hydrauliikkamoottori                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pienikokoinen</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vuotaa aina vähän öljyä</li> <li>Lineaariliike on voitava muuttaa pyörimisliikkeeksi</li> </ul>            |
| Pneumaattinen sylinteri                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kevyt</li> <li>Ei öljyvuotoa</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ilman suuri kokoonpuristuvuus voi aiheuttaa mittausvirheitä</li> <li>Ei kestä suuria raskuuksia</li> </ul> |
| Kitkajarru   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yksinkertainen</li> <li>Halpa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ei vastusta vakiovoimalla</li> <li>Pysäyttää helposti liikkeen lepokitkan vuoksi</li> </ul>                |
| Jousi  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yksinkertainen</li> <li>Halpa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ei vastusta liikettä vakiovoimalla</li> </ul>  |
| Kuntosalilaitteen oma vastus                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ilmainen</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ei sovellu, jos halutaan pitää liikkeen nopeus vakiona</li> </ul>  |

### 3.3.2 Mekaniikka

Painopakkakoneen vaijeriin välittyvä voima on johdettava suunniteltavan laitteen vastustavaan toimilaitteeseen sopivan välityksen kautta. Mekaanisen ratkaisun valinta vaikuttaa merkittävästi laitteen kokoon, sillä huono välityssuhde johtaa usein suureen mekanismiin. Taulukossa 3 on eri mekaanisten ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 3. Vaihtoehtoja laitteen mekaanisen välityksen toteuttamiseksi.

| <b>Voiman välitys</b>         | <b>Vahvuudet</b>   | <b>Heikkoudet</b>   |
|-------------------------------|--|---|
| Johderuuvi trapetsikierteellä | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kestää suuria kuormia</li> <li>Suhteellisen halpa</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vaatii voitelua</li> <li>Suojattava liialta</li> </ul> |
| Hammastanko ja hammaspyörä    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Yksinkertainen</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hammaspyörät eivät kestä suuria momenteja</li> </ul>   |
| Kierukkavaihde                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kestää suuria kuormia</li> <li>Korkea välityssuhde</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kierukkavaihderykky on suhteellisen kallis</li> </ul>  |
| Kaksi hihnapyörää             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Halpa</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Huono välityssuhde</li> </ul>                          |

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Helppo huollettava</li> </ul> |  |
|--|--|--|

### 3.3.3 Mittaustapa

Käyttäjän tuottamaa voimaa voidaan mitata lineaarisesti liikkuvasta tai pyörivästä koneenosasta venymäliuskalla. Venymäliuskaa käytetään, kun materiaalin jännitykset pysyvät myötörajan alapuolella. Tällöin jännitys-venymäsuhde säilyy vakiona. Jännityksen ja venymän suhde voidaan ilmaista Hooken lailla

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

jossa  $\sigma$  on jännitys,  $E$  on materiaalikohtainen kimmokerroin ja  $\varepsilon$  on venymä. (Ugural, A. ja Fenster, S. 2003, s. 66)

Venymäarvot kulkevat liuskalta johtoa pitkin tietokoneeseen, joka piirtää voimakäyrää liikkeen funktiona. Hydrauliiikkasynteriä tai pneumaattista synteriä käytettäessä voitaisiin turvautua myös painemittariin. Eri voimanmittaustapojen hyviä ja huonoja puolia on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Vaihtoehtoisia voimanmittaustapoja.

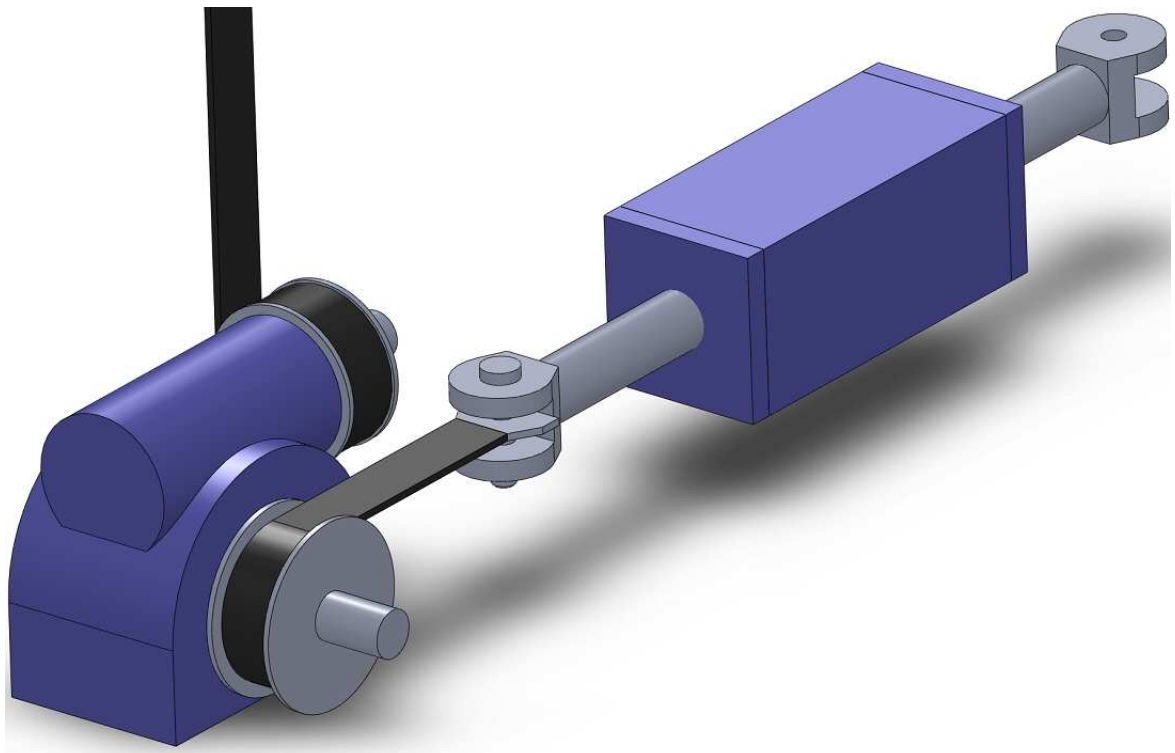
| Mittausmenetelmä          | Vahvuudet   | Heikkoudet  |
|---------------------------|---|---|
| Venymäliuska              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venymäliuskalle löytyy valmiit ohjelmistot Emering OY:ltä</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Johdot voivat häiritä mekaniikkaa</li> <li>• Suojattava hyvin liialta ja kosteudelta</li> </ul>  |
| Painemittari sylinterissä | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yksinkertainen</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaatii uuden ohjelmiston</li> </ul>  |
| Kiihtyvyyssanturi         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pienikokoinen</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei voida käyttää, jos halutaan vakio liikenoisuus</li> <li>• Vaatii uuden ohjelmiston</li> </ul> |

## 4 KOKONAISRATKAISUT

Laitetta on hahmoteltu muutaman luonnoksen avulla eri osaratkaisuja yhdistämällä. Laitteen osatoimintoja kehittämällä on viimein päädytty parhaaseen kokonaisratkaisuun, joka täyttää annetut kriteerit asetettujen vaatimusten valossa.

### 4.1 Kierukkavaihdemalli

Hihnapyörälle kelattu hihna kiinnitetään painopakkakoneen levypidikkeeseen. Hihnasta vedettäessä hihnapyörä ja kierukka pyörivät. Kierukkapyörä pyörittää toisioakselilla toista hihnapyörää, joka kelaat hydraulikkasynteriin kiinnitettyä hihnaa rullalle. Venymäliuska kiinnitetään sylinterin varteen. Kuvassa 4 on luonnos kokonaisratkaisusta, jossa hyödynnetään kierukkavaihdetta.



Kuva 4. Kierukkavaihdetta hyödyntävä voimanmittauslaite.

Kierukkavaihteen hyvä välityssuhde mahdollistaisi hyvin lyhyen sylinterin iskunpituuden. Tällöin laitteen kokonaispituus jäisi pieneksi. Kierukkavaihderyksiköt ovat kuitenkin suhteellisen kalliita. Lisäksi suuren välityssuhteen aiheuttama voima vaatii ylimääräisiä laakereita tukemaan kierukkavaihteen ensiö- ja toisioakselia. Laitetta on hankala palauttaa

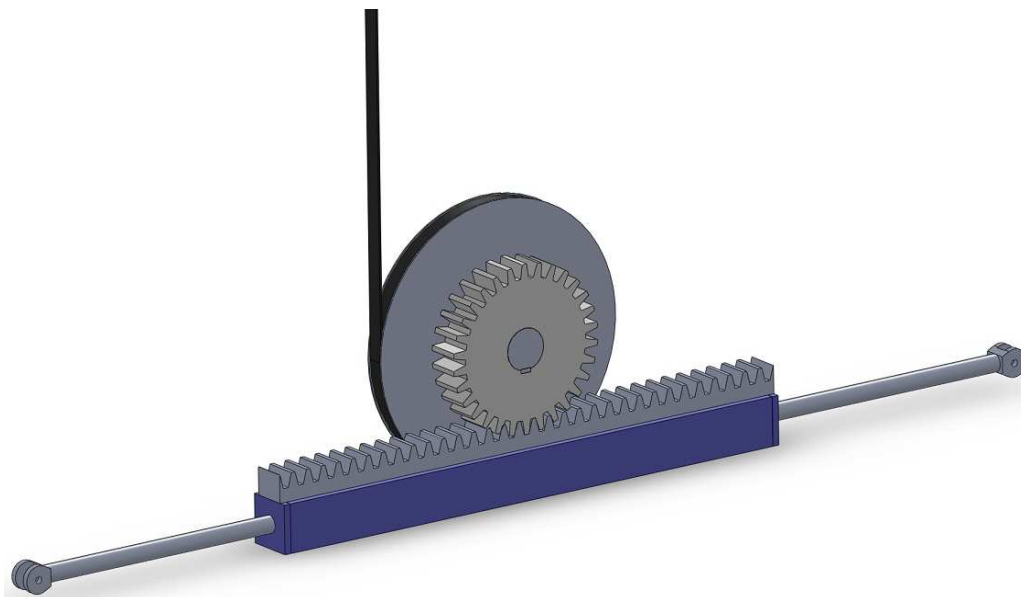
alkuasentoon kierukkavaihteen toimintaperiaatteen vuoksi. Kierukkavaihdemallin hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kierukkavaihdemallin hyvät ja huonot puolet.

| Hyvät puolet  | Huonot puolet   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Suuri välityssuhde</li><li>• Suhteellisen pienikokoinen</li><li>• Kevyt</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kierukkavaihdelyksikkö on suhteellisen kallis</li><li>• Vaatii tukilaakerit</li><li>• Laite on hankala palauttaa alkuasentoon</li></ul> |

#### 4.2 Hammastankomalli

Hihnapyörälle kelattu hihna kiinnitetään painopakkakoneen levypidikkeeseen. Hihnasta vedettäessä hihnapyörä ja hammaspyörä pyörivät. Pyörivä hammaspyörä saa hammastangon liikkumaan lineaarisesti. Hammastanko on kiinnitetty hydraulikkasynterin putkeen, joka liikkuu lineaarisesti hammaspyörän pyöriessä. Runkoon kiinnitetty hydraulikkasynterin varsi pysyy paikoillaan. Sylinterin varteen kiinnitetty venymäliuska kertoo puristusjännityksestä aiheutuvat venymäarvot. Kuvassa 5 on luonnos kokonaisratkaisusta, jossa hyödynnetään hammaspyörää ja hammastankoa.



Kuva 5. Hammaspyörää ja hammastankoa hyödyntävä voimanmittauslaite.

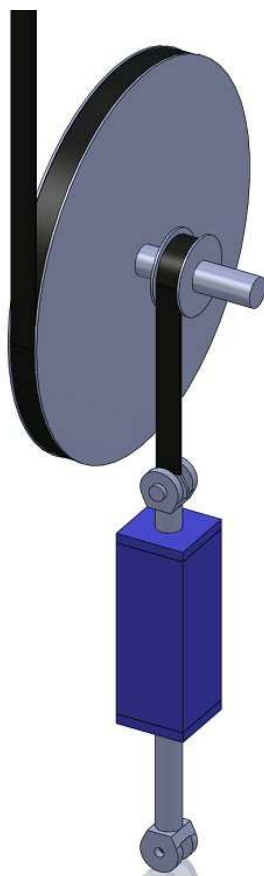
Mathcad –ohjelmiston perusteella tehty mitoitus hammaspyörien kestävyuden suhteen osoitti, että laitteesta ei saada tehtyä pienikokoista. Suurehkon käyttörajan vuoksi tarvitaan suuri ja kestävä hammaspyörä, mikä lisää sylinterin iskunpituutta. Mikäli sylinterin iskunpituutta pienennettäisiin, kasvaisi hihnapyörän halkaisija liian suureksi. Joka tapauksessa laitteesta tulisi liian suuri ja painava. Kyseiseen johtopäätökseen johtanut laskelma on esitetty liitteessä I. Hammastankomallin hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Hammastankomallin hyvät ja huonot puolet.

| Hyvät puolet  | Huonot puolet   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Halpa</li> <li>• Yksinkertainen</li> <li>• Helppo huollettava</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heikko välityssuhde</li> <li>• Rakenteesta ei voida tehdä pientä, koska hihnapyörä tai sylinterin iskunpituus kasvaa liian suureksi</li> </ul> |

#### 4.3 Kahden hihnapyörän malli

Hihnapyörälle kelattu hihna kiinnitetään painopakkakoneen levypidikkeeseen. Hihnasta vedettäessä hihnapyörä pyörittää pienempää hihnapyörää samalla akselilla. Pieni hihnapyörä kelaat hydraulikkasynteriin kiinnitettyä hihnaa rullalle. Sylinterin varteen kiinnitetty venymäliuska kertoo vetojännityksestä aiheutuvat venymäarvot. Kuvassa 6 on luonnos kokonaisratkaisusta, jossa hyödynnetään kahden erisuuruisen hihnapyörän mahdollistavaa välitystä.



