

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri (AMK), konetekniikka

2025

Roope Ylisaari

Puun kuorimakoneen valssimekanismin optimointi

Aisan lujuuden sekä inertian tarkastelu



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), konetekniikka

2025 | 30 sivua

Roope Ylisaari

Puun kuorimakoneen valssimekanismin optimointi

Aisan lujuuden sekä inertian tarkastelu

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida puun kuorimakoneen valssimekanismin aisan rakennetta siten, että sen massaa saataisiin kevennettyä ilman, että lujuusominaisuudet heikkenisivät. Työ toteutettiin osana täysin uuden kuorimakoneen kehitysprojektia Valon Kone Oy:lle. Yksittäisten rakenteiden keventämisellä pyrittiin parantamaan koko mekanismin suorituskykyä.

Aisan keventämiseksi hyödynnettiin topologiaoptimointia, jonka avulla saatiin aikaan rakenteellisesti optimaalinen ratkaisuehdotus annetuilla mitta- ja kuormitusehdoilla. Aisan lujuus analysoitiin elementti menetelmällä (FEM), ja toiminnallisia vaikutuksia arvioitiin mekanismissimulaatioiden avulla. Molemmissa tarkasteluissa käytettiin aiempaa rakennetta vertailukohtana, mikä mahdollisti rakenteellisten ja dynaamisten vaikutusten havainnointiin.

Optimoinnin tuloksena aisan painoa onnistuttiin vähentämään noin 7 prosenttia. Samalla suurimmat jännitykset saatiin laskettua alle asetetun tavoitetason, 80 megapascalin. Kevennetty rakenne myös laskee hydraulisylinteriltä vaadittavaa voimaa erityisesti valssien avausliikkeen alkuvaiheessa, jolloin liike on raskain. Tulokset osoittavat, että huolellisesti suunniteltu rakenne voi samanaikaisesti keventää rakennetta, parantaa kestävyyttä ja tehostaa mekanismin toimintaa.

Asiasanat: Muotoilu, suunnittelu, optimointi, simulointi, lujuusanalyysi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2025 | 30 pages

Roope Ylisaari

Optimization of the roller mechanism of a wood debarking machine

Examination of the arm's strength and inertia

The aim of this thesis was to optimize the structure of the arm in the roller mechanism of a wood debarking machine so that its weight could be reduced without compromising its strength properties. The work was carried out as part of a development project for an entirely new debarking machine for Valon Kone Oy. The aim of lightening individual structural components was to improve the overall performance of the mechanism.

To reduce the weight of the arm, topology optimization was used to create a structurally optimal solution under the given dimensional and loading conditions. The strength of the arm was analyzed using the finite element method (FEM), and the functional effects were evaluated through mechanism simulations. In both cases, the previous structure was used as a reference, which made it possible to observe both structural and dynamic effects.

As a result of the optimization, the weight of the arm was reduced by approximately 7 percent. At the same time, the maximum stress was lowered below the target level of 80 megapascals. The lighter structure also reduced the force required from the hydraulic cylinder, especially at the beginning of the roller opening movement, where the load is heaviest. The results show that a carefully designed structure can simultaneously reduce weight, improve durability, and enhance the overall performance of the mechanism.

keywords: Design, Design, Optimization, Simulation, Strength analysis

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	7
2 Valon kone Oy	8
3 Puun kuorintaprosessi sekä kuorimakoneet	9
4 Valssimekanismin rakenne	11
4.1 Rakenteen yleiskuva	11
4.2 Syöttövalssin toiminta sekä tehtävät	12
4.3 Aisan rooli sekä vaatimukset	13
5 Tietokoneavusteinen 3D-suunnittelu	14
5.1 3D-mallinnusohjelmat	14
5.2 Autodesk Inventor ja sen ominaisuudet	15
6 Optimointi suunnitteluprosessissa	16
6.1 Optimointi	16
6.2 Tietokoneavusteinen optimointi	17
6.3 Optimointimenetelmät	18
6.3.1 FEM	18
6.3.2 Topologiaoptimointi	18
6.3.3 Optimointi inertian suhteen	19
7 Optimointi työn lähtökohdat	21
7.1 Nykytilan analyysi	21
7.2 Optimoinnin lähtökohta	21
7.3 Optimoinnin tavoitteet	22
8 Optimointiprosessin toteutus	23
8.1 Optimointimenetelmät	23
8.2 Optimoinnissa tehdyt huomiot	24

9 Tulokset sekä niiden merkitys	27
9.1 Suorituskyvyn ja kestävyuden parannukset	27
9.2 Aisan muutosten vaikutus mekanismeissa	28
9.3 Jatkokehitys ja seuraavat askeleet	29
Lähteet	30

Kuvat

Kuva 1. VK9000-sarja (Heavy Duty).	9
Kuva 2. Kuva syöttövalssin moduulin valssimekanismin rakenteesta.	11
Kuva 3. Syöttövalssi.	12
Kuva 4. Esimerkki valssin aisasta.	13
Kuva 5. Shape generator lähtökohta.	23
Kuva 6. Shape Generatorin antama tulos.	25
Kuva 7. Alkuperäisen aisan FEM-tulos.	26
Kuva 8. Uusi aisarakenne.	27
Kuva 9. Uuden aisarakenteen FEM-tulos.	28

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Algoritmi	Tarkka ja systemaattinen menettelytapa
Analysointi	Tiedon tarkastelua ja erittelyä
Intuitio	Vaistomainen tapa tehdä päätöksiä
Parametri	Muuttuja / raja-arvo, joka määrittää toimintaa
Prototyyppi	Mallikappale

1 Johdanto

Yksi keskeinen vaihe metsäteollisuuden jalostuksessa on puun kuorinta, jossa tukista poistetaan kuori ennen jatkokäsittelyä. Kuorinnan on oltava nopeaa, tarkkaa ja luotettavaa, jotta prosessi pysyy tehokkaana ja lopputuotteen laatu korkeana. Kuorimakoneiden suorituskykyä ja toimintavarmuutta kehitetäänkin jatkuvasti, jotta saadaan tuotannoista entistäkin tehokkaampia. (Varis 2017, 74-82.)

Tämä opinnäytetyö käsittelee tarkemmin kuorimakoneen valssimekanismin aisan rakenteen optimointia keskittyen erityisesti inertiaan ja lujuuteen. Tavoitteena oli optimoida valssimekanismin aisan rakenteellisia ominaisuuksia siten, että nopeuksia puun syötössä pystytään kasvattamaan ilman, että aisan lujuus kärsisi siihen kohdistuvien voimien kasvaessa. Työssä tarkasteltava ja optimoitava aisa on osa täysin uuden kuorimakonemallin kehitysprojektia.

Työ toteutettiin yhteistyössä Valon Kone (VK) Oy:n kanssa. VK on suomalainen yritys, joka on erikoistunut roottorikuorimakoneiden ja tyvensievennyslaitteiden kehittämiseen sekä valmistukseen. Yritys on yksi alan johtavista toimijoista maailmassa, ja heidän tuotteitansa käytetään laajasti saha- ja puunjalostusteollisuudessa ympäri maailmaa.

Työ etenee siten, että aluksi esitellään kuorimakoneiden yleinen toimintaperiaate sekä opinnäytetyössä tarkasteltavan osan rakenne sekä rooli kokonaisuudessa. Tämän jälkeen siirrytään 3D-suunnittelun perusteisiin sekä erilaisiin optimointimenetelmiin, joita työssä hyödynnetään. Lopuksi kuvataan työn toteutuksessa käytetyt tavat sekä esitellään saadut tulokset.

