



AGV-trukkien akunvaihtolaitteiden kehittäminen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Syksy, 2024

Jaan Jalkanen

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Jaan Jalkanen

Työn nimi AGV-trukkien akunvaihtolaitteiden kehittäminen

Ohjaajat Niko Laukkanen (HAMK), Mika Roininen (Mitsubishi Logisnext Europe Oy)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Mitsubishi Logisnext Europe Oy, joka on Järvenpäässä toimiva materiaalinkäsittelyratkaisujen toteuttaja. Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella uusi akunvaihtolaite, joka on yhteensopiva VNA- sekä ART-automaattitrukkien kanssa. Kehitystyö tehdään nykyisin käytössä olevien muiden mallisten AGV-trukkien akunvaihtolaitteiden pohjalta.

Opinnäytetyötä varten pohjatietoa kerättiin tarkastelemalla akunvaihtolaitteiden teknistä dokumentaatiota. Opinnäytetyön aikana toteutettiin Logisnext Europen sisäinen kyselytutkimus, jonka tavoitteena oli kerätä tietoa akunvaihtolaitteissa ilmenneistä ongelmista, jotta nämä eivät siirtyisi uuteen VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteeseen.

Suunnitteluvaiheessa akunvaihtolaite jaettiin osatoimintoihin, joiden soveltuvin vaihtoehto valittiin perustellusti morfologisen laatikon avulla. Uudelle akunvaihtolaitteelle laadittiin myös vaatimuslista, jonka mukaan mekaniikkasuunnittelu toteutettiin. Suunnittelutyö toteutettiin modulaarisilla suunnitteluperiaatteilla, jotka mahdollistivat pumppukärryyn liitettävän akunvaihtolaitteen konfiguraation implementaation.

Uusi VNA- sekä ART-akunvaihtolaite on hydraulisesti korkeussäädettävä, jonka nostomekanismina toimii pumppukärrytyylinen vipumeکانismi. Itse akunvaihtoprosessi toteutetaan manipulaattorikahvan avulla, jonka avulla myös akunvaihtolaitetta liikutetaan. Akunvaihtolaitteen tuenta sekä kohdistus AGV-trukkiin tapahtuu paikoituskoukulla.

Näillä toiminnoilla pyrittiin korjaamaan mahdollisimman monta työturvallisuusriskiä sekä parantamaan akunvaihtoprosessin työergonomian epäkohtia, jotka tulivat ilmi akunvaihtolaitteen kyselytutkimuksessa. Uudessa akunvaihtolaitteessa kehitettyjen kohteiden onnistuneisuus on teoreettista, sillä onnistuneisuudesta voitaisiin arvioida tulevaisuudessa uudella kyselytutkimuksella, vasta kun uusia akunvaihtolaitteita tilataan AGV-projekteihin.

Avainsanat Kehittäminen, suunnittelu, AGV-trukki, akunvaihtolaite, apuvälineet

Sivut 52 sivua ja liitteitä 3 sivua

Mechanical Engineering

Author Jaan Jalkanen

Subject Development of an AGV Forklift Battery Changing Device

Supervisors Niko Laukkanen (HAMK), Mika Roininen (Mitsubishi Logisnext Europe Oy)

Abstract

Year 2024

This thesis was made for Mitsubishi Logisnext Europe Oy, a material handling solutions provider in Järvenpää. The purpose of this thesis was to design and develop a new battery changing device, which is compliant with VNA and ART automated forklifts. The development will be based on the battery changing devices of other AGV forklift models currently in use.

For the thesis, background information was collected by going through the technical documentation of other battery changing devices. During the thesis process, an internal Mitsubishi Logisnext Europe Oy survey was conducted to collect information of the problems encountered with battery changing devices in order to prevent them from being transferred to the new VNA and ART battery changing device.

During the design phase, the battery changing device was divided into sub-assemblies, the most suitable of which was selected based on a morphological matrix. A list of requirements for the new battery changing device was also drawn up, according to which the mechanical design was conducted. The design work was carried out by using modular design principles, which allowed the implementation of the configuration of the battery changing device to be used with a pallet jack.

The new VNA and ART battery changing device is hydraulically height adjustable, with a pallet jack style lever mechanism as the lifting mechanism. The battery exchange process itself is carried out by the help of a manipulator handle, which is also used to move the battery changing device. The support of the battery changing device, as well the alignment with the AGV forklift, is done by the means of a positioning hook.

The aim of these functions was eliminating as many work safety risks as possible, as well improving the ergonomic disadvantages of the battery exchange process, which became evident during the battery changing device survey. The success of the items developed in the battery changing device is theoretical, as the success could be evaluated in the future by a new survey, until new battery changing devices are ordered for AGV projects.

Keywords Development, designing, AGV forklift, battery exchange device, tools

Pages 52 pages and appendices 3 pages

Sisällys

Käytetyt lyhenteet ja termit.....	7
1 Johdanto.....	1
2 Akunvaihtolaite.....	3
2.1 ART-automaattitrukin akunvaihtolaite.....	4
2.2 AWT-automaattitrukin akunvaihtolaite.....	5
2.3 ACT-automaattitrukin akunvaihtolaite.....	6
3 Laitteen kehityksessä huomioitavat asiat	7
3.1 Turvallisuus.....	8
3.2 Käyttöergonomia.....	10
3.3 Modulaarisuus	11
4 Akunvaihtolaitteiden tutkimus.....	12
4.1 Kyselytutkimuksen tavoitteet.....	12
4.2 Kyselytutkimuksen suunnittelu	13
4.3 Kyselytutkimuksen toteutus.....	13
4.4 Kyselytutkimuksen tulosten analysointi	14
5 Suunnittelu.....	15
5.1 Menetelmät ja käytetyt ohjelmistot	15
5.1.1 Vaatimuslistan laatiminen	16
5.1.2 Morfologisen laatikon laatiminen.....	18
5.2 Sivuttain liikkuva VNA- sekä ART-akunvaihtolaitekonfiguraatio.....	21
5.2.1 Nostopöydän nostopalkkivariantti	22
5.2.2 Manipulaattorikahva	27
5.2.3 Runko.....	32
5.2.4 Nostomekanismi.....	35
5.3 Pumppukärryyn liitettävä konfiguraatio.....	41
5.3.1 Nostopöydän tukijalallinenvariantti.....	41
5.3.2 Akunvaihtolaitteeseen soveltuvat pumppukärryt	44
5.4 Valmis VNA- sekä ART-akunvaihtolaite	44
5.4.1 VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen käyttäminen.....	46
5.4.2 VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen rakenne.....	49
6 Päätelmä.....	50
6.1 Tulokset.....	50
6.2 Oma-arviointi	52
Lähteet	53

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. AGV-automaattitruckien pohjamallit. (Logisnext, n.d.-d).....	2
Kuva 2. AWT-automaattitruckien manuaalinen akunlatausasema.....	3
Kuva 3. ART-automaattitrukin akunvaihtolaite.....	4
Kuva 4. ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteen toimintaperiaate.....	5
Kuva 5. AWT-akunvaihtolaite ja manipulaattori.....	6
Kuva 6. ACT-akunvaihtolaite.....	7
Kuva 7. Kolmen askeleen menetelmän kaavio. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 15).....	9
Kuva 8. Modulaarisen rakenteen konsepti. (Ito, 2011, s. 28).....	11
Kuva 9. ARTm- sekä ARTn-automaattitrukeissa käytetty DIN 43531 akku.....	17
Kuva 10. Nostopöydän nostopalkkillinenvariantti.....	22
Kuva 11. Nostopalkki.....	23
Kuva 12. Nostopöydän nostopalkkivariantin vertailujännitys.....	26
Kuva 13. Nostopöydän nostopalkkivariantin siirtymä.....	26
Kuva 14. ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteen manipulaattorin tarttuja.....	28
Kuva 15. Manipulaattorikahvan kehys.....	29
Kuva 16. Manipulaattorikahva.....	30
Kuva 17. Manipulaattorikahvan toimintaperiaatteen vapaakappalekuva.....	31
Kuva 18. Akunvaihtolaitteen runko.....	33

Kuva 19. Akunvaihtolaitteen rungon vertailujännitys.	34
Kuva 20. Akunvaihtolaitteen rungon siirtymä.	35
Kuva 21. Vipumekanismi.	36
Kuva 22. Nostomekanismin toimintaperiaate.	37
Kuva 23. Vipumekanismin peitekotelot.	38
Kuva 24. Akunvaihtolaitteessa käytetty hydraulikkasyylinteri.	39
Kuva 25. Hydraulikkasyylinterin tuenta.	40
Kuva 26. Nostopöydän tukijalallinenvariantti.	42
Kuva 27. Nostopöydän tukijalallisenvariantin vertailujännitys.	43
Kuva 28. Nostopöydän tukijalallisenvariantin siirtymä.	44
Kuva 29. VNA- sekä ART-akunvaihtolaite.	45
Kuva 30. VNA- sekä ART- akunvaihtolaitteen pumppukärryyn integroitava konfiguraatio.	46
Kuva 31. Akunvaihtolaitteen kohdistaminen AGV-trukkiin.	47
Kuva 32. Manipulaattorikahvan tarttuja kiinnitettynä akkuun.	48
Kuva 33. DIN 43531 akku akunvaihtolaitteen nostopöydässä.	48
Taulukko 1. Akunvaihtolaitteen vaatimuslista.	18
Taulukko 2. Akunvaihtolaitteen morfologinen laatikko.	19

Kaava 1. Taivutusjännitys. (Interroll, n.d. s. 207).....	23
Kaava 2. Siirtymä. (Interroll, n.d. s. 207)	24
Kaava 3. Kitkavoima. (Valtanen, 2019, s. 163).....	31
Kaava 4. Toisen luokan vipumekanismi. (Valtanen, 2019, s. 174)	32
Kaava 5. Sylinterin veto- tai työntövoima. (Fonselius, 1999, s. 106).....	40

Liitteet

- Liite 1. Akunvaihtolaitteen kyselylomake
- Liite 2. PAM-T hydrauliiikkapumpun tekniset tiedot
- Liite 3. VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen riskien arvio

Käytetyt lyhenteet ja termit

ACT	Automatic Compact Truck. automaattinen kompakti trukki.
AGV	Automated Guided Vehicle, automaattitrucki, tai vihivaunu.
ART	Automatic Reach Truck, automaattinen työntömastotrucki.
ATXbf	Automatic Truck X basic lift, automaattitrucki X perusnosto.
AWT	Automatic Warehouse Truck, automaattinen varastotrucki.
CAD-ohjelmisto	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto.
FEM	Finite Element Method, rajallinen elementtimenetelmä.
Konfiguraatio	Komponenttien järjestely, tai asemointi suhteessa toisiinsa.
PDM-järjestelmä	Product Data Management, tuotetiedonhallinta järjestelmä.
Variantti	Muunnos, tai muunnelma, poikkeava versio osasta.
VNA	Very Narrow Aisle, erittäin kapea käytävä, joka on variantti AWT-automattitruckista

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Mitsubishi Logisnext Europe Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia sekä kehittää uusi automaattitruckien akunvaihtolaite nykyisten laitteiden pohjalta, suunnittelemalla uusi ergonominen sekä kustannustehokas akunvaihtolaite, joka on yhteensopiva VNA- sekä ART-automlaattitruckien kanssa projektikohtaisen suunnittelutyön vähentämiseksi.

Automaattitruckien lisävarusteet ovat tulleet itselleni tutuiksi kesän aikana, työskennellessäni projektikohtaisena mekaniikkasuunnittelijana. Kesän aikana pääsin kerryttämään arvokasta konetekniikan osaamistani sekä opin ymmärtämään toimeksiantajan toimintatavat. Opinnäytetyöaiheeseen päädyttiin suunnittelupäällikön kanssa yhdessä, sillä automaattitruckien akunvaihtolaitteet tarvitsevat kehittämistä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimiva Mitsubishi Logisnext Europe Oy on osa Mitsubishi heavy industria, joka on johtava materiaalinkäsittelyratkaisujen toteuttaja maailmanlaajuisesti. Logisnextin Europe Oy:n tuotanto sekä toimistot sijaitsevat Järvenpäässä kahdessa eri toimipisteessä, jossa valmistetaan manuaali- sekä automaattitruckeja. Logisnext valmistaa Mitsubishi-, Tcm- sekä Catepillarin manuaalitruckeja Järvenpään tehtaalla, lisäksi tehdas valmistaa automaattitruckit Rocla-brändäyksellä (Logisnext, n.d.-a).

Vuonna 2008 Mitsubishi heavy industries osti Roclan, jolloin Järvenpään toimipisteestä tuli tuotekehityskeskus sekä osa Mitsubishi Logisnext Europe konsernia. Rocla on perustettu vuonna 1942, jonka juuret johtavat perinteiseen suomalaiseen konetekniikkaan. Nykyään Mitsubishi Logisnext Europe Oy työllistää Järvenpäässä 500 ammattilaista monesta eri taustasta (Logisnext, n.d.-b). Mitsubishi Logisnext Europe Oy liikevaihto oli vuonna 2023, 209 miljoonaa euroa (Finder, n.d.).

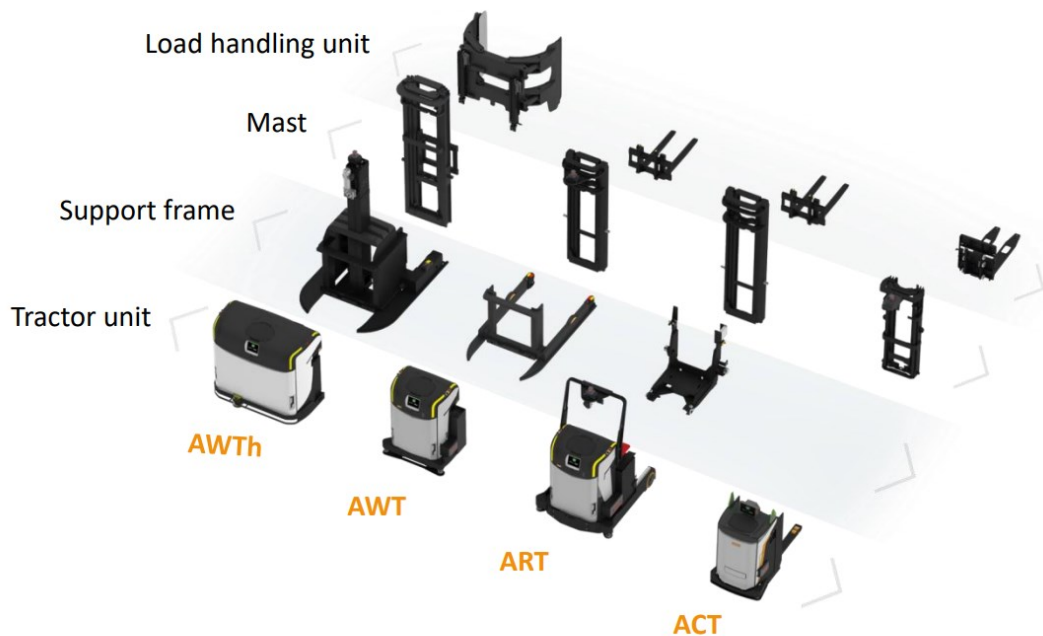
Automaattitruckit eli AGV- truckit ovat itsenäisesti toimivia materiaalinkäsittelylaitteita, joilla ei ole tarvetta erilliselle kuljettajalle. Automaattitruckeja löytyy logistiikkakeskuksista sekä teollisuudesta. Automaattitruckeille ideaaliset käyttötarkoitukset ovat toistuvat paikalliset kuljetustehtävät, tällöin manuaalitrucki operaattorit voivat keskittyä vaativampiin työtehtäviin. (Logisnext, n.d.-c)

Automaattitruckit navigoivat ympäristöään virtuaalista tai visuaalista reittiä pitkin, induktiivisten sekä lasereilla toimivien antureiden avulla. Näiden antureiden avulla automaattitrucki pystyy

navigoimaan esteiden ohitse, tämä luo turvallisen työympäristön ihmisten ympärillä. Automaattitrukkeja ohjaa fleet controller ohjelma, joka on myös mahdollista integroida olemassa oleviin logistisiin hallintajärjestelmiin, tämä ohjelma antaa jokaiselle automaattitrukille omat tehtävänsä. (Logisnext, n.d.-c)

Automaattitrukkimalleja on saatavilla useaan eri käyttötarkoitukseen. Automaattitrukkien mallirakenne on modulaarinen, joka mahdollistaa parhaan logistisen ratkaisun saavuttamisen asiakkaan tarpeiden mukaan. Nykyinen Rocla AGV-automaattitrukki tuoteperhe koostuu neljästä eri pohjamallista, jotka ovat ACT eli automatic compact truck, ART eli automatic reach truck, AWT eli automatic warehouse truck sekä AWTh eli automatic heavy warehouse truck (Kuva 1). (Logisnext, n.d.-d)

Kuva 1. AGV-automaattitrukkien pohjamallit. (Logisnext, n.d.-d)

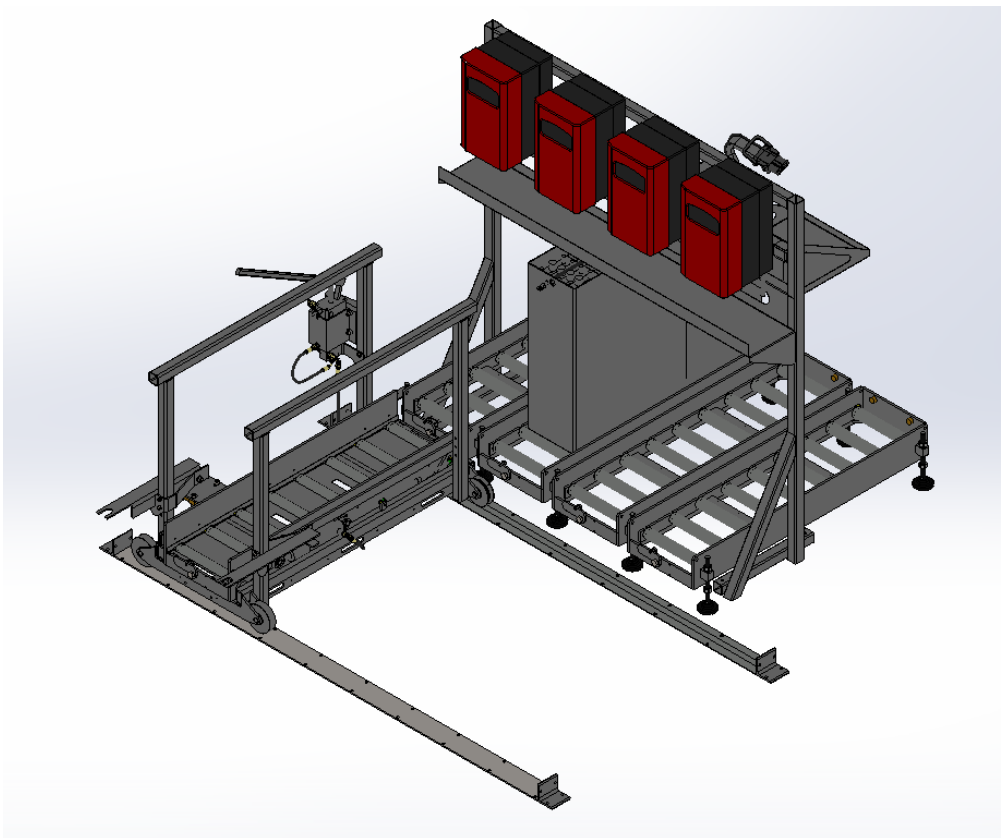


Opinnäytetyön rakenne perustuu perehtymiseen akunvaihtolaitteiden puutteista. Nämä puutteet havaitaan haastatteleamalla henkilöstöä, joka tuntee akunvaihtolaitteet asiakkaiden toimipiste vierailuiden kautta. Opinnäytetyössä pyritään löytämään ratkaisu, jonka avulla voidaan suunnitella toimiva akunvaihtolaite, joka on yhteensopiva VNA- sekä ART-automaattitrukkien kanssa. VNA on AWT- automaattitrukin variantti, jonka käyttökohteena on erittäin ahtaat käytävät. Ratkaisu pyritään löytämään tutkimalla nykyisiä akunvaihtolaitteita.

2 Akunvaihtolaite

Asiakas voi valita automaattitrukkiin lisävarusteita halutessaan, manuaalinen akunlatausasema on yksi näistä lisävarusteista (Kuva 2). Akunvaihtolaite on kriittinen osa automaattitrukin akunlatausasemaa. Akunvaihtolaitteen tehtävä on siirtää automaattitrukin akku latausasemassa olevaan latauslokeroon. Raskaiden akkujen kohdalla akunvaihtolaitteeseen on integroitu manipulaattori, joka avustaa akun siirtämistä akunvaihtolaitteeseen.

Kuva 2. AWT-automlaattitrukkien manuaalinen akunlatausasema.



Akunvaihtolaitteita on tarjolla kahta erilaista mallia. Yksi niistä on pumppukärryyn liitettävä, tällä mallilla akun voi siirtää pumppukärryjen avulla akunlatausasemaan. Toinen malli on akunlatausasemaan integroitu laite, jossa akunvaihtolaite liikkuu kiskojen päällä, kyseisessä mallissa automaattitrukki ajaa itsensä akunvaihtopisteelle, jossa operaattori akunvaihtolaitteen avulla vaihtaa automaattitrukin akun.

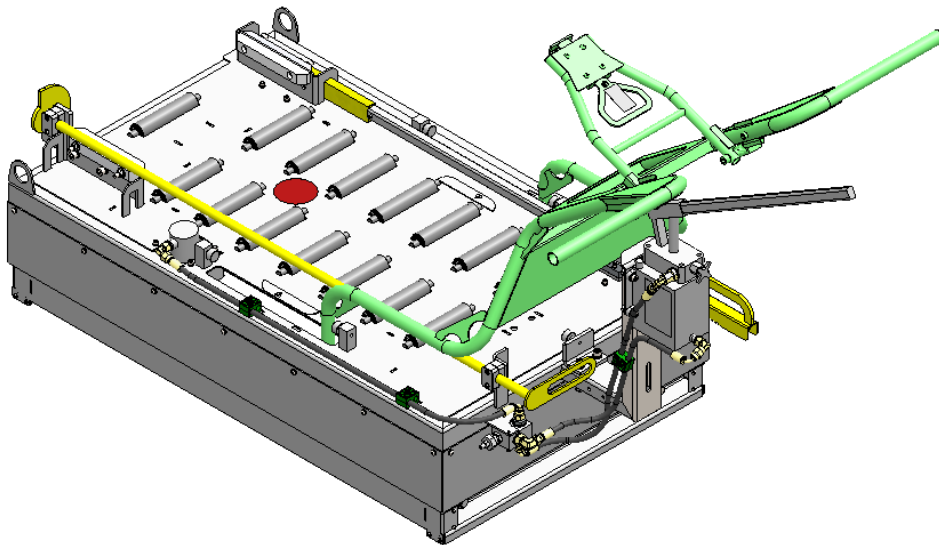
Tässä opinnäytetyössä tutkitaan itse akunvaihtolaitetta. Tällä hetkellä akunvaihtolaitteet ovat suurimmaksi osaksi projektikohtaisia, tai ne on suunniteltu automaattitrukki, tai akkumalli

kohtaisiksi. Kaikissa akunvaihtolaitteissa yhdistävänä toimintona on korkeussäätö, joka tapahtuu hydraulisesti tai pelkästään mekaanisesti. Korkeussäätö on erittäin tärkeä toiminto, sillä lattiapinta, jolla akunvaihtoasema sijaitsee, voi olla epätasainen, myös korkeuserot akunvaihtoaseman ja automaattitrukin välillä, jotka hankaloittavat akun siirtämistä akunlatauslokeroon, ovat syy siihen miksi korkeussäätö on tärkeä toiminto akunvaihtolaitteessa.

2.1 ART-automaaattitrukin akunvaihtolaite

ART- automaattitrukin akunvaihtolaite on hydraulisella saksinostimella toimiva kokonaisuus. Joka pääasiallisesti koostuu nostopöydästä sekä saksinostimen kehyksestä. Nostopöytää nostetaan käsitoimisella hydraulikkapumpulla, joka sijaitsee akunvaihtolaitteen kahvan alla, jossa sitten hydraulinen sylinteri manipuloi saksinostin mekanismia, joka sitten säätelee nostopöydän korkeutta (Kuva 3).

