

Palopeltien vääntömomenttien mittaaminen

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
2025
Janne Suokas

Tiivistelmä

Tekijä(t) Janne Suokas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 29	Valmistumisaika 2025
Työn nimi Palopeltien vääntömomenttien mittaaminen		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja)		
Tiivistelmä <p>Tämän työn tarkoituksena on selvittää minkä suuruisia vääntömomenteja palo- ja sul- kupellit vaativat toimilaitteelta avautuakseen ja sulkeutuakseen. Tällä hetkellä koh- deyrityksellä ei ole tarpeeksi tarkkaa tietoa todellisista momenteista mitä palo- ja sul- kupellit vaativat. Tämä tieto on olennaista jo asiakkaalle tarjousta tehdessä, jotta toi- milaitteen koon määrittäminen onnistuisi heti alussa.</p> <p>Mittaukset suoritetaan mittauslaitteella, jossa servomoottori ajaa peltiä auki ja kiinni. Laite piirtää vääntömomentista kuvaajan, josta tulokset kirjataan ylös. Tuloksista teh- dään analyysi verraten aikaisempaan dataan.</p>		
Asiasanat Palopelti, vääntömomentti, mittaaminen		

Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Janne Suokas	Thesis, UAS	2025
	Number of Pages	
29		
Title of Publication		
Torque measurement of fire dampers		
Possible subtitle(s)		
Degree, Field of Study		
e.g. Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis is to determine the torque required by fire and shut-off dampers for opening and closing operations. Currently, the target company does not have sufficiently accurate information about the actual torque values needed to operate these dampers. This information is essential already at the quotation stage, so that the correct actuator size can be offered from the very beginning.</p> <p>The measurements are carried out using a testing device in which a servomotor opens and closes the damper. The device generates a torque curve, from which the results are recorded. The collected data is then analysed and compared to previous measurements.</p>		
Keywords		
Fire damper, torque, measurement		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kohdeyritys.....	2
3	Palo- ja sulkupelti.....	3
3.1	Palopeltien rakenne ja toiminta.....	3
3.2	Sulkupelti.....	5
3.3	Toimilaitteet.....	6
4	Vääntömomentti ja sen merkitys.....	8
4.1	Vääntömomentti.....	8
4.2	Vääntömomentti tässä opinnäytetyössä.....	8
5	Alan vaatimukset ja standardit.....	10
5.1	SFS-EN-1751.....	10
5.1.1	Vääntömomentin mittaus.....	10
5.1.2	Painetesti suurimman sallitun paine-eron määrittämiseksi.....	10
5.1.3	Vaadittu ja suurin sallittu vääntömomentti.....	10
6	Mittaaminen.....	12
6.1	Mittausten lähtökohdat.....	12
6.1.1	Mittauksen tarkkuus.....	12
6.1.2	Mittausvirheet.....	13
6.1.3	Mittausepävarmuus.....	14
7	Tuotekohtaiset mittaukset.....	15
7.1	Mittausmenetelmät- ja prosessit.....	16
7.2	Pellin momentinmittausprosessi ja käyttöohjeen teko.....	18
7.3	Mittautulosten keruu.....	22
8	Mittausdatan analysointi.....	23
9	Pohdinta ja johtopäätökset.....	28
10	Lähteet.....	30

Liite 1. Interpoloitu momenttitaulukko 1

Liite 2. Interpoloitu momenttitaulukko 2

Liite 3. Käyttöohje momentinmittauslaitteistolle

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suorittaa palopeltien sulkeutumiseen vaadittavia vääntömomenttien kartoitusta ja tuottaa tuotekohtaiset momenttitaulukot sekä käyttöohjeistus mittausrakenteiden käyttöön. Opinnäytetyön tekijän henkilökohtaiset tavoitteet ovat oppia palopeltien vääntömomentin tarpeesta ja mitkä seikat vaikuttavat peltien vaatimiin vääntömomentteihin. Tämän lisäksi mitattuja tuloksia ja mitatuista tuloksista saatuja sovituspärametrejä verrataan laskennallisiin olemassa oleviin momenttitaulukoihin ja parametreihin.

Ehdotus aiheesta tuli kohdeyrityksen R&D tiimiltä. Kohdeyrityksellä ei ole tarpeeksi mitattua dataa palopeltien toimintaan vaadituista todellisista vääntömomenteista, joten ne on jouduttu arvioimaan ja mitoittamaan toimilaitteet arvioon pohjautuen. Joissakin Oil & Gas-projekteissa asiakas vaatii jonkin suuruisista prosentuaalisista varmuuskertoimista palo- ja sulkupeltien toiminnan varmistamiseksi. Näissä tapauksissa vaadittavan vääntömomentin arvio ei ole tarpeeksi tarkka. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa mitattua luotettavaa dataa vääntömomenteista, jotta jo tarjousvaiheessa voitaisiin asiakkaalle tarjota oikean kokoista toimilaitetta.

Aiheena palo- ja sulkupellit ovat sen verran spesifi tuote, ettei niistä loppujen lopuksi kovin paljoa tutkimustietoa löydy. Pääosa palo- ja sulkupelteihin liittyvästä tiedosta on tullut oman työni sekä kohdeyrityksen julkaisemien dokumenttien kautta.

Opinnäytetyön mittausdatan keruu rajataan yhteen silikonitiivisteiseen palopeltimalliin, jottei mittaustulosten keräämiseen menisi liian kauan. Mitattavien tuotteiden koot ja määrät riippuvat asiakkaiden tilauksista. Opinnäytetyöhön ei valmisteta erikseen prototyyppisiä mittausta varten vaan mittaukset suoritetaan tuotannosta valmistuvista tuotteista.

