



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUMPPUKUORMAIN- JA AI- SANPAINATUSSOVELLUS LIETTEENSIIRTOVAUNUUN

TEKIJÄ: Eetu Jutila

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eetu Jutila	
Työn nimi Pumppukuormain- ja aisanpainatussovellus lietteensiirtovaunuun	
Päiväys 22.11.2013	Sivumäärä/Liitteet 35/1
Ohjaaja(t) lehtori Risto Rönkä, hallituksen puheenjohtaja Eino Kuhmonen (Ajokaksikko Oy), toimitusjohtaja Samuel Toikkanen (Ajokaksikko Oy)	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ajokaksikko Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin mekaniikkasuunnittelu Ajokaksikko Oy:n uuden lietteensiirtovaunun pumppukuormainta ja hydraulista aisanpainatussovellusta varten. Oheistoina suunniteltiin vaunun hydraulikkaöljysäiliö sekä ulkoasun pääpiirteet. Opinnäytetyö oli tarpeellinen, koska työn tilaaja Ajokaksikko oli laajentamassa liiketoimintaansa ja halusi parantaa vetokaluston käyttöastetta. Kannattavan lietteensiirtourakoinnin aloittamisen edellytyksenä oli nykyaikaista tekniikkaa hyödyntävä, kookas ja toiminnallinen vaunu.</p> <p>Suunnittelutyö toteutettiin mahdollisimman yksinkertaisesti ja tehokkaasti. Aluksi kartoitettiin suunniteltavien järjestelmien vaatimukset ja töiden tärkeysjärjestys, joiden pohjalta suunnittelutyö tehtiin. Mekaniikkasuunnittelu tehtiin 3D-tilassa käyttäen SolidWorks-ohjelmaa. Koska vaunu valmistui yksittäiskappaleena, suunnittelu keskitettiin puhtaasti toiminnallisuuden maksimointiin valmistettavuuden huomioinnin jäädessä vähemmälle.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena lietteensiirtovaunuun valmistuivat tarkoituksenmukaiset ja turvalliset pumppukuormain, aisanpainatusjärjestelmä ja hydraulikkaöljysäiliö. Lisäksi vaunu sai viimeistellyn ulkoasun.</p>	
Avainsanat liete, lietevaunu, pumppukuormain, aisanpainatus, perävaunu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Eetu Jutila			
Title of Thesis Mechanical Design of a Loader Crane and a Tow Beam Pressuring Application for a Slurry Tanker			
Date	November 22, 2013	Pages/Appendices	35/1
Supervisor(s) Mr. Risto Rönkä, Lecturer, Mr. Eino Kuhmonen, Chairman of Board and Mr. Samuel Toikkanen, CEO from Ajokaksikko			
Client Organisation /Partners Ajokaksikko Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to design the mechanical features of a loader crane and a tow beam pressuring application for Ajokaksikko's new slurry tanker. The oil tank for the tanker's hydraulic system and the guidelines for the appearance of the tanker were also designed on this project. This thesis was necessary due to Ajokaksikko's intentions of extending business activities and improving their tractor's utilization rate. A modern, large and functional slurry tanker was required to perform successful slurry transferring business.</p> <p>The mechanical design of this project was made as simply and efficiently as possible. In the beginning the requirements of the systems under design as well as the priority of work phases were mapped out. The design process was based on them. The mechanical design was made in the 3D state using the SolidWorks program. Because the tanker was a single-piece production, the designing concentrated on functionality instead of productivity.</p> <p>As a result of this thesis, the loader crane, the tow beam pressuring application and the oil tank, which all are safe and functional, were manufactured. The slurry tanker was also given a finished appearance.</p>			
Keywords Slurry, Tanker, Crane, Beam			

ESIPUHE

Esitän kiitokseni Ajokaksikon hallituksen puheenjohtaja Eino Kuhmoselle ja toimitusjohtaja Samuel Toikkaselle mielenkiintoisesta ja haastavasta opinnäytetyön aiheesta. Yhteistyö oli antoisaa ja kehittäväää. Kiitokset myös lehtori Risto Röngälle opinnäytetyön ohjauksesta, sekä läheisilleni työn aikana saamastani tuesta ja kannustuksesta.

Opinnäytetyön valmistuessa ja opintojen päättyessä erityinen kiitos kuuluu opiskelutovereille, jotka ovat läsnäolollaan tehneet näistä opiskeluvuosista ikimuistoisia.

Kuopiossa 22.11.2013

Eetu Jutila

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	AJOKAKSIKKO	9
2.1	Yrityksen toiminta	9
2.2	Yrityksen valmius lietevaunun valmistukseen	9
3	LIETTEENSIIRTO.....	10
4	AISANPAINATUSJÄRJESTELMÄ	13
4.1	Lähtökohta	13
4.2	Toimintaperiaate	13
4.3	Painatusjärjestelmän suunnittelu.....	14
4.3.1	Vaatimukset	14
4.3.2	Järjestelmän suunnittelu	14
4.3.3	Aisan vahvistaminen.....	18
4.4	Apulaitteiden sijoittelu aisalle.....	18
5	PUMPPUKUORMAIN	21
5.1	Lähtökohta ja vaatimukset	21
5.2	Pumppupuomin rakenne	21
5.2.1	Materiaalit.....	21
5.2.2	Luonnos.....	22
5.2.3	Puomin paino	22
5.3	Pumppupuomin työsylinteri	24
5.3.1	Sylinterin hankkiminen	24
5.3.2	Sylinterin taittovoima.....	24
5.4	Liikerata.....	25
5.5	Valmistus	28
6	OHEISTYÖT	29
6.1	Öljysäiliö	29
6.2	Vaunun ulkoasu	31
7	YHTEENVETO.....	33

LÄHTEET

LIITTEET

KÄSITTEET

Dolly = Täysperävaunun erillinen kääntyvä alavaunu, jossa etuakseli ja aisa ovat kiinni.

Vankkuri = Vähintään kaksiakselinen hinattava ajoneuvo, jonka toinen akseli on ohjattavissa ja aisa liikkuu pystysuunnassa. (SFS-ISO 17 900, 4)

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tehdään projektina mekaniikkasuunnittelu Ajokaksikko Oy:n uuden lietteensiirtovaunun pumppukuormaimen ja aisanpainatusjärjestelmään. Lisätyönä suunnitellaan hydraulikkaöljysäiliö sekä määritetään vaunun uusi ulkoasu karkeasti. Tarvittaessa avustetaan myös valmistustoimissa. Kyseessä on uusi tuote, joka valmistetaan uniikkikappaleena aihion pohjalle. Pumppukuormaimen, aisanpainatusjärjestelmän ja öljysäiliön suunnittelu tehdään SolidWorks-ohjelmalla 3D-tilassa. Suunnittelutyö tapahtuu Ajokaksikon laitteille asettamia vaatimuksia mukailen.

Ajokaksikko on työn alkaessa laajentamassa liiketoimintaansa lietteensiirtoon, sillä sen kaltaiselle urakoinnille on tarvetta lähiseudulla. Samalla pääosin rehuntekokäytössä olleen konekaluston käytöstä saatavien parannettua merkittävästi.

Lietteensiirtoa varten tarvitaan traktorilla vedettävä lietteensiirtoon soveltuva säiliövaunu. Valmistajien mukaista vaunua ei markkinoilla ole saatavilla, joten osin tämän työn pohjalta yritykselle valmistuu uusi lietteensiirtovaunu.

2 AJOKAKSIKKO

2.1 Yrityksen toiminta

Ajokaksikko Oy on Vesannolla vuonna 2012 perustettu yritys, joka työllistää kaksi henkeä. Pääasiallinen toiminta keskittyy säilörehun korjaamiseen modernilla konekalustolla Pohjois-Savon ja Keski-Suomen alueella. Tukikohtaansa yritys pitää toistaiseksi Vesannolla. Yrityksellä on käytössään traktori, kaksi niittokonetta, karhotin ja rehun karhosta keräämistä varten ajosilppuri, joka soveltuu myös suoraniittoon. Sesonkiaikaan käytetään myös aliurakoitsijoita rehun kuljetuksessa, karhotuksessa ja auman tiivistämisessä. Opinnäytetyön valmistuessa Ajokaksikko on laajentanut toimintaansa lietteensiirtoon ja energiapuun haketukseen. (Kuhmonen 2013.)

2.2 Yrityksen valmius lietevaunun valmistukseen

Säilörehun korjauskesäaika ajoittuu pisimmilläänkin touko- ja syyskuun välille, joten yrityksen kalusto jää rehusesonin jälkeen vähäiselle käytölle. Etenkin tehokkaan ja monenlaiseen käyttöön soveltuvan traktorin käyttöastetta pitää saada paremmaksi. Pienen yrityksen liikevaihto saataisiin myös kasvamaan huomattavasti, jos konekalustolla ajettaisiin ympärivuotisesti.

Opinnäytetyön alkaessa yritys on jo hankkinut kuorma-auton täysperävaunun säiliön, jota käytetään lietevaunun aihiona. Samoin suurin osa tarvittavista metallimateriaaleista on hankittu jo valmiiksi. Pumppukuormaimena käytettävä nosturikin on projektin alkaessa jo valittu ja tilattu. Yrityksellä on käytössään tarkoituksenmukainen puolilämmin tila, jossa on suurin osa projektissa tarvittavista metallintyöstövälineistä. Perävaunun rakennuksesta henkilöstöllä on kokemusta jo entisestään. Lähtökohdat ovat erinomaiset lopputuotteen ja sen valmistuksen suunnitteluun, koska välineistö ja vaadittava tietotaito on jo olemassa. Valmistus on myös edullista ja tehokasta, sillä metallitöitä ei ole tarpeen ulkoistaa.

