

Tomi Siebel

Sideloader-nosturin rakenteen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

11.11.2014

Tekijä Otsikko	Tomi Siebel Sideloader-nosturin rakenteen suunnittelu
Sivumäärä Aika	39 sivua + 10 liitettä 11.11.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jarmo Perttula Yrittäjä Jussi Sarvela
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Eco-Mobiles Internationalille. Työn tavoitteena on suunnitella ISO-konttien lastaamiseen tarkoitettun sideloader-nostolaitteen rakenne.</p> <p>Sideloader koostuu kahdesta nosturista, jotka on asennettu perävaunun päälle, kontin päätyjen ulkopuolelle. Nosturit ovat mitoiltaan identtisiä.</p> <p>Työssä suunniteltiin kaksi mallia. Niistä valittiin tarkastelun perusteella jälkimmäinen, joka esitetään työssä yksityiskohtaisemmin. Työ sisältää mallien luonnokset, mitat sekä tarvittavat lujuuslaskut.</p> <p>Insinöörityön tuloksia tullaan mahdollisesti käyttämään tuotteen valmistamiseen.</p>	
Avainsanat	Nosturin rakenne, Sideloader, ISO-kontti

Author Title	Tomi Siebel Structure Planning for a Sideloader Crane
Number of Pages Date	39 pages + 10 appendices 11 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Jarmo Perttula, Lecturer Jussi Sarvela, Entrepreneur
<p>This Bachelor's thesis was carried out for Eco-Mobiles International Oy located in Espoo. The objective of this thesis was to design a crane structure for loading ISO-containers.</p> <p>A sideloader consists of two cranes, which are installed on a trailer behind the ends of a container. The cranes are identical in dimensions.</p> <p>As a result of this thesis, two models were designed. After an analysis, the latter model was chosen and it is presented more specifically. The thesis contains the drafts, measurements and necessary strength calculations of the models.</p> <p>In conclusion, the results of this study will possibly be brought into use by the company in the future.</p>	
Key words	Crane structure, Sideloader, ISO-container

Sisällys

Alkusanat

Lyhenteet

1	Johdanto	5
2	Työn taustaa	6
2.1	Kuljetuskonttien käyttö	6
2.2	Sideloader	7
2.3	Kiinnitysalusta ja käyttötarkoitus	7
2.4	Varmuuskerroin	9
2.5	Standardi	10
3	Malli 1	10
3.1	Rakenne	10
3.2	Mitoitus	11
3.2.1	Nostovarsi	11
3.2.2	Sylinteri 1	14
3.2.3	Sylinteri 2	16
3.3	Tukireaktiot	16
4	Malli 2	18
4.1	Rakenne	18
4.2	Mitoitus	19
4.2.1	Nostovarsi	20
4.2.2	Sylinteri nostovarren päässä	22
4.2.3	Nostovartta liikuttavan sylinterin pituus	23
4.2.4	Tasapaino	25
4.3	Tukireaktiot	27
5	Materiaalien ja osien valinta	30
5.1	Sylinterit	30
5.1.1	Nostovarren päässä roikkuva sylinteri	30
5.1.2	Nostovartta liikuttava sylinteri	30
5.2	Sylintereiden kiinnitys nostovarteeseen	30

5.3	Nostovarsi	31
5.4	Nivel	34
5.5	Ketjut	37
6	Yhteenveto	38

Liitteet

Liite 1. Nostovarteen kiinnitettävä sylinteri

Liite 2. Nostovartta liikuttava sylinteri

Liite 3. Sylinterin 3D-malli.

Liite 4. Piirros nostovarresta

Liite 5. 3D-kuva nostovarresta ja nivelestä sijoitettuna Grand Canyonin maisemaan.

Liite 6. Sylinterin kiinnitys nostovarteen

Liite 7. Sylinterin kiinnitys nostovarren päähän

Liite 8. Nostovarren nivel

Liite 9. Sylinterin nivel

Liite 10. Tukijalat

Alkusanat

Haluan kiittää tästä työstä insinööriyön tilaajaa sekä ohjaavaa henkilöä yrittäjä Jussi Sarvelaa. Hänen kekseliäisyytensä ja intonsa teki minuun vaikutuksen ja toivon, että pystyn tulevaisuudessa itse kehittämään ideoita vastaavalla asenteella. Kiitän lämpimästi opinnäytetyön ohjaajaa, lehtori Jarmo Perttulaa, monista hyvistä ideoista ja neuvoista sekä ystävällisestä ja tukevasta asenteesta opiskelijoita kohtaan. Lisäksi haluan kiittää vanhempiani, jotka ovat aina kannustaneet minua opiskelemaan.

Helsingissä 11.11.2014

Tomi Siebel

Lyhenteet

F_{sylv}	Sylinterin x-akselin suuntainen voima
F_{sylv}	Sylinterin y-akselin suuntainen voima
h	Hypotenuusa
ISO	International Organization for standardization
M_B	Momentti pisteen B suhteen.
M_v	Vääntömomentti
TEU	Twenty-foot equivalent unit
W_x	Taivutusvastus x-akselin suhteen
x	Mitta x-akselilla
y	Mitta y-akselilla
τ	Leikkausjännitys
σ	Jännitys
W_v	Vääntövastus
β	Hitsin lujuuskerroin

1 Johdanto

Tämä insinööriö tehtiin Eco-Mobile International Oy:lle. Työn tavoitteena oli suunnitella sideloaderin nosturirakenne tyhjien konttien lastaamiseen. Olemassa olevat sideloaderit on tarkoitettu täysien konttien lastaamiseen ja ne ovat rakenteensa vuoksi kalliita.

Insinööriöön tilaaja Eco-Mobile International on merikonttien logistiikkaan keskittyvä kolmen hengen yritys. Yhtiön toimitusjohtajana toimii Toomas Altosaar. Altosaar on tehnyt kehitystyötä useissa yrityksissä, mm. ABB, Honeywell, Valmet, M-Real. Hallituksen puheenjohtajana ja insinööriöön ohjaajana toimi yrittäjä Jussi Sarvela. Hiljattain Sarvelalle on myönnetty keskuskauppakamarin rautainen ansioristi. Pitkän uransa aikana Sarvelalle on myönnetty lukuisia kotimaisia sekä ulkomaisia patenteja. Jussi Sarvelan poika Mikael Sarvela on myös ollut mukana perheyhtiön arjessa toistakymmentä vuotta Suomessa sekä Yhdysvalloissa.

2 Työn taustaa

2.1 Kuljetuskonttien käyttö

Merikontteja käytetään esineiden ja kappaleiden kuljettamiseen. ISO-standardoidut kontit mahdollistavat helpon ja tehokkaan tavan kuljettaa tavaraa suojassa kontin sisällä. Merikonttien määrä maailmassa on yli 17 miljoonaa kappaletta. Tavarantuotanto on painottunut vahvasti Kiinaan ja muualle Aasiaan. Konttien kuljetusvirrat ovat vahvasti epätasapainossa, Aasiasta tuodaan huomattavasti enemmän tavaraa Eurooppaan kuin täältä viedään Aasiaan. Vuonna 2012 Eurooppaan tuotiin 8 959 000 TEU:ta [1]. Euroopasta vietiin 4 406 000 TEU:ta [1]. Tästä syystä Euroopassa käsitellään suuria määriä tyhjiä kontteja. Tyhjiä kontteja kuljetetaan pääasiassa samoilla ajoneuvoilla kuin täysien konttien kuljetus. Kuljetuskonttien käytöstä asuntojen rakentamiseen on saatu myös rohkaisevia kokemuksia (kuva 1). Konteista rakentaminen on kestävä, nopea ja kustannustehokas rakennusmuoto. Konttien uusiokäyttö lisää tyhjiä konttien kuljetustarvetta. Eco-Mobile International pyrkii valmistamaan edullisen ja käytökuluiltaan alhaisen ratkaisun tyhjiä konttien kuljettamiseen.



Kuva 1. Keetwonen kaupunginosassa Amsterdamissa sijaitsee konteista rakennettu opiskelija-asuntola [2].

2.2 Sideloader

Sideloader on nimitys nostolaitteelle, joka nostaa kontin kuorma-auton tai perävaunun sivulta ajoneuvon päälle. Laitteen ansiosta ei tarvita trukkia lastaamaan konttia kuorma-auton kyytiin. Tällä hetkellä markkinoilla olevat sideloaderit ovat raskaita ja kalliita laitteita. Tiedossa olevat sideloaderit on asennettu kiinteästi joko suoraan kuorma-autoon tai raskaaseen perävaunuun (kuva 2).



Kuva 2. Tyypillinen Sideloader [3].

2.3 Kiinnitysalusta ja käyttötarkoitus

Aluksi nosturi oli tarkoitus asentaa metallikehikon päälle. Metallikehikko olisi toiminut adapterina, joka olisi mahdollistanut sideloaderin siirtämisen kuorma-autosta toiseen. Jotta päästäisiin mahdollisimman edulliseen ja yksinkertaiseen ratkaisuun päädyttiin kuitenkin asentamaan sideloader perävaunun päälle. Adapteri olisi pitänyt rakentaa niin vahvaksi, että kustannusero sen ja perävaunun välillä olisi jäänyt perävaunun hyötyihin nähden liian pieneksi. Myös nostokorkeus olisi noussut, kun kuorma-auton korkeuden (1 200 mm) päälle olisi asennettu adapteri. Perävaunu on normaalia kuorma-autoa matalampi lavakorkeuden ollessa 1 000 mm, verrattuna kuorma-autoille tyypilliseen 1 200 mm lavakorkeuteen. Perävaunu mahdollistaa alhaisen lastauskorkeuden ja sitä kautta saavutamme säästöjä nostolaitteen rakenteissa.

Nostovarsia on kaksi kappaletta ja ne sijaitsevat nostettavan kontin päätyjen ulkopuolella. Perävaunun päätyihin asennetaan tukijalat, jotka estävät perävaunun kallistumisen noston aikana.

Sideloader on mitoitettu ISO-konteille, jotka ovat leveydeltään 2 440 mm. Konttien korkeus vaihtelee välillä 2 590 mm - 2 900 mm. Sideloaderin maksimikuorma on 6 000 kg.

ISO-konteissa on standardoidut kiinnityspisteet ylä- ja alakulmissa. Kiinnityspisteet on suunniteltu konttien kuljetusta varten kiinnittämään kontti alustaan tai toiseen konttiin kulmalukolla (kuva 3). Kiinnityspisteet sopivat hyvin nostamiseen. Nostokoukusta kiinnitetään ketjut kontin alakiinnityspisteisiin kuvan 4 esittämällä tavalla.

Laskut ja mitoitukset pyrin esittämään yksinkertaisesti ja selvästi, jotta niitä voidaan tarvittaessa muuttaa, mikäli perävaunuun taikka nostokorkeuksiin tulee muutoksia.



Kuva 3. ISO-kontin kulmakiinnike [4].



Kuva 4. Kulmalukko asennettuna perävaunuun [5].

2.4 Varmuuseroin

Nosturin varmuuskertoimeksi valittiin 2. Sen sallittu kuorma on 6 000 kg. Sideloader sisältää kaksi identtistä nosturia, joiden kesken kuorma jakautuu puoliksi, eli 3 000 kg per nosturi. Ellei erikseen mainittu, varmuuseroin on huomioitu laskuissa mitoittamalla nosturi 2 x sallittu kuorma eli $2 \times 3\,000 \text{ kg} = 6\,000 \text{ kg}$. Sylinterit mitoitetaan 40 000 N voiman mukaan. Sylinteri mitoitetaan alhaisemmalle kuormitukselle kuin nosturi, jotta sylinteri ei voi rikkoa rakenteita.

Hydrauliikkapiiriin asetetaan paineenrajoitin, joka estää sylinterin liian suuren kuormituksen. Sopiva paineraja voidaan määrittää nosturin koekäytössä. Sylinteriin kohdistuu suurin voima noston alussa, joten jos kuorma on liian suuri, sitä ei saa nostettua.

Konttien nostaminen tällä sideloaderilla on turvallista ja vakaata. Laitteen käyttäjän tulee kuitenkin huomioida mahdollinen kovan tuulen aiheuttama heilahteluvaara.

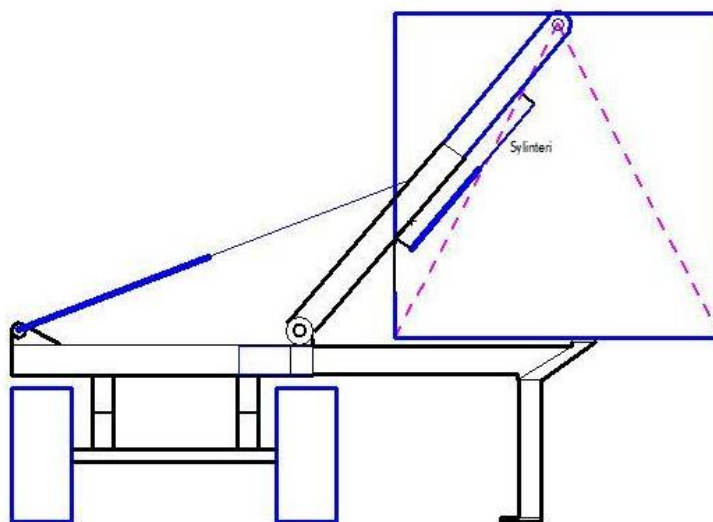
2.5 Standardi

Varmuuskerroin tavanomaiselle kuormalle on standardin SFS-EN 12999:n mukaan 1,5. Laskennassa käytetty varmuuskerroin 2 on riittävä.

3 Malli 1

3.1 Rakenne

Ensimmäisen mallin pää rakenne koostuu jatkettavasti nostovarresta sekä kahdesta sylinteristä. Toinen sylinteri liikuttaa jatkovartta ja toinen koko nostovartta. Jatkovarsi oli välttämätön, jotta nosturi toteuttaa halutut liikeradat (kuva 5).



Kuva 5. Ensimmäisen mallin luonnos.

