

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Auto- ja työkonetekniikka

Tutkintotyö

Ville Linna

SUPERLIFT-VASTAPAINOJEN SIIRTOPUOMIN SUUNNITTELU

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2005

tekn. lis. Matti Lähteenmäki
Nostokonepalvelu Oy, valvojana ins. Matti Nieminen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Auto- ja työkonetekniikka

Linna, Ville

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Toukokuu 2005

Hakusanat

Superlift-vastapainojen siirtopuomin suunnittelu

36 sivua + 17 liitesivua

tekn. lis. Matti Lähteenmäki

Nostokonepalvelu Oy, valvojana ins. Matti Nieminen

superlift, ristikkopuominosturi, vastapainot

TIIVISTELMÄ

Superlift-vastapainojen tarkoituksena on mahdollistaa ristikkopuominosturille sen maksiminostokyky. Superlift koostuu nosturin runkoon kiinnitettävästä ristikkopuomista, sen yläpäästä laskeutuvista haruksista ja joko vastapainokelkasta tai -kärrystä.

Tässä työssä on tarkoituksena kehittää ristikkopuominosturiin superlift-vastapainokelkan tai -kärryn siirtolaitteisto, jotta vastapainoalustaa kauemmaksi siirtämällä olisi mahdollista käyttää vähemmän vastapainoja. Lisäksi tulee tehdä vastapainotaulukko, josta näkee kuinka paljon vastapainoja tarvitaan erilaisilla vastapainokelkan tai -kärryn säteillä, jotta se vastaisi tiedettyä vastapainojen määrää vakiosäteellä. Puomin tulee myös sopia kahteen erikokoiseen nosturiin, joista toinen on maksiminostokyvyltään 300 tonnia nostava ja toinen suurempi 450 tonnia nostava.

Työn suunnittelu osat piirretään AutoCAD 2004 -mallinnusohjelmalla, koska kyseinen yritys käyttää sitä ohjelmaa omissa suunnittelutöissään.

Tiedettäessä nostoetäisyys ja käytävissä oleva tila voidaan nostotaulukosta katsoa tarvittava vastapainojen määrä. Tämän seurauksen voidaan nostopaikalle ottaa vähemmän vastapainoja mukaan, mikäli vain vastapainokelkkaa tai -kärryä voi siirtää suuremmalle säteelle.

Koska vastapainokelkkaa tai -kärryä on mahdollista siirtää suuremmalle säteelle, tarvitaan pienempi määrä vastapainoja ja näin ollen säästetään logistiikkakustannuksissa.

Superlift-vastapainojen siirtojärjestelmää tullaan jatkossa käyttämään yrityksen käyttämissä ristikkopuominostureissa nostoja helpottavana järjestelmänä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile and Transport Engineering

Automobile and Industrial Vehicle Engineering

Linna, Ville

Design of Superlift Counterweight Horizontal Transfer Boom

Engineering Thesis

36 Pages, 17 appendices

Thesis Supervisor

Matti Lähteenmäki (licentiate of technology)

Commissioning Company

Nostokonepalvelu. Supervisor: Matti Nieminen (BEn)

May 2005

Keywords

superlift, lattice boom crane, counterweights

ABSTRACT

The purpose of superlift-counterweights is to enable lattice boom crane to lift its full load. Superlift consists of a lattice boom which is attached to cranes main body, the guy ropes coming from the upper end of the boom and either a counterweight carrier or a counterweight bed. The objective of this thesis is to develop a superlift counterweight horizontal transfer boom which enables the use of less counterweight when the carrier is moved to a larger radius. In addition, a counterweight table is formulated, from which the amount of counterweight can be seen in different counterweight carrier radiuses corresponding to the counterweight amounts in a standard radius. The transfer boom also has to fit on to two different sized cranes, one of which is a 300 ton capacity crawler crane and the other is a 450 ton capacity crawler crane.

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Auto- ja työkonetekniikka

Linna, Ville

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Toukokuu 2005

Hakusanat

Superlift-vastapainojen siirtopuomin suunnittelu

36 sivua + 17 liitesivua

tekn. lis. Matti Lähteenmäki

Nostokonepalvelu Oy, valvojana ins. Matti Nieminen

superlift, ristikkopuominosturi, vastapainot

ALKUSANAT

Työ kaikkine vaiheineen valmistui melko vaivattomasti ja siitä johtuen haluan kiittää ohjaajaani Nostokonepalvelun puolelta tietojen hausta ja ideoista, ohjaavaa opettajaa lujuusopillisten ja muidenkin ongelmien selvittämistä sekä avopuolisoani kieliopillisesta avusta sekä suomen- että englanninkielessä.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tavoite	7
1.2 Nostokonepalvelu Oy	7
2 SUPERLIFT-VASTAPAINOJEN SIIRTOPUOMI JA NOSTURIT	8
2.1 Nykyinen menetelmä	10
2.2 Nosturien tietoja	11
3 TYÖN TOTEUTUS	12
3.1 Lujuuslaskelmat	12
3.1.1 Sallitut jännitykset	13
3.1.2 Lenkkien ja tappien mitoitus	15
3.1.3 Palkkien mitoitus	19
3.1.4 Hitsien mitoitus	21
3.1.5 Sovitteiden mitoitus	23
3.2 CAD-suunnittelu	26
3.2.1 Mallinnus	26
3.2.2 Vastapainokärry ja -kelkka	29
3.3 Superlift-vastapainotaulukko	31
4 TYÖN TULOKSET	32
4.1 Lujuuslaskelmien tulokset	32
4.2 CAD-suunnittelun tulokset	33
4.3 Superlift-vastapainotaulukko	33
LÄHDELUETTELO	35
LIITTEET	36

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
m	massa, kg
R_{eH}	myötöraja, MPa = N/mm^2
R_m	murtolujuus, MPa = N/mm^2
s	materiaalin paksuus, mm
v	nopeus, km/h
n	pyörimisnopeus, kierr/min
σ	normaalijännitys, MPa
τ	leikkausjännitys, MPa
F	voima, N
M	vääntömomentti, Nm

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Tässä työssä on tarkoituksena kehittää Nostokonepalvelulle ristikkopuomiseen nosturiin superlift-vastapainojen siirtopuomi ja sovite kahdelle eri superlift-vastapainojen alustalle.

1.2 Nostokonepalvelu Oy

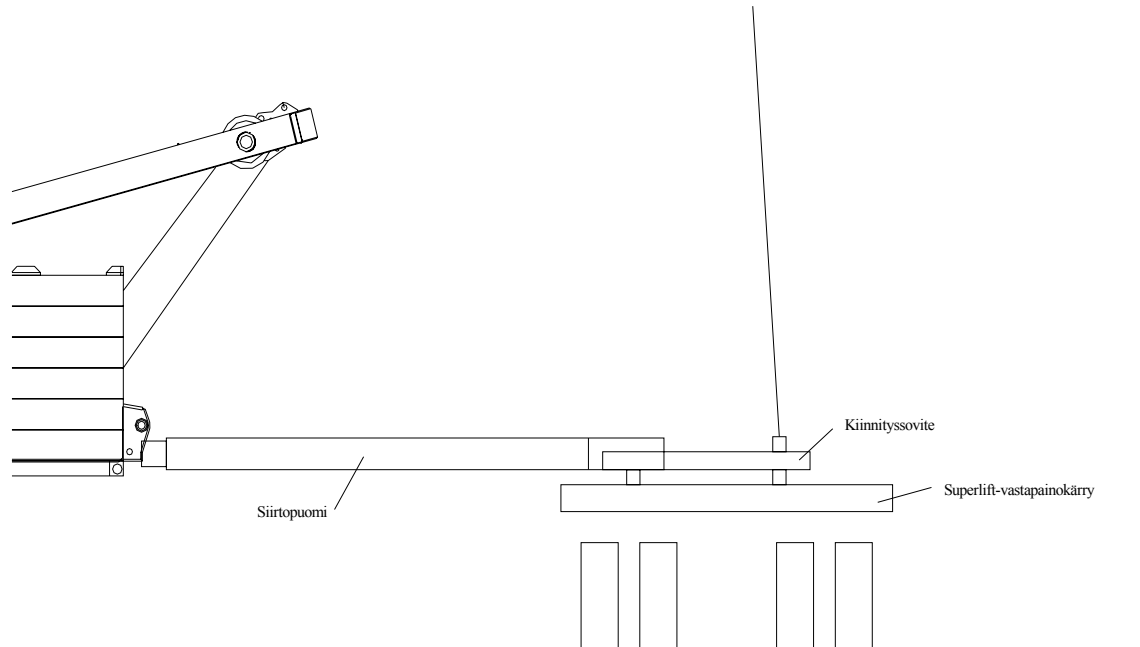
Nostokonepalvelu Oy on vuonna 1994 perustettu nostoalan yritys, jonka toimitusjohtajana toimii Kalervo Nieminen /11/. Yritys on eräs Suomen suurimmista nosturiyrittäjistä. Yrityksellä on käytössä yli 100 erikokoista nosturia ja yli 40 raskaaseen kuljetuskalustoon kuuluvaa ajoneuvoa. Yritysr ryhmään kuuluu myös henkilönostimiin erikoistuneet Henkilönostinvuokraus HS ja Lainaväline HS Oy, joilla on yli 500 erimallista ja -kokoista henkilönostinta, sekä tunkkauksia, haalauksia ja nostosuunnitelmia (CAD-suunnittelu) tekevä Nieminen Heavy Engineering. Lisäksi yritys hoitaa myös italialaisten *Dieci* -merkkisten kurottajien maahantuonnin /10/.

Nostokonepalvelu Oy:n pääpaikka on Turku, mutta yrityksellä on toimipaikkoja tämän lisäksi kaikkiaan kahdeksalla muulla paikkakunnalla, kuten Helsingissä, Tampereella ja Lahdessa. Yrityksen päämarkkina-alueet ovat Skandinaavia ja Baltian-maat.

2 SUPERLIFT-VASTAPAINOJEN SIIRTOPUOMI JA NOSTURIT

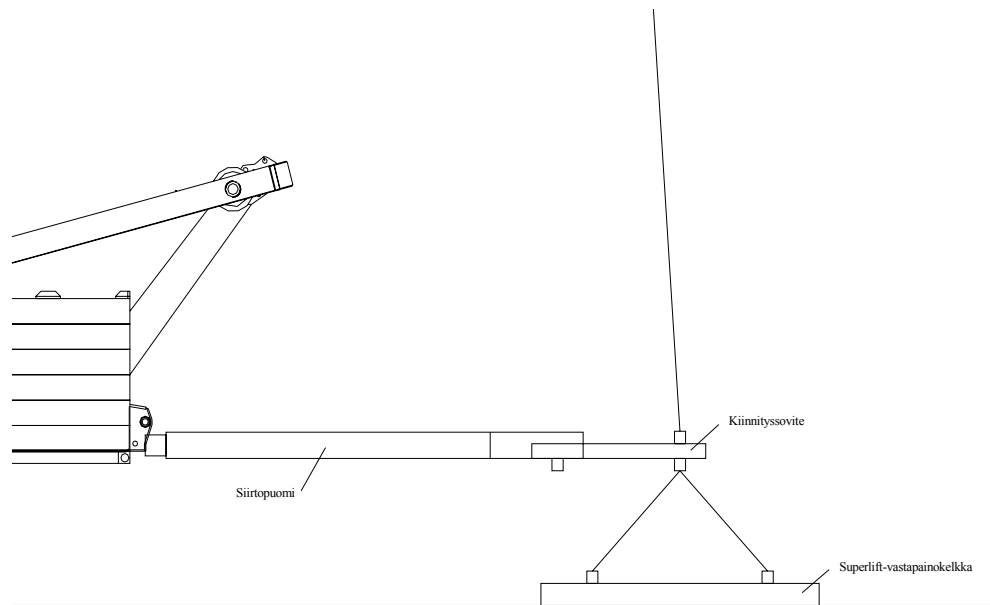
Puomia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että puomin pitää sopia kahteen erilaiseen nosturiin, joten puomiin pitää rakentaa kahdet erilaiset sovituskappaleet. Nosturit, joihin puomin tulee sopia, ovat saksalaisen *Demagin* valmistamia ja mallinimiltään CC1800 ja CC2500. Molemmat nosturit ovat ristikkopuomisia ja telalustaisia ja niiden suurimmat nostokyvyt ovat 300 t (CC1800) ja 450 t (CC2500) /10/.