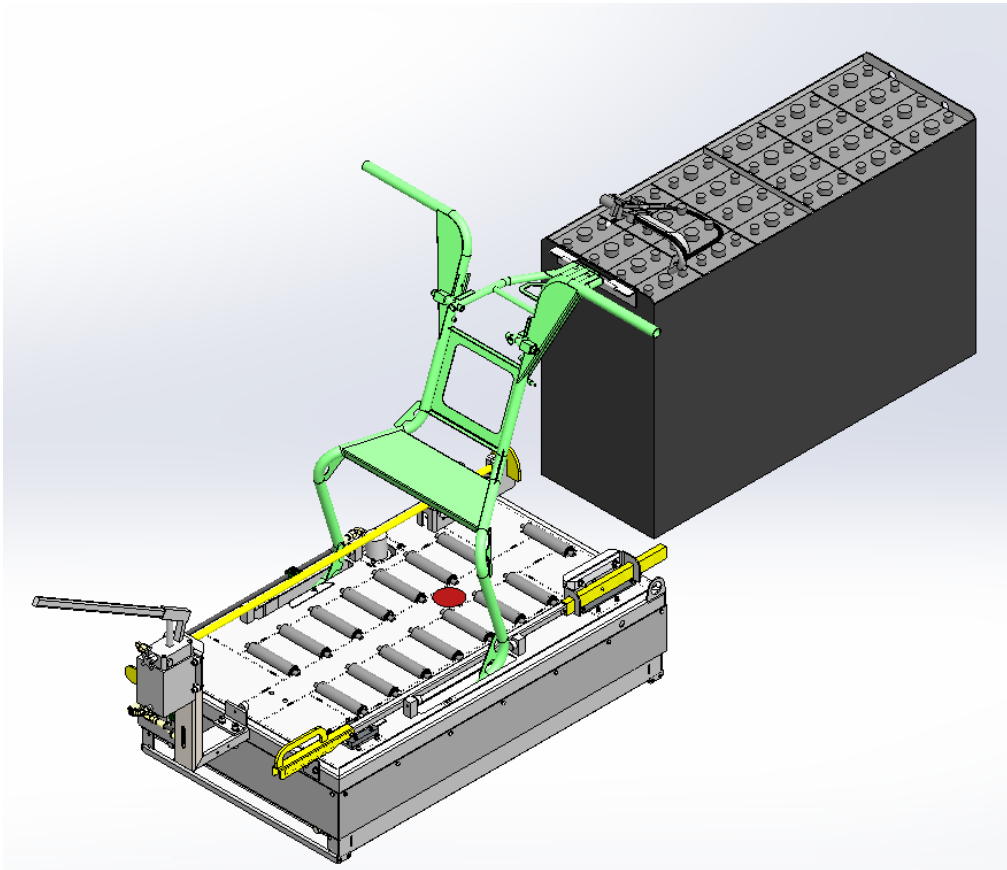
Kuva 3. ART-automaaattitrukin akunvaihtolaite.



Tästä akunvaihtolaitteesta on olemassa kaksi eri konfiguraatiota, kiskoilla liikkuva, tai renkailla liikkuva. Itse akunvaihto kyseisellä laitteella tapahtuu laitteessa olevan kahvan avulla, joka ajaa myös akun manipulaattorin tehtävän, josta mainitaan luvussa 2. Kahvassa on kiinnityspiste, joka lukittuu akun kotelossa olevaan solkeen. Kahvaa eteenpäin työntämällä kahva kallistuu kiinnityspisteidensä akselin ympärillä, työntäen akkua eteenpäin. Sama periaate pätee myös akun irrottamiseen automaattitrukista, mutta työntämisen sijasta

kahvaa vedetään operaattoria kohti. Akku lukitaan akunvaihtolaitteeseen akun siirtämisen ajaksi latauspisteeseen viputoimisella lukituslevyllä. Akun sivusuuntaisen liikkeen estää laitteen edessä sijaitsevat ohjauspalat. (Kuva 4)

Kuva 4. ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteen toimintaperiaate.



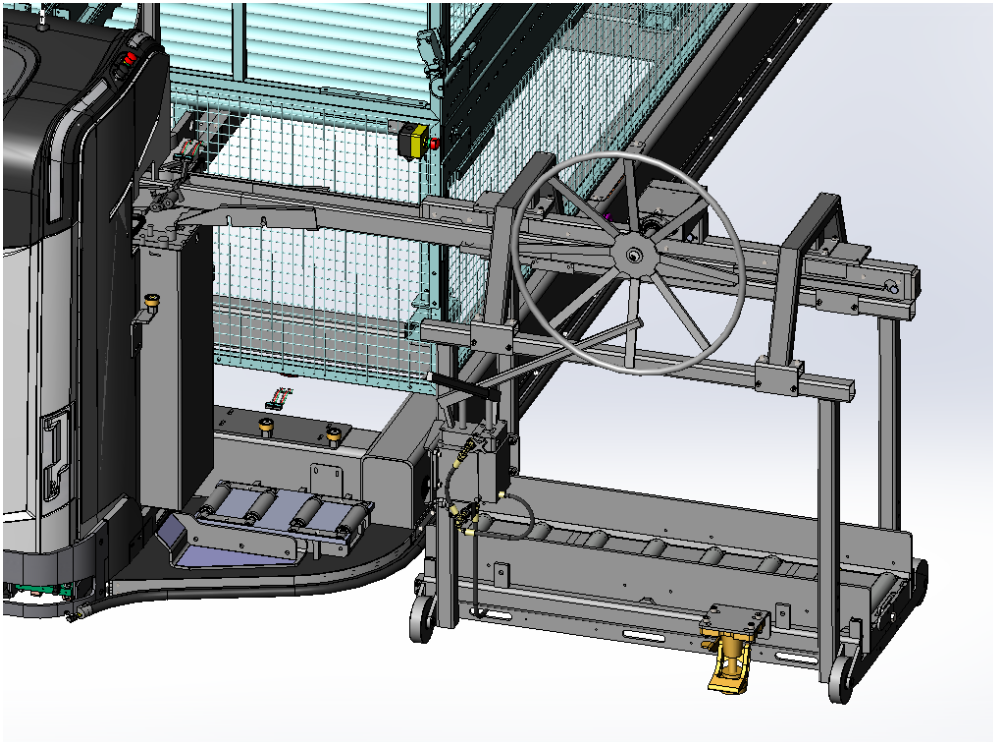
2.2 AWT-automaattitrukin akunvaihtolaite

AWT-automaattitrukkien akunvaihtolaitteen nostomekanismi on myös hydraulikkasyylinteri avusteinen. Eroavaisuutena ART-automaattitrukkien akunvaihtolaitteeseen on se, että nosto mekanismina ei ole saksinostin, vaan akunvaihtolaite hyödyntää nivel nelikulmiota. Kyseisessä mekanismissa akunvaihtolaitteen kehyksessä on kaksi vipua, jotka ovat linkitettyinä toisiinsa työntötangolla. Hydraulinsyylinteri on yhdistetty toiseen vipuun, joka sitten toteuttaa noston. Nosto tapahtuu käsikäyttöistä Hydraulikkapumppua pumppaamalla, joka sijaitsee laitteen kyljessä.

Kyseisessä akunvaihtolaitteessa ei ole liikutusta varten olevaa erillistä kahvaa, vaan laitetta voidaan liikuttaa laitteen sivuilla olevista turvakaiteista. Tämän mallisessa

akunvaihtolaitteessa akun manipulaattori voidaan asentaa kaiteiden päälle. AWT-automaattitrukkien akunvaihtolaitteessa käytetään niin sanottua ruori mallista manipulaattoria, jossa ruoria pyöräyttämällä hammasrattaat liikuttavat ketjua, joka on yhdistetty kuulajohteeseen, johon itse manipulaattorin varsi on asennettu. Kyseisen manipulaattorin varressa on koukut, joiden avulla akkua siirretään. (Kuva 5)

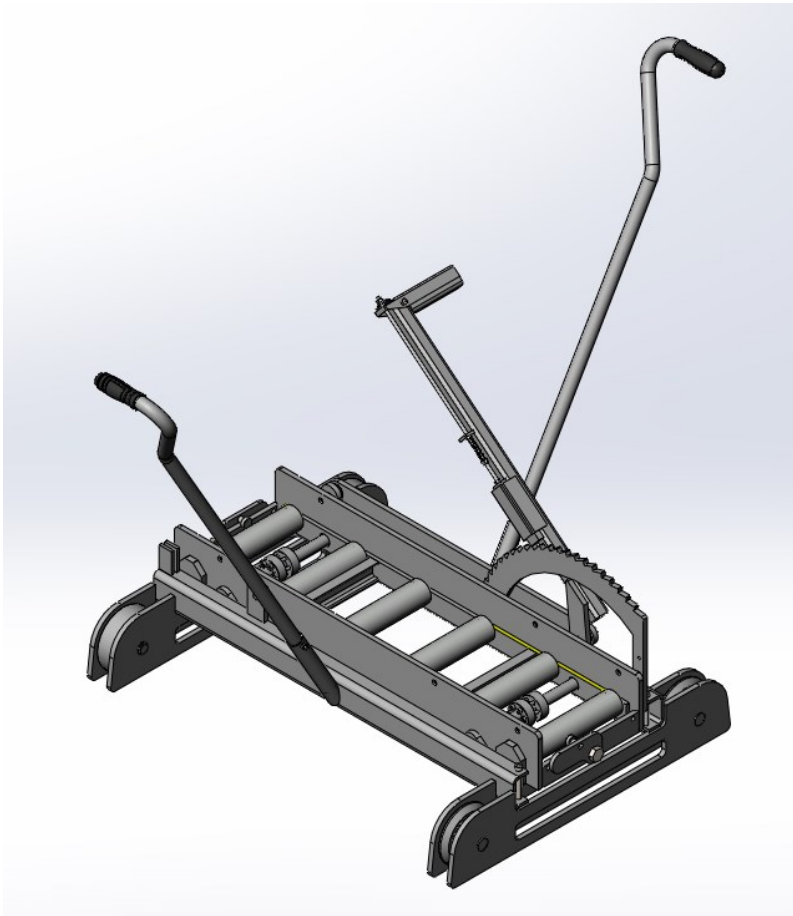
Kuva 5. AWT-akunvaihtolaite ja manipulaattori.



2.3 ACT-automaattitrukin akunvaihtolaite

ACT-automaattitrukit ovat uusin lisäys Roclan AGV-tuoteperheeseen. Joten kyseisessä automaattitrukissa käytetty akunvaihtolaite on kaikista akunvaihtolaitteista uusin. ACT-automaattitrukin akunvaihtolaitteen nostomekanismi pohjautuu AWT-automaattitrukin akunvaihtolaitteeseen. Ainoana erona nostomekanismissa on se, että nosto tapahtuu puhtaasti mekaanisesti, ilman hydraulikka avustusta, koska sille ei ole tarvetta sillä kyseisessä automaattitrukissa oleva akku on tarpeeksi kevyt nostettavaksi mekaanisesti. (Kuva 6)

Kuva 6. ACT-akunvaihtolaite.



Nostopöydän nosto tapahtuu vääntämällä akunvaihtolaitteen kyljessä sijaitsevaa vipua, joka sitten siirtää akunvaihtolaitteen kehyksessä sijaitsevaa vipua, tämä nostaa nostopöytää samalla periaatteella kuin AWT-automaattitrukin akunvaihtolaitteessa. Nostopöydän kyljessä sijaitsee hammasratas, johon nostoa hallitsevan vivun lukituspala lukittuu, kun haluttu korkeus on saavutettu. Kyseisessä akunvaihtolaitteessa ei ole kaiteita, sillä ACT-automaattitrukin akku ei kokonsa takia tarvitse manipulaattoria, koska akun siirtäminen onnistuu pelkästään lihasvoimaisesti.

3 Laitteen kehityksessä huomioitavat asiat

Laitteen kehityksen kannalta on tärkeää huomioida suunniteltavan laitteen kehittämiseen vaikuttavat tekijät. Työntekijöiden turvallisuus on erittäin kriittinen asia laitteen kehityksessä, sillä turvallisesti suunniteltu laite vähentää riskiä työtapaturmalle. Laite tulee toteuttaa siten, että se täyttää laitteelta vaadittavat koneturvallisuus standardit. Käyttömukavuus sekä laitteen käytön ergonomia ovat myös keskeisessä osassa laitteen kehittämisessä. Laitteen

tulee olla myös mahdollisimman helppo käyttää. Tähän liittyy mahdollisen fyysisen kuormituksen vähentäminen. Samat periaatteet pätevät myös laitteen huollossa.

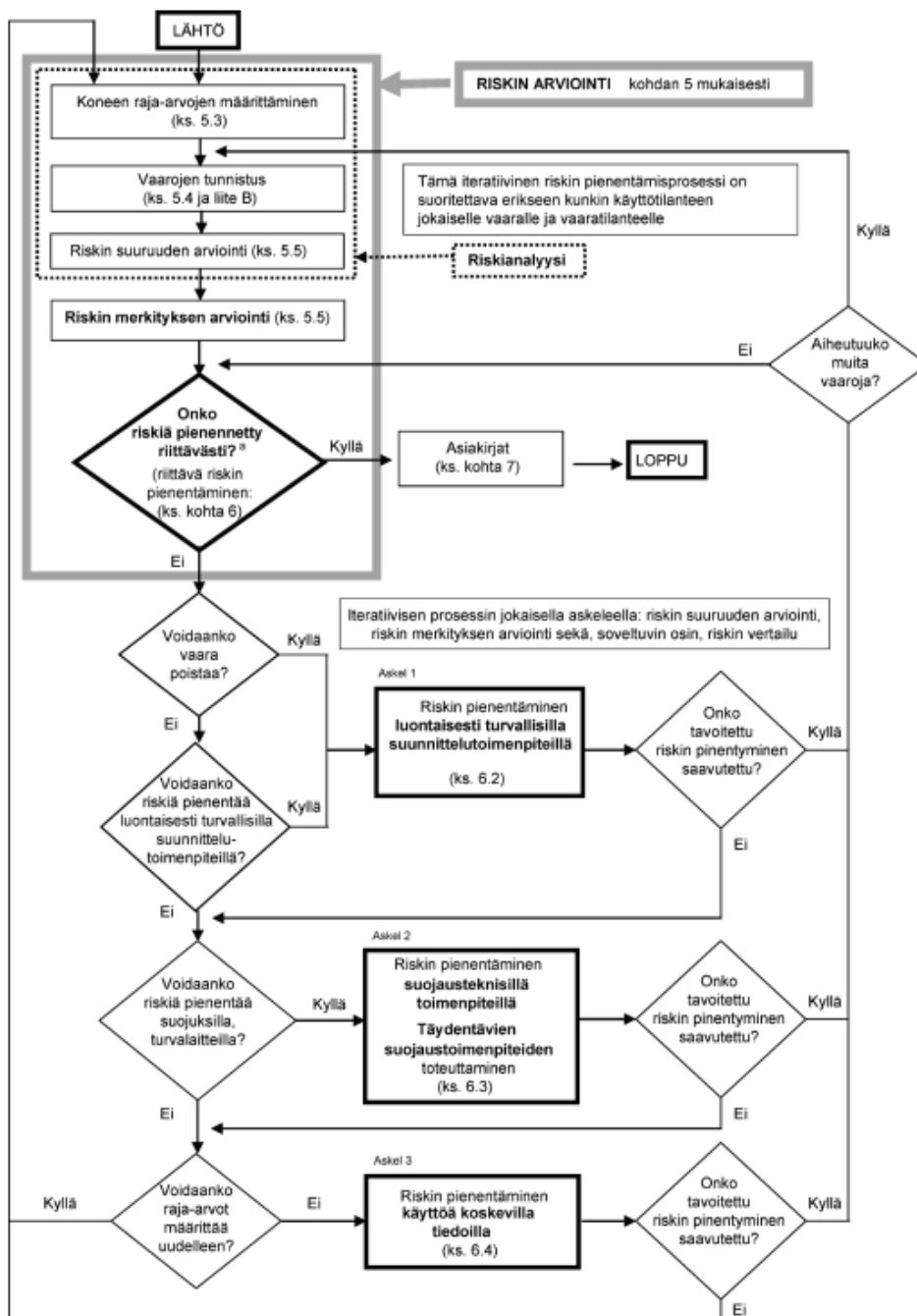
Laitteen kehityksessä on myös hyvä huomioida modulaarisuus sekä skaalattavuus. Modulaarisuudella tarkoitetaan laitteen jakamista ennalta määritettyihin moduuliryhmiin. Suunnittelussa kannattaa myös ottaa huomioon, että akunvaihtolaite olisi mahdollista skaalata yhteensopivaksi laajemman akkumalliston kanssa. Nämä tekijät mahdollistavat parannusten tekemisen tulevaisuudessa helpommin, tai AGV-tuoteperheen laajentuessa, akunvaihtolaitteen muokkaamisen yhteensopivaksi uuden akkumallin kanssa.

Kustannuksen näkökulmasta akunvaihtolaitteen tulisi olla mahdollisimman kustannustehokas. Tätä pystytään edistämään suunnittelemalla osat yleisesti käytössä olevista materiaaleista sekä suunnittelemalla valmistettavat osat valmistusystävällisiksi. Kaupallisten standardiosien hyödyntäminen on kriittinen osa kustannustehokasta suunnittelua, sillä pienien erien valmistaminen monimutkaisista osista on hintavaa.

3.1 Turvallisuus

Riskien arviointi sekä niiden pienentäminen on laitteen turvallisuuden perusta. Laitteen turvallisuutta on suunnittelun näkökulmasta mahdotonta yrittää ennustaa tekemättä riskien arviota, sillä sen tuloksien pohjalta laitteen turvalliset suunnitteluperiaatteet ovat mahdollisia. Suunnittelijan on tehtävä seuraavat toimenpiteet laiteturvallisuuden määrittelemiseksi, jotka ovat seuraavat. Laitteen raja-arvojen määrittäminen, vaaratilanteiden tunnistaminen ja vaaratilanteisiin liittyvät riskit, riskin suuruuden arvioiminen vaaran ja vaaratilanteen osalta, arvio riskin merkityksestä ja päätöksenteko riskin pienentämisen tarpeesta. Lisäksi arvioidaan, onko vaara mahdollista poistaa tai onko sitä mahdollista pienentää suojaustoimenpiteiden avulla. Riskin arvio tehdään loogisesti etenevin vaihein kolmen askeleen menetelmällä (Kuva 7). (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 14)

Kuva 7. Kolmen askeleen menetelmän kaavio. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 15)



Suunnittelijan tulee ymmärtää riskit ja tehdä riskien suuruuden arviointi. Tämän voi toteuttaa, esimerkiksi taulukkona, johon suunnittelija listaa riskit, joille hän antaa luvut, jotka kuvaavat todennäköisyyttä sekä riskistä aiheutuvaa haittaa. Tämän jälkeen yleensä tehdään riskien merkityksen arviointi, jotta voidaan päätyä lopputulokseen, että onko riskien pienentämiselle tarvetta. Riskejä voidaan tarvittaessa pienentää lisäämällä laitteeseen sopivia suojaustoimenpiteitä ja soveltaa niitä. Suojaustoimenpiteiden kannalta täytyy tarkastaa, että

tuleeko riskejä lisää, tai suureneeko jokin muu riski näiden soveltamisesta. Jos näin on, tulee uudet riskit lisätä taulukkoon. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 26)

Tavoitteena riskien pienentämisessä on parantaa laitteen turvallisuutta poistamalla vaarat tai pienentämällä erikseen tai samanaikaisesti riskin kahta osatekijää, eli todennäköisyyttä ja haittaa. Riskien pienentäminen voidaan jakaa kolmeen askeleeseen. (SFS-EN ISO 12100:2010, s.27)

Ensimmäisenä askeleena, suunnittelija pyrkii suunnittelutoimenpiteiden avulla poistamaan vaarat, tai pienentämään riskejä laitteen rakenneominaisuuksien sopivalla valinnalla, tai vuorovaikutuksen avulla. Toisessa askeleessa huomioidaan kohtuudella ennakoitavissa oleva laitteen väärinkäyttö sekä tietenkin laitteen tarkoitettu käyttö, jotta voidaan valita sopivia suojausteknisiä toimenpiteitä, mikäli käytössä ei ole luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä. Kolmantena askeleena ovat käyttöä koskevat tiedot, mikäli yllä mainittujen askelien jälkeen edelleen jää riskejä, nämä ovat yksilöitävä laitteen käyttöä koskevissa tiedoissa. (SFS-EN ISO 12100:2010, s.27)

Kyseiset seikat ovat lisättävä laitteen käyttöä koskeviin tietoihin. Koneen käyttöön liittyvien toimintamenettelyjen on oltava yhteensopivia laitteen käyttäjien, tai sille altistuvien kykyjen kanssa. Riittävä kuvaus laitteen käytön kannalta turvallisista työmenetelmistä. Suositeltujen henkilönsuojaimien kuvaus sekä yksityiskohdat niiden käytön tarpeesta. (SFS-EN ISO 12100:2010, s.27)

3.2 Käyttöergonomia

Laitteen suunnittelun kannalta laitteen käytönergonomian huomioiminen on yksi keskeisimmistä asioista. Laitteen ergonomisiin periaatteisiin sisältyy laitteen käyttö, laitteen asentaminen sekä myös laitteen kunnossapitoon liittyvät työtehtävät. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon, että laite on yhteensopiva ihmisten kykyjen sekä myös tarpeiden kanssa. (SFS-EN 614-1 + A1:2009, s. 14)

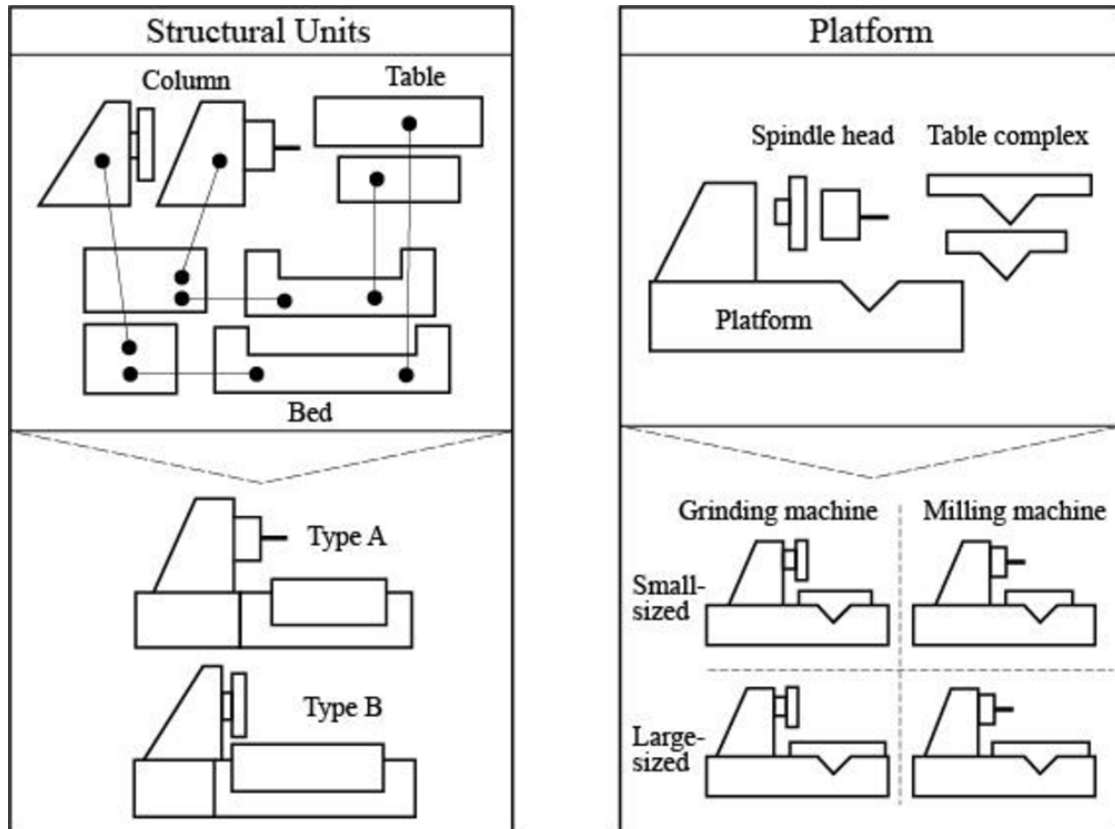
Laitteen käytön kannalta työasentojen on oltava operaattorille mahdollisimman miellyttäviä. Lisäksi laitteen käyttöön vaadittavat työasennot eivät saa vaikuttaa operaattoriin vaurioittavasti. Laitteen käyttöön liittyvien työasentojen tulisi myös edistää helppoja työliikkeitä. (SFS-EN 614-1 + A1:2009, s. 14)

Suunnittelijan tulee suunnitella laite siten, että operaattorin kehon tuenta on tarkoituksenmukainen sekä pyritään välttämään epätasapainoisia sekä hankalia asentoja, kuten pitkäaikaista kiertyneisyyttä, kumaria sekä taipuneita asentoja. Huomioon on myös otettava laitteen käyttöön vaadittava lihas voimankäyttö, jonka on oltava yhteensopiva laitteen käytön työasentojen kanssa. Suunnittelijan tulee varmistaa, että mekaaniset apuvälineet tuottavat riittävän vipuvoiman työvaiheen suorittamiseksi, jotta välttyään fyysiseltä ylikuormittumiselta. (SFS-EN 614-1 + A1:2009, s. 18)

3.3 Modulaarisuus

Modulaarisella suunnittelulla on pitkä historia, jolla tarkoitetaan laitteensuunnittelun kannalta sitä, että laite on jaettu moduuliryhmiin, jotka pääsääntöisesti koostuvat osista ja alikokoonpanoista. Nämä moduulit ovat varioituvia, jotka ovat suunniteltu yhteensopivaksi toistensa kanssa. Modulaarisen laitteen valmistus tapahtuu valitsemalla halutut moduuliryhmät ja yhdistämällä nämä käyttökohteiden mukaan, ennalta määritellystä ryhmästä (Kuva 8). (Ito, 2008, s. 11)

Kuva 8. Modulaarisen rakenteen konsepti. (Ito, 2011, s. 28)



Modulaarisessa laitesuunnittelussa suunnittelijan näkökulmasta on monia hyötyjä, kuten pienempi määrä nimikkeitä PDM-järjestelmässä, joka yksinkertaistaa nimikkeen rakenteen hallintaa, tämän myötä virheiden määrää voidaan myös vähentää. Uusien varianttien kehittäminen moduuleille on myös helpompaa kuin kokonaan uuden suunnittelu, tämän myötä myös turhan hintavilta ratkaisuilta voidaan välttyä. Itse laitteiden käyttäjien kannalta, modulaarisella suunnittelulla toteutettujen laitteiden käyttäminen on helpompaa, sillä samaa ryhmää olevat laitteet jakavat samat toimintaperiaatteet. (Pakkanen ym., 2022, ss. 33–35)

Modulaarisessa suunnittelussa on myös huonoja puolia. Näitä ovat esimerkiksi se, että laitteet sisältävät tietyissä varianteissa piirteitä, jotka ovat turhia joissakin käyttötarkoituksessa. Modulaarinen suunnittelu on myös haasteellisempaa kuin suunnittelu vain tiettyä applikaatiota varten, tämä myös nostaa suunnittelu kustannuksia, koska aikaa kuluu enemmän. (Pakkanen ym., 2022, s. 35)

4 Akunvaihtolaitteiden tutkimus

Samalla kun kehitetään VNA- sekä ART-automaattitrukeille yhteensopiva akunvaihtolaite. Päätimme perehtyä nykyisten akunvaihtolaitteiden ongelmiin, jotta näiltä voidaan välttyä uuden VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen kohdalla. Tämä toteutettiin kyselytutkimuksena.