2 Kohdeyritys

Kohdeyritys on 1969 perustettu perheyritys. Sen toimialana on sisäilmaratkaisut vaativiin toimintaympäristöihin. Kohdeyritys toimii nykyisin 35 maassa eri puolilla maailmaa. Tuotantoyksiköitä yhtiöllä on Suomen lisäksi kahdeksassa maassa sekä lisensoitua tuotantoa neljässä maassa. Toimipiste, johon opinnäytetyö on tehty, keskittyy on- ja off-shore projekteihin, joita ovat esimerkiksi risteilijät, öljynporauslautat, merituuliprojektit ja raskas teollisuus. Tuotteiden tarkoituksena on parantaa kohteiden paloturvallisuutta, sisäilmaa sekä energia- tehokkuutta. Tuotekategoriasta kohdeyritykseltä löytyy laivakeittiöiden huuvat, hytin ilmanvaihtolaitteistot sekä palo- ja sulkupellit. Volyymiltaan suurimpana tuotteena toimii palo- ja sulkupellit.

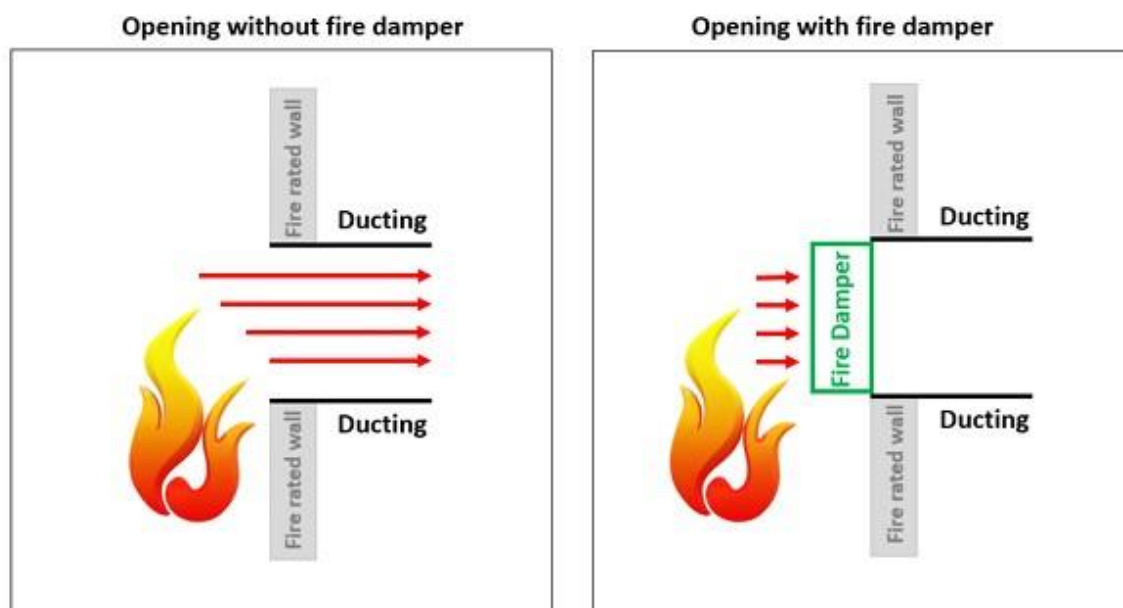
Kohdeyrityksen tuotanto tapahtuu pääasiassa aina suunnittelusta kokoonpanoon saman katon alla. Prosessi alkaa myynnin asiakkaalle tarjoaman tuotteen räätälöinnistä asiakkaan toiveiden ja vaatimusten mukaan. Tästä tarjotusta tuotteesta piirretään tuotekohtaisen kuvat Solidworks-ohjelmistolla ja lähetetään asiakkaalle hyväksyttäväksi. Tuotteiden räätälöinti ja suunnittelu lyhyelläkin aikataululla onkin varsin suuri kilpailuetu kohdeyritykselle.

3 Palo- ja sulkupeltti

Paloturvallisuus ja sisäilman laatu ovat tärkeitä elementtejä ottaa huomioon rakentamisessa, oli sitten kyseessä kiinteistö tai risteilijä. Palopellit testataan ja sertifioidaan tiettyjen vaatimusten sekä standardien mukaisesti. Sulkupellit ovat keskeinen komponentti ilmanvaihtojärjestelmässä turvaamaan ilmanlaatua estäen ilmansaasteiden eteneminen kanavistossa sekä parantamaa energiatehokkuutta estämällä esimerkiksi lämmön karkaamisen.

3.1 Palopeltien rakenne ja toiminta

Palopeltejä käytetään ilmanvaihtaukkojen, kanavien ja muiden paloeristettyjen rakenteiden läpivienneissä (Kuva 1). Palopellin tarkoituksena on sulkea ilmanvaihtokanava estäen palon ja palokaasujen eteneminen kanavistoa pitkin sekä katkaista tulipalon hapen saanti. Näin pystytään estämään palon leviäminen ja omaisuus- sekä henkilövahinkojen syntyminen. Palokaasut ovat monesti itse paloa vaarallisempia ihmisten terveydelle. Palo pyritään rajaamaan sen alkukohtaan sammutuksen helpottamiseksi sekä henkilö- ja omaisuusvahinkojen minimoimiseksi. (Setänen, Fire Protection with Fire Dampers, 2021, 7.)