Nostovarren kiinnityskohtalla vaikutetaan oleellisesti nosturin liikerataan sekä järjestelmässä vaikuttaviin rasituksiin. Kiinnityskohta on valittu mahdollisimman lähellä sitä reunaa, jonka puolelta kontti nostetaan, eli oikeaa reunaa. Tällä ratkaisulla päästään parempaan nostokulmaan, jolloin suurempi osa hydraulisynterin voimasta saadaan hyödynnettyä itse nostoon. Nostovarsi kiinnittyy runkoon nivelellä. Nivelelle on varattu tilaa 100 mm perävaunun oikeasta reunasta. Pystysuunnassa nivel on 150 mm:n korkeudella perävaunun rungosta mahdollistaen nostovarren liikkeen.

Nostokoukun paikaksi asetettiin 3 000 mm kontin pohjasta mitattuna. Koska kontit on suunniteltu kestämaan raskaita lasteja, konttien lattia on vahvempaa ja raskaampaa materiaalia kuin katto. Raskaammasta alaosaan johtuen tyhjän kontin painopiste on kontin vaakasuoran keskipisteen alapuolella. Painopiste tulee huomioida suunniteltaessa, millä korkeudella nostokoukku on kontin noston aikana.

Nostovarsi on pituudeltaan säädettävä. Pituuden säädön ansiosta kontit voidaan nostaa kyytiin lähempänä perävaunua ja nostoetäisyys saadaan määritettyä tietylle välille, tässä tapauksessa 200 mm - 400 mm:n etäisyydelle perävaunusta. Nostovarren lyhin mitta on tilanteessa, kun konttia lähdetään nostamaan 200 mm:n etäisyydeltä perävaunusta mitan ollessa 2 250 mm. Pisimmillään nostovarren pituus on 3 132 mm. Edellisten mittojen perusteella on myös määritetty jatkovarren tarvittava pituus.

3.2 Mitoitus

3.2.1 Nostovarsi

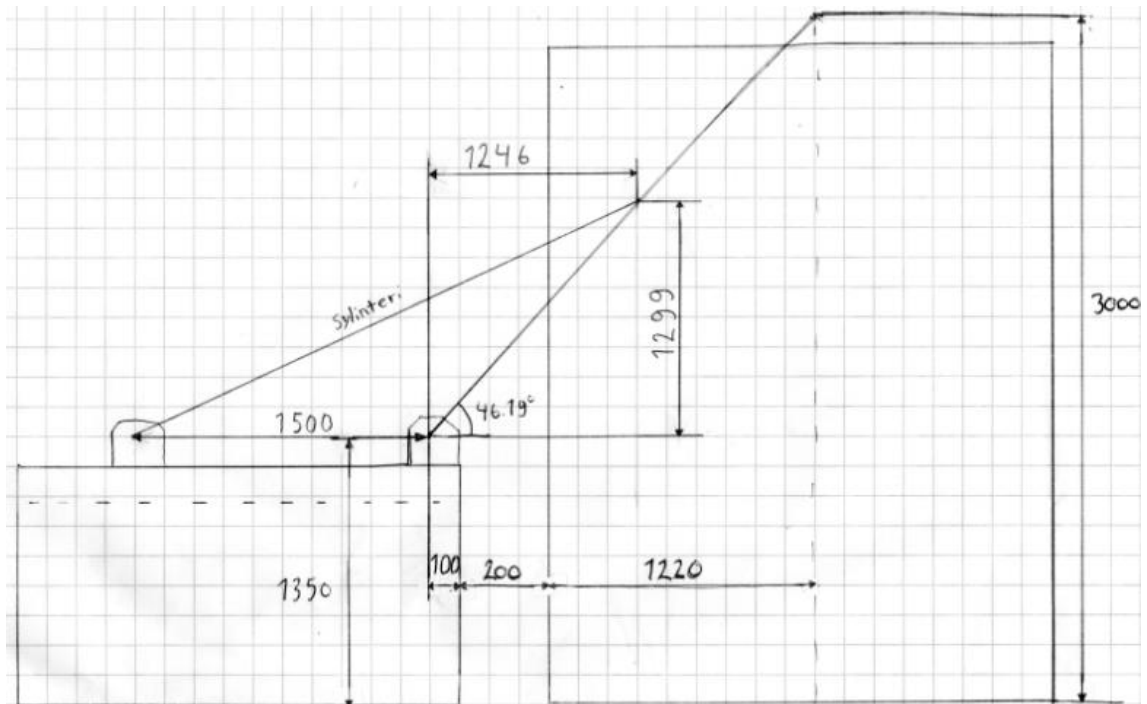
Pituudet ratkaistiin seuraavasti.

Nostovarren pituus, kun konttia lähdetään nostamaan maasta 200 mm:n etäisyydeltä perävaunun reunasta (kuva 6).

$$x = 1\,220\text{ mm} + 200\text{ mm} + 100\text{ mm} = 1\,520\text{ mm}$$

$$y = 3\,000\text{ mm} - 1\,350\text{ mm} = 1\,650\text{ mm}$$

$$h = ((1\,520\text{ mm})^2 + (1\,650\text{ mm})^2)^{1/2} = 2\,250\text{ mm}$$



Kuva 6. Nostovarren asento, kun kontti 200 mm etäisyydellä perävaunusta.

Nostovarren pituus, kun konttia lähdetään nostamaan maasta 400 mm:n etäisyydeltä perävaunun reunasta.

$$x = 1\,220\text{ mm} + 400\text{ mm} + 100\text{ mm} = 1\,720\text{ mm}$$

$$y = 3\,000\text{ mm} - 1\,350\text{ mm} = 1\,650\text{ mm}$$

$$h = ((1\,720\text{ mm})^2 + (1\,650\text{ mm})^2)^{1/2} = 2\,384\text{ mm}$$

Nostovarren pituus, kun kontti pystysuunnassa perävaunun korkeudella ja 200 mm:n etäisyydellä perävaunun reunasta.

$$x = 1\,220\text{ mm} + 200\text{ mm} + 100\text{ mm} = 1\,670\text{ mm}$$

$$y = 3\,000\text{ mm} - 350\text{ mm} = 2\,650\text{ mm}$$

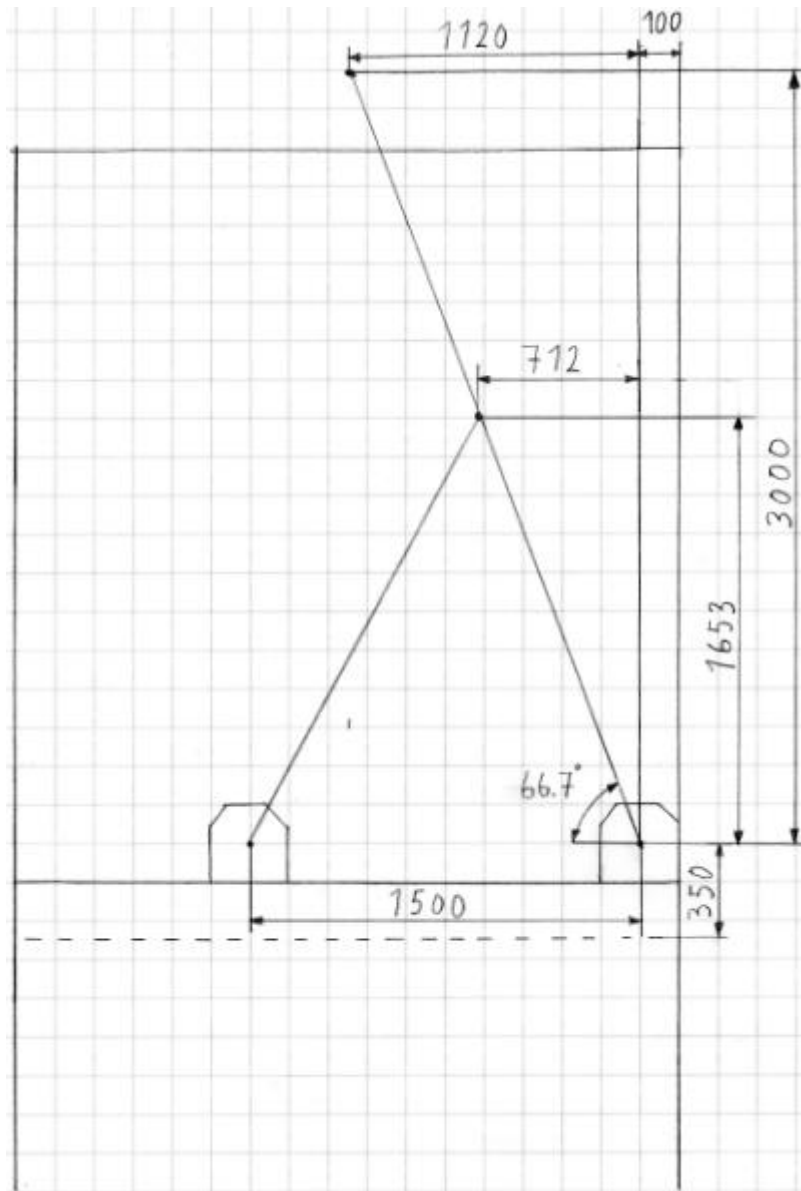
$$h = ((2\,650\text{ mm})^2 + (1\,670\text{ mm})^2)^{1/2} = 3\,132\text{ mm}$$

Nostovarren pituus, kun kontti on lastattu perävaunun kyytiin (kuva 7).

$$x = 1\,220\text{ mm} - 100\text{ mm} = 1\,120\text{ mm}$$

$$y = 3\,000\text{ mm} - 350\text{ mm} = 2\,650\text{ mm}$$

$$h = ((1\,120\text{ mm})^2 + (2\,650\text{ mm})^2)^{1/2} = 2\,877\text{ mm}$$



Kuva 7. Nostovarren asento, kun kontti perävaunun kyydissä.

3.2.2 Sylinteri 1

Sylinteri 1 liikuttaa nostovartta.

Nostovarren ja vaakasuoran välinen kulma on pienimmillään 46.19° tilanteessa, jossa konttia lähdetään nostamaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta. Tästä voidaan päätellä, että nostovartta liikuttavaan sylinteriin kohdistuvat voimat kasvavat suureksi. Sylinterin kiinnityspisteen sijoittaminen mahdollisimman etäälle nostovarren ja perävaunun kiinnityspisteestä suurentaa sylinterin ja nostovarren välistä kulmaa. Suurempi kulma pienentää sylinteriin kohdistuvaa rasiitusta ja siten myös palkin puristusrasitusta. Samoin sylinterin kiinnittäminen nostovarteeseen mahdollisimman ylös pienentää siihen kohdistuvaa rasiitusta. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin sylinterin pituus. Kiinnityspisteiksi valittiin kompromissi sylinteriin kohdistuvien voimien ja pituuden väliltä.

Sylinterin kiinnityspiste nostovarressa on sijoitettu 1 800 mm korkeudelle nostovarren alapäästä mitattuna. Perävaunuun sylinteri kiinnitetään 1 500 mm etäisyydelle nostovarren nivelestä.

Maksimipituus

Lasketaan nostovarren ja vaakasuoran välinen kulma pienimmillään, kun konttia nostetaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta (kuva 8). Sen avulla voidaan laskea kiinnityspisteen sijainti ja sylinterin vaadittu pituus.

$$\text{Kulman suuruus} = \sin 1\,720 \text{ mm} / 2\,384 \text{ mm} = 46.19^\circ$$

$$x = \cos 46.19^\circ * 1\,800 \text{ mm} = 1\,246 \text{ mm}$$

$$y = \sin 46.19^\circ * 1\,800 \text{ mm} = 1\,299 \text{ mm}$$

Etäisyys sylinterin kiinnityspisteiden välillä

$$x = 1\,246 \text{ mm} + 1\,299 \text{ mm} = 2\,545 \text{ mm}$$

$$y = 3\,000 \text{ mm} - 1\,350 \text{ mm} = 1\,650 \text{ mm}$$

$$h = ((2\,545 \text{ mm})^2 + (1\,650 \text{ mm})^2)^{1/2} = 3\,030 \text{ mm}$$

Sylinterin maksimipituus 3 030 mm

Minimipituus, kun kontti on perävaunun lavalla.

Kiinnityspisteen sijainti

Kulma (kuva 6) = $\tan^{-1} 2\,650\text{ mm} / 1\,140\text{ mm} = 66.7^\circ$

$x = \cos 66.7^\circ * 1\,800\text{ mm} = 712\text{ mm}$

$y = \sin 66.7^\circ * 1\,800\text{ mm} = 1\,653\text{ mm}$

Etäisyys kiinnityspisteiden välillä

$x = 1\,500\text{ mm} - 712\text{ mm} = 788\text{ mm}$

$y = 1\,653\text{ mm}$

$h = ((788\text{ mm})^2 + (1\,503\text{ mm})^2)^{1/2} = 1\,830\text{ mm}$

Sylinteri 1 minimi iskunpituus $3\,030\text{ mm} - 1\,830\text{ mm} = 1\,200\text{ mm}$

3.2.3 Sylinteri 2

Sylinteri 2 liikuttaa jatkovartta. Minimi sylinterin iskunpituus on nostovarren suurin pituus miinus lyhin pituus eli $3\,132\text{ mm} - 2\,250\text{ mm} = 882\text{ mm}$. Valitaan työntövoimaksi $40\,000\text{ N}$

3.3 Tukireaktiot

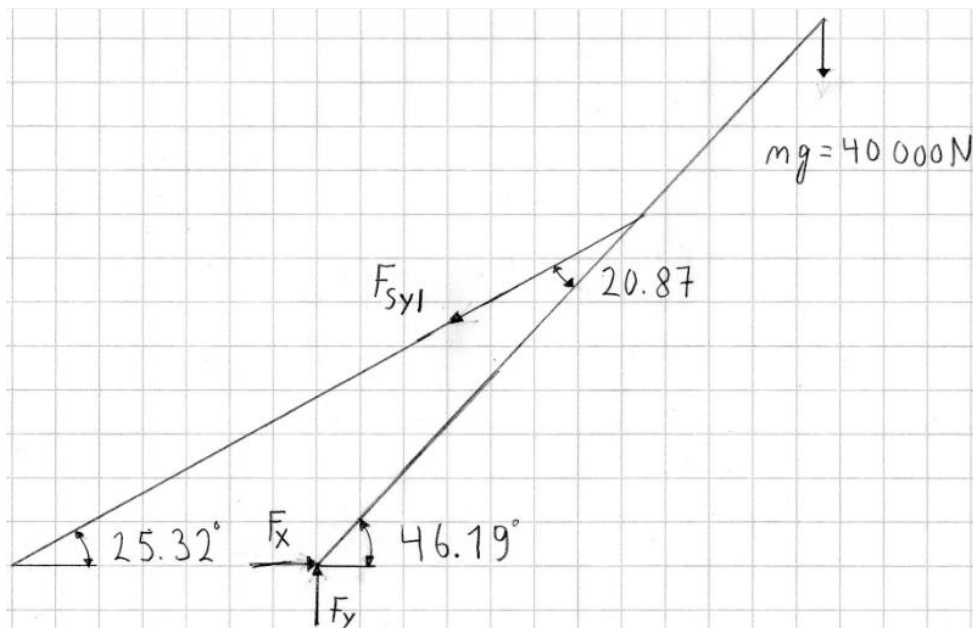
Sylinterin maksimi vetävä voima

Sylinterin ja nostovarren välinen kulma, kun konttia lähdetään nostamaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta (kuva 8).

$$\tan 1\,299\text{ mm}/(1\,500\text{ mm}+1\,246\text{ mm}) = 25.32^\circ$$

$$M = F_{\text{syl}} \sin 20.87^\circ \cdot 1,800\text{ m} - 40\,000\text{ N} \cdot 3,132\text{ m} \cdot \cos 46.19^\circ = 0$$

$$F_{\text{syl}} = 135\,250\text{ N}$$



Kuva 8. Nosturin asento, kun konttia nostetaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta.