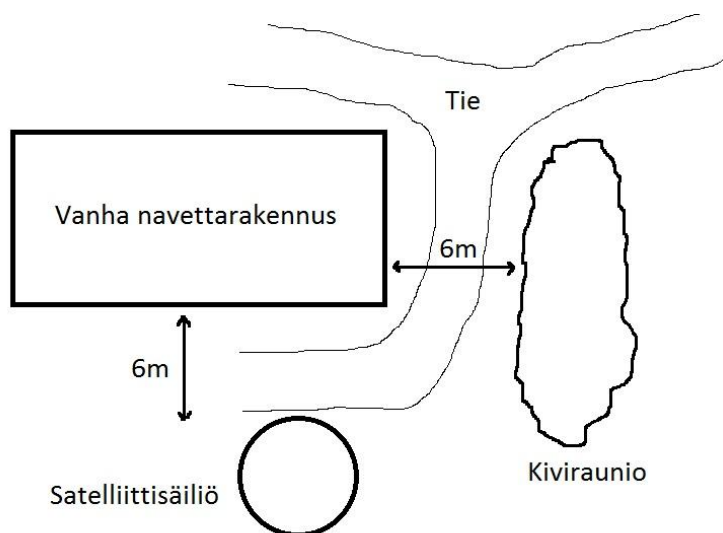
Aihiovaunu valmistetaan akselistoa ja säiliörunkoa lukuun ottamatta kokonaan uusiksi. Tämä käsittää mm. opinnäytetyön aiheina olevat asiat, lieteputkistot, pumppujen telineet, valutusaltaan pumppukuormainta varten, nosturin jalustan, työvälineiden sijoittelun, valot ja lokasuojat sekä sähköjärjestelmien tekemisen kokonaisuudessaan. Ainoastaan hydraulikkajärjestelmän kokoaminen ulkoistetaan.

Projektin tulostavoitteena on tarkoituksenmukainen lietteensiirtovaunu ympärivuotiseen käyttöön. Painoarvoina suunnittelussa ovat käytettävyyden toiminnallisuuden ja mukavuuden kannalta, turvallisuus, sekä huollettavuus. Huomiota kiinnitetään myös edustavuuteen muotokielen ja modernin tekniikan hyödyntämisen kannalta. Vaunu huomataan maantiellä liikkeessä, joten laitteiston olisi hyvä luoda positiivinen ja ammattimainen vaikutelma niin maallikkoon kuin toimialaan perehtyneeseen potentiaaliseen asiakkaaseen.

3 LIETTEENSIIRTO

Lietteensiirto tarkoittaa sitä, että esimerkiksi lypsykarjatilan lietelantaa siirretään kauempana sijaitseviin satelliittisäiliöihin. On taloudellisesti tehokasta siirtää lietettä tilalta jo muutaman kilometrin päähän säiliöön, joka on lähempänä levityspeltoa. Tällöin siirtokalustolla hoidetaan siirtotyö säiliöltä säiliölle ja levityskalustolla pelkkä levitys pelloille. Välineet ovat tarkoituksenmukaisessa käytössä ja turha työ vähenee.

Liete loppusijoitetaan yleensä lannoitteeksi pelloille. Suuri lietemäärä vaatii suuren peltopinta-alan, eivätkä tilan omat pellot usein riitä koko lietemäärän levitykseen. Yleinen käytäntö on vuokrata peltoa tai myydä tai lahjoittaa lietettä muille lannoitteen tarvitsijoille. Koska vuokrattu peltopinta-alan on useimmiten etäällä tilan lietealtaasta, on naapuri- tai tytärtiloilla usein satelliittisäiliöitä. Nämä tilat ovat yleensä entisiä karjatilajoja, joissa vanhan karjasuojan kokoomalietealtaat on otettu käyttöön suurempien tilojen satelliittisäiliöinä. Niistä liete levitetään sesonkiaikaan tilojen läheisyydessä oleville pelloille lannoitteeksi. Säiliöt sijaitsevat entisen käytön takia jonkinlaisen ajokelpoisen tien ulottuvissa, joten pellolla ajaminen ei ole tarpeellista. Usein vanhoilla tiloilla tarvittava kalusto on ollut huomattavasti pienempää ja kevyempää, joten tiet ovat yleensä kapeita, paikoin pehmeitä ja ahtaita raskaalle kalustolle. Tämä asettaa vaatimuksia siirtokaluston massalle, rengastukselle ja ketteryydelle. Kuviossa 1 on esimerkkinä vanhan navettarakennuksen takana oleva säiliö. Satelliittisäiliöitä tehdään myös uutena pelkästään tilan lietteensiirtoa varten.



KUVIO 1. Tyypillinen satelliittisäiliön sijainti ahtaassa paikassa vanhalla maatilalla

Lietteensiirto on yksinkertainen prosessi. Siirtoväline ajetaan aluksi lietteennostopaikalle. Pumppu tai nostoletku lasketaan kaivoon ja siirtoväline pumpataan täyteen lietettä. Tämän jälkeen välineistö laitetaan siirtokuntoon ja ajetaan satelliittisäiliölle, jossa liete pumpataan suoraan altaaseen.

Etenkin suurten altaiden yhteydessä on usein erillinen sivukaivo kokoomalietealtaan vieressä. Sivukaivo sijaitsee muutaman metrin päässä altaan reunasta. Kuvio 2 havainnollistaa sivukaivon sijaintia. Erillinen nostopaikka on tärkeä pehmeällä maaperällä, jotta raskas kalusto ei vahingossakaan pääse

putoamaan altaaseen mahdollisen sortuman seurauksena. Jos tilan lietteenvarastointijärjestelmä on toteutettu usealla tukevaseinäisellä pienellä säiliöllä, sortumavaara on niin pieni, että sivukaivoa ei ole tehty lainkaan.



KUVIO 2. Esimerkki erillisen nostokaivon sijainnista suuren lietesäiliön yhteydessä

Kuvassa 1 näkyy tyypillinen navetan yhteydessä oleva lietesäiliö, josta lietettä nostetaan siirtourakointia suoritettaessa. Kuvan jäljistä voi havaita, kuinka lähelle säiliötä kalusto ajetaan lietteen noston yhteydessä.



KUVA 1. Lietesäiliö Halolan koetilalla Maaningalla (Jutila 2013.)

Esimerkiksi suurikokoisen lypsykarjatilän tuhansien kuutiometrien kokoomalieteallas täyttyy säännöllisesti. Liete ei maadu altaisiin, sillä pohjavesien suojelemiseksi altaat ovat rakenteeltaan betoni- tai kumipohjaisia. Jos suuren navetan lietteentuotto on esimerkiksi 5 000 m³ vuodessa ja sen omaan lietesäiliöön mahtuu 4 000 m³, on säiliötä tyhjennettävä säännöllisesti satelliittisäiliöihin. Satelliittisäiliöillä kasvatetaan tilan lietteensijoituskapasiteettia. Tarkoituksena on eläinmäärän kasvattaminen tuottavuuden lisäämiseksi. Lietettä pitää pystyä kerralla sijoittamaan vähintään vuodessa kertyvä määrä. Tilanpuutetta säiliöissä ei pitäisi päästä syntymään, jos tilallinen järjestää siirtourakoinnin suorituksen ajallaan. (Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta, 4 §.)

Kertaurakalla säiliötä ei yleensä tyhjennetä kokonaan, vaan siirto-operaatiot on ajoitettava siten, että satelliittisäiliöissä on tilaa. Niiden kapasiteetti riippuu puolestaan vuodenajasta, sillä lietettä ei saa levittää pelloille ympärivuotisesti. Etenkin talvisin on sopiva aika siirtää lietettä täyttyvästä kokoomalietesäiliöstä satelliittisäiliöihin, koska sallittu levitysaika ajoittuu välille 15.4. - 15.10. (Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta, 5§.)

Yleensä pyritään suuren volyymin siirtämiseen kerrallaan paikasta toiseen. Siirtomatkat saattavat traktorilla tapahtuvassa urakoinnissa vaihdella yhdestä kilometristä 50 km:iin. Yli 30 km matkoilla rekkaurakointi olisi suotavaa säiliötilavuuden kasvaessa ja polttoainekustannusten pienentyessä. Lietteen täyttö- ja tyhjennysprosessit vievät vain muutamia minuutteja, joten suurin osa työajasta on tiellä ajoa. Esimerkiksi tuhannen kuutiometrin urakka 25 m³ vaunulla vaatisi 40 kuorman edestakaiset ajot satelliittisäiliöille ja takaisin. Yhtä kuormaa kohden saattaa siis kertyä 10 min lietteen nostoa ja purkua ja yli kaksi tuntia ajoa. Siirrettävän lietteen määrän ohella siirtomatka vaikuttaa mm. polttoainekustannusten ja kaluston kiinteiden kulujen takia olennaisesti urakoinnin hinnoitteluun.

4 AISANPAINATUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Lähtökohta

Aisanpainatusjärjestelmän tarkoitus on parantaa traktorin vetopitoa liukkaissa olosuhteissa. Suurta massaa vedettäessä traktorin vetopidon säilyttäminen on turvallisuuden kannalta tärkeää, sillä pidon kadotessa yhdistelmä saattaa lähteä valumaan ylämäessä taaksepäin vaarantaen muun liikenteen ja mahdollisesti myös arvokkaan kaluston toimintakyvyn.

Ajokaksikon lietteensiirtourakointi keskittyy sellaiselle alueelle, jossa on jyrkkiä mäkiä. Urakoinnin sijoituessa syksyn ja kevään välille olosuhteet saattavat olla hyvinkin haastavat pehmeiden ja liukkauden takia. Tiet satellittisäiliöille ovat usein ahtaita eikä kovan vauhdin ylläpito mäkien selvittämiseksi ole aina mahdollista. Ajokaksikon traktorin portaaton voimansiirto mahdollistaa mäkien kiipeämisen ilman vaihtenvaihdossa yleensä tapahtuvaa vedon katkeamista. Tällöin vauhti säilyy paremmin mäen yläosaa kohti mentäessä. Aisanpainatuksella halutaan lisäapua haastaviin tilanteisiin, kuten todella jyrkkiin mäkiin ja liikkeellelähtöihin liukkaalla.

4.2 Toimintaperiaate

Valmistettava perävaunu on rakenteeltaan 3-akselinen vankkurityyppinen täysperävaunu, joten dollyssä kiinni oleva etummainen ohjaava akseli kääntyy vapaasti vaunun alla. Vetoaisa on nivelöity dollyyn siten, että sen liike on pelkästään pystysuuntaista. Tällöin vetävään ajoneuvoon ei kohdistu pystysuuntaisia voimia.

Perinteiset traktorin perävaunut, joissa ei ole ohjattavaa etuakselia, ovat yleensä etupainoisia, mikä aiheuttaa alaspäin painavan voiman traktorin vetolaitteeseen. Tätä kautta traktorin vetävien pyörien päälle kertyy enemmän massaa parantaen kasvaneen kitkavoiman myötä vetopitoa.