2 Valon Kone Oy

Valon Kone Oy (VK) on suomalainen yritys, joka on erikoistunut puun kuorinnassa roottorikuorimakoneiden sekä niiden yhteydessä tyvensievennyslaitteiden kehittämiseen ja valmistukseen. Yritys on yksi maailman johtavista kuorintateknologian toimittajista, ja heidän koneitansa käytetään laajasti saha- ja puunjalostusteollisuudessa eri puolilla maailmaa. VK:n menestyksen taustalla on jatkuva tuotekehitys, vahva asiantuntemus sekä investoinnit nykyaikaiseen tuotantoteknologiaan.

Yrityksen historia alkoi 1940-luvun lopulla, jolloin kuorinta oli vielä pääasiassa manuaalista. Lohjalainen Bruno Valo aloitti teollisen kuorimakoneen valmistuksen Valon koneen nimissä vuonna 1949. Vuosikymmenten aikana yritys on kasvanut pienestä konepajasta globaaliksi toimijaksi, jonka tuotteita viedään ympäri maailmaa. (Valon Kone n.d.)

Teknologian kehittyessä Valon Kone on jatkuvalla kehityksellä vastannut saha- ja metsäteollisuuden muuttuviin tarpeisiin. Kuorimakoneiden suorituskykyä on parannettu nopeuden, tehokkuuden ja kestävyuden osalta, ja yritys on tuonut markkinoille useita uusia innovaatioita. Tuotekehityksen myötä ensimmäisten kuorimakoneiden 20 metrin minuuttinopeus on kasvanut jopa 170 metriin minuutissa, ja koneiden koko on kasvanut vastaamaan teollisuuden tarpeita. (Valon Kone n.d.)

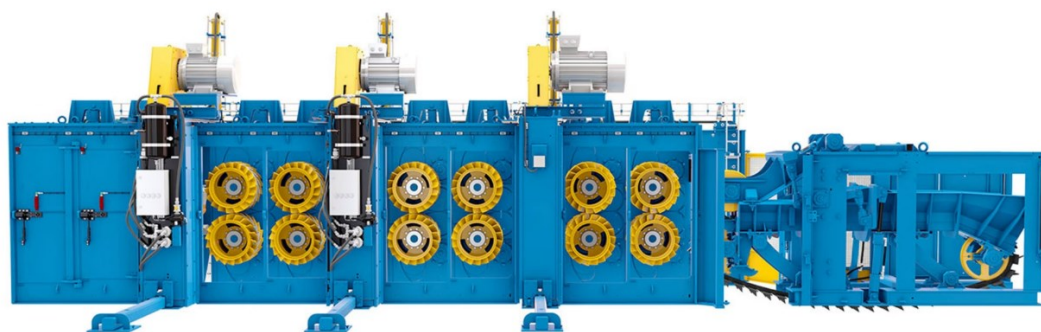
Nykyään Valon Kone kuuluu osaksi Kadant (USA) nimistä konsernia, mutta sen kehitys- ja tuotantotoiminnot sijaitsevat edelleen Suomessa. VK:lla on myös kansainvälinen myynti- ja huoltoverkosto, joka tukee heidän asiakkaitansa koko kuorimakoneen elinkaaren ajan.

3 Puun kuorintaprosessi sekä kuorimakoneet

Kuorinta on olennainen vaihe puunkäsittelyssä metsäteollisuudessa, jossa tukkirungon kuori poistetaan ennen seuraavia työvaiheita. Kuorintaan tulevat tukit voivat olla joko tuoreita tai osittain kuivuneita, mikä vaikuttaa kuorinnan tehokkuuteen. (Varis 2017, 74–82.)

Kuorintaprosessin tavoitteena on poistaa kuori mahdollisimman tehokkaasti ja hallitusti ilman, että tukin pinta vaurioituu liikaa. Tehokas kuorinta parantaa puun jatkokäsittelyä sekä optimoi tuotantoprosessia. Esimerkiksi saha-, sellu- ja paperiteollisuudessa kuorinta on välttämätön vaihe, koska kuorimaton puu voi aiheuttaa häiriöitä tuotantolaitteissa ja heikentää lopputuotteen laatua. Lisäksi kuorinnan avulla voidaan vähentää laitteiden kulumista, parantaa energiatehokkuutta ja pienentää materiaalihukkaa. (Varis 2017, 74–82.)

Puunkuorimakoneet on suunniteltu käsittelemään eri puulajeja sekä eri kokoisia tukkeja mahdollisimman tehokkaasti. Yleisimmin käytössä olevat kuorintamenetelmät ovat rumpukuorinta sekä valssikuorinta. Kuorintakoneen valintaan vaikuttavat muun muassa käsiteltävän puun ominaisuudet sekä lopputuotteen laatuvaatimukset. (Varis 2017, 74–82.)



Kuva 1. VK9000-sarja (Heavy Duty).

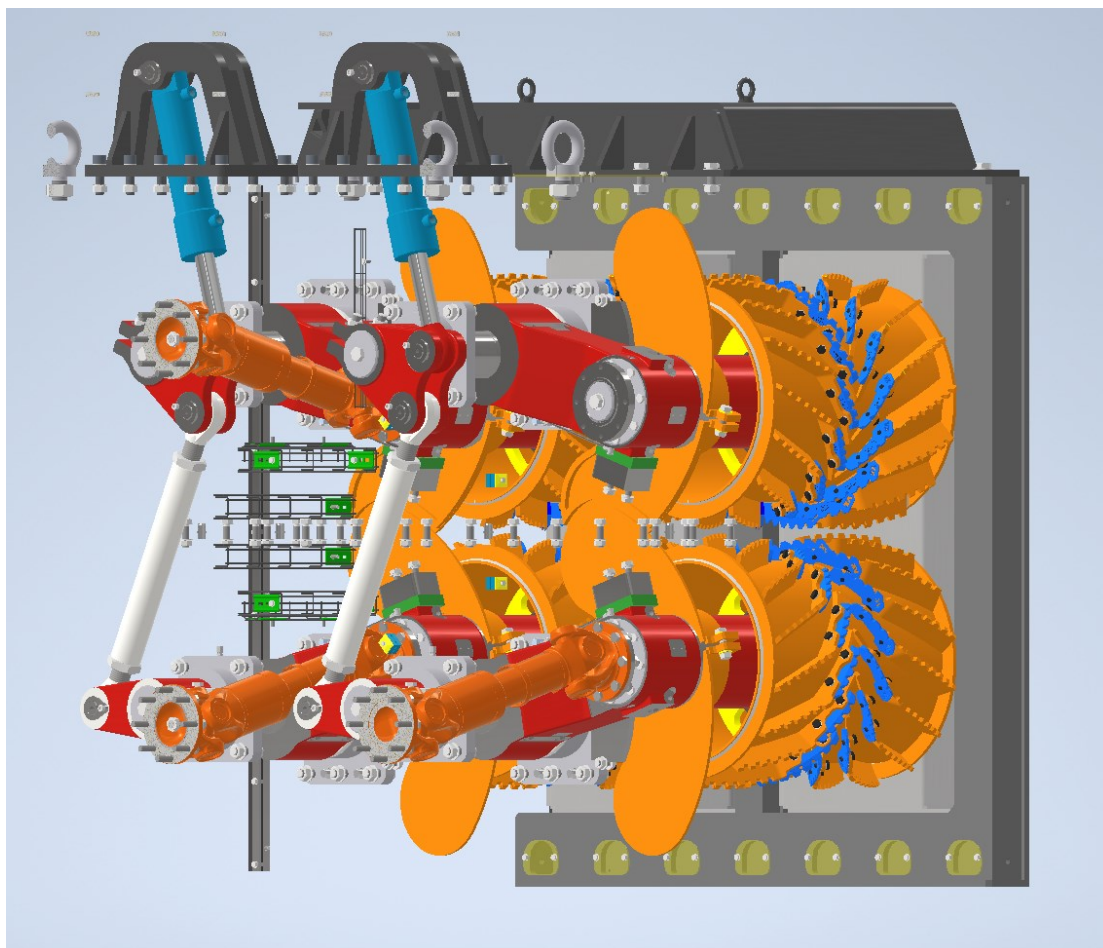
Kuorintakoneiden kehitystyö on jatkuvaa, ja niiden toimintaa pyritään optimoimaan muun muassa kuorintaprosessin nopeuden, tasaisuuden ja

huollon tarpeen näkökulmasta. Automaattiset säätöjärjestelmät ovat yleistyneet, ja niiden avulla voidaan muokata kuorintaprosessia tukin ominaisuuksien mukaan, mikä parantaa lopputuotteen laatua ja vähentää materiaalihukkaa. Samalla kuorintaprosessin ympäristövaikutuksia pyritään pienentämään esimerkiksi vähentämällä energiankulutusta ja optimoimalla jätteenkäsittelyä. (Varis 2017, 74–82.)