Nostovarren niveleen vaikuttavat voimat (kuva 9).

$$F_x = F_{\text{syl}} * \cos 25.32^\circ = 122\,250\text{N}$$

$$F_y = F_{\text{syl}} * \sin 25.32^\circ + 40\,000\text{N} = 97\,840\text{ N}$$

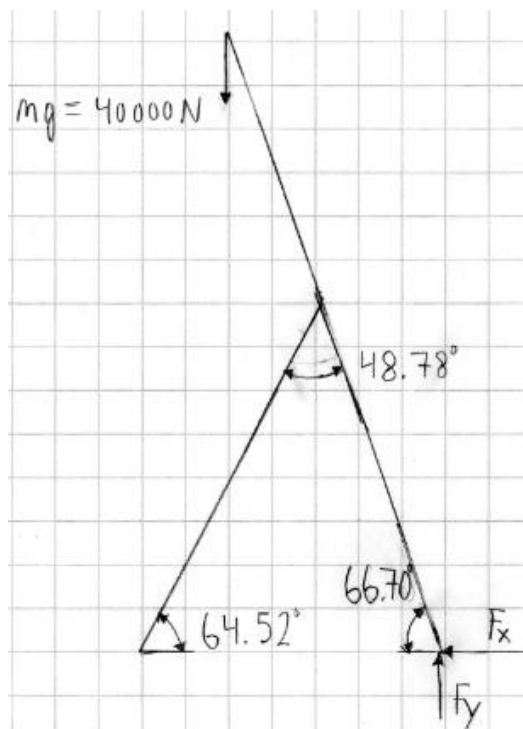
Sylinterin maksimi työntävä voima

Nostovarren ja vaakasuoran välinen kulma = 66.70°

Sylinterin ja nostovarren välinen kulma = 48.78°

$$M = F_{\text{syl}} \sin 48.78^\circ * 1,800\text{ m} - 40\,000\text{ N} * 3,132\text{ m} * \cos 66.70^\circ = 0$$

$$F_{\text{syl}} = 36\,600\text{ N}$$



Kuva 9. Nosturin asento, kun konttia nostetaan perävaunun lavalta.

$$F_x = F_{\text{syl}} * \cos 64.52^\circ = 15\,745\text{ N}$$

$$F_y = -F_{\text{syl}} * \sin 64.52^\circ + 40\,000\text{ N} = 6\,960\text{ N}$$

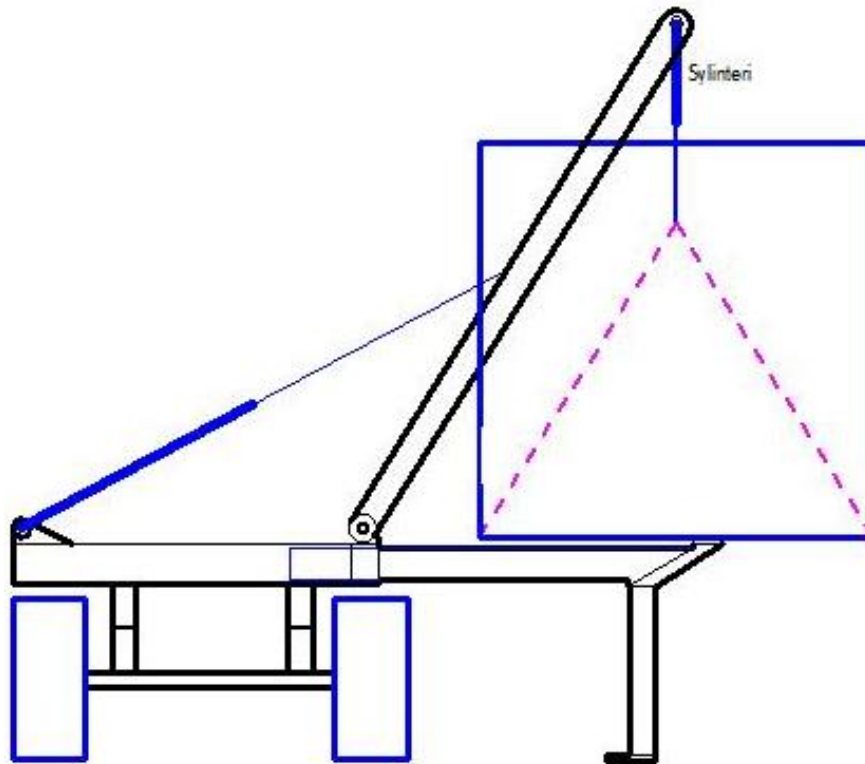
4 Malli 2

4.1 Rakenne

Toisessa mallissa lähtökohtana oli päästä eroon kalliista ja hankalasta jatkovarresta. Jatkovarren toisiaan vasten liukuviin pintoihin kohdistuu suuri paine ja ne ovat alttiita kulumiselle ja korroosiolle. Myös palkkien kustannukset saattavat nousta korkeiksi, koska sisempi palkki joudutaan tilaamaan mittatilaustyönä, jotta välykset ovat oikeat. Myös vetosylinteriin vaikuttavien voimien minimointi oli toivottavaa.

Tässä suunnitelmassa asetettiin sylinteri kiinteän palkin päähän, nostoketjujen ja palkin väliin. Sylinteri nostaa konttia vain ylös ja alas, sivuttaisliikkeen tapahtuessa kiinteän nostovarren avulla. Nostovarsi on luettelosta löytyvää rakenneputkea. Sylinteri roikkuu metalliputken päässä nostovarren sivulla riittävällä etäisyydellä, jotta se pääsee nostettaessa ohittamaan palkin (kuva 10). Liitteissä 6 ja 7 on piirustukset kiinnityksestä.

Mitoituksen jälkeen pystyi päättelemään, että sylinteriin kohdistuvat rasitukset ovat pienempiä kuin ensimmäisessä mallissa, johtuen nostovarren pystymmästä asennosta. Myös sideladerin käyttö helpottuu, kun konttia voidaan liikuttaa pystysuoraan nostovarteeseen kiinnitetyn sylinterin avulla. Tämä on tärkeää, koska kontti täytyy laskea tarkasti perävaunussa olevien kulmalukkojen kohdalle.



Kuva 10. Toisen mallin luonnos.

4.2 Mitoitus

Nosturi mitoitettiin siten, että kontin voi nostaa 200 mm - 400 mm:n etäisyydeltä perävaunun reunasta.

Ensiksi mitoitettiin kiinteä nostovarsi. Yleinen kuorma-auton maksimikorkeus Euroopassa on 4 000 mm. Nostovarren ei tulisi nousta sen yläpuolelle. Nostovarresta halutaan kuitenkin mahdollisimman korkea, jotta sen ja vaakasuoran välinen kulma jää pieneksi. Etäisyys nostovarren nivelestä perävaunun toiseen reunaan on 2 300 mm. Mitasta vähennetään palkin pyöristyksen säde 110 mm.

4.2.1 Nostovarsi

$$x = 2\,340\text{ mm} - 110\text{ mm} = 2\,230\text{ mm}$$

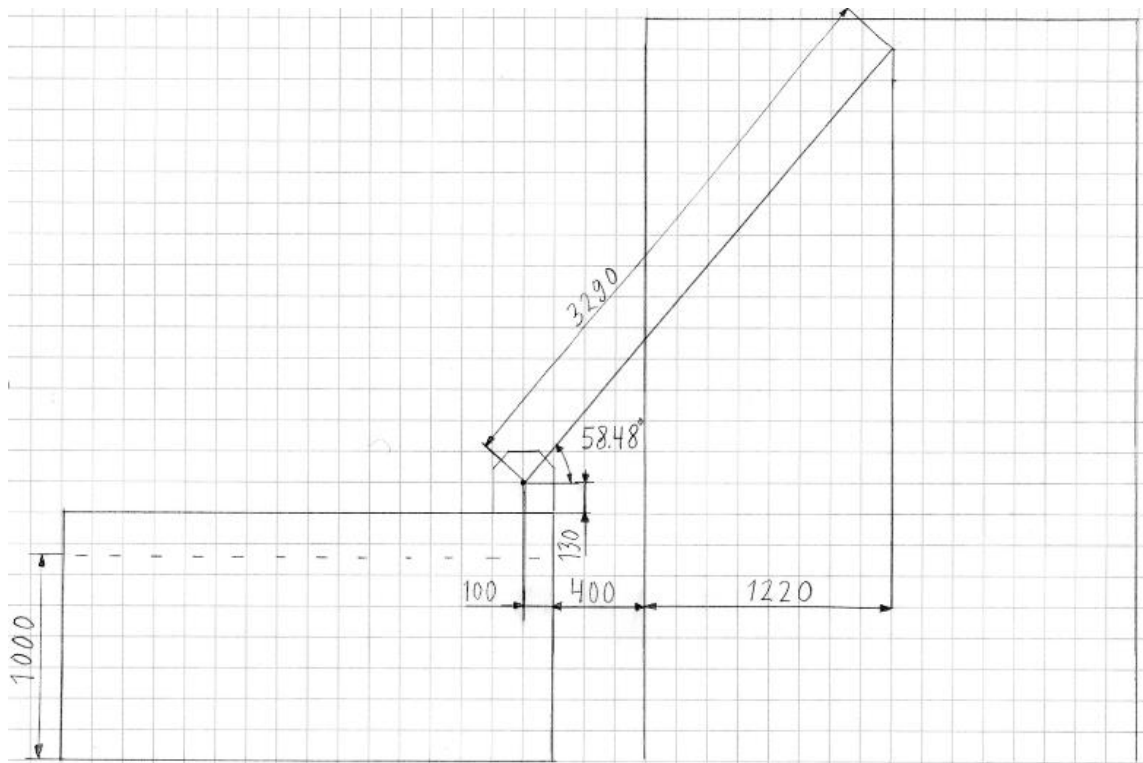
$$y = 4\,000\text{ mm} - 1\,000\text{ mm} - 330\text{ mm} - 110\text{ mm} = 2\,560\text{ mm}$$

$$h = ((2\,230\text{ mm})^2 + 2\,560\text{ mm})^2)^{1/2} = 3\,400\text{ mm}$$

Nivel asennetaan 110 mm:n etäisyydelle palkin alapäädyistä, joten palkin todellinen pituus on 3 510 mm

Kulman suuruus, kun nostovarsi saavuttaa kontin keskipisteen x-akselilla kontin ollessa 400mm etäisyydellä perävaunusta (kuva 11). Nostovarren päässä oleva sylinteri kiinnitetään putkella nostovarteen 110 mm:n etäisyydelle nostovarren yläpäädyistä. Alanivelel ja ylänivelen välinen etäisyys on 3 400 mm - 110 mm = 3 290 mm.

$$\cos 1\,720\text{ mm} / 3\,290\text{ mm} = 58.48^\circ$$



Kuva 11. Nostovarren asento, kun konttia nostetaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta.

Kulman suuruus, kontin ollessa 200 mm:n etäisyydellä perävaunusta.

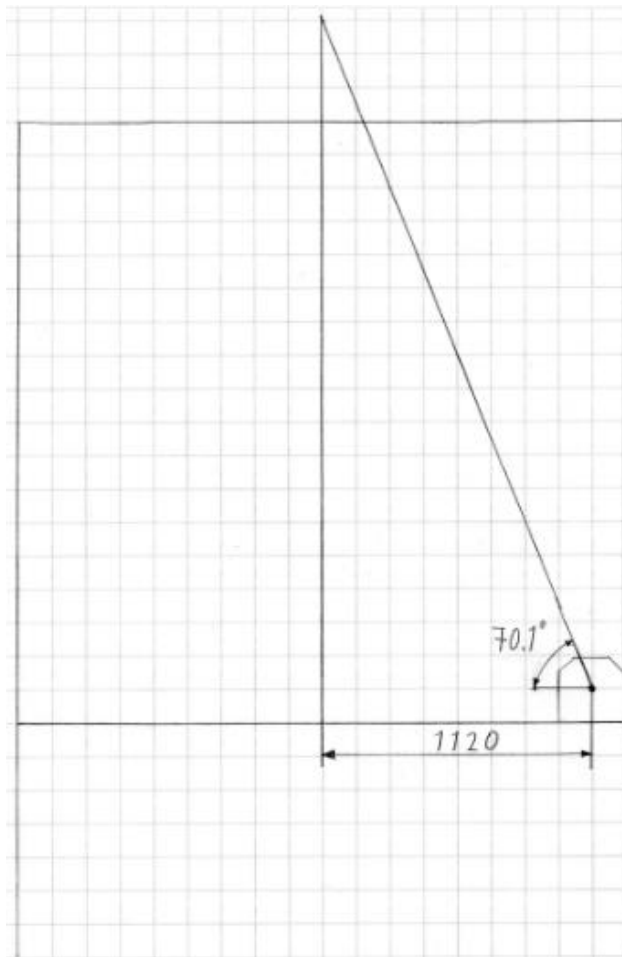
$$\cos 1\,520\text{ mm} / 3\,290\text{ mm} = 62.48^\circ$$

Kulman suuruus, kun kontin reuna ja perävaunun reuna koskettaa toisiaan

$$\cos 1\,320 / 3\,290\text{ mm} = 66.35^\circ$$

Nostovarren ja perävaunun välisen kulman suuruus, kun nostokoukku on x-akselilla perävaunun puolivälissä, eli kun kontti lasketaan perävaunun päälle (kuva 12).

$$\cos 1\,120\text{ mm} / 3\,290\text{ mm} = 70.1^\circ$$



Kuva 12. Nostovarren asento, kun konttia nostetaan perävaunun lavalta.

