

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2024

Niina Ollikainen

# Kääntölaitteen runkorakenteen keventäminen

– Valmet Technologies Oy



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

2024 | 43 sivua

Niina Ollikainen

## Kääntölaitteen runkorakenteen keventäminen

- Valmet Technologies Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli keventää kääntölaitteen runkoa ja pienentää sen valmistuskustannuksia. Työn painopiste oli rungon valmistuksellisten muutosten tarkastelussa, erityisesti rungon muodon yksinkertaistamisessa, jotta saataisiin parannettua valmistettavuutta ja kevennettyä rakennetta ilman, että tehdään kompromisseja toiminnallisuuden tai kestävyys suhteen. Lisäksi tarkasteltiin muiden osien, kuten päätylevyjien, säätölistojen ja väliseiniä, yksinkertaistamista ja keventämistä. Tavoitteena oli tehdä laitteesta kokonaisuudessaan kevyempi ja kilpailukykyisempi markkinoilla.

Projektiin kuului 3D-mallin luominen laitteesta ja tarvittavien lujuuslaskelmien suorittaminen muutosten varmistamiseksi. Rungon yksinkertaistamisella pyrittiin keventämään rakennetta ja vähentämään tukirakenteita sekä materiaalmäärää. Tämä parantaa myös valmistettavuutta, mikä tekee valmistusprosessista sujuvamman.

Kääntölaitteelle suoritettiin staattinen rakenneanalyysi muodonmuutosten ja jännitysten jakautumisen tutkimiseksi. Tämä analyysimenetelmä on keskeinen, kun arvioidaan rakenteiden kestävyttä, jännityksiä, muodonmuutoksia ja murtoriskejä normaaleissa käyttöolosuhteissa tai erityistilanteissa. Lisäksi tutkittiin notkahduskuormitusta, joka määrittää kriittisen kuormituksen, jonka ylittäessä rakenteen vakaus voi pettää. Lujuuslaskennat antoivat suuntaa antavaa tietoa rungon kestävydestä, mutta kaikkia sisäisiä osia ei otettu huomioon, joten tulokset eivät täysin heijasta laitteen todellista kestävyttä.

Asiasanat:

Valmet Technologies Oy, Tuotekehitys, paperiteollisuus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2024 | 43 pages

Niina Ollikainen

## Lightening of the frame structure of the air turn

- Valmet Technologies Oy

Main objective of this thesis was to lighten the frame structure of the air turn and reduce its manufacturing costs. The focus was on examining manufacturing changes to the frame, specifically simplifying the shape of the frame to improve manufacturability and reduce weight without compromising functionality or durability. Additionally, the project focused on simplifying and lightening other parts of the air turn, such as end plates, adjustment strips, and partition walls. The goal was to make the device lighter overall and more competitive in the market.

An important part of the project included creating a 3D model of the device and performing the necessary strength calculations to ensure the changes were viable. The simplification of the frame structure aimed to reduce weight and decrease the number of support structures and material used, which also improves manufacturability, making the manufacturing process smoother.

A static structural analysis was conducted on the air turn to study the distribution of deformations and stresses. This analysis method is essential for evaluating the durability, stresses, deformations, and fracture risks of structures under normal operating conditions or special situations. Additionally, buckling load was examined to determine the critical load at which the structure's stability might fail. The strength calculations provided indicative information about the frame's durability, but not all internal components were considered, so the results do not fully reflect the device's actual durability.

Keywords:

Valmet Technologies Oy, product development, paper industry

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Valmet Technologies Oy</b>	<b>8</b>
<b>3 Paperin valmistus prosessi</b>	<b>11</b>
3.1 Materiaali	11
3.2 Massan valmistus	12
3.3 Kuidun käsittely	13
3.4 Rainan muodostus	14
3.5 Märkäpuristus	14
3.6 Kuivatus	15
3.7 Jälkikäsittely	16
<b>4 Ilmakuivaimet</b>	<b>17</b>
4.1 Päällepuhalluskuivatus	18
4.2 Päällepuhalluskuivaimet	19
4.3 Suutintyyppit	20
<b>5 Kääntölaite</b>	<b>22</b>
<b>6 Ohjelmistot</b>	<b>26</b>
6.1 CATIA	26
6.2 Ansys	27
<b>7 Runkorakenteen suunnittelu</b>	<b>28</b>
7.1 Nykyisen kääntölaitteen runko ja valmistus	28
7.2 Muutokset runkorakenteeseen	29
7.3 Valmistukselliset muutokset uudessa runkorakenteessa	33
<b>8 Lujuuslaskenta</b>	<b>35</b>
8.1 Lujuuslaskennan alustus	35
8.2 Lujuuslaskennan tulokset	37
<b>9 Yhteenveto</b>	<b>40</b>

## Kuvat

Kuva 1 Valmetin maantieteelliset liiketoiminta alueet, henkilöstö määrät sekä palvelut toimipisteissä. (Valmet 2024a.)	8
Kuva 2 Paperikone ja sen tyypilliset ominaisuudet (Valmet 2024f.)	9
Kuva 3 Paperikoneen kuivatusosa (KnowPap 25.0 2024.)	16
Kuva 4 Ilmakuivain ja paperirata (KnowPap 25.0 2024.)	18
Kuva 5 Päällepuhalluskuivatuksen periaate (KnowPap 25.0 2024.)	19
Kuva 6 Valmetin päällepuhalluskuivaimet (KnowPap 25.0 2024.)	20
Kuva 7 Ilmakuivaimen suuttimia (KnowPap 25.0 2024.)	21
Kuva 8 Kääntölaite	22
Kuva 9 Kääntölaite ja ilmalaite (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.)	24
Kuva 10 Kääntölaitteen nykyinen runkorakenne	29
Kuva 11 Kääntölaitteen nykyinen runkorakenne edestäpäin ilman päätylevyjä	31
Kuva 12 Kääntölaitteen uudelleen suunniteltu runkorakenne edestäpäin ilman päätylevyjä	31
Kuva 13 Uudelleen suunniteltu runkorakenne	32
Kuva 14 Kääntölaitteen säätölista	34
Kuva 15 Kääntölaite verkotettuna	36
Kuva 16 Kääntölaite suutinpaketin kanssa	38
Kuva 17 Kääntölaitteen painauma kanavan vasemmalta puolelta katsottuna	38
Kuva 18 Kääntölaitteen painauma kanavan oikealta puolelta katsottuna	39
Kuva 19 Kääntölaitteen notkahdus	39

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Coandă-ilmiö	virtauksen pyrkimys kääntyä kohti lähellä olevaa pintaa.
EMEA	Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka
Fibrilaatio	prosessi, jossa kuidut tai partikkelit hajoavat tai muodostavat pieniä kuituja tai säikeitä.
Jigi	työkalu, joka pitää kappaleet paikoillaan ja ohjaa työstövälineitä tarkkuuden ja toistettavuuden parantamiseksi.
Opasiteetti	läpinäkymättömyys
Rata	paperi- tai kartonkirata

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on toteutettu toimeksiantona Valmet Technologies Oy. Pää tavoitteena on keventää kääntölaitteen runkorakennetta samalla pienentäen sen valmistuskustannuksia. Noin 60 prosenttia laitteen kustannuksista kohdistuu runkoon, joten sen yksinkertaistaminen ja keventäminen vaikuttaisi merkittävästi kokonaiskustannuksiin. Vaikka nykyinen laite on erinomainen päästöjen ja energiatehokkuuden suhteen, sen korkea hinta rajoittaa sen kilpailukykyä markkinoilla.

Opinnäytetyön painopiste on runkorakenteen valmistuksellisten muutosten tarkastelussa, erityisesti rungon muodon yksinkertaistamisessa. Tavoitteena on parantaa valmistettavuutta ja keventää laitteen rakennetta ilman, että tehdään kompromisseja toiminnallisuuden tai kestävyuden suhteen. Projektin osana luodaan myös 3D-malli laitteesta ja suoritetaan tarvittavat lujuuslaskelmat muutosten varmistamiseksi.

Lisäksi projektissa keskitytään muihin kääntölaitteen osiin, kuten päätylevyihin, säätölistoihin ja väliseiniin, jotta niitä voidaan yksinkertaistaa ja keventää. Tavoitteena on tehdä laitteesta kokonaisuudessaan kevyempi ja kilpailukykyisempi markkinoilla. Opinnäytetyössä käytetyt mallinnetut kappaleet on suunniteltu Catia V6 -suunnitteluohjelmistolla, ja lujuuslaskennat on suoritettu Ansys-ohjelmistolla. Opinnäytetyössä käytetään ensisijaisesti lähteinä Valmetin työntekijöille suunnattujen sisäisiä tietokantoja.

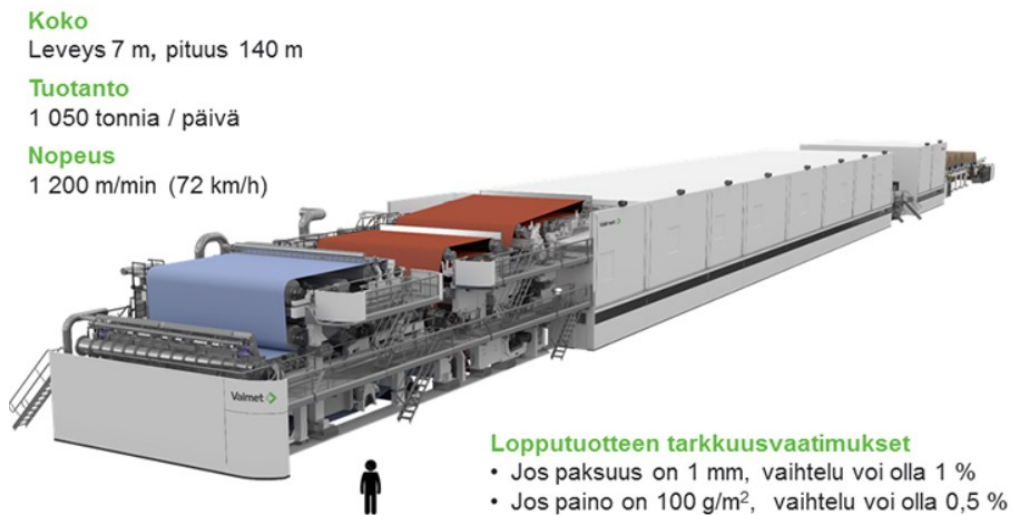
## 2 Valmet Technologies Oy

Valmet on maailman johtava prosessiteknologian, automaation ja palvelujen toimittaja sekä kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Yhtiöllä työskentelee maailmanlaajuisesti yli 19 000 henkilöä. Valmetin liiketoiminta on jaettu viiteen maantieteelliseen alueeseen. Maantieteelliset alueet ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA, Kiina ja Aasian ja Tyynenmeren alue. Alueet vastaavat myynnistä, tarjoavat palveluja asiakkaiden tarpeiden täyttämiseksi ja tukevat projektitoimituksia omalla alueellaan. Valmetin liiketoiminta on jaettu neljäksi liiketoimintalinjaksi, jotka ovat kartonki ja paperi, sellu ja energia, automaatio sekä palvelut ja huolto. (Valmet 2024a.) **Kuvassa 1** on esitetty Valmetin maantieteelliset liiketoiminta alueet, henkilöstö määrät sekä palvelut toimipisteissä. (Valmet 2024a.)



Kuva 1 Valmetin maantieteelliset liiketoiminta alueet, henkilöstö määrät sekä palvelut toimipisteissä. (Valmet 2024a.)

Paperit-liiketoimintalinja toimittaa kartonki-, pehmpaperi- ja paperiteollisuudelle koneita, jatkojalostuslinjoja sekä laitteita ja tarjoaa myös koneiden uusintoja. Kuvassa 2 näkyy paperikone ja sen tyypilliset ominaisuudet. Ratkaisut on suunniteltu huomioiden käyttötarkoitus, ja niiden keskiössä ovat energian ja raaka-aineiden säästäminen, tehokkuus, joustavuus ja turvallisuus. Viime vuosina kysyntä uusille kartonki- ja paperikoneille on kasvanut merkittävästi erityisesti Kiinassa, Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Valmet on vuosien mittaan toimittanut maailmanlaajuisesti yli 700 kartonkikonetta, 900 paperikonetta ja yli 300 pehmpaperikonetta asiakkailleen. (Valmet 2024e.)



Kuva 2 Paperikone ja sen tyypilliset ominaisuudet (Valmet 2024f.)

Valmetin teollinen historia ulottuu yli 220 vuoden päähän. Yhtiön juuret ulottuvat 1750-luvun pieneen allastelakkaan, joka päättyi 1900-luvulla Suomen valtion omistukseen ja osaksi Valmetia. Valmet aloitti paperikoneiden valmistuksen entisellä tykkitehtaallaan Rautpohjassa 1950-luvun alkupuolella ja toimitti ensimmäisen paperikoneensa vuonna 1953. Saavutettuaan kansainvälistä merkittävyyttä paperikonevalmistajana 1960-luvun puolivälissä, Valmet toimitti useita koneita maailman johtaviin paperiteollisuusmaihin. Yritys yhdistyi Rauma Oyj:n kanssa muodostaen Valmet Rauma Oyj:n vuonna 1999, ja elokuussa 1999 sen nimi muutettiin Metso Oyj:ksi. Tuolloin Valmet keskittyi paperi- ja

kartonkikoneteknologiaan, kun taas Rauma keskittyi kuituteknologiaan, kivenmurskaukseen ja virtauksen ohjausratkaisuihin. Vuonna 2013 Metso Oyj jaettiin kahdeksi erilliseksi yhtiöksi: Valmet Oyj ja Metso Oyj. Tämän jaon myötä sellu-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminta siirtyi uudelle yhtiölle, Valmetille, kun taas kaivos-, maarakennus- ja automaatioliiketoiminta jäi osaksi Metsoa. (Valmet 2024b.) Vuonna 2023 Valmetin liikevaihto oli 5,5 miljardia euroa. (Valmet 2024c.)

### 3 Paperin valmistus prosessi

Paperit voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat paperi, kartonki ja pahvi. Yleensä papereilla tarkoitetaan yksikerroksisia kuitutuotteita, joiden neliömassa on 6–150 g/m<sup>2</sup> välillä. Kartongit ovat papereita painavampia ja ne ovat usein valmistettu monikerrostekniikalla, kartonki on neliömassaltaan 125–600 g/m<sup>2</sup>. Pahvit ovat kartongeista ja papereista liimaamalla laminoituja kerrosrakenteita, joiden neliömassa on yli 400 g/m<sup>2</sup>. Paksuhkoja erikoiskartonkeja kutsutaan pahveiksi, vaikka niitä ei olekaan muodostettu liimaamalla. Paperilla on lukuisia käyttökohteita, ja eri tarkoituksiin valmistetaan paljon ominaisuuksiltaan erilaisia paperilajeja. Paperin käyttö tarkoituksia on muun muassa kirjoitus-, pakkaus-, hygienia- sekä teollisuuspaperit, kun taas kartonkeja käytetään esimerkiksi pakkauskartonkeihin ja graafisiin kartonkeihin. Kartonkeja ja papereita voidaan myös räätälöidä erilaisiin käyttötarkoituksiin ja tarpeisiin. (KnowPap 25.0 2024.)

#### 3.1 Materiaali

Paperin valmistuksessa voidaan käyttää erilaisia puukuituja, joiden rakenne määräytyy puulajin, kasvualustan ja sääolosuhteiden mukaan. Lehtipuu ja havupuu sisältävät erilaisia kuituja, minkä vuoksi niitä käytetään eri tarkoituksiin. Havupuun pidemmät kuidut mahdollistavat vahvemman paperin valmistuksen, kun taas lehtipuun lyhyitä kuituja voidaan hyödyntää paperin optisten ominaisuuksien ja painettavuuden parantamiseen. Paperinvalmistuksessa käytetään kymmeniä eri puulajeja, joiden rakenteet poikkeavat toisistaan merkittävästi. Vaikka eri puulajien kuidut eroavat toisistaan, niillä kaikilla on samanlainen perusrakenne, joka koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Kuidut erotetaan ja veden avulla niistä muodostetaan yhtenäinen, pitkä ja ohut matto. Valmiissa paperissa kuidut liittyvät toisiinsa kemiallisesti ja fyysisesti muodostaen lujan ja kestävästä kuituverkoston. (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.2 Massan valmistus

Massanvalmistus eli kuitujen erottaminen voidaan tehdä kemiallisesti tai mekaanisesti. Kemiallisessa massanvalmistuksessa hake keitetään kemikaalien kanssa korkeassa lämpötilassa. Tavoitteena on poistaa kuidut toisiinsa sitova ja massan kellastumista aiheuttava ligniini samalla, kun kuitujen eheys ja lujuus säilytetään. Mekaanisessa massanvalmistuksessa puu hajotetaan mekaanisesti kuiduiksi. Hiokkeen valmistuksessa puupaloja painetaan pyörivää hiomakiveä vasten siten, että puukuidut ovat yhdensuuntaiset pyörimisakselin kanssa ja poikittain hiomakiven liikesuuntaan nähden. Hiomakiven pinnalla olevat hiomarakeet antavat kuiduille suuren määrän iskuja. Kitkavoimien vuoksi osa mekaanisesta työstä muuttuu lämmöksi, mikä auttaa pehmentämään kuituja sitovaa ligniiniä ja avaamaan kuitujen välisiä sidoksia. Koska hiominen aiheuttaa mekaanista stressiä kuiduille, kuidun katkeaminen ja muut kuituvauriot ovat väistämättömiä. Tämä vaikuttaa negatiivisesti hiomamassan lujuusominaisuuksiin. (KnowPap 25.0 2024.)

Valmiissa hiomamassassa puuelementit (selluloosa, hemiselluloosa, ligniini) ovat käytännössä alkuperäisissä suhteissaan, mikä tarkoittaa, että puusta voidaan saada lähes kaksinkertainen määrä massaa verrattuna kemialliseen massanvalmistukseen. Muita mekaanisen massan etuja ovat korkea opasiteetti ja kokoonpuristuvuuden ansiosta hyvät painettavuusominaisuudet, jotka aiheutuvat mekaanisen massan kuitujen ominaisuuksista ja korkeasta hienoaines määrästä. (KnowPap 25.0 2024.)

Mekaaninen massanvalmistus voidaan toteuttaa myös hiertomenetelmällä, jossa puuraaka-aine syötetään hakkeena levyjauhimen teräkiekkojen väliin. Vähintään toinen teräkiekoista pyörii nopeudella 1500–2300 rpm. Terien kuvioinnin kohoumat siirtävät mekaanista energiaa puuhun. Hake esikäsitellään kuumalla höyryllä ennen jauhimesta tapahtuvaa kuidutusta. Esikäsitely tavoitteena on vaikuttaa kuitujen irtoamiseen siten, että ne irtoavat pidempinä, mikä johtaa pitempikuituiseen massa. Hierteessä pitkien kuitujen osuus on

suurempi kuin hiokkeessa, mikä parantaa hierteen lujuusominaisuuksia verrattuna hiokkeeseen. (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.3 Kuidun käsittely

Kemiallisella tai mekaanisella menetelmällä irrotetut kuidut ovat aluksi jäykkiä ja sileitä, joten niiden sitoutumiskyky on heikko paperinvalmistuksessa. Jauhatus parantaa kuidun sitoutumiskykyä mekaanisen rasituksen avulla, mikä tekee niistä joustavampia ja lisää niiden sitoutumisaluetta. Jauhatus vaikuttaa kuituihin poistamalla primaarikalvon, aiheuttamalla sisäistä ja ulkoista fibrillaatiota, kuidun katkeamista, hienoaineen muodostumista ja kuitujen turpoamista. Jauhatus on tärkeä osaprosessi paperinvalmistuksessa, koska sillä voidaan säätää lopputuotteen ominaisuuksia. (KnowPap 25.0 2024.)

Vaikka jauhatusta voi parantaa esimerkiksi murtolujuutta, se voi samalla heikentää opasiteettia. Tällaisten kriittisten ominaisuusparien kohdalla on jauhatuksessa saavutettava optimaalisuus, joka huomioi valmistettavan tuotteen vaatimukset, jatkojalostuksen tarpeet sekä loppukäyttäjän odotukset. Jauhatus pyrkii parantamaan havukuitujen ominaisuuksia ilman kuidun pituuden vähentämistä, kun taas lehtipuukuituja käytetään painettavuuden parantamiseen. Jauhatus vaikuttaa myös massan vedenpoisto-ominaisuuksiin, mikä ilmenee paperi- tai kartonkikoneen viira- ja puristinosassa. Lisääntyvä vedenpoistovastus voi olla rajoittava tekijä prosessissa. (KnowPap 25.0 2024.)

Paperikoneelle voi syöttää erilaisia massakomponentteja, kuten mäntysellua, koivusellua, hioketta, uusiomassaa, koneen omaa hylkyä, päällystettyä hylkyä, kiekkosuotimelta talteen otettua massaa sekä lisä- ja täyteaineita. Näiden komponenttien ja niiden suhteiden muuttaminen mahdollistaa erilaisten paperilajien valmistuksen. Annostelujärjestelmän tehtävänä on säädellä massakoostumus vastaamaan kyseisen paperilajin vaatimuksia. Massat johdetaan annostelujärjestelmän kautta sekoitussäiliöön, jossa tuoremassakomponentit yhdistetään ensimmäistä kertaa. Massakomponentit ja

osa lisäaineista annostellaan säiliöön massasuhteen mukaisesti. (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.4 Rainan muodostus

Paperikoneen ensimmäinen osa on perälaatikko, jolla massa levitetään hallitusti viiran levyiseksi suihkuksi. Perälaatikon tehtävänä on stabiloida syöttövirtauksen painevaihtelut ja pulseeraus sekä mahdolliset poikkisuuntaiset virtaushäiriöt. Lisäksi sen tulee tuottaa sopiva turbulenssi kuituflokkien hajottamiseksi ja luoda viiraosalle massasuspensiosuihku, jolla on haluttu sakeus, nopeus ja suunta. (KnowPap 25.0 2024.)

Viiraosan päätehtävänä rainanmuodostuksessa on poistaa perälaatikosta tulevasta massasuspensiosta vettä suodattamalla se viirakudoksen läpi. Samalla viiraosa tuottaa riittävän suuria hydrodynaamisia voimia estääkseen kuituflokkien muodostumisen ja hajottaakseen jo muodostuneet flokit. Rainan on myös saavutettava riittävän korkea kuiva-ainepitoisuus, jotta sen siirto viiralta puristimelle on helppoa ja jotta puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.5 Märkäpuristus

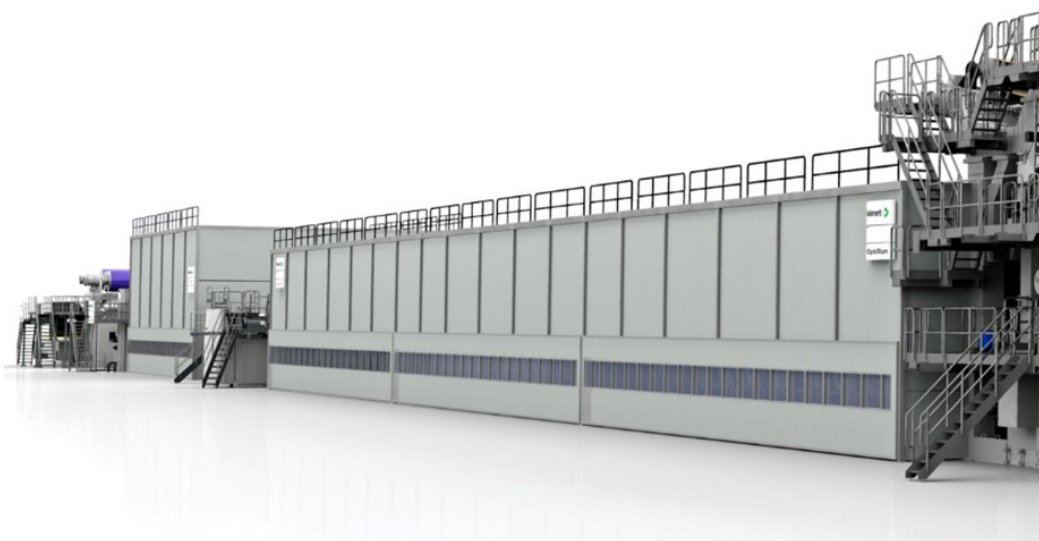
Viiran jälkeen vettä poistetaan mekaanisesti puristamalla, jolloin rainan paksuus pienenee ja kuitujen välinen kontaktipinta-ala kasvaa. Puristinosan tehtävänä on poistaa mahdollisimman paljon vettä ja tiivistää rainaa, jotta saavutetaan riittävä märkälujuus rainan siirtämiseksi kuivatusosalle ilman katkoksia. Tämä tiivistyminen mahdollistaa lujien kuitusidosten muodostumisen kuivatuksen aikana. Märkäpuristus tapahtuu joko puristinhuovan ja sileän telan tai kahden puristinhuovan välissä. Puristettaessa rainan tilavuus pienenee ja vesi poistuu huopaan. Aluksi puristaminen tehdään varovasti, jotta viiralla muodostunut paperimassaraina ei rikkoudu. Puristuksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus, mutta puristinpainetta ei voi nostaa

niin korkeaksi kuin teknisesti mahdollista, sillä liian korkea paine pienentäisi paperin paksuutta liikaa ja tekisi puristimen alttiiksi värähtelyille. (KnowPap 25.0 2024.)

Märkäpuristus vaikuttaa merkittävästi paperin ominaisuuksiin, joten puristinmuuttujien valinta on tärkeää paperinvalmistuksessa. Puristimien geometria, telat, pinnoitteet ja huovat on sovitettava oikein paperilajin ja ajonopeuden mukaan. Märkäpuristus vaikuttaa paperin sileyteen, symmetriaan, hienoainejakaumaan, pölyävyyteen sekä kosteuteen ja kosteusprofileihin. (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.6 Kuivatus

Paperikoneen kuivatusosalla haihdutetaan paperirainasta vesi, joka ei ole poistunut viira- ja puristinosalla. Kuvassa 3 näkyy paperikoneen kuivatusosa tehdas ympäristössä. Haihduttaminen tulisi tapahtua tehokkaasti, tasaisesti ja samalla säilyttäen määrässä päässä saavutetut ominaisuudet. Paperin kuivatuksessa käytetään yleensä kolmea eri menetelmää. Nämä menetelmät ovat kontakti- eli sylinterikuivatus, puhalluskuivatus ja säteilykuivatus. Yleisin näistä on monisylinterikuivatus, joka koostuu 4–10 kuivatussylinteriryhmästä, kun taas säteilykuivatus hyödyntää yleensä infrapunaa. Kaikille kuivatusmenetelmille on ominaista ulkoisen energian käyttö veden haihduttamiseksi radasta, ja haihtunut vesi poistetaan ilman avulla radan läheisyydestä. Eri kuivatusmenetelmät eroavat energian tuontitavoiltaan. Kuivatuksella voidaan merkittävästi vaikuttaa paperin kosteusprofileihin, lujuusominaisuuksiin, pintaominaisuuksiin, venymiseen, vaaleuteen ja sileyteen. (KnowPap 25.0 2024.)



Kuva 3 Paperikoneen kuivatusosa (KnowPap 25.0 2024.)

### 3.7 Jälkikäsittely

Paperi- tai kartonkikoneen jälkeinen jälkikäsittely riippuu valmistettavan tuotteen vaatimuksista sekä lajista. Tyypillisesti kaikille tuotteille tehdään pituusleikkaus ja tarvittavat rullaukset. Tuotteen vaatimusten mukaan se voidaan pintaliimata, päällystää tai pigmentoida. (KnowPap 25.0 2024.)

Pintaliimauksen tavoitteena on parantaa paperin tai kartongin lujuusominaisuuksia, kuten pintalujuutta tai sisäistä lujuutta. Sitä käytetään erityisesti hienopapereille, päällystettäville raakapapereille ja kartongeille. Pintaliimaus suoritetaan yleensä paperikoneessa filmiliimapuristimessa ja kartonkikoneissa lammikkoliimapuristimissa. Pintaliimauksessa voidaan myös käyttää täyteaineita, jolloin puhutaan pigmentoinnista. Pigmentointi vaikuttaa paperin huokoisuuteen täyttämällä paperin huokosia päällystyspastalla. (KnowPap 25.0 2024.)

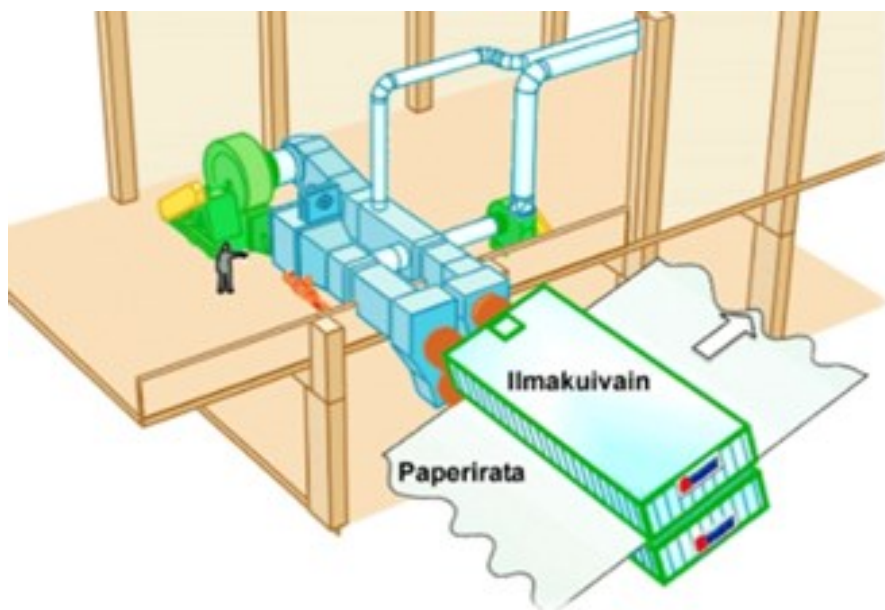
Päällystysten tarkoituksena on parantaa tuotteen ulkonäköä, vaaleutta, kiiltoa ja opasiteettia sekä parantaa painettavuusominaisuuksia, kuten sileyttä, pintalujuutta ja painovärin imeytymistä. Yleisin päällystysmenetelmä on teräspäällystys eri muodoissaan. (KnowPap 25.0 2024.)

## 4 Ilmakuivaimet

Ilmakuivaimet toimivat puhaltamalla kuumaa ilmaa suuttimien kautta paperirataa vasten, jolloin lämpö siirtyy paperiin tehokkaasti. Kuvassa 4 esitetään ilmakuivain ja paperirata. Tämä prosessi, joka tunnetaan nimellä konvektiokuivaus, perustuu kuumien ilmasuihkujen purkautumiseen paperiradan pinnalle. Ilmapuhallus paitsi kuivattaa paperin, myös stabiloi ja kannattelee rataa, estäen näin kuivaimen osien koskettamisen paperirataan. Tämä on tärkeää, koska suora kosketus voisi vahingoittaa herkkää paperipintaa ja heikentää tuotteen laatua. (KnowPap 25.0 2024.)

Ilmakuivaimen ilmankiertojärjestelmä on suunniteltu kierrättämään päällepuhallusilmaa tehokkaasti. Tämä kierrätys mahdollistaa energian säästämisen ja optimoi kuivausprosessin tehokkuutta. Poistoilmajärjestelmä puolestaan varmistaa, että kosteus- ja lämpökuormat pysyvät alhaisina konealissa, mikä parantaa työolosuhteita. (KnowPap 25.0 2024.)

Ilmakuivaimissa käytetään kolmea erityyppistä suutinta: Float-, Foil- ja päällepuhallussuuttimia. Float- ja Foil-suuttimet ovat erityisen tehokkaita kaksipuolisissa ilmakuivaimissa, joissa molemmat paperiradan puolet kuivataan samanaikaisesti. Päällepuhallussuuttimia käytetään yksipuolisissa kuivaimissa, joissa kuuma ilma kohdistetaan vain yhteen paperin pintaan. Jokainen suutin on suunniteltu erityisiä sovelluksia ja prosessivaatimuksia varten. Suuttimien rakonstruktuio varmistaa tasaisen lämmönsiirron koko koneen poikkisuunnassa, mikä on tärkeää laadukkaan ja tasalaatuisen lopputuotteen varmistamiseksi. Tämä tasaisuus on ratkaisevaa erityisesti korkealaatuisen paperin tuotannossa, missä pienetkin poikkeamat voivat vaikuttaa merkittävästi tuotteen lopulliseen laatuun. (KnowPap 25.0 2024.)

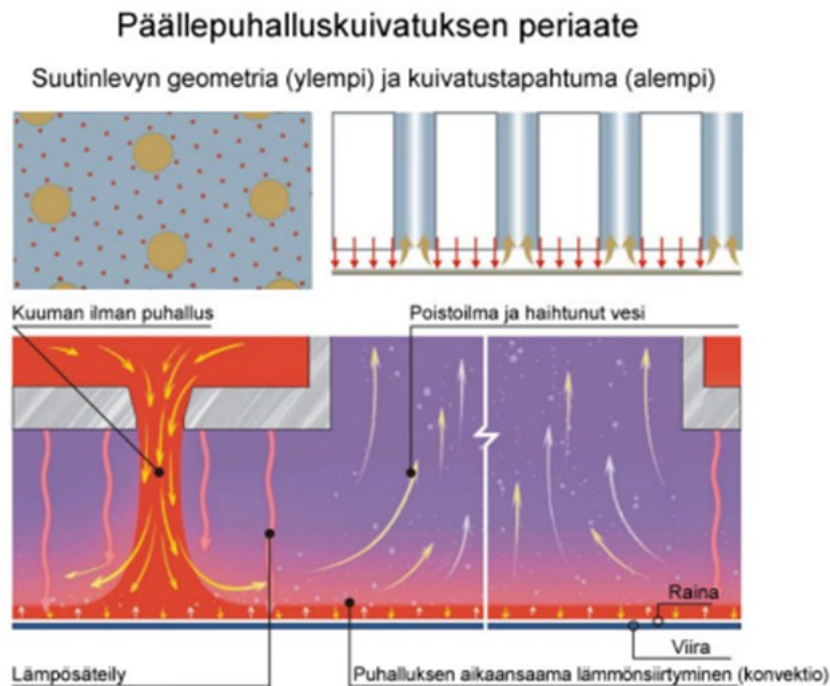


Kuva 4 Ilmakuivain ja paperirata (KnowPap 25.0 2024.)

#### 4.1 Päällepuhalluskuivatus

Päällepuhalluskuivatus on uusi ja erittäin tehokas paperinkuivatustekniikka, joka hyödyntää ilmaa kuivatusväliaineena. Tämä menetelmä toimii puhaltamalla kuumaa ilmaa suurella nopeudella suoraan paperin pintaa vasten, minkä jälkeen ilma kierrätetään takaisin kuivaimen. Alla kuvassa 5 kuvataan päällepuhalluskuivatuksen periaate. Ilman kierrätysprosessi on tärkeä, sillä se optimoi energiatehokkuuden ja vähentää kokonaisenergiankulutusta. Ilma lämmitetään yleensä kaasupolttimilla, mikä on ympäristöystävällisempi vaihtoehto verrattuna hiilen polttamiseen höyryn tuottamiseksi sylinterikuivatusta varten. (KnowPap 25.0 2024.)

Päällepuhalluskuivatustekniikalla saavutetaan merkittävästi korkeampi ominaishaihdutusteho kuin perinteisellä sylinterikuivatuksella. Kuivatusnopeus on 3–4 kertaa suurempi kuin sylinterikuivatuksessa, mikä tarkoittaa, että paperi kuivuu nopeammin ja tehokkaammin. Tämä on erityisen hyödyllistä tuotantoprosessin alkupäässä, jossa kylmä paperiraina tarttuu helposti kuuman sylinterin pintaan, aiheuttaen ajettavuusongelmia ja tuotantokatkoja. (KnowPap 25.0 2024.)



Kuva 5 Päällepuhalluskuivatuksen periaate (KnowPap 25.0 2024.)

#### 4.2 Päällepuhalluskuivaimet

Valmetilla on käytössään kolme erityyppistä päällepuhalluskuivainta. Kuva 6. Ensimmäinen näistä, OptiDry Twin, mahdollistaa korkean kuivatustehokkuuden, erinomaisen tuotelaadun ja suuren ajonopeuden. Tämä kuivain koostuu kahdesta osasta: vaakasuorasta ja pystysuuntaisesta. Vaakasuorassa osassa rainaa lämmitetään ja kuivataan yläpuolelta, ja siirryttäessä pystysuuntaiseen osaan kuivatus jatkuu alapuolelta. (KnowPap 25.0 2024.)

OptiDry Vertical kuivain on suunniteltu erityisesti uusintoihin tarjoamaan erinomaisen kuivatustehokkuuden ja ajettavuuden. Järjestelmä koostuu kahdesta huuvasta, jotka puhaltavat kaasupolttimilla lämmitettyä ilmaa suoraan rainan pinnalle. Integroitu ilmakierto ja kaasupolttimet vähentävät tarvetta ulkoiselle tilalle, ja tasainen kuivatus takaa tasaiset kosteus- ja kireysprofiilit. (KnowPap 25.0 2024.)

OptiDry Horizontal kuivain on uusi ja energiatehokas ratkaisu käyrityksen hallintaan. Tämä kuivain kuivaa rainan toisen puolen lopuksi, mikä vapauttaa syntyneet jännitykset vedenpoistosuunnan muuttuessa. Tämä ominaisuus parantaa lopputuotteen tasaisuutta ja estää käyryden muodostumisen. Laite soveltuu sekä paperi- että kartonkikoneisiin. (KnowPap 25.0 2024.)



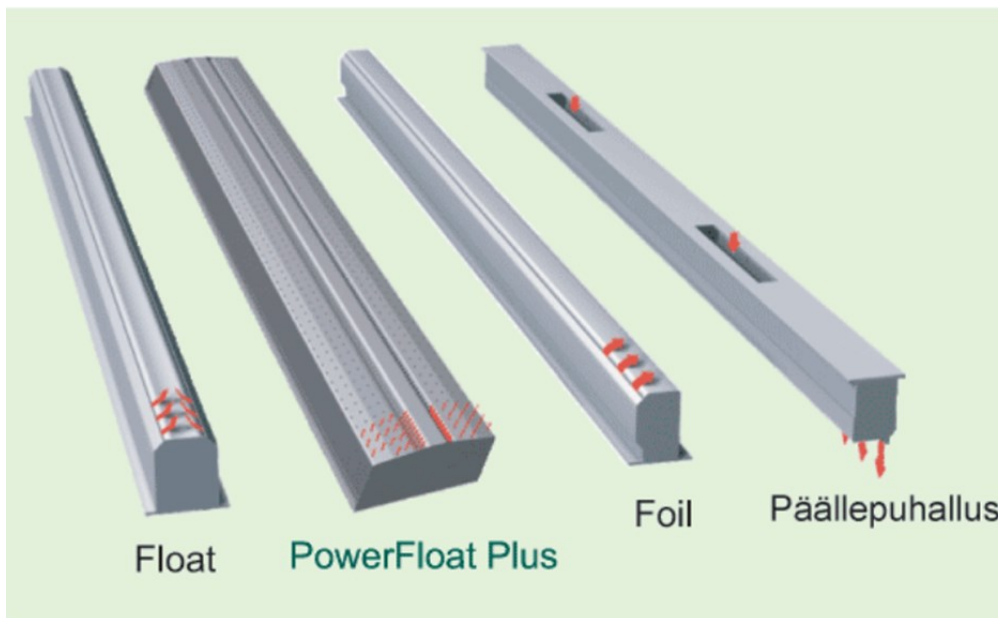
Kuva 6 Valmetin päällepuhalluskuivaimet (KnowPap 25.0 2024.)

#### 4.3 Suutintyypit

Valmetilla on käytössä erilaisia suuttimia, jotka on suunniteltu erilaisiin sovelluksiin ja vastaamaan erilaisiin prosessivaatimuksiin. Kuvassa 7 näkyy eri ilmakeivainsuuttimia. Valmetin ilmakeivaimissa käytetään patentoituja ilmakeivaussuuttimia, jotka on suunniteltu erityisen korkeaan kuivauskapasiteettiin. Näiden suuttimien avulla kuivaimet saavuttavat tasaisen haihdutuksen erittäin pienellä energiankulutuksella, korkealla hyötysuhteella ja erinomaisella ajettavuudella. (Valmet 2024d.)

Foil-suutin on alipainesuutin, jossa ilma puhalletaan suutinraosta rainan kulkusuuntaan. Ilmavirtausta ohjataan seuraamaan rainan pintaa, ja Coandä-ilmio vakauttaa rainan tiettyyn etäisyyteen suutinpinnasta. Tämä suutintyyppi soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa tarvitaan varovaista ja laaja-alaista kuivatusta, jonka kuivatuskapasiteettia voidaan säätää. Float-suutin puolestaan on ylipainesuutin, jossa ilmasuihkut purkautuvat suutinraosta ja seuraavat

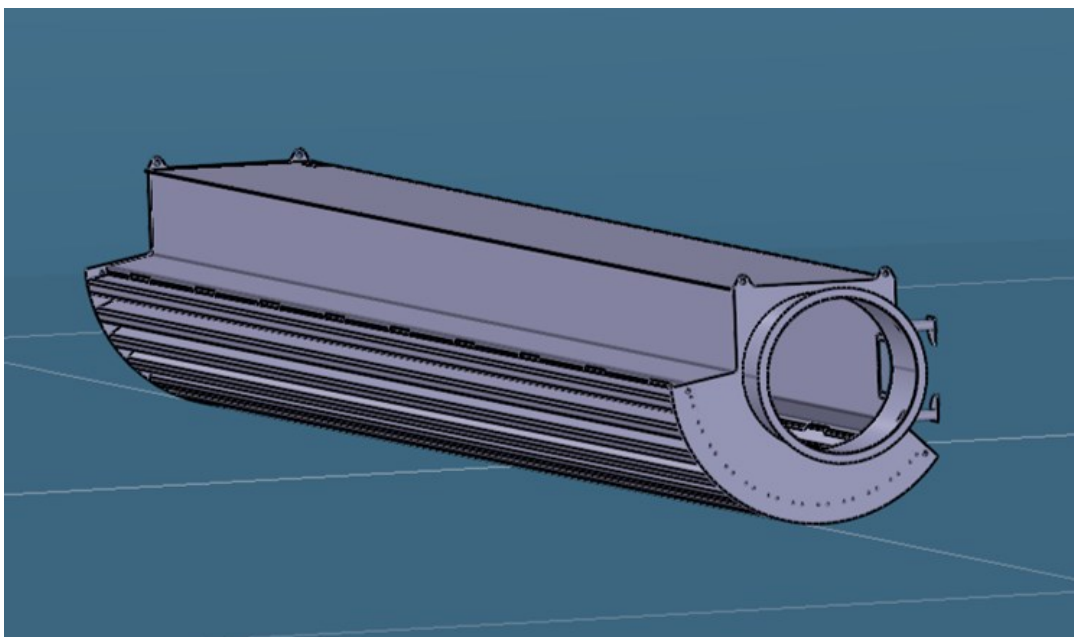
pyöristettyjä pintoja, luoden ylipaine kerroksen suuttimen yläosaan. Tämä suutintyyppi on optimaalinen tilanteissa, joissa tarvitaan maksimaalista haihdutuskapasiteettia ja hyvää ajettavuutta korkeilla ilmanopeuksilla sekä kykyä oikaista reunan käyrityksiä. Float-suutinta suositellaan käytettäväksi vähintään 35 m/s suutinnopeuksilla, ja tehokkailla Float-suuttimilla on jopa 20 % suurempi kuivatuskapasiteetti samalla ilmankiertojärjestelmällä verrattuna Foil-suuttimiin. Uutena ilmakeivain suuttimena PowerFloat Plus mahdollistaa korkeamman haihdutustehon kuin perinteinen Foil-suutin ja noin 30 % enemmän haihdutustehoa kuin Float-suutin. Tämä suutin mahdollistaa kuivatuskapasiteetin parantamisen olemassa olevissa päällyskoneissa ilman tarvetta muuttaa niiden rakennetta tai ohjausjärjestelmää, samalla tarjoten energiatehokkaan ja kompaktin kuivatusratkaisun. Suutintyyppi soveltuu sekä yksi- että kaksipuolisiin kuivaimiin. Päällepuhallussuuttimen osalta ilmasuihkun kulma on 90 astetta paperirataan nähden, mikä tekee siitä ihanteellisen päällystetyn kartongin kuivatuksessa ja yksipuolisissa kuivaimissa. (KnowPap 25.0 2024.)



Kuva 7 Ilmakeivaimen suuttimia (KnowPap 25.0 2024.)

## 5 Kääntölaite

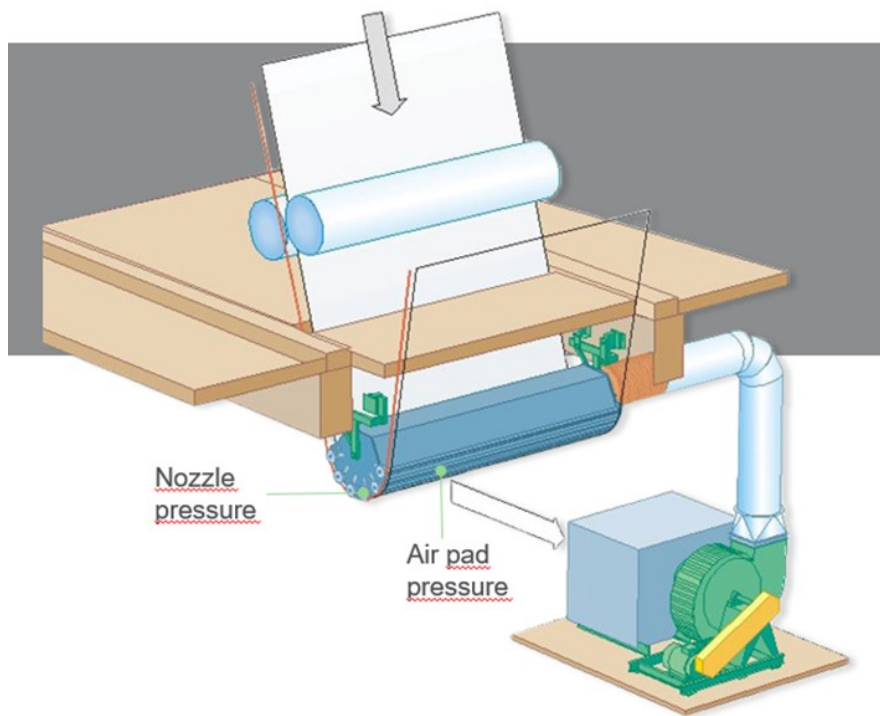
Kääntölaitteita on käytetty 1980-luvulta lähtien monenlaisissa kosketuksettoman raitan kääntösovelluksissa, aina kevyt- ja hienopaperista päällystettyihin kartonkilaatuihin. Kääntölaite ei ole virallisesti ilmakeivain, vaan sen toiminta perustuu ylipaineeseen ilmatyönnyn laitteen ja radan välissä. Ilmatyönnyn muodostetaan puhaltamalla lämmintä ilmaa laitteen kammioon, mikä luo staattisen ylipaineen suuttimien ja radan väliin. Tämä ilmatyönnyn tukee rataa mahdollistaen sen kääntämisen ilman fyysistä kosketusta kääntölaitteessa (KnowPap 25.0 2024.). Kääntölaite eroaa ilmakeivaimista siinä, että sen tarkoituksena ei ole kuivattaa paperirataa, vaan ohjata se haluttuun suuntaan ilman fyysistä kosketusta. (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.) Kuvassa 8 esitetään kääntölaite.



Kuva 8 Kääntölaite

Kääntölaitteen edut perustuvat sen erinomaiseen ajettavuuteen. Kääntölaitteen toimintaan tarvittava ilma otetaan konehuoneesta ja lämmitetään yleensä höyrylämmönvaihtimella, jotta kondensaatio vältettäisiin. Vaihtoehtoisesti ilmaa voidaan lämmittää viereisen ilmakehän palamisilmalla tai tarvittaessa sähkövastuslämmittimellä. Ilma lämmitetään enintään 70 asteen lämpötilaan. (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.)

Lämmitetty ilma suodatetaan ennen kääntölaitteeseen syöttämistä, jotta pölyhiukkaset ja muut epäpuhtaudet eivät pääsisi järjestelmään ja saastuttaisi paperirataa. Suuttimista poistuva ilma virtaa kohtuullisella nopeudella koneen pituus- ja poikkisuunnassa, haihtuen lopulta konehalliin. Kääntölaitteen paineentasauskammion avulla suuttimien ja radan välinen etäisyys pidetään vakiona. Tämä varmistaa, että ilmatyyny toimii tasaisesti ja tehokkaasti koko rainan leveydellä. Paineentasauskammio mahdollistaa myös kääntölaitteen tarkemman säädön ja optimoinnin eri käyttöolosuhteisiin. Kääntölaite on varustettu sisäisillä profilointilevyillä, joiden avulla voidaan säätää koneen poikittaissuuntaista puhallusnopeutta. Profilointilevyillä voidaan säätää myös ilmapatjan eri ominaisuuksia sekä parantaa radan ajettavuutta. Kääntölaitteessa on myös paineentasauskammio, joka pitää suuttimien ja radan välisen etäisyyden vakiona. (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.)



Kuva 9 Kääntölaite ja ilmalaite (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.)

Kääntölaitteen rakenne on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, mikä varmistaa sen kestävyden korroosiota vastaan ja soveltuvuuden vaativiin käyttöolosuhteisiin pintaliimauksen lähellä. (Valmetin sisäinen tietokanta 2024.) Pintaliimauksen yhteydessä paperia voidaan kuivata joko kontaktikuivatuksella tai kontaktittomilla menetelmillä. Kontaktittomilla menetelmillä voidaan ehkäistä määrän paperin aiheuttamat sylinterin likaantumisongelmat. Erityisesti molemminpuolisessa filminsiirtopäällystyksessä paperiradan kulkusuunta on voitava kääntää ja lisäksi se on alkukuivattava täysin kosketuksettomasti. (KnowPap 25.0 2024.) Kuvassa 9 näkyy kääntölaite ja ilmalaite.

Tällä hetkellä kääntölaitteissa käytetään Float-suuttimia, jotka ovat ylipainesuuttimia. Kuvassa 7 vasemmassa reunassa näkyy Float-suutin. Näiden suuttimien toimintaperiaate perustuu ilmasuihkuihin, jotka purkautuvat suutinraoista ja seuraavat pyöristettyjä pintoja. Tämä ilmavirta kohtaa suuttimen

yläosassa, missä muodostuu ylipainekerros, joka auttaa tukemaan ja ohjaamaan paperirataa tehokkaasti. Float-suuttimia käytetään, kun tarvitaan maksimihaihdutuskykyä. Yksi sen merkittävistä eduista on erinomainen ajettavuus suurilla ilmanopeuksilla. Lisäksi Float-suuttimilla on hyvä reunan käyristymisen oikaisukyky. Tämä tarkoittaa, että ne pystyvät tehokkaasti korjaamaan paperiradan mahdolliset käyristymät, mikä on tärkeää lopputuotteen laadun varmistamiseksi. Float-suuttimia käytetään, kun suutinnopeus on vähintään 35 m/s. Tämä nopeusvaatimus varmistaa, että suuttimien tuottama ilmavirta on riittävän voimakas muodostamaan ylipainekerroksen ja saavuttamaan halutut haihdutus- ja ohjausominaisuudet. (KnowPap 25.0 2024.)

## 6 Ohjelmistot

Lujuuslaskenta ja 3D-mallinnus ovat keskeisiä osia rakenteiden suunnitteluprosessissa. 3D-mallinnuksen avulla saadaan tarkka kuva rakenteen geometriasta, mitoituksesta ja osien yhteensopivuudesta ennen fyysisen tuotteen valmistusta. Tämä mahdollistaa myös monimutkaisten osien visualisoinnin ja optimoinnin, mikä nopeuttaa suunnittelua ja vähentää virheitä. Lujuuslaskenta on olennainen osa rakenteiden suunnittelua ja analysointia, joka varmistaa rakenteiden kestävyys ja toimivuuden ilman vaurioita tai liiallisia muodonmuutoksia. Se sisältää erilaisten kuormitusten, kuten staattisten, dynaamisten ja väsymiskuormitusten vaikutusten tarkastelun.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin CATIA-suunnitteluohjelmistoa rungon 3D-mallin luomiseen, ja lujuuslaskennat toteutettiin Ansys-ohjelmistolla.

### 6.1 CATIA

Kääntölaitteen mallinnuksessa käytettiin CATIA-suunnitteluohjelmaa, joka on monipuolinen ja kehittynyt tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD) ohjelmisto. CATIA tukee kolmiulotteista mallinnusta, mikä mahdollistaa tarkkojen ja yksityiskohtaisten suunnitelmien luomisen monimutkaisista komponenteista ja kokonaisista järjestelmistä. Alun perin CAD-ohjelmana tunnettu CATIA on vuosien varrella kehittynyt monipuoliseksi suunnittelujärjestelmäksi, joka ei pelkästään tue kolmiulotteista mallintamista vaan myös yhdistää useita muita suunnitteluprosessien vaiheita, kuten simuloinnin, analyysin ja valmistuksen suunnittelun. (3ds 2024a.) CATIA on osa Dassault Systèmesin tuoteperhettä, joka palvelee laajaa asiakaskuntaa eri teollisuuden aloilla. Ohjelmisto kattaa 12 toimialaa, jotka on ryhmitelty kolmeen pääsektoriin: valmistusteollisuus, biotieteet ja terveydenhuolto sekä infrastruktuuri ja kaupungit. (3ds 2024b.) CATIA avulla voidaan luoda virtuaalisia malleja, jotka jäljittelevät tuotteiden toimintaa ja vuorovaikutusta ympäristön kanssa. Tämä virtuaalinen

mallintaminen mahdollistaa tuotteiden suorituskyvyn analysoinnin ja optimoinnin ennen fyysisten prototyyppien valmistamista. Simuloinnin avulla voidaan testata eri skenaarioita ja nähdä, miten tuote käyttäytyy erilaisissa olosuhteissa, mikä vähentää virheiden määrää ja parantaa lopullisen tuotteen laatua. (3ds 2024c.)

## 6.2 Ansys

Lujuuslaskennassa hyödynnettiin Ansys-ohjelmistoa, joka on maailmanlaajuisesti käytetty monifysiikan simulointiohjelmisto. Ansys on kehittänyt simulointiohjelmistoja yli 50 vuoden ajan, tarjoten innovatiivisia ratkaisuja eri teollisuudenaloille. Ansysin simulointiohjelmistoa käytetään laajalti tekniseen simulointiin, kuten rakenneanalyysiin, virtausdynamiikan simulaatioihin, sähkömagneettisten kenttien simulointeihin, digitaalisten tehtävien suunnitteluun, järjestelmätason monifysiikkasimulaatioihin sekä materiaalitietojen hallintaan. Ansysin suunnitteluohjelmisto sisältää työkalut, jotka on luokiteltu CAD-ohjelmistoiksi (tietokoneavusteinen suunnittelu) sekä fysiikkapohjaiseksi simuloinniksi ja analyysiksi, joiden avulla voidaan luoda 2D- ja 3D-malleja fyysisistä tuotteista. Näillä ohjelmistoilla yhdistetään simulaatio prosesseihin, työkaluihin ja tuotekehityksessä käytettyihin tietoihin. Ansys kehittää ja markkinoi suunnittelun simulointiohjelmistoja, jotka mahdollistavat parempien päätösten tekemisen nopeammin, tuotteiden ja järjestelmien suunnittelun parantamisen sekä mallipohjaisten työnkulkujen optimoinnin tuotteen elinkaaren ajan. Lisäksi Ansys tarjoaa koulutusta ja tukea asiakkailleen. (ansys 2024b.) Ansysin teknisiä simulointiohjelmistoja ja -palveluita käytetään laajasti useilla teollisuudenaloilla ja korkeakouluissa, kuten huipputeknologiassa, ilmailu- ja puolustusteollisuudessa, autoteollisuudessa, energia-alalla, teollisuuslaitteissa, materiaali- ja kemianteollisuudessa, kuluttajatuotteissa, terveydenhuollossa ja rakentamisessa. (ansys 2024b.)

## 7 Runkorakenteen suunnittelu

Kääntölaitteen runkorakenteen uudelleen suunnittelussa painopisteenä on sen yksinkertaistaminen, jonka avulla saadaan runkorakennetta kevennettyä ilman, että kompromisseja tehdään toiminnallisuuden tai kestävyuden suhteen.

Runkorakenteen muuttamisella tavoitteena on myös vähentää tukirakenteita ja siten myös käytettyä materiaalmäärää. Toiveena rungon yksinkertaistamiselle on myös parantaa valmistettavuutta, jotta kääntölaitteen valmistusprosessi on mahdollisimman sujuvaa. Kääntölaitteen rakennetta yksinkertaistaessa rungosta saadaan painoa pois, vaikuttaa se myös kokonaiskustannukseen positiivisesti. Lisäksi muita osia, kuten päätylevyjä, säätölistoja ja väliseiniä, tarkastellaan muutosten suhteen niiden yksinkertaistamiseksi ja keventämiseksi.

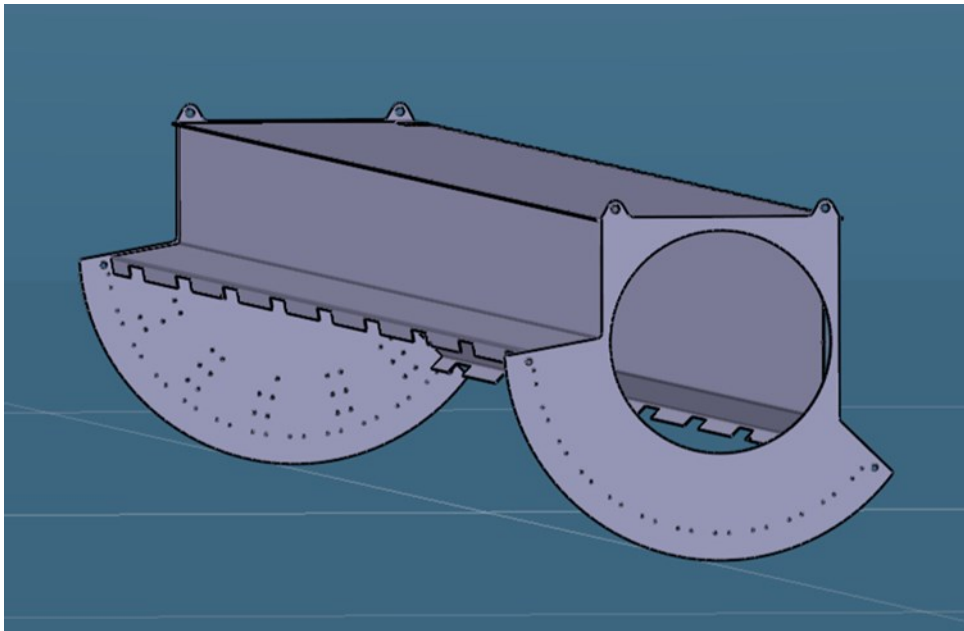
### 7.1 Nykyisen kääntölaitteen runko ja valmistus

Nykyisessä kääntölaitteessa runko on valmistettu kolmesta erillisestä osasta, jotka ovat sivulevyt (tulo- ja jättopuoli) sekä kansilevy. Kuvassa 10 näkyy nykyisen kääntölaitteen runkorakenne. Kokoonpano suoritetaan tietyssä järjestyksessä, jotta saadaan aikaan mahdollisimman tarkka ja toimiva rakenne. Ensiksi koontijigi asennetaan ja asemoidaan tarkasti kuivainkohtaisiin mittoihin. Tämä vaihe on kriittinen, sillä jigillä varmistetaan, että kaikki osat asettuvat oikeisiin paikkoihin. Tämän jälkeen päätylevyt sekä kääntölaitteen sisälle kuuluvat osat kiinnitetään.

Seuraavaksi rungon sivuseinät kiinnitetään, ja kyljet tuetaan suoriksi, minkä jälkeen sisälle asennetaan vinotuet. Nämä tuet lisäävät rakenteen jäykkyyttä ja varmistavat, että runko pysyy muodossaan kuormituksen alla. Kun sivuseinät ja vinotuet ovat paikoillaan, voidaan siirtyä kannen asentamiseen. Ennen kannen asennusta siihen kiinnitetään jäykisteet, jotka lisäävät kannen lujuutta ja kestävyttä. Kannen kiinnittämiseen käytetään ruuviliitoksia, joissa

hyödynnetään HST-pultteja, aluslevyjä ja lukitusmuttereita. Kannen asentamisen yhteydessä käytetään silikonitiivistemassaa, joka varmistaa tiiviin liitoksen.

Kun kansi on laskettu paikoilleen ja kiinnitetty, se hitsataan päätyihin kiinni. Nykyisessä kääntölaitteessa valmistusta hidastavia tekijöitä ovat erityisesti jäykisteiden ja tukien asennus sekä sivulevyjen tarkka asemointi kokoonpanossa, sillä erityisesti sivulevyjen asennus vaatii tarkkuutta.

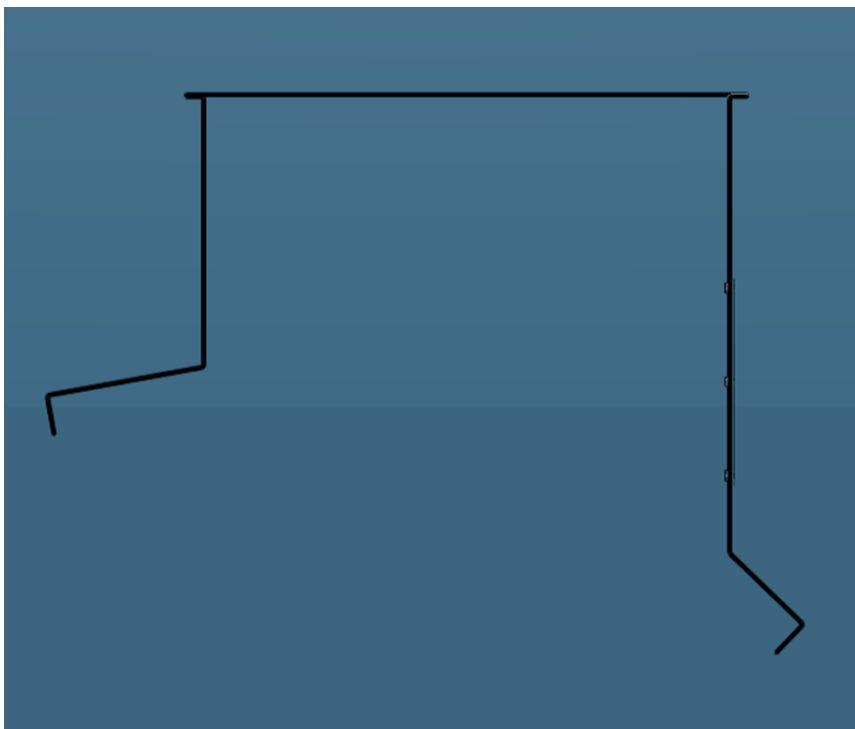


Kuva 10 Kääntölaitteen nykyinen runkorakenne

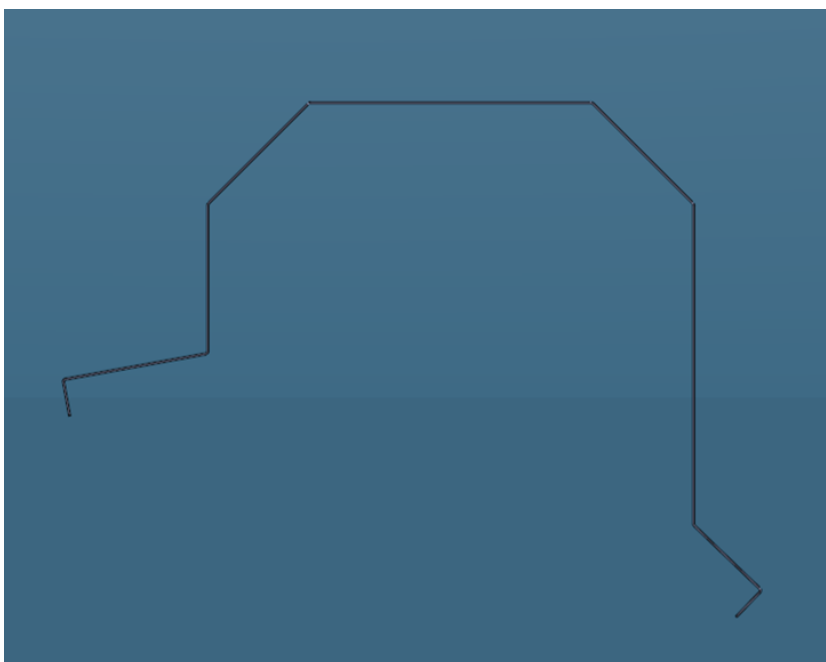
## 7.2 Muutokset runkorakenteeseen

Isoimmat muutokset työssä tuli runkorakenteen muuttamisesta. Nykyisessä kääntölaitteessa runko tehdään kolmesta erillisestä levystä, jotka kiinnitetään ruuviliitoksella sivulevyihin. Kuvassa 11 näkyy nykyisen kääntölaitteen runkorakenne edestäpäin ilman päätylevyjä. On erittäin harvinaista, että kansilevy otettaisiin irti rungosta, koska yleensä kääntölaitteen ilmanava on niin suuri, että sitä kautta pääsee suorittamaan tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Tämän vuoksi runkorakennetta suunnitellessa päädyttiin yhtenäiseen runkoon.

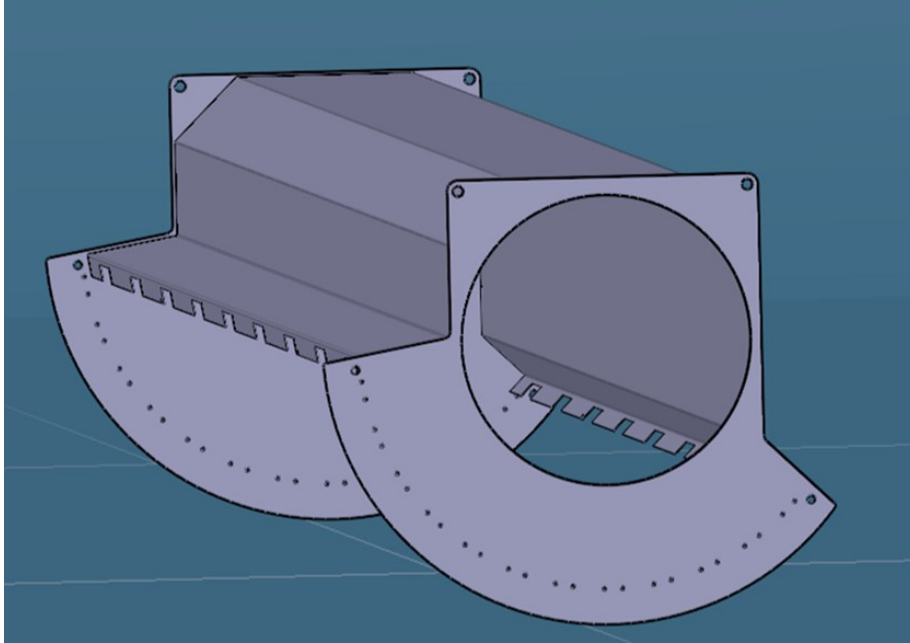
Uudessa mallissa runkorakenne on valmistettu yhdestä levystä, joka taivutetaan oikeaan muotoon jo ennen kokoonpanovaihetta. Kuvassa 12 näkyy uudelleen suunnitellun kääntölaitteen edestäpäin ilman päätylevyjä. Rungon uusi muotoilu on myös malliltaan erilainen, jotta materiaalia kuluu vähemmän ja saadaan hyötykäytettyä tyhjää tilaa, joka jää tarpeettomaksi rungon sisään. Uusi runko rakenne on suunniteltu siten, että kaikki tarvittavat osat mahtuvat rungon sisään, mutta ylimääräinen tila on minimoitu. Taivuttamalla runkoon saadaan lisää jäykkyyttä, minkä ansiosta sisäisiä tukia ei tarvita niin paljon kuin aiemmassa rakenteessa. Taivuttamisen vuoksi rungon muodon tarvitsee olla mahdollisimman yksinkertainen, jotta taivutus vaiheessa työ sujuu mahdollisimman mutkitta. Taivutukset ovat uudessa mallissa samat kuin vanhassa, sillä materiaalin paksuutta ei rungossa muutettu. Rungon yläosassa sivuseinät yhdistyvät kattoon 45 asteen kulmassa. Uudessa mallissa tavoite oli, että runkoon tehtävät taivutukset lujittavat rakennetta riittävästi, jotta sisäisien tukien määrää voidaan vähentää. Lisäksi päätylevyihin tehtiin muutoksia sekä materiaalipaksuuteen että muotoiluun. Päätylevyjen muoto muokattiin vastaamaan uuden runkorakenteen muotoa ja optimoimaan niiden toiminnallisuutta. Kuvassa 13 näkyy uudelleen suunniteltu runkorakenne sekä päätylevyt. Alun perin päätylevyjen materiaalipaksuus oli 10 mm, mutta tämä muutettiin 8 mm, sillä tämä todettiin suunnittelu vaiheessa, että materiaalipaksuuden muuttaminen ei vaikuta suuresti kokonaisuuden kestävyYTEEN. Näillä muutoksilla pyritään optimoimaan runkorakenteen valmistettavuutta sekä keventämään runkorakennetta.



Kuva 11 Kääntölaitteen nykyinen runkorakenne edestäpäin ilman päätylevyjä



Kuva 12 Kääntölaitteen uudelleen suunniteltu runkorakenne edestäpäin ilman päätylevyjä



Kuva 13 Uudelleen suunniteltu runkorakenne

Reunatiivistyksessä eli säätölistassa ei tehty suuria muutoksia. Ilmareiät poistettiin säätölistasta, ja ulompi sekä sisempi osa yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Säätölistan tulisi olla sellainen, että sen voi taivuttaa käsin samaan muotoon kuin suuttimet. Lisäksi sen on oltava tukeva, helposti asennettava ja vaihdettava. Säätölistan uudelleenmuotoilun toimivuutta pitäisi tutkia lisää, jotta sen toiminnallisuus voidaan varmistaa.

Kääntölaitteen sisäisiin väliseiniin tehtiin muutoksia siten, että nykyisessä mallissa väliseinät valmistetaan kolmesta erillisestä osasta, jotka hitsataan yhteen. Uudessa suunnittelussa hoitopuolella oleva sekä keskimäinen väliseinä valmistetaan yhdestä levystä, joka leikataan ensin oikeaan muotoon ja sen jälkeen taivutetaan. Taivutuksen pyöristys poistettiin, koska uudessa mallissa taivutus tehdään ainevahvuuden mukaisesti eikä pyöristystä nähty tarpeelliseksi.

Rungon uuden muodon vuoksi kannatusakselin polviot jouduttiin kääntämään ylösalaisin ja niitä lyhennettiin, jotta ne mahtuvat rungon sisäpuolelle.

### 7.3 Valmistukselliset muutokset uudessa runkorakenteessa

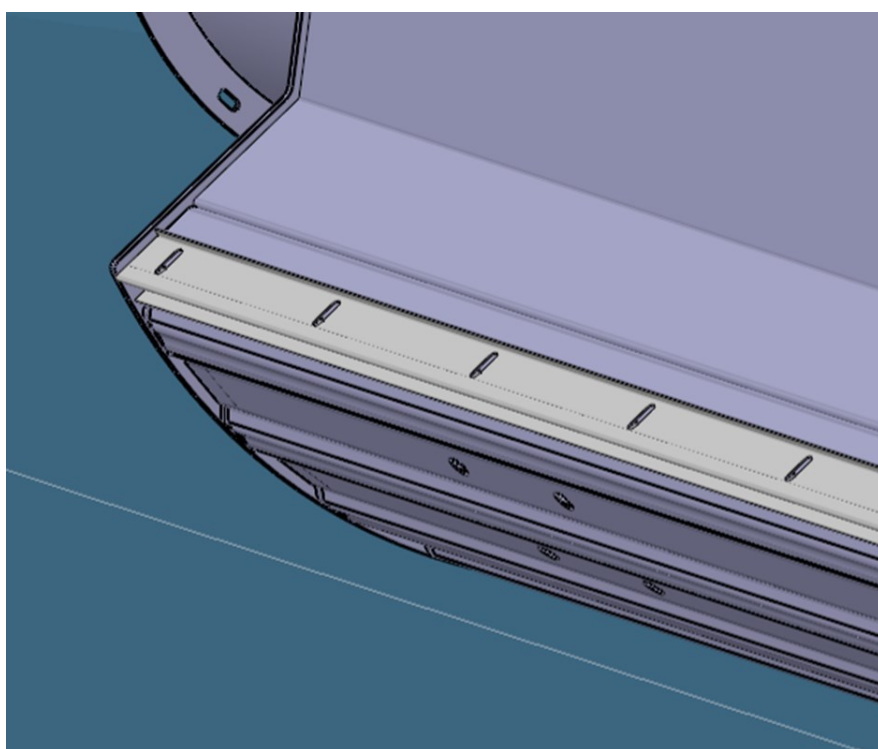
Suurimmat valmistukselliset muutokset tulevat kokoonpanovaiheessa, sillä kääntölaitteen sisäiset osat on asennettava ennen rungon paikalleen asentamista. Runkorakenteen valmistus eroaa siinä, että runko on kokoonpanovaiheessa jo oikeissa mitoissaan. Runkorakenteen levyyn leikataan kummallekin puolelle aukot, kuten nykyisessäkin laitteessa, mutta erona on se, että aukot tehdään yhteen levyyn kahden sijasta. Tämän jälkeen runko taivutetaan haluttuun muotoon, joka näkyy kuvissa 12 ja 13.

Väliseinien työvaiheet muuttuvat niin, että uudessa suunnittelussa kannatusakselin puolella oleva sekä keskimäinen väliseinä valmistetaan yhdestä levystä, joka leikataan ensin oikeaan muotoon ja sen jälkeen taivutetaan. Kanavan puoleinen osa valmistetaan edelleen kolmesta osasta, sillä sen koon vuoksi sitä ei ole mahdollista valmistaa yhdestä levystä. Taivutuksen pyöristys poistettiin, koska uudessa mallissa taivutus tehdään ainevahvuuden mukaisesti eikä pyöristystä pidetty tarpeellisena.

Väliseinät hitsataan runkoon, kun se on ylösalaisin, minkä jälkeen se käännetään ja nostetaan paikoilleen. Väliseinät auttavat myös runkoa pysymään muodossaan noston aikana. Väliseiniä varten hitsataan kääntölaitteen pohjaan 20 mm korkeat ohjauslevyt, joiden väliin väliseinät asettuvat. Rungon asentaminen paikalleen on helpompaa, kun väliseinät ohjaavat rungon asennusta ja samalla antavat tukea väliseinien pohjalle.

Uudessa mallissa sisäisille vinotuille ei ole tarvetta, eikä rungon kattoon tarvitse kiinnittää erillisiä jäykisteitä. Työvaiheita nopeuttaa myös se, että ruuviliitoksia ja tiivistemassaa ei enää tarvita kannen ja sivuseinien väliin. Päätyjen muodon muuttaminen ja materiaalin paksuuden vähentäminen eivät muuta sen työvaiheita merkittävästi, vaan uudessa mallissa ne pysyvät suhteellisen samanlaisina. Päätyjen asennus kokoonpanossa pysyy muutoin ennallaan, mutta rungon ja päätyjen välinen hitsaus suoritetaan ulkopuolelta eikä sisäpuolelta, kuten aiemmin.

Säätölistaan ei tehty suuria muutoksia, eikä nämä muutokset merkittävästi vaikuta osan valmistusprosessiin. Ilmareiät poistettiin säätölistan sivusta, mikä nopeuttaa työvaihetta, sillä nyt tarvitsee tehdä vain kiinnitykseen tarvittavat reiät. Ulompi ja sisempi osa yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi, joten valmistus tapahtuu yhdestä levystä, joka taivutetaan haluttuun muotoon. Kuten aiemmin raportissa mainittiin, säätölistan uudelleenmuotoilun toimivuutta tulisi tutkia lisää, jotta sen toiminnallisuus ja valmistettavuus voidaan varmistaa. Kuvassa 14 näkyy kääntölaitteen kyljessä oleva säätölista.



Kuva 14 Kääntölaitteen säätölista

Kannatusakselin polvioiden asennukseen ja valmistukseen ei tule suuria muutoksia. Polvioiden pituuksien muutokset vaikuttavat vain osien kokoon, ja ne leikataan lyhyempään muotoon osan leikkausvaiheessa. Polvioiden asennus suoritetaan samalla tavalla kuin nykyisessä laitteessa, mutta ne käännetään ylösalaisin verrattuna nykyiseen asennukseen.

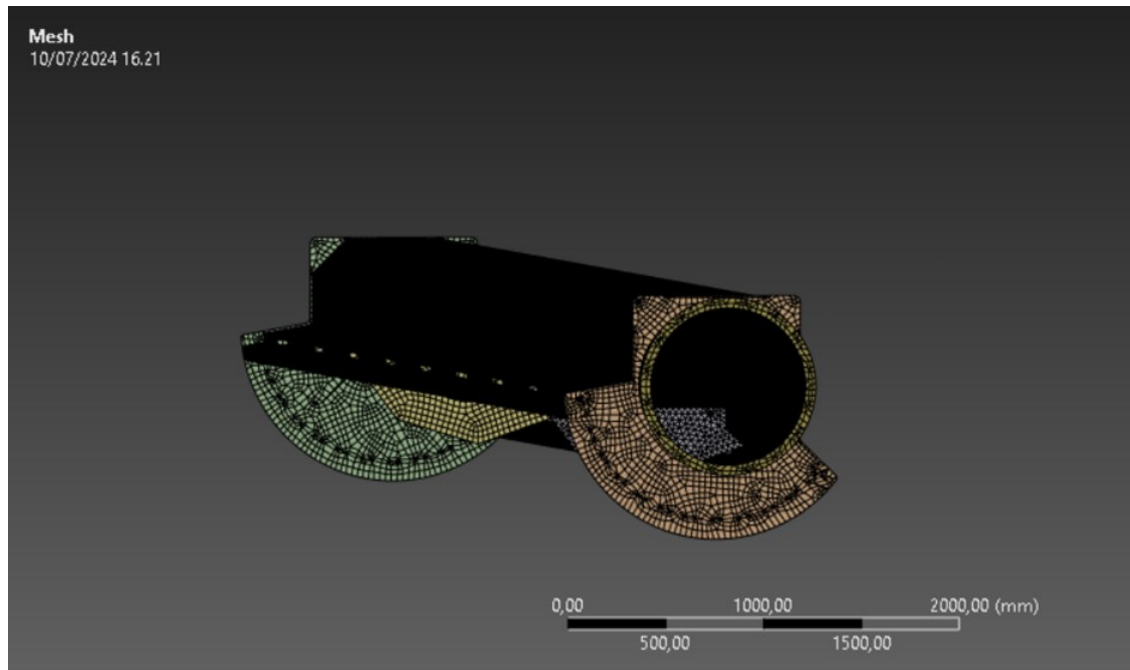
## 8 Lujuuslaskenta

Kääntölaitteelle suoritettiin staattinen rakenneanalyysi muodonmuutosten ja jännitysten jakautumisen tutkimiseksi. Tämä analyysi varmistaa laitteen luotettavan ja turvallisen toiminnan suunnitelluissa olosuhteissa. Lisäksi tutkittiin kääntölaitteen notkahduskuormitusta, mikä on tärkeää rakenteen vakauden kannalta.

### 8.1 Lujuuslaskennan alustus

Kääntölaitteelle tehdyt lujuuslaskennat suoritettiin suuntaa antavasti rungon kestävydestä. On tärkeää huomata, että laskennassa ei otettu huomioon kaikkia kääntölaitteen sisäisiä osia, joten tulokset eivät täysin heijasta laitteen todellista kestävyttä. Parhaiden tulosten saamiseksi kaikkien komponenttien huomioiminen olisi välttämätöntä. Lujuuslaskentaa varten luotiin 3D-malli Catia-ohjelmistolla, joka sitten siirrettiin Ansys-ohjelmistoon analysoitavaksi. Malliin sisällytettiin runko, sisäiset väliseinät, L-profiilit, kanavat, reunimmaisat suuttimet ja kannakkeet. Näiden osien avulla saatiin luotettavaa alustavaa tietoa lujuuslaskennan tuloksista.

Lujuuslaskenta aloitettiin, sillä että rungosta ja muista osista tehtiin keskipinta malli, joka helpottaisi myöhempää verkottamista. Kuvassa 15 näkyy kääntölaite verkotettuna. Verkottaminen tarkoittaa prosessia, jossa laskentaohjelmisto jakaa laskettavan rakenteen geometrisiin osiin eli elementteihin. Nämä elementit muodostavat verkon tai verkoston, jossa jokainen elementti on yhteydessä naapurielementteihinsä. Verkottamisen avulla laskentaohjelmisto pystyy soveltamaan numeerisia menetelmiä, kuten elementtimenetelmää, ratkaistakseen rakenteen mekaanisia ominaisuuksia, kuten jännityksiä, venymää ja muodonmuutoksia eri kuormitustilanteissa. Verkottamisen tarkkuus ja tiheys vaikuttavat suoraan laskennan luotettavuuteen ja tulosten tarkkuuteen, joten se on tärkeä osa lujuuslaskentaa.



Kuva 15 Kääntölaite verkotettuna

Laitteen kannakkeisiin lisättiin koordinaatit, jotka tarjoavat realistisemmän kuvan kääntölaitteen toimintakulmasta. Myös hitsaukset ja ruuviliitännät huomioitiin laskennan alustuksessa. Vaikka vain reunimmaisista suuttimista otettiin mukaan lujuuslaskentaan, suutinpaketin paino jaettiin tasaisesti rungon hitsauskohtiin, jotta sen tuoma rasitus saatiin huomioitua tarkasti. Lisäksi suuttimien ruuvikiinnitys päättyihin otettiin huomioon laskennan tarkkuuden parantamiseksi.

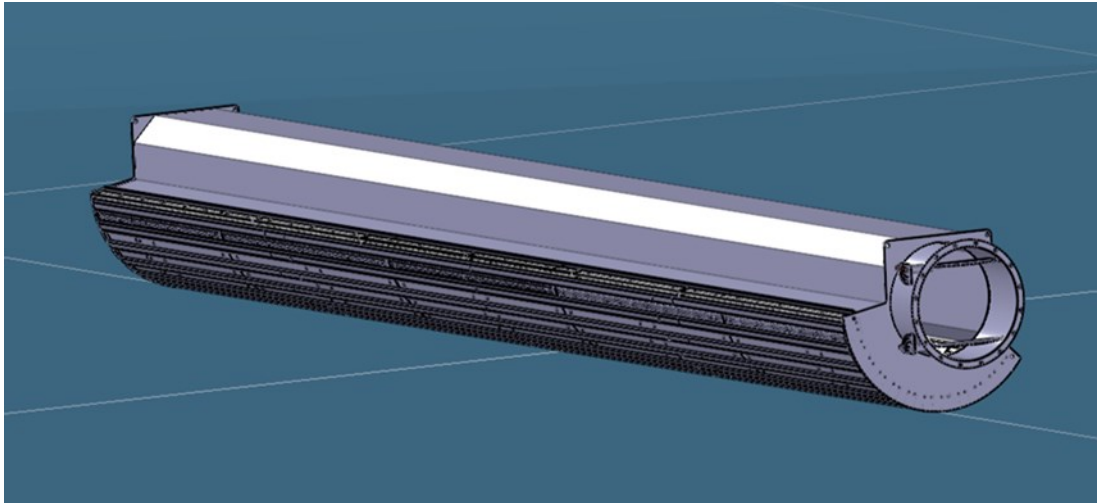
Kääntölaitteelle suoritettiin staattinen rakenneanalyysi muodonmuutosten ja jännitysten jakautumisen tutkimiseksi. Staattinen rakenneanalyysi tarkastelee rakenteiden käyttäytymistä staattisissa olosuhteissa, joissa kuormitukset ja voimat oletetaan vakioiksi eivätkä muutu ajan myötä. Tämä analyysimenetelmä on keskeinen, kun arvioidaan rakenteiden kestävyyttä, jännityksiä, muodonmuutoksia ja murtoriskejä normaaleissa käyttöolosuhteissa tai erityistilanteissa, kuten stabiilisuustarkasteluissa ja kuormituksen murtumisanalyysissä.

Lujuuslaskennan yhteydessä tutkittiin myös kääntölaitteen notkahduskuormitusta. Notkahduskuormitusanalyysissä määritetään rakenteen

kriittinen notkahduskuormitus, joka on se kuormitus, jonka ylittäessä rakenteen vakaus voi pettää ja se voi notkahtaa. Tämä analyysi on tärkeä, koska se auttaa ennakoimaan ja estämään mahdollisia vakauteen liittyviä ongelmia, jotka voivat vaikuttaa kääntölaitteen toimintaan.

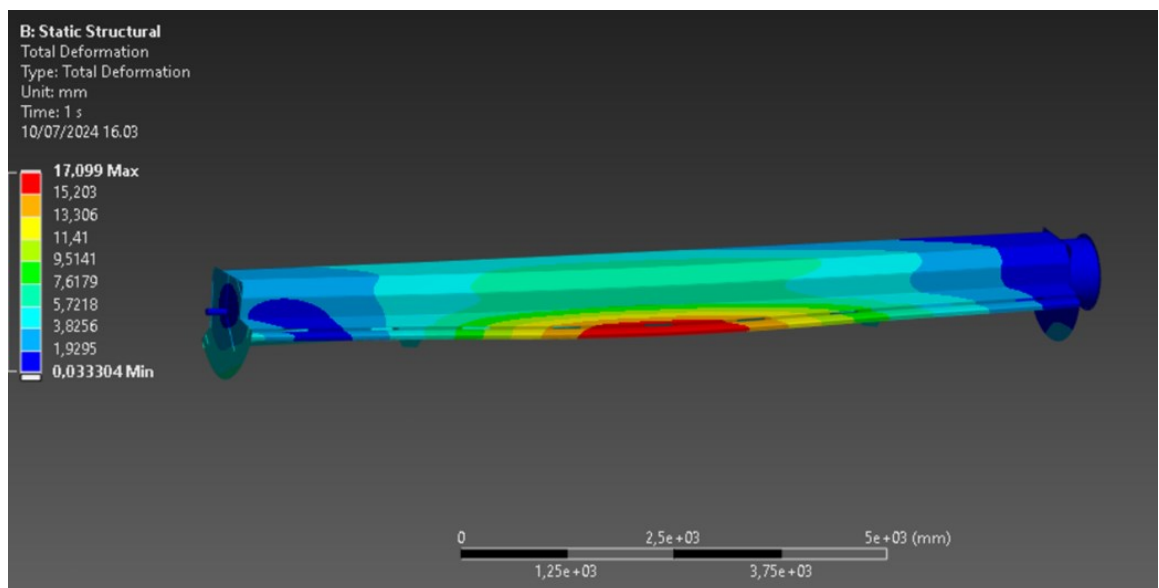
## 8.2 Lujuuslaskennan tulokset

Runkorakenteen lujuustarkastelu alkoi mahdollisten rasitusten selvittämisellä. Rungon tulee kestää suutin paketin paino sekä käytön aikaiset rasitukset. Ensimmäistä staattista rakenneanalyysia tehdessä laskennat suoritettiin ilman reunimmaisista suuttimista, jonka todettiin antavan virheellistä dataa, joten reunimmaisista suuttimista päätettiin lisätä laskentaan, jotta saadaan realistisempaa kuvaa muodonmuutoksesta ja jännitysjakaumasta. Kuvassa 16 näkyy kääntölaitteen suuttimet. Katsoessa staattista rakenneanalyysia kokonaisuudenmuutosta toisella laskenta kerralla voidaan todeta, että rungon keskikohdassa näkyy muodonmuutosta. Kanavan puolella painauma oli pahimmillaan noin 17 mm vasemmalla puolella rungon seinämän keskikohdassa kuten kuvassa 17 näkyy, kun taas oikealla puolella vastaava lukema oli noin 4 mm. Kuvassa 18 näkyy rungon painauma oikealta puolelta. Tähän kokeiltiin lisätä ylimääräinen tuki keskelle, mutta painauma vain jakautui tasaisesti tuen kummallekin puolelle.

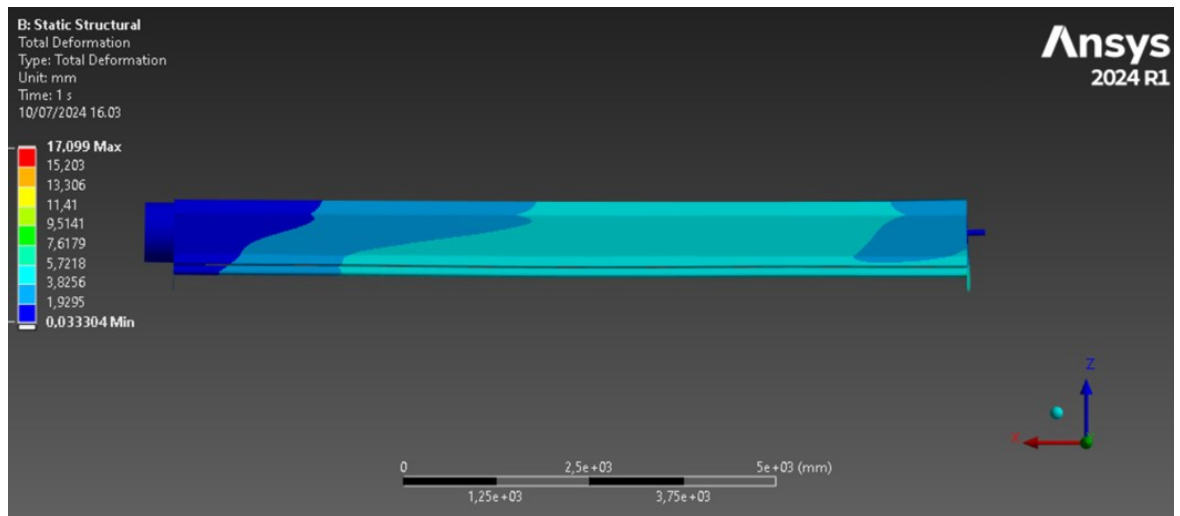


Kuva 16 Kääntölaite suutinpaketin kanssa

Tämä saattaisi korjaantua sillä, että lujuuslaskenta suoritettaisiin siten, että koko suutin paketti on paikallaan. Tällä tavalla runko saisi realistisemmän tuen suutinpaketista sekä muista osista, joita tähän laskentaan ei olla otettu mukaan. Päätylevyjien osalta lujuuslaskennan tulokset ovat olleet hyviä, mutta rungon osalta tarkemmat lujuuslaskelmat saattavat olla tarpeen tämän analyysin pohjalta.



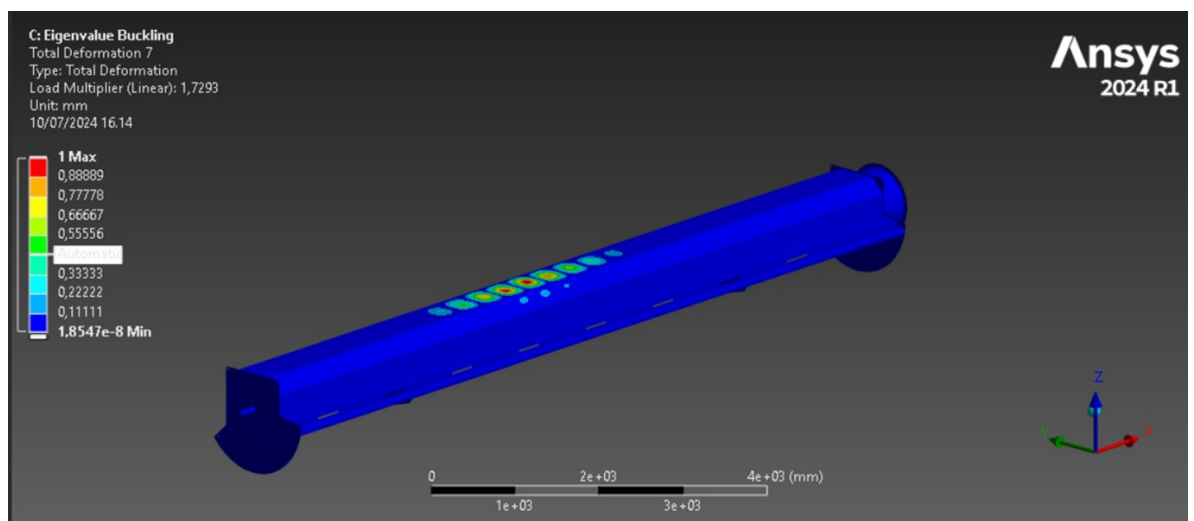
Kuva 17 Kääntölaitteen painauma kanavan vasemmalta puolelta katsottuna



Kuva 18 Kääntölaitteen painauma kanavan oikealta puolelta katsottuna

Rungon maksimi notkahdus on alle 0,9 mm, ja sitä esiintyy rungon kannen keskikohdassa pyöreinä alueina. Pientä notkahdusta esiintyy myös rungon kaltevissa kulmissa. Kuvassa 19 näkyy kääntölaitteen notkahdus.

Lujuuslaskentoja tehdessä testattiin myös rungon seinämien ja kannen välisen kulman muuttamista 45 asteesta 40asteeseen sekä 50 asteeseen, mutta näiden lujuuslaskelmat eivät eronneet aiemmasta.



Kuva 19 Kääntölaitteen notkahdus

## 9 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö keskittyi kääntölaitteen runkorakenteen keventämiseen, mikä oli laaja ja monivaiheinen projekti. Projektin aikana suunnitteluun liittyi monia vaiheita ja huomioon otettavia seikkoja, jotka vaikuttavat lopulliseen suunnitelmaan. Suuri osa työajasta kului näkymättömään suunnittelutyöhön ja pohdintaan, mikä oli oleellista projektin onnistumiselle. Pääpaino työssä oli 3D mallin luominen uudelleen suunnitellusta kääntölaitteesta, joka olisi rakenteeltaan kevyempi mutta säilyttäisi tarvittavan lujuuden ja toiminnallisuuden.

Sopivan runkorakenteen kehittäminen oli erityisen haastavaa, sillä suunnittelussa piti huomioida sekä valmistettavuus että keveys. Tavoitteena oli suunnitella kääntölaitteen runko siten, että laitteen kokonaispainoa saataisiin merkittävästi vähennettyä. Paras lähestymistapa tähän oli yksinkertaistaa runkorakennetta ja pyrkiä vähentämään sisäisten tukirakenteiden määrää, mutta kuitenkin pitää rakenne tarpeeksi tukeva kestämään käyttöolosuhteet. Runkorakenteen suunnittelussa painotettiin valmistettavuutta, sillä valmistettavuuden parantaminen voisi nopeuttaa tuotteen valmistusaikaa ja siten vähentää valmistuskustannuksia. Tämä edellytti useiden eri versioiden suunnittelua ennen kuin lopullinen, hyväksytty ratkaisu löydettiin. Kaikesta huolimatta rungon osalta päästiin toivottuun tulokseen. Päätylevyjen suunnittelussa tavoitteena oli yksinkertaistaa muotoa ja vähentää materiaalin paksuutta. Tämä saavutettiin suunnittelemalla päätylevyt siten, että ne myötäilevät rungon muotoa. Säätolistojen ja väliseinien suunnittelussa tavoitteena oli myös pitää osat mahdollisimman selkeinä ja yksinkertaisina. Tällä tavalla pystyttiin vähentämään osien monimutkaisuutta ja valmistuskustannuksia samalla säilyttäen niiden toiminnallisuus.

Lujuuslaskelmissa havaittiin, että tarkemmat laskelmat saattavat olla tarpeen tämän analyysin pohjalta. Vaikka suuttimien painojakauma otettiin huomioon, koko suutinpakettia ei sisällytetty laskelmiin. Tämä saattoi vaikuttaa lujuuslaskennan tuloksiin. Lujuuslaskentojen tekeminen koko suutinpaketilla sekä komponenteilla voisi vaikuttaa positiivisesti tulokseen. Vaihtoehtoisesti voidaan harkita lisätuen suunnittelua rungon kestävyuden parantamiseksi, mikä voisi tuoda parannuksia laitteen rakenteelliseen lujuuteen.

## Lähteet

Anslys 2024a. Company information. Viitattu 3.6.2024.

<https://www.ansys.com/company-information>

Anslys 2024b. Industries. Viitattu 3.6.2024. <https://www.ansys.com/industries>

3ds 2024a. 3desperience. Viitattu 26.7.2024.

<https://www.3ds.com/3dexperience>

3ds 2024b. Catia construction. Viitattu 26.7.2024.

<https://www.3ds.com/industries/architecture-engineering-construction>

3ds 2024c. Catia products. Viitattu 26.7.2024.

<https://www.3ds.com/products/catia>

Valmet 2024. Valmetin sisäinen tietokanta.

Knowpap 25.0. Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. Viitattu 6.5.2024.

[http://www.knowpap.com/extranet/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/knowpap.htm](http://www.knowpap.com/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm)

Valmet 2024a. Valmet lyhyesti. Viitattu 14.05.2024.

<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet 2024b. Valmetin historia. Viitattu 14.05.2024.

<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/historia2/>

Valmet 2024c. Valmetin vuosikatsaus. Viitattu 14.05.2024.

<https://www.valmet.com/globalassets/investors/reports--presentations/annual-reports/2023/valmet-vuosikatsaus-2023.pdf>

Valmet 2024d. Air dryer nozzle upgrades. Viitattu 17.6.2024.

<https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/coating-drying/air-dryer-nozzle-upgrades/>

Valmet 2024e. Valmetin liiketoimintalinjat. Viitattu 3.6.2024.

<https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/liiketoimintalinjat/paperit/>

Valmet 2024f. Valmetin paperiliiketoiminta. Viitattu 3.6.2024.

<https://www.valmet.com/fi/sjoittajat/sjoittajasuhteet/sjoittajasuhdejohtajan-blogi/Valmetin-paperiliiketoiminta-pyorii-kovilla-kierroksilla/>