LUT-Yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

TELESKOOPPIRAKENTEISEN KEHIKKOKÄRRYN UUDELLEENSUUNNITTELU
RE-DESIGN OF TELESCOPIC FRAMETROLLEY

Lappeenrannassa 23.4.2021

Arttu Toivanen
Tarkastaja Kimmo Kerkkänen
Ohjaaja Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT kone

Arttu Toivanen

Teleskooppirakenteisen kehikkokärryn uudelleensuunnittelu

Kandidaatintyö

Työnvalmistusvuosi 2021

37 sivua, 29 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Kimmo Kerkkänen

Ohjaaja: Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: koneensuunnittelu, teleskooppikärry

Tässä kandidaatintyössä suunnitellaan viirankutomakoneiden kehikoiden siirtoon ja huoltoon tarkoitettu teleskooppirunkoinen kärry, joka korvaisi vanhan kärryn. Viirankutomakoneiden kehikoiden ollessa painavia on vanha kärry osoittautunut liian heikoksi ja vaaralliseksi. Vanha kärry taipuu suurten kuormitusten vuoksi ja kehikoiden nostoon käytettävän nostopuomin sijoittaminen kärryyn kuljetuksen ajaksi on osoittautunut vaaralliseksi.

Suunnittelutyö toteutetaan käyttämällä osittain konstruoinnin työnkulkumallia ja huomioimalla valmistus- ja kokoonpanoystävälliset periaatteet. Tämän työn lopputuloksena on 3D-malli tukevasta teleskooppirunkoisesta kehikoidensiirtokärrystä, joka on molemmista päistä ohjattava ja hyvin muokattavissa oleva.

ABSTRACT

LUT-University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Arttu Toivanen

Re-design of telescopic frametrolley

Bachelor’s thesis

Year of completion of the thesis 2021

37 pages, 29 figures and 2 tables

Examiner: Kimmo Kerkkänen

Supervisor: Kimmo Kerkkänen

Keywords: machine desing, telescopictrolley

In this bachelor`s thesis a telescopictrolley is designed for the transfer and maintenance of frames of weaving machines that would replace the old trolley. When the frames of the weaving machines are heavy, the old trolley turned out to be too weak and dangerous. The old trolley bends due to large loads and placing the lifting boom used to lift the frames for carriage for transportation has proven to be dangerous.

The design work is implemented using a partially construction workflow model and taking into account manufacturing and assembly-friendly principles. The end result of this work is a 3D model from strong trolley with telescopic frame, which is well controlled from both ends and customizable.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty Valmet Technologies Oy:lle Juankosken tehtaalle. Haluan kiittää Valmetin tehdasta ja henkilökuntaa, että sain mahdollisuuden tehdä kandidaatintyön juuri heille sekä kiittää henkilökuntaa hyvästä ohjauksesta ja neuvomisesta työn suhteen. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaani Kimmo Kerkkästä sekä Valmetin työntekijänä toimivaa insinööriä Jyrki Kososta, joka auttoi minua työn suunnitteluun liittyvissä ongelmissa.

SISÄLLYSLUETTELO

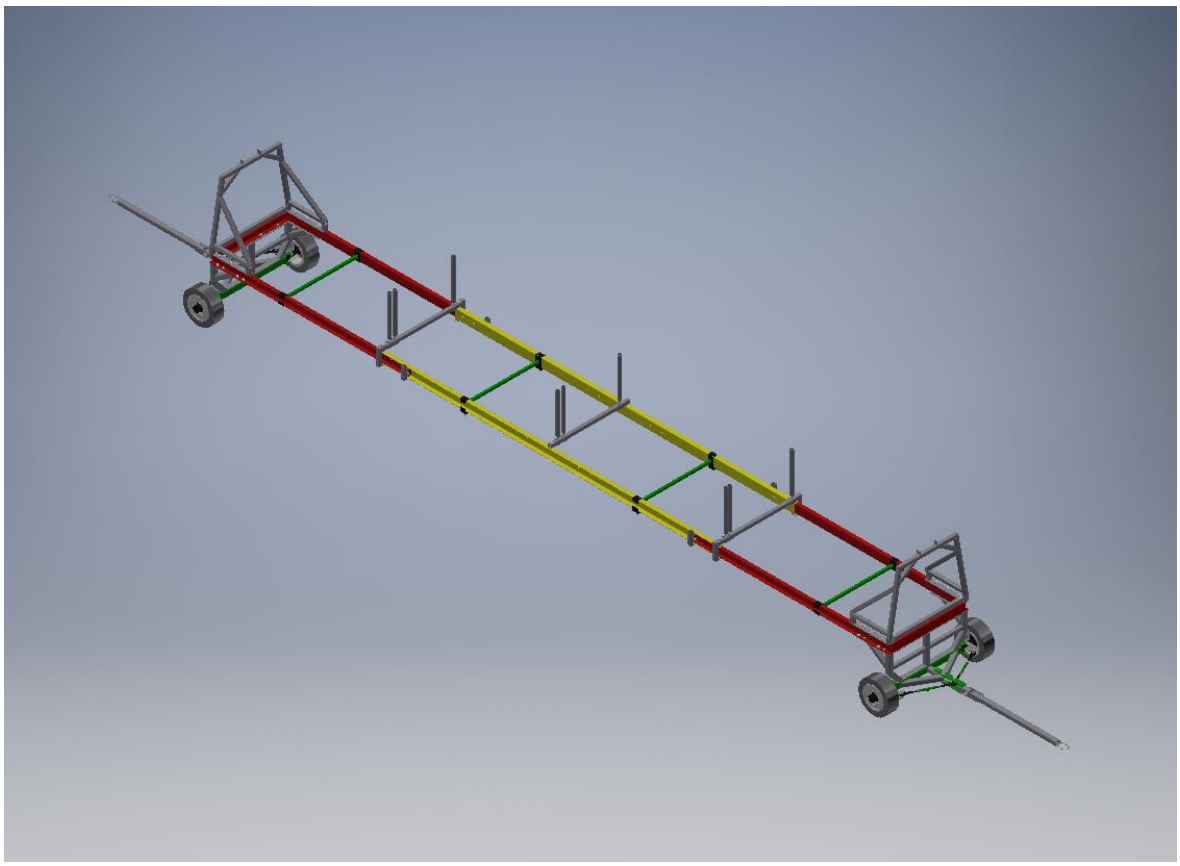
TIIVISTELMÄ **2**
ABSTRACT **3**
ALKUSANAT **4**
SISÄLLYSLUETTELO **5**
LYHENNELUETTELO **6**
1 JOHDANTO **7**
1.1 Ongelma, tavoitteet ja tutkimuskysymykset 7
1.2 Tutkimuksen rakenne 8
2 SUUNNITTELUUN VAADITTAVA TAUSTATUTKIMUS **9**
2.1 DFMA 9
2.2 Konstruoinnin työnkulkumalli 9
2.3 FEA 11
3 KEHIKKOKÄRRYN SUUNNITTELU JA MALLIN ANALYSOINTI **12**
3.1 Kehikkokärryn vaatimukset 12
3.2 Kuormitusten määrittäminen 13
3.3 Valmisosat 13
3.3.1 Pyöränapa 14
3.3.2 Renkaat ja vanteet 14
3.4 Kehikkokärryn suunnittelu 15
3.4.1 Teleskooppirunko 16
3.4.2 Pankot 20
3.4.3 Päätypankot 21
3.4.4 Päädyt 23
3.4.5 Ohjaus 24
3.5 FE-analysointi 27
3.5.1 Kuormitus päätypankoilla 28
3.5.2 Kuormitus päätypankoilla ja kärryn rungolla 31
4 TULOSTEN ANALYSOINTI **35**
5 YHTEENVETO **36**
LÄHTEET **37**

LYHENNELUETTELO

DFMA	Design for Manufacture and Assembly
FEA	Finite Element Analysis

1 JOHDANTO

Kehikoiden siirtoon ja huoltoon tarkoitetun kehikkokärryn uudelleensuunnittelulla voidaan saavuttaa monia hyötyjä ja etuja vanhaan kärryyn nähden. kehikkokärryn suunnittelulla pyritään saavuttamaan entistäkin parempaa työturvallisuutta ja helpottamaan kehikoiden huoltoon liittyviä toimenpiteitä sekä nopeuttamaan töitä. Kärryä tullaan käyttämään Valmet Oy:n tehtaalla Juankoskella niin sisällä kuin ulkonakin kutomakoneiden kehikoiden siirtämistä ja huoltamista varten. Siirto tapahtuu trukilla kärryä vetämällä ja joskus käsin liikuttelemalla. Kuvasta 1 käy ilmi suunnittelemamme teleskooppirunkoinen kärry.



Kuva 1. Teleskooppikärry

1.1 Ongelma, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Valmetin tehtaalle Juankoskelle oli mietitty vanhan kehikonsiirtokärryn korvaavaa kärryä. Varsinaisesti kehikkokärrien suunnitteluun ei löytynyt mitään tietoa, kuin käyttäjäkokemukset sekä vanhan kärryn toimintaperiaatteet eri töiden vaiheissa. Työssä

käytettiin hyväksi koneensuunnitteluun liittyviä tietolähteitä. Kandidaatintyössä ilmenneitä tutkimuskysymyksiä:

- Kuinka uusista kärreistä saadaan kestävämmät?
- Kuinka saadaan kärreistä paremmin liikuteltavat?
- Kuinka saadaan kärreistä helpommin säilytettävät?
- Voidaanko työergonomiaa ja turvallisuutta parantaa eri töiden vaiheissa?

Kandidaatintyön päätavoitteena oli suunnitella Valmetille toimivat kehikkokärryt huomioiden edellä mainitut kysymykset. Työssä käydään läpi erilaiset suunnitteluun liittyvät vaiheet, ongelmat ja saadut tulokset. Työtä ei tarvinnut rajata.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Kandidaatintyö on toteutettu suunnittelukatsauksena käyttäen lähteinä käyttäjäkokemuksia, käyttäjien toiveita, aiheeseen liittyviä kaupallisia lähteitä ja internettiä. Käyttäjäkokemukset sekä toiveet on saatu itse kehikkokärryn pääsääntöisiltä käyttäjiltä ja työnjohtajilta. Kehikkokärryn valmistukseen käytettävät materiaalit sekä tarvikkeet on saatu määritettyä kaupallisia lähteitä hyödyntäen. Suunnittelutyöhön liittyvien ongelmien ratkaisuihin on käytetty apuna internettiä ja kirjallisuutta.

Kandidaatintyön alussa käydään läpi yleisesti tutkinta menetelmiä, jonka jälkeen pohditaan uuden kärryn tarpeita. Seuraavaksi selvitetään, kuinka vanhaa kärryä voidaan hyödyntää uuden suunnittelussa esimerkiksi toimivaksi todettujen ratkaisujen tuominen uuteen kärryyn. Tämän jälkeen luodaan erilaisia malleja käsin piirtämällä.

Erilaisten käsipiirrosten ja ratkaisujen pohtimisen jälkeen aloitetaan itse suunnittelu tietokoneella ja erilaisten ratkaisujen testaaminen FE-analyysiä hyödyntäen. Valmiiksi saadun mallin jälkeen kysytään mielipiteitä työntekijöiltä ja jos heillä on jotain lisättävää tai parannettavaa, niin koitetaan toteuttaa se parhaalla mahdollisella tavalla.

2 SUUNNITTELUUN VAADITTAVA TAUSTATUTKIMUS

Työssä kerättiin mahdollisimman paljon taustatietoa ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Tällä tavoin varmistettiin suunnittelun etenevän oikeaan suuntaan. Työssä käytettiin osittain konstruoinnin työnkulkumallia.

Suunnittelu tehtiin siten, että vaadittavat tulokset ja käyttäjien kertomat parannukset saavutettaisiin. Jotta suunniteltava tuote olisi helppo valmistaa, keskityttiin suunnittelemaan osista ja erillisistä osakokoonpanoista valmistus- ja kokoonpanoystävällisiä. Tuotteen kestävyyttä tarkasteltiin lopuksi Autodesk Inventorin FEA:a käyttäen.

