

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Kone

Konetekniikan koulutusohjelma

BK101A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

Ville Hakonen

Vedellä toimivan koneen venttiilikoneiston suunnittelu

Design of a water propelled machine's valve mechanism

Työn tarkastaja: TKT Kimmo Kerkkänen

Lappeenrannassa 09.09.2013

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO.....	2
1 JOHDANTO	4
1.1 Työn tausta	4
1.2 Työn tavoitteet.....	4
1.3 Työn rajaus	4
2 KONEEN TEOREETTISET MAHDOLLISUUDET JA RAJOITTEET	6
2.1 Ongelmakohdat	7
2.2 Karaventiilin toiminta	8
2.3 Venttiilikoneiston lujuusopillinen tarkastelu	10
2.4 Käyttösovellutuksia.....	11
2.4.1 Teollisuus	11
2.4.2 Pienkoneet	12
2.4.3 Merikoneet	12
2 VENTTIILIKONEISTON SUUNNITTELU	13
3.1 Luonnostelu.....	13
3.1.1 Vaatimuslista.....	14
3.1.2 Abstrahointi.....	16
3.1.3 Mekanismin toimintorakenne.....	17
3.1.4 Ideointi ja ideamatriisi.....	18
3.1.5 Jatkokehittelyyn valittu ratkaisumuunnelma.....	20
3.2 Ratkaisumuunnelman kehittäminen	21
3.2.1 Materiaalivalinnat	27
3.3 Kustannusarvio.....	28

3	TULOSTEN TARKASTELU.....	31
4.1	Koneen toiminnan tarkastelu.....	31
4.2	Koneen suunnittelun tarkastelu.....	33
4.3	Kustannusarvion tarkastelu.....	34
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	35
	LÄHTEET.....	36

1 JOHDANTO

Vedellä toimivat koneet ovat nykypäivänä jo vanha keksintö. Vuosien saatossa tämä tekniikka on kehittynyt öljyllä toimiviin hydraulisiin koneisiin. Nykyisin insinöörit kuitenkin yrittävät kehittää vedestä voimanlähteen koneille muuttamalla veden kemiallisen molekyyliarakenteen H_3O epävakaaseen, mutta runsasenergiseen vetykaasuun H_2 .

Perinteisen hydraulikkasynterinin toiminta perustuu nesteen kokonpuristumattomuuteen, paineeseen sekä venttiilien oikea-aikaiseen toimintaan, jota tässä työssä sovelletaan vahvasti. Tämä hydraulikkatekniikka on ollut olemassa jo pitkään, mutta tiedettävästi vesikäyttöiset koneet ovat olleet modernin hydraulikkatekniikan innoittajia. Aikaisimmat sovellutukset vievät juurensa aina 1600-luvun alkupuolelle, mutta hydraulikka nesteiden kehittyessä vesikäyttöisten koneiden suunnittelu voimansiirrosta muuttui turbiineiksi. (The museum of retro technology, 2009. s. 1)

1.1 Työn tausta

Idea vesikäyttöisestä koneesta tuli LUT koneen tutkija Scott Semkeniltä, kun hän alkoi leikkiä ajatuksella sähköttömästä koneesta. Tässä voiman tuojina olisi mekaniikka, pneumatiikka ja vesi. Lopputuloksena olisi tarkoitus saada prototyyppi koneesta, joka voidaan istuttaa koekäyttöön vaikkapa mäkiauton voimanlähteeksi.

1.2 Työn tavoitteet

Tämän kandidaatin työn tavoitteena on suunnitella vedellä toimivaan hydraulikkakoneeseen venttiilikoneisto, joka mahdollistaa neljän männän synkronoidun liikkeen kampiakseliin nähden saaden aikaan rotaatioliikkeen voiman ulosottopäähän. Suunnittelussa käytetään teknillisen suunnittelun järjestelmällistä koneensuunnittelua. Lisäksi tarkoituksena olisi kehittää ja keksiä ideoita, jotka voisivat parantaa koneiston toimintaa. Myöhemmin konetta on mahdollista jatkokehittää esimerkiksi pieniin mäkiautoihin tai veneeseen sopivaksi voimansiirtolaitteeksi.

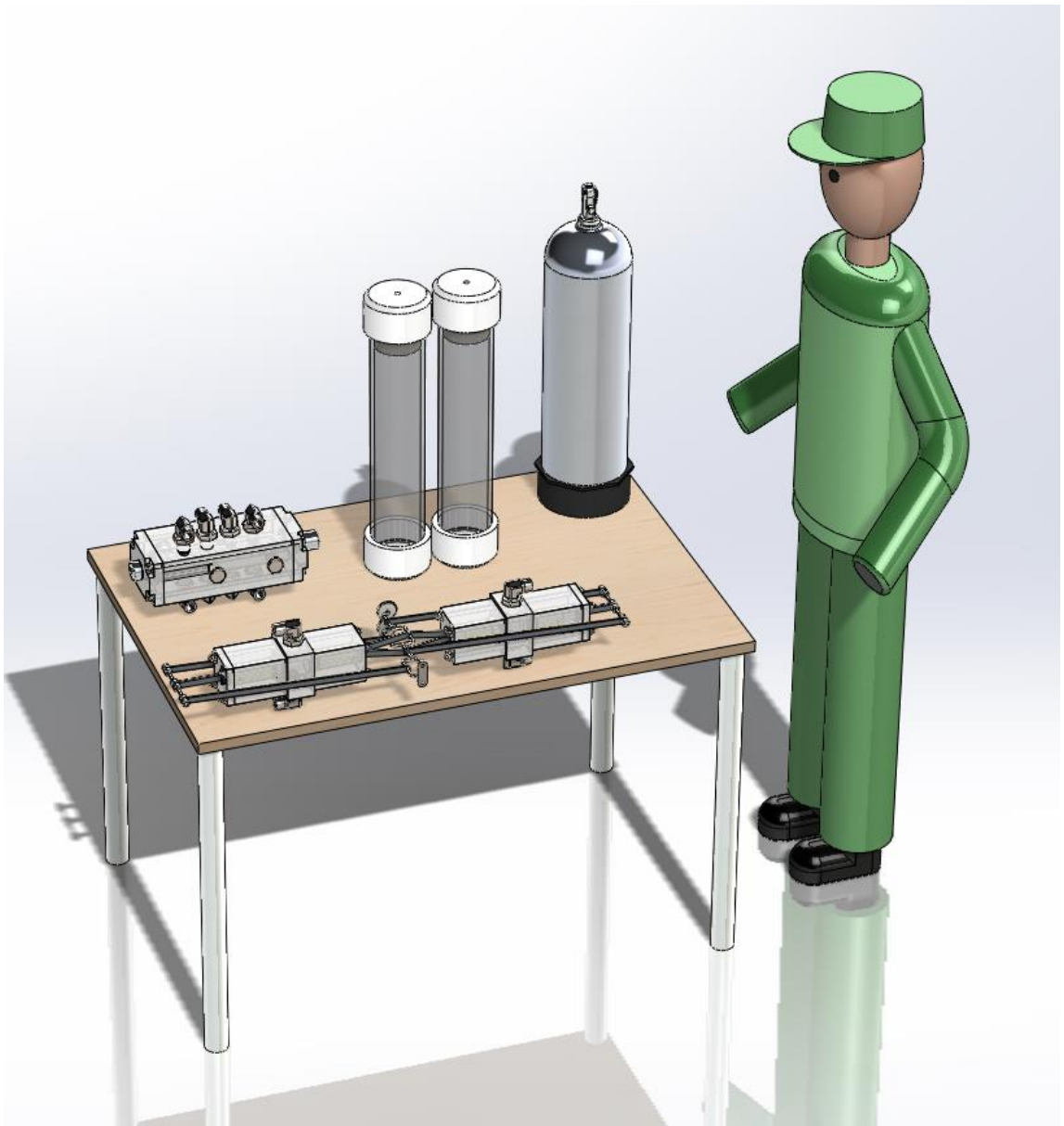
1.3 Työn rajaus

Suunnittelun osuus tässä työssä rajoittuu parhaimman toimintarakenteen ratkaisuun, eikä niinkään mitoittamiseen ja valmistuspiirustuksien tekoon. Materiaalirajauksina

työssä on muovin, rakenneteräksien ja alumiiniprofilien käyttö, sillä tämä prototyyppi tulisi olla mahdollisimman helppo valmistaa. Lopullisen koneen suorituskyky olisi oltava noin iskutilavuudeltaan 50 cm^3 mopon koneen verran eli noin 1,3...1,5 kW ilman minkäänlaista elektronista ohjausmekanismia, käyttäen vain hydraulikkaa, pneumatiikkaa ja mekaniikkaa.

2 KONEEN TEOREETTISET MAHDOLLISUUDET JA RAJOITTEET

Koneen pääkomponentit ovat selkeät ja yksinkertaiset. Ne voidaan nähdä prototyypin kokoonpanokuvasta 1. Kuvassa on nelisynterinen vesikone, karaventiili, vesisäiliöt ja pneumaattikatankki. Tankin tilavuus on noin 10–12 L ja sen paine 200 bar. Yhden vesisäiliön kokonaistilavuus on noin 4,3 L. Koneen sylinterit puolestaan ovat sijoiteltu kahteen sylinterilohkoon, jossa kummassakin on kaksi sylinteriä vastatusten.

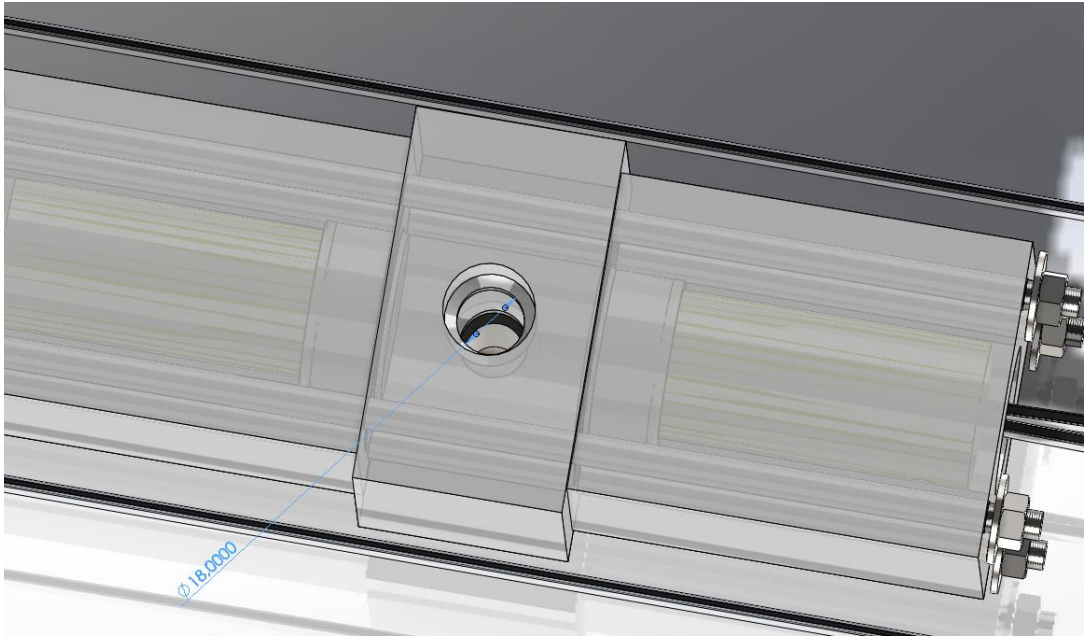


Kuva 1. Prototyypin luonnoskuva.

Koneen teorettinen toiminta on yksinkertainen, mutta vaatii oikeaa ajoitusta jokaiselta komponentilta. Pneumatiikkatankkiin asetetaan paineenalennusventtiili, josta saadaan koneelle käyttöpaineeksi 5 bar. Vesitankkien pohjissa ovat painemännät, jotka estävät veden ja ilman sekoittumisen. Tämän jälkeen paineistettu vesi pääsee työntökaraventtiilille, joka ohjaa veden vuorotellen toiseen lohkoon ja vuorotellen toiseen. Koneen toiminta muistuttaa hyvin paljon nelitahtisen polttomoottorin työkiertoa. Kaksi mäntää toimii yhtenäisesti; joka toinen kerta mäntien ollessa yläkuolo kohdassa ne tekevät työtä ja joka toisella ne poistavat vettä koneesta. Veden paluu tankkeihin tapahtuu jälleen venttiilikoneiston kautta takaisin säiliöihin. Tämän kaiken ajoitus on kiinni hyvästä venttiilikoneistosta, joka pystyy tarkasti ja nopeasti ohjaamaan työntökaraventtiiliä oikeaan asentoon.