4.2.2 Sylinteri nostovarren päässä

Lasketaan vaadittava iskunpituus nostovarren päässä roikkuvalle sylinterille, kun kontti nostetaan 1 000 mm korkean perävaunun päälle.

Pystysuora nosto, joka aiheutuu, kun nostovarsi liikkuu kulmasta 62.48° kulmaan 66.35°

$$\sin 66.35^\circ * 3\,290 \text{ mm} - \sin 62.48^\circ * 3\,290 \text{ mm} = 96 \text{ mm}$$

Sylinterin minimi iskunpituus

$$1\,000 \text{ mm} - 96 \text{ mm} = 904 \text{ mm},$$

jossa 1 000 mm on perävaunun lastauskorkeus.

Valitaan iskunpituudeksi 1 000 mm

Määritetään nostokoukun paikka pystyakselilla. Nostokoukun paikan olisi tasapainon vuoksi suotavaa sijaita kontin painopisteen yläpuolella. Korkeimman kontin painopiste pystyakselilla $2\,900 \text{ mm} / 2 = 1\,450 \text{ mm}$. Todellisuudessa painopiste on alempana joutuksen siitä, että lattia on rakennettu vahvemmassa ja raskaammassa materiaalista kuin katto.

Ensin lasketaan nostovarren korkeus pystyakselilla matalimmassa kohdassa, eli kulman ollessa 58.48°.

$$\sin 58.48^\circ * 3\,290 \text{ mm} + 1\,330 \text{ mm} = 4\,135 \text{ mm}$$

Nostokoukun sijainti pystyakselilla saadaan, kun edellä lasketusta tuloksesta vähennetään sylinterin iskunpituus + asennuspituus.

$$4\,135 \text{ mm} - 1\,000 \text{ mm} - 1\,415 \text{ mm} = 1\,720 \text{ mm}$$

Tulos on riittävä kontin turvalliseen nostamiseen.

4.2.3 Nostovartta liikuttavan sylinterin pituus

Sylinterin mitoitus osoittautui hankalaksi, koska kuljetusasennossa nostovarsi kallistetaan vasempaan kulmaan. Tämä johti siihen, että sylinterin kiinnityspiste nostovarressa tuli x-akselilla liian lähelle toista kiinnityspistettä, mikä aiheutti sen, että sylinterin asennuspituus tuli liian pieneksi. Sopivat mitat saatiin, kun sylinterin kiinnityspiste nostovarressa asetettiin tarpeeksi alas, 900 mm:n etäisyydelle nostovarren alakiinnityspisteestä. Sylinteri kiinnitetään nostovarren sivulle, nostovarren läpi menevään putkeen. Liitteessä 6 on piirustus kiinnityksestä nostovarteen.

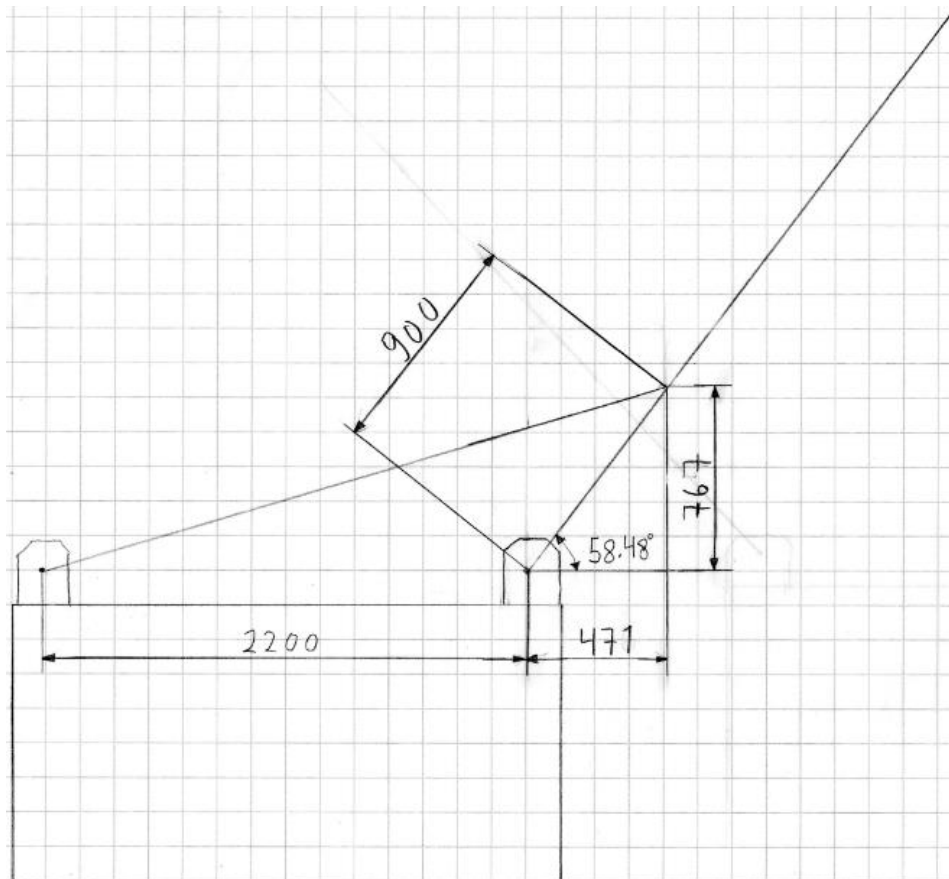
Sylinterin maksimipituus

Sylinterin maksimipituus esiintyy, kun konttia lähdetään nostamaan maksimietäisyydeltä (kuva 13).

Kiinnityskohta nostovarressa, kun nostetaan konttia 400 mm:n etäisyydeltä

$$x = \cos 58.48^\circ * 900 \text{ mm} = 471 \text{ mm}$$

$$y = \sin 58.48^\circ * 900 \text{ mm} = 767 \text{ mm}$$



Kuva 13. Nosturin asento, kun konttia nostetaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta.

Maksimipituus

$$((767 \text{ mm})^2 + (2\,200 \text{ mm} + 471 \text{ mm})^2)^{1/2} = \mathbf{2\,780 \text{ mm}}$$

Sylinterin minimipituus

Nostovarren ja vaakasuoran välinen kulma kuljetusasennossa

$$\tan^{-1} 2\,560 \text{ mm} / 2\,230 \text{ mm} = 48.94^\circ$$

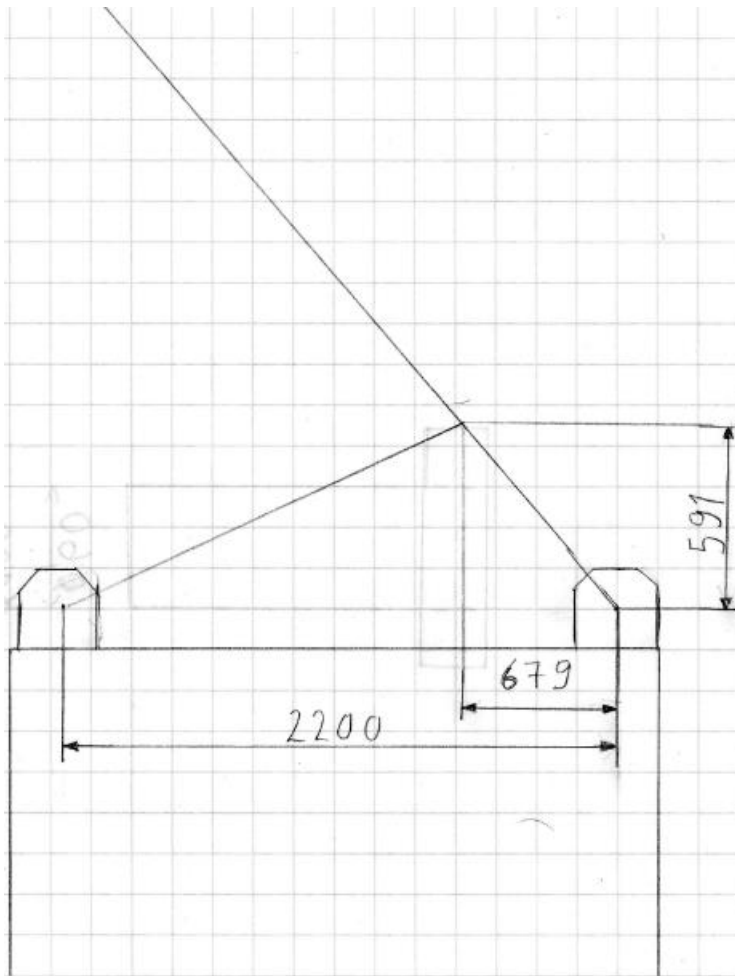
Sylinterin kiinnityskohta nostovarressa, kun nostovarsi on kuljetusasennossa. Tässä asennossa sylinteriin kohdistuu vain nostovarren painovoima, joka on niin pieni, ettei sitä tarvitse huomioida (kuva 14).

$$x = \cos 48.94^\circ * 900 \text{ mm} = 591 \text{ mm}$$

$$y = \sin 48.94^\circ * 900 \text{ mm} = 679 \text{ mm}$$

Minimipituus

$$((679 \text{ mm})^2 + (2\,200 \text{ mm} - 591 \text{ mm})^2)^{1/2} = 1\,746 \text{ mm}$$



Kuva 14. Nosturin kuljetusasento.

4.2.4 Tasapaino

Perävaunun arvioitu massa on 2 000 kg. Koska sideloaderin suurin mahdollinen kuorma on 6 000 kg, varmuuskertoimella 2 kuorma on $2 \times 6\,000 \text{ kg} = 12\,000 \text{ kg}$. Jos tukijalat asennetaan vain toiselle puolelle, perävaunu saattaa heilahtaa noston edetessä jousituksen vuoksi. Tästä syystä tukijalat asennetaan molemmille puolille. Noston puolella tukijalat yltävät varmuuskertoimella 2 mitoitettuna yhdistelmän painopisteeseen asti maksimikuormalla. Toisella puolella tukijalat ovat vaunun reunalla. Tukijalat asennetaan kontin päätyjen ulkopuolelle. Tukijaloiksi valittiin liitteessä 10 esitetty malli

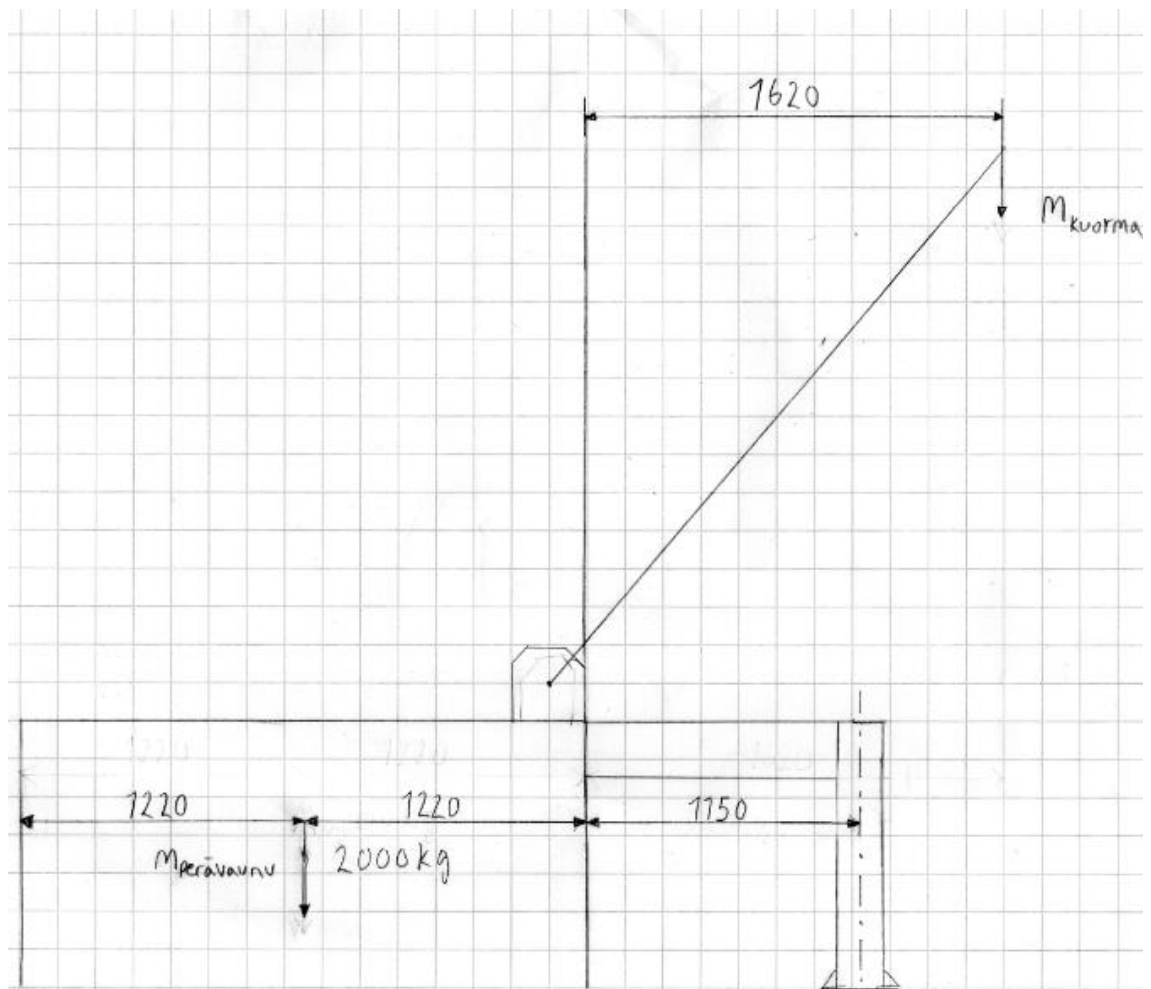
MS22.440. Jalat tulevat ulospäin 1150 mm:n verran. Lasketaan suurin sallittu kuorma kyseisillä tukijaloilla (kuva 15).

