

Tatu-Heikki Haverinen

HYDRAULINEN  
PUUTAVARAKUORMAIN  
ATV-KÄYTTÖÖN

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2014




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  				
<b>Tekijä(t)</b>  Tatu-Heikki Haverinen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Auto- ja kuljetustekniikka				
<b>Nimeke</b>  Hydraulinen puutavarakuormain atv-käyttöön					
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin ja tutkittiin puutavarakuormaimen sovellusta mönkijän metsävaunuun. Opinnäytetyössä perehdyttiin myös hydrauliiikan suunnitteluun, laskemiseen ja sen toteutukseen. Kuormaimen puomeista lasketaan lujuuslaskelmat. Kuormain on tarkoitus valmistaa, joten laskelmat ovat realistisia. Opinnäytetyö tehdään tekijän omaan käyttöön.</p> <p>Tässä työssä lujuuslaskelmat tehdään käsin puomeihin ja niveliin. Hydrauliiikan laskelmat tehdään myös käsin niin pumpun, moottorin kuin myös muun hydrauliiikan osalta.</p> <p>Kuormain on tarkoitus toteuttaa, joten kustannukset on tarkoitus pitää mahdollisimman alhaisina. Opinnäytetyössä lasketaan valmistuskustannukset ja verrataan sitä valmiisiin nosturipaketteihin ja niiden hintoihin. Osa kuormaimen osista hankitaan valmiina valmistuskustannuksista syistä. Hydrauliiikan osat osat pidetään standardimitoissa ja ostetaan valmiina. Kaikki mahdollinen pyritään valmistamaan itse.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  					
<b>Sivumäärä</b>  26	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>  					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Kari Ehnrooth	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  				

## DESCRIPTION

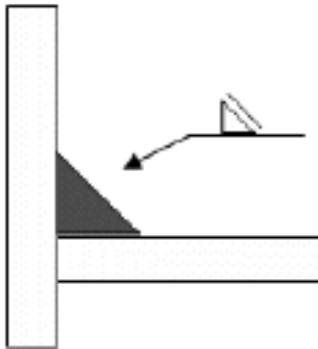
 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Date of the master's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Tatu-Heikki Haverinen	<b>Degree programme and option</b> Automotive and Transport Engineering	
<b>Name of the master's thesis</b> Hydraulic wood loader for ATV		
<b>Abstract</b>  <p>On my thesis I designed and researched timber loader suitability on the ATV wood trailer. I also familiarized on my thesis designing hydraulics, calculation and implementation of it. I calculated the strength for the loader booms. It is purpose to produce the loader so the calculations are realistic. I made this thesis for my own use.</p> <p>On this thesis strength calculations were made by hands for booms and joints. Hydraulic calculations were done by hands for the pump, motor and other hydraulics.</p> <p>It is purpose to produce the loader so I want to keep costs low. I calculated product costs and compared them with the loaders which are for sale. A part of parts were bought ready-made. Hydraulics parts were of standard measures and ready-bought. I did everything I could by myself.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>		
<b>Pages</b> 26	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Kari Ehnrooth	<b>Master's thesis assigned by</b>	

## Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	1
2	YLEISTIETOA MÖNKIJÖISTÄ.....	2
3	PUOMISTO.....	6
4	MATERIAALIN VALINTA.....	8
5	LUJUUSLASKELMAT .....	9
5.1	Pääpuomi.....	9
5.2	Taittopuomi.....	11
5.3	Jatkopuomi.....	12
5.4	Nivelet/liitokset.....	13
	Pääpuomin liitokset.....	13
	Taittopuomin liitokset.....	14
	Jatkopuomin liitokset.....	15
	Laajakulmanivel.....	16
6	HYDRAULIIKKA .....	17
6.1	Hydrauliikkapumppu ja polttomoottori.....	18
	6.1.1 Polttomoottori.....	18
	6.1.2 Hydrauliikkapumppu.....	18
6.2	Venttiilipöytä.....	19
6.3	Hydrauliikkasyylinterit.....	20
	6.3.1 Pääpuomin sylinteri.....	20
	6.3.2 Taittopuomin sylinteri.....	21
	6.3.3 Jatkopuomin sylinteri.....	23
	6.3.4 Letkut.....	23
	6.3.5 Öljysäiliö.....	24
7	POHDINTA.....	25

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyökseni valitsin metsäkuormaimen suunnittelun mönkijän metsävaunuun. Työssä käydään läpi ja tarkastellaan puomiston rakenteiden lujuudet ja perehdytään myös hydrauliiikan suunnitteluun ja sen laskentaan. Kuormaimen osista piirretään tarvittavat valmistuskuvat, joiden avulla kuormain valmistetaan. Työssä perehdytään varsinkin pääpuomin, taittopuomin, jatkopuomin ja hydrauliiikan suunnitteluun ja mitoitukseen. Kuormaimen tehdään myös pääpuomin ja taittopuomin väliin laajakulmanivel, jotta saavutetaan laajempi liikerata. Hitsausliitoksiin ei tässä paneuduta sen enempää kuin, että niistä tehdään ylisuuret riittävän lujuuden saamiseksi. Hitsaukset mitoitetaan SFS 2373 -standardin mukaisesti /1/. Hitsausnaamana käytetään tasahitsiä /2/. Kuormain mitoitetaan staattisessa tilassa.



**KUVA 1. Tasahitsiliitos /3/**

Innustus opinnäytetyön aiheeseen tuli siitä, että olin jo pidemmän aikaa kuormainta pohtinut ja tutkinut useita eri kuormaimia ja todennut niiden hintojen olevan niin korkeita, ettei sellaisen ostaminen tulisi kannattavaksi. Sitten tuli opinnäytetyön aiheen valinta eteen ja mieleeni juolahti, että senhän voisi tehdä itse ja päätin sitten keskustella aihevalinnasta opettajani kanssa ja aihe täytti kaikki vaatimukset. Tarkoituksena on siis valmistaa kuormain saatujen mitoitusten ja laskelmien perusteella. Haastetta tässä työssä tuo se, että kuormain tehdään mönkijään sopivaksi. Kuormain ei siis saa olla kovinkaan painava eikä ”ylisuuri”, koska mönkijän vetokyky on kuitenkin hyvin rajallinen. Kuormaimia tutkiessani tulin siihen tulokseen, että kuormaimen ulottuvuudeksi valitaan 3,2 m, johon lisätään vielä hydraulinen jatkopuomi, jolla ulottuvuudeksi saadaan 4 m. Kuormaimen maksiminostokyvyksi tulee täydessä mitassa n. 150 kg. Ra-

kenteeltään kuormain pyritään tekemään mahdollisimman kevyeksi lujuudesta tinkimättä.

Lujuuslaskelmat toteutetaan käsin. Laskelmat sisältävät puomien, laakereiden sekä tappien mitoitukset. Laskelmilla todetaan, että kyseiset puomit kestävät tulevat rasitukset. Osista ei tehdä 3D-mallinnuskuvia.

Tarkoituksena on saada toimiva ja kompakti ratkaisu, jolla toteuttaa kuormaaja mönkijän vaunulle sopivaksi. Valmistuksessa ei käytetä mitään uusinta valmistustekniikkaa. Näillä ratkaisuilla saadaan valmistuskustannuksia pudotettua ja kokonaishintaa laskettua alemmas. Puomiston hydrauliset kääntölaitteet hankitaan valmiina sekä osa pääpuomista. Hydrauliikan osat ostetaan myös valmiina. Koura ja hydraulinen kourankääntäjä tulee myös valmiina pakettina.

