

Samu Manninen

## **METSÄKONEEN HYDRAULISEN PORTAAN SÄHKÖISTÄMINEN**

# **METSÄKONEEN HYDRAULISEN PORTAAN SÄHKÖISTÄMINEN**

Samu Manninen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma, auto- ja työkonetekniikka

---

Tekijä: Samu Manninen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Metsäkoneen hydraulisen portaan sähköistäminen

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Electrification of hydraulic stairs on a forest machine

Työn ohjaaja: Annukka Tyni

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2021

Sivumäärä: 37

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin suunnittelupalveluita tarjoavan Huld Oy:n asiakkaan metsäkoneita varten. Tuotekehitysprojektin aiheena oli suunnitella 3D-prototyyppi metsäkoneen sähköisestä portaasta hydraulisen version tilalle. Tavoitteena oli oppia mekaniikkasuunnittelijan ammattia ja suunnitella paras mahdollinen tuote asiakkaalle.

Aihe sai alkunsa koneen kuljettajan tarpeesta käyttää metsäkoneen portaita moottorin ollessa sammuksissa. Metsäkone käyttää moottorista saatavaa hydraulikkapainetta portaiden nostoon ja laskuun. Koneen portaat pitää jättää kuljetuksen ajaksi ylös, mikä tarkoittaa, että kuljettajan on laskeuduttava korkeasta koneesta ilman portaita. Sähköinen porraskone parantaa turvallisuutta ja helpottaa koneen kanssa toimimista, sillä portaita voidaan tällöin liikuttaa maasta ja ohjaimosta moottorin ollessa sammuksissa. Työssä käytiin läpi kaikki eri suunnittelutyön vaiheet 3D-mallinnuksesta komponenttivalintoihin ja valmistuspiirustusten luontiin asti. Osien valmistus, kokoaminen ja testaus on jätetty tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Sähköisestä portaasta luotiin kolme eri konseptia, joista paras valittiin yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen. Lineaarinen karamoottori oli paras vaihtoehto, sillä se täytti kaikki vaatimukset eikä sen asennus vaadi suuria muutostöitä nykyisiin koneisiin. Karamoottori vaihdettiin hydraulisen sylinterin tilalle konseptikoneen 3D-malliin ja uusista sekä muokatuista komponenteista luotiin valmistuskuvat tulevaa prototyyppiä varten. Lujuustarkasteluissa käytettiin Solidworks-ohjelmiston FEM-moduulia.

---

Avainsanat: tuotekehitys, metsäkone, hydraulinen porraskone

## ABSTRACT

Oulu university of applied science  
Degree program in mechanical engineering, Automotive engineering

---

Author: Samu Manninen  
Title of thesis: Electrification of hydraulic stairs on a forest machine  
Supervisor: Annukka Tyni  
Term and year when thesis was submitted: Autumn 2021  
Pages: 37

---

This thesis was done for a customer of Huld Oy, a company that provides design services for customers all around Finland. The topic of the product development project was to design a 3D prototype of electric stairs on a forest machine. It will displace the current hydraulic version. The goal was to learn the profession of a mechanical designer and design the best possible product for the customer.

The topic originated with a need of a forest machine driver wanting to use stairs while the engine was shut off. Currently the forest machine uses hydraulic pressure from the engine to raise and lower the stairs. These stairs must be left up during transport, which means that the driver needs to descend from a high point without stairs. The electric stairs improve safety and make working with the machine easier, as the stairs then move without having to turn on the engine first. This work covered all the different stages of design work, 3D modeling, component selection and the creation of manufacturing drawings. Manufacturing, assembly and testing of the parts are excluded from this thesis.

Three different concepts of electrical stairs were created during the first half of this project and the best option was chosen for the detail design phase. Linear actuator was the best option because it met all the client's requirements, and its installation doesn't require major modifications to the forest machine. The hydraulic cylinder was replaced with this linear actuator in the 3D-model of the forest machine, and manufacturing drawings were created for all new and modified components. The FEM-module of Solidworks-software was used for strength tests.

---

Keywords: Product development, Forest machine, Hydraulic stair

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Lähtötiedot ja tavoitteet	8
1.2 Huld Oy	9
2 PUUNKORJUU	10
2.1 Metsäkoneen käyttö	10
2.2 Metsäkoneen tekniikka	10
3 TUOTEKEHITYSPROSESSIN VAIHEET	12
3.1 Konseptointi	12
3.2 Yksityiskohtainen suunnittelu	12
3.3 Mallinnussuunnitelma	13
4 PORTAAT	14
4.1 Lähtötilanne	14
4.2 Materiaalit ja komponentit	15
4.3 Hydraulikkasynterin kiinnitys	15
4.4 Kustannukset	15
5 TURVALLISUUS JA STANDARDIT	16
5.1 Standardit ja vaatimukset	16
5.2 Toimintalogiikka	16
5.2.1 Tapaus 1	17
5.2.2 Tapaus 2	17
5.2.3 Riskianalyysi	17
6 MITOITUSTARKASTELUT	19
6.1 Tarvittava voima portaiden nostoon	19
6.2 Staattinen kuorma	20
7 KONSEPTIEN SUUNNITTELU	22
7.1 Lineaarinen karamoottori	22
7.2 3D-mallin testaus	23

7.3 Sähkömoottori kierukkakulmavaihteella	24
7.4 3D-mallin testaus	24
7.5 Sähkökäyttöinen hydraulikka	26
7.6 Vertailutaulukko	26
8 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU	27
8.1 Valittu toimilaite	27
8.2 Kiinnitys	27
8.3 Elementtimenetelmä	30
8.4 Kiinnityspisteiden FEM-laskenta	31
9 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	37

## MERKKIEN SELITYKSET JA SANASTO

### SI-yksiköt

kN	voiman yksikkö, kilonewton
Nm	momentin yksikkö, newtonmetri
MPa	paineen yksikkö, megapascal
S355	rakenneteräksen lujuusluokka, 355 MPa
FEM	finite element method, elementtimenetelmä

### Käsitteet

CAD	computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
Solidworks	tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma
3D	kolmiulotteinen grafiikka

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Lähtötiedot ja tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä kehitetään Huld Oy:n asiakkaalle 3D CAD -prototyyppi metsäkoneen sähköisestä portaasta. Tuote suunnitellaan metsäkoneeseen, ja se tulee toimiessaan käyttöön kaikissa vastaavissa konemalleissa.

Metsäkoneen ohjaamo on lähes 2 metrin korkeudella maan pinnasta, joten sinne pääsyyn on oltava portaat. Lavettikuljetuksen aikana portaat eivät voi olla alasenossa, sillä koneen maksimileveys ylittää silloin sallitun rajan. Portaat on myös nostettava yläasentoon puunkorjuun ajaksi. Ratkaisu on toteutettu kahdella eri tavalla: hydraulisella nostomekanismilla ajon ajaksi sekä koneen alle taittavalla nivelellä lavettikuljetuksen ajaksi. Tällainen portaiden rakenne on kallis, mekaanisesti monimutkainen sekä vaatii komponenttien tarkat toleranssit.

Hydrauliikkapaine portaiden nostosylinteriin saadaan moottorin mukana pyöriävästä hydrauliikkapumpusta. Portaat nostetaan ylös ohjaamossa sijaitsevasta katkaisijasta ja lukitaan paikoilleen lukitusmekanismilla. Tästä seuraa, että koneesta on laskeuduttava määrittämätöntä reittiä pitkin, jos portaat pitää jättää yläasentoon. Laskeutuminen liukkailla pintoja pitkin 2 metrin korkeudelta kasvattaa huomattavasti riskiä loukkaantumisille. Lisäksi portaiden lukitus yläasentoon on vaarallinen toimenpide, sillä kuljettaja joutuu kurottamaan koneen laidalle alaviistoon yltääkseen lukitusmekanismiin.

Työn tavoitteena on suunnitella prototyyppi sähköisestä nostomekanismista olemassa oleville portaille. Sähköinen mekanismi lisää koneen käyttäjän turvallisuutta sekä yksinkertaistaa portaiden rakennetta, koska taittoniveltä ei enää tarvita. Portaiden nosto on oltava mahdollista maasta sekä ohjaamosta ilman, että metsäkoneen moottori on käynnissä. Lukitusmekanismien asennus pitää onnistua myös maasta käsin. Kokonaiskustannukset eivät saa ylittää hydraulisen portaan kustannuksia, jotta tuote voidaan ottaa käyttöön uusissa koneissa. Projektista on rajattu pois prototyypin valmistukseen, asennukseen ja testaukseen liittyvät työt.



## 1.2 Huld Oy

Huld Oy on vuonna 2010 perustettu insinööritoimisto, joka tarjoaa muille yrityksille tuotekehitys-, teollisuuden digitalisointi- sekä turvallisuusosaamistaan. Projekteissa keskitytään käyttäjiin ja kestäväyyteen sekä turvallisuuteen samalla, kun uusia digitaalisia palveluja ja teknologisia ratkaisuja kehitetään. Yrityksen tulevaisuuden visio on olla johtava eurooppalainen teknologian suunnittelutalo. Asiakkaita ovat teollisuuden ja palveluiden suuret toimijat kuten ABB, Kone, Vaisala ja Wärtsilä. Yrityksellä on noin 450 työntekijää ja toimipisteitä on kymmenen ympäri Suomea sekä kaksi Tsekissä. (1.)

## **2 PUUNKORJUU**

### **2.1 Metsäkoneen käyttö**

Työssä konseptikoneena toimii asiakkaan metsäkone. Koneita käytetään puunkorjuuseen. Puunkorjuussa puut kaadetaan, karsitaan, mitataan, katkotaan ja kuljetetaan tienvarteen odottamaan puutavara-auton hakua. Työtä voi tehdä kahdella eri tapaa: kokorunkomenetelmällä tai tavaralajimenetelmällä. Pohjoismaissa yleisin tapa on tavaralajimenetelmä, jossa puut katkotaan asiakkaan haluamiin mittoihin jo hakkuupaikalla. Kokorunkomenetelmässä puut kuljetetaan teollisuuslaitokselle ensin ja katkotaan siellä sopiviin mittoihin. (2.)