Kuva 1 Havainnekuva (Kuva: Setänen 2021)

Palosta syntyvät palo- ja savukaasut kohoavat ylöspäin ja pääsevät helposti leviämään erilaisten aukkojen kautta, siksi palopeltien kaasutiiveys on myös tärkeää. Savu- ja kaasutiiveyttä voidaan parantaa erilaisilla tiivisteillä, mitä lisätään peltien säleisiin ja runkoihin. Oikeanlaisen palopellin valinta on tärkeää sen ominaisuuksien takia ja käyttökohteiden perusteella. Esimerkiksi vaadittuihin palo- ja tiiveysluokituksiin on kiinnitettävä huomiota. Palopeltejä on saatavilla myös Atex-sertifioituna, jolloin ne sopivat myös räjähdysvaarallisiin

tiloihin. Atex-sertifikaatti koskee yleensä sähkölaitteita, mutta sertifikaatin voi myös antaa mekaaniselle laitteelle. Palo- ja sulkupeltien tapauksessa Atex-sertifioituun peltiin lisätään maadoitusliitäntä sekä Atex-luokituksen sisältävä kyltti.

Palopellin (Kuva 2) rakenne on melko yksinkertainen. Palopellissä on rungon lisäksi kolme keskeistä komponenttia: säleet, toimilaitte ja palosulake. Palopeltien toimilaitteet ovat pääasiassa sähköisiä tai pneumaattisia. Palopeltejä on olemassa myös manuaalisia, jolloin pellin sulkeminen tapahtuu käsin kahvasta vääntämällä. Palosulakkeita on lukuisille eri lämpötiloille, alkaen +50°C aina yli 150°C käyttökohteen mukaan. Sähköisissä palopelleissä sähköisiä komponentteja ovat toimilaitte, rajakytkimet sekä palosulake.



Kuva 2 Palopelti sähköisellä toimilaitteella (Kuva: Halton)

On olemassa standardeja, jotka ottavat kantaa rungon materiaalin vahvuuteen, laippariitykseen ja eristykseen. Valmistusmateriaalina yleisemmin on kuumasinkitty ja haponkestävä EN 1.4404 teräs. Palopellin koko vaikuttava tekijä esimerkiksi standardin EN1751 mukaiseen vuotoluokitukseen. Peltien savu- ja kaasutiiveyttä voidaan parantaa lisäämällä säleisiin silikoni ja lämmöstä vaikutuksesta turpoavaa tiivistettä.

Palopellin tarkoituksena on sulkea ja tiivistää ilmanvaihtokanava tulipalon syttyessä, jotta palo ja palokaasut eivät pääse leviämään kanavaa pitkin. Palopellin toiminta perustuu säleiden sulkeutumiseen toimilaitteen virtapiirin katketessa. Toimilaitteet siis avaavat palopellin säleet virrallisena ja sulkee virrattomana. Virrattomana toimilaitteen sisäinen jousikuorma sulkee palopellin. Virtapiirin katkeaa lämpösulakkeen lauetessa. Lämpösulakkeita on mekaanisia ja sähköisiä. Palopellissä on aina lämpösulake.

On olemassa myös pelkästään jousella toimivia palopeltejä. Niissä lämpösulakkeen lauteissa jousikuorma sulkee palopellin säleät. Nämä jousitoimiset palopellit vaativat manuaalisen virityksen. (Setänen, Fire Protection with Fire Dampers, 2021, 8.)

3.2 Sulkupelti

Sulkupeltejä (Kuva 3) käytetään ilmavirran pysäyttämiseen ja tasapainottamiseen ilmanotto- sekä poistokanavissa. Sulkupelleillä voidaan myös lisätä paloturvallisuutta, sillä ne eristävät ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien osia rakennuksissa ja aluksissa palon sytyessä. Myös yhtenä tehtävänä sulkupellillä on estää ilman takaisinvirtaus kanavistossa, pitäen esimerkiksi lämpimän ilman sisällä ja parantaen näin energiatehokkuutta. Sulkupeltien on tarvittaessa oltava myös kaasutiiviitä estämään haitallisten kaasujen etenemisen kanavissa esimerkiksi tulipalotilanteessa. Sulkupeltejä on sähköisillä ja pneumaattisilla toimilaitteilla sekä manuaalisesti ohjattavia.



Kuva 3 Sulkupelti pneumaattisella toimilaitteella (Kuva: Halton)

Rakenteeltaan sulkupellit ovat lähes samanlaisia kuin palopellit. Suurimpana eroavaisuutena sulkupelleistä puuttuu lämpösulake, joten sulkupellit eivät itsessään reagoi kanavassa virtaavan ilman lämpötilaan. Sulkupeltejä on saatavilla myös ATEX-sertifioituna räjähdysvaarallisiin tiloihin sopivina.

3.3 Toimilaitteet

Palopelleissä käytettäviä toimilaitteita on monenlaisia, niin ominaisuuksien kuin materiaalinkin osalta. Tämän opinnäytetyön kannalta olennaista on puhua nimenomaan sähköisistä toimilaitteista ja niiden eri ominaisuuksista, sillä mitattavat palopellit ovat sähköisiä.

Sähköisen toimilaitteen (Kuva 4) sisältämän moottorin toiminta perustuu sähköenergian muuttamiseen mekaaniseksi energiaksi. Palopellin säleet aukeavan moottorin avulla ja virransyötön katketessa jousikuorma kääntää säleet kiinni eli sulkee palopellin. Toimilaitteissa aukeaa moottorilla ja sulkeutuu jousikuormalla. Useat toimilaitteet sisältävät integroidut rajakytkimet, joiden avulla voidaan indikoida auki- ja kiinniasennot. Eri toimilaitemalleissa on erona myös luvattu vääntömomentti minkä toimilaitte pystyy varmasti tuottamaan. Myös moottorin ja jousikuorman käyntiajalla on merkitystä, sillä joissakin paikoissa vaaditaan nopeita, jopa yhden sekunnin fail-close aikaa eli aikaa, jossa palopelti sulkeutuu palotilanteessa. Yleisimpänä oletuksena sulkeutumisaikalla on jotain 10...15 sekunnin välillä.