Painatusjärjestelmällä tuotetaan tarvittaessa keinotekoinen kuorma aisan kytkentäpisteeseen. Perävaunun käyttäessä hydraulikkaa jo pumppukuormaimeen, lietepumppuihin ja lieteputkien luistiventtiileihin on luonnollista suunnitella myös aisanpainatusjärjestelmä hydraulitoimiseksi.

Koska painatusta tarvitaan vain ääritilanteissa, kuljettajan pitäisi kyetä käyttämään painatusta helposti ja nopeasti omalla paikalla istuessaan.

Jotta perävaunun vedettävyyttä säilyy normaaliajossa hyvänä, pitää aisan pystyä liikkumaan normaalisti pystysuunnassa tien epätasaisuuksien mukaan. Tällöin vältytään siltä, että yhdistelmän hallinta menetetään töyssyssä sen takia, että jokin akseli käy aisan joustamattomuuden takia ilmassa ja pito häviää. Jousto-ominaisuus päätettiin toteuttaa siten, että kun painatusta ei tarvita, kytketään hydraulikkapiiri läpivirtaavaksi siten, että sylinterit ovat kelluvassa tilassa. Painatuksen aikaista joustoa oli tarkoitus luoda asentamalla hydraulikkapiiriin paineakut sylinterien yhteyteen. Paineakut absor-

boivat tarvittaessa tiestä aisaan tulevia epätasaisuuksia pehmentäen painatusta mahdollisimman hyvän pidon säilyttämiseksi.

4.3 Painatusjärjestelmän suunnittelu

4.3.1 Vaatimukset

Lähtökohtana aisanpainatusjärjestelmän suunnittelulle oli projektia varten valmiiksi hankittu työsylinteri ja tavoite 3 000 kg keinotekoisien massan tuottamisesta traktorin vetolaitteeseen. Sylinterin mitat ovat 80/50-550 ja minimipituus 870 mm. Sylinterin yläkorvakkeet tukeutuisivat dollyn runkoon ja alakorvakkeet olisivat aisassa kiinni. Painatusjärjestelmän ympärille pitäisi lisäksi kyetä sijoittamaan kaikki tarvittavat apulaitteet, jotka veisivät suhteellisen paljon tilaa. Apulaitteiden tulisi sijaita aisan reunojen sisäpuolella ylhäältäpäin katsottuna. Kuvassa 2 on nähtävissä vaunun aisa ennen rakennusvaiheen alkamista.



KUVA 2. Aisan lähtökohtatilanne (Kuhmonen 2012.)

4.3.2 Järjestelmän suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana olleen sylinterin pituus muodosti ongelman monella tasolla. Se tarvitsisi pitkät korvakkeet sekä rungon, että aisan puolelle. Lisäksi sylinterin pitäisi olla melko pystyssä, jotta voima riittää painamaan aisaa tavoitteen mukaisesti. Pystyn asennon takia pitkät yläpään korvakkeet muodostuisivat rakenteellisesti raskaiksi ja monimutkaisiksi. Dollyn pitää mahtua kääntymään yli 180° liikeradalla ja korvakkeet ottaisivat kääntymisvaiheessa herkästi kiinni ylävaunun etukulmiin. Myös sylinterin alapää olisi ollut huolestuttavan lähellä maata ajatellen ääritilannetta, jossa tie lie-

tesäiliölle on upottava ja keskellä olisi iso kivi. Pystyyn asentoon asennettaessa sylinteri sijoittuisi liian kauas eteen dollyn rungosta. Tällöin kaikki apulaitteet olisi käytännössä mahdotonta sijoittaa aisan päälle järkevästi. Sylinterin iskunpituuskin on selkeästi ylivoimainen. Yhtä työsylinteriä hyödyntävä järjestelmä päätettiin hylätä ideana jo suunnittelun alkuvaiheessa.

Uutta versiota lähdettiin ideoimaan kahdella pienemmällä työsylinterillä, jotka yritys sai hankittua pikaisesti suunnitelmien muututtua. Uusien sylinterien mitat ovat 80/50-200 minimipituuden ollessa 470 mm. Lyhyemmät sylinterit mahtuvat paremmin aisan juureen. Sijoituspaikka visioitiin aisan reunojen ulkopuolelle molemmin puolin. Näin apulaitteille jää enemmän tilaa aisan päälle. Kahdesta sylinteristä saadaan painatukseen myös enemmän voimaa, jota tarvitaan vipuvarren muuttuessa epäedullisemmaksi, koska aisaa painetaan lähempää nivelöintipistettä. Traktorista saatava suurin hydraulikan paine on 220 bar. Sylinterin realistiseksi hyötysuhteeksi oletetaan 0,9. Kahdesta sylinteristä saatava painatusvoima täydellä paineella on

$$F = pA\eta, \quad (1)$$

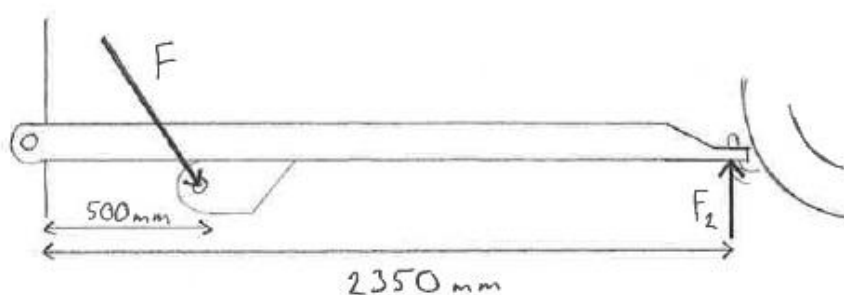
jossa

$$p = 220 \text{ bar} = 22 \text{ MPa} = 22 \text{ N/mm}^2$$

A = kahden männän pinta-ala

$$\eta = 0,9$$

$$F = 22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 2 * \frac{\pi}{4} (80 \text{ mm})^2 * 0,9 \approx 19905 \text{ N}.$$



KUVA 3. Aisan vapaakappalekuva

Sylinterien alapää päätettiin sijoittaa tilansäästöön vedoten 500 mm päähän aisan nivelöintipistettä. Tällöin vipuvarsi (noin 1:5) säilyisi vielä kohtuullisena sylinterin iskunpituudelle ja aisan kuormitukselle. Sylinterien, ja kuvassa 3 voiman F vähimmäiskallistuskulma määritettiin momenttiehdon kautta vertaamalla vetokoukulle tuotettavaa keinotekoisista 3 000 kg tavoitekuormitusta sylinterien alakiinnityspisteen pystysuuntaiseen vähimmäiskuormitukseen seuraavasti:

$$F_1 r_1 = F_2 r_2 \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{F_2 r_2}{r_1} \quad (3)$$

jossa:

F_1 = Sylinterien aisaan tuottama pystysuuntainen voimakomponentti

r_1 = Sylinterien alakiinnityspisteen etäisyys aisan nivelöintipisteestä

F_2 = Vetokoukkuun painatettaessa kohdistuva pystysuuntainen voima

r_2 = Vetokoukun ja aisan nivelöintipisteen etäisyys

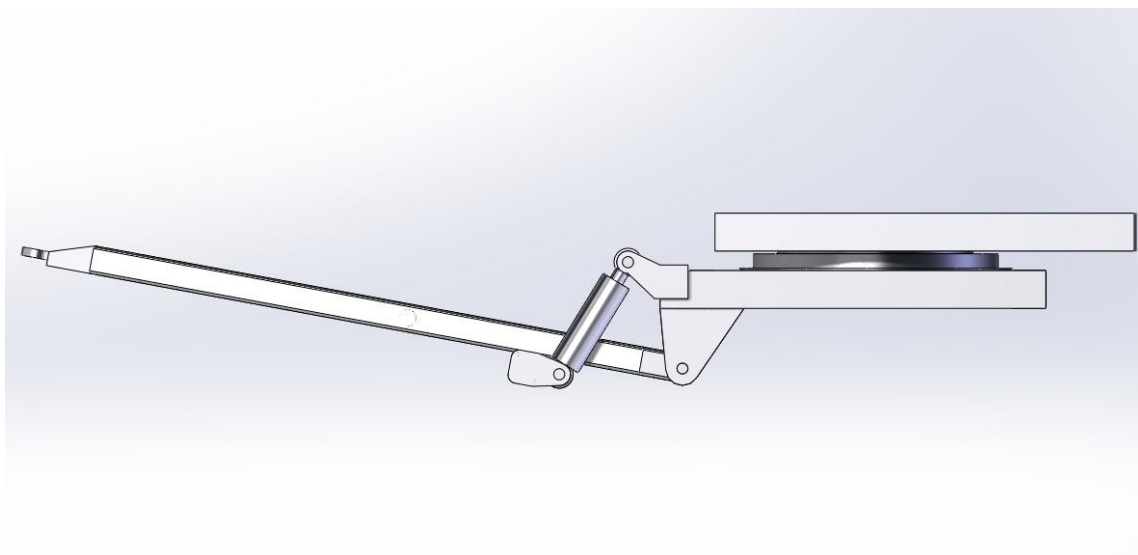
$$F_1 = \frac{3000 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2350 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \approx 138321 \text{ N} .$$

Tällöin sylinterien vähimmäiskulma vaakatasosta voitiin määrittää trigonometrisesti

