

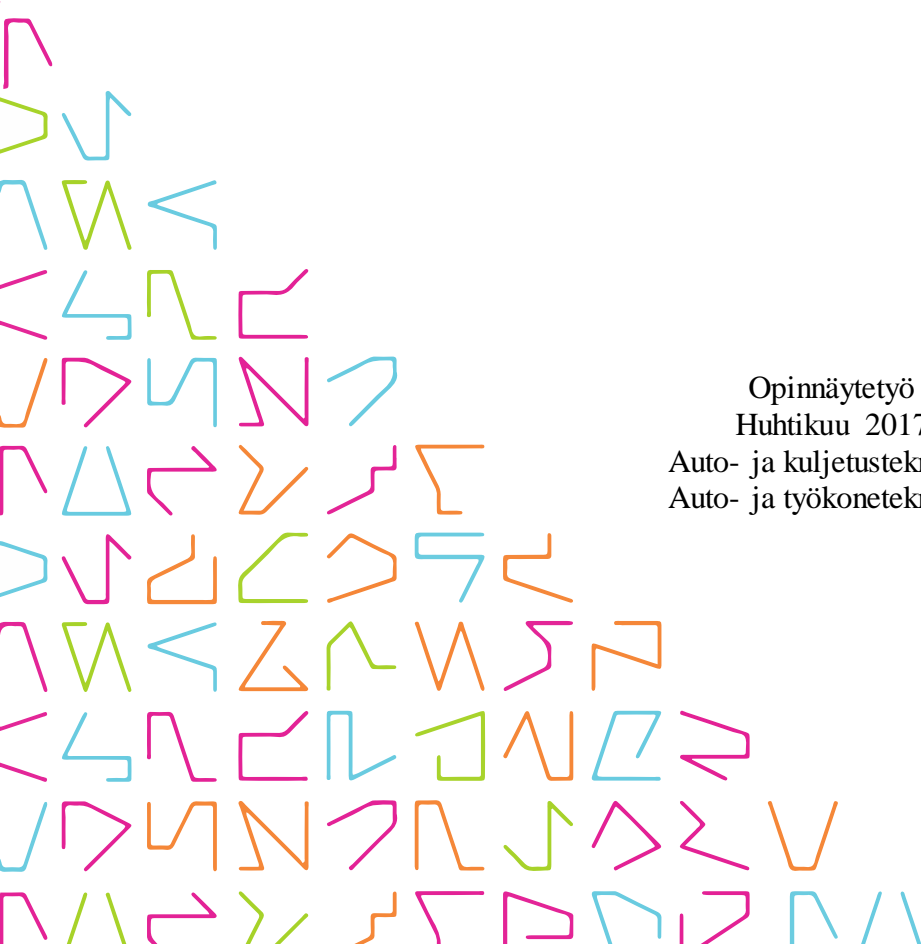


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Lauttavaunun akseliston suunnittelu

Ville Järvensivu

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka

Järvensivu Ville
Lauttavaunun akseliston suunnittelu

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Huhtikuu 2017

Tämä opinnäytetyö suoritettiin teknisen suunnittelutoimisto Saofin Oy:n asiakkaalle, Jawiko Oy:lle. Työn tarkoituksena oli suunnitella nopeaan ja tehokkaaseen pitkien tavaroiden siirtelyyn tarkoitettun lauttavaunun akselisto, ohjausmekaniikka ja telirakenne. Lauttavaunut ovat yleisesti satamaliikenteessä käytetty kuljetusmuoto, jossa esimerkiksi kasettien päällä olevat tavarat siirretään lauttavaunujen, toiselta nimeltä nostolavavaunujen avulla laivaan tai sieltä pois. Lauttavaunu koostuu lavasta, jonka korkeutta on mahdollista muuttaa ja telistä, jossa pyörissä on ohjaus. Työssä suunniteltu lauttavaunu tulee asiakkaan käyttöön pitkien teräsrakenteiden siirtelyyn yrityksen omissa tiloissa.

Yrityksen käytössä tällä hetkellä oleva lauttavaunu on valmistettu ilman dokumentointia. Tämän työn tavoitteena onkin saada suunnittelutyöstä dokumentoitua materiaalia ja mitoittaa vaaditut komponentit laskennallisesti. Vanhaa lauttavaunua pyritään myös kehittämään sen huollettavuuden, laakeroinnin keston, kääntyvyyden sekä lavan lasku- ja nostonopeuden osalta. Suunnitelluista osista tullaan mallintamaan 3D-mallit ja kokoonpanot ja suorittamaan lujuuslaskennat tietokoneavusteisesti sitä tarvitseville komponenteille. Osien mitoituskuvat eivät sisälly opinnäytetyöhön.

Työn tuloksena saavutettiin lauttavaunulle toimiva teli- ja akselistoratkaisu, joka täyttää asetetut tavoitteet. Tarvittavat laakeroinnit mitoitettiin oikeellisesti ja lujuuslaskennassa tarkastellut komponentit antoivat todenmukaisia tuloksia. Suunnittelutyötä tullaan todennäköisesti jatkamaan lavan rakenteen osalta ja tekemään mahdollisia muutoksia sen myötä myös teliin. Työ jatkuu myös mitoitus piirustusten teolla.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Automobile and Transport Engineering
Industrial vehicle engineering

Järvensivu Ville
Designing of Axles of Rolltrailer

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 7 pages
April 2017

This thesis was performed for Jawiko Oy, the customer of technical design firm Saofin Oy. The intention for this project was to design axles, steering mechanism and bogie for fast and efficient item transportation. Rolltrailers are commonly used way of transportation at docks for example, where items are transferred in and out of the ship quickly. Rolltrailer consists of flat which height can be changed, and bogie that has steerable wheels. In this project, the designed rolltrailer will be used for the transportation of long steel structures in the company's own premises.

The rolltrailer that Jawiko uses now, is manufactured without any documentation. The aim for this project was to get documentation of the designing and calculate different components correctly. Comparing to the old rolltrailer, the new one will be improved on maintainability, duration of the bearings, steerability of the wheels and lifting and lowering time of the platform. Designed parts will be modelled to 3D-parts and FEM-calculations will be performed with a computer software for parts that need it. Dimensioning drawings will not be part of this project.

Working bogie and axle solution that fills the requirements was achieved as result of this project. Bearings were calculated correctly and FEM-calculations gave credible results. Design work will be continued with the design of the platform and necessary changes will be also made for the bogie. Work also continues with the dimensioning drawings of the designed parts.

Key words: rolltrailer, bogie, steering mechanism, FEM-calculation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LÄHTÖTILANNE JA ASETETUT TAVOITTEET	8
	2.1 Nykyinen lauttavaunu	8
	2.2 Tavoitteet uudelle lauttavaunulle	8
3	LAAKEROINTI	10
	3.1 Liukulaakerit	10
	3.2 Vierintälaakerit.....	11
4	TELIN RAKENNE.....	13
	4.1 Markkinoilla olevia ratkaisuja	13
	4.2 Telityypin valinta	15
	4.3 Telin rakenne.....	15
5	LAAKEREIDEN MITOITUS	18
	5.1 Liukulaakereiden mitoitus.....	18
	5.2 Kartiorullalaakereiden mitoitus.....	19
6	OHJAUSMEKANIikka	21
	6.1 Ohjaus yhdellä hydraulisylinterillä.....	21
	6.2 Ohjaus telin keskeltä	22
	6.3 Ohjaus kahdella hydraulisylinterillä sivulla.....	23
	6.4 Ohjaus kahdella hydraulisylinterillä takaosassa	24
	6.5 Ohjauksen komponenttien valinta.....	25
7	NOSTOMEKANISMI.....	27
	7.1 Nosto yhdellä hydraulisylinterillä.....	27
	7.2 Nosto kahdella hydraulisylinterillä.....	29
	7.3 Lavan noston hydraulisylinterin mitoitus	30
8	LUJUUSLASKENTA	31
	8.1 Verkotus ja tuenta	31
	8.2 Laskenta täydellä kuormalla	32
	8.3 Laskenta koko kuormituksen kohdistuessa teliin.....	34
	8.4 Laskenta mutka-ajossa täydellä kuormalla	36
9	LOPPUTULOSTEN POHDINTA	38
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	43
	Liite 1. Tukivoimien laskenta 1/2.....	43
	Liite 2. Tukivoimien laskenta 2/2.....	44
	Liite 3. Liukulaakerien käyttötuntimäärä.	45
	Liite 4. Kartiorullalaakereiden mitoitus 1/2.	46

Liite 5. Kartiorullalaakereiden mitoitus 2/2.	47
Liite 6. Pyörien käännön sylinterien mitoitus.	48
Liite 7. Lavan noston hydraulisynterinin mitoitus.	49

LYHENTEET JA TERMIT

Lauttavaunu	Erityisesti ro-ro-kuljetuksissa käytössä oleva, lastin siirtoon ja merikuljetuksiin käytettävä vaunu
Teli	Kaksi tai useampi akseli, jotka on rakennettu yhdeksi kokonaisuudeksi
FEM	Lujuuslaskentaa, käyttämällä elementtimenetelmää

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin teknisen suunnittelutoimiston Saofin Oy:n asiakkaalle Jawiko Oy:lle. Jawiko on Urjalassa sijaitseva yritys ja se on erikoistunut pitkien teräskappaleiden käsittelyyn ja valmistukseen. Yritys on yksi suomen merkittävimmistä teräsosien valmistajista ja suuri osa sen tuotannosta on teollisuusnosturien siltapalkkien valmistusta. Heidän merkittävin asiakkaansa on Konecranes Oy. (Jawiko Oy. 2017).

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella lauttavaunu, toiselta nimeltään nostolavavaunu, pääasiassa yrityksen omaan käyttöön pitkien ja painavien teräskappaleiden nopeaan ja tehokkaaseen siirtoon yrityksen tiloissa. Lauttavaunuun tullaan viittaamaan tässä työssä myös vaununa. Lauttavaunun oli tarkoitus olla trukikäyttöinen, jolloin tavaroiden siirtelyyn vaadittaisiin ainoastaan yksi henkilö. Työn laajuuden vuoksi opinnäytetyö rajoitettiin lauttavaunun akseliston suunnitteluun, johon kuului akseliston mitoitus ja mallinnus, nostomekanismin komponenttien mitoitus, sekä telin suunnittelu ja lujuuslaskenta. Työ ei käsittele lavan suunnittelua. Lauttavaunun komponentit tullaan mallintamaan Solidworks 2016-ohjelmalla ja lujuuslaskenta suoritetaan ANSYS-lujuuslaskentaohjelmalla.

Yrityksellä on tällä hetkellä käytössä itsevalmistettu lauttavaunu. Kyseistä lauttavaunua ei ole kuitenkaan juurikaan mitoitettu, vaan se on vain valmistettu kokemusten pohjalta yrityksen tarpeisiin, eikä siitä ole olemassa dokumentoitua tietoa. Tämän työn tarkoituksena olikin jo valmistetun vaunun pohjalta mitoittaa vaunun rakenne ja komponentit oikein. Suunnittelussa pyrittiin myös kehittämään nykyistä vaunua erityisesti huollettavuuden, laakereiden keston, pyörien kääntökulman, sekä lavan nosto- ja laskunopeuden osalta.

2 LÄHTÖTILANNE JA ASETETUT TAVOITTEET

2.1 Nykyinen lauttavaunu

Nykyinen lauttavaunu on valmistettu lähinnä yrityksen työntekijöiden kokemusten ja tietojen perusteella, eikä siitä juurikaan ole dokumentoitua tietoa. Vaunun rakenteet on pääasiassa valmistettu erimuotoisista hitsatuista teräslevyprofiileista. Vaunu on 1,15 metriä leveä pyörien ulkoreunoista mitattuna. Vaunun nostokyky on noin 20 tonnia ja sen pyörien maksimi kääntökulma on noin 10 astetta oikealle ja vasemmalle. Pyörien kääntö on toteutettu kahdella hydraulisylinterillä, joista yksi aina kääntää vaunun toisen puolen kahta pyörää. Taaempien pyörien välille on liitetty raidetanko, jonka tarkoituksena on pitää pyörien kääntökulmat samana molemmin puolin vaunua.

Vaunussa on käytetty pronssiliukulaakereita, jotka on todettu alimitoitetuksi käytettäviin painoihin nähden. Nykyisessä vaunussa lavan nosto on toteutettu yhdellä, halkaisijaltaan 200 mm olevalla hydraulisylinterillä, joka nostaa lavan korkeutta 430 mm. Lavan nostonopeus on noin 10 sekuntia ja lasku 30 sekuntia. Laskunopeutta on nykyisessä vaunussa pyritty nopeuttamaan toisella pienemmällä hydraulisylinterillä. Tällä ei kuitenkaan juurikaan ollut vaikutusta laskuaikaan.

2.2 Tavoitteet uudelle lauttavaunulle

Suunnitellusta lauttavaunusta oli tässä työssä yhtenä osana tarkoitus saada dokumentoitua materiaalia. Vanhaa vaunua pyritään myös kehittämään eri osa-alueilla. Vaatimuksina vaunulle oli hyötykuorman säilyttäminen noin 20 tonnissa ja pyrkiä säilyttämään vaunun leveys mahdollisimman kapeana, jotta se mahdollistaisi tehokkaan tilankäytön. Lavan korkeus ala-asennossa ei myöskään saa nousta liiaksi, jotta vaunun kanssa käytettävien kasettien korkeus ei kasva. Lavaa nostettaessa ala-asennosta, se nousee noin 430 mm. Tämä on todettu riittäväksi nostoksi ja se pyritään myös säilyttämään entisellään. Lavan nostokorkeus vaikuttaa käytettäviin kasetteihin. Mitä matalammalle lava saadaan ala-asennossa, sitä matalampia kasetteja on mahdollista käyttää. Lavan nostokorkeuden kasvattamisella ei kuitenkaan saavuteta määräänsä enempää hyötyjä. Riittää, että kasetti saadaan maasta sen verran ylös, että se ei kuljetuksen aikana osu maahan.

Lauttavaunun laakerointi tullaan mitoittamaan vaadittujen arvojen perusteella riittäväksi. Työssä pyritään myös kasvattamaan pyörien kääntökulmaa, joka helpottaa vaunun ohjausta varsinkin ahtaissa tiloissa. Huomiota kiinnitetään myös huollettavuuteen erityisesti lavan nostosylinterin kannalta. Sylinteri on tällä hetkellä sijoitettu telin keskivaiheille, keskelle lavaa. Tämän vuoksi sen huolto onkin ollut hankalaa. Työssä pyritään miettimään mahdollisuuksia sylinterin sijoittamisesta helpommin saataville tai vaihtoehtoisesti useamman sylinterin käytön hyötyjä ja haittoja. Myös erityisesti lavan laskuaikaan tullaan kiinnittämään huomiota, jotta sitä saataisiin nopeutettua.

Lujuuslaskennalla pyritään mitoittamaan lauttavaunun telin rakenne riittäviksi vaadituille painoilla. Rakenteiden suunnittelussa huomiota tullaan myös kiinnittämään telin ulkonäköön.

3 LAAKEROINTI

Laakereiden mitoitus ja valinta olivat yksi osa tätä työtä. Nykyisin käytössä olevassa lauttavaunussa käytetyt laakerit on todettu alimitoitetuiksi ja ne tulee mitoittaa ja valita uudelleen. Oikean laakerityypin ja mitoituksen avulla vaikutetaan merkittävästi laakereiden keston.

3.1 Liukulaakerit

Liukulaakerit voidaan jaotella neljään eri pääryhmään toiminnan perusteella:

- voitelemattomat
- hydrodynaamiset
- hydrostaattiset
- itsevoitelevat laakerit.

Voitelemattomissa laakereissa materiaalina on yleensä jokin muovilaatu, esimerkiksi nailon, polytetrafluoroeteeni tai grafiitti. Näiden laakereiden etuna on niiden huoltovapaus, halpuus, keveys ja yksinkertainen rakenne. Käyttöä rajoittaa kuitenkin soveltumattomuus suurille liukunopeuksille ja pieni kuormankantokyky. Erityisen hyvin voitelemattomat laakerit sopivat käyttökohteisiin, joissa vaaditaan korkean tai matalan lämpötilan kesto, voiteluaineen käyttö ei ole ympäristön kannalta mahdollista ja rakenteen tilantarve ja keveys ovat tärkeitä. (Koneenosien suunnittelu. Liukulaakerit. 307.)