Kuva 6. Kahden erisuuruisen hihnapyörän mahdollistavaa välitystä hyödyntävä voimanmittauslaite.

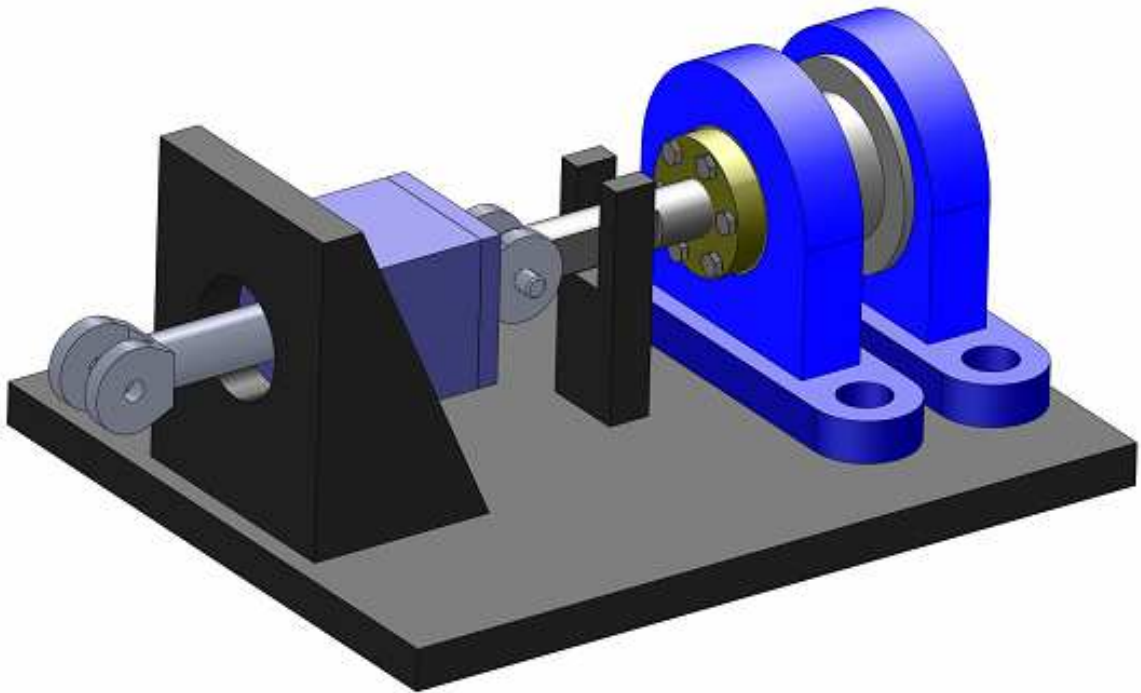
Rakenteen huomattavimpina etuina voidaan pitää yksinkertaisuutta, huollettavuutta ja alhaista hintaa. Kahden hihnapyörän rakenteella on kuitenkin heikko välityssuhde, joten ensiöhihnapyörä jää liian suureksi tai sylinterin iskunpituus kasvaa liian suureksi. Kyseiseen johtopäätökseen johtanut laskelma on esitetty liitteessä II. Kahden hihnapyörän mallin hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kahden hihnapyörän mallin hyvät ja huonot puolet.

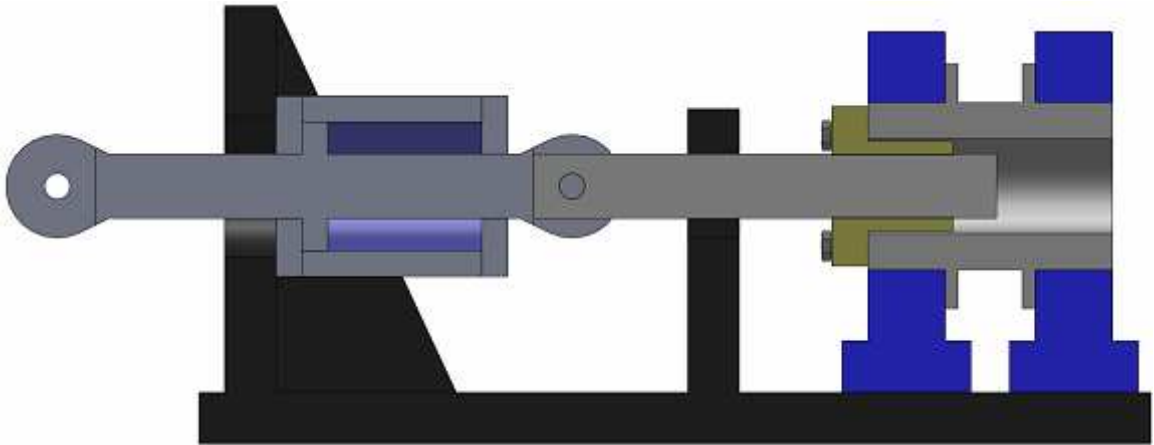
| Hyvät puolet  | Huonot puolet  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Halpa</li> <li>• Yksinkertainen</li> <li>• Helppo huollettava</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakenteelle ei saada yhtä aikaa hyvää välityssuhdetta ja pientä kokoa</li> <li>• Rullalle kiertyvä hihna aiheuttaa mittausvirhettä muuttuvan momenttivarren vuoksi</li> </ul> |

#### 4.4 Johderuuvimalli

Hihnapyörälle kelattu hihna kiinnitetään painopakkakoneen levydikkeeseen. Trapetsikierteisen johderuuviyksikön mutteri on kiinnitetty hihnapyörään. Hihnapyörän pyöriessä ruuvi liikkuu lineaarisesti painaen hydraulikkasynterinin vartta. Ruuvin pyöriminen on estetty. Hydraulikkasynterinin putki tuetaan laitteen runkoon. Synterinin varteen kiinnitetty venymäliuska kertoo puristusjännityksestä aiheutuvat venymäarvot. Kuvassa 7 on luonnos kokonaisratkaisusta, jossa hyödynnetään johderuuvin mahdollistavaa välitystä. Kuvassa 8 esitetään rakenteen poikkileikkaus toimintaperiaatteen hahmottamiseksi.



Kuva 7. Periaatteellinen malli johderuuvia hyödyntävästä voimamittauslaitteesta.



Kuva 8. Johderuuvimallin poikkileikkaus.

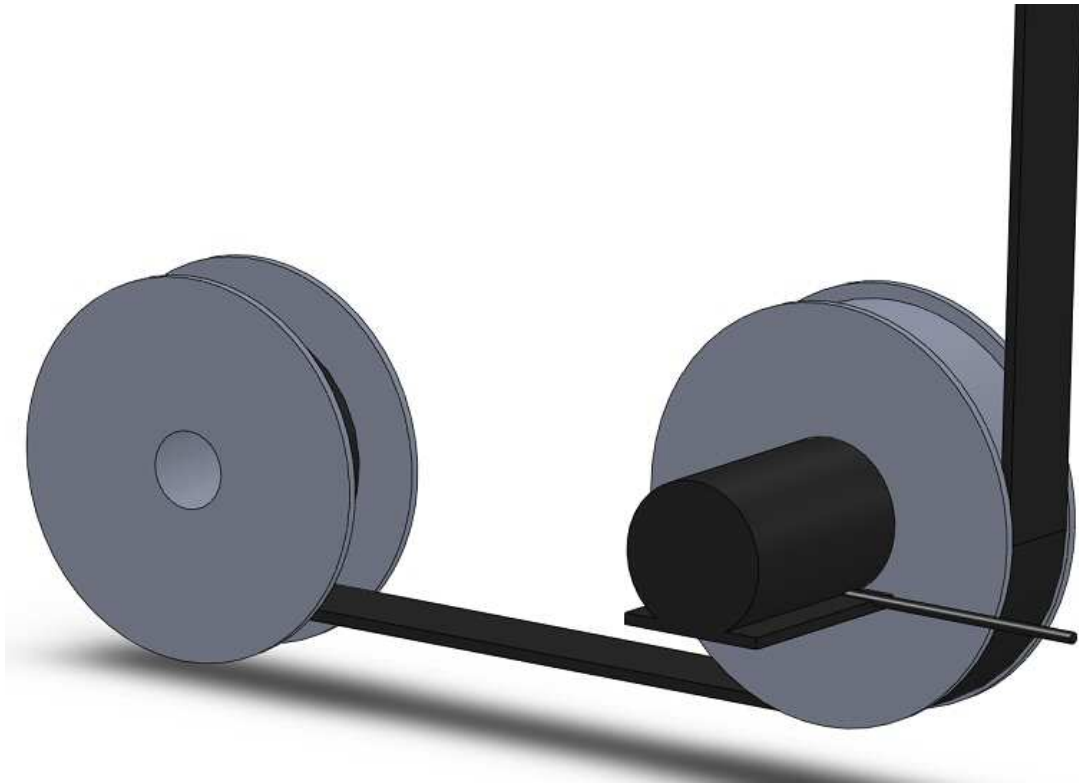
Konstruktio muuttaa tehokkaasti pyörimisliikkeen lineaariliikkeeksi. Mekanismi on suhteellisen pienikokoinen, koska sylinterin varren voi kiinnittää suoraan johderuuviin. Hyvästä välityssuhteesta johtuen johderuuviin syntyvä jännitys on moninkertainen hihnan jännitykseen verrattuna. Suuren ruuvijännityksen takia rungosta on tehtävä niin luja, että jännitys pysyy myötörajan alapuolella. Johderuuvi on pidettävä puhtaana liasta ja voideltava tarvittaessa. Johderuuvimallin hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Johderuuvimallin hyvät ja huonot puolet.

| Hyvät puolet  | Huonot puolet   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyvä välityssuhde</li> <li>• Kestävä</li> <li>• Pienikokoinen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rullalle kiertyvä hihna aiheuttaa mittausvirhettä muuttuvan momenttivarren vuoksi</li> <li>• Johderuuvi vaatii voitelua</li> </ul> |

#### 4.5 Kiihtyvyyssanturimalli

Hihnapyörälle kelattu hihna kiinnitetään painopakkakoneen levypidikkeeseen. Hihna kulkee vapaan hihnapyörän kautta, jonka kulmanopeutta ja kiihtyvyyttä seurataan optisella pulssianturilla. Ohjelmisto laskee hihnapyörän kulmakiihtyvyyksistä levypidikkeen kiihtyvyydet. Levypidikkeen kiihtyvyyksistä lasketaan voima-arvojen muutokset. Painopakan vastus valitaan käyttäjälle sopivaksi. Kuvassa 9 on luonnos kokonaisratkaisusta, jossa hyödynnetään kiihtyvyyssmittausta anturilla.



Kuva 9. Optista pulssianturia hyödyntävä voimanmittauslaite.

Kiihtyvyyssanturilla varustettu voimanmittauslaite olisi mekaanisilta ominaisuuksiltaan ylivoimainen verrattuna muihin rakennevaihtoehtoihin. Konstruktion osat olisivat käytännössä kulumattomia, koska käyttäjän voima ei aiheuta suurta rasitusta laitteeseen. Alhaisista kestävyysvaatimuksista ja rakenteen toimintaperiaatteesta johtuen kiihtyvyyssanturivaihtoehto olisi erittäin pienikokoinen ja kevyt. Kiihtyvyyssanturimallin hyvät ja huonot puolet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kiihtyvyyssanturimallin hyvät ja huonot puolet.

| Hyvät puolet  | Huonot puolet   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mekaaniset osat lähes kulumattomat</li> <li>• Lähes huoltovapaa</li> <li>• Kestävä</li> <li>• Pienikokoinen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaatii uuden ohjelmiston suunnittelun, venymäliuskaa käytettäessä voidaan käyttää valmista ohjelmaa</li> <li>• Ratkaisu on soveltumaton, mikäli halutaan tasainen liikenopeus</li> <li>• Harjoitusvastus on valittava käyttäjäkohtaisesti</li> </ul> |

#### 4.6 Kokonaisratkaisujen vertailu

Ratkaisuvaihtoehdot pisteytettiin neljän eri kriteerin perusteella ja taulukoitiin. Arvostelukriteereiksi valittiin hinta, koko, huoltotarve ja käyttö. Hinta tarkoittaa tässä prototyypin arvioitua hintaa. Koko tarkoittaa laitteen ulkomittoja ja massaa. Huoltotarve tarkoittaa käsittää huoltovälin ja huollon vaativuuden. Toiminta tarkoittaa käytön vaativuutta ja toimintavarmuutta. Pisteytys tuloksineen on taulukossa 5.