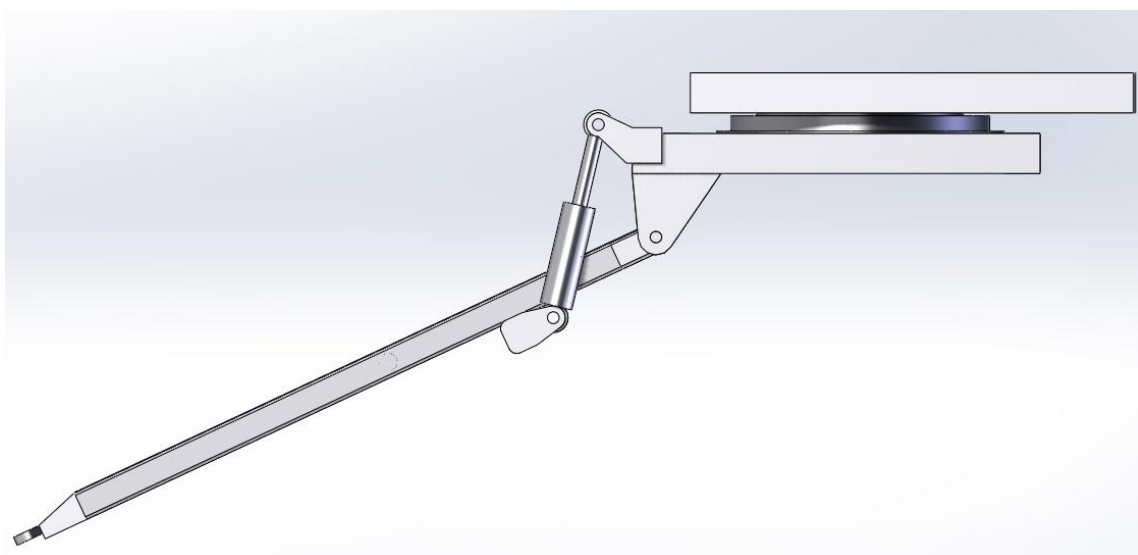
$$\alpha = \arcsin\left(\frac{138321 \text{ N}}{199051 \text{ N}}\right) \approx 44^\circ .$$

Sylinterien täytyy siis olla vähintään 44° kulmassa vaakatasoon, jotta voima riittää tuottamaan 3000 kg kuorman traktorin vetolaitteeseen käytettäessä täysiä hydrauliiikan paineita. Sylinterit piti kuitenkin nostaa pystympään asentoon dollyn rungon tullessa takana vastaan ja niiden upottaminen runkoon olisi ollut liian työläs toimenpide. Samalla sylinterien voimareserviä saadaan tehokkaammin käyttöön eivätkä ne kulu niin nopeasti, koska pienempien hydraulipaineiden käyttäminen on mahdollista. Sylinterien asennon määrittäväksi tekijäksi jäi dollyn runkoon hitsattavan yläkorvakkeen sijoitus. Korvake pyrittiin tekemään niin matalaksi, ettei se kääntövaiheessa ota kiinni ylävaunuun. Korvakeiden välimatka visioitiin aisan ollessa samassa asennossa, kuin tasamaalla vetäessä ja työsylinterin tulisi tällöin olla puolivälissä iskunpituuttaan. Siten aisan liikerata maksimoitaisiin, eikä pystysuuntainen liike tökkäisi haitallisesti sylinterin liikeradan loppuessa ääritilanteessa. Sylinterin yläpään kiinnityspiste piti tehdä hieman dollyn runkoa edemmäs, jotta sylinterit eivät ota sivusuunnassa aisaan kiinni. Alakorvakkeen sijoitus päätettiin tehdä aisan alapuolelle.

Sylinterin kiinnikkeiden 3D-mallit luotiin SolidWorks-ohjelmaa hyväksikäyttäen. Painatusjärjestelmästä tehtiin valmis 3D-kokoonpano, jolla varmistettiin aisan riittävä pystysuuntainen liikerata, sekä tarvittava dollyn kääntyvyys ilman törmäyksiä. Pystysuuntainen liikerata näkyy kuvissa 4 ja 5.



KUVA 4. Aisan 3D-mallin liikeradan yläasento



KUVA 5. Aisan 3D-mallin liikeradan ala-asento

Sylinterien korvakkeisiin päätettiin hyödyntää 20 mm paksua teräslevyä, jota Ajokaksikolla oli jo valmiina varastossa. Korvakkeet valmistettaisiin leikkaamalla ne ensin plasmaleikkurilla muotoonsa, minkä jälkeen tapinreikiin hitsattaisiin holkit tappeja varten. Plasmaleikkuri on käsitönteinen, joten mittatarkkuus on heikko. Korvakkeiden kohdistaminen tiukan tapin linjaan oli helpompi toteuttaa hitsaamalla erilliset holkit hieman väliin reikiin. Korvakkeet näkyvät selkeästi kuvassa 6.

Molempien päiden korvakkeet oli helpointa hitsata pienahitseillä jäykempään rakenteeseen. Painatussylinterien korvakkeiden hitsit määritettiin hitsattavaksi käyttäen vähintään a-mittaa 5. Hitsien lujuuslaskelma on liitteessä 1. Samaa a-mittaa voidaan käyttää sekä ylä- että alakorvakkeissa.



KUVA 6. Vasen aisanpainatussylinteri (Toikkanen 2013.)

4.3.3 Aisan vahvistaminen

Aisan alkuperäinen rakenne todettiin painatustoiminnon käytön kannalta hyvin heikoksi, joten sitä päätettiin vahvistaa joka tapauksessa. Aisa on alkuperäisesti valmistettu U-profiiliteräksestä. U-profiili päätettiin koteloida samanvahvuisella teräslevyllä jäykkyyden lisäämiseksi.

Aisan lisävahvistusten tarpeellisuus todettiin hydrauliiikan testausvaiheessa, kun aisan havaittiin taipuvan huomattavasti jo osakuormituksella. Tässä vaiheessa koteloidun aisan lujuustarkastelua ei ollut ehditty vielä toteuttaa. Vahvistusten suunnittelu tuli täten ajankohtaiseksi.

Vahvistusmateriaaliksi valittiin 20 mm paksu S355-teräslevy, jota oli valmiiksi varastossa. Vahvistuslevyinä käytettiin 200 mm leveitä ja 1 500 mm pitkiä palasia, jotka hitsattiin aisan ulkoreunoille siten, että ne tukevat myös painatussylinterien alakiinnityksiä. AnSys-ohjelmalla tehdyn FEM-tarkastelun perusteella tämä ratkaisu oli lujuudeltaan selkeästi riittävä. Vahvikelevyt näkyvät hyvin kuvissa 6 ja 7.

4.4 Apulaitteiden sijoittelu aisalle

Lietevaunun lietteenkäsittelypumput suunniteltiin hydraulimoottoreilla toimiviksi. Moottorit ovat niin suuria, että traktorin oman hydraulipumpun tuotto ei riitä pyörittämään niitä tarpeeksi tehokkaasti.

Niitä pyöritetään erillisellä hydraulipumpulla, joka saa käyttövoimansa traktorin ulosotosta nivelaksella. Pumppu on peräisin metsäkoneesta, eli sen tehokkain käyttöalue on noin 2 000 rpm kohdalla. Koska traktorin ulosoton maksimipyörimisnopeus on 1 000 rpm, tarvittiin nivekselin ja pumpun väliin 1:2 -ylennysvaihde.

Nivelakseli tarvitsee esteettömän tilan, joten aisan päälle sijoitettavista apulaitteista hydraulipumppu ja vaihde olisivat etummaisena ja hydraulikkaöljysäiliö, josta pumppu ottaa öljynsä olisi näiden takana. Lisäksi aisan kautta johdetaan useita hydraulikkaletkuja sekä tarvittavat sähköt traktorista vaunulle. Myös hydraulikkajärjestelmän painesuodatin piti sijoittaa pumpun läheisyyteen. Tavoitteeksi asetettiin, että apulaitteet eivät leventäisi aisaa peruutusketteryuden säilyttämiseksi. Traktorin takapyörät tarvitsevat paljon tilaa aisan lähellä, ja juuri ne viimeiset sentit kääntyvyydessä vaikuttavat eniten perävaunun käsiteltävyyteen pienessä tilassa.

Koska aisanpainatusjärjestelmän sylinterit sijoitettiin aisan reunojen ulkopuolelle, koko aisan pituus oli käytettävissä apulaitteita varten. Ainoa huomioitava asia oli öljysäiliön sijoitus siten, ettei se aisan noustessa kallistu taaksepäin niin paljoa, että se ottaisi dollyn runkoon kiinni. Nivelakseli oli tarkoitus asentaa mahdollisimman suoraan ja apulaitteet niin ylös, etteivät niiden alle sijoitettavat hydraulikkaletkut roikkuisi aisan alapuolella alttiina vaurioitumiselle.

Apulaitteiden sijoittelua ei missään suunnitteluvaiheessa viety 3D-tilaan. Osat ovat hitaita mallintaa ja kiinnikkeisiin ei kohdistu suuria voimia, joten yhteensopivat osat laitettiin kokoon ja nostettiin tuettuina kuvittellisille paikoilleen hyvään asentoon. Tuettujen osien ympärille ryhdyttiin kokoamaan kiinnikkeitä.



KUVA 7. Apulaitteet aisan päällä (Kuhmonen 2012.)

Apulaitteiden kiinnikkeiden luonnissa hyödynnettiin painatusylinterien alakiinnityksen tukipalkkia. Pumpun ollessa kiinni vaihteessa vaihde kiinnitettiin 12 mm teräslevyyn, joka on tuettu kolmiopaloilla jäykempään rakenteeseen. Lisäksi nivelakselin vaihteeseen yhdistävä väliakseli tuettiin tukevasti pukkilaakerilla. Öljysäiliön kiinnikkeet tehtiin korkeiksi siten, että ne kiinnittyvät aisan runkopalkkeihin. Hieman ylöspäin nostetun säiliön alle saatiin sijoitettua vaunun oman hydraulikan painesuodatin. Aisan rakenteesta muodostui kompakti kokonaisuus, eivätkä letkut ja johdot roiku sen alapuolella.

5 PUMPPUKUORMAIN

5.1 Lähtökohta ja vaatimukset

Ajokaksikon suunnitelmissa pumppukuormaimen tuli olla helppokäyttöinen. Vaatimukseksi asetettiin, että kaikkia lietteensiirtoon liittyviä toimintoja voisi käyttää traktorin kuljettajan paikalta. Vaunun täyttö ja tyhjennys päätettiin toteuttaa hydraulisella pumppukuormaimella, joten traktorin kopista ei tarvitse poistua käsittelemään likaisia letkuja. Kesällä kuljettaja voi työskennellä ilmastoidussa ja talvella lämpimässä kopissa koko ajan.