Kyselylomakkeen suunnittelu tulee tehdä huolellisesti, sillä vastaaja ei voi tehdä tähän muutoksia palautuksen jälkeen. Yleisesti myös kyselytutkimuksen tulosten laatu riippuu myös kokonaan kyselylomakkeessa kysytyistä kysymyksistä, tämän ratkaisee se, että kysytäänkö kyselylomakkeessa ylipäänsä oikeita kysymyksiä. (Vehkalahti, 2019, s. 20)

4.1 Kyselytutkimuksen tavoitteet

Kyselytutkimuksen tarkoituksena on saada mahdollisimman paljon tietoa akunvaihtolaitteista, jotta saadaan esille ongelmat, jotka yleensä saattavat kiireiden, tai haasteiden myötä hautautua muiden työtehtävien alle. Osiot ja mittarit on asetettava kyselytutkimuksen tavoitteiden mukaan, jotta saadaan mahdollisimman käyttökelpoiset tulokset.

Tavoitteena kyselytutkimuksessa on kerätä tietoa akunvaihtolaitteiden käyttäjien kokemuksesta. Valitettavasti akunvaihtolaitteiden loppukäyttäjät, eivät ole meidän tiedossamme. Tämän myötä kysymykset ovat räätälöitävä sen mukaan, mitä vastaaja on

mahdollisesti kuullut akunvaihtolaitteiden käyttäjiltä, asiakkaan toimitiloissa käydessään, tai itse käynnillä havainnut.

4.2 Kyselytutkimuksen suunnittelu

Kysely lomakkeesta tulee tulla sellainen, johon vastaaja voi itse kuvailla vastauksia, sillä tiedossa ei ole kaikkia mahdollisia ongelmia. Tämän myötä suljettuja osioita ei sisällytetä kyselylomakkeessa, suljetut osiot ovat sellaisia, jossa vastaus vaihtoehdot ovat valmiiksi määritelty lomakkeeseen. Avoimet kysymykset ovat paljon soveltuvampia kyseiseen lomakkeeseen, sillä se antaa vastaajalle mahdollisuuden kuvailla ongelmia omin sanoin. (Vehkalahti, 2019, s. 26)

Kyselylomakkeeseen tulevassa ensimmäisessä kysymyksessä kysytään, että mitä ongelmia vastaaja on havainnut nykyisissä manuaalisissa akunvaihtolaitteissa. Tässä kysymyksessä on viisi vaihtoehtoa, jotka ovat seuraavat. Vaatii liikaa fyysistä voimaa, epäselvä käyttöliittymä, hidas akunvaihtoprosessi, työturvallisuus sekä käytön ergonomia. Näistä valinnoista valitaan ne, jotka vastaaja kokee olevansa ongelmat. Tämän jälkeen vastaaja perustelee valintansa, jotta saadaan mahdollisimman yksityiskohtaista tietoa ongelmista (Liite 1).

Seuraavassa kysymyksessä kysytään seuraava. Mitä muita ongelmia olet kohdannut manuaalisessa akunvaihtolaitteessa, mitä ei edellisessä kysymyksessä mainittu. Tähän vastaaja voi vapaasti kertoa omin sanoin ongelmakohdista, jotka ovat mahdollisesti jääneet kokonaan huomioimatta. Viimeisessä kysymyksessä kysytään seuraava. Mikä manuaalisissa akunvaihtolaitteissa on hyvää, tai toimivaa. Tämän kysymyksen tarkoituksena on saada esille mahdolliset hyvät puolet akunvaihtolaitteesta, jotka voisi mahdollisesti sisällyttää uuteen akunvaihtolaitteeseen kehitystyön aikana (Liite 1).

4.3 Kyselytutkimuksen toteutus

Kyselylomake laadittiin Microsoft Word-tekstinkäsittelyohjelmalla. Kyselyt lähetettiin ennalta valituille henkilöille, jotka ovat olleet käynneillä asiakkaan toimitiloissa ja nähneet akunvaihtoasemat paikan päällä sekä akunvaihtolaitteen käytön. Kyselyyn valittuja henkilöitä oli kymmenen kappaletta, joille kysely toimitettiin sähköpostissa.

Sähköposti viestissä oli pohjustettu kyselyn tarkoitusta sekä ohjeistus kyselyn täyttämiseen. Viestissä myös mainittiin, että kaikkiin kysymyksiin ei ole pakko vastata sekä vastaukset käsitellään opinnäytetyössä anonyymisti, yksityisyys syistä. Kyselytutkimus toteutettiin toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan.

4.4 Kyselytutkimuksen tulosten analysointi

Kyselylomakkeen tulokset olivat kokonaisuudessa hyvälaatuisia. Vastajat kertoivat kyselylomakkeessa yksityiskohtaisesti akunvaihtolaitteen ongelmista sekä haasteista. Osa lomakkeeseen vastanneista oli myös jälkikäteen yhteydessä ja selvensi ongelmakohtia kuvien sekä videoiden avulla asiakkaiden toimitiloista.

Ensimmäisen kysymyksen ensimmäisessä kohdassa kävi ilmi se, että osa akunvaihtolaitteen käyttäjistä eivät olleet tietoisia akunvaihtolaitteen korkeussäädöstä. Tämän seurauksena operaattorit ovat väkisin repineet akkua akunvaihtolaitteen nostopöydälle sekä siitä pois. Akunvaihtolaitteen kohdistaminen AGV-trukkiin on osoittautunut haastavaksi, jonka seurauksena akkuja on väkisin revitty vinossa akunvaihtolaitteen nostopöydälle. Ensimmäisen kysymyksen toisessa kohdassa, vastajat mainitsivat uudelleen siitä, että operaattorit eivät olleet tietoisia akunvaihtolaitteen korkeudensäädöstä.

Ensimmäisen kysymyksen kolmannessa kohdassa mainittiin, että itse akunvaihtolaite on harvemmin syyllinen hitaaseen akunvaihtoon, vaan todennäköisemmin operaattorin hidas reagointi. Vastajat myös palasivat siihen, että akunvaihtolaitteiden kohdistaminen on hankalaa horisontaalisesti sekä vertikaalisesti, jonka seurauksena akunvaihtoprosessi on hidasta.

Ensimmäisen kysymyksen neljännessä kohdassa kävi ilmi se, että sormien loukkaaminen on yleistä akunvaihtoprosessin aikana. Joissakin tilanteissa akku on ollut jopa vaarassa kaatua. Kyselyssä kävi myös ilmi se, että mekaaninen apuväline akun siirtämiseen olisi hyvä olla jokaisessa akunvaihtolaitteessa.

Ensimmäisen kysymyksen viidennessä kohdassa kävi ilmi, että akunvaihtoprosessin ergonomia vaatii kehitystä. Operaattorit joutuvat paljon kurottelemaan akunvaihtoprosessin aikana, sillä AWT-automaattitrukkien akunvaihtolaitteen manipulaattori pitää irrottaa akun takaosasta, silloin kun akku on siirretty latauslokeroon. Akkujen latauskaapelit sijaitsevat myös akkujen takana latausasemassa, joten akkujen kytkeminen laturiin vaatii myös turhaa kurottelua.

Toiseen kysymykseen vastanneet mainitsivat myös akunvaihtolaitteen kohdistuksen haasteista. Kävi myös ilmi, että akunvaihtolaitteen tuentaa lattialla tulisi parantaa, sillä akunvaihtolaite saattaa liikkua akunvaihdon yhteydessä. Akunvaihtolaitteen korkeuden säädön tulisi myös olla helpompaa.

Kolmanteen kysymykseen vastanneet vastasivat että, akunvaihtolaitteet ovat paremmat, kun ei mitään. Työturvallisuudesta kanssa mainittiin siten, että kukaan ei ole toistaiseksi vakavasti loukkaantunut akunvaihtolaitetta käyttäessä. Vastajat myös mainitsivat, että ART-automaattitruckien akunvaihtolaitteen käytöstä ei ole paljoakaan kokemusta.

5 Suunnittelu

Uuden akunvaihtolaitteen tulee olla yhteensopiva VNA- sekä ART-automaattitruckien kanssa. Akunvaihtolaitteesta tulee kaksi eri varianttia toimeksiantajan toiveesta, akunvaihtoasemaan integroitu, tai yleisesti sivuttaisessa suunnassa liikkuva sekä pumppukärryyn liitettävä. Kumpikin automaattitrucki käyttää samankaltaista DIN 43531 standardin mukaista akkua.

Suunnittelu vaiheessa hyödynnetään kyselytutkimuksesta saatua tietoa, jonka avulla pyritään korjaamaan mahdollisimman monta ongelmaa akunvaihtolaitteesta välttämällä vanhoja virheitä. Sekä myös yleisesti parantamaan akunvaihtoprosessia sekä työturvallisuutta.

Uusi akunvaihtolaite pyritään suunnittelemaan modulaariseksi, jotta pumppukärryyn liitettävä sekä akunvaihtoasemaan integroitu laite pystyvät hyödyntämään mahdollisimman monta samaa osaa. Tulevaisuuden kannalta on myös tärkeää, että uusi akunvaihtolaite on suunniteltu modulaarisesti sillä se mahdollistaa uusien varianttien luomisen mahdollisimman nopeasti, mikäli näille tulee tulevaisuudessa tarve, modulaarisuutta käsitellään luvun 3.3 mukaisesti.

5.1 Menetelmät ja käytetyt ohjelmistot

Suunnittelu prosessi alkaa sillä, että kerätään vaatimuslista toiveista sekä vaatimuksista, jotka uuden akunvaihtolaitteen on täytettävä. Vaatimuslistan laatiminen on erittäin tehokas menetelmä kartoittaa olennainen tieto, jotta itse mekaniikkasuunnittelu olisi mahdollisimman tehokasta. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 95)

Akunvaihtolaitteen ominaisuuksien teknisten ratkaisujen valinta tehdään morfologisen laatikon avulla, joka on erittäin tehokas työkalu suunnittelun konseptointi vaiheessa. Tämän avulla on mahdollista tehdä perusteltuja valintoja systemaattisesti sekä suoraviivaisesti. (Ullman, 2010, s. 204)

Suunnittelu prosessin aikana myös pohditaan sekä arvioidaan mahdollisia riskejä. Riskien arvioiminen tehdään luvun 3.1 menetelmien avulla, jotta akunvaihtolaitteen lopullinen käyttäjä pystyy operoimaan laitetta mahdollisimman turvallisesti sekä ergonomisesti.

Suunnitteluosuudesta 3D-mallinnus sekä valmistuskuvien laatiminen tehdään SolidWorks CAD-ohjelmistolla. Monimutkaisten kokoonpanojen sekä rakenteiden lujuuslaskenta tehdään SolidWorks Simulation lisäosalla, joka on elementtimenetelmää hyödyntävä laskentatyökalu. Elementtimenetelmällä pystytään käsittelemään monimutkaisia geometrioita heterogeenisissä materiaaleissa sekä epälineaarista käyttäytymistä (Desai ym., 2011, s. 32). Jatkuvat rakenteet diskretoidaan äärelliseen määrään pienempikokoisia toisiinsa kytkettyjä elementtejä (Desai ym., 2011, s. 27). Yksittäisten osien mitoituksessa hyödynnetään perinteisiä lujuusopillisia sekä statiikkaan perustuvia menetelmiä.

5.1.1 Vaatimuslistan laatiminen

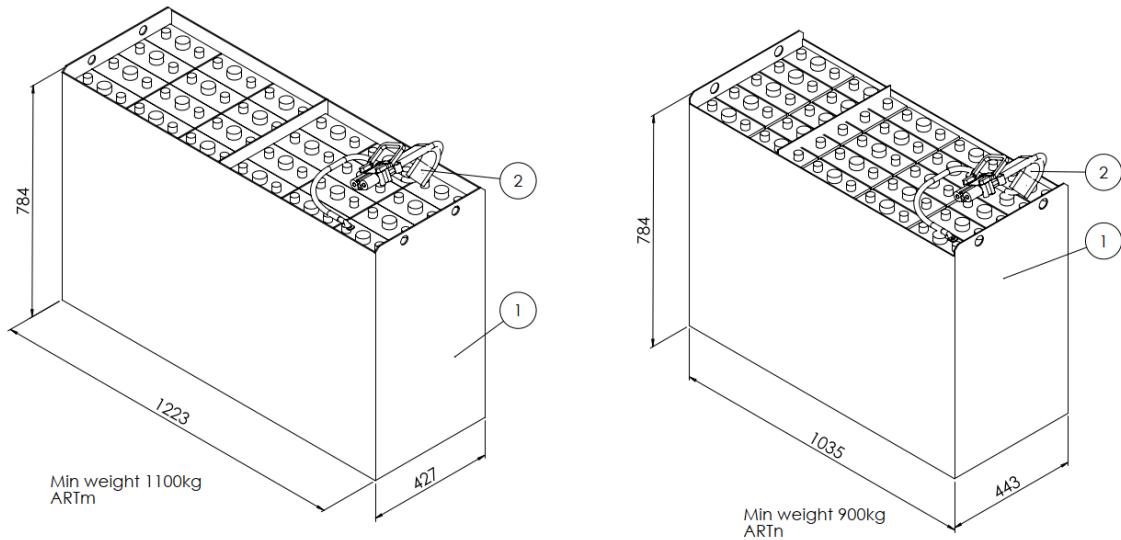
Ensimmäisenä konkreettisenä asiana mekaniikkasuunnittelu työn aloituksessa on tiedon keruu siitä, mitä suunniteltavalta laitteelta vaaditaan. Vaatimuslista on erinomainen työkalu kerätä tämä tieto. Yhtä ainoaa oikeaa tapaa vaatimuslistan tekemiselle ei ole. Vaatimuslistan laatimisessa on huomioitu kyselytutkimuksen palaute sekä toimeksiantajalta saadut toiveet ja vaatimukset.

Vaatimuslistassa vaatimukselle on vaatimusluokka sekä prioriteetti. Jokaisella vaatimuksella on oma vaatimusluokka, joita on kaksi kappaletta V, tarkoittaa että vaatimuksen on toteuduttava ja T tarkoittaa, että vaatimus on toive, jonka toteuttaminen ei ole pakollista, vaan suositeltavaa. Prioriteetit ovat yhdestä viiteen, näiden tarkoituksena on indikoida se, kuinka tärkeä kukin vaatimus on, esimerkiksi se, että laite kestää vaadittavan kuorman on prioriteetiltaan 5 vaatimus, toisinkuin maksimikorkeus 300 mm on prioriteetiltaan 2, sillä maksimikorkeus ei ole yhtä kriittinen asia, turvallisuuden tai laitteen toiminnan kannalta.

AGV-trukin akun on mahdollista vaivattomasti akunvaihtolaitteeseen, joten laitteen mitat ovat yksi tärkeimmistä vaatimuksista. ART-automaattitrukeissa käytettävästä akusta on kaksi

varianttia, joten akunvaihtolaitteen mitat täytyy määrittellä suuremman variantin mukaan (Kuva 9).

Kuva 9. ARTm- sekä ARTn-automaattitrukeissa käytetty DIN 43531 akku.



Työturvallisuuden kannalta on erittäin tärkeää, että akunvaihtolaite kestää siirrettävän akun massan. Toimeksiantajan sisäinen mekaniikkasuunnittelijan käsikirja suosittelee, että rakenteet, jotka valmistetaan s355 rakenneteräksestä, lujuusanalyysin vertailujännitys ei saa olla suurempi kuin 110 MPa (Yrityksen sisäinen tiedosto). Joten tämän perusteella voidaan akunvaihtolaitteen minimi varmuusluvuksi asettaa 3.2.

Akunvaihtolaitteen minimikorkeuden on oltava vähemmän kuin VNA-automaattitrukin akkutilan pohjan korkeustason, joka on 190 mm. Tämä on kyseisen automaattitrukin kokoon nähden erittäin matala. Maksimikorkeus ei ole yhtä kriittinen kuin minimikorkeus, sillä akunvaihtolaitteen korkeussäätöä käytetään suurimmaksi osaksi pienten korkeuserojen korjaamisessa.

Akunvaihtolaite ei saa olla sähkökäyttöinen, sillä se on liian hintava energia ratkaisu akunvaihtolaitteen käyttötarkoitukseen nähden sekä akunvaihtolaitteen on oltava aina saatavilla. Toimeksiantajan toiveesta laitteesta on myös oltava kaksi varianttia, sivusuunnassa liikkuva sekä pumppukärryyn liitettävä. Laitteen käyttö ei saa vaatia enempään kuin yhden operaattorin, sillä muutkaan akunvaihtolaitteet eivät vaadi enempään kuin yhden.

Työturvallisuuden kannalta laite ei saa aiheuttaa puristumisvaaraa käyttäjälle, eikä turhaa kurottelua. Laitteessa olisi hyvä olla paikoitustapit, jotta akunvaihto olisi tehokkaampaa ja turvallista, mutta kiskoilla liikkuvassa variantissa olisi myös hyvä olla sivuttainen säätö, koska kiskoilla liikkuva akunvaihtolaite on mahdotonta kohdistaa AGV-trukkiin, jos se on vinossa. (Taulukko 1)

Taulukko 1. Akunvaihtolaitteen vaatimuslista.

VAATIMUSLUOKKA	VAATIMUS	PRIORITEETTI
	MITAT	
V	Kestettävä kuorma varmuusluvulla >3,2: 1100 kg	5
V	Nostopöydän leveys: >514 mm	3
V	Nostopöydän syvyys: >1223 mm	4
V	Minimikorkeus: <180 mm	5
V	Maksimikorkeus: >300 mm	2
	ENERGIA	
V	Käyttövoima ei saa olla sähkö	5
	SIIRTÄMINEN	
T	Kiskoilla liikkuva	2
V	Vapaasti renkailla liikkuva	5
T	Pumppukärryyn integroitava	2
	TYÖTURVALLISUUS/ERGONOMIA	
V	Laite ei saa liikkua akunvaihdon aikana	4
V	Käyttö ei saa vaatia kurottelua	5
V	Käytön aikana ei saa olla puristusvaaraa	5
	KÄYTTÖ	
V	Itsenäisesti käytettävä	5
	TOIMINNOT	
V	Korkeussäädettävä	5
T	Sivuttaissuuntainensäätö	2
T	Paikoitustapit	4

5.1.2 Morfologisen laatikon laatiminen

Akunvaihtolaitteen osatoimintojen valinnassa hyödynnetään morfologista laatikkoa, joka on suunnittelutyön konseptointivaiheessa käytetty erittäin tehokas valintamenetelmä. Sen toiminta perustuu siihen, että suunnittelija jakaa suunniteltavan laitteen pienempiin osatoimintoihin. Näille osatoiminnoille pyritään löytämään mahdollisimman monta konseptia, jotka täyttävät osatoiminnolta odotetut vaatimukset. Tämän jälkeen ratkaisua etsitään yhdistelemällä erilaisia osatoimintoja, kunnes toimivin ratkaisu löytyy, joka täyttää suunniteltavan laitteen vaatimukset. (Ullman, 2010, s. 204)

Akunvaihtolaite on jaettu neljään osatoimintoon, jotka ovat nostomekanismi, akun siirtäminen, akunvaihtolaitteen siirtäminen sekä tuenta. Näille osatoiminnoille konsepteja etsittiin tutkimalla nykyisiä toimeksiantajan akunvaihtolaitteita sekä tutkimalla kilpailijoiden ratkaisuja. (Taulukko 2)

Taulukko 2. Akunvaihtolaitteen morfologinen laatikko.

OSA-TOIMINNOT	KONSEPTIVAIHTOEHDOT		
	A	B	C
NOSTOMEKANISMI	Saksinostin	Nivelnelikulmio	Pumppukärkytyylinen
AKUN SIIRTÄMINEN	Vinssi	Ruori manipulaattori	Kahva manipulaattori
AKUNVAIHTOLAITTEEN SIIRTÄMINEN	Sivusuuntaiset renkaat	Kääntöpyörät	X
AKUNVAIHTOLAITTEEN TUENTA	Paikoitus koukku	Tukijalat	Pyörän jarrut

Nostomekanismiosatoiminnosta valikoitui pumppukärkytyylinennostomekanismi. Kyseinen nostomekanismi on osatoiminnoista kaikista soveltuvin, sillä se on matalaprofiilinen sekä helposti integroitava. Huonona puolena on se, että se vaatii käyttökohteeseen nähden monimutkaisen vipumekanismiin, joka nostaa akunvaihtolaitteen valmistuskustannuksia.

Nivelnelikulmion integroiminen VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteeseen olisi ollut haasteellista, sillä vaadittava nostokorkeus on niin suuri, tämä korkea nostokorkeus sekä akun suuri paino olisi mahdollisesti aiheuttanut nurjahduksen vipumekanismissa. Tämän pystyisi välttämään,

vahvistamalla vipumekanismia erilaisten lujusteknisten menetelmien avulla, mutta se olisi monimutkaistanut nostomekanismia liian paljon, käyttötarkoitukseen nähden.

Saksinostin olisi ollut mekaniamiltaan kustannustehokkain vaihtoehto, mutta sen integroiminen VNA- sekä ART- akunvaihtolaitteeseen olisi vain mahdollista, jos mekaniikan olisi liittänyt nostopöydän sivuille, jotta akunvaihtolaite saavuttaisi vaadittavan minimikorkeuden, jota käsiteltiin luvussa 5.1.1. Tämän seurauksena nostomekanismi vaatisi myös kaksi kappaletta hydraulikkasyntereitä, joka laskisi nostomekaniikan kustannustehokkuutta.

Akun siirtämisen osatoiminnoista valikoitui kahvamanipulaattori. Kyseistä menetelmää käytetään ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteessa, jonka toiminta periaate käytiin luvussa 2.1. Kahvamanipulaattori on vaihtoehtoista kaikista ergonomisin sekä työturvallisista, sillä se ei vaadi erillistä koskemista akkuun. Tämä minimoi käsien loukkaamisen riskin akunvaihdon yhteydessä. Kahvamanipulaattorilla pystyy myös tekemään kaksi tärkeimmistä työvaiheista akunvaihdossa, jotka ovat akun vetäminen ja työntäminen sekä akunvaihtolaitteen liikuttamisen.

Ruorimanipulaattori on kaikista yleisin Rocla AGV-automaattitrukkien akun siirtämisen apulaite, jonka toiminta periaate selitettiin luvussa 2.2. Hyvänä puolena ruorimanipulaattorissa on se, että sillä pystyy siirtämään akun akunvaihtolaitteen kummalta puolelta tahansa, joka nopeuttaa akunvaihtoprosessia. Huonona puolena on se, että akunvaihtoprosessin aikana ruorimanipulaattorin tarttujan kiinnityskohta on vaihdettava moneen kertaan akunvaihtoprosessin aikana, joka vaatii kurottelua sekä nostaa riskiä käsien loukkaamiselle.

Vaijerikela olisi kustannustehokkain apuväline akun siirtämisessä, sillä niitä on saatavilla laajalti usealta toimittajalta. Vaijerikela on myös ergonominen apuväline akun vetämisessä, mutta sillä ei pystyisi työntämään akkua pois akunvaihtolaitteesta, jonka seurauksena akku pitäisi työntää käsillä pois akunvaihtolaitteesta, joka ei ole ergonomista sekä olisi työturvallisuusriski.

Akunvaihtolaitteen siirtämisen osatoiminnoista valikoitui kääntöpyörät. Näillä on mahdollista toteuttaa akunvaihtolaitteen sivusuuntainen liikkuminen sekä akunvaihtolaitteen kohdistaminen AGV-trukkiin kustannustehokkaasti sekä helposti. Näiden huono puoli on se, että akunvaihtolaitteen liikkuminen ei onnistu yhtä suoraviivaisesti kuin yhteen suuntaan lukituilla renkailla, sillä kääntöpyörät tahtovat kääntyä pienimmistäkin häiriöistä.

Yhteen suuntaan lukitut pyörät olisivat monimutkaistanut VNA- sekä ART-akunvaihtolaitetta. Koska näiden käyttäminen vaatisi myös mekanismin, jolla olisi mahdollista siirtää nostopöytää eteenpäin, jotta akunvaihtolaitteen kohdistaminen AGV-trukkiin olisi helpompaa.