## **2 YLEISTIETOA MÖNKIJÖISTÄ**

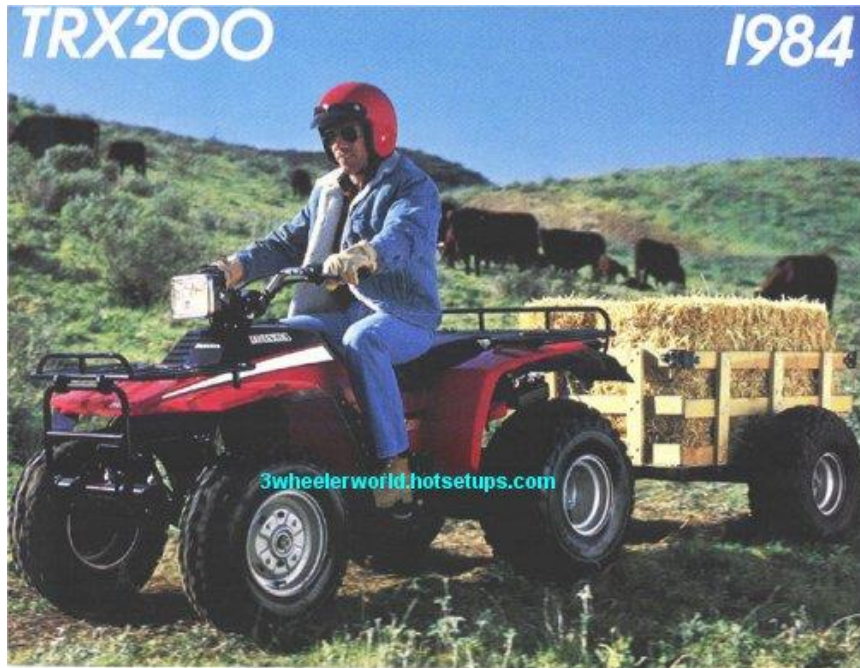
Mönkijä eli maailmalla paremmin tunnettuna ATV (all terrain vehicle) sai alkunsa siitä, kun Honda ilmoitti suunnitteluryhmälle, että heidän pitää keksiä laite, jolla voi ajaa kaikenlaisessa maastossa. Insinööri Osama Takeuchia kehitteli Hondan tehtaalla pienen ryhmän kanssa ensimmäisen mönkijän vuonna 1969: kolmirenkaisen ATC -mallimerkinnällä olevan mönkijän. Keksintö oli Hondalle kannattava, sillä arvioiden mukaan Honda on valmistanut tähän mennessä n. 7 miljoonaa mönkijää.



Kuva 2. Ensimmäinen mönkijä Honda ATC 90 /4/

Kolmipyöräiset mönkijät kiellettiin Yhdysvalloissa, ja kaikki valmistajat joutuivat lopettamaan ajoneuvojen myymisen vuonna 1987. Ajoneuvoille olisi ollut edelleen kysyntää, mutta niitä ei saanut enää myydä. Syynä tähän oli se, että moottoritehojen kasvaessa kolmipyöräinen ajoneuvo oli hyvin herkkä kaatumaan, ja tämä aiheutti liikaa loukkaantumisia.

Ensimmäiset nelivetoiset mönkijät tulivat 80-luvun puolessa välissä, ja Honda julkaisi silloin trx-mallistonsa, jota myöhemmin saatiin myös nelivetoisena. Varsinaisesti muut valmistajat tulivat mukaan vasta 70-luvun lopulla, jolloin mukaan tulivat esimerkiksi Yamaha, Kawasaki ja Suzuki. Moottorikelkkojen valmistajat tulivat mukaan vasta myöhemmin. Arctic cat oli ensimmäin mönkijämerkki, joka saatiin rekisteröityä tieliikennekäyttöön vuonna 2001. Bombardier aloitti mönkijöiden valmistuksen vasta 1998 ja muutti nimensä Can-amiksi 2006, ja ensimmäiset trakotrimalliset mönkijät tulivat 2009, jotka varustellaan Rovaniemellä.



Kuva 3. Ensimmäisiä nelipyöräisiä mönkijöitä /5/

Mönkijöiden myynti oli hyvin vähäistä vielä 1990-luvulla, mutta lähivuosina mönkijöiden myynti ylitti jo 10000 kpl rajan. Mönkijöiden käyttöä on lisännyt kilpailutus, joka on laskenut koneiden hintoja, ja nykyään niitä voidaan käyttää myös hyödyksi monella tapaa, vaikkei ne traktorille pärjääkään.

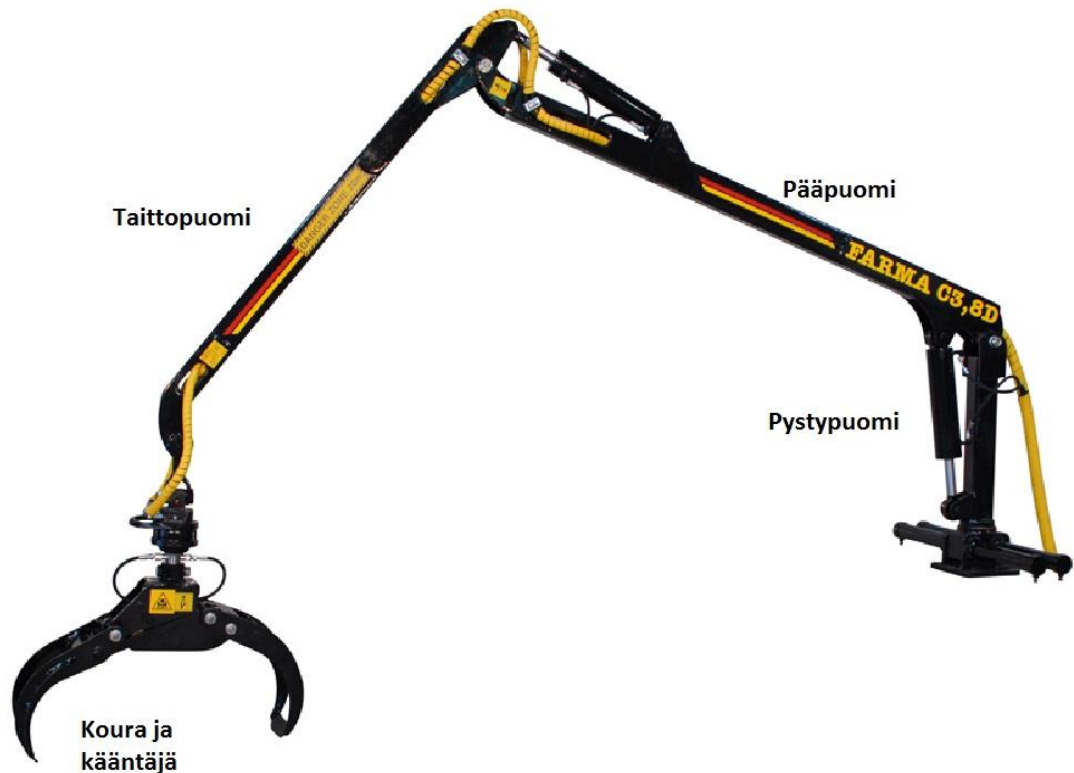
Mönkijöihin saa nykyään hyvin monenlaisia lisävarusteita, joista yleisin ehkä on lumilevy sekä metsäperävaunu. Metäperävaunuun voidaan liittää myös kuormaaja, joka on joko vaijeri-tai hydraulikkakäyttöinen. Tässä työssä suunnitellaan ja valmistetaan juuri tällaiseen tarkoitukseen sopiva kuormaaja. Niiden myyntihinta on vielä hyvin korkea sen takia, että niitä on ollut niin vähän aikaa vasta tarjolla/6/.