Tasapainoyhtälö, kun konttia nostetaan suurimmalta etäisyydeltä.

$$m_{\text{perävaunu}} * (1220 \text{ mm} + 1150 \text{ mm}) = m_{\text{kuorma}} * (1620 \text{ mm} - 1150 \text{ mm})$$

$$m_{\text{kuorma}} = (2000 \text{ kg} * 2370 \text{ mm}) / 470 \text{ mm} = 10100 \text{ kg}$$

Tulos on riittävä, koska sylintereiden hydraulikkapaine mitoitetaan siten, ettei niillä ole mahdollista nostaa yli 6000 kg:n kuormia.

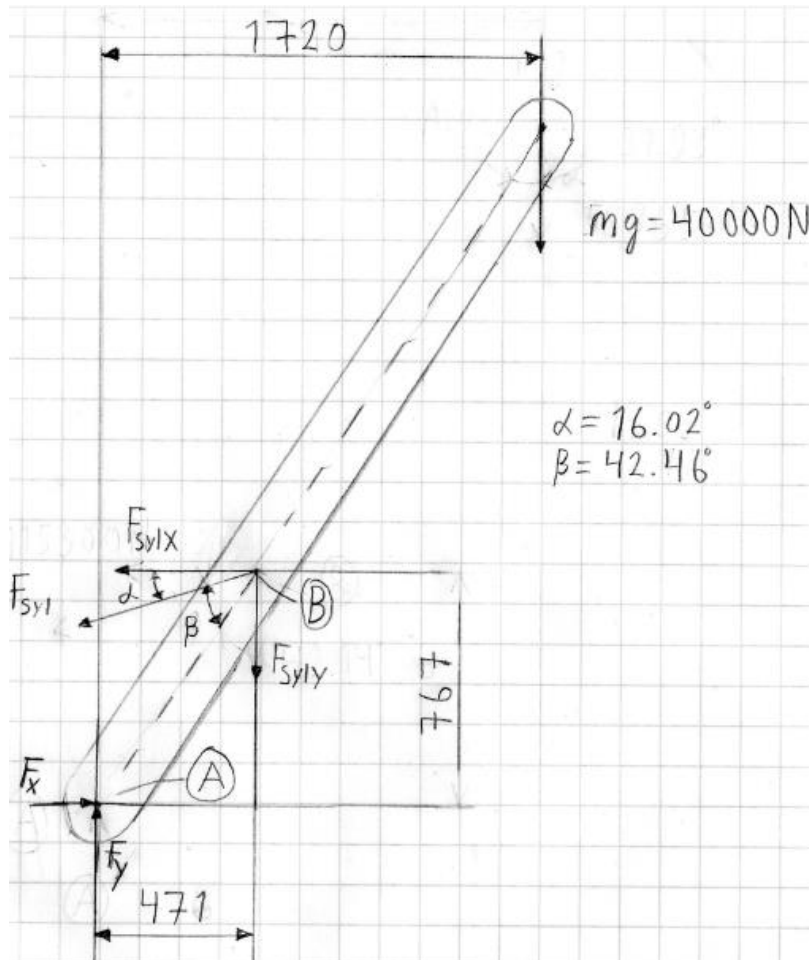


Kuva 15. Sideloaderin tasapaino.

4.3 Tukireaktiot

Suurin rasitus esiintyy, kun nostovarren ja vaakasuoran välinen kuorma on pienimmillään (58.48°), pienin kulma esiintyy, kun konttia nostetaan 400 mm etäisyydeltä perävaunusta (kuva 16).

Sylinterin maksimi vetävä voima



Kuva 16. Vapaakappalekuva, kun konttia nostetaan 400mm:n etäisyydeltä.

$$M = F_{\text{syl}} \cdot \sin 42.46^\circ \cdot 0,9 \text{ m} - 40\,000 \text{ N} \cdot 3,29 \text{ m} \cdot \cos 58.48^\circ = 0$$

Ratkaistaan F_{syl}

$$F_{syl} = (40\,000\text{ N} * 3,29\text{ m} * \cos 58.48^\circ) / (\sin 42.46^\circ * 0,9\text{ m}) = 113\,240\text{ N}$$

$$\Sigma F_x = F_x - F_{sylx} = 0$$

$$F_{sylx} = F_{syl} * \cos 16.02^\circ = 108\,840\text{ N}$$

$$\Sigma F_y = -mg - F_{sily} + F_y = 0$$

$$F_{sily} = F_{syl} * \sin 16.02^\circ = 31\,250\text{ N}$$

$$F_y = F_{sily} + mg = 31\,250\text{ N} + 40\,000\text{ N} = 71\,250\text{ N}$$

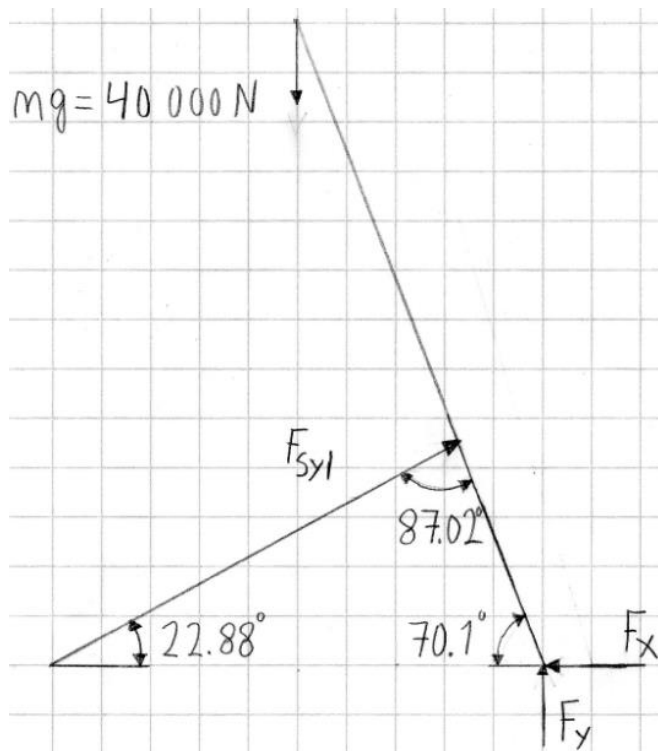
Tarkistetaan tulos laskemalla momentti pisteen A suhteen

$$\Sigma M_A = -mg * 1,72\text{ m} - F_{sily} * 0,471\text{ m} + F_{sylx} * 0,767\text{ m} = 0$$

$$\Sigma M_A = -68\,800\text{ Nm} - 31\,250\text{ N} * 0,471\text{ m} + 108\,840\text{ N} * 0,767\text{ m} = 40\text{ Nm}$$

Tulos poikkeaa hieman pyöristysten vuoksi.

Sylinterin maksimi työntävä voima



Kuva 17. Vapaakappalekuva, kun konttia nostetaan perävaunun lavalta.

Nostovarren ja vaakasuoran välinen kulma (kuva 17). = 70.1°

Sylinterin ja nostovarren välisen kulman suuruus (kuva 17). = 87.02°

$$M = F_{\text{syl}} \sin 87.02^\circ * 0,9 \text{ m} - (40000\text{N}) * 3,290 \text{ m} * \cos 70.10^\circ = 0$$

$$F_{\text{syl}} = 49\,900 \text{ N}$$

$$F_x = F_{\text{syl}} * \cos 22.88^\circ = 46\,000 \text{ N}$$

$$F_y = -F_{\text{syl}} * \sin 22.88^\circ + 40\,000 \text{ N} = 20\,600 \text{ N}$$

5 Materiaalien ja osien valinta

5.1 Sylinterit

5.1.1 Nostovarren päässä roikkuva sylinteri

Sylinterin asennuspituus on 1 415 mm ja iskunpituus 1 000 mm. Sylinterin vetovoimaksi valitaan 40 kN. Sylinterin tarkemmat mitat ovat liitteessä 1.

5.1.2 Nostovartta liikuttava sylinteri

Molemmat sylinterit valittiin Bosch Rexrothin suunnitteluohjelmalla [6]. Nostovartta liikuttavan sylinterin asennuspituudeksi valittiin 1 700 mm ja iskupituudeksi 1 000 mm. Kokonaispituus on 2 800 mm, joka oli lähes sama, kuin pienin sallittu maksimipituus 2 783 mm. Tämä estää sen, ettei nostovartta voi ajaa liian pitkälle, jolloin rasitus sylinterissä kasvaisi liian suureksi.

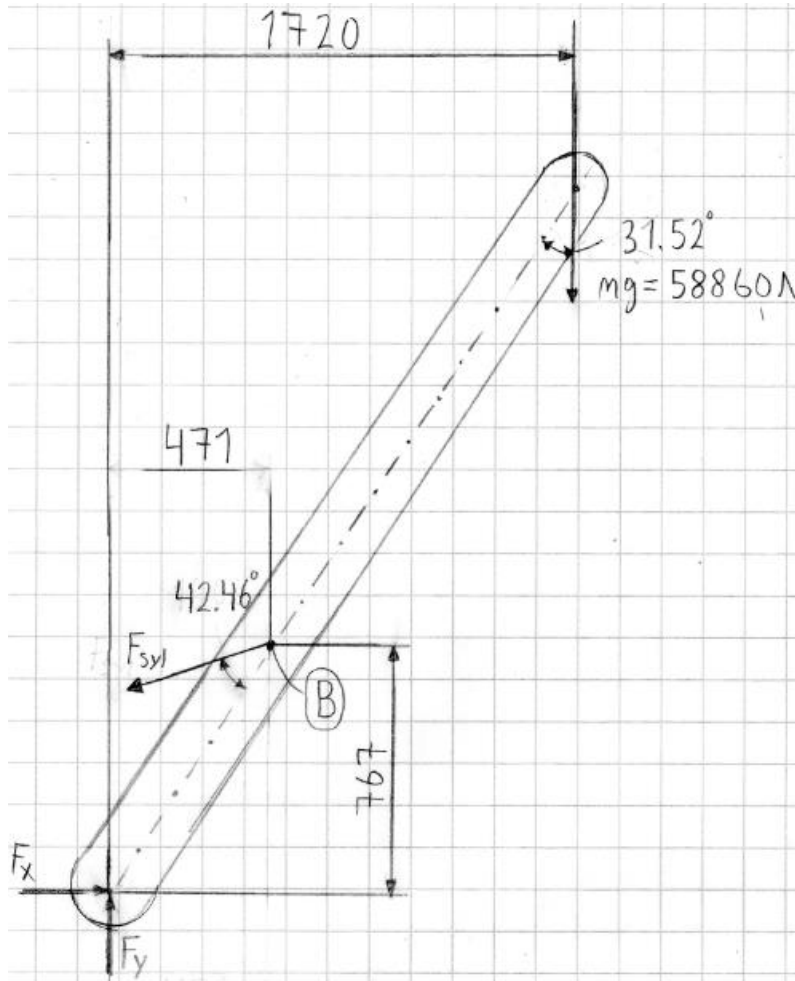
Hydrauliikkapaineeksi molemmille sylintereille valittiin 200 bar. Vetäväksi voimaksi valittiin 116 kN. Työntäväksi voimaksi valitaan 50 kN. Sylinteri ajetaan loppuun, joten päässä on hidastin, joka estää mäntää kolahtamasta sylinterin pätyyn. Sylinterin mitat ovat liitteessä 2.

5.2 Sylintereiden kiinnitys nostovarteen

Sylinterit kiinnitetään nostovarren sivuille liitteissä 6 ja 7 esitettyihin niveliin. Sylinterit lukitaan paikoilleen lukkorenkailla. Lukkorenkaat asennetaan sylinterin molemmin puolin oleviin uriin. Lukkorenkaiden mitat löytyvät Tamgearin verkkosivuilta [7].

5.3 Nostovarsi

Suurin rasitus nostovarteen kohdistuu, kun konttia nostetaan maksimietäisyydeltä. Liitteessä 3 on piirros nostovarresta.



Kuva 18. Tukireaktiot, kun konttia nostetaan 400mm:n etäisyydeltä perävaunusta.

Lasketaan tukireaktiot (kuva 18), kuten aiemmin, varmuuskertoimella 2.