2.1 Ongelmakohdat

Vaikka koneen toimintaperiaate on yksinkertainen, sen rakenne on monimutkainen ja vaatii osilta sellaista rakennetekniikkaa, että niiden yhteistoimintojen täytyy olla hyvä. Tämän takia valmistuksessa alkavat jo ensimmäiset ongelmat, sillä nivelvälyksien ja tankojen pituuksien täytyy olla juuri oikeat. Toinen oleellinen seikka on sylinterin kansissa olevat tulo- ja poistoaukkojen suuruudet, jotka tällä hetkellä ovat 18 mm halkaisijaltaan, mikä huomataan kuvasta 2. Nämä aukot määrittävät suuren osan veden tilavuusvirroista. Liian pieninä kone ei jaksa pyöriä tai ei anna tarpeeksi voimaa ja liian suurina kone puolestaan jää ääriasentoon jumiin. Vesi ei ehdi poistumaan koneesta uuden veden tullessa jo tilalle. Tämä ongelma pystytään välttämään erilaisella venttiilillä ja/tai venttiilin aukkojen koolla tai muokkaamalla käyttöpainetta.



Kuva 2. Aukkojen halkaisija.

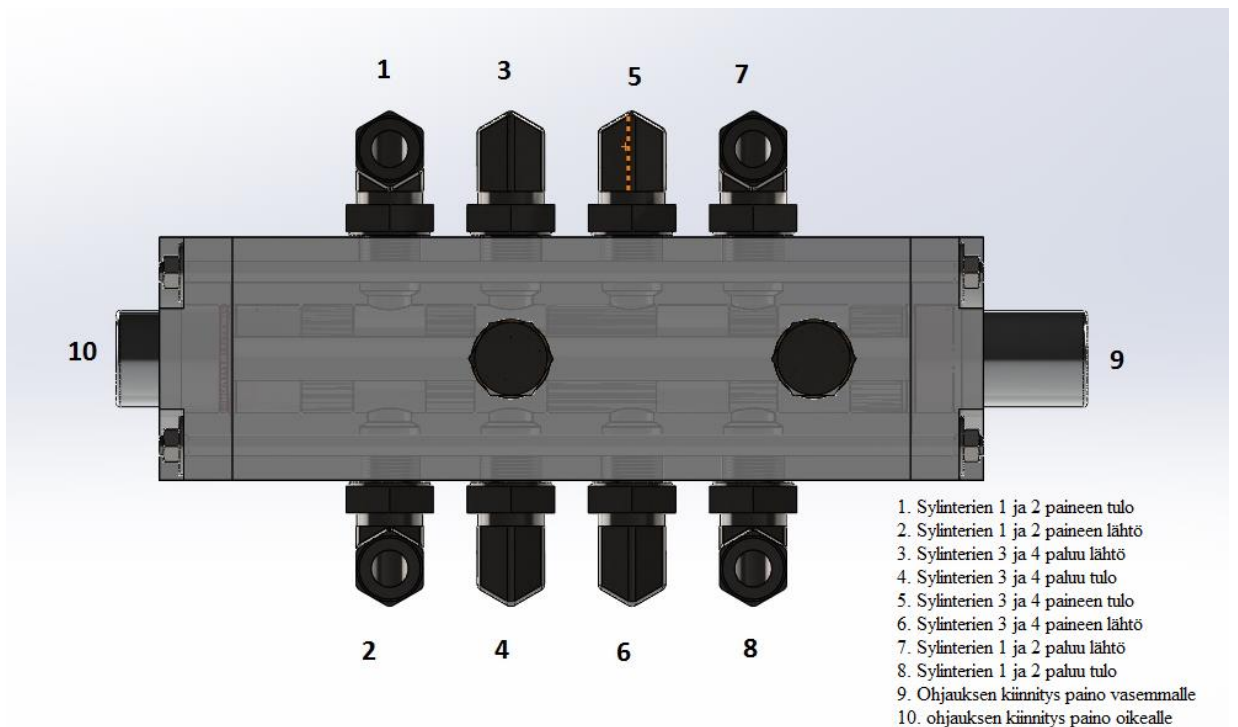
Venttiilikoneiston ohjaus- ja toimintamekanismi ja oikean venttiilin valinta on kolmas ongelma, johon tässä työssä paneudutaan tarkemmin. Alustavasti prototyyppiin on valittu 8-tie karaventtiili jonka ohjaus yleensä tapahtuu käsin. Tässä projektissa ohjaus pyritään suorittamaan pelkästään mekaanisesti ilman lisälaitteita. Tämän seurauksena koneeseen tulee tehdä lisää tarkasti valmistettavia niveliä ja tankoja.

Neljäs ongelma on taloudellisuus, joka on nyky maailmassa hyvin tärkeä seikka uusien mekanismien suunnittelussa. Tällä kyseisellä koneella ei kuitenkaan ole kilpailemista nykyisten sähkö-, hydraulikka- ja polttomootorikoneiden kanssa taloudellisuudesta ja kannattavuudesta. Kuitenkin tällaiselle mekanismille voisi löytyä sovellutuksia, josta lisää myöhemmin.

2.2 Karaventtiilin toiminta

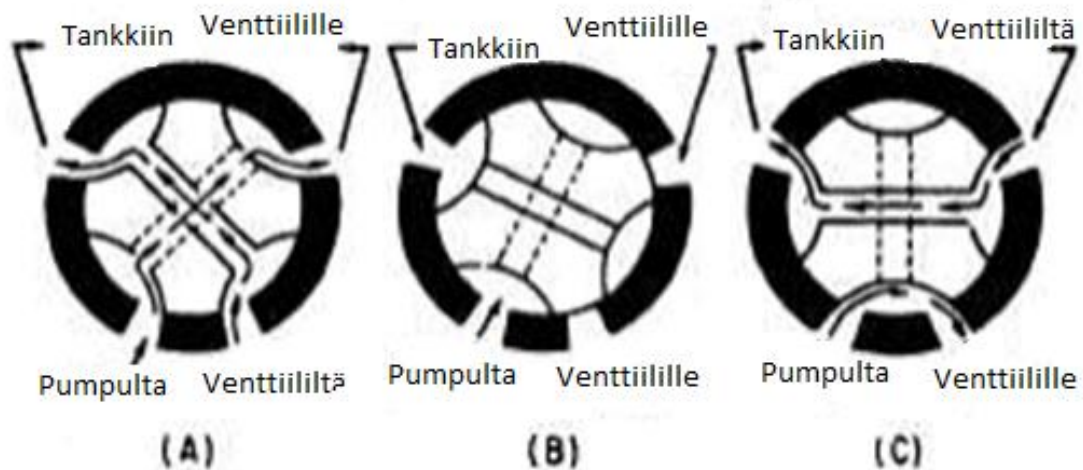
Karaventtiilejä on kahdenlaisia ja ne voivat ohjata hydraulikkaa, pneumatiikkaa tai jopa polttoainetta erilaisissa järjestelmissä. Nämä venttiilit voivat myös toimia samassa järjestelmässä sarjassa, joka mahdollistaa uudenlaisia järjestelmiä ja sovellutuksia. Ensimmäinen venttiilityyppi on työntökaraventtiili joka perustuu siihen, että venttiilissä on lähtö- ja tuloportteja ja niitä sulkee olakkeellinen kara. Työntämällä suuntaan tai toiseen se avaa aina tietyt portit päästäen hydraulikka nesteen tai pneumatiikan lävitseen samalla sulkien toiset portit. Työntökaraventtiilissä on kuitenkin huomioitava

nesteen tuomat virtausvoimat, jonka venttiilin ohjauksen on voitettava voidakseen liikuttaa karaa. Suuremmissa mittakaavoissa tähän voidaan tarvita erillisiä hydraulikkakoneita tai -pumppuja tuomaan tarvittavan voiman. Yleensä venttiilin karan liikuttamiseen käytetään kuitenkin pieniä servokoneita, solenoideja tai jousia. Kuvasta 3 voidaan nähdä SolidWorks - kuva projektissa käytettävästä venttiilistä. Venttiilissä on 8 lähtöä ja kaksi ohjausolaketta (Integrated publishing, 2012. s. 6.24 - 6.25)



Kuva 3. Projektin työntökaraventtiilin lähdöt ja tulot.

Toinen sovellus karaventtiileistä on pyörökaraventtiili joka on vanhempi keksintö kuin työntökaraventtiili, mutta siitä kehitetään jatkuvasti uusia sovellutuksia. Yksinkertaisin toiminnan kuvaamiseksi on nelitieventtiili, jonka rungossa on neljä sisääntuloa sekä lisäksi sisällä olevassa pyörivässä karassa on neljä läpimenevää kanavaa jota pitkin liikuteltava neste kulkee. Kuvassa 4 voidaan nähdä miten yksinkertainen pyörökaraventtiili toimii. Kohdat A ja C kuljettavat nestettä toisiin venttiileihin, kun taas kohdassa B kaikki kanavat ovat tukittu ja venttiili on neutraaliasennossa. Pyörökaraventtiilejä voidaan operoida käsin, elektronisesti tai hydrauliiikan avulla. (Integrated publishing, 2012. s. 6.22)



Kuva 4. Nelitie pyörökaraventtiilin periaatekuvat. (Integrated publishing kotisivut 12.6.2013.)

2.3 Venttiilikoneiston lujuusopillinen tarkastelu

Venttiilikoneiston tarkastelu lujuusopillisesta näkökulmasta on haastavaa. Lähtötietojen puutteesta ja mekanismin monimuotoisuudesta johtuen lujuusopillinen tarkastelu voidaan tehdä vasta silloin, kun prototyyppi on valmis. Sitä voidaan kuitenkin tutkia kahdella erilaisella metodilla, analyyttisesti tai empiirisesti.

Empiirisessä tarkastelussa prototyyppiin voidaan kiinnittää venymäluisia kriittisiin tankoihin, jonka perusteella tarkastellaan profiilin käyttäytymistä kuormitettuna. Tämän jälkeen voidaan tehdä johtopäätökset onko profiili riittävän kestävä vai joudutaanko sitä muuttamaan. Lisäksi nivelten kulumista voidaan tarkastella rakotulkkien avulla ja niiden lämpötilaa voidaan seurata antureilla. Nämä kaikki tutkimusmenetelmät ajavat kohti kestävämpää ja luotettavampaa rakennetta.

Numeerinen ratkaisu on prototyypin valmistuttuakin erittäin vaikea suorittaa. Mekanismista pitäisi tehdä Femap-malli, jonka perusteella voidaan tulkita rakenteellisia kestävyksiä. Tämän mallin tekemiseen tarvitaan kuitenkin tietoa venttiilistä ja sen arvoista. Arvojen perusteella pystytään laskemaan sylintereissä vallitsevat voimat. Nämä puolestaan määräävät rasitukset venttiilimekanismin tangoissa, joista olisi tehtävä Femap-malli. Vaikka numeeriset laskelmat saataisiin siihen pisteeseen että malli olisi mahdollista luoda, on se silti haasteellista mekanismin monimuotoisuuden ja useiden liikkuvien osien seurauksesta. Senkään jälkeen tulokset eivät välttämättä olisi tarkkoja.

Näin ollen tämän mekanismin kannalta parhaimpaan tulokseen tultaisiin, jos yhdistettäisiin nämä kaksi menetelmää ja tutkittaisiin analyttisesti Femap-mallilla koneen sisäisiä rasituksia. Silloin varmistuttaisiin lohkojen ja sylinterien kestävyyydestä, jonka jälkeen siirrettäisiin saatu data käytäntöön ja tutkittaisiin empiirisesti tankoja ja niveliä.

Riippumatta menetelmästä, tämän rakenteen lujuusopillinen tarkastelu on erittäin kallis ja haastava prosessi. Kuitenkin jos prototyyppi valmistetaan ja siitä ryhdytään kehittämään jatkosovelluksiin, on tämä tarkastelu tehtävä jotta saataisiin kestävin ja luotettavin kokonaisuus.

2.4 Käyttösovellutuksia

Veden ja pneumatiikan yhdistelmä sopii voiman lähteeksi hyvin sellaisiin paikkoihin, missä palokuorma ja riski tulipaloon on suuri tai toiminta edellyttää jostakin muusta syystä koneelta alhaista toimintalämpötilaa. Tällaisia soveltuvuusalueita voisi olla esimerkiksi teollisuudessa ja varsinkin sahoilla, kovassa lämpötilassa toimivissa pienkoneissa sekä venekäytössä, missä vettä on käytännössä rajattomasti.