Hydrodynaamiset laakerit toimivat käynnistyksessä vain osittain voideltuina, jolloin niiden pinnankarheet koskettavat toisiaan. Tämä johtuu siitä, että kuormaa kantava paine syntyy voiteluainekalvon liikkeen ansiosta. Kitkakerroin on tällöin suurempi kuin nestevoitelualueella. Hydrostaattisilla laakereilla taas liukupinnat pidetään jatkuvasti toisista erillään ulkoisen paineen avulla, mikä mahdollistaa laakerin toiminnan myös alhaisilla pyörimisnopeuksilla. Puhdas nestevoitelu on edellytys sille, että liukulaakerit eivät kulu. (Koneenosien suunnittelu. Liukulaakerit. 307.)

Itsevoitelevat laakerit ovat huokoisia, esimerkiksi sintrattuja pronssi-, rauta- tai alumiinilaakereita. Huokosia on yleisimmin 15 – 30% koko tilavuudesta. Ne täytetään öljyllä, grafiitilla, molybdeenisulfaatilla tai muoveilla. Öljyllä kyllästetyt liukulaakerit

toimivat samalla tapaa, kuin hydrodynaamiset laakerit. Huono työstettävyys rajoittaa käyttöä, koska lastuaminen tukkii huokoset. Synteettisillä öljyillä saadaan käyttölämpötilaksi jopa -60° - $+150^{\circ}$. Sintrattujen huokoisten laakerien suurin etu on vähäinen huollontarve. Myös kitkaominaisuudet ovat erinomaiset ilman ulkopuolista voitelua. (Koneenosien suunnittelu. Liukulaakerit. 307.)

3.2 Vierintälaakerit

Vierintälaakerit ovat standardisoituja ja asennusvalmiita koneenosia. Ulko- ja sisärenkaan välissä olevien vierintäelinten jako pidetään tasaisena siihen tarkoitettulla pitimellä. Vierintäelimet voivat olla esimerkiksi kuulia, rullia tai neuloja. Kuulalaakereissa kuulien ja vierintärajojen välinen kosketusala on elliptinen, kun taas rulla laakereilla se on viivamainen. Kuormitustyyppi vaikuttaa paljon valittavaan laakeriin. Rullalaakereita voidaan kuormittaa enemmän kuin kuulalaakereita. (Koneenosien suunnittelu. Vierintälaakerit. 296.)

Lieriörullalaakerit, joissa on laipaton sisä- ja ulkorengas soveltuvat ainoastaan säteiskuormalle. Tavallisia painelaakereita taas voidaan kuormittaa ainoastaan aksiaalisesti. Näiden kahden yhdistetylle kuormitukselle parhaiten soveltuu viistokuula- ja kartiorullalaakerit. Useimmiten laakereita mitoitettaessa akselin halkaisija määrittää tilantarpeen. Pienellä halkaisijalla useimmiten käytetään urakuulalaakereita ja suurilla halkaisijoilla lieriörullalaakereita tai pallomaisia rullalaakereita. Tiloissa, joissa on vähän säteittäistä tilaa, on paras vaihtoehto käyttää neulalaakereita. Muita laakerin valintaperusteita ovat esimerkiksi pyörintätarkkuus, äänetön käynti ja jäykkyys. Useimmissa tapauksissa laakerointi toteutetaan siten, että toinen laakereista on ohjaava ja pitää akselin paikoillaan aksiaalisuunnassa ja toinen laakereista on ns. vapaa laakeri, joka sallii aksiaaliliikkeen. (Koneenosien suunnittelu. Vierintälaakerit. 298.)

Laakerit voidaan tiivistää, jotta vältetään pölyn ja kosteuden aiheuttamilta haitoilta, sekä voiteluaineen ulos vuotamiselta. Tiivistintyyppit ovat hankaamaton ja hankaava tiivistin. Hankaamattomia tiivisteitä ovat esimerkiksi ahdas rako tai sokkelotiivistin. Hankaava tiivistin, sen sijaan puristuu tiivistuspintaa vasten, estäen näin lian ja kosteuden pääsyn sisään ja voiteluaineen pääsyn ulos. (Koneenosien suunnittelu. Laakeroinnin tiivistys. 298.)

Laakereiden voitelun tarkoituksena on kitkan ja kulumisen vähentäminen, syntyneen kitkalämmön poiskuljettaminen ja laakerin suojaaminen korroosiolta, sekä ulkoa tulevilta epäpuhtauksilta. Tyypillisin vierintälaakereiden voiteluaine on rasva. Laakeripesä täytetään vain osittain, jotta lämpötila ei suurilla nopeuksilla pääse kasvamaan liiaksi. Öljyvoitelu on käytännöllisempi ratkaisu silloin, kun pyörimisnopeudet ovat liian suuria ja käyttölämpötilat liian korkeita rasvalle. Muita eri voitelu tapoja ovat öljykylpy, kiertovoitelu ja öljysumuvoitelu. (Koneenosien suunnittelu. Laakereiden voitelu. 299.)

4 TELIN RAKENNE

4.1 Markkinoilla olevia ratkaisuja

Lauttavaunun suunnittelu aloitettiin telin rakenteen valinnasta. Suunnittelu alkoi lauttavaunuja valmistavien yritysten ratkaisujen tutkimisesta ja niiden ideoinnista. Teliratkaisussa pyrittiin saavuttamaan suhteellisen halpa ja yksinkertainen rakenne. Lauttavaunuista löytyi melko vähän valmiita ratkaisuja, eikä erityisesti kotimaisia valmistajia ole kovin montaa. Ulkomaalaisvalmisteiset lauttavaunut taas olivat useimmiten mitoitettu huomattavasti suuremmille kuormille kuin 20 000 kg ja ne oli suunniteltu kuljettamaan kuormia ilman vetolaitteita, jolloin ne myös sisälsivät paljon tekniikkaa. Esimerkkinä Goldhoferin vaunu, jossa kuvan 1 mukaisia kokonaisuuksia on mahdollista kytkeä useampi toisiinsa poikittais-, sekä pitkittäissuunnassa ja kokoonpanoihin on myös liitettävissä hydraulinen voimansiirto.



KUVA 1. Goldhofer THP/ET. (Goldhofer. Heavy-duty modules.)

Tähän käyttötarkoitukseen sopivista tarjolla olevista lauttavaunuista useimmat oli rakennettu siten, että niiden teli kääntyi kuulakehällä ja akseleiden määrä vaihteli kahdesta neljään. Nostomekanismi oli toteutettu hydraulisesti. Kotimaisena lauttavaunujen valmistaja toimii esimerkiksi Movella Oy. Tämän työn vaatimukseen sopivista vaunuista Movella:lla on tarjolla nostosiirtovaunuista mallit NT10 (Kuva 2) ja

NT25. Näiden vaunujen kantavuudet ovat 10 000 kg ja 25 000 kg. Vaunut on myös varustettu teleskooppipuumilla, jolla on mahdollista lisätä lavan pituutta. Vaunut ovat trukikäyttöisiä. Kyseiset vaunut ovat kuitenkin Jawiko:n käyttöön liian korkeita ja liian lyhyitä, sillä siirrettävät kappaleet ovat pitkiä. Yhtenä suunnittelun vaatimuksena oli myös mahdollisimman matala rakenne lauttavaunulle. Kantavuuden osalta NT25-malli olisi sopiva. (Movella. Nostosiiirtovaunut.)



KUVA 2. Movella NT10 nostosiiirtovaunu. (Movella. Nostosiiirtovaunut.)

Toisena kotimaisena lauttavaunujen valmistajana voidaan mainita Logister Oy. Logisterin T202 (Kuva 3) vaunusta ei ole saatavilla tarkempia tietoja, mutta kuvan perusteella vaunu on myös trukikäyttöinen. Lauttavaunun ohjaus on toteutettu kuulakehän avulla ja nosto hydraulisesti. Tämäkin vaunu on kuitenkin lavan pituudeltaan selvästi liian lyhyt, mahdollisesti jopa 37 metriä pitkien kappaleiden siirtoon.



KUVA 3. Logister T202 lauttavaunu. (Logister. Satamavaunut. Erikoiskalusto.)

Tarjolla on myös jonkin verran lauttavaunuja, joissa ei ole lavan nosto-ominaisuuksia ja pyörät ovat vapaasti ohjautuvia. Contik group Oy:n valmistama CT30 (Kuva 4) on yksi esimerkki tämäntapaisesta ratkaisusta. Tämä vaunu on kytkettävissä esimerkiksi traktoriin tai truckiin. Vaunun kantavuus on jopa 30 tonnia, mutta tämän tapainen ratkaisu on kuitenkin riittämätön, koska lavan nostaminen ei ole mahdollista. Vaatimuksena oli kuormien nopea siirtely kasettien avulla, mikä ei ole tällä vaunulla mahdollista. Myös vaunun ohjaaminen vapaasti ohjautuvilla pyörillä on erityisesti ahtaissa tiloissa haasteellista.



KUVA 4. Contik CT30. (Contik. Mallisto.)

4.2 Telityypin valinta

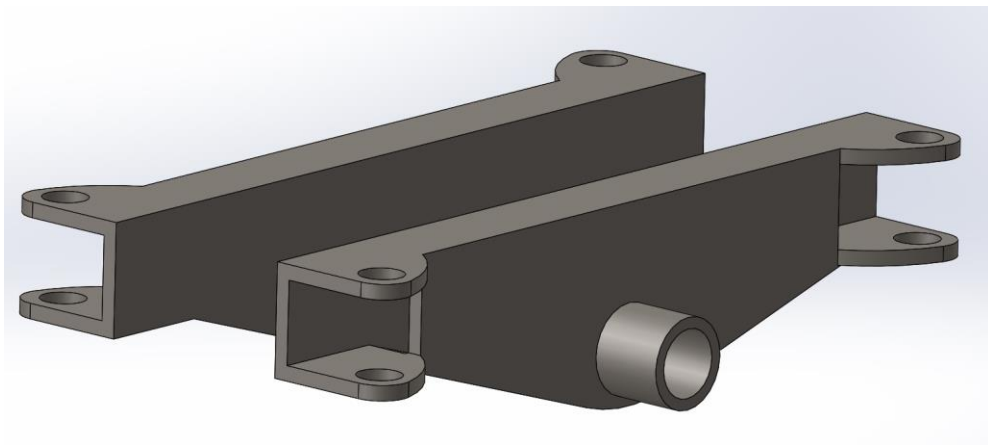
Tätä työtä varten päätettiin valita kiinteä telirakenne, jossa vain pyörät kääntyvät. Valintaan päädyttiin siksi, että ratkaisu on teknisesti yksinkertaisempi verrattuna teliin, joka kääntyy kuulakehällä. Pelkästään pyörien kääntyessä, todettiin sen muokkaavan vähemmän maanpintaa lauttavaunun alla, kuin kuulakehällä olevan telin pyörien. Vaunun tilanseen yrityksen ulkopihat ovat suurimmaksi osaksi hiekkapohjaisia, mikä pohjusti tätä valintaa. Käytettäessä teliä, jossa vain pyörät kääntyvät, saadaan lavan tasoa hieman alemmas ja mahdollisesti myös suuremmat pyörän kääntökulmat pienemmässä tilassa.

4.3 Telin rakenne

Varsinaisen telin rakenteen muotoja lähdettiin suunnittelemaan vaadittujen ominaisuuksien ja osittain myös ulkonäön kannalta. Suunniteltu teli pohjautuu myös osiltaan vanhaan teliin, jossa hyväksi ominaisuudeksi todettiin ontto rakenne, jonne on mahdollista sijoittaa ohjauksen komponentteja. Rakenne ja muotoilu optimoidaan

kuitenkin lopulliseen muotoonsa lujuuslaskennan pohjalta. Ulkonäössä ja muotoilussa huomiota tullaan kiinnittämään myös käyttäjän mielikuvaan vaunusta. Kaikissa tapauksissa ei välttämättä ole parasta mitoittaa vaunua juuri tavoitteeksi asetetulle kuormalle, jolloin sen rakenteesta saattaa ulkonäöltä tulla hyvinkin heiveröinen, joka antaa käyttäjälle kuvan mahdollisesti riittämättömästä rakennevahvuudesta. Näiden vaatimusten väliltä pyritään löytämään paras mahdollinen ratkaisu.

Alustavasti materiaaliksi valittiin 20 mm teräslevy, jolla luotiin ensimmäinen malli telille (Kuva 5). Teräslevyt tullaan laserleikkaamaan muotoonsa, jonka jälkeen osat hitsataan yhteen. Laserleikkauksella eduksi saavutetaan vapaat muodot levyrakenteissa. Tämä helpottaa suunnittelua niin rakenteen kestävyuden, kun ulkonäönkin osalta.



KUVA 5. Alustava telirakenne

Rakenne pyrittiin pitämään mahdollisimman pienikokoisena. Matalalla telin rakenteella vaikuttaa merkittävästi koko lauttavaunun korkeuteen. Teli ei myöskään saa olla liian leveä, jotta päästään tavoitteeseen, että koko lauttavaunun rakenne pysyy kapeana ja näin ollen mahdollistaa tehokkaan tilankäytön. Tällä teliratkaisulla renkaiden ulkoreunojen etäisyydeksi mitattiin 12 mm. Renkaiden valinta vaikuttaa myös merkittävästi vaunun kokonaisleveyteen. Tässä vaiheessa renkaina oletettiin käytettävän nykyisen vaunun alla olevia 28 x 9-15 ilmatäytteisiä renkaita. Lopulliseen leveyteen vaikuttaa myös pyörän akselin ja navan valinta. Pyöränakselin valinta, erityisesti sen pituus, vaikuttaa myös oleellisesti suurimpaan mahdolliseen kääntökulmaan, joka on pyörillä saavutettavissa.

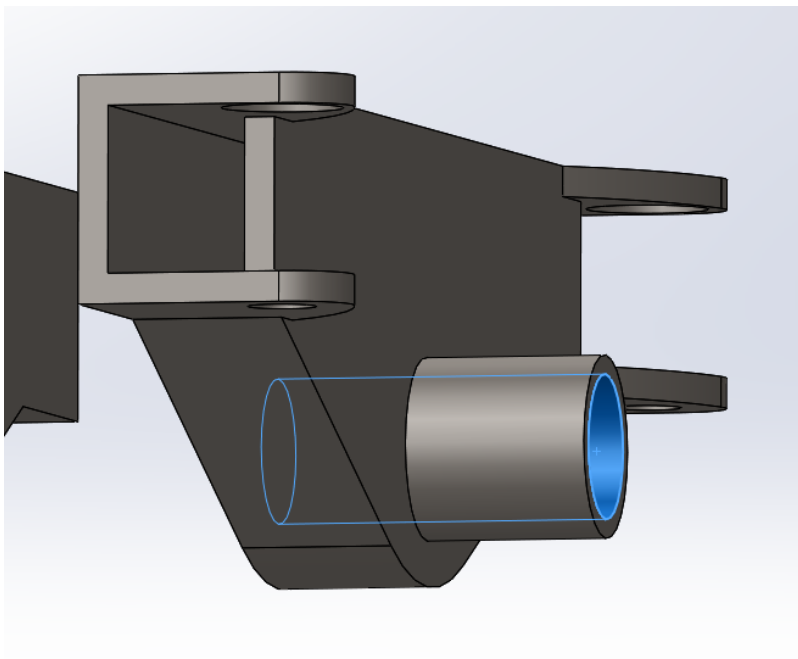
Telin lyhyehköllä rakenteella pyrittiin saamaan pyörät mahdollisimman lähelle toisiaan. Tällä päästään vaikuttamaan helposti lauttavaunun kääntyvyyteen. Akselivälin ollessa

pieni, kääntyy vaunu paremmin, verrattaessa pidempään akseliväliin. Tilaa rajoittaa telin keskellä oleva akseli, jonka kautta lauttavaunun lava kiinnittyy teliin. Molemmin puolin teliä akselin päihin tulevat pronssiliukulaakerit ulkonevat jonkin verran telistä.

5 LAAKEREIDEN MITOITUS

5.1 Liukulaakereiden mitoitus

Laakereiden mitoitusta varten vaadittiin esimerkiksi lauttavaunun aiheuttama voima täysin kuormattuna, sekä sen tukivoimat. Nämä ja muut lähtöarvot ovat näkyvissä liitteissä 1 ja 2. Telin ja lavan välisille akseleille päätettiin valita sintratut öljypronssilaakerit. Laakeroitava paikka näkyy kuvassa 6 sinisellä. Vastaavat laakerit sijoitetaan myös ripustuksen toiseen päähän, joka kiinnittyy lavaan. Valintaan päädyttiin suuren kuormankantokyvyn ja huoltovapauden vuoksi.



KUVA 6. Liukulaakereiden sijainti.