Nosturien takaosissa olevien kiinnityskohtien korkeusero on noin 200 mm, eli nosturissa CC2500 kiinnityskohta on korkeammalla kuin nosturissa CC1800. Lisäksi nostureissa on myös pystyttävä käyttämään kahta erilaista superlift-vastapainojen telinettä, joista toinen on pyörällinen kärky, joka on esitetty kuvassa 1 ja toinen kelkka, esitetty kuvassa 2. Kuvat 1 ja 2 ovat vain suuntaa-antavia ja niiden tarkoitus on selventää kiinnitystavat ja antaa käsitys siitä minkälainen kyseinen laite on. Taakkaa nostettaessa superlift-vastapainokärky tai -kelkka nousee irti maasta ja näin mahdollistaa koneen pyörimisen kääntökehänsä ympäri ja edestakaisen liikkumisen.



Kuva 1 Siirtopuomi kiinnitettynä vastapainokärryyn

Kuvassa 1 on superlift-vastapainokärry ja siihen kiinnittyvä kiinnityssovite, joka superlift-vastapainokärryä käytettäessä kiinnitetään sekä etummaisilla että takimmaisilla kiinnityslenkeillä. Lisäksi kuvassa on näkyvissä Demag CC2500 -ristikkopuominosturin takaosa ja siihen kiinnittyvä siirtopuomi sekä harukset, joilla kiinnitys superlift-puomin päähän tapahtuu.



Kuva 2 Siirtopuomi kiinnitettynä vastapainokelkkaan

Kuvassa 2 on esitetty superlift-vastapainokelkka ja siihen kiinnitetty kiinnityssovite, joka superlift-vastapainokelkkaa käytettäessä kiinnitetään vain etummaisiin kiinnityslenkkeihin lyhyiden haruksien avulla. Lisäksi kuvassa on näkyvissä Demag CC2500 -ristikkopuominosturin takaosa, siirtopuomi ja harukset kuten kuvassa 1.

Edellisten lisäksi pitää tehdä myös lujuuslaskelmat kyseiselle rakenteelle ja superlift-vastapainotaulukko. Lujuuslaskelmilla tarkistetaan materiaalien ja hitsauksien kestävyudet sekä mitoitetaan ne tarvittaviin varmuuskertoimiin.

Superlift-vastapainotaulukosta näkee, kuinka paljon superlift-vastapainoja laitetaan, kun tiedetään ilman siirtopuomia tarvittava superlift-vastapainojen määrä ja koneen ympärillä käytettävissä oleva tila. Käytettävissä oleva tila täytyy tietää, jotta saadaan selville, kuinka suurelle säteelle superlift-vastapainot voidaan työntää.

Kaksiosaisen siirtopuomin sisä- ja ulko-osa on jo aiemmin valmistutettu yrityksen toimesta. Kyseiset palkit ovat pituudeltaan 6 m ja ulkomitoiltaan suurempi palkki on 625 x 355 mm ja pienempi palkki 550 x 285 mm. Palkkien valmistusmateriaali on S690QL teräs /7/. Puomia käytetään teleskooppina ja sen pidentäminen tapahtuu hydraulisynterillä.

2.1 Nykyinen menetelmä

Tällä hetkellä yrityksellä ei ole mitään vastaavanlaista järjestelmää, vaan superlift-vastapainot riippuvat noston aikana sillä etäisyydellä mihin superlift-puomi ulottuu. Tämän vuoksi superlift-vastapainojen määrää ei pysty säätämään vastapainojen sädettä muuttamalla. Superlift-vastapainojen säde on molemmissa nostureissa (CC1800 ja CC2500) noin 13 m.

2.2 Nosturien tietoja

Tähän lukuun on kerätty Nostokonepalvelun ristikkopuominosturien Demag CC1800 ja Demag CC2500 teknisiä arvoja.

Demag CC1800: /9; 10/

- Suurin nostokyky: 300 t
- Maksimi vastapainot: 120 t
- Maksimi superlift-vastapainot: 250 t kelkka ja kärry
- Leveys: 8 250 mm
- Pituus: 11 920 mm
- Nosturin hytin korkeus: 3 520 mm
- Nostosäde: Puomeista riippuen 5 - 132 m
- Maksimi nopeus: $v = 2 \text{ km/h}$
- Pyörimisnopeus: $n = 0,7 \text{ kierr/min}$

Demag CC2500: /9; 10/

- Suurin nostokyky: 450 t
- Maksimi vastapainot: 120 t
- Maksimi superlift-vastapainot: 250 t kelkka ja kärry
- Leveys: 9 000 mm
- Pituus: 13 400 mm
- Nosturin hytin korkeus: 3 166 mm
- Nostosäde: puomeista riippuen 5,5 - 142 m
- Maksimi nopeus: $v = 1,4 \text{ km/h}$
- Pyörimisnopeus: $n = 0,7 \text{ kierr/min}$

3 TYÖN TOTEUTUS

3.1 Lujuuslaskelmat

Materiaalivalinnassa oli tilaajan puolelta vaatimuksena, että materiaali olisi S690-teräs, joten mitoitettavien osien materiaalina käytetään laskelmissa S650MC-terästä. Laskelmissa käytetyn S650MC-teräksen vaihtaminen lujempaan S690-teräkseen valmistusvaiheessa on helppo toteuttaa ilman uusia lujuuslaskelmia, koska sallitut jännitykset eivät ainakaan lujemman materiaalin käytöllä ylitä.

Materiaaliarvot: /4/

- Myötöraja, $R_{eH} = 650 \text{ N/mm}^2$
- Murtolujuus, $R_m = 700 - 880 \text{ N/mm}^2$

Lujuuslaskelmissa lasketaan tarvittavat materiaalivahvuudet kuvassa 6 esitetyille osille A, B ja C. Lisäksi valitaan materiaalitaulukosta osissa C ja B käytettävän RHS-putkipalkin ulkomitat, sekä osaan A käytettävät materiaalit. Osat B ja C valmistetaan samasta RHS-putkipalkista. Leikkausjännitykset lasketaan lenkeille (osat D ja E) ja tapeille, joilla kiinnitys harusvaijereihin ja superlift-vastapainokärryyn tai -kelkkaan tapahtuu. Kaikki haarukan liitokset tehdään hitsaamalla ja hitsien tarvittavat lujuudet lasketaan jokaiselle hitsille erikseen.

Kappaleen symmetrisyyden vuoksi mitoituksia ei tarvitse tehdä kuin kappaleen toiselle puolelle. Kaikki mitoitukset tehdään standardien SFS 4020 ja SFS 4024 mukaisesti. Lisäksi kaikki mitoitukset tehdään sillä oletuksella, että superlift-vastapainoja on maksimimäärä (250 t) ja siirtopuomi on työnnetty maksimi etäisyydelle (~ 12 m) nosturin perästä, jolloin superlift-vastapainojen säde on ~ 18 m. Kyseisiä asetuksia ei

nostoissa todellisuudessa käytetään. Edellä mainitun lisäksi pitää myös laskea nosturin käännöstä aiheutuvat voimat. Tämäkin laskelma tehdään puomin ollessa työnnettynä maksimi etäisyydelle.

3.1.1 Sallitut jännitykset

Koska kyseisen materiaalin (S650MC) myötörajan ja murtolujuuden välinen suhde on /1/

$$\frac{\sigma_E}{\sigma_R} > 0,7 \quad (1)$$

jossa σ_E on materiaalin myötöraja ja σ_R murtolujuus, lasketaan materiaalin sallittu normaalijännitys σ_a seuraavalla yhtälöllä

$$\sigma_a = \frac{\sigma_E + \sigma_R}{\sigma_{E.52} + \sigma_{R.52}} \cdot \sigma_{a52} \quad (2)$$

jossa

- σ_E ja σ_R ovat kuten edellä materiaalin myötöraja ja murtolujuus
- $\sigma_{E.52}$ on materiaalin (teräs Fe 52) myötöraja
- $\sigma_{R.52}$ on materiaalin (teräs Fe 52) murtolujuus
- σ_{a52} on materiaalin (teräs Fe 52) sallittu jännitys kyseisessä kuormitustapauksessa

Teräksen Fe 52 sallittu jännitys σ_{a52} laskemiseen tarvitaan kyseisen kuormitustapauksen kerroin v_E . Kuormitustapauksia on kolme: nosturi normaalissa käytössä ilman tuulikuormaa, nosturi normaalissa käytössä tuulikuorman alaisena ja poikkeuksellisen kuormituksen alaisena. Näistä parhaiten sopii vaihtoehto, jossa

nosturi on normaalissa käytössä tuulikuorman alaisena, jolloin kuormitustapauksen kertoimeksi tuli $v_E = 1,33$. Sallitun jännityksen laskeminen tapahtuu seuraavalla yhtälöllä:

$$\sigma_{a52} = \frac{\sigma_{E.52}}{1,33} \quad (3)$$

jossa $\sigma_{E.52}$ on kuten yhtälössä (2) /1/.

Laskennassa tarvittavan teräksen Fe 52 materiaaliarvot ovat:

- Myötöraja $\sigma_{E.52} = 360 \text{ N/mm}^2$
- Murtolujuus, $\sigma_{R.52} = 520 \text{ N/mm}^2$
- Sallittu jännitys kuormitustapauksessa 2, $\sigma_{a52} = 270 \text{ N/mm}^2$

Sallitun leikkausjännityksen τ_a arvo saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

jossa σ_a on jo aiemmin mainittu normaalijännitys /1/.

Sallitun leikkausjännityksen τ_{ah} arvon hitsille laskemiseksi tarvittava yhtälö on lähes samanlainen yhtälön 4 kanssa ja se on esitetty alla yhtälössä 5:

$$\tau_{ah} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

jossa σ_a on kuten edellä. Normaalijännitykselle hitsissä sallitaan yhtä suuri arvo kuin hitsattavalle materiaalille, joten $\sigma_{ah} = \sigma_a$ /1/. Jos hitsaukseen vaikuttaa sekä

normaalijännitys σ että leikkausjännitys τ saadaan silloin yhdistetty vertailujännitys σ_{cp} laskettua yhtälöllä 6 /2/:

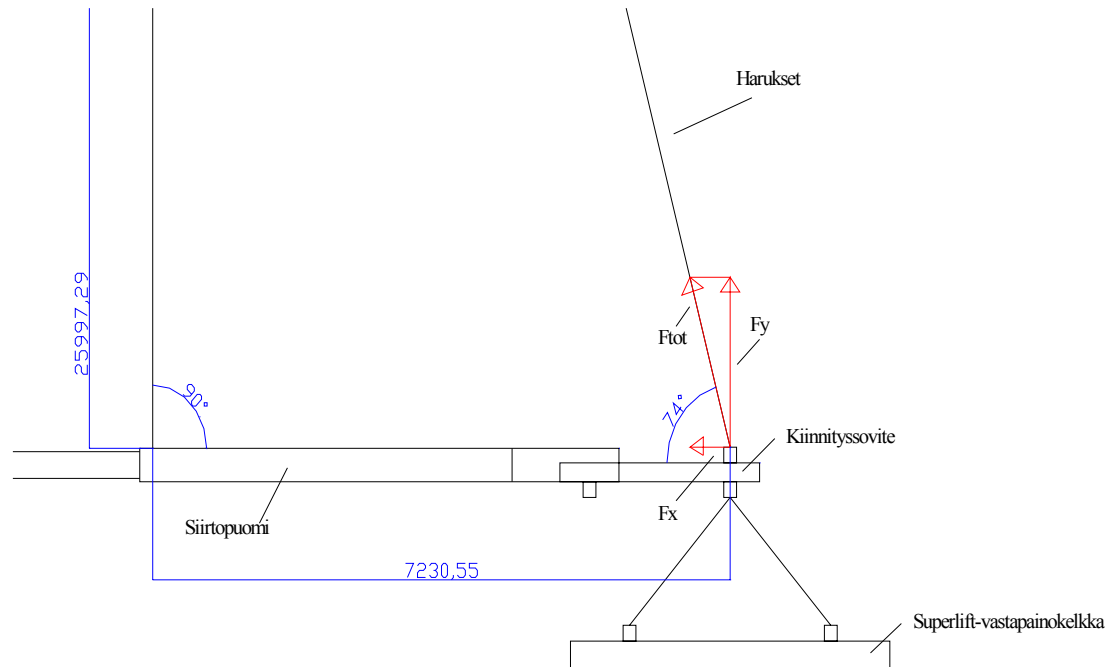
$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_{ah}^2 + 2 \cdot \tau_{ah}^2} = \sigma_a \cdot \sqrt{2} \quad (6)$$

3.1.2 Lenkkien ja tappien mitoitus

Superlift-vastapainojen massan ollessa 250 t tulee kullekin haarukan alapinnalla olevalle kiinnityslenkille (8 lenkkiä) massaa kannettavaksi 31,25 t superlift-vastapainokärryn kanssa ja 2-kertainen kuorma superlift-vastapainokelkan kanssa. Haarukan alapinnan kiinnityslenkeille tulee superlift-vastapainokärryyn neljä vastalenkkiä, joiden pitää jokaisen kantaa 62,5 t. Haarukan yläpinnalla on myös neljä lenkkiä, kaksi per puoli, joten kannettavaa kullekin lenkille tulee myös tässä 62,5 t.