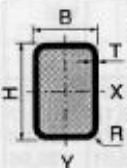
$$F_{syl} = 166\,640 \text{ N}$$

$$F_x = 160\,170 \text{ N}$$

$$F_y = 104\,850 \text{ N}$$

Lasketaan momentti pisteen B suhteen (kuva 18).

$$M_B = (mg + F) * (1,72 \text{ m} - 0,471 \text{ m}) = (6\,000 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) * 1,249 \text{ m} = 73\,516 \text{ Nm} \\ = 73\,516 * 10^3 \text{ Nmm}$$

			X = Suositussarja M = Paino A = Poikkileikkauksen pinta-ala A _u = Ulkopuolinen pinta-ala I = Jäyhyysmomentti W = Taivutusvastus	W _p = Plastinen taivutusvastus i = Jäyhyys säde I _v = Vääntöjäyhyys W _v = Vääntövastus Lasketatiheys = 7,85 kg/dm ³	Poikkileikkauksarvot on laskettu käyttäen nimellismittoja H, B ja T sekä ulkopuolista kulmanpyöristystä R: R = 2,0 x T kun T ≤ 6,0 mm R = 2,5 x T kun 6,0 mm < T ≤ 10,0 mm R = 3,0 x T kun T > 10,0 mm											
H	B	T	X	M	A	A _u	I _x	W _x	W _{px}	i _x	I _y	W _y	W _{py}	I _y	I _v	W _v
mm	mm	mm		kg/m	mm ² x 10 ²	m ² /m	mm ⁴ x 10 ⁴	mm ³ x 10 ³	mm ³ x 10 ³	mm	mm ⁴ x 10 ⁴	mm ³ x 10 ³	mm ³ x 10 ³	mm	mm ⁴ x 10 ⁴	mm ³ x 10 ³
220	120	8,0	x	39,0	49,64	0,646	3029,40	275,40	346,02	7,81	1179,49	196,58	227,41	4,87	2864,35	341,73

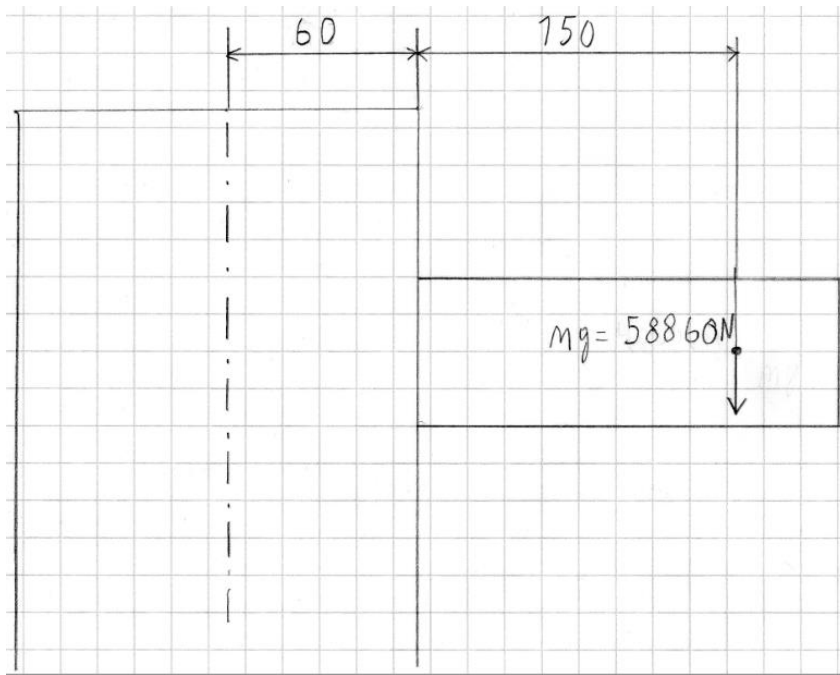
Kuva 19. Palkin ominaisuuksia [8].

Taivutusvastus X-akselin suhteen $W_x = M_B / \sigma$

$$\sigma = M_B / W_x = 73\,516 * 10^3 \text{ Nmm} / 275\,400 \text{ mm}^3 = 270 \text{ N/mm}^2$$

Vääntömomentti, nostovarren päässä (kuva 20).

$$M_{v1} = F * X = 58\,860 \text{ N} * (0,06 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) = 12\,360 \text{ Nm} = 12\,360 * 10^3 \text{ Nmm}$$

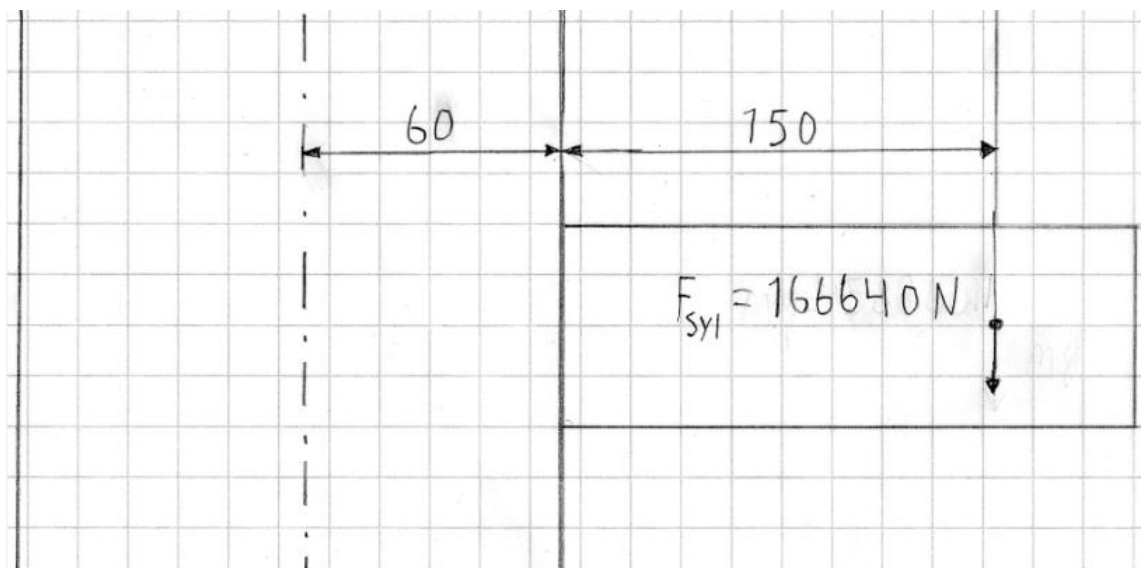


Kuva 20. Sylinterin kiinnityskohta nostovarren päässä.

Vääntömomentti, nostovartta liikuttava sylinteri (kuva 21).

$$M_{v2} = F_{\text{syl}} \cdot X = 166\,640 \text{ N} \cdot 0,21 \text{ m} = 35\,000 \text{ Nm}$$

$$\Sigma\tau = M_v / W_v = (12\,360 \cdot 10^3 \text{ Nmm} + 35\,000 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) / 341\,730 \text{ mm}^3 = 140 \text{ Nm}$$



Kuva 21. Sylinterin kiinnityskohta.

Normaalirasitus

$$\Sigma\sigma_N = ((\cos 31.52^\circ * mg) + (\cos 42.46^\circ * F_{syt})) / A$$

$$\Sigma\sigma_N = ((\cos 31.52^\circ * 58\,860\text{ N}) + (\cos 42.46^\circ * 166\,640\text{ N})) / A = (50\,180\text{ N} + 122\,930\text{ N}) / 4\,964\text{ mm}^2 = 35\text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma\sigma = 270\text{ N/mm}^2 + 35\text{ N/mm}^2 = 305\text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{yhdistetty}} = (3 * \tau^2 + \sigma^2)^{1/2} = (3 * (140\text{ Nm})^2 + (305\text{ N/mm}^2)^2)^{1/2} = 390\text{ N/mm}^2$$

Teräkseksi voidaan valita teräslaatu, jonka myötölujuus on vähintään 390 N/mm². Valitsen Ruukin Rakenneputket EN 1993 käsikirjasta teräslaji S420MH EN 10219. Teräksen minimi myötölujuus $R_{eH} = \sigma_{\text{myötö}} = 420\text{ N/mm}^2$.

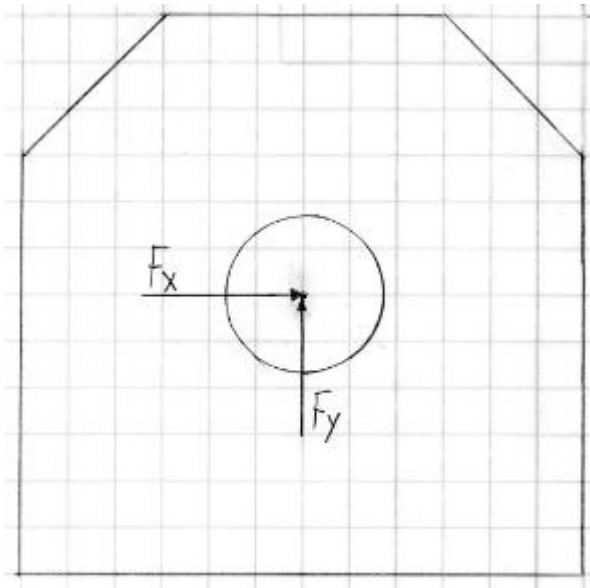
Palkin molempiin päihin laitetaan puoliympyrän muotoinen lappu, jonka säde on 110 mm. Lappu hitsataan kiinni palkin seinämäpaksuuden vahvuisella saumalla.

Nostovarren massa on 39 kg/m * 3,29 m = 130 kg. Tämä on noin kaksi prosenttia verrattuna mitoituksessa käytettyyn 6 000 kg:aan. Nostovarren massaa ei huomioida laskuissa.

5.4 Nivel

Nivel mitoitetaan nostovarren nivelen mukaan, koska siihen kohdistuu suurempi rasitus. Samaa niveltä käytetään myös sylinterin kiinnittämisessä perävaunuun. Nostovarren niveleen vaikuttavat voimat saadaan, kun lasketaan tukireaktiot varmuuskertoimella kaksi, eli 6 000 kg kuormalla. Nivel koostuu kahdesta kiinnikkeestä ja niiden väliin asennettavasta metalliputkesta. Metalliputken halkaisija 60 mm. Sylinterin ja nostovarren nivelet ovat samanlaiset, lukuun ottamatta kiinnikkeiden välistä etäisyyttä, joka sylinterin nivelessä on 50 mm ja nostovarren sylinterissä 120 mm. Koska kiinnikkeitä on kaksi per nivel, voimat jaetaan kahdella. Hitsin ja kiinnikkeen sallittu myötöraja σ_{sall} on 420 N/mm². Nivelten mitat löytyvät liitteistä 8 ja 9.

Lasketaan nivelen tukivoimat (kuva 22).



Kuva 22. Nivelen tukivoimat.

$$F_x = 160\,170 \text{ N} / 2 = 80\,080 \text{ N}$$

$$F_y = 104\,850 \text{ N} / 2 = 52\,425 \text{ N}$$

$$\text{Kiinnikkeen leveys } h_1 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Kiinnikkeen paksuus } b = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Reijän keskipisteen korkeus } h_2 = 130 \text{ mm}$$

$$M = h_2 * F_x = 10\,410\,400 \text{ Nmm}$$

$$W = (b * h_1^2) / 6 = (8 * (200^2)) / 6 = 53\,333 \text{ mm}^3$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{\text{taiv}} = M / W = 10\,410\,400 \text{ Nmm} / 53\,333 \text{ mm}^3 = 195 \text{ N/mm}^2$$

Puristus- ja normaalijännitys

$$\sigma_{\text{puristus}} = F_y / A = 52\,425 \text{ N} / 8 * 200 \text{ mm} = 33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_N = F_x / A = 80\,080 \text{ N} / 8 \text{ mm} * 200 \text{ mm} = 50 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjäännitys

$$S = 130 \text{ mm} * 8 \text{ mm} * 65 \text{ mm} = 67\,600 \text{ mm}^3$$

$$J = (8 \text{ mm} * (200 \text{ mm})^3) / 12 = 5\,333\,333 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\max 1} = (F_x * S) / (J * b) = (80\,080 \text{ N} * 67\,600 \text{ mm}^3) / (5\,333\,333 \text{ mm}^4 * 8 \text{ mm})$$

$$= 127 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\max 2} = (F_y * S) / (J * b) = (52\,425 \text{ N} * 67\,600 \text{ mm}^3) / (5\,333\,333 \text{ mm}^4 * 8 \text{ mm})$$

$$= 83 \text{ N/mm}^2$$

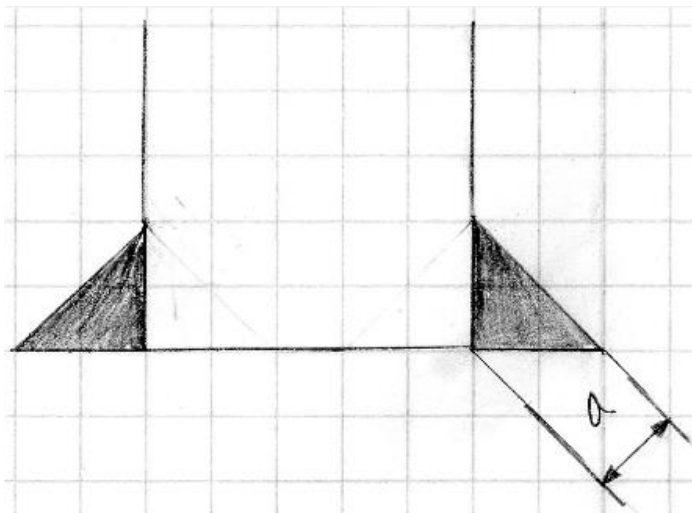
Hitsin a-mitta (kuva 23). Hitsin lujuuskertoimen β arvo on 0,7.

Yhdistetty jäännitys

$$\sigma_{\text{yhd}} = \sigma_N + \sigma_{\text{taiv}} = 50 \text{ N/mm}^2 + 195 \text{ N/mm}^2 = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$a \geq (\beta * \sigma_{\text{yhd}} * s) / ((2)^{1/2} * \sigma_{\text{sall}}) = (0.7 * 245 \text{ N/mm}^2 * 8 \text{ mm}) / ((2)^{1/2} * 420 \text{ N/mm}^2)$$

$$a \geq 2,3 \text{ mm}$$



Kuva 23. Nivelen hitsin a-mitta.

5.5 Ketjut

Ketjut kiinnitetään kontin kulmiin kulmalukoilla, toinen pää kiinnitetään nostokoukkuun kontin vaaka-akselilla keskellä 1220 mm päässä reunasta ja 1720 mm korkeudella kontin pohjasta (kuva 24).