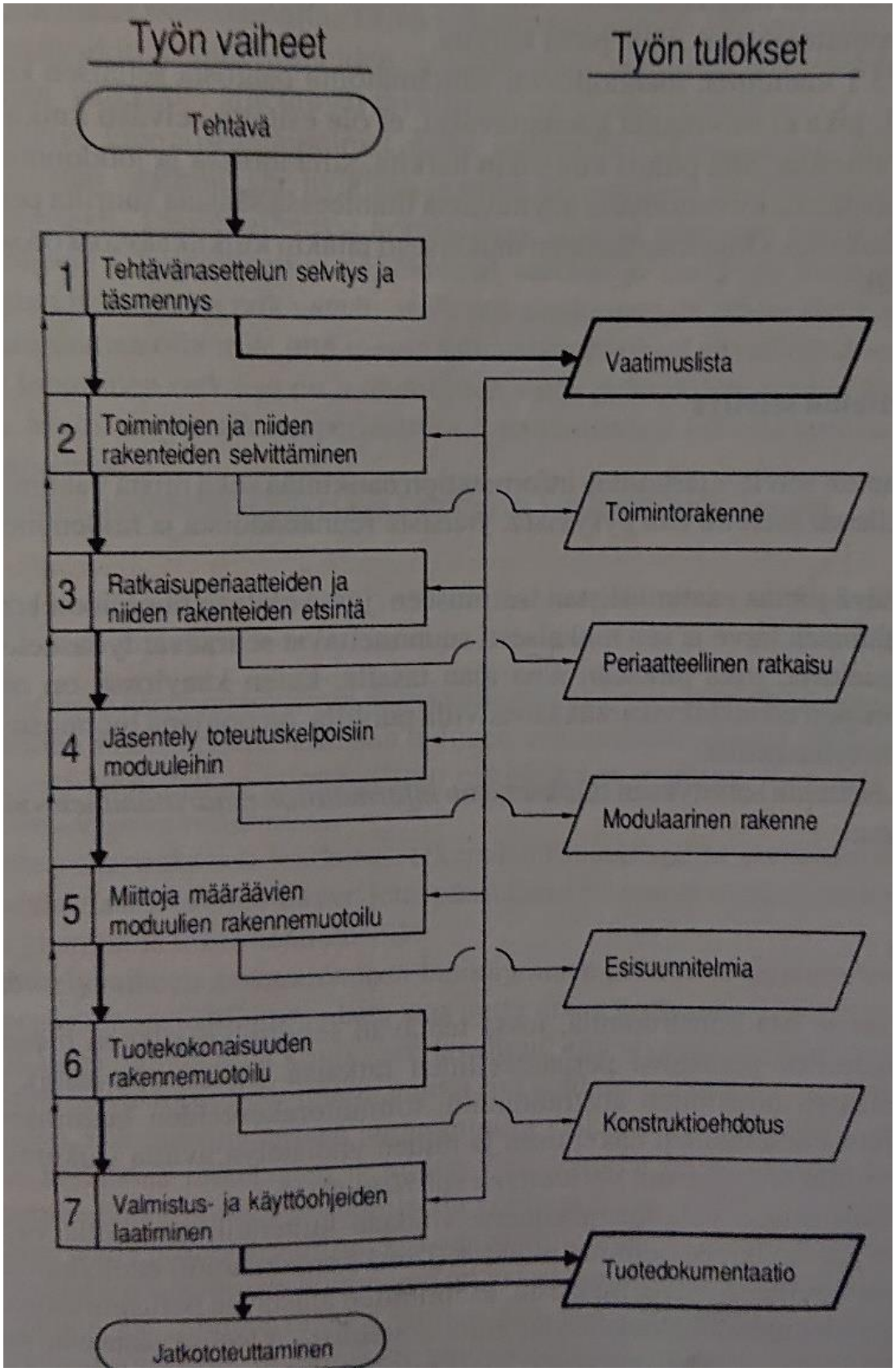
2.1 DFMA

DFMA on lyhenne sanoista ”Design for Manufacture and Assembly”, joka tarkoittaa valmistus- ja kokoonpanoystävällistä tuotesuunnittelua. Kun tuote suunnitellaan silmällä pitäen valmistus- ja kokoonpanoystävällistä tuotesuunnittelua, tuotteesta tulee helpommin valmistettava ja kokoonpantava toimiva kokonaisuus eikä se sisällä turhia osia vaan osien määrä on saatu minimoitua. (Eskelinen & Karsikas 2013, s. 7–11)

Tuote tulee suunnitella siten, että sen valmistus onnistuisi kokonaan Valmetin tiloissa poisluettuna valmisosat ja osat, joiden valmistus tulee halvemmaksi tai helpommaksi käyttämällä alihankkijaa. Tuotteen rakenteen tulisi olla mahdollisimman modulaarinen ja helposti muokattava.

2.2 Konstruoinnin työnkulkumalli

Työn suoralinjaisesta etenemisestä piti huolen oma suunnitelma, joka pohjautuu osittain VDI 2221 mukaiseen konstruoinnin työnkulkumalliin, joka esitetään kuvassa 2. Kyseinen työnkulkumalli on peräisin Pahl & Beitz:n (1990) teoksesta ”Koneensuunnitteluoppi”. Teoksessa mainitaan työnkulkumallin laaja käyttö erilaisissa koneensuunnittelun osa-alueissa. (Pahl & Beitz 1990, s. 47)



Kuva 2. Konstruoinnin työnkulkumalli (Pahl & Beitz 1990, s. 47)

2.3 FEA

FEA eli ”Finite element analysis” tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettua laskentaa. Tämä laskentatapa on numeerinen ratkaisumenetelmä ja sitä käytetään rakenteen kestävyyden tarkasteluun. (Vertex 2021).

FEA sovelluksia on monia, mutta työssä käytettiin Autodesk Inventoria ja sen sisältämää ”Stress Analysis” lisäosaa. Sitä käyttämällä voidaan selvittää rakenteen kestävyys. Inventor tekee monimutkaiseen rakenteeseenkin elementtiverkotuksen ja laskee muodostuneiden elementtien avulla vaadittavat tulokset, kuten esimerkiksi normaali-, puristus-, ja vetojännityksen sekä varmuuskertoimen ja pystysiirtymät käyttämällä laskentoihin tarvittavia yhtälöitä ja ratkaisumenetelmiä. Ennen laskennan aloittamista on kuitenkin määritettävä reunaehdot, materiaalit sekä kuormitukset. (The CAD setter out 2021)

3 KEHIKKOKÄRRYN SUUNNITTELU JA MALLIN ANALYSOINTI

Kehikkokärryn suunnittelu aloitettiin selvittämällä vanhan kärryn puutteet ja edut, joita voitaisiin hyödyntää uudessa kärryssä. Seuraavaksi selvitimme uuteen kärryyn kohdistuvat vaatimukset sekä siihen kohdistuvat kuormitukset. Seuraavaksi aloitettiin kärryn eriosien suunnittelu ja etsittiin sopivat valmiiksi saatavat osat siihen.

3.1 Kehikkokärryn vaatimukset

Vaatimusten listauksessa käytettiin apuna ”Koneensuunnitteluoppi”-teoksen mallia. (Pahl & Beitz 1990, s. 68–69) Listan sisältö tehtiin yhteistyössä yrityksen työntekijöiden kanssa. Vaatimuslista saatiin laadittua selvittämällä käyttäjien kokemukset vanhasta kehikkokärrystä sekä toiveet uuden kehikkokärryn ominaisuuksista. Lopuksi toiveita tarkasteltiin ja päätettiin mitkä niistä ovat tarpeellisia.

Työntekijöiden eriävät mielipiteet loivat oman haasteellisuutensa suunnitteluun. Kehikkokärryn toimintaan ja käyttöön liittyvien toimintatapojen muuttumisen ennustaminen lisäsi haasteellisuutta ennestään, koska täytyi ottaa huomioon sen muokattavuus.

Kehikkokärrystä tulisi suunnitella mahdollisimman kestävät, paremmin liikuteltavat, helpommin säilytettävät ja kaiken tämän lisäksi työergonomian on oltava hyvä. Vanhaan kehikkokärryyn nähden moni asia suunniteltiin uudestaan, mutta kuitenkin hyväksi todetut asiat saatiin uuteen kärriin. (Kysely 2020)

Kehikkokärryn suunnittelun monimutkaisti se, että uudessa kärryssä akseliväli olisi oltava 12 m sekä rungon oltava teleskooppinen. Kärryn käyttötarkoituksen mukaan kuorman kestoksi määritettiin noin 3700 kg ja kyseinen kuorma kestettävä varmuuskertoimella 2. Kärryn vaatimuksiin kuului myös molemmista päistä ohjattavuus sekä toiminta niin sisällä kuin ulkonakin. (Kysely 2020)

Taulukko 1. Vaatimuslista

Päätunnus	V/T (vaatimus/toive)	Vaatimukset
Geometria	V	Helposti säilytettävä
	T	Teleskooppirunko
	T	2 tai 3 akselia
	T	Isommat pyörät
Turvallisuus	V	Kestävämpi kuin vanha kärry
	V	Nostopuomi mahdollista kiinnittää
Valmistus	T	Kärryn modulaarisuus
	V	Valmistettavissa omissa tiloissa
Käyttö	V	Helposti siirrettävä
	V	Molemmista päistä ohjattavuus
Kunnossapito	V	Huollettavuus

3.2 Kuormitusten määrittäminen

Kehikkokärryn kohdistuvien kuormitusten määrittämisessä käytettiin kahdesta eri kuormitustilanteesta aiheuttavaa kuormitusta, jotka muodostuivat kehikoiden maksimi massasta 2500 kg ja nostopuomin 1200 kg massasta. Käytettävät kuormitustilanteet olivat seuraavanlaiset:

- 1200 kg ja 2500 kg kuormaa käyttäen siten, että puomi on kärryn päällä ja kehikot makaavat kärryssä
- 1200 kg ja 2500 kg yhteiskuormaa käyttäen siten, että kehikot ovat nostopalkin varassa, joka puolestaan on kärryn päällä päätypankkojen varassa

3.3 Valmisosat

Kehikkokärryn valmistuksessa pyrittiin löytämään joitakin osia tai osan kokoonpanoja jo valmiina ratkaisuina. Valmisosien käyttäminen oli haastavaa, koska kehikkokärryjen suunnittelu tapahtui pääosin itse ja valmista materiaalia oli hyvin vähän käytettävissä. Kuitenkin valmiiksi pystyttiin löytämään pyörännapa, renkaat ja vanteet.

3.3.1 Pyörännapa

Pyörän napojen valintaan vaikutti kestävyys, kiinnitys vanteeseen, akselin paksuus sekä hankintahinta. Käytettäväksi pyörännavaksi valikoitui eräältä tavarantoimittajalta saatava 60 mm paksuisella akselilla varustetta 6 pulttinen pyörännapa, joka esitetään kuvassa 3.

Kuva 3. Pyörännapa (IKH 2021)

3.3.2 Renkaat ja vanteet

Renkaiden ja vanteiden valintaan vaikutti molempien suurin kuormankestävyys, sopivuus valikoituun napaan, renkaiden tuli olla tahraamaton, koska tuotantotilojen lattioihin ei saanut jäädä jälkiä. Lisäksi valintaan vaikutti renkaiden koko, jotta ne kulkevat moitteitta myös hallirakennuksen ulkopuolella. Renkaiden ja vanteiden valinnassa päädyttiin käyttämään kuvissa 4 ja 5 tapaisia trukin renkaita ja vanteita, mutta lopulliset mallit jäivät vielä mietintään

Kuva 4. Trukin tahraamaton rengas (Ultralink 2021a)

Kuva 5. Trukin vanne (Ultralink 2021b)

3.4 Kehikkokärryn suunnittelu

Varsinainen suunnittelutyö toteutettiin Autodesk Inventor sovellusta käyttäen. Osien suunnittelussa otettiin huomioon osien valmistus, modulaarisuus, kokoonpantavuus ja valmistettavien osien sekä osakokoonpanojen tuli olla valmistettavissa Valmetin omissa tiloissa. Erilaisia 3D-malleja tuli varsin paljon, koska suunnittelun aikana tuli ilmi uusia ideoita ja parannuksia.