Kuva 4. Nykyaikainen mönkijä-metsäkärri-yhdistelmä /7/

### 3 PUOMISTO



Kuva 5. Havainnekuva puomien nimistä, muokattu /8/

Puomiston suunnittelussa lähdin liikkeelle siitä, että puomisto pitäisi olla helppo toteuttaa. Puomiston on tarkoitus olla myös kestävä ja pitkäikäinen. Tässä tapauksessa kuormaajan käyttö ei ole ammattimaista, joten se ei joudu niin koville ja sen kestoikä kasvaa. Laskelmilla avulla saadaan materiaalivahvuudet, joita on tarkoitus käyttää. Kuormaajalle pitää valita sen mitat eli ulottuvuus, joka olisi järkevä, mutta ei myöskään ylisuuri mönkijälle. Ulottuvuudeksi päädyin 4 metriin. Tähän tulokseen päädyin siksi, että useimmissa mönkijäkuormaimissa on ulottuvuus 3.2 m, mutta niihin on saatavana lisävarusteena hydraulisesti jatkettava jatkopuomi, jolla ulottuvuus saadaan 4 m. Toinen arvo, mikä piti päättää, oli kuormaajan nostokyky. Tutkin muiden valmistajien kuormaajien tietoja ja tulin siihen tulokseen, että 150 kg puomin päästä on riittävä.

Seuraavassa kohdassa on taulukko kahden tehdasvalmisteisen kuormaajan teknisistä mitoista, joiden avulla valitsin työhöni mitat.

Taulukko 1. Kuormainten teknisiä mittoja

Tekniset mitat			
	Vahva jussi 400		kranman 30-50
Ulottuvuus	4,0m		3,5m
Paino	150kg		218kg
Nostokyky 3.2m	250kg	3,5m	170kg

/9; 10/

Pystypuomiin ei tässä työssä perehdytä sen ihmeemmin, koska se hankittiin valmiina pakettina hydraulisen käännön kanssa. Tällä toimenpiteellä säästettiin huomattavasti valmistuskustannuksissa. Todetaan kuitenkin kuvan avulla pystypuomin ja pääpuomin kestävänsä siihen kohdistuvat rasitukset. Osat ovat lähtöisin HIAB 130 -nosturista ja kuvassa on kyseisen nosturin nostotaulukko.



Kuva 6. HIAB 130 nostotaulukko /11/

Pääpuomi tulee myös osittain valmiina, koska se tuli pystypuomin mukana. Pääpuomista lasketaan lujuuslaskut ja piirretään valmistuskuva. Pääpuomista tehdään kaksi-

metrinen. Sillä saadaan riittävä nostokorkeus, koska lyhyellä pääpuomilla kuormaaja ei nouse tarpeeksi ylös ja viimeiset puut jäävät kuorman päälle huonosti.

Taittopuomi tehdään kokonaan itse ja siitä lasketaan lujuuslaskut ja tehdään valmistuskuvat. Se valmistetaan suorakaiteen muotoisesta putkesta. Taittopuomista pyritään tekemään mahdollisimman lyhyt, jotta kuormaajasta saadaan ketterämpi. Puomin pituudessa tulee vastaan vain se, että sen sisälle on mahdutettava jatkopuomi, joka tulee olemaan 1,2 m. Taittopuomin mitaksi jouduin siis valitsemaan 1,2 m.

Jatkopuomi tehdään myös itse, ja sen materiaali on myös suorakaiteen muotoinen putki ja sen mitaksi tuli 1,2 m. Jatkopuomin ulos tuleva osa tulee olemaan 1 m. Puomi jää siis 20 cm taittopuomin sisälle. Näillä mitoilla saavutetaan kuormaimen ulottuvuudeksi 4 m, joka on vähintäänkin riittävä mönkijäkäytössä.

Taittopuomin ja pääpuomin väliin tehdään laajakulmanivel, jolla saadaan taittopuomin liikettä kasvatettua huomattavasti. Tämä nivel helpottaa kuormatessa ja kasvattaa voimaa, sekä kuormaimen saa paremmin pakettiin kuljetusta varten.

Kaikki nivelet laakeroidaan laakeriholkeilla, ja niihin laitetaan rasvanipat. Taittopuomin sisälle laitetaan myös nailonpalat jatkopuomin liikkumista helpottamaan. Näillä toimenpiteillä saadaan kuormaajan kestoikää pidennettyä huomattavasti.

#### **4 MATERIAALIN VALINTA**

Materiaaliksi suunnittelin käytettäväksi tavallista S355-rakenneterästä. Sen myötölujuus on riittävä ja työstettävyys on helppoa. Tutustuin myös erikoislujiin rakenneteräksiin, mutta ongelmaksi tuli sen saatavuus ja se, että sitä olisi pitänyt ostaa sen verran suuri erä, että sitä olisi jäänyt reilusti hukkaan ja se oli nostanut valmistuskustannuksia. Erikoisteräksestä olisi voinut tehdä puomit ohuemmasta materiaalista ja näin saatu kevyemmäksi kuormaaja, mutta tässä tapauksessa käytetään tavallista rakenneterästä.

Pääpuomi ja pystypuomi mitoitetaan mielenkiinnon vuoksi, vaikkakin oikeasti käytetään valmista osaa, joka ilmeni kohdassa 3. puomisto.

Pääpuomi ja pystypuomi on valmistettu erikoislujasta teräksestä, joten niiden laskennassa käytetään Ruukin Optim 700 Plus MH -materiaalitietoja, jonka myötölujuus on 700 MPa, joka on tarkoitettu käytettäväksi erilaisten puomien ja runkorakenteiden materiaaliksi /12/. Puomistojen profiili tulee olemaan suorakaiteen muotoinen. Pääpuomi tulee olemaan tyvestä paksumpi kuin päästä. Tällä saadaan lisää vääntöjäykkyyttä.

Taittopuomi ja jatkopuomi valmistetaan S355-rakenneteräksestä. Sen lujuus on riittävä tähän tarkoitukseen ja sen saatavuus on hyvä. Rakenneterästä (S355) on myös helppo muokata tavanomaisilla työkaluilla. Taitto- ja jatkopuomi valmistetaan myös suorakaiteen muotoisesta putkesta. Jatkopuomi tulee taittopuomin sisälle, ja sitä käyttävä hydraulikkasyylinteri asennetaan taittopuomin päälle.

Nivelöinti ja tapitus yhdistävät puomit toisiinsa. Nivelet valmistetaan S355-rakenneteräksestä. Myötölujuus on riittävä niveliä varten. Taittopuomin ja pääpuomin väliin tehdään laajakulmanivel, jotta taittopuomin liike saadaan mahdollisimman suoraksi. Taittopuomi taittuu aivan suoraksi pää puomin mukaisesti sekä alapuolelta lähes pääpuomiin kiinni. Tämä helpottaa kuorman viimeisien puiden kyytiin laittoa ja helpottaa myös kuljetuksessa. Nivelöinnit tehdään standardimittojen mukaan ja näin ollen tappeina käytetään 20 mm pultteja niiden helpon saatavuuden ja halvan hinnan takia.