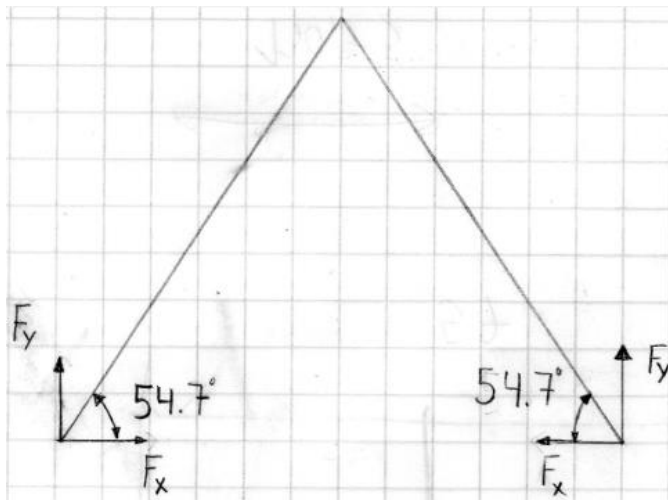
Ketjuissa vaikuttavat voimat

$$\tan(1720 \text{ mm} / 1220 \text{ mm}) = 54.7^\circ$$

$$F_x = mg \cdot \cos 54.7^\circ = 17\,000 \text{ N}$$

$$F_y = mg \cdot \sin 54.7^\circ = 24\,000 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 41\,000 \text{ N}$$



Kuva 24. Nostoketjujen asento.

6 Yhteenveto

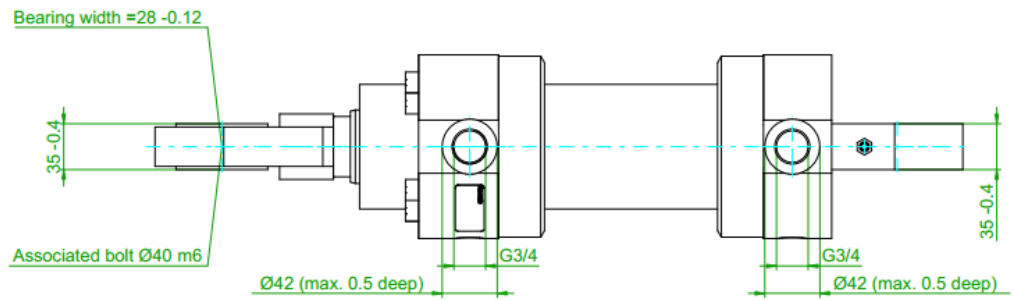
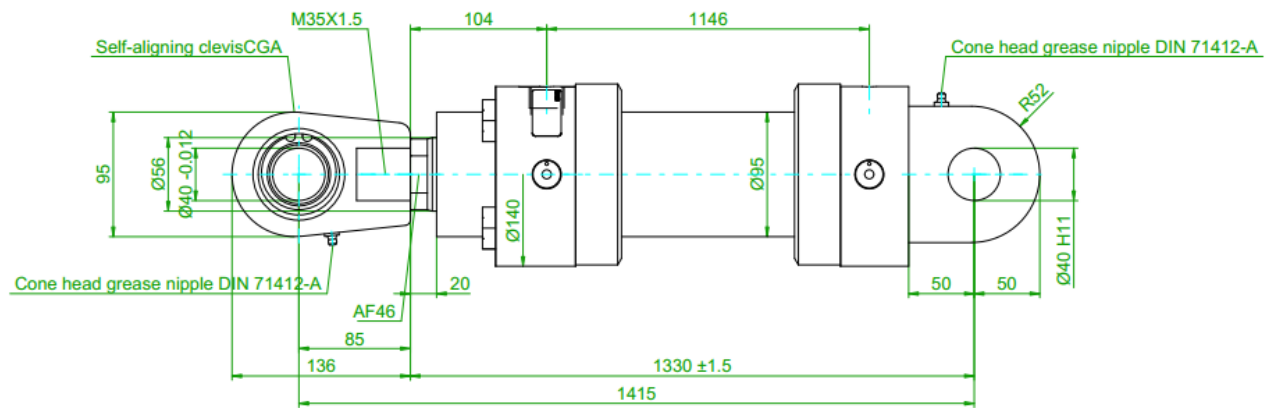
Opinnäytetyöni tavoitteena oli sideloader nosturirakenteen suunnittelu. Työn tavoitteena oli suunnitella edullinen ja teknisesti yksinkertainen rakenne. Työssä onnistuttiin suunnittelemaan tavoitetta vastaava rakenne. Kuten usein suunnittelussa jatkokehitykselle on aina varaa ja mahdollinen kokoon taittuva rakenne tekisi sideloaderista paremmin asiakkaisiin vetoavan sekä pienentäisi ajoneuvon ilmanvastusta. Hintavertailu ja mahdollisten asiakkaiden mielipiteiden kysyminen olisi aiheellista mietittäessä sideloaderin jatkokehitystä.

Aiheena nosturirakenteen suunnittelu oli mielenkiintoinen ja opettava. Parasta antia olivat opinnäytetyön ohjaajien kanssa käydyt ”aivoriihet”. Aivoriihien lopputuloksena huomasin usein, että $1+1 \geq 2$, eli yhdessä saimme enemmän aikaa kuin yksilöinä samassa ajassa. Opinnäytetyö palautti mieleen tärkeitä aiemmin opittuja asioita, minkä koen tärkeäksi jatkoa ajatellen. Erityisen opettavaa oli myös osien kysely eri yrityksiltä. Monet yritykset tarjoavat auliisti apuaan ja neuvojaan yrittäessään saada asiakkaat ostamaan. Yritysten laajan osaamisen hyödyntäminen heidän omalta alaltaan helpottaa omaa työtä ja usein tuo tietoon uusia ideoita.

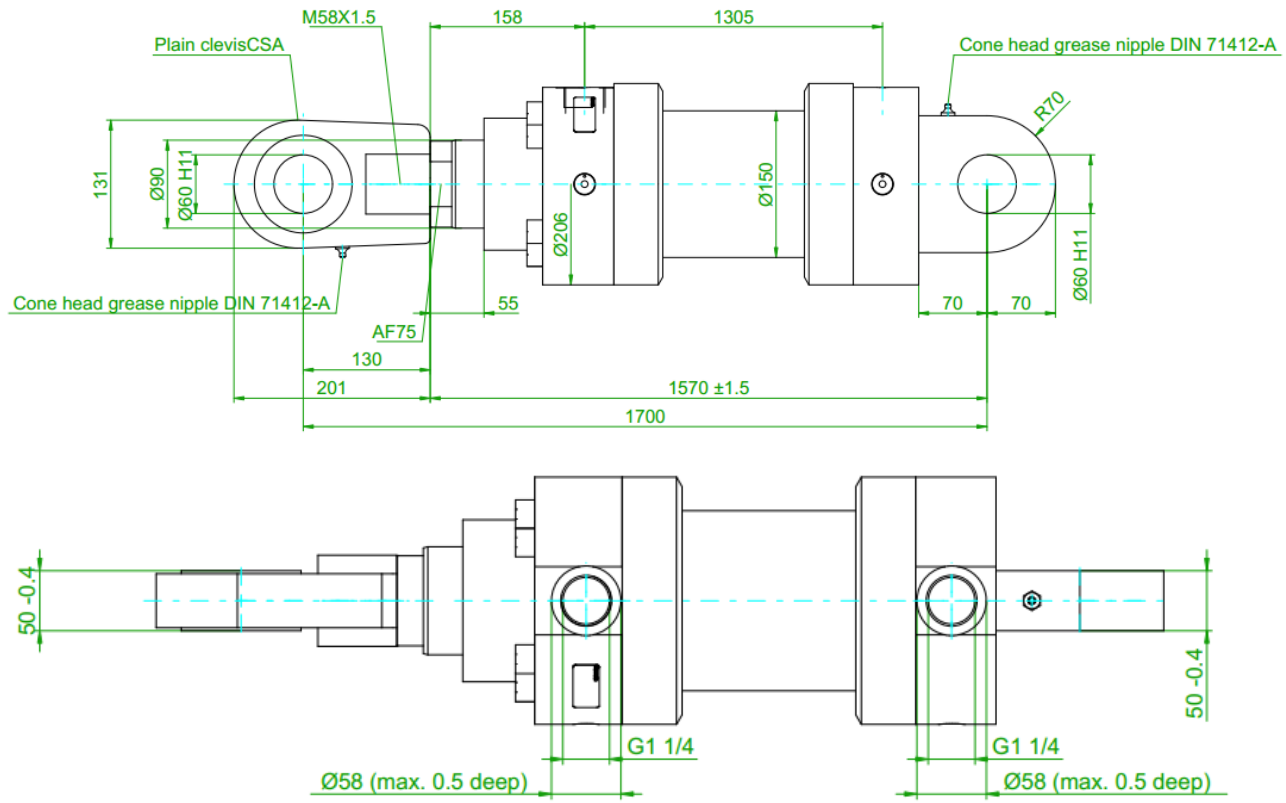
Lähteet

- 1 Trade routes Drewry Container Forecast Q1 & Q2 2013
<<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/trade-routes>> Luettu: 3.9.2014.
- 2 Huffington Amsterdam's Shipping Container Homes Are Lean And Green. Verkkodokumentti. <http://www.huffingtonpost.com/2012/06/08/amsterdam-shipping-container-homes_n_1582216.html>. Julkaistu: 8.6.2012. Luettu: 25.9.2014.
- 3 Sideloader. Verkkodokumentti. <http://aspalhiromotor.blogspot.fi/2011_02_01_archive.html>. Julkaistu: 16.2.2011. Luettu: 20.09.2014.
- 4 Basic Container Design – stacking. Verkkodokumentti. <http://ronestudio.files.wordpress.com/2011/06/vertical_twist_lock_s4gs.jpg> Julkaistu: 8.6.2011. Luettu: 15.9.2014.
- 5 Drop In Twist Locks. Verkkodokumentti. <<http://www.chassisking.com/products/twist-locks/drop-in-twist-locks/>> Luettu: 1.10.2014.
- 6 Interactive hydraulic designer. Verkkodokumentti. <[http://www.boschrexroth.com/ics/Configurator/ModelcodeSelection.cfm?CFID=92990812&CFTOKEN=50599239&Language=EN&Region=none&IdList=\(0-3515*8743\),\(0-3521*8759\):\(Druck=200\),\(0-1818*4551\)&Configurator=Zylinder&Modelcode=TE_Rundzylinder&History=p537327](http://www.boschrexroth.com/ics/Configurator/ModelcodeSelection.cfm?CFID=92990812&CFTOKEN=50599239&Language=EN&Region=none&IdList=(0-3515*8743),(0-3521*8759):(Druck=200),(0-1818*4551)&Configurator=Zylinder&Modelcode=TE_Rundzylinder&History=p537327)> Luettu: 18.10.2014.
- 7 Lukkorenkaat Verkkodokumentti. <<http://tamgears.com/laakerituotteet%20www/lukkorenkaat.htm>> Luettu: 1.11.2014.
- 8 Teräspuutket. Verkkodokumentti. <<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Puutket%20ja%20profiilit%20data%20sheets/Ruukki-Rakennepuutkien-poikkileikkausarvot.pdf>> Julkaistu: 5.2011. Luettu: 22.10.2014.

Liite 1. Nostovarren päässä oleva sylinteri.



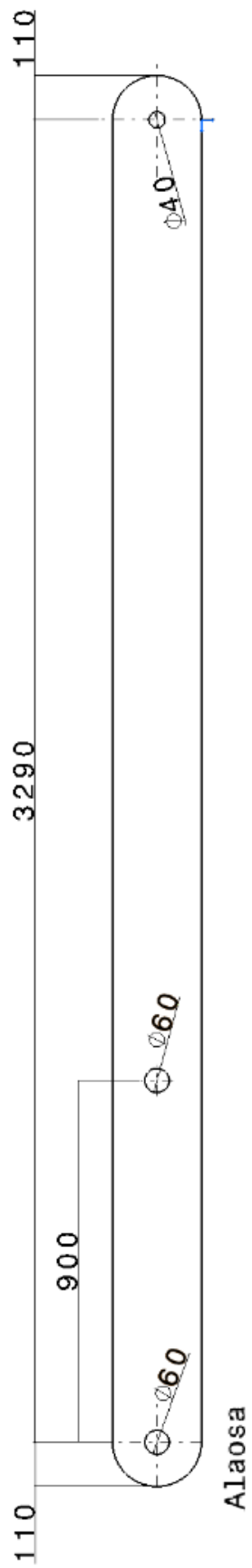
Liite 2. Nostovartta liikuttava sylinteri



Liite 3. Sylinterin 3D-malli.