Alustavasti laakeriksi valittiin SKS:n SS2991 laakeri, jolle valitut mitat ovat, sisähalkaisija 85 mm , ulkohalkaisija 95 mm ja laakerin pituus 100 mm (SKS, tuotteet, huoltovapaat grafiittipronssilaakerit, 6). Laakereita tulisi telin molemmin puolin 1 kappale. Tälle laakerille laskettiin kuormitus p kaavan 1 mukaan (Johnson metall, liukulaakerit), jotta varmistutaan sen kestävydestä. Kaavassa F_m on kokonaiskuormasta aiheutuva voima Newtonina, joka tässä tapauksessa on 245 kN , d vastaa laakerin sisähalkaisijaa ja L laakerin pituutta.

$$p = \frac{F_m}{(d \cdot L)} \quad (1)$$

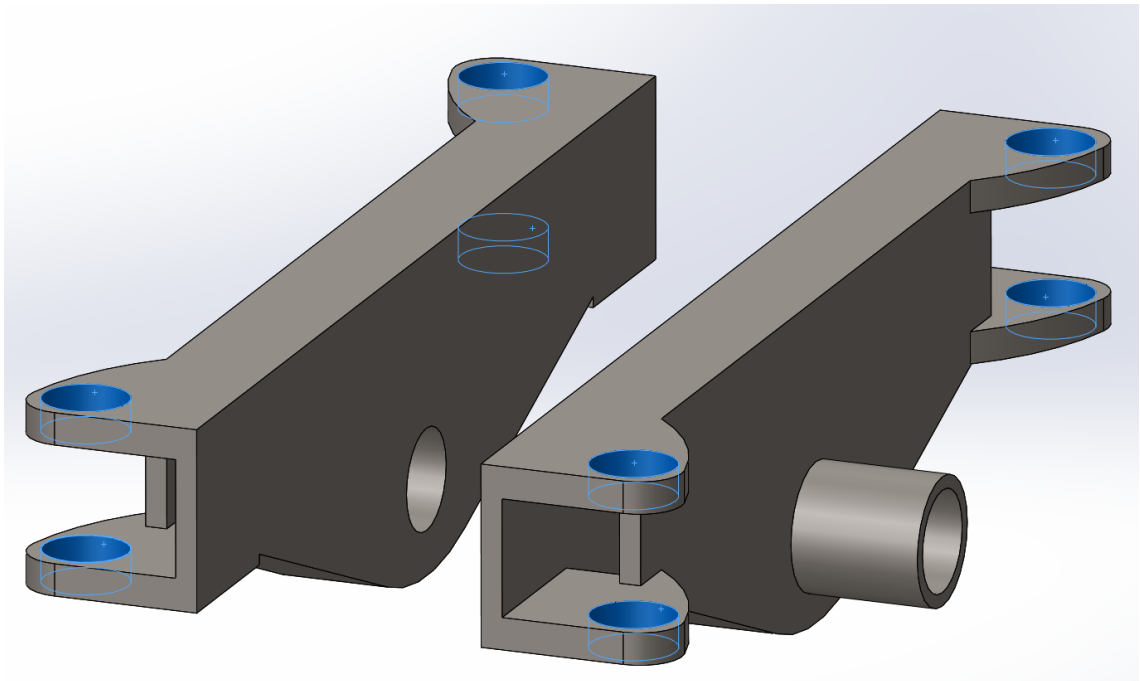
Kun arvot sijoitetaan kaavaan 2, saadaan tulokseksi yhtälö.

$$p = \frac{245 \text{ kN}}{(85 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm})} = 28,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

Pronssimateriaalille on asetettu dynaamisen kuormituksen rajaksi $40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Vanhassa lauttavaunussa oli ongelmia näiden laakereiden keston kanssa. Tämän vuoksi päätettiin kasvattamaa laakeripinta-alaa, lisäämällä molemmille puolille toiset samanlaiset laakerit, jolloin laakerin pituus yhdellä puolella on yhteensä 200 mm . Kun uuden arvot sijoitetaan kaavaan yksi, saadaan tulokseksi $14,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Tämä alittaa jo huomattavasti sallitun dynaamisen kuormituksen rajan, mikä takaa laakereiden keston. Varmuutta mitoitus on lisätty laskemalla koko kuorma kahden laakerin varaan, kun niitä todellisuudessa on 4. Laakereille määritettiin myös käyttötuntimäärä (liite 3). Liitteessä olevat viitteet viittaavat Koneenosien suunnittelu -kirjaan. Laakerien kestoiksi saatiin laskennallisesti $15\,000$ tuntia.

5.2 Kartiorullalaakereiden mitoitus

Olka-akseleihin, jotka kiinnittyvät teliin, päätettiin laakeroinniksi valita kartiorullalaakerit. Laakerointi tulee kuvassa 7 näkyviin kohtiin, jokaiseen telin kulmaan. Kartiorullalaakerit soveltuvat hyvin suurille aksiaalisille kuormille, sekä myös säteiskuormille. Kukin olka-akseli tuetaan kahdella kartiorullalaakerilla. Laakerit on mitoitettu liitteissä 4 ja 5. Liitteissä olevat viitteet viittaavat Koneenosien suunnittelu -kirjaan, josta myös tarvittavat kaavat on saatu.



KUVA 7. Kartiorullalaakereiden sijainti.

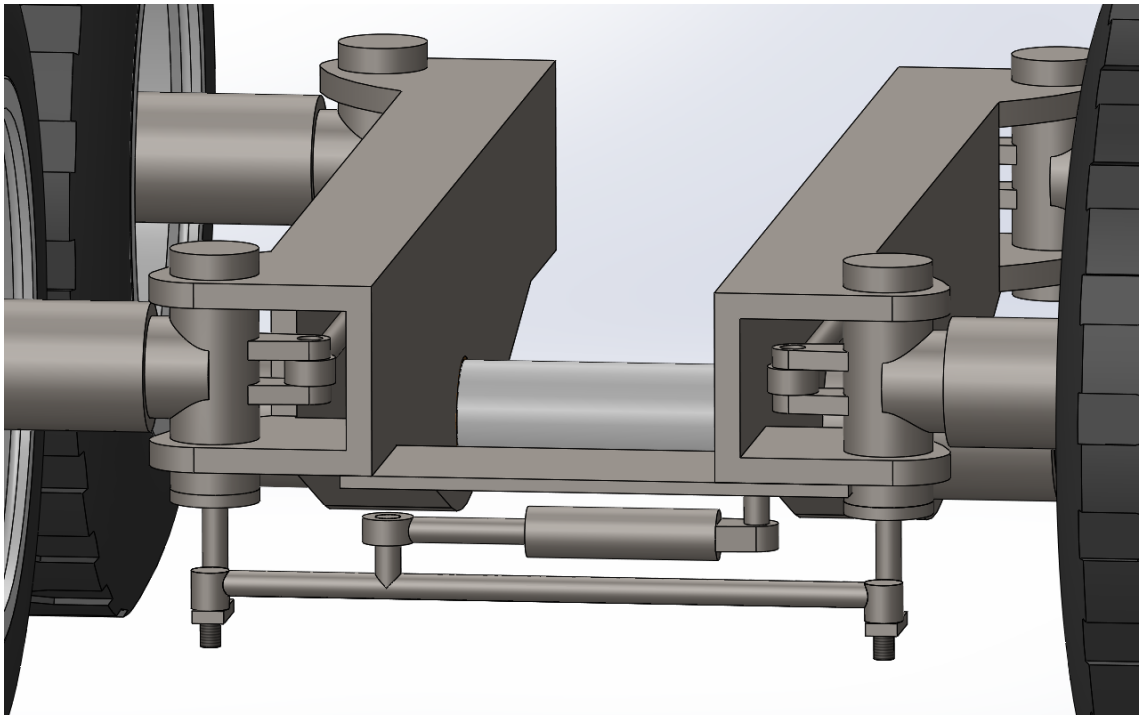
Laskentojen perusteella laakeriksi valikoitui SKF:n yksi rivinen kartiorullalaakeri 33109/Q. Laskennassa laakerin nimelliseksi kestoiksi asetettiin 8000 tuntia, koska kyseessä on lyhytaikaisesti tai ajoittain käytettävä laite (Koneenosien suunnittelu, 299). Tämän sisähalkaisija on 45 mm, ulkohalkaisija 80 mm ja pituus 28 mm. Laakerin pituuden vuoksi, teliin laakereiden kohdalle tulevien teräslevyjen vahvuutta päätettiin kasvattaa 20 mm:stä 30 millimetriin. Yksi laakeri mitoitettiin kestäämään neljäsosa telille tulevasta voimasta, joka on 151 kN. Tällä saadaan hyvin varmuutta laakereiden keston, kun todellisuudessa yhdellä olka-akselilla on kaksi laakeria. Tämän laakerin dynaamiseksi kantavuusluvuksi on SKF:n sivuilla määritetty 96,5 kN. Laskujen avulla dynaamiseksi kantavuusluvuksi määritettiin 94 kN, joten laakeri voidaan todeta riittäväksi (SKF.com).

6 OHJAUSMEKANIikka

Ohjausmekaniikan ratkaisua pohdittiin jo telin rakenteen suunnitteluvaiheessa. Tähän telirakenteeseen pohdittiin mahdollisuuksia neljän eritapaisen ohjauksen välillä. Jokainen näistä ratkaisuista on toteutettu hydraulisylintereillä. Hydraulisylinterin käyttövoima saadaan suoraan trukista, jolloin vaunu on helppo kytkeä ja irrottaa trukista. Vaatimuksena ohjaukselle oli riittävä pyörien kääntökulma. Myös huollettavuuteen kiinnitettiin huomiota. Ohjausmekaniikkojen havainnollistamiseen käytetyt kuvat ovat karkea mallinnus kustakin ohjaustavasta, eivätkä ne vastaa mittasuhteiltaan oikeellisia mitoituksia tai viimeisteltyjä malleja.

6.1 Ohjaus yhdellä hydraulisylinterillä

Tämä ohjausratkaisu (Kuva 8) on toteutettu yhdellä hydraulisylinterillä. Sylinteri on kiinnitetty telin perässä olevaan raidetankoon, jonka välityksellä se kääntää pyöriä. Etuna tällä ratkaisulla on vain yhden sylinterin käyttö. Myös raidetangot etu- ja takapyörien välille saadaan sijoitettua telin rakenteisiin sisälle. Sylinterissä kiinni olevan raidetangon avulla pystytään säilyttämään erityisesti takapyörät samansuuntaisina harituksen välttämiseksi. Kuitenkin käytettäessä vain yhtä sylinteriä, täytyy se mitoittaa suuremmaksi, verrattaessa kahteen sylinteriin. Sylinterin välittäessä voimat raidetankojen kautta, kohdistuu niihin suurehkoja voimia, jonka vuoksi erityisesti sylinterissä kiinni oleva raidetanko tulisi mitoittaa vahvemaksi. Huollettavuuden kannalta sylinteri on melko hankalassa paikassa, kun telin päälle tulee lava.

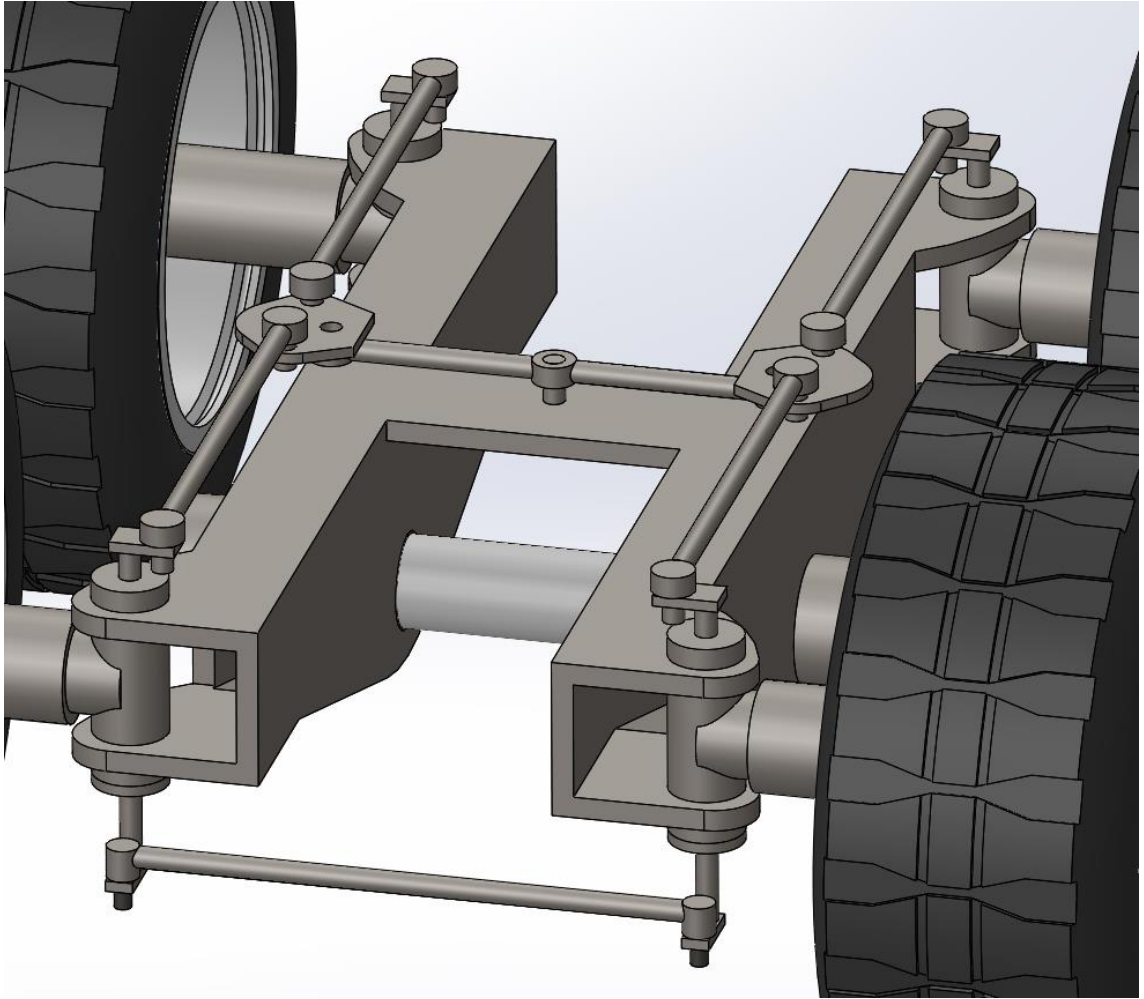


KUVA 8. Ohjausratkaisu yhdellä hydraulisynterillä.

6.2 Ohjaus telin keskeltä

Toisessa ratkaisussa (Kuva 9) pyrittiin parantamaan myös etupyörien yhdensuuntaisuutta käännettäessä. Kuten edellisessäkin, tässäkin ratkaisussa takapyörien välillä on raidetanko, jonka tarkoituksena on pitää pyörät samansuuntaisina molemmilla puolilla. Poiketen edellisestä, tässä ratkaisussa pyörien kääntö oli tarkoitus toteuttaa telin keskellä sijaitsevan raidetangon avulla. Tämä ratkaisu vaatii lavan rakenteen muuttamista telin keskivaiheilta. Tässä tapauksessa ohjauksen komponentit jäävät täysin näkyville, mikä tekee rakenteesta hieman monimutkaisen oloisen.