2.4.1 Teollisuus

Suuret sahat ovat tunnettuja niiden raivokkaista tulipaloista, koska kuiva sahanpuru aiheuttaa hienoa pölyä. Sen joutuessa kuumaan työkoneeseen aiheutuu lisää kitkaa ja lämpöä, näin ollen kuivan purun leimahtaminen on todennäköistä. Vesikäyttöisen koneen käyttäminen teollisuuden sahoissa olisi ajatuksena toimiva, sillä lämpötilojen alhaisuus ja polttoaineen erikoisuus mahdollistavat pienellä paloriskillä pyörivän koneen.

Toinen osuva sovellus olisi kemikaali- ja lannoiteteollisuus missä prosessin raaka-aineet ovat hyvin palonarkoja ja käsittelykoneilta vaaditaan jopa ylikunnossapitoa, jotta niiden turvallisuus olisi hyvä. Näiden koneiden korvaaminen vesikoneella olisi toimiva ratkaisu joka tilanteessa, koska vesikoneessa lämpötilat pysyvät kurissa eikä koneessa ole elektroniikkaa joka voisi aiheuttaa kipinöitä ja näin ollen tulipaloja.

Teollisuussovellutuksissa vaaditaan kuitenkin suuria voimia, joten se vaatii koneelta suuria vesitilavuuksia ja kovia paineita. Tämä taas tuo koneenvalmistukseen ja suunnitteluun haasteita koneen rakenteellisiin kestävyyksiin. Esimerkiksi tässä projektissa olevat tanko- ja kampirakenteet ovat suuria voimia käsiteltäessä heikkoja,

joten niiden rakennetta pitäisi muuttaa ehkä enemmän perinteiseksi kampiakselityyppiseksi ratkaisuksi.

2.4.2 Pienkoneet

Kyseisiä koneita voisi soveltaa pienien pumppujen ja pienien polttomoottoreiden korvaajiksi. Esimerkiksi tämän työn prototyyppi tulee olemaan mäkiautossa voimanlähteenä. Etuuksia näissä on lämmön sieto ja lämmön tuonnin vähyys koneessa, jolloin koneita voidaan sijoittaa kokonaan uusiin paikkoihin. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia suurempien kompleksien suunnittelussa, esimerkiksi voimalaitoksien layouteissa.

2.4.3 Merikoneet

Merikoneet ottavat jäähdytysvetensä jatkuvasti ympäröivästä vedestä ja varsinkin isot meridieselkoneet tarvitsevat kokonaan omat koneet kierrättämään jäähdytysvettä. Nämä laivat pitävät sisällään suuriakin tankkeja paineilmaa, jota ne käyttävät eri tarkoituksiin laivan mekanismeissa. Tätä kautta vesikoneen vaatima paineilman tarve olisi ratkaistu. Näin ollen laivoissa olisi kaikki edellytykset korvata kiertovesipumput, jotka käyttävät polttomoottoria voiman lähteenään vesikäyttöisillä koneilla. Tämä ratkaisu saattaisi pidemmällä ajalla tuoda huomattavia polttoainesäästöjä laivan varustajille.

Myös ajatuksena pienemmissä veneissä pääkoneen käyttäminen vedellä voisi olla toimiva, mutta paineilman saanti saattaisi tuottaa ongelman sovelluksessa. Tämän ongelman ratkaisuksi pitäisi kehitellä kompressori, jonka avulla saisi käytön aikana tuotettua ilmaa säiliöihin lisää. Tällöin pienitehoinen veneen kone voisi tuottaa itse paineilmaa ja toimia pääkoneena. Sovellus vaatisi kuitenkin tarkkaa laskentaa, jatkokehittelyä ja useita käytännön kokeiluja toimiakseen.

2 VENTTIILIKONEISTON SUUNNITTELU

Insinöörin tärkeimpiä tehtäviä on löytää teknisiin ongelmiin ratkaisuja luonnontieteellisen tiedon avulla ja toteuttaa ne optimaalisella tavalla kulloistenkin rajoitusten vallitessa. Tässä vastuullisessa tehtävässä suunnittelijalta vaaditaan ideointia, asiantuntemusta ja tietoutta tuotetta sekä sen valmistajaa kohti. (Phal & Beitz, 1990 s. 1)

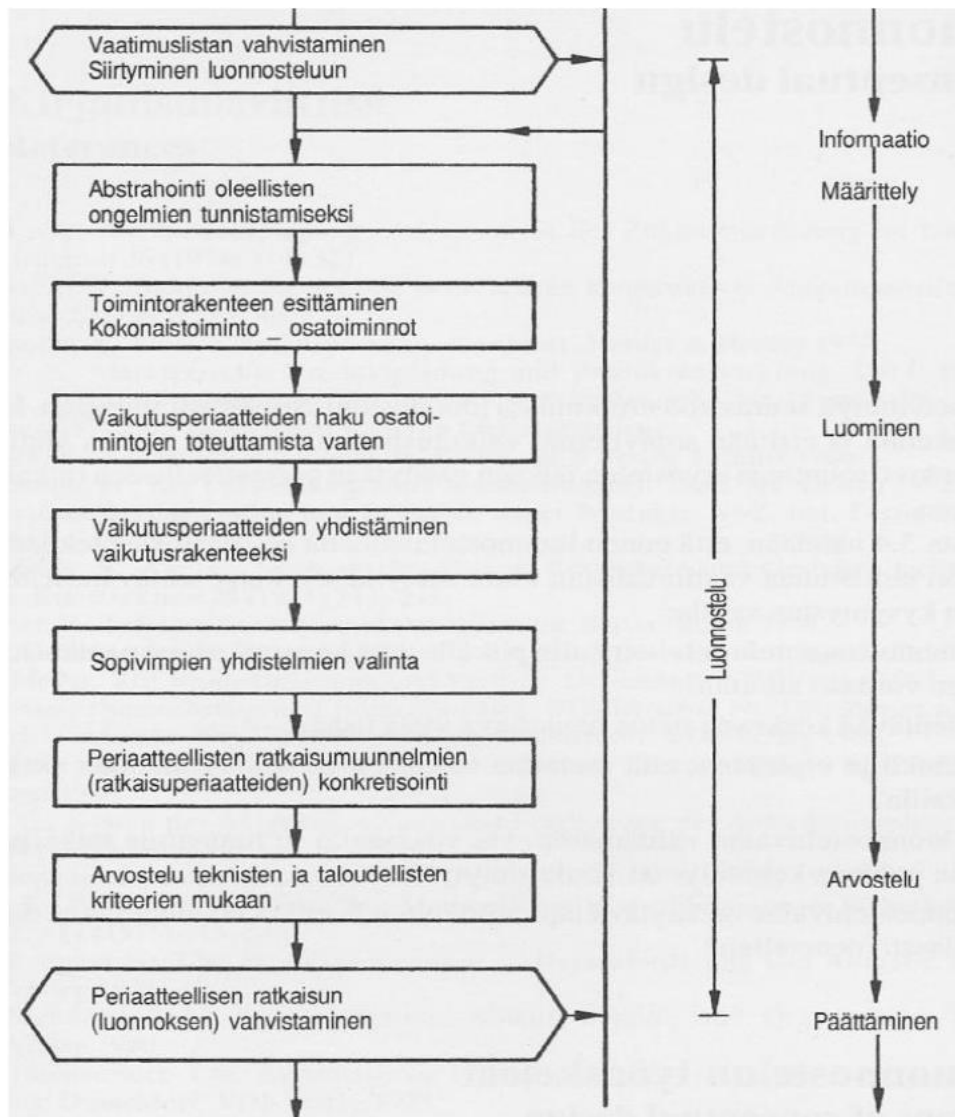
Konstruointi ajatuksena on realisointia, joka pyrkii täyttämään asetetut vaatimukset parhaimmalla ajanmukaisella tavalla. (Phal & Beitz, 1990. s. 1) Kuitenkin järjestelmällisessä koneensuunnittelussa pätee vanha sananlasku ”hyvin suunniteltu on puoliksi tehty”.

3.1 Luonnostelu

Luonnostelu alkaa heti tehtävän selvittelyn jälkeen. Siinä abstrahoidaan, laaditaan toimintorakenne ja etsitään parhaimmat osatoiminnot ja niiden yhdistelmät. Lisäksi ennen konseptin mallintamista ja luomista on vielä viimeinen päätöksentekoaskel. Sen tarkoitus on tarkistuttaa vaatimuslistan viimeistelyllä selvitetty tehtävänasettelu seuraavien kysymyksien avulla. (Phal & Beitz, 1990. s. 71)

- Onko tehtävänasettelu selvitetty niin pitkälle, että konstruktiivisen ratkaisun kehittäminen voidaan aloittaa?
- Onko tehtävää koskevaa tietoa hankittava vielä lisää?
- Nähdäänkö jo etukäteen, että asetettua tavoitetta ei voida saavuttaa siedettävillä uhrauksilla?
- Onko luonnosteluvaihe välttämätön vai voidaanko jo tunnettuja ratkaisuja pitää suoraan pohjana kehittely- tai viimeistelytyölle?
- Jos luonnosteluvaihe on käytävä läpi, niin miten ja missä laajuudessa se on tehtävä metodisesti menetellen?

Kuvassa 5 nähdään suunnittelun yksittäiset työaskeleet, josta huomataan että kaikkien osa-askelien tuloksien parantamiseksi on tarvittaessa mahdollisuus tehdä uusi kierros korkeammalla informaatiotasolla. (Phal & Beitz, 1990. s. 71)



Kuva 5. Suunnittelun työaskeleet. (Pahl & Beitz s. 72)

3.1.1 Vaatimuslista

Ensimmäinen vaihe suunnittelussa on vaatimuslista. Sen tarkoituksena on kartoittaa mekanismin halutut toiminnot sekä asettaa niille kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tavoitteita ja vaatimuksia, jotka voidaan ryhmitellä kolmeen eri luokkaan (Airila, 1993. s. 15–16)

- Kiinteät vaatimukset on pystyttävä täyttämään kaikissa tilanteissa tai ratkaisua ei voida hyväksyä
- Vähimmäisvaatimukset tarkoittavat riman korkeutta, joka tulee ylittää ja jonka reilu ylittäminen on toivottavaa
- Toivomukset otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan

Mekanismille asetettu vaatimus on sellainen ominaisuus tai toiminto joka pitää ehdottomasti toteutua, esim. mekanismin on tuotettava 5 MPa tai suurempi paine. Toivomus puolestaan on muodoltaan samanlainen kuin vaatimus, mutta mekanismin rakenteen ei välttämättä tarvitse toteuttaa sitä. Toivomuksien toteuttaminen tapahtuu ennemmin vaatimuksien ohella ylimääräisenä plussana jos se on toteutettavissa ja on kustannuksiltaan kohtuullista. Kuitenkin suunnittelussa on otettava huomioon, että asiakkaan pienen toivomuksen toteuttaminen voi tuoda suuren ylivoiman kilpaileviin suunnittelutoimistoihin nähden. (Airila, 1993. s. 16)

Vaatimuslista on suurin linkki asiakkaan ja yksittäisen suunnittelijan välillä. Nykyisin tuotekehityksen lähtökohdaksi ei riitä edes pyrkimys täyttää asiakkaan odotukset, vaan ne on pyrittävä ylittämään. Jos asiakas yllättyy positiivisesti, on yrityksellä mahdollisuus saada siitä uuden pysyvän asiakkaan. (Airila, 1993. s. 15)

Taulukosta 1 voidaan nähdä tämän mekanismin vaatimus- ja toivomuslista, joka on eritelty kolmeen osa-alueeseen riippuen tutkittavasta toiminnosta.

Taulukko 1. Vaatimus- ja toivomuslista.