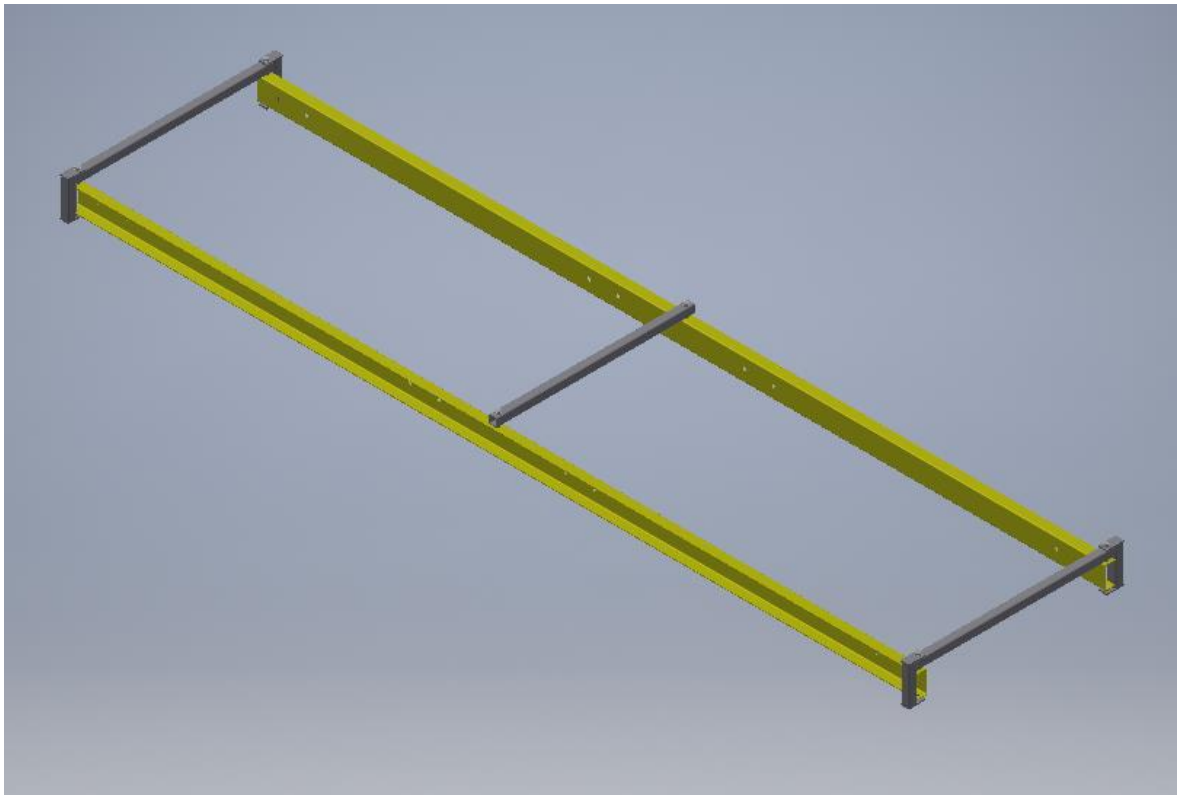
3.4.1 Teleskooppirunko

Teleskooppirungon tehtävänä on pitää kehikkokärry kasassa ja yhtenäisenä kuormitustilanteesta riippumatta. Vanhaan kärryyn nähden teleskooppirungon on oltava tarpeeksi pitkä, jämäkkä ja myös säilytystä varten saatava mahdollisimman pieneen tilaan. Vanhassa kärryssä teleskooppinen runko on toteutettu ympyräputkea käyttämällä, joka on todettu huonoksi ratkaisuksi huonon muokattavuuden vuoksi. Rungon pystysiirtymien on oltava mahdollisimman vähäiset uudessa kärryssä ja siihen on oltava mahdollista lisätä erilaisia lisäosia myös tulevaisuudessa. Teleskooppirunko tulee olla valmistettavissa Valmetin tiloissa.

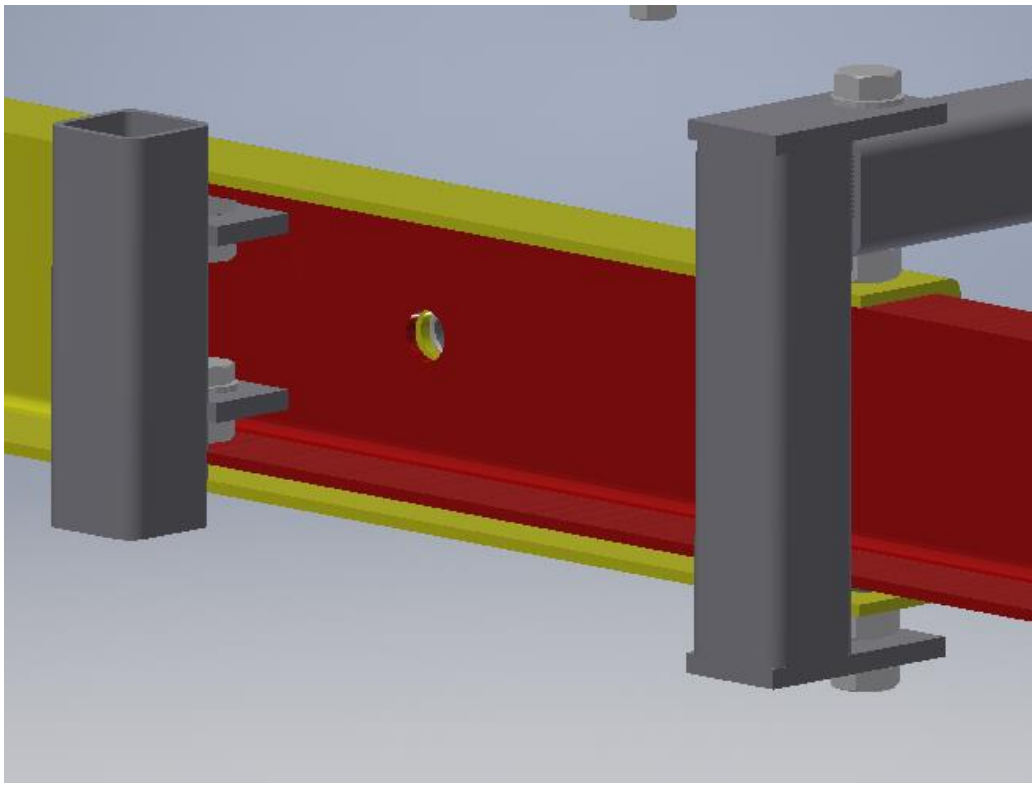
Teleskooppirungon suunnitellussa lähdettiin aluksi miettimään sopivaa profiilia, jonka avulla runko voisi olla teleskooppinen, kestävä ja samalla muunneltavissa oleva. Päädyttiin käyttämään kylmämuovattuja U-profiileja. Näistä profiileista suunniteltiin keskirunko ja päätyrungot.

Keskirunkoon tuli suurempi U-Profiili, jonka mitat ovat seuraavat: leveys on 70 mm, korkeus 160 mm ja seinämä 6 mm. Keskirunko valmistettiin niin sanotusti erillisenä osana, koska keskirunko sisälsi vain kaksi 6000 mm pitkää U-profiilia kuvan 6 mukaisesti. Keskirungon leveys 1400 mm. Tarvittaviin kohtiin suunniteltiin koneistettavaksi reiät.

Keskirungon tukemiseksi päädyttiin käyttämään kolmea kuvassa 6 harmaalla esitettyä 1400 mm pitkää 60x60x5 neliöputkipalkkia, jotka toimivat samalla myös kehikoiden tukemisessa. Neliöputkipalkit liitettiin keskirunkoon erikseen samasta 60x60x5 profiilista ja 60x3 lattaraudasta suunniteltujen ja hitsaamalla koottavien stopparien avulla kuvan 7 mukaisesti. Stopparien päätehtävänä on estää teleskooppirungonrungon liian suuri liike vaaratilanteiden estämiseksi. Rungon ja kehikoiden tukemiseen käytettävät neliöputkipalkit sekä päiden stopparit suunniteltiin runkoon pultattavaksi, mutta mutterit hitsataan runkoon kiinni kuvan 7 mukaisesti.



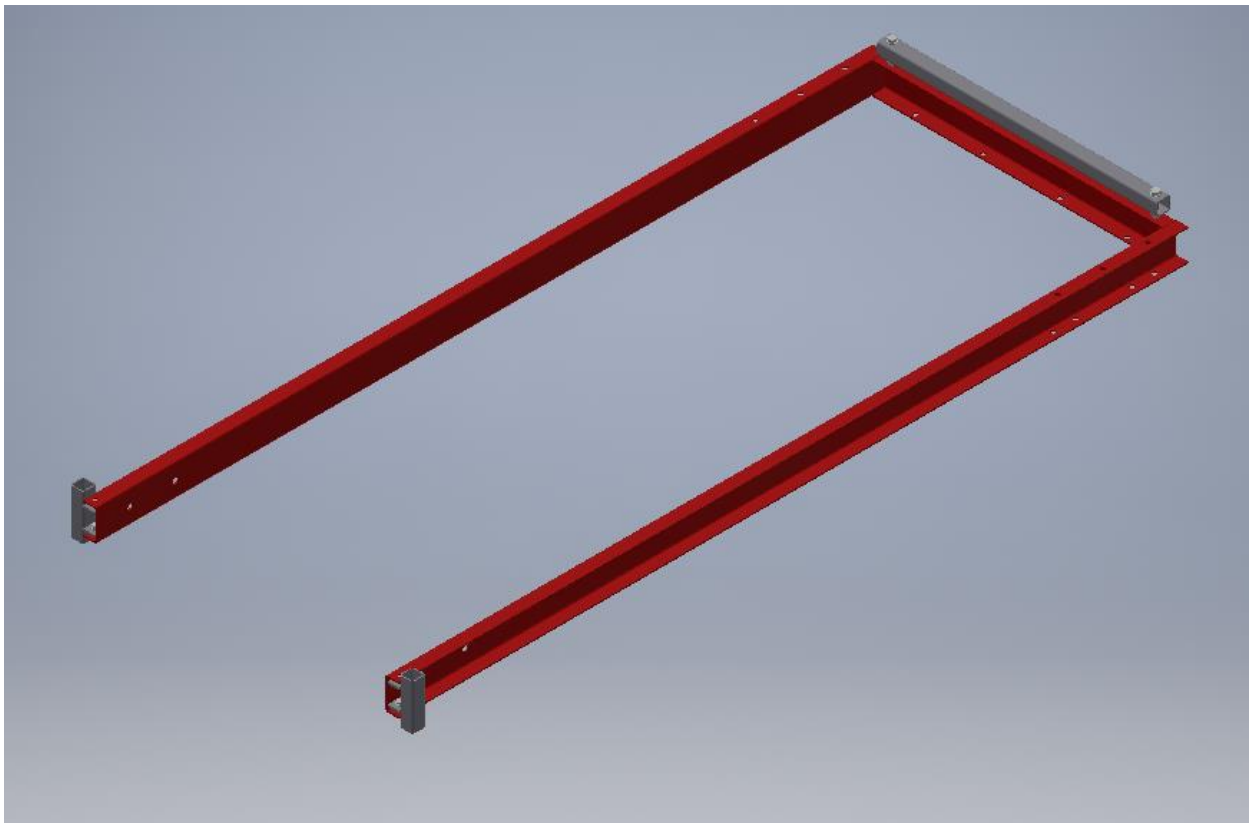
Kuva 6. Keskirunko, jossa stopparit sekä rungon ja kehikoiden tuentaan käytettävät neliöputkipalkit



Kuva 7. Päätyrungon stoppari vasemmalla sekä keskirungon stoppari oikealla.

Päätyrungot suunniteltiin samanlaisiksi ja niiden tehtävänä on työntyä keskirungon sisään. Päätyrunkoihin valittiin kooltaan pienempi U-profiili, jonka mitat ovat seuraavat: leveys 60 mm, korkeus 140 mm ja seinämä 6 mm. Päätyrungon suurin pituus on 3500 mm ja suurin leveys 1400 mm. Päätyrunkoihin koneistetaan tarvittaviin kohtiin reiät. U-profiilit hitsataan toisiinsa kiinni. Kuvassa 8 esitettyä päätyrunkomallia valmistetaan 2kpl.

