

Tuotekehitysprojekti

Trukin automatisoinnin mekaaniset ratkaisut

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2023

Miko Rytönen

Tiivistelmä

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Tekijä(t) Miko Rytönen | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika 2023 |
| | Sivumäärä 38 | |
| Työn nimi Tuotekehitysprojekti Trukin automatisoinnin mekaaniset ratkaisut | | |
| Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK) Konetekniikka | | |
| Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Makron Oy | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö on Makron Oy:n tuotekehitysprojekti, jonka tarkoitus on rakentaa manuaalisesti ajettavasta trukista autonomisesti toimiva versio eli AGV (Automated Guided Vehicle). Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella trukkiin toimiva mekaaninen ratkaisu, johon voidaan integroida siihen mitoitettut komponentit. Komponenttien vertailu ja valinta on myös tämän työn päätavoitteista.</p> <p>Opinnäytetyössä keskeisiä aiheita ovat uuden ajomoottorin mitoitus, uusien levyrakenteiden mekaaninen suunnittelu ja lujuustarkastelu, sekä anturien paikoitus. Suunnittelu pystyttiin tekemään trukin pohjamallin mittaamisella ja Työ vaati perehtymistä konedirektiiviin ja sen lainalaisuuksiin, sekä muihin koneenrakennuksessa huomioon otettaviin lakipykäliin ja standardeihin.</p> <p>Työn tuloksena suunnittelin runkoon uuden rakenteen, mihin saamme asennettua valitsemamme komponentit ja voimme aloittamaan muutostyöt. Yhteensopivien automaatiokomponenttien avulla pääsemme rakennustöiden jälkeen testaamaan trukkia ennen merkintöjen hakuprosessia ja käyttöönottoa.</p> | | |
| Asiasanat AGV, Levyrakenteet, Moottoriyksiköt | | |

Abstract

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| Author(s) | Type of Publication | Published |
| Miko Rytönen | Thesis, UAS | 2023 |
| | Number of Pages | |
| | 38 | |
| Title of Publication | | |
| Product development project | | |
| Mechanical solutions for forklift automation | | |
| Degree, Field of Study | | |
| Engineer (UAS), Mechanical Engineering | | |
| Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) | | |
| Makron Oy | | |
| Abstract | | |
| <p>Thesis was commissioned by Makron Oy. Thesis studies mechanical solutions for forklift, which our project group will modify to AGV. The AGV will be designed from a forklift, which is originally designed to be operated manually. The most important area in this project is picking a suitable drive unit, and a new steering solution. Study was carried out in company's headquarters and production facility.</p> <p>Major part of this project was component comparison, such as drive unit and sensors. Components needed to be compatible, so that they could work as designed in our automation system. New drive demanded new hull construction, that can withstand stresses. new hull was designed with 3D-modeling and Stress analysis.</p> <p>As a result of the thesis, I designed a new structure for the frame, where we can install the components of our choice and we can start the modification work. With the help of compatible automotive components, we can test the forklift after the construction work before the registration application process and commissioning.</p> | | |
| Keywords | | |
| AGV, Hull Construction, Drive unit | | |

Sisällys

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | Johdanto..... | 1 |
| 2 | Suunnittelu..... | 2 |
| 2.1 | Toimeksianto..... | 2 |
| 2.2 | Tiedonkeruu..... | 3 |
| 2.2.1 | CE-Merkintä..... | 4 |
| 2.2.2 | Muut merkinnät..... | 5 |
| 2.2.3 | Konedirektiivi tarkemmin..... | 6 |
| 2.2.4 | Mittaaminen..... | 7 |
| 2.2.5 | Toimintaympäristö..... | 8 |
| 2.3 | Moottori..... | 9 |
| 2.4 | Uusi rakenne..... | 14 |
| 2.4.1 | Kääntökehä..... | 15 |
| 2.4.2 | Käännön asemointi..... | 18 |
| 2.4.3 | Uusi levyrakenne..... | 19 |
| 2.4.4 | FEM-analyysi..... | 21 |
| 2.4.5 | Hitsiliitokset..... | 22 |
| 2.5 | Asiakaspalaveri..... | 27 |
| 3 | Vaihtoehtoinen rakenneratkaisu..... | 28 |
| 3.1 | Uusi moottori..... | 28 |
| 3.1.1 | C.F.R. MRT18..... | 29 |
| 3.1.2 | C.F.R. MRT23..... | 30 |
| 3.1.3 | Schabmüller TSA 135..... | 30 |
| 3.1.4 | Moottorivalinta..... | 31 |
| 4 | Anturit..... | 32 |
| 4.1 | Käytettävät anturit..... | 32 |
| 4.1.1 | Turvallisuus..... | 32 |
| 4.1.2 | Nostohaarukan korkeustieto..... | 34 |
| 4.1.3 | Kappaleen nosto ja lasku..... | 35 |
| 5 | Yhteenveto ja pohdinta..... | 36 |
| | Lähteet..... | 37 |

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia ja suunnitella trukin automatisoinnin vaatimia mekaanisia ratkaisuja, jotta trukista saataisiin varastokäyttöön sopiva ja turvallisuus standardit täyttävä AGV (automated guided vehicle). Trukin tarkoitus on sujuvoittaa asiakasyrityksen varaston kiertoja ja vähentää tarvetta työntekijän trukin käyttöön.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Makron Oy:n kanssa. Projekti tehdään asiakkaalle sen vaatimusten ja toiveiden mukaan. Makron Oy on Mekaniikkasuunnitteluun, lujuuslaskentaan ja automaattioratkaisuihin erikoistunut yritys. Makron Oy koostuu kolmesta osastosta: Makron Engineering, Makron Automation ja Makron Estonia. Makron Oy:llä on toimipisteet Lahdessa, Savonlinnassa, Espoossa ja Viron Kalesissa.

Opinnäytetyön on osa Makron Automationin ja Makron Engineeringin yhteisprojektia, missä päivitetään manuaalisesti operoitavan trukin päätteen takaa operoitavaksi malliksi. Projektin tarkoitus on muokata trukki asiakkaalle soveltuvaksi malliksi, käyttämällä asiakkaan toimittamaa trukkia pohjamallina. Asiakkaasta käytetään opinnäytetyössä nimeä Yritys X tai asiakas.

Opinnäytetyössä ei käsitellä trukin mekaanisten muutosten fyysistä rakentamista, tai käyttöönottoa. Työssä ei myöskään käsitellä perusteellisesti automaatio-ominaisuuksia, mutta aihetta sivutaan laitteen mekaanisen suunnittelun näkökulmasta. Myös tiettyjen komponenttien valintaprosessissa huomioidaan automaatio ominaisuuksia. Työ ottaa kantaa vain projektin pohjamallin trukkiin tehtävistä mekaanisista muutoksista, joten sitä ei voi suoraan käyttää muunlaisissa laitteissa. Projektin suunnittelu aloitettiin vuonna 2020 ja prototyyppi-mallin odotetaan olevan valmis syksyllä 2023.

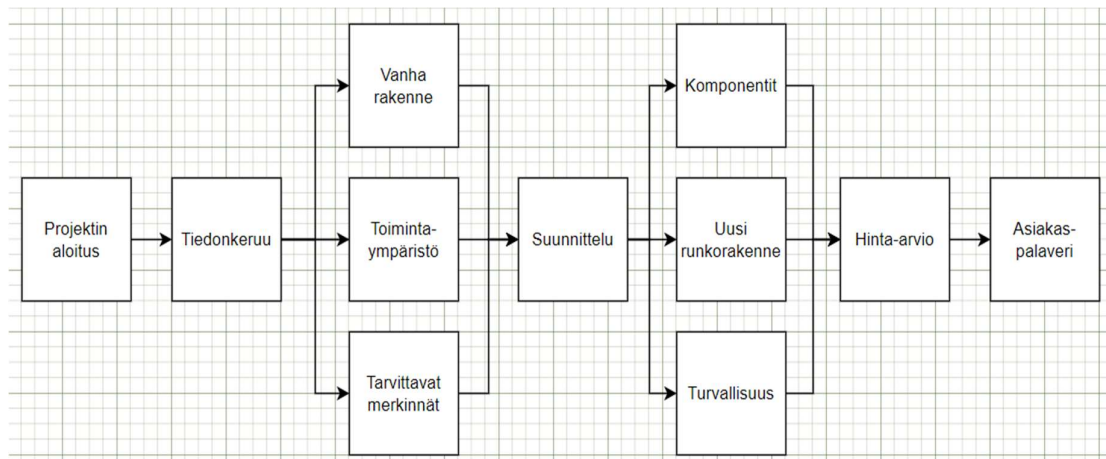
2 Suunnittelu

2.1 Toimeksianto

Makron Oy on kehittänyt sivuprojektina asiakkaan vanhoja varastoajoneuvoja, joilla ei ole enää käyttöä. Nykyisin vanhojen trukkien jälleenmyyntihinta ei ole yrityksille kovin kannattavaa, joten Makron Oy:ssä avattiin tuotekehitysprojekti, jonka tarkoitus on valmistaa asiakkaan trukista prototyyppi, joka toimisi autonomisesti asiakkaan varastotiloissa. Trukki valmistetaan yksilöllisesti asiakkaan tiloihin, joten projektin edetessä on valmistauduttava muutoksiin asiakkaan vaatimuksissa.

Tämä projektin tavoite on tehdä mahdollisimman varmakäyttöinen ja turvallinen AGV-laite, joka on samalla edullinen. AGV on yleensä pyörillä liikkuva kulkuneuvo, joka ei tarvitse käyttäjän jatkuvaa ohjausta tai valvontaa. Tämänlaisia ovat esimerkiksi automatisoidut trukit, ruoka- tai lääkelähetit sekä siivousrobotit. Projektin tavoite saavutetaan suunnittelu-työllä, jossa otetaan huomioon komponenttien järkevä valinta ja niiden vaikutus lopputuotteen toimintaan. Tällaisia komponentteja ovat moottori, anturit ja muut rakenneratkaisua tukevat komponentit. Projektin aihio on asiakkaan omistama manuaalisesti operoitava trukki, mistä teemme automatisoidun prototyypin. Prototyyppi on määrä kehittää asiakkaalle sopivaksi tuotteeksi.

Projektin aluksi on hyvä suunnitella, miten sen kanssa edetään, jotta saadaan asiakkaalle esiteltävän ratkaisun valmiiksi aikataulussa. Kun tehdään asiakkaalle räätälöityä laitetta, on tiedettävä mahdollisimman paljon projektiin vaikuttavista tekijöistä. Näin pystytään huomiomaan asioita, jotka voivat aiheuttaa lisäkuluja projektin myöhäisemmissä vaiheissa, mikäli ne jätetään alussa huomiotta. Tämän takia on hyödyllistä tehdä suunnitelma, mistä asioista on otettava selvää ja miten suunnittelussa edetään (Kuva 1).



Kuva 1 Käsitekartta projektin etenemisestä

Ennen suunnittelun aloitusta on kerättävä mahdollisimman paljon suunnittelua tukevaa tietoa. Koska muokataan jo olemassa olevaa rakennetta, trukin vanhasta rakenteesta on saatava mittoja ja selvitettyä rungolle tulevia kuormia. Mittojen avulla saadaan rakennettua trukista 3D-mallin, mikäli ei saada sitä laitteen alkuperäiseltä maahantuojalta.

Trukin suunnittelussa on myös tiedettävä siihen kohdistuvia kuormia. Kuormien avulla saadaan tieto, paljon rasiusta eri koneenosat ottavat vastaan. Tämä on tärkeä tieto esimerkiksi uusien rakenteita suunniteltaessa, sillä näitä rasituksia käytetään komponenttien mitoituksen ja lujuuslaskennan pohjamateriaalina.

Projektin mekaniikkasuunnittelu aloitettiin kokouksella, jossa tutkimme komponenttinvaihtoehtoja. Merkittävimmät komponentit, jotka on vaihdettava, ovat ajomoottori ja takapyörät. Trukkiin tulee myös automaattiohjaukselle välttämättömiä antureita, jotka mahdollistavat trukin navigoimisen käyttötiloissa. Anturitiedon käsittelemiseen vaadittaville komponenteille on hankittava kytkentäkaappi, johon komponentit voidaan asentaa standardien mukaisesti. Kytkentäkaapille on suunniteltava asennus, jotta se pysyy kiinni tukevasti trukin rungossa.

2.2 Tiedonkeruu

Projektin mekaniikkasuunnittelussa on olennaista saada 3D-mallit tarvittavista komponenteista. Tärkein 3D-malli on itse trukki, joka mahdollistaa uusien komponenttien sovittamisen malliin, mutta tarvitsemme suunnittelun tueksi malleja myös hankittavista komponenteista. Näitä komponentteja ovat esimerkiksi moottori ja sen kiinnitysratkaisu, kytkentäkaappi, sekä trukkiin asennettavat anturit. Nämä 3D-mallit ovat usein saatavissa valmistajan sivuilta suoraan lataamalla, tai ottamalla yhteyttä kyseiseen tuoteryhmään erikoistuneeseen myyntihenkilöön. Kun trukista on saatu 3D-malli, komponenttien asennus paikka voidaan suunnitella ja näin hankkia sopivimmat komponentit. Esimerkiksi moottori ratkaisee paljon trukin uudesta rakenteesta, joten sen sopivuus trukkiin on yksi merkittävä ominaisuus moottorin valinnassa. Projektin 3D-mallinnuksessa käytämme työkaluna Autodesk Inventor-ohjelmistoa.