4 Valssimekanismin rakenne

4.1 Rakenteen yleiskuva

Valssimekanismi koostuu useista toisiinsa kytkeytyvistä osista, jotka mahdollistavat valssin liikkeen ja puristusvoiman. Keskeisiä rakenneosia ovat valssi, aisa, laakerointi, tukivarsi sekä erilaiset nivel- tai liukuliitokset. Mekanismin rakenne suunnitellaan siten, että se kestää toistuvaa kuormitusta sekä mahdollistaa säädettävää puristusvoiman. Rakenteen jäykkyys, liitosten kestävyys ja tarkka liikeohjaus ovat oleellisia tekijöitä mekanismin toimivuuden kannalta.



Kuva 2. Kuva syöttövalssin moduulin valssimekanismin rakenteesta.

4.2 Syöttövalssin toiminta sekä tehtävät

Puun kuorimakoneen syöttövalssi on olennainen osa kuorintaprosessia, sillä sen tehtävänä on syöttää tukit tasaisella nopeudella sekä hallitusti kuorintayksikköön – tässä opinnäytetyössä käytetyssä koneessa tarkemmin niin sanottuun ”kuorintarooottoriin”. Syöttövalssien avulla tukit ohjataan oikeaan asentoon sekä haluttuun nopeuteen, jotta kuorintaprosessi pysyy tehokkaana ja toimintavarmana.



Kuva 3. Syöttövalssi.

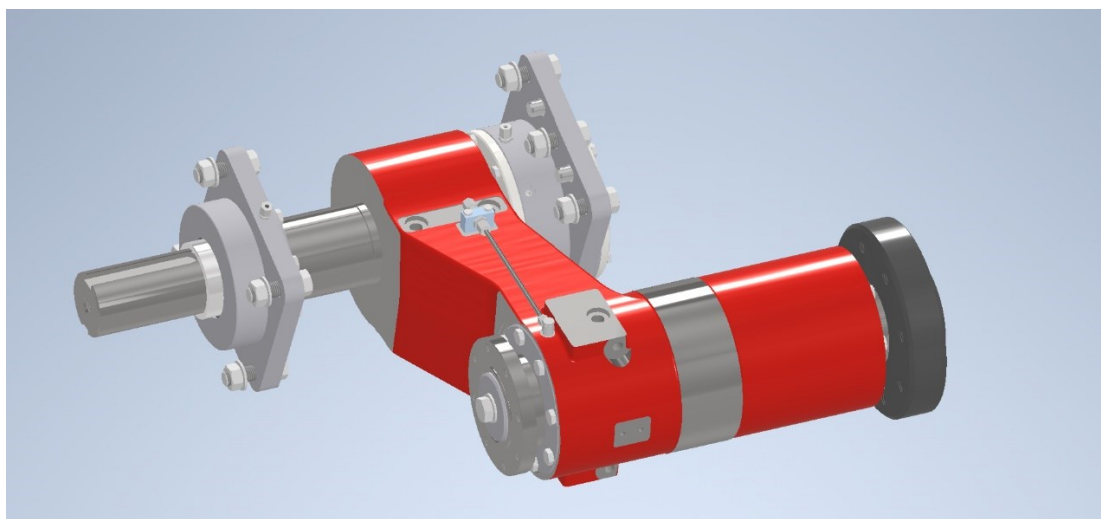
Syöttövalssit koostuvat yleensä kestävästä teräsrungosta sekä pintamateriaaleista, jotka takaavat hyvän pidon puun pinnassa ilman tarpeettomia pintavauriota. Niissä on yleensä piikkejä, karhennettuja pintoja tai muita tartuntapintoja, jotka parantavat tukin hallintaa ja vähentävät liukumisriskiä.

Valssimekanismin toiminta perustuu hydrauliseen tai muuhun voimansiirtoon, joka säätelee valssien pyörimisnopeutta sekä puristusvoimaa. Optimaalinen puristusvoima varmistaa, että tukit etenevät tasaisesti ilman äkillisiä liikeitä.

Lisäksi syöttövalssien tulee kestää suuria rasituksia, sillä ne ovat kosketuksessa vaihtelevan kokoisten ja erilaisten puulajien kanssa, jotka aiheuttavat törmäyksiä valsseihin.

4.3 Aisan rooli sekä vaatimukset

Valssin aisa on keskeinen osa puun kuorimakoneen syöttömekanismia. Sen tehtävänä on tukea, ohjata ja säädellä syöttövalssien toimintaa. Tärkein rooli sillä on tarjota mekaaninen tuki syöttövalssille ja varmistaa, että se pysyy oikeassa asennossa suhteessa tukkiin ja kuorintaroottoriin. Näin varmistetaan, että puun rungot syötetään kuorintaan hallitusti ja tasaisella nopeudella.



Kuva 4. Esimerkki valssin aisasta.

Valssin aisa kiinnittyy yleensä laakeroidusti sekä voimansiirtoon että mekanismiin, ja lisäksi voimansiirtoon nivelrakenteen avulla, mikä mahdollistaa valssin pyörimis- ja puristumisiikkeit.

Valssin aisa altistuu useille erilaisille voimille puun rungon kuljetuksen aikana, ja niiden hallinta on tärkeää sekä kestävyuden että toimintavarmuuden kannalta. Merkittävimmät aisaan kohdistuvat voimat ovat puristusvoima, vääntömomentti, dynaamiset iskut sekä värinä, jotka syntyvät valssin törmätessä tukkiin, tukin liikkuessa valsseja pitkin sekä tukkien puristuessa valssien pintaa vasten.

5 Tietokoneavusteinen 3D-suunnittelu

5.1 3D-mallinnusohjelmat

Tietokoneavusteinen kolmiulotteinen suunnittelu, eli niin sanottu 3D-mallinnus. Se on prosessi, jossa luodaan digitaalisia malleja tuotteista tai rakenteista tietokonesovellukseen. Näitä malleja voidaan hyödyntää tuotteen hahmottamisessa, sen kehittämisessä, liikkeiden simuloinnissa, voimien laskemisessa sekä tarvittavien valmistuspiirustusten luomisessa. 3D-mallit tehdään niin, että ne vastaavat tarkasti todellisia mittasuhteita, jotta yksittäiset osat ja kokoonpanot sopivat yhteen suunnitellulla tavalla myös konkreettisesti. (Tuhola & Viitanen 2008, S.33 ja 17.)

Kolmiulotteiset mallinnusohjelmat tarjoavat monipuolisia työkaluja, joiden avulla voidaan tutkia osien fyysisiä ominaisuuksia, luoda ja tarkastella kokoonpanoja sekä analysoida yhteensopivuuksia. Näin kokoonpanojen toiminnallisuutta voidaan testata ennen todellista valmistusvaihetta. Ohjelmistot mahdollistavat myös materiaalien valinnan sekä mahdollisen pintakäsittelyn määrittämisen, mikä antaa mahdollisimman todellisen kuvan tuotteen lopullisesta ulkonäöstä sekä toimivuudesta. (Tuhola & Viitanen 2008, S.33 ja 17.)