Kuva 4 Schischekin valmistamia ATEX toimilaitteita. (Kuva: Rotork)

Vääntömomentin tuottaminen on olennaisimpia ominaisuuksia käyntiajan ohella, sillä liian pieni toimilaite ei välttämättä jaksaa sulkea suurta palopeltiä, jolloin palo ja savukaasut voivat päästä leviämään kanavistossa puutteellisen tiivistymisen vuoksi. Liian pienellä toimilaitteella tässä tarkoitetaan sen lupaamaa vääntömomenttia moottorilta sekä jouselta. Vastavasti taas liian suuri toimilaite tuo tuotteelle lisää painoa, kokoa ja hintaa ilman varsinaisia hyötyjä. Joissakin toimilaitetyypeissä on myös vähimmäismomentti, jottei toimilaite riko. Sähköisten toimilaitteiden tyyppiset vääntömomentit ovat 8Nm ja 50Nm väliltä. Näistä on myös ATEX-sertifioituja malleja (kuva 5).



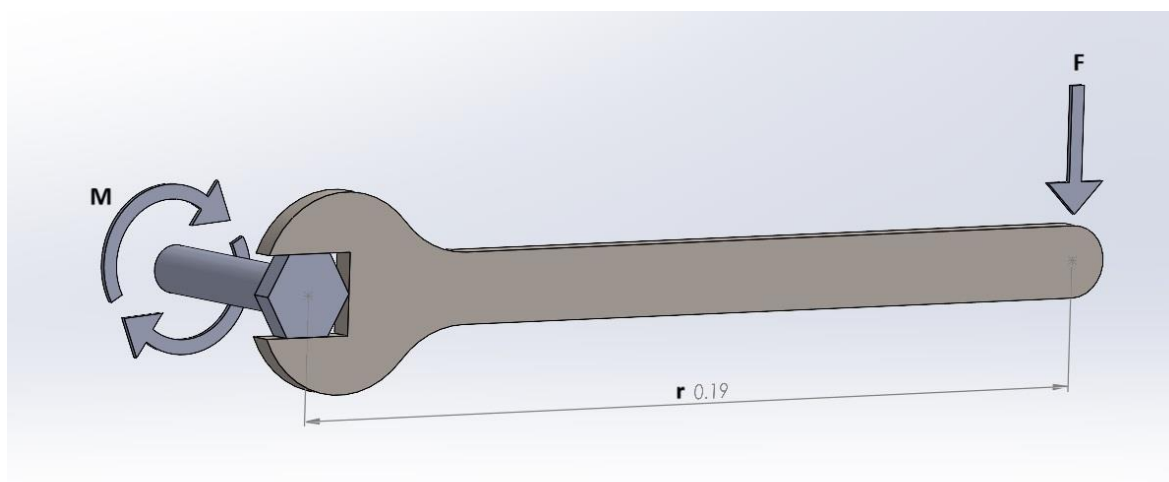
Kuva 5 Schischekin valmistama VAS toimilaite EN 1.4404 teräksisellä rungolla (Kuva: Rortork)

4 Vääntömomentti ja sen merkitys

Tämän opinnäytetyön keskeisenä terminä on vääntömomentti. Opinnäytetyössä on perehdytty sähköisiltä toimilaitteilta vaadittaviin momentteihin palopeltien toiminnan varmistamiseksi. Tässä kappaleessa on pintapuolinen katsaus vääntömomenttiin.

4.1 Vääntömomentti

Vääntömomentti määritellään voimana, jolla on kyky pyörittää jonkin pisteen suhteen, mikä ei sijaitse voiman vaikutussuoralla. Sitä voidaan kutsua myös kiertäväksi voimaksi. Vääntömomentti voidaan laskea kaavalla $M = F \times r$, jossa M on momentti, F on vaikuttavan voiman suuruus ja r on voiman tunnettu etäisyys vaikutuspisteestä. (Krishnamurthy, Raghavendra. 2013, 341.)



Kuva 6 Havainnekuva vääntömomentista kiintoavaimella

Vääntömomentin SI-yksikkö on Newtonmetri (Nm), joka saadaan kertomalla vaikuttava voima (F) sen etäisyydellä vaikutuspisteestä (r).

Eli kuvan 6 yksinkertaisessa tapauksessa, jos avainta painetaan esimerkiksi 50N voimalla ja vipuvarren r pituus on 0,19 m, tulisi vääntömomentiksi $50\text{N} \times 0,19\text{ m} = 9.5\text{Nm}$.

4.2 Vääntömomentti tässä opinnäytetyössä

Vääntömomentti tässä opinnäytetyössä on keskeisimpiä käsitteitä, koska tarkoituksena on mitata palopeltien vaatimia vääntömomenteja servomoottoria hyödyntävällä mittauslaitteella. Palopelleissa on erilaisia tiivisteitä mm. silikoni, teräs tai paisuvia palotiivistettä. Näiden eri tiivisteiden aiheuttama kitka lisää palopeltien säleiden aukeamiseen ja sulkeutumiseen vaadittavaa vääntömomenttia. Myös palo- ja sulkupeltien säleiden määrä vaikuttaa

vaadittuun sulkeutumismomenttiin. On myös muita tekijöitä mitkä vaikuttavat tarvittavaan vääntömomenttiin, esimerkiksi säleen hitausmomentti. Tätä ei kuitenkaan otettu huomioon, koska säleen keveyden ja rakenteen vuoksi se ei ole olennaisesti vaikuttava tekijä.

Joidenkin asiakkaiden vaatimuksena on, että palopeltien toimilaitteet on mitoitettu 40% turvamarginaalilla eli pellin vaatiman vääntömomentin lisäksi toimilaitteessa on 40% yli tuon pellin vaatiman momentin. Nämä vaativat tarkempaa dataa, jotta tuollaisen turvamarginaalin kykenee lupaamaan asiakkaalle.