Akunvaihtolaitteen tuenta osatoiminnoista valikoitui paikoituskoukku. Tällä on mahdollista toteuttaa akunvaihtolaitteen kohdistaminen sekä akunvaihtolaitteen tukeminen yhtä aikaa akunvaihtoprosessin aikana, sillä koukku lukitsee akunvaihtolaitteen paikalleen sekä estää akunvaihdon, jos akunvaihtolaite ei ole kohdistettu oikein. Huonona puolena tässä on se, että VNA- sekä ART-automaattitrukkeihin on asennettava paikka, koukun soljelle, joka vaikuttaa niiden ulkonäköön.

Tukijalat olivat hyvä vaihtoehto akunvaihtolaitteen tukemiselle, sillä ne vähentäisivät riskiä kaatumiselle, akunvaihtoprosessin aikana sekä estäisivät akunvaihtolaitteen liikkumisen. Huonona puolena on se, että niiden asettaminen vaatisi yhden työvaiheen lisää sekä niiden käytön unohtaminen olisi suuri työturvallisuusriski.

Jarrut olisivat ajaneet saman asian kuin tukijalatkin, mutta niillä ei ole mahdollista tukea akunvaihtolaitetta akunvaihtoprosessin aikana. Jarrut jakavat samat huonot puolet tukijalkojen kanssa.

5.2 Sivuttain liikkuva VNA- sekä ART-akunvaihtolaittekonfiguraatio

Sivuttain liikkuvan akunvaihtolaitteen mallintaminen alkoi 3D- luonnosten tekemisellä SolidWorks CAD- ohjelmalla. Jolla hahmoteltiin morfologisen laatikon avulla valittujen toimintojen integroimista yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Näitä luonnoksia iteroitiin, kunnes toimiva ratkaisu löytyi, joka toteuttaa vaatimuslistassa listatut vaatimukset.

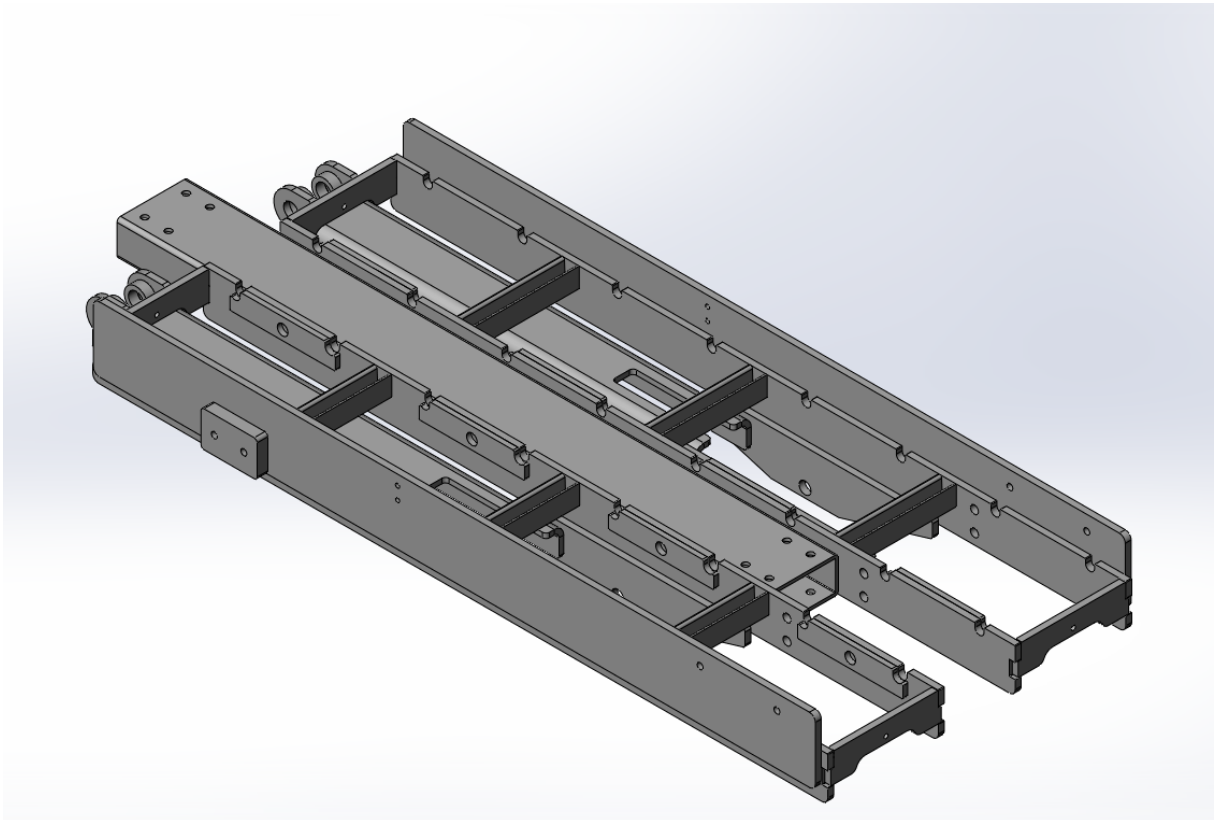
Toimivasta ratkaisusta tehtiin yksinkertainen konseptimalli, johon hahmoteltiin toimivuuden kannalta pakolliset mitat, jotta pystyttiin varmistumaan siitä, että ratkaisu on käytännössä toimiva. Konseptimalli vietiin VNA- sekä ART- automaattitrukkien kanssa samalle kokoonpano tasolle, jossa hahmoteltiin konseptimallin yhteensopivuutta sekä itse akunvaihtoprosessia.

5.2.1 Nostopöydän nostopalkkivariantti

Nostopöydän tehtävänä on kannatella AGV-trukin akkua tukevasti sekä turvallisesti akunvaihtoprosessin aikana. Nostopöytään asennetaan kuljetinrullia, samalla tavalla kuin muissakin akunvaihtolaitteissa, näiden tehtävä on avustaa akun siirtämisessä, tekemällä akun horisontaalisesta liikkeestä mahdollisimman kitkatonta. Suurimpana riskinä tässä on se, että akku voi valua kuljetuksen aikana ja sen seurauksena tippua nostopöydältä lattialle, mutta riskiä voidaan rajoittaa manipulaattorikahvan lukitusmekanismilla, riskien arvioiminen käytiin luvussa 3.1.

Nostopöytä valmistetaan suurimmaksi osaksi s355 levyteräksestä hitsauskokoontana, joiden aineen vahvuudet ovat 8 mm sekä 10 mm. Nostopöytä koostuu kahdesta suorakulmion muotoisesta kehikosta, jotka ovat toistensa peilikuvat. Nämä kehikot erottavat toisistaan 120 x 60 x 5 mm RHS putkipalkki. Kehikoiden väliin asennetaan paikoituskoukku, joka mahdollistaa akunvaihtolaitteen paikoittamisen sekä tuennan (Kuva 10).

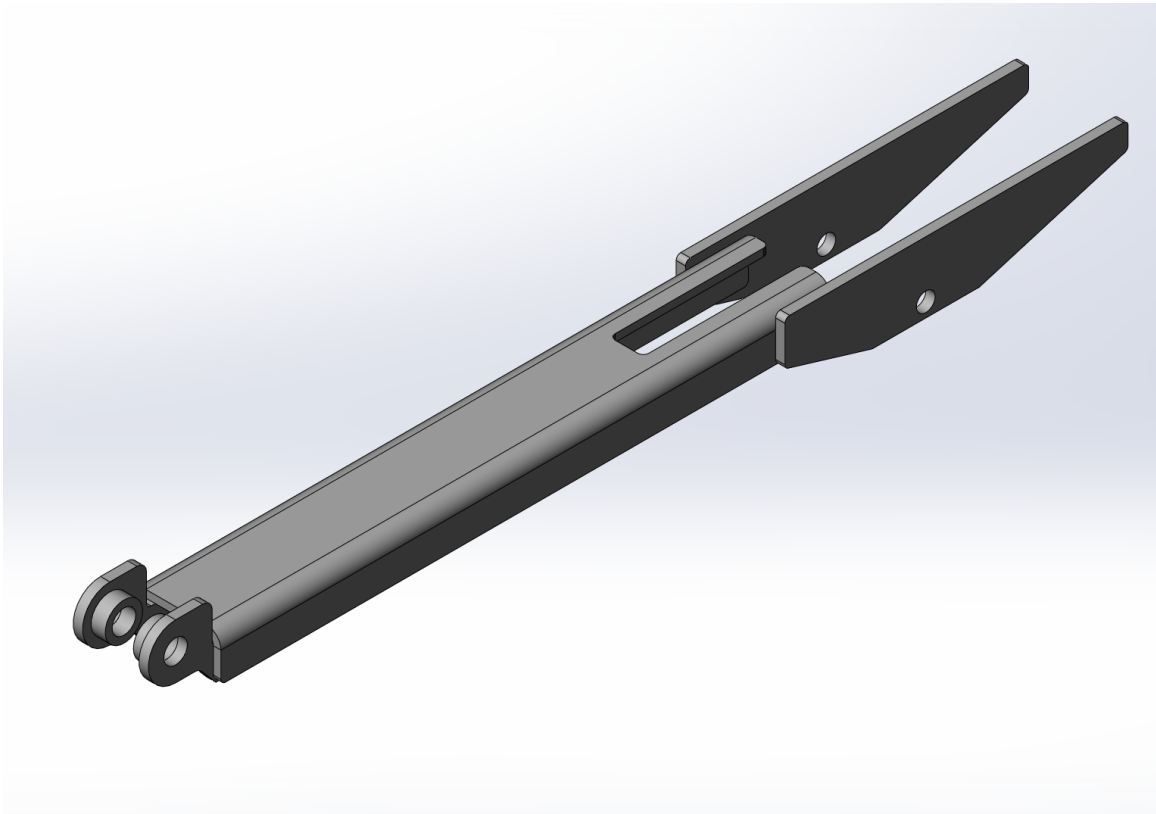
Kuva 10. Nostopöydän nostopalkkivariantti.



Kehikoiden alapuolella on hitsaamalla liitetty nostopalkki kokoonpano, johon nostomekanismi asennetaan (Kuva 11). Nostopalkki on valmistettu 8 mm s355 levyteräksestä, joka on

särmätty U- muotoon. Kummallakin puolella palkkia on 10 mm s355 levyteräksestä valmistetut levyosat, joissa on kiinnityspisteet nostomekanismille. Nostopalkki kokoonpanoa tukee kehikossa olevat standardi U- palkit, jotka ovat sijoitettu 320 mm välein toisistaan.

Kuva 11. Nostopalkki.



Työturvallisuuden kannalta on tärkeää arvioida, kuinka monta kuljetinrullaa vähintään tarvitaan, jotta saavutetaan akunvaihtolaitteelta vaadittu varmuusluku, joka on listattu luvun 3.1 vaatimuslistassa. Nostopöydässä käytetyt kuljetinrullat ovat Logisnext European oma tuote, joita yleensä käytetään manuaalitruckien akutilassa helpottaakseen akun siirtämistä. Tämän seurauksena kyseisille kuljetinrullille ei ole laadittu maksimi kuormaa. Mutta tämän voi selvittää akun aiheuttaman kuormituksen, kuljetinrullien asennuspituuden sekä kuljetinrullien akselin taivutusvastuksen avulla (Interroll, n.d. s. 207). (Kaava 1)

Kaava 1. Taivutusjännitys. (Interroll, n.d. s. 207).

$$\sigma_t = \frac{F \times L}{(8 \times W)}$$

Taivutusjännityksen kaavassa (Kaava 1) käytetyt termit:

- σ_t on taivutusjännitys (N/mm²).
- F on kuormitus (N).
- L on kuljetinrullan asennuspituus (mm).
- W on taivutusvastus (mm³).

(Interroll, n.d. s. 207).

Akusta aiheutuva tasainen kokonais- kuormitus kuljetinrullille on 10787 N, kuljetinrullien asennuspituus on 177 mm sekä halkaisultaan 15 mm olevien kuljetinrullien akselin taivutusvastus on 331,34 mm³. Näillä tiedoilla voidaan laskea, että taivutusjännitys olisi 720 MPa, mikäli kuljetinrullia olisi vain yksi kappale. Kuljetinrullien akseli on valmistettu s355 rakenneteräksestä, jotta saavutettaisiin vaatimuslistassa vaadittu minimi varmuusluku, joka on listattuna luvussa 5.1.1, pitäisi kuljetinrullia olla vähintään kuusi kappaletta.

Kuljetinrullan akselin siirtymä asennuspituuteen nähden ei saisi olla enempään kuin 0.1 %, jotta kuljetinrullat toimisivat mahdollisimman optimaalisesti sekä niiden elinkaari olisi mahdollisimman pitkä (Interroll, n.d. s. 207). Tästä voidaan varmistua, yksittäiseen kuljetinrullaan kohdistuvan kuormituksen, kuljetinrullan asennuspituuden, akselin materiaalin kimmokerroimen sekä akselin neliömomentin avulla (Interroll, n.d. s. 207). (Kaava 2)

Kaava 2. Siirtymä. (Interroll, n.d. s. 207)

$$f_t = \frac{5 \times F \times L^3}{384 \times E \times I}$$

Siirtymän kaavassa (Kaava 2) käytetyt termit:

- f_t on siirtymä (mm).
- F on kuljetinrullaan kohdistuva voima (N).
- L on kuljetinrullan asennuspituus (mm).
- E on kimmokerroin (GPa).
- I on neliömomentti (mm⁴).

(Interroll, n.d. s. 207).

Mikäli oletetaan että neljä kuljetinrullaa olisi riittävä määrä, niin silloin yhteen kuljetinrullaan kohdistuva voima olisi 1662 N. S355 rakenneteräksen kimmokerroin yleisesti on 206 GPa

(Valtanen, 2019, s. 270). Näiden tietojen perusteella kuljetinrullan akselin siirtymä on 0.23 mm, joka on 0.13 % kuljetinrullien asennuspituudesta.

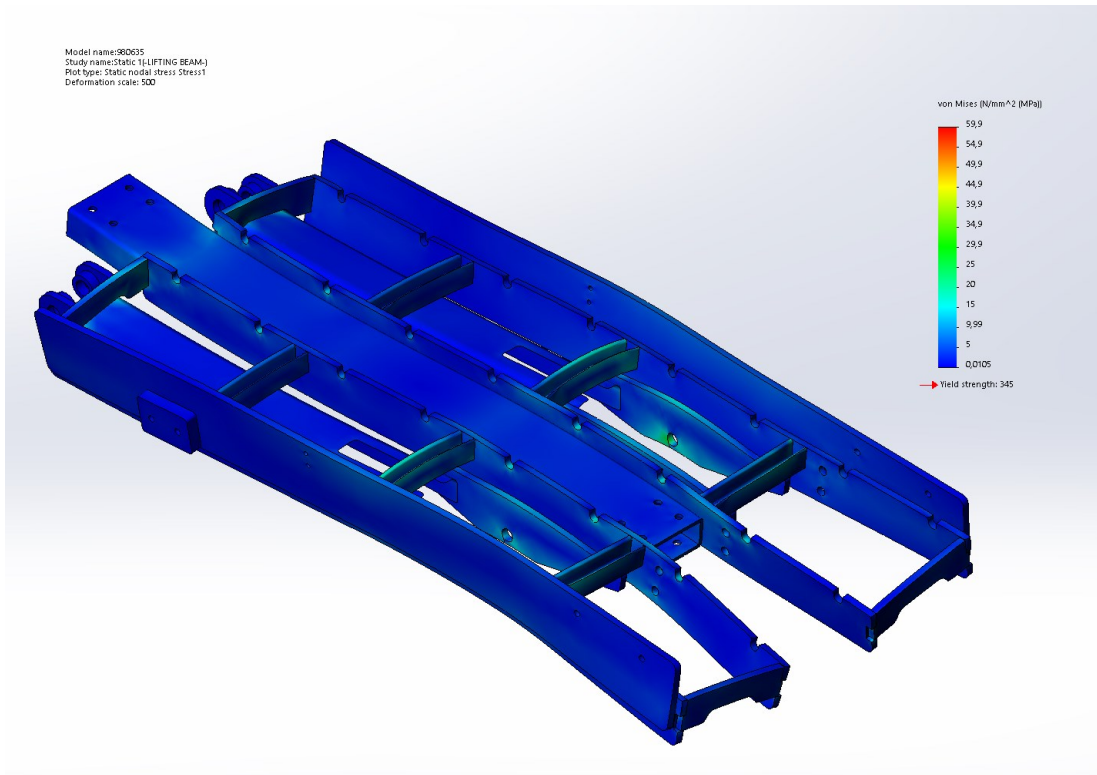
Tämän perusteella kuljetinrullia tulisi olla ainakin kahdeksan kappaletta, jotta ne toimisivat mahdollisimman optimaalisesti. Mutta akunvaihtolaitteen nostopöydän rungkon rakenteen myötä, tullaan kuljetinrullia asentamaan kahdeksan kappaletta kummallekin puolelle, sillä muuten rullien väli olisi liian suuri, joka voisi hankaloittaa akun siirtämistä nostopöydällä.

Nostopöydän nostopalkki variantille toteutettiin FEM-analyysi, jotta voidaan varmistua siitä, että se täyttää luvussa 5.1.1 listatun vaatimusluvun, jonka on oltava suurempi kuin 3.2. FEM-analyysissä jäykiksi tukipinnoiksi määritettiin ne, joista nostopöytä on akunvaihtolaitteessa tuettuna nosto operaation aikana. Nämä ovat nostopalkin levyjen reiät sekä nostopöydän rungkon RHS palkin takaosa, joka ulottuu runko rakenteen ulkopuolelle.

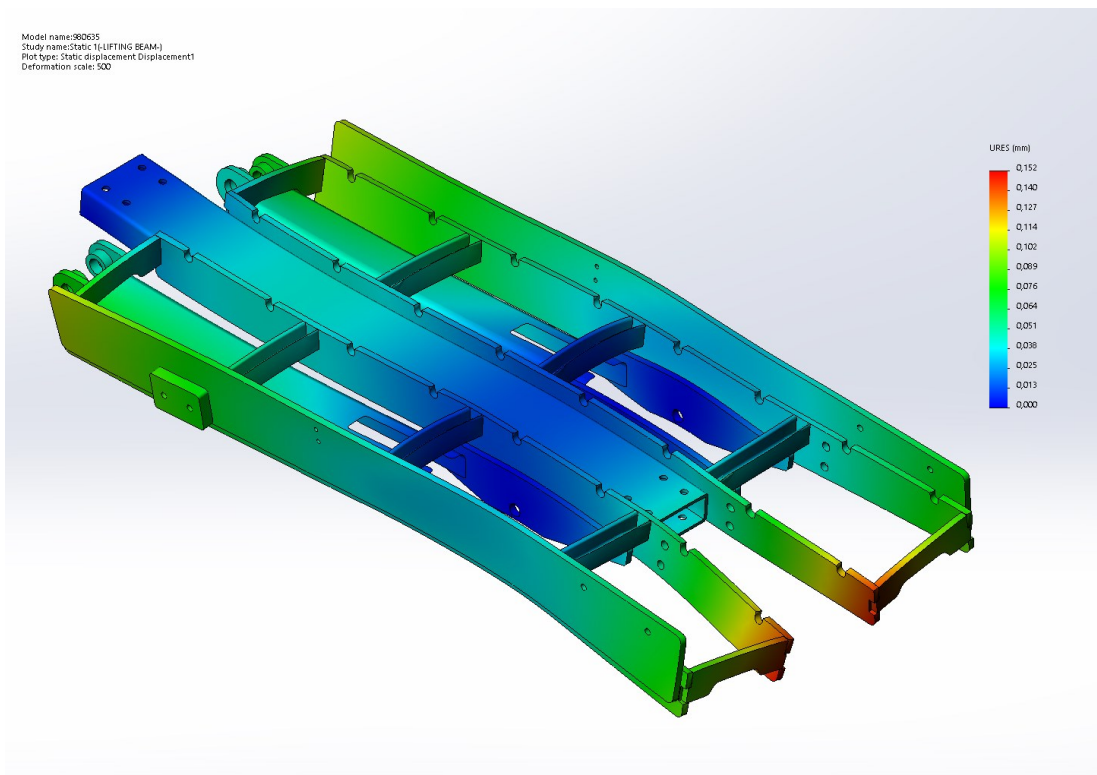
Kuormituksena käytettiin jakautunutta massaa sekä painovoimaa, jotka määritettiin kuljetinrullien loviin. Kyseinen valinta tehtiin sen perusteella, koska kantavan kuorman valinta olisi vaatinut SolidWorks simulationissa jokaisen kuljetinrullan loveen oman koordinaatistojärjestelmän. Joten tällä valinnalla saatiin säästettyä analyysiin käytettyä aikaa, vaikka yleisesti jakautuneen massan laskeminen on hitaampaa kuin kantavan kuorman. Analyysissä käytettiin vakio elementtiverkkoa, sillä tarkemmalle elementtiverkolle ei ollut tarvetta.

FEM-analyysin perusteella suurin Von Mises vertailujännitys arvo on 59.9 MPa sekä maksimi kokonais-siirtymä on 0.152 mm (Kuva 12 ja Kuva 13). 59.9 MPa on suuri yksittäinen jännityspiikki ja rakenteen nimellisjännitykset ovat todennäköisesti vieläkin matalammat. Joten nostopöydän nostopalkillisen variantin varmuusluku on yleisesti 5.9, joka täyttää luvussa 5.1.1 listatun varmuusluku vaatimuksen.

Kuva 12. Nostopöydän nostopalkkivariantin vertailujännitys.



Kuva 13. Nostopöydän nostopalkkivariantin siirtymä.



5.2.2 Manipulaattorikahva

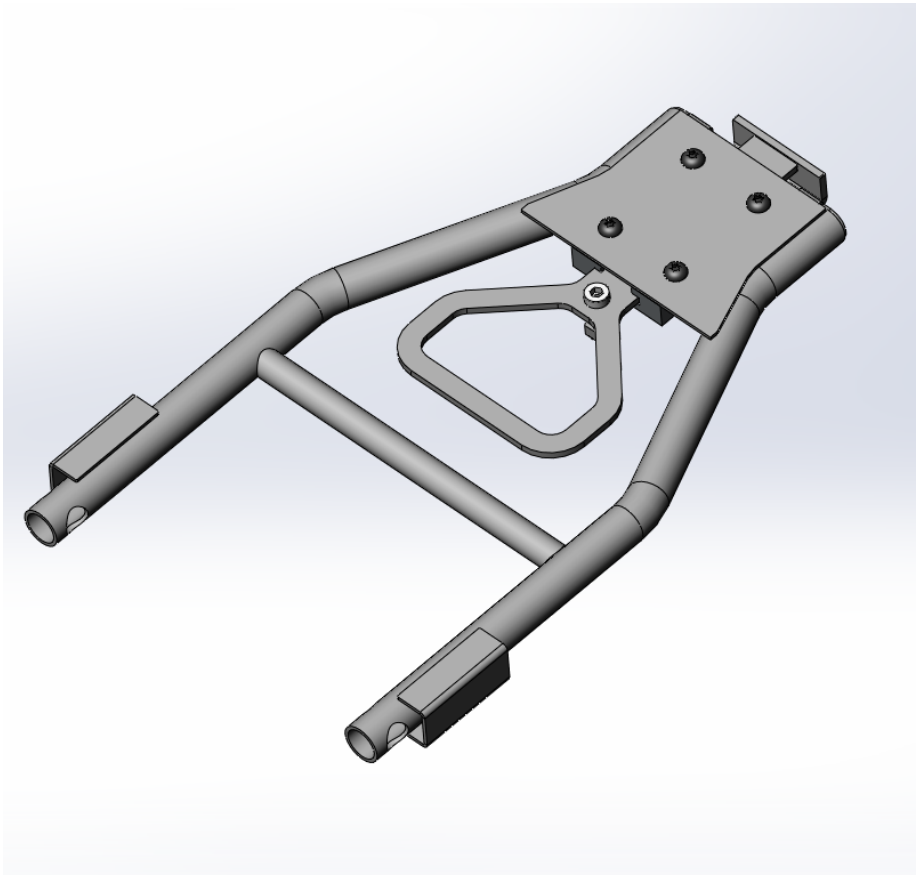
Manipulaattorikahvan design pohjautuu suurimmaksi osaksi ART-automaattitrukkien akunvaihtolaitteessa olevaan manipulaattorikahvaan, joka käsiteltiin luvussa 2.1. Kyseistä manipulaattorikahvaa ei pysty integroimaan suoraan suunniteltuun akunvaihtolaitteeseen, sillä sen toiminnassa hyödynnetään ART-akunvaihtolaitteen korkeutta.

Manipulaattorikahvan oikeaoppinen mitoittaminen on työergonomian kannalta erittäin tärkeää, työergonomiaa käsiteltiin luvussa 3.2, sillä manipulaattorikahvan avulla tehdään kaksi suurinta vaihetta AGV-trukin akunvaihtoprosessista. Nämä ovat itse akunvaihtolaitteen siirtäminen sekä akun siirtäminen AGV-trukin akkutilan ja akunlatauslokeron välillä. Työergonomian kannalta olisi hyvä, että manipulaattori kahvassa olisi mahdollisuus korkeuden säädölle, mutta akunvaihto on nopea prosessi, eikä ole tämän kannalta välttämätöntä.