3D-mallinnuksen hyödyntäminen tuo merkittäviä säästöjä suunnitteluprosessiin, sillä sen avulla voidaan vähentää fyysisten prototyyppien tarvetta. Tämä puolestaan pienentää sekä materiaalikustannuksia että valmistukseen liittyviä kuluja. Lisäksi mallien muokkaaminen ja parantaminen on huomattavasti helpompaa sekä nopeampaa verrattuna perinteiseen kaksiulotteiseen suunnitteluun, jossa muutokset voivat olla työläämpiä ja aikaa vievämpiä. (Tuhola & Viitanen 2008, S.33 ja 17.)

Kokonaisuudessaan 3D-mallinnus nopeuttaa tuotekehitystä, vähentää suunnitteluvirheitä ja mahdollistaa entistä tarkemman ja kustannustehokkaamman suunnittelun ennen fyysisen valmistuksen aloittamista. (Tuhola & Viitanen 2008, S.33 ja 17.)

5.2 Autodesk Inventor ja sen ominaisuudet

Autodesk Inventor on yksi edistyneistä 3D-mallinnusohjelmistoista, jota käytetään tämän opinnäytetyön konkreettisessa työosuudessa. Se on kehitetty erityisesti mekaaniseen suunnitteluun sekä insinööritason mallinnukseen.

Inventorilla on kyky sisällyttää monimutkaisia kokoonpanoja ja hallita suuria suunnitteluprojekteja ilman suurempia suorituskykyongelmia. Ohjelma tukee mukautettuja komponenttikirjastoja ja standardisoituja osia, ja tämä nopeuttaa suunnittelua ja varmistaa eri osien yhteensopivuuden toisiinsa jo varhaisessa vaiheessa. (Autodesk 2025.)

Myös yksi Inventorin hyvistä puolista on sen sisältämät simulointi- ja analysointityökalut, joiden avulla tässäkin opinnäytetyössä tarkastellaan suunniteltujen rakenteiden kestävyyttä, liikeratoja sekä toimintaa ennen fyysisten prototyyppien valmistusta. Tämä auttaa optimoimaan tuotteiden suorituskykyä helposti. (Autodesk 2025.)

Kaiken kaikkiaan Inventor tarjoaa monipuoliset työkalut erityisesti tekniseen koneensuunnitteluun liittyvien projektien toteuttamiseen. Sen sisältämät analysointi-, optimointi- ja kokoonpanonhallintatyökalut tekevät siitä toimivan ohjelman vaativiin suunnittelutehtäviin.

6 Optimointi suunnitteluprosessissa

6.1 Optimointi

Optimointi on prosessi, jossa pyritään löytämään suunnittelulle paras mahdollinen ratkaisu. Suunnitteluprosessin aikana insinööri tekee päätöksiä hyödyntäen arviointikykyä, kokemusta sekä muiden asiantuntijoiden mielipiteitä, toivoen saavuttavansa optimaalisen ratkaisun. Suunnittelun optimointi ei kuitenkaan aina ole suoraviivaista, sillä monimutkaisissa järjestelmissä muuttujia voi olla paljon, ja ne voivat vaikuttavat toisiinsa tavoilla, joita ei ole helppo hahmottaa. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

Merkittävä osa optimointia on tarkkojen laskentamallien luominen ja varmistaminen, että ne toimivat oikein. Ilman tarkkaa ja luotettavaa mallia optimointitulokset voivat olla virheellisiä tai harhaanjohtavia. Ei ole harvinaista, että jopa 90 % optimointityöstä kuluu tarkkojen laskentamallien luomiseen ja niiden toimivuuden varmistamiseen ennen varsinaista optimointiprosessia. Hyvin rakennettu malli mahdollistaa sen, että suunnittelun eri vaihtoehtoja voidaan arvioida järjestelmällisesti ja tehokkaasti. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

Optimointiprosessissa määritellään tietyt tavoitteet ja rajoitteet, jotka ohjaavat suunnittelua. Tavoitteet kuvaavat niitä suureita, joita halutaan maksimoida tai minimoida, kun taas rajoitteet määrittelevät suunnittelulle asetetut rajat, joiden sisällä on pysyttävä. Rajoitteet voivat olla joko sellaisia, joissa arvojen on pysyttävä tietyissä rajoissa eikä ylittää tai alittaa asetettuja kynnyksarvoja, tai sellaisia, joissa jokin parametri on määritettävä tarkasti tiettyyn arvoon. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

6.2 Tietokoneavusteinen optimointi

Kun tietokoneella käytettävä optimointiohjelmisto on yhdistetty suunnittelumalliin siten, että ohjelmisto pystyy ”kommunikoimaan” insinöörin luoman mallin kanssa, määritellään suunnitteluun vaikuttavat muuttujat sekä optimoinnin tavoitteet ja rajoitteet. Tämän jälkeen optimointi voi alkaa. Optimointiohjelmisto arvioi mallia monia kertoja, joissain tapauksissa jopa tuhansia, etsiessään parasta mahdollista ratkaisua. Algoritmien avulla muuttujia säädetään systemaattisesti niin, että asetetut tavoitteet saavutetaan ja rajoitteet täyttyvät. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

Suunnittelun kehittäminen ei kuitenkaan pääty optimoinnin suorittamiseen, vaan sen jälkeen on analysoitava, miten mallinnettu ratkaisu vastaa odotuksia. Suunnittelijan tehtävänä on tarkastella analyysiohjelmiston raportoimia arvoja, kuten lujutta ja taipumia, ja päättää, miten mallia voidaan parantaa käyttäen hyväkseen kokemusta ja intuitiota. Suunnittelija voi ehdottaa esimerkiksi uusia lähtöarvoja, joiden uskotaan tuottavan parempia lopputuloksia. Mallia arvioidaan uudelleen ja uudelleen, ja tätä prosessia voidaan toistaa useita kertoja, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

Yhteenvetona voidaan todeta, että tietokoneavusteinen optimointi tarkoittaa algoritmien käyttöä tietokonemallin avulla, jotta voidaan etsiä optimaalisia ratkaisuja laajassa suunnittelutilassa olevalle kappaleelle. Muuttujia säädetään tavoitteiden saavuttamiseksi ja rajoitteiden täyttämiseksi. Tämän lähestymistavan avulla insinöörit voivat löytää entistäkin tehokkaampia, kestävämpiä ja kustannusedullisempia ratkaisuja, joita olisi vaikea saavuttaa pelkästään manuaalisella suunnitteluprosessilla. (Parkinson, Balling & Hedengren 2013.)

6.3 Optimointimenetelmät

6.3.1 FEM

Elementtimenetelmä (Finite Element Method, FEM) on laajasti käytetty numeerinen laskentamenetelmä, jonka avulla voidaan analysoida rakenteellisia vasteita, kuten jännityksiä ja muodonmuutoksia, erilaisissa kuormitustilanteissa. Näiden analyysien avulla voidaan optimoida kappaleen massan jakautumista ja varmistaa, että kriittisiin kohtiin sijoitetaan riittävästi materiaalia rakenteellisen kestävyuden takaamiseksi. FEM perustuu osittaisdifferentiaaliyhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen, mikä mahdollistaa joustavan soveltamisen monimutkaisiin geometrisiin rakenteisiin ja erilaisiin reunaehtoihin. (Baccouch, 2021.)