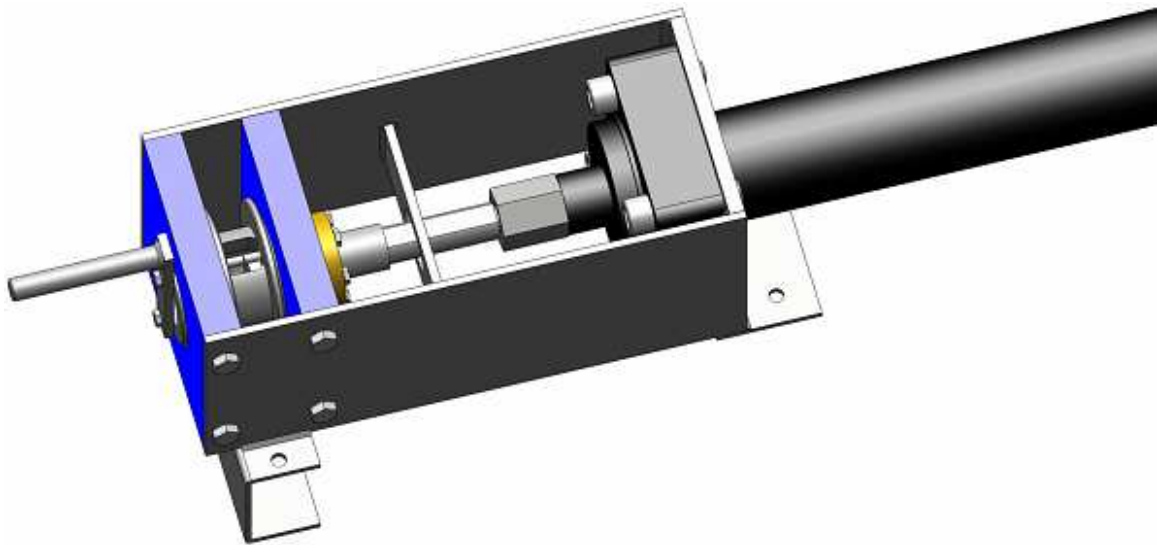
Taulukko 5. Ratkaisuvaihtoehtojen vertailutaulukko.

| <b>Kriteeri</b>             | <b>Hinta</b> | <b>Koko</b> | <b>Huoltotarve</b> | <b>Toiminta</b> | <b>Pisteet yht.</b> |
|-----------------------------|--------------|-------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| <b>Painokerroin</b>         | <b>1,5</b>   | <b>2,0</b>  | <b>1,0</b>         | <b>1,2</b>      |                     |
| Malli 1 (kierukkavaihde)    | 2,0          | 4,0         | 4,0                | 3,0             | 18,90               |
| Malli 2 (hammaspyörä)       | 2,0          | 1,0         | 4,0                | 5,0             | 15,00               |
| Malli 3 (hihnapyörät)       | 5,0          | 1,0         | 5,0                | 5,0             | 20,50               |
| Malli 4 (johderuuvi)        | 3,5          | 4,0         | 4,0                | 4,0             | 22,05               |
| Malli 5 (kiihtyvyyssanturi) | 4,0          | 5,0         | 5,0                | 3,0             | 24,60               |

Taulukon 5 mukaan parhaaksi ratkaisuvaihtoehdoksi selvisi kiihtyvyyssanturilla varustettu malli. Valitsimme kuitenkin yhdessä työnteettäjän kanssa johderuuvilla varustetun mallin jatkokehittelyyn. Valintaperusteina olivat kiinnostus tasaisella liikkeellä toimivaan voimanmittauslaitteeseen ja mahdollisuus käyttää Emering Oy -yhtiön valmiita ohjelmia venymämittaukseen.

## 5 PROTOTYYPPI

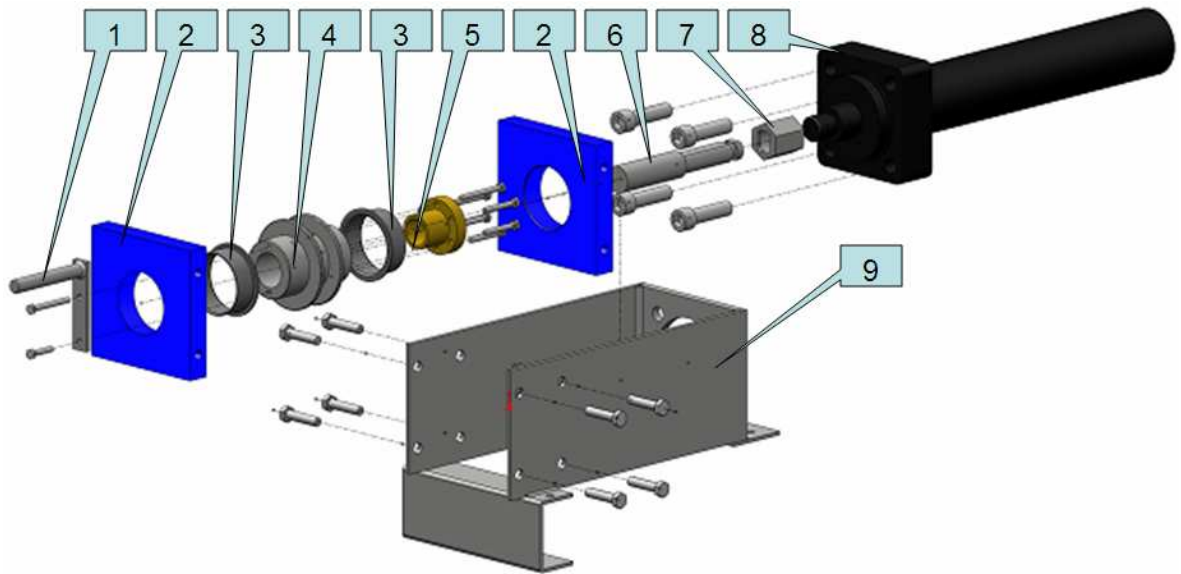
Jatkokehittelyyn valitusta ratkaisuvaihtoehdosta haluttiin valmistaa prototyyppi laitteen toiminnan varmistamiseksi ja mahdollisten ongelmien löytämiseksi. Laitteen osat mitoitettiin hyödyntämällä Mathcad 14.0 –ohjelmistoa. Osat ja materiaalit valittiin hintaa ja ominaisuuksia puntaroiden. Kuvassa 10 on prototyypin SolidWorks-ohjelmistolla luotu 3D-malli. Valmistuspiirustukset ovat esitetty liitteessä III. Kuvassa 10 on johderuuvilla toimivan ratkaisuvaihtoehdon uudistettu malli.



Kuva 10. Johderuuvilla toimivan voimanlaitteen prototyypin malli.

### 5.1 Osat ja materiaalinvalinta

Prototyyppiä luotaessa on käytettävä tarkempaa harkintaa osia ja materiaaleja valittaessa. Apuna osia ja materiaaleja valittaessa mainittakoon Lappeenrannan laakerikeskus Oy, joka tilasi tietyt osat suunnittelun jälkeen. Konstruktion hahmottamiseksi kuvassa 11 on prototyypin räjäytyskuva numeroiduin osin.



Kuva 11. Prototyypin räjäytyskuva. Laite koostuu kammesta (1), laakeripesistä (2), liukulaakereista (3), hihnapyörästä (4), johdemutterista (5), johderuuvista (6), kiinnityskappaleesta (7), hydraulikkasyylinteristä (8) ja rungosta (9).

Laakereiksi valittiin muoviset laipalliset liukulaakerit. Liukulaakereiden etu muihin laakereihin verrattuna on vähäinen tilan- ja huollontarve, koska ne eivät tarvitse suurta laakeripesää ja ovat itsevoitelevia. Lisäksi liukulaakerit ovat suhteellisen edullisia esim. kuulalaakereihin verrattuna. Laakeripesät valmistetaan teräksestä S355.

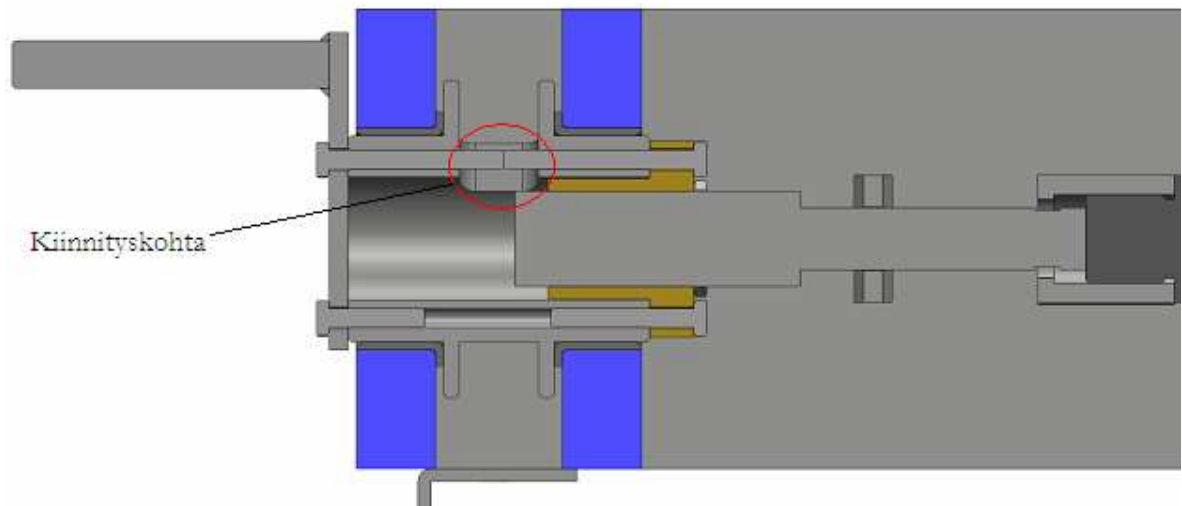
Mutteriksi valittiin trapetsikierteinen pronssista valmistettu laipallinen malli. Laipallinen mutteri on suhteellisen helppo kiinnittää hihnapyörään, eikä vaadi koneistusta. Ruuviksi valittiin teräksestä S355 valmistettu trapetsikierretanko. Materiaalipari teräs-pronssi edesauttaa laitteen huoltoa vähäisen voiteluntarpeen vuoksi. Trapetsikierretanko koneistetaan sopimaan hydraulikkasyylinterin varteen yhdessä kiinnityskappaleen kanssa.

Hihnapyörä koneistetaan materiaalista S355. Laakeripinnat hiotaan sileäksi ja hihnapyörän pätyyn porataan johdemutteria vastaavat kiinnitysreiät. Hihnapyörään kiinnitetään kampi, jolla laite voidaan helposti palauttaa alkiasentoon.

Hydraulikkasyylinteri saatiin edullisesti TehoHydro Oy:n varastosta. Sylinteri on tarkoitukseen nähden tarpeettoman pitkä ja painava, mutta kelpaa prototyyppiin. Erona alustavaan malliin mainittakoon, että prototyypin sylinterissä ei ole läpimenevää vartta, vaan sylinterin kanssa käytetään öljytankkia, jota voidaan pitää laitteesta erillään.

Normaalilla kaksitoimisella sylinterillä laitteesta saadaan lyhyempi kuin läpimenevällä varrella varustetulla sylinterillä. Koska liikkeen suoritus aika halutaan pitää vakiona, sylinterissä käytetään painekompensoitua virtausventtiiliä.

Runko valmistetaan hitsaamalla teräksestä S355. Laakeripesät ja hydraulikkasyylinteri kiinnitetään runkoon ruuveilla. Hihnaksi valittiin pikalukkovyö, joka kiinnitetään hihnapyörän läpi meneviin kiinnitysruuveihin. Kyseiset kiinnitysruuvit näkyvät kuvan 12 poikkileikkauksessa. Pikalukkovyön toinen pää kierretään painopakan vaijerin ympäri ja kiinnitetään pultilla painolevyn reikään.



Kuva 12. Laitteen poikkileikkaus pikalukkovyön kiinnityksen havainnollistamiseksi.

## 5.2 Rakenteen osien mitoitus ja jännitykset

Kriittisten mekaanisten osien mitoitus tehtiin hyödyntämällä Mathcad- ohjelmistoa. Laskenta käynnistyi syöttämällä alkuarvoksi maksimaalinen sallittu käyttökuorma 100 kg eli noin 981 N. Laskentaprosessi antaa tietoa rakenteessa vallitsevista voimista, joiden perusteella osien mittoja optimoitiin laitteen kokoa ja painoa huomioonottavaa kompromissia etsiessä.

Tarkastellaan laitteessa vallitsevia voimia, kun sitä käytetään  $m = 100 \text{ kg}$  kuormalla. Putoamiskiihtyvyyden ollessa  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  hihnassa vaikuttavaksi voimaksi saadaan

$$F_v = mg = 100 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N} . \quad (2)$$

Hihnapyörään muodostuvan suurimman vääntövoiman laskemiseksi tarvitaan suurin momenttivarsi, joka on voimassa hihnapyörän ollessa täysi. Kun hihnapyörän halkaisija tyhjänä on  $d_i = 65 \text{ mm}$ , hinnan paksuus on  $s = 3 \text{ mm}$  ja hihnapyörällä on  $n = 5$  kierrosta hihnaa, suurimmaksi halkaisijaksi hihnapyörällä saadaan

$$d_{\max} = d_i + 2sn = 65 \text{ mm} + 2 * 3 \text{ mm} * 5 = 95 \text{ mm} . \quad (3)$$

Hihnapyörälle mahtuvan hinnanpituuden hahmottamiseksi käytetään sarjakehitelmää halkaisijoiden summan laskemiseksi. Halkaisijoiden summaksi saadaan

$$S = d_i n + n \frac{2s(n-1)}{2} = 65 \text{ mm} * 5 + 5 \frac{2 * 3 \text{ mm} * (5-1)}{2} = 385 \text{ mm} . \quad (4)$$

Kertomalla halkaisijoiden summa vakiolla  $\pi$  hihnapyörälle mahtuvan hinnan pituudeksi saadaan

$$L = S\pi = 385 \text{ mm} * \pi = 1209,513 \text{ mm} . \quad (5)$$

Tuloksesta nähdään, että hihnapyörälle mahtuu vaaditut 1200 mm hihnaa. Vääntövoimaksi saadaan

$$T = 0,5d_{\max} F_v = 0,5 * 95 \text{ mm} * 981 \text{ N} = 46597,5 \text{ Nmm} . \quad (6)$$

Ruuvien halkaisijan ollessa  $d_r = 30 \text{ mm}$  ruuvien kehävoimaksi saadaan

$$F_{tG} = \frac{T}{0,5d_r} = \frac{46597,5 \text{ Nmm}}{0,5 * 30 \text{ mm}} = 3106,5 \text{ N} . \quad (7)$$

Kierteen nousun ollessa  $p = 6 \text{ mm}$  ja ruuvien kehän pituuden ollessa  $k = d_r \pi$  ruuvien kierteen nousukulmaksi saadaan

$$\gamma = \arctan\left(\frac{p}{k}\right) = \arctan\left(\frac{p}{d_r \pi}\right) = \arctan\left(\frac{6 \text{ mm} / r}{30 \text{ mm} * \pi}\right) = 0,064 \text{ rad} \quad (8)$$

(Karhula 2006, s. Ruu-4).