Työssä tiedusteltiin trukin alkuperäisen valmistajan maahantuojalta mahdollisuudesta saada kyseisestä trukista 3D-mallia tai vaihtoehtoisesti mittapiirustuksia, jotka olisivat nopeuttaneet projektia merkittävästi. Alkuperäisen valmistajan maahantuoja ei voinut toimittaa ei julkisia tiedostoja, sillä projektissamme muokataan CE-merkinnän omaavaa tuotetta. Tämän takia trukin 3D-malli on tehtävä julkisen mittapiirustuksen ja omien mittausten perusteella. CE-merkinnän haku on näin yrityksen vastuulla, kun trukki on myyntivalmis (Tukes 2022).

2.2.1 CE-Merkintä

CE-merkintä on merkintä, jolla tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja vakuuttaa, että tuote täyttää tuotetta koskevien EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset. Projektimme pitää tehdä 2006/42/EY Konedirektiivin mukaan, jota seuraamalla voimme projektin valmistuttua hakea trukille CE-merkkiä. (Tukes 2022.)

CE-merkinnän vaatimukset ovat samat koko Euroopan unionin alueella. Vaatimuksilla pyritään turvaamaan tuotteiden vapaa liikkuvuus sekä riittävä turvallisuus. Konedirektiivi 2006/42/EY on pantu Suomessa kansallisesti toimeen valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008, joka tunnetaan koneasetuksena. (Tukes 2022.)

CE-merkintä ei kuitenkaan ole yleinen merkintä laitteen tuotteen turvallisuudesta, tai takaus tuotteen laadusta. CE-merkintä ei myöskään erottele hyviä ja huonoja tuotteita. CE-merkintä pitää olla mm. seuraavissa tuotteissa (Tukes 2022):

- lelut
- koneet
- hissit
- sähkölaitteet
- henkilösuojaimet
- tietyt rakennustuotteet
- kaasulaitteet
- mittauslaitteet.

CE-merkin saaminen edellyttää koneasetuksen seuraamista. Koneasetuksessa on tiettyjä vaatimuksia, mitä on noudatettava (Konedirektiivi 2006/42/EY):

- Koneen on oltava suunniteltu ja rakennettu koneasetuksessa määriteltyjen olennaisien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti.
- Koneessa pitää olla CE-merkintä ja tietyt, koneasetuksessa määritellyt muut merkinnät, kuten koneen nimi, valmistajan nimi ja osoite sekä koneen yksilöintimerkinnät.
- Koneen mukana pitää toimittaa asianmukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet sekä EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, Suomessa suomen- ja ruotsinkielisinä.

CE-merkinnän saa kiinnittää vain niihin tuotteisiin, joita koskeva tuotelainsäädäntö edellyttää CE-merkintää. Jos CE-merkintää käytetään väärin, tuotteita valvovat viranomaiset voivat puuttua asiaan. Projektimme on sähköllä toimiva kone, joten olemme veloitettuja hakemaan siihen CE-merkintää, ennen kuin se voidaan ottaa ammattikäyttöön. (Tukes 2022.) CE-merkittyjen kuluttajakäyttöön tarkoitettujen koneiden turvallisuutta valvoo turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes, ja ammattikäyttöön tarkoitettujen koneiden turvallisuutta valvoo työsuojeluviranomaiset. Projektimme tehdään ammatilaiskäyttöön, joten trukin turvallisuutta valvoo työsuojeluviranomaiset. (Tukes 2022.)

Jos tuotteessa ei ole lain edellyttämää CE-merkintää tai merkintä on vaatimusten vastainen, tuote voidaan määrätä poistettavaksi markkinoilta. CE-merkinnän väärinkäytöstä voidaan myös rangaista. Rangaistuksen määrää laki CE-merkintärikkomuksesta 187/2010. (Tukes 2022.)

Koska projektimme on kone, tarvitsemme CE merkintää varten vaatimuksenmukaisuuden arvioinnin. Vaatimustenmukaisuuden arvioinnilla tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka valmistajan on suoritettava sen arvioimiseksi, täyttääkö kone olennaiset terveys - ja turvallisuusvaatimukset ja CE-merkintään oikeuttavat säädökset. Suurin osa kuluttajien käyttöön tarkoitettuja koneista saatetaan markkinoille soveltamalla vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa valmistamisen sisäistä tarkastusta. Sisäisessä tarkastuksessa valmistaja itse varmistaa, että kone täyttää sitä koskevat vaatimukset. Menettelytapa ei vaadi ilmoitetun arviointilaitoksen tai muun ulkopuolisen tahon osallistumista. (Tukes 2022.)

Koneiden osalta, joihin katsotaan liittyvän suurempia riskejä, valmistaja voi valita kolmesta eri menettelyn mukaan siitä, onko kone valmistettu yhdenmukaistettujen standardien mukaan vai ei. Koska muutamme ajettavan trukin automatisoiduksi, tarvitsemme ulkopuolisen tahon todentamaan koneemme tarkoituksenmukaisuuden. (Tukes 2022.)

2.2.2 Muut merkinnät

Trukki luetaan konedirektiivin ja näin myös Suomen lain mukaan koneeksi. Tämän takia CE-merkintä ei ole ainoa merkintä, mikä valmiiseen trukkiin on asetettava. Jokaisessa konedirektiivin täyttävässä koneessa on oltava konedirektiivin mukaan vähintään seuraavat tiedot (Konedirektiivi 2006/42/EY):

- valmistajan toiminimi ja osoite sekä tarvittaessa valtuutetun edustajan tiedot
- koneen nimi
- CE-merkintä

- sarja- tai tyyppimerkintä
- mahdollinen sarjanumero
- rakennusvuosi.

Koneessa on myös oltava merkittävät turvallisuutta edistävät tiedot, esimerkiksi hätäseis-painikkeen sijainti tai projektimme tilanteessa työskentely laitteen ympärillä. Lisäksi jokai-sella konetyypillä pitää olla omat yhdenmukaistetut lisätiedot. Opinnäytetyön projekti vaatii lisäksi automatisoiduille laitteille ominaiset lisätiedot. (Tukes 2022.)

2.2.3 Konedirektiivi tarkemmin

Konedirektiivin 2006/42/EY mukaan yrityksemme on laadittava trukistamme tekninen tie-dosto. Teknisen tiedoston avulla voimme osoittaa, että tuote on tarkoituksenmukainen. Jos tuotteesta puuttuu tekninen tiedosto, sen laillisuus voidaan kyseenalaistaa. Tekninen tie-dosto pitää olla saatavilla toimivaltaiselle valvontaviranomaiselle kohtuullisessa määrä-ajassa, jonka takia valmistajan pitää nimetä EY-vaatimuksenmukaisuusvakuutuksessa henkilö, jonka on pystyttävä kokoamaan teknisen tiedoston tarkastettavaksi valvontaviran-omaisen pyytäessä.

Tekninen tiedosto on laadittava vähintään yhdellä EU-alueen virallisella kielellä. Teknisessä tiedostossa on oltava tietyt asiat, jotta se täyttää konedirektiivin vaatimukset (Konedirektiivi 2006/42/EY):

- koneen yleiskuvaus
- koneen yleispiirustus tarvittavine kuvauksineen ja selityksineen
- yksityiskohtaiset piirustukset, laskelmat ja testaustulokset
- käytetyt standardit ja muut tekniset eritelvät sisältäen tiedon milto osin sovellettu
- tarvittaessa tekniset selosteet, joista ilmenevät valmistajan tai tämän valitseman lai-toksen tekemien testien tulokset
- kopio koneen ohjeista
- kopio EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta
- sarjavalmistesteisten koneiden osalta selvitys laadun tasaisuudesta.

Konedirektiivi 2006/42/EY mukaan riskien arvioimisesta pitää myös tehdä asiakirja tek-niseen tiedostoon. Riskien arviointia koskeva asiakirja täytyy pitää sisällään:

- käytetty menetelmä
- konetta koskevat olennaiset terveyst- ja turvallisuusvaatimukset
- kuvaus suojaustoimenpiteistä, jotka toteutettu tunnistettujen vaarojen poistamiseksi tai riskien pienentämiseksi
- tarvittaessa maininta jäännösriskeistä.

Koneen ohjeet ovat tärkeitä, sillä niiden avulla koneen hankkinut yritys pystyy käyttämään konetta sille tarkoitetulla tavalla. Ohjeita seuraamalla kone on turvallinen ja tarkoituksenmukainen työympäristössään. Tämän takia käyttöohjeisiin on määrätty pakollisia asioita, millä varmistetaan koneen oikea käyttö (Konedirektiivi 2006/42/EY):

- valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja osoite
- koneen nimi
- EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus tai vastaavat tiedot, pois lukien sarjanumero ja allekirjoitus
- koneen yleinen kuvaus
- koneen asentaminen käyttökuntoon
- koneen turvallinen käyttö
- tarvittaessa käsittely- ja kuljetusohjeet
- huolto- ja kunnossapito-ohjeet
- tarvittaessa tieto siitä, millaisia työkaluja koneeseen voi asentaa
- tarvittaessa kielletyt käyttötavat
- tarvittaessa tieto jäännösriskeistä sekä tarvittavista henkilösuojaimista.

Voimme koota muutetun trukin käyttöohjeet osakseen vanhan version käyttöohjeesta, esimerkiksi turvallinen käyttö ja osa huolto-ohjeista voidaan integroida uuteen käyttöohjeeseen. Uuteen käyttöohjeeseen on kuitenkin lisättävä muutoksista johtuvat asiat, erityisesti automaation osalta. (Konedirektiivi 2006/42/EY.)

2.2.4 Mittaaminen

Projektimme muutostöiden onnistuminen riippuu paljon, miten vanhan rungon mittaukset ovat onnistuneet. Koska valmistajan projektia sujuvoittava dokumentaatio ei ollut saatavilla,

jouduttiin tukeutumaan julkisen datasivun mittapiirustukseen. Jos mittaukset tehdään virheellisesti, se voi tuottaa merkittäviä lisäkustannuksia projektin edetessä. Esimerkiksi uusien levyosien mitoituksista on oltava varma, ettei trukkiin tilata virheellisesti suunniteltuja osia.

Trukin mittaamisessa tärkeää on saada takarenkaiden kääntöalue oikein. Tuleville kääntöratkaisujen suunnittelussa pitää olla tarkka tieto, minkä kokoiseen tilaan renkaita ja moottoria ollaan asentamassa. Jos kääntötila on mitattu väärin, siitä voi seurata ongelmia uusien komponenttien asennusvaiheessa. Mahdollisessa ratkaisussa tilataan ajomoottorin ja pyörät samassa paketissa, jonka takia trukin perässä pitää olla tilaa pyörille, sekä moottoreille. Tämän takia pohjan mittaukset ovat tehtävä erityisen tarkasti. Trukin kääntöratkaisu riippuu täysin moottorin mekaanisista ominaisuuksista, joka tarkoittaa, että trukin lopullinen pohjarakenne varmistuu, kun moottorin malli on valittu.

Mitoituksessa on myös olennaista saada muidenkin komponenttien asennuspaikkojen mitat oikein. Trukkiin tuleva kytkentäkaapin mitat pitää olla selvillä, jotta se saadaan asennettua asianmukaisesti paikalleen, mutta myös siihen liitettävien anturien paikat pitää olla tarkasti suunniteltu. Monen komponentin lopullinen sijainti riippuu paljon trukkiin valittavasta moottorista ja sen mekaniikasta. Tämän takia moottori on pitää mitoittaa ja valita ensimmäisenä.

Trukin päämitat otettiin julkisesta mittapiirustuksesta. Näin saimme selvitettyä merkitsevät ulkomitat ja haarukoiden nostokorkeuden. Näistä saimme myös laskettua uusien osien mittoja. Trukin mittaamisessa käytettiin pääasiallisesti työntömittaa sekä rullamittaa. Työntömitalla saatiin selvitettyä vanhan rakenteen levyjen paksuuksia ja pieniä yksityiskohtia, jotka ovat merkityksellisiä suunnittelussa. Rullamitalla selvitimme suuria merkitseviä päämittoja, joiden ei tarvitse olla tarkkoja.

Näillä mitoilla saimme rakennettua trukista 3D-mallin suunnittelun tueksi. 3D-mallin avulla komponenttien, kuten moottoriyksikön, tarkastelu on helppoa. Näin myös säästämme merkittävästi suunnitteluun menevää aikaa.

2.2.5 Toimintaympäristö

Koska trukki suunnitellaan asiakkaan tiloihin, tuleva toimintaympäristö on hyvä tuntee ja tämän avulla tunnistaa asioita, joita on otettava huomioon suunnittelussa. Mekaniikkasuunnittelun näkökulmasta tosin huomioon otettavia asioita on vähemmän kuin automaatio-suunnittelussa.

Materiaalien ja akun keston kannalta on tärkeää tietää, minkälaisissa olosuhteissa trukki operoi. Jos trukki toimii ulkoilmassa merkittävän ajan työkierrosta, siihen voi kohdistua

korroosiota. Tämä on siten huomioitava materiaalivalinnoissa tai materiaalin jälkikäsitelystä, esimerkiksi uusien levyosien maalauksella voimme estää korroosion leviämisen. Myös liikkeiset ja kosteat ympäristöt vaativat materiaalien pinnoitusta.