Puut korjataan Suomessa lähes aina koneellisesti hakkuukoneella, jota kutsutaan myös monitoimikoneeksi, motoksi tai harvesteriksi. Puut kuljetetaan metsästä metsätraktorilla. Hakkuukoneen ja metsätraktorin yhdistelmää kutsutaan korjuuketjuksi. (2.)

Olosuhteet ovat hyvin vaihtelevia, sillä koneita käytetään ympäri maapalloa. Lämpötila voi olla  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen ja maasto kostea suota sekä jyrkkärinteistä vuoristoa. Koneita huolletaan usein näissä haastavissa maasto-olosuhteissa, joten suunnittelijan on myös huomioitava tämä.

### **2.2 Metsäkoneen tekniikka**

Metsäkoneet ovat dieselmoottorilla varustettuja koneita. Koneet jaetaan neljään osa-alueeseen: peruskone, ohjaamo, nosturi tai kuormain, hakkuupää tai kahmari. Mallit on jaettu kolmeen eri kategoriaan: harvesterit, kuormatraktorit ja yhdistelmäkonet. Jokaisen kategorian peruskoneet ovat lähes samanlaiset. (3.)

Metsäkonetta (kuva 1) käyttää yksi henkilö kerrallaan, sähköisen työmääräyksen mukaisesti. Työmääräys näkyy koneen ohjaamossa näytöllä, ja sen mukaan kuljettaja valitsee hakkuualueen ja lajittelee katkottavat puut. Työn jälkeen tieto hakuumäärästä ja puutavaralajeista lähetetään sähköisesti asiakkaalle. (2.)

**Kuva poistettu salassapitosyistä**

*KUVA 1. Asiakkaan metsäkone.*

### **3 TUOTEKEHITYSPROSESSIN VAIHEET**

Suunnitteluprojekti usein alkaa, kun henkilö tunnistaa tarpeen tai potentiaaliset markkinat tuotteelle. Tarve voi myös syntyä, kun päätetään suunnitella uudelleen olemassa olevan tuote. Työ aloitetaan määrittelemällä suunniteltavan tuotteen vaatimukset, jotta suunnittelijoilla on jatkossa mahdollista selvittää, vastaavatko heidän ehdotuksensa alkuperäistä pyyntöä. (4, s. 8.) Määrittely sisältää lausunnon suunniteltavien tuotteiden vaadituista toiminnoista, ominaisuuksista ja suorituskyvystä. Se toimii ohjaavana tekijänä suunnittelutoiminnalle, koska se asettaa rajat tulevia konsepteja varten. (4, s. 10.)

#### **3.1 Konseptointi**

Suunnittelun alkuvaihetta, jossa suurimmat päätökset tehdään, kutsutaan konseptivaiheeksi. Tässä kehitetään karkea idea tuotteen ulkonäöstä ja toiminnasta. Suunnittelutyö on mahdollisten ratkaisujen luomista ennalta määriteltyjen vaatimusten mukaan. Erityisen tärkeää on kehittää mahdollisimman monta konseptia ja ideaa, jotka ovat taloudellisesti järkeviä. Usein on houkutus valita ensimmäinen lupaava konsepti ja edetä nopeasti kohti yksityiskohtaista suunnittelua ja lopputuotetta. Tätä pyritään estämään, koska useamman konseptin kautta tulokset voivat olla huomattavasti parempia. (4. s. 12.) Arvioimalla jokaisen vaihtoehdon hyviä ja huonoja puolia konsepteista valitaan paras vaihtoehto yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen.

#### **3.2 Yksityiskohtainen suunnittelu**

Yksityiskohtainen suunnittelu ja 3D-mallinnusvaihe koostuvat yksittäisten komponenttien muotojen, kokojen ja materiaalien valinnoista. Samaan aikaan päätetään myös, miten ne sopivat parhaiten yhteen ja mikä on valmistusmenetelmä. Tässä vaiheessa hyödynnetään monia insinöörien kehittämiä taitoja analysoinnissa. Vaihe voi viedä suurimman osan suunnitteluajasta, minkä takia on tärkeää käyttää aika yksityiskohtiin vasta, kun järkevä konsepti on valittu. (4. s. 13.)

Vaiheen viimeinen osio on tuotedokumentaatio, jossa luodaan valmistuspiirustukset sekä käyttö- ja asennusohjeet. Valmistuspiirustukset sisältävät valmistajalle tarpeelliset tiedot kuten komponenttien materiaalit, muodot, valmistusmenetelmät sekä osien mittatiedot ja toleranssit.

### **3.3 Mallinnussuunnitelma**

Mallinnussuunnitelmassa pohditaan 3D-mallin rakennusta ja sen käyttäytymistä siinä tapauksessa, että mittoja muutetaan myöhemmin. Erilaiset osat voidaan mallintaa monella eri tavalla ilman perusteellista pohdintaa, mutta muutostilanteessa saattaa olla seurauksena osien käyttäytyminen odottamattomalla tavalla, jolloin kappale hajoaa. Mitoitus on siis toteutettava siten, että se on mahdollisimman yksinkertainen ja käyttäytyy muutostilanteessa halutulla tavalla. (5, s. 22.) Kaikki piirteet on suunniteltava niin, että niitä voidaan muuttaa vaikuttamatta alkuperäisen suunnittelun tarkoitukseen. Esimerkiksi kappaleen keskelle suunniteltu reikä tulee aina pysyä keskellä siitä huolimatta, että kappaleen mitat ja muodot muuttuvat myöhemmin. (5, s. 17.)

Kokoonpano tarkoittaa kokonaisuutta, joka on muodostettu osista ja osakokoonpanoista liittämällä ne yhteen. Kokonaisuus voidaan luoda käyttämällä DFMA (design for manufacturing and assembly) -menetelmää. Se tarkoittaa, että tuotteen suunnittelussa pyritään mahdollisimman yksinkertaiseen ja virheettömään kokoonpanoon otetaan huomioon myöhemmissä vaiheissa tapahtuva ylläpidon ja huollon helppous. Kokoonpanossa on pyrittävä välttämään ylimääräisiä osia, koska monimutkainen kokoonpano sisältää enemmän riskitekijöitä. (5, s.10.)

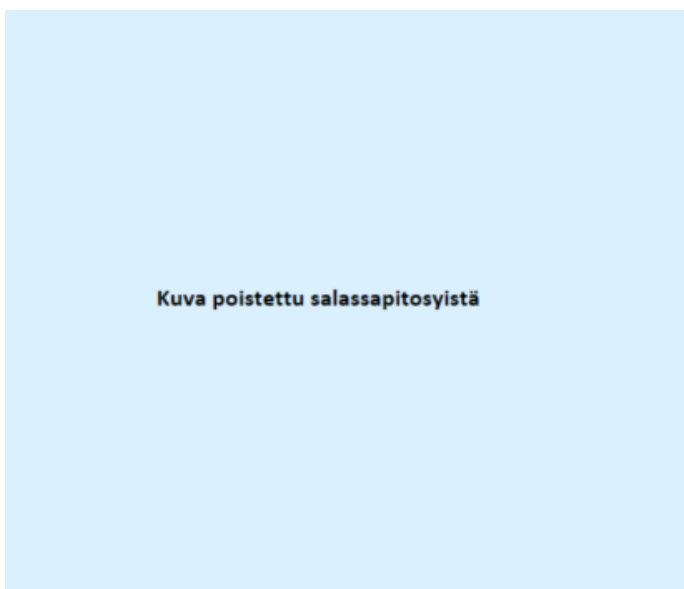
## 4 PORTAAT

### 4.1 Lähtötilanne

Konseptikoneessa portaat sijaitsevat koneen vasemmalla sivulla eturenkaan edessä. Portaissa kiinni oleva kuusioruuvi vastaa koneen runkoon, kun portaat ovat ala-asennossa. Pulttia kiristämällä saadaan säädettyä portaiden kulmaa jyrkemmäksi maahan nähden, ja samalla portaat tulevat lähemmäksi maata. Ne nousevat ja laskeutuvat automaattisesti pysäköintijarrun kytkemisen ja vapauttamisen yhteydessä.

Signaali pysäköintijarrun kytkimeltä kulkeutuu venttiilille, joka ohjaa hydraulikkanesteen liikettä oikeaan suuntaan. Tämä on suunniteltu koneen käyttömukavuuden parantamiseksi. Nousuun ja laskuun kuluu aikaa noin 5 sekuntia. Nosto tapahtuu lineaarisen hydraulikkasyylinterin työntövoimalla, jonka maksimipituus on yläasennossa 445 mm ja ala-asennossa 310 mm.

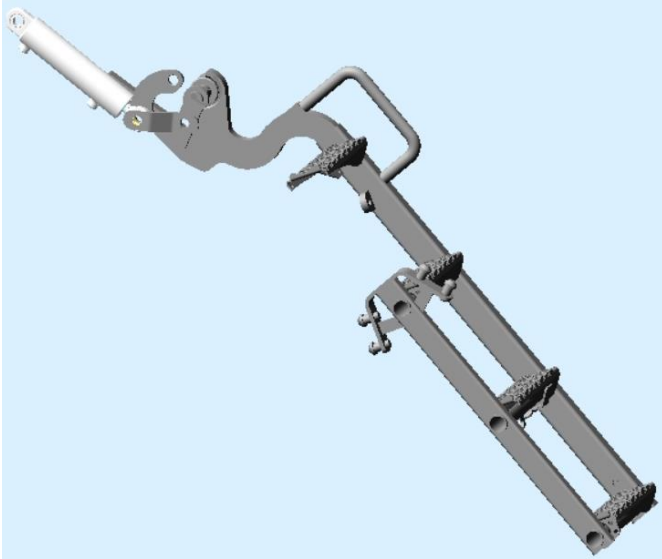
Portaiden ollessa ala-asennossa metsäkoneen ajonesto on päällä, jotta kuljettaja ei vahingossa aja koneella portaat alhaalla. Portaat ovat käytössä harvesteissa, kuormatraktoreissa ja yhdistelmäkoneissa (kuva 2).