Ruuvien ja mutterin väliseksi kitkakertoimeksi valitaan  $\mu = 0,10$  (Roymech 2009). Trapetsikierteisen ruuvien harjakulma on 30 astetta. Kyseinen kulma radiaaneissa on

$$\alpha = \frac{30 \text{ deg} * \pi}{180 \text{ deg}} = 0,524 \text{ rad} . \quad (9)$$

Trapetsikierteisen ruuvien normaalivoimaksi (10) saadaan

$$F_{aGtra} = \frac{F_{tG}}{\left( \tan\left(\gamma + \arctan\left(\frac{\mu_G}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)\right) \right)} = \frac{3106,5 \text{ N}}{\left( \tan\left(0,064 + \arctan\left(\frac{0,10}{\cos\left(\frac{0,524}{2}\right)}\right)\right) \right)} = 18416,88 \text{ N}$$

(Karhula 2006, s. Ruu-5).

TehoHydro Oy:ltä saatu hydraulikkasyylinteri on kokoa 63/40x300. Hydraulikkasyylinterin männän halkaisija on siis  $D_s = 63 \text{ mm}$  ja varren halkaisija  $d_s = 40 \text{ mm}$ . Sylinteriä sisään ajettaessa männän pinta-alaksi saadaan

$$A = \frac{\pi D_s^2}{4} = \frac{\pi * 63^2 \text{ mm}^2}{4} = 3117,245 \text{ mm}^2 . \quad (11)$$

Hydraulikkasyylinterin käyttöpaineeksi saadaan

$$p_{sis.Mpa} = \frac{F_{aGtra}}{A} = \frac{18416,88 \text{ N}}{3117,245 \text{ mm}^2} = 9,898 \text{ MPa} . \quad (12)$$

Käyttöpaine baareina on

$$p_{sis.Bar} = \frac{1000000 p_{sis.MPa}}{101325} = \frac{1000000 * 9,459 MPa}{101325} = 93,688 bar . \quad (13)$$

Käyttöpaineen tulisi olla alle 250 baaria, jotta kalliita sylinteritiivisteitä ei tarvitsisi käyttää (Vainio 2009). Kaavan 13 tulos osoittaa, että paine pysyy riittävän alhaisena. Venttiilien valinnan helpottamiseksi lasketaan öljyn virtausnopeus. Virtausnopeuden laskemiseksi tarvitaan sylinteristä poistuvan öljyn tilavuus ja iskuun käytetty aika. Hydraulikkasyylinterin iskunpituus on

$$L_s = pn = 6 mm / r * 5 = 30 mm . \quad (14)$$

Öljyn tilavuudeksi saadaan

$$V = AL_s = 3117,245 mm^2 * 30 mm = 93517,359 mm^3 . \quad (15)$$

Liikkeen suoritusajaksi tavoitellaan neljää sekuntia. Suoritus aika minuutteina on  $t = 4/60 min$ . Virtausnopeudeksi hydraulikkasyylinteriä sisään ajettaessa saadaan

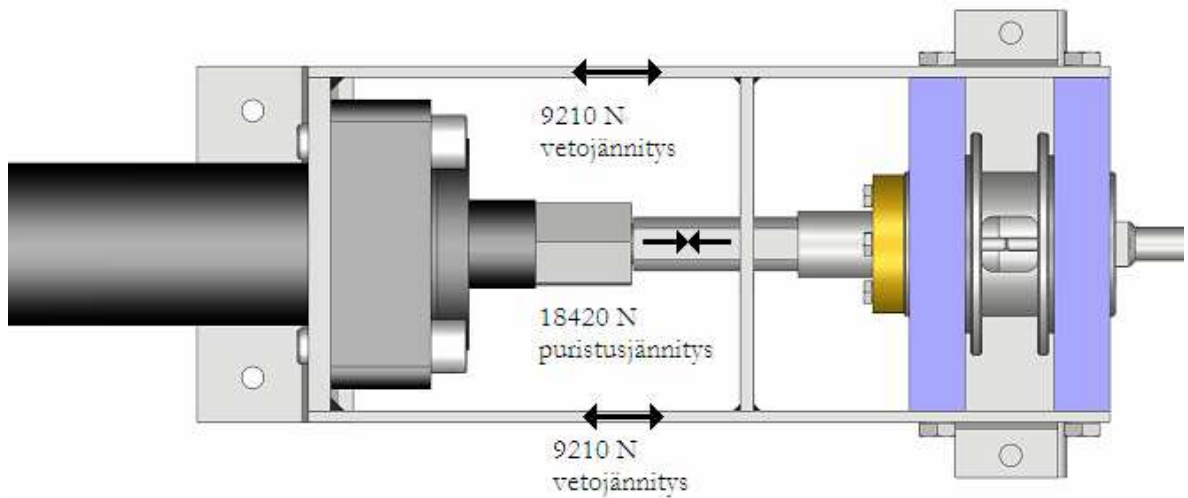
$$Q = \frac{V}{1000000t} = \frac{93517,359 dm^3}{1000000 * \frac{4}{60} min} = 1,40 l/min \quad (16)$$

### 5.3 Lujuuslaskelmat

Laitteen turvallisuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi on tarkasteltava laitteen kriittisimpiä kohtia lujuuslaskennan keinoin. Vaadittavat poikkileikkausmitat on alun perin haettu kokeilemalla eri arvoja Mathcad –ohjelmalla. Kyseinen menetelmä on huomattavasti nopeampi, kuin tehdä optimointialgoritmi prototyyppeasteiselle laitteelle. Mathcad –ohjelman laskelmat osoittivat muuttujien olevan sidoksissa toisiinsa niin monimutkaisesti, että täysin optimaalista ratkaisua ei voida löytää järkevässä ajassa kokeilemalla sopivia muuttujia. Tarkkuus kuitenkin riittää prototyypitason laitteelle.

### 5.3.1 Laakeripesän kiinnitysruuvien leikkauslujuus

Tarkastellaan laitteen kestävyyttä laakeripesän kiinnitysruuvien suhteen staattisessa tilanteessa. Johderuuvien aiheuttama puristusvoima aiheuttaa vetojännitystä runkoon ja leikkausjännitystä kiinnitysruuveihin. Kuorma kohdistuu kokonaan kuvan 13 oikeanpuoleisen laakeripesän kiinnitysruuveihin, koska vasemmanpuoleinen laakeripesä ei pysty vastustamaan kuormaa hihnapyörän laipan sijaitessa laakeripesän oikealla puolella. Kuorman oletetaan jakautuvan tasan neljän 10-millisen 8.8-luokan ruuvien kesken.



Kuva 13. Voimanmittauslaitteen jännitykset kiinnitysruuvien kestävyyttä tarkasteltaessa.

Leikkausjännitys on

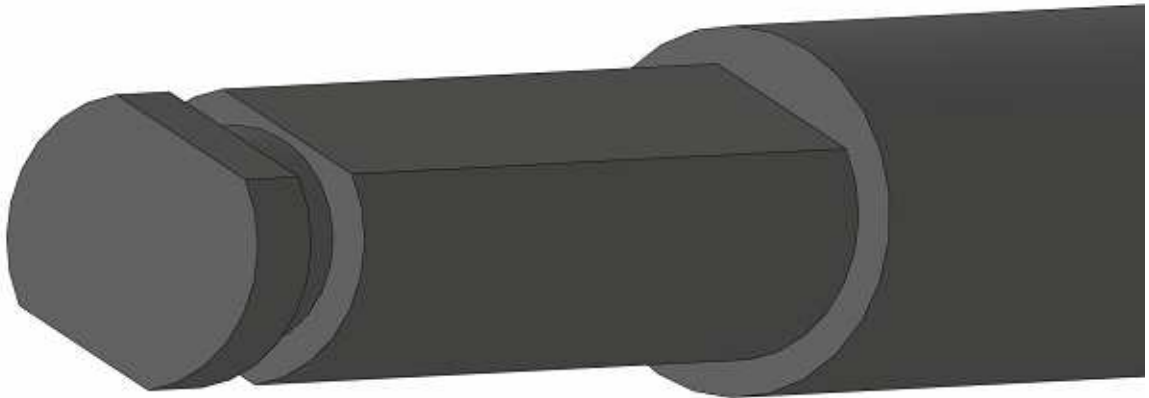
$$\tau_{kr} = \frac{F_{runko}}{2 * 0,6 * A_{kr}} = \frac{9210 \text{ N}}{2 * 0,6 * \left( \frac{\pi * 10^2}{4} \right)} = 97,721 \text{ MPa}, \quad (17)$$

missä  $F_{runko}$  on rungon vetojännitys ja  $A_{kr}$  on ruuvien poikkipinta-ala. Ruuvien leikkaustapauksessa pinta-alasta otetaan huomioon vain 60 % normaalijännitystapaukseen verrattuna (Mechanic Support 2009). Kaavassa 17 jännitys jakautuu kahden ruuvien kesken. 8.8-luokan ruuvien murtojännitysrajan ollessa 800 MPa todetaan kaavan 17 tulos turvalliseksi.

### 5.3.2 Johderuuvien puristuslujuus

Tarkastellaan johderuuvissa esiintyvää puristusjännitystä pienimmän poikkileikkauspinta-alan kohdalla. Johderuuvien puristusjännityksen on pysyttävä myötörajan alapuolella, jotta

venymämittaus toimisi oikein. Johderuuvien ohuin poikkileikkaus sijaitsee hydraulikkasynterinin kiinnityskappaleelle tarkoitetun uran kohdalla. Kuvasta 14 voidaan nähdä johderuuvissa oleva ura. Uran kohdalla sijaitseva poikkileikkaus on ympyrä, jonka halkaisija on 18 mm.



Kuva 14. Johderuuvien pienin poikkileikkaus sijaitsee uran kohdalla. Kierrettä ei ole mallinnettu yksinkertaistuksen vuoksi.

Puristusjännitys uran kohdalla on

$$\sigma_{ura} = \frac{F_{ura}}{A_{ura}} = \frac{18420 \text{ N}}{\left(\frac{\pi * 18^2}{4}\right)} = 72,386 \text{ MPa}, \quad (12)$$

jossa  $F_{ura}$  on uran kohdalla vaikuttava puristusjännitys ja  $A_{ura}$  on uran poikkileikkauspinta-ala. Teräksisen S355-materiaalista valmistetun johderuuvien myötörajan ollessa 355 MPa todetaan kaavan 12 tulos turvalliseksi.

### 5.3.3 Rungon vetolujuus

Tarkastellaan kuvan 13 mukaista tilannetta, jossa rungon suorakaiteisiin teräslevyihin kohdistuu vetojännitys. Oletetaan vetojännityksen jakautuneen tasan näiden kahden teräslevyn välille. Molemmilla teräslevyillä on sama poikkileikkauspinta-ala. Levyjen paksuudet ovat 6 mm ja leveydet 145 mm.

Levyihin muodostuva vetojännitys on

$$\sigma_{levy} = \frac{F_{runko}}{A_{levy}} = \frac{9210 \text{ N}}{6 \text{ mm} * 145 \text{ mm}} = 10,586 \text{ MPa}, \quad (13)$$

jossa  $F_{runko}$  on levyissä vaikuttava vetojännitys ja  $A_{levy}$  on levyjen poikkileikkauspinta-ala. S355-materiaalista valmistetun teräslevyn myötörajan ollessa 355 MPa todetaan kaavan 13 tulos turvalliseksi.

#### 5.4 Prototyypin kustannukset

Prototyypin kustannukset koostuvat tilatuista osista ja koneistuksesta. Kuvassa 15 on ote Lappeenrannan laakerikeskus Oy:n tekemästä osatilauksesta.

| TUOTENIMIKE/TUOTEKOODI                                      | YKS | MÄÄRÄ | A-HINTA | VEROTON       | VEROLLINEN ALV |
|---|-----|-------|---------|---------------|----------------|
| Trapetsimutteri pronssi,laipal<br>K1456 TR-MUTTERI 30X6 EFM | KPL | 1.00  | 120.000 | 120.00        | 146.40 22%     |
| Trapetsikierretanko<br>K443 TR-AKSELI 30X6 OK               | M   | 0.20  | 60.000  | 12.00         | 14.64 22%      |
| Liukulaakeri IGUS<br>A9776 MFM-6570-50 IGLIDUR              | KPL | 2.00  | 12.000  | 24.00         | 29.28 22%      |
| Pikalukkovyö 5 m<br>H265 KUORMAVYÖ PL5                      | KPL | 1.00  | 4.000   | 4.00          | 4.88 22%       |
| <b>YHTEENSÄ EUR</b>   |     |       |         | <b>160.00</b> | <b>195.20</b>  |
| <b>ALV 22%</b>  |     |       |         | <b>35.20</b>  |                |
| <b>VEROLLINEN YHTEENSÄ EUR</b>                              |     |       |         | <b>195.20</b> |                |

Noudatamme TKL 04 yleisiä myyntiehtoja. \_\_\_\_\_

Kuva 15. Ote Lappeenrannan laakerikeskus Oy:n tekemästä tilauksesta. (Lappeenrannan laakerikeskus 2009.)

TehoHydro Oy:ltä saatu hydrauliiikkasyylinteri maksoi 50,00 euroa. Lappeenrannan konemetalli Oy hoiti tarvittavat koneistukset hintaan 793,00 euroa ilman kokoonpanoa. Prototyypin hinnaksi tuli siis 1038,20 euroa.

## 5.5 Prototyypin testaus

Prototyyppiä valmistaessa havaittiin, että on helpompaa käyttää mittaamiseen tarkkuuspainemittaria kuin venymäliuskaa. Tarkkuuspainemittarilla päästään lähtemään arvosta 0, mutta venymäliuskalla vaadittaisiin erillinen konstruktio riittävän jännityksen saamiseksi pienellä kuormalla. Laitteen rungosta mittaamalla ei saisi ollenkaan tuloksia liian alhaisten jännitysten vuoksi. Jos tehtäisiin elementti, jolla voitaisiin lähteä arvosta 0, suurimmilla jännityksillä voisi esiintyä plastista muodonmuutosta. Kyseisiä ongelmia ei esiinny tarkkuuspainemittaria käytettäessä. Tarkkuuspainemittarin absoluuttinen tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin venymäliuskassa, mutta koska tarkoitus on mitata muutoksia edellisiin testeihin, pieni virhe ei haittaa, jos se kulkee koko ajan mukana.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan prototyypin kokoonpano oli tarkoitus jättää konepajan tehtäväksi, mutta lopulta kokoonpano päätettiin tehdä itse, jolloin prototyypin kokonaishinta putosi hieman. Tämä vaikutti laitteen ulkomuotoon; toisin kuin prototyypin piirustuksissa, hydraulikkasyylinterin laippa on kiinnitetty laitteen rungon ulkopuolelle. Koska runko hitsattiin valmiiksi ennen kuin hydraulikkasyylinteri oli kiinnitetty levyyn, hydraulikkasyylinterin laipan sijoittaminen laitteen rungon sisään oli mahdotonta. Tämä pieni ero piirustusten ja toteutuksen välillä ei vaikuttanut oleellisesti prototyypin toimintaan. Prototyypin lopullinen kokoonpano ilmenee kuvasta 16.