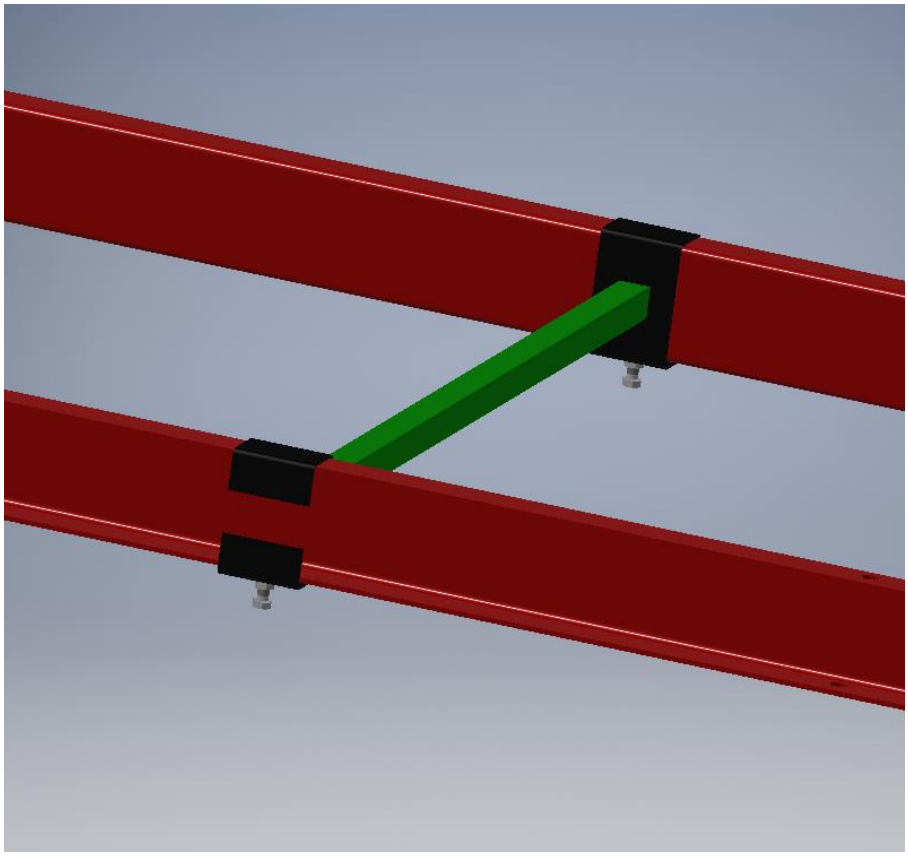
Kuvassa 8 näkyy harmaat päätyrunkojen umpinaisiin päätyihin suunnitellut 1240 mm pitkät 60x60x5 neliöputkipalkit kehikoiden tukemiseen. Toiseen päähän suunniteltiin kuvan 7 mukaisesti samasta 60x60x5 profiilista ja 60x3 lattaraudasta hitsaamalla koottavat stopparit estämään teleskooppirungon liian suuren liikkeen vaaratilanteiden estämiseksi. Kehikoiden tukemiseen käytettävät putkipalkit sekä päätyjen stopparit suunniteltiin runkoon pultattavaksi, mutta mutterit hitsataan runkoon kiinni.



Kuva 8. Päätyrunko, jossa stopparit ja kehikoiden tuentaan käytettävä neliöputkipalkki

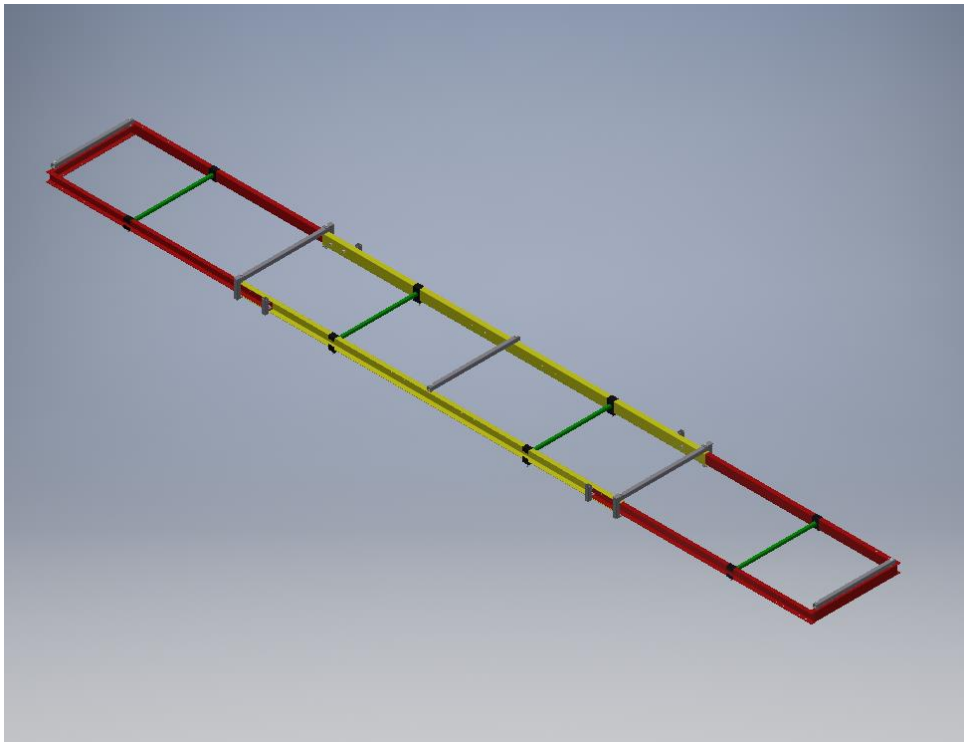
Keskirunkoon sekä pääturunkoihin tulee vielä lisäksi kuvassa 9 esitetyt vihreät liikuteltavat lisätuet, jotka lukitaan altapäin puristinpultin avulla. Lisätukien tangot valmistetaan 40x40x3 neliöputkipalkista ja päädyt tehdään laserleikkaamalla sekä taivuttamalla 3 mm vahvuisesta

teräslevystä. Laserleikkaus ja taivutus toteutetaan käyttämällä alihankkijaa. Lopuksi osat liitetään yhteen hitsaamalla.



Kuva 9. Liikuteltavat lisätuet

Teleskooppirungon kasaus suunniteltiin tapahtuvan siten, että päätyrungot työnnetään keskirungon sisään liikuteltavien lisätukien ollessa paikoillaan. Seuraavaksi liitetään stopparit sekä tuennat. Kuvassa 8 olevan päätyrungon avoimessa päädyssä U-profiilin pystysivulla on kaksi reikää, joiden avulla teleskooppirunko lukitaan pulttiliitoksella säilytyspituuteen tai käyttöpituuteen kuvassa 6 olevan keskirungon U-profiilin pystysivulla olevien reikien avulla. Teleskooppirunko kokonaisuudessaan kasattuna esitetään kuvassa 10.



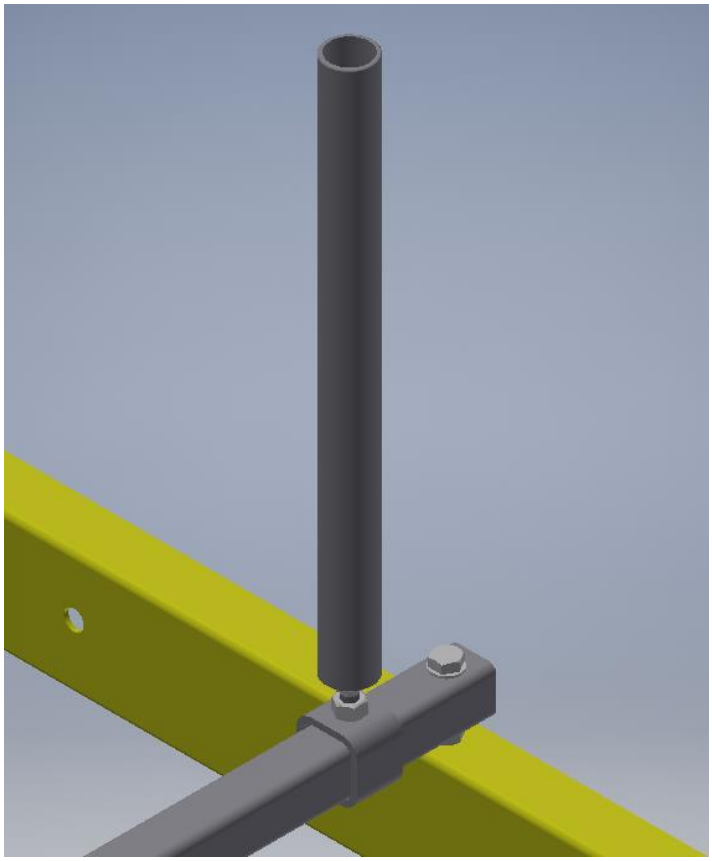
Kuva 10. Teleskooppirunko

3.4.2 Pankot

Pankkojen tehtävänä on pitää kärryyn tulevat kehikot järjestyksessä. Vanhaan kärryyn nähden pankkojen tulee olla mahdollisimman helposti liikuteltavat ja niiden paikkoja on pystyttävä vaihtamaan, jotta esimerkiksi kehikoiden pesu onnistuu ongelmitta. Pankot tulee olla valmistettavissa Valmetin tiloissa.

Pankot suunniteltiin käyttämällä 80x80x8 neliöputkipalkkia ja 60,3x5 ympyräputkipalkkia. Neliöputkipalkista leikataan 60 mm pitkä palanen ja siihen koneistetaan reikä, jonka jälkeen reiän kohtaan hitsataan mutteri. Ympyräputkipalkista leikataan 700 mm pitkä pätkä, jonka toinen pää tukitaan aluslevyn avulla, johon on hitsattu pultti.

Neliöputkipalkki työnnetään kehikoiden tukemiseen tarkoitetun 60x60x5 neliöputkipalkin päälle. Tämän jälkeen ympyräputkipalkki kierretään neliöputkipalkin mutteriin kiinni ja samalla panko sijainti 60x60x5 neliöputkipalkissa voidaan lukita kuvan 11 mukaisesti.



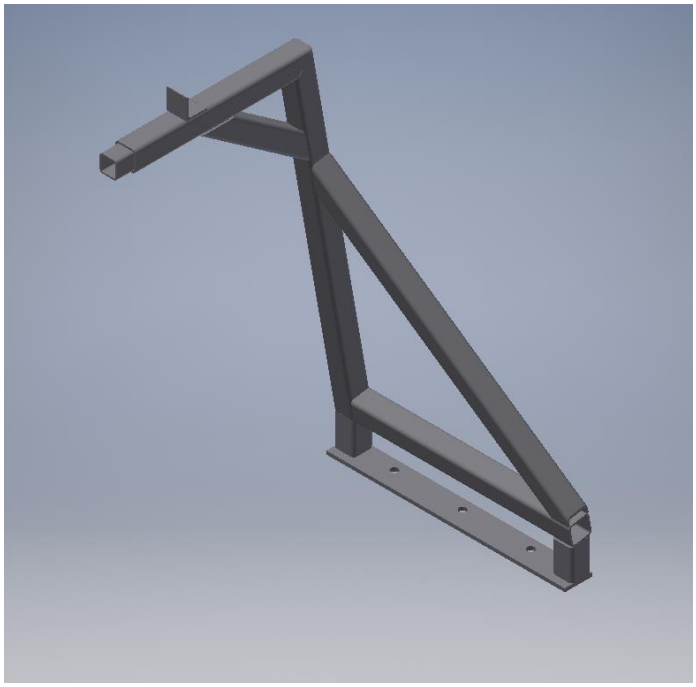
Kuva 11. Pankko

3.4.3 Päätypankot

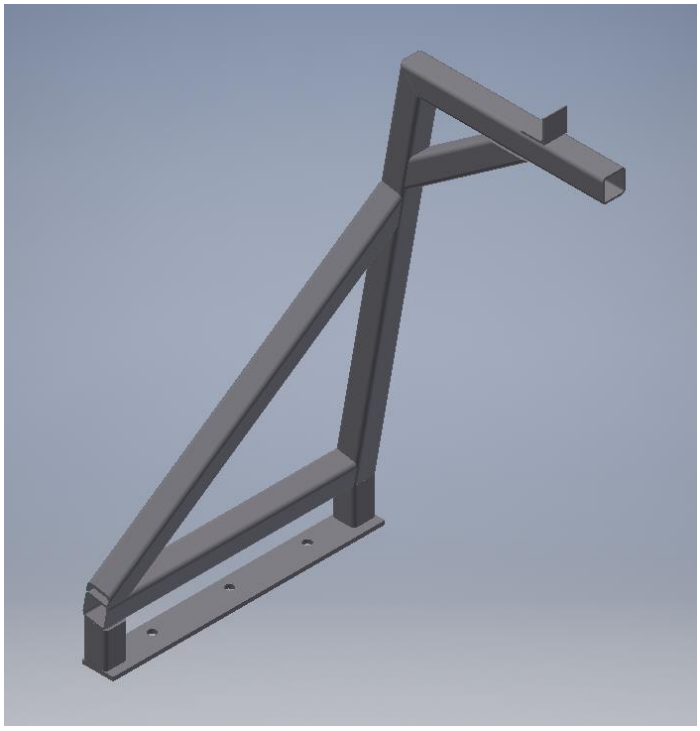
Päätypankkojen tehtävänä on kannatella kehikoiden nostoon käytettävää nostopuomia ja samalla myös tukea kehikoita. Vanhaan kärryyn nähden muutosta tulee paljon, koska vanhan kärryn pankot olivat todella huterat ja niiden kiinnitys oli miltei olematon. Uuden kärryn pankkojen on oltava irrotettavat ja sellaiset, että kehikot voidaan laskea kärriin ensin, jonka jälkeen päätypankot laitetaan paikalleen ja niiden päälle voidaan laskea nostopuomi. Päätypankot tulee olla valmistettavissa Valmetin tiloissa.