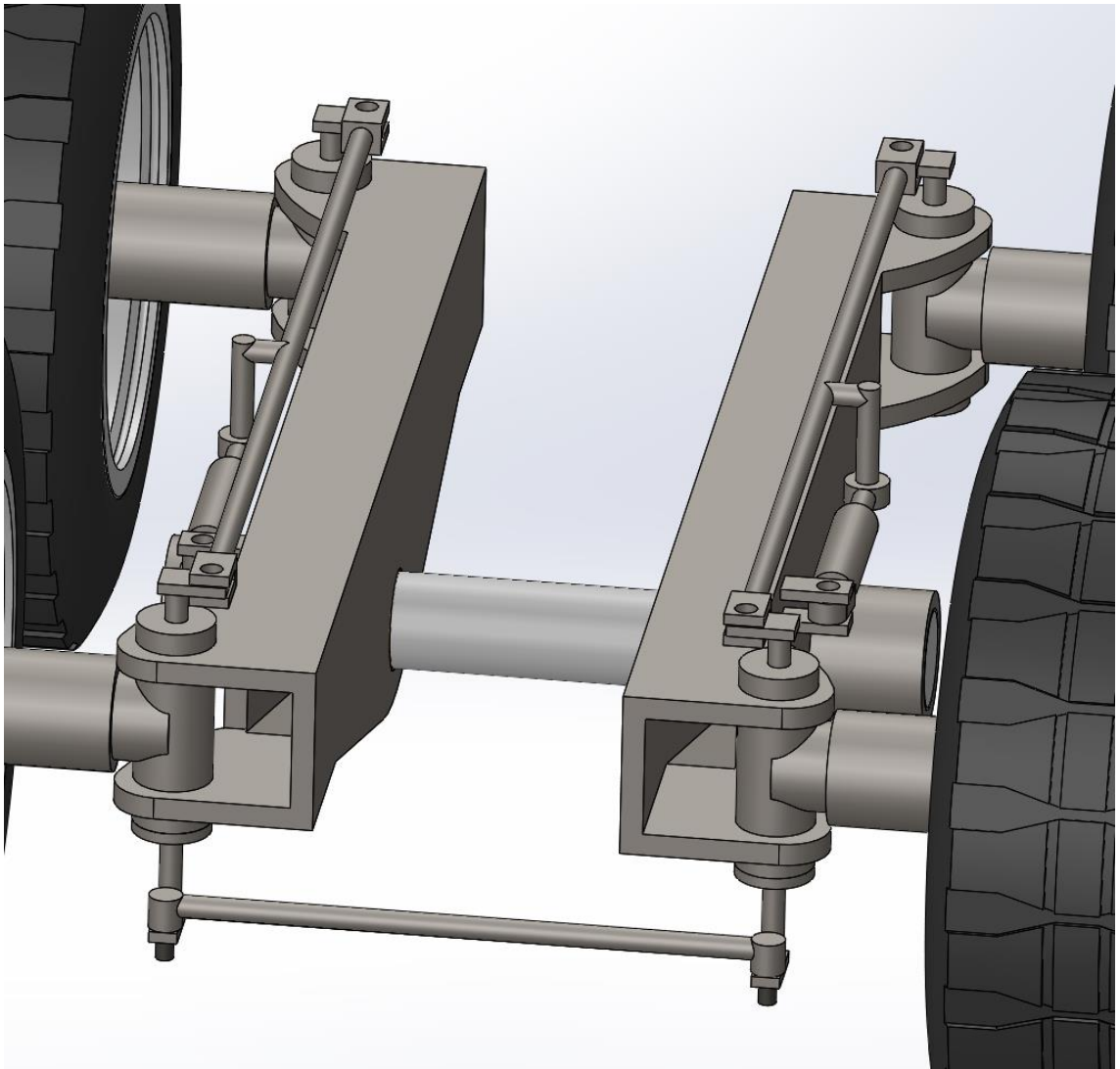
Ratkaisussa ongelmaksi kuitenkin muodostui käännön toteuttaminen hydraulisyntereillä. Sylinterien sijoittaminen helposti käsillä olevaan paikkaan tai liikaa muuttamatta lavan rakennetta osoittautui epäkäytännölliseksi. Myös raidetankojen sijoittaminen olka-akseleiden päälle ei onnistu valitulla laakerointi ratkaisulla.



KUVA 9. Ohjusratkaisu telirakenteen keskellä

6.3 Ohjaus kahdella hydraulisylinterillä sivulla

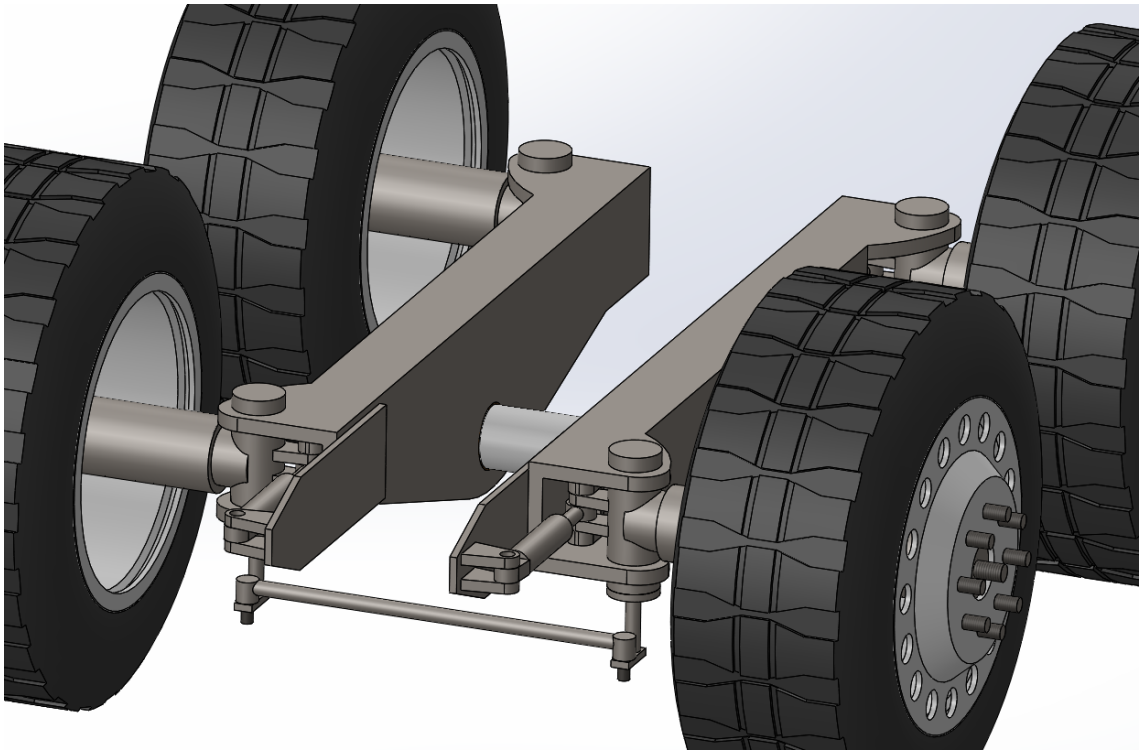
Kolmas ohjusratkaisu (Kuva 10) muistuttaa osittain edellä käsiteltyä ratkaisua. Tämä ratkaisu on toteutettu kahdella sylinterillä, jotka on sijoitettu telin sivuille. Kahta sylinteriä käytettäessä saadaan ne mitoitettua hieman pienemmiksi, verrattaessa yhden sylinterin ohjaukseen. Ratkaisussa on myös takarenkaiden välinen raidetanko. Ratkaisussa eduksi on sylinterien helppo huollettavuus. Sylinterien sijainti telin sivuilla kuitenkin rajoittaa huomattavasti pyörien kääntökulmaa. Myöskään raidetankojen toteuttaminen olka-akseleiden päälle ei ole mahdollinen valitulla laakerointi ratkaisulla. Hydrauliletkujen vieminen telin sivuille on myös osaltaan ongelmallista. Letkuja varten tulisi teliin tehdä omat läpiviennit telin keskelle, mikä taas heikentää hieman telin lujuusominaisuuksia. Myös ohjauksen komponenttien sijaitseminen täysin näkyvillä, ei anna telistä kovin viimeisteltyä kuvaa.



KUVA 10. Ohjausratkaisu, jossa hydraulisyylinterit sijaitsevat telin sivuilla.

6.4 Ohjaus kahdella hydraulisyylinterillä takaosassa

Kuvan 11 mukainen ratkaisu on myös toteutettu kahdella hydraulisyylinterillä. Sylinterit on sijoitettu telin takaosaan, samaan linjaan sivulla sijaitsevien raidetankojen kanssa. Tässäkin ratkaisussa takapyörien välillä on raidetanko säilyttämässä eripuolisten pyörien kääntökulman samana harituksen välttämiseksi. Ratkaisu on kaikista esitetyistä ulkonäöllisesti siistein ja selkein. Komponentit on sijoitettu suurimmaksi osaksi näkymättömiin, mutta silti sylintereihin on mahdollista päästä helposti käsiksi huollon yhteydessä.



KUVA 11. Ohjaustratkaisu, jossa sylinterit on sijoitettu telin takaosaan.

6.5 Ohjauksen komponenttien valinta

Ensimmäisessä, toisessa ja neljännessä ratkaisussa, kaikissa on mahdollista toteuttaa pyörillä suurimmat käänkökulmat. Ainoastaan kolmannessa ratkaisussa telin sivulle sijoitetut sylinterit rajoittavat käänkökulmaa. Ohjaustratkaisu, jossa sylinterit on sijoitettu telin perään, todettiin parhaaksi edellä mainituista ratkaisuista. Ratkaisu on ulkonäöllisesti siisti, eikä se rajoita pyörien käänkökulmia. Sylinterit ovat myös helposti huollettavissa. Tässä ratkaisussa sylinterit päästään liittämään suoraan olka-akseleihin kiinni, jolloin voimien siirto on tehokkainta, eikä ylimääräisiä vivustoja tarvita.

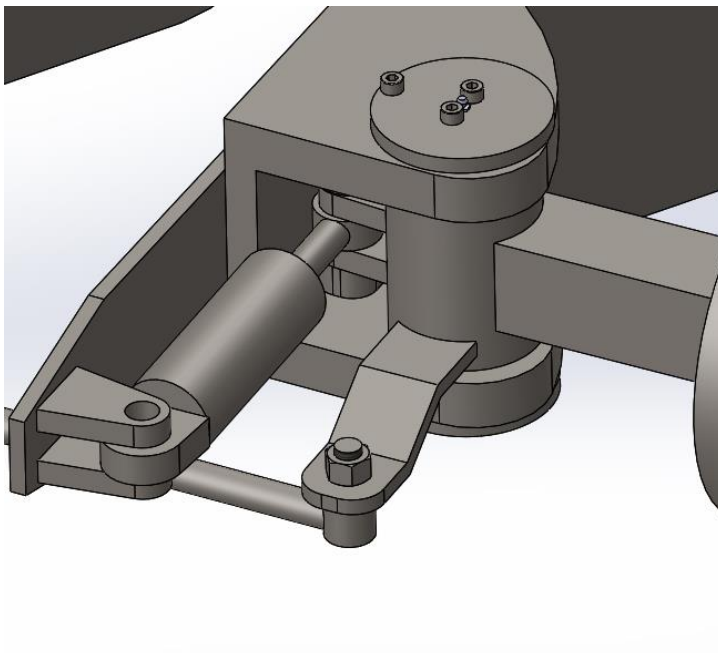
Käytettäväksi pyöränakseliksi valittiin Aline Trading -nimiseltä sivustolta tuotenumeron AL03453 akseli. Kokonaisuus on valmis ratkaisu lyhyellä akselilla ja pyörännavalla, minkä katsottiin olevan helpoin ja edullisin ratkaisu tähän sovellukseen. Akselin kantokyky on 4500 kg. Täydellä kuormalla yhdelle akselille laskettiin kannettavaksi liitteen kaksi mukainen massa, 3850 kg. Kokonaisuus tullaan kiinnittämään hitsaamalla itsevalmistettuun olka-akseliin (alinetrading.com).

Ohjauksen sylinterit mitoitettiin liitteen 6 mukaan. Mitoitusta varten vaunun käyttömaastoksi asetettiin asfaltti. Kumi-asfaltti parin välinen kitakerroin on 0,9

(Tekniikan kaavasto, 180). Pyöriä käännettäessä ne pääsevät kuitenkin vapaasti pyörimään, minkä vuoksi tilanteessa vaikuttaa myös vierimiskitkakerroin, joka renkaalle ja asfaltille on 0,15. Näiden perusteella oletettiin yhdistetyn kitkakertoimen olevan tässä tilanteessa 0,4 (Automotive handbook, 45).

Pyöriä käännettäessä, syntyy kuorman aiheuttamaksi kitkavoimaksi suurimmillaan 60 kN. Käännettäessä pyöriä, toista sylinteriä ajetaan ulospäin ja toinen sisäänpäin, jolloin näiden yhteenlasketun voiman tulee ylittää aiheutunut kitkavoima. Mitoituksen perusteella sylinterin männän halkaisijaksi tuli 44 mm. Käytettäväksi hydraulisynteriksi päätettiin yleisesti myynnissä oleva sylinteri 50/30. Valittujen sylinterien tuottaman voiman suuruus tarkistettiin myös laskennassa. Sylinterin iskunpituus tulee olla vähintään 100 mm. Valitun sylinterin asennusmitta vaikuttaa vaadittavaan iskun pituuteen, sekä kiinnikkeeseen johon sylinteri tuetaan. Nämä mitat tuleekin tarkistaa, kun lopullinen sylinterin valinta on tehty.

Kuvassa 12 on näkyvillä käännön hydraulisynterit, raidetanko ja olka-akseli. Raidetanko kiinnitetään sille tarkoitettuun kiinnikkeeseen ruuviliitoksella ja kiinnike hitsataan olka-akseliin. Tällä ohjausratkaisulla mallin pohjalta mitaamalla pyörien kääntökulmaksi saavutetaan noin 20 asteen kääntökulma.



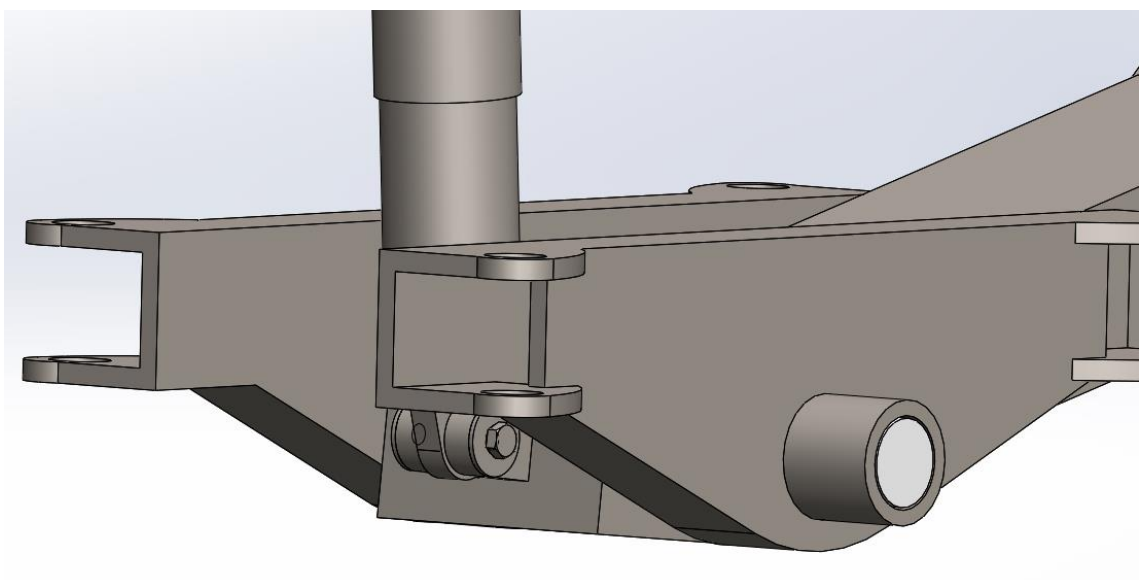
KUVA 12. Akseliston rakenne.

7 NOSTOMEKANISMI

Lavan nosto on vanhassa lauttavaunussa toteutettu yhdellä hydraulisylinterillä, joka saa käyttövoimansa trukista. Sylinteri on sijoitettu telin keskelle ja se on tämän vuoksi hankalasti huollettavissa. Suunnitellussa lauttavaunussa sylinteriä pyrittiin saamaan helpommin huollettavaksi. Mietittiin myös mahdollisuutta toteuttaa lavan nosto kahdella sylinterillä, jolloin ne voisi sijoittaa esimerkiksi telin sivuille. Sylinterit myös mitoitetaan karkeasti, jotta niiden nostokyky on riittävä, eikä huollontarvetta ilmeneisi alimitoitettun sylinterin vuoksi.