Kuva 16. Voimamittauslaitteen prototyypin lopullinen kokoonpano. (Emering 2009.)

### 5.5.1 Lähtöasetelmat

Laitetta testattiin penkkipunnerruskoneella ja jalkaprässillä. Penkkipunnerruskoneessa käyttäjä istuu tuoliin ja ottaa kahdesta kahvasta kiinni. Käyttäjä punnertaa kahvat loppuasentoon painopakan vastustaessa liikettä. Kuvassa 17 on prototyypin testissä käytetty penkkipunnerruskone.



Kuva 17. Prototyypin testauksessa käytetty penkkipunnerruskone Platinum-kuntosalilla. (Emering 2009.)

Jalkaprässissä käyttäjä istuu tuoliin ja asettaa jalkansa runkoon kiinnitettyä levyä vasten. Laitteen toiminnasta riippuen joko laitteen levy tai istuin liikkuu suorituksen aikana. Suoritusta vastustaa painopakka tai levypainot. Testissä käytetyssä jalkaprässissä istuin on laitteen liikkuva osa. Kuvassa 18 on prototyypin testissä käytetty jalkaprässi.



Kuva 18. Prototyypin testauksessa käytetty jalkaprässi Platinum-kuntosalilla. (Emering 2009.)

Prototyypin testaajana toimi keskimääräistä kuntosaliharrastajaa vahvempi mies. Penkkipunnerruslaitteessa tulokseksi saatiin lähes 50 baaria ja jalkaprässissä lähes 115 baaria. Testi tehtiin kahdesti kummallakin kuntosalilaitteella. Testitulokset ovat ilmaistu aika-paine-käyrinä ja ne löytyvät liitteestä IV.

#### 5.5.2 Havainnot ja ongelmat

Sylinterissä käytetty painekompensoitu virtausventtiili osoittautui laitteen toiminnan kannalta heikoksi ratkaisuksi. Liikenopeus suorituksen alussa kasvaa liian suureksi kompensoation takia, joten voimakäyrästä ei tule odotetun mukainen. Tämä johtuu siitä, että virtausaukko on alussa suuri ennen kuin liikenopeus nousee ja aukko kuristuu pienemmäksi. Liike kuitenkin ehtii puoliväliin tai yli, ennen kuin kompensoatio ehtii vaikuttamaan. Eräs ratkaisu ongelmaan olisi painekompensoimattoman virtausventtiilin

käyttäminen, jolloin työaika saa muuttua käytetyn kuorman mukaan. Suurempi voima saisi öljyn kulkemaan nopeammin virtausaukon ja samalla paine nousisi, joka mitataan ennen virtausventtiiliä.

Prototyypin pikalukkovyö jää löysäksi liikkeen loputtua. Vyö ei mene aina kunnolla hihnapyörälle, kun laitetta palautetaan alkuasentoon. Ongelman ratkaisemiseksi on keksittävä mekanismi, joka pitää vyön kireällä sulavan alkuasentoon palautuksen varmistamiseksi.

Alkuvaiheessa kitkat olivat liian suuret laitetta käytettäessä. Tämä ei juuri haitannut liikesuorituksessa, mutta takaisin kelattaessa suuri kitka aiheutti ongelmia. Voimiltaan keskimääräinen nainen ei olisi pystynyt kelaamaan nauhaa takaisin kelalle. Ongelma kuitenkin ratkesi lähes kokonaan löysäämällä laakeripesien kiinnitysrivejä. Kitkaongelman vuoksi laitteen kokoamiseen on syytä kiinnittää parempaa huomiota jatkossa tai tehdä se kokonaan eri tavalla. Myös vaihtoehtoisia ratkaisuja runkorakenteen suhteen voisi harkita tulevaisuudessa.

### 5.5.3 Tulosten tulkinta

Koska voimamittauslaitteessa käytetään tarkkuuspainemittaria, testattavan henkilön voima voidaan ilmaista ensi alkuun pelkästään painearvoina. Tulosten ymmärrettävyyden parantamiseksi painearvot tulisi muuttaa esimerkiksi kiloiksi laitteen jatkokehittelyn yhteydessä. Tarkkaa kilomäärää oleellisempi asia on mahdollisuus seurata testihenkilön kehitystä lihasvoimatason ja liikeradan suhteen.

Käyrien muodoista voidaan nähdä, että aikajanan alussa paine on alhainen. Tällöin liikesuoritus aloitetaan eikä voimantuotto ole maksimaalinen. Useimmissa tapauksissa suurin voima saadaan liikkeen lopussa, kuten käyristä voidaan nähdä. Poikkeustapauksissa maksimaalinen voima voidaan saavuttaa myös muualla kuin liikkeen lopussa. Käyrä laskee hyvin nopeasti paineen saavutettua maksimiarvonsa, koska liikerata on lopussa. Mikäli käyrässä havaitaan notkahduksia, ne voivat johtua senhetkisessä liikeradan kohdassa käytettyjen lihasten heikkoudesta tai muusta vammasta.

#### 5.5.4 Kehitysideat

Koska sylinteriin muodostuneet paineet olivat odotettua pienemmät, voimamittauslaitteessa voitaisiin ehkä käyttää läpimenevällä varrella varustettua sylinteriä normaalin kaksitoimisen sylinterin sijasta. Sylinteriputkeen voisi kiinnittää hammastangon, jonka avulla sylinteriputkea liikuteltaisiin sylinterin varren pysyessä paikallaan. Tämä idea esitettiin jo luonnosvaiheessa mahdollisena kokonaisratkaisuna, mutta se karsiutui kokonaisratkaisuiden vertailussa. Tämän ratkaisun toteuttaminen vaatii luotettavaa tietoa hammaspyörien kestävyyksistä, sillä luonnosteluvaiheen laskelmissa käytetyt kestävyysarvot ovat teollisuuskäyttöön tarkoitettuja ja sikäli tarpeettoman paljon turvallisella puolella. Läpimenevällä varrella varustettua sylinteriä käytettäessä ei tarvitsisi käyttää öljysäiliötä. Täten laitteesta voisi saada pienemmän ja kevyemmän.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli luoda laite, joka mittaa kuntosaliharrastajan aiheuttamaa voimaa kuntosalilaitteeseen ajan funktiona. Työ eteni ideoinnista kokonaisratkaisujen vertailuun ja prototyypin suunnitteluun järjestelmällisen koneensuunnittelun periaatteita noudattaen. Suunniteltu laite valmistettiin konepajassa valmistuspiirustusten mukaisesti ja testattiin asianmukaisissa olosuhteissa. Testitulosten perusteella voidaan todeta, että valitusta kokonaisratkaisusta valmistettu prototyyppi täyttää sille asetetut vaatimukset. Laitteella pystyttiin mittaamaan kuntosaliharrastajan tuottamaa voimaa ajan funktiona laitteen ollessa helposti liikuteltavissa ilman ulkoisen virtalähteen tarvetta.

Testausvaiheessa ilmeni ongelmia, jotka tulisi ratkaista laitteen jatkokehittelyn mahdollistamiseksi. Lisäksi laitteen tämänhetkinen hinta on liian korkea realististen markkinoiden mahdollistamiseksi. Prototyyppi jättää kuitenkin reilusti varaa hinnanpuodotukselle, sillä mekanismia kehittämällä, runkoa optimoimalla ja sarjatuotantoa hyödyntämällä kehitysvara on kohtuullisesti. Työssä tehdyt laskelmat osoittautuivat lopulta vain suuntaa-antaviksi, sillä sylinterin paineet osoittautuivat huomattavasti pienemmiksi kuin laskelmat osoittivat. Epätarkat kitka-arvot voivat olla suurin syy laskelmien epätarkkuuteen. Laitetta pidemmälle kehitettäessä olisi syytä panostaa rungon painon optimoimiseen lujuusvaatimuksia seuraten. Tämä voi johtaa haastavaan optimointialgoritmin käyttöön, jota ei koettu tarpeelliseksi prototyyppiä suunniteltaessa.

Suunniteltu prototyyppi ei sisällä universaalia kiinnitysratkaisua, joka on välttämätön laajan markkina-alueen saavuttamiseksi. Mikäli laitteen mekaaninen toteutus osoittautuu kilpailukykyiseksi jatkokehittelyn seurauksena, olisi syytä syventyä perusteellisesti laitteen kiinnitysratkaisun kehittelyyn.

## LÄHDELUETTELO

Emering Oy 2009. [kotisivut] Viitattu 13.06.2009. Saatavissa: <http://www.emering.fi/>

Emering Oy 2009. Kirjeenvaihto Matti Taipaleen kanssa.

HUR- Labs 2009 [PDF- tiedosto]. Viitattu 13.06.2009. Saatavissa:[http://hurlabs.pointcms.com/data/File/PDF/HUR\\_Labs\\_PerformanceRecorder\\_FIN\\_L.pdf](http://hurlabs.pointcms.com/data/File/PDF/HUR_Labs_PerformanceRecorder_FIN_L.pdf)

HUR- Labs 2009 [PDF- tiedosto]. Viitattu 13.06.2009. Saatavissa: [http://hurlabs.pointcms.com/data/File/PDF/RL1/HUR\\_Labs\\_RL1\\_FIN\\_L.pdf](http://hurlabs.pointcms.com/data/File/PDF/RL1/HUR_Labs_RL1_FIN_L.pdf)

HUR Labs 2009 [kotisivut]. Viitattu 27.07.2009. Saatavissa: <http://www.hurlabs.com/index.php?id=114>

HUR Labs 2009 [kotisivut]. Viitattu 27.07.2009. Saatavissa: <http://www.hurlabs.com/index.php?id=115>

Karhula, J. Koneenosien suunnittelun perusteita. LTY 2006. 225 s.

Lappeenrannan laakerikeskus Oy 2009. Kirjeenvaihto Pertti Soljasalon kanssa.

Mechanic Support 2009 [kotisivut]. Viitattu 09.09.2009. Saatavissa: <http://www.mechanicsupport.com/articleBoltTensileStrength.html>

Mekanex Oy 2009 [kotisivut]. Viitattu 10.3.2009. Saatavissa: <http://www.mekanex.se/pdf/fi/lhp9912.pdf>

Pahl, G. ja Beitz, W.1990 Koneensuunnitteluoppi. 608 s. 2. painos Porvoo. WSOY:n graafiset laitokset. ISBN 951-817-468-7

Roymech 2009 [kotisivut]. Viitattu 15.6.2009. Saatavissa: [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm)

Turun yliopistollinen keskussairaala (TYKS) 2009 [kotisivut]. Viitattu 27.07.2009.  
Saatavissa: <http://www.tyks.fi/fi/dokumentit/3770/TO-MI-kansio-1-2004-versio-luku6.pdf>

Ugural, A. ja Fenster, S. Advanced Strength And Applied Elasticity. 4. painos.  
Yhdysvallat. Prentice Hall, 2003. 544 s. ISBN 0-13-047392-8

Vainio, Kai 2009. Yrittäjä. Tehohydro Oy. Lappeenranta. Haastattelu  
8.4.2009.

Valkonen, Tapani 2009. Kuntosaliyrittäjä. Kuntokeskus Platinum. Lappeenranta.  
Haastattelu 6.3.2009

## HAMMASTANGOLLA TOIMIVAN RATKAISUMALLIN LASKENTAESIMERKKI

Maksimaalisella kuormalla  $m = 100 \text{ kg}$  ja putoamiskiihtyvyyden ollessa  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  hihnassa vaikuttavaksi voimaksi saadaan

$$F_v = mg = 100 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N} . \quad (1)$$

Hihnapyörään muodostuvan suurimman vääntövoiman laskemiseksi tarvitaan suurin momenttivarsi, joka on voimassa hihnapyörän ollessa täysi. Kun hihnapyörän halkaisija tyhjänä on  $d_i = 65 \text{ mm}$ , hihnan paksuus on  $s = 3 \text{ mm}$  ja hihnapyörällä on  $n = 5$  kierrosta hihnaa, suurimmaksi halkaisijaksi hihnapyörällä saadaan

$$d_{\max} = d_i + 2sn = 65 \text{ mm} + 2 * 3 \text{ mm} * 5 = 95 \text{ mm} . \quad (2)$$

Hihnapyörälle mahtuvan hihnanpituuden hahmottamiseksi käytetään sarjakehitelmää halkaisijoiden summan laskemiseksi. Halkaisijoiden summaksi saadaan

$$S = d_i n + n \frac{2s(n-1)}{2} = 65 \text{ mm} * 5 + 5 \frac{2 * 3 \text{ mm} * (5-1)}{2} = 385 \text{ mm} . \quad (3)$$

Kertomalla halkaisijoiden summa vakiolla  $\pi$  hihnapyörälle mahtuvan hihnan pituudeksi saadaan

$$L = S\pi = 385 \text{ mm} * \pi = 1209,513 \text{ mm} . \quad (4)$$

Tuloksesta nähdään, että hihnapyörälle mahtuu vaaditut 1200 mm hihnaa. Vääntövoimaksi saadaan

$$T = 0,5 d_{\max} F_v = 0,5 * 95 \text{ mm} * 981 \text{ N} = 46597,5 \text{ Nmm} . \quad (5)$$

Valittu lieriöhammaspyörä 60012 kestää 61000 Nmm momentin (Mekanex 2009). Kaavan (5) tulos todetaan täten turvalliseksi.