Pumppukuormaimen rakenne päätettiin perustaa metsäkäyttöön valmistettuun uutena hankittavaan kuormaimen. Tärkein vaatimus pumppukuormaimelle on, että sillä pitää ylettyä kaivon pohjalle. Ulottumisen tavoitetasoksi asetettiin neljä metriä maanpinnan alapuolella. Valmiina kokonaisuutena hankittu metsäkuormain jouduttaisiin nostamaan niin ylös, että se ulottuu ääriasennossaan vain puoli metriä maanpinnan tason alapuolelle, joten nosturiin piti suunnitella yksi taittopuomi lisää. Vaunun täyttöön käytettävä lietepumppu sijoitettaisiin kuormaimen päähän. Täyttövaiheessa vaahdotputkena toimiva tyhjennysputki tulee myös kuormaimen päähän, joten kuormaimella voidaan tähdätä tyhjennettävä lietesuihku suhteellisen tarkasti säiliöön.

Suurien altaiden lietteennostokaivot ovat usein pieniä ja nostoaukko saattaa olla vain metrin halkaisijaltaan. Pumppukuormaimen kohdistuu täten ketteryysvaatimuksia. Sen täytyy olla hyvin tarkasti käytettävissä, etteivät nopeat liikkeet aiheuta törmäyksiä. Se ei voi olla myöskään kovin paksu, vaikka puomin kyljessä olisi kaksi lieteletkua. Kuormain koostuisi siis sivusuunnassa pyörivästä tornista, nostopuomista, taittopuomista ja alun perin nosturiin kuulumattomasta pumppupuomista. Lietteennostopumppu sijoitettaisiin pumppupuomin päähän, jolloin se on kaivon laskettaessa kuormaimen alin elementti.

Pumppupuomista piti suunnitella myös kevyt. Metsäkäyttöön tarkoitetun Farma C 5,1 -nosturin nostokapasiteetiksi on mitoitettu ääriasennossa 450 kg kouran kiinnityspisteestä. Pumppukuormaimen kuljetusasento on lietevaunun päällä vaakatasossa, joten pumppupuomin kauempana oleva massa kerryttää huomattavasti kuormitusta alkuperäiseen nosturiin. Alkuperäisen metsäkuormaimen nostokapasiteetin pitäisi riittää nostamaan pumppukuormain ääriasennon yli kuljetusasentoon. (Farma -nosturien käyttöohjekirja, 21)

5.2 Pumppupuomin rakenne

5.2.1 Materiaalit

Pumppupuomin suunnittelu alkoi käytettävien materiaalien määrittämisellä. Pyrkimyksenä oli käyttää vain aiemmin vaunua varten hankittuja materiaaleja. Kaikkiin perävaunun lieteputkistoihin käytettävä pyöreä 6" teräspankki ja 120 x 60 x 6 -teräspankki olivat molemmat sopivia käytettäväksi pumppupuomin valmistuksessa. 6" putken käyttö oli jopa välttämätöntä yhdistämään lietepumpun ja säiliöön vievän letkun. Samankokoiseen putkeen liitettäväksi oli käytettävissä myös 90° mutkia. Putkipalkki

sopi puolestaan täydellisesti aihionosturin kouran ripustuspisteeseen molempien ollessa 60 mm leveitä. Pumppupuomin sylinterin kiinnityspisteisiin käytettäisiin 10 mm paksua teräslevyä.

5.2.2 Luonnos

Pumppupuomista tehtiin aluksi 3D-luonnos SolidWorksilla, jotta rakenne saataisiin tarpeeksi kevyeksi ja kuormitukset voitaisiin laskea luonnoksen perusteella.

Painon ja materiaalin säästämiseksi pumppupuomin runkoa päätettiin käyttää myös lietteen johtamiseen. Lieteputkena käytettävä 6" putki on tarpeeksi luja ollakseen puomin runkona, sillä siihen ei kohdistu suuria voimia. Puomin rakenne kevenee huomattavasti, kun useaa putkea ei tarvitse asettaa koko matkalle rinnakkain. Putkeen perustuvaan runkoon tarvitsisi päähän vain pumpun kiinnityslaipan ja toiseen päähän pienemmästä palkista päätyrakenteen, jonka kautta puomi nivelöitäisiin metsäkuormaimen kouran ripustuspisteeseen.

Luonnostelu aloitettiin siitä, että pumppupuomin kokonaispituus pumppuineen olisi 3 400 mm. Tuolloin täytetään tavoite 4 m maanpinnan alapuolelle ulottumisesta. Käytettävän 6" lieteletkun minimitaipumissäde on noin 600 - 700 mm, ja lieteletkun taipuman lieventämiseksi puomin tyvipätkä suunniteltiin 700 mm pitkäksi. Lieteputkena pumpulta tuleva puomi ohittaa tyvipalkin S-mutkalla, jolloin letkun liitos tulee puomin sivulle. Letkun taipuma on tällöin maltillinen suhteessa puomin liikkeisiin, eikä se jää ns. pussille puomin ollessa suorana.

Lieteletkun jäädessä sivulle lähelle kuormainta kuormain pysyy kompaktina kokonaisuutena. Ahtaassa tilassa liikkeessä kuormaimen kokonaispaksuus pitää olla pieni letkujen repeytymisvaaran minimoimiseksi ja törmäysten välttämiseksi. Yhtä putkea hyödyntävä rakenne on tämänkin takia hyvä.

Luonnoksessa puomin rakenne muotoutui sellaseksi, että nivelöintipää on 120 x 60 x 6 -teräspalkkia. Sillä on pituutta keskimäärin 700 mm ja se liittyy itse 159 x 4,5 teräskäyristä hitsaamalla tehtyyn S-mutkaan. Mutkasta puomi jatkuu suorana 159 x 3 -teräsputkena 1 650 mm lietepumpun liitokseen asti. Valmistettavien osien mitat otettiin 3D-mallin osista.

5.2.3 Puomin paino

Puomissa käytettävät materiaalit määritettiin laskuja varten taulukossa 1 näkyvin painoin. Painopisteet on mitattu vaakasuoraan nosturin nostopuomin tyvipään nivelöintitapista nosturin ollessa ääri-asennossaan. Kuormaimen ollessa ääri-asennossa samasta tapista on pumppupuomin nivelöintipisteeseen matkaa 5 155 mm. (Farma -nosturien käyttöohjekirja, 21)

Sylinteri korvakeineen sijoittui luonnoksessa nivelen päälle siten, että painopiste on ääri-asennossa tasan 5 m päässä nostopuomin tyvestä. Taulukossa 1 näkyvät S-mutkan, lietepumpun ja sylinterin painot on punnittu itse. 120 x 60 x 6 -palkin paino määritettiin ominaispainolla 15,1 kg/m ja 159,3 x 3 -putken paino ominaispainolla 11,5 kg/m. (Ruukki 2011, 6, 11)

Pumppupuomin luonnoksen painopiste laskettiin nostopuomin tyvitapin suhteen Excel:llä hyödyntäen kaavaa

$$x_p = \frac{\sum_i \Delta m_i x_i}{m} . \text{ (Tammertekniikka 2008, 93)} \quad (4)$$

Kaavassa m_i on kunkin osan massa ja x_i on etäisyys nivelöintipisteestä.

Taulukko 1. Pumppupuomin materiaalit, niiden painot ja painopisteet

Materiaali	Paino (kg)	Painopiste nostopuomin tyvitapista (m)	Painopisteen etäisyys pumppupuomin niveltapista (m)
Teräsputki 120 x 60 x 6	10,57	5,51	0,35
S-mutka lieteletkulle	12,00	5,76	0,60
Teräsputki 159 x 3	18,98	6,83	1,68
Lietepumppu	75,00	8,26	3,10
Sylinteri korvakkeineen	10,00	5,00	
Pumppupuomi	116,55		2,36
Pumppupuomi sylinterineen	126,55	7,32	

Farma C 5,1 -nosturin nostokyky kouralle suunnitellussa kiinnityspisteessä on ääriasennossaan 450 kg. Nostokyvyn riittävyys selvitettiin laskemalla momenttiehoa avuksi käyttäen pumppupuomin maksimipaino painopisteessään ja vertaamalla sitä luonnospuomin painoon.

$$F_1 r_1 = F_2 r_2 \quad (5)$$

$$m_1 g r_1 = m_2 g r_2 \quad (6)$$

$$m_1 = \frac{m_2 r_2}{r_1} , \quad (7)$$

jossa:

m_2 = nosturin nostokyky, 450 kg

r_1 = pumppupuomin painopisteen äärietäisyys nostopuomin tyvestä, 7,317 m

r_2 = pumppupuomin nivelpisteen äärietäisyys nostopuomin tyvestä, 5,155 m

$$m_1 = \frac{450 \text{ kg} * 5,155 \text{ m}}{7,317 \text{ m}} \approx 317 \text{ kg}$$

Pumppupuomin luonnoksen massan 127 kg kuormitus nosturin 317 kg nostokyvylle on noin 2,5 kertaa sallittua pienempi, joten puomi päätettiin toteuttaa luonnoksen mukaisesti. Kuormituksen pie-

nuudesta johtuen nosturia ei ole siis tarpeen käyttää myöskään täysillä hydraulipaineilla. Näin erityisesti letkujen ja sylinterien kuormitus pienenee käyttöön kasvaessa vastaavasti.