Päätypankot suunniteltiin käyttämällä 60x60x5 sekä 50x50x4 neliöputkipalkkeja, 80x10 lattarautaa ja 60x60x5 kulmarautaa. Päätypankot ovat muuten samanlaiset, mutta toiseen pankkoon hitsataan päähän kuvan 12 mukaisesti 100 mm pitkä 50x50x4 putkipalkki. Tämä hitsattu pätkä mahdollistaa kuvassa 12 esitetyn sisäkkäisenpäätypankon kohdistamisen kuvassa 13 olevaan ulommaiseen päätypankkoon kuvassa 14 esitetyllä tavalla. Päätypankkojen ylhäällä olevien lattarautojen tehtävän on estää pankkojen päälle tulevan

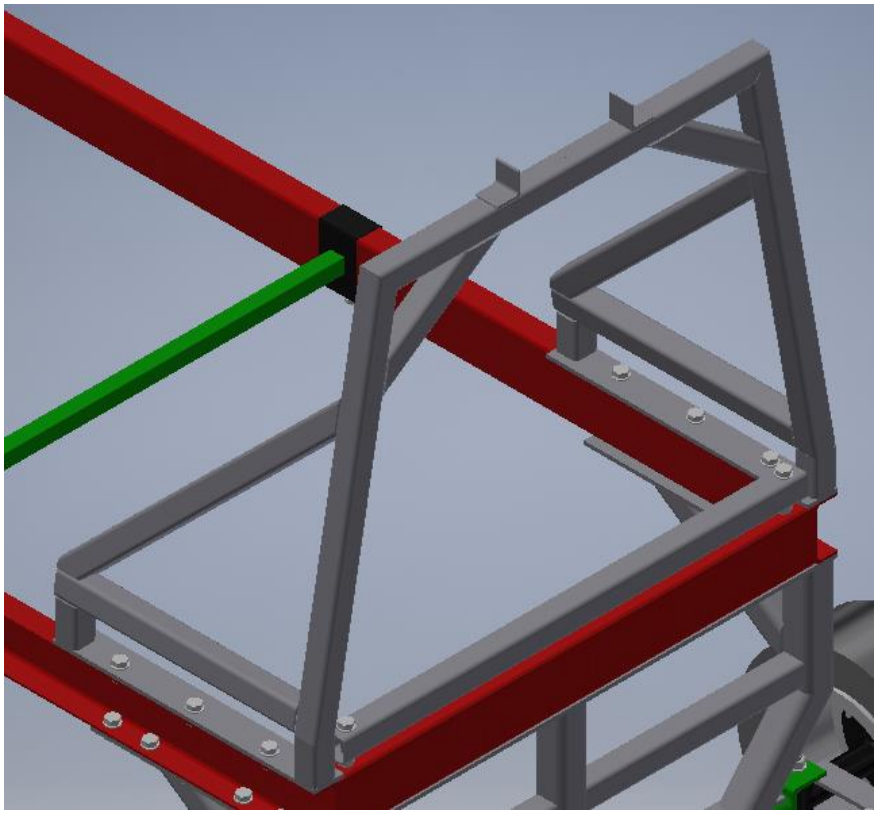
nostopuomin turhat liikkeet. Päätypankot liitetään kärrynrunkoon pulttiliitoksella, jota varten alhaalla olevaan 80x10 lattarautaan koneistetaan reiät. Osat kasataan hitsaamalla.



Kuva 12. Sisäkkäinen päätypankko



Kuva 13. Ulommainen päätypankko

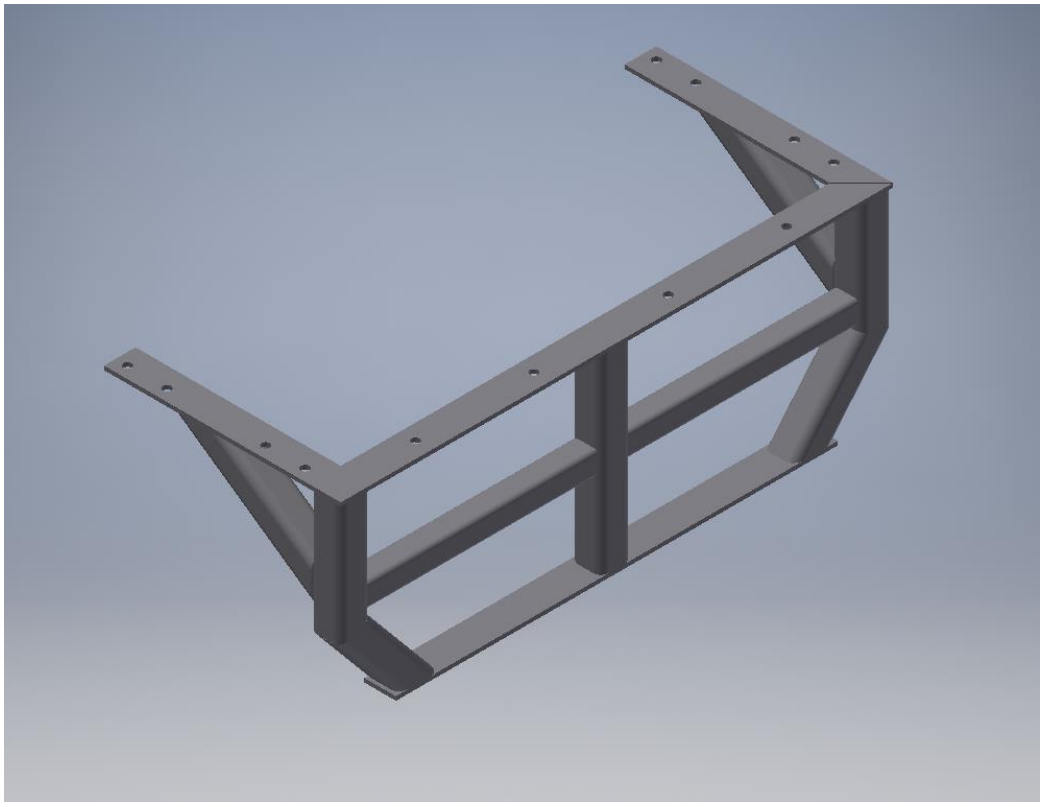


Kuva 14. Päätypankot paikallaan

3.4.4 Päädyt

Päätyjen tehtävän on liittää teleskooppirunko ohjaukseen ja kantaa teleskooppirunkoon kohdistuvat kuormitukset. Päädyt suunnitellaan erillisiksi osiksi teleskooppirungosta. Päätyjen tulee olla mahdollisimman kestävät mutta samalla myös pienet, jotta koko rakennelman säilytyspituus ei kasva liian suureksi. Päädyt tulee olla valmistettavissa Valmetin tiloissa.

Päädyt suunniteltiin käyttämällä seuraavanlaisia teräsprofiileja: 80x80x8 neliöputkipalkki, 60x60x5 neliöputkipalkki sekä 80x10 lattarauta. Päätyjen suurimman kuorman ottavat osat suunniteltiin 80x80x8 putkesta ja niiden väliin lisättiin lisätueksi 60x60x5 putkesta valmistettavat vaakatuet. Sivuilla olevat 80x80x8 putket suunniteltiin liitettäväksi 140 asteen kulmaan, jotta renkaat mahtuvat kääntymään ongelmitta. Ylä- sekä alapäähän suunniteltiin 80x10 lattaraudat ja yläpäähän koneistetaan reiät päätyjen kiinnittämiseksi teleskooppirunkoon pulttiliitoksen avulla. Osat kasataan hitsaamalla. Valmis kokoonpano esitetään kuvassa 15.

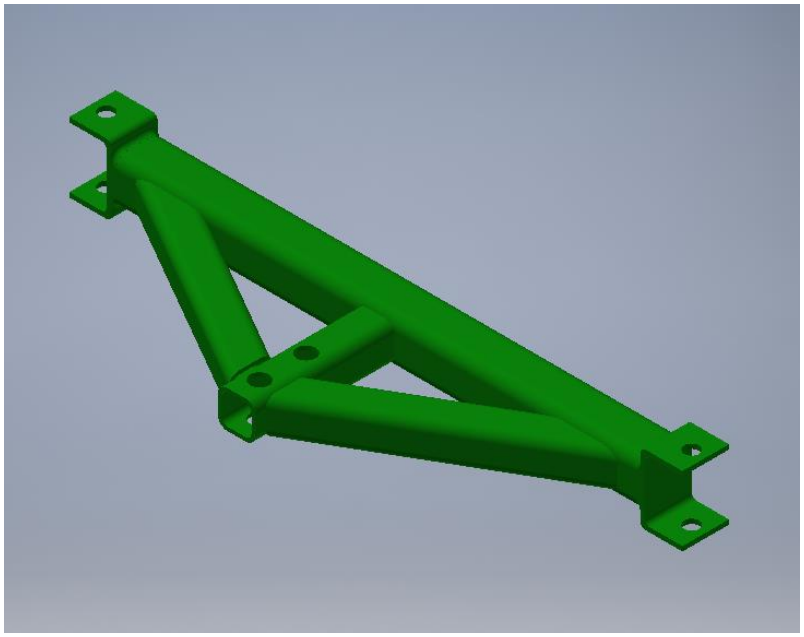


Kuva 15. Pääty

3.4.5 Ohjaus

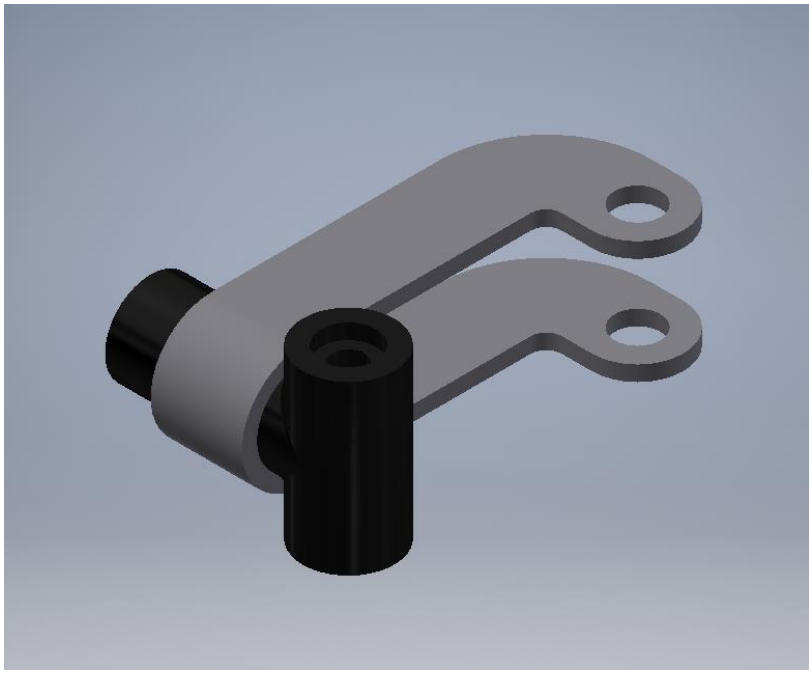
Ohjauksen tehtävänä on mahdollistaa kehikkokärryn ohjaus niin sisä- kuin ulkotiloissa. Uudessa kärryssä ohjauksen tulee toimia kehikkokärryn molemmissa päissä. Ohjauksen suunnittelussa otettiin osittain mallia vanhasta kärrystä, jossa ohjaus oli tosin vain toisessa päässä. Koska uudessa kärryssä ohjaus on samanlainen molemmissa päissä, ei ohjaukseen tarvinnut suunnitella kuin yksi kokoonpano. Ohjaus tulee olla valmistettavissa Valmetin tiloissa.