Moduulin ollessa  $m_I = 6$  ja hammasluvun ollessa  $z_I = 12$  jakohalkaisijaksi saadaan

$$D_{01} = m_I z_I = 6 * 12 = 72 \text{ mm} . \quad (6)$$

Hammastangon normaali jännitykseksi saadaan

$$F_a = \frac{2T}{D_{01}} = \frac{2 * 46597,5 \text{ Nmm}}{72 \text{ mm}} = 1294,4 \text{ N} . \quad (7)$$

Tarvittavaksi hydraulikkasyylinterin iskunpituudeksi saadaan

$$L_s = D_{01} \pi n = 72 \text{ mm} * \pi * 5 = 1131,0 \text{ N} . \quad (8)$$

Laskelman tulokseksi todettakoon, että ison hihnapyörän halkaisija tai tarvittava hydraulikkasyylinterin iskunpituus kasvaa liian suureksi. Mikäli hammaspyörät kestäisivät suurempia momenteja, voitaisiin käyttää pienempiä hammaspyöriä, jolloin hydraulikkasyylinterin iskunpituus vähenisi.

## KAHDEN HIHNAPYÖRÄN RATKAISUMALLIN LASKENTAESIMERKKI

Maksimaalisella kuormalla  $m = 100 \text{ kg}$  ja putoamiskiihtyvyyden ollessa  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  hihnassa vaikuttavaksi voimaksi saadaan

$$F_v = mg = 100 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N} . \quad (1)$$

Isoon hihnapyörään muodostuvan suurimman vääntövoiman laskemiseksi tarvitaan suurin momenttivarsi, joka on voimassa hihnapyörän ollessa täysi. Hihnapyörälle on mahdollista  $L_v = 1200 \text{ mm}$  hihnaa yhdelle kierrokselle. Kun hihnanpituus jaetaan arvolla  $\pi$ , saadaan ison hihnapyörän minimihalkaisija. Halkaisijaksi saadaan

$$d_{\min} = \frac{L_h}{\pi} = \frac{1200 \text{ mm}}{\pi} = 382,0 \text{ mm} . \quad (2)$$

Vääntömomentiksi saadaan

$$T = 0,5d_{\min}F_v = 0,5 * 382 \text{ mm} * 981 \text{ N} = 187357,2 \text{ Nmm} . \quad (3)$$

Lopullisen hydraulikkasynterinin iskunpituuden selvittämiseksi lasketaan pienen hihnapyörän maksimaalinen halkaisija. Hihna kiertyy pienen hihnapyörän ympärille vain kerran, joten halkaisijaksi saadaan

$$d_{\max} = d_i + 2s = 50 \text{ mm} + 2 * 3 \text{ mm} = 56 \text{ mm} . \quad (4)$$

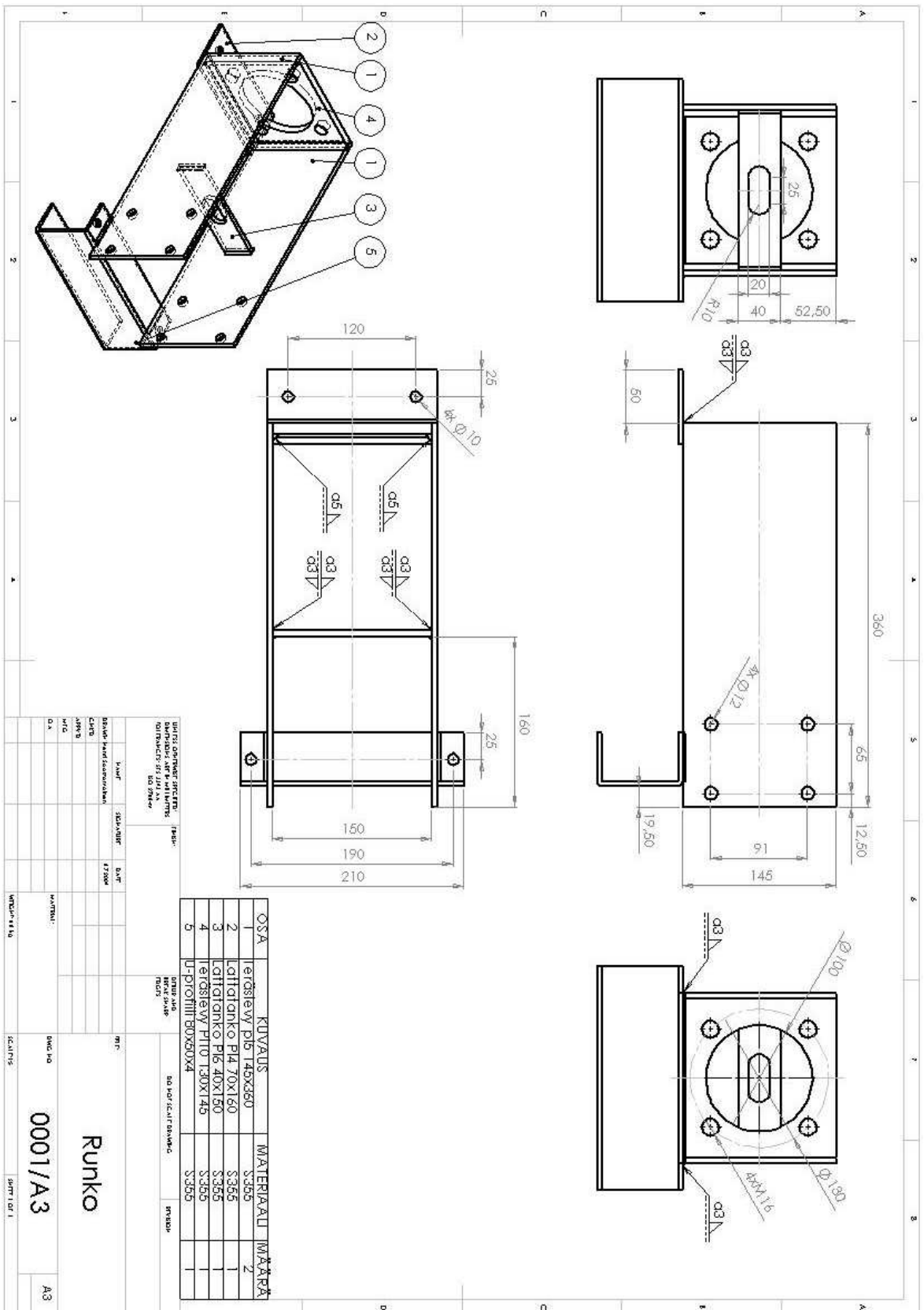
Vääntömomenttia ja pienen hihnapyörän halkaisijaa käyttämällä hydraulikkasynterinin normaalivoimaksi saadaan

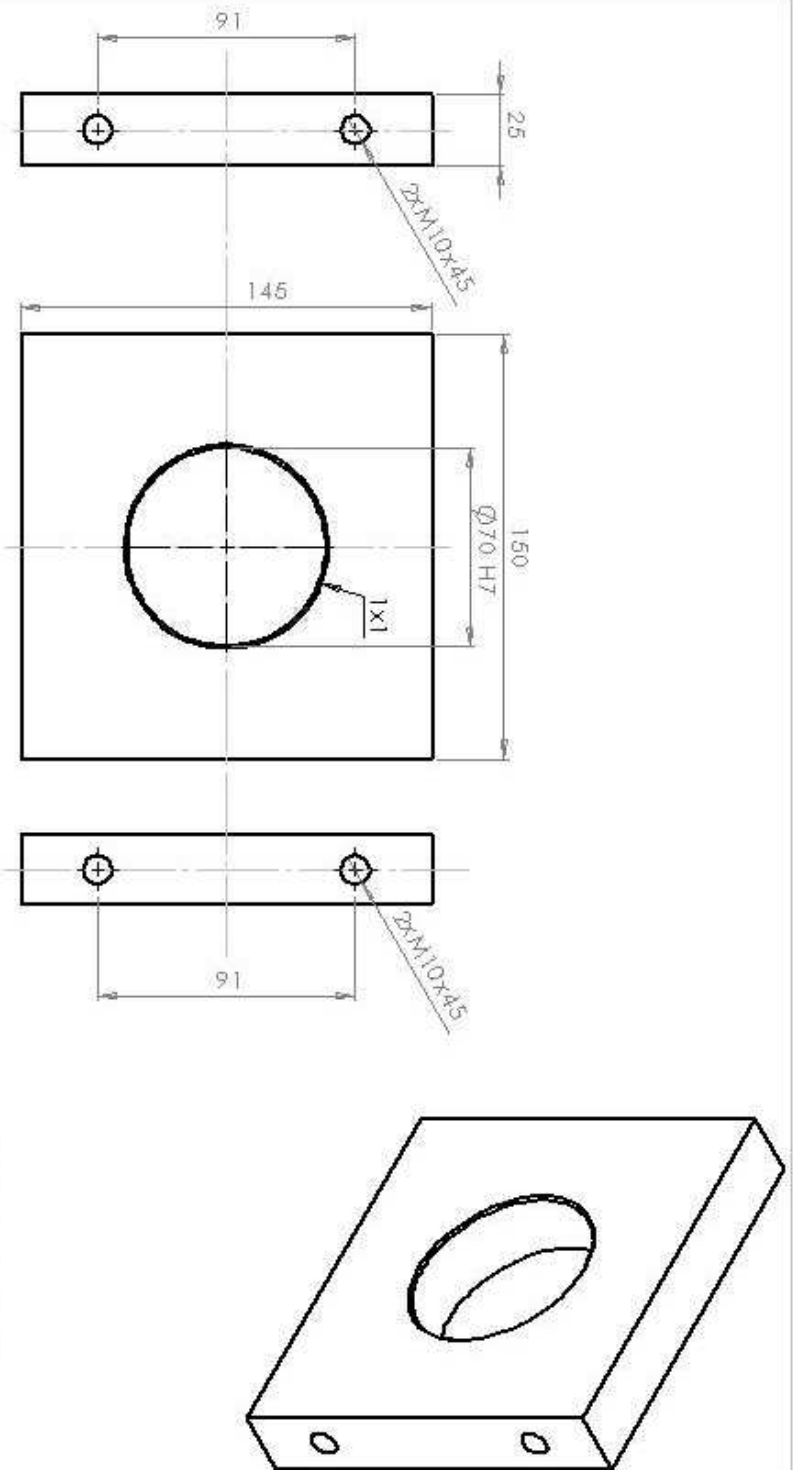
$$F_a = \frac{T}{0,5d_{\max}} = \frac{187375,2 \text{ Nmm}}{0,5 * 56 \text{ mm}} = 6691,3 \text{ N} \quad (5)$$

Hydrauliikkasynterinin iskunpituudeksi saadaan

$$L_s = \pi d_{\max} = \pi * 56 \text{ mm} = 175,9 \text{ mm} . \quad (6)$$

Laskelman tulokseksi todettakoon, että ison hihnapyörän halkaisija tai tarvittava hydraulikkasyylinterin iskunpituus kasvaa liian suureksi





Lattatanko 25x150

Valmistetaan 2 kpl

Laakeripesä

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE  
 SOLE PROPERTY OF THE COMPANY. IT IS TO BE  
 KEPT CONFIDENTIAL AND NOT REPRODUCED OR  
 TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS  
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF THE  
 COMPANY.

5

4

3

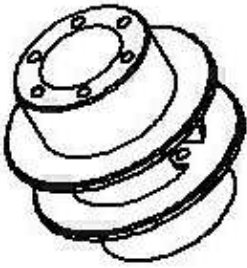
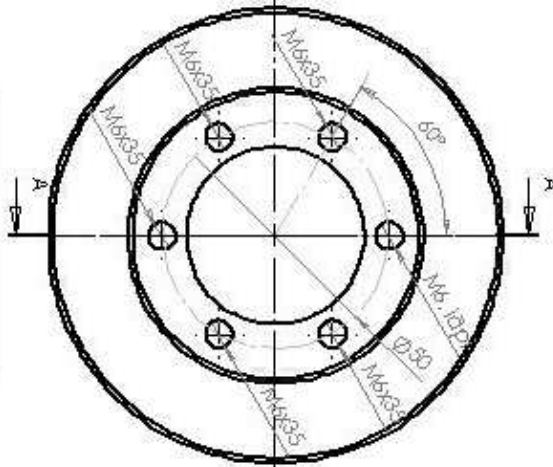
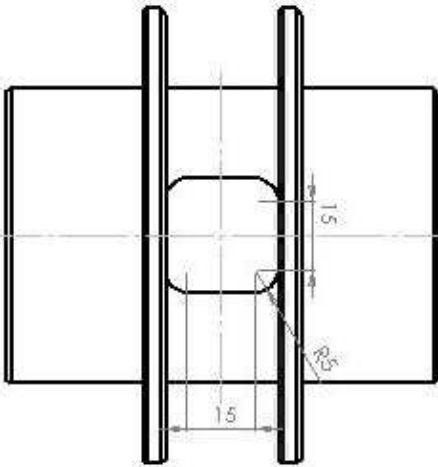
2