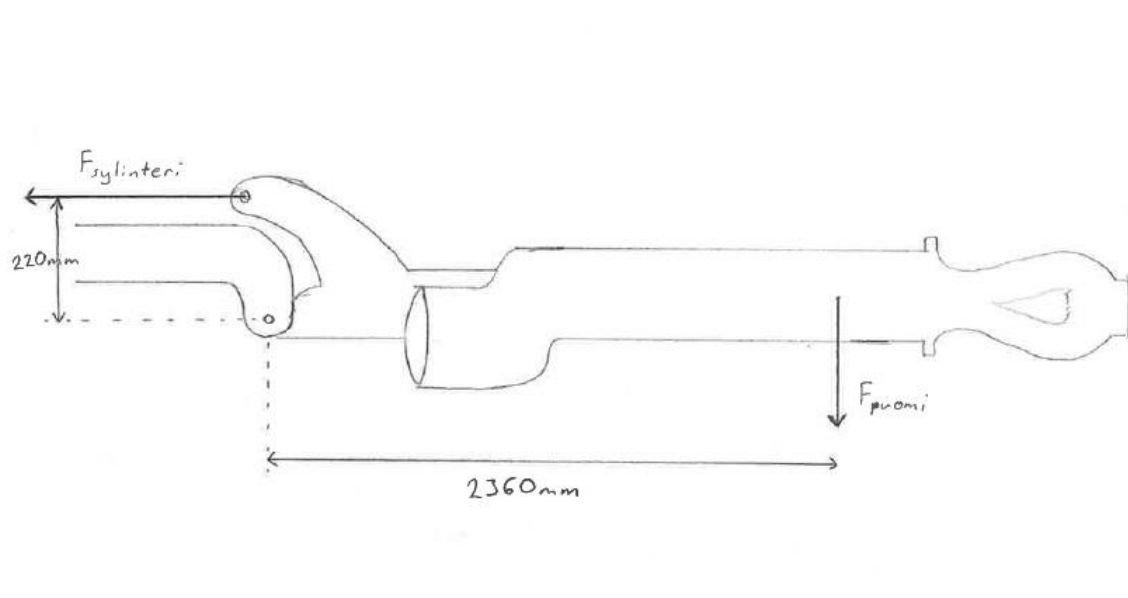
5.3 Pumppupuomin työsylinteri

5.3.1 Sylinterin hankkiminen

Pumppupuomin työsylinteri hankittiin vanhasta traktorin hydraulikalla käytettävästä kevyestä nostopuomista. Nostopuomi oli hylätty käytöstä, joten sylinteri otettiin talteen sen ollessa ilmainen. Uuden sylinterin hinta olisi satoja euroja. Suurin traktorin antama hetkellinen hydraulipaine on 220 bar, joten sylinteri koeponnistettiin erillisen koneikon avulla 250 bar paineella. Se todettiin toimintakuntoiseksi tiivisteiden ja silmien laakereiden osalta. Kooltaan hankittu sylinteri on 60/30-300. Tällöin männän halkaisija on 60 mm, varren halkaisija 30 mm ja iskunpituus 300 mm. Sylinterin minimipituus on tässä tapauksessa 525 mm.

5.3.2 Sylinterin taittovoima

Sylinterin päävaatimuksena oli, että se jaksaisi 220 bar käyttöpaineella nostaa pumppupuomin ääriasentoonsa. Koska sylinteri sijoitetaan puomin päälle, tapahtuu nostoliike miinusliikkeenä. Täten käytettävissä on vähemmän voimaa, sillä männänvarsi vie osan männän pinta-alasta.



KUVA 8. Pumppupuomin vapaakappalekuva

Pumppupuomiin kohdistuvat voimat on esitetty kuvassa 8. Sylinterin realistiseksi hyötysuhteeksi oletetaan 0,9. Täydellä paineella sylinterille saadaan nostovoimaa kaavalla

$$F = pA\eta, \quad (8)$$

jossa

$$p = 220 \text{ bar} = 22 \text{ MPa} = 22 \text{ N/mm}^2$$

$A =$ männän varrenpuolinen pinta-ala

$\eta = 0,9$

$$F = \left(\frac{\pi}{4} (60\text{mm})^2 - \frac{\pi}{4} (30\text{mm})^2 \right) * 22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,9 \approx 41987\text{N} .$$

Seuraavan alaotsikon alla tarkemmin avattavan liikeradan määrittämisen takia sylinterin ja pumppupuomin liitostappi päädyttiin sijoittamaan 250 mm säteelle puomien nivelöintipisteestä. Tällöin ääri-asennossa sylinterin voiman varreksi jää 220 mm. Sylinterin tuottama enimmäismomentti nivelpisteen ympäri ääri-asennossa on siis

$$M = Fr = 41987\text{N} * 0,22\text{m} \approx 9237\text{Nm} .$$

Pumppupuomin massan tuottama momentti nivelpisteen ympäri tulisi olla pienempi kuin 9 237 Nm, jotta sylinteri jaksaa tehdä taittoliikkeen ääri-asennossa. Seuraavan laskun arvot on otettu taulukosta 1.

$$M = Fr = 116,55\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,36\text{m} \approx 2698\text{Nm}$$

$$2\ 698\ \text{Nm} < 9\ 237\ \text{Nm}$$

Sylinterin voima on riittävä taittoliikkeen suorittamiseen myös ääri-asennossa.

5.4 Liikerata

Sylinterin sijoituksen ja liikeradan suunnittelu aloitettiin siinä vaiheessa, kun pumppupuomin runko oli luonnosteltu ja alkupätkä valmistettu putkipalkista. Pumppupuomille haluttiin tarpeeksi liikkuvuutta, jotta käyttäjä saisi ohjattua sen helposti noin metrin halkaisijaltaan olevaan nostokaivoon. Lähtökohtana suunnittelulle oli, että pumppupuomin työsylinteri sijoitetaan puomin päälle. Syy oli se, että vaunun päälle kuljetusasentoon laskettava pumppukuormain on hyvin lähellä vaunun kattoa ja puomin alapuolella oleva sylinteri korvakkeineen saattaisi vaurioitua kuormainta käsitellessä. Tavoitteelliseksi liikeradaksi asetettiin 60°.

Koko nosturin 3D-mallintaminen kokonaisvaltaisen liikeradan määrittämiseksi olisi sen hetken kiireisessä tilanteessa ollut liian aikaavievä toimenpide. Perävaunuun kiinnitetty aihionosturi käännettiin malliasentoon, jossa se laskettaisiin tyypillisesti kaivoon. Pumppupuomin alkupätkä kiinnitettiin nivelöintitapilla nosturiin, ja sylinterin paikkaa ja korvakkeita hahmoteltiin pahvimalleilla. Korvakkeiden muodon etsiminen oli haastavaa, sillä puomin taipuessa enemmän sylinteri pyrki laskeutumaan lähemmäs puomia. Törmäyksen välttämiseksi se piti nostaa hiukan irti puomista.

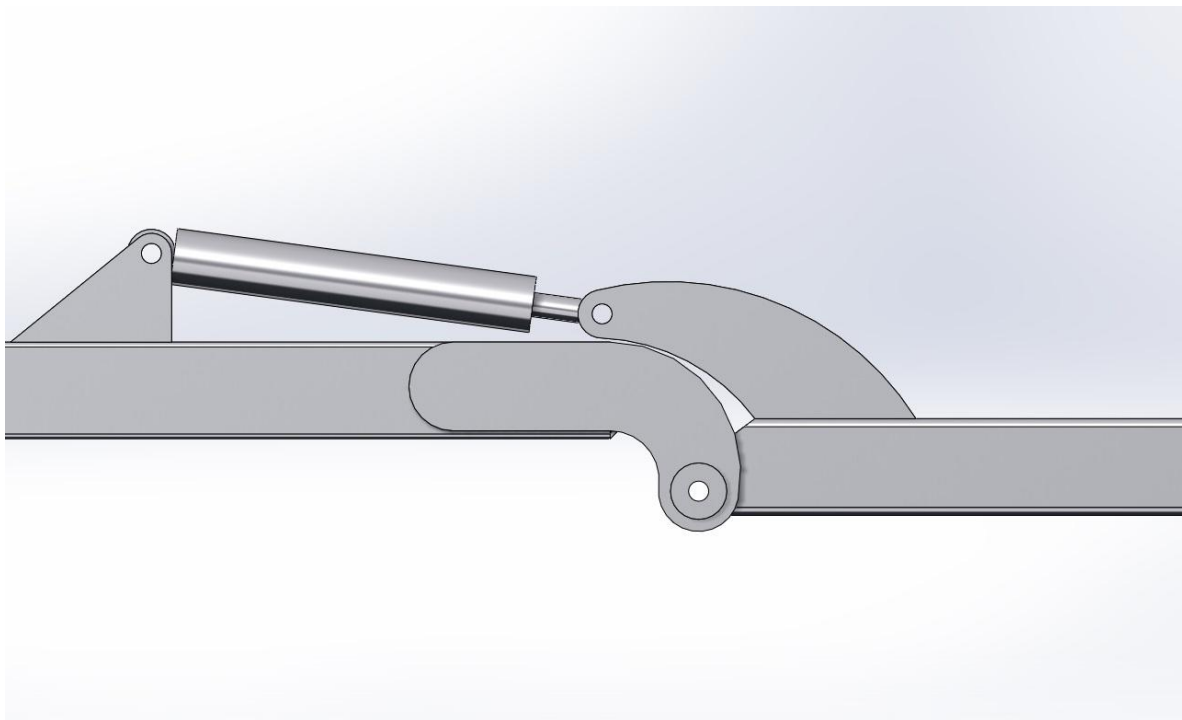
Korvakkeet päätettiin luoda yksinkertaisesti suoraan puomeihin kiinnittyvinä. Minkäänlaista liikerataa laajentavaa vipurakennetta ei edes harkittu käytettäväksi. Pahvimallien perusteella valmistettiin sylinterien lopulliset korvakkeet.

Kuvassa 9 on nähtävissä korvakkeiden hitsausvaihe. Tässä vaiheessa ääriasetnot ovat jo tiedossa ja korvakkeet kiinnitetään hitsaamalla aihionosturiin ja pumppupuomiin.