Ympäristö vaikuttaa paljon anturien sijaintiin, jotta ne pystyvät antamaan haluttua tietoa trukin logiikkaan. Esimerkiksi trukkiin asennettavien valokennojen pitää olla paikassa, jossa niitä ei tarvitse jatkuvasti puhdistaa, tai kohdistaa uudestaan. Trukin rungon profiiliin ulkopuolelle sijoitettavat anturit, esimerkiksi turvalaserskannerien asennus on suunniteltava niin, että ne huomioivat trukin koko ympäristön. Skannerit eivät myöskään saa olla paikassa, jossa ne voivat vahingoittua törmäyksessä ulkopuoliseen esteeseen tai trukin omiin toimilaitteisiin.

2.3 Moottori

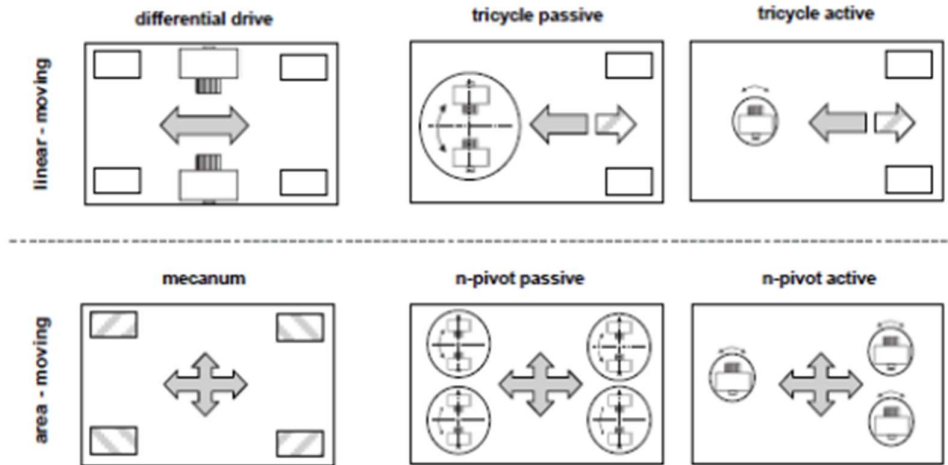
Uusi moottori on AGV-projektin tärkein ja kallein komponentti. Moottorin malli ratkaisee paljon trukkiin vaadittavista muutoksista, jotta moottoripaketti mahdutaan asentamaan trukin runkoon. Lähtökohtaisesti hankimme trukkiin moottoripaketin, joka sisältää itse moottorin, renkaan/renkaat, sekä mahdollisesti vaihteen. Moottoripaketin komponenttien hankinta erikseen olisi taloudellisesti niin merkittävästi kalliimpaa, että ne ovat viisaampaa hankkia yhdessä paketissa. Renkaiden on kuitenkin mahdollista kääntymään trukin alla, joka voi rajata tietyt moottorimallit pois vaihtoehtoista.

Moottorin ja sen vaatimat mekaanisten muutoksien hinta on yksi ratkaisevista tekijöistä. Jos moottorin asennus vaatii erillisiä komponentteja jota muut moottorit eivät vaadi, voi se olla ratkaisevassa asemassa moottorin hylkäämiselle joko suunnittelussa tai asiakkaan puolelta. Mutta jos enemmän komponentteja vaativa tai merkittävästi monimutkaisempi ratkaisu on mekaanisilta ominaisuuksiltaan muita vaihtoehtoja parempi, niin se voi voittaa halvemmän vaihtoehdon.

Moottorin valinta

Uuden moottorin valinta oli aluksi vain kolmen vaihtoehdon välillä. Tämä johtui pääasiallisesti 24 Voltin käyttöjännitteen rajoittavasta tekijästä. Käyttöjännite rajattiin 24 Volttiin, koska trukin alkuperäisessä akussa on sama käyttöjännite. Koska uuden akun hankkiminen olisi projektilla kallis ja epäkäytännöllinen hankinta, päätimme säilyttää vanhan akun. Harkitsimme myös jännitteen muuntamista mahdollisen uuden akun kanssa, mutta idea hylättiin epäkäytännöllisyyden takia. Tämän takia automaatiosuunnittelu rajasi vaihtoehtoiset 24 Voltin moottorimallit, josta mekaniikkasuunnittelu esittää tarkastelun jälkeen parhaan vaihtoehdon. Moottorivaihtoehdoilla on erilainen teho, vääntö ja kuorman kantokyky, ja

moottoripaketin mekaaninen kiinnitysratkaisu trukin runkoon tulisi olemaan hyvin erilainen ja täten valinnassa ratkaiseva ominaisuus on moottoripaketin kääntöratkaisu trukissa (Kuva 2).



Kuva 2 AGV:n kääntöratkaisuja (Siemens 2021)

Kuvassa 2 näkyy erilaisia kääntöratkaisuja Siemensin AGV-projekteissa. Harkitsemamme moottorit toteuttaisivat tricycle passive sekä tricycle active- malliset kääntöratkaisut.

Kaikissa moottoripaketeissa on mukana itse moottori, polyuretaanista valmistettu rengas sekä kiinnityslaippa trukin pohjalevyyn. Koska eWheelin ja Ebm papstin moottorit ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan erilaisia, kannattaa valintaa käyttää pisteytystaulukkoa, minkä avulla moottoreista saadaan eroteltua paras vaihtoehto (Taulukko 1). Moottorien tärkeimmät ominaisuudet on listattu taulukkoon 1, jossa jokainen ominaisuus pisteytetään asteikolla 1–5.

| Valmistaja | Flyer eWheel | Flyer eWheel | Ebm Papst |
|------------------------|--------------|--------------|-----------|
| Malli | Size M | Size L | ArgoDrive |
| Kantavuus(kg) | 500 | 500 | 500 |
| Pisteet | 4 | 4 | 4 |
| Renkaan halkaisija(mm) | 200 | 200 | 145 |
| Pisteet | 4 | 4 | 2 |
| Teho(W) | 288 | 576 | 450 |
| Pisteet | 1 | 4 | 3 |
| Jännite(V) | 24 | 24 | 48 |
| Mekaniikka | 4 | 3 | 2 |
| Yhteispisteet | 13 | 15 | 11 |

Taulukko 1 Moottorivalintataulukko

Koska moottoripaketin pitää kestää 1000 kilogramma kuorma, moottoreita ja renkaita tulee osassa vaihtoehtoissa 2. Moottoripaketin valintataulukko on tehty yhdestä moottoripaketista, joten esimerkiksi lopullinen kuormankantokyky voidaan kertoa kahdella.

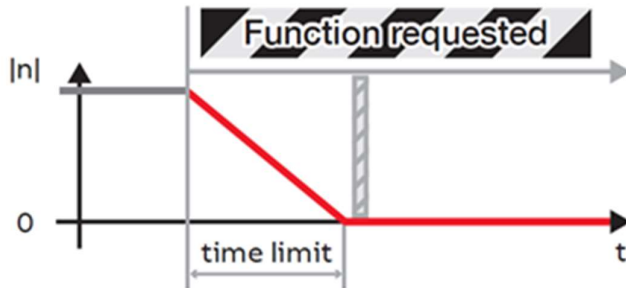
Renkaan halkaisija on merkittävä ominaisuus, sillä pieni rengas voi aiheuttaa trukille vaikeuksia kynnysten ylityksissä, sekä aiheuttaa trukin rakenteelle rasisuspaiikkejä epätasaisilla pinnoilla ajaessa. Tämän takia ominaisuus on valintataulukossa.

Moottorin teho on merkittävä ominaisuus. Jos moottorissa ei ole tarpeeksi tehoa, trukki ei kykene ylittämään mahdollisia esteitä tai kaltevia pintoja tulevassa toimintaympäristössään, joka ei ole hyväksyttävää projektin onnistumisen kannalta. Moottorin tehoa pystyy nostamaan, jos moottorin käyttöjännitettä kasvatettaisiin, mutta kyseinen ratkaisu ei ole kustannustehokkuuden kannalta hyvä ratkaisu, koska akun jännite on 24 Volttia. Tämän takia moottorin käyttöjännitteen on oltava 24 Volttia, sillä jännitteen muunto akulta moottorille ei ole projektillemme ideaalinen ratkaisu.

Vertailen taulukossa 1 myös moottorivaihtoehtojen mekaanisia ominaisuuksia. Tämä aihe käsittää koko moottoripaketin asennusta, kokoa ja tarvetta muuttaa trukin vanhaa rakennetta sekä näiden muutoksien kustannuksia.

Turvallisuus

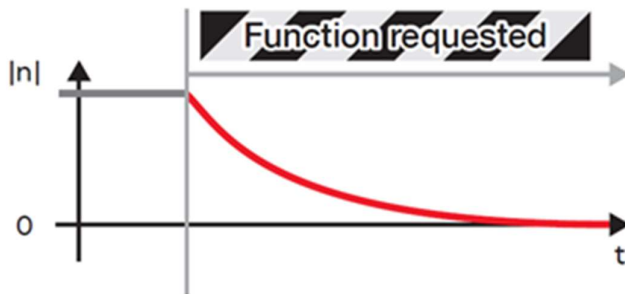
24 Voltin käyttöjännite rajoittaa moottorivalinnassa paljon vaihtoehtoja pois, joten potentiaalisia moottoreita on vähän. Tämän lisäksi moottorin on myös oltava yhteensopiva käyttämällemme Siemensin ohjelmoitavalle logiikalle. On myös haasteellista löytää moottori, jossa vääntö ja teho riittävät liikuttamaan trukkia ja sille vaadittua 1000 kilogramman nostokuormaa, käyttöjännitteen ollessa 24 voltia. Moottoripaketissa on myös oltava standardin EN 60204-1 mukainen Safe Stop1-toiminto (ABB 2022). SS1 toiminto takaa AGV:n nopean ja turvallisen pysäytyksen automaattisesti hidastamalla AGV:n nopeutta, kun sen turvasannerit ovat huomannee esteen. Jos este tulee liian lähelle, se pysäyttää AGV:n etenemisen, jotta kolaria ei syntyisi (Kuva 3).



Kuva 3 SS1 toiminnon toimintakaavio (Schneider Electric 2022)

Kuvassa 3 esitetään SS1-toiminto, kun se saa toimintakäskyn skannereilta. Jos este havaitaan, AGV tekee tietyssä ajassa kontrolloidun hidastuksen ja pysähdyksen, jos havaittu este ei poistu havaintoalueelta.

Jotta trukin turvallinen pysäytys voidaan taata, pitää moottoripaketin tukea SS1-toiminnon lisäksi STO (Safet Torque Off) - toimintoa. STO-toiminto estää laitteiston vahinkokäynnistymisen standardin EN 1037 mukaan, mutta toimii myös SS1- toiminnon kanssa hätäpysäytyksessä katkaisemalla ajomoottorin virransyötön pysähdyksen alkaessa ja pitää sen virransyötön pois päältä, kunnes pysäytyksen syy on saatu poistettua (Kuva 4).



Kuva 4 STO toiminnon toimintakaavio (Schneider Electric 2022)

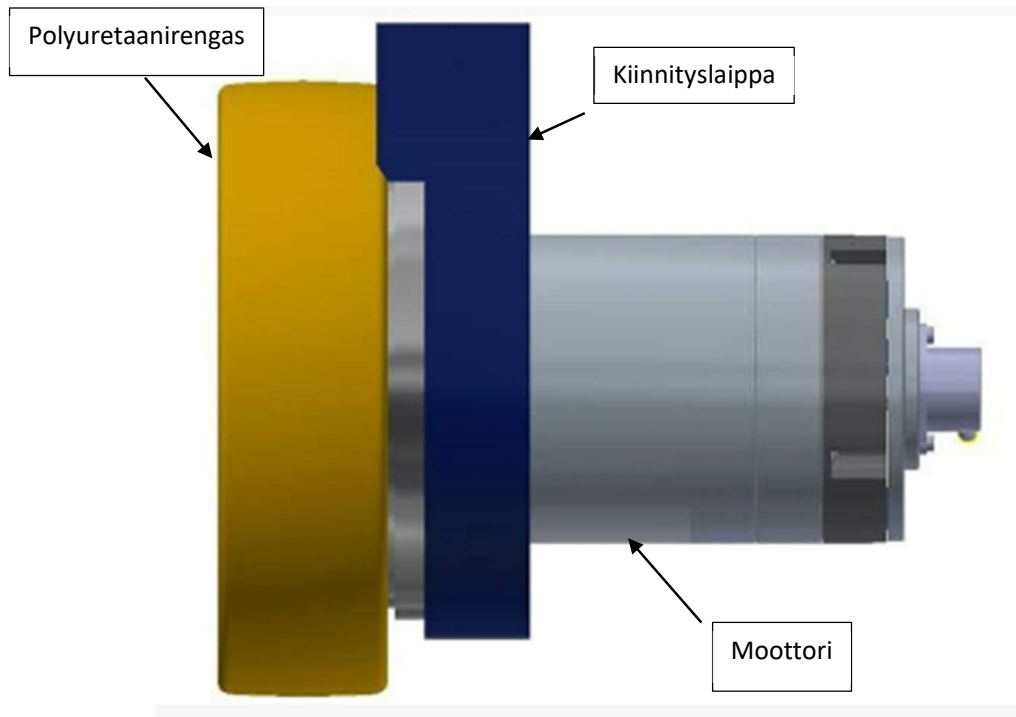
Kuvassa 4 toimintakaavio esittää, miten pysäytyskäskyn jälkeen moottorin virransyöttöä jarrutetaan, kunnes AGV on pysähtynyt turvallisesti. Pysäytyksen jälkeen virransyöttö katkaistaan, jotta vahinkoliikkeitä ei syntyisi.