*KUVA 2. Portaat ala- ja yläasennossa*

## 4.2 Materiaalit ja komponentit

Portaiden rungon osat ja varsilevyt on valmistettu S355-rakenneteräksestä. Portaiden nostossa käytetty lineaarinen hydraulikkasyylinteri on iskupituudeltaan 135 mm (kuva 3). Hydraulikkasyylinteriin virtaavan nesteen nopeutta on rajoitettu virtauksensäätöventtiilillä, jotta portaat eivät nouse liian nopeasti ylös. Sylinteri on suunniteltu toimimaan  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen saakka.



KUVA 3. Porraskokoonpanon 3D-malli

## 4.3 Hydraulikkasyylinterin kiinnitys

Sylinteri on kiinnitettyä molemmista päistä akseliin, jonka päässä on voitelunippa. Voitelunipasta voidellaan akselin ja hydraulikkasyylinterin kiinnitysreiän välistä aluetta, jotta kuluminen saadaan minimoitua.

## 4.4 Kustannukset

Portaiden kustannukset voidaan jakaa kahteen osaan, portaiden runkoon ja nostossa käytettyyn mekaniikkaan. Rungon kustannukset ovat tällä hetkellä noin 50% koko hinnasta, ja siihen sisältyy taittomekanismi. Nostossa käytettyyn mekaniikkaan kuuluu varsilevyt, hydraulikkasyylinteri, venttiilit, kiinnitysholkki ja nippoja. Ne muodostavat toiset 50% portaiden kokonaiskustannuksista. Kustannusarvioon ei ole laskettu huollon ja ylläpidon aiheuttavia kuluja, mutta yksinkertaisempi kokoonpano vähentäisi huollon tarvetta.

## 5 TURVALLISUUS JA STANDARDIT

### 5.1 Standardit ja vaatimukset

Metsäkoneen on täytettävä direktiivin 2006/42/EY vaatimukset ja kansalliset tieliikennesäädökset, jotta se voidaan rekisteröidä Suomessa tieliikennekäyttöön. Vaatimukset ovat koko Euroopan unionin alueella samat. Yhdenmukaisuudella turvataan tuotteiden vapaa liikkuvuus ja varmistetaan turvallisuuden taso. Asetuksessa määritellään

- koneen valmistajan velvollisuudet
- suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvät terveys- ja turvallisuusvaatimukset
- menettelyt koneen vaatimuksenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle. (6.)

Metsäkoneiden yleistä turvallisuutta koskeva standardi on ISO 11850:2011 (7). Suunnitteluprosessin aikana tuotteen ominaisuuksia verrataan standardeihin ja siinä viitattujen standardien vaatimuksiin.

### 5.2 Toimintalogiikka

Tällä hetkellä suurimman loukkaantumisvaaran aiheuttaa koneesta laskeutuminen ilman portaita. Ilman portaita kuljettaja joutuu laskeutumaan koneen sivusta liukasta ja vaarallista reittiä pitkin, joka ei ole suunniteltu laskeutumista varten. Tavoitteena on poistaa tämä vaara kokonaan. Tulevassa konseptissa tulee ottaa huomioon portaiden nousunopeuden aiheuttama vaara, henkilön ja sormien litistymisvaara sekä osumisvaara portaita nostaessa ja laskiessa.

Sähköisen portaan käytölle ja toiminnalle on asetettava tiettyjä ehtoja, jotta käyttäjien turvallisuus olisi mahdollisimman hyvä. Ehdot määrittelevät missä tilanteessa portaita voidaan nostaa tai laskea, ja miten metsäkone toimii portaiden tietyssä asennossa. Tässä konseptissa sähköinen porras tulee toimimaan samoilla ehdoilla kuin hydraulinen, mutta sen lisäksi sille on katkaisija portaiden vieressä, jotta sitä voidaan ohjata maasta käsin. Turvallisuusnäkökulmia poh-



tiessa on siis otettava huomioon kaksi eri käyttötapausta ja niihin liittyvät vaaratekijät. Sekä ohjaamossa että portaiden vieressä on hätäkatkaisija vaaratilanteita varten.

### **5.2.1 Tapaus 1**

Ensimmäinen tapaus koskee portaiden käyttöä ohjaamosta. Portaat nousevat ja laskeutuvat automaattisesti pysäköintijarrun kytkemisen ja vapauttamisen yhteydessä. Portaat voivat jäädä esteen takia jumiin kesken noston tai laskun, eikä kuljettaja huomaa tapahtunutta. Tätä varten on järjestelmään ohjelmoitava hälytin, joka ilmoittaa tapahtuneesta. On myös mahdollista, että portaiden liikeradalla on henkilö puristuksissa, joten järjestelmän tulee vapauttaa karamoottorin liike tietyn aikarajan kuluttua.

### **5.2.2 Tapaus 2**

Toinen tapaus koskee portaiden ohjausta maasta käsin. Tässä huomioitavia asioita ovat käyttökytkimen sijainti sekä mahdollinen kahden kytkimen käyttö yhtä aikaa. Esimerkiksi, kun kuljettaja laittaa pysäköintijarrun päälle ja portaat lähtevät laskeutumaan, alhaalla saattaa olla henkilö painamassa katkaisijasta portaita ylöspäin. Järjestelmän tulee kestää tällainen väärinkäyttö. Katkaisijan sijainnilla taas pyritään estämään portaiden osuma käyttäjään, joten sen ei saa sijaita portaiden edessä.

### **5.2.3 Riskianalyysi**

Riskinarviointi on tehty täyttämällä Metstan riskinarviointilomake (kuva 4), jonka perusteella määritellään käsiteltyjen vaarojen vakavuus. Lomakkeessa käsitellään tapauksien 1 ja 2 aiheuttamia vaaroja, ja lopputulokseksi saadaan riskiluokka. Matalin riskiluokka on 1 ja korkein 5.

**Toimintokeskeinen, työn suorittaja- ja työvaihekohtainen riskinarviointi standardin EN ISO 12100:2010 mukaan**  
**Operation-centered, operator and working phase specific risk assessment according to the standard EN ISO 12100:2**

oimenpiteet" on arvioijan suositus riskien poistamiseen tai vähentämiseen, ei arvioinnin aikainen vallitseva tilanne. Suositetun toimenpiteen jälkeen päästään osoitettui

**Henkilöryhmä:** Koneen käyttäjä (ajomies/operaattori, tms.), normaalit tuotannolliset työt toimittaessa tarkoitettulla tavalla.

Riskinarvioinnin tekijä/ -t:

Paivän määrä

Kone:

Machine:

Konealue:

Machine area:

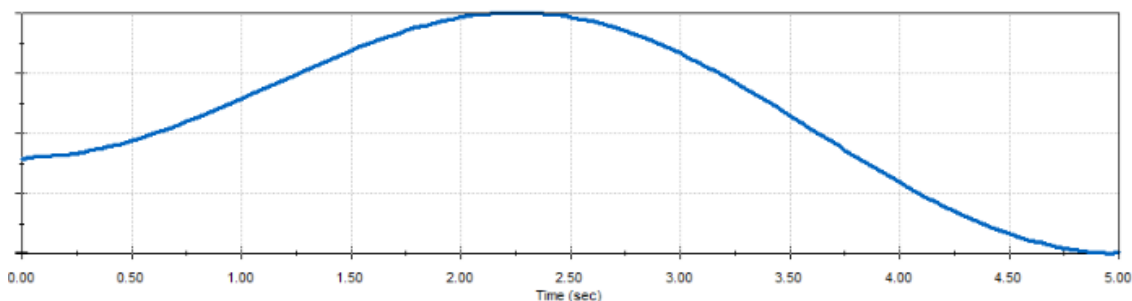
HUOM ATTENTIO	Nr No.	Vaaravyöhyke Hazardous area	Työvaihe Working phase	Vaara Hazard	Vaarallinen tilanne Hazardous situation	Vaarallinen tapahtuma Hazardous event	S	F	O	A	Riskiluokka; Risk index	Riskin suuruus; Estimated risk	Suosittelavat toimenpiteet; Recommended actions
	1	Portaiden lähiympäristö	Portaiden käyttö ohjaamosta käsin	Puristuminen	Oleskelu koneen läheisyydessä	Portaat jäävät esteen takia jumiin kusiin huomaamatta, esimerkiksi jos henkilö on puristuksissa	2	1	1	1	2	Vähäinen	Ohjelmoidaan karamottori pysähtymään automaattisesti, jos se tunnistaa esteen liikeradan tiellä.
	2	Portaiden lähiympäristö	Portaiden käyttö maasta ja ohjaamosta käsin	Järjestelmän hajoaminen, ja osumavaara alhaalla olevaan käyttajaan	Portaiden yhtäaikainen käyttö	Portaita käytetään samanaikaisesti ohjaamosta ja maasta käsin. Järjestelmä hajoaa tai portaat osuvat alhaalla olevaan käyttajaan.	1	1	1	1	1	Vähäinen	Suunnitellaan karamoottorin ohjausjärjestelmä kestämään samanaikaisen käytön. Sijoitetaan alhaalla oleva käyttökattaisija niin, ettei sitä voi käyttää seistessä portaiden edessä.
	3	Portaiden lähiympäristö	Portaiden käyttö maasta käsin	Sormien litistymisvaara	Portaiden käyttö samalla kun sormet ovat portaiden ja rungon välissä	Portaiden käyttäjän sormet litistyvät	1	1	1	1	1	Vähäinen	Sijoitetaan käyttökattaisija niin kauas portaista, ettei käyttäjän sormet ylitä vaara-alueelle.
	4	Portaiden askelmat ja runko	Portaiden lähiympäristössä liikkuminen	Pään osumavaara portaiden runkoon tai askelmaan	Henkilö liikkuu portaiden lähellä ilman kypärää ja portaat ovat liikkeessä tai pään korkeudella	Pään osuminen portaiden teräviin reunoihin	2	1	1	2	2	Vähäinen	Portaisiin ei saa suunnitella teräviä reunoja, ja portaat on aina laskettava kokonaan ylös tai alas asti.