Laakeroinnissa käytän standardimittaisia liukulaakeriholkkeja. Laakeriholkit prässätään laakeripesiin. Laakeripesät sorvataan ulkopuolisella, koska en itse omista sorvia. Laakeriholkit pidentävät kuormaajan käyttöikä, koska ne ovat standardikokoisia niitä saa myös tulevaisuudessa varaosiksi. Laakeriholkeissa on koloja, joissa rasva pysyy paremmin. Kaikkiin niveliin laitetaan rasvanippa, joka helpottaa nivelien rasvaamista ja pidentää käyttöikä. Laakeriholkkien materiaali on laakeripronssi.

## **5 LUJUUSLASKELMAT**

### **5.1 Pääpuomi**

Luujuuslaskelmat aloitettiin pääpuomin laskelmilla. Pääpuomi tulee olemaan kaksi-osainen, tästä syystä pääpuomin laskut ovat myös kahdessa eri osassa. Laskuissa käytetään Ruukin Optim 700 Plus MH -palkkia, jonka myötölujuus on 700MPa. Lasketaan materiaalille taivutusvastus  $W$ . Se tulee kaavasta  $Wx = \frac{My}{\delta t}$ , jossa  $M$  on massa  $x$  pituus ja  $\delta$  on materiaalin kestävyys, tässä tapauksessa  $700 \text{ N/mm}^2$  jaettuna varmuuskertoimella  $/13 \text{ s}, 144/$ . Varmuuskertoimena käytän työssä 1.5. Joten  $\delta$  on  $700 \text{ N/mm}^2 / 1,5$ . Tulokseksi tulee  $466 \text{ N/mm}^2$ .

$$Wx = \frac{10800000 \frac{N}{mm}}{466 \frac{N}{mm^2}} \quad (1)$$

$$W_x = 23200 \text{ N/mm}^3$$

Lasketaan käytettävälle putkelle taivutusvastus  $W_x$  kaavasta  $\frac{B \cdot H^2 - b \cdot h^2}{6}$ , jossa  $B$  on putken ulkoleveys,  $H$  on putken ulkokorkeus,  $b$  on putken sisäleveys ja  $h$  putken sisäkorkeus. Putken mittoina käytän  $80\text{mm} * 130\text{mm}$ . Materiaalin vahvuus on  $4\text{mm} /14/$ .

$$W_x = \frac{80\text{mm} * 130\text{mm}^2 - 72\text{mm} * 122\text{mm}^2}{6} \quad (2)$$

$$W_x = 46000 \text{ N/mm}^3$$

Putkin on siis reilusti ylimitoitettu, mutta tässä työssä käytettiin pääpuomina valmista kappaletta valmistuskustannuksista syistä. Pääpuomin toinen osa on lukittu ensimmäiseen osaan pulttiliitoksella. Lasketaan puomin toiselle putkelle samalla kaavalla arvo  $W$ .

$$Wx = \frac{5400000 \frac{N}{mm}}{466 \frac{N}{mm^2}} \quad (3)$$

$$W_x = 11500 \text{ N/mm}^3$$

Lasketaan putkelle arvo  $W_z$ , joka saadaan samasta kaavasta kuin edellisessä kohdassa. Pääpuomin toisessa osassa putken mitat ovat 60 mm\*100 mm ja materiaalinvahvuus on 4 mm.

$$W_z = \frac{60\text{mm} \cdot 100\text{mm}^2 - 52\text{mm} \cdot 92\text{mm}^2}{6} \quad (5)$$

$$W_x = 26700 \text{ N/mm}^3$$

Putki on reilusti ylimitoitettu. Ylimitoitus ei varsinaisesti haittaa tässä tapauksessa mitään. Jos putki olisi tehty uudestaan, materiaaliksi olisi tullut S355, joka on huomattavasti heikompaa, kuin materiaali, mistä valmiit pääpuomin putket on tehty ja näin ollen olisi joutunut käyttämään vahvempaa materiaalia ja paino olisi lisääntynyt.

## 5.2 Taittopuomi

Lasketaan seuraavaksi taittopuomille samat laskut, mutta erona edellisiin tulee muutos materiaaliin, koska tässä käytetään S355-rakenneterästä. Materiaalin vahvuus siis heikkenee. Lasketaan siis ensin arvo  $\delta$ , joka on  $355 \text{ N/mm}^2 / 1,5 = 237 \text{ N/mm}^2$ . Lasketaan tässä kohdassa arvo  $W_x$ , joka tulee samalla kaavalla kuin edellisessä kohdassa mutta eri materiaalin lujuudella.

$$W_x = \frac{5400000 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{237 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad (6)$$

$$W_x = 22800 \text{ N/mm}^3$$

Lasketaan käytettävälle putkelle arvo  $W_x$ . Arvo saadaan samasta kaavasta kuin edellisessä kohdassa. Putkessa käytettävät mitat ovat 50 mm x 100 mm. Ainevahvuutena on 4 mm.

$$W_x = \frac{50\text{mm} \cdot 100\text{mm}^2 - 42\text{mm} \cdot 92\text{mm}^2}{6} \quad (7)$$

$$W_x = 24000 \text{ N/mm}^3$$

Putken mitoitus on riittävä. Ainevahvuutta ei olisi voinut enää pienentää. Putki olisi voitu tehdä ohuemmaksi, jos olisi käytetty lujempaa materiaali, mutta toimitusvaikeuksien takia valitsin tämän materiaalin.

### 5.3 Jatkopuomi

Lasketaan jatkopuomille samat laskut kuin edellisille osille. Jatkopuomi sijoitetaan taittopuomin sisälle ja sitä käyttävä sylinteri tulee taittopuomin päälle.

Putken lommahtaminen estetään sillä, että putken sisäpää hitsataan umpeen. Materiaalina käytetään Ruukin S355-rakenneterästä niin kuin taittopuomissakin. Lasketaan ensin arvo  $W_x$ , joka saadaan samasta kaavasta kuin edellisessä kohdassa.

$$W_x = \frac{2700000 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{237 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad (8)$$

$$W_x = 11400 \text{ N/mm}^3$$

Taittopuomille lasketaan seuraavaksi arvo  $W_z$ . Arvo saadaan samalla kaavalla kuin edellisissäkin kohdissa. Jatkopuomissa käytettävät mitat ovat 40 mm x 80 mm. Ainevahvuutena on 4 mm.

$$W_x = \frac{40\text{mm} \cdot 80\text{mm}^2 - 32\text{mm} \cdot 72\text{mm}^2}{6} \quad (9)$$

$$W_x = 15000 \text{ N/mm}^2$$

Putki on aavistuksen verran ylimitoitettu. Ainevahvuutena olisi voinut käyttää 3 mm, joka olisi riittänyt tarvittavaan vahvuuteen. Tässä tapauksessa kuitenkin päädyin käyttämään ainevahvuutena 4 mm.