V/T	Rakenne
V	Kevyt rakenne
V	Kestävä rakenne
V	Vältettävä yli 90 ^o kulmia
T	Muovin käyttö
T	Moderni ulkonäkö
T	Helposti valmistettavissa
T	19 mm hydraulikka letkujen käyttö
V/T	Mekaniikka
V	Täysin mekanisoitu
V	Liikuttaa venttiiliä 25 mm
V	Helpot säätömahdollisuudet
V	0,2 mm säätötarkkuus
V	Venttiilin ja letkujen kestävä vähintään 5 MPa
T	Standardoitujen osien suosinta
V	Vähän kitkapintoja
V	Riittävän suuri venttiiliin kohdistuva voima
V	Kestää sylinteristä tulevan voiman
V	Synkronisoitu liike koneen kanssa
V/T	Sijoittelu
V	Mahdollisimman vähän tilaa vievä
V	Mahdollistaa putkien ja letkujen vedon ilman turhia mutkia

3.1.2 Abstrahointi

Abstrahoinnissa tarkoituksena on kiteyttää vaatimus- ja toivelistasta kuvaamaan mekanismin toimintaa yleispätevästi. Tämä saadaan tehtävästä esille analysoimalla vaatimuslistasta toiminnolliset riippuvuudet sekä tehtävälle ominaiset oleelliset

reunaehdot samanaikaisesti askelittaisen abstrahoinnin kanssa. (Phal & Beitz, 1990 s. 74)

1. Askel: Jätetään ajatuksissa toivomukset pois.
2. Askel: Jätetään sellaiset vaatimukset pois, jotka eivät välittömästi koske toimintaa ja oleellisia ehtoja.
3. Askel: Määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi ja supistetaan oleelliseen pitäytyviksi lausumiksi.
4. Askel: Laajennetaan mielekkäästi tähän saakka tunnettua.
5. Askel: Muotoillaan ongelma ratkaisuun nähden neutraalisti.

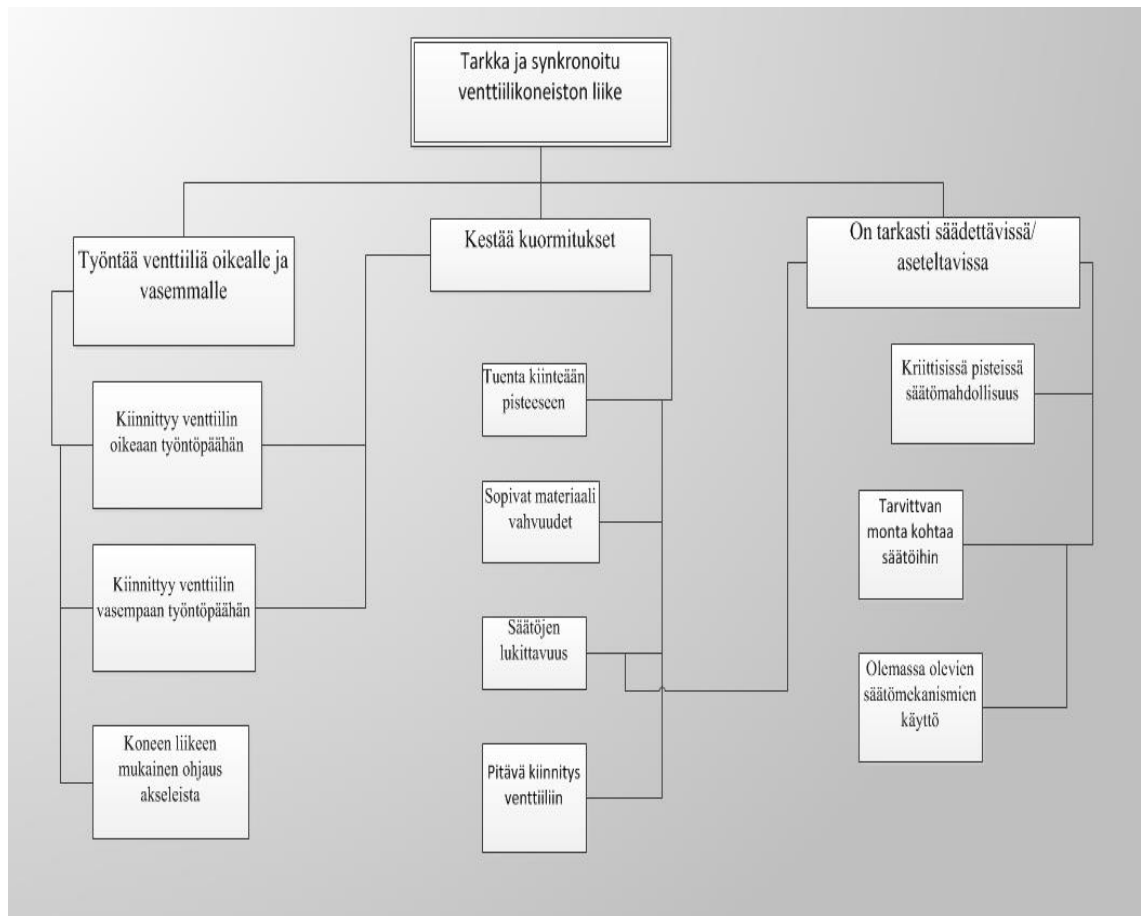
Tehtävästä ja vaatimuslistan laajuudesta riippuen voidaan joitakin askeleita jättää pois. (Phal & Beitz, 1990. s. 74) Tästä pitäisi viidennen askeleen jälkeen syntyä lyhyt lause, joka toimii suunnitteluprosessissa ikään kuin punaisena lankana ja jonka ympärille on helppo rakentaa lihat seuraten valmiita polkuja.

Tämä mekanismi abstrahoituna: mekanismi liikuttaa karaventiiliä päästäten veden oikeaan paikkaan, oikeaan aikaan ja näin ollen mahdollistaen koneen liikkeen.

3.1.3 Mekanismin toimintorakenne

Mekaniikan toimintorakenne määritellään kahteen osaan; päätoiminto ja sivutoiminto. Päätoiminto määrää pääsääntöisesti rakenteen käytön ja toiminnan mahdollistavat tekijät. Sivutoiminnot puolestaan liittyvät päätoimintoon ja täydentävät sitä. Mekanismin päätoiminto ja sivutoiminnot yhdessä aikaansaavat koneen toimimisen oikealla tavalla ja tästä seuraa kokonaistoiminto. Joskus myös toimintorakenteeseen lisätään tulevaisuuden toimintokohta, jossa otetaan huomioon tekniikan ja mekanismien kehitys. Nämä ovat lisättävissä suunnitelmaan ilman kallista uudelleen suunnittelua.

Toimintorakenteen kuvaamiseen käytetään usein vuokaaviota, johon piirretään mekanismin pää- ja sivutoiminnot ja niitä yhdistävät tekijät. Nämä toiminnot yhdistetään toisiinsa viivoilla, josta on helposti luettavissa mekanismiin vaikuttavat tekijät. Kuvassa 6 on tämän venttiilikoneiston toimintorakenne esitettyä vuokaaviona.



Kuva 6. Venttiilimekanismin toimintorakenne vuokaaviona.

3.1.4 Ideointi ja ideamatriisi

Ideoinnin ja ideamatriisin tarkoitus on kartoittaa kaikki mieleen tulevat ratkaisut osatoiminnoille ja geometrioille. Aivoriihen jälkeen ja ideoiden synnyttyä on hyvä piirtää taulukko teksteillä tai eräänlainen matriisi, johon ideat pelkistetään viivapiirroksilla jotta ratkaisuvaihtoehtojen havainnollistaminen paranisi. Näistä vaihtoehtoista kerätään toimintokokonaisuuksia ja niistä kirjataan hyvät ja huonot puolet. Lopuksi valitaan kokonaisvaltaisesti parhaimmat/paras vaihtoehto, joka viedään jatkokehitykseen.

Ideoinnissa on otettava huomioon se, että kandidaatin työ tehdään yksilötyönä ja varsinkin tämä välivaihe vaatisi intuitiivista työskentelyä. Kuitenkin ideointi alkoi komponenttien mekaanisten toimintojen miettimisestä ja jo valmiiden komponenttien mahdollisesta sijoittelusta toisiinsa nähden kokoonpanossa. Tämän jälkeen alkoi paperille luonnostelu ja aivoriihi siitä, mitkä voisivat olla hyviä vaihtoehtoja mekanismin eri osa-alueisiin. Tärkeimmäksi osaksi ideoiden kehittämisessä muodostui

kuitenkin koneen liikkeiden hyödyntäminen, niiden muuttaminen oikean suuntaiseksi voimiksi venttiiliin nähden sekä mahdollisten säätömekanismien sijainti ja paikka. Nämä seikat ohjaavat vahvasti komponenttien sijoittelua. Sijoittelu on tilankäytön kannalta tärkeä asia, mutta se ei ole määräävä rakenteen toiminnallisuuden kannalta. Ideoinnissa jokainen ajatus johti aina rakenteen tukevuutta, huollettavuutta ja säädettävyyttä koskeviin seikkoihin ja tähän ratkaisuksi syntyi jo aiemmin mainittu pyrkimys suosimaan jo valmiina olevia ja standardisoituja niveliä sekä tankoja. Kuitenkin monta vartenotettavaa ideaa karsiutui jo heti alkuvaiheessa koneen haastavan rakenteen ja pelkän mekaniikan käytön takia pois. Itse ideamatriisi taulukko 2 syntyi neljästä eri osa-alueesta, säätömekanismista, ohjauksesta, voiman välityksestä ja venttiilin tuennasta.

Taulukko 2. Ideamatriisi.

Osa/Toiminto	A1 1	A2 2	A3 3	A4 4
B1 Säätömekanismi	Lautas mallinen säätö. Kuppin ja pinnan väliin eripaksuisia lautasia	Ruuvissäätö. Ruuvia työnnetään ulospäin tai vedetään ja lukitaan mutterilla	Jousisäätö. Jousi pitää automaattisesti oikean jännityksen.	Vaihdeavilla eripituisilla tangoilla
B2 Ohjaus	Mäntien kiertokampien päistä. Koneen äärlaidasta	Hammaspyörillä voiman ulos otosta	Kampiakseleista nokka-akseleilla	Epäkeskolla
B3 Voiman välitys	Keinuvivuilla	Työntötangoilla	Olkanivelillä	
B4 Tuenta	Pulteilla Kiinteään rakenteeseen	”Kehto” rakenteella koneeseen		

Ideoista syntyi varteenotettavia kokonaisuuksia kaksi kappaletta.

1. Ruuvisäätöinen keinuvivuilla ja työntötangoilla välitetty voima, joka on tuettu koneeseen. Venttiilissä on omat tuennat koneeseen, jolloin se kestää paikallaan ulommaisista männistä aiheuttavan voimansiirron ansiosta.
2. Lautassäädöllinen, jonka ohjaus on otettu kampiakseleista ja välitetty venttiilille nokka-akselien, työntötankojen ja keinuvipujen avulla. Venttiili on kiinnitetty heti koneen viereen kiinteään rakenteeseen.

Molemmissa osakokonaisuuksissa ovat hyvät ja huonot puolensa, mutta vaihtoehdossa numero kaksi on hyvin monimutkainen mekaniikka verrattuna ensimmäiseen. Se johtaa korkeampaan todennäköisyyteen vioittua ja korkeampiin kustannuksiin. Lisäksi tässä vaihtoehdossa tulee huomattavasti yli 90^o kulmia, jotka ovat heikkoja nyrjähdys riskin takia.

Ensimmäinen vaihtoehto on hyvin yksinkertainen ja suoraviivainen mekanismi, joka tarvitsee hyvät viputuennat, sillä vivustot tulevat tässä osakokonaisuudessa olemaan ylhäällä ja ilman koneen lohkojen tai kiinteän pinnan tukea. Tämä vaihtoehto on myös ulkonäöllisesti hyvä ja vaihtoehdon säätömahdollisuudet ovat huomattavasti paremmat kuin ensimmäisen.

Palaamalla suunnitteluprosessissa takaisin vaatimuslistaan, voidaan todeta molempien vaihtoehtojen täyttävän vaatimuksia ja osan toivomuksista. Kuitenkin vaihtoehto numero kaksi täyttää nämä huomattavasti paremmin kuin ensimmäinen, joten jatkokehittely pohjautuu tämän suunnitelman pohjalle.