Autodesk Inventor sisältää Finite Element Method (FEM) analyysityökalun, joka mahdollistaa rakenteellisen analyysin ja optimoinnin suoraan 3D-mallinnusympäristössä. Työkalun laskentatavassa kappale jaetaan pieniin elementteihin, joiden avulla voidaan tarkastella rasituksia, kuten jännityksiä ja muodonmuutoksia. (Autodesk 2025.)

Inventorin moduuli sisältää myös työkaluja muihinkin analyyyseihin, kuten dynaamiseen analyysiin sekä lämmönsiirtoanalyysiin. (Autodesk 2025.)

6.3.2 Topologiaoptimointi

Topologiaoptimointi on laskennallinen menetelmä, jonka avulla voidaan määrittää rakenteen optimaalinen materiaalin jakautuminen tiettyjen suorituskykykriteerien, kuten maksimaalisen jäykkyyden ja minimaalisen massan, saavuttamiseksi. Menetelmä antaa suunnittelijalle enemmän vapautta kuin perinteiset optimointitekniikat, sillä se ei rajoitu vain geometrian hienosäätöön, vaan mahdollistaa täysin uusien, tehokkaampien rakenteiden kehittämisen. (Da 2020.)

Topologiaoptimointia hyödynnetään erityisesti rakenteiden ja koneenosien suunnittelussa, joissa materiaalin tehokas käyttö ja kuormituksen jakautuminen ovat keskeisiä tekijöitä. Menetelmä auttaa keventämään rakenteita säilyttäen niiden mekaanisen suorituskyvyn, mikä on erityisen tärkeää kone-, energia- ja rakennusväline-teollisuudessa. (Da 2020.)

Inventor sisältää tähän tarkoitukseen niin sanotun ”Shape Generator” työkalun, joka analysoi suunnittelijan asettamat kuormitukset ja rajoitteet, ja ehdottaa suunnittelijalle optimaalista materiaalin poistoa suunnittelijan ehdoilla. (Autodesk 2025.)

6.3.3 Optimointi inertian suhteen

Inertia, eli hitausmomentti, on fysikaalinen suure, joka kuvaa massan jakautumista pyörimisakselin suhteen. Se on keskeinen tekijä rakenteiden ja koneenosien suunnittelussa, sillä se vaikuttaa kappaleen kykyyn vastustaa liikettä. Painopisteen ja hitausmomentin määrittäminen on erityisen tärkeää rakenne- ja konesuunnittelussa, sillä niiden avulla voidaan optimoida rakenteiden lujuutta sekä liikenopeuksia, mikä parantaa kokonaisvaltaista suorituskykyä ja tehokkuutta. Pienempään inertiaan päädytään keventämällä rakennetta tai siirtämällä kappaleen massaa mahdollisimman lähelle akselia tai pyörimisakselia, mikä vähentää pyörivän massan vaikutusta ja parantaa liikkeen hallintaa.

Tekniikan kaavasto kirjasta löytyy suoria kaavoja eri muotoisten kappaleiden massan hitausmomenttien laskemiseen. (Tammertekniikka 2014, S.94 ja S.65)

Tässä yksinkertainen esimerkki hitausmomentin laskennasta:

Suorakulmaisen särmiön hitausmomentti x-akselin suhteen lasketaan seuraavasti (Tammertekniikka 2014, S.94):

$$J_x = \frac{1}{12} * m(a^2 + l^2)$$

jossa

J_x on hitausmomentti x-akselin suhteen ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

m on kappaleen massa (kg)

a on kappaleen korkeus y-suuntaan (m)

l on kappaleen leveys z-suuntaan (m).

Inventor ohjelmisto sisältää myös sisäänrakennetun työkalun tähän, joka laskee kappaleen massan hitausmomentin halutun akselin suhteen. Tämä nopeuttaa suunnitteluprosessia ja mahdollistaa nopean arvion tekemisen ilman monivaiheisia simulaatioita, puhumattakaan konkreettisten kappaleiden valmistuksesta. Tämä säästää paljon aikaa sekä resursseja. (Autodesk 2025.)

7 Optimointi työn lähtökohdat

7.1 Nykytilan analyysi

Nykyiset aisarakenteet on suunniteltu kestävästi toistuvaa mekaanista kuormitusta, ja niiden materiaalina on käytetty rakenneterästä, jonka lujuusominaisuudet takaavat riittävän kestävyuden normaaleissa käyttöolosuhteissa. Väliajoin osa aisoista kuitenkin kärsii mekaanisia vaurioita kovien iskujen seurauksena ja näitä tilanteita pyritään vähentämään tuotekehittämällä aisan sekä muun mekanismin rakennetta jatkuvasti.

Edellisten aisojen mitoituksessa on otettu huomioon toimintaympäristön ahtaat tilat sekä aisarakenteen valmistettavuus, hitsattavuus ja yhteensopivuus runkorakenteen kanssa unohtamatta valmistuksen kustannuksia.

Nämä tekijät muodostavat lähtökohdan aisan rakenteen optimoinnille sekä mahdollisille parannuksille.

7.2 Optimoinnin lähtökohta

Työssä optimoitava aisa on osa täysin uuden kuorimakoneen suunnittelua, joka on tällä hetkellä vielä alkuvaiheessa. Kyseinen kone on kehitystyön varhaisessa vaiheessa, joten se antaa hyvän mahdollisuuden tarkastella ja optimoida aisarakenteen ominaisuuksia ennen varsinaista valmistusta.

Työtä joltain osin samalla haastaa se, että koko mekanismi on vielä suunnittelupöydällä, mikä rajoittaa hieman käytettävissä olevien lähtötietojen tarkkuutta. Täysin tarkkoja rasiuksia sekä momenteja ei voida tässä vaiheessa määrittää, joten tarkastelussa käytetään kuormituksia, joita on käytetty yrityksen aikaisemmissakin aisan FEM-tarkasteluissa.

7.3 Optimoinnin tavoitteet

Työn optimoinnin päätavoitteena on kehittää aisan rakennetta siten, että se kestää kuorintaprosessissa aisaan kohdistuvat kuormitukset myös uuden, aiempaa nopeamman puun syöttönopeuden yhteydessä. Samalla pyritään keventämään aisan rakennetta mahdollisimman paljon, jotta voidaan selvittää, miten pienempi inertia vaikuttaa tarvittavaan hydrauliseen voimantuottoon. Tavoitteena on siis yhdistää rakenteellinen kestävyys ja keveys ilman, että toiminnallisuus heikkenee.

Aisan keventämisellä pyritään vaikuttamaan positiivisesti useisiin koneen toimintaan liittyviin osa-alueisiin. Rakenteen keventyminen pienentää mekanismin liikkeelle laittamiseen sekä pysäyttämiseen tarvittavaa voimaa, mikä mahdollistaa pienemmän voimansiirron käytön ja vähentää kulumista voimansiirrossa. Tämä puolestaan lisää koko mekanismin energiatehokkuutta ja käyttöikä. Keventämisen kautta on mahdollista saavuttaa myös tuotantonopeuden kasvattamista tukevia etuja, kuten pienempi vastus ja parempi reagointikyky nopeisiin suunnanmuutoksiin. Aisan keventäminen suojaa osaltaan myös kuljetettavaa puuta, sillä kevyempi rakenne ei aiheuta yhtä suuria iskuja valssien osuessa puuhun sen kulkiessa mekanismin läpi.

Optimoinnin yhteydessä pyrittiin myös parantamaan rakenteen jännitysten jakautumista ja eliminoimaan mahdolliset jännityskeskittymät, jotka voisivat pitkällä aikavälillä aiheuttaa murtumia. Tämä edellyttää huolellista FEM-analyyysien suorittamista ja rakenteen yksityiskohtien tarkastelua. Optimoitu rakenne ei siis olisi pelkästään kevyempi, vaan myös luotettavampi, erityisesti pitkäaikaisessa käytössä.