## 5.4 Nivelet/liitokset

Nivelissä käytetään laakeriholkkeja. Laakeriholkit pidentävät nivelen käyttöikä ja helpottavat huomattavasti nivelen kunnostamista, kun laakeri kuluu väljäksi. Laakeriholkkien materiaalina käytän punametallilaakeriholkkeja, koska niitä on hyvin saatavilla ja ovat kohtalaisen edullisia. Laakeriholkkien pintapaineena käytän  $125 \text{ N/mm}^2$ , koska liukumisnopeus  $< 1 \text{ m / min}$  ja käyttö ajoittaista, voidaan pintapaineeksi sallia puolet materiaalin myötöraja-arvosta /15/. Materiaalin murtolujuus on  $250 \text{ N/mm}^2$  /16 s.17/. Laakeroinnit olisi hyvä ylimitoittaa, koska silloin niiden kestoikä pitenee ja huollon tarve vähenee. Työssäni käytän standardikoon laakereita sekä tappeja niiden hyvän saatavuuden ja halvan hinnan takia.

Tappien materiaalina käytetään tavallisia pultteja, koska niitä löytyy lähes jokaisesta rautakaupasta ja ovat halpoja verrattuna sorvarilla teetätettyihin tappeihin. Tappien myötöraja on  $640 \text{ Mpa}$  ja murtolujuus on  $800 \text{ Mpa}$  /17/.

### Pääpuomin liitokset

Pystypuomin niveleen kohdistuu noin  $17\,000 \text{ N}$  voima. Nivelessä on kaksi  $20 \text{ mm}$  laakeriholkkia, joten yhteenlasketuksi mitaksi tulee  $40 \text{ mm}$ . Käytän kaavaa  $p = \frac{F}{A}$ , jossa  $p$  on paine,  $F$  on voima ja  $A$  on pinta-ala. Muutetaan kaavaa, josta saadaan  $A = \frac{p}{F}$  /18 s,99/. Puretaan  $A = \pi r^2$  ympyrän pinta-alaksi. Muokataan kaava  $r = \sqrt{\frac{F}{\pi * P}}$ . Nyt voidaan laskea käytettävän tapin säde. Lisätään voimaan myös varmuuskerroin 1.5.

$$r = \sqrt{\frac{17000N}{\pi * 125N/mm^2}} \quad (10)$$

$$r = 6,5 \text{ mm}$$

Kerrotaan säde kahdella, jotta saadaan halkaisija. Halkaisijaksi saadaan  $13,6 \text{ mm}$ . Ylimitoitan kuitenkin pultin  $20 \text{ mm}$ , jotta tapin kestoikä kasvaisi.

Lasketaan seuraavaksi pintapaine, jonka tappi aiheuttaa puomin korvakkeisiin. Tapin korvakemateriaalina on 8 mm S355-teräs ja korvakkeet ovat tapin molemmin puolin.

Käytetään kaavaa  $\tau = \frac{Q}{A}$ , jossa Q on voima ja A on pinta-ala /19 s, 140/.

$$\tau = \frac{17000 \text{ N}}{(2 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm})} \quad (11)$$

$$\tau = 58,1 \text{ N/mm}^2$$

Materiaalin pintapaineeksi sallitaan  $237 \text{ N/mm}^2$ , joten mitoitus on varsin riittävä.

### Taittopuomin liitokset

Taittopuomissa lasketaan liitokset samoilla kaavoilla kuin pääpuomissakin. Voima F on tässä kohdassa 8100 N. Laakeriholkkien, korvakkeiden ja tappien materiaalit ovat samoja. Lasketaan seuraavaksi vaadittava tapin halkaisija. Käytetään edellisessä kohdassa olevaa laskukaavaa.

$$r = \sqrt{\frac{8100 \text{ N}}{\pi \cdot 125 \text{ N/mm}^2}} \quad (12)$$

$$r = 4,5 \text{ mm}$$

Kerrotaan säde kahdella, jotta saadaan halkaisija. Tulokseksi tulee 9,0 mm, joka on mielestäni aivan liian pieni. Mitoitan tapin reilusti yli ja käytän 20 mm tappia.

Lasketaan seuraavaksi pintapaine, mikä tapista aiheutuu puominkannakkeisiin. Materiaalina on sama 8 mm S355-teräs. Käytetään edellisessä kohdassa olevaa laskukaavaa.

$$\tau = \frac{8100 \text{ N}}{(2 \cdot 20 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm})} \quad (13)$$

$$\tau = 25,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitus on vähintäänkin riittävä, koska sallittu pintapaine on  $237 \text{ N/mm}^2$ . Tässä kohdassa olisi voitu käyttää puolet ohuempaa materiaalia ja silti olisi saavutettu hyväksyttävä pinta-paine. Paksumman materiaalin käyttö lisää kuormaimen kestävyyttä mutta samalla lisää kuormaimen painoa, joten materiaalin paksuus oli kompromissi.

Taittopuomin ja pääpuomin päässä on kaksi tappiliitosta. Toinen niistä on pääpuomin kiinnityskohta, josta edellisen kohdan laskenta ja toinen on laajakulmanivelen kiinnitystappi. Käytän niissä molemmissa samaa 20 mm pulttia, koska laskenta osoitti, että kyseinen pultti on vähintäänkin riittävä. Tästä syystä toista liitosta ei mitoiteta erikseen.

### Jatkopuomin liitokset

Jatkopuomissa ei ole samanlaista tappiliitosta kuin edellisissä kohdissa. Puomi kestää paikallaan hydrauliikkasynterin avulla. Puomin päässä on tappiliitos, josta roikkuu hydraulinen kääntäjä ja puutavarakoura. Mitoitetaan seuraavaksi kouraa kannatteleva pultti ja sen kannakkeet. Laskennassa käytetään samoja kaavoja kuin edellisissä kohdissa. Materiaalina käytetään samoja materiaaleja. Lasketaan ensin tapin paksuus. Voima  $F$  on tässä kohdassa 2000 N.

$$r = \sqrt{\frac{3000N}{\pi \cdot 125N/mm^2}} \quad (14)$$

$$r=2,8 \text{ mm}$$

Kerrotaan säde kahdella ja saadaan 5,6 mm. Mielestäni se on liian vähän ja kokemuksen perusteella ylimitoitin kohdan käyttäen samaa 20 mm pulttia kuin edellisissä kohdissa.

Lasketaan seuraavaksi pintapaine pultin kannakkeisiin. Käytetään samaa kaavaa kuin edellisissä kohdissa.

$$\tau = \frac{3000 N}{(2 \cdot 20\text{mm} \cdot 8\text{mm})} \quad (15)$$

$$\tau=9,4 \text{ N/mm}^2$$

Laskennasta ilmenee, että tässä kohdassa voitaisiin myös käyttää ohuempaa materiaalia niin kiinnikkeiden kuin tapinkin kohdalla. Valintani kuitenkin pidentää kuormaimen käyttöikä ja tekee siitä vahvemman ja kestävämmän, kuin että valittaisiin mahdollisimman ohut materiaali. Tällaisessa mitoituksessa täytyy kuitenkin käyttää myös maalaisjärkeä.