Suosittelu kahvan tarttumisosan korkeus laitteessa, jota pääsääntöisesti siirretään työntämällä, on 737–1194 mm (Darcor, n.d. s.20). Tiettyä alueellista suositusta on mahdoton soveltaa akunvaihtolaitteen kohdalla, sillä akunvaihtolaitteita käytetään maailmanlaajuisesti. Kahvan tarttumisosan korkeus vaihtelee akunvaihtolaitteen käytön aikana, sillä manipulaattorikahva on kiinnitetty nostopöytään, jotta manipulaattorin toiminta pysyy ennallaan akunvaihtotasosta riippumatta.

Manipulaattori kahva koostuu kolmesta alikokoonpanosta, jotka ovat kehys, tarttuja sekä kahvat, joista on vasemman sekä oikean puolen konfiguraatiot. Uudessa manipulaattorikahvassa käytetään ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteen manipulaattorissa olevaa tarttujaa, josta kerrottiin luvussa 2.1 (Kuva 14). Tarttujan rungon pituutta täytyy suurentaa, jotta se on soveltuva uuteen manipulaattorikahvaan, sillä rungon nykyinen pituus ei ole yhteen sopiva kummankin DIN 43531 akun kanssa.

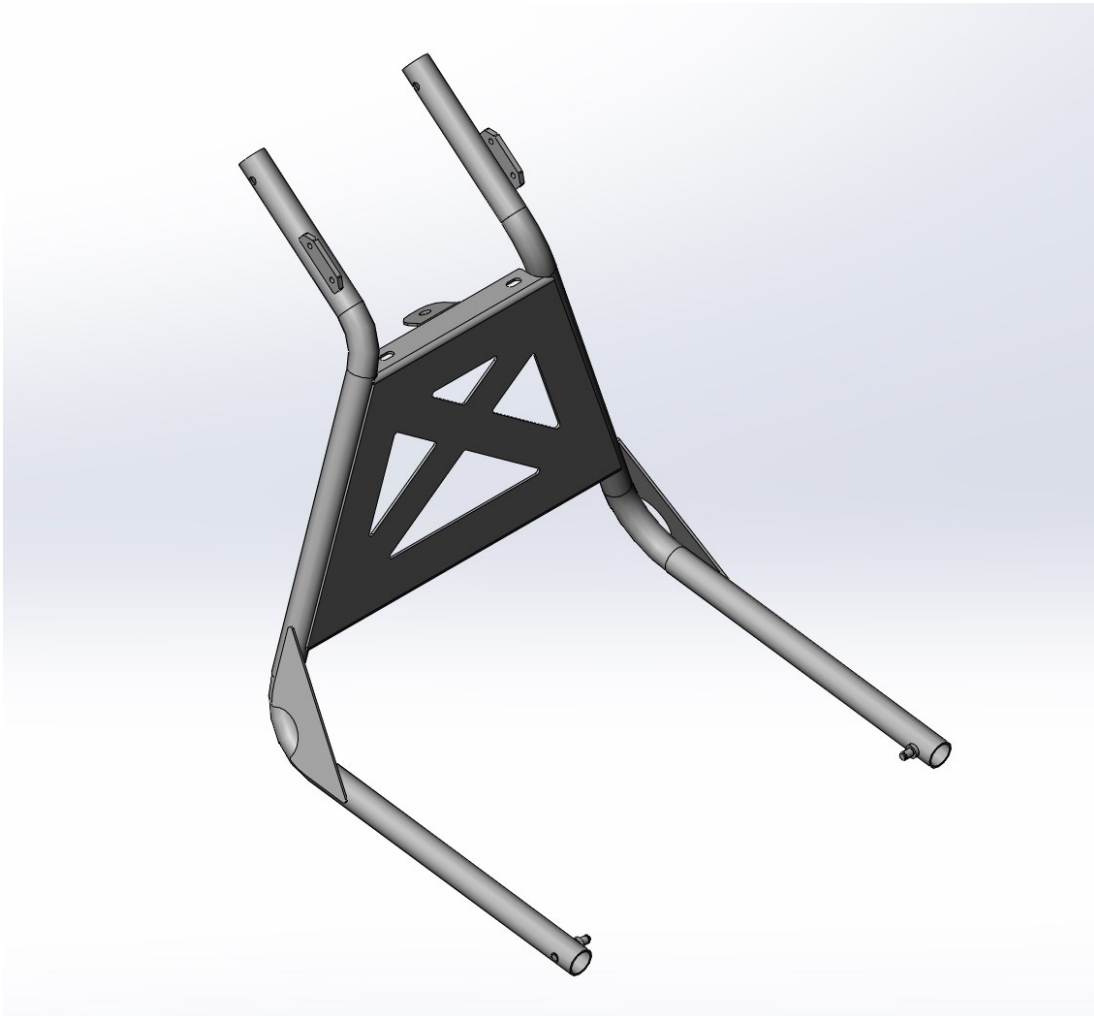
Kuva 14. ART-automaattitrukin akunvaihtolaitteen manipulaattorin tarttuja.



Manipulaattori kahvan kehys valmistetaan hitsauskokoontana kahdesta standardi 42.4 x 3 mm putkipalkista sekä ohutlevyteräksestä, jonka aineen vahvuus on 4 mm, joiden materiaali on s355 rakenneteräs. Kehyksessä putkipalkki taivutetaan 100 mm taivutus säteellä haluttuun muotoon, jossa on 600 mm vipuvartena toimiva segmentti sekä 767 mm vertikaali etäisyys tarttujan ja manipulaattorikahvan kiinnitysakselin välillä.

Putkipalkin alempiin taivutuskohtiin tulee ohutlevyteräksestä valmistetut vahvistuspalat kummallekin puolelle kehystä sekä itse kehys kokoonpanoa kasassa pitävä taivutettu etulevy, johon asennetaan manipulaattori kahvan lukitus. Kahvojen kiinnityspisteinä toimii korvakkeet, jotka ovat sijoitettu putkipalkkien ylempiin segmentteihin sekä etulevyssä olevat ovaalit reiät (Kuva 15).

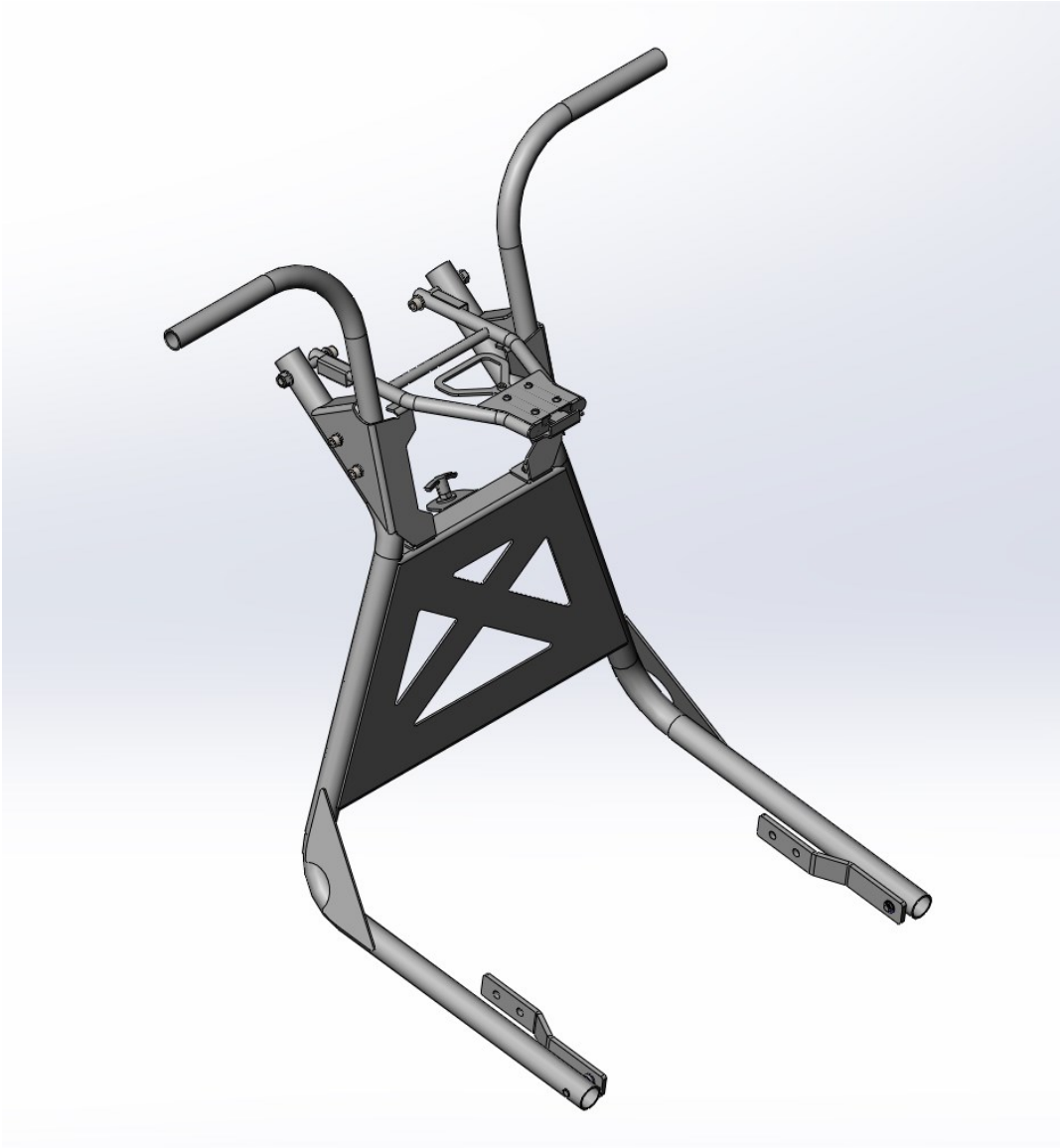
Kuva 15. Manipulaattorikahvan kehys.



Tarttumiskahvat valmistetaan hitsauskokoontana standardi 33.7 x 3 mm putkipalkista, joihin hitsataan 4 mm aineen vahvuisesta ohutlevyteräksestä särmäämällä valmistetut kiinnitysosat, joiden tehtävänä on myös rajoittaa tarttujan liikerataa. Tarttumiskahvat kiinnitetään kehykseen M10 ruuveilla ja tarttuja M12 ruuveilla (Kuva 16).

Manipulaattorikahva asennetaan akunvaihtolaitteen nostopöytään kiinnityskorvakkeista, jotka ovat osa manipulaattorikahva kokoonpanoa. Kiinnityskorvakkeet ovat valmistettu s355 levyteräksestä, jonka aineen vahvuus on 8 mm ja särmätty salaman muotoon, jotta kiinnitysruuvit ja manipulaattori kahvan akselit eivät häiritse manipulaattorikahvan liikerataa. Kiinnityskorvake kiinnitetään nostopöytään kummaltakin puolelta kahdella M12 ruuvilla (Kuva 16).

Kuva 16. Manipulaattorikahva.



Työergonomian sekä turvallisuuden kannalta on tärkeää varmistaa, että manipulaattorikahvan käyttöön vaadittava lihasvoima ei ole liian suuri. Tämän seurauksena akunvaihtolaitteen käyttäjälle voi tulla työtapaturma, jos manipulaattorikahvan käyttö vaatii jatkuvasti liiallista voimankäyttöä.

Manipulaattorikahvan käyttöön tarvittava lihasvoiman laskemiseksi, täytyy ensimmäisenä selvittää, kuinka suuri horisontaalinen voima akun siirtämiseen vaaditaan. Tämän selvittämiseksi täytyy selvittää, kuinka suuri on akun ja kuljetinrullien välinen lepokitka. Tämä voidaan laskea nostopöydässä käytettyjen kuljetinrullien kitkakertoimen, akun massa sekä painovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden avulla (Kaava 3), (Valtinen, 2019, s. 163).

Kaava 3. Kitkavoima. (Valtanen, 2019, s. 163)

$$F_{\mu} = \mu * m * g$$

Kitkavoima kaavassa (Kaava 1) käytetyt termit:

- F_{μ} on kitkavoima (N).
- μ on kitkakerroin.
- m on massa (kg).
- g on painovoiman aiheuttama kiihtyvyys (9.81 m/s^2).

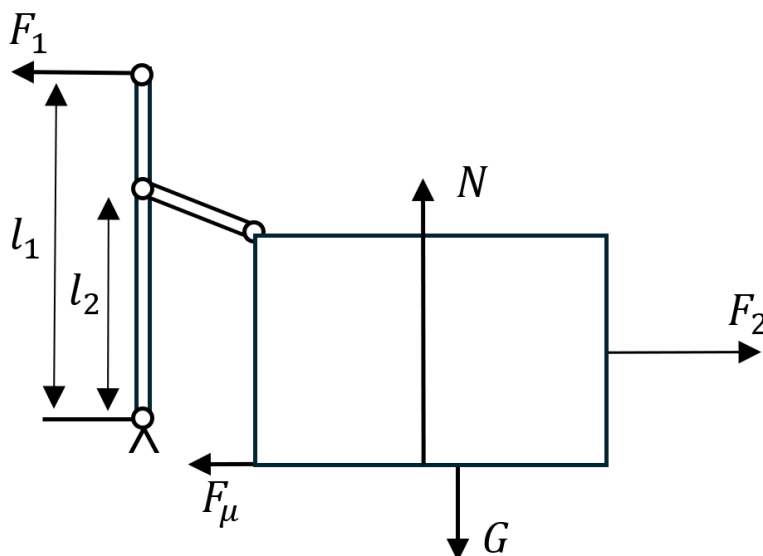
(Valtanen, 2019, s. 163).

Kuljetinrullissa käytetään kuulalaakereita, joiden kitkakerroin on yleisesti noin 0,002. (NTN, n.d. s. 54). Suurimman akunvaihtolaitteella käsiteltävän DIN 43531 akun paino on 1100 kg, joka on mainittu luvussa 5.1.1. Joten akun ja kuljetinrullien välinen kitkavoima on 22 N.

Manipulaattorikahva toimintaperiaate perustuu toisen luokan vipuun (Kuva 17).

Manipulaattorikahvan käyttämiseen tarvittava minimi lihasvoima voidaan laskea akun siirtämiseen tarvittavan horisontaalisen voiman, manipulaattorikahvan kokonaispituuden sekä tarttujan ja manipulaattorikahvan kiinnityspisteen etäisyyden avulla (Kaava 4), (Valtanen, 2019, s. 174).

Kuva 17. Manipulaattorikahvan toimintaperiaatteen vapaakappalekuva.



Kaava 4. Toisen luokan vipumekanismi. (Valtanen, 2019, s. 174)

$$F_1 * l_1 = F_2 * l_2$$

Toisen luokan vipumekanismiin kaavassa (Kaava 2) käytetyt termit:

- F_1 on vipuvoima (N).
- F_2 on siirrettävä voima (N).
- l_1 on vivun kokonaispituus (mm).
- l_2 on vivun kiinnityspisteen ja siirrettävän voiman etäisyys toisistaan (mm).

(Valtanen, 2019, s. 271)

Siirrettävän voiman on oltava suurempi kuin 22 N kitkavoima. Manipulaattorikahvan kokonaispituus on 1010 mm sekä tarttujan ja manipulaattorikahvan kiinnityspisteiden etäisyys toisistaan on 737 mm. Tämän seurauksena manipulaattorikahvan käyttöön vaaditaan 15 N suurempi lihasvoima lepokitkan voittamiseen, joka vastaa noin 1.6 kg. Manipulaattorikahvan käyttöön vaadittavan lihasvoiman suuruus nousee sen perusteella, millä nopeudella operaattori manipulaattorikahvaa käyttää. 15 N voima viittaa siihen, että manipulaattori kahvaa siirretäisiin nopeudella 0 m/s.

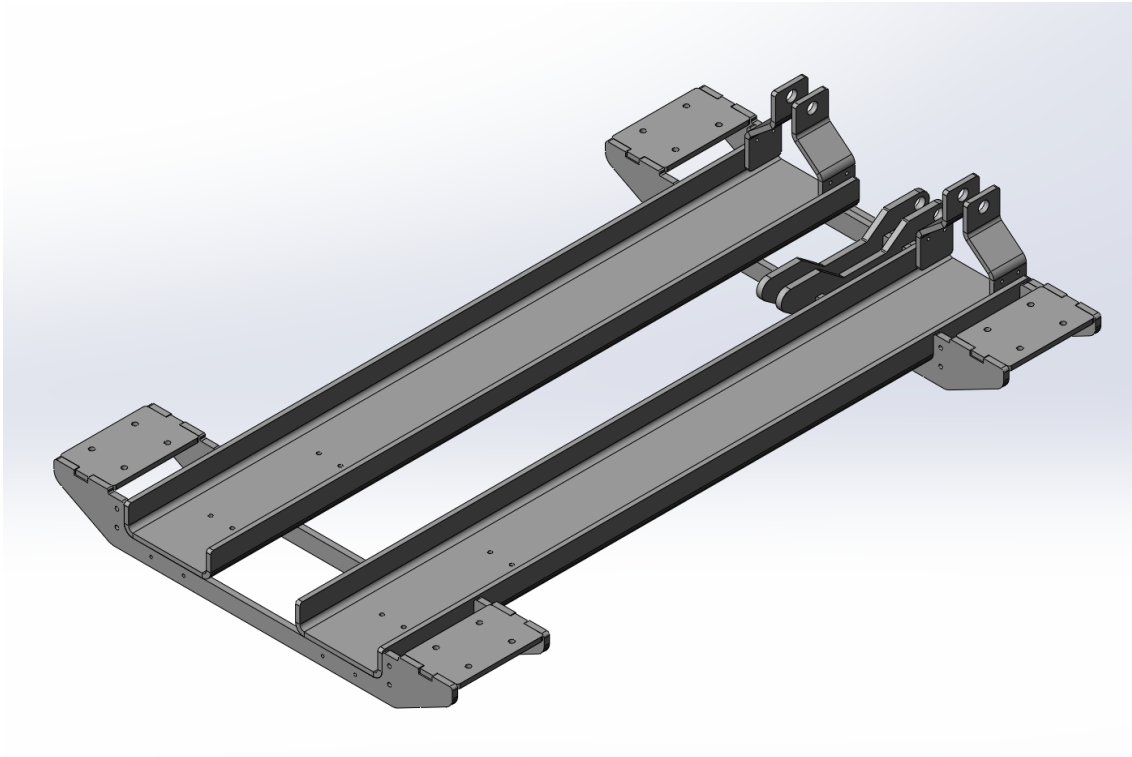
5.2.3 Runko

Akunvaihtolaitteen rungon tulee kestää DIN 43531 akun paino, joka mainittiin luvussa 5.1.1 sekä nostopöydän ja manipulaattorikahvan. Rungon tulee myös olla matalaprofiilinen, jotta akunvaihtolaitteen kokonaiskorkeus ei ylitä vaatimuslistassa listattua lepokorkeutta, jotta akunvaihtolaitteen toiminnallisuus VNA-automaattitrukkien akunvaihdossa ei kärsisi.

Akunvaihtolaitteen runko valmistetaan samalla periaatteella sekä samasta materiaalista kuin nostopöytäkin, josta on kerrottu luvussa 5.2.1. Runko kokoonpano koostuu kahdesta U-muotoon särmätystä levyteräs palkista, joiden aineen vahvuudet ovat 8 mm, jotka ovat kiinnitetty vertikaalisesti asetettuihin kannatinlevyihin, joiden aineen vahvuus on 10 mm ja taaimmaisen levyn 20 mm. Näiden levyjen välissä on kummallakin puolella runkoa, kaksi kappaletta kiinnityslevyjä, yhteensä neljä kappaletta, joiden aineen vahvuus on 10 mm,

runkoon tulevia kääntöpyöriä varten. Rungon oikealla puolella on kummassakin U-levyteräs palkissa kaksi kappaletta vipumekanismia varten olevaa kiinnityskorvaketta, joiden aineen vahvuus on 8 mm. Myös oikealla puolella, rungon keskellä on kiinnityskorvakkeet hydraulikkasyylinteriä varten, joiden aineen vahvuus on 8 mm, rungon vasemmalla puolella on kummassakin U-levyteräspalkissa neljä kappaletta ruuvireikiä, yhteensä kahdeksan kappaletta, joihin nostomekanismin liukulevyt kiinnitetään (Kuva 18).

Kuva 18. Akunvaihtolaitteen runko.

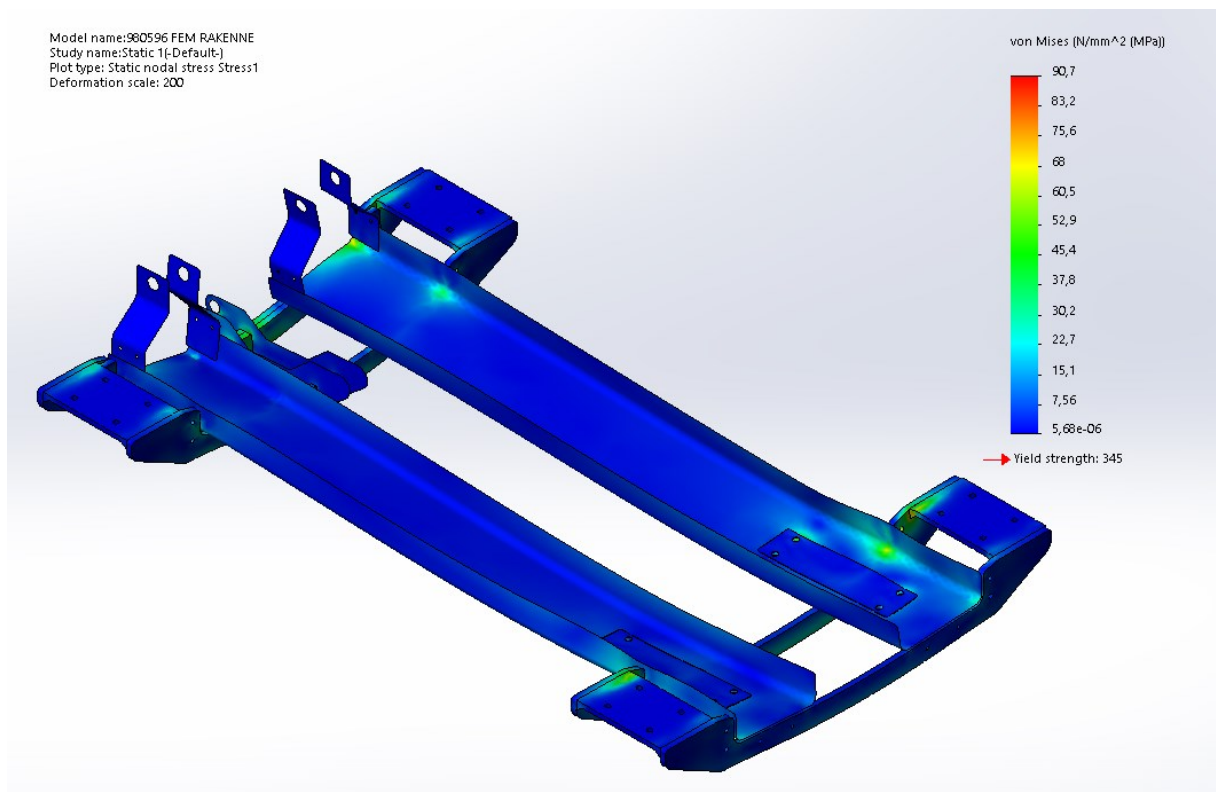


Akunvaihtolaitteen rungolle tehtiin FEM-analyysi, jotta voidaan varmistua siitä, että akunvaihtolaitteen runko täyttää luvussa 5.1.1 listatun varmuusluvun, jonka on oltava suurempi kuin 3.2. Akunvaihtolaitteen rungon jäykiksi tukipinnoiksi määriteltiin kääntöpyörien tukilevyt, jotka ulottuvat akunvaihtolaitteen rungon sivuille.