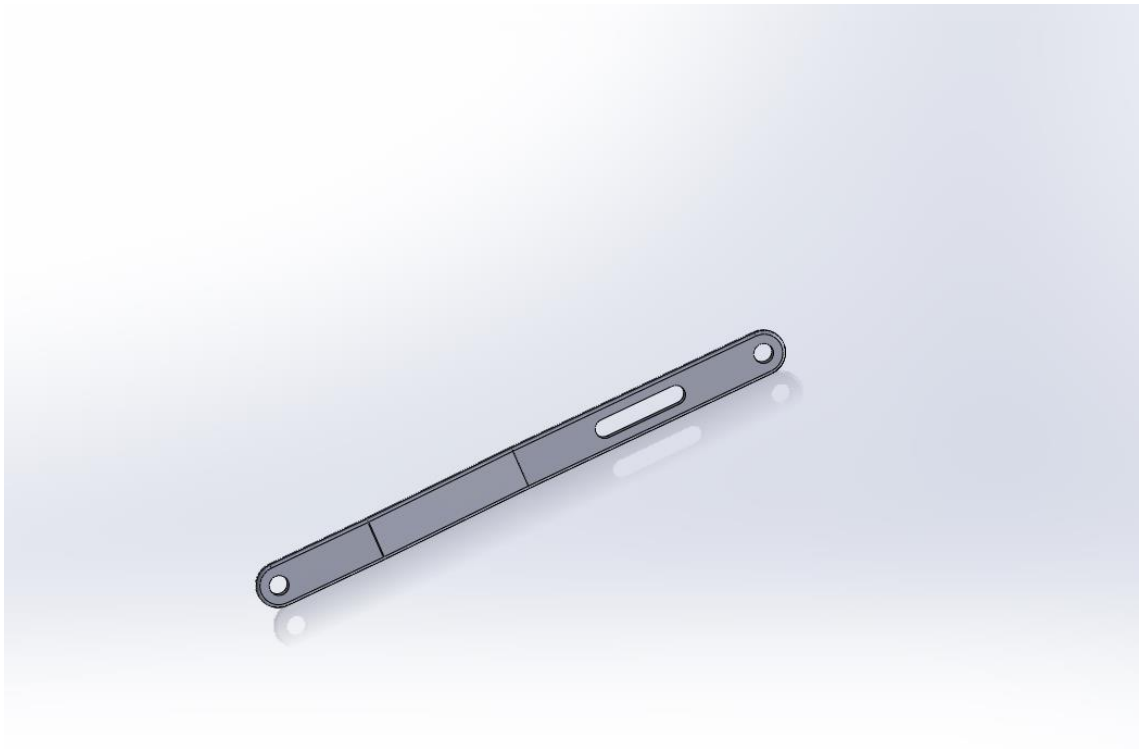
3.1.5 Jatkokehittelyyn valittu ratkaisumuunnelma

Ideat pyörivät mielessä aikansa, mutta jatkosuunnitteluun pääsi ensimmäinen vaihtoehto. Tärkeimmät kriteerit olivat mekanismin yksinkertaisuus, helppo huollettavuus ja tukevuus. Tämän lisäksi pieni tilantarve ja visuaalisuus nousivat tärkeiksi seikoiksi heti mekaanisten toimintojen jälkeen. Jälkimmäisistä kriteereistä johtuen venttiilin toiminnallisesti paras sijoituspaikka on koneen päällä, minkä takia sille on suunniteltava tukirakenne. Alustavasti ajatuksena on ollut eräänlainen kehto, joka kiinnitetään venttiilin runkoon ja voidaan ruuvata koneeseen tukevasti kiinni.

Venttiilin ohjausmekanismi kiinnitetään koneen ääripäässä sijaitseviin männänvarsiin ja sille rakennetaan tukeva rakenne käyttäen hyväksi luistinrakenteita ja tappiniveliä. Rakenteeseen tulee kaiken kaikkiaan kolme työntötankoa, josta kaksi välittää voimia ja viimeinen tukee entisestään rakennetta. Mekanismin parhaimmaksi säätökohdaksi muodostui venttiilin akselin ja viimeisen työntötangon välinen liitos, joka mahdollistaa ruuvilla toimivan tarkan säätömekanismiin.

3.2 Ratkaisumuunnelman kehittäminen

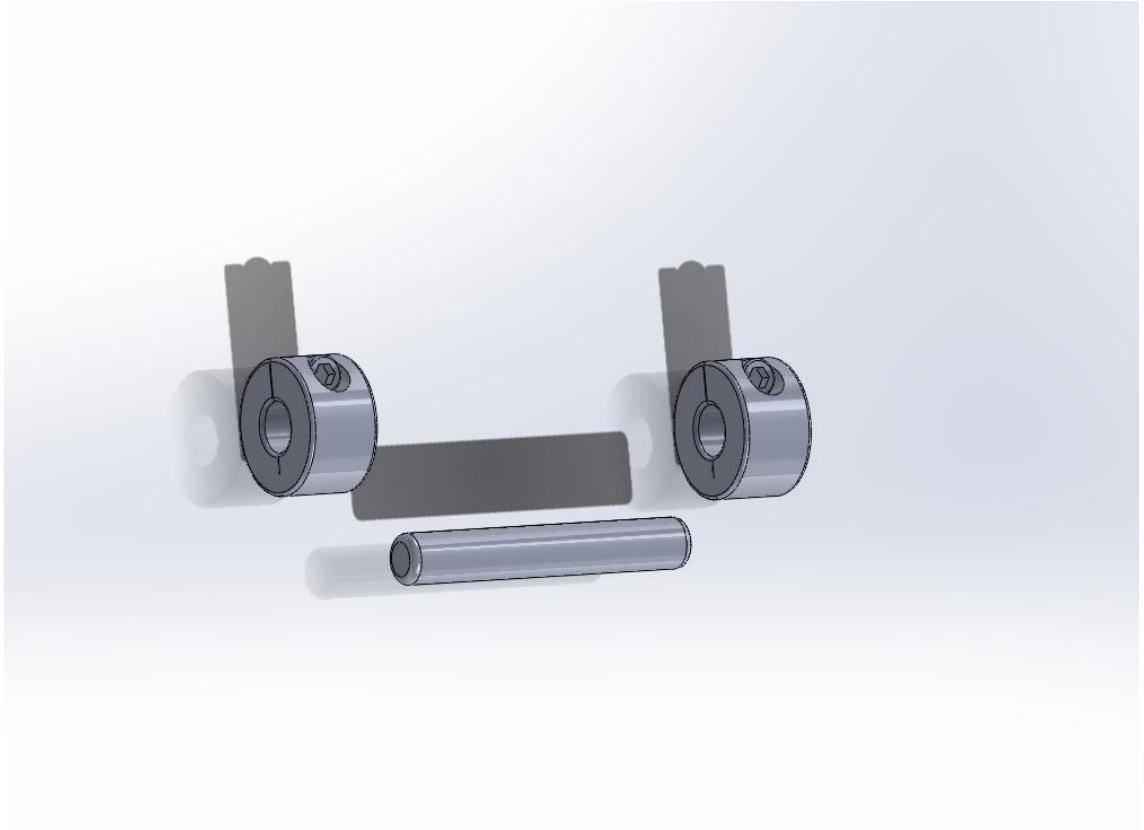
Mallintaminen alkoi valmiin koneen lohkon mittojen ottamisesta ja suunnitelmasta käyttää samoja tankoprofiileja, mitä on käytetty aiemmin. Kuvassa 7 on ensimmäiset tangot, joita lopulliseen kokoonpanoon tulee neljä kappaletta. Näistä kaksi on kuvan mukaisen tangon peilikuvia. Tangon reiät ja pitkittäinen lovi on mitoitettu 6 mm työntötapeille, siten että tapin ja tangon väliin jää 0,2 mm voitelu- ja liukumavaraa.



Kuva 7. Ensimmäinen venttiilitanko.

Kuvien valmistuttua mitailtiin ja suunniteltiin mihin asentoon nämä vinot tangot olisi järkevintä asettaa. Visuaalisista syistä parhaimmaksi vaihtoehdoksi tuli sijoittaa ne noin 45 asteen kulmaan. Vaihtoehtoinen sijoittelu olisi ollut pystysuoraan tai takakenossa.

Tämä tanko yhdistyy vaakatasossa olevaan työntötankoon, jolloin liikerata saadaan nivelen ja liitoskappaleen ansiosta muuttumaan vinosta liikkeestä vaakasuoraksi. Nivel on rakennettu yksinkertaisesta tapista ja lukitusrenkaista, jotka yhdessä tukien ja 0,2 mm välyksien kanssa toimii hyvänä liukusaranana. Nämä ilmenee kuvasta 8.



Kuva 8. Tappi ja lukitusrenkaat.

Tappi on mallinnettu ISO 2338 standardin mukaisesti, joka antaa 6 mm tapille 15° kulman päihin sekä pituusvaihtelun 12 mm aina 60 mm asti (Valtanen s. 706). Lukitusrenkaat puolestaan ovat standardin mukaisia osia, joita ei tarvitse itse valmistaa.

Tukirakenteet tälle nivelelle ja venttiilikoneistolle olivat haastavia, sillä tukirakenteenkin olisi oltava helppo valmistaa. Samalla sen tulisi olla tukeva, mutta silti visuaalisesti toimiva. Kuvasta 9 nähdään, että tukirakenteessa päädyin putkiprofiilin ja levyprofiilin käyttöön, sillä 90° asteen kulma kiinnityspisteissä ja sen valmistaminen lattaprofiilista tulisi olemaan hyvin haasteellista. Lisäksi kuvasta 9 voidaan huomata, miten alapuolen kiinnityspiste on suurempi kuin yläpuolen, tämä johtuu siitä että fiksuin paikka tuentarakenteen kiinnitykselle oli koneen sylinterinkannen kiinnitysmutterissa.

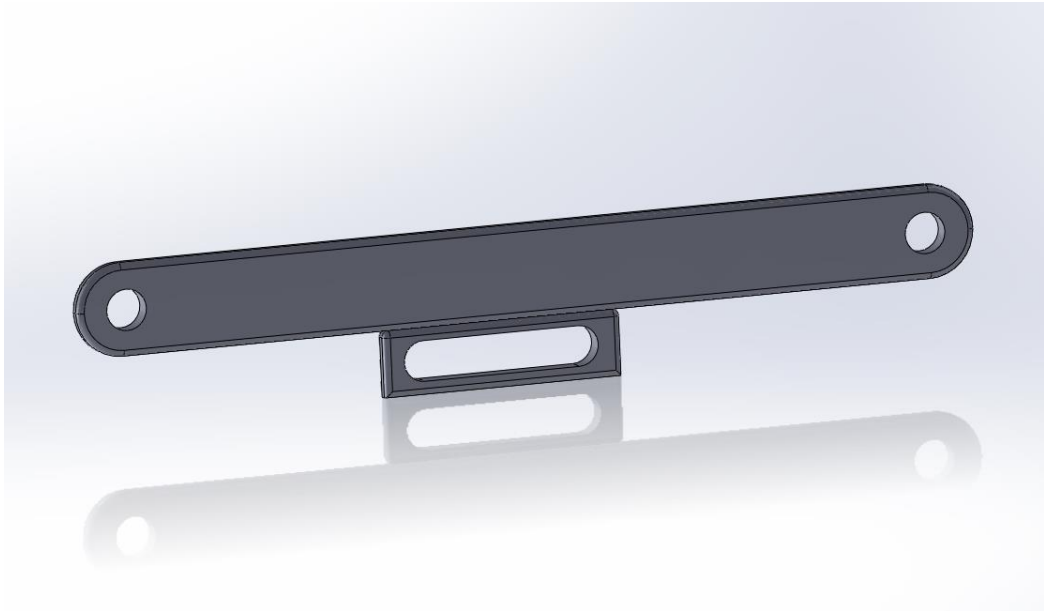
Tästä johtuen tukirakenne on mallinnettu toimimaan myös aluslevynä M8 kiinnitysmuttereille.

Näitä tukielementtejä tulee lopulliseen kokoonpanoon neljä kappaletta, kaksi peilikuvaa ja kaksi kuvan 9 mukaista.



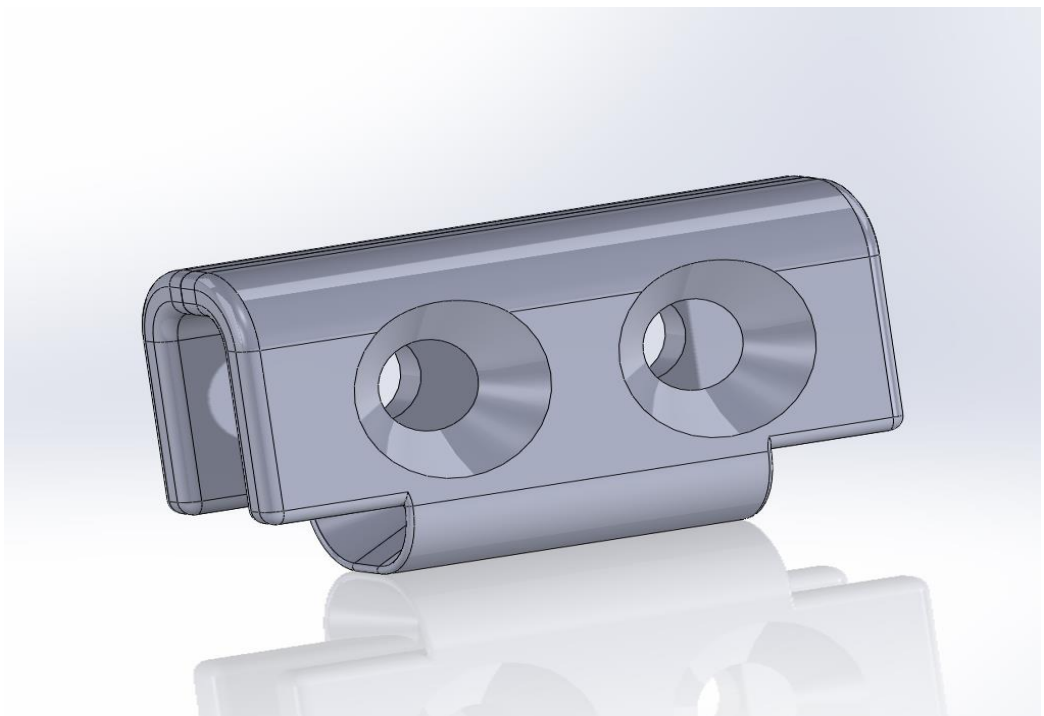
Kuva 9. Venttiilirakenteen tuki.