KUVA 4. Metstan riskinarviointilomake

## 6 MITOITUSTARKASTELUT

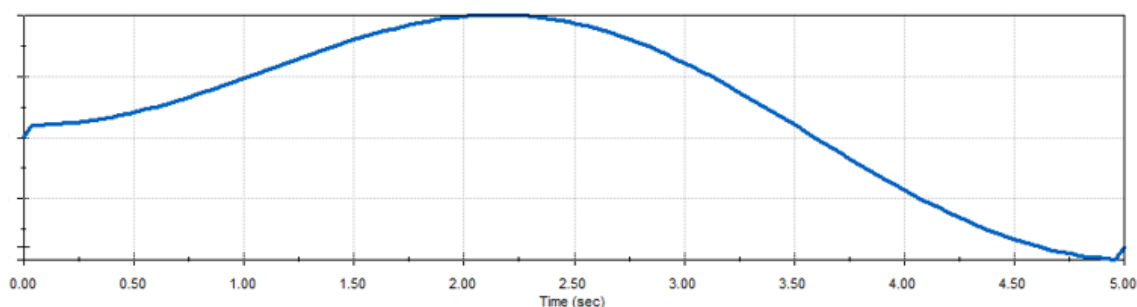
### 6.1 Tarvittava voima portaiden nostoon

Hydrauliikkasyylinteri on mitoitettu Solidworks Motion Study -ohjelmalla. Ohjelma massa sylinterin liikkeelle asetetaan lähtö- ja loppupiste sekä porraskokoonpanolle asetetaan materiaali ja maan painovoima. Näiden tekijöiden avulla ohjelma laskee, kuinka paljon voimaa hydrauliikkasyylinteri tarvitsee nostaakseen portaat yläasentoon. Laskettu nostoon tarvittava maksimivoima muodostuu 2.25 sekunnin kohdalla. (Kuva 5.)



*KUVA 5. Sylinterin teoreettinen maksimivoima portaiden nostossa*

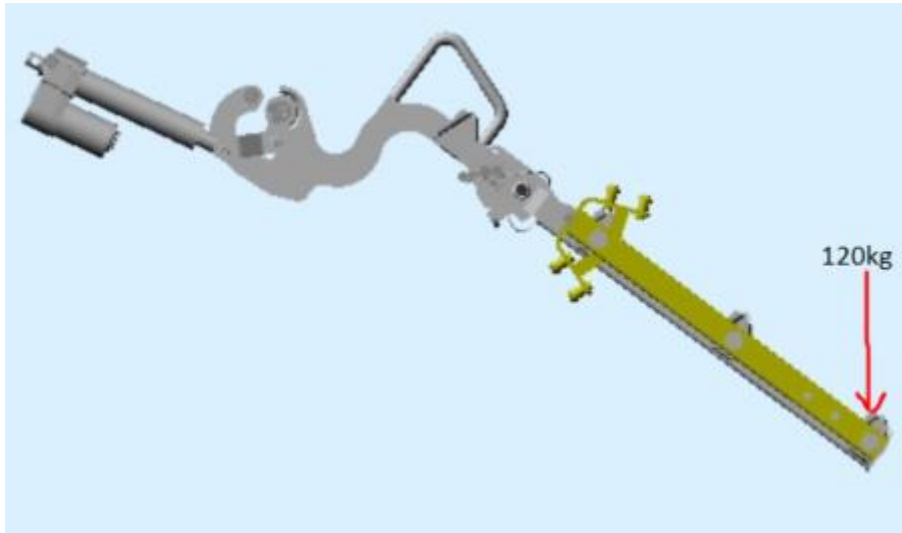
Portaiden akselin päähän kohdistuva momentti täytyi myös laskea tulevia konsepteja varten. Lasku tehtiin siirtämällä liikkeen lähtö- ja loppupiste akselin päähän asteina, minkä avulla ohjelma selvitti siihen kohdistuvan momentin portaita nostaessa. Maksimivoima kohdistuu akselille noin 2 sekunnin kohdalla (kuva 6). Tätä käytetään akselin päähän kiinnitettävien komponenttien mitoituksessa.



*KUVA 6. Portaiden akselin päähän kohdistuva vääntömomentti nostossa*

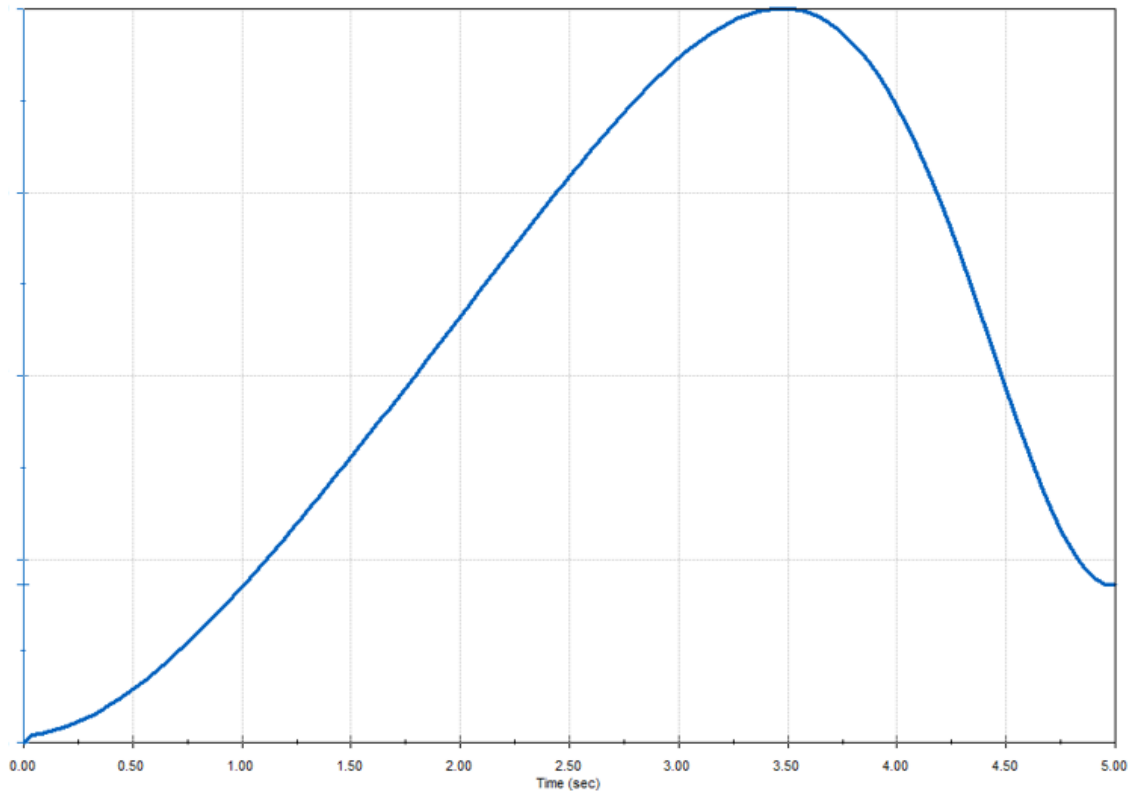
## 6.2 Staattinen kuorma

Mitoitustarkastelujen jälkeen tehtiin maksimivoiman tarkastelut staattisen kuorman kanssa, jotta saadaan selville sylinterin mäntään ja portaiden akseliin kohdistuvat voimat, kun kuljettaja astuu portaalle (kuva 7).



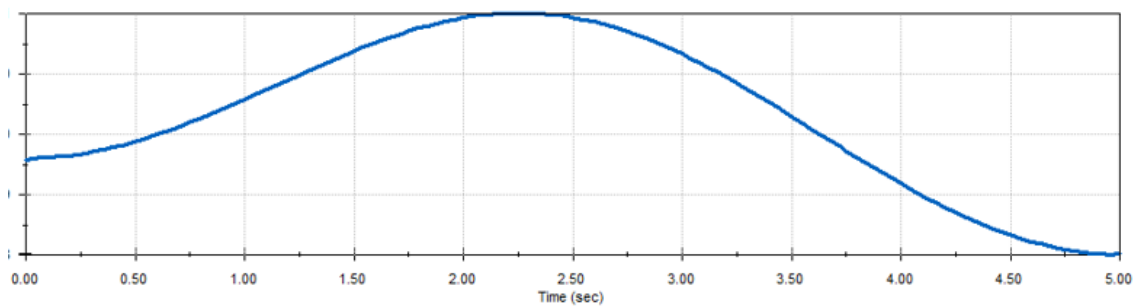
*KUVA 7. Havainnekuva tilanteesta, kun kuljettaja astuu alimmalle portaalle*

Alimman askelman staattiseksi voimaksi asetettiin 1 200 N. Voima vastaa henkilöä, joka painaa 120 kg ja seisoo portaalla koko nousun matkan. Lopputulokseksi saatiin hydraulikkasynterinin mäntään kohdistuva maksimivoima 3.5 sekunnin kohdalla (kuva 8).



*KUVA 8. Sylinterin mäntään kohdistuva voima 1 200 N:n kuorman kanssa*

Sama maksimivoiman tarkastelu tehtiin portaiden akselille, ja tulokseksi saatiin 2.25 sekunnin kohdalla muodostuva maksimivoima (kuva 9).



*KUVA 9. Portaiden akseliin kohdistuva momentti 1 200 N:n kuorman kanssa*

## 7 KONSEPTIEN SUUNNITTELU

Tehtävä aloitettiin vierailulla metsäkonetehtaalla, jossa tutustuttiin eri konemalleihin sekä portaiden toimintaan. Vierailun lopputuloksena päätettiin, että suunnittelussa pyritään kehittämään kaksi tai kolme konseptia budjettiin sopivasta sähköisestä nostomekanismista. Paras konsepti valitaan tarkempaa suunnittelua varten. Kääntyvän nivelen lisäksi portaiden kokoa, muotoa tai materiaalia ei haluta muuttaa.