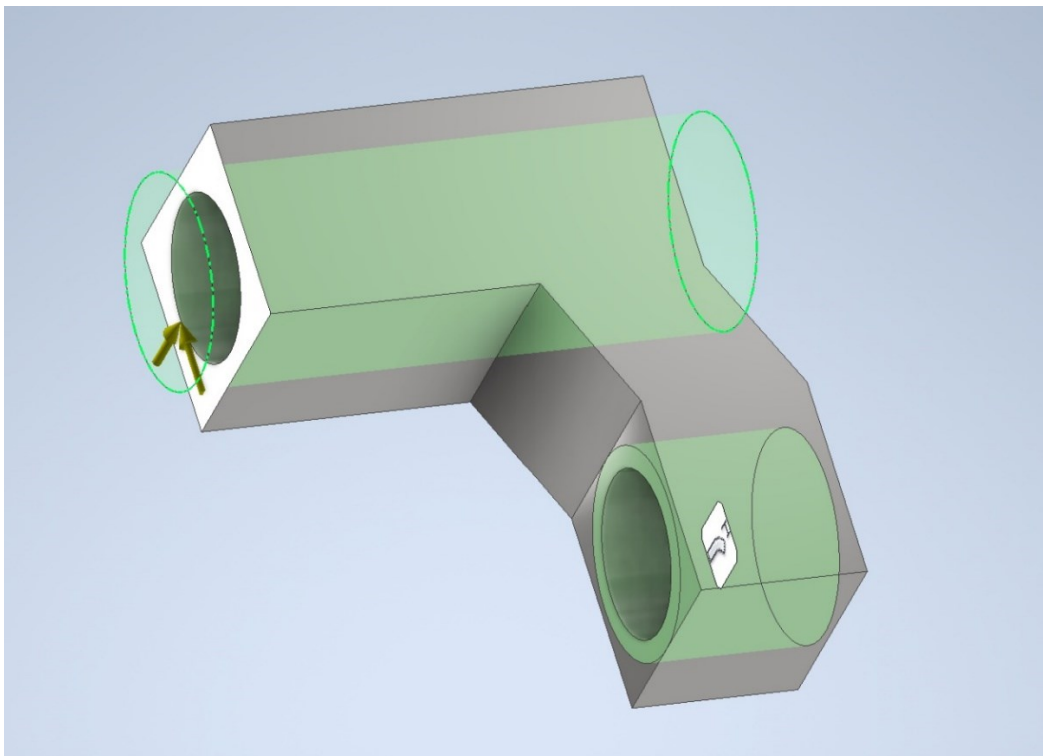
Lisäksi tavoitteisiin sisältyi se, että optimoidun osan tulisi olla helposti valmistettavissa olemassa olevilla valmistusmenetelmillä ilman suurempia muutoksia tuotantoon. Tämän vuoksi optimaalisinta rakennetta ei haettu ainoastaan teoreettisesti parhaana, vaan myös käytännön realiteetit, kuten valmistettavuus, huomioitiin suunnitteluvaiheessa.

8 Optimointiprosessin toteutus

8.1 Optimointimenetelmät

Optimointityö aloitettiin edellisten aiamallien sekä tulevan mekanismin tarkastelun kautta, josta katsottiin kriittiset mittasuhteet sekä yhteensopivuselementit, jotka tuli säilyttää. Raja-arvot ohjasivat suunnittelua ja varmistivat, että uusi aisa olisi yhteensopiva mekanismin muiden osien kanssa ja täyttäisi koneen toiminnalliset vaatimukset.

Työssä hyödynnettiin Autodesk Inventorin Shape Generator toimintoa alustavana optimointityökaluna. Kun Shape Generator työkaluun oli syötetty tarvittavat raja-arvot, kuten mitat, voimat sekä alueet, jotka tuli säilyttää mallissa (kuva 5), saatiin suuntaa antava hahmotelma siitä, mistä kohtaa aisan massaa voitaisiin keventää rakenteellisesti järkevällä tavalla. Sen avulla saatiin visuaalisesti esitettyjä suosituksia materiaalin poistoon, perustuen kuormitusolosuhteisiin ja kiinnityspisteisiin.



Kuva 5. Shape generator lähtökohta.

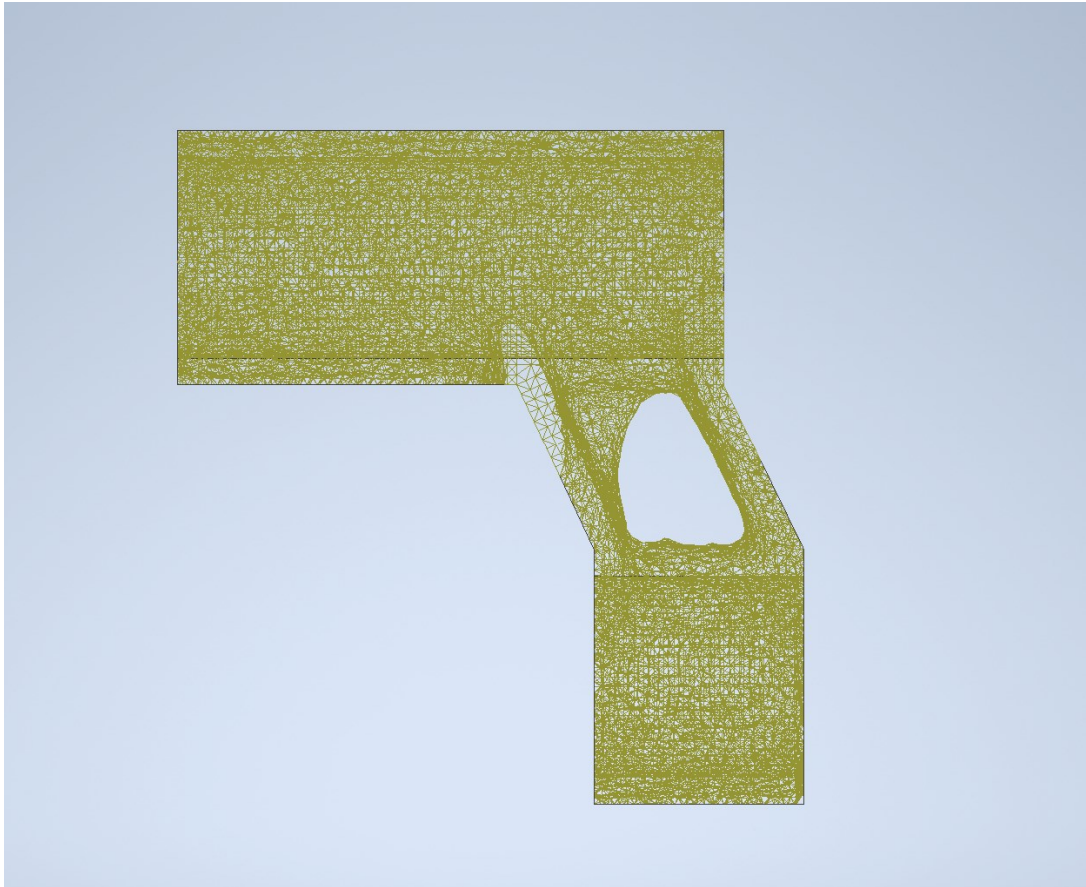
Shape Generatorin tuottamia muotoehdotuksia käytettiin pohjana, kun tehtiin muokkauksia nykyiseen aisarakenteeseen. Tämän jälkeen rakennetta analysoitiin ja testattiin tarkemmin useiden FEM-simulaatioiden avulla. FEM-analyysit suoritettiin rakenteen mekaanisen kestävyuden varmistamiseksi kuormitustilanteissa, jotka vastaavat koneen käytön aikana syntyviä rasituksia.