Edellä mainittu vaakasuora poikkitanko, kuva 10, yhdistää nivelen ja venttiin. Tässä poikkitangossa on niin ikään 6 mm tapille mitoitettut suorat reiät ja pitkittäinen lovi, joka mahdollistaa vielä yhden tangon kiinnityspisteen. Kokonaisrakenne pitää sisällään kaksi vaakasuoraa tankoa.



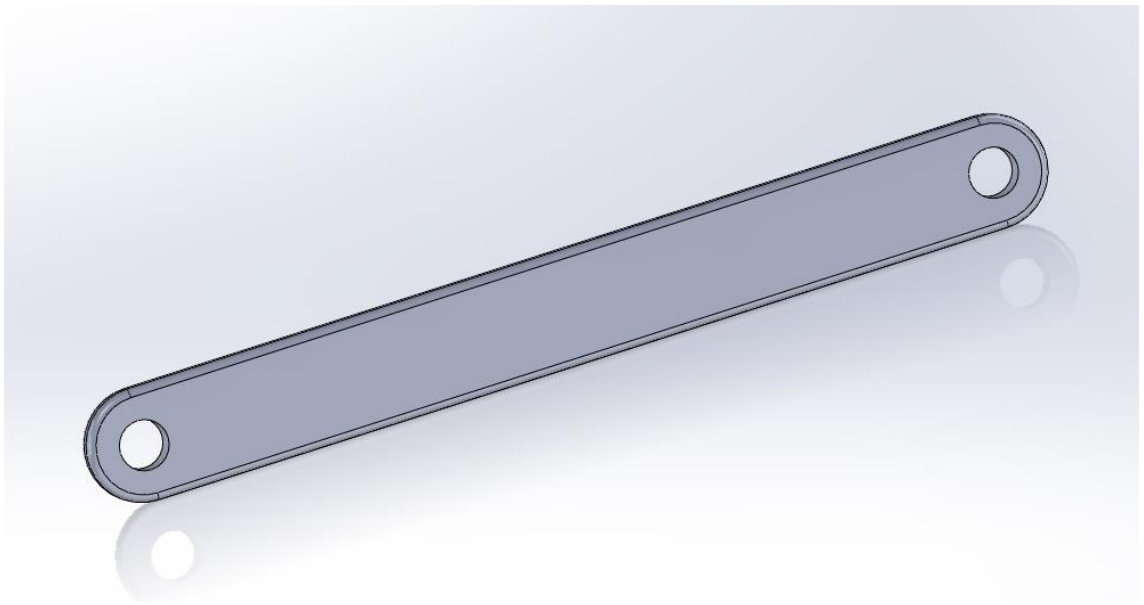
Kuva 10. Vaakasuora venttiilitanko.

Tämän vaakasuoran tangon ja vinon tangon välillä on nivel, jota varten jouduttiin suunnittelemaan erityinen nivelkappale. Nivelen täytyy pitää tangot oikeassa asennossa liikkeen ajan. Kuvasta 11 voidaan nähdä nivelkappaleen malli, joka kiinnittyy molempiin tankoihin M6 uppokantaisilla kuusiokoloruuveilla ja muttereilla. Lopulliseen kokoonpanoon näitä nivelkappaleita tulee kaksi kappaletta



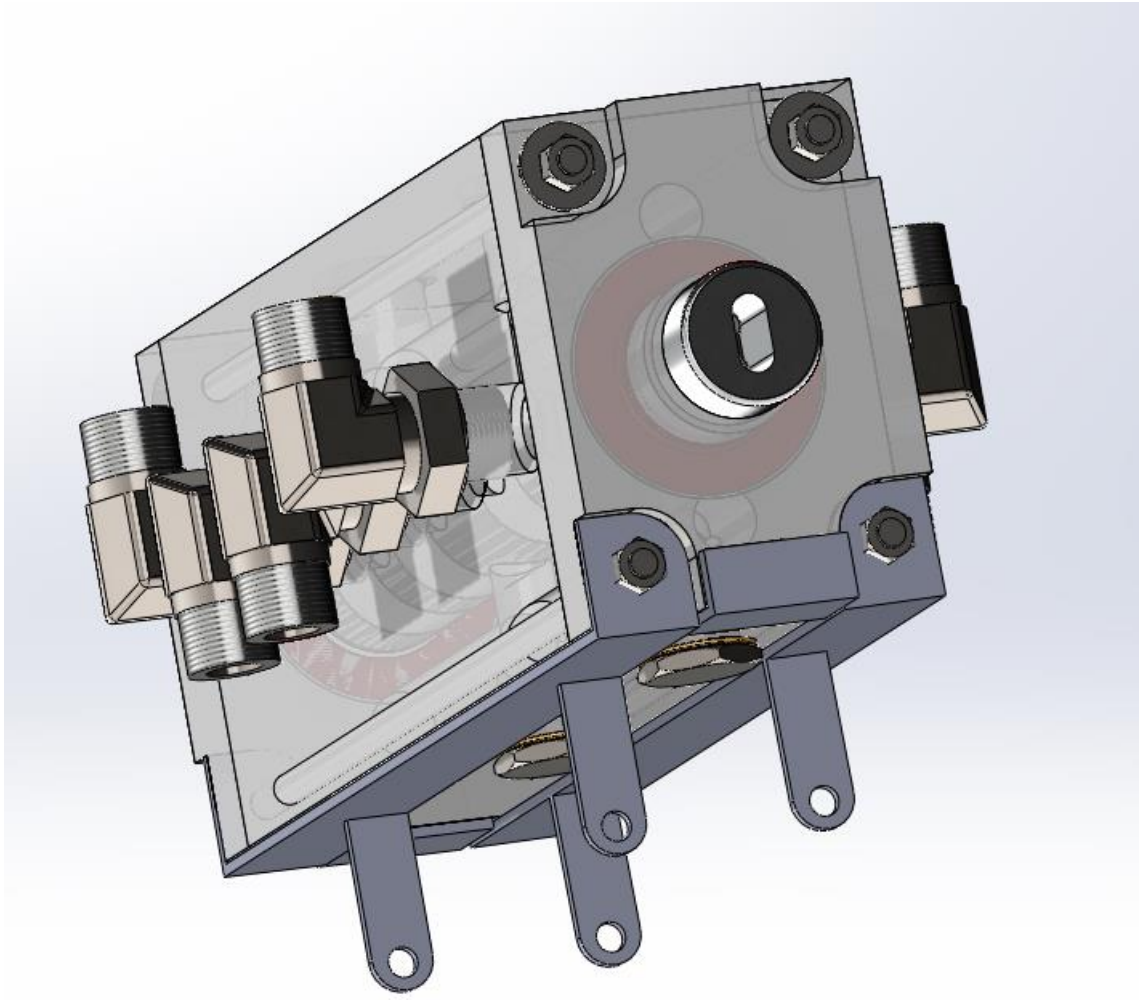
Kuva 11. Nivelkappale.

Viimeinen mekanismin tuleva tanko, kuva 12, on poikittainen tanko, jonka tarkoituksena on yhdistää nivel ja vaakasuora tanko tehden näin toisen luistinrakenteen. Tämän tangon pääsääntöinen tarkoitus on rajoittaa vaakasuoran tangon vertikaalista liikettä ja parantaa mekanismin horisontaalista liikettä. Samalla tämä tanko myös tukee rakennetta entisestään. Rakenteeltaan tanko on hyvin yksinkertainen - siinä on 6mm reiät päissä sekä tässä käytetään samaa profiilia kuin muissakin tangoissa.

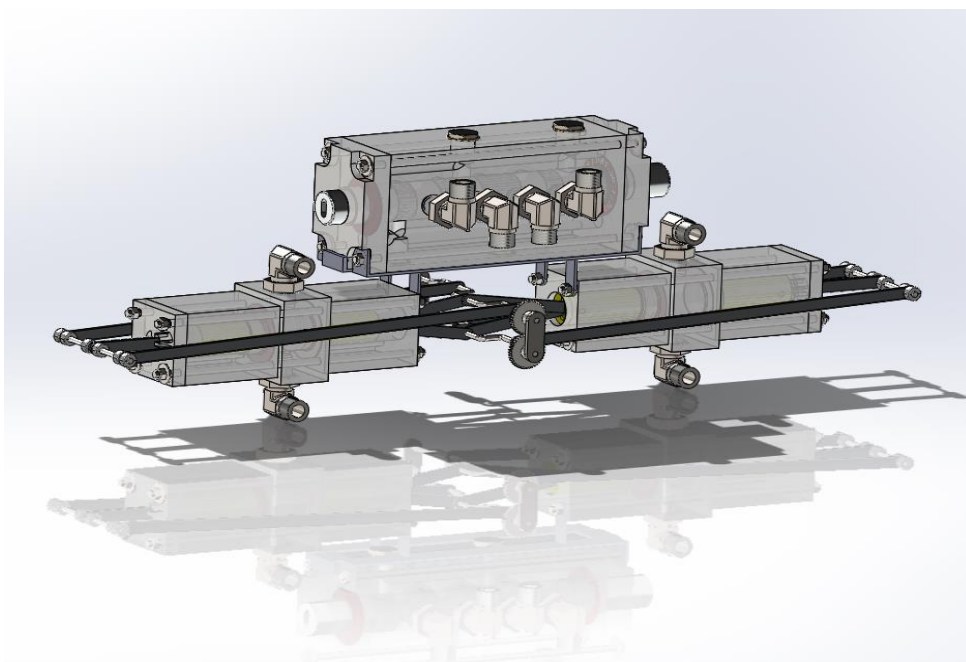


Kuva 12. Poikkitanko.

Seuraavaksi tarkempaan käsittelyyn tuli venttiilin sijoittelu sekä tukirakenteen suunnittelu. Kokoonpanokuvasta 13 voidaan nähdä, että tämä onnistui hyvin helposti muotoilemalla venttiilin muotoja ja hyväksikäyttämällä jo valmiiksi olevia pultteja ja tukipisteitä. Kuvasta voidaan myös huomata, miten aluslevyt on poistettu muttereiden alta. Tällöin ranne toimii myös tässä tilanteessa omana aluslevynään. Materiaalin profiilina toimii hyväksi todettu lattaprofiili, mutta pitkittäistuet ovat 15 mm leveämmät kuin muissa. Tämä johtuu venttiilikopan kansissa olevista muodoista, jotka halusin muotoilla tukiraidoilla. Tukirakenteen alapään neljä reikää kiinnittyy koneen sylinterien pultteihin, jolloin venttiilirakenne pysyy tukevasti koneen yläpuolella kiinni, kuva 14.