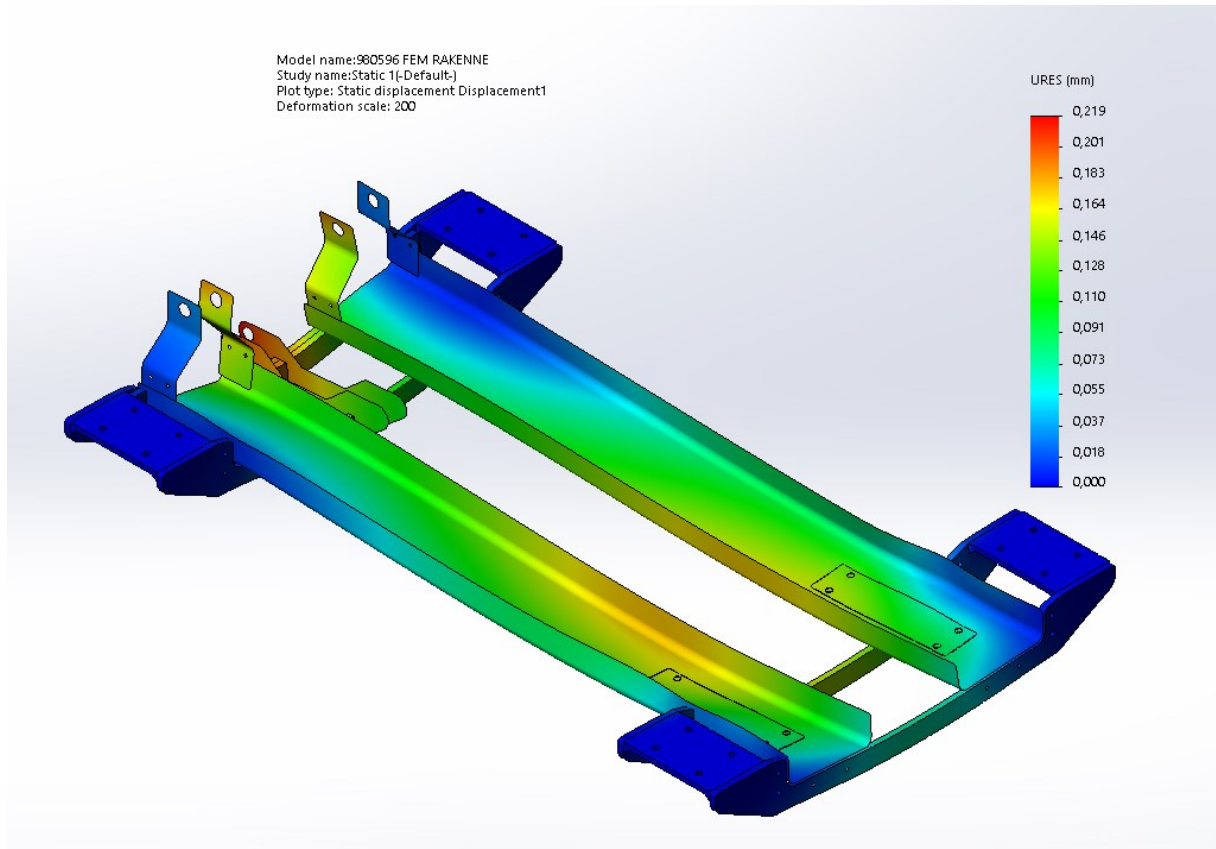
Kuormituksena akunvaihtolaitteen rungossa käytettiin jakautunutta voimaa sekä kantavaa kuormaa. Jakautunut voima kohdistuu rungon vasemmalle puolelle nostomekanismin liukulevyn kiinnitysreikien kohdalle, suorakaiteen muotoiselle alueelle (Kuva 18). Kantava kuorma kohdistuu hydraulikkasyylinterin korvakeihin (Kuva 18). Kuormituksen suuruus on 11694 N, joka koostuu akun massasta, josta on maininta luvussa 5.1.1 sekä nostopöydän massasta, joka on 92 kg.

FEM-analyysin perusteella akuvaihtolaitteen rungon suurin Von Mises vertailujännitys on 90.7 MPa sekä suurin siirtymä on 0.209 mm (Kuva 19 ja Kuva 20). Joten akuvaihtolaitteen rungon varmuusluku on 3.9, joten se saavuttaa vaatimuslistan varmuusluku vaatimuksen, joka on listattuna luvussa 5.1.1. Vertailujännitys on suurimmillaan konsentroitunut kuvan 19 oikean puolen kääntöpyörän kiinnityslevyjen sekä kannatin levyjen nurkkaan. Muihin alikokoonpanoihin verrattuna vertailujännitys on korkea mutta todellisuudessa tämän jännityskonsentraation ilmeneminen on epätodennäköistä (Kuva 19).

Kuva 19. Akuvaihtolaitteen rungon vertailujännitys.



Kuva 20. Akunvaihtolaitteen rungon siirtymä.



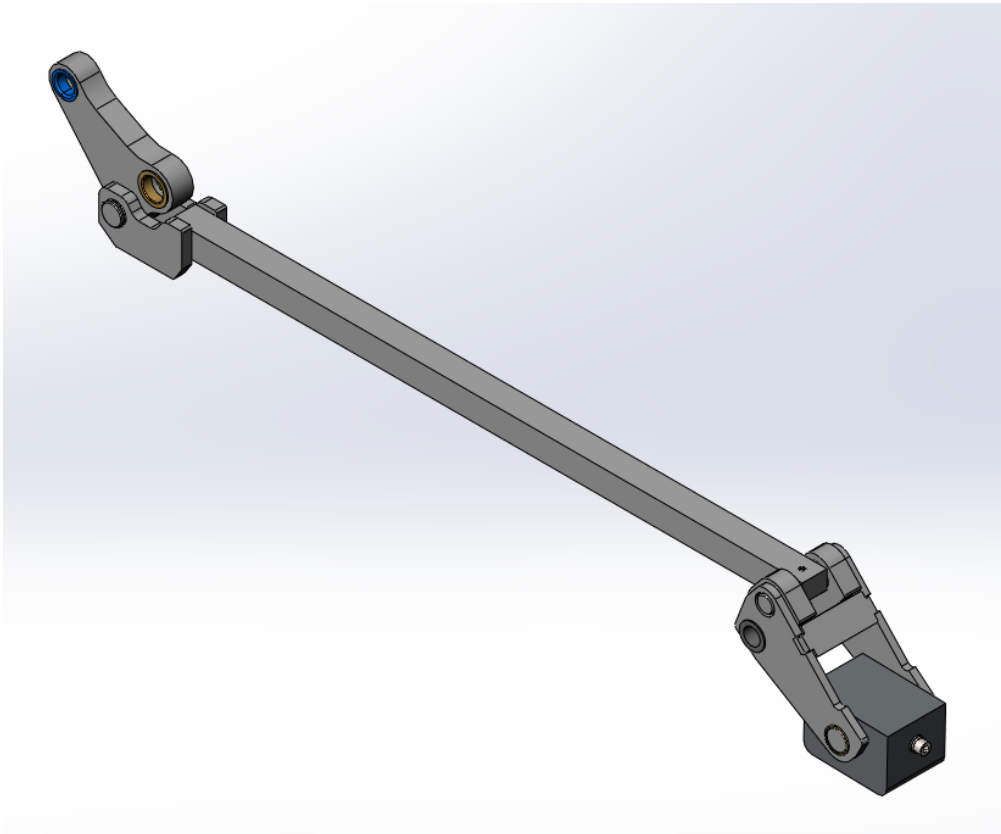
5.2.4 Nostomekanismi

Nostomekanismin integroiminen akunvaihtolaitteeseen osoittautui erittäin haastavaksi, sillä nostokehyksen on oltava tarpeeksi matala, jotta akunvaihtolaite sopii VNA-automaattitrukkiin sekä sen on nostettava tarpeeksi korkealle, jotta se sopii ART-automaattitrukkiin. Nostomekanismin toiminta periaate sekä mitoitus pohjautuu vanhemmassa ATXbf-automaattitrukki mallissa käytettyyn nostomekanismiin. Kyseinen mekanismi toimii pumppukärryn tavoin, joka on kykenevä saavuttamaan vaaditut raja-arvot.

Vipumekanismi koostuu kahdesta vivusta, jotka toisiinsa yhdistää vipujen välinen reaktiotanko (Kuva 21). Vipumekanismin vasemmassa päässä oleva vipu sekä reaktiotanko ovat tuotu nostokehykseen suoraan ATXbf- automaattitrukin mallista, sillä ne ovat käyttötarkoitukseen soveltuvia, ilman erillisiä muokkauksia. Oikeanpuoleinen vipu valmistetaan 8 mm s355 levyteräksestä hitsauskokoontanona, jossa on lisäksi hitsatut s355 rakenneteräksestä valmistetut välikkappaleet, jotta vipu mekanismi ei pääse liikkumaan sivusuunnassa akunvaihtolaitteen käytön aikana.

Oikeanpuoleisessa vivussa on lisäksi POM-C kestopuovista valmistettu liukupala. Kyseinen materiaali omaa pienen kitkakertoimen sekä erinomaisen kulutuskestävyyden (AIKOLON, n.d.).

Kuva 21. Vipumekanismi.

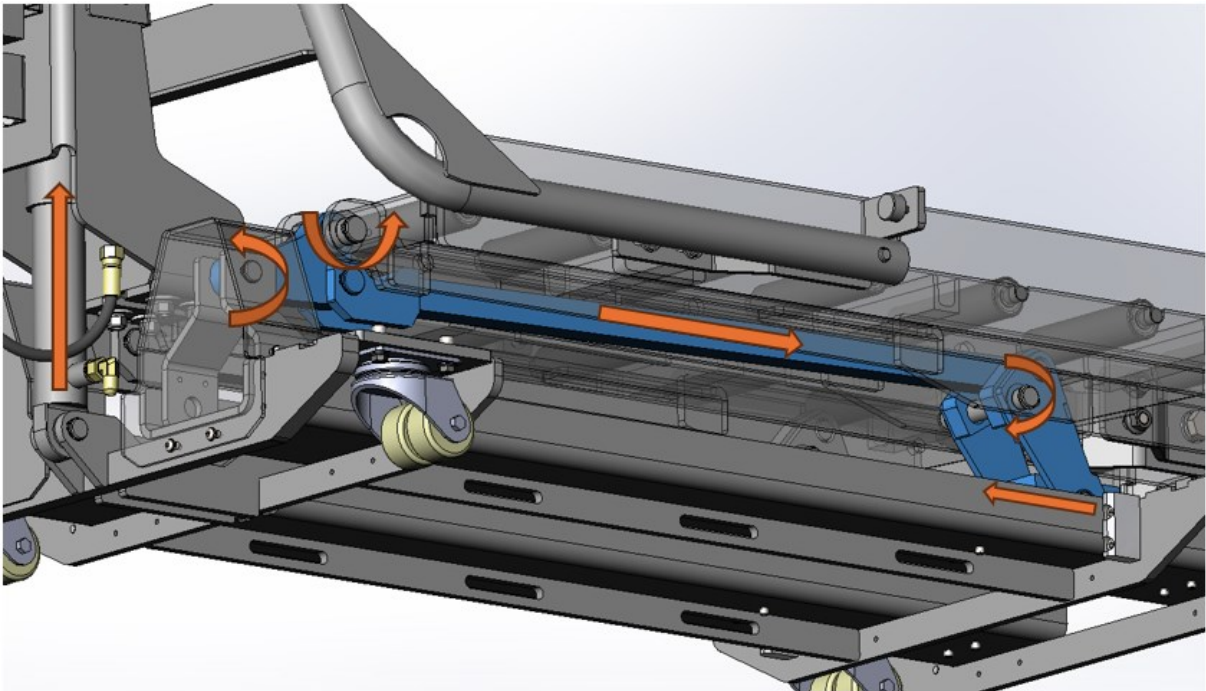


Liikkuvien osien kitkan sekä kulumisen vähentämiseksi, jokaisessa nivelpisteessä käytetään Iguksen liukulaakereita. Liukulaakerit ovat kompakti sekä kustannustehokas vaihtoehto perinteisten rulla tai kuulalaakereiden sijasta, sillä ne eivät sisällä liikkuvia osia ja tämän seurauksena ne eivät vaadi erillistä huoltoa. Iguksen liukulaakerit ovat valmistettu materiaalista nimeltään iglidur, joka omaa erinomaiset mekaaniset ominaisuudet laakeroinnissa. (igus, n.d.)

Mekaniikkasuunnittelun aikana koin, että vipumekanismin erilliselle lujuusanalyysille ei ollut tarvetta, sillä se noudattaa akunvaihtolaitteessa samaa lujuusteknistä mitoitusta kuin ATXbf-automatitrukissa. Vipumekanismi asennetaan akunvaihtolaitteen rungon ja nostopöydän väliin, rungon kiinnityskorvakkeista ja nostopöydän nostopalkista, jotka käytiin luvuissa 5.2.3 ja 5.2.1. Akunvaihtolaitteen rungon U-levypalkkiin asennetaan ruostumattomasta teräksestä AISI302 valmistettu liukulevy, jota vasten vipumekanismin liukupala liukuu esteettömästi.

Nostoperiaate toimii siten, että hydraulikkasynterin nostaessa akunvaihtolaitteen nostopöytää, vipumekanismin vasemmanpuoleinen vipu työntää reaktiotankoa eteenpäin, jonka seurauksena oikeanpuoleinen vipu suoristuu. Kyseisellä nostomekanismilla saavutetaan tiukat korkeusvaatimukset, jotka ovat listattuna vaatimuslistassa, jonka laatiminen käytiin luvussa 5.1.1 (Kuva 22).

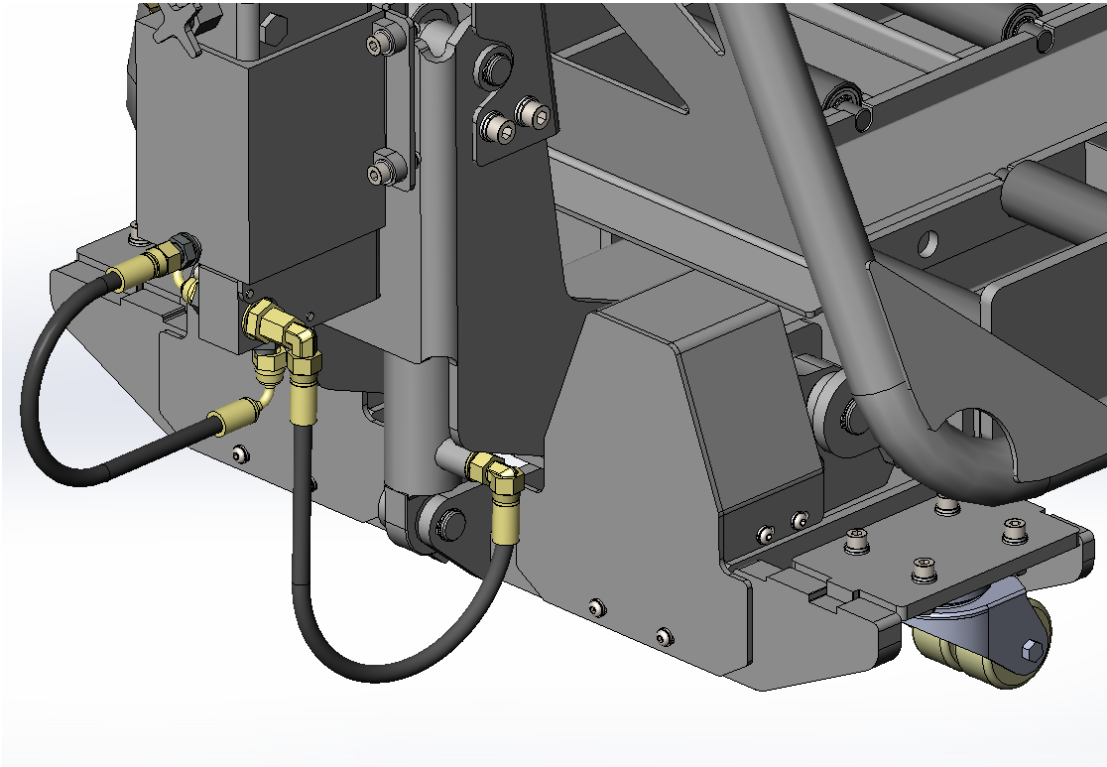
Kuva 22. Nostomekanismin toimintaperiaate.



Akunvaihtolaitteen takaosa on riskin merkitykseltään suuri työturvallisuusriski, koska vipumekanismi on liian esillä. Operaattori voi vahingossa työntää jalan vipumekanismin alle. Tämän seurauksena nostopöydän laskeminen voi pahimmassa tapauksessa murskata akunvaihtolaitteen operaattorin jalan.

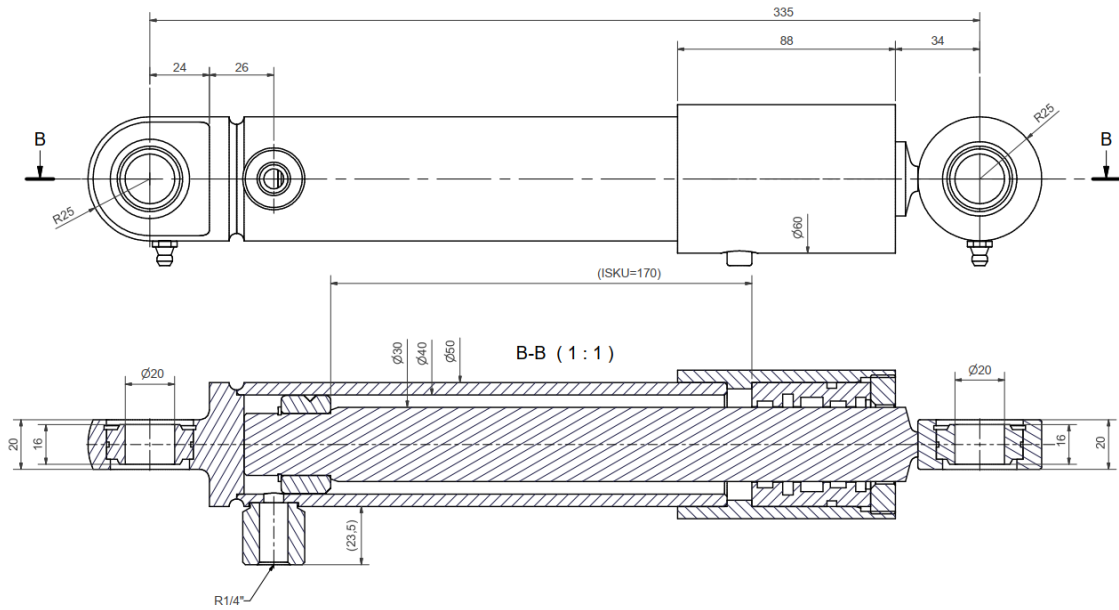
Tämän vuoksi riskiä on pyritty pienentämään suojausteknisillä toimenpiteillä, joista on puhuttu luvussa 3.1. Akunvaihtolaitteen takaosaan tulee ohutlevyteräksestä, jonka aineen vahvuus on 4 mm valmistettu suojakotelo, joka koostuu kahdesta peitelevystä, jotka yhdistetään toisiinsa hitsaamalla (Kuva 23). Riskiä voidaan pienentää edelleen lisäämällä varoitustarra, joka kieltää jalan laittamisen suojakotelon päälle.

Kuva 23. Vipumekanismin peitekotelot.



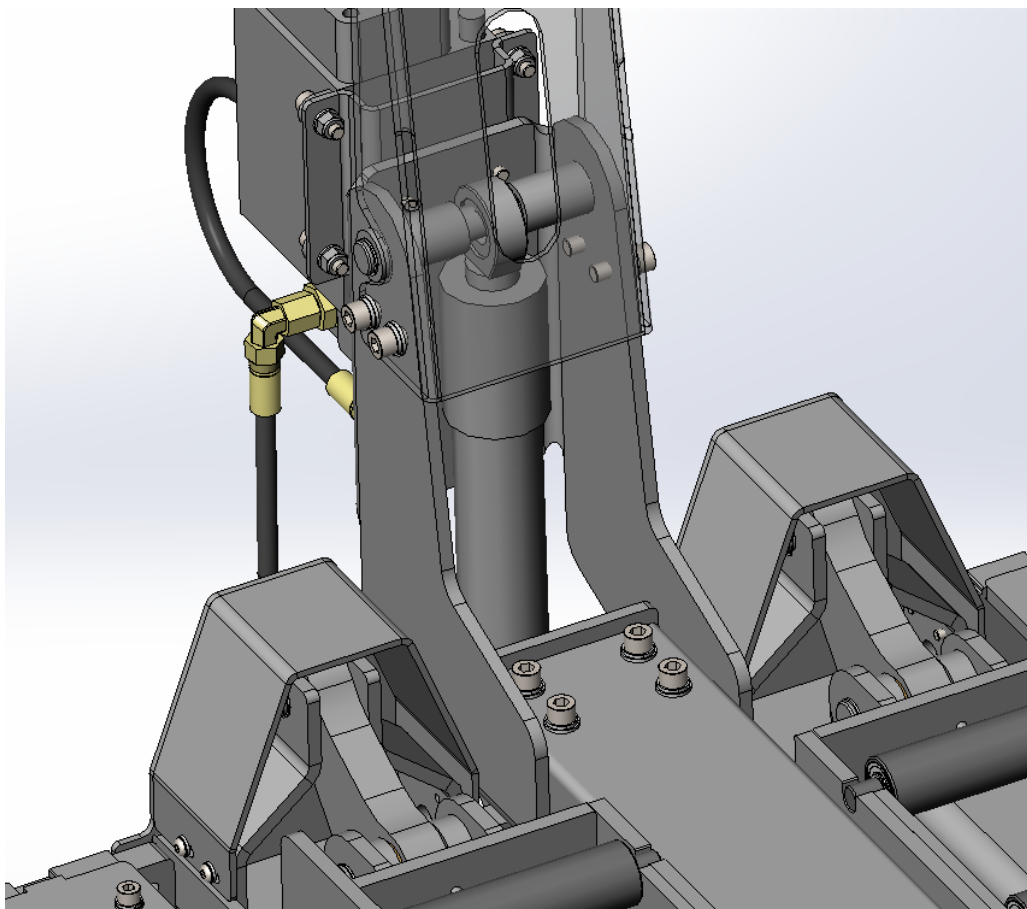
Hydrauliikkasyylinteriksi valikoitui sama sylinteri, joita käytetään AWT-automaattitrukin akunvaihtolaitteessa, AWT-automaattitrukin akunvaihtolaitteeseen perehdyttiin luvussa 2.2, joiden valmistaja on Hydroline Oy. Kyseiset sylinterit tehdään tilaustyönä Logisnext europelle. Kyseisen sylinterin iskun pituus on 170 mm, joten sillä on mahdollista saavuttaa VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteelta vaadittu nostokorkeus. Kyseinen hydrauliikkasyylinteri on yksitoiminen eli sylinterillä pystyy hydraulisesti nostamaan, mutta sylinterin laskeminen tapahtuu painovoima avusteisesti (Fonselius, 1999, s.105). (Kuva 24)

Kuva 24. Akunvaihtolaitteessa käytetty hydraulikkasyylinteri.



Sylinteri tuetaan pystyasennossa akunvaihtolaitteen rungosta sekä nostopöydästä. Akunvaihtolaitteen nostopöytään liitetään neljällä M10 ruuvilla sylinteriä tukeva kannatin, joka valmistetaan hitsauskokoontana. Kannattimen runko valmistetaan S355 levyteräksestä, jonka aineen vahvuus on 8 mm ja se särmätään muotoon. Kiinnityspisteisiin hitsataan vahvikelevyt, jotka edesauttavat tuennassa. Kannattimeen liitetään myös adapterilevy, johon liitetään hydraulikkapumppu ja säiliö (Kuva 25).

Kuva 25. Hydraulikkasyylinterin tuenta.



Hydraulikkapumppuna tullaan käyttämään PAM-T 25 pumppua (Liite 2). Kyseinen pumppu on kaikissa hydraulisesti toimivissa akunvaihtolaitteissa, joihin perehdyttiin luvussa 2.

Jotta voidaan varmistua hydraulikkasyylinterin soveltuvuudesta VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteeseen, täytyy selvittää hydraulikkasyylinterin työntövoima. Tämä on mahdollista selvittää sylinterin paine-eron, sylinterin pinta-alan sekä sylinterin hyötysuhteen avulla (Kaava 5). (Fonselius, 1999, s. 105)

Kaava 5. Sylinterin veto- tai työntövoima. (Fonselius, 1999, s. 106)

$$F = \Delta p * A * \eta$$

Sylinterin veto- tai työntövoima (Kaava 3) käytetyt termit:

- F on sylinterin veto- tai työntövoima (N).

- Δp on paine-ero sylinterissä (Pa).
- A on sylinterin pinta-ala (m^2).
- η on sylinterin hyötysuhde.

(Fonselius, 1999, s. 106)

Sylinterin sisähalkaisija on 30 mm, joten pinta-ala on 707 mm^2 . Pienissä sylintereissä hyötysuhteen suuntaa antavana arviona voidaan pitää 0.85, PAM-T 25 pumpun antama maksimipaine on 350 bar, mutta on kummisikin huomioitava se, että paine-ero sylinterissä ei ole aina sama. Sylinterin mitoituksen kannalta voidaan kuitenkin olettaa, että sylinteri on vuodoton. Tämän perusteella voidaan sylinterin työntövoimaksi arvioida 21033 N, joten hydraulikkasyylinteri on VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteeseen soveltuva (Fonselius, 1999, s. 106)

5.3 Pumppukärryyn liitettävä konfiguraatio

Pumppukärryyn liitettävä konfiguraatio akunvaihtolaitteesta toimii täysin samalla periaatteella kuin sivusuunnassa liikkuva akunvaihtolaite. Erona on se, että erilliselle nostomekanismille ei ole tarvetta, sillä pumppukärry toteuttaa akunvaihtolaitteen korkeussäädön.

Modulaaristen suunnitteluperiaatteiden ansiosta pumppukärryyn liitettävän akunvaihtolaitteen toteutus tapahtui suunnittelutyön sivutuotteena. Pumppukärryyn liitettävä akunvaihtolaite käyttää samaa manipulaattorikahvaa, kuin sivuttain liikkuva akunvaihtolaite.