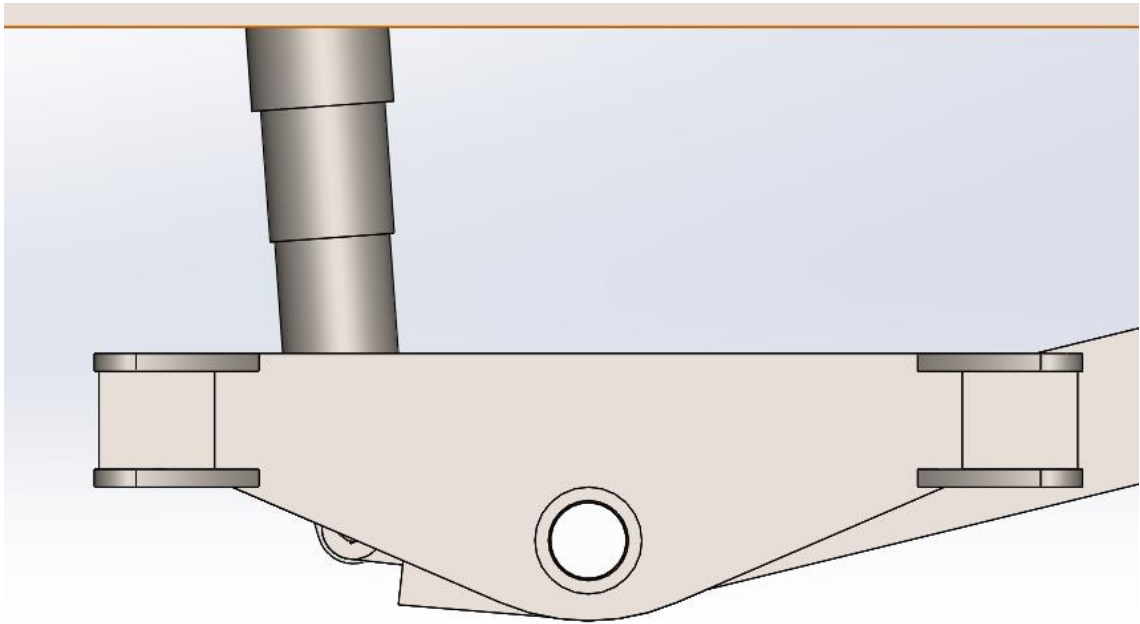
7.1 Nosto yhdellä hydraulisylinterillä

Noston tapahtuessa yhdellä sylinterillä, tulee se sijoittaa lavan leveyssuuntaan nähden keskelle, jotta lava saadaan nousemaan vaakatasossa, eikä runkoon synny taivutusmomenteja (Kuva 13). Sylinteri tulisi myös saada mahdollisimman pystysuoraan, jolloin sylinteriä ajettaessa voima kohdistuu kohtisuoraan teliin ja lavaan nähden. Tällä tavalla sylinteriä saadaan mitoitettua hieman pienemmäksi. Sylinterin sijaitessa keskellä teliä, on hydrauliletkut helppo sijoittaa kulkemaan lavan sisällä keulaan. Järjestelmästä saadaan myös hyvin siisti komponenttien ollessa piilossa teli keskellä.



KUVA 13. Nostomekanismi yhdellä sylinterillä.

Sylinterinivel, joka kiinnittyy teliin, tullaan siirtämään suunnitellussa ratkaisussa hieman taaksepäin, jolloin sylinteriä saadaan lähes pystysuoraan (Kuva 14). Huollettavuuden helpottamiseksi nivel tullaan kiinnittämään kuvan 15 tapaiseen avattavaan kiinnitystappisarjaan. Kiinnityssarjan korvakkeet hitsataan kiinni telin ja lavan väliseen vipuvarteen. Kiinnityssarjan tappi kiinnitetään M16 ruuveilla.



KUVA 14. Sivuprofiili nostosta yhdellä sylinterillä.

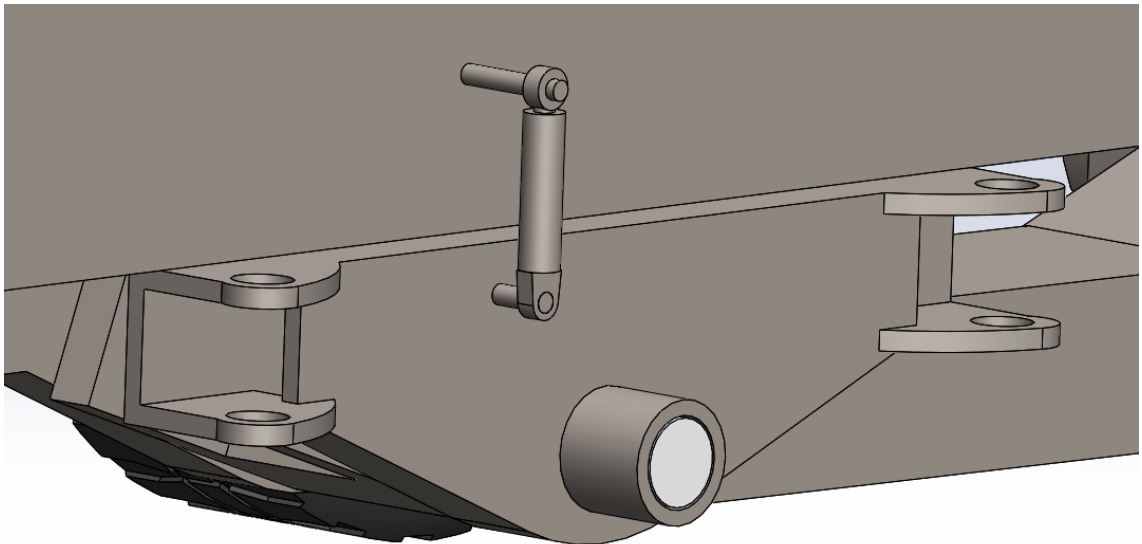


KUVA 15. Kiinnitystappisarja. (Hydrauliikkakauppa. Sylinterit/tarvikkeet.)

Nostavan hydraulisyylinterin kiinnityksestä lavaan tullaan rakentamaan samantapainen, kuin alanivelen kiinnityksestä. Huollettavuuden helpottamiseksi lavan päälle suunnitellaan huoltoluukku, jonka kautta on helppo päästä käsiksi sylinteriin. Mahdollisen huollon tai sylinterin vaihtotarpeen ilmetessä on sylinteri helppo irrottaa kiinnitystappisarjasta ja siirtää esimerkiksi työpöydälle.

7.2 Nosto kahdella hydraulisyylinterillä

Noston tapahtuessa kahdella sylinterillä, tulee sylinterit sijoittaa symmetrisesti lavan pituusakseliin nähden. Helpomman huollettavuuden kannalta sylinterit sijoitettaisiin tässä tapauksessa telin ulkoreunoille (Kuva 16). Kuva näyttää ainoastaan sylinterin mahdollisen sijainnin, eikä se ole oikeassa mittasuhteessa. Käytettäessä kahta sylinteriä, voidaan ne mitoittaa hieman pienemmiksi verrattaessa yhteen sylinteriin.



KUVA 16. Hydraulisyylinterit telin ulkoreunoilla.

Ongelmaksi kuitenkin muodostuu pyörien käänkö, jota ne rajoittavat. Myös hydrauliletkuja varten tulisi teliin tehdä läpivienti, jonka kautta letkut saataisiin telin keskelle ja edelleen lavan rakenteisiin. Letkut olisi myös mahdollista kierrättää telin perän kautta, mutta tämä vaikuttaa kuitenkin merkittävästi telin ulkonäköön, tehden siitä viimeistelemättömän näköisen.

7.3 Lavan noston hydraulisynterinin mitoitus

Näistä kahdesta ratkaisusta päädyttiin lopulta käyttämään yhden sylinterin järjestelmää. Etuina tälle olivat pienempi komponenttien määrä, yksinkertaisempi ohjaus ja huolitellumpi ulkonäkö. Sylinteri päätettiin mitoittaa karkeasti, jotta saadaan käsitys sylinterin koosta, sekä nosto- ja laskunopeudesta. Vaunua käyttävän trukin hydraulijärjestelmän tiedot eivät olleet saatavilla. Hydraulipumpun tuottamaksi tilavuusvirraksi oletettiin $70,5 \frac{l}{min}$.

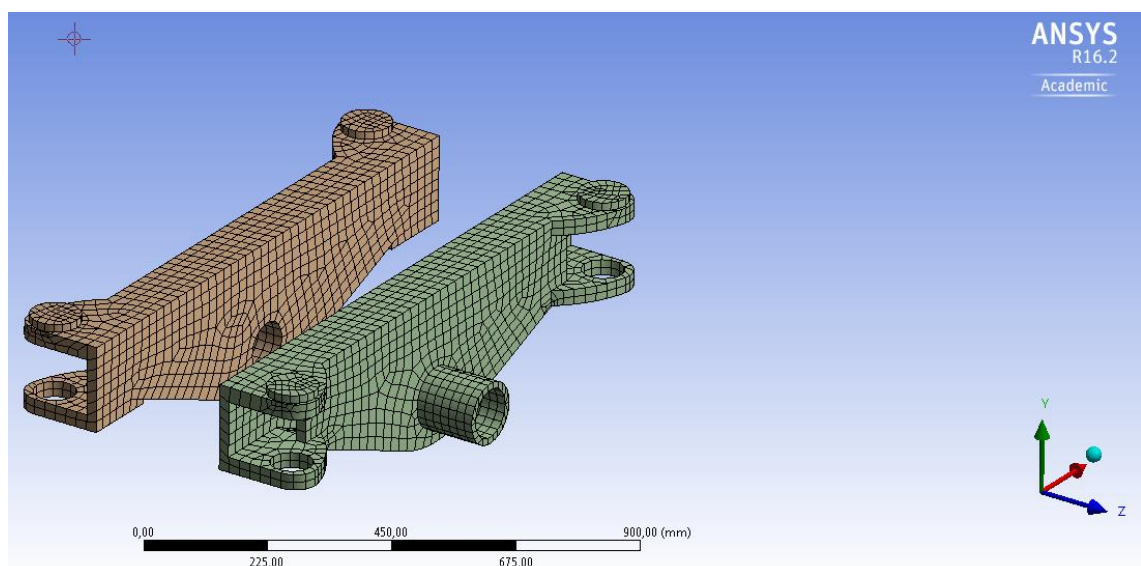
Tilan ahtauden vuoksi käytettäväksi sylinteriksi tulee valita teleskooppisynteri. Sylinteriä valittaessa, tulee huomiota kiinnittää sylinterin fyysiseen kokoon ja sillä saavutettaviin liikenopeuksiin. Sylinterin tulee myös nostaa lava täydellä kuormalla, jonka aiheuttama voima on noin 245 kN . Tavoitteeksi asetetun $0,43$ metrin lavannousun tulee myös toteutua sylinterin iskunpituudella. Sylinterin mitoituslaskenta on nähtävillä liitteessä 7. Teleskooppisynteriin päätettiin valita 3-vaiheinen synteri. Teleskooppisynterinin nostovoima tarkastettiin viimeisen jatkosärmän osalta, jolla nostovoima on pieni. Viimeisen jatkosärmän nostovoimaksi saatiin 500 kN , jonka voidaan todeta riittävän hyvin lavan nostoon. Lavan nostoaikaksi saatiin laskennallisesti 12 sekuntia. Lavan laskuun kulunut aika selvitetään, kun kaikki järjestelmän muut hydraulikomponentit on mitoitettu ja valittu. Synteri, joka mitoitettiin, tullaan teettämään suunniteltujen mittojen mukaan.

8 LUJUUSLASKENTA

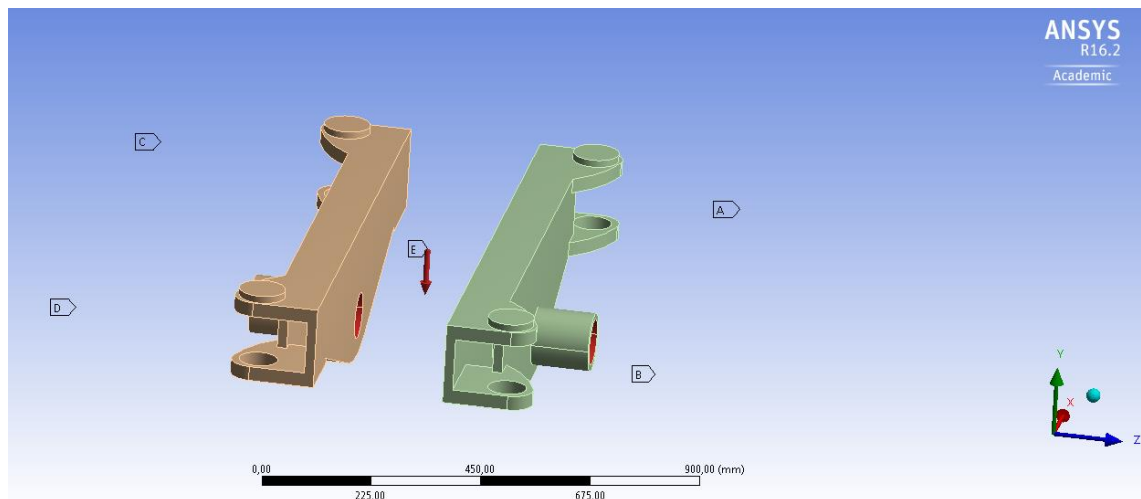
8.1 Verkotus ja tuenta

Työssä suoritettiin lujuuslaskenta telin rakenteelle. Telin katsottiin olevan ainoa kokonaisuus, joka vaati tarkastelua lujuusominaisuuksilta tietokoneavusteisesti. Laskentaan käytettiin ANSYS-ohjelmaa, joka oli käytössä Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa. Laskentaa rajoitti tietokoneissa oleva opiskelijalisenssi, joka rajoitti paljon verkotuksen solmujen määrää ja näin ollen myös laskentatarkkuutta. Tämän vuoksi mallista puuttuu telin keskellä sijaitseva akseli. Laskennassa käytetty solmumäärä oli 29 600. Telissä käytetty materiaali on S355 terästä, jolle myötölujuus on 355 MPa ja murtolujuus $430\text{-}550 \text{ MPa}$. Laskennassa tarkasteltiin kappaleiden jännityksiä, muodonmuutoksia, varmuuslukua ja venymää.

Kuvassa 17 on näkyvillä laskentaan käytetty verkotus ja kuvassa 18 käytetty tuenta ja voiman sijainti. Massasta aiheutuva voima kohdistettiin telin keskelle, akselin oletettuun paikkaan. Tuenta asetettiin 225 mm päähän olka-akseleiden paikasta, missä todellisuudessa pyörän keskipiste olisi. Tuentakohdaksi määritettiin jokaisessa kulmassa näkyvän laipan alapinta.



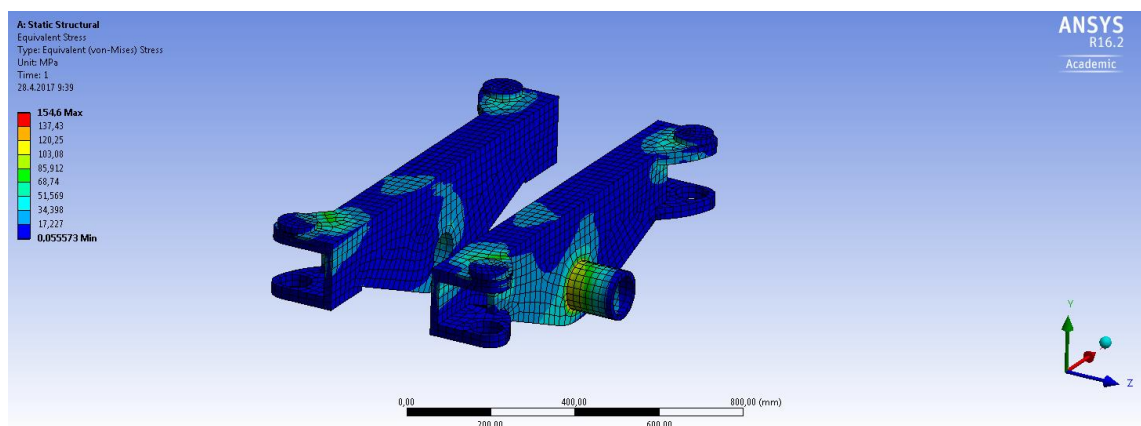
KUVA 17. Käytetty verkotus.



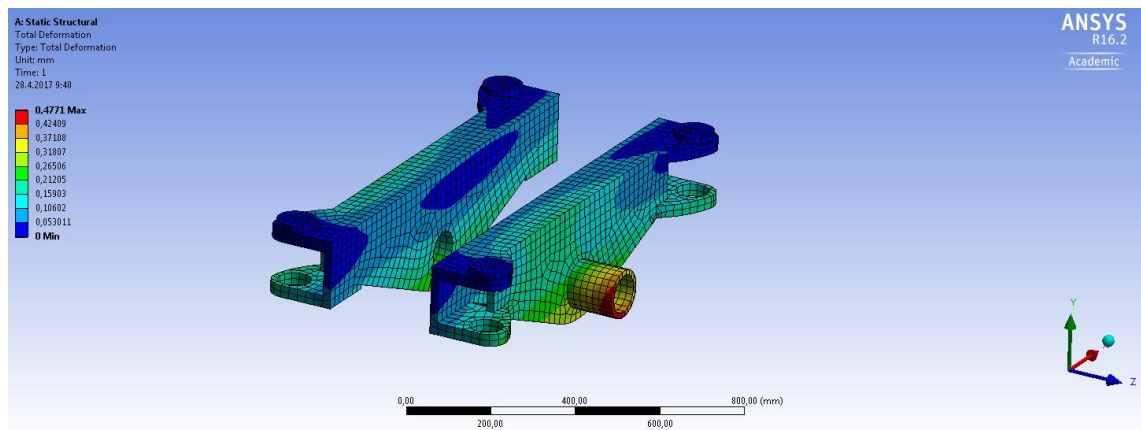
KUVA 18. Tuenta ja voima.