Suurimmat jännitykset tulevat haarukan etuosassa oleviin lenkkeihin, koska siellä koko paino jakautuu vain neljälle lenkille sekä ylä- että alapuolella. Haarukan lenkkien lisäksi mitoitetaan haarukan yläpinnan lenkkeihin kiinnittyvät hydraulisylinterit, joita on kaksi kappaletta. Nämä hydraulisylinterit ovat toisesta päästä kiinni haarukassa ja toisesta päästä harusvaijereissa. Kummallekin hydraulisylinterille tulee siis painoa kannettavaksi 125 t.

Yhden haruksen tulee siis kantaa puolet koko kuormasta. Kuorma on kuitenkin suurempi kuin pelkästä painosta aiheutuva kuorma, koska superlift-vastapainot on työnnetty kauemmaksi ja harukset ovat vinossa. Kuormat saadaan laskettua kuvan 3 mitoituksilla perustrigonometrian kaavoja käyttämällä.



Kuva 3 Mitat ja voimat

Kuvassa 3 superlift-vastapainokelkka on siirretty maksimietäisyydelle koneen takaosasta, ~12 m. Pituusmitta 25997,29 mm on haruksien yläkiinnityspisteen pystysuuntainen etäisyys siirtopuomin tasosta ja pituusmitta 7230,55 mm on saman yläkiinnityspisteen vaakasuuntainen etäisyys haruksien alakiinnityspisteestä. Kuvaan on lisäksi piirretty x- ja y-akselin suuntaiset voimat sekä näiden voimien resultanttivoima, joka on haruksien suuntainen. Pituus- ja kulmamitat on otettu *AutoCAD*in mitoitustoiminnolla.

Vastapainojen aiheuttama pystysuuntainen voima F_y käytettäessä superlift-vastapainokelkkaa pystytään laskemaan alla olevalla yhtälöllä 7:

$$F_y = m_{0,5} \cdot g \quad (7)$$

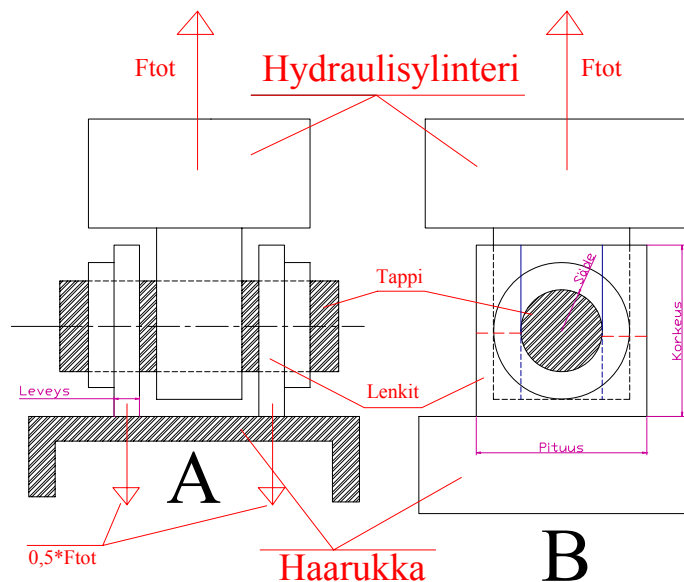
jossa $m_{0,5}$ on puolet vastapainojen kokonaismassasta ja $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, joka on maapallon vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys /5/.

Kuvan 3 voima F_{tot} saadaan laskettua alla olevalla yhtälöllä 8:

$$F_{\text{tot}} = \frac{F_y}{\sin \alpha} \quad (8)$$

jossa F_y on jo aiemmin mainittu vastapainojen aiheuttama pystysuuntainen voima ja α haruksien ja vaakatason välinen kulma, kuvasta 3 näkyy, että kyseinen kulma $\alpha = 74^\circ / 5/$.

Lenkkien ja tappien mitoitus tehdään pelkästään haarukan etuosassa ylä- ja alapuolella oleville kiinnityslenkeille. Tämä tehdään siksi, että niihin tulee suurimmat kuormat, joten kaikki muut lenkit tulevat kestäämään niille tehdyillä mitoituksilla. Kuvassa 4 on esitetty hydraulisyylinterin ja haarukan liitoskohta. Kuvassa haarukkaan hitsaamalla kiinnitetyt lenkit on kiinnitetty tapilla hydraulisyylinteriin. Lisäksi kuvaan on piirretty lenkkeihin vaikuttavat voimat. Kuvaan on myös merkitty haarukan lenkin mittoja sekä tappin säde, joihin myöhemmin tullaan viittaamaan. Hydraulisyylinterin lenkin pituus- ja leveysmitat ovat samansuuntaiset kuin haarukan lenkissä. Kuvassa osa A on edestä kuvattu ja osa B sivulta kuvattu.



Kuva 4 Haarukan ja hydraulisyylinterin liitoskohta

Kiinnitystappiin ei vaikuta kuin leikkausvoima, joten tapin poikkipinta-ala A_t saadaan laskettua yhtälöllä 9:

$$A_t = \frac{0,5 \cdot F_{\text{tot}}}{\tau_a} \quad (9)$$

jossa F_{tot} on yhtälössä 7 laskettu kokonaisvoima ja τ_a sallittu leikkausjännitys yhtälöstä 4 /3/. Tapin säde r_t saadaan laskettua yhtälöllä 10:

$$r_t = \sqrt{\frac{A_t}{\pi}} \quad (10)$$

jossa A_t on yhtälössä 9 laskettu tapin poikkipinta-ala ja $\pi \approx 3,141$ /4/.

Lenkkeihin vaikuttaa sekä leikkaus- että normaalivoima. Leikkausvoimalla kuormitetut pinnat hydraulisylinterin lenkissä ja haarukan lenkissä on esitetty kuvan 4 osassa B sinisillä viivoilla. Leikkausvoimalla kuormitetun pinnan pinta-alan laskemiseen käytetään tässäkin tilanteessa, hydraulisylinterin lenkissä A_{HsL} , yhtälöä 9 ja haarukan lenkeille A_{HaarL} alla esitettyä yhtälöä 11:

$$A_{\text{HaarL}} = \frac{0,25 \cdot F_{\text{tot}}}{\tau_a} \quad (11)$$

jossa F_{tot} ja τ_a ovat kuten yhtälössä 9. Voimalla tuleva kerroin 0,25 tulee siitä, että haarukassa on leikkautuvia pintoja 2-kertainen määrä sylintereihin verrattuna, joten vaikuttava voima on pienempi. /3/

Normaalivoimilla kuormitetut pinnat on kuvan 4 osaan B merkitty punaisella katkoviivalla. Normaalivoiman kuormittaman pinnan pinta-alan A_n laskemiseen käytetään yhtälöä 12:

$$A_n = \frac{F_{tot}}{\sigma_a} \quad (12)$$

jossa F_{tot} on kuten aiemmissa yhtälöissä ja σ_a on sallittu normaalijännitys. Yhtälö 12 pätee suoraan hydraulisylinterin lenkille, mutta haarukan kiinnityslenkkiä laskettaessa tulee yhtälöön voiman eteen kerroin 0,5. Kerroin tulee siksi, että laskelma tehdään vain toiselle lenkille. /3/

Lenkkien pituusmitan p laskeminen leikkaus- ja normaalijännityksen suhteen, kun oletetaan lenkin paksuudelle l jokin arvo, tapahtuu yhtälöillä 13 ja 14:

$$p = \frac{A_1}{l} \quad (13)$$

$$p = \frac{A_n + d \cdot l}{l} \quad (14)$$

joissa A_1 on yhtälössä 11 laskettu pinta-ala, A_n yhtälössä 12 laskettu pinta-ala ja d tapin halkaisija. Kappaleen leveys l arvataan, jotta pituus p saadaan laskettua. /3/

3.1.3 Palkkien mitoitus

Superlift-vastapainokelkkaa käytettäessä haarukkaan ei tule y-akselin suuntaista taivuttavaa voimaa. Käytettäessä superlift-vastapainokärryä haarukan takaosan kiinnikkeisiin tulee haarukkaa taivuttava momentti. Taivuttava momentti haruksien

kiinnityspisteen suhteen saadaan, käyttäen pistevoiman yhtälöä 2-tukiselle palkille, laskettua kuvan 6 osalle C seuraavalla yhtälöllä 15 /3/:

$$M = \frac{m_{0,25} \cdot g \cdot a \cdot b}{l} \quad (15)$$

jossa

- $m_{0,25}$ on haarukan etuosan, toisen puolen lenkkien kantama massa
- g on maan vetovoiman aiheuttama kiintyyvyys
- a ja b ovat taivuttavan voiman etäisyydet tukipisteisiin
- l on tukipisteiden välimatka

Toisena tukipisteenä käytetään haarukan toista päätä. Tällä tavalla tehtäessä ei oteta huomioon valmiiden kuvan 7 palkkien taipumaa. Ylempänä mainittu taivutusmomentti taivuttaa kuvassa 3 esitetyn haarukan osaa C, koska osan A taivutusvastus voidaan olettaa olevan huomattavasti suurempi kappaleen lyhyiden vuoksi, kuin osan C ja kuvan 7 valmiille palkeille sitä ei lasketa. Momentti M lasketaan siten, että haarukka on tuettu molemmista päistään ja lasketaan silloin, kuinka suuri jännitys haarukkaan tulee.

Käytettävän RHS-putkipalkin määrittämiseksi pitää selvittää, kuinka suuri palkin taivutusvastuksen W tarvitsee vähintään olla. Taivutusvastuksen laskemiseen käytetään seuraavaa yhtälöä 16:

$$W = \frac{M}{\sigma_a} \quad (16)$$

jossa M on vaikuttava momentti ja σ_a on sallittu jännitys. /3/

Kun palkin taivutusvastus W on saatu selville, pystytään lähteen /4/ taulukosta valitsemaan neliön muotoinen RHS-putkipalkki, jonka taivutusvastus on suurempi kuin laskettu arvo.

Lisäksi haruksien suuntainen voima F_{tot} aiheuttaa kuvan 6 osaa B taivuttavan x-akselin suuntaisen voiman. Tämä voima aiheuttaa myös normaalijännityksen osaan B. Tämä voima F_x saadaan laskettua yhtälöllä 17:

$$F_x = \frac{F_y}{\tan \alpha} \quad (17)$$

jossa F_y ja α ovat kuten yhtälössä 7. Voiman F_x aiheuttama momentti osaan B saadaan laskettua kaavalla 15, kun $F_x = m \cdot g$. Voima F_x aiheuttaa myös kuvan 6 osaan C normaalijännityksen. Osaan B vaikuttava momentti lasketaan, käyttäen pistevoiman yhtälöä jossa palkki on ulokkeena, yhtälöllä 18:

$$M = F_x \cdot l \quad (18)$$

jossa F_x on yhtälössä 17 laskettu voima ja l on osan B pituus. /3/

Kuvassa 6 olevalle osalle A tehdään mitoitus kiinnitystapin reiälle. Lisäksi mitoitetaan myös tappi. Leikkaavana voimana käytetään yhtälössä 17 laskettua voimaa F_x , mutta 2-kertaisena, koska osaan A vaikuttavat haarukan molempien puolien voimat. Tapin ja reikien mitoitukseen käytetään samoja yhtälöitä kuin luvussa 3.1.2.