1

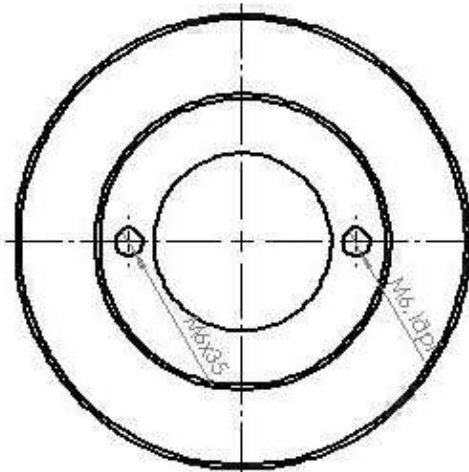
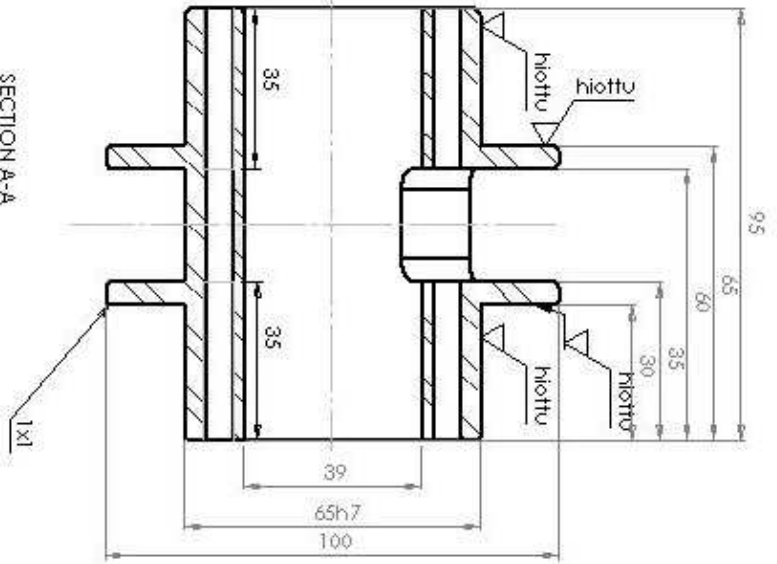
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: |          | NAME   | DATE     |
|-----------------------------|----------|--------|----------|
| DESIGNED BY                 | M. M. M. |        | 3.7.2007 |
| DRAWN BY                    | Z. M. M. |        |          |
| CHECKED BY                  |          |        |          |
| ENG. APPR.                  |          |        |          |
| MTC APPR.                   |          |        |          |
| O.A.                        |          |        |          |
| COMMENTS:                   |          |        |          |
| APPROVED BY                 |          |        |          |
| DATE                        |          |        |          |
| SCALE                       | 1:2      | WEIGHT | 2,9 KG   |
| SHEET                       | 1 OF 1   |        |          |

SIZE DWG. NO. A 0002/A4

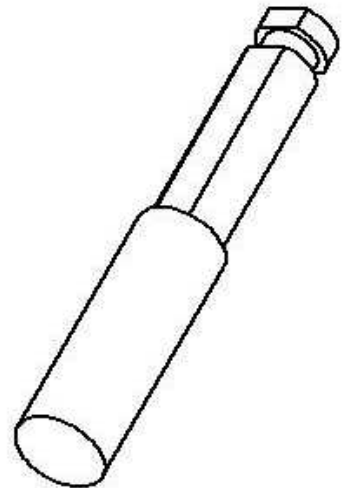
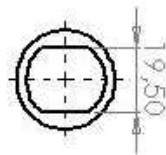
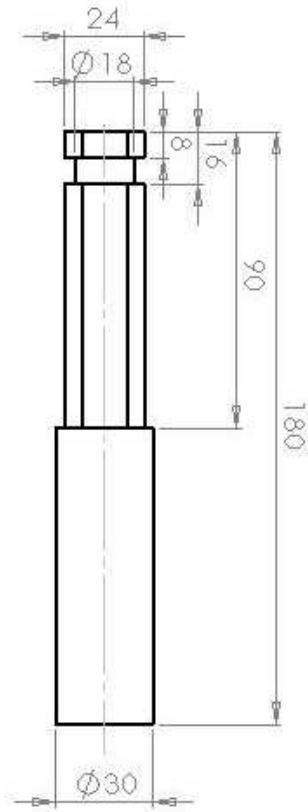
REV



SECTION A-A  
SCALE 1 : 1

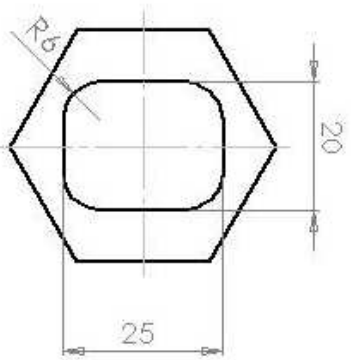
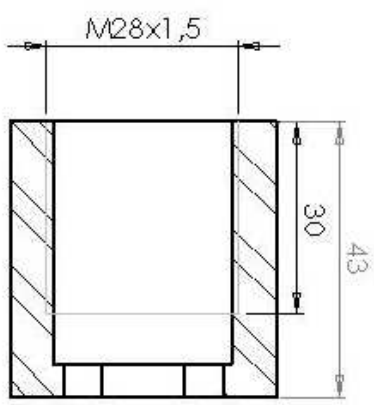
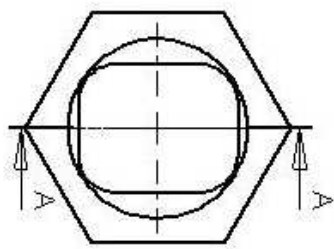
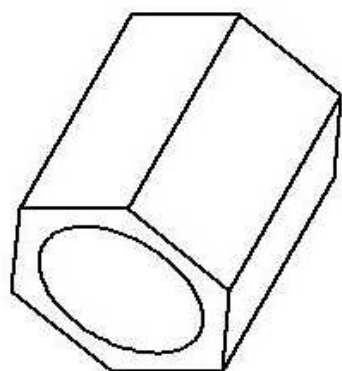


| TUOTEKORTTI                        |           | KÄYTTÖTILA |           | KÄYTTÖTILA |           |
|------------------------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| OSAN NIMI                          | OSAN KOKO | OSAN MÄÄRÄ | OSAN TILA | OSAN TILA  | OSAN TILA |
| Pyörötanko $\text{Ø}100 \times 95$ |           |            |           |            |           |
| Hihnapyörä                         |           |            |           |            |           |
| 0003/A3                            |           |            |           |            |           |
| S355                               |           |            |           |            |           |
| A3                                 |           |            |           |            |           |



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 NESTI COMPANY. MAKE ANY  
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE  
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF  
 NESTI COMPANY MAKE HEREIN  
 PROHIBITED.

|   |  |                      |      |          |  |  |
|---|--|----------------------|------|----------|--|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>TOLERANCES: ISO 2768-mS |  | DRAWN                | NAME | DATE     | TITLE:<br>Trapeetsikierratanko Ø30x200 |  |
|   |  | CHECKED              |      | 8.7.2009 | Johderuovi                             |  |
|   |  | ENG APPR.            |      |          |  |  |
|   |  | MFG APPR.            |      |          |  |  |
|   |  | Q.A.                 |      |          |  |  |
|   |  | COMMENTS:            |      |          |  |  |
|   | INTERFERENCE FIT<br>INTERFERENCE FIT:<br>MATERIAL:<br>S355 |                      |      |          | SIZE DWG. NO. REV                      |  |
|   | INDEX  |                      |      |          | A 0004/A4                              |  |
| APPLICATION   | USED ON  | DO NOT SCALE DRAWING |      |          | SCALE: 1:2 WEIGHT: 0,8 kg SHEET 1 OF 1 |  |
| NEI/IASY  |  |                      |      |          |  |  |



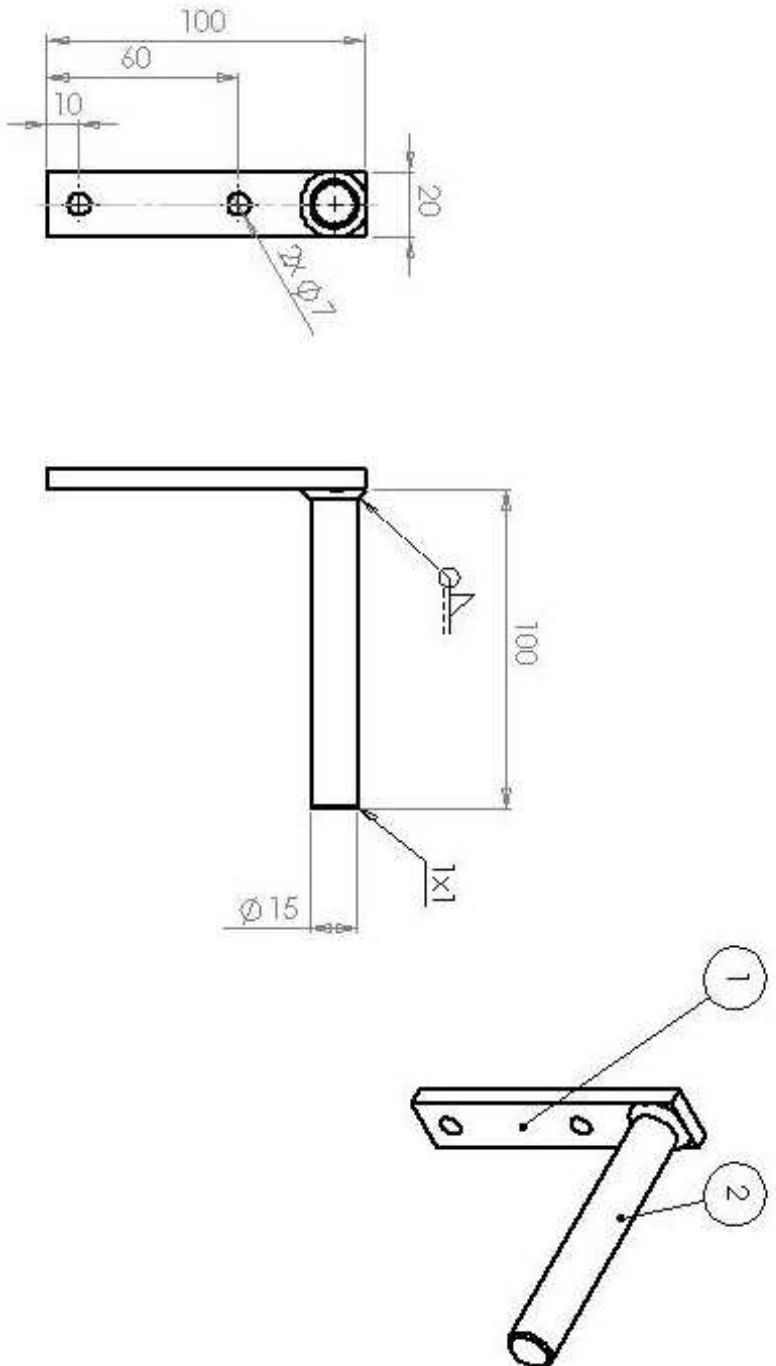
SECTION A-A

PROPERTIA ET AB CONFIDENTIAL  
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS  
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF  
 INTERCOMPANOR KÄÄTÄNÄ. ANY  
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE  
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF  
 INTERCOMPANOR KÄÄTÄNÄ IS  
 PROHIBITED.

|  |         |                      |      |          |
|--|---------|----------------------|------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:                                |         | DRAWN                | NAME | DATE     |
| DIMENSIONS ARE IN INCHES                                   |         | CHECKED              |      | 8.7.2009 |
| TOLERANCES: R 0.25mm                                       |         | ENG APPR.            |      |          |
|  |         | MFG APPR.            |      |          |
|  |         | Q.A.                 |      |          |
| INTERCOMPANOR<br>IDENTIFICATION PER:<br>MATERIAALI<br>S355 |         | COMMENTS:            |      |          |
| NEXT ASSY  | USED ON | FINISH               |      |          |
| APPLICATION  |         | DO NOT SCALE DRAWING |      |          |
| 5  | 4       | 3                    | 2    | 1        |

**Kuusiotanko a36**  
 TITLE:  
**Kiinnityskappale**

SIZE DWG. NO. REV  
**A** 0005/A4  
 SCALE: 1:1 WEIGHT: 0.2 kg SHEET 1 OF 1



| OSA | KUVAUS                 | MATERIAALI | MÄÄRÄ |
|-----|------------------------|------------|-------|
| 1   | Lattatanko pit. 100x20 | S355       | 1     |
| 2   | Pyörötanko Ø15x100     | S355       | 1     |

| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:             |                | MADE | DATE |
|---|----------------|------|------|
| DIMENSIONS IN MILLIMETERS               |                |      |      |
| TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: |                |      |      |
| DRAWN                                   | DATE           |      |      |
| CHECKED                                 | DATE           |      |      |
| ENG APPR.                               |                |      |      |
| MTC APPR.                               |                |      |      |
| D.A.                                    | COMMENTS:      |      |      |
| PREPARED BY                             |                |      |      |
| CHECKED BY                              |                |      |      |
| APPROVED BY                             |                |      |      |
| DATE                                    |                |      |      |
| SCALE: 1:2                              | WEIGHT: 0.2 kg |      |      |

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL  
 THIS DRAWING CONTAINS THE  
 DESIGN AND INTELLECTUAL PROPERTY OF  
 CAMPI COMPANY PARTS LTD. ANY  
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE  
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF  
 CAMPI COMPANY PARTS LTD. IS  
 PROHIBITED