8.2 Laskenta täydellä kuormalla

Laskenta täydellä kuormalla suoritettiin voiman arvolla F_p , joka saatiin liitteiden 1 ja 2 laskennasta ja se vastaa voimaa, joka kuormittaa teliä täydellä kuormalla. Käytetty voima on suuruudeltaan 151 kN. Kuvassa 19 on nähtävillä voiman aiheuttamat jännitykset ja kuvassa 20 aiheutuneet muodonmuutokset.

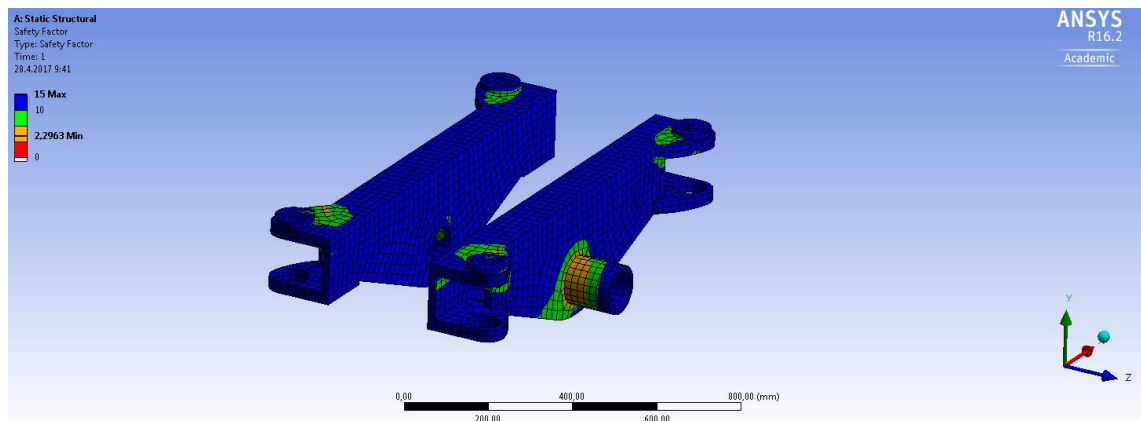


KUVA 19. Jännitykset voimalla 151 kN.

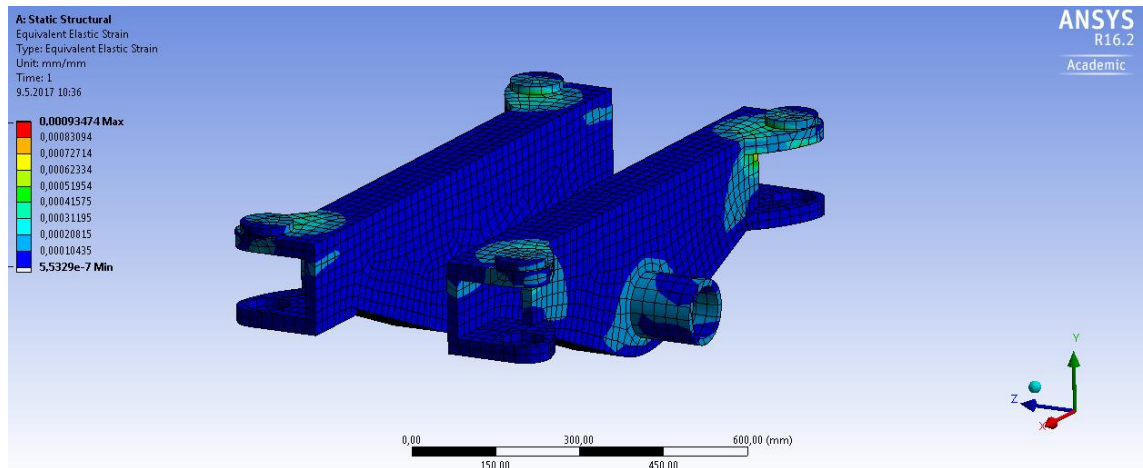


KUVA 20. Muodonmuutokset voimalla 151 kN.

Suurin teliin kohdistuva jännitys oli $154,6 \text{ MPa}$. Suurimmat jännitykset kohdistuivat kiinnityslaippojen lähetyville ja akselin napaan. Jännitykset ovat hyväksyttävällä tasolla, telin materiaalin myötölujuuden ollessa 355 MPa . Tällä voimalla runkoon aiheutui suurimmillaan $0,48 \text{ mm}$ muodonmuutos. Suurinta muodonmuutos oli akselin navan alapinnalla. Varmuusluvuksi telille saatiin 2,3 kuvan 21 mukaan. Pienimmillään varmuusluku on samassa kohdassa, kuin suurimmat jännityksetkin. Venymän arvoksi, joka kuvaa kappaleen vääristymistä alkuperäiseen tilanteeseen nähden, saatiin tällä voimalla 0,0009 (Kuva 22). Suurimmat venymän arvot kohdistuvat laippojen läheisyyteen.



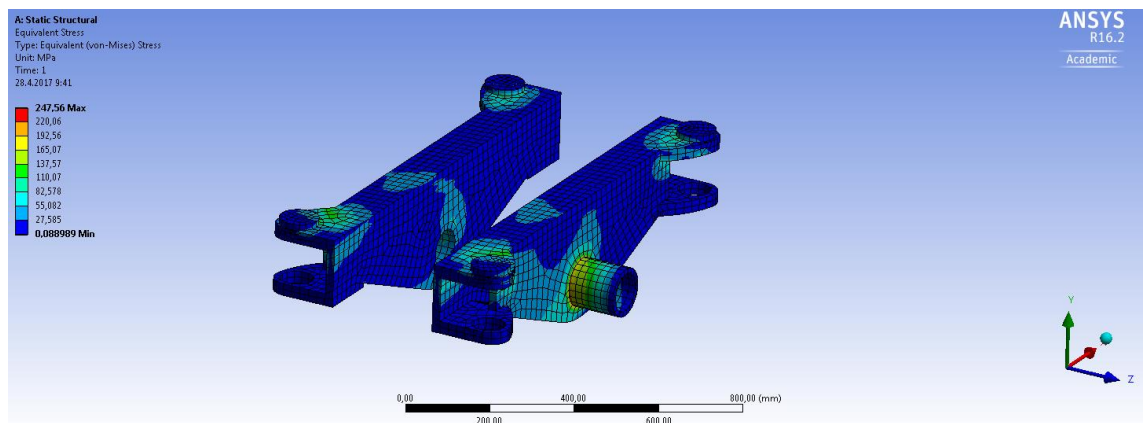
KUVA 21. Varmuusluku voimalla 151 kN.



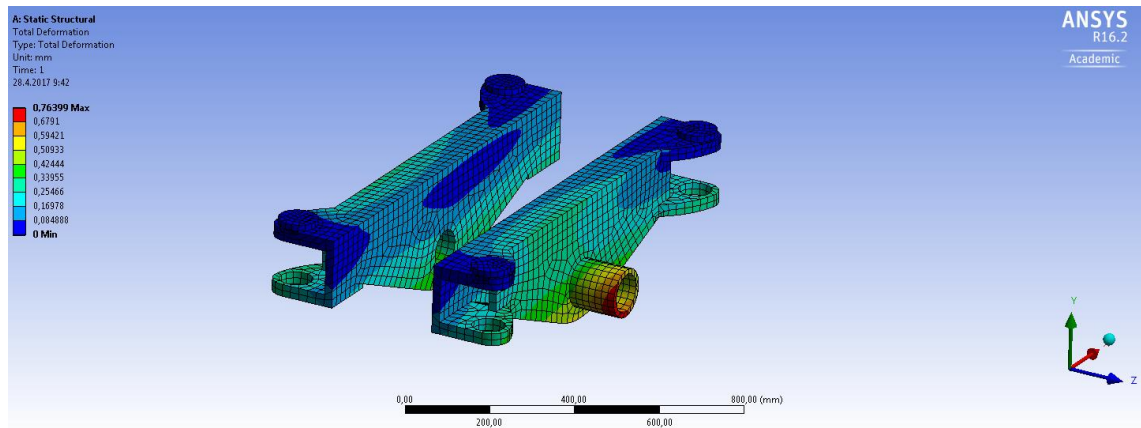
KUVA 22. Venymä voimalla 151 kN.

8.3 Laskenta koko kuormituksen kohdistuessa teliin

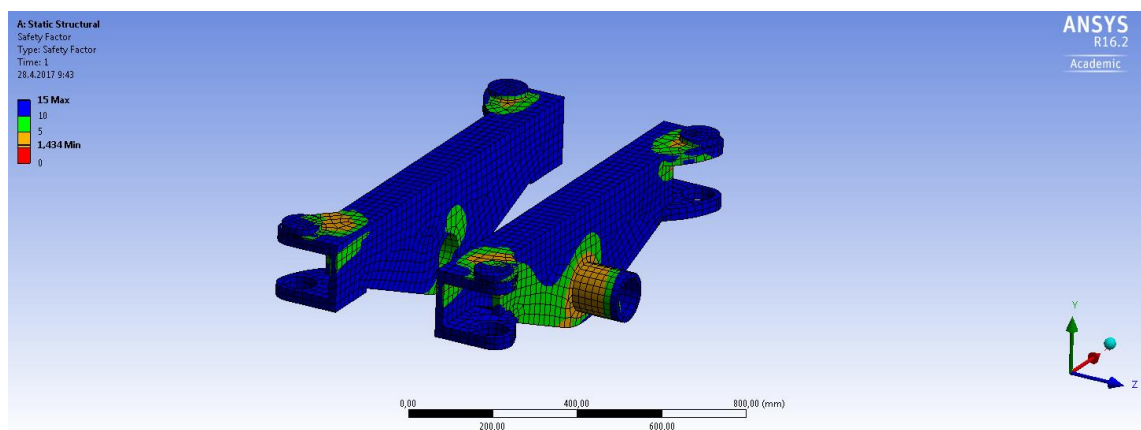
Lujuuden varmistamiseksi telin lujuutta tarkasteltiin kohdistamalla täyden kuorman aiheuttama voima 245 kN teliin. Tässä tapauksessa suurimmaksi jännitykseksi muodostui kuvan 23 mukaan 248 MPa, jolla teliin aiheutui 0,8 mm:n muodonmuutos (Kuva 24). Aiheutuneet jännitykset kohdistuvat edellisen tapauksen tavalla laippojen lähelle ja akselin sylinterin juureen. Suurin muodonmuutos kohdistui myös tässä tapauksessa akselin navan alapinnalle. Jännitys on selvästi alle materiaalin myötölujuuden, ja sen varmuusluvuksi saadaankin kuvan 25 mukainen 1,4. Venymän arvoksi saatiin kuvan 26 mukaan 0,0015 ja se kohdistuu laippojen läheisyyteen.



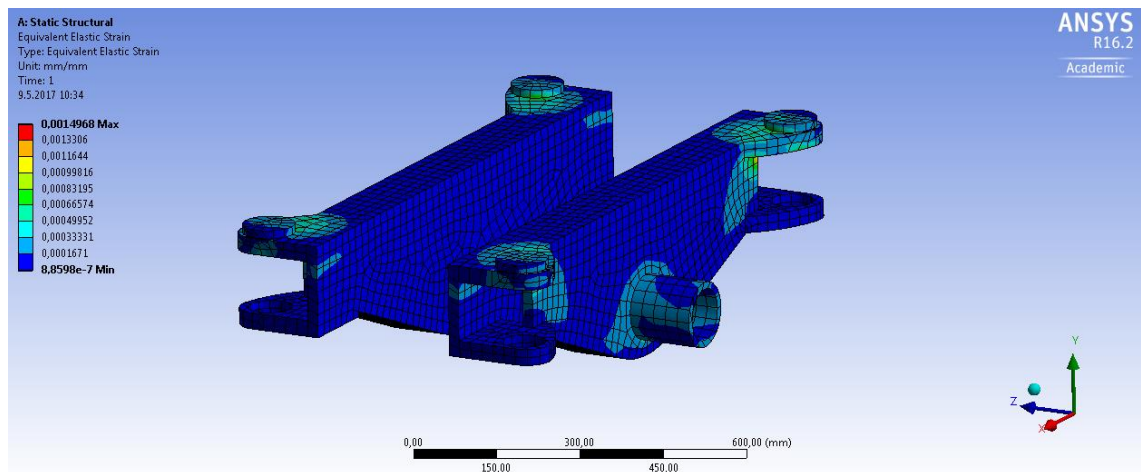
KUVA 23. Jännitykset voimalla 245 kN.



KUVA 24. Muodonmuutokset voimalla 245 kN.



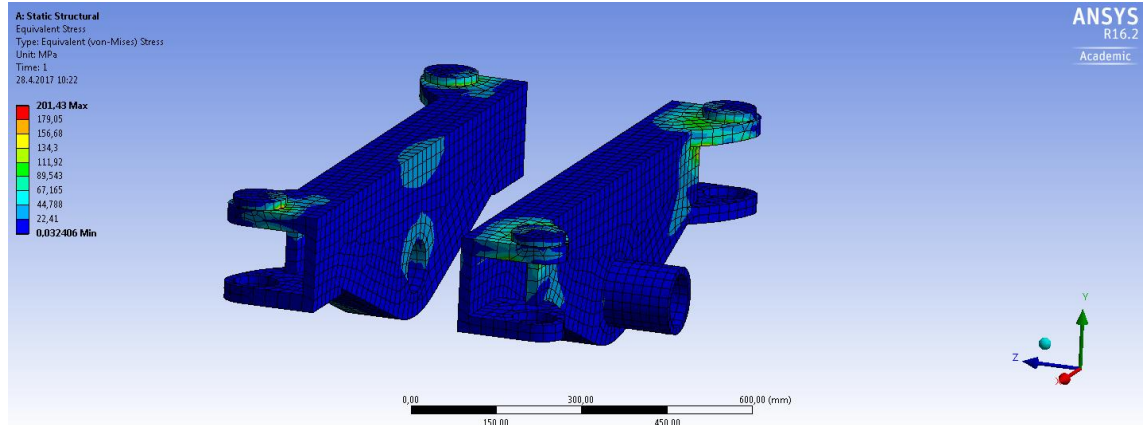
KUVA 25. Varmuusluku voimalla 245 kN.



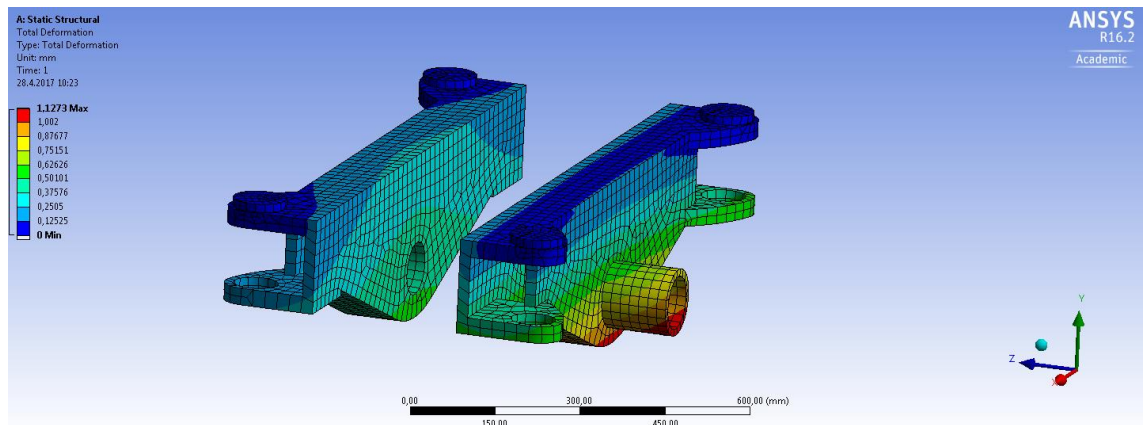
KUVA 26. Venymä voimalla 245 kN.