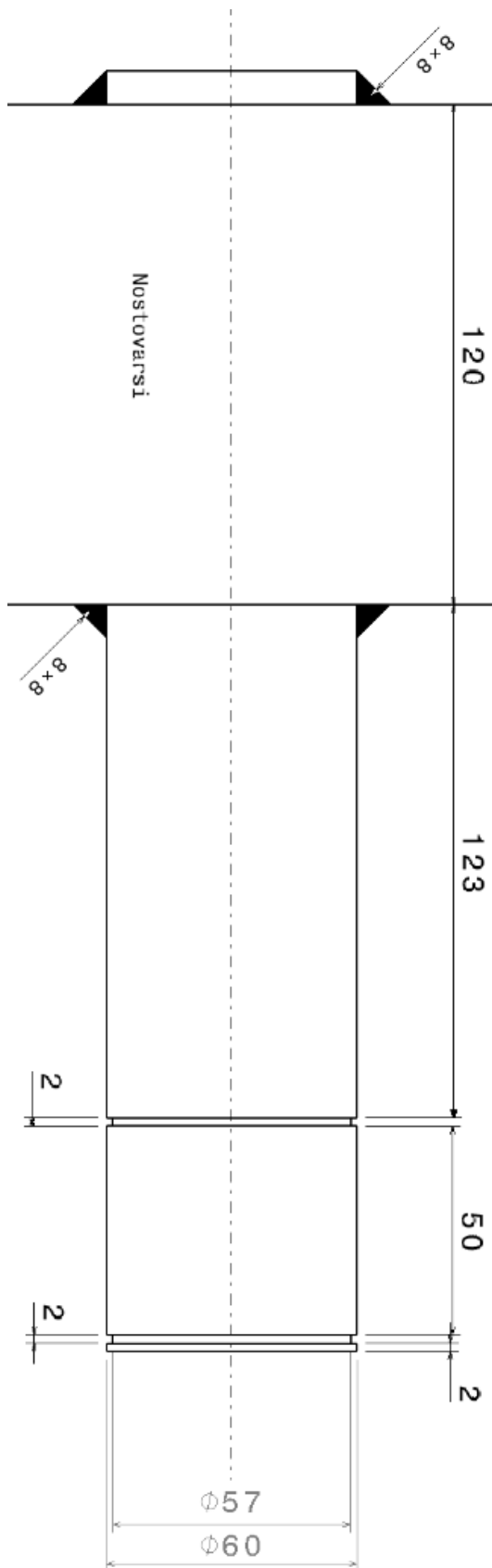
Liite 4. Piirros nostovarresta



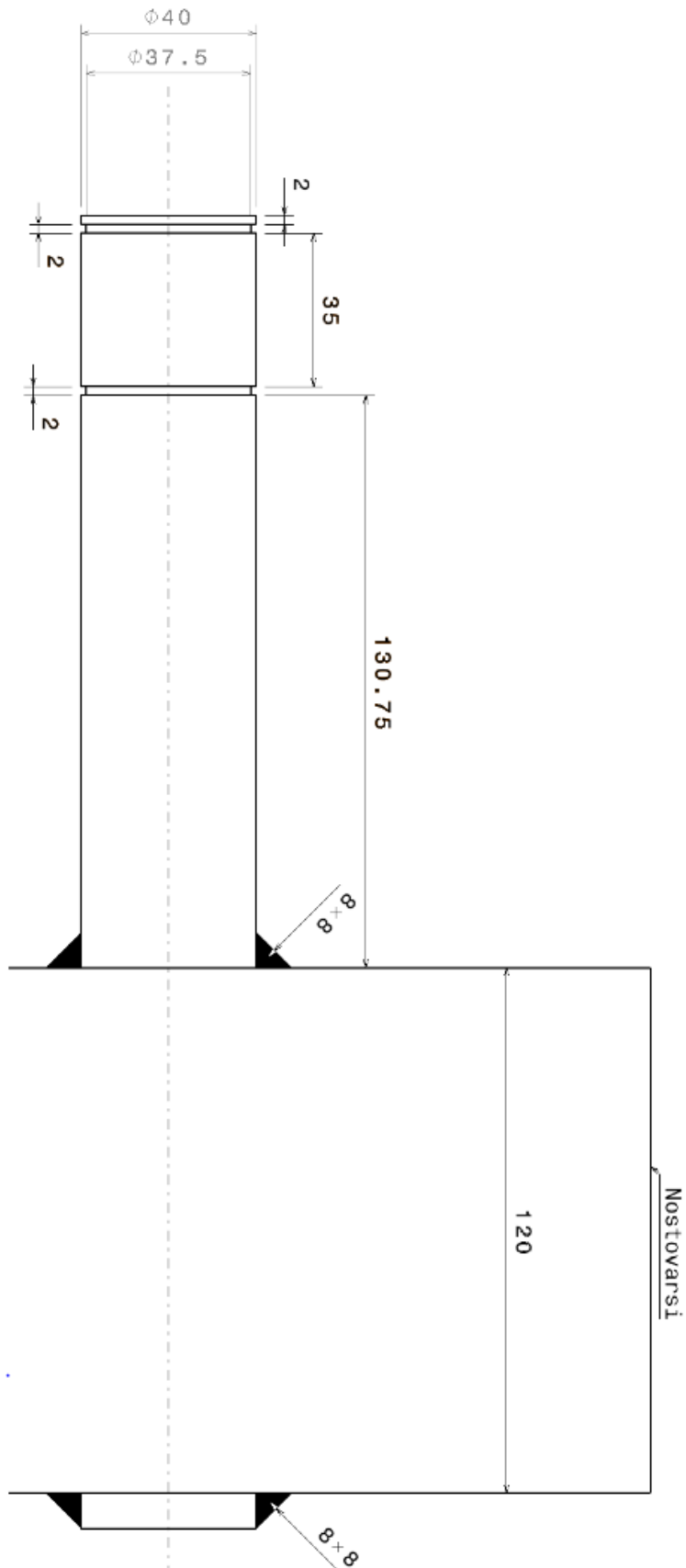
Liite 5. 3D-kuva nostovarresta ja nivelestä sijoitettuna Grand Canyonin maisemaan.



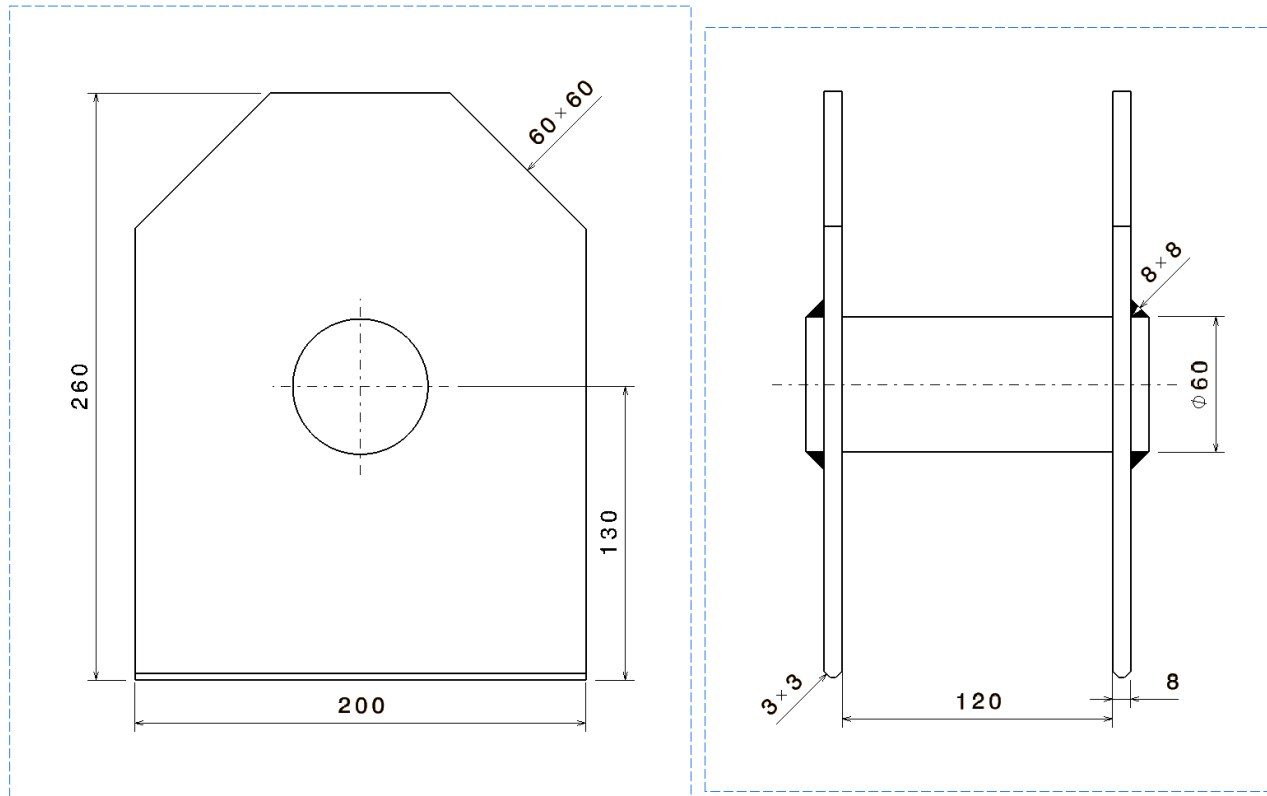
Liite 6. Sylinterin kiinnitys nostovarteen



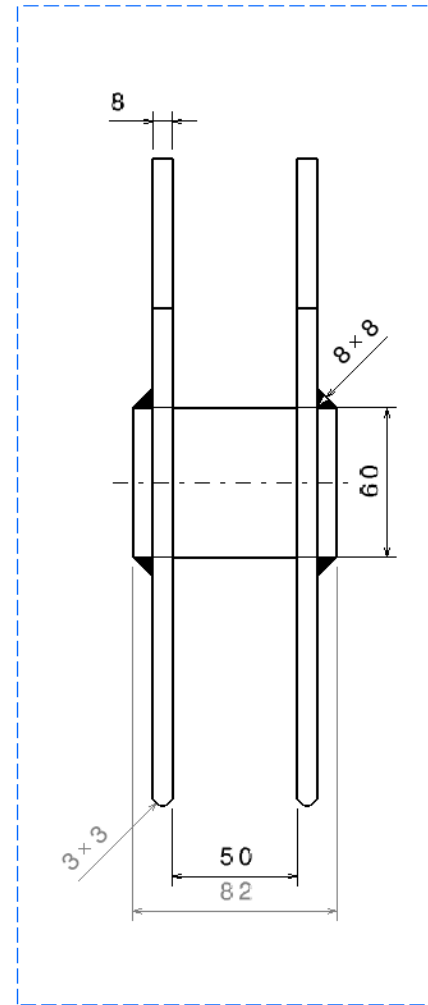
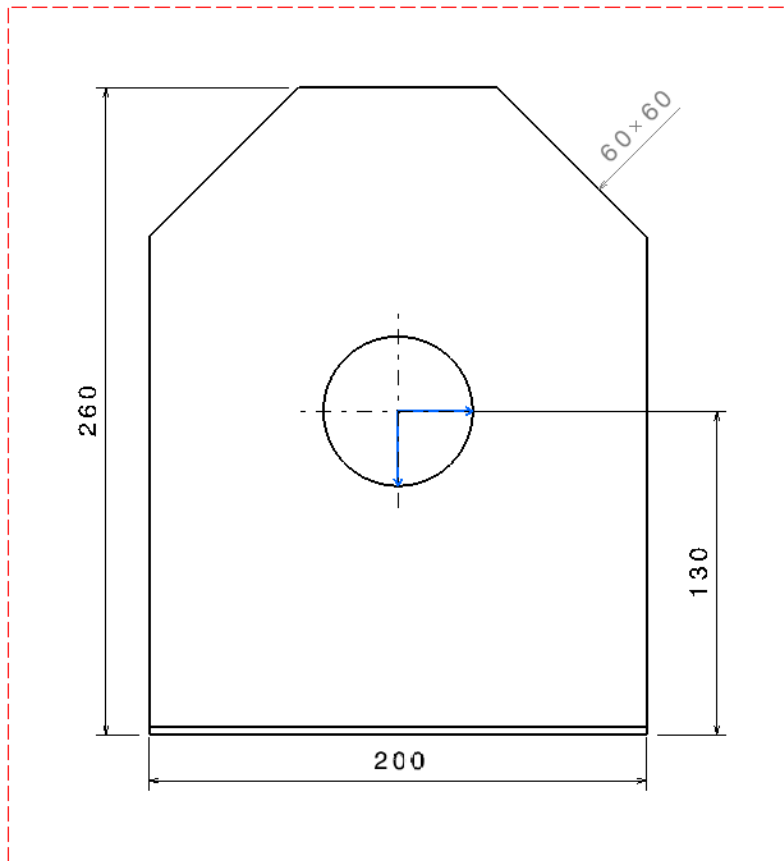
Liite 7. Sylinterin kiinnitys nostovarren päähän



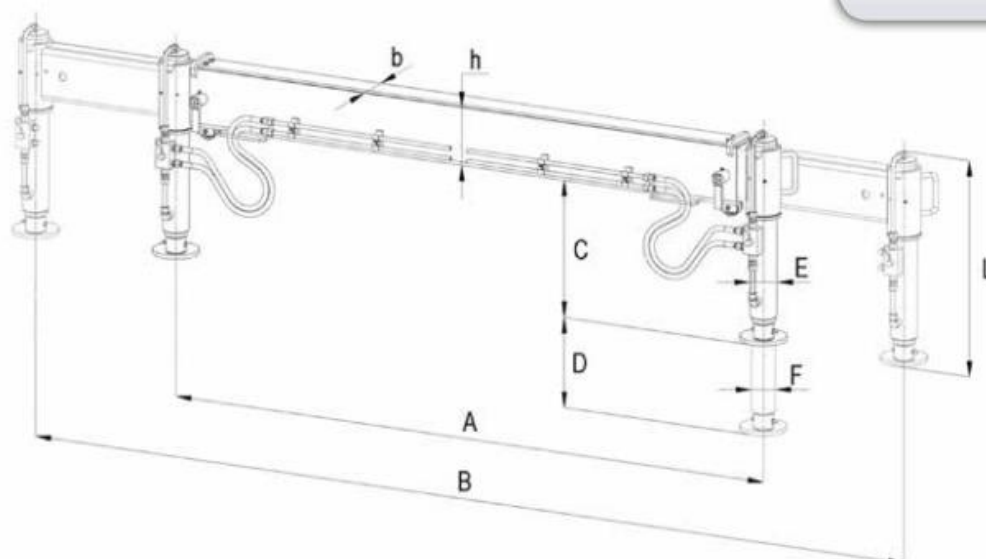
Liite 8. Nostovarren nivel



Liite 9. Sylinterin nivel



Liite 10. Tukijalat



Modello Modèle Modell Model Modelos	Gru Crane Grúa Guinchos (Ton/Mt)	Reazione Max Max Load Réaction Max Reaktion Max Reacción Max Max Reação		A	B	b	h	C	D	E	F	L		Peso Weight Poids Gewicht Pesada	S = standard S = norma S = padrão		O = optional O = option O = opcional		
		daN	kN									STD	Long Longue Lange Longo Longo		I	R	PSF	PSP	CE
MS06.260	3 - 6	1350	13,5	1600	2600	80	120	425	330	70	35	540	534(R)	90	O	O	O	O	O
MS06.280	3 - 6	1600	16	1800	2800	80	120	425	330	70	35	440	540/534(R)	90	O	O	O	O	O
MS10.330	6 - 10	3000	30	2100	3300	100	150	460	400	70	35	610	-	120	O	-	O	O	O
MS22.330	14 - 26	6500	65	2100	3300	102	204	500	450	85	45	560	700/727(R)	180	O	O	O	O	O
MS22.440	14 - 26	6600	66	2100	4400	200	200	500	450	85	45	560	700	290	O	-	O	O	O
MS36.330	19 - 40	9100	91	2100	3300	120	202	665	550	95	55	715	865	235	O	-	S	O	O