Rengas- ja moottorirakenteen kuormankestokyky pitää kestää asiakkaan vaatiman 1000 kilogramman nostokuorman trukin omamassan lisäksi. Kokonaisuudessaan trukin pitää kestää 2500 kilogramman massa, josta noin 1000 kilogrammaa keskittyy takapyörille, kun trukilla kuljetetaan suurinta mahdollista kuormaa. Trukin moottorien ja renkaiden pitää olla helposti vaihdettavissa, mikäli osia pitää huoltaa tai vaihtaa.

Saksalaisen Ebm papstin valmistama ArgoDrive on kantavuudeltaan sekä teholtaan hyvä ratkaisu trukkiin. Ebm papstin moottoripaketin kanssa saatava rengas on pieni, eikä välttämättä sovellu suurempien esteiden ylittämiseen tuotantolaitoksessa tai varastossa. Moottoripaketti on myös kokonaisuudessaan melko suuri, joka aiheuttaa vaikeuksia sen asennukseen ja huoltotoimenpiteisiin.

Saksalaisen B-Driven Flyer eWheelin vaihtoehtoja oli kaksi: Kokoluokka M ja L. Kokoluokan M moottori sopii mekaanisilta ominaisuuksiltaan parhaiten trukkiin, sillä se on pienikokoinen ja yhtä kestävä kuin muutkin vaihtoehdot. Suuri etu tässä vaihtoehdossa on se, että trukin kehysrunkoa ei tarvitse muokata, sillä suunniteltu kääntölevy moottorien kanssa mahtuu kääntymään rungon kehysien sisällä ilman vaaraa osumiin. Renkaan koko on myös sama kuin L-koossa, eli 200 mm. Tämä renkaan koko on pienempi kuin alkuperäisessä trukissa (250 mm), mutta tarpeeksi iso, että sillä pääsee esteiden yli varastotiloissa. Ainoa merkittävä haittapuoli tässä moottorissa on sen teho, joka on 288 Wattia. Vaikka ratkaisussa käytetään kahta moottoria, se ei riitä liikuttamaan trukkia vaaditun massan kanssa tarpeeksi kaltevia pintoja.

B-driven valmistava eWheel koko L on taulukon mukaan paras vaihtoehto. Kokoluokka L on kooltaan suurempi, kuin kokoluokka M. Tämän takia trukin kehysrunkoa on muokattava, jotta kääntölevy moottoreineen voi kääntyä halutun 90 astetta ilman osumista runkoon. Ratkaiseva tekijä kokoluokkien välillä on L koon merkittävästi suurempi teho, sillä siitä saadaan 576 Wattia tehoa. Tämä tarkoittaa kahdella moottorilla melkein 1,2 kilowatin tehoa, joka riittää liikuttamaan trukkia haastavammissa paikoissa. Tässä ratkaisussa myös huollettavuus on painava tekijä, koska moottori, renkaat ja kiinnitysratkaisu tulee samalta valmistajalta, sekä sen kiinnitys kääntölevyyn on yksinkertainen (Kuva 5).



Kuva 5 Esimerkki eWheelin rakenteesta (B-Drives 2021)

Hintaero ei ole niin suuri tekijä tässä tilanteessa, koska muut vaihtoehdot eivät pysty kilpailemaan mekaanisilta ominaisuuksiltaan eWheeliä vastaan. Tämän takia päädyimme B-driven toimittamaan Flyer eWheel-malliseen moottoriratkaisuun.

2.4 Uusi rakenne

Uusi moottori määrittää tarpeen uusille rakenteille ja lisäkomponenteille. Flyer eWheelin valinta moottoriksi vaatii trugin vanhaan rakenteeseen suuria muutoksia, sekä uusia osia mahdollistamaan moottoriyksikön kääntö.

Uusien moottorien tutkimisen jälkeen selvisi, että vanhaa rakennetta pitää muokata merkittävästi. Pelkästään moottorien koko ei mahdollista niiden asennusta vanhaan pohjalevyyn. Mitä pidemmälle suunnittelu eteni, sitä enemmän vanhaa rakennetta oli muokattava, sillä moni levyosa tulee olemaan moottoriyksikön kääntöalueen tiellä.

Moottorit on myös saatava kääntymään, joten tarvitsemme pohjan ja moottoriyksiköiden väliin kääntökehän, joka mahdollistaa trukin käännöksen. Tässä ratkaisussa renkaiden on käännettävä 90 astetta, jotta trukki voisi liikkua mahdollisimman pienissä tiloissa.

2.4.1 Kääntökehä

Kääntökehälaakeri on koneenos, joka mahdollistaa rakenteiden kääntymisen akselinsa ympäri, esimerkiksi kaivinkoneen hytti ja nostokurjen puomi kääntyvät kyseisellä tavalla. Kääntökehälaakeri asennetaan niin, että sen ulkokehä kiristetään ruuveilla pyöritettävälle pinnalle ja sisäkehä kiinnitetään toiselle pinnalle, jotta kiinnityspinnat voivat kääntyä aksiaalisesi toisiinsa nähden.

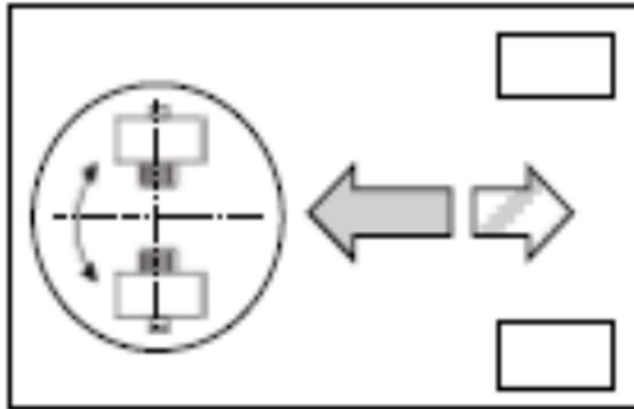
Kääntökehälaakereita on saatavilla ulko- tai sisäkehän hammastuksella, jonka avulla voidaan saada siirrettyä kääntökehän avulla. Kääntökehiin saa myös vaihteen, jos pyörimisnopeutta halutaan pienentää. Yksinkertaisin kääntökehälaakeri on hammastamaton ja vaihteeton laakeri, jota siis ei voida käyttää suorassa voimansiirrossa (Kuva 6). Kääntökehiä on saatavilla huoltovapaina malleina, jossa vähäkitkaiset kehämateriaalit ja kuulat poistavat rasvauksen tarpeen. (OEM 2022.)



Kuva 6 SKS:n huoltovapaa vaihteeton kääntökehä (SKS Mechanics 2022)

Suunnitellun moottoriratkaisun idea on, että asennamme kaksi moottoria renkaineen kääntölevylle, joka on kiinnitetty kääntökehälaakerin avulla trukin pohjalevyyn (Kuva 7). Trukin kääntyminen toteutetaan ajamalla vierekkäisiä renkaita eri nopeuksilla, joka kääntää trukkia halutun määrän. Tässä ratkaisussa kääntökehälaakeri mahdollistaa kääntölevyn pyörimisen, jonka takia kääntökehälaakeri ei tarvitse hammastusta. Myöskään vaihde ei ole tässä projektissa tarpeellinen, sillä laakerin pyörimisnopeus ei ole olennainen ominaisuus kyseiseen käyttötarkoitukseen.

tricycle passive



Kuva 7 Moottoriratkaisu kääntökehällä (Siemens 2021)

Kääntökehän valinnassa haasteena oli sen koko. Kääntökehälaakerin yleisimmät käyttökohteet ovat yleensä suurissa rakenteissa, kuten kaivinkoneissa. Tämän takia pientä, suurta aksiaalista rasitusta kestävä kääntökehä on haastavampi löytää. Tuotetiedustelun aikana löytyi kaksi mahdollista valmistajaa, SKS Mechanics ja OEM.

Molemmilla löytyi tarpeeksi pieniä kääntökehiä, jotka mahtuvat trukin perään ja kestävät aksiaalisen rasituksen, joka on trukin massa ja 1000 kilogramman nostettava kuorma, joka lukee asiakkaan vaatimuslistassa. Tämä tarkoittaa trukin alkuperäisen datasivun mukaan noin 1000 kilogramman massaa takapyörille ja täten myös kääntökehälle, joka on voimana noin 9800 Newtonia (Kaava 1). Kääntökehän rasitus tulee olemaan pääosin aksiaalista, joten kääntökehä pitää mitoittaa lasketun 9800 Newtonin mukaan. Mitoituksessa pitää myös ottaa huomioon, että kääntökehän valintaprosessissa tarkastellaan myös dynaamista aksiaalista kestäkykyä, joka on huomattavasti pienempi, kuin staattisen kuorman kestäkyky.

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

Jossa

$F =$ Aksiaalinen rasitus (N)

$m =$ massa (kg)

$g =$ gravitaatiokiihtyvyyys (9,81 m/s²)

Kuorma voi olla staattista tai dynaamista. Rakenne kohtaa staattista kuormaa, kun se on paikallaan tai jos ajetaan täysin tasaista pintaa, ilman epäkeskeisiä kuormia (Anttila 2020).

Tämä on tosin hyvin teoreettinen tilanne, enkä sen takia lähde mitoittamaan kääntökehää staattisen kuorman mukaan.

Dynaaminen voima voi syntyä epätasaisilla pinnoilla ajettaessa tai muista jännitepiikeistä. Voimat eivät silloin siis ole vakioita, vaan muuttuvat trukin liikkeen mukaan. Dynaamiset kuormitukset saattavat olla moninkertaisia staattisiin kuormituksiin verrattuna, joka näkyy, kun vertaa kääntökehien suurimpia staattisia ja dynaamisia rasituksenkestokykyjä. Dynaaminen lujuusanalyysi on tärkeässä asemassa rakenteiden lujuuksia tutkittaessa myös siksi, koska ne voivat aiheuttaa rakenteelle ajan mittaan ongelmia väsymisen takia, vaikka vaikuttava voima ei olisikaan erityisen suuri. Dynaamiset voimat voivat kuitenkin olla erittäin hankalia määrittää. (Anttila 2020.)

Radiaalisten kuormien dynaaminen kestävyys pitää ottaa myös huomioon kääntökehän valinnassa. Radiaalista kuormaa voi syntyä, jos trukilla ajetaan epätasaisilla pinnoilla, tai jos trukin kantamus on epäkeskeistä Anttila (2020). Arvioin, että radiaalikuorma ei tule olemaan suurta, sillä trukin toimintaympäristössä ei tule olemaan suuria epätasaisuuksia ja kantamukset tulevat olemaan suhteellisen symmetrisiä.

Jos kääntökehän halkaisija on suurempi, se kestää suurempia kuormia. Tämän takia vertailin valintataulukossa myös erikokoisia kääntökehiä eri valmistajilta, sillä mekaaniset ominaisuudet ja hinta ratkaisevat komponentin valinnan. Käytin kääntökehien vertailussa samaa tapaa, jota käytin moottorien vertailussa (Taulukko 2). Kääntökehän valinnassa ratkaisevia ominaisuuksia ovat ulkokehän halkaisija, dynaamiset aksiaalisen ja radiaalisen kuorman kestävyys, sekä hinta.

| Valmistaja | SKS | OEM | OEM |
|--------------------|------------|----------|----------|
| Malli | SRB-03-100 | PRT100 | PRT150 |
| Materiaali | M80 | Alumiini | Alumiini |
| Pisteet | | | |
| Aksiaalikuorma(kg) | 1631 | 1631 | 2548 |
| Pisteet | 4 | 4 | 5 |
| Radiaalikuorma(kg) | 510 | 510 | 815 |
| Pisteet | 4 | 4 | 5 |
| Ulkohalkaisija(mm) | 185 | 185 | 250 |
| Pisteet | 4 | 4 | 5 |
| Hinta(euro) | 436 | 517 | 717 |
| Pisteet | 5 | 4 | 3 |
| Yhteispisteet | 17 | 16 | 18 |

Taulukko 2 Kääntökehän valintataulukko

Pisteytyksessä suurin yksittäinen pistemäärä on 5 ja huonoin 1. Korkeimmat yhteispisteet tarkoittavat, että kääntökehä on valintaprosessin mukaan paras vaihtoehto, mutta esimerkiksi asiakas voi hylätä komponentin, mikäli sen hinta koetaan liian suureksi.

Taulukosta 2 nähdään, että jokainen vaihtoehto kestää dynaamisesti aksiaalisen ja radiaalisen rasituksen vaatimukset. Tosin kääntökehällä on oltava hyvä varmuuskerroin, jotta sen elinikä olisi mahdollisimman pitkä (Kaava 2).

$$n = \frac{F_{max}}{F_{tod}} \quad (2)$$

Jossa

$$n = \text{Varmuuskerroin}$$

$$F_{max} = \text{Suurin dynaaminen kuormankesto (N)}$$

$$F_{tod} = \text{Rakenteen laskettu kuorma (N)}$$

Kaavalla 2 SKS:n SRB-03-100 ja OEM:n PRT100 saavat samat varmuuskertoimet, eli 1,6. Tässä OEM:n PRT150 on paras vaihtoehto 2,5 varmuuskertoimella. Varmuuskertoimet on laskettu dynaamiseen kestokykyyn nähden. PRT150:n parempi kuormankestokyky johtuu sen suuremmasta ulkohalkaisijasta, joka myös parantaa perän tasapainoa.