8.4 Laskenta mutka-ajossa täydellä kuormalla

Telille pyrittiin simuloimaan tilannetta, jossa se kaartaa täydellä kuormalla. Suoraan teliin kohdistui 153 kN voima ja lisäksi teliin kohdistettiin z akselin suunnassa 50 kN voima. Samalla pyrittiin mallintamaan tilannetta, jossa kuorman aiheuttama voima kohdistuu enemmän toiselle puolelle teliä. Telille aiheutuneet jännitykset ovat näkyvillä kuvassa 27 ja aiheutuneet muodonmuutokset kuvassa 28.



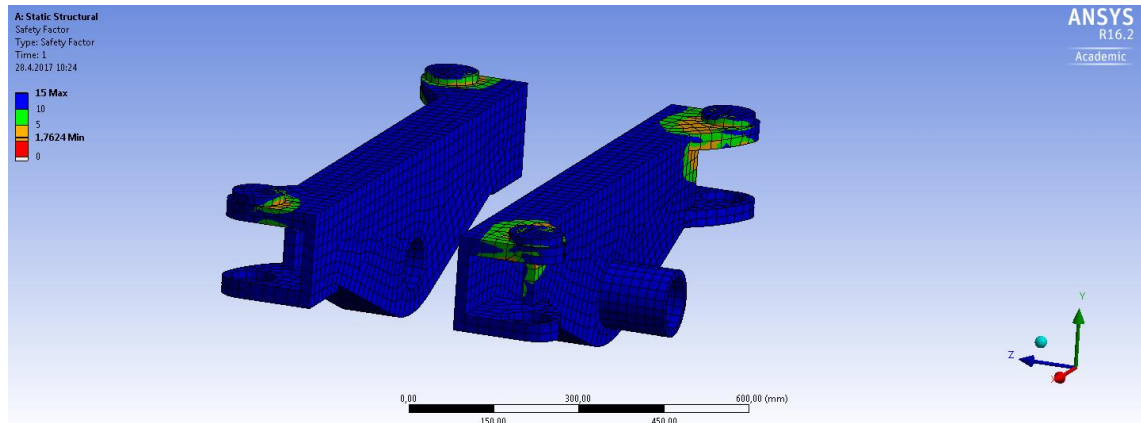
KUVA 27. Jännitykset mutka-ajossa.



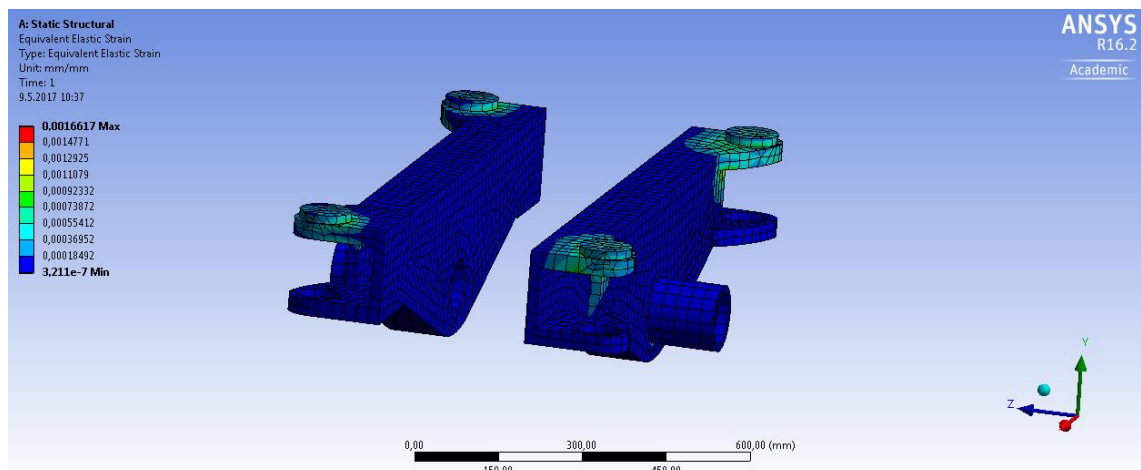
KUVA 28. Muodonmuutokset mutka-ajossa.

Kyseisillä voimilla teliin aiheutui suurimmillaan 201 MPa :n jännitys. Suurin jännitys kohdistui kiinnityslaippojen läheisyyteen. Muodonmuutosta telille aiheutui enimmillään $1,1\text{ mm}$. Muodonmuutos kohdistui jälleen akselin navan alapinnalle. Varmuusluvuksi tuli kuvan 29 mukaan $1,8$. Pienimmillään varmuusluku on kiinnityslaippojen läheisyydessä. Tässä tapauksessa telin venymän arvoksi saatiin $0,0017$ (Kuva 30), joka on suurin arvo mallinnetuista tapauksista. Tässäkin tapauksessa suurimmat venymän

arvot kohdistuvat laippojen läheisyyteen. Venymien arvot mutka-ajossa ja ylikuormalla nousevat melko korkeisiin lukemiin ja niitä tullaan analysoimaan jatkossa tarkemmin.



KUVA 29. Varmuusluku mutka-ajossa.



KUVA 30. Venymä mutka-ajossa.

Valitun materiaalin S355 teräksen voidaan todeta olevan riittävä materiaali tähän ratkaisuun. Materiaalin valintaa tullaan kuitenkin vielä miettimään uudelleen ja mahdollisesti valitaan suuremman lujuuden teräs, jotta varmuuslukua saadaan kasvatettua. Lujuuslaskennasta huomataan myös voimien keskittyminen akselien kiinnityskohtien korvakkeisiin. Näiden muotoilua tullaan parantamaan jatkosuunnittelussa.

9 LOPPUTULOSTEN POHDINTA

Tämän projektin tavoitteena oli suunnitella lauttavaunu, jota on kehitetty eri osa-alueilla edellisestä vaunusta. Kehitettäviä kohteita olivat laakerointi, pyörien kääntökulma, huollettavuus, sekä nosto- ja laskunopeus. Tutkittiin myös mahdollisuuksia jo valmiiden lauttavaunu ratkaisujen välillä. Näistä ei kuitenkaan löytynyt sopivaa vaihtoehtoa Jawiko:n käyttötarpeisiin. Telin rakenteessa päädyttiin ratkaisuun, jossa teli on kiinteä ja ainoastaan pyörät ohjautuvat. Ratkaisua pidettiin yksinkertaisempänä ja halvempänä ratkaisuna verrattuna teliin, joka on kääntökehällä. Valintaan vaikutti myös telin käyttöympäristö, joka on lähinnä hiekkapohjaista maastoa. Pelkästään pyörien kääntyessä, maa muokkaantuu vähemmän Jawiko Oy:n edustajan mukaan. Teli on valmistettu 20 ja 30 millimetrin vahvaisista teräslevyistä, jotka on hitsattu yhteen. Rakenne on sisältä ontto, minkä vuoksi sinne saadaan sijoitettua ohjauksen komponentteja, jotta ulkonäöstä saadaan siisti.

Vaunun laakerointi saatiin mitoitettua oikein annettujen lähtöarvojen ja tarvittavien kaavojen perusteella. Liukulaakerit mitoitettiin noin kaksi kertaa suuremmille voimille, jotta niiden kestosta varmistuttaisiin. Myös kartiorullalaakereiden varmuuskertoimeksi tuli noin kaksi. Liukulaakereiksi valittiin SKS:n laakerimalli SS2991 ja kartiorullalaakeriksi SKF:n 33109/Q. Laakereiden tiivistys hoidetaan valmistajien ohjeiden mukaan.

Ohjausmekaniikassa päädyttiin ratkaisuun, jossa pyöriä ohjataan kahdella hydraulisylinterillä. Sylinterit on sijoitettu telin takaosaan, jossa ne ovat helposti huollettavissa. Myös voiman välityksen kannalta sylinterit ovat sijoitettu tehokkaasti, sillä kaikki voima kohdistuu suoraan olka-akseleihin. Ohjauksen sylinterien kooksi mitoitettiin 50/30 sylinteri. Sivupyörien välillä kulkevat raidetangot on sijoitettu telin rakenteen sisään, missä ne ovat piilossa, luoden telin ulkonäöstä huolitellumman. Pyörännapa ja akseli päätettiin ostaa valmiina Aline Trading sivustolta, mistä akseliksi valittiin AL03453 akseli. Tämän akselin kantavuus on 4500 kg. Valmis pyöränakseli kokonaisuus kiinnitetään itsevalmistettuun olka-akseliin. Telin takana poikittain kulkeva raidetanko taas on kiinnitetty olka-akseleihin tuleviin kiinnikkeisiin, joiden välityksellä se säilyttää pyörien kääntökulman sama molemmilla puolilla teliä,

harituksen välttämiseksi. Tällä ohjausratkaisulla suurimmaksi kääntökulmaksi saavutettiin noin 20 astetta 3D-mallista mitattuna.

Noston hydraulisynteriksi mitoitettiin teleskooppisynteri 220/200/180. Synteriä siirrettiin taaksepäin, jotta sen huollettavuudesta tulisi helpompaa. Kiinnitys tapahtuisi kiinnitystappisarjan avulla. Tällä kiinnityksellä synteri on helppo irrottaa paikoiltaan ja tarpeen tullen vaihtaa. Hydraulisynteri saatiin sijoitettua myös melko pystysuoraan, jolloin sen tuottama voima välittyy tehokkaimmin. Laskennallisesti lavan nostoajaksi määritettiin 12 sekuntia. Lavan laskuaikaa, jota oli tavoitteena vähentää, ei päästä määrittämään ennen koko hydraulijärjestelmän komponenttien valintaa ja mitoitusta.

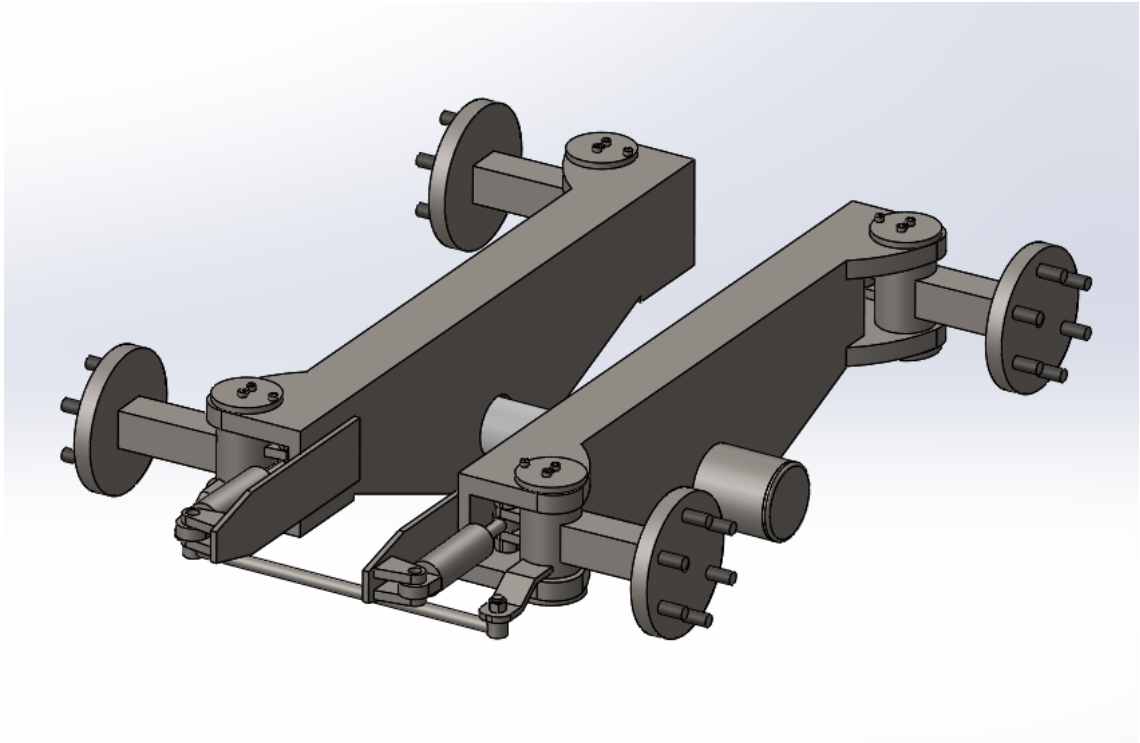
Lujuuslaskennassa tarkasteltiin telin kestävyyttä erisuuruisilla kuormilla. Tarkastelussa oli täyden kuorman aiheuttama voima, selvä ylikuorma ja mutka-ajoa simuloiva tapaus. Suurimmillaan teliin kohdistui 248 MPa:n jännitys, joka aiheutui teliin kohdistuneen voiman ollessa 245 kN. Tässäkin tapauksessa telin varmuusluvuksi saatiin 1,4, joten se voidaan todeta kestäväksi ratkaisuksi. Muodonmuutosta tällä jännityksellä aiheutui suurimmillaan 0,8 mm, joka kohdistui telin ja lavan välisen akselin alapinnalle. Venymä tarkastelussa suurin venymän arvo saatiin mutka-ajo tapauksessa, jolloin se oli 0,0017. Saatujen tulosten perusteella, tullaan jatkosuunnittelussa kiinnittämään huomiota erityisesti akselin kiinnityskohtien korvakkeisiin.

Kokonaisuutena telin voidaan todeta olevan onnistunut ratkaisu vaadittuihin tarpeisiin ja sen suunnittelusta saatiin dokumentoitua tietoa ja laskuja, joita on helppo käyttää myös mahdollisissa jatkosuunnitelmissa. Telin 3D-malli pyörillä ja ilman on näkyvissä kuvissa 31 ja 32. Pyörien kääntökulmaa saatiin kasvatettua, mikä parantaa telin ohjattavuutta. Telin kokonaisleveys kuitenkin kasvoi tämän vaikutuksesta noin 100 mm. Laakerit mitoitettiin ja valittiin laskentojen perusteella. Myös tarvittavat synterit on mitoitettu. Syntereiden valintaan tulee vielä kiinnittää huomiota järjestelmän muita komponentteja valittaessa.

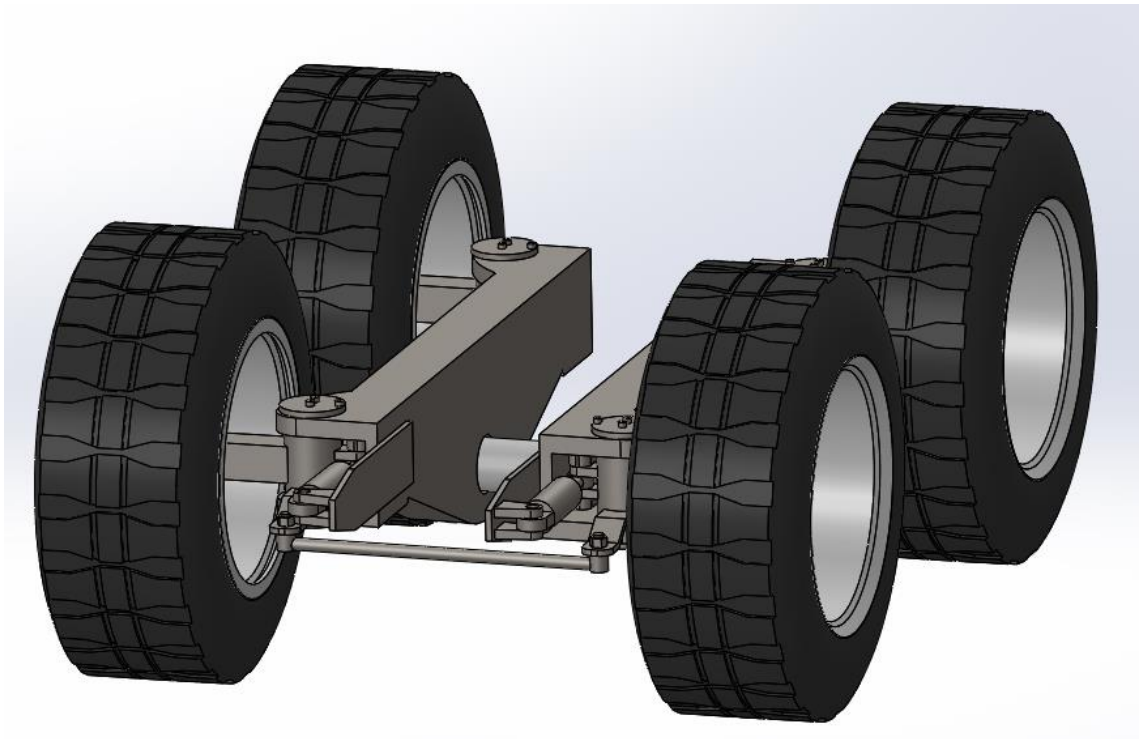
Telin rakenteen lujuuslaskennan voidaan myös todeta onnistuneen. Vaikka S355 teräs kestikin vaaditut kuormat, tullaan telin rakenteen materiaalia vielä miettimään. Lujuuslaskentoja tarkasteltaessa tulee kuitenkin huomioida, että laskenta jouduttiin suorittamaan opiskelijalisenssillä, mikä rajoittaa laskenta verkon solmujen määrää ja näin ollen laskennan tarkkuutta. Solmumäärän vuoksi akselin sijoittaminen malliin oli

mahdotonta. Telissä havaituimmat suurimmat jännityskohdat tulisi myös tarkastella tiheämmällä verkolla uudelleen.