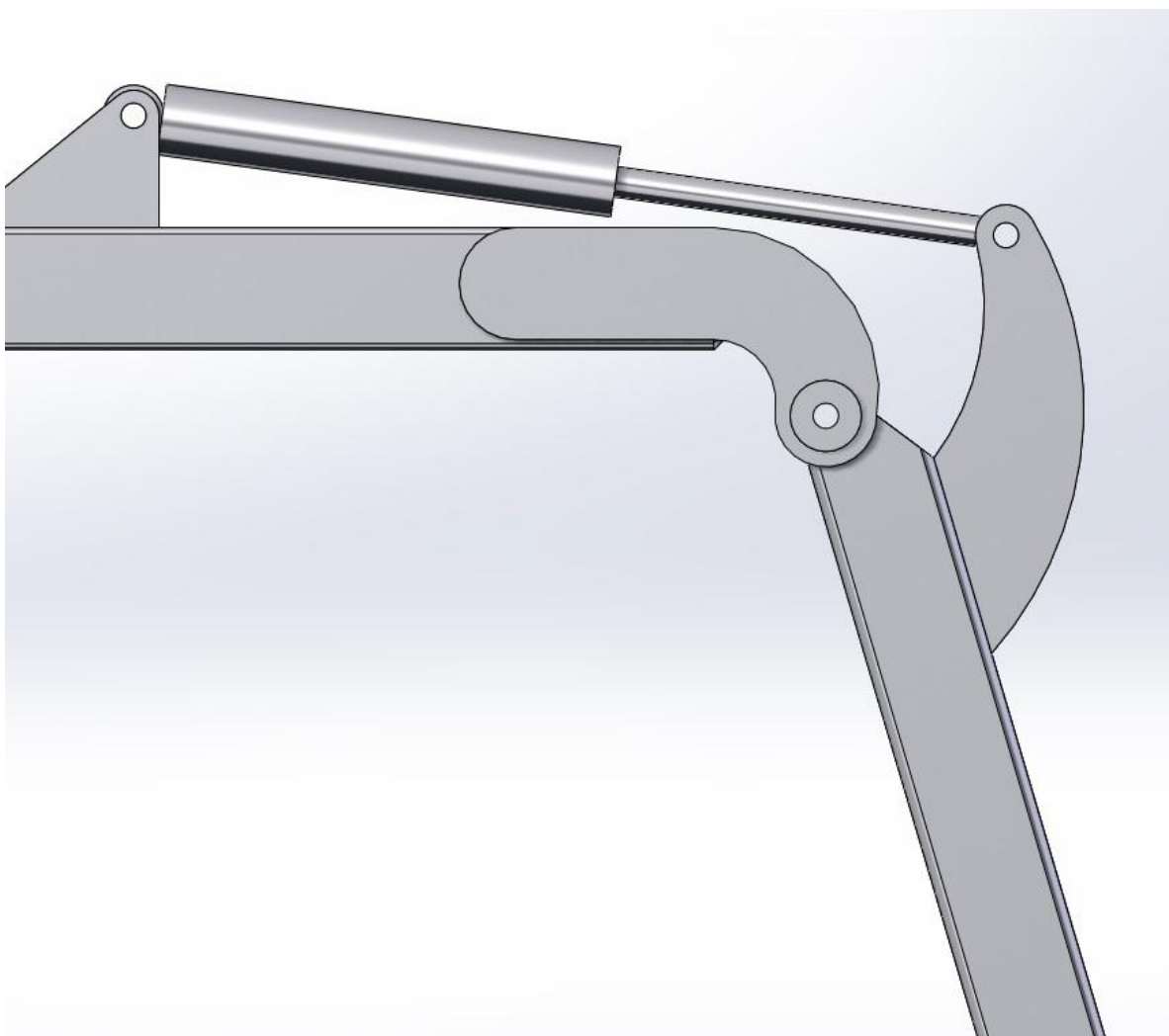


KUVA 9. Pumppupuomin työsylinterin korvakkeiden valmistusvaihe (Jutila 2012.)

Vaikka liikerata todettiin pumppupuomin tyvipätkällä testaten riittäväksi, haluttiin todellinen liikerata määrittää 3D-tilassa. Kuvassa 9 näkyvä konstruktio mallinnettiin SolidWorks:lla 3D-muotoon. Kuvissa 10 ja 11 näkyvien ääriasetojen väliseksi liikeradaksi saatiin smart dimension -toiminnolla 73° , joka ylittää tavoitteena olleen 60° liikeradan merkittävästi.



KUVA 10. Pumppupuomin tyvi sylinterin sisäasennossa



KUVA 11. Pumppupuomin tyvi sylinterin ulkoasennossa

5.5 Valmistus

Pumppukuormaimen valmistuksen osalta suunniteltavaksi jäi hitsaaminen. Käytössä oli MIG-hitsauslaitteisto ja hitsaajana toimi Ajokaksikon edustaja. Kaikki putkien pättäisliitokset päätettiin toteuttaa läpihitsaamalla hyödyntäen osaviistettyjä V-railoja.

Pumppupuomin työsylinterin korvakkeet jäivät putkipalkista valmistettujen puomien reunojen tasolle. Koska putkipalkin kulma on kaareva, hitsauskohtaan muodostuu lähestulkoon puoli-V-railo. Korvakkeet voitiin läpihitsata puomiin kiinni ilman erillisen railon valmistusta.

Niveltappien soviteholkit katsottiin tarpeelliseksi, koska sylinterin korvakkeet olivat niin ohutta materiaalia. Holkit tehtiin ainesputkesta ja hitsattiin puoli-V-railon avulla korvakkeisiin tappien sijoituskohtiin molemmin puolin sylinteriä. Pumppupuomin nivelointiholkki tehtiin pitkänä putkipalkin läpi ja siihen asennettiin voidenippa voitelun helpottamiseksi.

6 OHEISTYÖT

6.1 Öljysäiliö

Ajokaksikon toive hydraulikkaöljysäiliön tilavuudesta oli vähintään 100 l ja säiliö tuli sijoittaa aisan päälle, kuten suurin osa muistakin lietevaunun apulaitteista. Säiliön sijoitus suunniteltiin hieman mui- ta apulaitteita ylemmäs edullisemman öljyn virtauksen kannalta. Tällöin säiliön pohjasta lähtevä pumpun imuputki olisi helpoin tehdä sekä huoltaa. Öljyn hydrostaattinen paine puolestaan painaa sisäänmenevää öljyä kohti pumppua. Samalla ylösnostetun säiliön alle jäisi tilaa vaunun runkoon vie- täville hydraulikkaletkuille. Valmiit öljysäiliöt olisivat maksaneet jopa 1 000 euroa, joten halvempi ratkaisu oli valmistaa säiliö itse teräslevystä.

Säiliö päätettiin muotoilla aisan tapaan hieman kiilamaiseksi. Siten se sopii muotonsa puolesta vau- nun ulkoasuun, ja siitä saataisiin mahdollisimman tilava sen kuitenkin leviämättä aisan reunojen yli sivulle päin. Lähtökohtana oli, että säiliö valmistetaan 3 mm teräslevystä plasmaleikkaamalla ja hit- saamalla.

Öljysäiliön pohja muotoutui aisan tyvipäähän puolisuunnikkaan muotoiseksi aisan reunoja mukaillen. Takareunan leveydeksi tuli 724 mm ja etureunan 550 mm. Aisan pituussuunnassa pohjalle kertyi mittaa 385 mm. Ajokaksikon toiveena oli vähintään 100 l öljytilavuus, minkä perusteella määritettiin sopiva korkeus säiliölle. Laskukaavassa A on puolisuunnikkaan pinta-ala ja z on säiliön korkeus.

$$V = Az \tag{9}$$

$$z = \frac{V}{A} = \frac{V}{\frac{(a+c)h}{2}}, \tag{10}$$

jossa

$$V = 100 \text{ l}$$

$$a = 724 \text{ mm}$$

$$c = 550 \text{ mm}$$

$$h = 385 \text{ mm}$$

$$z = \frac{2 \cdot 100000000 \text{ mm}^3}{(724 \text{ mm} + 550 \text{ mm})385 \text{ mm}} \approx 408 \text{ mm}.$$

Koska paluusuodatin vie säiliön tilavuudesta noin litran ja öljy lajenee käytössä lämmitessään, pää- tettiin seinien korkeudeksi 450 mm. Tällöin päästään n. 110 l kokonaisöljytilavuuteen letkut ja pum- put huomioiden ja säiliöön jää tilaa öljyn lämpölaajenemisen varalle.

3D-tilassa tehty suunnittelu suoritettiin SolidWorks 2012 -mallinnusohjelmalla. Sen lisäksi plasmaleikkurin työstöratojen luonnissa hyödynnettiin AutoCad 2012 ja MasterCam X3 -ohjelmia. AutoCadilla leikattavat työstöradat sijoitettiin teräslevyarkille ja kuva vietiin MasterCamiin, jolla ohjelmoitiin työstöradat NC-ohjatun plasmaleikkurin lukemaan muotoon. Plasmaleikkurilla tehtiin säiliöön myös tarpeelliset reijät paluusuodattimelle, täyttö- ja huohotusaukulle, öljynlämpömittarille sekä erilliselle pohjalaipalle, johon hydraulipumpun imuputki kiinnittyisi. Erillinen kuvassa 12 näkyvä pohjalaippa valmistettiin sorvaamalla ja siihen tehtiin kierteet hydraulikkaputken liitoslaippaa varten. Laipasta tehtiin 12 mm paksu, jolloin se voitiin nostaa noin puolet paksuudestaan säiliön pohjasta ylös. Tällöin saatiin aikaan pieni lisäturvatekijä pumpun suojaamiseksi metallipurulta. Pieni metallipalanen jää todennäköisesti painavampana säiliön pohjalle eikä se tuolloin tule suoran öljyvirtauksen mukana imuputken vaan jää portaan taakse, jos metallia pääsee edes tulemaan paluusuodattimen läpi säiliöön.



KUVA 12. Öljysäiliön imulaippa hitsauksessa (Jutila 2012.)

Koska öljysäiliön puhtaus on olennainen osa hydraulikkajärjestelmän toimivuutta, oli luontainen ratkaisu vähentää suunnitteluvaiheessa roiskeita ja epäpuhtauksia tuottavaa hitsausta levytyömenetelmiä hyödyntämällä. Helppimmaksi ratkaisuksi päätettiin tehdä etu- ja sivuseinät yhdestä palasta taivuttamalla. Pohja, katto ja takaseinä hitsattiin sen ympärille. Hitsausmäärän vähentyminen helpotti valmistusta ja omalta osaltaan puhdistustyötä. Sisälle päätyvien roiskeiden ja lian vähentämiseksi hitsaus suunniteltiin tehtäväksi pienaliitoksilla ulkoapäin. Hitsien mitoitusta ei katsottu aiheelliseksi, sillä säiliöön ei kohdistu juurikaan mekaanista kuormitusta. Muodostuva paine purkautuu huohottimen kautta pois, eikä säiliö ole kantava rakenneosana. Hitsausvaiheessa keskityttiinkin ehjien hitsien

luomiseen vuotojen välttämiseksi. Hitsaus suoritettiin MIG-hitsauslaitteistolla Ajokaksikon tiloissa, minkä jälkeen säiliö puhdistettiin sisältä huolellisesti.

6.2 Vaunun ulkoasu

Yritystoiminnassa imagokeskeisyys on tärkeää. Ulospäin näkyvät avut muodostavat ensivaikutelman, joka on merkittävä tekijä suhteiden luonnissa. Tässä tapauksessa, kun yritys kuljettaa lietelantaa yleisillä teillä, haluttiin kiinnittää huomiota kaluston siistiin ulkonäköön, tiekelpoisuuteen mm. valojen puolesta, mahdollisimman pieniin hajuhaittoihin ja totta kai yrityksen nimen positiiviseen esilletuontiin.