Vierailussa esille nousi kolme tärkeää seikkaa. Portaita pitää pystyä käyttämään jyrkissä rinneolosuhteissa niin, että on mahdollista nousta koneeseen, vaikka portaita ei ole laskettu alas saakka. Nostomekanismin tulee siis kestää kuljettajan painoa kaikilla eri nostokorkeuksilla. Manuaalisesti sokkalukituksesta halutaan päästä eroon, jos se on turvallisuussyistä mahdollista. Kolmas tärkeä seikka oli, ettei tuotteen hinta saa ylittää nykyisen version kustannuksia. Portaiden tulee toimia koneen päävirran avulla, jonka katkaisija sijaitsee portaiden vieressä olevassa luukussa. Luukun sisältöä saa muuttaa tarpeen mukaan.

Mallinnus aloitettiin luomalla uusi konseptikoneen kokoonpano, joka sisälsi itse portaot ja sen ympärillä olevat kotelot. Kokoonpanossa voidaan vaihtaa uusia komponentteja vanhojen tilalle, testata portaiden nostomekaniikan toiminta ja laskea portaisiin kohdistuvia voimia eri tilanteissa.

### 7.1 Lineaarinen karamoottori

Lineaarisen karamoottorin on tarkoitus toimia sähkömoottorin voimalla syrjäyttäen hydraulikan kokonaan. Se saa virran koneen akusta päävirtakatkaisijan kautta ja toimii 24 V:n jännitteellä. Karamoottorissa sähkömoottorin pyörivä liike muutetaan lineaariseksi työntö- ja vetoliikkeeksi hammasrattaiden ja ruuvien välityksellä (8). Kokonaisuus on kevyt ja kompakti sekä kestää hyvin rajuimmatkin olosuhteet. Lisäksi metsäkoneissakoneissa on jo käytössä vastaavanlainen karamoottori konepeiton nostoa varten, ja se on todettu erittäin hyväksi.

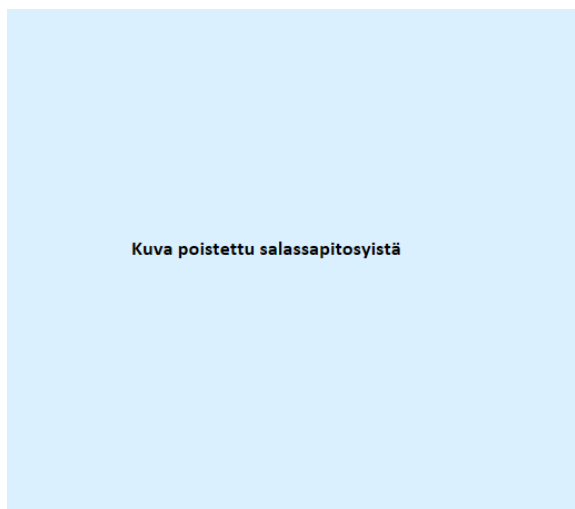
Karamoottori sopisi tähän sovellukseen hyvin, sillä se on edullinen, kompakti ja juuri tähän käyttötarkoitukseen sopiva laite. Lisäksi lukitus tapahtuu portaattomasti, joten portaat pysyvät kaikissa asennoissa ilman lukitussockaa. Tämän komponentin valinnassa pitää ottaa huomioon maksimivoima ja olosuhteet, jotta pitkä kestoikä voidaan taata.

## 7.2 3D-mallin testaus

Pyysin tarjouksen karamoottorista samalta yritykseltä, joka valmistaa konepeiton kallistuksessa käytetyn karamoottorin. Sain vastauksena kaksi eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen oli trapetsiruuvilla toimiva ja toinen vaihtoehto oli kuularuuvilla toimiva karamoottori. Kuularuuvilla toimivan karamoottorin hinta on noin 20 % kalliimpi.

Kalliimpi vaihtoehto valittiin tarkasteluun, sillä sen maksimivoima ja staattinen kestävyys olivat huomattavasti paremmat. Karamoottorin saa tilattua millä tahansa iskupituudella. Tämä helpottaa huomattavasti suunnittelutyötä, sillä voin suunnitella kiinnityksen niin, etteivät kiinnityspisteet juuri muutu.

Karamoottorin 3D-malli mahtui hyvin hydraulikkasynterinin tilalle, mutta se oli 2,8 cm pidempi. Tämä ei ole ongelma, sillä kiinnitysreiän siirtoon riittää reilusti tilaa (kuva 10). Tavoitteena on, että varsilevyt pysyvät mahdollisimman muuttumattomina, sillä ne on todettu jo toimiviksi nykyisillä mitoilla.



*KUVA 10. Karamoottorin sijoitus*

### **7.3 Sähkömoottori kierukkakulmavaihteella**

Portaita kääntävän akselin päähän on mahdollista sijoittaa sähkömoottori. Näin päästään eroon hydraulikkasyylinteristä ja varsilevyistä. Pienen tilan säästämiseksi sähkömoottorin voima voidaan kääntää 90 asteen kulmaan vaihdelaatikolla. Paras kulmavaihteen tyyppi tähän tehtävään olisi kierukkakulmavaihte. Kierukkavaihteen etuna on yksinkertaisuus ja korkea vääntömomentti. Vaihdelaatikko myös lukittuu automaattisesti kierukkaruuvia ja ratasta vasten silloin kun sähkömoottoria ei pyöritetä. Tämä siis mahdollistaa portaattoman lukituksen ja portaiden käytön kaikissa eri asennoissa.

Pyysin tarjouksen sähkömoottorista valmistajalta. He selvittivät antamieni lähtötietojen perusteella parhaat mahdolliset vaihtoehdot tähän konseptiin. Vastauksena sain sähkömoottorin ja kierukkakulmavaihteen kahdella eri maksimivoimalla. Hintaa halvemmalla versiolla on noin 50 % vähemmän, mutta sen maksimivoima on liian pieni.

### **7.4 3D-mallin testaus**

Tehokkaamman version 3D-malli mahtuu koneeseen kohtalaisen hyvin (kuva 11). Sähkömoottori oli sopivan kokoinen tähän tilaan, mutta vaihdelaatikon pitää tehdä tilaa mahtuakseen. Lisäksi sen koko ja paino vaikeuttaa asennusta, joten se pitää ottaa huomioon muutoksia tehdessä. Asennus pitäisi mielellään onnistua purkamatta mitään tieltä pois.



**Kuva poistettu salassapitosyistä**

*KUVA 11. Sähkömoottori yhdellä kierukkakulmavaihteella*

Kahdella kierukkavaihteella oleva versio oli huomattavasti pienempikokoisempi paketti, joten sen sovittamisessa ei tulisi isoja ongelmia (kuva 12). 3D-malli mahd-  
tui koneeseen monessa eri asennossa, mutta kuvan 12 asennossa jäi eniten tilaa  
asennusta varten. Kiinnityspisteet ovat valmiina kulmavaihteessa, joten kiinnitys  
onnistuu tekemällä taustalevyyn 4 reikää. Portaiden kääntöä varten akselin hal-  
kaisijaa on pienennettävä kulmavaihteeseen sopivaksi.

**Kuva poistettu salassapitosyistä**

*KUVA 12. Sähkömoottori kahdella kierukkakulmavaihteella*

## 7.5 Sähkökäyttöinen hydraulikka

Sähkökäyttöinen hydraulikka toimii portaissa valmiina olevan hydraulisen sylinterin kanssa. Erona nykyiseen on, että hydraulikkapumppu pyörii sähkövirran avulla moottorin kampiakselin sijasta. Tällöin pumppua voidaan pyörittää, vaikka moottori on sammuksissa. Pumppu ja säiliö on jo käytössä koneessa toisen komponentin yhteydessä. Uusi pumppu ja säiliö nostaisi hinnan yli budjetin, sillä ne toisivat projektiin ainoastaan lisäkustannuksia säästämättä kuluja muualta.

Sähköisen hydraulikkapumpun etuna on koneeseen tarvittavien muutostöiden vähäinen tarve. Luukun sisältöä ei tarvitsisi muokata, sillä uudet hydraulikkaletkut mahtuvat sinne hyvin.

Aloitin konseptin suunnittelun tutustumalla ohjaamon kallistuksessa käytettäviin komponentteihin ja niiden teknisiin tietoihin. Pumppu on regeneroiva, mikä tarkoittaa, että sylinterin työntö ja veto ovat paineistettuna samanaikaisesti, kun sylinteriä liikutetaan.

Portaiden sylinterin käyttämä öljymäärä on mitoitettu yhdelle sylinterille, mikä tarkoittaa, että säiliössä ei riitä öljyä toisen sylinterin käyttöön. Säiliö ja pumppu on myös mitoitettu toimimaan 1 500 sykliä, mikä tarkoittaa, että portaita voisi käyttää arviolta 3 kuukautta ennen huoltotoimenpiteitä. Tästä syystä valmistaja ei voi antaa takuuta siitä, että konsepti tulee toimimaan. (9.) Näillä perusteilla päätettiin keskeyttää tämän konseptin suunnittelun.

## 7.6 Vertailutaulukko

Listasin taulukkoon komponenttivalintojen ominaisuudet, jotta niiden vertailu olisi helpompaa konseptipalaverissa (liite 1). Sisältö on jaettu kahteen osaan. Taulukossa on listattuna jokaisen konseptin toimilaitteet, jotka on otettu huomioon päätöstä tehdessä. Taulukon perusteella päätettiin, että karamoottori on paras vaihtoehto tähän konseptiin, sillä sen käytössä on paljon etuja, ja sen ainoa heikkous on hieman kalliimmat kustannukset nykyiseen verrattuna.

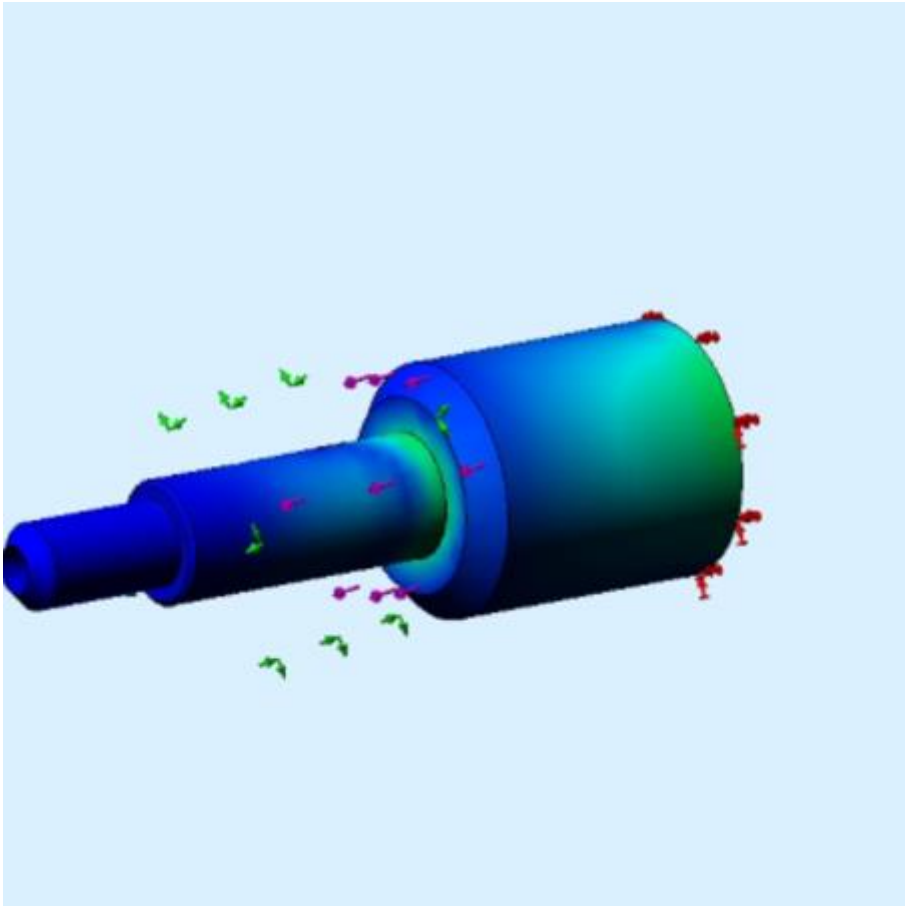
## 8 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU

### 8.1 Valittu toimilaite

Neljän viikon konseptisuunnittelun jälkeen päätettiin, että paras vaihtoehto on karamoottori. Se oli halvin sekä yksinkertaisin ratkaisu ja vie lähes saman verran tilaa kuin hydrauliiikkasylinteri. Saman toimittajan karamoottori on jo todettu toimivaksi konepeiton kallistuksen yhteydessä, joten kestävyys haastavissa olosuhteissa voi luottaa. Lisäksi vanhoja komponentteja pystytään hyödyntämään, joten hinta tulee pysymään mekaniikan osalta samana. Hinta kokonaisuudessaan tarvittavien sähkökomponenttien kanssa tulee olemaan noin 20 % kalliimpi kuin alkuperäisessä. Lopullinen tarkka hinta kokonaisuudelle selviää, kun sähkösuunnittelijat ovat laskeneet kustannukset tarvittaville osille.

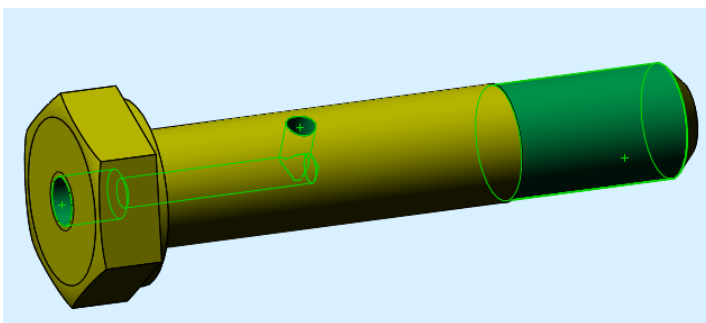
### 8.2 Kiinnitys

Karamoottorin kiinnitys pyrittiin pitämään mahdollisimman muuttumattomana kuormankesto huomioiden. Yksi merkittävä ero hydrauliikkasylinterin ja karamoottorin välillä oli kiinnitysreikien koko, joka muuttui 7,7 mm pienemmäksi. Pienemmän kiinnitysreiän vuoksi karamoottorin kiinnitys suunniteltiin kokonaan uudeksi, sillä vanhaan kiinnitystapaan kohdistuvat jännitykset olisivat liian lähellä sen myötörajaa. Kirkas vihreä väri kiinnityskorvakkeen alueella tarkoittaa kohtia, joissa rakenne ei tulisi kestävänsä. (kuva 13).



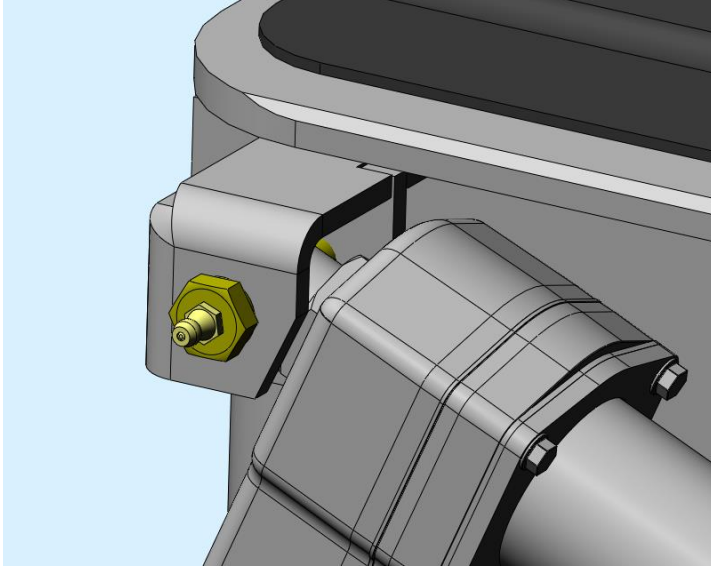
*KUVA 13. Alkuperäisen kiinnityskorvakkeen lujuustarkastelu*

Uusi kiinnitys tehtiin 12x70 mm 12.9 kuusioruuveilla, joiden sisään on porattu rasvakanavat voitelua varten. Rasvanipalle on 6 mm kierteellä oleva reikä ruuvipäässä. Sen standardiluokka on DIN 931, mikä tarkoittaa, että kierteen korkeus on 30 mm ruuvipohjasta mitattuna (kuvassa 14 vihreä pinta). Tällainen ruuvi vähentää karamoottorin kiinnitysreiän kulumista, koska kiinnityksen kohdalta ruuvipinta on sileä.



*KUVA 14. M12x70 DIN 931 kuusioruuvi rasvakanavalla*

Yläosan kiinnityskorvake särmätään S355-rakenneteräksestä 90 asteen kulmaan, ja sen sisäpuolelle hitsataan 12 mm kierteellä oleva pala kuusioruuvia varten (kuva 15). Tämä kokoonpano hitsataan kiinni taustalevyyn.



*KUVA 15. Yläosan kiinnityskorvake karamoottorille.*

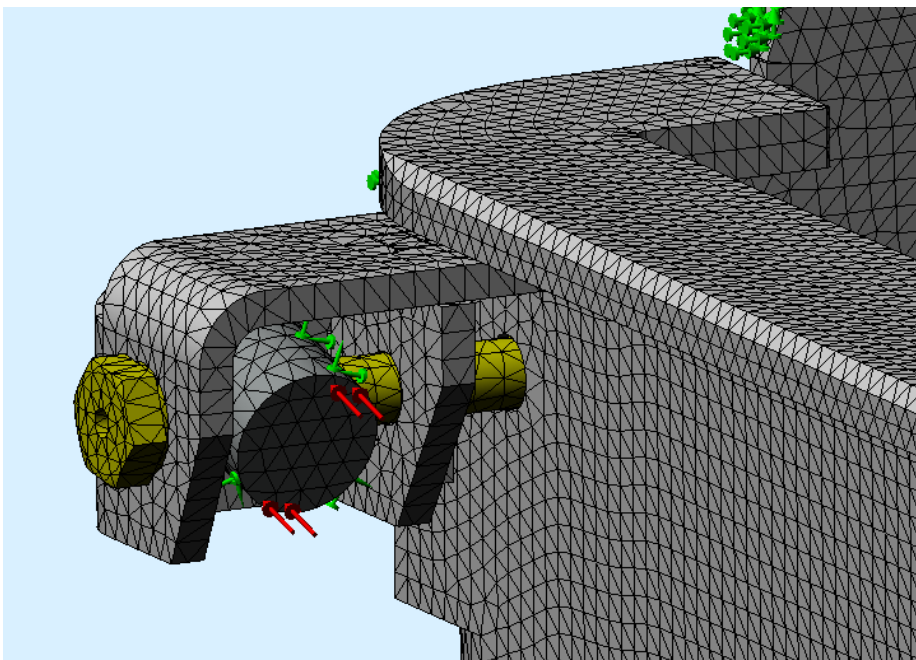
Alaosan kiinnitys tehdään samalla ruuvilla, ja varsilevyyn hitsataan mutteri ruuvia varten (kuva 16). Varsilevyjen muotoa muokattiin hieman, jotta ne sopivat liikku-  
man karamoottorin kanssa. Molempien levyjen päihin lisättiin särmäyksen suun-  
tainen suora osuus työn helpottamiseksi, ja kuvassa 16 takimmaiseen varsile-  
vyyn lisättiin kaksi taitosta, jotta karamoottorin sylinteriputki mahtuu varsilevyjen  
väliin.

Kuva poistettu salassapitosystä

*KUVA 16. Alaosan kiinnitys*

### 8.3 Elementtimenetelmä

Elementtimenetelmä eli FEM (Finite Element Method) on yleinen analysointiväline, jolla voidaan mallintaa lähes millainen kappale tai kokonaisuus, kuormitus tai materiaaliominaisuus tahansa. Menetelmän avulla tuotetaan ratkaisuja jännitysten laskennasta lämpötilajakaumiin. Elementtimenetelmässä kappaleen rakenne jaetaan pieniin elementteihin, jotka ovat kiinni toisissaan nurkkapisteistään, joita kutsutaan solmupisteiksi (kuva 17).



### *KUVA 17. Elementtiverkko*

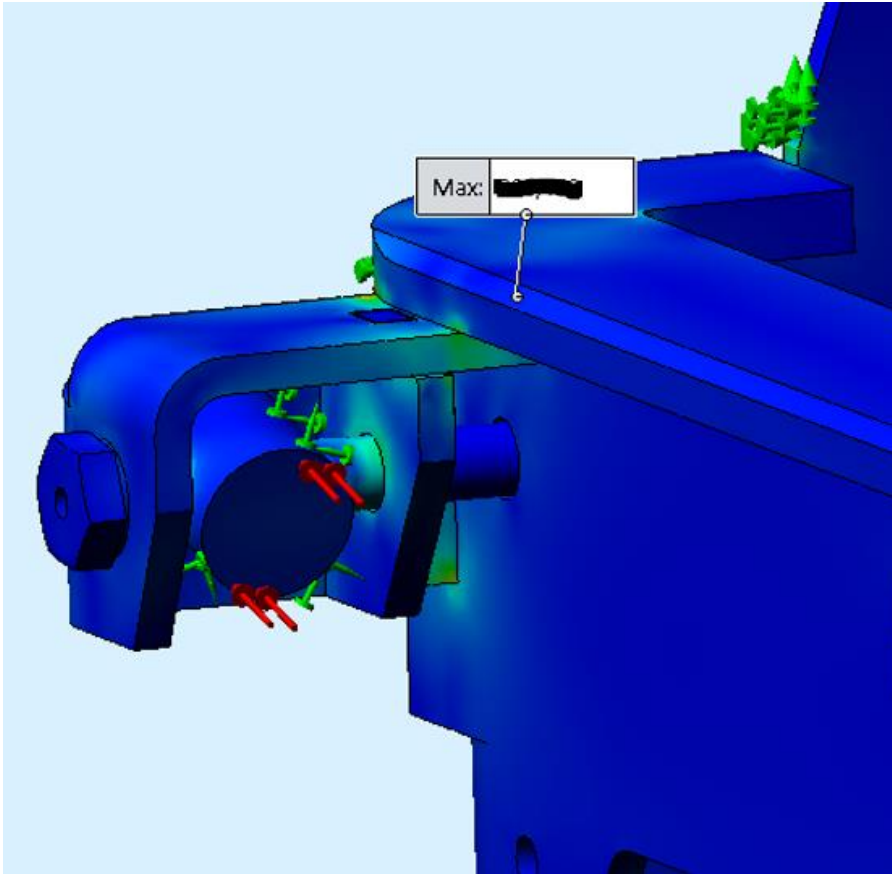
Solmupisteiden koordinaattien ja valitun materiaalin avulla muodostetaan jäykkyyismatriisi, joka yhdistetään kuormitukseen, ja näin saadaan selville solmupisteiden siirtymät. Siirtymien avulla voidaan laskea kappaleeseen vaikuttava jännitykset. Yleensä analyysin tulokset saadaan jokaisen elementin keskipisteeseen, joten elementtiverkkoa kannattaa tihentää niillä alueilla missä tulokset halutaan mahdollisimman tarkkoina. (10, s. 148–149)

#### **8.4 Kiinnityspisteiden FEM-laskenta**

Solidworks-ohjelmassa FEM-laskenta tehdään simulation-työkalulla. Työkalu vaatii tietokoneelta paljon laskentatehoa, minkä takia tuloksia tarkasteltiin vain välttämättömillä komponenteilla. Laskennassa tarkasteltiin Von Mises -jännitystä, jonka avulla lasketaan kappaleeseen vaikuttavien jännitysten yhteisvaikutuksia. (11.)

Lujuusanalyysi on helppo suorittaa FEM-laskennan avulla, mutta sillä on myös hyvin helppo tehdä virheitä. Pienet virheet laaduissa tai reunaehdoissa voivat johtaa täysin väärin tuloksiin. Sen vuoksi FEM-laskennasta saadut tulokset pyritään aina varmistamaan jollain toisella menetelmällä (11, s.149). Työn tilaaja tarkastaa ja hyväksyy lujuusanalyysit.

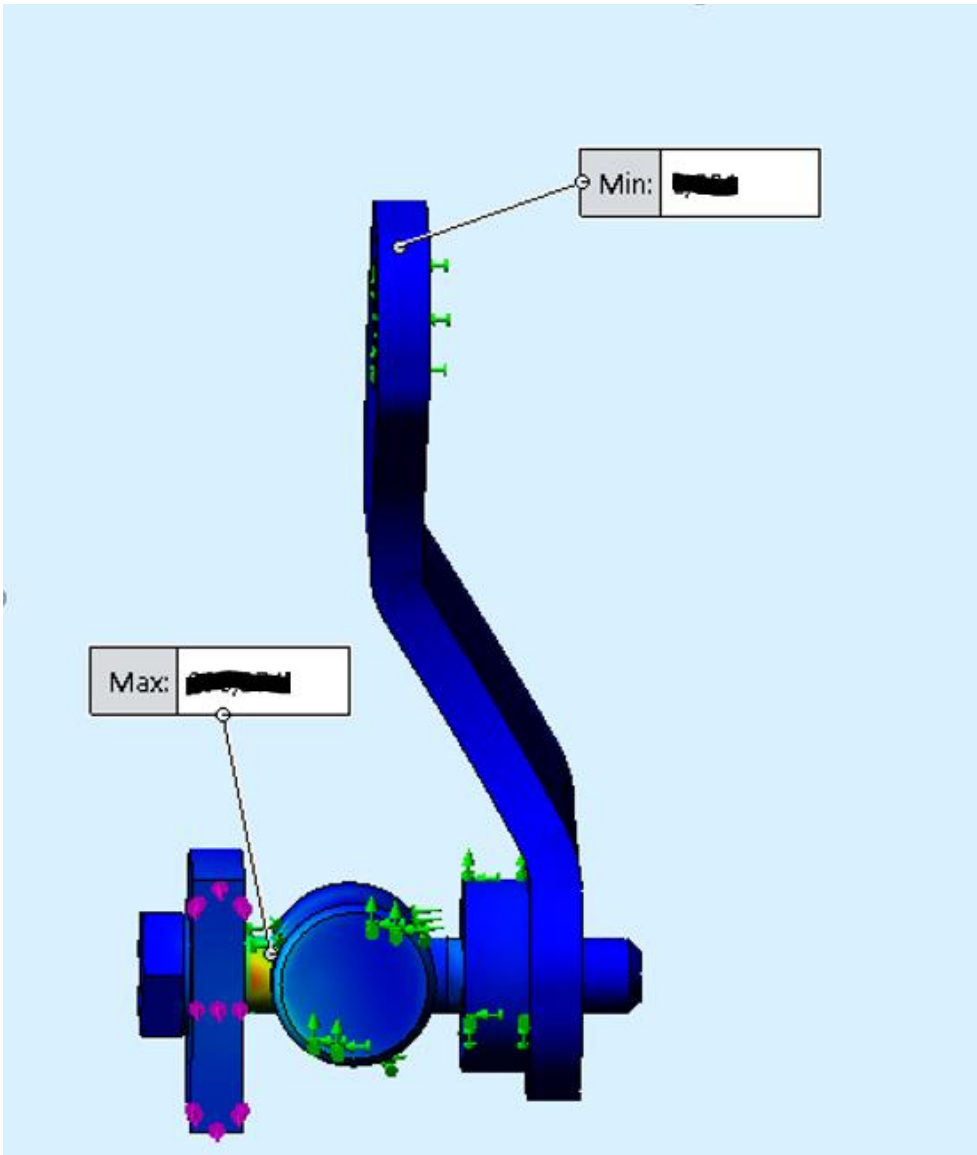
Päätettiin, että kiinnityspisteiden on kestettävä karamoottorin sallittu maksimikuorma. Useiden testikappaleiden kautta parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui S355-teräksestä särmätty korvake, koska hitsattuna taustalevyyn rakenne on kestävä, ja materiaali on edullista. Kuvasta 18 näkee, että suurimmat rakenteeseen kohdistuvat voimat ovat korvakkeen ja taustalevyn välisen hitsin alueella. Kuusioruuvien lujuusluokka tulee olemaan 12.9, sen murtolujuus on 1 200 MPa.



*KUVA 18. Yläosan kiinnitykseen kohdistuvat jännitykset*

Alaosan kiinnitykseen oli myös vaihdettava 12 mm kuusioruuvi 12.9 lujuusluokalla, sillä laskujen mukaan siihen kohdistuu 1 014 MPa:n voima (kuva 19). Ruuvia varten varsilevyyn on lisätty hitsattava mutteri. Molemmista kiinnitysruuveista päätettiin tehdä samanlaiset, vaikka yläosan kiinnitykseen olisi käynyt pienemmän lujuusluokan pultti.