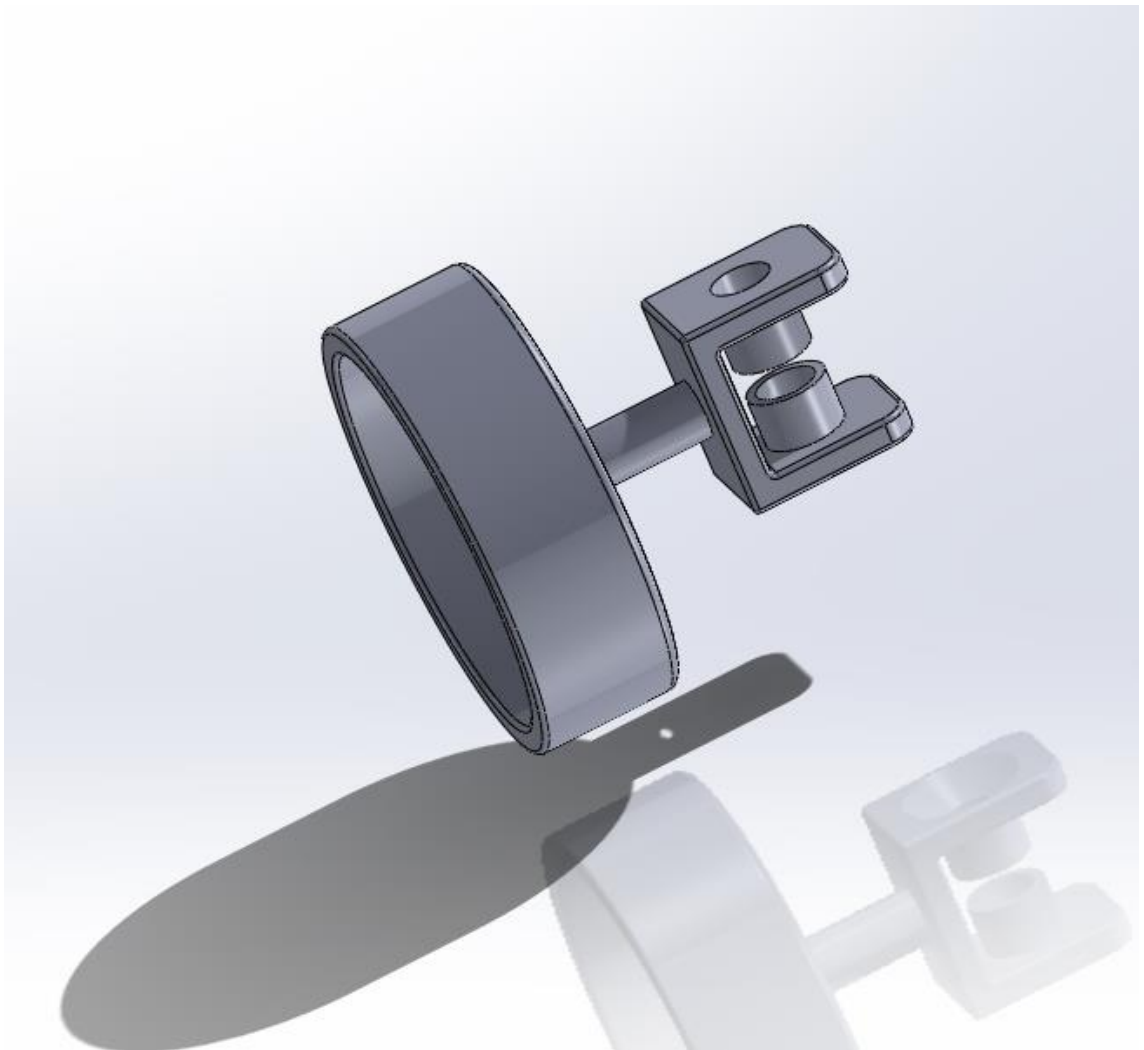


Kuva 13. Venttiilin tukirakenne.



Kuva 14. Venttiilin sijainti koneeseen nähden.

Venttiilin ja venttiilikoneiston väliin rakentui kuvan 15 mukainen liitoskappale. Tämä liitos koostuu lieriöstä, ruuvista ja haarukasta. Lieriö kiinnittyy venttiilin akseliin ja sitä pyörittämällä suuntaan tai toiseen voidaan liikuttaa ruuvia. Haarukka kiinnittyy poikittaiseen työntötankoon, jolloin tämä mekanismi toimii parhaana säätönä koneistolle. Ruuvi on M6 kierteinen ja se voidaan tarvittaessa lukita mutterilla lieriöön. Haarukassa olevat holkit toimivat eräänlaisina laakereina ja samalla sovitteina tangolle.



Kuva 15. Liitoskappale ja säätömekanismi.

3.2.1 Materiaalivalinnat

Venttiilimekanismin materiaalivalinnat on tehty rakenteen kestävyyttä ja valmistettavuutta silmälläpitäen, mutta kuitenkin huomioiden projektin luonteen prototyypinä.

Venttiilin työntötangoille järkevinä materiaalivaihtoehtoina olisi rakenneteräsprofiili tai alumiiniprofiili. Parafitin tuoteluettelosta löytyy alumiininen vakio lattaprofiili tuotenumeroilla 5141 mitoilla 15 mm x 3 mm. Tämä soveltuu käyttötarkoitukseen hyvin, vaikka malleissa on käytetty 14 mm x 3 mm mallista profiilia (Parafit, 2013. s. 1) Rakenneteräsprofiili löytyy Ruukin luettelosta, mutta heidän varastovalikoimasta ei löydy kuin 13 mm x 3 mm tai 16 mm x 3mm S235: EN 10204-2.2 mukaista terästä (Ruukki, 2013. s.36). Tankomateriaaliksi sopisi molemmat, mutta ottaen huomioon prototyypin luonteen on alumiininen profiili järkevämpi ratkaisu.

Liitostapit voidaan valmistaa kaikki kirkkaasta pyörötangosta, jota Ruukilta löytyy varastotuotteena 6mm S355J2C+C (Ruukki, 2013. s. 40). Toinen vaihtoehto on S235JRC+C teräs, mutta koska kyseisen tappirakenteiden on pidettävä mekanismia kasassa ja toimittava nivelinä, niin kestävämpi S355J2C+C on huomattavasti parempi valinta. Tämä materiaali on järkevä valinta, koska se on halpaa, kestävä ja helposti työstettävää.

Säätömekanismin lieriöosa voitaisiin valmistaa esimerkiksi EN-GJL-250 valuraudasta, mutta valurautamuottien valmistaminen ei ole pelkän prototyypin takia kannattavaa korkeista kustannuksista johtuen. Tästä syystä nämä osat voidaan tehdä Ruukilta löytyvästä S355J2C+C 45mm halkaisijalta olevasta pyörötangosta. Mekanismin ruuvien osa valmistetaan samasta teräksestä kuin liitostapit eli S355J2C+C 6mm ja haarukkaosa S235JR teräksestä. (Ruukki, 2013, s. 36-40)

3.3 Kustannusarvio

Alustavien suunniteltujen rakenteiden ja materiaalivalintojen jälkeen tehtiin venttiilimekanismille kustannusarvio. Valmistuskustannusten laskemisessa on käytetty taulukon 3 mukaista tuntihinta kaaviota. Venttiilimekanismin työntötankojen ja venttiilin tuentojen valmistaminen tapahtuu levytyökeskuksella, jonka ansiosta tankoihin saadaan yhdellä kertaa reiät, leikkaukset ja taivutukset paikalleen. Tämän tuntihinta on 146 €/h ja aikaa tähän menee arviolta noin kaksi tuntia, joka tekee kokonaishinnaksi 292 €. Sorvaukset säätömekanismeihin, tappeihin ja soviterenkaisiin on järkevintä vielä prototyypivaiheessa suorittaa manuaalisorvilla. Tämä työstötapa vie hieman enemmän aikaa kuin automaattinen Puma 2500 Y keskus, mutta tässä sorvari kykenee tilanteen mukaan muokkaamaan kappaleita sopivammiksi koneeseen.

Manuaalisorvin konetuntihinta on 4 €/h kun taas Puma 2500 Y hinnaksi tulee 39 €/h, joten tämänkin puolesta prototyyppiin on kannattavampaa käyttää manuaalisorvia. Sorvin käyttöaika on vaikea arvioida tarkasti, laskien karkeasti yläkanttiin tämä ottaisi noin 15 h. Tämä tarkoittaa sorvin kokonaishinnaksi 60 €. Kokonaisuudessaan venttiilikoneiston valmistuskustannukset tulisi olemaan noin 352 €.

Taulukko 3. Työkoneiden tuntihinnat (Selesvuo, 2013)

Konetuntihinnat	
	€/h
Levytyökeskus LP6	148
Kitamura	92
Puma 2500 Y	39
Leadwell FMC-1	22
Manuaalijyrsinkone	7,7
Manuaalisorvit	4

Materiaalikustannuksiin puolestaan on käytetty Ruukin materiaalihintoja ja Parafit Oy:n ohjehintoja. Taulukkoon 4 on kerätty kaksi materiaalivaihtoehtoa ja materiaalien kilohinnat jokaiselle osalle erikseen. Taulukosta löytyy tarvittavat metrimäärät kutakin profiilia, sen mitat ja materiaali. Tästä voidaan laskea kaksi erilaista kustannusarviota venttiilikoneiston materiaalikustannuksiin, joista materiaali 1 mukaan on 3,63 € ja materiaali 2 mukaan on 1,59 €.

Taulukko 4. Kustannusarviossa käytetyt terästen kilohinnat.

Osa	Materiaali 1	Hinta arvio 1	Materiaali 2	Hinta- arvio 2	Profiili	Määrä (metreissä)
Työntötanko	AW 6082 T6	2.90 €/m	S235JR	0.32 kg/m 1.8 €/kg	3mm x 15mm Latta	0.72m
Liitostappi	S355J2C+C	0.22 kg/m 2.25 €/kg	S235JRC+C	0.22 kg/m 2,00 €/kg	6mm pyörötanko	0.152m
Säätölieriö	S355J2C+C	12.5 kg/m 1.59 €/kg	GJL-250		45mm onto lieriö	0.05m
Säätöruuvi	S355J2C+C	0.22 kg/m 2.25 €/kg	S235JRC+C	0.22 kg/m 2,00 €/kg	M6 kierre	0.04m
Haarukka	S235JR	0.32 kg/m 1.8 €/kg			3mm x 15mm latta	0.164m

Valmistuskustannukset ja materiaalikustannukset yhdistämällä saadaan venttiilikoneistolle karkea kustannusarvio, joka on ensimmäisen materiaalin mukaan 355,63 € tai halvemman materiaalin mukaan 353,59 €.

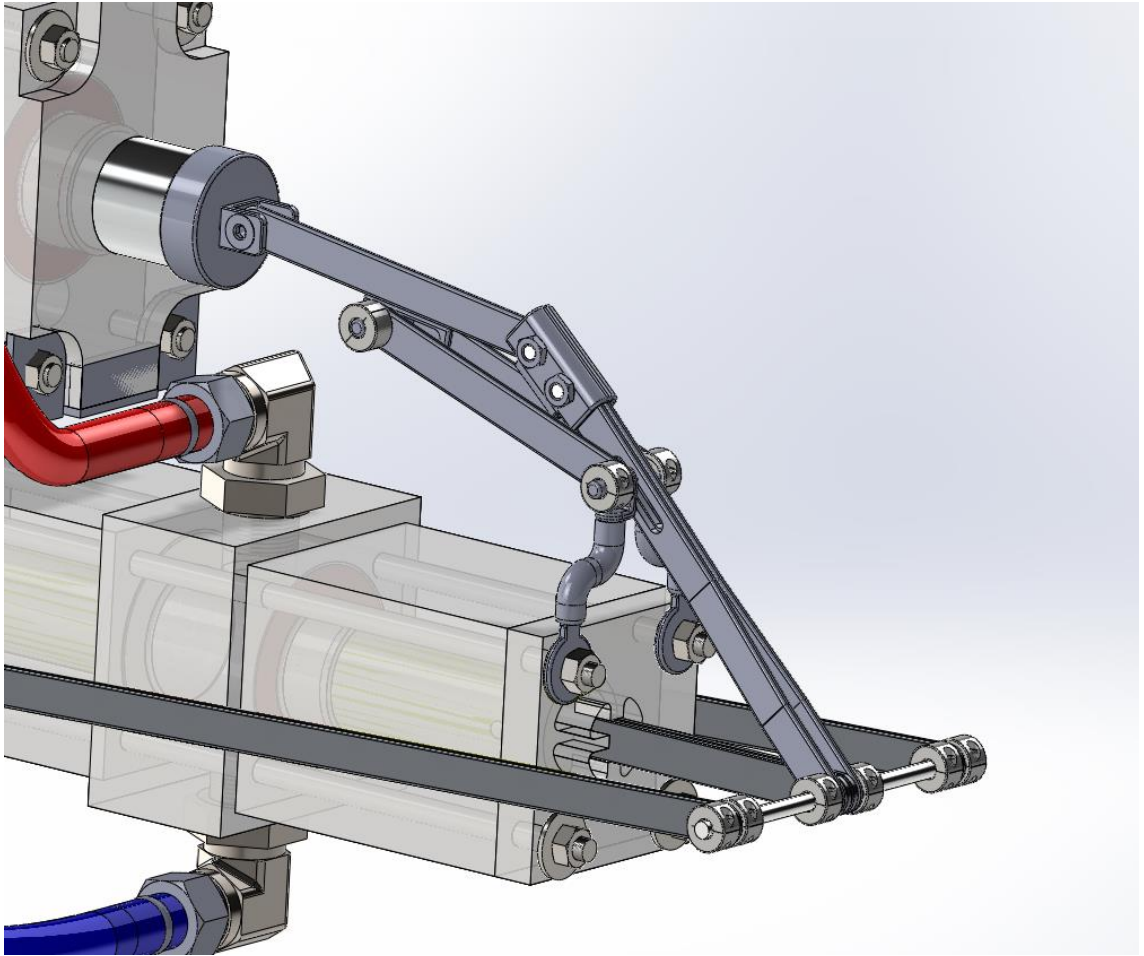
3 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa on käsitelty tuloksien luotettavuutta, myös virhelähteiden ja niitä seuraavien merkityksien kautta.