Ohjauksen suunnittelu aloitettiin suunnittelemalla ensin runko, johon eri osat liitetään hitsaamalla tai pulttaamalla. Ensin suunniteltiin akseli käyttämällä 100x100x10 neliputkipalkkia. Putkipalkkiin suunniteltiin hitsattavaksi päätyihin 100x10 lattaradasta tehdyt päädyt. Päätyihin koneistetaan reiät olkatappien kiinnitystä varten. Akseliin hitsataan 80x80x8 neliöputkipalkista tuleva kolmionmallinen uloke, jonka keskimmäiseen palkkiin koneistetaan kaksi reikää. Toinen rei’istä mahdollistaa aisan kääntämisen ja toinen mahdollistaa kääntymisen lukituksen tapin avulla, jos kärryä ohjataan vain toisesta päästä. Valmis kokoonpano esitellään kuvassa 16.



Kuva 16. Ohjaksen runko

Olkatapit valmistetaan käyttämällä 60 mm terästankoa hitsaamalla ja koneistamalla sitä kuvassa 17 esitetyllä tavalla. Kuvassa 17 on myös olkatappeihin hitsaamalla kiinnitetyt teräslevystä laserleikkaamalla ja taivuttamalla alihankkijalla valmistetut raidetankojen kiinnitykset.



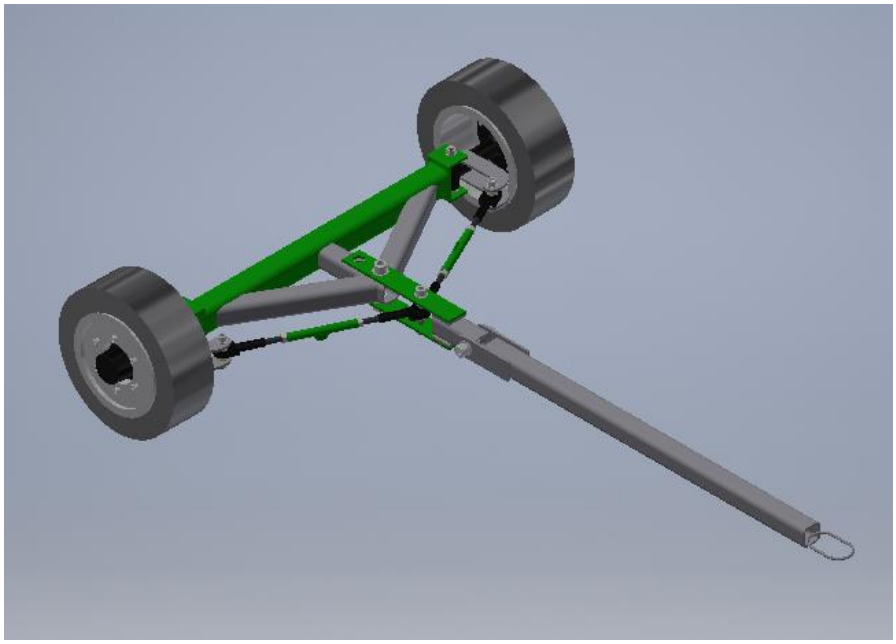
Kuva 17. Olkatappi ja raidetangon kiinnitys

Olkatappeihin tulee kiinni pulttiliitoksella raidetangot. Raidetangot valmistetaan leikkaamalla ja koneistamalla 30 mm paksua terästankoa. Päissä oleviin tankoihin hitsataan M20 kierretangon pätkä sekä valmistetaan 60 mm leveät ja 15 mm paksut korvakkeet kiinnitystä varten. Keskimmäinen tanko valmistetaan samaisesta tangosta, mutta siihen koneistetaan molempiin päihin eri suuntaiset M20 kierteet, jotka mahdollistavat raidetangon säätämisen keskimmäistä tankoa pyörittämällä. Valmis raidetanko sisä- ja ulkopäineen esitetään kuvassa 18.

Kuva 18. Raidetanko

Raidetangot kiinnittyvät pulttiliitoksella 80x10 lattaraudasta ja 80x80x8 neliöputkipalkista valmistettuun aisankiinnitykseen kuvan 19 mukaisesti. Aisankiinnityksen liitetään pulttiliitoksen avulla kuvassa 19 oleva 80x80x8 neliöputkipalkista valmistettu aisa, jonka päässä on vetosilmukka.

Ohjauksen kevyen ja kestävän toiminnan varmistamiseksi olkatappien, raidetankojen ja aisankiinnityksen sekä akselin kiinnityksen pulttiliitoksiin suunniteltiin helposti valmistettavat holkit. Holkit valmistetaan POM muovista, joka on helposti työstettävää, sen lastuavuus on hyvä ja liukuominaisuudet hyvät. Holkit valmistetaan Valmetilla itse sorvaamalla ja uusien vaihtaminen väljien tilalle suunniteltiin vaivattomaksi.



Kuva 19. Ohjaus

3.5 FE-analysointi

Mallinnusten valmistumisen jälkeen teimme koko mallille FE-analyysin käyttämällä Inventorin omaa ”Stress analysis” lisäosaa, jonka avulla selvitimme taulukossa 2 mainitut arvot. Tekemämme analyysi ei ole tarkin mahdollinen, koska kokoonpano on iso ja sisältää erikokoisia osia. Analyysin luotettavan tuloksen saamiseksi käytimme laskennassa kuitenkin kahta iteraatiokertaa lisäämään tarkkuutta. Analyyseissä käytettiin määritettyjä kuormituksia ja otettiin huomioon kärryn omasta massasta aiheutuvat kuormitukset. Teräsrakenteiden materiaalina käytettiin S355, joten myötölujuus oli 355 MPa. Kaikkien pulttien, muttereiden sekä aluslevyjen kohdalla laatuluokka oli 8.8 eli myötölujuus oli 640 MPa. Taulukkoon 2 on listattu saadut tulokset.

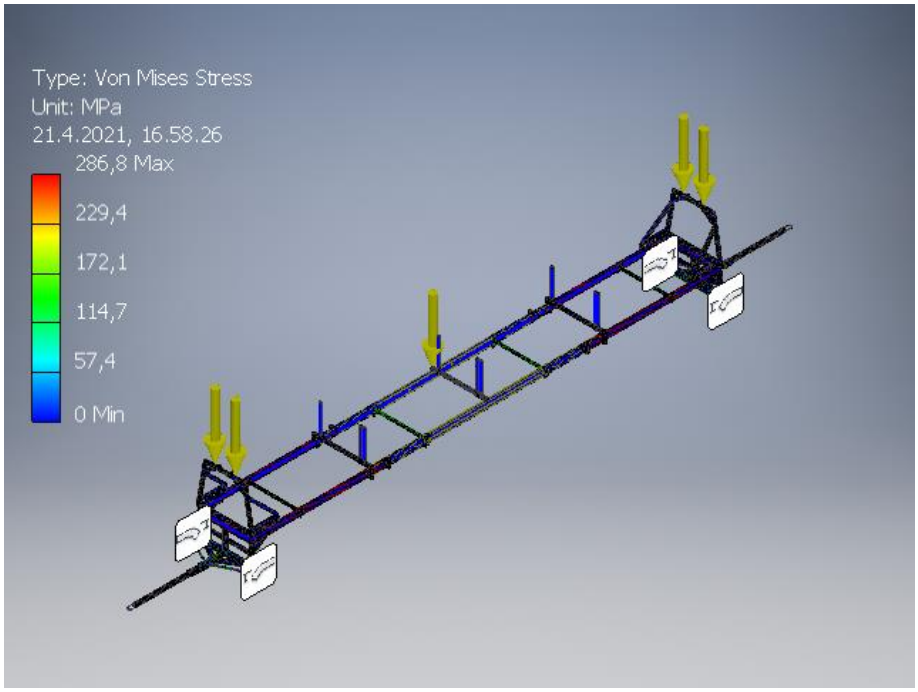
Taulukko 2. FE-analyysi tulokset

	Kehikot kärryllä ja puomi päätypankoilla	Kehikot puomin varassa, joka on päätypankoilla
Kuormitus (N)	24525N+11772N	36297N
Suurin normaalijännitys (MPa)	288,8 MPa	286,8 MPa
Suurin vetojännitys (MPa)	218,3 MPa	392 MPa
Suurin puristusjännitys (MPa)	51,9 MPa	110,7 MPa
Suurin siirtymät (mm)	23,73 mm	4,654 mm
Varmuuskerroin	2,39	2,22

3.5.1 Kuormitus päätypankoilla

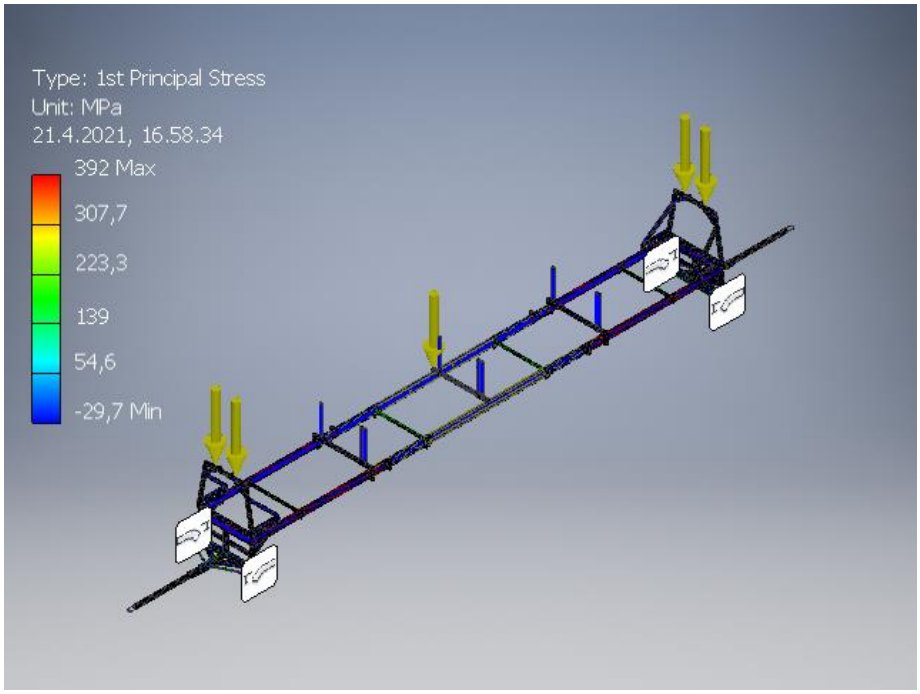
Kuormitusten ollessa päätypankoilla työssä käytettiin kuormituksena 1200 kg+ 2500 kg= 3700 kg kuormaa. Kuvassa 20–24 esitetään kuormitusten jakautuminen keltaisilla nuolilla ja reunaehdot valkeilla merkeillä.

Suurimmaksi normaalijännitykseksi saatiin kuvassa 20 esitetyllä tavalla 286,8 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn ohjauksessa olevien olkatappien pulttiliitoksissa. Pulttiliitoksissa on epäjatkuvuuskohta, mistä tämä jännityshuippu johtuu.