5 Alan vaatimukset ja standardit

Tämän opinnäytetyön käsittelemiin tuotteisiin, eli palo- ja sulkupelteihin liittyy lukuisia erilaisia standardeja ja sertifikaatteja. Ne ottavat kantaa esimerkiksi paloluokituksiin, vuotoluokitukseen ja erilaisiin testauksiin.

5.1 SFS-EN-1751

Palopelleille sekä sulkupelleille on useita erilaisia vaatimuksia, jotka määrittävät niiden suunnittelun, testauksen ja asennuksen vaatimukset. Mahdollisia standardeja ja sertifikaatteja on lukuisia.

Tärkeimpänä standardina tämän opinnäytetyön aiheeseen liittyen on SFS-EN-1751 – Ventilation for bulding – Air terminal devices – Aerodynamic testisng of dampers and valves. Standardi sisältää Sulku- ja säätölaitteiden mekaanisten testien vaatimukset mukaan lukien vääntömomentin mittauksen. (SFS-EN-1751). SFS-EN-1751 standardissa mitataan ilmapvirran vaikutusta vääntömomenttiin, paine-ero ja suurin sallittu vääntömomentti.

5.1.1 Vääntömomentin mittaus

Vääntömomentti voidaan mitata momenttiavaimella tai vipuvarrella ja punnuksella, kunhan mittauksen tarkkuus on vähintään $\pm 0,5$ N·m. Vaihtoehtoisesti vääntömomentin voi mitata jännitysmittausanturilla (venymäliuska). Jos käytetään anturimittausta, laitteisto kalibroidaan herkästi laakeroituun akseliin kiinnitetyllä punnuksella ja vipuvarrella, jolloin kalibroinnin tarkkuuden on oltava $\pm 0,2$ N·m. (SFS-EN-1751).

5.1.2 Painetesti suurimman sallitun paine-eron määrittämiseksi

Laitteille suoritettavalla painetestillä selvitetään suurin sallitun paine-ero. Painetesti tehdään laitteen säleet suljettuna nostaan painetta haluttuun maksimiin, jonka jälkeen paine laskeaan ja tarkastellaan, onko tapahtunut pysyviä muodonmuutoksia. Mittauksia toistetaan paine-eroa korottaen siihen asti, että pysyvä muodonmuutos todetaan alkavan (SFS-EN-1751).

5.1.3 Vaadittu ja suurin sallittu vääntömomentti

Laitteen vaatiman vääntömomentin mittausta varten tarvitaan selvittää edellisessä kappaleessa selitetty suurin sallittu paine-ero. Momentti mitataan laitteen ollessa auki asennossa, jolloin ilman nopeus säädetään arvoon $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Laitteen ollessa suljettuna asetetaan tulevan ilman staattinen paine arvoon p_{s1} :

$$p_{s1} = 0,8 p_{max} \pm 20 \%,$$

jossa p_{max} on aikaisemmassa kappaleessa mainittu suurin sallittu paine-ero. Laitteen vaatima momentti sekä paine-ero Δp mitataan vähintään kuudessa säätöasennossa kiinniasennosta aukiasentoon ja takaisin. (SFS-EN-1751).

Suurimman sallitun vääntömomentin määrittämisessä laitteen käyttöakseliin, johon toimilaitte tulisi asentaa, asennetaan momenttiavain tai vipuvarsi ja punnus. Kuormitusta lisätään, kunnes havaitaan pysyvää muodonmuutosta tai testattavan laitteen valmistajan ilmoittama suurin vääntömomentti on saavutettu. Testi tehdään kummassakin ääriasennossa eli auki- ja kiinniasennossa. Testiraportissa ilmoitetaan laitteen asento, momentin arvo ennen pysyvää muodonmuutosta tai se, että laite kestää valmistajan määrittämän suurimman vääntömomentin. (SFS-EN-1751.)

Alla muutama esimerkki muista aiheita sivuavista standardeista ja sertifikaateista:

- EN 15650 – Ventilation for buildings. Tämä standardi asettaa vaatimukset ja testausmenetelmät palonrajoittimille, jotka on tarkoitettu asennettaviksi rakennuksen ilmanvaihto-, lämmitys-, ja ilmastointijärjestelmiin. Palonrajoittimet on suunniteltu sulkeutumaan automaattisesti paloon viittaavan lämpötilan noususta.
- EN 1366-2 – Fire resistance tests for service installation. Tämän standardin tarkoituksena on määrittää testimenetelmät, joilla arvioidaan savunhallintapeltien suorituskykyä tiettyjen ominaisuuksien osalta.
- EN 13501 - Fire classification of construction products and building elements. Tässä standardissa määritellään yhdenmukaistettu rakennustaiteiden palonkestävyyden luokitusmenettely. E- ja EI-luokitusten perässä oleva numero kertoo tehokkaan suojauksen minuutteina. E taas tarkoittaa tiiveyttä, jossa palonrajoitin estää liekkien ja kuumien kaasujen pääsyn toiselle puolelle. Esimerkiksi EI60S- luokitus tarkoittaa tehokasta suojaa palolta, kaasuilta, savulta ja lämmöltä 60minuutin ajan. S tarkoittaa tiiveyttä savua vastaan.
- DNV-, BV- ja ABS-sertifikaatit, ovat erinäisten riippumattomien luokittelulaitosten myöntämiä tyyppihyväksyntöjä. Nämä laitokset testaavat tuotteet ja niiden eri variaatiot todeten ne turvallisiksi ja kestäviksi käyttää.