Vaunun tiekelpoisuuteen vaikuttavilla asioilla haettiin uskottavuuden ja mielenkiinnon herättävää vaikutusta myös liikenteen ja maatalousalan ammattilaisissa. Tällaisia yksityiskohtia ovat asiallinen ja näkyvä huomio- ja työvalaistus, järjestelmien kompakti sijoittelu, roiskeläpät, apuvälinevalikoima ja ulospäin näkyvä toiminnallisuuden tunne.

Vaunun värimaailma luonnosteltiin ensiksi Ajokaksikon jo olemassa olevaan kalustoon pohjautuvaksi. Vetotraktorin ollessa kirkkaan sininen New Holland, valikoitui sininen luonnollisesti myös vaunun hallitsevaksi väriksi. Jotta vaunu näyttäisi kuitenkin hillityn asialliselle, päätettiin sinistä tasapainottamaan hyödyntää neutraaleja harmaan sävyjä säiliössä ja nosturissa. Rajoiksi muodostuneita säiliön linjoja hyödynnettiin tuomaan muotoa värien taakse. Myös akselistoihin haettiin kontrastia sinisten pyörännapojen erottuessa harmaista vanteista selkeästi. Koko vaunun värimaailma näkyy hyvin kuvassa 13.

Ulkoasun suunnittelu toteutettiin luomalla SolidWorks-ohjelmalla karkea 3D-malli lietevaunusta. Saman ohjelman sisällä pystyttiin helposti kokeilemaan erilaisia väriyhdistelmiä. Luonnoksiin pyydettiin Ajokaksikolta mielipide ja sopiva värimalli löydettiin nopeasti.

Lisäksi perään tehtiin yritystä esilletuovana yksityiskohtana nimikyltti 3 mm teräslevystä NC-ohjatulla plasmaleikkurilla.



KUVA 13. Valmis lietteensirtovaunu (Toikkanen 2013.)

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa mekaniikkasuunnittelu Ajokaksikko Oy:n uuden lieteensiirtovaunun aisanpainatus- ja pumppukuormainsovellukseen. Lisäksi piti suunnitella hydraulikkaöljysäiliö ja luonnostella vaunun ulkoasu. Suunnittelu tehtiin yrityksen antamien lähtötietojen rajoissa.

Projektin tuloksena valmistui toimiva, tarkoituksenmukainen, turvallinen ja käyttäjäystävällinen lieteensiirtovaunu. Aisanpainatusjärjestelmä ja pumppukuormain toimivat lopputuotteina moitteettomasti. Myös öljysäiliö toimii erinomaisesti. Kustannukset pysyivät maltillisina, ja toiminnalliset vaatimukset täyttyivät kaikissa suunnittelukohteissa. Erillisiä valmistuspiirustuksia ei tehty, koska kyseessä on uniikkikappale ja infokynnys laskettujen mittojen toimituksessa eteenpäin oli hyvin matala. Yrityksen puolelta ei katsottu tarpeellisiksi dokumenteiksi ja ne jätettiin tiukan aikataulun takia luomatta.

Vaunu valmistui käyttöön joulukuun 2012 lopussa, minkä jälkeen sillä on siirretty useita tuhansia kuutiometrejä lietettä. Toiminnan laajennus on vaikuttanut yrityksen talouteen positiivisesti. Vaunun valmistuskustannukset pysyivät maltillisena, kuten alun perin toivottiin. Opinnäytetyönä suunnitellut järjestelmät ovat toimineet koko ajan moitteettomasti. Tämän opinnäytetyön valmistuessa vaunun käyttösesonki on taas alkanut, jolloin se on lähes jokapäiväisessä ajossa.

Toiminnallisena kehitysehdotuksena voitaneen mainita aihionosturin taittopuomin sylinterin lievä voimattomuus. Ongelmia tästä ei seuraa, mutta sylinteri on suorituskykynsä rajoilla. Vastaavaa vaunua tehtäessä sen voisi korvata tehokkaammalla.

Valmistettu vaunu on monimutkainen tekninen kokonaisuus. Toistaiseksi sitä käyttävät vain rakennuksessa ja suunnittelussa vahvasti mukana olleet henkilöt, joilla on tarpeellinen tietämys laitteen ominaisuuksista. Jos yritys hankkii tulevaisuudessa lisää työvoimaa, olisi aiheellista tehdä käyttöohjekirja lietevaunulle. Tällöin perehdytys oikeanlaiseen käyttöön ja ylläpitoon olisi helppoa.

Työn suoritus onnistui hyvin. Suunnittelun aikataululle ei asetettu takarajoja, vaan kaikki tehtiin mahdollisimman nopeasti, jotta vaunu saataisiin nopeasti ajoon. Projektin eteni koko ajan sujuvasti, eikä merkittäviä työtä hidastavia tai sen keskeyttäviä esteitä ja uudelleensuunnittelun tarpeita ilmennyt. Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö oli saumatonta, ja molemmat kulkivat jopa yllättävän hyvin samassa aikataulussa. Kummankaan osapuolen ei tarvinnut odotella toisen valmistumista edellisestä työvaiheesta.

Aiheen rajaus sopi hyvin opinnäytetyöhön. Rajaus olisi voinut olla pienempikin, koska suunniteltavia kohteita kertyi useita ja aikataulu oli hyvin kiireinen. Haastetta oli varmasti riittävästi täyttämään opinnäytetyön vaatimukset. Opinnäytetyö oli myös ammatillisesti avartava, sillä se pohjautui suunnitteluun, josta tuotantotekniikan koulutusohjelmassa opiskelevalla ei ollut aiemmin juuri kokemusta. Suunnittelu- ja valmistusosastojen välinen vuorovaikutus oli myös arvokasta oppia.

Yrityksen antama palaute projektista on ollut pelkästään myönteistä. Suunniteltu laite on herättänyt myös ulkopuolisissa runsaasti kiinnostusta tekniikkansa ja ulkonäkönsä takia.

Kokonaisuutena projektissa oli haasteellisuudesta huolimatta paljon hyvää ja sen voi määritellä onnistuneeksi joka osa-alueella. Selkeitä visioita seurasivat laadukkaat suunnitelmat ja hyvät suorittajat. Tuloksena on kustannustehokas, toimiva ja yrityksen etua ajava tuote.

LÄHTEET

FARMA -NOSTURIEN KÄYTTÖOHJEKIRJA. AS Fors MW 2010.

KUHMONEN, Eino 2013-11-20. Haastattelu. Haastattelija Jutila, Eetu.

KUUMAVALSSATUT RAKENNETERÄKSET. OSA 2: SEOSTAMATTOMAT RAKENNETERÄKSET. TEKNISET TOIMITUSEHDOT. SFS-EN 10025-2. Vahvistettu 2004-12-21. [Viitattu 2013-11-13]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

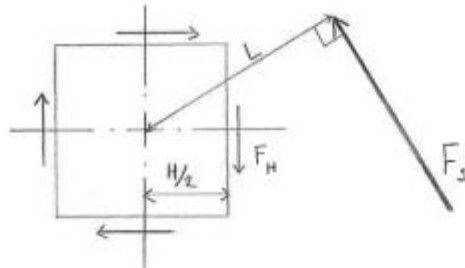
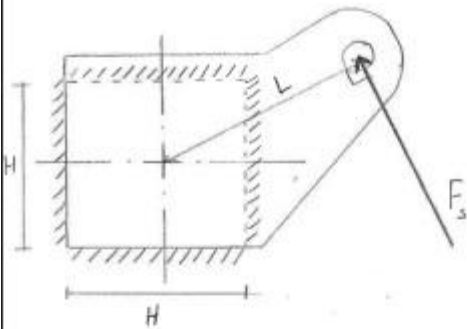
MAATALOUSPERÄVAUNUT. VANKKURIT JA PERÄVAUNUT. HYÖTYKUORMAN, VETOPISTEESEEN KOHDISTUVAN KUORMAN JA AKSELIKUORMAN MÄÄRITTÄMINEN. SFS-ISO 17900. Vahvistettu 2009-01-26. [viitattu 2013-4-22]. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: www.sfs.fi

RUUKKI 2011. Rakenneputkien poikkileikkausarvot. [viitattu 2013-4-21] Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Putket%20ja%20profiilit%20data%20sheets/Ruukki-Rakenneputkien-poikkileikkausarvot.pdf>

TAMMERTEKNIikka 2008. Tekniikan KAAVASTO. Tampere: Amk-Kustannus.

VALTIONEUVOSTON ASETUS MAATALOUDESTA PERÄISIN OLEVIEN NITRAATTIEN VESIIN PÄÄSYN RAJOITTAMISESTA. Säädos 931/2000. Vahvistettu 2000-11-15. [viitattu 2013-5-8]. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931>

AISANPAINATUSSYLINTERIEN KORVAKKEIDEN HITSIEN LUJUUSLASKELMA



$$F_s \cdot L = \frac{2}{H} \cdot F_H \cdot \frac{H}{2}$$

$$F_H = \frac{F_s \cdot L}{2H} \\ = \frac{55292 \text{ N} \cdot 185 \text{ mm}}{2 \cdot 100 \text{ mm}} \approx 51145 \text{ N}$$

$$F_{w,Rd} = a \cdot L \cdot f_{w,d}$$

$$1,6 \cdot F_H = a \cdot L \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$a = \frac{1,6 \cdot F_H}{L \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}} \\ = \frac{1,6 \cdot 51145 \text{ N} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25}{100 \text{ mm} \cdot 470 \text{ N/mm}^2} \approx 3,4 \text{ mm}$$

$$3,4 \text{ mm} \cdot 1,25^* = 4,25 \text{ mm}$$

tunkeuman varmistus:

$$\sqrt{20 \text{ mm} - 0,5 \text{ mm}} \approx 4,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{tunkeuma on riittävä}$$

Valitaan a-mitta 5

$$F_s = \text{Puolen sylinterin voima} \\ = \frac{\pi \cdot (100 \text{ mm})^2 \cdot 22 \text{ MPa}}{2} = 55292 \text{ N}$$

$$f_u = 470 \text{ MPa (SFS-EN 10025-2, 42)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$H = 100 \text{ mm}$$

$$L = 185 \text{ mm}$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

*1,6 = dynaaminen kerroin

*1,25 = muodonmuutoskerroin