OEM:n kääntökehien materiaalit ovat huoltovapaita alumiinista valmistettuja kääntökehiä, joka tekee niistä ideaaleja vaihtoehtoja korroosionkeston ja kunnossapidon näkökulmasta. SKS:n kääntökehä on valmistettu M80-muovista, joka on myös korroosionkeston kannalta hyvä vaihtoehto.

Päädyin OEM:n PRT150 kääntökehään, koska sen ulkohalkaisija tuottaa paremman tuen trukin perälle, joka taas vähentää mahdollisia epäkeskeisyyksiä sekä säteittäistä rasiutusta. Leveämpi laakeri helpottaa myös moottorien johdinten läpivetoa. Laakerien hintaerot eivät olleet merkittäviä yhdelle kappaleelle, joten se ei vaikuttanut ratkaisevasti valittuun laakeeriin. Mikäli tuotetta valmistettaisiin sarjassa, hinta olisi suurempi tekijä komponentin valinnassa.

2.4.2 Käännön asemointi

Koska rakennamme uuden kääntöratkaisun itse, tarvitsemme tiettyjä seurantamenetelmiä kääntökehälle. Trukin logiikkaan on saatava tieto, missä asennossa sen renkaat ovat ja missä rajoissa kääntökehä voi pyörähtää. Koska trukin on pystyttävä kääntymään 90 astetta, kääntökehän on käännettävä 180 astetta.

Kääntökehän aseman mitataan absoluuttisella pyörimisanturilla. Absoluuttianturi antaa logiikkaan pulsseja, jotka muutetaan trukin ohjelmassa asteiksi. Anturin avulla voidaan seurata käännön nopeutta ja asettaa käännölle rajanopeudet turvallisuuden näkökulmasta. Tähän tehtävään voidaan hankkia yksikierröksinen anturi, sillä kääntö tapahtuu 180 asteen sisällä. Monikierrösanturi laskee sijaintitiedon lisäksi kierrosten lukumäärää, mutta tässä käyttötarkoituksessa se ei ole tarpeellista.

Trukin kääntörajoille on enemmän vaihtoehtoja. Kääntökehän asemaa mittaavan absoluuttianturin sijaintitietoon voidaan asettaa maksimiarvot, jota ei saa ylittää, mutta kääntöalueen ylitykselle on asetettava myös rajakytkimet. Rajakytkimet voivat olla mekaanisia, tai sähkömagneetilla toimivia.

Ensimmäiseksi harkitsimme mekaanista rajakytkintä. Mekaaninen rajakytkin aktivoituisi, kun kääntölevyyn kiinnitetty levy osuisi siihen. Tämä olisi varmatoiminen ja vaatisi vähän puhdistusta ympäristöstä riippumatta. Mekaaninen rajakytkin on myös suhteellisen edullinen, joten se olisi pätevä vaihtoehto.

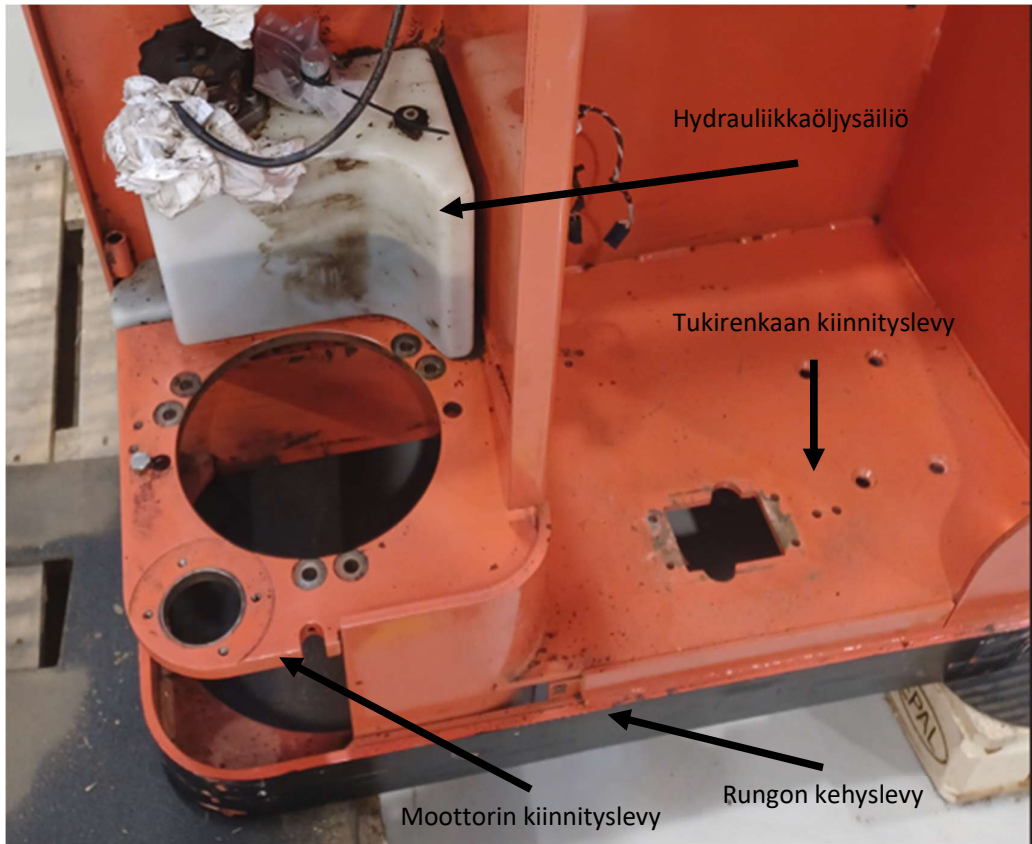
Toinen vaihtoehto on asentaa induktiiviset rajakytkimet. Induktiivinen anturi havaitsee metallia havaintoalueen ollessa 0–40 millimetriä. Anturit asennettaisiin pohjalevyyn, jossa ne havaitsisivat kääntölevyyn kiinnitettyjen metallilevyjen lähestymisen. Kun induktiivinen anturi havaitsisi kääntölevyyn kiinnitetyn metallilevyn, anturi lähettäisi logiikkaan signaalin, joka lopettaa kääntöliikkeen.

Induktiivinen anturi on myös hyvin yksinkertainen ja huoltovapaa ratkaisu. Induktiivista anturia ei tarvitse puhdistaa varastoympäristössä usein ja se mahtuu pieneen tilaan.

2.4.3 Uusi levyrakenne

Trukin alkuperäinen perärakenne on monimutkainen, sillä se koostuu monesta eripaksuisesta levystä. Trukin korin ympäri menee 10 millimetriä paksu ja 100 millimetriä leveä kehyslevy, jonka ympärille trukin kori on hitsattu. Trukin renkaat ovat alkuperäisessä rakenteessa asennettu eri tasolle. Vasen takapyörä on samalla vetävä ja kääntävä pyörä, joka on asennettu levyyn ajomoottorin ja kääntömoottorin kanssa, kun taas oikea takapyörä toimii tukipyöränä, joka on kiinnitetty kuljettajan paikan alaiseen levyyn. Lisäksi trukin ohjaimon ja moottoritilan eristää 6 millimetriä paksu levy, joka toimii korin lisäjäkiste levynä ja moottoritilan suojana. Myös molempien takarenkaiden kiinnityslevyt ovat hitsattu kiinni lisäjäkistelevyyn. Trukin akku sijaitsee rungon keulassa ja se on renkaiden kääntöalueelle

rajoittava tekijä. Renkaiden kääntöalueen ja akun väliin jää pieni tila, jossa on hydraulikkaöljylle tarkoitettu säiliö (Kuva 8).



Kuva 8 Trukin perärakenne

Uusien rakenteiden suunnittelussa kannattaa käyttää mahdollisimman paljon vanhasta rakenteesta, mutta suunnittelun edetessä selvisi, että vanha perärakenne on parempi purkaa kokonaisuudessaan ja suunnitella se uudestaan. Suurin syy tähän on uusi moottoriratkaisu, joka ei tule mahtumaan korkeuden sekä leveyden puolesta vanhan pohjalevyn alle. Myös vanha jäykistelevy on poistettava, jotta uusi kääntöratkaisu voi toimia sille tarkoitetulla tavalla. Kääntöaluetta on saatava myös isommaksi, joten vanha hydraulikkaöljy säiliö on nostettava uuden pohjalevyn yläpuolelle. Vanhat lisäjäykistelevyt poistetaan ja korvataan uudessa pohjarakenteessa niin, että ne eivät tule renkaiden kääntöalueen tielle.

Trukin korin ympärillä on 10 millimetriä paksu levy, joka jäykistää koria ja ottaa vastaa mahdolliset osumat, mitkä ovat yleisiä varastoympäristössä. Tämä kyseinen rakenne rajoittaa myös suunniteltua kääntöratkaisua, sillä se ei anna kääntölevyssä olevien pyörien kääntyä haluttua 90 astetta. Alussa tutkin mahdollisuutta suunnitella paikalle lyhyempää moottoriratkaisua, mutta kyseinen moottori ei täyttänyt tehovaatimuksia. Trukin kääntö pienissä tiloissa on merkittävä ominaisuus varastoihin tarkoitetulle trukille, joten korin reunalevy on

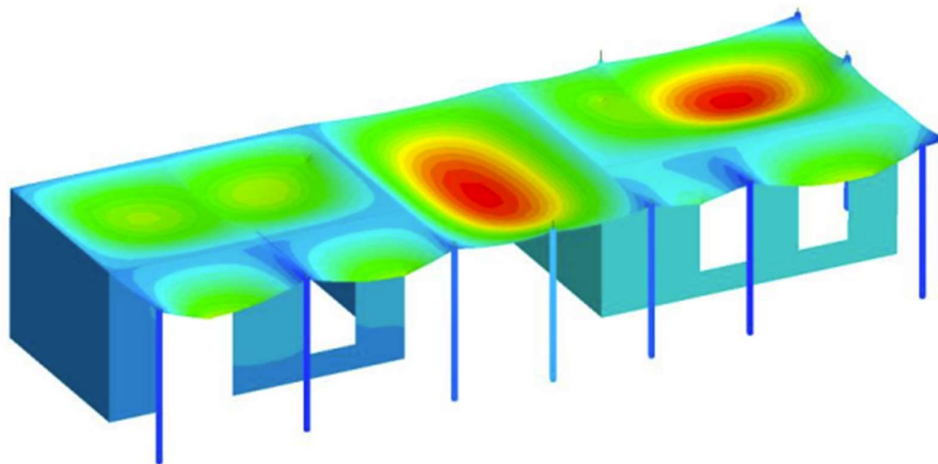
katkaistava ja muokattava niin, että valittu moottoripaketti voi pyörähtää 90 astetta ilman vaaraa, että se osuisi trukiin koriin.

Päädyin ratkaisuun, missä 10 millimetrin levyistä leikataan vanhaa koriä myötäilevä osa, johon särmätään uloke, joka mahdollistaa moottoripaketin pyörähdysten ilman osumavaaraa muihin rakenteisiin. Uloke hitsataan koriin, josta vanha kehälevy on irrotettu. Levyn päät on myös viistettävä ja liitos tehtävä näin V-hitsinä, jotta hitsiliitoksesta saadaan vahva. Näin kehä pystyy ottamaan jatkossakin mahdollisia iskuja vastaan ilman suurta riskiä rakenteen vahingoittumiselle.

Koska trukiin rungon alkuperäinen materiaali on mustaa terästä, päätettiin käyttää S355J0 terästä, koska se on luja rakennemateriaali ja hyvin hitsattavaa. Erityisesti hitsisaumojen kestävyys on merkittävä tekijä, sillä niiden kestävyys on kyseisellä teräksellä 90 prosenttia hitsattavan materiaalin vahvuudesta (Eloranta 2015).

2.4.4 FEM-analyysi

Koko rakenne on testattava suunnitteluohjelman FEM-ohjelmassa, eli "Finite element method" tai joskus "Finite element modeling". FEM-ohjelman avulla suunnittelija voi testata rakennetta asettamalla lasketut kuormat testattavaan 3D-malliin. Ohjelma pystyy näyttämään kriittiset paikat, jossa rakenne kohtaa suurimmat rasitukset (Kuva 9).



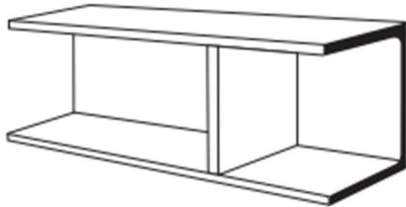
Kuva 9 Esimerkki FEM-analyysistä (StruSoft 2022)

Kuvassa 9 esitetyt Punaiset alueet ovat rakenteen rasitetuimpia kohtia. Siniset ja vihreät alueet tarkoittavat, että rakenne on vähän rasitettu ja ei välttämättä tarvitse lujuuden kannalta suunnittelijan toimenpiteitä. Kuvassa 7 esitetään myös rasituksesta johtuvat rakenteen muodonmuutokset eli dislokaatiot. Dislokaatiot syntyvät rasitetuimmille alueille.

Uudessa rakenteessa tarkastelemme erityisesti vertailujännitystä eli Von Misesin jännitystä sekä rakenteen dislokaatioita. Nämä kaksi ominaisuutta voivat aiheuttaa trukin rakenteelle muutoksia, jotka estävät sitä suoriutumasta työstään, tai pahimmillaan rikkovat sen.