Edellä mainittujen lisäksi on olemassa ns. ”epävirallisia” standardeja. Näitä standardeja löytyy joiltain isoilta varustamoilta ja kaasu- sekä öljy-yhtiöiltä. Näissä standardeissa määritellään millainen palopellin rakenne tulisi olla, esimerkiksi liitoslaippojen rei’ityksestä materiaalivahvuuteen.

6 Mittaaminen

Mittaamista harjoitetaan usealla elämän osa-alueella, kun halutaan tietää jostakin esineestä tai ilmiöstä. Tarvittava tieto on usein hankittava mittaamalla. Mittaamista hyödynnetään ihan päivittäisessä elämässä. Esimerkiksi ihmisen pituuden mittaamista tai punnitus kaupan hedelmä- ja vihannesosastolla, kun halutaan kilohintaisille tuotteille hintalappu.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään vääntömomentin mittaamiseen ja mietitään vaadittavaa mittaustarkkuutta. Tarkkuutta miettiessä perehdytään mittausepävarmuuteen ja sen ilmaistamiseen sekä luotettavuuteen.

6.1 Mittausten lähtökohdat

Onnistuneiden mittausten kannalta tärkeää on, että mittauksessa käytettävä laite tai tekniikka soveltuu kyseisen suureen mittaamiseen. Mittauksen suorittavan henkilön on ymmärrettävä mittaustehtävä ja kyettävä suorittamaan se oikein. (Aumala 2002, 157.)

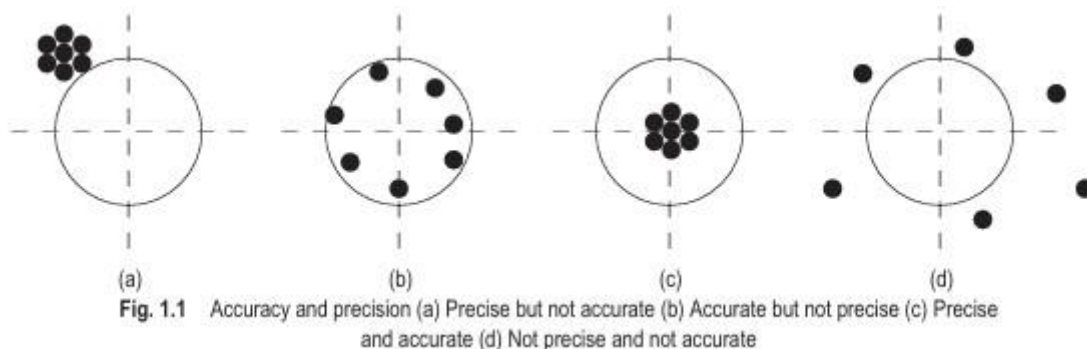
Mittauksessa käytettävän mittauslaitteen on oltava spesifi juuri sen mitattavan suureen mittaamiseen. Mittauslaitteen antama tieto on oltava tieto juuri kyseisestä suureesta, mitä ollaan mittaamassa. Mittauslaite ei saa olla altis käyttöolosuhteille ja sen tulee reagoida ainoastaan mitattavalle suurelle. (Aumala 2002, 157.)

Mittauksen suorittavan henkilön on oltava pätevä ja tiedettävä mitä on tekemässä. Mittausten suorittaminen, tulosten kirjaus ja havainnoiden teko on aikaa vievää toimintaa. Joten mittauksia ei koskaan saa suorittaa kiireellä, koska kiireessä virheiden mahdollisuus kasvaa räjähdysmäisesti ja tulosten luotettavuus kärsii. (Aumala 2002, 157.)

6.1.1 Mittauksen tarkkuus

Mittaustarkkuuden määrittäminen nykypäivänä on lähes poikkeuksetta vaatimus. Kun puhutaan tarkkuudesta, liittyy siihen kaksi olennaista termiä: Ulkoinen tarkkuus ja sisäinen tarkkuus (Kuva 7). Ulkoinen tarkkuus on mittaustuloksen yhtäpitävyys mitatun arvon ja todellisen arvon välillä. Sisäinen tarkkuus kuvaa, kuinka hyvin mittaukset ovat toistettavissa samalla menetelmällä ja samoissa olosuhteissa antaen yhteneviä mittaustuloksia.

Todellinen arvo voidaan määrittää useamman lukuisten mittausten keskiarvoksi, mutta tosiasiasa todellista arvoa ei voida saavuttaa mittaustuloksien epävarmuuksien vuoksi. Todellista arvoa ei siis ole mahdollista määrittää kokeellisesti. (Krishnamurthy & Raghavendra. 2013, 7.)



Kuva 7 Ulkoinen tarkkuus (Accuracy) ja Sisäinen tarkkuus (Precision) (Kuva: (Krishnamurthy & Raghavendra. 2013, 7.)

6.1.2 Mittausvirheet

Todellisen arvon ja saman komponentin mitattujen lukemien keskiarvon ero tunnetaan virheenä. Virhe on myös mahdollista esittää mitatun arvon ja mitattavan suureen todellisen arvon erotuksena, eli niin sanotusti absoluuttisena virheenä. $E = V_m - V_t$, jossa E on absoluuttinen virhe, V_m on mitattu arvo ja V_t on todellinen arvo. (Krishnamurthy & Raghavendra. 2013, 7.)