### **Laajakulmanivel**

Lasketaan laajakulmanivelessä käytetyn tapin paksuus. Käytetään samoja kaavoja kuin edellisessä kohdassa. Tässä tapauksessa käytetään voimaa 40 000 N, jonka sylinteri voi maksimissaan aiheuttaa. Materiaali on edelleen sama.

$$r = \sqrt{\frac{40000 \text{ N}}{\pi * 125 \text{ N/mm}^2}} \quad (16)$$

$$r=10,1 \text{ mm}$$

Halkisijaksi saadaan siis n. 20 mm, joka on hyvin lähellä totuutta. Tämän kokoista pulttia oli tarkoituskin käyttää kyseisessä kohdassa. Lasketaan seuraavaksi vielä pintapaine.

$$\tau = \frac{40000 \text{ N}}{(2*20\text{mm}*8\text{mm})} \quad (17)$$

$$\tau=125 \text{ N/mm}^2$$

Pinta-paine jää reilusti alle sallitun, joten 20 mm pultti on varsin riittävä. Tässä kohdassa tosin ei tule ylimitoitusta varsinaisesti ollenkaan. Kulutus kestävyys ei välttämättä ole aivan samaa luokkaa kuin edellisissä liitoksissa, mutta uskon, että silti varsin riittävä.

Laajakulmanivelelle täytyy myös laskea poikkipinta-ala. Käytetään kaavaa  $\sigma = \frac{N}{A}$  /20 s, 139/. Muutetaan kaava muotoon  $A = \frac{N}{\sigma}$ , jolloin voidaan laskea poikkipinta-ala.

$$A = \frac{40000N}{210 N/mm^2} \quad (18)$$

$$A=190 \text{ mm}^2$$

Taulukosta valitaan lattateräs, jonka poikkipinta-ala on samankokoinen. Materiaaliksi valitsin 8 mm. Laskennan ja taulukon perusteella 8 mm\*25 mm latan pitäisi riittää, mutta ylimitoitin kohdan ja valitsen 8 mm\*50 mm olevana latan, jonka poikkipinta-ala on 400 mm<sup>2</sup>.

Lasketaan vielä valitulle latalle nurjahdusvoima. Lattoja on kaksi kappaletta, joten voima puolitetään. Laskennassa käytetään Eulerin kaavaa toisesta kohdasta. Kaava on

muotoa  $F_n = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$  /21 s, 142/. Jäyhyysmomentti  $I = 3200 \text{ mm}^4$ .

$$F_n = \frac{\pi^2 * 210000 N/mm^2 * 3200 \text{ mm}^4}{300^2 \text{ mm}^2} \quad (19)$$

$$F_n = 74 \text{ kN}$$

Tulos on varsin riittävä. Latan kestävyys on lähes kaksinkertainen voimaan nähden.

## 6 HYDRAULIIKKA

Tässä osiossa lasketaan ja valitaan kuormaajaan tarvittavat hydrauliiikan osat, joilla kuormain saadaan toimintakuntoon. Osat valitaan standardikokoisista komponenteista, eikä teetätetä optimikokoisia osia. Tämän avulla valmistuskustannukset saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisina.

Mitoitan hydrauliiikan osista venttiilipöydän, hydrauliiikkasyliinterit, hydrauliiikkapumpun ja sitä pyörittävän polttomoottorin sekä hydrauliiikkaletkut. Kuormaajan koura sekä sen hydraulinen kääntäjä ostetaan valmiina yksikkönä. Tutkin vaihtoehtoja koura+kääntäjä -yhdistelmälle ja päädyin Vahva-Jussi-nimisen yrityksen kourapakettiin. Kouraa oli keuhuttu monilla foorumeilla käteväksi ja kestäväksi, eikä se ollut huomattavasti kalliimpi kuin toinen vaihtoehtoni.

## 6.1 Hydrauliikkapumppu ja polttomoottori

### 6.1.1 Polttomoottori

Aloitetaan valitsemalla polttomoottori. Tutkin muiden valmistajien käyttämiä polttomoottoreiden kokoja. Koot, joita muut käyttivät, olivat 5,5-6,5-hevosvoimaisia polttomoottoreita. Valitsen oman kuormaimen voimanlähteeksi siis 6,5 hv moottorin. Moottori on vaaka-akselinen 4-tahtimoottori.



(KUVA 4. Hondan 6,5hv moottori /22/)

### 6.1.2 Hydrauliikkapumppu

Seuraavaksi mitoitetaan käytettävä hydrauliikkapumppu. Pumppu tulee olemaan mallia hammaspyöräpumppu, jossa öljyn paine tehdään hammaspyörrien avulla. Tutkin myös muiden valmistajien pumppuja ja niiden kokoja. Koot olivat n. 9 l/min tuottavia pumppuja. Mitoitan käyttämäni pumpun polttomoottorin maksimiteholle, mutta kuitenkin niin, että moottori ei sammu pumpun ottaessa maksimitehon. Valitsen hyd-

rauliikkapumpun, jota on yleisimmin käytetty tuon kokoluokan polttomoottoreissa. Pumppu on kokoa 9,6 l/min moottorin käydessä 3000 kierrosta minuutissa. Lasketaan vielä pumpun vaatima teho. Käytän kaavaa  $P = \frac{Q \cdot p}{\eta} / 600$  /23/. Q on tilavuusvirta, p on paine ja  $\eta$  on hyötysuhde.

$$P = \frac{9,6 \frac{l}{min} \cdot 185 \text{ bar}}{\eta} / 600 \quad (20)$$

$$P = 4,23 \text{ kW} \rightarrow 5,75 \text{ hv}$$

Moottorin teho on siis riittävä. Pumppu kiinnitetään moottoriin sovitepalikan avulla ja pumpun ja moottorin akseleiden väliin tulee kytkin akseli, jossa on kumiholkki vai-mentamassa värinöitä.

## 6.2 Venttiilipöytä

Venttiilipöydän tarkoituksena on jakaa hydraulikkaöljy sitä tarvitseville sylinterille. Venttiilipöytiä löytyy erikokoisia, -mallisia ja -hintaisia. Omassa työssäni käytän hal- vinta mahdollista mallia eli täysin mekaanista venttiilipöytää, jossa venttiilejä ohjataan suoraan vivuilla. Kuormaimen ohjaukseen valitsin 8-karaisen venttiilipöydän, joka toteutetaan yhdistämällä 6- ja 2-karainen venttiilipöytä yhdysletkulla. Yhtenäinen mo- noblock-runkoinen 8-karainen pöytä olisi tullut huomattavasti kalliimmaksi kuin valit- semani toteutustapa.

Venttiilipöydän liittimet ovat kokoa 3/8", se on kaksitoiminen, eli öljy virtaa molem- piin suunti paineen avulla ja sen maksimivirtaus on 40 l/min. Tämä riittää varsin hyvin kuormaimen ohjaamiseen, koska valitseman hydraulikkapumppu pystyy tuottamaan 12 l/min polttomoottorin käydessä maksimikierroksilla.

Venttiilipöytään on myös saatavana lisävarusteen joystick-hallintavipu, joka tarkoittaa useamman lähdön ohjaamista yhdellä vivulla. Tässä tapauksessa käytetään kuitenkin jokaiselle karalle omaa ohjausvipua kustannussyistä.



(KUVA 5. 7-karainen venttiilipöytä /24/.)

### 6.3 Hydraulikkasyylinterit

Hydraulikkasyylinterien tarkoitus on tehdä voimaa, jolla esimerkiksi tässä tapauksessa nostellaan eripainoisia taakkoja. Sylinterinvoima tehdään paineen eli hydraulikkapumpun ja sylinterin pinta-alan avulla.

Tarkoitukseni on valita kuormaimeen standardikokoiset sylinterit, joita on helposti saatavilla ja ovat myös hinnaltaan edullisia. Mitoitetaan laskennan avulla kuormaimeen sopivat sylinterit.