Kun rakenteelliset vaatimukset täyttyivät FEM-testauksessa, optimoitu aisa liitettiin osaksi mekanismin kokoonpanoa. Tämän jälkeen valssikokoonpanon avaus liikkeen simulaatioajo, jolla pystyttiin analysoimaan rakenteen keventämisen vaikutuksia hydrauliseen voimansiirtoon. Näin pystyttiin vertailemaan alkuperäisen ja optimoidun rakenteen eroja sekä arvioimaan kevennyksen tuomia etuja dynaamisen suorituskyvyn kannalta.

Simulaatioajojen tulokset vietiin Excel-taulukkoon, jossa alkuperäisen sekä optimoidun rakenteen eroavaisuuksia pystyttiin vertailemaan. Tulokset vielä visualisoitiin kaaviolla, joka mahdollisti muutosten vaikutuksen havainnollistamisen helposti.

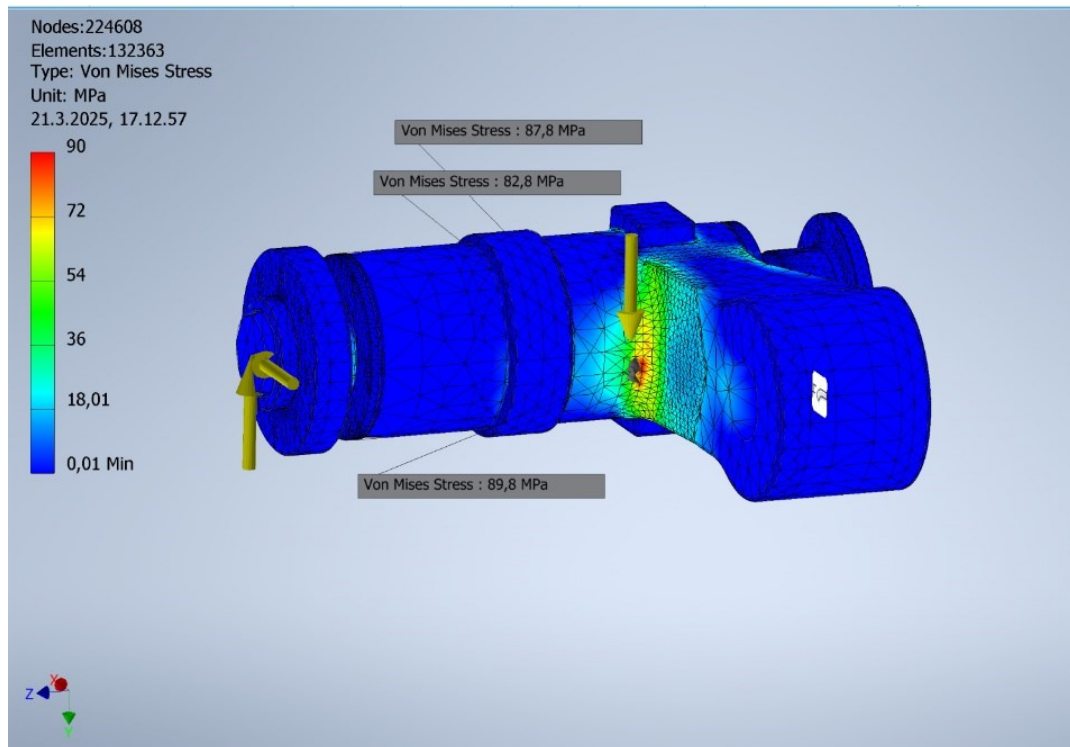
8.2 Optimoinnissa tehdyt huomiot

Optimointiprosessin aikana tehtiin useita havaintoja, jotka ohjasivat rakenteellisia muutoksia. Shape Generator työkalun avulla saatiin tulokseksi, että aisan varren keskiosasta saattaisi olla mahdollista poistaa materiaalia ilman, että se vaikuttaisi negatiivisesti rakenteen toimintaan (kuva 7). Tämä havainto viittasi siihen, että alkuperäinen rakenne saattaisi olla hieman ylimitoitettu erityisesti varren keskialueelta, jossa kuormitukset olivat selkeästi pienempiä.



Kuva 6. Shape Generatorin antama tulos.

FEM-analyysien avulla havaittiin puolestaan, että suurimmat jännitykset kohdistuvat aisan taitoskohtaan (kuva 8), erityisesti pyöristysalueelle, jossa varsi liittyy kiinnitysrakenteisiin. Alkuperäisessä mallissa pyöristyssäde oli hieman pieni, mikä aiheutti jännityskeskittymän, joka näkyy kuvassa (7). Näin ollen rakenne olisi ollut alttiimpi vaurioitumaan pitkäaikaisessa käytössä tai toistuvassa kuormituksessa. Tavoitteena oli päästä alle 80 MPa jännityksiin, tämän vuoksi pyöristyssädettä kasvatettiin, mikä jakoi kuormitusta tasaisemmin ja pienensi paikallisia jännityspiikkejä. Tämä muutos paransi merkittävästi rakenteen väsymiskestävyyttä ja mahdollisti entistä turvallisemman käytön nopean syötön olosuhteissa.

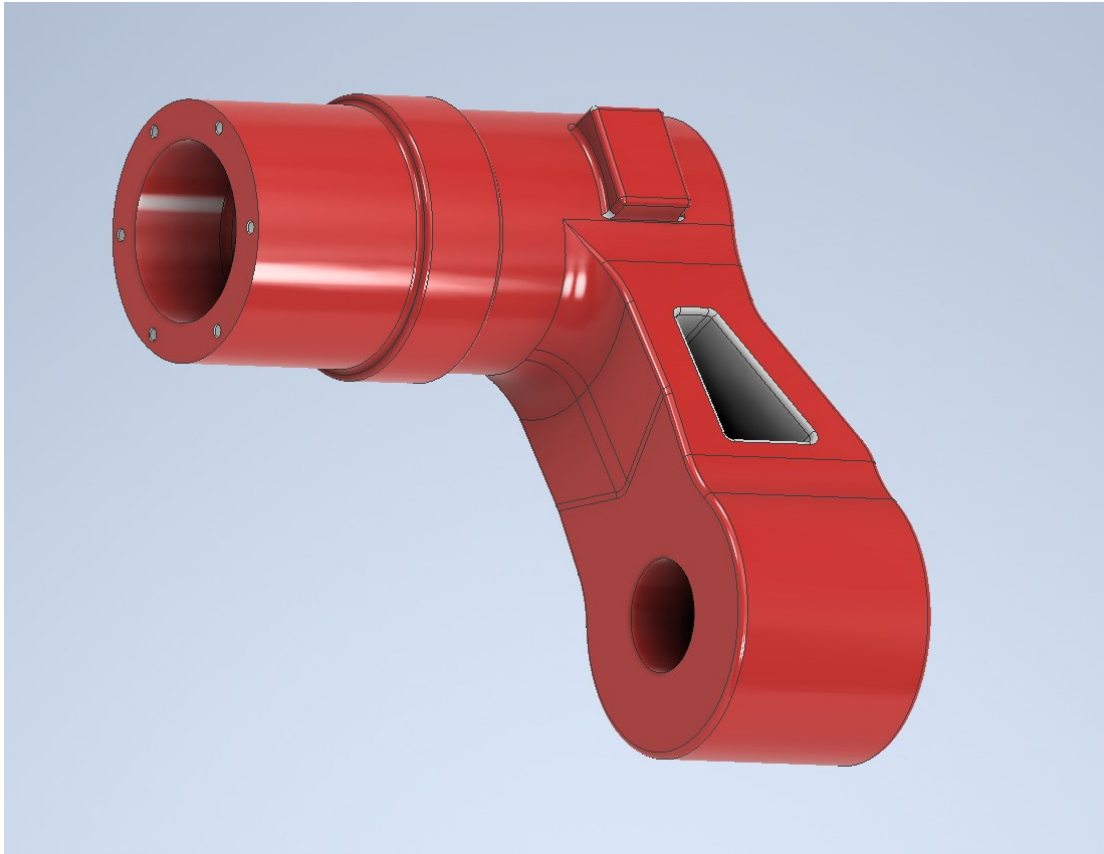


Kuva 7. Alkuperäisen aisan FEM-tulos.