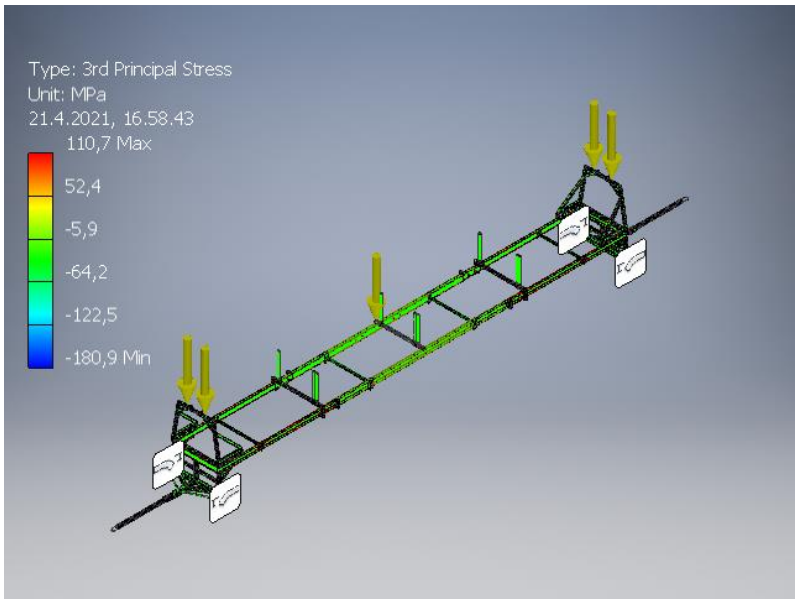
Kuva 20. Suurin jännitys kuormitusten ollessa päätypankoilla

Suurimmaksi vetojännitykseksi saatiin kuvassa 21 esitetyllä tavalla 392 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn ohjauksessa olevien olkatappien pulttiliitoksissa. Pulttiliitoksissa on epäjatkuvuuskohta, mistä tämä jännityshuippu johtuu.



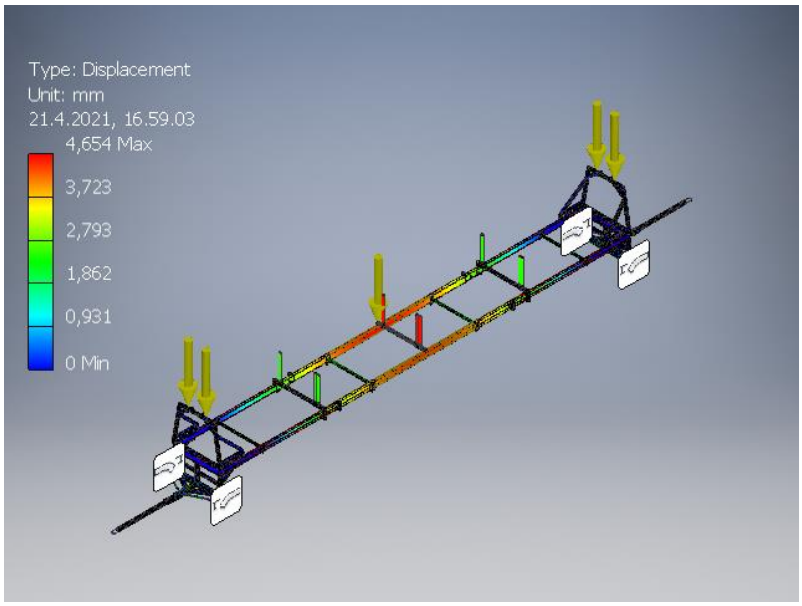
Kuva 21. Suurin vetojännitys kuormitusten ollessa päätypankoilla

Suurimmaksi puristusjännitykseksi saatiin kuvassa 22 esitetyllä tavalla 110,7 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn ohjauksessa olevien olkatappien pulttiliitoksissa. Pulttiliitoksissa on epäjatkuvuuskohta, mistä tämä jännityshuippu johtuu.



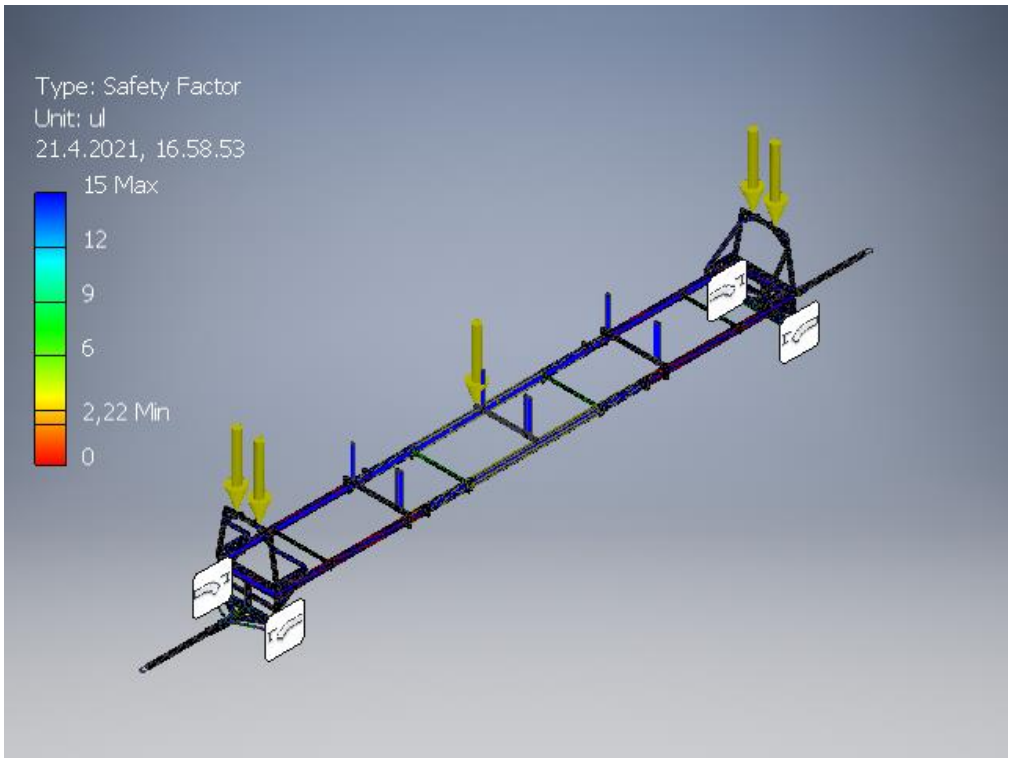
Kuva 22. Suurin puristusjännitys kuormitusten ollessa päätypankoilla

Suurimmaksi siirtymäksi saatiin kuvassa 23 esitetyllä tavalla 4,654 mm. Suurin siirtymä sijaitsee kärryn keskiosassa missä kärryn runko taipuu eniten.



Kuva 23. Suurin pystysiirtymä kuormitusten ollessa päätypankoilla

Pienimmäksi varmuuskertoimeksi saatiin kuvassa 24 esitetyllä tavalla 2.22. Pienin varmuuskerroin sijaitsee kärryn pääturungon U-profiilissa, koska kuormitukset ovat keskittyneet kärryn molempiin päihin.

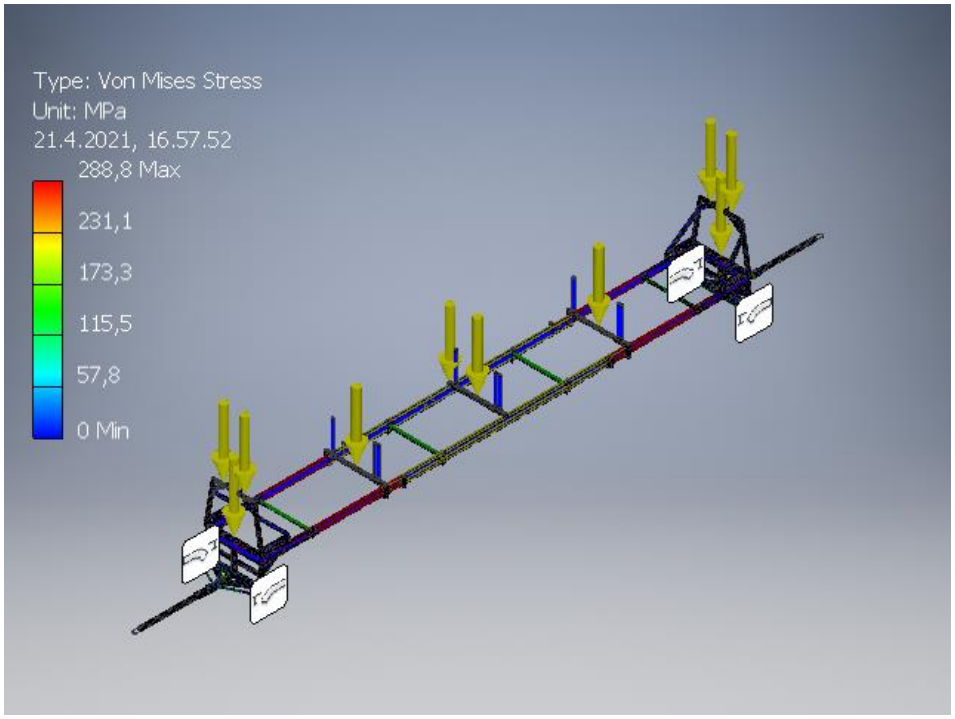


Kuva 24. Pienin varmuuskerroin kuormitusten ollessa päätypankoilla

3.5.2 Kuormitus päätypankoilla ja kärryn rungolla

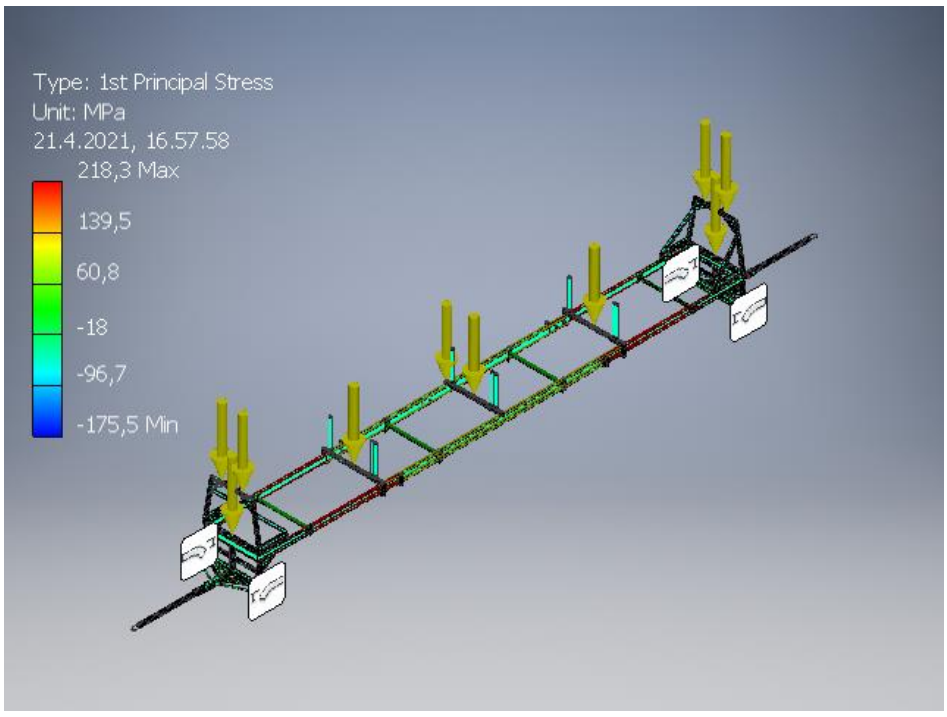
Kuormitusten ollessa päätypankoilla ja kärryn rungolla työssä käytettiin kuormituksena 1200 kg ja 2500 kg kuormia. Kuvassa 25–29 esitetään kuormitusten jakautuminen keltaisilla nuolilla ja reunaehdot valkeilla merkeillä.

Suurimmaksi normaalijännitykseksi saatiin kuvassa 25 esitetyllä tavalla 288,8 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn keskellä sijaitsevan tukitangon pulttiliitoksessa. Pulttiliitoksessa on epäjatkuvuuskohta, mistä tämä jännityshuippu johtuu.