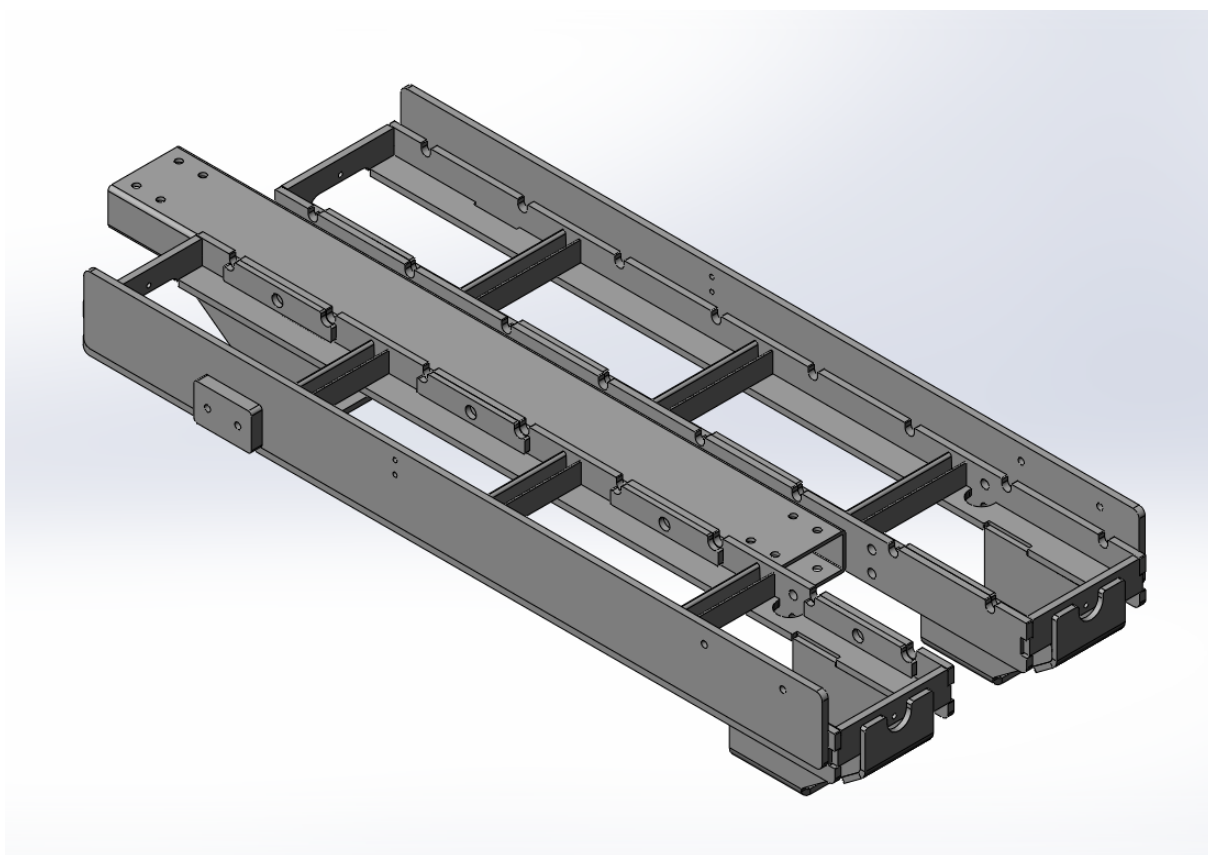
5.3.1 Nostopöydän tukijalallinenvariantti

Tukijalallinen nostopöytävariantti käyttää täysin samaa runkoa kuin sivuttain liikkuvan VNA- sekä ART-akunvaihtolaite, josta on kerrottu luvussa 5.2.1. Erona näissä varianteissa on se, että tukijalallisessa nostopöytä variantissa ei ole nostopalkkia, sillä se haittaisi nostopöydän käsittelyä pumppukärryllä. Sen sijaan tukijalallisessa nostopöytä variantissa on tukijalat, joiden tehtävä on mahdollistaa nostopöydän helppo asettaminen pumppukärryyn.

Nostopöydän etuosassa on tukijalkoja kaksi kappaletta sekä yksi kappale keskellä nostopöydän takaosaa. Tukijalat ovat valmistettu muotoonsa särmätystä s355

levyteräksestä, jonka aineenvahvuus on 8 mm. Nämä tukijalat liitetään nostopöydän runkoon hitsaamalla. Nostopöydän rullakehikoiden alatasossa on kummallakin puolella kehikkoa kaksi kappaletta 10 mm s355 rakenneteräksestä valmistetut lattalevyt, jotka kulkevat kehikon päästä päähän, näiden tehtävänä on tukea akunvaihtolaitetta pumppukärryn haarukoita vasten. (Kuva 26)

Kuva 26. Nostopöydän tukijalallinenvariantti.

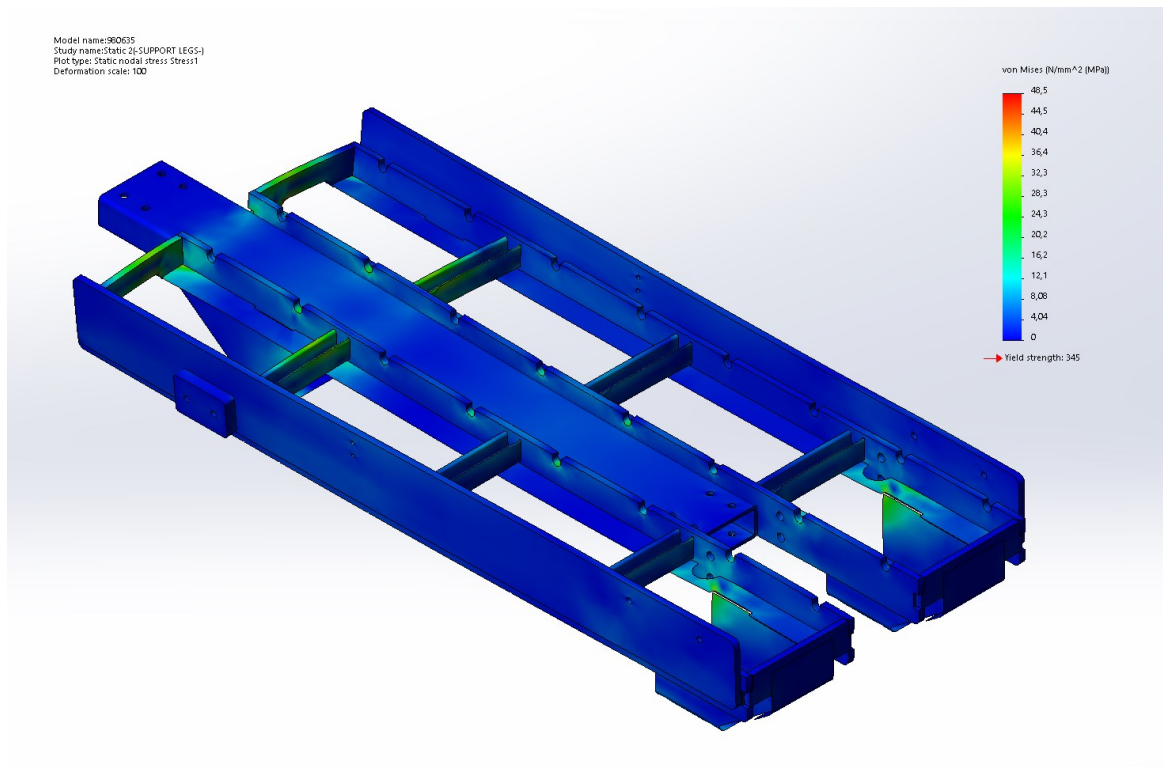


Nostopöydän tukijalallisellevariantille toteutettiin FEM-analyysi, jotta voidaan varmistua siitä, että se täyttää luvussa 5.1.1 listatun vaatimusluvun, jonka on oltava suurempi kuin 3.2. Nostopöydän tukijalallisenvariantin FEM-analyysissä jäykiksi tukipinnoiksi on määritetty tukijalkojen pohjat, koska pumppukärryn integroitava akunvaihtolaite on niistä lattiaan tuettu. Tuki pinnoiksi ei määritetty tukilevyjä, joista pumppukärryn haarukat ovat tuettuna akunvaihtolaitteen käytön aikana, koska tukijalat ovat näistä myös tuettu, joten jos tukijalat kestävät niihin kohdistuvat kuormat, se takaa myös sen, että tukilevyt kestävät nostopöydän kannattelun.

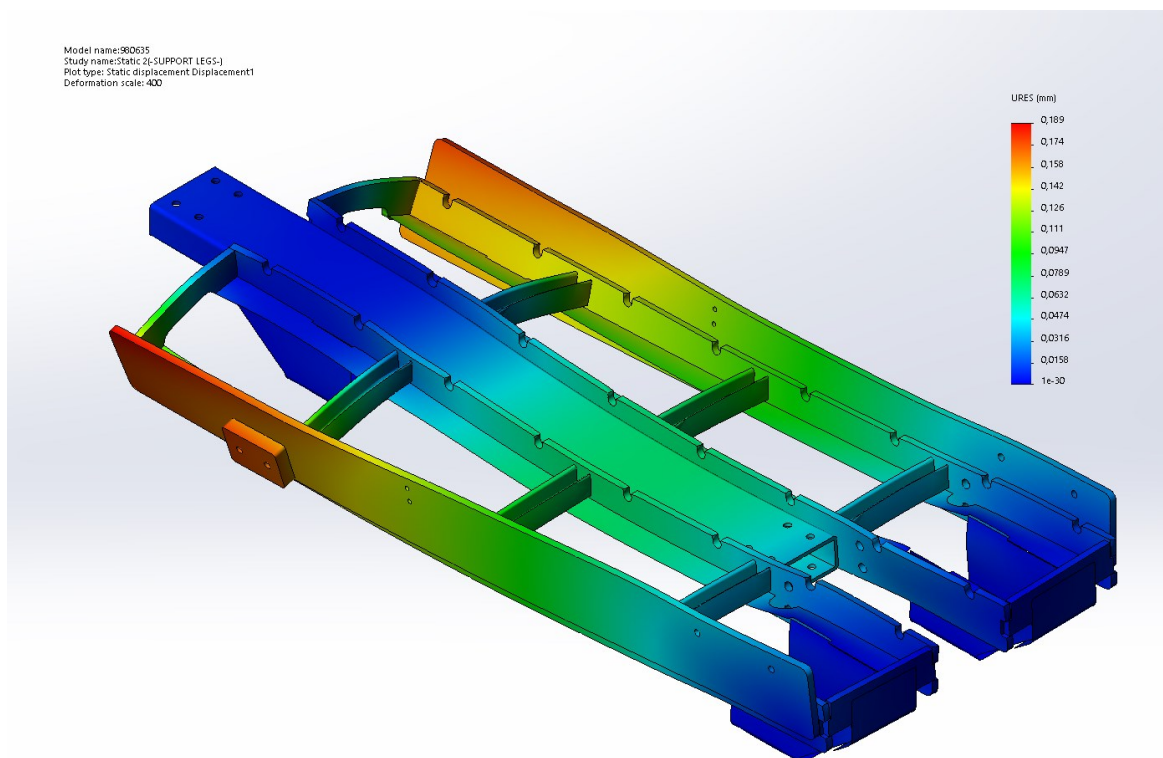
Koska tukijalallinen nostopöytä variantti toimii samalla periaatteella kuin nostopakillinen variantti. Tullaan tukijalallinen variantti kuormittamaan samoilla määrittäyksillä, joihin perehdyttiin luvussa 5.2.1.

FEM-analyysin perusteella suurin Von Mises vertailujännitys arvo on 48.5 MPa sekä maksimi kokonaissiirtymä on 0.189 mm (Kuva 27 ja Kuva 28). Joten nostopöydän tukijalallisen variantin varmuusluku on yleisesti 7.3, joka täyttää luvussa 5.1.1 listatun varmuusluku vaatimuksen.

Kuva 27. Nostopöydän tukijalallisenvariantin vertailujännitys.



Kuva 28. Nostopöydän tukijalallisenvariantin siirtymä.



5.3.2 Akunvaihtolaitteeseen soveltuvat pumppukärret

Jotta pumppukärriin integroitavan VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen käyttäminen olisi toimivaa sekä turvallista, tulee yhteensopivat pumppukärret määritellä. Koska pumppukärriä on saatavilla monessa eri mitassa. Jos pumppukärri on liian lyhyt, akunvaihto laite voi kipata, joka on merkittävä työturvallisuusriski.

Akunvaihtolaitetta tulisi käsitellä pumppukärriillä, joiden haarukoiden pituus on vähintään 1140 mm. Pumppukärriin haarukoiden enimmäispituutta ei ole määritetty, sillä pitemmät haarukat eivät vaikuta akunvaihtolaitteen toimintaan negatiivisesti. Logisnext Europe toimittaa asiakkaalle akunvaihtolaitteeseen soveltuvan pumppukärriin, akunvaihtolaitteen mukana.

5.4 Valmis VNA- sekä ART-akunvaihtolaite

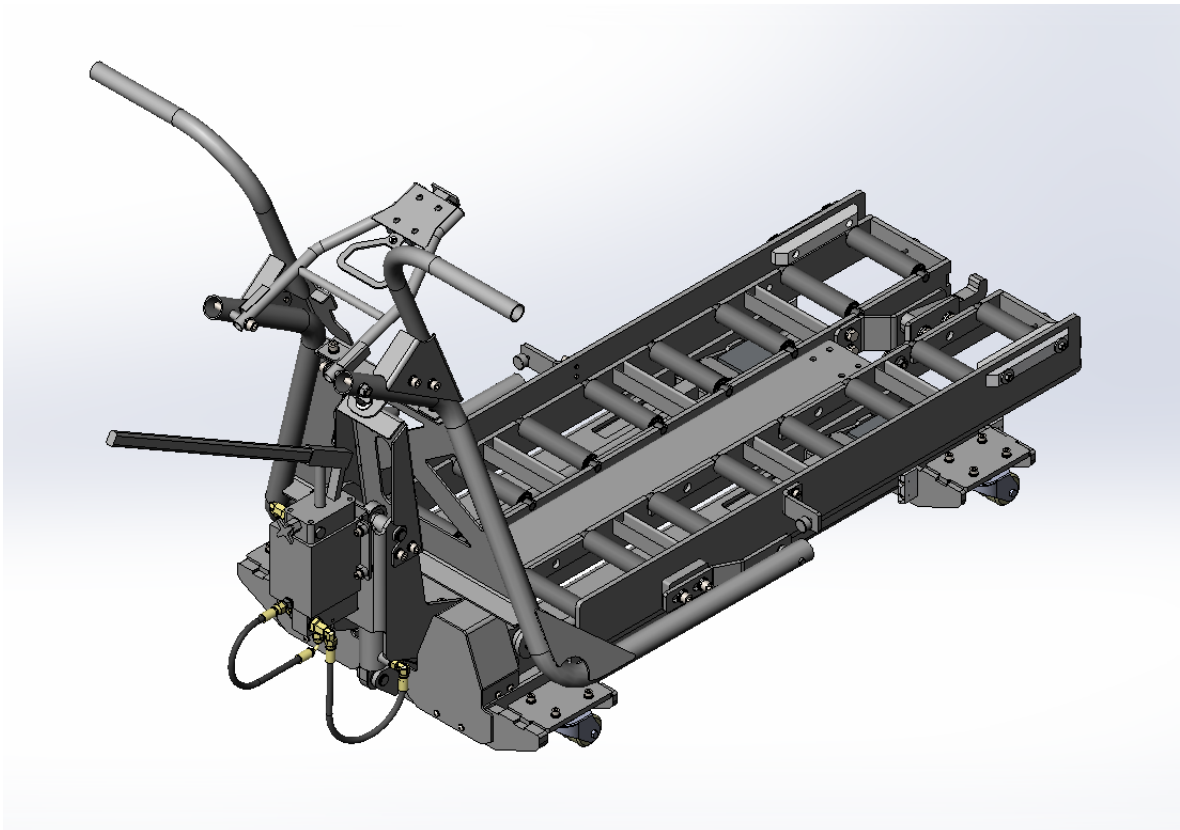
VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen kumpikin konfiguraatio (Kuva 29 ja Kuva 30), pintakäsitellään maalaamalla nämä huomio väreillä. Tämä on työturvallisuuden kannalta

tärkeää, jotta akunvaihtolaite erottuu helposti logistiikkakeskuksessa sekä tuotannossa. Toimeksiantajan sisäisen ohjeistuksen mukaan, akunvaihtolaite tulee maalata huomio siniseksi, jonka RAL värikoodi on 5005, akunvaihtolaitteen osat, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteen maalataan huomio keltaiseksi, joka on RAL värikoodiltaan 1003 (Yrityksen sisäinen dokumentti). Vaaralliset osat akunvaihtolaitteessa ovat nostomekanismin komponentit, joista on kerrottu luvussa 5.2.4.

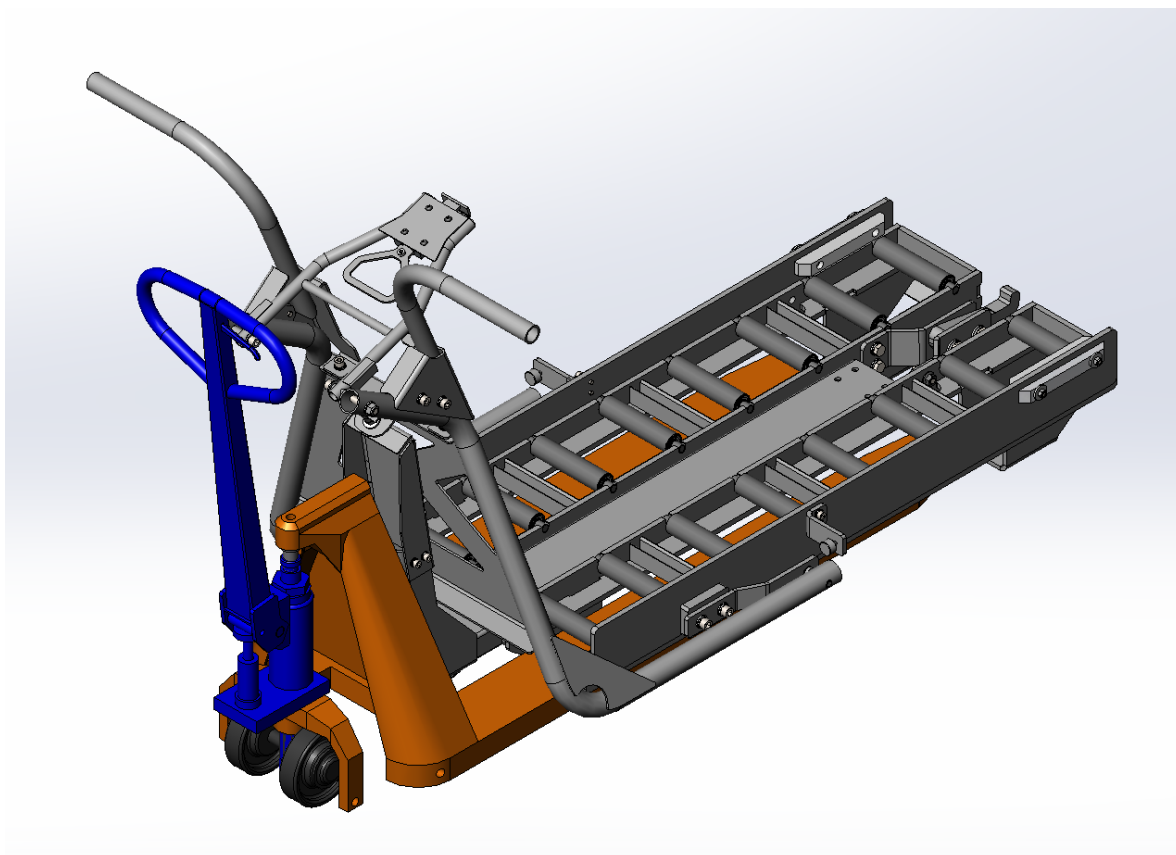
Pintakäsittelyllä on myös akunvaihtolaitteen toiminnan kannalta tärkeää. Sillä se suojaa akunvaihtolaitteen komponentteja korroosiolta, sillä rakenneteräkset altistuvat helposti korroosiolle.

VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen kääntöpyörillä liikkuva konfiguraatio (Kuva 29), on raskas verrattuna muihin akunvaihtolaitteisiin sillä se painaa 250 kg. Tämän seurauksena akunvaihtolaitteeseen tulevien kääntöpyörien on omattava pieni kitkakerroin sekä oltava matala profiiliset, jotta VNA- sekä ART akunvaihtolaitteen rungossa olevia levyjä kääntöpyörille ei tarvitsisi tuoda enempään akunvaihtolaitteen sivuille, sillä se nostaisi riskiä kompastumiselle manipulaattorikahvaa käyttäessä.

Kuva 29. VNA- sekä ART-akunvaihtolaite.



Kuva 30. VNA- sekä ART- akunvaihtolaitteen pumppukärryyn integroitava konfiguraatio.



5.4.1 VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen käyttäminen

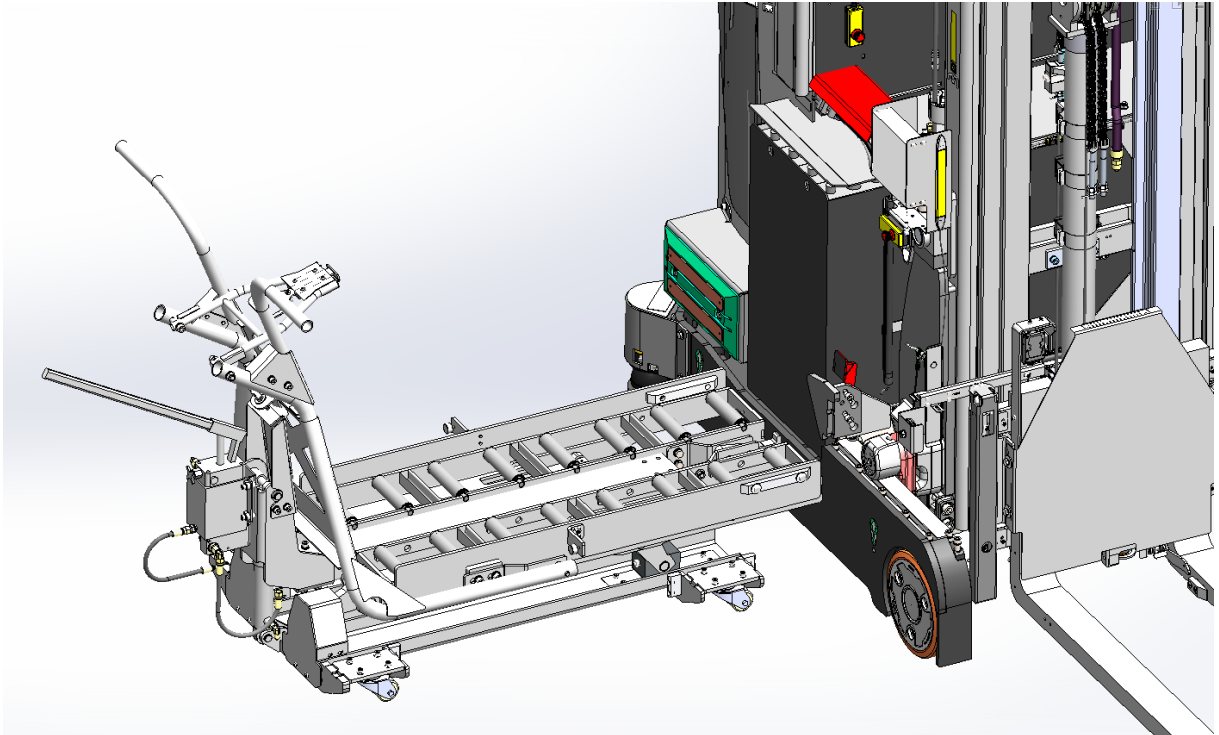
Toimeksiantajan tulee perehdyttää asiakas VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen oikeaoppiseen sekä turvalliseen käyttöön. Lisäksi VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteelle tulisi laatia käyttöohje, jotta väärinkäytöltä välttyttäisiin. Asiakkaan velvollisuus on tämän jälkeen perehdyttää VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen lopulliset operaattorit. Näillä toimenpiteillä voidaan vähentää akunvaihtolaitteen väärinkäytön riskiä sekä parantaa työturvallisuutta.

Uudella VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteella akun poistaminen AGV-trukista koostuu kolmesta työvaiheesta. Nämä vaiheet etenevät seuraavasti.