Kappaleessa 4.1 tarkastellaan koneen toimintaa, analysoidaan koneen kokoonpanokuvia ja tehdään lisäyksiä kappaleen 2 johdantoon.

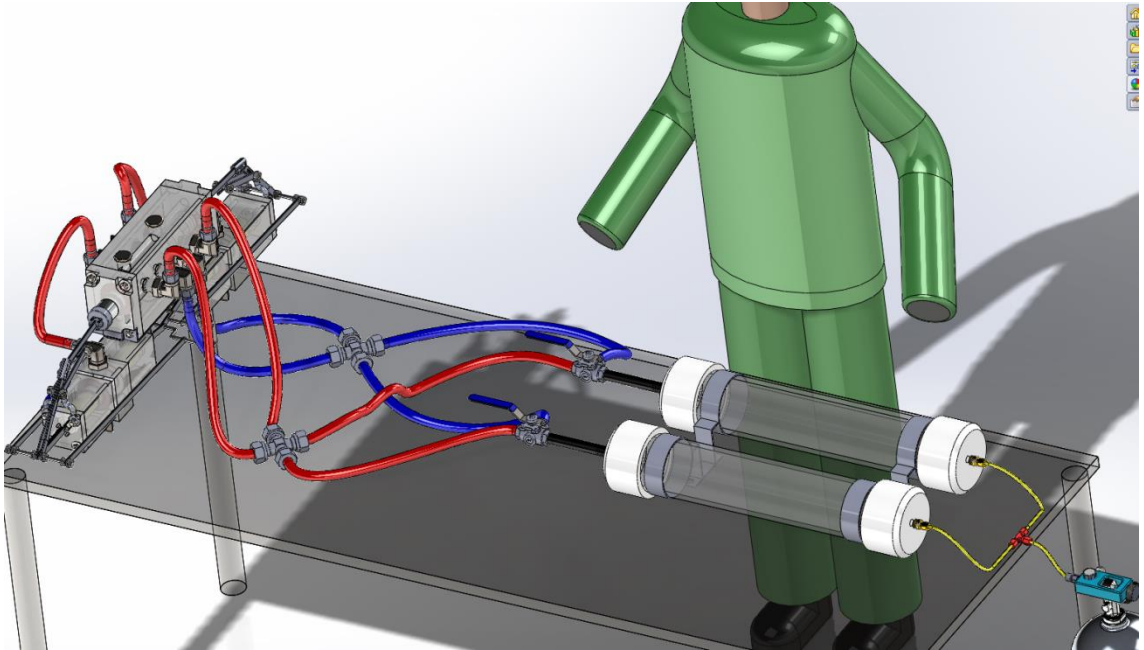
4.1 Koneen toiminnan tarkastelu

Venttiilikoneiston lopputulos on juuri sitä mitä kohdassa 3.1.5 jatkokehittelyyn valitussa ratkaisumuunnelmassa pohdittiin. Kuvasta 16 voidaan nähdä lopullinen lopputulos siitä, miten ja mihin mekanismi on kiinnitetty. Mekanismin toiminta käyttää hyväkseen koneen omaa liikettä. Kuvassa 16 mäntä on alakuolokohdassa. Kun se liikkuu ylöspäin, liikkuvat työntötangot ja luistit eteenpäin, jolloin se työntää venttiilin akselia eteenpäin liikuttaen sen toiseen asentoon. Tämä sama tapahtuu koneen toisella puolella, mutta vain vastakkaisuuntaisesti.



Kuva 16. Venttiilikokoonpano.

Koneen toiminta on selitetty kohdassa 2 hyvin yksityiskohtaisesti, mutta kuva 1 ei vastaa täysin todellista kokonaisuutta. Kuvassa 17 voidaan nähdä komponenttien sijoittelua toisiinsa nähden totuudenmukaisemmin. Lisäksi kuvasta voidaan nähdä miten komponentit liittyvät toisiinsa ja mitä mittasuhteita on olemassa kokonaisuudelle. Nesteet liikkuvat koneessa ja tankeissa letkujen välityksellä. Kuvassa 17 on havainnollisista syistä paineletku väritykseltään punainen ja paluuletku sininen. Yhdisteputket ovat puolestaan väriltään mustia ja paineilmaputket keltaisia.



Kuva 17. Kokoonpanokuva.

Lopputuloksen arviointi kuitenkin ilman konkreettista konetta on vaikeaa. Pääosin laitteen erikoisuuden vuoksi koneen toimivuudessa tulee eteen vielä haasteita, joita on ratkaistava kokoonpanovaiheessa ja mahdollisesti muutettava rakenteita toiminnallisemmiksi.

Mekanismin heikko kohta on työntötankojen välinen liitoskappale. Se on toimiva mutta jos kone jostain syystä ryntää tai saa äkkinäisen iskun, on sillä mahdollisuus nyrjähtää ympäri. Lisäksi koneen rakenteen jokainen nivel tarvitsee pidemmässä käytössä laakeroinnin, josta taas seuraa kaikkien koneen tankojen uudelleen suunnittelu.

4.2 Koneen suunnittelun tarkastelu

Suunnittelun laitteen onnistuneisuutta voidaan arvioida vertaamalla sitä suunnitteluvaiheen alussa laadittuun vaatimuslistaan. Konseptiluontoisena ideana projekti vaikuttaa lupaavalta ennen prototyypin valmistumista. Laitteelle asetetut vaatimukset täyttyvät ja valtaosa asetetuista toivomuksista on saatu toteutettua.

Suunnittelussa edettiin järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmillä ja niinpä yhdeksi virheeksi muodostui intuitiivisten menetelmien käyttö yksilötyönä. Sen seurauksena menetelmiä sovellettiin siten, että pistearviointi jätettiin suunnittelusta pois ja keskityttiin kahden ratkaisun kehittelyyn josta parempi valittiin jatkokehittelyyn.

Lopputulokseen tämän vaiheen pois jääminen ei vaikuta sillä pistearviointimenetelmäkään antamat tulokset eivät välttämättä ole täysin luotettavia, varsinkaan varhaisen koneensuunnittelun vaiheessa (Norton, 2004, s. 13).

Järjestelmällisen suunnittelun vaiheista myös abstrahointi oli turha, sillä tiedot koneesta ja sen tarkoituksesta olivat selvillä hyvin ennen suunnitteluprosessin alkua. Abstrahoinnin tarkoitus väheni merkittävästi ja sen tuloksella ei ollut merkittävää arvoa lopulliseen suunnittelutulokseen.

Suunnitteluprosessissa vastaan tuli useita ongelmia, joita aiheuttivat muun muassa koneen rakenne, valmiit piirustukset ja tietojen puute. Koneeseen piti soveltaa valmiiden osien sijaan itse valmistettuja osia. Kokonaisvaltaisesti toimivan ratkaisun löytäminen oli usein haasteellista. Mäntien liikepituus ja venttiiliin liikuttamiseen tarvittava liikepituus ja näiden eri mitat asettivat haasteita venttiilikoneistolle. Lujuusopillinen laskenta ei ole sitä mitä sen pitäisi olla, sillä lähtötietojen puute venttiilistä, koneesta ja säiliöistä on vajavaista. Lisäksi koneen käyttöventtiilien suunnittelu ja toteutus jää tulevaan, osaksi edellä mainituista syistä ja myös siksi, että kyseisiä venttiileitä ei löydy valmiina tai niiden löytäminen on hyvin työlästä. Kuitenkin venttiilikoneiston osalta vastaan tulleet haasteet on kyetty ylittämään ja kokonaisvaltainen ratkaisu kompromissi löydetty.

4.3 Kustannusarvion tarkastelu

Kustannusarviossa lähdettiin ensisijaisesti tarkastelemaan vain venttiilikoneiston materiaalien hintoja, ei työtä ja kilotavarahintoja. Kuten kohdassa 3.3 on todettu, materiaalien hinta ei ole korkea, mutta hinta-arviossa on otettava huomioon että materiaalitoimittajat myyvät usein tankoja kolmen- tai kuuden metrin pätkissä. Valmistuskustannuksista puolestaan pystyy laskemaan vain karkean arvion, sillä valmistus prosessissa tulee varmasti vastaan ongelmia jotka vaativat ratkomista työn aikana. Tästä johtuen hinnat on laskettu kohdassa 3.3 korkealla varmuuskertoimella. Lopputuloksena kuitenkin ei ole edullinen valmistusprosessi, sillä 355,63 € tai 353,59 € olevat hinta-arviot ovat vasta pelkän venttiilikoneiston hinta ja tähän pitää prototyypin kannalta ottaa huomioon vielä itse koneen, venttiilin ja kilotavaran hinnat.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä suunniteltiin vesikäyttöiseen koneeseen venttiilinohjausmekanismi, järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmillä. Venttiilikoneisto suunniteltiin huollettavuutta ja toimivuutta silmälläpitäen ja suunnittelutyö täytti sille asetetut vaatimukset hyvin.

Suurimpia tulevaisuuden kehitysideoita koko järjestelmälle on painesäiliöiden jälkeiset venttiilit, eli koneen käyttöventtiilit. Niiden tehtävänä on ohjata veden kulkua siten, että toiseen säiliöön tulee paluuvesi ja toisesta lähtee paineellinen vesi sekä tarpeen mukaan säiliöitä vaihdetaan automaattisesti.

Kappaleessa 2.4 käytiin läpi koneen käyttösovellutuksia, mutta uusimmat tämän tyyppiset koneet ovat 1800- ja 1900-luvun vaihteesta, joten näiden lujuusopilliset mitoitukset eivät ole enää nykypäivänä täysin toimivia. Näitä vanhoja sovellutuksia tulisi tutkia tarkemmin sen jälkeen, kun tämän projektin prototyyppi saadaan toimimaan ja siitä saadaan tarkempaa tietoa selville. Käyttösovellutuksien ja lujuusopillisten mallien ollessa varmoja voidaan alkaa selvittämään koneen markkina-arvoa ja myyntikapasiteettia.

LÄHTEET

The museum of retro technology. Julkaisussa: Water engines [verkkodokumentti]. Julkaistu 2009, päivitetty 2.7.2010. [viitattu 9.9.2013]. Saatavissa:

<http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/waterengine/waterengine.htm>

Airila, M. 1993. Mekatroniikka. 3. Painos. Espoo, Otatieto, 367 s.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Porvoo, WSOY, 608 s.

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. Painos. Mikkeli, Genesis-Kirjat Oy, 1176 s.

Kuva 4. [tpub tekniikan www-sivuilta]. Viimeksi päivitetty 7.8.2013. [Viitattu 12.6.2013]. Saatavissa: http://enginemechanics.tpub.com/14105/css/14105_106.htm

Integrated publishing. Julkaisussa: Engine mechanics [verkkodokumentti]. Julkaistu 2012, päivitetty 7.8.2013. [Viitattu 12.6.2013]. Saatavissa:

<http://enginemechanics.tpub.com/14105/>

Varastotuotteet ja esikäsittely palvelut [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): Ruukki Metals Oy, 2013.

[viitattu 7.8.2013]. Saatavissa:

<http://www.ruukki.fi/~media/Files/Stock%20catalogue/Ruukki-stock-products-and-processing-services.pdf>

Vakioprofiilit [www-tuotedokumentti]. (Julkaisupaikka tuntematon): Parafit Oy, 2013. [Viitattu 7.8.2013]. Saatavissa:

www.prafit.fi/hinnastopaivitykset2013/alumiiniprofiili_hinnasto_2013.pdf

Norton, R. 2004. Design of Machinery - An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. Third Edition. New York: McGraw-Hill. 858 s.

Taulukko 3. Selesvuo, J. 2013. Täydennystä kandidaatintyöhöni [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Ville Hakonen (ville.hakonen@lut.fi). Lähetetty 12.9.2013 klo 11:53 (GMT +0200). Liitetiedosto: ”KonetuntihinnatLTY2013.pdf”.