#### 6.3.1 Pääpuomin sylinteri

Lasketaan ensiksi kuormaajan pääpuomin nostosylinteri. Käytetään kaavaa  $p = \frac{F}{A}$ , jossa  $p$  on paine,  $F$  on voima ja  $A$  on pinta-ala [25 s, 99]. Tässä tapauksessa tarvitsee selvittää pinta-ala, jonka avulla saadaan sylinterin halkaisija.  $F$  on tässä tapauksessa 17 000 N ja  $p$  on 185 bar. Muutetaan kaava muotoon  $A = \frac{F}{p}$

$$A = \frac{17000N}{18,5 N/mm^2} \quad (21)$$



$$A = 918,9 \text{ mm}^2$$

Lasketaan vielä ympyrän pinta-alan kaavasta  $A = \pi r^2$  ympyrän säde. Muutetaan kaava

$$\text{muotoon } r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{918,9 \text{ mm}^2}{\pi}} \quad (22)$$

$$r = 17,1 \text{ mm}$$

Kerrotaan vastaus vielä kahdella, joten vastaukseksi saadaan 34,2 mm. Mielestäni tulos on järkevä, mutta mitta ei ole sylintereiden standardimitta, joten valitaan siitä seuraava koko. Valitsen sylinterin, jonka männän halkaisija on 40 mm.

### 6.3.2 Taittopuomin sylinteri

Taittopuomissa käytettävän sylinterin laskenta eroaa edellisestä sillä, että sylinteri on kulmassa. Tämä taas vaikuttaa tarvittavaan voimaan. Lasketaan ensin kulma. Käytän laskennassa suorakulmaisen kolmion kaavaa  $\text{Sin}\alpha = \frac{a}{c}$ . Tässä tapauksessa a on 200 mm ja c on 600 mm.

$$\text{Sin}\alpha = \frac{200 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \quad (23)$$

$$\text{Sin}\alpha = n. 20 \text{ astetta}$$

Käytetään edellisen kohdan laskukaavoja ja mitoitetaan sylinteri. Lasketaan ensin tarvittava pinta-ala. Tässä tapauksessa voima on 8100 N.

$$A = \frac{8100 \text{ N}}{18,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \text{Sin}(20)} \quad (24)$$

$$A=1280,2 \text{ mm}^2$$

Ratkaistaan vielä sylinterinmännän säde edellisen kohdan laskukaavaa käyttäen.

$$r = \sqrt{\frac{1280,2 \text{ mm}^2}{\pi}} \quad (25)$$

$$r=20,1 \text{ mm}$$

Halkaisijaksi saadaan 40.2 mm. Taittopuomissa sylinterin kuitenkin pitää aiheuttaa vetoa. Valitaan käytettävän sylinterin varreksi 30 mm. Lasketaan ensiksi varren pinta-ala kaavasta  $A=\pi r^2$  /26 s, 14/.

$$A=\pi*15^2 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

$$A=706,9 \text{ mm}^2$$

Lasketaan sen aiheuttama voiman muutos. Käytetään kaavaa  $F=pA$ . Käytän paineena 185 bar, joka muutetaan  $18,5 \text{ N/mm}^2$

$$F=18,5 \text{ N/mm}^2*706,9 \text{ mm}^2 \quad (27)$$

$$F=13000 \text{ N}$$

Ratkaistaan seuraavaksi pinta-ala käyttäen lisänä edellisen kohdan voiman muutosta.

$$A = \frac{8100 \text{ N} + 13000 \text{ N}}{18,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \sin(20)} \quad (28)$$

$$A=3334,7 \text{ mm}^2$$

Tämän perusteella voidaan laskea sylinterin halkaisija, jonka arvoksi saadaan 65 mm. Vastaus ei ole standardimitta, joten valitaan sylinteri, jonka mäntä on 60 mm. Valitsen

60 mm sylinterin siitä syystä, että seuraava koko olisi 70 mm, joka on jo aika iso tämän kokoluokan laitteissa ja 60 mm sylinterissä on voimaa riittävästi.

### 6.3.3 Jatkopuomin sylinteri

Jatkopuomin sylinterin on tarkoitus liikuttaa jatkopuomia taittopuomin sisällä. Puomi on laakeroitu nylonpaloilla taittopuomin sisään kitkan pienentämiseksi ja käyttöön pidentämiseksi. Lasketaan edellisen kohdan kaavoja käyttäen sylinterin tarvittavat mitat. Voima on tässä kohdassa 2000 N ja siihen lisätään varmuuskerroin 1.5.

Lasketaan ensiksi pinta-ala

$$A = \frac{3000 \text{ N}}{18,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad (29)$$

$$A = 162,2 \text{ mm}^2$$

Lasketaan vielä tarvittava sylinterin männän säde, joka muutetaan halkaisijaksi.

$$r = \sqrt{\frac{162,8 \text{ mm}^2}{\pi}} \quad (30)$$

$$r = 7,18 \text{ mm}$$

Halkaisijaksi saadaan n. 15 mm, joka ei myöskään ole standardimitta. Valitaan pienin standardimittainen sylinteri, joka on 32 mm. Tämä riittää varmasti jatkopuomin liikuttamiseen täydellä kuormalla.

### 6.3.4 Letkut

Kuormaajassa hydraulikkaöljyn siirtämiseen käytetään letkuja. Letkut ovat joustavia, jos verrataan esimerkiksi hydraulikkaputkiin. Letkut ovat kalliimpia, mutta tarkoitukseni on kuitenkin käyttää pelkkiä letkuja.

Letkujen päihin puserretaan liittimet, joiden avulla letku liitetään toimilaitteisiin. Liittimien pusertaminen toteutetaan itse. Letkut täytyy mitoittaa, jotta virtausnopeus ei

letkussa nouse liian suureksi. Paine puolella sallittu virtausnopeus on n. 185 bar paineelle n. 3-6 m/s.

Lasketaan seuraavaksi letkun sisähalkaisija. Valitaan letkuksi 1/4" jonka sisähalkaisija on 6,25mm. Käytän kaavaa  $Q = \frac{A}{v} / 27$  s, 99/. Muutetaan kaava muotoon  $v = \frac{Q}{A}$ . Q saadaan, kun muutetaan 9,6 l/min 0,00016 m<sup>3</sup>/s

$$v = \frac{0,00016m^3 / s}{\pi * 0,00625m^2 / 4} \quad (31)$$

$$v = 5,2m/s$$

Tämä on mielestäni riittävä virtausnopeus, vaikkakin suositellun virtausnopeuden yläkanttiin. Tutkin myös valmiiden kuormaimien letkukuksia, ja niissä on myös käytetty 1/4" letkuja. Valitsen siis painepuolella käytettäväksi letkuksi tuon 1/4" letkun.

Seuraavaksi mitoitetaan imupuoli. Imupuolella suositellaan virtausnopeudeksi 0,5-1,5 m/s. Käytetään samaa kaavaa kuin edellisessä kohdassa. Valitsen alustavaksi letkuksi 1" halkaisijalla olevan letkun, jonka sisähalkaisija on millimetreissä n. 25 mm.

$$v = \frac{0,00016m^3 / s}{\pi * 0,0025m^2 / 4} \quad (32)$$

$$v = 0,3m/s$$

Tulos on hyvä, vaikkakin hieman alakanttiin mutta tämä tarkoittaa, ettei imupuoli juuri ahdistaa ja aiheuta pumpulle imuvastusta.