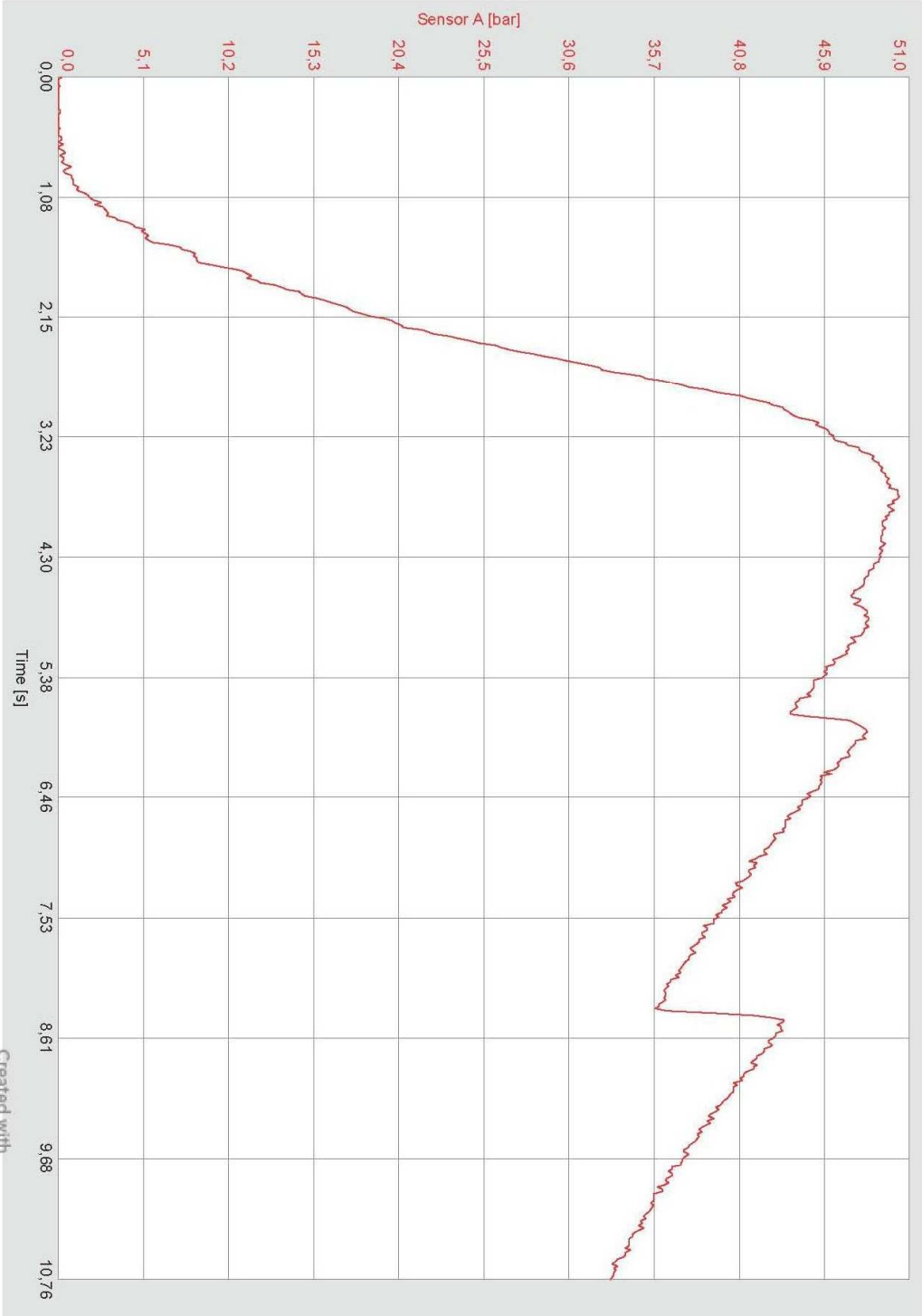
Kampi

SIZE DWG. NO. **A 0006/A4**

REV

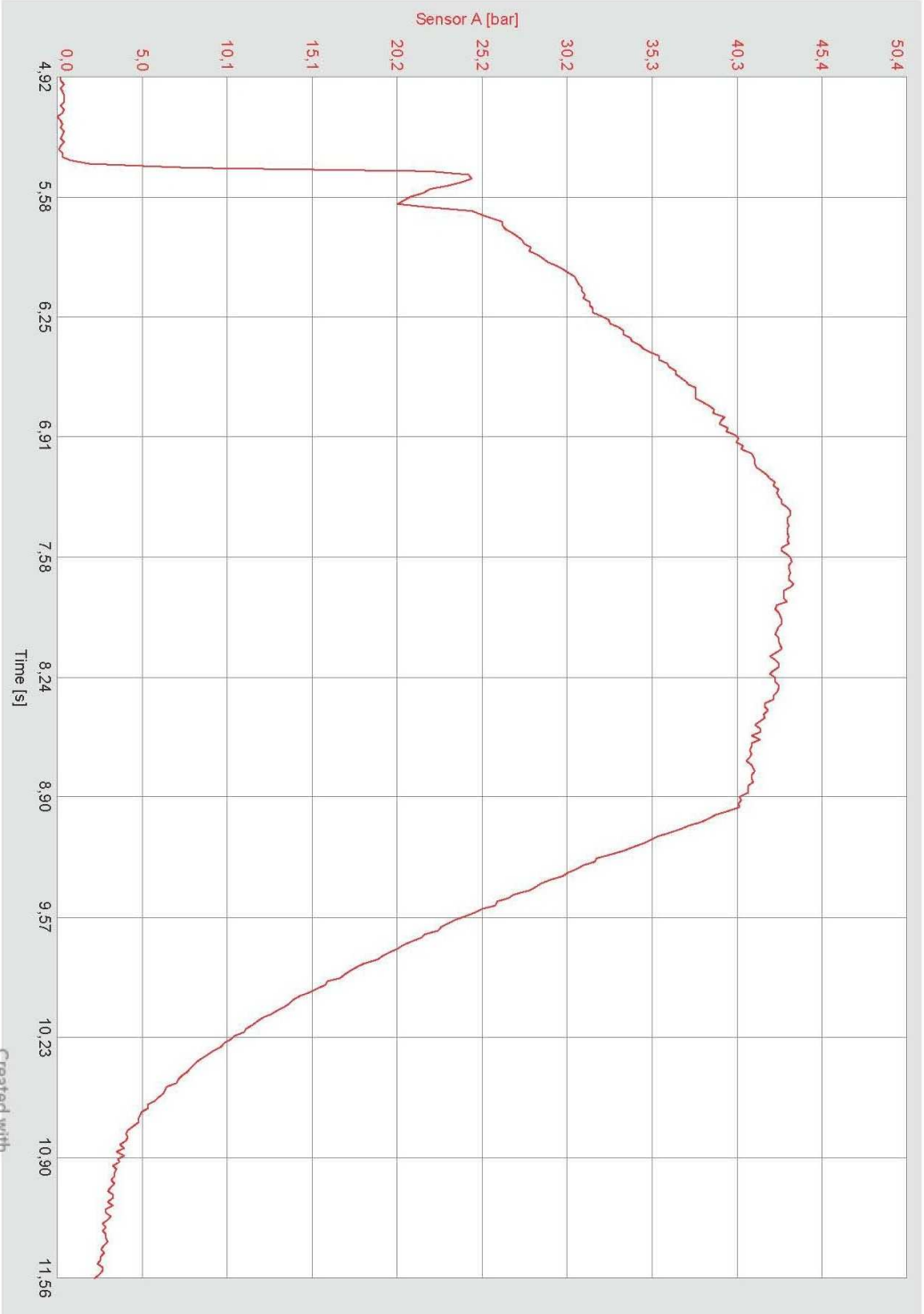
SHEET 1 OF 1





Sensor A  
0.0 ... 51.0 bar  
Time  
0.00 .. 10.76 s





Sensor A  
0.0 .. 50.4 bar  
Time  
4.92 .. 11.56 s

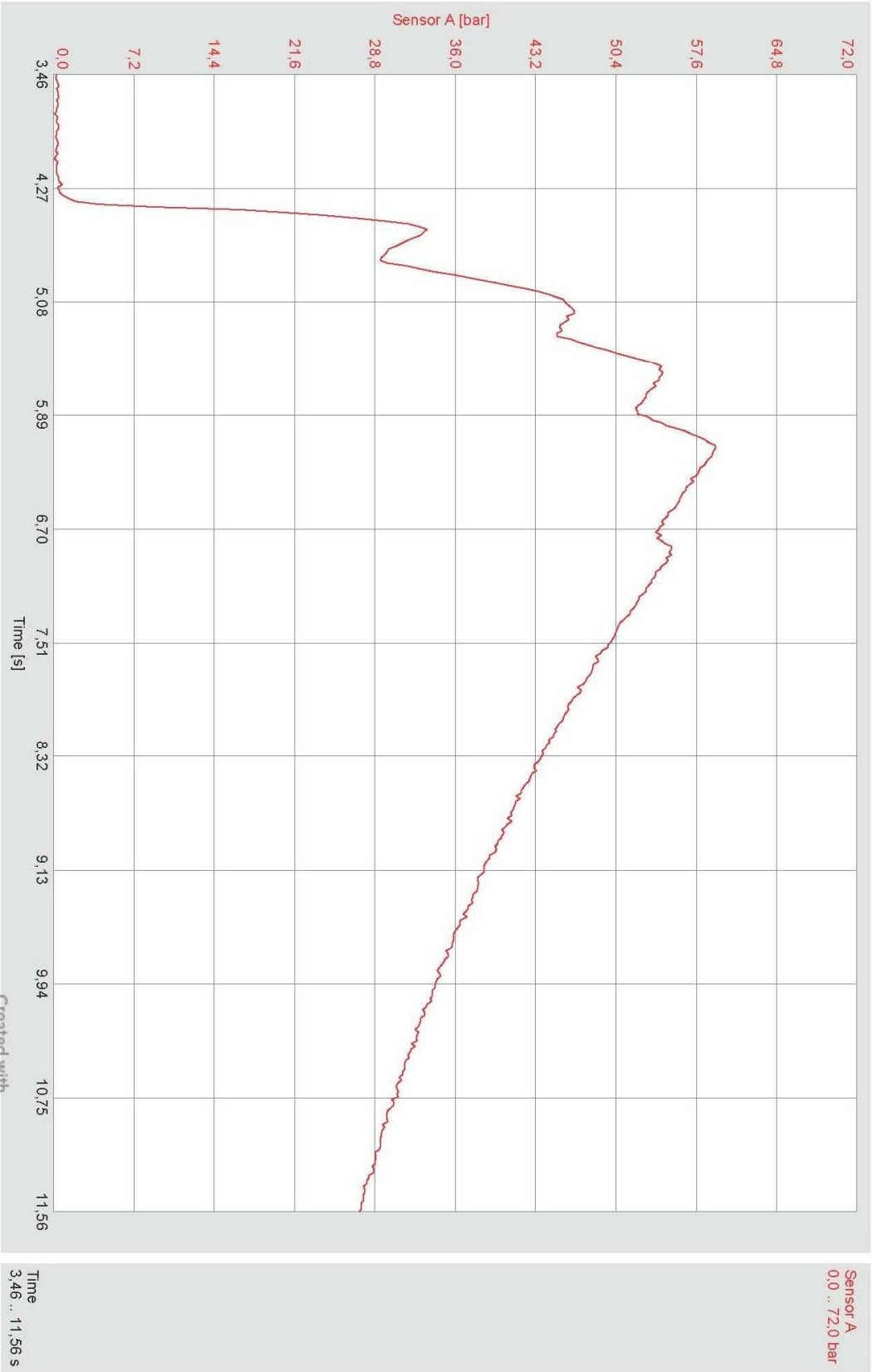
25.11.2009 10:07:53

Recording2



**nitro PDF** professional

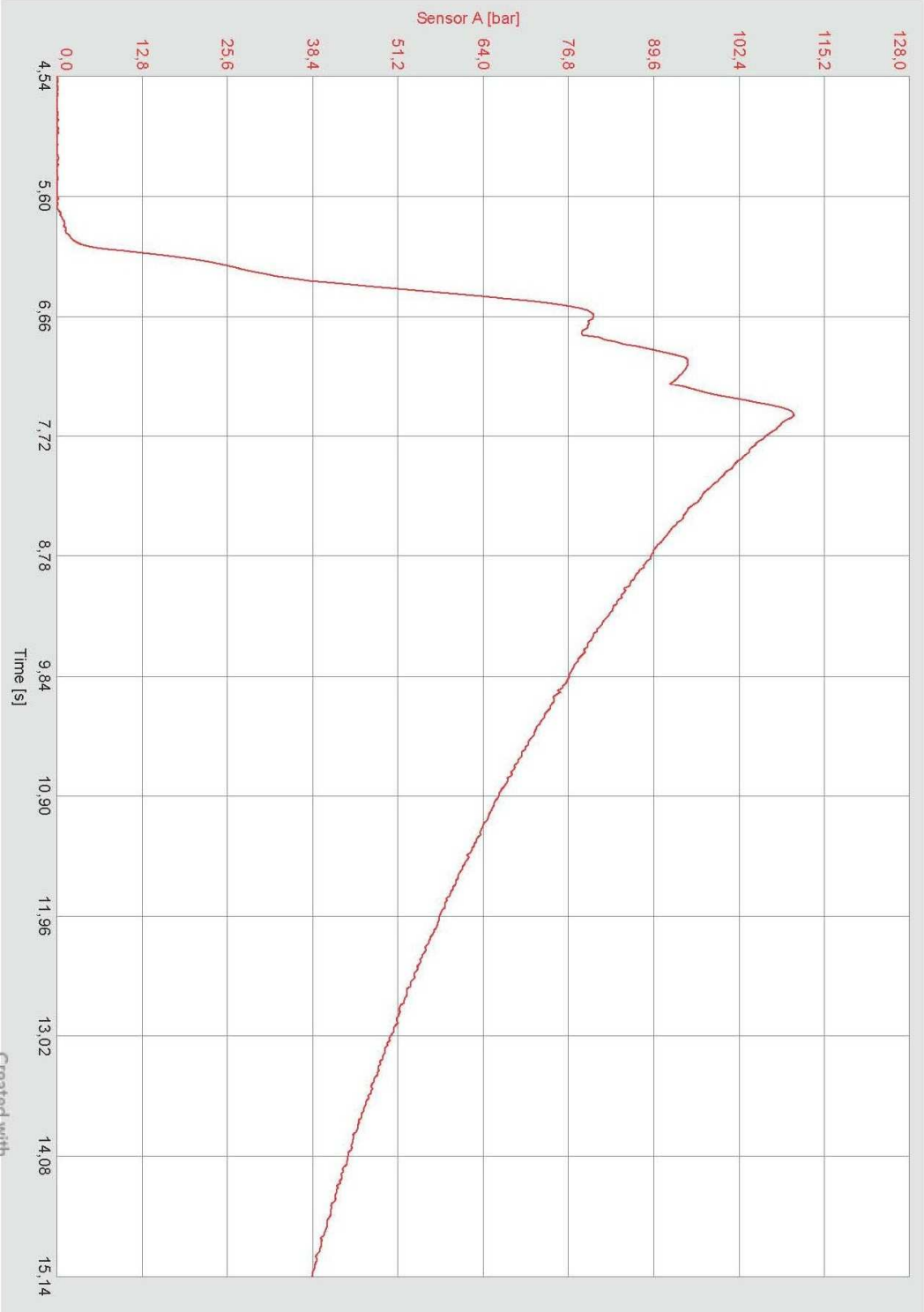
download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)



25.11.2009 10:23:01

Recording3

Created with



Sensor A  
0.0 .. 128.0 bar  
Time  
4.54 .. 15.14 s