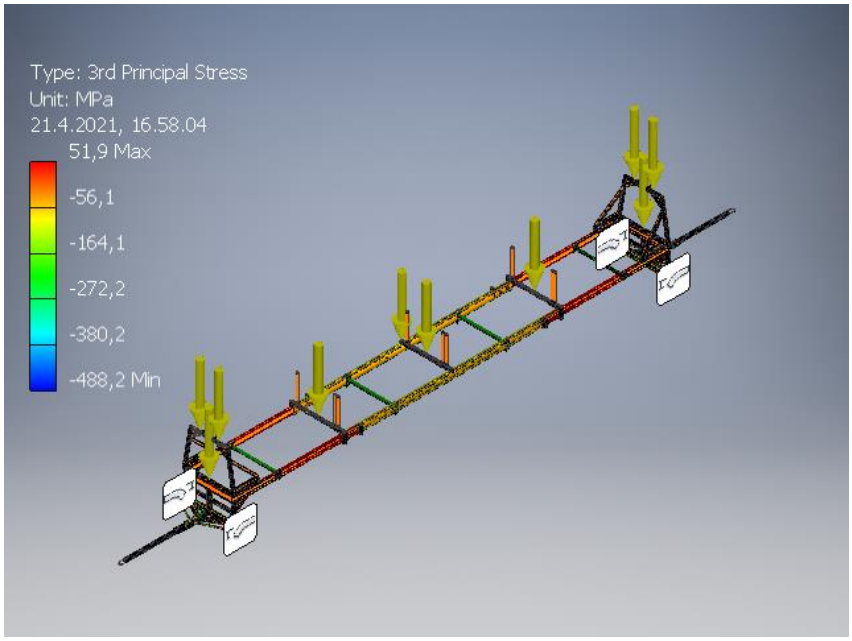
Kuva 25. Suurin normaalijännitys kuormitusten ollessa kärryn rungolla sekä päätypankoilla

Suurimmaksi vetojännitykseksi saatiin kuvassa 26 esitetyllä tavalla 218,3 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn keskellä sijaitsevan tukitangon pulttiliitoksessa. Pulttiliitoksessa on epäjatkuvuuskohta, mistä tämä jännityshuippu johtuu.



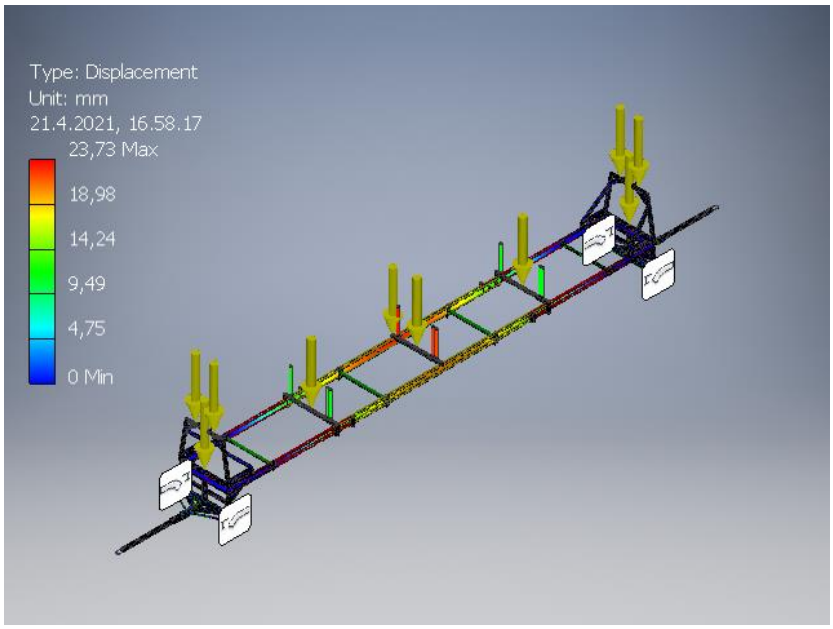
Kuva 26. Suurin vetojännitys kuormitusten ollessa kärryn rungolla sekä päätypankoilla

Suurimmaksi puristusjännitykseksi saatiin kuvassa 27 esitetyllä tavalla 51,9 MPa. Jännitys sijaitsee kärryn keskellä sijaitsevan tukitangon pulttiliitoksessa.



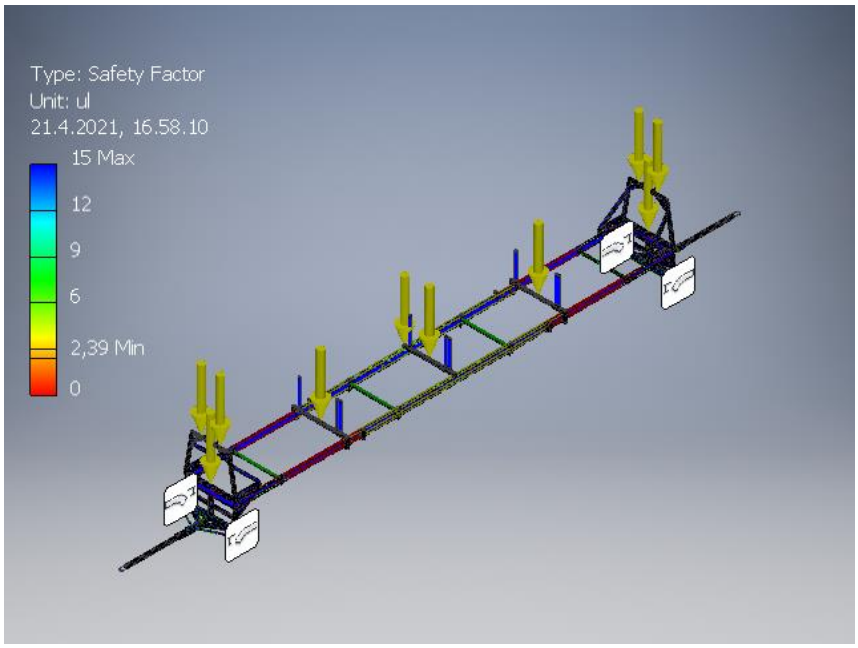
Kuva 27. Suurin puristusjännitys kuormitusten ollessa kärryn rungolla sekä päätypankoilla

Suurimmaksi siirtymäksi saatiin kuvassa 28 esitetyllä tavalla 23,73 mm. Suurin siirtymä sijaitsee kärryn keskiosassa missä kärryn runko taipuu eniten.



Kuva 28. Suurin pystysiirtymä kuormitusten ollessa kärryn rungolla sekä päätypankoilla

Pienimmäksi varmuuskertoimeksi saatiin kuvassa 29 esitetyllä tavalla 2.39. Pienin varmuuskerroin sijaitsee kärryn keskellä sijaitsevan tukitangon pulttiliitoksessa. Pienivarmuuskeroin tässä kohtaa johtuu suuresta normaalijännityksestä.



Kuva 29. Pienin varmuuskerroin kuormitusten ollessa kärryn rungolla sekä päätypankoilla

Analyysiä tehdessä tuli ongelmia etenkin pulttiliitosten kohdalla, koska näiden kanssa tuli useita eri geometrioista johtuvia epäjatkuvuuskohtia verkotuksen kanssa. Siksi esimerkiksi pienimmän varmuuskertoimen suuruus ei ole välttämättä täysin tarkka, koska varmuuskerroin oletettavasti pienenee epäjatkuvuuskohdassa aiheutuvat jännityshuipun vuoksi. Varmuuskertoimen täytyi olla kuitenkin vähintään 2, joten vaadittaviin tuloksiin päästiin kuten taulukossa 2 esitetään. Kokoonpano kestää siihen kohdistuvat kuormitukset.

4 TULOSTEN ANALYSOINTI

Teleskooppikärrystä tuli vanhaan nähden huomattavasti jämäkämpi ja kestävämpi. Kärryn rungossa käytettävä U-profiili on jämäkkää ja mahdollistaa erittäin hyvin teleskooppisesti toimivan ratkaisun tekemisen, joka mahdollistaa kärryn säilytyksen pienemmässä tilassa, kuin kokopitkänä. Liukuvuuden parantamiseksi esimerkiksi keskimmäisen U-profiilin alaosaan voidaan lisätä liukumuovit. U-profiiliin on myös helppo lisätä lisäosia myös tulevaisuudessa ja hitsaamista pystytään välttämään pulttiliitosten avulla.

Uuden kärryn liikuteltavuus parani huomattavasti kahdesta päästä olevan ohjattavuutensa vuoksi. Myös ohjauksen maksimi kääntymiskulma on suhteellisen suuri, mikä parantaa liikuteltavuutta entuudestaan. Tuulevaisuudessa kärryyn voisi suunnitella ohjauksen toimivaksi esimerkiksi yhdystankoa käyttämällä siten, että molemmat päät kääntyvät samaan aikaan ilman että sitä tarvitsee käydä käyttäjän erikseen kääntämässä.

Teleskooppikärryn uuden mallisten pankkoratkaisujen ansiosta työergonomia parantui huomattavasti, koska esimerkiksi pesun aikana pankkoja voidaan säätää ja likaiset sekä puhtaat kehikot voidaan erotella helpommin. Pankkojen sekä koko kärryn huomattavasti jämäkämpi rakenne mahdollistaa myös paremman työturvallisuuden. Työturvallisuuden parantamiseksi kärryyn voidaan tulevaisuudessa asentaa rungon keskikohdalle irrotettava tai kiinteä lisätuki kärryn ja lattian välille. Lisätuki voi olla esimerkiksi tunkkimallinen, jolloin kärryn runkoa voidaan hieman nostaa ja pystysiirtymiä näin ollen pienentää kärryn keskikohdassa.

5 YHTEENVETO

Teleskooppikärryn valmis 3D mallinnus esiteltiin käyttäjäkunnalle ja kärryn ratkaisut todettiin toimivaksi. Kärryn osien valmistaminen ja kokoonpano ei ole vaikeaa. Valmisosat olivat kuormituksiin sopivat ja kärryn modulaarisuuden ansioista niitä voidaan vaihdella.

Teleskooppikärryä ei saatu vielä valmistettua eikä sen toimivuutta voitu siten testata. Teleskooppikärryyn tuli vielä pieniä muutoksia jälkikäteen. Jälkikäteen tulleita muutoksia oli lisätukien lisääminen ja kärryn madaltaminen, mikä mahdollistaa kehikoiden huoltamisen makuultaan.

FE-analyysin tekeminen olisi voinut olla tarkempaa. Analyysin tekeminen ilman pulttiliitoksia olisi voinut tehdä analyysin tuloksesta tarkemman epäjatkuvuuskohtien vuoksi. Kärryn runkoa voisi myös tarkemman FE-analyysin johdosta optimoida enemmän, mutta tässä työssä se ei ollut tarpeen.

Kokonaisuudessaan mielestäni vaadittuihin tuloksiin päästiin, mutta todellisen tuloksen näkee vasta kärryn valmistuttua. Kärryn valmistumisen ja testauksen sekä kehityksen myötä suunniteltu kärry on toimiva.

LÄHTEET

Eskelinen, H, Karsikas, S. 2013. DFMA-opas: valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 115 s.

IKH. Napa 60 mm 6-pulttinen 2021. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 20.4.2021] Saatavissa https://www.ikh.fi/fi/napa-60mm-6-pulttinen-t0423

Kysely. 2020. Valmet Oy. Kysely, 3.8.2020, Juankoski

Pahl, G., Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus. 608 s.

The CAD setter out. HOW TO GET STARTED WITH AUTODESK INVENTOR STRESS ANALYSIS. 2021 [www-dokumentti]. [viitattu 22.4.2021] Saatavissa https://cadsetterout.com/inventor-tutorials/get-started-with-autodesk-inventor-stress-analysis/

Ultralink. Tahraamaton rengas. 2021a. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 20.4.2021] Saatavissa https://www.ultralink.fi/product.asp?sua=1&lang=1&s=297&nav=10030054

Ultralink. Trukin vanne. 2021b. [www-tuotedokumentti]. [viitattu 20.4.2021] Saatavissa https://www.ultralink.fi/650-10-5R-LINDE-VANNE

Vertex. FEA-laskennan teoriaa. 2021 [www-dokumentti]. [viitattu 22.4.2021] Saatavissa https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa