



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Eero Vuorio

---

## Pyörittäjän mitoitus ja kiinnityksen suunnittelu kauhaharjaan

Opinnäytetyö  
Syksy 2024  
Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Eero Vuorio

Työn nimi alaotsikoineen: Pyörittäjän mitoitus ja kiinnityksen suunnittelu kauhaharjaan

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 52

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kauhaharjan pyörittäjän mitoitus ja sen kiinnityksen suunnittelu. Kauhaharja on traktorin tai muun kiinteistönhuoltokoneen lisälaite. Kauhaharjaa käytetään irtoavan aineksen, kuten hiekan, lehtien ja irtosoran harjaamiseen pois päällystetyiltä teiltä ja aukioilta.

Opinnäytetyö sai alkunsa yrityksen tarpeesta parantaa kauhaharjan käyttöominaisuuksia. Työn toimeksiantaja oli Honkajoki Works Oy, jonka erikoisalaa on maansiirto- ja kiinteistönhuoltokoneiden kauhojen ja lisälaitteiden suunnittelu sekä valmistus. Tämän työn tavoitteena oli mitoittaa laskennallisesti toimeksiantajan mallistossa olevaan kauhaharjamallistoon pyörittäjä sekä suunnitella kelluvarakenteinen ja mahdollisimman kustannustehokas pyörittäjän kiinnitysratkaisu dokumentteineen niin, että yritys saa sen valmistettavaksi tuotantoon. Pyörittäjän avulla kauhaharjan harjauskulmaa saadaan muutettua rajattomasti, mikä jouduttaa työskentelyä ja parantaa työturvallisuutta sekä työergonomiaa.

Työ oli tuotekehitysprojekti. Työ aloitettiin aiheeseen tutustumalla ja toimeksiantajan vaatimuksien kartoittamisella. Työn vaiheita olivat ideointi ja vaatimusten määrittely, karkeasuunnittelu, pyörittäjän mitoitus, osasuunnittelu, kokoonpanosuunnittelu ja valmistuskuvien ja osaluettelon laadinta. Työssä käytetty CAD-ohjelmisto oli Siemens Solid Edge 2023. Ohjelmiston simulaatiopuolella tehtiin kestävyuden ja kustannustehokkuuden optimointi FEM-analyysiä hyödyntäen. Työssä esiteltiin FEM-analyysin tulokset. Teoriaosuudessa käsitellään DFM:n mukaista suunnittelua ja ruuviliitoksia. Työssä esiteltiin DFM:n periaatteiden mukaisia suunnitteluratkaisuja sekä pyörittäjän valinnan ja ruuviliitosten mitoitusperiaatteita. Työssä tehdyt suunnitteluratkaisut perusteltiin.

Työn tuloksena saatiin mitoitettua käyttöön sopiva pyörittäjä sekä toimeksiantajan vaatimukset täyttävä kiinnitysratkaisu. Hydrauliiikan osalta työssä käsiteltiin hydrauliikkamootorin mitoitus, mutta rajattiin pois hydrauliiikkaohjauksen sekä hitsisaumojen mitoitukset sekä tarkemmat kustannuslaskelmat.

<sup>1</sup> Asiasanat: tuotekehitys, kustannustehokkuus, tietokoneavusteinen suunnittelu.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author/s: Eero Vuorio

Title of thesis:

Dimensioning the rotary device and designing its mounting for the bucket brush

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2024

Number of pages: 52

Number of appendices: 0

---

The topic of this thesis was the sizing of the bucket brush spinner and its attachment design. The bucket brush is an accessory for tractors or other property maintenance machines. It is used to sweep loose materials such as sand, leaves, and gravel from paved roads and squares.

The thesis originated from the client company's need to improve the usability of the bucket brush. The client was Honkajoki Works Oy, specializing in the design and manufacture of buckets and accessories for earthmoving and property maintenance machines. The goal of the study was to calculate the dimensions of a spinner for the company's bucket brush model and to design a floating and cost-effective attachment solution for the spinner, complete with documentation, for production. With the spinner, the sweeping angle of the bucket brush can be changed infinitely, which hastens work and improves safety and ergonomics.

The study was a product development project. It began with familiarizing with the topic and preparing the client's requirements. The stages included brainstorming and defining requirements, planning preliminary design, sizing of the spinner, planning part design and assembly design, and preparing manufacturing drawings and a parts list. The CAD software used was Siemens Solid Edge 2023. On the software's simulation side, durability and cost-efficiency optimization were performed using FEM analysis, and the results of the FEM analysis were presented in the work. The theoretical part discussed with DFM (Design for Manufacturing) and screw joints. It presented design solutions according to DFM principles, as well as the principles of spinner selection and screw joint sizing. The design solutions made were justified.

The result was a suitable spinner for use and an attachment solution that met the client's requirements. As far as hydraulics was concerned, the study covered the sizing of the hydraulic motor but excluded the sizing of the hydraulic control system and weld seams, as well as detailed cost calculations.

<sup>1</sup> Keywords: Product development, Cost-efficiency, computer-aided design.

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoite.....	10
1.3 Yrityksen esittely .....	10
2 KAUHANPYÖRITTÄJÄ JA KAUHAHARJA.....	11
2.1 Tietoa kauhanpyörittäjästä .....	11
2.2 Pyörittäjän rakenne ja toimintaperiaate .....	12
3 DFM .....	14
3.1 DFM ja sen tavoitteet .....	14
3.2 DFM:n periaatteet.....	14
3.3 DFM:n edut.....	16
4 RUUVILIITOKSET .....	18
4.1 Perustietoa .....	18
4.2 Ruuvin lujuus.....	18
5 TYÖN TOTEUTUS .....	19
5.1 Lainsäädäntö ja koneturvallisuusstandardi.....	19
5.2 Ideointi ja vaatimuslista .....	20
5.3 Karkeasuunnittelu.....	21
5.4 Pyörittäjän mitoitus .....	21
5.4.1 Ensio-, toisio- ja kallistusmomentti .....	23
5.4.2 Hydraulikkamoottorin mitoitus .....	27
5.4.3 Pitomomentti .....	28
5.4.4 Lasketut tekniset ominaisuudet pyörittäjän valintaa varten .....	30
5.4.5 Pyörittäjän valinta.....	30

5.5	Osasuunnittelu .....	33
5.5.1	Suunnittelu DFM-periaatteiden mukaisesti .....	34
5.5.2	Kellunnan mahdollistava rakenne .....	35
5.6	Kokoonpanosuunnittelu .....	36
5.7	Valmistuskuvien ja osaluettelon laadinta .....	38
6	PYÖRITTÄJÄN KIINNITYKSEN RAKENNE .....	39
6.1	Levyosat .....	39
6.2	Ruuviliitosten toteutus .....	40
6.2.1	Ruuvin halkaisijan mitoittaminen .....	41
6.2.2	Ruuviliitoksen mitoitus .....	42
6.2.3	Kokoonpanon kestävyuden FEM-simulointi .....	45
6.2.4	Valmis tuote .....	47
7	POHDINTA JA YHTEENVETO .....	49
	LÄHTEET .....	51

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kauhanpyörittäjä kallistusominaisuudella varustettuna.....	11
Kuva 2. Yrityksen valmistama kauhaharja. ....	12
Kuva 3. Mensen (i.a.) Rotaattorin Cad-malli. ....	13
Kuva 4. Suunnitteluprosessin kuvaus. ....	19
Kuva 5. Ulkomittojen hahmottelua .....	21
Kuva 6. Kallistusmomentti.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
Kuva 7. Korjauskertoimet kierukkavaihteelle .....	26
Kuva 8. Törmäyksen aiheuttama momentti.....	28
Kuva 9. MER 14 tekniset tiedot ja vaadittu pitomomentti.....	31
Kuva 10. MER 17 tekniset tiedot ja vaadittu pitomomentti.....	31
Kuva 11. Pyörittäjän mukainen ruuvijako .....	32
Kuva 12. Pyörivä 4- kanavainen hydraulikkaliitin .....	33
Kuva 13. Kellunnan mahdollistava rakenne. ....	35
Kuva 14. Välysten aikaansaama kelluvuus Y-tasossa.....	36
Kuva 15. Suunnittelun kokoonpano. ....	37
Kuva 16. Uloin poskilevy.....	39
Kuva 17. Ruuviliitos. ....	40
Kuva 18. Ruuviliitoksen toteutus.....	43
Kuva 19. Puristusvoiman aiheuttama jännitys .....	45
Kuva 20. Alakokoonpanoon kohdistuvat jännitykset.....	46

Kuva 21. Valmis tuote kokoonpantuna .....	47
Kuva 22. Oletettu näkyvyys kuljettajan perspektiivistä.....	47
Kuva 23. Valmis kokoonpano liitettynä kauhaharjaan.....	48
Kuva 24. Valmis tuote kokoonpantuna ja liitettynä harjakauhaan, kuva sivulta. ....	48
Taulukko 1. Toimeksiantajan vaatimukset. ....	20
Taulukko 2. Pyörittäjälle lasketut tekniset ominaisuudet. ....	30

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Cad</b>	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
<b>DFM</b>	Design for manufacturing.
<b>Ensiönopeus</b>	Hydrauliikkamoottorin ja kierukkaruuvien pyörimisnopeus 1/min.
<b>Esikiristysvoima</b>	Kitkavoima, minkä ruuvi aiheuttaa liitettävien osien välille.
<b>FEM</b>	Finite element method. CAD-ohjelman lisäosa, joka simuloi malliin kohdistuvia jännityksiä.
<b>Plastinen-</b>	
<b>Myötölujuus</b>	Jännityksen arvo, minkä materiaali kestää ilman pysyvää muodonmuutosta.
<b>Rotaattori</b>	Pyörittäjä
<b>Toisionopeus</b>	Kierukkapyörän, eli pyörittäjän pyörimisnopeus 1/min,
<b>1/min</b>	Kierrosta minuutissa.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö on tuotekehitysprojekti. Opinnäytetyön aihe lähti yrityksen tarpeesta saada mitoitetta oikeanlainen pyörittäjä kauhaharjamallistoonsa ja suunnitella sille kelluva kiinnitysratkaisu. Kelluvuus takaa tien pinnan myötäilyn vuoksi paremman harjausjäljen. Pyörittäjän avulla kauhaharjan harjausominaisuuksia saadaan paremmiksi ja työn suorittamista turvallisemmaksi. Työn toimeksiantaja on Honkajoki Works Oy, minkä erikoisalaa on maansiirto- ja kiinteistöhuoltokoneiden kauhojen ja lisälaitteiden suunnittelu sekä valmistus.

Maanrakennus ja kiinteistöhuoltoalalla vallitsevan kovan kilpailutilanteen vuoksi yksi keino lisätä työn tehokkuutta on parantaa koneiden ominaisuuksia. Tämä opinnäytetyö käsittelee yrityksen kauhaharjamallistoon mitoittavaa pyörittäjää ja sen kiinnityksen suunnittelua. Pyörittäjän avulla kauhaharjasta saadaan käyttäjäystävällisempi ja monipuolisempi, kun voidaan muuttaa kauhaharjan harjauskulmaa rajattomasti 360 astetta pyörivän pyörittäjän avulla. Tämä lisää työn teon joustavuutta sekä turvallisuutta parantaen koneen kuljettajan näkyvyyttä tietyissä tilanteissa. Pyörittäjän käyttö mahdollistaa myös sen, että harjaus voidaan suorittaa poikkeuksetta etuperin ajaen, mikä parantaa työergonomiia.

Tässä työssä käytetty CAD-ohjelmisto on Siemens Solid Edge 2023. Ohjelmistolla piirrettiin 3D- mallinnukset osista ja kokoonpanoista, sekä tehtiin kokoonpano- ja valmistuskuvat. Kuormitustarkastelu tehtiin ohjelman simulaatiopuolella FEM- analyysiä hyödyntäen. Näin saatiin varmuus rakenteiden kestävydestä. Pyörittäjän kiinnitys kauhaharjan ja etukuormaajan välille toteutettiin pääosin levyosista. Työssä perustellaan käytettävien materiaalien valinta, tarkastellaan tuotekehitystä DFM:n näkökulmasta sekä tarkastellaan kestävyttä valmistuskustannustehokkuus huomioiden. Työstä on rajattu pois hydraulikkaohjauksen suunnittelu sekä hitsisaumojen mitoittaminen sekä tarkemmat valmistuskustannukset.

FEM- analyysiä hyödyntämällä saatiin tuote optimoitua painon, kustannustehokkuuden ja kestävyys suhteen. Näin saatiin valituksi esimerkiksi optimaalisin levyvahvuus. Kauhaharjan kiinnitys suunniteltiin "kelluvaksi", mikä mahdollistaa kauhaharjan pystysuoran myötäilyn tien pinnan muotoja mukaillen parantaen harjaustyön jälkeä. Työn yksityiskohtaiset tulokset, kuten valmistuskuvat, luovutettiin ainoastaan toimeksiantajan käyttöön.

## 1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on mitoittaa toimeksiantajan mallistossa olevaan kauhaharjamalliseen käytön kestävä pyörittäjä sekä suunnitella kelluvarakenteinen ja mahdollisimman valmistuskustannustehokas pyörittäjän kiinnitysratkaisu yritykselle valmistettavaksi tuotantoon. Valmistuessaan tuote lisää työn joustavuutta, ergonomiata ja turvallisuutta. Tavoitteena on tuottaa tarvittavat dokumentit, joita tässä tapauksessa ovat esimerkiksi 3D-malli sekä valmistus- ja kokoonpanokuvat osaluetteloinen.

## 1.3 Yrityksen esittely

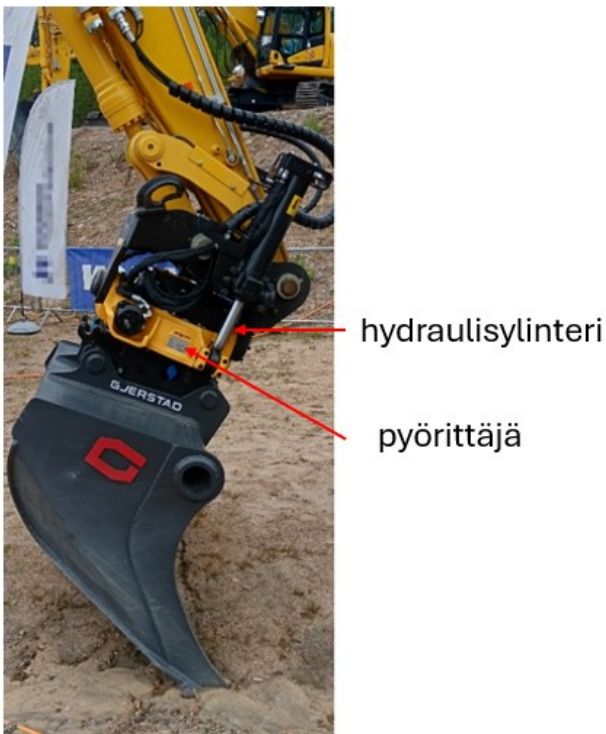
Honkajoki Works Oy on Pohjois-Satakunnassa, Honkajoella sijaitseva, vuonna 2001 perustettu nykyaikainen konepajayritys, jonka erikoisalaa on maansiirto- ja kiinteistöhuoltokoneiden kauhojen ja lisälaitteiden suunnittelu sekä valmistus (Honkajoki Works, i.a.). Yritys valmistaa tarvittavia räätälöityjä ratkaisuja moniin eri tarpeisiin. Suunnittelu ja valmistus on 100-prosenttisesti kotimaista, mikä osaltaan takaa tuotteiden korkean laadun. Tuotteiden suunnittelussa on huomioitu asiakkaiden käyttökokemukset ja sen ansiosta tuotteiden kestävyys ja materiaalit ovat huipputasoa. Yrityksen henkilöstön koko on noin kaksikymmentä henkilöä ja liikevaihto vuonna 2023 oli reilu 3 miljoonaa euroa (T. Laitolahti, henkilökohtainen tiedonanto, 5.9.2024).

## 2 KAUKANPYÖRITTÄJÄ JA KAUAHARJA

### 2.1 Tietoa kauhanpyörittäjästä

Kauhanpyörittäjät ovat yleistyneet erityisesti kaivinkoneiden lisälaitteina, parantaen huomattavasti työn ketteryyttä, tarkkuutta sekä joustavuutta (Rototilt, i.a.). Pyörittäjän avulla kauhaa saadaan pyöritettyä rajattomasti pysty akselinsa ympäri, mikä mahdollistaa kauhalla pääsyn vaikeisiin paikkoihin. Niitä on yleisesti saatavilla aina 1,5–35 tn kaivinkoneisiin. Kaivinkoneiden pyörittäjissä on usein myös hydraulikkasyylintereillä toteutettu kallistusominaisuus, mikä mahdollistaa kauhan kallistamisen myös pystysuunnassa, kuten kuvasta 1 näkyy.

Kauhanpyörittäjien historia alkaa 1980-luvulta, jolloin ensimmäiset pyörittäjät tulivat markkinoille Ruotsissa (Päiviö, 2009). Suomessa valmistus aloitettiin vuonna 1993 ja käyttö alkoi yleistymään nopeasti, kun niiden tarjoamat edut huomattiin. Erityinen etu saatiin taajamaoloissa, missä kauhan kallistuksen ja pyörittäjän yhdistelmä helpotti kaivamista tiheissä putki- ja kaapeliviidakoissa. Nykyään pyörittäjä on lähes vakiovaruste kaivinkoneissa. Pyöräalustaisiin koneisiin se asennetaan jo yli 90-prosenttisesti. Nykyään Suomen markkinoilla on useita valmistajia.



Kuva 1. Kauhanpyörittäjä kallistusominaisuudella varustettuna.

Kauhaharja on traktorin lisälaitte (kuva 2), mikä kiinnitetään esimerkiksi traktorin etukuormajaan. Kauhaharjaa käytetään irtoavan aineksen, kuten hiekan, lehtien ja irtosoran harjaamiseen pois päällystetyiltä teiltä ja aukioilta (Sami, 2016, s. 3). Edessä pyörivä harja siirtää roskat kauhaan, mikä täytyttyään tyhjennetään siirtämällä lakaisuharja syrjään yleensä hydrauliliikkasyylinterien avulla ja kippaamalla kauhaa. Kauhaharja on hyvin helppohuoltoinen lisälaitte.

Kauhaharja voidaan varustaa muun muassa kastelujärjestelmällä, mikä sitoo katupölyä työkenneltäessä (Kuva 2, punaiset nuolet). Tässä työssä mitoitetaan alla olevaan kauhaharjallistoon pyörittäjä, minkä avulla kauhaharja saadaan pyörimään rajattomasti 360° (kuva 2 mustat nuolet) sekä suunnitellaan pyörittäjälle asianmukainen kiinnitys.

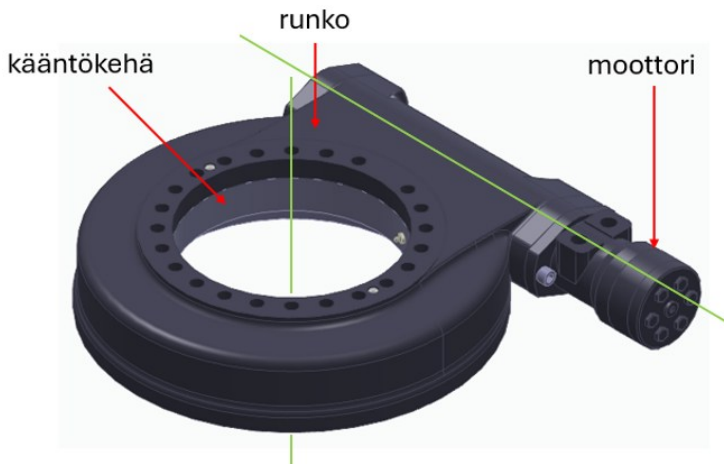


Kuva 2. Yrityksen valmistama kauhaharja (Honkajoki Works, 6.4.2024).

## 2.2 Pyörittäjän rakenne ja toimintaperiaate

Pyörittäjän rajaton pyöriminen perustuu kierukkaruuviin- ja pyörään sekä kierukkaruuvia pyörittävään moottoriin, joka voi olla sähkö tai hydraulikkamoottori. Kuvassa 3 on erään pyörittäjän, eli rotaattorin, cad-malli. Kääntökehä on laakeroitu kierukkapyörään, jota kuvassa näkyvä

hydrauliikkamoottori pyörittää kierukkaruuvien hammastusten välityksellä, saaden kääntökehän rajattomasti pyörimään suhteessa pyörittäjän runkoon.



Kuva 3. Menses rotaattorin cad-malli (i.a.).

Kierukkapyörä ja kierukkaruuvi muodostavat yhdessä vaihteen, jonka akselit ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden eri tasoissa (Mekanex, i.a.). Vihreät viivat kuvassa 3, kuvaavat akselien suuntaa. Pyörittäjä on rakenteeltaan kierukkavaihte. Kierukkavaihteella saavutettava etu on suuri välityssuhde yhdessä portaassa. Välityssuhteen määrittää kierukkapyörän hammasluku sekä kierteen pääluku. Välityssuhteella tarkoitetaan tässä sitä suhdetta, kuinka monta kierrosta kierukkaruuvien tulee pyöriä yhtä kierukkapyörän kierrosta vastaan.

Kierukkaruuvi pyörii kierukkapyörää vasten. Kierukkapyörän hampaat on muotoiltu kierukkaruuvien hampaita vastaaviksi. Kierukkapyörän rakenne noudattaa lieriömäisen hammaspyörän rakennetta. Kierukkaruuvien teho siirtyy pyöriessään kierukkapyörään. Kierukkaruuvien pyöriessä täyden kierroksen, pyörä kääntyy aina tietyn kulmamäärän, joka vastaa kierukkaruuvien ja pyörän kierteiden määrää. Kierukkavaihteille tyypillistä on melko alhainen hyötysuhde.

## 3 DFM

### 3.1 DFM ja sen tavoitteet

DFM on lähestymistapa tuotesuunnittelun optimointiin. (Anthony, 2023) Sen tarkoitus on optimoida tuotteen suunnittelu niin, että se olisi helpompi ja kustannustehokkaampi valmistaa. DFM:n kolme tavoitetta ovat virtaviivaistaa ja yksinkertaistaa tuotantoprosessia, pienentää valmistus- ja kokoonpanokustannuksia sekä säilyttää tai parantaa tuotteen laatua.

### 3.2 DFM:n periaatteet

Anthonyyn (2023) mukaan DFM:n periaatteet voidaan jakaa 9 eri osaan, joita ovat seuraavat:

#### **Yksinkertaistaminen.**

Pyritään mahdollisimman yksinkertaiseen suunnitteluun tuotteen vaatimukset ja toiminnallisuus huomioiden. Suunnittelun avulla pyritään saamaan komponenttien määrä minimiin, se tuo säästöjä kokoonpanossa ja vähentää tuotantoprosessin monimutkaisuutta. ”Paras muotoilu on yksinkertaisesti toimiva”.

#### **Kokoonpano.**

Osat tulisi suunnitella mahdollisimman helposti yhteensopiviksi kokoonpanoa varten käyttäen apuna linjauksia, symmetrisyyttä, kohdistuksia ja kiinnityksiä. Nämä vähentävät virheiden mahdollisuutta kokoonpanossa ja nopeuttavat kokoonpanoa. Manuaalisten kokoonpanojen määrää tulisi minimoida.

#### **Yhdenmukaista.**

Tulisi suosia standardikomponentteja, materiaaleja ja prosesseja aina mahdollisuuksien mukaan, tämä vähentää kustannuksia.

**Materiaalit.**

Materiaaleiksi tulisi valita helposti työstettävät, saatavilla olevat ja kustannustehokkaat, prosessiin sopivat materiaalit.

**Toleranssit.**

Tulisi minimoida tiukkojen toleranssien tarve suunnittelussa ja varmistua, että komponentit sopivat toisiinsa oikein. Turhia ja liian tiukkoja toleransseja tulisi välttää, ne lisäävät kustannuksia ja voivat vaikeuttaa kokoonpanoa.

**Ympäristö.**

Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tuotteen käyttöympäristö ja suunnitella tuote sen mukaan. Tuotteen jokaisen komponentin tulee kestää vallitsevat olosuhteet.

**Kriittinen tarkastelu.**

Säännöllisten suunnittelukatsausten pitäminen moniammatillisen tiimin kanssa auttaa saavuttamaan tuotteelle asetetut tavoitteet. Tiimin koostuessa eri osastojen asiantuntijoista, se tunnistaa mahdolliset valmistukseen liittyvät haasteet, arvioi kustannuksia ja laatua sekä ehdottaa suunnitteluun parannuksia. Katsauksia tulisi toistaa säännöllisin väliajoin.

**Prototyyppi ja testaus.**

Tuotteesta tulisi tehdä prototyyppi ja varmistaa näin suunnitelman toimivuus. On varmistettava, että tuote ja komponentit ovat kaikkien standardien mukaisia. Standardit voivat olla alan yleisiä tai yrityksen omia standardeja.

**Prosessi.**

Tuotteen valmistukselle tulisi valita optimaalinen valmistusprosessi perustuen kustannuksiin, konekantaan ja tuotantomäärään. Prosessin automatisointi voi tuoda kustannussäästöjä työvoimakustannuksissa ja parantaa työn laatua.

### 3.3 DFM:n edut

Anthony'n (2023) mukaan DFM:n käyttöönotto tuotesuunnitteluprosessissa tarjoaa useita pitkän aikavälin etuja. DFM:n tärkeimpiä etuja ovat seuraavat:

#### **Kustannusten aleneminen.**

DFM auttaa tunnistamaan ja poistamaan tuotteesta ominaisuuksia, jotka lisäävät valmistus tai kokoonpanokustannuksia.

#### **Parempi laatu.**

DFM pyrkii poistamaan suunnittelusta piirteitä, jotka ovat alttiina valmistusvirheille. Yksinkertaisempi tuotteen suunnittelu tuo säästöjä kokoonpanovaiheessa ja minimoi mahdollisia kokoonpanon virheitä.

#### **Tuotteen parempi suorituskyky.**

DFM voi parantaa tuotteen suorituskykyä optimoimalla sen ominaisuuksia, käytettäviä materiaaleja ja valmistusprosesseja.

#### **Hukan ja virheiden väheneminen.**

DFM vähentää valmistusvirheiden määrää lisäten kustannustehokkuutta, ja se auttaa tekemään prosesseista laadukkaampia.

**Lisääntynyt tuotannon tehokkuus**, tuotteiden optimaalinen suunnittelu auttaa saavuttamaan korkeamman tuotannon tehokkuuden vähentämällä läpimenoaikoja ja työvoimakustannuksia.

#### **Kilpailuetu.**

DFM:n periaatteet voivat auttaa saavuttamaan kilpailuetua markkinoilla muun muassa nopeammalla toimitusajalla, laadukkaammalla tuotteella sekä edullisemmalla hinnalla.

**Säännösten noudattaminen.**

Tuotetta koskevien säädösten ja turvallisuusstandardien huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa vähentää reklamaatioita ja kalliita uudelleensuunnitteluja.

**Innovatiivisuuden lisääntyminen.**

DFM rohkaisee luovaan ongelmanratkaisuun jo suunnitteluvaiheessa, mikä voi johtaa innovatiivisiin ratkaisuihin luoden kilpailuetua markkinoilla.

## 4 RUUVILIITOKSET

### 4.1 Perustietoa

Ruuviliitos on koneenrakennuksessa yleisin uudelleen irrotettava kiinnitysliitos. Sen asentaminen ja purkaminen on helppoa (Ferrometal, i.a., luku 7, s.31). Ruuviliitoksen hyötyjä ovat oikein asennettuna luotettavuus ja edullisuus. Ruuviliitoksen haasteina voidaan pitää myös luotettavuutta, vaikeasti hallittavan kiristysmomentin suhteen. Ruuvissa on kierteiden vuoksi paljon epäjatkuvuuskohtia, joissa ilmenee kuormituksen alaisena jännityshuippuja. Usein kuormittavat voimat ovat akselin suuntainen voima sekä sitä vastaan kohtisuorassa oleva leikkausvoima. Vaativat ruuviliitokset pyritään toteuttamaan niin, että akselin suuntainen kiristysvoiman aiheuttama kitkavoima on leikkausvoimaa suurempi. Silloin kitkavoima siirtää leikkausvoiman kappaleesta toiseen, jolloin mutterin kiristysväntömomentista aiheutuva leikkausvoima on ruuvin varren ainoa leikkausvoima. Tämän takia ruuvin vetomurtolujuus on ruuvin tärkein ominaisuus. Ruuviliitoksen kestävyys kannalta ratkaisevaa on oikea esikiristysvoima. Mitä tarkemmin esikiristysvoima voidaan määrittää, sitä kevyemmäksi ja näin ollen edullisemmäksi liitos voidaan suunnitella.

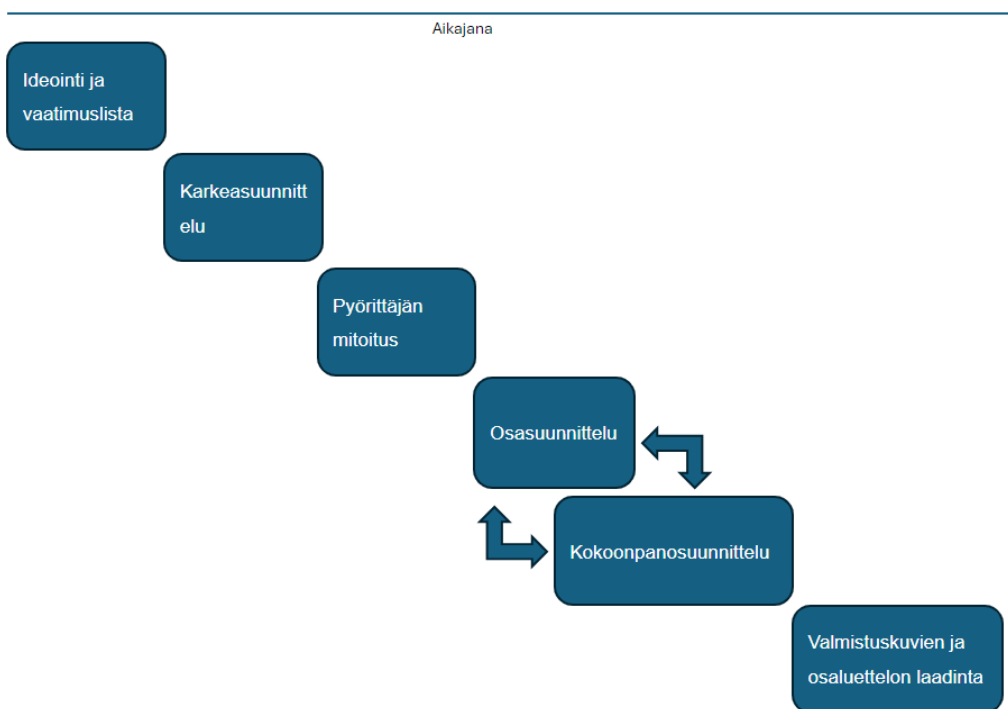
Riittämätön esikiristysvoima voi aiheuttaa ruuviliitoksen liitospintojen irtoamisen aksiaalikuormituksessa, jännitysamplitudin kasvamisen, ruuvin väsymisen, mutterin löystymisen tärinän vaikutuksesta, tai liitoksen liukumisen leikkauskuormien vaikutuksesta (Ferrometal, i.a., luku 7, s.31). Liiallinen esikiristysvoima voi puolestaan johtaa ruuvin ylikuormittumiseen staattisen kuormituksen aikana, ruuvin löystymiseen plastisen muodonmuutoksen vuoksi ulkoisen veto-kuormituksen alla, tai ruuvin murtumiseen jo kiristysvaiheessa.

### 4.2 Ruuvin lujuus

Yleisesti konerakennuksessa käytettävien standardoitujen ruuvien lujuusmerkintä on näkyvässä ruuvin kannassa. Lujuusluokkamerkintä kertoo murtolujuuden sekä myötölujuuden (Lepola & Ylikangas, 2016, s. 320). Esimerkiksi merkintä 12.9 osoittaa pultin murtolujuuden olevan vähintään  $1200 \text{ N/mm}^2$  (1200 MPa). Pisteän vasemmanpuoleinen numero osoittaa sadososan ruuvin murtolujuudesta. Pisteän jälkeinen 9 tarkoittaa, että myötölujuus on vähintään 90 % murtolujuudesta, eli tässä tapauksessa  $1200 \text{ MPa} \cdot 0.9 = 1080 \text{ MPa}$ .

## 5 TYÖN TOTEUTUS

Kuvassa 4 näkyy suunnitteluprosessin kuvaus vaiheittain. Myöhemmin työssä käsitellään jokaista vaihetta erikseen.



Kuva 4. Suunnitteluprosessin kuvaus.

Ennen suunnittelutyön aloittamista tutustuttiin voimassa oleviin koneturvallisuusstandardeihin.

### 5.1 Lainsäädäntö ja koneturvallisuusstandardi

Koneasetuksen mukaan valmistajan vastuulla on antaa koneelleen CE-merkintä osoituksena koneen olevan asetuksen mukainen (Rapinoja, 2021).

Kone ja nostoapuvälineet on suunniteltava ja rakennettava kestämään staattisten kokeiden ylikuorma ilman pysyvää vauriota tai näkyvää vikaa. Lujuuslaskelmissa on otettava huomioon staattisen testin kertoimen arvot, jotka on valittu riittävän turvallisuustason varmistamiseksi.

Asetuksen mukaan yleisesti voidaan käyttää nostoapuvälineille varmuuskerrointa 1,5 ja muille koneille 1,25 (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta, 400/2008).

Kauhaharja on kuitenkin altis ulkoisille iskumaisille voimille, joten suunnittelussa lähdettiin tavoittelemaan varmuuskerrointa 2 kiinnitysten osalta ja tärkeimmäksi pyörittäjän kriteeriksi valittiin törmäyksen aiheuttama pitomomentin riittävyys. Pyörittäjään kohdistuvia voimia tarkastellaan tarkemmin luvuissa 5.4.1 ja 5.4.3.

## 5.2 Ideointi ja vaatimuslista

Taulukossa 1 on toimeksiantajalta saatu lista vaatimuksista, mitkä työn tulee täyttää. Ideointivaiheeseen kuuluu myös jo olemassa olevien vastaavien kauhaharjan pyörittäjien kiinnityksiin tutustuminen. Kilpailijoiden tuotteisiin tutustumalla saatiin käsitys kiinnitysten toteutuksista. Ideointivaiheessa etsittiin myös kontakteja pyörittäjien toimittajista, joilta saatiin eri pyörittäjistä tarkempaa tietoa.

Taulukko 1. Toimeksiantajan vaatimukset.

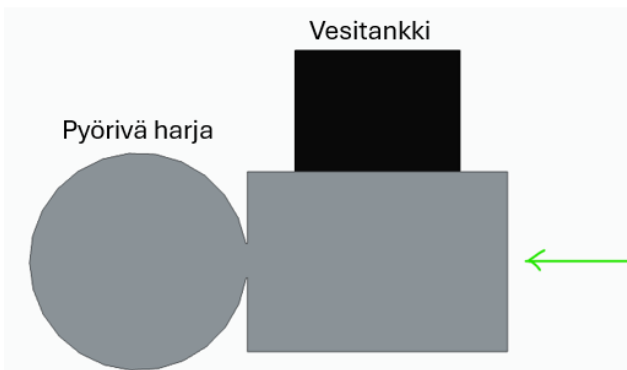
1.	Optimaalisen pyörittäjän mitoitus
2.	Käytön kestävä rajaton pyöritys
3.	Kellunta kiinnityksessä pyörittäjän yläpuolella
4.	Läpivienti hydraulikalle ja vedelle
5.	Työturvallisuuden lisääminen harjaustyöskentelyssä

Vaatimuslistan vaatimuksista luotiin konkreettiset tavoitteet suunnittelulle:

- Optimaalisen pyörittäjän tärkeimmiksi kriteereiksi valitaan pitomomentti ja hinta.
- Kestävyys taataan simuloimalla/laskemalla varmuuskertoimeksi kiinnitysten osalta 2 ja pyörittäjän osalta riittävällä pitomomentilla. Rajaton pyöriminen toteutetaan pyörivän hydraulikkaliittimen sekä kierukkavaihteisen pyörittäjän avulla.
- Kellunta suunnitellaan pyörittäjän yläpuolelle vaihdettavin kulutusholkein. Kelluntatavoitteeksi asetetaan minimi, 60 mm.
- Osasuunnittelussa huomioidaan hydraulikan ja veden läpiviennit.
- Kauhaharjan pyörittäjän kiinnitysratkaisun tulee haitata kuljettajan näkyvyyttä mahdollisimman vähän, vesisäiliön sijoitus tulee miettiä tarkoin. Osasuunnittelussa suositetaan pyöreähköjä muotoja terävien muotojen sijaan. Suunnittelussa pyritään minimoimaan puristumis- ja leikkautumisriskit. Kun tuotetta käytetään, se parantaa työergonomiaa- ja turvallisuutta.

### 5.3 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnitteluvaiheessa luotiin yksi kokonainen 2D-malli kauharja ulkomittojen mukaan. Kuvassa 5 musta laatikko kuvaa vesitankkia. Luonnoksesta jätettiin tässä vaiheessa huomiotta osat, mitkä eivät suoraan vaikuttaneet suunnittelun aloittamiseen. Toimeksiantajan toiveena oli vesitankin sijoittaminen suoraan kauharjan päälle. Muita mahdollisuuksia olivat kauharjan takana (vihreä nuoli) tai sijoittaminen pyörittäjän yläpuolelle, tämä olisi haitannut kuitenkin kuljettajan näkyvyyttä nousten melko korkealle, joten kyseinen vaihtoehto hylättiin jo alkuvaiheessa. Ulkomittojen hahmottelun jälkeen, voitiin aloittaa mallintamaan yksittäisiä levyosia kiinnityksen suunnittelemiseksi. Pyörittäjän ulkomittoja ja painoa tarvittiin myös pyörittäjän mitoituksessa, jotka esitetään työn seuraavassa vaiheessa.



Kuva 5. Ulkomittojen hahmottelua.

### 5.4 Pyörittäjän mitoitus

Pyörittäjän valintaa varten tuli laskea pyörittäjään kohdistuvia voimia ja momentteja. Tärkeimmäksi valintakriteeriksi valittiin riittävä pitomomentti, koska törmäystilanne aiheuttaa isoimmat voimat pyörittäjään. Pitomomentin kestäessä on hyvin todennäköistä, että muutkin mitoituksen vaatimat edellytykset täyttyvät. Pitomomentti kuvaa siis sitä voimaa, joka pyörittäjän kierukkavaihteen hammastuksiin kohdistuu tilanteessa, jossa iskumainen voima aiheuttaa siihen äkillistä, voimakasta kuormitusta, kuten esimerkiksi törmäys. Laskemisen helpottamiseksi esivalinta tehtiin Mensen MER14 pyörittäjästä.

Mitoittamista varten laskettiin:

- Ensiömomentti, millä tarkoitetaan kierukkaruuviin kohdistuvaa vääntömomenttia.
- Toisiomomentti, millä tarkoitetaan kierukkapyörään kohdistuvaa nimellistä vääntömomenttia.
- Kallistusmomentti.
- Hydraulikkamoottorin mitoitus.
- Pitomomentti.
- Kierukkaruuvien pyörimisnopeus, eli ensiönopeus.

Pyörittäjiä mitoitettaessa voidaan useasti olettaa pitomomentin olevan kriittisin mitoituskriteeri. (M. Sorvamaa, henkilökohtainen tiedonanto, 12.7.2024) Pitomomentin mukaan tehty mitoitus täyttää muutkin kestävyysliittyvät kriteerit lähes poikkeuksetta.

Pyörittäjissä kierukkaruuvi kiinnittyy suoraan akseliliitoksena hydraulikkamoottoriin, joten ensiönopeus ja vääntömomentti ovat hydraulikkamoottorilla ja kierukkaruuvilla samat. Hydraulikkamoottorille tuleva maksimi tilavuusvirtana sai toimeksiantajan mukaan olla 60 l/min.

Ensiömomentin laskemiseen tarvittavasta välityssuhteesta tehtiin esivalinta Mensen MER 14 kierukkavaihteesta, jonka välityssuhde on 86:1. (Mense, i.a.) Välityssuhde vaikuttaa muun muassa ensiömomentin arvoon ja toisionopeuteen.

Kierukkavaihteelle tyypillistä on alhainen hyötysuhde, 40–50 % (QTec Engineering Oy, 2024). Mensen pyörittäjälle valmistaja antaa hyötysuhteeksi 30–40 % (M. Kylmä, henkilökohtainen tiedonanto, 26.8.2024). Valitaan laskuihin kierukkavaihteiston hyötysuhteeksi 40 %.

### 5.4.1 Ensiö-, toisio- ja kallistusmomentti

Ensiömomentti, eli kierukkaruuviiin ja hydrauliiikkamoottoriin kohdistuva momentti saatiin mekanexin (i.a.) kaavoista kierukkapyörät- ja ruuvit- katalogista kaavalla

$$M1 = M2 / (i * \eta) \quad (1)$$

missä:  $M2$  on toisiomomentti, pyörittäjään kohdistuva momentti (N)

$i$  on välityssuhde

$\eta$  on kierukkavaihteen hyötysuhde (%)

Kierukkapyörään kohdistuva kallistusmomentti ja toisiomomentti  $M2$ , saatiin kaavalla (Taulukot.com, i.a.).

$$M = F * r \quad (2)$$

missä:  $M$  on momentti (Nm)

$F$  on voima N, ( $m * g$ )

missä:  $m$  on massa (kg)

$g$  on putoamiskiihtyvyys 9,81 ( $m/s^2$ )

$r$  on voiman varsi, voiman vaikutussuoran kohtisuora etäisyys pyörimisakseliin (m)

Kyseistä kauharjaa on saatavilla eri kokoisina ja leveimmän paino on 1200 kg (T. Laitolahti, henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Painoon lisätään 200 kg täydestä 200 litran vesisäiliöstä sekä pyörittäjälle suunniteltu kauharjaan kiinnittyvä jalka, jonka paino on 132 kg, jolloin maksimipaino on 1532 kg. Siemens

Solid Edgen mitoitustyökalulla mitattiin massakeskipisteen etäisyys pyörittäjän keskikohtaan, joka oli 137,5 mm, eli voiman varsi.

Kallistusmomentti saatiin laskettua kaavan 2 mukaan kuorman ja putoamiskiihtyvyyden sekä kauharjan massakeskipisteen ja pyörittäjän keskipisteen etäisyyden tulona. Näin saatiin laskettua pyörittäjään kohdistuva kallistusmomentti =  $1532 \text{ kg} \cdot 9,81 \cdot 0,1375 \text{ m} = \text{n. } 2059 \text{ Nm}$ . Mikäli kallistusmomentti ylittäisi pyörittäjän sallitun kallistusmomentin, voisi se vioittaa laakereita. 2059 N:n voima aiheuttaa siis kuormitusta pyörittäjän kierukkavaihteen laakereihin pyrkien taivuttamaan pyörittäjää Z-akselin ympäri massakeskipisteen kohdalta (kuva 6).



Kuva 6. Kallistusmomentti.

Toisiomomentilla  $M_2$  tarkoitetaan tässä voimaa, joka pyörittäjään kohdistuu kauharjan pyöriessä. Se on kauharjan ollessa ilmassa sama kuin kallistusmomentti, mutta toisiomomenttia varten tulee vielä huomioida tilanne, missä kauharjaa pyöritetään sen ollessa kiinni tien pinnassa. Kitkan, etukuormaajan sekä tien pinnan aiheuttaman puristusvoiman vuoksi vaadittava vääntömomentti on tällöin suurempi. Tätä on kuitenkin lähes mahdoton arvioida tarkasti kauharjan ollessa sekä huulilevyn että pyörien varassa ja etukuormaajan painaessa kauharjaa tien pintaa vasten jollakin tuntemattomalla voimalla. Työssä on arvioitu, että käytännöllä kerrointa 1,5 kallistusmomentin suhteen, saadaan riittävä varmuuskerroin pyörittäjän toisiomomentin kestävyys suhteen. Tässä laskettu toisiomomentti kuvaa minimiarvoa pyörittäjän nimellisvääntömomentin kestävyydelle. Lasketun toisiomomentin oletetaan sisältävän myös pyörimisliikkeen alkukiihtyvyyden aiheuttaman väliaikaisen piikin vääntömomentissa. Tällöin  $M_2$  olisi  $2059 \text{ Nm} \cdot 1,5 = 3089 \text{ Nm}$ .

Toisiomomentin ja välityssuhteen ollessa tiedossa saatiin kaavan 1 mukaan laskettua kierukkaruuville tuleva ensiömomentti  $M_1 = 3075 \text{ Nm} / (86 \cdot 0.40) = 90 \text{ Nm}$ .

Suunnittelussa tulee huomioida myös ympäröivät käyttöolosuhteet. Valmista kierukkavaihteista pyörittäjää ostettaessa oletus toki on, että käyttöolosuhteiden vaatimukset on jo huomioitu suunnitteluvaiheessa, mutta työssä päätettiin laskea mieluummin pyörittäjän kestävyys-suhteen hieman yläkanttiin, joten olosuhdekertoimet otettiin näin ollen mitoituksessa huomioon. Tällä ei ollut vaikutusta kuin ensiö- ja toisiomomentin arvoihin lisäten varmuuskerrointa kestävyys-suhteen. Pitomomentin mitoitukseen tällä ei ole vaikutusta, mikä onkin tärkein mitoituskriteeri. Mekanexin (i.a.) Tarkkuuskierukka- & kierukkapyörät katalogista saatiin kierukkaruuvien ja -pyörän valintaan seuraava kaava sekä seuraavat korjauskertoimet

$$T_{2N} \geq T_2 * f_b * f_A * f_t * f_{ED} \quad (3)$$

missä:  $T_{2N}$  on nimellinen vääntömomentti (Nm)

$T_2$  on tarvittava vääntömomentti (Nm)

$f_b$  on käytön tyyppi

$f_A$  on käynnistystiheys

$f_t$  on ympäristön lämpötila (°C)

$f_{ED}$  on käyttöjakso

Käytön tyyppi	fb
Iskuton	1
Servo	1,1
Taajuuskäyttö	1,25
AC-moottori	1,4
Ulkoisia iskuja	1,6
Käynnistystiheys	fA
≤ 60*tunnissa	1
≤ 360*tunnissa	1,1
≤ 1200*tunnissa	1,2
≤ 3600*tunnissa	1,3
Ympäristön lämpötila	ft
≤ 10°C	0,85
≤ 20°C	1
≤ 30°C	1,2
≤ 40°C	1,5
≤ 50°C	1,9
Käyttöjakso	
≤ 25 %	0,7
≤ 40 %	0,9
≤ 60 %	1,1
≤ 70 %	1,2
≤ 100 %	1,4

Kuva 7. Korjauskertoimet kierukkavaihteelle.

Kuvan 7 korjauskertoimien taulukko on tehty Mekanexin (i.a.) Tarkkuuskierukka- & kierukkapyörät katalogista löytyvää taulukkoa mukailien. Keltaisella on merkitty valitut korjauskertoimet olosuhteet huomioiden.

Näin saatiin vaadittavaksi toisiomomentiksi kierukkapyörälle kaavalla 3:

$$3089 \text{ Nm} * 1,6 * 1,1 * 1,2 * 0,7 = 4567 \text{ Nm}.$$

MER 14 nimellisvääntömomentsi on 5869 Nm (Mensen, i.a.). Joten kaavan 3,  $T_2 \geq T_1$  täyttyy ja voidaan jatkaa mitoitus edellä mainitulla pyörittäjällä.

Korjauskertoimien jälkeen uusi kierukalta vaadittava ensiömomentsi M1 on näin ollen kaavalla 1:

$$4567 \text{ Nm} / (86 * 0.40) = 133 \text{ Nm}.$$

### 5.4.2 Hydraulikkamoottorin mitoitus

Hydraulikkamottooriin kohdistuva ensiömomentti  $M_1$  saatiin kaavalla 1.

Nestepaineen (i.a.) sivuilla tilavuusvirran laskemisen kaava on

$$Q = \frac{q \cdot n}{1000} \quad (4)$$

missä:  $Q$  on tilavuusvirta (l/min)

$q$  on pumpun tai moottorin kierrostilavuus (cm<sup>3</sup>)

$n$  on kierrosnopeus (rpm)

Esivalitaan hydraulikkamoottoriksi 125 ccm, mikä kestää 300 Nm:n vääntömomenttia jatkuvasti ja hetkellisesti 340 Nm (Virhydro, i.a.). Maksimitilavuusvirta on 60 l/min ja maksimi kierrosnopeus 475 rpm.

Kaavaa 5 johdattamalla voidaan laskea ensiönopeus, välityssuhteen ja toisionopeuden ollessa selvillä (Mekanex, i.a.). Toisionopeus  $n_2$  on esivalitulle MER 14 pyörittäjälle kevyellä kuormalla 3,5 ja raskaalla kuormalla 2,5. Arvoksi valittiin 3,5.

$$i = n_1/n_2 \quad (5)$$

missä:  $i$  on välityssuhde

$n_1$  on ensiönopeus (rpm)

$n_2$  on toisionopeus (rpm)

Kun esivalinta on tehty välityssuhteesta ja tiedetään toivottu toisionopeus, voidaan kaavaa 5 johdattelemalla laskea ensiönopeus  $n_1$ :

$$n_1 = i \cdot n_2$$

mistä saadaan ensiönopeudeksi:  $86 \cdot 3,5 = 301$  rpm.

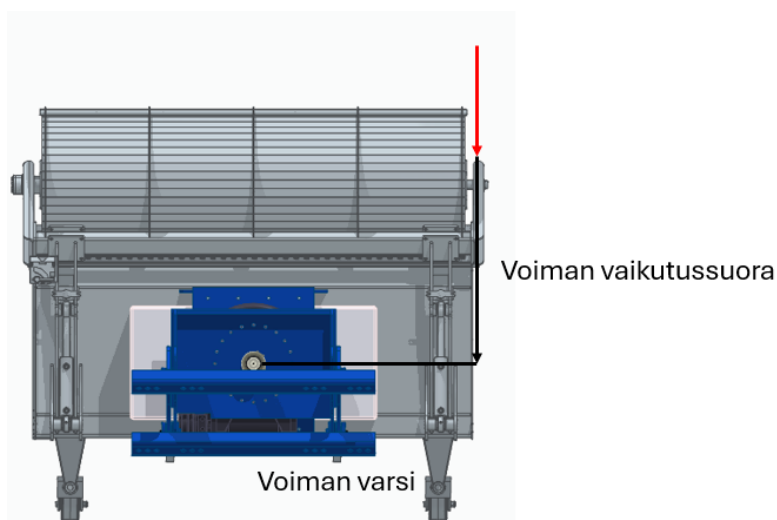
Kaavalla 4 saatiin hydraulikkamoottorin vaatimaksi lopulliseksi tilavuusvirraksi  $Q = 125 \cdot 301 / 1000 = n. 38$  l/min. Näin ollen maksimi tilavuusvirta ei ylity.

Valituissa pyörittäjissä tuli hydraulikkamoottori mukana, joten sen tarkempi määrittäminen ei lopulta ollut tarpeen.

### 5.4.3 Pitomomentti

Mitoittamisen tärkeimpänä kriteerinä pidettiin pitomomenttia, mikä tarkoittaa pyörittäjän kierukkavaihteeseen kohdistuvaa voimaa törmäystilanteessa. Pitomomentin laskemiseksi tuli valita traktorin ja lisälaitteiden yhteispaino (kg), törmäysnopeus (m/s), pysähtymiseen kuluva aika (s) sekä törmäyskohta suhteessa pyörittäjän keskikohtaan, mistä saatiin voiman momentin varsi (m).

Kestävyyden vuoksi tarkasteluun valittiin malliston isoin kauaharja, millä on leveyttä 2,8 m. Tällöin momentin varreksi (kuva 8) tulee 1,4 m, jos törmäys osuu kauaharjan uloimpaan kulmaan (punainen nuoli). Lisäksi tarkastelussa oletettiin, etteivät kauaharjan muut osat jouta törmäyksessä lainkaan. Tosi asiassa myös muut osat joustaisivat, eikä kaikki voima välittyisi pyörittäjän kierukkavaihteistoon.



Kuva 8. Törmäyksen aiheuttama momentti.

Törmäyksestä aiheutuva voima lasketaan kaavalla (Taulukot.com, i.a.)

$$F = m * a \quad (6)$$

missä:  $F$  on voima (N)

$m$  on massa (kg)

$a$  on kiihtyvyys ( $m/s^2$ )

Johon kiihtyvyys saadaan kaavalla (Taulukot.com, i.a.)

$$a = \frac{v-v_0}{t} \quad (7)$$

missä:  $v$  on nopeus alussa (m/s)

$v_0$  on nopeus lopussa (m/s)

Laskemista varten valittu traktori oli Valmet N104, jonka paino on 5350 kg (Konedata, 2024). Traktorin kokoluokka on yleinen kiinteistönhuollossa. Traktorin painoon lisättiin etukuorman paino 500 kg sekä isoimman kauhaharjan paino täyden vesitankin ja pyörittäjän kokoonpanon kanssa 1791 kg. Eli yhteispainoa työkoneella tien päällä olisi n. 7641 kg. Kierukka-vaihteen tuli kestää törmäys nopeudella 5 km/h, joka muutettiin muotoon m/s jakamalla luku 3,6:lla. Vastaukseksi saatiin 1,39 m/s. Oletettiin, että liikkeen pysähtymiseen menisi aikaa 0,25 s. Todellisuudessa kuitenkin kauhaharjan muutkin osat varmasti joustaisivat, jolloin koko törmäysvoima ei kohdistuisi pyörittäjään ja siten pyörittäjä kestäisi törmäyksen suuremmalla-kin nopeudella. Mikäli törmäyskestävyydeksi haluttaisiin laskennallisesti esimerkiksi 10 km/h, niin tällöin pyörittäjän koko olisi jouduttu nostamaan kohtuuttoman suureksi, mikä olisi lisännyt huomattavasti kustannuksia.

Kiihtyvyys on kaavalla 7:  $(1,39 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) / 0,25 \text{ s} = 5,56 \text{ m/s}^2$

Törmäyksen aiheuttamaa momenttia varten laskettiin ensin voima  $F$  törmäyksessä kaavalla 6:  $7641 \text{ kg} \cdot 5,56 \text{ m/s}^2 = 42484 \text{ N}$ .

Voiman  $F$  aiheuttama momentti kierukkavaihteelle laskettiin kaavan 2 mukaisesti:  $M = 42484 \text{ N} \cdot 1,4 \text{ m} = 59478 \text{ Nm}$ . Vaadittava pitomomentti olisi siis n.  $59,5 \text{ kN}$ .

#### 5.4.4 Lasketut tekniset ominaisuudet pyörittäjän valintaa varten

Taulukossa 2 näkyy listattuna määritetyt ominaisuudet, minkä jälkeen voitiin verrata niitä toimittajien pyörittäjien teknisiin ominaisuuksiin.

Taulukko 2. Pyörittäjälle lasketut tekniset ominaisuudet.

ensiömomentin kesto, min.	133	Nm
toisiomomentin kesto, min.	4567	Nm
hydr.moott.kierrostilavuus, min.	125	ccm
kallistusmomentti	2050	Nm
ensiönopeus	301	1/min
toisionopeus		1/min
välityssuhde	86:1	
pidätysmomentin kesto	59478	Nm

#### 5.4.5 Pyörittäjän valinta

Pitomomentin ja kustannustehokkuuden ollessa tärkeimmät valintakriteerit pyörittäjän valinnan suhteen, päädyttiin siihen, että kauharajan mallistossa alle 2000 mm leveisiin malleihin valittiin pyörittäjäksi kierukkavaihte MER14 ja sitä leveämpiin malleihin MER17. Näin pitomomentin kesto saavutetaan valitulla laskennallisella törmäysnopeudella. Kuvissa 9 ja 10 on MER 14 ja 17 kierukkavaihteiden tekniset tiedot sekä Excelillä laskettu vaadittava pitomomentti mallin leveyden mukaan. Vaadittavan pitomomentin arvo poikkeaa hieman yläpuolella lasketusta pitomomentista numeroiden pyöristysten vuoksi.

MER 17 välityssuhde on 104:1, joten kaavalla 1 huomataan, että kierukkaruuviin kohdistuva ensiömomentti pienenee, kun välitys, tai hyötysuhde suurenee (Mensen (i.a.)). Tämän vuoksi ensiömomenttia ei tarvitsisi uudelleen laskea, mikäli kyseisiin kierukkavaihteisiin ei sisältyisi

jo valmiiksi mitoitettu hydraulikkamoottori, vaan edelleen voitaisiin mitoitus suorittaa kierukavaihteen MER 14 tiedoilla.

Tekniset tiedot MER 14	Nm	bar	l/min	kg
Nimellisvääntömomentti	5869,5			
Kallistusmomentti	71200			
Pitomomentti	48000			
Käyttöpaine		50-200		
Öljyn virtauksen tarve			10-->60	
Paino				67
Peruskoneen max. Koko				10 000
Välitussuhde 86:1				
Kauhaharja ≤1800				
nopeus (km/h)	5			
nopeus (m/s)	1,388889			
kokonaispaino k(g)	7612			
pysähtymiseen kuluva aika	0,25			
traktorin + etukuormaaja (k)	5850			
harjakone+pyörittäjä (kg)	1762			
pitomomentti (Nm)	38060			

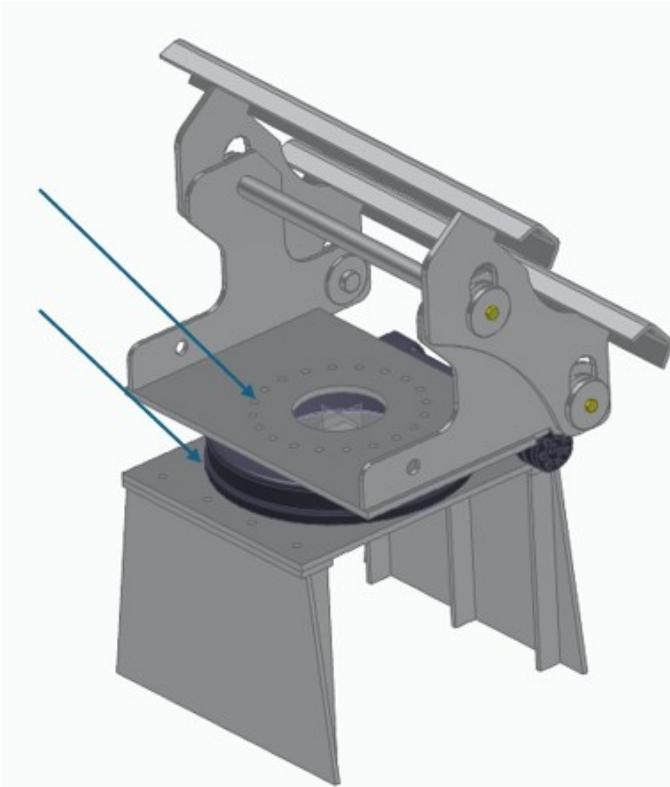
Kuva 9. MER 14 tekniset tiedot ja vaadittu pitomomentti.

Tekniset tiedot MER 17	Nm	bar	l/min	kg
Nimellisvääntömomentti	9464			
Kallistusmomentti	135600			
Pitomomentti	72300			
Käyttöpaine		50-200		
Öljyn virtauksen tarve			10-->60	
Paino				96
Peruskoneen max. Koko				15 000
Välitussuhde 104:1				
Kauhaharja 2000-2800 mm				
nopeus (km/h)	5			
nopeus (m/s)	1,388889			
kokonaispaino k(g)	7641			
pysähtymiseen kuluva aika (s)	0,25			
traktorin + etukuormaaja (kg)	5850			
harjakone+pyörittäjä (kg)	1791			
pitomomentti (Nm)	59430			

Kuva 10. MER 17 tekniset tiedot ja vaadittu pitomomentti.

Pyörittäjän ylä- ja alapuolisiin levyosiin (kuva 11) ei lähdetty suunnittelemaan molempien pyörittäjien ruuvijakoja samoihin levyihin, koska tuolloin ruuvireikien suositeltu minimietäisyys toisiinsa,  $t \geq 3d$  ei olisi toteutunut, joten vaarana olisi ollut liitososien mahdollinen heikentyminen (Blom ym., 1999, s. 55).

Kahden eri pyörittäjäkoon valinnalla oli vaikutuksia siihen, että pyörittäjän ylä- ja alapuoliset levyosat oli suunniteltava kyseisen pyörittäjän ruuvijaon mukaan (kuva 11, vihreät nuolet), eli jalkaosan kattolevy ja pyörittäjän yläpuolinen levy valmistetaan ja kokoonpannaan tuotannossa sen mukaan, kumpi pyörittäjä on kyseessä. Suunnittelu tehtiin siten, että kaikki muut osat ja mitat ovat identtisiä molemmissa kokoonpanoissa.



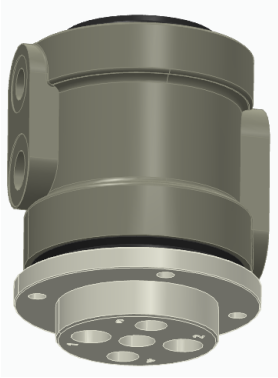
Kuva 11. Pyörittäjän mukainen ruuvijako.

MER 14 hinta oli 1870 € Alv. 0 % sisältäen BMR:n 160 ccm hydraulikkamoottorin. (Mense, i.a.) MER 17 hinta oli 2460 € Alv. 0 % sisältäen BMR:n 200 ccm hydraulikkamoottorin.

Kustannustehokkuuden vuoksi pienempiin kauhaharjoihin ei valittu pyörittäjäksi MER 17 kierukkavaihdetta. Pyörittäjän valinnassa katsottiin pitomomenttia, nimellistä vääntömomenttia sekä hintaa. Kallistusmomentti riitti selvästi molemmissa tapauksissa, kun pitomomentti oli riittävä. Molemmissa tapauksissa pitomomentin ollessa riittävä myös vaadittu nimellismomentti oli riittävä. Yleisesti voidaan siis pitää todennäköisenä, että pyörittäjiä mitoitettaessa pitomomentin mitoitus on tärkein kriteeri.

Pyörittäjän rajattoman pyörimisen mahdollistamiseksi on pyörittäjän lisäksi asennettava kuvan 11 ylemmän nuolen osoittamaan pohjalevyn pyörivä 4-kanavainen liitin hydraulikan

läpiviennille (kuva 12). Näin harjaa nostaville hydraulikkasyntereille sekä pyörittäjälle saadaan pyörimisen sallima hydraulikkaohjaus. Ilman pyörivää liitintä, hydraulikkaliitännät pettäisivät kiertyessään toisiinsa pyörittäjän pyöriessä. Kyseinen liitin maksaa 682 € Alv. 0 % (Mense, i.a.).



Kuva 12. Pyörivä 4-kanavainen hydraulikkaliitin (Mense, i.a.).

## 5.5 Osasuunnittelu

Tässä työssä käytetty suunnitteluohjelma on Siemens Solid Edge 2023. Kauhaharjan pyörittäjän kiinnityksen osat on suunniteltu ja mallinnettu "part"-sovelluksessa, joka on tarkoitettu yksittäisten osien tai kappaleiden piirteiden mallintamiseen. Osasuunnittelu aloitettiin karkeamallinnuksen ulkomittojen hahmotuttua, jolloin saatiin tietyt määräävät ulkomitat, mikä mahdollisti yksittäisten osien mallintamisen aloittamisen. Pyörää ei kannata keksiä uudelleen, vaan osasuunnittelussa otettiin huomioon eri valmistajien ratkaisuja, mitä ei lähdetty kuitenkaan kopioimaan.

Hietikon (2015, s.163) mukaan nyrkkisääntönä voidaan pitää, että tuotteen elinikäisistä kustannuksista jopa 80 % muodostetaan sen suunnitteluvaiheessa ja niin ikään 20 % tuotteen osista muodostaa jopa 80 % sen kokonaiskustannuksista. Tämäkin korostaa suunnittelun tärkeyttä tuotteen koko elinkaarikustannukset huomioiden. Suunnittelun aikana tulee myös huomioida valmistavan yrityksen konekanta sekä valmistuksen edellytykset ja järkevyys. Toimeksiantajalta varmistettiin katsauksissa, että valmistus onnistuu yrityksen omalla konekannalla, ilman alihankintaa.

### 5.5.1 Suunnittelu DFM-periaatteiden mukaisesti

Osa- ja kokoonpanosuunnittelussa huomioitiin DFM:n periaatteet, joiden mukaan suosittiin symmetrisiä osia kokoonpanon helpottamiseksi ja valmistettavien eri osien määrän rajaamiseksi. Osasuunnittelussa suosittiin kohtisuoria kulmia mitoituksen helpottamiseksi. Osiin, joissa ei ollut järkevä käyttää kohtisuoria kulmia mitoittamisen ja kohdistamisen helpottamiseksi, suunniteltiin kohdistusta ja asennusta helpottavia reikiä tai ulokkeita. Osasuunnittelussa optimaalista oli suunnitella osat siten, että ne olivat yhteensopivia, tai ettei osia voitu kokoonpanna väärinpäin suhteessa toisiinsa.

Osien määrä pyrittiin minimoimaan saaden osien määrän rajatuksi 14 erilaiseen valmistettavaan osaan. Etukuormaajan kiinnityspalkki on jo ennestään toimeksiantajalla tuotannossa, joten lopullinen kokoonpano sisälsi 13 uutta valmistettavaa osaa.

Akseliosien halkaisijat mitoitettiin niin, että koneistettavaa materiaalityyppiä olisi mahdollisimman vähän. Akselin päät koneistetaan holkkien matkalta, muuten pinta saa jäädä akseliosien koneistamattomaksi, mikä säästää koneistuskustannuksia. Akselin päiden lisäksi kattolevyn kierrereiat ja mahdollisesti ruuviliitosten vapaareiät sekä holkkien sisäpuolet koneistetaan. Lyhyemmät akselit (kuva 13, osa 7) porataan läpi asti, jolloin reikää voidaan käyttää akselien yhdensuuntaiseen kohdistamiseen ennen hitsaamista. Turhia mittatoleransseja vältettiin koneistuskustannusten minimoimiseksi ja tarvittavat toleranssit suunniteltiin mahdollisimman valmistusystävällisiksi yhdessä toimeksiantajan kanssa.

Osasuunnittelussa tuli huomioida myös käytettävät materiaalit, niihin kohdistuvien vaatimusten mukaisesti. Yläkanttiin mitoitettujen materiaalityyppien lisäävät kustannuksia ja vastaavasti alimitoitettujen lisäävät materiaalin murtumisen tai plastisen muodonmuutosten riskiä. Osasuunnittelussa huomioidtiin toimeksiantajan käyttämät levyvahvuudet ja materiaalit sekä konekanta. Suunnittelukatsauksia pidettiin tietyin väliajoin toimeksiantajan sekä ohjaavan opettajan kanssa. Yhteistyötä kierukkavaihteiden toimittajien kanssa tehtiin tarpeen mukaisesti työn alkuvaiheissa.

Osat pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman kevyiksi riittävä kestävyys huomioiden. Yleisesti tiedetään, että kuormituksen alle joutuvien osien teräviä sisäkulmia tulee suunnittelussa välttää, niissä ilmenevien suurien jännityshuippujen vuoksi. Tämä seikka todettiin myös simuloimalla kuormituksia FEM-analyysiä hyödyntäen.

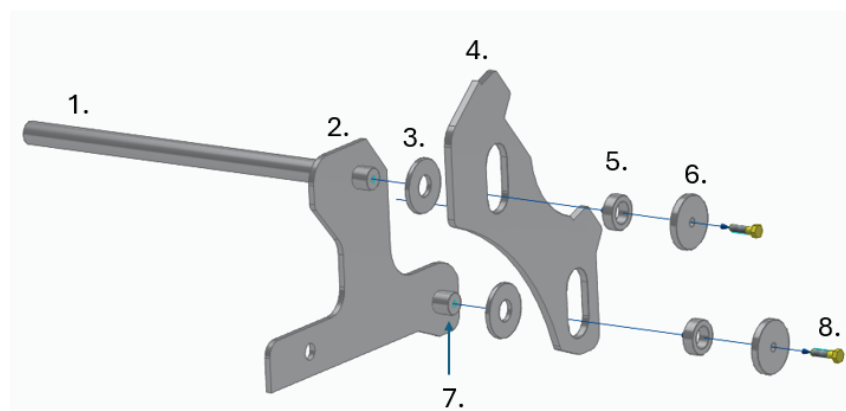
Osamallinnuksia jouduttiin projektin aikana useaan kertaan muokkaamaan, kun huomattiin parempia ratkaisuja, ongelmia itse kokoonpanovaiheessa, tai haluttiin optimoida esteettisyyttä, tai levyvahvuuksia painon ja kustannustehokkuuden vuoksi. Toimeksiantajalta saatiin tieto heidän käyttämistään kiinnitinsovitteista etukuormaajaan ja niiden ruuvijaosta, minkä mukaan kiinnitys suunniteltiin.

Mitoitusten tuli olla selkeitä ja tarkoituksenmukaisia väärinymmärrysten minimoimiseksi, turhia mittoja pyrittiin valmistuskuvissa välttämään. Kokoonpanojen räjäytyskuvat osaluetteloi-neen suunniteltiin palvelemaan kokoonpanon mielekkyyttä.

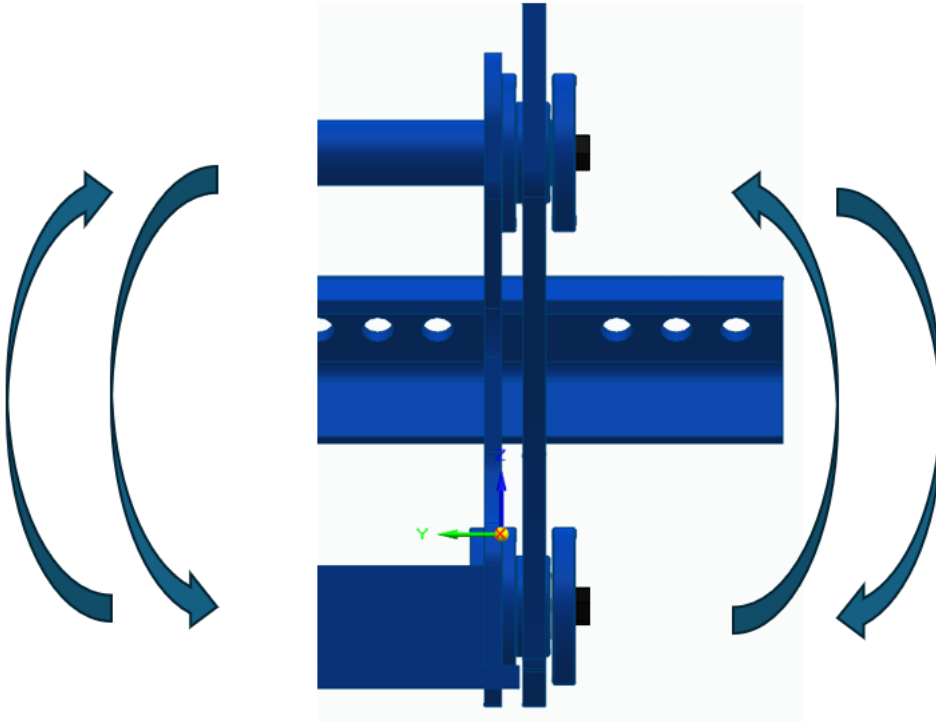
### 5.5.2 Kellunnan mahdollistava rakenne

Kellunta toteutettiin kuvan 13 mukaisesti. Osat on suunniteltu siten, että poskilevyjen (2&4) väliin jää prikan (3) paksuus+ tietty vällys mahdollistaen sujuvamman kelluvuuden. Vällys tulee olla myös päätylaipan ja ulkoposkilevyn välillä, että kauhaharja pääsee hieman kääntymään myös Y-tasossa (kuva 14). Suurempi kelluvuus tapahtuu Z- tasossa. Kelluvuus mahdollistaa 70 mm:n pystysuoran liikkeen (kuva 13, osa 4, soikea reikä). Akseli hitsataan sisäposkilevyyn sisäpuolelta kiinni jäykkyyden takaamiseksi. Kuvan 13 holkissa on pieni säteen ja akselin suuntainen vällys, mikä mahdollistaa mahdollisen pyörimisen kelluvuuden aikana. Laakeroinnille ei nähty tarvetta, koska toiminnallisuus ei vaadi itsessään holkin pyörimistä, vaan se ainoastaan hieman pidentää holkin vaihtoväliä, koska pyöriessään se kuluu tasaisemmin kuvan 13 osan 4 soikeaa reikää vasten. Myös holkin ja soikean reiän välillä on pieni vällys. Vällys ei saa olla kuitenkaan iso, koska silloin kuluminen on nopeampaa. Ilman vällystä taas kokoonpanossa saattaisi tulla ongelmia.

- 1) Akseli
- 2) Sisäposkilevy
- 3) Prikka
- 4) Ulkoposkilevy
- 5) Holkki
- 6) Päätylaippa
- 7) Akseli lyhyt
- 8) 12.9 Ruuvi M16



Kuva 13. Kellunnan mahdollistava rakenne.



Kuva 14. Välysten aikaansaama kelluvuus Y-tasossa.

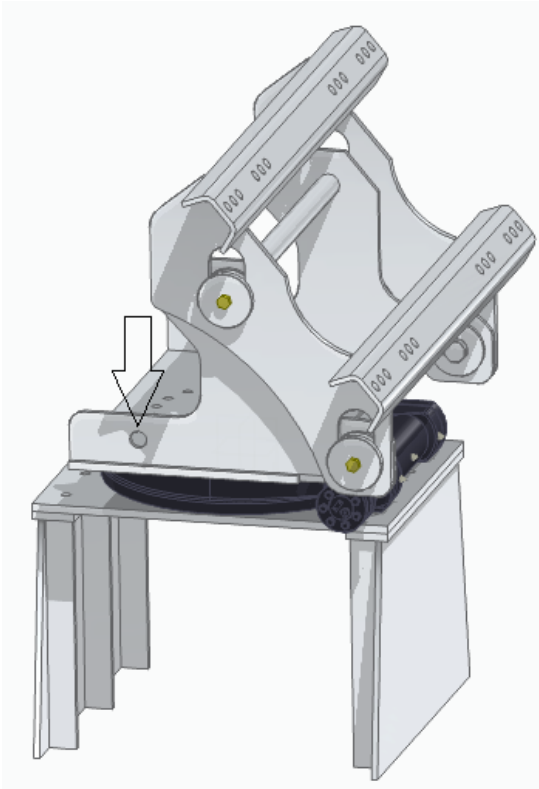
## 5.6 Kokoonpanosuunnittelu

Osat on koottu yhteen Solid Edgen kokoonpanopuolella, missä eri osat voidaan sitoa toisiinsa halutulla tavalla ja tehdä mahdollisia liiketarkasteluja kokoonpanon toimimisen varmistamiseksi. Kokoonpanon simulointipuolella on käytetty FEM-analyysiä jännitysten määrittämiseen ja kestävyden varmistamiseen sekä painon optimointiin. FEM-analyysin avulla saatiin kokoonpanon kestävyttä simuloitua ja siten optimoitua käytettävä levyvahvuus osamallinuksessa. FEM-analyysin tuloksia on nähtävillä luvussa 6.2.3.

Levyvahvuuksien optimointi tuo kustannussäästöjä painon ja sitä kautta hinnan suhteen. Varmuuskertoimeksi tavoiteltiin kuitenkin kiinnitysratkaisun osalta suunnittelussa arvoa 2. Osa-suunnitteluvaihe yhdistyy kokoonpanosuunnitteluun ja kuten suunnitteluprosessin kuvauksesta näkee, joudutaan osa- ja kokoonpanosuunnittelun vaiheita rinnastamaan lähes koko suunnitteluprosessin ajan.

Kuvassa 15 näkyy myös jo pidemmälle edennyt suunnitteluvaihe, missä näkyy myös kokoonpanoa ja huoltoa helpottavat reiät nostoketjua varten. Paikka nostorei'ille on katsottu massakeskipisteen mukaan, kun kokoonpano on kiinnitettyä kauharjaan. Nostoreikiä voidaan

käyttää myös kohdistusakselin ohjainreikänä, jolloin poskilevyt saadaan samaan linjaan toisiinsa nähden kokoonpanohitsauksen aikana. Kiinnityspalkin ruuvijako etukuormaajaan saatiin toimeksiantajan käyttämien sovitteiden mukaan ja mallinnettiin sen mukaisesti.



Kuva 15. Suunnittelun kokoonpano.

## 5.7 Valmistuskuvien ja osaluettelon laadinta

Osista ja kokoonpanoista luodaan valmistuskuvat mittoineen. Leikattavat osat tallennettiin dxf- tiedostomuotoon, joten ne ovat suoraan siirrettävissä yrityksen käyttämän plasmaleikkurin tietokoneohjelmistoon. Valmistuskuvissa tulee ottaa huomioon erityisesti tarkoituksenmukaiset toleranssit sekä helppo luettavuus ja selkeys mitoitus suhteen.

Mikäli suunnitteluvaiheessa ei ole pystytty toteuttamaan osia toisiinsa ainoastaan yhdellä tavalla yhteensopiviksi, on mitoitus oltava valmistuskuvissa riittävän tarkat ja selkeät virheiden minimoimiseksi. Turhia mitoituksia vältettiin. Jokaisesta osasta luotiin oma valmistuskuvansa. Lisäksi tehtiin alikokoonpanokuvia osien yhteen liittämisen havainnollistamiseksi sekä itse pääkokoonpanokuva. Pääkokoonpanokuvasta selviää, miten alikokoonpanot tulevat kiinnittymään ja sijoittumaan suhteessa toisiinsa. Kokoonpanokuvista tehtiin myös räjäytyskuvat osaluetteloineen, mikä auttaa hahmottamaan kyseisen kokoonpanon osien liittymisen pääkokoonpanossa toisiinsa.

Valmistuskuvien jälkeen tehtiin kokoonpanosta erillinen osaluettelo excel- tiedostoon. Osaluettelosta selviää, mitä osia kokoonpanoon sisältyy ja lukumäärä kyseisistä tarvittavista osista. Itse valmistuskuvat on nimetty osaluettelon nimikkeitä vastaavasti. Osaluettelossa on nähtävillä pääkokoonpanon sisältämät alikokoonpanot sekä niihin sisältyvät osat kappalemäärineen.

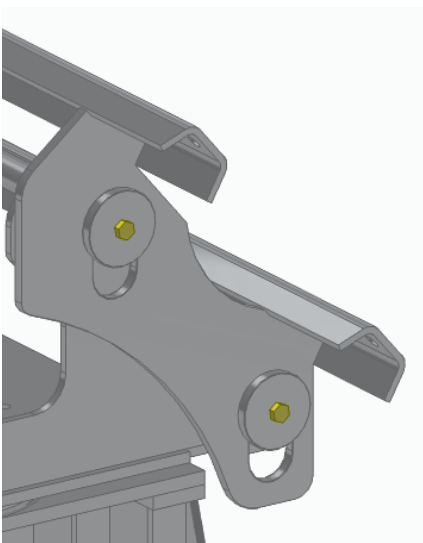
## 6 PYÖRITTÄJÄN KIINNITYKSEN RAKENNE

### 6.1 Levyosat

Pyörittäjän kiinnitys koostuu suurilta osin levyosista. Levyosat on suunniteltu valmistettavan suurimmaksi osin S355 teräksestä, mikä on koneenrakennuksessa yleisessä käytössä hyvän hinta-laatusuhteen vuoksi. Se kestää myötämättä vähintään 355 MPa (Ssab, 2022).

Koska uloimmat poskilevyt (kuva 16) saavat vastaansa holkkien välittämiä iskumaisia voimia kellunnan aikana, on ne yhdessä poskilevyjen välissä olevien prikkujen kanssa suunniteltu valmistettavan Hardox 400 kulutusteräksestä, jonka myötölujuus on n. 1100 MPa (ssab, 2024).

Prikkoja ei saa vaihdettua purkamatta sovitepalkkien tai sisempien poskilevyjen hitsisaumoja, joten ne on kestävyuden varmistamiseksi suunniteltu myös Hardoxista. Päätylaipat, holkit sekä muut levyosat ovat pehmeämpää S355 materiaalia. Kuluessaan holkit voidaan uusia päätylaipan ruuvien (keltaiset kuvassa 16) irrottamalla, jotka ovat kiinni akseliin koneistetussa kierrereissä. Tarvittaessa ruuvien kanta voidaan hitsata kiinni päätylaippaan ruuvien pyörimisen estämiseksi. Akseli hitsataan sisäposkilevyyn sisäpuolelta kiinni rakenteen jäykkyyden takaamiseksi.



Kuva 16. Uloin poskilevy.

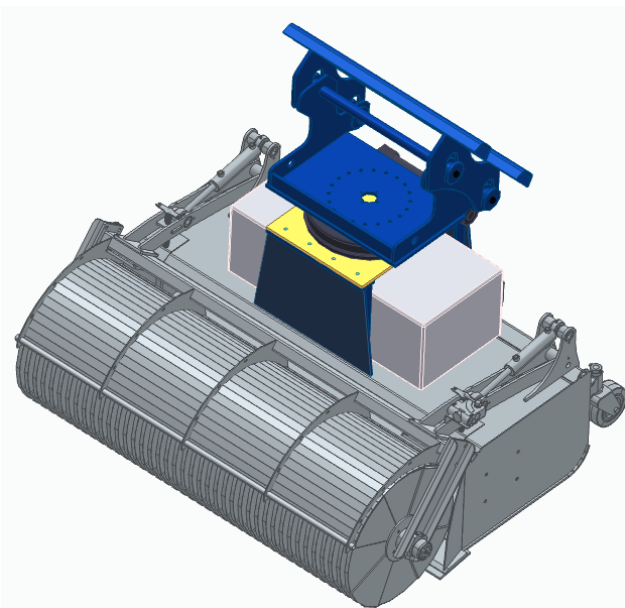
Levyosat leikataan toimeksiantajan toimitiloissa tietokoneohjatulla plasmaleikkurilla. Plasmaleikkauksella saavutetaan noin  $\pm 1$  mm tarkkuus (Flinkenberg, 2024). Plasmaleikkaus soveltuu 6–100 mm paksuuksille ja leikkauksen visuaalinen ilme on riittävä aina 60 mm saakka. Suositeltu työvara plasmalla leikattuihin koneistettaviin pintoihin on 5 mm käytettäessä 6–40 mm:n levyvahvuuksia. Tämä on otettava suunnittelussa huomioon koneistettaville pinnoille mitoituksia tehdessä.

## 6.2 Ruuviliitosten toteutus

Ruuviliitokset mahdollistavat pyörittäjän irrottamisen ja huollon ja tarpeen vaatiessa sekä säästävät aikaa kokoonpanovaiheessa. Kauhaharjan vesisäiliö haluttiin sijoittaa kauhaharjan päälle, joten ruuviliitosmenetelmä oli ainut järkevä ratkaisu (kuva 17, keltainen kattolevy kiinni ruuveilla). Tämä mahdollistaa myös vesisäiliön asentamisen paikoilleen pyörittäjän alapuolisen alakokoonpanon hitsauksen jälkeen. Levyrakenteen ruuviliitosten suunnittelussa on otettu huomioon reikien minimireuna- ja päätyetäisyys  $1,2*d$ .

Ruuviliitoksen vapaareiän halkaisija suunniteltiin keskisarjan mukaan 17,5 mm, ruuvin ollessa M16 (Valtanen, 2022, s. 854).

Levyrakenteen ruuviliitosten suunnittelussa otettiin huomioon reikien minimireuna- ja päätyetäisyys, jotka ovat molemmat standardin (EN 1993-1-8, s.24) taulukon 3.3 mukaan  $1,2*d$ .



Kuva 17. Ruuviliitos.

### 6.2.1 Ruuvien halkaisijan mitoittaminen

Suunnittelua lähdettiin toteuttamaan kattolevyn kiinnityksen osalta kahdeksalla M16 ruuvilla. Ruuviliitosten kestävyysvarmuuskertoimeksi haluttiin  $\geq 2$ . Seuraavaksi mitoitetaan valitun ruuvien kestävyys.

Ruuveihin kohdistuu pääasiassa pultin suuntaista vetojännitystä, joka voidaan laskea kaavalla (Valtanen, 2022, s.270).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

missä: F on voima (N)

A on kappaleen pinta-ala (mm<sup>2</sup>)

Voima F saadaan massan ja putoamiskiiktyvyyden avulla, ja se jaetaan ruuvien määrällä, ja näin saadaan selvitettyä yhteen ruuviin kohdistuva vetävä voima.  $(1518 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) / 8$  (ruuvien määrä) = 1862N.

Ruuvien jännityspoikkipinta-ala voidaan laskea kaavalla (Valtanen, 2022, s. 846)

$$A_s = \frac{(\pi * d_s^2)}{4} \quad (9)$$

missä:  $d_s$  on halkaisijoiden keskiarvo  $\rightarrow (d_3 + d_2) / 2$

missä:  $d_3$  on ulkokierteen sisähalkaisija

$d_2$  on kylkihalkaisija

Camcut (2024) antaa sivuillaan ISO metrisen vakiokierteen M16 ruuville ulkokierteen sisähalkaisijaksi arvon 13,546 mm ja kylkihalkaisijaksi 14,701 mm. Näin ollen  $d_s = (13,546 \text{ mm} + 14,701 \text{ mm}) / 2 = 14,1235 \text{ mm}$ .

Nyt saadaan jännityspoikkipinta-ala kaavalla 9:  $A_s = (\pi * 14,1235^2) / 4 = 157 \text{ mm}^2$ .

Näin ollen kaavalla 8 saadaan yksittäiseen ruuviin kohdistuvaksi vetojännitykseksi:  $1862\text{N} / 157\text{ mm}^2 = 11,9\text{ MPa}$ . Tässä vaiheessa voidaan jo olettaa ruuviliitoksen olevan tarpeeksi kestävä ruuvien kestävyys suhteen.

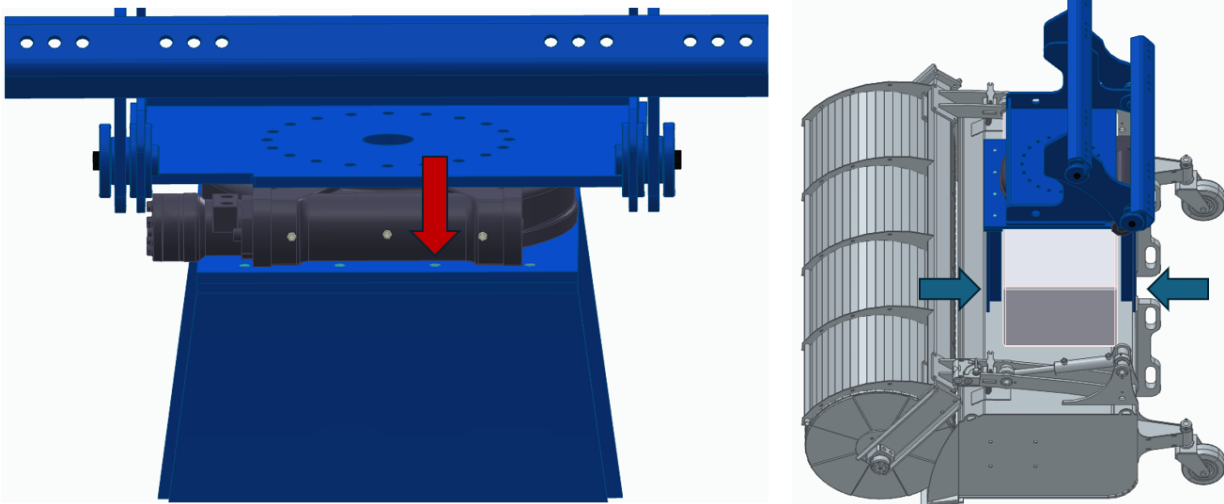
## 6.2.2 Ruuviliitoksen mitoitus

Alun perin ruuviliitos suunniteltiin niin, että ruuvit tulevat mutterikiinnityksin. Tarkemman tarkastelun myötä havaittiin, että se vaatisi erillisen korokelevyn asentamista pyörittäjän alle, etteivät ruuvien kannat törmäisi kierukkaruuvien moottorin runkoon. Sen sijaan päädyttiin mitoittamaan, voisiko kansilevyyn tehdä liitoksen kiinnitystä varten kierteet ja tällöin ruuvien asennus tapahtuisi kattolevyn alapuolelta (kuva 18). Kattolevyä ei voitu tehdä leveämmäksi, jolloin ruuvit olisi saatu kauemmaksi pyörittäjästä törmäyksen välttämiseksi (kuva 18 oikeanpuoleinen kuva, vihreät nuolet). Syynä tähän on kauhaharjan ulkomitat.

Ruuvien lujuuden mitoitus jouduttiin laskemaan kattolevyn materiaalin, S355 mukaan, koska kierteet tulevat levyyn, jolloin se on sama kuin itse ruuvi olisi S355 materiaalia liitoksen kestävyys suhteen.

Toinen vaihtoehto olisi ollut valita kattolevyn materiaaliksi Hardox 400, jonka myötölujuus olisi ollut yhteneväinen 12.9 lujuusluokiteltuun ruuviin, mutta tuolloin kierteiden koneistamisen työkalukustannukset olisivat nousseet huomattavasti materiaalin lujuuden vuoksi (T. Laitolahti, henkilökohtainen tiedonanto, 11.10.2024).

Yksittäisen ruuviliitoksen staattinen vetolujuus  $F$ , siis laskettiin S355:lla kaavaa 8 johdattamalla seuraavasti:  $355\text{MPa} * 157\text{ mm}^2 = 55735\text{ N}$ . Tämä saadaan kilogrammoiksi jakamalla tulos  $9.81\text{ m/s}^2$  ( $g$ )  $= 5681\text{ kg}$ . Tämä tarkoittaa siis staattista yksittäisen ruuviliitoksen kantokykyä, eli vetolujuutta. Ruuvien määrän ollessa 8, staattinen kantokyky olisi laskennallisesti siis  $45448\text{ kg}$ . Tästä voidaan myös ilman tarkempia laskelmia päätellä ruuviliitoksen kestävä, kun otetaan huomioon sen kannattelevan kauhaharjan leveyden mukaan maksimissaan  $1518\text{ kg:n}$  kuormaa.



Kuva 18. Ruuviliitoksen toteutus.

Ruuviliitoksen kierteen osuus tulee nyrkkisäännön mukaan vastata 1\* ruuvin nimellishalkaisija, jolloin tässä tapauksessa se olisi 16 mm. Tämä sääntö toteutuu kattolevyn ollessa 16 mm paksuista levyä (Nord-Lock Group, 2024). Pehmeämmille materiaaleille suositellaan kuitenkin tarkempaa laskentaa kierteen ja ruuvin osalta, jolloin suurempi laskettu tulos kuvaa valitun materiaalin kierreosan minimivahvuutta. Laskuun valitaan M16 5.8 lujuusluokiteltu ruuvi, jonka murtolujuus on 500 MPa ja myötölujuus 400 MPa, joka on lähellä S355 materiaalin myötölujuutta. Tarkempi kierreosan kestävyys lasketaan Nord-Lock Group (2024) mukaan kaavalla

$$\frac{R_m \text{ ruuvi}}{R_e \text{ reikä}} * \frac{p * A_s}{0.6 \pi * d} \quad (10)$$

missä:

- $R_m$  ruuvi on ruuvin murtolujuus (500 MPa)
- $R_e$  reikä on reikä materiaalin myötölujuus (355 MPa)
- $A_s$  on ruuvin jännityspoikkipinta-ala (157 mm<sup>2</sup>)
- $d$  on nimellishalkaisija (16 mm)
- $p$  on kierteen nousu, ISO metrisessä vakiokierteessä 2 mm (Camcut, 2024).

Näin saadaan  $(500/355) * ((2 * 157) / (0.6 * \pi * 16)) = 14,7$  mm.

Ja ruuvien kestävyys lasketaan kaavalla

$$\frac{R_m \text{ ruuvi}}{R_e \text{ ruuvi}} * \frac{p * A_s}{0.6 * \pi * d_2} \quad (11)$$

missä:  $d_2$  on ruuvien kylkihalkaisija, ISO metrisessä vakiokierteessä 14,7 mm (camcut, 2024).

Näin saadaan  $(500/400) * ((2 * 157) / (0.6 * \pi * 14,7)) = 14,2$  mm.

Voidaan ruuviliitoksen ajatella kestäväksi myös tarkemman mitoituksen jälkeen, koska kattolevyn materiaalivahvuus on 16 mm.

Ruuveiksi valikoitui siis minimissään 5.8 lujuusluokiteltu M16, 35 mm ruuvi. Ruuvien kannan alle asennetaan M16 aluslevy, jonka paksuus on 3 mm (lkh, 2024). Näin ollen ruuvien kärki tulee täsmälleen kattolevyn tasalle, jolloin törmäystä ei synny pyörittäjän pyöriessä, eikä ruuvireikiin jää selvää vesitaskua, mikä voi ajan kanssa aiheuttaa korroosiota.

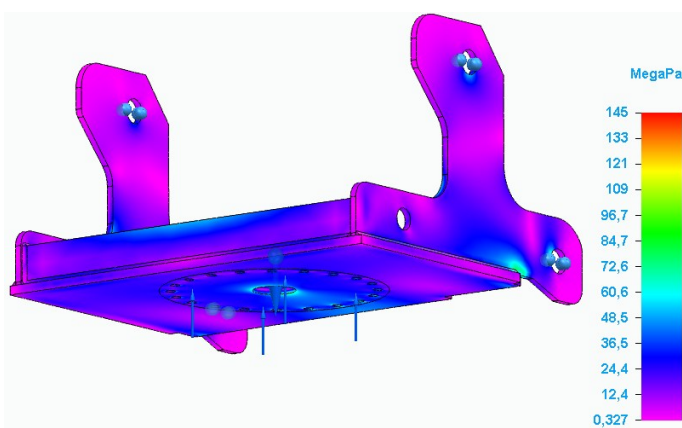
Lujuusluokan 5.8 M16 ruuvien kiristysmomentti on Camcut (2024) mukaan 139 Nm. Vastavasti 8.8 ruuvien kiristysmomentti on 206 Nm, kun "mutteri", eli tässä tapauksessa kattolevyyn tehdyt kierteet ovat pinnoittamattomia. Tässä työssä laskelmat on kuitenkin tehty 5.8 ruuvien myötölujuuden mukaan kattolevyn materiaalin ollessa S355.

### 6.2.3 Kokoonpanon kestävyden FEM-simulointi

Kokoonpanovaiheeseen liittyvällä simuloinnilla varmistetaan vaadittavan kestävyden ja varmuuskertoimen täytyminen. Kun kauaharjalla harjataan tien pintaa, niin kauaharjaan kiinnityksineen kohdistuu puristusvoimaa tien pinnan ja etukuormaajan painatuksen yhteisvaikutuksesta.

Arvioidaan kauaharjan pyörittäjän kiinnityksiin kohdistuva puristusvoima tilanteessa, kun traktorin etukuormaajalla painetaan kauaharjaa tien pintaa vasten. Voidaan olettaa, että tuo voima olisi maksimissaan puolet traktorin etuakseliin kohdistuvasta voimasta ja edelleen, että etuakseliin kohdistuva voima olisi 50 % koko traktorin painosta. Työssä esimerkkinä käytetty traktori oli Valtra Valmetin N10, jonka paino olisi etukuormaajan kanssa n. 5850 kg. Tällöin etukuormaajan kautta kauaharjaan kohdistuva arvioitu maksimipuristusvoima olisi  $(5850 \text{ kg} / 4) * 9.81 \text{ m/s}^2 = 14350 \text{ N}$ . Kuvassa 19 näkyy kyseisen tilanteen simulointi.

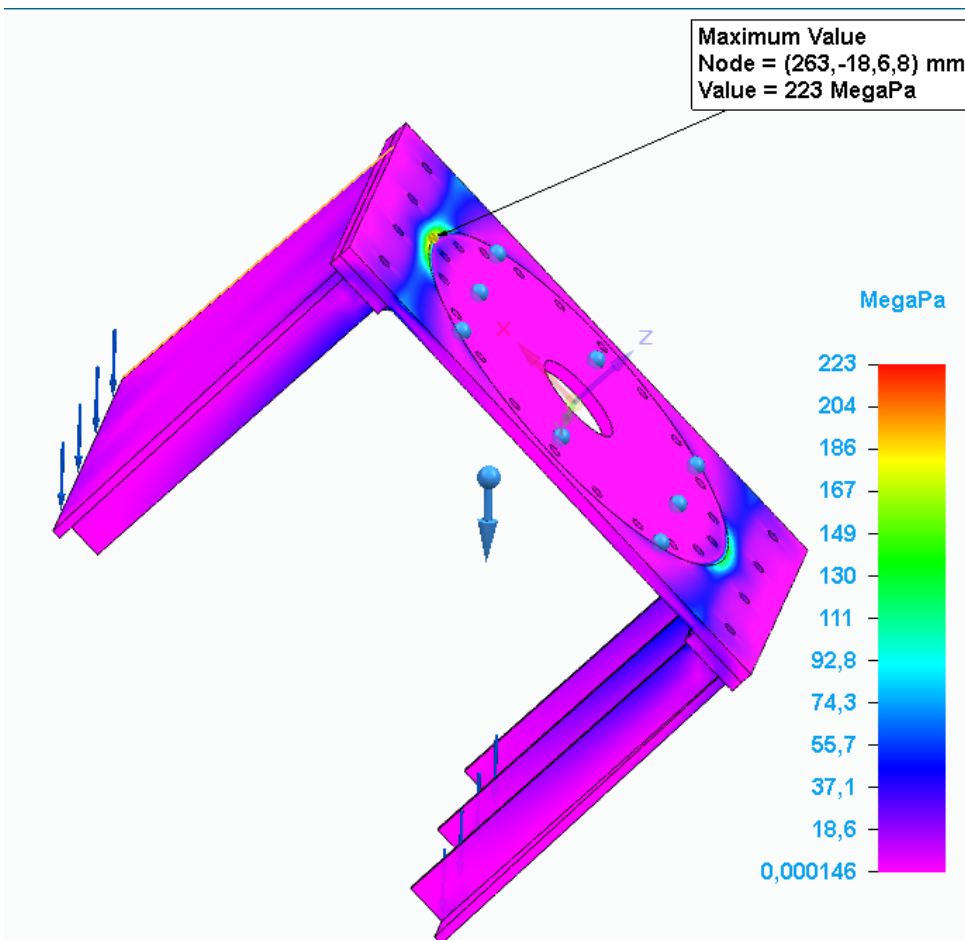
Kuvasta 19 nähdään, että pyörittäjän yläpuolisen rungon maksimijännitys on 145 MPa. Kyseisen kokoonpanon materiaalin ollessa S355 varmuuskertoimeksi saatiin:  $355 \text{ MPa} / 145 \text{ MPa} = 2,4$ . Kuvassa 19 ja 20 näkyy oikeassa reunassa jännitysten voimakkuutta kuvaava pylväs. Simuloitavan kohteen väristä voi jo silmämääräisesti päätellä, mitkä kohdat joutuvat kaikista voimakkaamman rasituksen alaiseksi. Kuvassa 20 on valittu käyttöön osoitin, joka osoittaa suoraan kohdan, minne kohdistuu kaikista voimakkain jännitys.



Kuva 19. Puristusvoiman aiheuttama jännitys.

Pyörittäjän alapuoliseen kokoonpanoon kohdistuvat voimat määriteltiin niin, että maksimi kokonaiskuormitus,  $1518 \text{ kg} \cdot g$  kohdistuu kuvan 21 mukaisesti  $45^\circ$  kulmassa alaosaan kauharjaan. Eli tässä tapauksessa kone olisi tien pintaan nähden  $45^\circ$  kulmassa. Kuvasta 20 nähdään, että pyörittäjän alapuolisen rungon maksimijännitys on 223 MPa. Materiaalin niin ikään ollessa S355, varmuuskertoimeksi saatiin:  $355 \text{ MPa} / 223 \text{ MPa} = 1,59$ . Tämä asento on kestämissen suhteen epäedullinen, minkä vuoksi se valittiin simuloitavaksi.

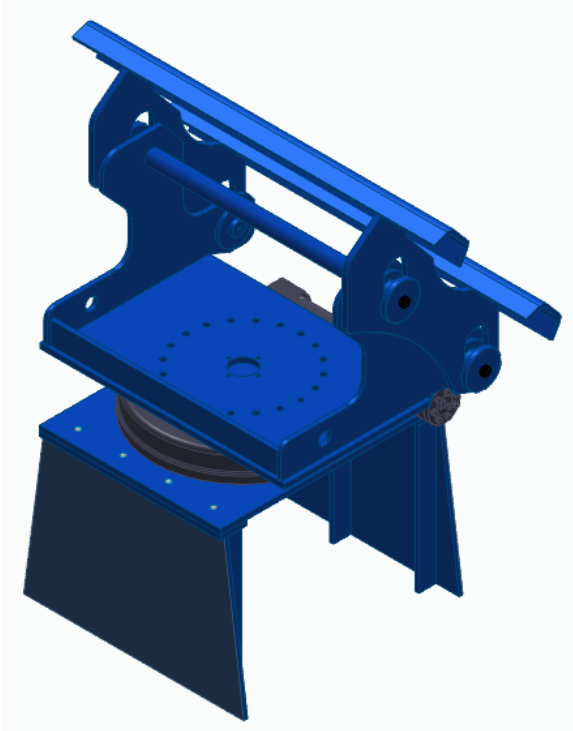
Kyseinen asento toteutuu korkeintaan työkoneella siirryttäessä paikasta toiseen, jolloin kauharjaan ja pyörittäjään kiinnityksineen ei kohdistu muita voimia, kuin tien epätasaisuuksista johtuvat pomput, jotka aikaansaavat hetkittäistä kiihtyvyyttä painovoiman suunnassa ja sen myötä äkillisiä jännityshuippuja. Näiden aiheuttamiin jännityksiin kyseinen varmuuskerroin on varmasti riittävä.



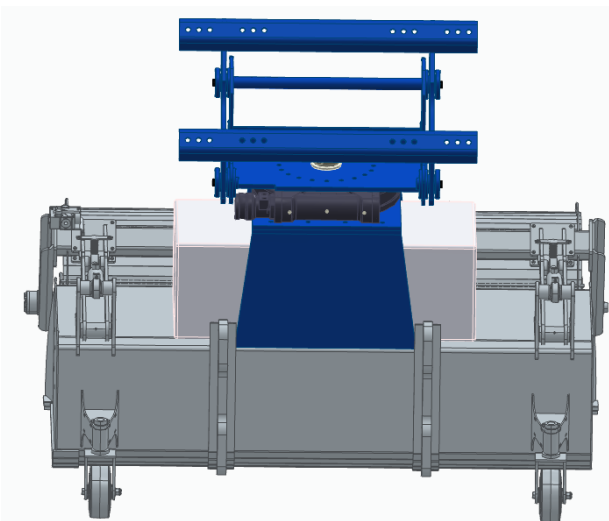
Kuva 20. Alakokoonpanoon kohdistuvat jännitykset.

#### 6.2.4 Valmis tuote

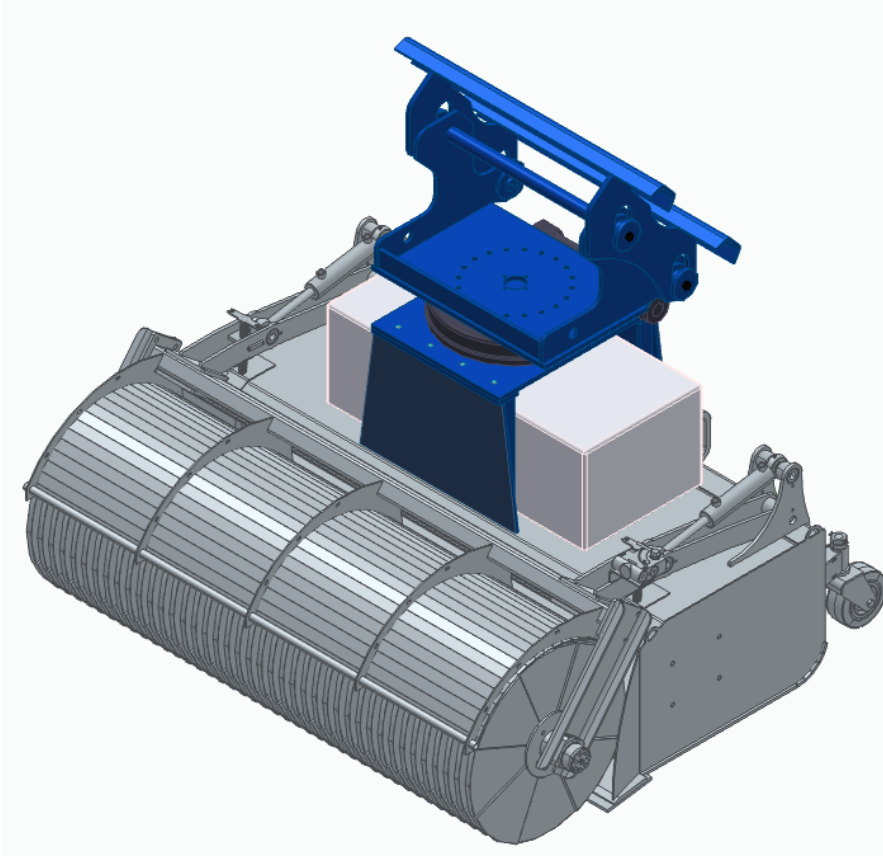
Kuvissa 21–24 näkyy työn lopputulos. Työhön kuului myös kuvassa näkyvän pyörittäjän mitoitus. Myös pyörivän hydraulikkaliittimen valinta ja sen huomioiminen suunnittelussa kuului lopulta työhön mahdollistaen rajattoman pyörimisen. Kuvassa on 22 kuvattu oletettu näkymä kuljettajalle. Suunnittelutyötä voidaan pitää onnistuneena turvallisuudenkin näkökulmasta hyvän näkyvyydenkin ansiosta.



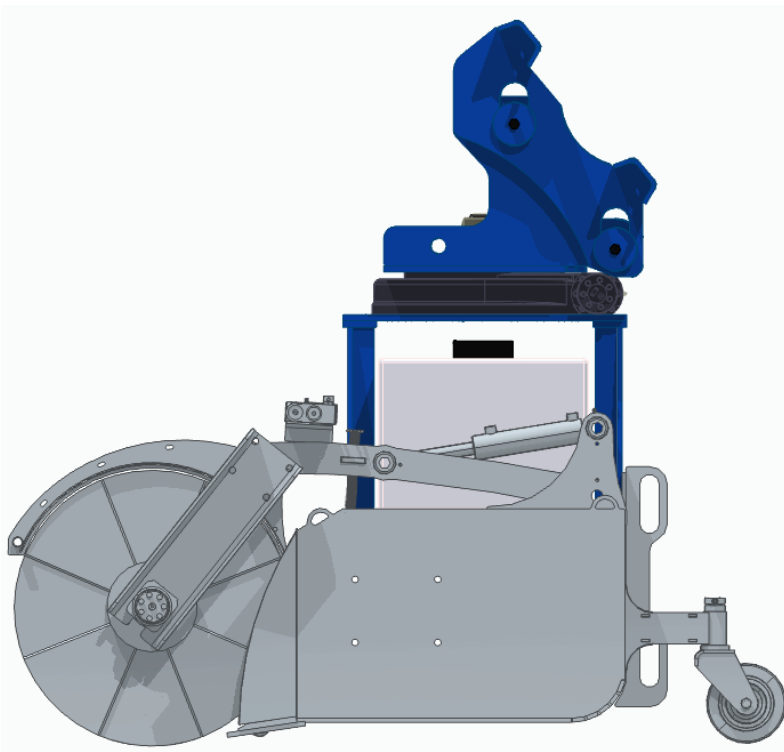
Kuva 21. Valmis tuote kokoonpantuna.



Kuva 22. Oletettu näkyvyys kuljettajan perspektiivistä.



Kuva 23. Valmis kokoonpano liitettynä kauhaharjaan.



Kuva 24. Valmis tuote kokoonpantuna ja liitettynä harjakauhaan, kuva sivulta.

## 7 POHDINTA JA YHTEENVETO

Isoksi haasteeksi työssä ilmeni pyörittäjän mitoitukseen liittyvä saatavilla oleva kirjallinen tieto. Suureksi avuksi mitoitusperiaatteiden osalta osoittautuivat kierukkapyöriä ja ruuveja toimittava yritys Oy Mekanex AB, sekä pyörittäjiä toimittavat QTec Engineering Oy sekä MenSe Oy. Heille kuuluu iso kiitos yhteistyöstä. Pyörittäjän mitoitusta varten oli ensin tunnistettava siihen kohdistuvat voimat, niiden suunnat sekä muut tekniset tai olosuhteista johtuvat vaatimukset. Työ eteni alkuun melko hitaasti johtuen mitoituksen tärkeimpien kriteerien selvittelyistä. Pitomomentin mitoituksen valinta ykkösprioriteetiksi osoittautui lopulta hyvin onnistuneeksi valinnaksi. Työssä korostui eri tiedonhankintakanavien merkitys ja perustavanlaatuisen etukäteissuunnittelu.

Työssä olisi voitu käyttää alkuvaiheessa enemmän aikaa olemassa oleviin ratkaisuihin tutustumalla ja vertaamalla niiden ratkaisuja toisiinsa, sekä kerätä parhaat ominaisuudet yhteen vaatimukset täyttävällä tavalla. Heti alussa olisi voinut olla yhteydessä pyörittäjien toimittajiin, jolloin eri pyörittäjien vertailu ja mitoitusperiaatteet olisivat olleet tiedossa jo ennen muun suunnittelun aloittamista. Jälkikäteen ajateltuna alussa olisi voinut käyttää enemmän aikaa sisällysluettelon laatimiseen, niin olisi säästyty osittain turhalta työltä. Jonkin verran hukkaa tuli myös ylimääräisessä suunnittelussa, jota jouduttiin jonkin toiminnallisuuden vuoksi muuttamaan, kun suunnittelua jatkettiin ilman tarvittavaa yksityiskohtaista tietoa. Tämä kuuluu kuitenkin poikkeuksesta suunnittelutyöhön, ja suunnitteluun panostaminen ja sen hiominen on aina monin kerroin kustannustehokkaampaa kuin itse tuotteen muuttaminen tuotantovaiheessa.

Työn lopputulos täytti sille asetetut vaatimukset hyvin. Kierukkavaihteen pitomomentin kohdalla jouduttiin tekemään kompromissi ja tyytymään varmuuskertoimeen 1,2. Tässä on kuitenkin syytä huomioida, että törmääminen ei ole koneen käyttötarkoitus ja mikäli pitomomentti olisi haluttu isommaksi, olisi se lisännyt kustannuksia huomattavasti valitun kierukkavaihteen osalta. Oikein käytettynä pyörittäjä kiinnityksineen tulee kyllä kestämaan käyttötarkoituksensa mukaista työtä. Yhteistyö sujui toimeksiantajan kanssa hyvin, mutta säännöllisemmät katsaukset olisivat varmasti olleet omiaan vähentämään turhaa suunnittelutyötä ja empimistä.

Opinnäytetyötä voisi jatkaa edelleen mitoittamalla hitsisaumojen vaatimukset tekemällä yksityiskohtaiset tuotantokustannuslaskelmat, tai itse pyörittäjän suunnittelu olisi kokonaan oma, laaja mielenkiintoinen aiheensa.

## LÄHTEET

- Anthony, L. (3.10.2023). *Design for Manufacturing (DFM): A Complete Guide*. <https://www.disher.com/blog/design-for-manufacturing/>
- Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P., & Suosara, E. (1999). *Koneenelimet ja mekanismit*. Oy Edita Ab. Helsinki.
- Camcut. (2024). *Kierretaulukko*. <https://www.camcut.fi/tuki/kierretaulukko/?ThreadTableID=1&DesignationID=19>
- Ferrometal. (i.a.). *Standardit ja niiden vertailu. Ruuviliitokset*. [https://www.ferrometal.fi/media/downloads/catalogues/tekn\\_fin.pdf](https://www.ferrometal.fi/media/downloads/catalogues/tekn_fin.pdf)
- Flinkenberg. (2024). *Työvarat teräksen leikkauksessa*. <https://www.flinkenberg.fi/tyovarateraksen-leikkauksessa/>
- Hietikko, E. (2015). *Tuotekehitystoiminta*. BoD- Books on Demand.
- Honkajoki Works. (i.a.). *Kotimaiset maanrakennustuotteet Honkajoelta*. <https://hwoy.fi/>
- Ikh. (2024). *Aluslaatat RST*. <https://www.ikh.fi/fi/kiinnitystarvikkeet-heloitus/pultit-mutterit-ja-aluslaatat/aluslaatat-rst>
- Konedata. (2024). *Traktorit. Valmet/Valtra*. [https://konedata.net/traktorit/valmet-valtra/valtra-n104-n174-2015/?\\_gl=1\\*rqaeo6\\*\\_ga\\*NTU4MzM0MzQxLjE3MDA5OTU5NzA.\\*\\_ga\\_S92LN3BZN2\\*MTcyNDA2MjYwNy4zLjEuMTcyNDA2MjgyOC4wLjAuMA..](https://konedata.net/traktorit/valmet-valtra/valtra-n104-n174-2015/?_gl=1*rqaeo6*_ga*NTU4MzM0MzQxLjE3MDA5OTU5NzA.*_ga_S92LN3BZN2*MTcyNDA2MjYwNy4zLjEuMTcyNDA2MjgyOC4wLjAuMA..)
- Lepola, P., & Ylikangas, R. (2016) *Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet*. Sanoma Pro Oy.
- Mense. (i.aa.). *Kierukkavaihteet*. <https://www.mense.fi/category/564/kierukkavaihteet>
- Mense. (i.ab.). *Pyörivät liittimet*. <https://www.mense.fi/product/648/pyoriva-liitin-38-x-12-4-kanavainen>
- Mekanex. (i.a.). *Tarkkuuskierukka&- Kierukkapyörät. Tekniset tiedot*. <https://www.mekanex.se/wp-content/uploads/kierukka-pyorat-ruuvit-snackhjul.pdf>
- Nestepaine. (i.a.). *Laskimet. Pumpun tuotto*. <https://nestepaine.fi/laskimet/>

- Nord-Lock Group. (2024). *Asiantuntijat: Kierrepituus kierrereiässä*. <https://www.nord-lock.com/fi-fi/oivalluksia/bolting-tips/2015/the-experts-thread-engagement-in-a-tapped-hole/>
- Päiviö, O. (2009). *Koneporssi. Pyörrii ja kallistuu*. <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/pyorrii-ja-kallistuu/>
- Rapinoja, J-P. (2021) *Koneturvallisuuden standardisointi*. <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/Koneturvallisuuden-standardit-2021-10.pdf>
- Rototilt. (i.a.). *Rototilt R- sarja: R-sarjan rototiltti avartaa kaivinkoneella työskentelyn rajoja ja mahdollistaa uudenlaisten tehtävien vastaanottamisen*. [https://www.rototilt.com/fi-fi/tuotteet/r-sarjan-rototiltit/?\\_gl=1\\*ecjes8\\*\\_up\\*MQ..&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaLwbGms1g99T4N8LZes8emedDqZi1FpSN6uD-Z8GInnv90qhBjQkQMaAn9PEALw\\_wcB](https://www.rototilt.com/fi-fi/tuotteet/r-sarjan-rototiltit/?_gl=1*ecjes8*_up*MQ..&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaLwbGms1g99T4N8LZes8emedDqZi1FpSN6uD-Z8GInnv90qhBjQkQMaAn9PEALw_wcB)
- Sami. (2016). *Kauhaharjojen K1800 K2000 käyttöohje*. [https://www.turunkonekeskus.fi/media/tiedostot/kayttoohjeet/sami\\_kauhaharja\\_ohjekirja.pdf](https://www.turunkonekeskus.fi/media/tiedostot/kayttoohjeet/sami_kauhaharja_ohjekirja.pdf)
- Suomen standardisointiliitto (SFS). (1993). *Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1–8: Design of joints*. (SFS-EN 1993-1-8).
- Ssab. (2022). *Ssab Domex 355ML*. [https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=d8c9d99b17e849fb8530563977ca88d8\\_fi-fi](https://www.ssab.com/api/sitecore/Datasheet/Get?key=d8c9d99b17e849fb8530563977ca88d8_fi-fi)
- Ssab. (2024). *Hardox 400*. <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/hardox/tuoteohjelma/400>
- Taulukot.com (i.a.) *Fysiikka. Kaavoja. Mekaniikka*. [https://www.taulukot.com/fysiikka/fysiikka\\_kaavoja/](https://www.taulukot.com/fysiikka/fysiikka_kaavoja/)
- Valtanen, E. (2022) *Tekniikan taulukkokirja*. Genesis-kirjat Oy.
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. <https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20080400#L4>
- Virhydro. (i.a.). *Hydraulimoottorit. Vincke geroottorimoottori. VNKP lieriöakseli*. <https://www.virhydro.fi/vincke-geroottorimoottori-vnkp-lierioakseli/p/VNK020105/>