Vertailujännityksen avulla yhdistämme taivutuksesta ja väännöstä johtuvat jännitteet, jotka vaikuttavat rakenteeseen siihen kohdistuvan rasituksen aikana. Näin voimme tutkia rakennetta ja löytää mahdollisia jännitepiikkejä, jotka voivat ajan myötä aiheuttaa rakenteen hajoamisen.

Toinen tärkeä tarkastelun kohde on rakenteen dislokaatiot. dislokaatioilla tarkoitetaan rasituksesta johtuvaa rakenteen pysyvää muodonmuutosta. Esimerkiksi jos levyä painetaan keskeltä tarpeeksi kovaa, se alkaa taipumaan rasitetusta kohdasta. Koska trukki tulee nostamaan merkittäviä kuormia, uudet rakenteet pitää suunnitella niin, ettei siihen pääse muodostumaan dislokaatioita. Dislokaatioita voidaan ehkäistä käyttämällä paksumpia levyjä, tai suunnittelemalla rakenteeseen jäykistelevyjä (Kuva 10).

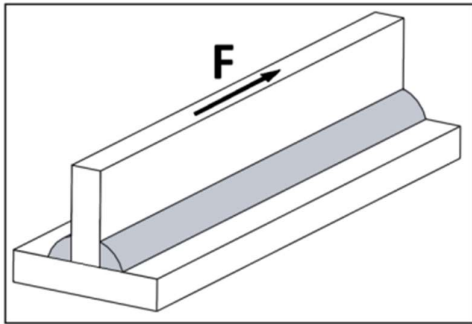


Kuva 10 Esimerkki jäykistelevyn käytöstä teräsrakenteessa (BE-Group 2020)

Kuvassa 10 näytetty U-profiiliin on lisätty jäykistelevy, joka parantaa rakenteen kuormankestokykyä. Eli jos rakenteen päälle tulisi merkittävää kuormaa, U-profiili jäykistelevyn kanssa pystyy ottamaan paljon suurempia rasituksia vastaan, kuin ilman ylimääräisiä jäykisteitä.

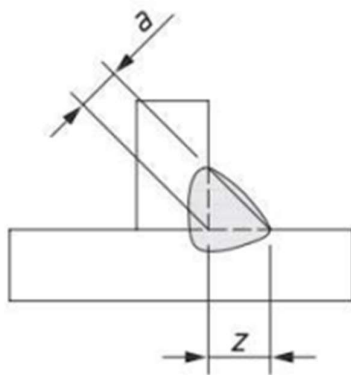
2.4.5 Hitsiliitokset

Suuri osa uusista levyrakenteista liitetään yhteen hitsiliitoksella. Kaikki uudet liitokset ovat T-liitoksia, eli levyt hitsataan toisiinsa kohtisuoraan (Kuva 11). T-liitokset hitsataan usein yhteen yksinkertaisella pienahitsillä ja tulemme käyttämään kyseistä hitsaustyyliä tässä projektissa.



Kuva 11 Pitkittäisellä voimalla rasitettu T-liitos pienahitsillä (Penttilä 2012)

Pienaliitoksissa hitsin a-mittaa käytetään liitoksen laskentapaksuutena. A-mitalla tarkoitetaan pienahitsin sisään piirretyn tasakylkisen kolmion korkeutta, jossa kyljet yhtyvät hitsirailon kylkiin. Pienahitsi voidaan esittää myös Z-mitalla, mikä on tosin hieman harvinaisempaa. Z-mitta on pienahitsin sisään piirretyn tasakylkisen kolmion kyljen pituus (Kuva 12).



Kuva 12 Esimerkki pienahitsin a- ja z mitoista (METSÄ 2020)

Pienahitsin mitoittamiseen on olemassa standardin SFS 2373 mukainen sääntö, joka esitetään kaavassa 3.

$$a \geq \sqrt{t} - 0,5 \quad (3)$$

Jossa

a = pienahitsin a – mitta

t = levyn paksuus

Kaavalla 3 saamme pohjalevyn ja rungon hitsiliitoksen a -mitaksi 4 millimetriä ja jäykistelevyjen a -mitaksi 3 millimetriä. Pohjalevyä ei ole kuitenkaan tarvetta hitsata koko särmän pituudelta, joten käytämme siinä tehollisen hitsin maksimipituussuosituksista (Kaava 4):

$$l \leq 100 \cdot a \quad (4)$$

Jossa

$l = \text{hitsin pituus}$

$a = \text{hitsin } a - \text{mitta}$

Teholliselle pienahitsille on myös minimipituus-suositus, joka näytetään kaavassa 5.

$$l \geq 8 \cdot a \quad (5)$$

Jossa

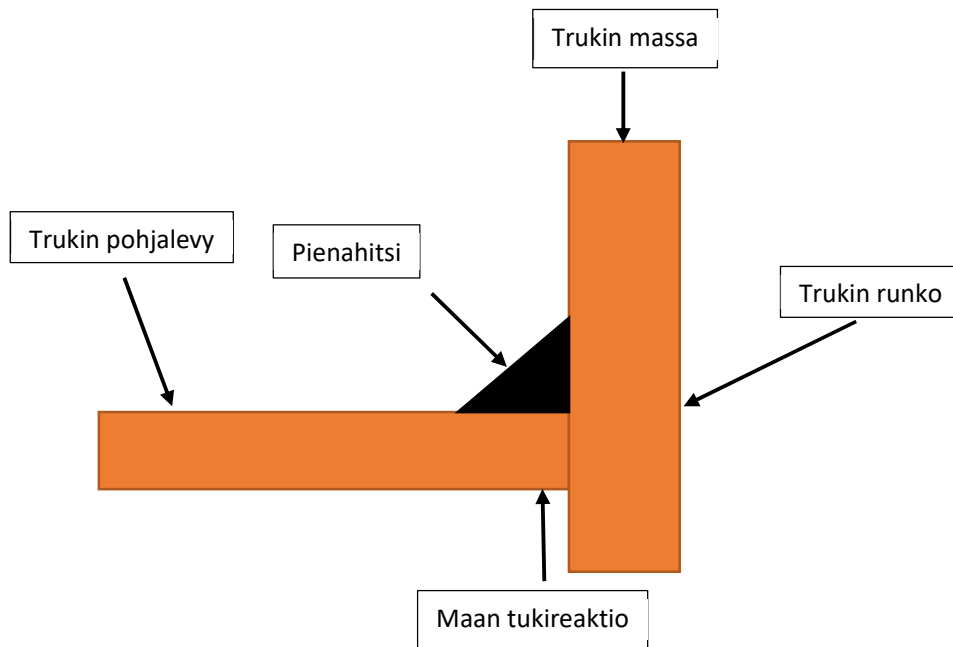
$l = \text{hitsin pituus}$

$a = \text{hitsin } a - \text{mitta}$

Trukkiin tehtävissä levyrakenteissa pitää ottaa huomioon hitsiliitoksiin kohdistuvat jännitykset. Pohjalevy ottaa vastaan trukin massasta johtuvan tukireaktion, joka välittyy siihen renkaiden ja niitä pyörittävän kääntökehän kautta. Tämän takia on tärkeää, että pohjalevyn ja trukin rungon liittämä hitsiliitos on mitoitettava oikein. Hitsiliitos tulee kohtaamaan vertikaalia leikkausvoimaa, joka on sama kuin moottoripaketin ja kääntökehän mitoituksessa käytetty 10000 Newtonia.

Koska uusi pohjalevy voi mahdollisesti taipua jatkuvassa rasituksessa, sen alle hitsataan jäykistelevyt. Jäykistelevyjen hitsit tukevat pohjalevyä ja vastustavat sen taipumista, mutta vähentävät myös pohjalevyn muiden hitsien rasitusta.

Pohjalevyn ja rungon väliseen pienahitsiin tulee kohdistumaan leikkausjännitystä. leikkausjännitystä syntyy, kun ulkoinen voima pyrkii erottamaan kaksi kappaletta toisistaan pitkitäissuunnassa (Kuva 13). Kuvassa trukin massa tuottaa voiman, joka painaa trukin rungon ja pohjalevyn välistä hitsiä, jonka tukireaktio pitää rakenteen tasapainossa.



Kuva 13 Esimerkki leikkausjännityksestä T-liitoksessa

Kuvassa 13 trukin massasta ja maan tukireaktiosta syntyvät voimat pyrkivät erottamaan pohjalevyn rungosta leikkaantumalla. Pohjalevyn ja rungon yhdistävä pienahitsi vastustaa tätä leikkausvoimaa ja näin siihen kohdistuu leikkausjännitystä.

Normaalisti leikkausjännitys lasketaan kaavalla 6. Leikkausjännitys ilmoitetaan megapascaleina (Mpa), mutta joskus käytetään myös termiä Newtonia neliömillimetriä kohden (N/mm²).

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Jossa

τ = Leikkausjännitys (Mpa)

Q = Leikkausvoima (N)

A = Leikkaantuva pinta – ala (mm²)

Mitoitetaan hitsi kuitenkin Eurocode 3 mukaisella yksinkertaisella kaavalla 7.

$$\sigma_w = \frac{F}{a \cdot l} \quad (7)$$

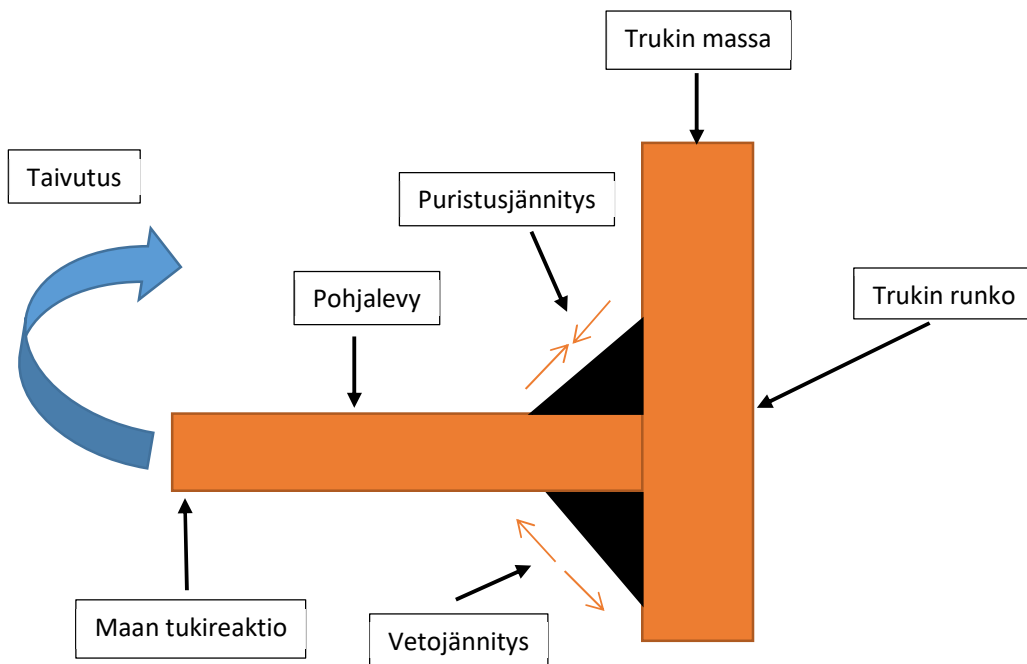
Jossa

σ_w = Nimellinen jännitys

F = Leikkausvoima

Kaavalla 7 saamme pohjalevyn pitkälle pienahitsille jännitykseksi 2,9 Mpa, ja lyhyelle sivulle 22 Mpa. Näin pitkälle sivulle ei tarvitse hitsiä koko matkalta, joten 100 millimetrin saumat 100 millimetrin välein riittää pitämään rakenteen stabiilina. Koska pohjalevyn materiaali on teräs S355 ja hitsin kestävyys on 90 prosenttia perusmateriaalista, hitsiin saa kohdistua enintään 320 megapascalia. Koska rungon materiaalista ei ole varmuutta, tulee suurinta mahdollista leikkausjännitystä laskea.

Hitsiä rasittaa myös pohjalevyn taipuma. Kun pohjalevyn keskelle tulee rasiusta, se pyrkii leikkaamaan pohjalevyn ja rungon välisen hitsin. Kun hitsiliitos alkaa pitämään rakennetta paikallaan, se pyrkii taivuttamaan levyä (Kuva 14). Tämän takia on tarpeellista hitsata levy molemmilta puolilta kiinni runkoon. Näin liitoksesta saadaan vahvempi.



Kuva 14 Esimerkki hitsausaumaan kohdistuvasta taivutuksesta

Kuvassa 14 esitetty taivutus aiheuttaa liitoksessa myös puristus- ja vetojännitystä. Tämä reaktio tapahtuu, kun maan tukireaktiosta syntyvä voima pyrkii taivuttamaan levyä ylöspäin. Näin pohjalevyn yläpuolinen hitsiliitos pyrkii painumaan kasaan, kun taas pohjalevyn alapuolella oleva hitsi pyrkii venymään. Kuitenkin pohjalevyä tukevat jäykistelevyt vähentävät hitsiliitoksiin kohdistuvaa taivutusta merkittävästi.

2.5 Asiakaspalaveri

Kun alustava suunnitelman trukin uudesta rakenteesta oli valmis, esiteltiin se asiakkaalle. Asiakkaan mielenkiinto johti moottoreihin, joiden hinta ja asennuskustannukset olivat suurimpia kysymyksiä.