Yhdessä nämä havainnot osoittivat, kuinka tärkeää on tarkastella sekä kevennettävien että vahvistettavien alueiden roolia rakenteessa. Varren keskiosan keventäminen yhdistettynä kriittisten kohtien vahvistamiseen mahdollisti kokonaisratkaisun, jossa paino väheni sekä rakenteellinen lujuus säilyi ja jopa parani alkuperäiseen verrattuna.

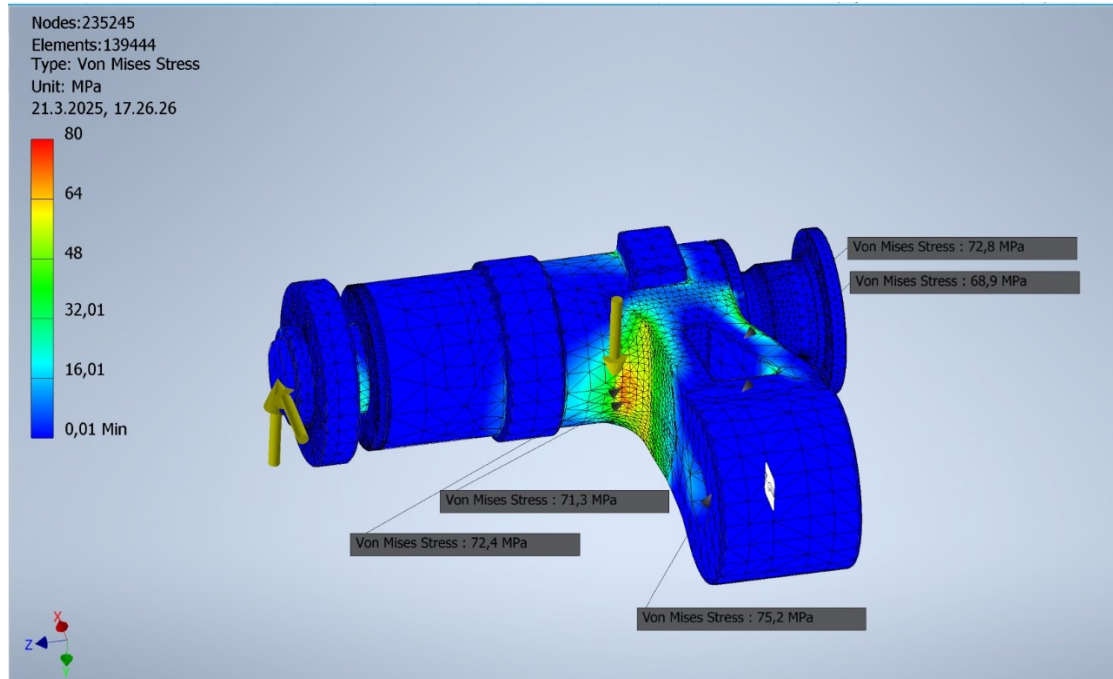
9 Tulokset sekä niiden merkitys

9.1 Suorituskyvyn ja kestävyuden parannukset



Kuva 8. Uusi aisarakenne.

Suunnittelumuutosten seurauksena valssin aisan painoa onnistuttiin keventämään noin 7 %, alkuperäisestä 188 kilogrammasta paino laski 175 kilogrammaan. Tämä 13 kilogramman vähennys parantaa rakenteen suorituskykyä erityisesti liikkuvien osien osalta.



Kuva 9. Uuden aisarakenteen FEM-tulos.

Samanaikaisesti rakenteellisen optimoinnin avulla aisan jännityskeskittymät saatiin parannettua selvästi kriittisten rajojen alapuolelle. Suurin todettu jännitys jäi alle 76 MPa:n (kuva 10), mikä osoittaa, että kevennyksistä huolimatta aisan lujuus ja mekaaninen kestävyys säilyivät riittävällä tasolla. Tämä tukee rakenteen pitkäikäisyyttä sekä luotettavuutta käyttöolosuhteissa.

9.2 Aisan muutosten vaikutus mekanismeissa

Aisan rakenteellisten muutosten vaikutusta arvioitiin simuloimalla valssimekanismin toimintaa alkuperäisellä sekä optimoidulla aisarakenteella. Simulaatioiden avulla tutkittiin erityisesti hydraulisylinteriltä vaadittavaa voimaa ja painetta valssien avausliikkeessä. Tulosten perusteella havaittiin, että optimoitu ja kevennetty aisa vähentää sylinteriltä vaadittavaa voimaa erityisesti liikkeen alkuvaiheessa, jossa kuormituspiikit ovat yleensä suurimmillaan.

Tarvittavan paineen ja voiman lasku alkuvaiheessa viittaa siihen, että aisan muutokset vaikuttavat suotuisasti koko mekanismin dynaamiseen käyttäytymiseen. Tämä parantaa järjestelmän hallittavuutta ja reagointiaikaa, sekä vähentää hydrauliiikan rasitusta, mikä puolestaan voi vaikuttaa positiivisesti komponenttien käyttöikään ja huoltotarpeeseen.

9.3 Jatkokehitys ja seuraavat askeleet

Yhtenä jatkokehitysideana voitaisiin tarkastella vielä aisan massan sijoittelun optimointia. Painopisteen ja massajakauman muuttamisella olisi mahdollista vaikuttaa mekanismin dynaamiseen käyttäytymiseen vieläkin paremmin. Mikäli massaa onnistuttaisiin siirtämään vielä lähemmäs aisan akselia, voisi seurauksena olla vieläkin pienempi hitausmomentti.

Jos uudessa konemallissa päädyttäisiin työssä suunniteltuun aisaan, todettiin rakenneparannukset valmistusteknisesti toteuttamiskelpoisiksi. Näin ollen loogisena jatkotoimenpiteenä olisi prototyypin valmistus. Fyysisellä kappaleella voitaisiin varmentaa simulointitulosten paikkansapitävyys sekä arvioida aisan käyttäytymistä osana kokonaista valssimekanismia.

Lähteet

Autodesk 2025. Inventorin ominaisuudet. Viitattu 21.2.2025.

<https://www.autodesk.com/fi/products/inventor/features>

Autodesk. 2025. Finite Element Analysis in Inventor. Viitattu 25.2.2025.

<https://www.autodesk.com/solutions/simulation/finite-element-analysis>

Autodesk. 2025 Topology Optimization | Software and Resources. Viitattu

25.2.2025. <https://www.autodesk.com/solutions/topology-optimization>

Baccouch, M. (ed.) (2021) Finite element methods and their applications.

London: IntechOpen.

Da, D. (2020) Topology optimization design of heterogeneous materials and structures. London: John Wiley & Sons, Incorporated.

Parkinson, A. R., Balling, R. J. & Hedengren, J. D. 2013. Optimization Methods for Engineering Design: Applications and Theory. Brigham Young University.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä.

Tampere: Tammertekniikka.

Valon Kone. (n.d.). Valon Kone – Yritys ja historia. Viitattu 5.3.2025.

<https://valonkone.com/fi/yritys>

Varis, R. (toim.) (2017) Sahateollisuus. Helsinki: Suomen

Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry & Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys ry.