### 6.3.5 Öljysäiliö

Öljysäiliö toimii hydraulikan öljyn varastona. Säiliön kanteen asennetaan öljyn suodatin, joka puhdistaa enimmäkseen epäpuhtaudet öljyn seasta. Suodatin tulee paluupuolelle,

jossa ei ole juuri painetta, tällainen suodatin on halvempi kuin painepuolelle tuleva öljyn suodatin.

Säiliön on tarkoitus myös toimia jäähdyttimenä öljylle, koska öljy lämpenee käytössä. Säiliöstä on tarkoitus tehdä sisätilavuudeltaan n. 25l. Riittävä säiliökoko on yleensä 2-3 kertaa hydraulikkapumpun tuotto minuutissa /28 s, 81/. Tässä tapauksessa pumppu tuottaa n. 10 l/min, joten 25 l säiliö on sopivankokoinen.



Kuva 6. Öljysäiliö /29/

## 7 POHDINTA

Lähtökohtana oli toteuttaa suunnitelma, jonka avulla valmistetaan omaan käyttöön puutavara kuormaaaja mönkijä-kokoluokan ajoneuvoon. Halusin saada myös selville, tuleeko omavalmistekuormaaaja halvemmaksi kuin ostaa kaupasta tehdastekoinen. Tehdastekoisien hinta on kuitenkin yli 6000 €, ja se on mielestäni paljon tämän kokoluokan laitteeseen. Tähän kuormaaajaan käytin rahaa n. 2500 € (Taulukko 2).

Taulukko 2. Valmistuskustannuksia.

Hydrauliikka	1 000 €
Koura/kääntäjä	850 €
Rauta tarvike	250 €

muu tarvike	400 €
	2 500 €

Työmäärä kuitenkin on suuri tällaisen kuormaimen valmistamiseen, varsinkin kun ei ole kaikkia mahdollisia laitteita. Jos osat valistettaisiin ulkopuolisella henkilöllä tai yrityksellä, nousisi valmistuskustannukset huomattavasti.

Kuormaaja lisää mönkijän hyötykäyttöä huomattavasti. Mönkijällä pääsee myös ahtaisiin paikkoihin, eikä se jätä esimerkiksi nurmikolle juurikaan jälkiä. Traktoria sillä ei voi korvata, mutta pienempiä ja helpompia hommia voi tehdä.

## LÄHTEET

1. SFS-2373. Hitsausliitosten mitoittaminen. 1980
2. Virtuaalikouluhankkeet hitsaus. www dokumentti.  
[http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1\\_hitsaus/1\\_4\\_hitsausliitos.htm](http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1_hitsaus/1_4_hitsausliitos.htm). Päivitetty 11.5.2008. Luettu 11.4.2014
3. Virtuaalikouluhankkeet hitsaus. www dokumentti.  
[http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1\\_hitsaus/1\\_4\\_hitsausliitos.htm](http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1_hitsaus/1_4_hitsausliitos.htm). Päivitetty 11.5.2008. Luettu 11.4.2014
4. Honda ATC 90. WWW dokumentti.  
<http://p1.bikepics.com/2005%5C08%5C11%5Cbikepics-407228-320.jpg>. Päivitetty 4.6.2006. Luettu 11.4.2014
5. Honda trx 200. WWW dokumentti.  
<http://p1.bikepics.com/2005%5C08%5C11%5Cbikepics-407228-320.jpg>. Päivitetty 23.12.2009. Luettu 11.4.2014
6. Koneellinen juhlaite,2012 Koneviesti, s.96-98
7. Nokka Forest Pro. WWW dokumentti. [http://www.nokka.fi/filebank/1118-Forest\\_pro\\_paketti\\_monkijan\\_perassa\\_kuormattuna.jpg](http://www.nokka.fi/filebank/1118-Forest_pro_paketti_monkijan_perassa_kuormattuna.jpg). Päivitetty 2.2.2012. Luettu 11.4.2014
8. Farma C3,8D. WWW dokumentti.  
<http://www.konepoint.fi/images/kuvat/5.jpg>. Päivitetty 17.6.2011. luettu 11.4.2014
9. Vahvajussi 400. WWW dokumentti. <http://www.finatv.fi/vahvajussi400.html>. Päivitetty 12.4.2013. Luettu 11.4.2014
10. Kranman t1750. WWW dokumentti.  
<http://www.konenygard.fi/fi/metsavaunut/953-kranman-metsavaunu-t1750-4wd-basic.html>. Päivitetty 8.4.2014. Luettu 12.4.2014
11. Hiab 130. WWW dokumentti. <http://www.machinerysalesau.com/2008-hiab-130-for-sale/13052/>. Päivitetty 8.4.2014. Luettu 12.4.2014
12. Terästuotteet. WWW dokumentti. <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Rakenneputket>. Päivitetty 8.4.2014. Luettu 12.4.2014
13. Taivutusvastus. WWW dokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Taivutusvastus>. Päivitetty 8.4.2014. Luettu.12.4.2014
14. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.

15. Liukulaakerit. WWW dokumentti [http://www.johnson-metall.fi/liukulaakereiden\\_suunnittelu.php](http://www.johnson-metall.fi/liukulaakereiden_suunnittelu.php). Päivitetty 9.4.2014. Luettu 12.4.2014
16. Liukulaakerit. WWW dokumentti. [http://www.johnson-metall.fi/pdf/JMetall\\_tuoteluettelo\\_low.pdf](http://www.johnson-metall.fi/pdf/JMetall_tuoteluettelo_low.pdf). s, 17. Päivitetty 19.3.2012. Luettu 13.4.2014
17. Pulttien merkinnät. WWW dokumentti. <http://www.crawler.eu.org/koneoppi/pultti.php>. Päivitetty 9.4.2014. Luettu 13.4.2014
18. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
19. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
20. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
21. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
22. Honda gx200. WWW dokumentti. [https://www.hondashop.com.au/Product/176/Honda\\_GX200VXU\\_6.5hp\\_Tapered\\_shaft\\_for\\_direct\\_coupling/](https://www.hondashop.com.au/Product/176/Honda_GX200VXU_6.5hp_Tapered_shaft_for_direct_coupling/). Päivitetty 10.4.2014. Luettu 13.4.2014
23. Hydrauliiikkajärjestelmät. WWW dokumentti. <http://pedawiki.wikispaces.com/Hydrauliiikkaj%C3%A4rjestelm%C3%A4t>. Päivitetty 10.4.2014. Luettu 13.4.2014
24. Venttiilipöytä. WWW dokumentti. [http://www.hydrauliikkapumppu.fi/kauppa/product\\_details.php?p=147](http://www.hydrauliikkapumppu.fi/kauppa/product_details.php?p=147). Päivitetty 10.4.2014. Luettu 14.4.2014
25. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
26. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
27. Tammertekniikka 2010. Tekniikankaavasto.
28. Fonselius, Jaakko 1984. Koneautomaatio, hydrauliiikka. Helsinki: Ammattikasvatusthallitus.
29. Hydrauliiöljysäiliö. WWW dokumentti. [http://www.hydrauliikkapumppu.fi/kauppa/product\\_details.php?p=398](http://www.hydrauliikkapumppu.fi/kauppa/product_details.php?p=398). Päivitetty 15.4.2014. Luettu. 15.4.2014