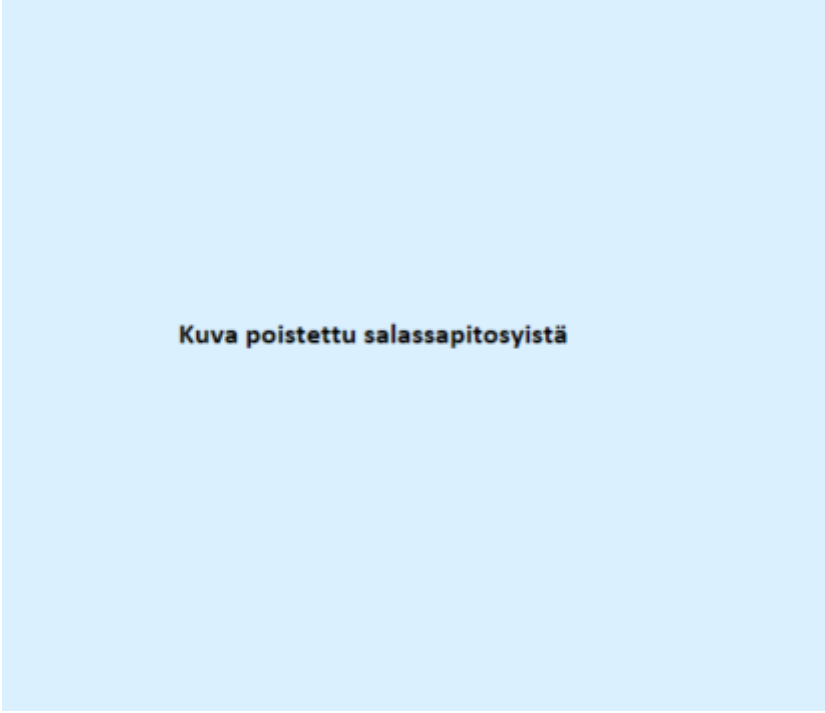




*KUVA 19. Alaosan kiinnitykseen kohdistuvat jännitykset*

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin 3D-Solidworks-malli metsäkoneen portaiden sähköisestä versiosta (kuva 20). Alkuperäinen versio oli hydraulikalla toimiva, mutta sen käyttö ei ollut halutun mukaista ja kustannukset olivat korkeat. Sähköisen version vaatimuksena oli, että sitä on mahdollista käyttää koneen moottorin ollessa sammuksissa eivätkä sen kustannukset saa ylittää hydraulista versiota.



Kuva poistettu salassapitosyistä

*KUVA 20. Valmis konsepti sähköisestä portaasta*

Projekti aloitettiin tutustumalla koneeseen tehtaalla ja rajaamalla aihe tarkasti, jotta sen suoritus sujuisi mahdollisimman sulavasti. Rajaus tehtiin hyvin selkeästi ja sen myötä minun oli helppo tehdä itsenäisesti työtä. Tiesin, mitä oli tehtävä joka viikko, eikä raporttia kirjoittaessa tarvinnut pohtia, mikä kuuluu aiheeseen ja mikä ei. Koneeseen tutustuminen tehtaalla auttoi hahmottamaan työn kokonaisuuden sekä käytettävissä olevan tilan ja portaiden mekaniikan paremmin. Komponenttivalintoja tehdessä on huomattavasti helpompi löytää oikeat osat, kun on tutkinut konetta paikan päällä.

Suunnittelutyö aloitettiin tekemällä selvitystyötä komponenttivaihtoehtoista, joita löytyi lopulta kolme erilaista. Mielestäni löysin hyvät vaihtoehdot, joista jokainen olisi voinut toimia, mutta yksi oli kuitenkin alusta asti selkeästi parempi. Palaverissa käytiin viikoittain läpi vaihtoehtoja ja ideoita portaiden sähköiselle käytölle sekä päätettiin olla hylkäämättä mitään vaihtoehtoa ennen kuin se oli vahvasti perusteltua. Vaihtoehtoja käytiin läpi palaverissa kuukauden ajan, kunnes lineaarinen karamoottori valittiin parhaaksi vaihtoehdoksi. Karamoottorin staattisen kuorman kestävyys, koko, hinta, ja asennus olivat tärkeimmät ominaisuudet päätöstä tehdessä. Lisäksi suurin osa komponenteista säilyi muuttumattomana, mikä helpotti suunnittelutyötä ja käytännön toimivuuden arviointia.

Yksityiskohtainen suunnitteluvaihe kesti noin kuukauden ajan. Se sisälsi karamoottorin kiinnityksen suunnittelun, FEM-analyysit ja valmistuskuvien luonnin. Tässä työvaiheessa osoittautui yllättävän tärkeäksi koneensuunnittelun syventävät opinnot- kurssi sillä siellä käsitellään FEM-analyysin käyttöä ja lujuusoppia. Kurssin sisältö toistui tässä projektissa viikoittain ja huomasin hyödyntäväni opittuja asioita jatkuvasti. Suunnittelu eteni kokeilemalla eri kiinnitysvaihtoehtojen kestävyksiä ja valitsemalla paras vaihtoehto FEM-analyysin perusteella. Valmistuskustannukset otettiin huomioon jokaista vaihtoehtoa pohtiessa.

Lopputulos oli tilaajaan toiveen mukainen (liite 2). Sain selvitettyä parhaan vaihtoehdon sähköiselle portaalle ja suunnittelin toimivan 3D-mallin sekä valmistuskuvat. Aikataulutus oli onnistunut erittäin hyvin, eikä missään vaiheessa tarvinnut joustaa siitä kumpaankaan suuntaan.

Budjetti päätettiin projektin aloituspalaverissa, ja tavoitteena oli, etteivät uuden konseptin kustannukset ylitä nykyisen portaan kustannuksia. Lisäkuluja kuitenkin muodostui karamoottorista, joka on noin 40 % kalliimpi kuin hydraulikkasyylinteri sekä sähkökomponenteista, joiden hinnaksi arvioitiin 20 % kokonaiskustannuksista. Säästöjä tehtiin 10 %, sillä portaan kääntöniveltä ei enää tarvita sekä hydraulikkalinjan venttiilit poistuvat käytöstä. Arvioitu loppusumma tällä projektilla on siis 20 % enemmän alkuperäiseen verrattuna.

Parannettavaa projektissa olisi hinnassa, mutta muulta osin työ onnistui niin kuin oli suunniteltu. Laajuus oli juuri sopiva, sillä sain perehtyä aiheeseen ja tehdä

suunnittelutyön huolellisesti. Raportin kirjoitukseen jäi lähes kuukausi aikaa. Alkuperäisessä suunnitelmassa siis pysyttiin loppuun saakka.

Seuraava vaihe projektissa on prototyypin testaus käytännössä. Mielenkiintoista olisi testata kokoonpanon kestävyyttä, jotta saisin tietää, kuinka tarkkoja tekemiäni FEM-analyysit ovat. Lisäksi testausvaiheessa näkisi, kuinka hyvin tilaa karamoottorilla on kotelon sisällä käytännössä. 3D-mallissa sitä tuntui olevan paljon, sillä pienetkin välykset näyttävät suurilta läheltä katsoessa.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja tarpeeksi haastava. Opin paljon uusia asioita työkoneiden mekaniikkasuunnittelusta, Solidworks-ohjelman käytöstä ja asiakkaan kanssa projektissa työskentelemisestä. Työkoneiden suunnittelussa on käytössä suuria ja raskaita 3D-malleja, joiden pyörittäminen tietokoneella on hidasta. Kehitin projektin aikana työskentelytapoja, jotka nopeuttavat näiden suurien kokonaisuuksien käyttöä ja säästivät suunnittelutyöhön kuluvaan aikaa. Pääsin käyttämään monia uusia Solidworks-ohjelman ominaisuuksia mikä myös kehitti osaamistani huomasti. Viikoittain katselmointipalavereita pidettiin työn edistymisestä, ja esittelin komponenttitoimittajille työtäni myös englannin kielellä. Nämä palaverit kehittivät minua suunnittelijana paljon sillä esitelmät ovat iso osa ammattia.

Työ auttaa tulevaisuudessa asiakasta tekemään päätöksiä uusien metsäkoneiden portaiden käytöstä, sillä mahdolliset vaihtoehdot käytiin läpi huolellisesti ja niiden edut, haitat ja kustannukset on selvitetty. Tutkimuksen pätevyyttä heikentää hieman työssä käsiteltyjen komponenttinvaihtoehtojen yksipuolisuus, sillä muilla valmistajilla oli myös tähän työhön varten otettavia vaihtoehtoja. Ne eivät kuitenkaan olleet niin hyviä, että olisi kannattanut käyttää aikaa hintojen ja sopivuuden selvittämiseksi. Päätin olla kirjaamatta kaikkia läpi käymiäni vaihtoehtoja muistiin sillä lista olisi ollut todella pitkä eikä se olisi vaikuttanut lopputulokseen. Valitsin konseptivaiheeseen ainoastaan parhaat vaihtoehdot. Projektin lopussa oli tärkeää huomata, miten suuri vaikutus huolellisesti tehdyllä projektisuunnitelmalla ja muistiinpanoilla oli työn etenemiseen ja loppuun saattamiseen.

## LÄHTEET

1. Toimipisteet. Huld Oy. Saatavissa: <https://huld.io/fi/yhteystiedot/toimipisteet/>. Hakupäivä 26.4.2021.
2. Sanasto. Suomen metsäyhdistys. Saatavissa: <https://smy.fi/sanasto/puun-korjuu-harvesting/> Hakupäivä 5.5.2021.
3. Poistettu salassapitosyistä.
4. Childs, Peter R.N. 2018. Mechanical design engineering handbook. Second edition. Elsevier Science & Technology.
5. Hietikko, Esa. 2005. Solidworks-tietokoneavusteinen suunnittelu. 1.painos. Kuopio: Kopijyvä Oy.
6. Koneita koskevat vaatimukset. Tukes.fi. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#66ab05fd>. Hakupäivä 31.5.2021.
7. ISO 11850:2011. 2011. Machinery for forestry. General safety requirements. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
8. Mikä on karamoottori. Seamotion.fi. Saatavissa <https://www.seamotion.fi/fin/karamoottori/>. Hakupäivä 31.5.2021.
9. Myynti-insinööri. Sähköhydraulinen pumppu. Haastattelu. 28.5.2021.
10. Hietikko, Esa 2004. Palkki. Lujuuslaskennan perusteet. 1. painos. Keuruu: Otava.
11. What is von Mises Stress. Simscale.com. Saatavissa: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>. Hakupäivä 6.7.2021.

## LIITTEET

Liitteet on poistettu salassapitosyistä