Nykyisellä rakenteella tilataan kaksi moottoria, joissa on rengas ja vaihde. Samassa paketissa saadaan kiinnityslaipat, joilla kiinnitetään molemmat moottoripaketit kääntölevyyn. Kääntölevy on kiinni kääntökehälaakerissa, joka kannattelee koko perärakennetta. Kääntökehä on kiinnitetty ruuveilla uuteen pohjalevyyn, joka on hitsattu trukin vanhaan runkoon. Pohjalevyn ja vanhan rungon särmään on hitsattu kaksi jäykistelevyä, jotka estävät pohjalevyn dislokaatioita, kun siihen kohdistuu alkutiedoissa ilmoitettuja voimia.

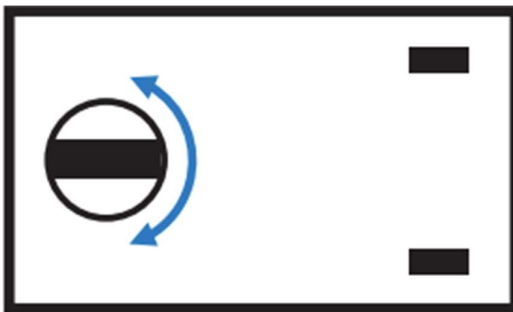
Suunnitelman hintaan kuuluu suunnittelu- ja valmistustunnit, kaksi uutta moottoripakettia, kääntökehälaakeri ja uusien levyosien valmistus. Lopullisessa tuotteessa on mukana vielä kytkentäkaappi ja sen kiinnitys, anturit ja muut sähkökomponentit. Asiakaspalaveri käsitteli pääosin vaan moottoreita ja niiden asennusratkaisuja.

Palaverissa asiakas ilmoitti halukkuuden tutkia yhden takapyörän ratkaisua. Muista mekaanisista ominaisuuksista asiakas pääosin piti, erityisesti rakenteen yksinkertaisuudesta ja huollettavuudesta. Palaverin jälkeen asiakas analysoi moottorien hintoja omaan budjettiinsa ja pyysi tutkimaan vaihtoehtoisia moottoriratkaisuja.

3 Vaihtoehtoinen rakenneratkaisu

3.1 Uusi moottori

Ensimmäisen rakenteen esittelyssä asiakas ilmaisi halukkuuden kolmipyöräiseen ratkaisuun sekä halvempaan moottoriratkaisuun. Tämä tarkoittaa, että moottorin mitoitus sekä levyrakenteet sen ympäriltä on suunniteltava uudestaan. Ensimmäisen rakenteen esittelyn jälkeen asiakkaalla oli omia moottoritoivomuksia, jotka sopisivat heidän budjettiinsa paremmin. Nämä moottorit ovat aikaisemman suunnitelman mukaan paketteja, johon kuuluu moottori, pyörä ja kiinnityslevy. Koska kyseessä on yhden pyörän moottori, pakettiin kuuluu myös kääntöratkaisu (Kuva 15).



Kuva 15 Yhden takapyörän kääntöratkaisu (Ebmapst 2021)

Yhden takapyörän ratkaisussa hyviä puolia ovat hinta sekä huollettavuus. Tällä suunnitelmalla kaikki trukkia liikuttavat komponentit saataisiin yhdessä paketissa, joka helpottaa huoltotoimenpiteiden suorittamista.

Huonot puolet yksipyöräisessä perässä ovat pito, tasapaino sekä kantokyky. Kun trukissa on vain yksi vetävä pyörä, pitoa on vähemmän kuin kaksipyöräisessä ratkaisussa. Tämä voi vaikuttaa negatiivisesti hankalissa paikoissa, kuten ylämäissä ja märillä alustoilla. Myös tasapainon kanssa voi tulla ongelmia, mikäli trukkia käytetään kaltevilla pinnoilla, jossa on vaara, että trukki kaatuu kyljelleen. Vaikka renkaan kantokyky olisi sama yhdellä takapyörällä kuin aiemmin esitellyssä kahden takapyörän ratkaisulla, yhdelle polyuretaanipyörälle tulee enemmän painetta, mikä voi hajottaa pyörän pitemmässä rasituksessa.

Taulukossa 3 esitetään uusi moottorien valintataulukko, jossa käydään läpi uudet moottorivaihtoehdot. Taulukko on tehty samalla periaatteella kuin ensimmäisen moottoriratkaisun taulukko 1. Uudet vaihtoehdot ovat italialaisen C.F.R:n ja saksalaisen Schabmüllerin valmistamia Yhdellä renkaalla varustettuja moottoriyksiköjä. Koska uudessa moottoriratkaisussa on vain yksi pyörä, siinä on myös renkaan käännön mahdollistava moottori. Tämän takia uudessa kääntöratkaisussa on otettava huomioon myös kääntömoottorin teho, jotta

se kykenee kääntämään trukin paikallaan sen kannatellessa 1000 kilogramman maksimikuormaa. Taulukossa 3 on käsitelty kaikki asiakkaan ehdottamat moottorivaihtoehdot.

| Valmistaja | C.F.R | C.F.R | C.F.R | Schabmuller |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------------|
| Malli | MRT18 | MRT23 | MRT05 | TSA135 |
| Kantokyky(kg) | 1000 | 1000 | 600 | 1300 |
| Pisteet | 4 | 4 | 1 | 5 |
| Renkaan halkaisija(mm) | 250 | 230 | 198 | 270 |
| Pisteet | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Jännite(V) | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Pisteet | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Teho, ajomoottori(kW) | 0,8 | 1,5 | 0,5 | 2,5 |
| Pisteet | 2 | 4 | 1 | 5 |
| Teho, kääntömoottori(kW) | 0,3 | 0,4 | 0,15 | 0,4 |
| Pisteet | 3 | 4 | 1 | 4 |
| Mekaniikka | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Yhteensä | 28 | 29 | 23 | 32 |

Taulukko 3 Moottorivalintataulukko.

Taulukosta 3 voi huomata, että MRT05 ei täytä 1000 kilogramman kantokyvyn vaatimusta, mikä rajaa sen pois vaihtoehdoista. Kolme muuta moottorivaihtoehtoa ovat varteenotettavia vaihtoehtoja, joilla on trukin mekaniikan kannalta omat etunsa.

Moottorivaihtoehtojen karsimisen jälkeen tutkittiin, miten tehtaalta hankittavat moottoripaketit sopivat trukin 3D-malliin. Taulukosta 3 saimme selvitettyä, että C.F.R:n MRT18 ja MRT23, sekä Schabmüllerin TSA 135 moottoripaketit sopivat mekaanisilta ominaisuuksiltaan trukin teho- ja kantokyvyn vaatimuksiin, joten mallit menivät jatkotesteihin. Yleensä 3D- mallien saamiseen vaaditaan kysely valmistajalta, mutta C.F.R:n verkkosivuilta oli saatavissa valmis tietopaketti ilman erillistä pyyntöä. Schabmüllerilta oli saatavilla mittapiirustuksen TSA 135-mallisesta moottorista, jonka avulla saimme kokeiltua mallin sopivuutta trukkiin.

3.1.1 C.F.R. MRT18

C.F.R:n malli MRT18 pienempi ja omaa vähemmän tehoa kuin saman valmistajan suurempi MRT23. MRT18:n hyviä puolia ovat sen keveys sekä pieni asennustila, sillä sen ajomoottori ja kääntömoottori sijaitsevat hammastetun kääntökehän alapuolella, ajettavan renkaan vieressä. Näin komponentit eivät tule pohjalevyn yläpuolelle, joka tuo lisätilaa kytkentäkaapille ja muille komponenteille, jotka pitää asentaa pohjalevyn päälle. Komponenttien sijainnin ansiosta pohjalevyn ei tarvitse tehdä reikiä, joka pitää rakenteen jäykkänä, vaikka siihen kohdistuisi suuria kuormia.

MRT18:a suurin ongelma on sen teho ja vääntö. Moottorin 800 wattia riittää liikuttamaan vaadittua massaa, mutta kaltevat pinnat käyvät liikkumisen kannalta ongelmallisiksi. Tässä tapauksessa MRT18:a teho on suurin tekijä miksi sitä ei voi valita tähän kyseiseen tehtävään. Myös automatisoinnin näkökulmasta Safe Stop 1- ominaisuuden puuttuminen on haitallista. Tehonpuutteen ja SS1-toiminnon puuttumisen takia MRT18 ei ole järkevä valinta AGV-projektiimme.

3.1.2 C.F.R. MRT23

MRT23-mallinen moottori on kahdesta vaihtoehdosta suurempi ja tehokkaampi. MRT23 on kokonsa vuoksi hankalampi asennettava, mutta kunnossapito on helpompaa, sillä moottorit sijaitsevat pohjalevyn yläpuolella, josta niiden huolto on helpompaa kuin MRT18-moottorissa. Moottorissa on tehoa 1,5 kilowattia, joka on vähemmän kuin alkuperäisessä trukissa (1,8 kW), mutta tarpeeksi sen tulevaa toimintaympäristöä varten. Moottorin renkaan halkaisija (230 mm) on ideaali varasto ympäristöön, jossa se joutuu ylittämään kynnyksiä tai muita epätasaisuuksia. Moottoriyksikkö pystyy kantamaan 1000 kilogramman kuorman, joka riittää juuri täyttämään vähittäiskantorajan.

Moottorien sijainti levyn päällä aiheuttaa myös ongelmia. Moottorien koon takia ne ovat kaikkien komponenttien tiellä, jotka voitaisiin asentaa pohjalevyn päälle. Esimerkiksi kytkentäkaapin ovea ei saa auki, jos se asennetaan pohjalevyn tasolle.

Koska moottorin komponentit tulevat olemaan pohjalevyn yläpuolella, on siihen leikattava merkittävän kokoinen reikä. Tämä heikentää pohjalevyn rakennetta ja aiheutti FEM-ohjelman analyysin mukaan dislokaatioita. Ohjelma havaitsi myös jännitepiikkejä moottorin kiinnityslevyn ja trukin pohjalevyn välisissä ruuveissa, erityisesti paikoissa, jossa oli dislokaatioita. Tämän takia Pohjalevy on suunniteltava paksummaksi, jotta se tulee kestävämpään käyttöä johtuvan rasituksen. On myös tarpeellista tehdä jäykistelevyt pohjalevyn ja pohjalevyä kannatelevien jäykistelevyjen särmiin.

Kuten MRT18:a, MRT23 ei tue SS1- tai STO- toimintoa, mikä on ongelma turvallisen AGV:n valmistuksessa. Tämä tekee C.F.R:n moottoreista harkitut ratkaisut hankaliksi toteuttaa.

3.1.3 Schabmüller TSA 135

Saksalaisen Schabmüllerin TSA 135-mallin moottori on turvallinen vaihtoehto, sillä siinä on suurin kuormankantokyky (1300 kilogrammaa). TSA 135-moottorin ylivertainen teho muihin vaihtoehtoihin (2,5 kW) takaa trukin liikkuvuuden suuremmissakin ylämäissä tai epätasaisuuksissa. Myös kääntömoottorin teho riittää pyörittämään rengasta akselinsa ympäri, kun

trukissa on maksimikuorma päällä. Polyuretaanirenkaan 270 millimetrin halkaisija on optimaalisen kokoinen varastotiloissa liikkumiseen.

Kokonsa puolesta TSA 135 mahtuu pohjalevyyn asennettavaksi, eikä aiheuta tilanpuutetta kuten MRT23. TSA 135:sa moottorin komponentit ovat MRT18:a tavoin moottoriyksikön kääntökehän alapuolella, eli ne eivät tule pohjalevyn päälle asennettavien komponenttien tielle. Näin pohjarakenteeseen ei tarvitse tehdä merkittäviä erikoisrakenteita moottoriyksikköä varten.

TSA 250 on asiakkaan esittämistä moottoriyksiköistä mekaanisesti paras vaihtoehto sen pienen koon ja suuren tehon ansiosta. Tästäkin moottorista puuttuu SS1-sekä STO-toiminnot, joten kaikki mekaanisesti sopivat vaihtoehdot eivät ole optimaalisia automaatio-suunnittelun kannalta.

3.1.4 Moottorivalinta

Uuteen kääntöratkaisuun oli lopuksi 3 vaihtoehtoa. Italialaisen C.F.R:n MRT18 on optimaalisen kokoinen, mutta sen moottorien teho ei riitä vastaamaan sen käyttötarkoitusta. Myös SS1 -ja STO-toimintojen puute ei tue moottorin valintaa

MRT23 on tarpeeksi tehokas liikuttamaan vaadittuja kuormia, mutta sen suuri koko vaikeuttaa moottoriyksikön asennusta perälevylle ja aiheuttaa ongelmia sähkökomponenttien sijoittamiselle. Niin kuin MRT18:a, MRT23 ei tue SS1-tai STO-toimintoja.

Schabmüllerin TSA 135 on vaihtoehdoista mekaanisesti paras. Sen teho ja kuormankantokyky tekevät siitä luotettavan moottoriyksikön projektiimme. Ainoa huono puoli on automaatioturvallisuutta heikentävä SS1-ja STO-toimintojen puuttuminen.

Harkinnan jälkeen päätimme lähteä jatkamaan projektia Schabmüllerin TSA 135-moottorilla. Moottorin turvallisuuden takaamisessa tulee olemaan työtä trukin testivaiheessa, mutta se sopii mekaniikkansa puolesta käyttötarkoitukseen.