Lauttavaunun suunnittelu tulee jatkumaan lavan suunnittelulla. Myös kahden sylinterin käyttöä lavan nostossa tullaan pohtimaan vielä uudelleen. Mahdollisten muutosten tullessa myös teliä tullaan muokkaamaan tarpeiden mukaan, jotta tulokseksi saadaan paras mahdollinen ratkaisu.



KUVA 31. Telin 3D-malli.



KUVA 32. Teli 28 x 9-15 renkailla.

LÄHTEET

Jawiko Oy:n kotisivut. Yritys. Luettu 13.3.2017.

<http://www.jawiko.fi/content/yritys>

Johnson metall. Liukulaakerit. Luettu 27.4.2017.

<http://www.johnson-metall.fi/liukulaakerit-2/>

Björk, T., Hautala, P., Huhtala K., Kivioja S., Kleimola M., Lavi M., Martikka H., Miettinen J., Ranta A., Rinkinen J., Salonen P. & Sanoma Pro Oy. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Goldhofer. Heavy duty modules. Luettu 5.4.2017.

<http://www.goldhofer.de/en/heavy-duty-modules,15.html>

Movella kotisivut. Nostosiirtovaunut. Luettu 5.4.2017.

<http://www.movella.fi/fi/tuotteet/nostosiirtovaunut/>

Logister kotisivut. Satamavaunut. Erikoiskalusto. Luettu 5.4.2017.

<http://www.logister.com/fi/satamavaunut/erikoiskalusto>

Contik. Contik Mallisto. CT/30. Luettu 5.4.2017.

http://www.contik.fi/pdf/15/contik_CT30.pdf

SKF. Products. Tapered roller bearings, single row. Luettu 28.4.2017.

<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=33109/Q&unit=metricUnit>

SKF. Products. Cylindrical roller thrust bearings. Luettu 28.4.2017.

<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/cylindrical-roller-thrust-bearings/complete-bearings-roller-and-cage-thrust-assemblies/index.html?designation=K%2089309%20TN&unit=metricUnit>

SKS GROUP. Tuotteet. Huoltovapaat grafiittipronssilaakerit. Esitteet Luettu 15.4.2017.

[http://www.sks.fi/www/sivut/571243DD88E902E9C2257B6A00236FD7/\\$FILE/Laakerimetallit%20ja%20liukulaakerit%201219855.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/571243DD88E902E9C2257B6A00236FD7/$FILE/Laakerimetallit%20ja%20liukulaakerit%201219855.pdf)

Aline trading. Product Catalogue. Trailer and body equipment. Stub axle assemblies. Luettu 26.4.2017.

<http://alinetrading.com.au/product-catalogue/trailer-and-body-equipment/stub-axle-assemblies?PHPSESSID=56a0254170715240c65df4ab3b575936>

Hydrauliikkakauppa. Hydrauliikkakomponentit. Sylinterit/tarvikkeet. Luettu 24.4.2017.

<http://www.hydrauliikkakauppa.fi/kiinnitystappisarja-40mm-nivellaakerille-2kpl-p-4016.html>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2012. Tekniikan kaavasto. Hämeenlinna: Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy.

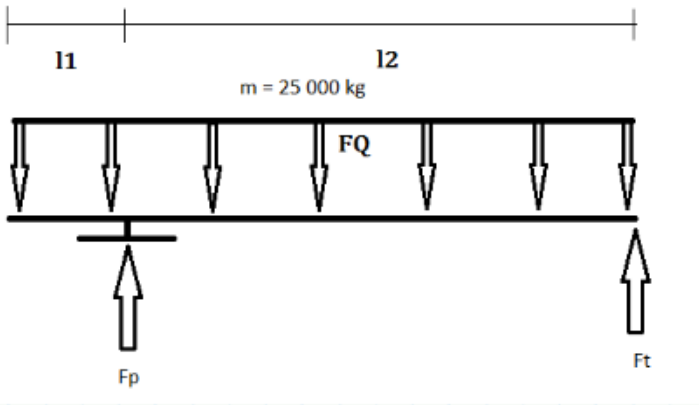
Reif, K. & Dietsche, K-H. 2014. Automotive handbook. Germany: Robert Bosch GmbH

LITTEET

Liite 1. Tukivoimien laskenta 1/2.

Vapaakappalekuva 1 (2)

Teliin kohdituvat voimat



Telin ja lavan massa: $m_1 := 5000 \text{ kg}$

Hyötykuorma: $m_2 := 20000 \text{ kg}$

Kokonaismassa: $m := m_1 + m_2 = 25000 \text{ kg}$

Putoamiskiihtyvyys: $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Telin etäisyys perästä: $l_1 := 2.8 \text{ m}$

Telin etäisyys keulasta: $l_2 := 12 \text{ m}$

Lavan kokonaispituus: $L := l_1 + l_2 = 14.8 \text{ m}$

Massasta aiheutuva voima: $F_m := m \cdot g$

$F_m = 245 \text{ kN}$

Voima metriä kohden: $F_Q := \frac{F_m}{L} = 17 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

TUKIVOIMAT

Y – suunta

$F_m = F_p + F_t$

Liite 2. Tukivoimien laskenta 2/2.

2 (2)

Momentti pisteen F_p ympäri

$$\frac{-l_1}{2} \cdot F_Q \cdot l_1 + \frac{l_2}{2} \cdot F_Q \cdot l_2 - F_t \cdot l_2 = 0$$

$$F_t := \frac{\frac{-l_1}{2} \cdot (F_Q \cdot l_1) + \frac{l_2}{2} \cdot (F_Q \cdot l_2)}{l_2}$$

$$F_t = 94 \text{ kN}$$

Sijoitetaan saatu voima F_t kaavaan:

$$F_p := F_m - F_t$$

$$F_p = 151 \text{ kN}$$

Yhdelle akselille
tuleva voima:

$$F_{p1} := \frac{F_p}{4} = 38 \text{ kN}$$

Yhdelle renkaalle
kohdistuva massa

$$\frac{F_{p1}}{g} = 3854 \text{ kg}$$

Liite 3. Liukulaakerien käyttötuntimäärä.

Laakerin kestoikä

Lavan nostoaika: $t := 10 \text{ s}$ Laakerin ulkosäde: $R := \frac{D}{2} = 0.048 \text{ m}$ Kiertymiskulma: $\psi := 30^\circ$ Kulmanopeus: $\omega := \frac{\psi}{t} = 0.0524 \frac{1}{\text{s}}$ Liukunopeus $v := \omega \cdot R = 0.002 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ Nimellinen kestoikä (h): $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot b_6 \cdot \frac{3.7}{p \cdot v}$ Kuorma suuntakerroin (kuormitus yksisuuntainen niin 1): $b_1 := 1$ Kuormituskerroin: $b_2 := 0.5$ Kuva 5.3-8 s.316Lämpötilakerroin 1, kun $< 180 \text{ C}^\circ$: $b_3 := 1$ Liukukerroin: $b_4 := 2.1$ Kuva 5.3-8 s.316Nopeuskerroin: $b_5 := 3.5$ Kuva 5.3-8 s.316Kuormituskulmakerroin: $b_6 := 6$ Kuva 5.3-8 s.316

$$G_h := b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot b_6 \cdot \frac{3.7}{28.84 \cdot 0.002}$$

$$G_h = 1414 \text{ Tuntia}$$

Todellinen käyttötuntimäärä: $G_{HN} = G_h \cdot f_B \cdot f_H$ $f_B := 5.2$ Kuva 5.3-9

Voiteluväli (voiteluväliksi asetettiin 300h, eli yrityksen käytössä n. 1 kk) :

$$\frac{G_h}{300} = 5$$

 $f_H := 2$ Kuva 5.3-9

$$G_{HN} := G_h \cdot f_B \cdot f_H = 14710 \text{ Tuntia}$$

Liite 4. Kartiorullalaakereiden mitoitus 1/2.

Olka-akselin laakerointi
(kartiorullalaakeri) KOS s.304

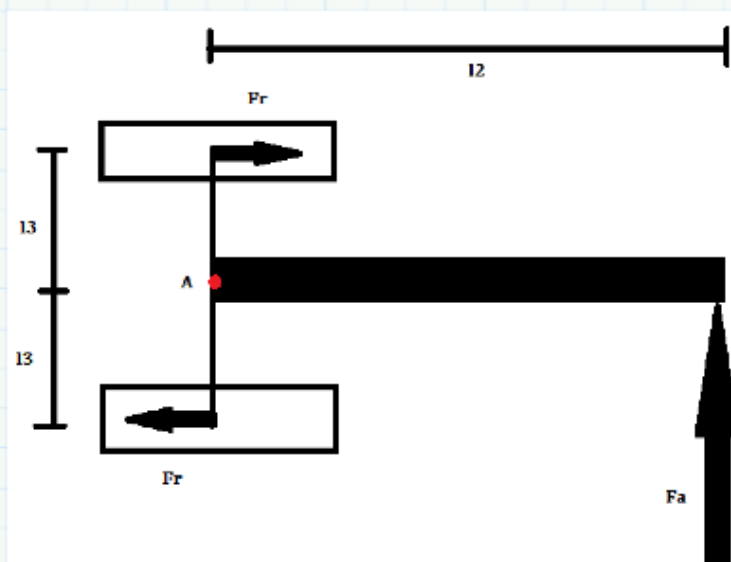
1 (2)

Mitoitetaan yksi laakeri kantamaan 1/5 telille tulevasta kuormasta F_p

Yhden laakerin aksiaalikuormitus:

$$F_a := \frac{1}{5} \cdot F_p = 30 \text{ kN}$$

Lasketaan aksiaalikuormitus seuraavasta vk-kuvasta:



$$l_2 := 225 \text{ mm}$$

$$l_3 := 70 \text{ mm}$$

Momentti pisteen A ympäri:

$$F_{Ar} := l_2 \cdot F_a = 6803 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Yhdelle laakerille aiheutuva aksiaalikuormitus:

$$F_r := \frac{F_{Ar}}{l_3 \cdot 2} = 48595 \text{ N}$$

Liite 5. Kartiorullalaakereiden mitoitus 2/2.

Valitaan alustavasti kartiorullalaakeri SKF 33109/Q, jolle: 2 (2)

Dynaaminen kantavuusluku: $C := 96.5 \text{ kN}$

Staattinen kantavuusluku: $C_o := 114 \text{ kN}$

Kaavaan 5.2-3 s. 304 kertoimet X ja Y luetaan kyseisen laakerin tiedoista.

$$X := 0.56 \quad Y := 1.6$$

Kaavan 5.2-3 s. 299 mukaan dynaaminen ekvivalenttikuormitus:

$$P := X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 76 \text{ kN}$$

Asetetaan nimelliseksi kestoikäksi 8000h ja oletetaan pyörimisnopeudeksi 4 r/min (pyöriminen hidasta ja satunnaista)

$$L_{10h} := 8000 \text{ hr} \quad n := 4 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$\left(\frac{C}{P}\right) = CP$$

$$CP := \sqrt[3]{\frac{n \cdot L_{10h}}{1000000}} \quad CP = 1.24 \quad \text{Kaava 5.2-2}$$

Kantavuusluvun C on oltava:

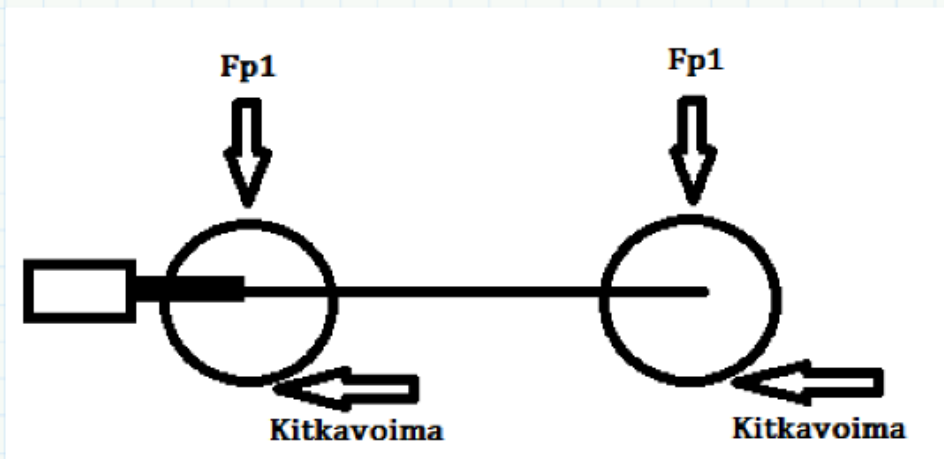
$$C := CP \cdot P = 94 \text{ kN} \quad \blacksquare < 96.5 \text{ kN}$$

Valitaan SKF33109/Q

Liite 6. Pyörien käännön sylinterien mitoitus.

Ohjauksen sylinterit:

Vapaakappalekuva:



Kumin ja asfaltin välinen kitkakerroin on 0,9 (Tekniikan kaavasto, 180), tässä tapauksessa käännettävä pyörä pääsee kuitenkin vapaasti pyörimään, joten kitkakertoimeksi oletetaan huomattavasti pienempi arvo: 0,4

Kitkakerroin: $\mu := 0.4$

Kuormasta aiheutuva kitkavoima:

$$F_{\mu} := 2 \cdot (\mu \cdot F_{p1}) = 30237 \text{ N}$$

Pyörien kääntöön vaadittava voima, tulee olla suurempi, kuin kitkasta aiheutunut voima.

Järjestelmässä käytetty paine: $P_{max} := 200 \text{ bar}$

Männän halkaisija:

$$A_1 := \frac{F_{\mu}}{P_{max}} = 0.001512 \text{ m}^2 \quad d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot A_1}{\pi}} = 44 \text{ mm}$$

Valitaan sylinteri 50/30.

Tarkistus:

Neljän pyörän käännössä vaikuttava kitkavoima 60 kN. Pyöriä käännettäessä, toista sylinteriä ajetaan sisään- ja toista ulospäin, jolloin näiden yhdistetyn voiman tulee ylittää kitkavoima.

$$F_x := P_{max} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (50 \text{ mm})^2 + \left(P_{max} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (50 \text{ mm})^2 - P_{max} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (30 \text{ mm})^2 \right)$$

$$F_x = 64403 \text{ N} \text{ OK.}$$

Liite 7. Lavan noston hydraulisyylinterin mitoitus.

Nosto yhdellä sylinterillä:

Noston sylinterin tulee olla teleskooppisyylinteri. Mitoitetaan sylinteri, joka on kolmivaiheinen. Jokaisen jatkon pituus on 150 mm.

Sylinterien männän halkaisijat:

1. sylinterin männän halkaisija 220 mm
2. sylinterin männän halkaisija 200 mm
3. sylinterin männän halkaisija 180 mm

1. Männän halkaisija: $d_{m1} := 220 \text{ mm}$

2. Männän halkaisija: $d_{m2} := 200 \text{ mm}$

3. Männän halkaisija: $d_{m3} := 180 \text{ mm}$

Käytetty maksimi paine: $P_{max} := 200 \text{ bar}$

Pumpun tuottama tilavuusvirta: $Q := 70.5 \frac{\text{L}}{\text{min}}$

Sylinterin voima ulospäin: $F_u := P_{max} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_{m3})^2 = 508938 \text{ N}$

Sylinterin liikenopeus: $v = \frac{Q}{A}$

1. Sylinterin nopeus ulos: $v_{u1} := \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{m1}^2} = 0.031 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

2. Sylinterin nopeus ulos: $v_{u2} := \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{m2}^2} = 0.037 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

3. Sylinterin nopeus ulos: $v_{u3} := \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{m3}^2} = 0.046 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Yhden jatkon nousumatka: $l_n := 0.15 \text{ m}$

Nousuaika: $\frac{l_n}{v_{u1}} + \frac{l_n}{v_{u2}} + \frac{l_n}{v_{u3}} = 12 \text{ s}$