Mittauksissa esiintyy monenlaisia virheitä ja niitä on jaoteltu eri kategorioihin mahdollisten aiheuttajien mukaan. Systemaattisella virheellä tarkoitetaan useassa mittauksessa toistuvaa virhettä, joka voi johtua esimerkiksi väärästä mittaustavasta tai mittalaitteen kalibrointivirheestä. Myös satunnaisia virheitä esiintyy kaikissa mittauksissa. Satunnaisia virheitä ovat esimerkiksi mittaajan epätarkkuus. Satunnaiset virheet voidaan minimoida suorittamalla mittaus moneen kertaan, jolloin eri suuntiin olevat virheet kumoavat toisensa. Mittauksissa ilmenee myös karkeita virheitä, jotka poikkeavat mitatuista tuloksista suuresti. Karkeat virheet pyritään tunnistamaan ja jättämään huomiotta. (Järvinen, Keinänen. 2014. 95.)

Virheen ilmaisutapana voidaan käyttää esimerkiksi suhteellista virhettä. Suhteellinen virhe on virheen suuruus suhteutettuna mitattuun tulokseen. Suhteellinen virhe ilmoitetaan prosentteina. Laskemalla ensiksi absoluuttinen virhe kaavalla $E = V_m - V_t$, voidaan saatua arvoa verrata todelliseen arvoon, jolloin saadaan suhteellinen virhe. $\text{Virhe} = \frac{V_m - V_t}{V_t} \times 100$, tästä saadaan suhteellinen virhe prosentteina. (Krishnamurthy & Raghavendra. 2013, 7.)

Virheen suuruusluokka riippuu paljon mitattavasta suureesta ja minkälaista komponenttia mitataan. Esimerkiksi jos mitataan 2000 mm terästangon pituutta ja virheeksi saadaan 2000 ± 2 mm, virhe ei ole välttämättä merkittävä. Vastaavasti jos mitataan 10 mm terästankoa ja virheeksi saadaan 10 ± 2 mm, on virhe jo erittäin merkittävä, koska se on

prosentuaalisesti niin suuri todellisesta pituudesta. Voidaan siis todeta, että samansuuruinen virhe muuttuu merkittäväksi, kun mitattavan suureen arvo on pieni.

Mittalaitteen tarkkuutta arvioidaan aina virheen perusteella. Mitä pienemmiksi virheet jäävät, sitä tarkempi mittalaite on. Joten aina kun esitetään mittaustuloksia, on tuloksia voitava pitää luotettavina. Mittausepävarmuus täytyy myös esittää tulosten yhteydessä. Myös mittalaitteen tarkkuus voidaan ilmaista prosentuaalisena virheenä.

6.1.3 Mittausepävarmuus

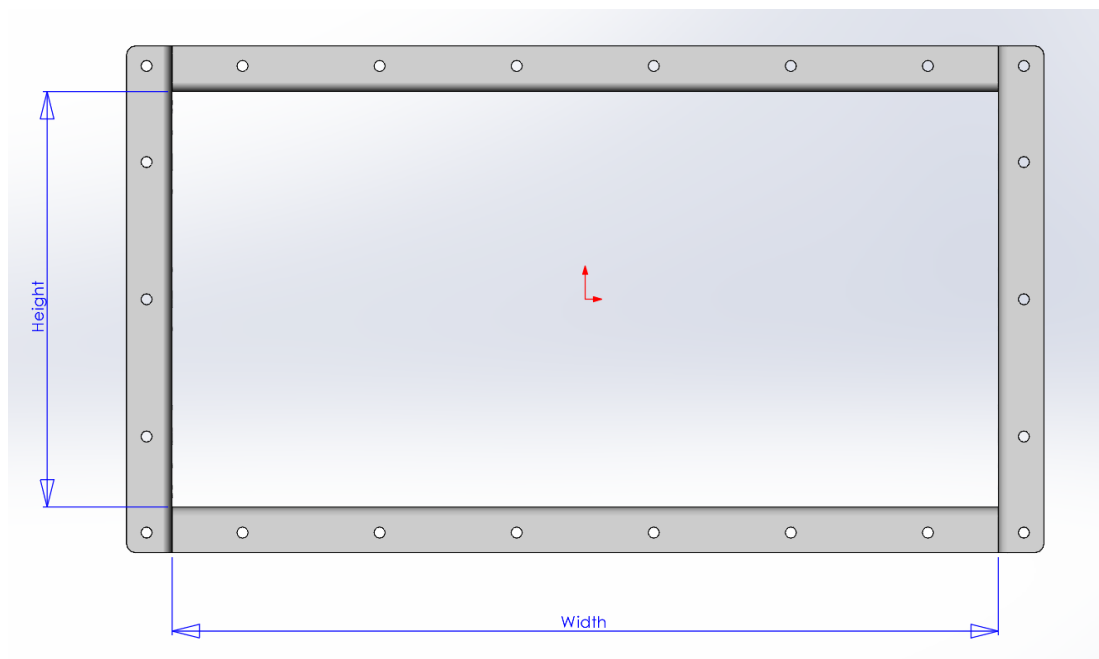
Mittaustulosten analysoinnin yhteydessä puhutaan mittausepävarmuudesta. Mittausepävarmuus pitää sisällään systemaattisen virheen korjauksen epävarmuuden, mittaustuloksen vaihtelun saman kohdearvon mittauksia toistettaessa sekä muita mahdollisia epävarmuuskomponentteja. Systemaattisen virheen korjauksen epävarmuudella tarkoitetaan epävarmuutta siitä, kuinka tarkasti virhe on pystytty tunnistamaan ja korjaamaan. Korjaus ei ole koskaan täydellinen (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008, 4). Esimerkiksi kalibrointitulosten perusteella tehty korjauskin voi sisältää epävarmuutta. Tämä epävarmuus otetaan huomioon mittaustulosten kokonaisepävarmuudessa. Näitä epävarmuuskomponentteja mainittiin aikaisemmissa kappaleissa. Jos systemaattinen virhe jätetään korjaamatta mittaustuloksiin, muuttuu käsite mittausepävarmuus mittausepävarmuudeksi. (Aumala 2002, 157.)