4 Anturit

4.1 Käytettävät anturit

Trukin automatisointiin tarvitaan antureita. Anturin tehtävä on muuttaa fysikaalinen ilmiö sähköiseksi, jonka avulla pystytään mitata erilaisia ilmiöitä. Anturit ovat välttämättömiä komponentteja nykyajan teollisuudessa, kuten myös AGV-laitteissa. Anturien avulla saamme trukin logiikkaan tärkeää tietoa trukin toimilaitteiden tilasta ja ohjattavan takapyöräratkaisun asennosta. Myös navigoinnin ja turvallisuuden kannalta on välttämätöntä, että trukki saa jatkuvaa dataa ympäristöstään ja erityisesti lähestyvistä esteistä. Tämän avulla trukki pysyy liikkumaan toimintaympäristössään varmasti ja turvallisesti.

Trukki tarvitsee paljon antureita, jotka vaativat suunnitelman, minne ne asennetaan, jotta trukin ohjelmaan saadaan haluttua mittaustietoa. Anturit pitää olla jäykästi kiinni, jotta mahdollinen resonointi ei vaikuta mittaustuloksiin. Anturit eivät saa tulla trukin toimilaitteiden tielle tai liian ulos trukin korista, jotta ne eivät osu mihinkään ja täten vaurioidu.

4.1.1 Turvallisuus

Anturit takaavat AGV:n toiminnan ja turvallisuuden. Turvallisuus on AGV:sa tärkeä ominaisuus ja tämän takia Standardissa ISO 3691-4 määritetään AGV:n turvallisuuden vaatimustaso.

Mikäli AGV ei täytä turvallisuusstandardeja, sitä ei voida ottaa teolliseen käyttöön. Standardi määrittää muun muassa pakolliset turvalaitteet sekä työskentelyn reunaehdot mukaan lukien työkäytävien leveydet eri tilanteissa, maksiminopeudet ja varastohyllyjen toleranssit. Esimerkiksi nopeuksista on olemassa maksimi arvot, mutta sen lisäksi on tarkat määritelmät siitä, miten tapauskohtaisesti tulee määrittää koneen nopeus suhteessa vallitseviin olosuhteisiin.

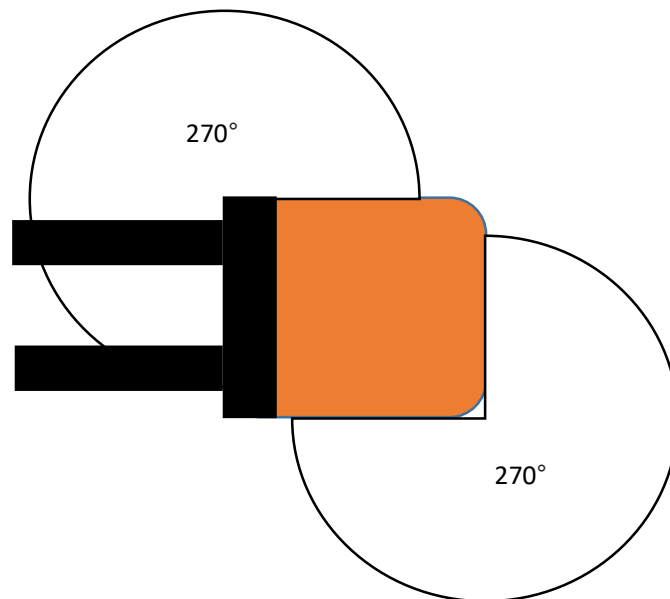
Turvallisuuden kannalta tärkein anturi trukin ympäristöä lukeva anturi. Tämä anturi estää trukin törmäykset esteisiin tai trukin ympärillä työskenteleviin henkilöihin. Tähän tehtävään sopii turvalaserskanneri (Kuva 16). Laserturvaskanneri nimensä mukaan skannaa ympäristöään ja havaitsee tietyllä etäisyydellä lähestyvät esteet. Laser turvaskanneri skannaa ympäristöään kaksisuuntaisesti käyttämällä infrapunalasereita.

Turvalaserskannerin antaman datan avulla saamme logiikan kautta moottoreille tiedon, että missä vaiheessa vauhtia on hidastettava ja missä vaiheessa on pysähdyttävä ennen havaittua estettä. Tässä tilanteessa moottorin Safe Stop 1-toiminto on hyödyllinen.



Kuva 16. Sickin MicroScan3-mallinen turvalaserskanneri (SICK)

Turvalaserskannereille pitää suunnitella paikka, missä nostettava esine ei tule skannattavan alueen tielle. Tämä voidaan ratkaista esimerkiksi asentamalla skannerit eri tasoille, jotta ympäristöä voidaan skannata, vaikka toinen skanneri ei näe koko skannausaluettaan. SICKin skanneri näkee 270 asteen alueen, joten pystymme hoitamaan ympäristön skannauksen 2 anturilla (Kuva 17).



Kuva 17 Hahmotelma turvalaserskannereiden havaintoalueista

nähdän. Kun nostohaarukka liikkuu ylöspäin, anturi havaitsee haarukan liikkeen ja antaa logiikalle mittatietoa nostohaarukan sijainnista.

Etäisyyttä mittaavassa valokennossa on ongelmana sen toimintavarmuus. Valokennon liikaantuessa siitä saatava mittatieto voi vääristyä, mikä voi johtaa ongelmiin työkierrossa. Tämän takia pohdimme mahdollisuutta korvata valokennon magnetostriktiivisellä anturilla, joka ottaa mittatiedon haarukoita liikuttavasta hydraulikkasyylinteristä. Magnetostriktiivisellä anturilla saadaan tarkka mittatieto ja toisin kuin valokennossa, sen likaantuminen ei väärennä mittaustietoa. Koska projektin on vielä kesken, voi anturivalintoihin tulla vielä muutoksia.

4.1.3 Kappaleen nosto ja lasku

Jotta Trukki pystyy paikantamaan nostettavalle kappaleelle oikean paikan, sen työohjelma tarvitsee paikkatiedon nostohaarukan reunoista. Tämä tieto antaa logiikkaan luvan kantamuksen nostolle tai jätölle, kun nostohaarukka on tietyn paikoitusikkunan sisällä korkeus- ja leveys akselilla.

Leveyden paikoituksen voi ratkaista monella tavalla. Yksi vaihtoehto on asentaa nostohaarukan reunoihin valokennot, jotka havaitsevat, kun nostohaarukka on tarpeeksi lähellä nostettavaa kohdetta ja korjaa trukin suunnan, jos piikit eivät osu nostokohtaa.

Halvempi vaihtoehto on tehdä trukin työkiertosekvenssiin korkeusarvo, johon haarukka on nostettava työkierron tietyissä vaiheissa. Näin haarukoissa ei ole antureita, jotka paikoittaisivat sen reunoja, joka voi aiheuttaa ongelmia, jos nostettava kappale ei ole tasan samassa paikassa työkierron haku- ja jättövaiheissa.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyössä tehdyn työn tavoitteena oli tutkia manuaalisesti ajettavan trukin muuttamista autonomiseksi ja sen mahdollistavia mekaanisia ratkaisuja. Projektin koostui paljon komponenttien vertailusta ja niiden vaikutuksesta lopputulokseen. Tämä vei myös merkittävästi suurimman osan projektiin käytetystä ajasta ja resursseista.

Moottoriyksikön vaatimukset johtivat monien vaihtoehtojen hylkäämiseen ennen esitystä loppuasiakkaalle. Esimerkiksi mekaanisesti toimiva ratkaisu ei välttämättä ollut sopiva moottori sähkö- ja automaatio suunnittelun mielestä. Myös tapauksissa, joissa koneen automaatioturvallisuuden kannalta hyvä moottoriyksikkö kustansi sen vaatimien mekaanisten komponenttien kanssa niin paljon, että asiakas hylkäsi vaihtoehdon. Lopuksi asiakas ehdotti heidän budjettiinsa sopivampia vaihtoehtoja, joita tutkittiin. Päädyttiin lopuksi Schabmüllerin TSA 135 moottoriin, joka oli asiakkaan mielestä sopiva hinnaltaan.

Uudet levyrakenteet pysyivät samanlaisena koko suunnitteluprosessin aikana. Mekaniikka-suunnittelussa pyrittiin yksinkertaisiin ratkaisuihin ja levyrakenteissa tähän tavoitteeseen päästiin. Vaikka moottoriyksikön mekaaniset ominaisuudet määrittivät levyrakenteiden lopullisen muodon, rakenteiden perusidea pysyi samana. Jokaisen moottorivaihtoehdon valintaprosessissa levyrakenne piti kuitenkin testata FEM-ohjelmalla.

Projekti kehitti yrityksemme osastojen yhteistoimintaa ja edisti erityisesti allekirjoittaneen kykyä ymmärtää mekaniikka- ja automaatio suunnittelun kommunikoinnin tärkeyttä. Tämän yhteistoiminnan kautta pääsimme suunnittelussa ratkaisuun, jota pystynne toteuttamaan, kun aloitamme trukin muutostyöt.

Jatkokehitystä varten projektin komponenttivalinnat kannattaa yhdenmukaistaa. Projektin komponenttien vertailuun kulunutta suunnittelu-aikaa voidaan vähentää merkittävästi, kun komponentit ovat pääosin valittu ja projektiryhmällä on aikaisempaa kokemusta niiden toiminnasta ja hinnasta.

Tulevissa projekteissa kannattaa myös suosia suunnitteluperiaatteita, joita on käytetty aikaisemmin. Projektin onnistumisen kannalta on hyvä pysyä hyväksi koetuissa toimintamalleissa ja kehittää osa-alueita, jotka on koettu tehottomiksi aikaisemmissa projekteissa. Näin projektin kustannukset saadaan pidettyä pienempänä ja laatu parempana.

Lähteet

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Koneita koskevat vaatimukset. Viitattu 10.11.2022.

Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. CE-merkintä. Viitattu 20.11.2022. Saatavissa:

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Laki CE-merkintärikkomuksesta. Viitattu 20.11.2022:

Saatavissa: <https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20100187?toc=1>

Konedirektiivi 2006/42/EY.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.

Laki CE-merkintärikkomuksesta 187/2010.

ABB. 2022. Typical safety functions. Viitattu 12.12.2022. Saatavissa:

<https://new.abb.com/drives/functional-safety/typical-safety-functions>

Schneider Electric. 2019. SS1 – Safe Stop 1 function. Viitattu 12.12.2022. Saatavissa:

https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/en/HWPparams/topics/hwmoduleparameters_ss1.htm

Penttilä, T. 2012. Leikkausvoimalla F kuormitettu T-liitos. Viitattu 12.1.2023. Saatavissa:

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/89989/Kandi_Timo_Penttila.pdf?sequence=2&isAllowed=y

B-drives. 2022. Befestigung Motoren FTS. Viitattu 10.12.2022. Saatavissa: [https://www.b-](https://www.b-drives.com/en/ewheel-wheel-drive-system-for-agvs/mounting-flange/)

[drives.com/en/ewheel-wheel-drive-system-for-agvs/mounting-flange/](https://www.b-drives.com/en/ewheel-wheel-drive-system-for-agvs/mounting-flange/)

SKS Mechanics. 2022. Huoltovapaa kääntökehä. Viitattu 13.12.2022. Saatavissa:

<https://www.sks.fi/tuotteet/laakerointi/huoltovapaat-kaantokehat-sks>

StruSoft. 2022. Example of FEM-design. Viitattu 15.1.2023. Saatavissa:

<https://www.buildsoft.eu/en/product/fem-design>

METSA. 2020. Hitsin kuva (pienahitsi). Viitattu 13.12.2022. Saatavissa:

https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA_Hitsausmerkit_2020.pdf

SICK. 2023. MicroScan 3. Viitattu 5.2.2023. Saatavissa:

<https://www.sick.com/fi/fi/turvalaserskanneri/turvalaserskanneri/microscan3/c/q295657>

SICK. 2023. Powerprox. Viitattu 7.2.2023. Saatavissa:

https://www.sick.com/fi/fi/valokennot/valokennot/powerprox/wtt2sl-2p1192/p/p532248?ff_data=JmZmX2lkPXA1MzlyNDgmZmZfbWFzdGVySWQ9cDUzMjI0OCZmZl90aXRzZT1XVFQyU0wtMlAxMTkyJmZmX3F1ZXJ5PSZmZl9wb3M9MSZmZl9vcmlnUG9zPTEEmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTI0JmZmX29yaWdQYWdlU2I6ZT0yNCZmZl9zaW1pPTk0LjA=

Anttila, A. 2020. Kevytkulkuneuvon rungon suunnittelu. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyö. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336991/Anttila_Antero.pdf?sequence=3

BE-Group. 2020. Jäykistelevy. Viitattu 27.12.2023. Saatavissa:

<https://www.begroup.fi/storage/50DF70DB27B273C31A577A2353FADFC29DA972AEA4D47289A795979393B51158/6d68254c1ffa48348d96d72388782379/pdf/media/c543eac1527f4652b496429bdbd666cf/BE-Group-Terasrakentajan-kasikirja-web.pdf>

Ebmpapst. 2021. Three-wheel. Viitattu 15.2.2023. Saatavissa:

<https://www.ebmpapst.com/de/en/campaigns/product-campaigns/motors-and-drive-systems/argodrive.html>

Eloranta, J. 2015. Hitsausliitosten mitoittaminen. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyö. Viitattu 15.2.2023. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99154/Eloranta_Jari.pdf?sequenc

Siemens. 2021. Holistic automation solutions for Automated Guided Vehicles. Viitattu

15.12.2022. Ei saatavissa.