Ensimmäisenä työvaiheena akunvaihtolaitteen paikoituskoukku kohdistetaan AGV-trukin akunvaihtosolkeen, siten että akunvaihtolaite on mahdollisimman kohtisuorassa akun kanssa, Paikoituskoukku sijaitsee nostopöydän rungkon kehikkojen välissä, johon perehdyttiin luvuissa 5.2.1 ja 5.3.1. Tämän jälkeen akunvaihtolaitteen nostopöytä nostetaan pumppaamalla hydraulikkapumppua, kunnes akunvaihtolaite on tukevasti tuettuna AGV-

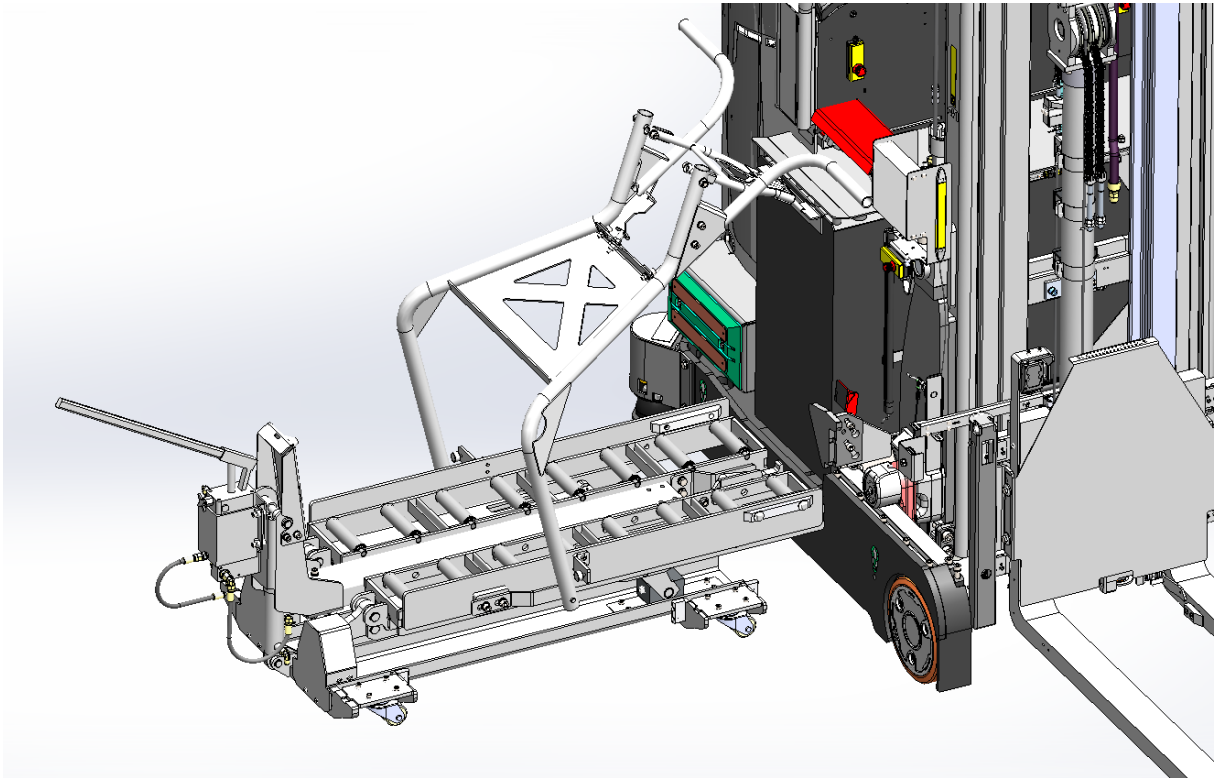
trukin akunvaihtosolkeen. Tässä vaiheessa on oltava erittäin tarkkana, ettei nostopöytää nosta liikaa, sillä tämän seurauksena akunvaihtolaite voi vaurioitua. (Kuva 31)

Kuva 31. Akunvaihtolaitteen kohdistaminen AGV-trukkiin.

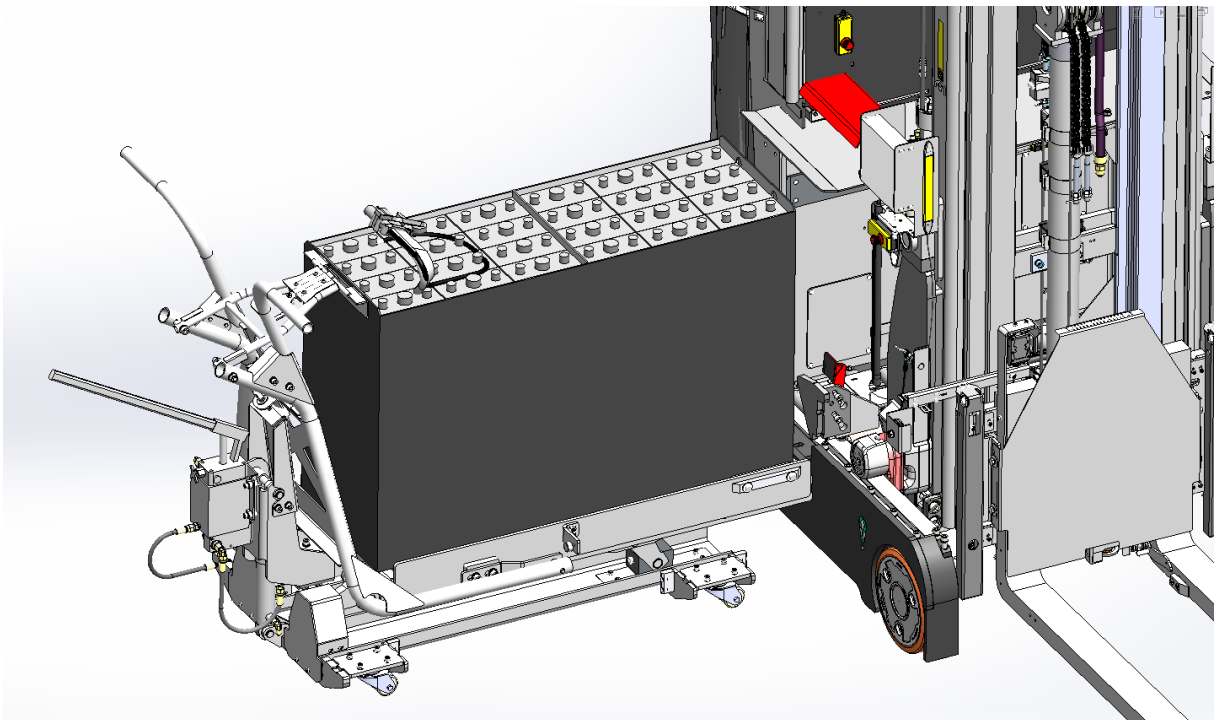


Toisena työvaiheena, manipulaattorikahvan lukitus avataan, vetämällä indeksitapista, joka sijaitsee manipulaattorikahvan tukilevyssä kahvojen välissä, johon perehdyttiin luvussa 5.2.2. Tämän jälkeen manipulaattorikahva työnnetään AGV-trukin akkua kohti, jonka jälkeen manipulaattorikahvan tarttuja kiinnitetään AGV-trukin akussa olevaan solkeen avaamalla tarttuja, vetämällä tarttujan lukitusvivusta, tarttujasta kerrottiin luvussa 5.2.2. Tämän jälkeen AGV-trukin akkulukko voidaan avata ja akku vedetään akunvaihtolaitteeseen manipulaattorikahvan avulla, kunnes manipulaattorikahva lukittuu lukituslevyyn. (Kuva 32 ja Kuva 33)

Kuva 32. Manipulaattorikahvan tarttuja kiinnitettyinä akkuun.



Kuva 33. DIN 43531 akku akunvaihtolaitteen nostopöydässä.



Kolmantena työvaiheena akku kuljetetaan, työntämällä akunvaihtolaitetta akunlatauslokeroon. Akun siirtäminen latauslokeroon toimii samalla periaatteella kuin akun poistaminen AGV-trukista, mutta vastakkaisessa järjestyksessä, jossa akunvaihtolaite tuetaan latauslokeroon paikoituskoukulla, samalla periaatteella kuin akunvaihtolaitteen tukeminen AGV-trukkiin, jonka jälkeen akku työnnetään latauslokeroon manipulaattorikahvan avulla. Tämän jälkeen täyteen ladattu akku voidaan viedä akunvaihtolaitteella AGV-trukkiin.

5.4.2 VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen rakenne

Rakenteellisesti VNA- sekä ART-akunvaihtolaite on hyvä, sillä se noudattaa modulaarisia suunnitteluperiaatteita. VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen rakenne koostuu neljästä moduuliryhmästä, jotka ovat luvuissa 5.2 sekä 5.3 käsitellyt nostopöytä, manipulaattorikahva, runko sekä nostomekanismi. Vaikka nostopöytä on ainoa varioituva moduuliryhmä, joka opinnäytetyön aikana suunniteltiin, käytetään alikokoonpanoista moduuliryhmä nimitystä, sillä VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen rakenne on modulaarinen.

VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen pääkokoonpanotasossa sisältää kaksi konfiguraatiota akunvaihtolaitteesta, jotka ovat kääntöpyörillä liikkuva sekä pumppukärryyn integroitava. Kummalakin akunvaihtolaite konfiguraatiolla on omat nimikkeet PDM-järjestelmässä.

Kääntöpyörillä liikkuvan akunvaihtolaite konfiguraation pääkokoonpanotasossa koostuu kaikista ylempänä mainituista moduuliryhmistä. Pääkokoonpano tasolla on moduuliryhmien lisäksi myös nostomekanismin hydraulikka järjestelmän komponentit, vipumekanismin yhdistämiseen vaadittavat akselit, kääntöpyörät, kuljetinrullat, paikoituskoukku, manipulaattorikahvan lukituslevy, yleiset kiinnitystarvikkeet sekä DIN 43531 akkuun tuleva manipulaattorikahvan tarttujan solki.

Pumppukärryyn integroitavan akunvaihtolaitteen konfiguraation pääkokoonpanotasossa käytetyt moduuliryhmät ovat nostopöytä sekä manipulaattorikahva. Näiden moduuliryhmien lisäksi pumppukärryyn integroitavan akunvaihtolaitteen päätasolla on, kuljetinrullat, paikoituskoukku, manipulaattorikahvan lukituslevy, yleiset kiinnitystarvikkeet sekä DIN 43531 akkuun tuleva manipulaattorikahvan tarttujan solki.

Manipulaattorikahvan tarttujan solki rakenteellisesta näkökulmasta on epälooginen VNA- sekä ART-akunvaihtolaite konfiguraatioiden pääkokoonpanotasolla. Mutta solki kokoonpano tilataan osana VNA- sekä ART-akunvaihtolaitetta, sillä sen asentaminen DIN 43531 akkuun ei vaadi akun rakenteellisia muutoksia, vaan se asennetaan akussa oleviin nostoreikiin.

6 Päätelmä

Opinnäytetyön aikana perehdyttiin Roclan AGV-trukki tuoteperheen AWT, ART sekä ACT-automaattitrukkien akunvaihtolaitteisiin sekä niiden toimintaperiaatteisiin. Opinnäytetyön lähtökohtana oli perehtyä kyseisiin akunvaihtolaitteisiin ja näiden pohjalta kehittää uusi akunvaihtolaite, jota voidaan käyttää VNA- sekä ART-automaattitrukkien kanssa, akkujen tasojen suuresta korkeuserosta huolimatta. Opinnäytetyössä kehittämistyö voidaan jakaa kahteen vaiheeseen, jotka etenivät seuraavasti.

Ensimmäisenä vaiheena oli tiedonkeruu akunvaihtolaitteiden toiminnasta, kehityskohteiden etsiminen sekä niihin perehtyminen. Tiedonkeruu tehtiin käymällä läpi toimeksiantaja yrityksen sisäisiä dokumentteja sekä 3D-malleja ylempänä mainituista akunvaihtolaitteista sekä kyselemällä kyseisten akunvaihtolaitteiden suunnittelijoilta. Kehityskohteiden etsiminen toteutettiin kyselytutkimuksen avulla, jotta päästiin jäljille akunvaihtolaitteiden ongelmista, jotka ilmenevät jokapäiväisessä käytössä asiakkaiden toimitiloissa (Liite 1).

Toisena vaiheena oli uuden akunvaihtolaitteen raja-arvojen määrittäminen sekä suunnittelutyö. Akunvaihtolaitteen raja-arvojen määrittämiseksi laadittiin vaatimuslista, johon rajattiin vaatimusluokat sekä kunkin vaatimuksen prioriteetti. Suunnittelutyö aloitettiin morfologisen laatikon avulla, jotta pystyttiin perustellusti valitsemaan optimaaliset osatoiminnot akunvaihtolaitteelle.

6.1 Tulokset

Opinnäytetyön aikana onnistuttiin tuomaan akunvaihtolaitteiden ongelmia esille, jotka olisivat muulloin jääneet huomioimatta. Näitä ongelmia tuotiin esille kyselytutkimuksella, joka laadittiin luvussa 4. Kyselyn vastaukset olivat arvokkaita akunvaihtolaitteen kehittämisen näkökulmasta, sillä ilman niitä akunvaihtolaitteiden ongelmakohtat olisivat voineet siirtyä uuteen VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteeseen.

Uudessa VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteessa onnistuttiin minimoimaan tarve akun käsittelemiselle käsin, joka parantaa laitteen käyttämisen työturvallisuutta. Työergonomiakin parantui sillä akunvaihtolaitteen käyttäminen ei vaadi kiertymis- sekä kumara asentoja, koska akun lukitusmekanismi sekä kahvamanipulaattori poistaa teoriassa tarpeen näille.

Suunnittelu prosessin aikana riskejä arvioitiin luvun 4 mukaisesti. Riskien arvioiden perusteella vaaroja pyrittiin poistamaan tai pienentämään suunnittelu sekä suojausteknisillä toimenpiteillä. Suurin osa riskeistä, joita suunnitteluvaiheessa havaittiin, ovat merkitykseltään kohtalaisia. Tämä tarkoittaa sitä, että näitä riskejä on seurattava ja tehtävä riskien arvio uudelleen, sitten kuin uusia VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteita testataan ennen näiden lähettämistä asiakkaalle. (Liite 3)

Akunvaihtolaite toteutettiin modulaarisilla suunnitteluperiaatteilla, tämän seurauksena toimeksiantajan toivoma pumppukärryyn integroitava akunvaihtolaitteen konfiguraation toteuttaminen tapahtui helposti sivutuotoksena. Tämä toteutui tekemällä nostopöydästä kaksi eri varianttia.

Uusi VNA- sekä ART-akunvaihtolaite on yhteensopiva kummankin AGV-trukkityypin kanssa, koska sen minimikorkeus nostopöytä alhaalla on 180 mm, VNA-automaattitrukin akunvaihtotaso lattiasta mitattuna on 190 mm, joten säätövaraa jää noin 10 mm. ART-automaattitrukin akunvaihtotaso lattiasta mitattuna on 288 mm ja nostopöydän maksimi nostokorkeus on 304 mm, VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen minimi sekä maksimi korkeuksien raja-arvot määritettiin luvussa 5.1.1.

Uuden VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen hitsatuille rakenteille toteutettiin FEM-analyysi, jonka perusteella varmistettiin, että rakenteet saavuttavat luvussa 5.1.1 laaditun varmuusluku vaatimuksen, joka oli 3.2. Analyysin perusteella todettiin, että jokainen analysoitu rakenne saavuttaa vaaditun varmuusluvun. Tässä opinnäytetyössä toteutetut FEM-analyysit olivat rakenteiden analysoinnin kannalta pintapuoleisia.

Uuden VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen onnistuneisuutta on tässä opinnäytetyössä mahdoton arvioida, sillä tämä voitaisiin arvioida uudestaan kyselytutkimuksen avulla tulevaisuudessa, vasta sitten kuin uusia VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteita on saatu valmistettua ja testattua loppukäyttäjillä. Toimeksiantaja oli tässä opinnäytetyössä toteutettuun lopputulokseen tyytyväinen.

Tulevaisuudessa uutta VNA- sekä ART-akunvaihtolaitetta voisi jatkokehittää seuraavilla asioilla. Manipulaattorikahvan lukitusmekanismin voisi yhdistää paikoituskoukkuun, jotta manipulaattorikahvan liikuttaminen olisi mahdollista vasta silloin kun akunvaihtolaite on turvallisesti tuettu AGV-trukkiin, tai akun latauslokeroon.

6.2 Oma-arviointi

Opinnäytetyötä tehtiin Mitsubishi Logisnext Europan AGV projekti tiimin toimistotiloissa paikan päällä sekä etänä, jossa olin edeltävän kesän työskennellyt. Tiimin jäsenet olivat tukena ja auttoivat parhaansa mukaan, silloin kuin näille oli tarvetta. Opinnäytetyön teko aloitettiin 18.09.2024 ja samalla sovittiin, että viimeistään opinnäytetyön deadline olisi vuoden loppu mennessä, mutta tähdättiin siihen, että opinnäytetyö valmistuisi 30.11.2024.

Opinnäytetyön aiheen laajuus yllätti, mutta mitään tiettyä aiheen laajuutta ei ollut määritelty, muuta kuin, että tarvitaan uusi kehitetty akunvaihtolaite, joka on yhteensopiva VNA- sekä ART-automaattitrukkien kanssa, joka tulisi kehittää nykyisten akunvaihtolaitteiden pohjalta. Opinnäytetyön loppupuolella alkoi tulla kiire, jotta 30.11 deadlineen mennessä opinnäytetyö valmistuisi.

Yleisesti opinnäytetyö onnistui hyvin, vaikka haasteita tulikin vastaan, erityisesti työmäärän puolesta, mutta opinnäytetyön työmäärää oli hankala koittaa arvioida ennen uuden akunvaihtolaitteen konseptin valmistumista. Lisäksi opinnäytetyössä tarvittiin hydrauliiikan oppeja, joista minulla ei ollut aiempaa kokemusta.

Lopuksi tahtoisin kiittää koko AGV-suunnittelutiimiä tuesta sekä neuvoista. Erityisesti tiimimme suunnittelupäällikköä, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön toteutuksen.

Lähteet

- Aikolon. (n.d.). *POM – Polyasetaali*. <https://www.aikolon.fi/tuotteet/tekniset-muovit/pom-c>
- Desai, Y., Eldho, T. & Shah, A. (2011). *Finite Element Method with Applications in Engineering*. Dorling Kindersley.
- Darcor, ergoweb. (n.d.). *The Ergonomics of Manual Material Handling*.
<https://www.ergonomiesite.be/documenten/trekkenduwen/TrekkenDuwen-Factoren.pdf>
- Finder. (n.d.). *Mitshubishi Logisnext Europe Oy*.
<https://www.finder.fi/Trukit/Mitsubishi+Logisnext+Europe+Oy/Järvenpää/yhteystiedot/173342>
- Fonselius, J. (1999). *HYDRAULIIKKA*. Edita.
- Igus. (n.d.). *Maintenance-free iglidur plain bearings made of plastic*.
<https://www.igus.fi/info/plain-bearings-plain-bearings-iglidur>
- INNERROLL. (n.d.) *Planing information*.
https://www.interroll.com/fileadmin/user_upload/Downloads_PDF/Rollers/Technische_Grundlagen_Foerderrollen_EN.PDF
- Ito, Y. (2008). *Modular Design for Machine Tools*. McGraw Hill LLC.
- Ito, Y. (2011). *A proposal of modular design for localized globalization era*. Journal of Machine Engineering. <https://shorturl.at/VUI6u>
- Logisnext. (n.d.-a). *Mitshubishi Logisnext Europe*. Suomi. <https://logisnext.eu/fi/finland/home>
- Logisnext. (n.d.-b). *Paikallinen yrityshistoria*. <https://logisnext.eu/fi/finland/history>
- Logisnext. (n.d.-c). *What Are AGVs?* <https://shorturl.at/MALYG>
- Logisnext. (n.d.-d). *Parts*. <https://logisnext.eu/support/parts>
- NTN. (n.d.) *ROLLING BEARING HANDBOOK*. https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-03/rolling_bearings_handbook_en.pdf
- Pakkanen, J., Juuti, T., Lehtonen T. & Mämmelä, J. (2022). *Why to design modular products?* Elsevier B.V.
- SFS-EN 614-1 + A1. (2009). *Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: terminologiaa ja yleiset periaatteet*. SFS Online.
- SFS-EN ISO 12100. (2010). *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*. SFS Online.
- Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process Fourth Edition*. McGraw-Hill.
- Ulrich, T. & Eppinger, S. (2016). *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education.
- Vehkalahti, K. (2019). *Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät*. Finn Lectura.
- Valtanen, E. (2019). *Tekniikan taulukkokirja*. Genesis-Kirjat

Liite 1. Akunvaihtolaitteen kyselylomake

AGV-akunvaihtolaitteen haastattelu kysymykset, sekä vastaukset

Kysymykset ovat laadittu 24.09.2024

Kysymyksien vastaukset pidetään anonyyminä yksityisyys syistä.

Toteuttaja: Jaan Jalkanen, AGV-Projects

Kysymykset**Q 1. -Mitä ongelmia olet havainnut nykyisissä manuaalisissa akunvaihtolaitteissa? Perustele valintasi.**

1. Vaatii liikaa fyysistä voimaa.

2. Epäselvä käyttöliittymä.


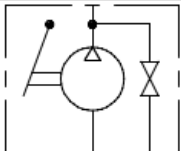
3. Hidas akunvaihtoprosessi.

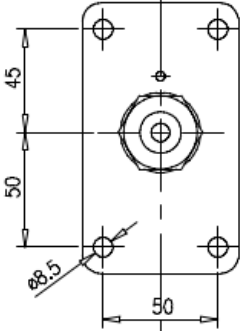
4. Työturvallisuus.

5. Käytön ergonomia.

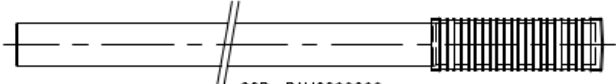
Q 2. -Mitä muita ongelmia olet kohdannut manuaalisessa akunvaihtolaitteessa, mitä ei edellisessä kysymyksessä mainittu?**Q 3. -Mikä manuaalisissa akunvaihtolaitteissa on hyvää/ toimivaa?**

Liite 2. PAM-T hydraulikkapumpun tekniset tiedot

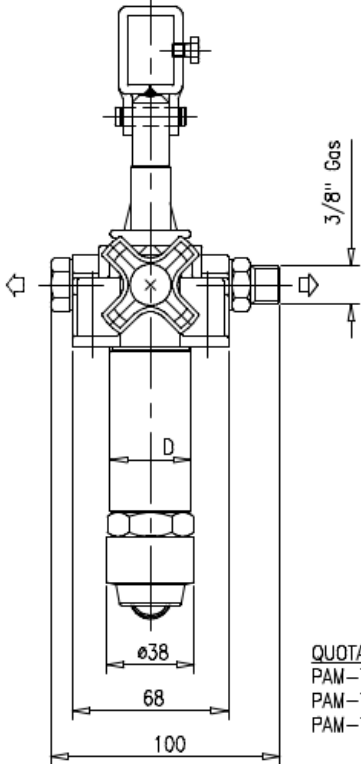
	POMPA A MANO				
	TIPO PAM-T	Pompa predisposta per serbatoio con rubinetto di scarico			
Pompa ciclo doppio effetto	TIPO	CODICE	CILINDRATA cm ³ /ciclo	PRESSIONE MAX Bar	PESO Kg.
	PAM-T 12	PAM0141200	12	380	2,850
	PAM-T 25	PAM0142500	25	350	2,950
	PAM-T 45	PAM0144500	45	280	3,150
Pompa per azionare un cilindro a semplice effetto	A RICHIESTA Pompa con Valvola di Massima Pressione			Tipo: PAM.TV	



LEVA DI AZIONAMENTO 20x30x600 (A RICHIESTA)



COD: PAM0290000



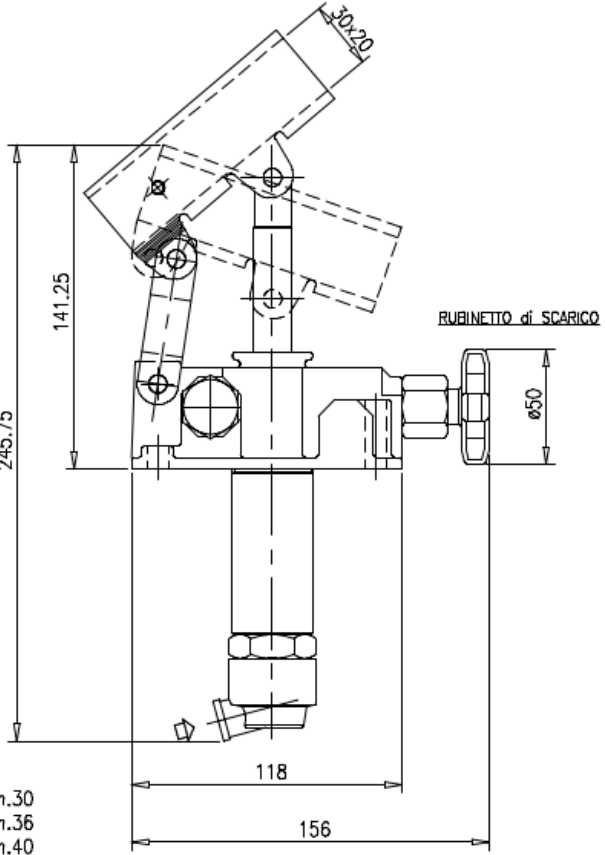
3/8" Gas

D

ø38

68

100



RUBINETTO di SCARICO

ø50

141.25

245.75

118

156

QUOTA *D*	
PAM-T12	mm.30
PAM-T25	mm.36
PAM-T45	mm.40

Liite 3. VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen riskien arvio

VNA- sekä ART-akunvaihtolaitteen riskien arvio			
Riski	Todennäköisyys 1 - 10	Haitta 1 - 10	Pisteet yhteensä
Käsien loukkaaminen	2	5	7
Epäselvä käyttöliittymä	2	2	4
Akunvaihtolaitteen kaatuminen	1	7	8
Akun tippuminen nostopöydästä	2	6	8
Jalan laittaminen nostomekanismin alle	1	6	7
Akunvaihtolaitteen kippaaminen	2	6	8
Virheellinen käyttö	2	3	5
Nostomekanismin pettäminen	1	6	7
Hitsattujen teräsrakenteiden pettäminen	1	7	8
Kompastuminen kääntöpyörien tukiin	2	3	5
Akunvaihtolaitteen jumittuminen kiven tai muun pienen esteen myötä	3	2	5
Nostomekanismin jumittuminen	1	3	4
Akunvaihtolaitteen virheellinen tuenta	2	4	6
Riskien merkitys			
1 - 5	Merkityksetön	Ei vaadi toimenpiteitä	
5 - 10	Kohtalainen	Vaatii seuraamista	
10 - 15	Merkittävä	Vaatii toimenpiteitä	
15 - 20	Suuri	Vaatii välittömiä toimenpiteitä	