3.1.4 Hitsien mitoitus

Hitsien jännityksien tarkastelu aloitetaan laskemalla, kuinka paljon painoa kunkin kiinnityslenkin tulee kantaa sekä kuinka haruksien suuntainen voima jakaantuu x- ja y-akselin suuntaisiin komponentteihin.

Haarukan alapinnoilla oleviin lenkkien hitseihin tulee pelkästään normaalivoimia, mutta yläpuolella oleviin hitseihin tulee myös leikkausvoimia. RHS-palkkien hitseihin tulee sekä normaalivoimia että taivutusmomenteja.

Kiinnityslenkkien ja RHS-putkipalkkien hitsit hitsataan ympäri, joten liitteessä /2/ mainittua päätykuoppien vähennystä hitsin pituuteen ei tarvitse tehdä.

Hitsien a-mitta, eli hitsin sisään jäävän tasakylkisen kolmion korkeus, saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä 19:

$$a = \frac{h}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

jossa h on levyn paksuus. /3/ Yhtälöstä 19 ei kuitenkaan saada todellista hitsin a-mittaa, vaan siitä saadaan alkuarvaus jatkoa varten.

Hitsiin kohdistuva vertailujännitys σ_{ahvert} saadaan selvitettyä, kun on saatu hitsin a-mitta kaavasta 19 selvitettyä. Hitsit mitoitetaan erikseen kiinnityslenkeille ja RHS-palkeille.

Hitsien mitoitus tehdään ns. yksinkertaista tapaa käyttäen. Tässä tavassa oletetaan, että kuormitusten suuntia ei tiedetä, eikä niitä tarvitse selvittää ja näin jännityslaskenta yksinkertaistuu. Kaikki jännitykset oletetaan leikkaukseksi ja se ilmaistaan jännityksissä alaindeksillä w . Näin saadaan sallitulle jännitykselle σ_{wsall} yhtälö 20:

$$\sigma_{wsall} = \frac{\sigma_{ah}}{\beta \cdot \sqrt{3}} \quad (20)$$

jossa σ_{ah} on hitsin sallittu jännitys ja β on vertailukerroin. /8/

Vertailujännitykselle σ_{wvert} saadaan laskettua arvo yhtälöllä 21:

$$\sigma_{wvert} = \frac{R}{a \cdot l} \quad (21)$$

jossa R on kuormitus, a on hitsin a -mitta ja l on hitsin kokonaispituus.

Mitoitusvaatimukseksi tulee $\sigma_{wvert} \leq \sigma_{wsall}$ ja jos se ei toteudu saadaan todellinen a -mitta kertomalla kertoimella $\sigma_{wvert} / \sigma_{wsall} \cdot /8/$

3.1.5 Sovitteiden mitoitus

Sovitteet tehdään molemmille molempiin nostureihin erikseen, mutta mitoitukset tehdään vain toiselle, koska eroavaisuudet tulevat olemaan melko pienet. Sovitteista lasketaan voiman F_x aiheuttama leikkaus, sekä nosturin pyörimisestä aiheutuvat voimat, kun kone pyörii maksiminopeudella $n = 0,7 \text{ kierr/min}$.

Tapin ja sovitekappaleiden leikkausjännitykset lasketaan kuten luvussa 3.1.3 osalle A. Leikkausvoiman aiheuttaa sekä superlift-vastapainoista aiheutuva momentti että voima F_x .

Pyörimisliikkeestä johtuvien voimien laskennassa joudutaan tekemään joitakin oletuksia, kuten pyörimisen pysähtymisaika. Kun tiedetään koneen maksimipyörimisnopeus n , pystytään nosturin kulmanopeus ω laskemaan yhtälöllä 22:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (22)$$

jossa n on koneen pyörimisnopeus /5/. Tästä saadaan laskettua nosturin kulmahidastuvuus α , kun oletetaan, koneen hitaasta pyörimisnopeudesta johtuen, että pyöriminen lakkaa $n. 8$ sekunnissa. Kulmahidastuvuus lasketaan yhtälöllä 23:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t} \quad (23)$$

jossa ω ja ω_0 ovat alku- ja loppukulmanopeudet ja t on pysähtymisaika /5/. Hitausmomentti J superlift-vastapainoille lasketaan yhtälöllä 24 olettaen ne pistemassaksi

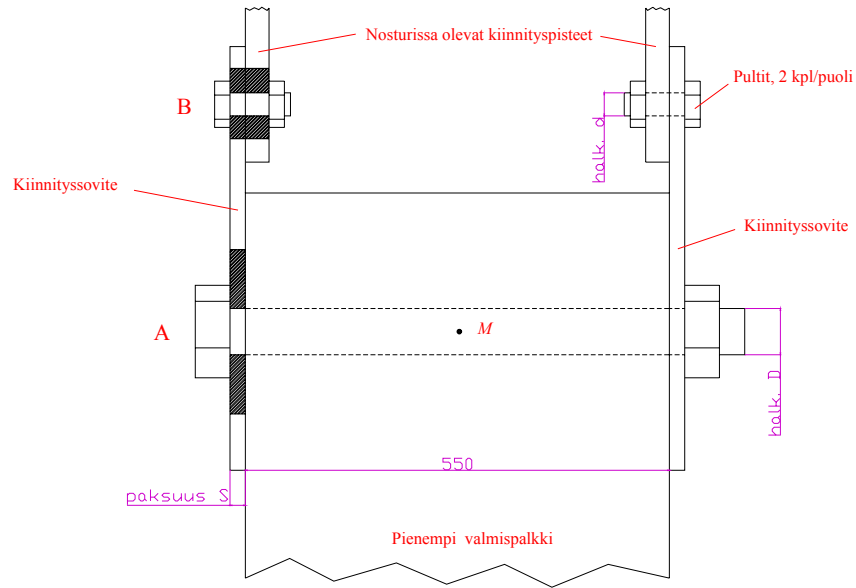
$$J = m \cdot r^2 \quad (24)$$

jossa m on superlift-vastapainojen massa ja r on niiden maksimisäde /5/. Tästä saadaan momentti M laskettua yhtälöllä 25:

$$M = J \cdot \alpha \quad (25)$$

jossa J on ratkaistu yhtälössä 24 ja α yhtälössä 23.

Kuvasta 5 on nähtävissä osien asettelu. Kiinnityssovitteet ja niiden kiinnittämiseen käytettävät pultit tai terästäpit ovat mitoitettavat osat. Lisäksi kuvaan on merkitty tärkeimpiä mittoja sekä yhtälöllä 25 lasketun momentin M vaikutuspiste. Nosturin ja kiinnityssovitteen välinen kiinnitys tehdään neljällä pultilla. Nosturin ja sovitteiden kiinnityspulttien kiristysmomenttia ei tiedetä, joten oletetaan, että se ei vaikuta laskelmiin.



Kuva 5. Kiinnityssovitteet

Yhtälöä 18 muuttamalla saadaan yhtälö 26, jolla saadaan ratkaistua kuvassa 5 kohdassa A olevaan paksumpaan tappiin, kiinnityssovitteen ja valmispalkin liitoskohdassa, vaikuttava voima F , joka on momentin M suunnasta riippuen molemmilla puolilla erimerkkinen. /3/

$$F = \frac{M}{l} \quad (26)$$

jossa M on yhtälössä 25 laskettu momentti ja l puolet valmispalkin leveydestä (kuvasta 5, 550 mm). Seuraavaksi mitoitetaan tapille tarvittava pinta ala, kun tiedetään momentin aiheuttama voima F sekä x-akselin suuntainen voima F_x . Vaikka voima F_x lisää momentin M vaikutusta kuvassa 5 esitetyn palkin toisella reunalla ja vähentää toisella, ei tätä tarvitse huomioida, koska nosturin kykenee pyörimään molempiin suuntiin. Tappien ja pulttien mitoitus tehdään yhtälöillä 9 ja 10.

Tapista tulee melko paksu jo senkin takia, että laskentaan yhtälössä 24 käytetty säde n . 8 metriä todellista suurempi. Voidaan olettaa, että tappiin vaikuttava voima vaikuttaa lähes samansuuruisena myös kiinnityspultteihin kuvan 5 kohdassa B ja pulttien laskuissa voidaan käyttää samaa voimaa F .

Sovitteiden materiaalivahvuuden selvittämiseen käytettiin luvussa 3.1.2 esitettyjä yhtälöitä 11 ja 13 hieman muunnettuna. Näillä yhtälöillä saadaan selvitettyä myös reiän etäisyys levyn reunasta, jotta saadaan riittävä nettopinta-ala reiän ja levyn reunan väliin. Laskuissa käytettävä voima F on kuvan 5 kohdassa A $\frac{1}{2}F$, koska voima vaikuttaa kahteen pintaan (1 tappi) ja kohdassa B $\frac{1}{4}F$, koska voima vaikuttaa neljään pintaan (2 pulttia).

3.2 CAD-suunnittelu

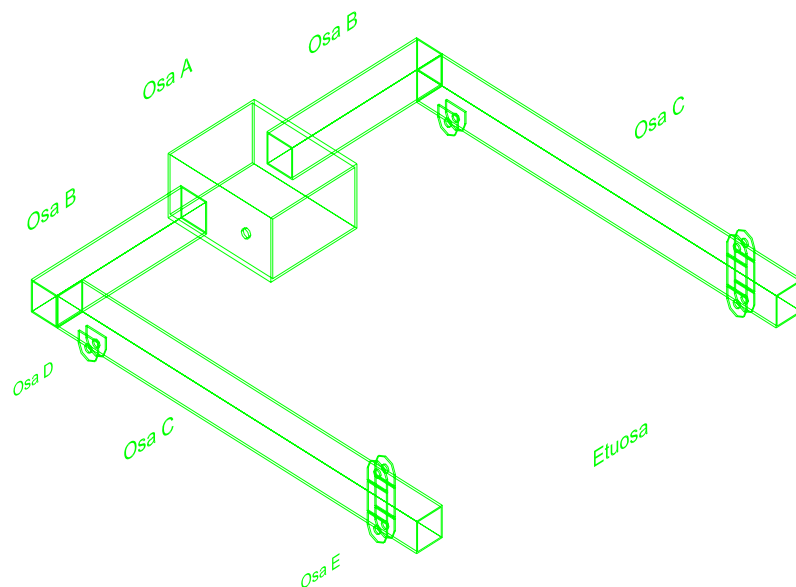
3.2.1 Mallinnus

3D-mallintaminen aloitettiin tekemällä luonnokset tarvittavista osista. Nämä osat olivat sovitekappaleet nosturien takaosan kiinnikkeisiin sekä sovite, jolla saadaan joko kärry tai kelkka kiinni nosturiin. Siirtopuomin osat on jo valmiiksi suunniteltu ja valmistettu, joten niitä ei tarvinnut mallintaa.

Superlift-vastapainokärryn ja -kelkan kiinnityskappaleesta päätettiin tehdä haarukan mallinen, jolloin siirtopuomin pää tulee keskelle kiinni osaan A ja reunoille haarat, jotka tullaan valmistamaan neljästä RHS-putkipalkista valmistetusta osasta B ja C, joihin superlift-vastapainokelkka tai -kärry kiinnitetään (kuva 6). Haarukan sivuhaarojen (osat B ja C) alapinnoille tulee kaksi kiinnityslenkkiparia per puoli ja yläpinnoille yksi kiinnityslenkkipari per puoli (osat D ja E). Alapuolen lenkit ovat superlift-vastapainokärryn tai -kelkan kiinnittämiseen tarkoitettuja ja yläpuolen lenkit superlift-puomin päästä tulevien harusvaijerien kiinnittämiseen tarkoitettuja. Osa D on pelkästään haarukan alapuolella oleva lenkki ja se hitsataan RHS-putkipalkin (osa C)

alapintaan kiinni. Osa D on yhteensä neljä kappaletta. Osa E on yhtenäinen lenkki joka menee RHS-putkipalkin (osa C) läpi ja hitsataan kiinni RHS-putkipalkin ylä- ja alapintaan, ja kuten osaa D on myös näitä osia neljä kappaletta.

Superlift-vastapainokärry kiinnitetään haarukan alapuolella oleviin kaikkiin neljään kiinnityspisteeseen ja superlift-vastapainokelkka vain kahteen etummaiseen kiinnityslenkkiin neljällä lyhyellä harusvaijerilla. /7/

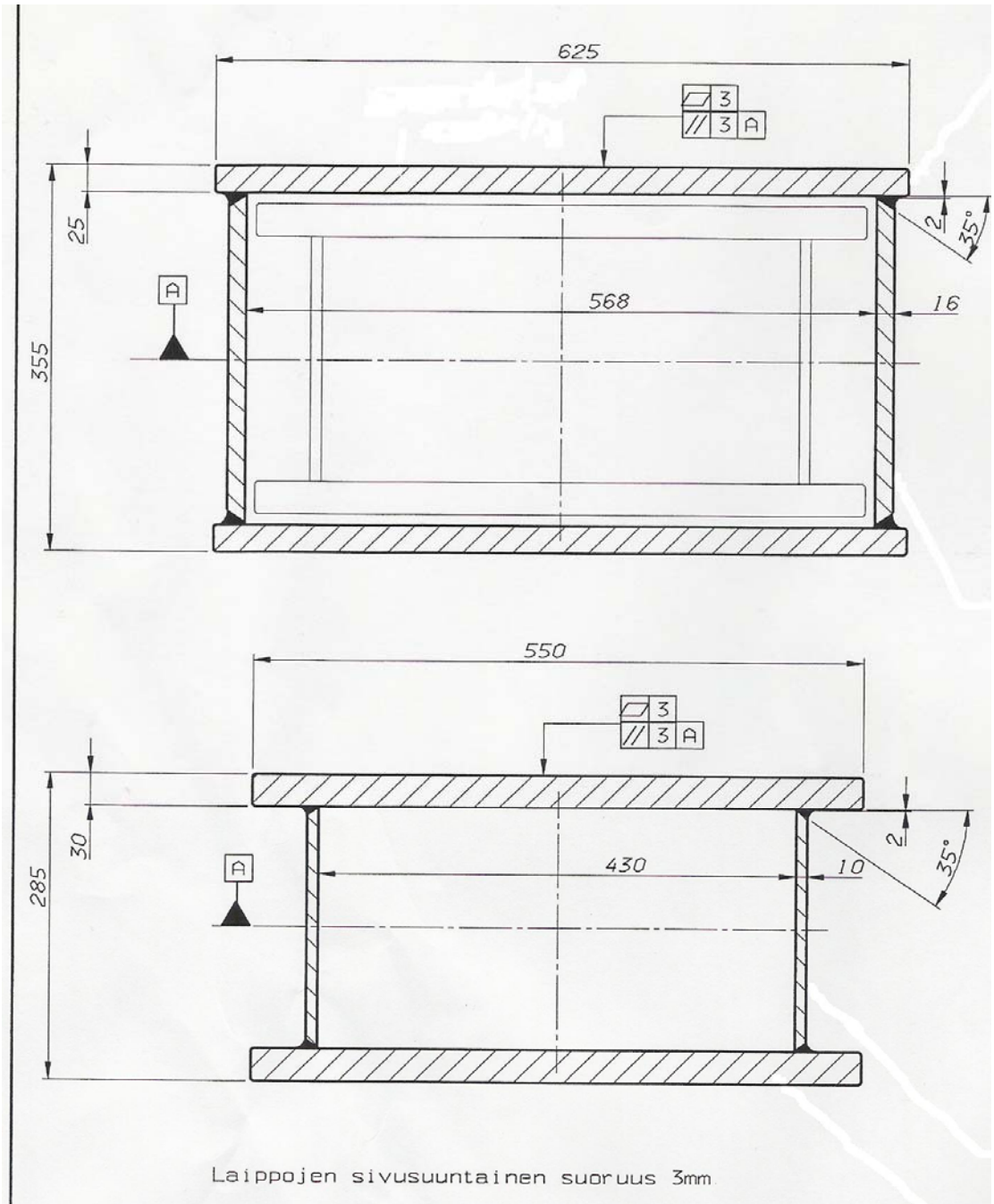


Kuva 6 Kiinnityshaarukan luonnos

Kuvassa 6 on esitetty kiinnityshaarukka ja haarukan valmistamiseen tarvittavat osat on nimetty aakkosjärjestykseen. Lisäksi kuvaan on merkitty haarukan ns. etuosa myöhempiä viittauksia varten.

Kuvassa 7 on esitetty Superlift-vastapainojen siirtoon käytettyjen puomien CAD-kuvat. Kuvassa ylempänä oleva ulkomitoiltaan suurempi palkki kiinnitetään haarukkaan ja alla oleva ulkomitoiltaan pienempi palkki tulee suuremman palkin sisään ja kiinnitetään nosturin perässä olevaan sovitekappaleeseen. Superlift-vastapainojen siirron mahdollistava hydraulisylinteri tullaan sijoittamaan molempien

palkkien sisälle, siten että hydraulisylinterin toinen pää kiinnitetään ulkomitoiltaan pienempään palkkiin ja toinen pää ulkomitoiltaan suurempaan palkkiin. Kuvassa 7 oleva suurempi palkki kiinnitetään kuvassa 6 esitetyn haarukan osaan A. Kiinnitys tapahtuu osaan A ja suurempaan palkkiin porattujen reikien läpi työnnettyllä terästäpillä.



Kuva 7 Siirtopuomin valmiit palkit /8/

Kuvan 6 osan D kaltaiset kappaleet suunnitellaan myös superlift-vastapainokärryä varten, mutta ne on tehtävä paksummasta materiaalista. Paksumman materiaalin käyttö johtuu siitä, että superlift-vastapainokäryyn tulee vain yksi kiinnike, haarukassa olevia kahta vastaan.

3.2.2 Vastapainokärry ja -kelkka

Nostoissa käytetään kahta erilaista vastapainojen alustaa: vastapainokärryä ja -kelkkaa. Kuvassa 8 esitetty vastapainokelkka on *Demagin* tehtaan valmistama ja siinä on kaikki tarvittavat kiinnityspisteet valmiina. Kuva 6 on otettu noston aikana, joten kelkan kyydissä on vastapainoja ja kelkka on ilmassa. Vastapainokärry on yrityksen itse suunnittelema ja valmistama ja siihen tarvitsee suunnitella kiinnityslenkit haarukan kiinnittämiseen. Tällä hetkellä siis vastapainokärry ei ole vielä käytössä, vaan superlift-vastapainoja vaativat nostot suoritetaan vastapainokelkkaa käyttämällä. Puomia käytettäessä superlift-vastapainot kiinnitetään vain kahdella harusvaijerilla kuvassa 8 näkyvien neljän harusvaijerin sijasta.



Kuva 8 Superlift-vastapainokelkka

Tietoja vastapainokärrystä:

- Leveys: ~ 4 000 mm
- Pituus: ~ 6 000 mm
- Korkeus: säädettävissä hydraulisesti ~1 200 – 1 600 mm
- Runkopalkit: IPE 400, s = 22 mm
- Alustassa 4 akselia
- Yhdellä akselilla 8 rengasta, yhteensä 32 rengasta
- Akselit kääntyviä

3.3 Superlift-vastapainotaulukko

Superlift-vastapainotaulukko tehdään, jotta saataisiin nopeasti selville, kuinka paljon superlift-vastapainoja tarvitsee ottaa nostopaikalle mukaan, kun tiedetään nosturien omista taulukoista katsotut superlift-vastapainojen määrä. Ilman siirtopuomia superlift-vastapainojen säde $r = 13$ m ja siirtopuomilla varustettujen säde x voi vaihdella välillä 13 – 19 m.

Superlift-vastapainotaulukon, momentin M , arvojen laskemiseen käytetään yhtälöä 27 /6/:

$$M = m \cdot g \cdot r \quad (27)$$

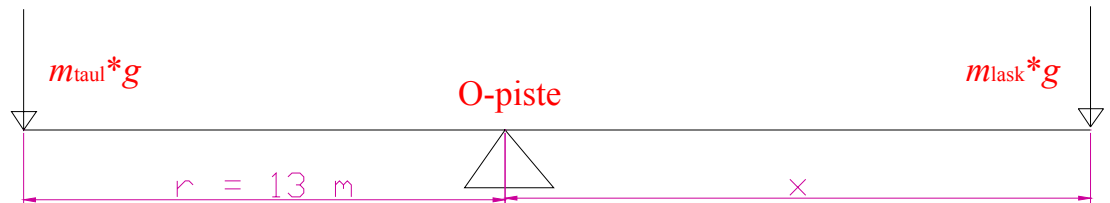
jossa m on superlift-vastapainojen massa, g on maanvetovoiman aiheuttama kiihtyvyys ja r on voiman F vaikutussuoran kohtisuora etäisyys momenttipisteestä O kuvan 9 osoittamalla tavalla. Yhtälöä 26 käyttäen saadaan verranto 27, jossa =-merkin toisella puolella superlift-siirtopuomilla varustettujen painojen momentti, joka kuvassa 9 on O-pisteen oikealla puolella, ja toisella puolella vakio superlift-säteellä varustettujen painojen momentti, joka on kuvassa 9 O-pisteen vasemmalla puolella. Yhtälö 27 on seuraavana:

$$m_{\text{lask}} \cdot g \cdot x = m_{\text{taul}} \cdot g \cdot r \quad (28)$$

yhtälöstä 27 ratkaistaan m_{lask} , jolloin maanvetovoiman aiheuttama kiihtyvyys g voidaan jakaa pois yhtälöstä, ja saadaan yhtälö 28:

$$m_{\text{lask}} = \frac{m_{\text{taul}} \cdot r}{x} \quad (29)$$

jossa m_{taul} on taulukosta saatu superlift-vastapainojen määrä kyseiselle kuormalle, r on ilman siirtopuomia olevien superlift-vastapainojen vakiosäde (13 m) ja x on siirtopuomilla varustettujen superlift-vastapainojen säde.



Kuva 9 Momentit M_{taul} ja M_{lask} O-pisteen suhteen

4 TYÖN TULOKSET

4.1 Lujuuslaskelmien tulokset

Lujuuslaskelmat laskettiin MATHCAD-ohjelmaa apuna käyttäen. Vaikka laskelmat on luvussa 3.1 Lujuuslaskelmat eritelty omiksi kappaleikseen, niin ne on tässä yhdistetty yhdeksi MATHCAD-dokumentiksi. MATHCAD-dokumentti on esitetty liitteessä 1.

Laskelmissa on käytetty luvussa 3.1 esiintyviä yhtälöitä. Käytetyt yhtälöt on merkitty teoriaosassa ilmoitetuilla numeroilla MATHCAD-dokumenttiin. Lisäksi MATHCAD-

dokumenttiin on selvitetty, mitä asioita lasketaan ja saadut tulokset on korostettu, jotta ne eroaisivat muista lukuarvoista.

Varmuudet laskelmissa tulivat melko suuriksi. Haarukan mitoitusvarmuudet tulivat vastapainojen määrän suhteen melko suuriksi, koska laskelmat tehtiin maksimietäisyydellä 250 t painoilla, vaikka niitä todellisuudessa maksimietäisyydellä tulee olemaan n. 170 t. Sovitteiden mitoituksissa varmuutta lisäävät laskenta säde, joka laskuissa oli 19 m, mikä on nosturin superlift-vastapainojen todellinen säde, mutta olisi pitänyt olla siirtopuomin kokonaispituus n. 11 m. Sovitteiden mitoitusvarmuutta lisää myös se, että superlift-vastapainot riippuvat kahden haruksen varassa, mikä osaltaan estää pysähtymisestä aiheutuvaa superlift-vastapainojen heilahdusta.

4.2 CAD-suunnittelun tulokset

Tehdyt CAD-piirustukset on esitetty liitteissä 2 - 7. Liitteessä 2 on esitetty isometrinen kuva kiinnityshaarukasta. Liitteissä 3, 4 ja 5 on esitetty haarukan mitoitettut kuvat, edestä, päältä ja vasemmalta. Liitteissä 6 ja 7 on mitoitettut kuvat nosturien takaosiin tulevista sovitteista. Piirustukset on piirretty lujuuslaskelmissa sekä lähteestä /6; 9/ saatujen mittojen mukaisesti.

4.3 Superlift-vastapainotaulukko

Superlift-vastapainotaulukko on laskettu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla käyttäen laskuihin luvussa 3.3 esitettyjä yhtälöitä. Yhtälön 28 superlift-vastapainojen massan m_{taul} arvot alkavat 20 tonnista ja päättyvät 250 tonniin ja säteen x arvot alkavat

13 metristä ja päättyvät 19 metriin. Superlift-vastapainojen massa m_{taul} arvot on otettu 20 tonnin välein ja säteen x arvot 1 metrin välein.

Lasketut arvot on pyöristetty yhden desimaalin tarkkuudella. Tarkkuutta ei tarvitse välttämättä niinkään paljoa, koska pienimmät vastapainoelementit ovat kooltaan 10 t /9/. Saaduista tuloksista on tehty alla esitetty taulukko 1.

Taulukko 1 Superlift-vastapainotaulukko

		Siirtopuomilla varustettujen superlift-vastapainojen						
		säde x (m)						
		13	14	15	16	17	18	19
Nosturin nostotaulukon ilmoittama superlift-vastapainojen massa säteellä 13 m	20	20	18,6	17,3	16,3	15,3	14,4	13,7
	40	40	37,1	34,7	32,5	30,6	28,9	27,4
	60	60	55,7	52,0	48,8	45,9	43,3	41,1
	80	80	74,3	69,3	65,0	61,2	57,8	54,7
	100	100	92,9	86,7	81,3	76,5	72,2	68,4
	120	120	111,4	104,0	97,5	91,8	86,7	82,1
	140	140	130,0	121,3	113,8	107,1	101,1	95,8
	160	160	148,6	138,7	130,0	122,4	115,6	109,5
	180	180	167,1	156,0	146,3	137,6	130,0	123,2
	200	200	185,7	173,3	162,5	152,9	144,4	136,8
	220	220	204,3	190,7	178,8	168,2	158,9	150,5
	240	240	222,9	208,0	195,0	183,5	173,3	164,2
250	250	232,1	216,7	203,1	191,2	180,6	171,1	

Taulukossa 1 on pystyakselilla vasemmassa reunassa esitetty nosturin superlift-vastapainojen massa tonneina ja vaaka-akselilla yläreunassa superlift-vastapainojen säde metreinä. Kun tiedetään superlift-vastapainojen massa ja säde, saadaan niiden risteyskohdasta tarvittavat superlift-vastapainojen massa. Lisäksi taulukosta 1 on tehty kaksi kaaviota, jotka on esitetty liitteissä 8 ja 9. Taulukoita on kaksi selvyiden takia, koska kuvaajat olisivat muuten liian tiheässä. Liitteiden 8 ja 9 kaaviossa on x-akselilla

siirtopuomilla varustettujen superlift-vastapainojen massa ja y-akselilla nosturin taulukosta saadut superlift-vastapainojen massat. Kuvaajina ovat säteen x arvot.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. SFS 4020. Nosturien ja nostoratojen laskentaohjeet. Teräsrakenteet. Suomen standardoimisliitto 1977. 34 s.
2. SFS 4024. Nosturien ja nostoratojen laskentaohjeet. Hitsien jännitykset. Suomen standardoimisliitto 1977. 2 s.
3. Outinen, Hannu – Koski, Juhani – Salmi, Tapio. Lujuusopin perusteet. PRESSUS OY. Tampere 2000. 560 s.
4. Silvennoinen, Sakari. Suunnittelijan opas, 6. painos. Rautaruukki Steel. Otava. Keuruu 2000. 320 s.
5. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistömö, Juhani. Tekniikan kaavasto, 3. painos. Tammertekniikka. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 2001.192 s.

Painamattomat lähteet

6. Nieminen, Matti. Keskustelut 2004 - 2005. Nostokonepalvelu Oy. Tampere ja Turku
7. CAD-piirustus, NKP-vakiopalkit (piirustus no NKP30211)
8. Nuutio, Erkki. Koneensaopin perusteet. Luentomonisteeet.

Sähköiset lähteet

9. Terex-Demag [www-sivu]. [viitattu 14.4.2005] Saatavissa:
<http://www.terex-demag.com>
10. Nostokonepalvelu Oy [www-sivu]. [viitattu 14.4.2005] Saatavissa:
<http://www.nostokonepalvelu.fi/>
11. Inoa Yrityshaku [www-sivu]. [viitattu 22.4.2005] Saatavissa:
<http://www.inoa.fi>

LIITTEET

- LIITE 1. Lujuuslaskelmien MATHCAD-dokumentti
- LIITE 2. Isometrikuva haarukasta
- LIITE 3. Työkuva haarukasta (edestä)
- LIITE 4. Työkuva haarukasta (päältä)
- LIITE 5. Työkuva haarukasta (vasemmalta)
- LIITE 6 ja 7. Työkuvat nosturisovitteista
- LIITE 8 ja 9. Superlift-vastapainokaaviot

Alkuarvot:

$$\text{MPa} := \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_E := 650 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_R := 880 \cdot \text{MPa} \quad E := 210 \cdot 10^3 \cdot \text{MPa} \quad \nu := 0.3$$

$$G := 75 \cdot 10^3 \text{MPa}$$

$$\sigma_{E.52} := 360 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{R.52} := 520 \cdot \text{MPa} \quad \nu_E := 1.33$$

1 Sallitut jännitykset

$$\sigma_{a52} := \frac{\sigma_{E.52}}{\nu_E} \quad \sigma_{a52} = 270.677 \text{MPa}$$

Sallittu normaalijännityksen laskemiseen käytettiin yhtälöä 2:

$$\sigma_a := \frac{\sigma_E + \sigma_R}{\sigma_{E.52} + \sigma_{R.52}} \cdot \sigma_{a52} \quad \sigma_a = 470.608 \text{MPa}$$

Sallittu normaalijännitys hitsille:

$$\sigma_{ah} := \sigma_a$$

Sallittu leikkausjännitys laskettiin yhtälöllä 4:

$$\tau_a := \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad \tau_a = 271.706 \text{MPa}$$

Sallittu leikkausjännitys hitsille laskettiin yhtälöllä 5:

$$\tau_{ah} := \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} \quad \tau_{ah} = 332.77 \text{ MPa}$$

Sallittu yhdistetty jännitys hitsille laskettiin yhtälöllä 6:

$$\sigma_{cp} := \sqrt{\sigma_{ah}^2 + 2 \cdot \tau_{ah}^2} \quad \sigma_{cp} = 665.541 \text{ MPa}$$

2 Lenkkien ja tappien mitoitus

Maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys: $g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Yhden haruksen kantama massa: $m_{0.5} := 125000 \text{ kg}$

Haruksien ja vaaka-akselin välinen kulma: $\alpha := 74 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha = 1.292$

Vastapainojen aiheuttama pystysuuntainen voima haarukan toiselle puolelle laskettiin yhtälöllä 7:

$$F_{yvast} := m_{0.5} \cdot g \quad F_{yvast} = 1.226 \times 10^6 \text{ N}$$

Vastapainojen aiheuttama haruksien suuntainen voima laskettiin yhtälöllä 8:

$$F_{tot} := \frac{F_{yvast}}{|\sin(\alpha)|} \quad F_{tot} = 1.276 \times 10^6 \text{ N}$$

Tappien poikkipinta-alan ja lenkkien nettopinta-alan määrittäminen käyttäen hyväksi sallittuja leikkaus- ja normaalijännityksiä.

Tapin poikkipinta-ala laskettiin yhtälöä 9 käyttäen:

$$A_t := \frac{0.5F_{\text{tot}}}{\tau_a} \quad A_t = 2.348 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Tapin säteeksi saadaan, yhtälö 10:

$$r_t := \sqrt{\frac{A_t}{\pi}} \quad r_t = 27.336 \text{ mm} \quad \text{--> tapin halkaisija}$$

$$d := 55 \text{ mm}$$

Hydraulisylinlerin kiinnikkeen nettopinta-alaksi normaali- ja leikkausjännityksien suhteen saadaan yhtälöillä 11 ja 12:

$$A_{\text{hsn}} := \frac{F_{\text{tot}}}{\sigma_a} \quad A_{\text{hsn}} = 2.711 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{hsl}} := \frac{0.5F_{\text{tot}}}{\tau_a} \quad A_{\text{hsl}} = 2.348 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Kiinnikkeen pituus normaali- ja leikkausjännityksien suhteen, jos kiinnikkeen leveys lasketaan yhtälöillä 13 ja 14:

Alkuarvaus: $l_{\text{hs}} := 45 \text{ mm}$

$$p_{\text{hsn}} := \frac{A_{\text{hsn}} + d \cdot l_{\text{hs}}}{l_{\text{hs}}} \quad p_{\text{hsn}} = 115.237 \text{ mm} \quad \text{--> lenkin reunan paksuus}$$

$$= 30 \text{ mm}$$

$$p_{\text{hsl}} := \frac{A_{\text{hsl}}}{l_{\text{hs}}} \quad p_{\text{hsl}} = 52.167 \text{ mm}$$

Leikkausjännityksellä tulee suurempi mitta, joten sitä on käytettävä. Tällöin kiinnikkeen mitoiksi tulee **54 (leveys) x 160 mm (pituus)**.

Edellisen perusteella voidaan haarukan kiinnikkeiden nettopinta-ala laskea jo pelkästään leikkausjännityksen suhteen, koska sillä saadaan suurempi pinta-ala.

$$A_{\text{haakl}} := \frac{0.25 \cdot F_{\text{tot}}}{\tau_a} \quad A_{\text{haakl}} = 1.174 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Kiinnikkeen pituus, jos leveys (materiaalin paksuus)

$$l_{\text{haak}} := 18 \text{ mm}$$

$$p_{\text{haak}} := \frac{A_{\text{haakl}}}{l_{\text{haak}}} \quad p_{\text{haak}} = 65.209 \text{ mm}$$

Kiinnikkeen mitoiksi tulee **18 (leveys) x 185 mm (pituus)**.

3 Palkkien mitoitus

Vastapainojen aiheuttama vaakasuuntainen voima lasketaan yhtälöllä 17:

$$F_x := \frac{F_{\text{yvast}}}{|\tan(\alpha)|} \quad F_x = 3.516 \times 10^5 \text{ N}$$

Haarukan osaan C vaikuttava y-suuntainen voima ja sen momentti lasketaan yhtälöllä 15:

$$m_{0.25} := 62500 \text{ kg} \quad l_c := 2800 \text{ mm} \quad a := 2625 \text{ mm} \quad b := 175 \text{ mm}$$

$$F_y := m_{0.25} \cdot g \quad F_y = 6.131 \times 10^5 \text{ N}$$

$$M_c := \frac{F_y \cdot a \cdot b}{l_c} \quad M_c = 1.006 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tarvittava taivutusvastus yllä mainitulla momentilla, yhtälö 16:

$$W_c := \frac{M_c}{\sigma_a} \quad W_c = 2.137 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Haarukan osaan B vaikuttavan x-akselin suuntaisen voiman F_x momentti ja tarvittava taivutusvastus on laskettu alla yhtälöillä 16 ja 18:

$$l_b := 1165 \text{ mm}$$

$$M_b := F_x \cdot l_b$$

$$M_b = 4.096 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W_b := \frac{M_b}{\sigma_a}$$

$$W_b = 8.704 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Varsinkin palkin C momentin laskenta oli melko hankalaa, koska tukipisteiden määrittäminen oli vaikeaa. Valitaan yllä olevista taivutusvastuksen arvoista suurempi (palkki B) ja valitaan käytettävä RHS-putkipalkki sen mukaan. Lähteestä /4/ saadaan kyseisellä taivutusvastuksen arvolla neliöputkipalkki jonka mitat ovat **220 x 220 x 12 mm** ja jonka taivutusvastus on **922,3 x 10³ mm³** sekä palkki jonka mitat ovat **250 x 250 x 8 mm** jonka taivutusvastus on **878,2 x 10³ mm³**. Näistä valitaan ulkomitoiltaan suurempi palkki, koska se on kevyempi **59,1 kg/m**, kun toinen on **73,5 kg/m**.

Koska osa A kiinnitetään tapilla kuvassa 5 esitettyyn suurempaan palkkiin mitoitetaan tappi ja osa A leikkautumisen suhteen. Leikkausvoima on vastapainojen aiheuttama x-suuntainen voima 2-kertaisena. Voima kerrotaan kahdella, koska osaan A vaikuttaa molempien haarukan haarojen voimat.

$$F_{xtot} := 2 \cdot F_x$$

$$F_{xtot} = 7.032 \times 10^5 \text{ N}$$

Tapin tarvittavaksi poikkipinta-alaksi saadaan, yhtälö 9:

$$A_{Atappi} := \frac{F_{xtot}}{\tau_a}$$

$$A_{Atappi} = 2.588 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Tapin säteeksi saadaan, yhtälö 10:

$$r_{Atappi} := \sqrt{\frac{A_{Atappi}}{\pi}} \quad r_t = 27.336 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{tapin halkaisija}$$

$$d := 55 \text{ mm}$$

Osan A leikkauspinnan pinta-alaksi saadaan, yhtälö 11:

$$A_{Apalkki} := \frac{0.25 \cdot F_{xtot}}{\tau_a} \quad A_{Apalkki} = 647.063 \text{ mm}^2$$

Osan A materiaalivahvuus saadaan laskettua, kun tiedetään, että reiän etäisyys palkin A etureunasta tulee olemaan noin 100 mm.

$$h := \frac{A_{Apalkki}}{100 \text{ mm}} \quad h = 6.471 \text{ mm}$$

Osassa A voidaan käyttää vähintään 6,5 mm materiaalia.

4 Hitsien jännitykset

$$h_{KL} := 18 \cdot \text{mm} \quad h_{RHS} := 8 \text{ mm}$$

$$\beta := 1 \quad R_{KL} := 0.5 \cdot F_{tot} \quad R_{RHS} := F_x$$

Lenkin ja RHS-putkipalkin välisen hitsin a-mitta, jota käytetään alkuarvauksena kyseisen hitsin mitoitukselle.

$$a_{KL} := \frac{h_{KL}}{\sqrt{2}} \quad a_{KL} = 12.728 \text{ mm}$$

Hitsin pituus l_{KL} , kun lenkin leveys on 18 mm ja pituus 185 mm

$$l_{KL} := 2 \cdot 18 \text{ mm} + 2 \cdot 185 \text{ mm}$$

Kaavaa 20 käyttäen saadaan hitsille laskettua sallittu jännitys

$$\sigma_{wsall} := \frac{\sigma_{ah}}{\beta \cdot \sqrt{3}} \quad \sigma_{wsall} = 271.706 \text{ MPa}$$

Vertailujännitys hitsille saadaan laskettua yhtälöllä 21

$$\sigma_{wvert} := \frac{R_{KL}}{a_{KL} \cdot l_{KL}} \quad \sigma_{wvert} = 123.431 \text{ MPa}$$

Vaatus $\sigma_{wvert} < \sigma_{wsall}$ toteutuu, joten valitaan **hitsin a-mitaksi 13 mm**.

Kahden RHS-putkipalkin ja RHS-putkipalkin ja keskipalkin välisen hitsin a-mitta, jota käytetään tässäkin kohdassa alkuarvauksena hitsin mitoitukselle.

$$a_{RHS} := \frac{h_{RHS}}{\sqrt{2}} \quad a_{RHS} = 5.657 \text{ mm}$$

Hitsin pituus l_{RHS} , kun RHS-putkipalkin alkomitat ovat 250 x 250 mm.

$$l_{RHS} := 4 \cdot 250 \text{ mm}$$

Vertailujännitys hitsille saadaan laskettua yhtälöllä 21

$$\sigma_{wvert} := \frac{R_{RHS}}{a_{RHS} \cdot l_{RHS}} \quad \sigma_{wvert} = 62.158 \text{ MPa}$$

Vaatus $\sigma_{wvert} < \sigma_{wsall}$ toteutuu tässäkin tapauksessa, joten valitaan **hitsin a-mitaksi 8,5 mm**.

5 Sovitteiden mitoitus

$$\text{Nosturin pyörimisnopeus} \quad n := \frac{0.7}{60} \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

$$\text{Superlift-vastapainojen maksimisäde} \quad r := 19\text{m}$$

Superlift-vastapainojen ratanopeus lasketaan yhtälöllä 22

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot n \quad \omega = 0.073 \frac{1}{\text{s}}$$

Kulmahidastuvuus lasketaan yhtälöllä, kun

$$\omega_0 := 0\text{s} \quad \text{ja} \quad t := 8\text{s} \quad \text{voidaan alkukulmanopeus jättää yhtälöstä pois.}$$

$$\alpha := \frac{\omega}{t} \quad \alpha = 9.163 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{s}^2}$$

Hitausmomentti lasketaan yhtälöllä 24 $m_{\text{SL}} := 250000\text{kg}$

$$J := m_{\text{SL}} \cdot r^2 \quad J = 9.025 \times 10^7 \text{kgm}^2$$

Superlift-vastapainojen aiheuttama momentti lasketaan yhtälöllä 25

$$M := J \cdot \alpha \quad M = 8.27 \times 10^5 \text{N} \cdot \text{m}$$

Momentin M pulttiin aiheuttama voima F lasketaan yhtälöllä 26 ja siihen lisätään superlift-vastapainoista aiheutuva x-akselin suuntainen voima F_x :

$$l := \frac{0.55\text{m}}{2} \quad l = 0.275\text{m}$$

$$F := \frac{M}{l} + F_x \quad F = 3.359 \times 10^6 \text{N}$$

Voima F voidaan kuitenkin puolittaa, koska se vaikuttaa tappiin kuvassa 5 palkin molemmilla puolilla.

Kun tiedetään voima F , voidaan laskea tapin pinta-ala A_{st} , jonka laskemiseen käytetään yhtälöä 9:

$$A_{st} := \frac{0.5F}{\tau_a} \quad A_{st} = 6.181 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Jolloin tapille saadaan yhtälöä 10 käyttäen säteeksi r_{st} :

$$r_{st} := \sqrt{\frac{A_{st}}{\pi}} \quad r_{st} = 44.356 \text{ mm}$$

Käytetään n. 90 mm terästankoa.

Sovitteiden kiinnittämiseen käytettävien pulttien/tappien pinta-ala A_{pultti} lasketaan yhtälöllä 9, jolloin voima F jakautuu neljän pultin kesken.

$$A_{pultti} := \frac{0.25 \cdot F}{\tau_a} \quad A_{pultti} = 3.09 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Jolloin pultin/tapin säde r_{pultti} saadaan ratkaistua yhtälöllä 10.

$$r_{pultti} := \sqrt{\frac{A_{pultti}}{\pi}} \quad r_{pultti} = 31.364 \text{ mm}$$

Sovitteiden kiinnittämiseen käytetään n. 62 mm tappia/pulttia. Jos käytetään pultteja ja ne kiristetään, voidaan käyttää myös pienempää kokoa, koska yhteen puristuvien osien välinen kitka vastaanottaa myös osan voimasta F .

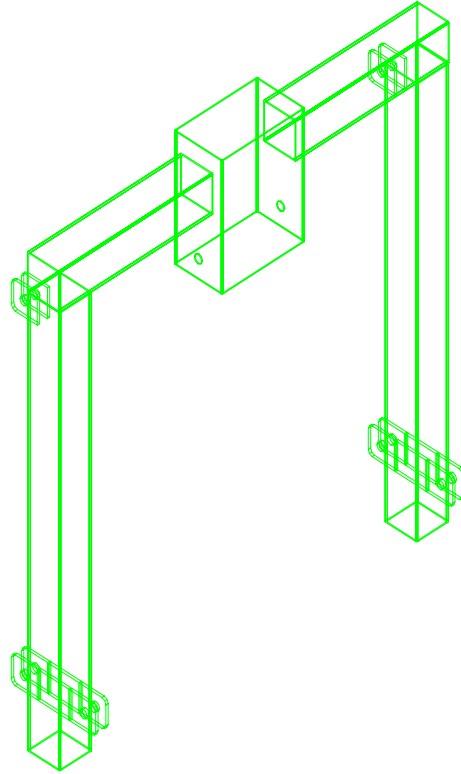
Sovitteen levyn nettopinta-ala kuvan 5 kohdassa A lasketaan yhtälöllä 11.

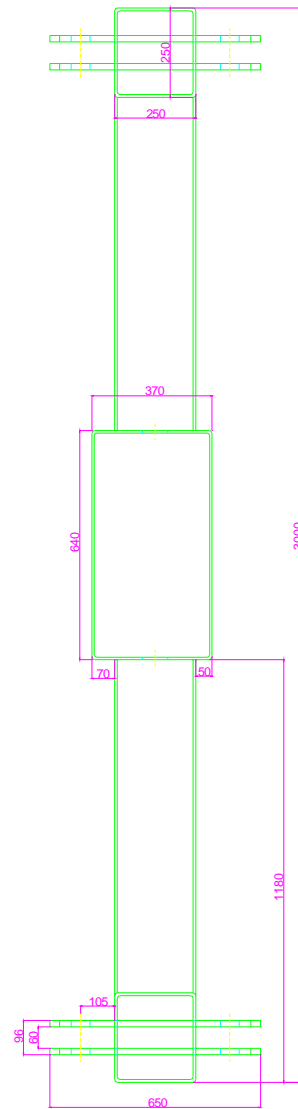
$$A_{sA} := \frac{0.5 \cdot F}{\tau_a} \quad A_{sA} = 6.181 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

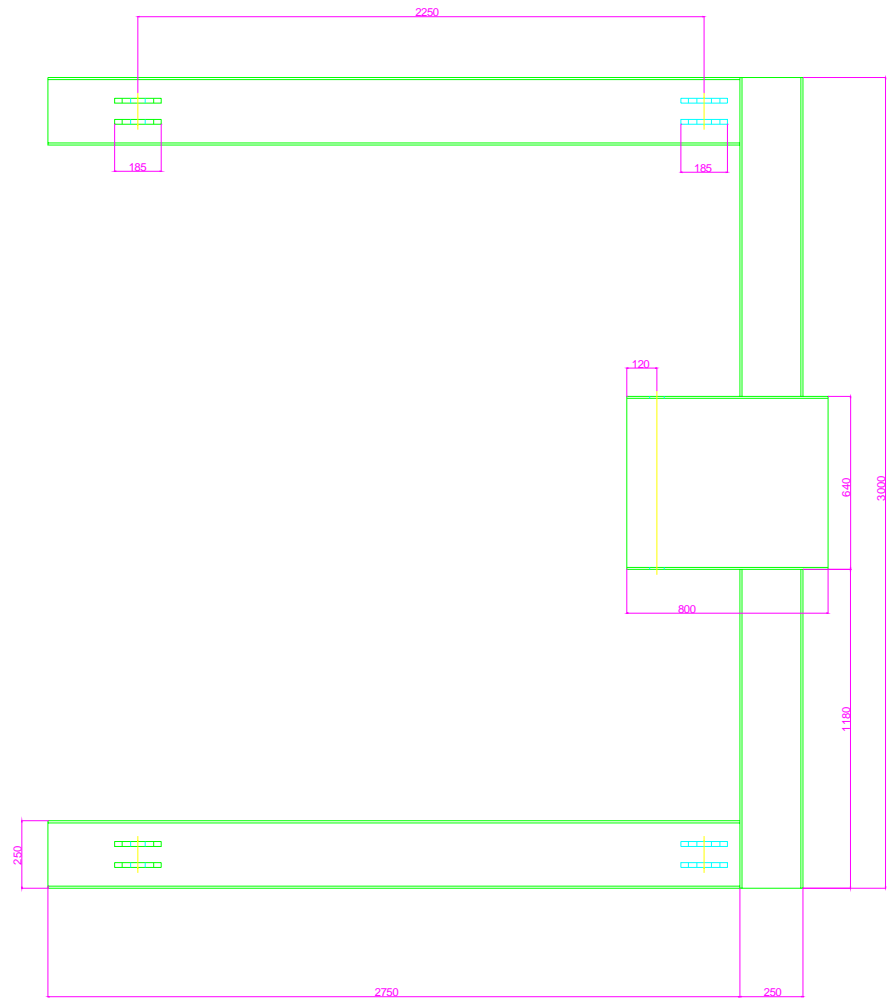
Reiän etäisyys levyn reunasta saadaan yhtälöllä 13, kun oletetaan levyn paksuus.

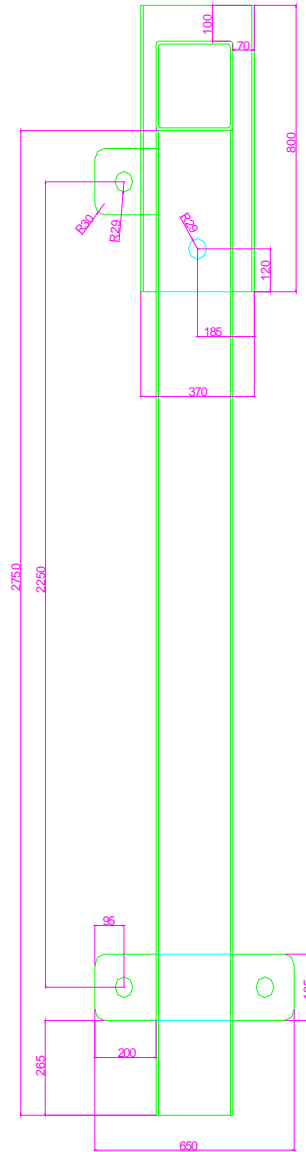
Levyn paksuus oletus: $l_s := 30 \text{ mm}$

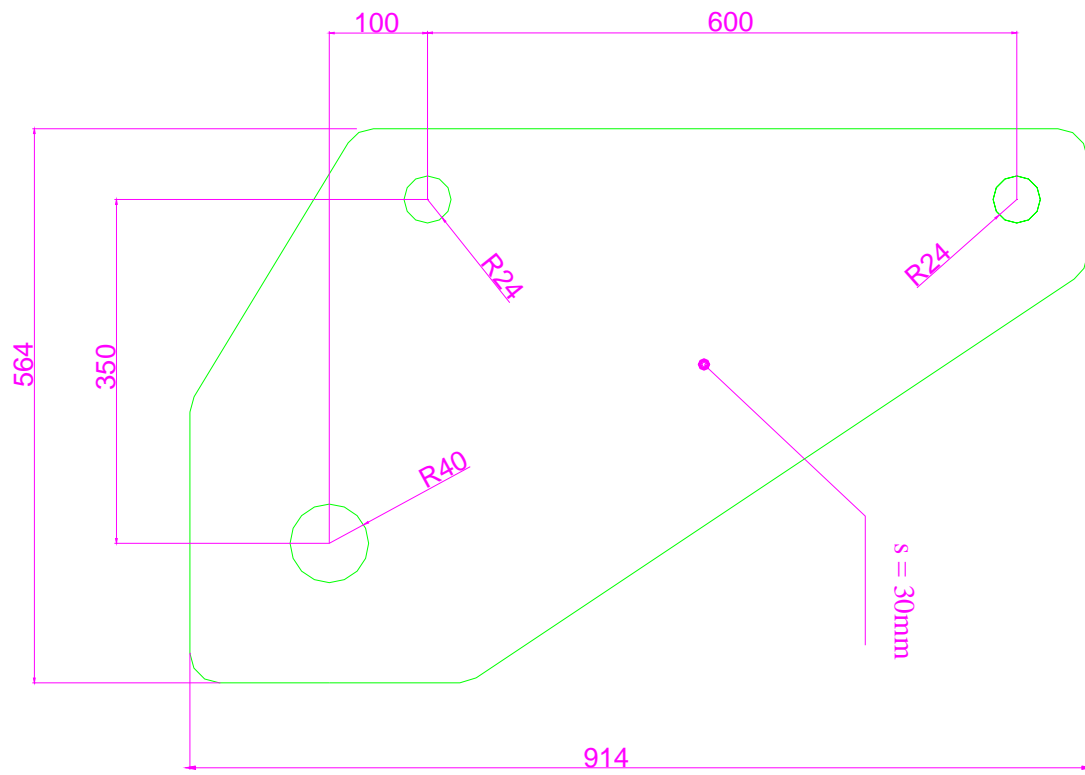
$$p_{sA} := \frac{A_{sA}}{l_s} \quad p_{sA} = 206.028 \text{ mm}$$

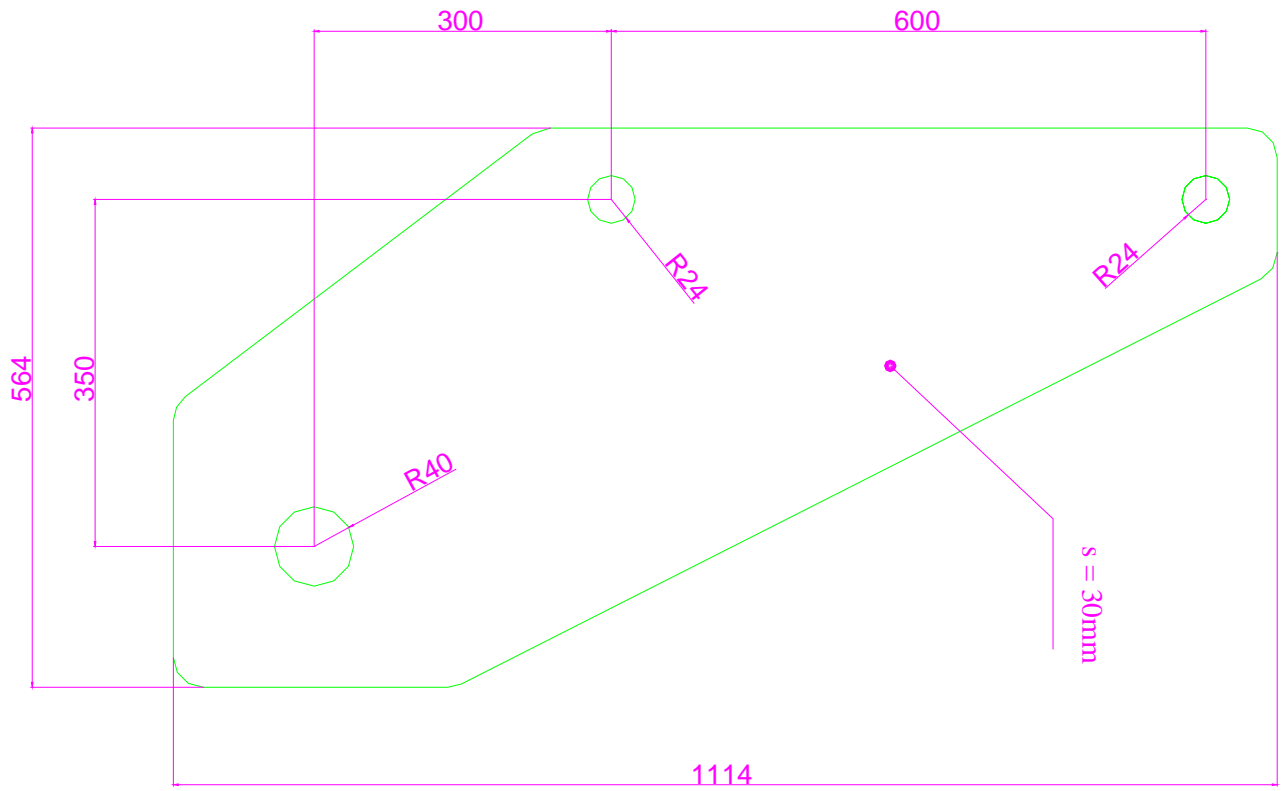




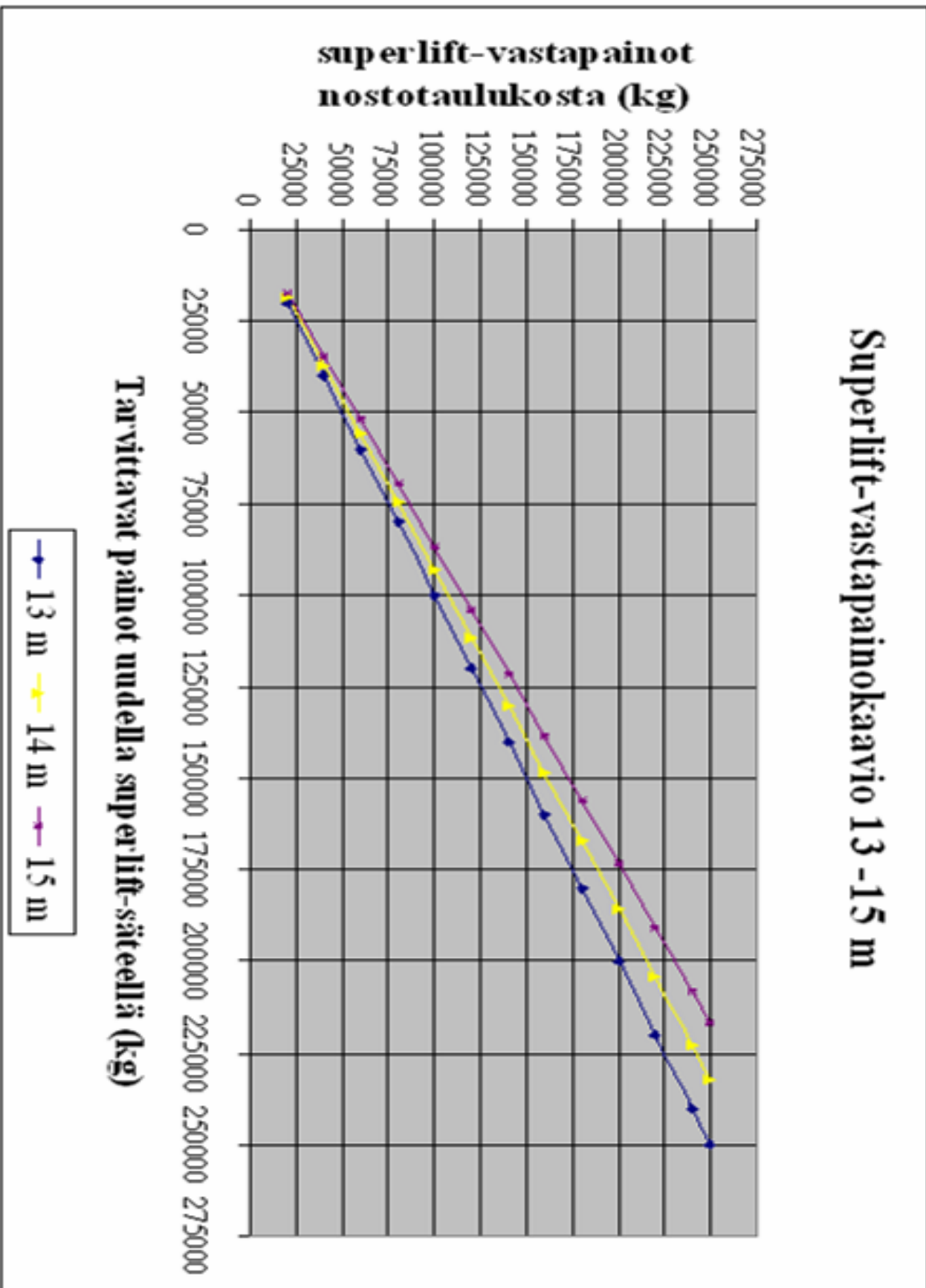








Superlift-vastapainokaavio 13 -15 m



Superlift-vastapainokaavio 16-19 m