Mittaustulos ei ole luotettava ilman mittausepävarmuuden ilmaisemista mittaustuloksen yhteydessä (Finas, 2023.) Mittaustuloksen epävarmuustekijät on tunnistettava ja otettava laskennassa huomioon, jotta mitattu tulos olisi luotettava. Mittausepävarmuus vaaditaan tuloksen luotettavuuden arviointiin, mittaustulosten vertailuun ja vaatimustenmukaisuuden ilmaisuun.

Mittausepävarmuus tarkoittaa arvioita siitä, kuinka paljon mittatulos voi poiketa todellisesta arvosta. Mittausepävarmuuden ilmaisussa käytetään yleensä \pm -merkkiä kuvaamaan tuloksen mahdollisia vaihtelurajoja, jonka puitteissa tulos voi korkeintaan poiketa mitatusta. Tällä keinolla pystytään antamaan mahdollisimman tarkka tulos, koska mittaustulos ei koskaan ole täysin tarkka. Mittausepävarmuus on tärkeää erottaa muista tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa mittaustulokseen. Mittausepävarmuuden arviointiin ei saa sisällyttää huolimattomuusvirheitä tai mittajaajan taidoista johtuvia virheitä. (Hemminki ym. 2011, 41) Myöskään mittalaitteen toleranssit, tarkkuus ja mittausrvirheet eivät ole mittausepävarmuutta, vaan ne kuvaavat laitteen ominaisuuksia. Joten mittausepävarmuus kuvaa ainoastaan mittaustuloksen luotettavuutta.

7 Tuotekohtaiset mittaukset

Opinnäytetyön päätavoitteena on saada mitattua dataa palo- ja sulkupeltien vääntömomenttien tarpeesta sekä saada jonkinlainen käsitys siitä minkälaisia momenteja peltien sulkemiseen todellisuudessa vaaditaan. Ennen mittausten aloittamista pohdittiin mistä peltityypeistä olisi paras aloittaa datankeruu ja olisiko jotkin tietyt peltikoot tärkeämpiä kuin toiset. Pellin koolla tässä tapauksessa tarkoitetaan rungon sisämittoja (Kuva 8). Tässä päädyttiin kohdeyrityksen tämänhetkisten projektien tarpeisiin ja peltien kokojen osalta mietittiin voisiko mitattavia kokoja priorisoida. Priorisoinnissa päädyttiin jättämään yksisäleiset palopellit toistaiseksi mittaamatta, jotta saataisiin mittaustulosten pohjalta arvioitu mitkä asiat vaikuttavat vaadittavaan momenttiin eniten. Myös toimeksiantajan puolelta tuli mainintana, että niin sanotut rajatapaukset olisivat tärkeimpiä. Rajatapauksilla tarkoitetaan sellaisia peltien kokoja, jotka ovat siinä rajalla missä aikaisempaan momenttitarpeen laskentaan perustuen toimilaitteen koko kasvaa. Tällä pyrittäisiin välttämään toimilaitteen ylimitoittamista eli välttyttäisiin laittamasta liian suurta toimilaitetta peltiin, johon todellisuudessa riittäisi pienempikin toimilaitte. Tämä toimilaitteen koko vaikuttaa suoraan tuotteen hintaan ja kasvattaa myös kokoonpanon äärimittoja.



Kuva 8 Rungon sisämitat (Height=korkeus ja Width=leveys [mm])

Opinnäytetyötä varten mitattavissa pelleissä muuttuvina tekijöinä ovat koko eli leveys sekä korkeus. Leveyden muuttuessa säleiden pituus muuttuu ja sitä myöten kitkaa aiheuttavat säleiden tiivistemetrit. Mitattavissa pelleissä on kahta tiivistevaihtoehtoa, jousiteräs sekä silikonitiiviste. Tässä työssä mitattiin ainoastaan silikonitiivisteisiä peltejä. Tähän valintaan

päädyttiin aikataulusyistä. Täten niitä ei valmisteta niin paljoa, että niiden mittaukset olisivat tähän hetkeen kannattavia. Jousiteräksillä tiivistetyt pellit vaativat kuitenkin enemmän momenttia tiivisteen painuessa runkoa sekä tiivistyslistoja vasten kuin silikonitiivisteen. Säleiden pituuden kasvaessa säleiden massa myös kasvaa, mutta se ei näiden mittauksien kannalta ole olennaista, koska säleiden ajosyklin aika on niin pitkä ja säleet liikkuvat hitaasti.

Palopellin korkeuden kasvaessa vastaavasti säleiden määrä lisääntyy. Tämä puolestaan vaikuttaa jo merkittävästi momentintarpeeseen. Säleiden lisääntyessä myös tiivisteen määrä lisääntyy ja momentintarve kasvaa.

7.1 Mittausmenetelmät- ja prosessit

Mittaukset suoritettiin kohdeyrityksen omaan käyttöön rakennetulla ja ohjelmoidulla mittauslaitteistolla. Momentin mittaus perustuu servomootorin virran mittaukseen. Virta ja pyörimisnopeus ovat lineaarisessa suhteessa vääntömomenttiin.

Mittalaitteen käytössä todettiin hieman huomiota vaativia seikkoja, jotta mittausprosessi olisi lähestulkoon samanlainen jokaisen pellin kohdalla. Pellin toimilaitteen tilalle kiinnitettävän servomootorin akselin päässä olevassa holkissa ja pellin käyttöakselin välillä on pieni välily, sekä pellin vivustossa on myös välilystä. Nämä välilykset pyrittiin kääntämään kiintoavaimella samaan suuntaan jokaisessa mittauksessa. Tähän kyseiseen pisteeseen tehtiin servomootorin opetus, jossa laitteelle opetettiin kohta missä säleet ovat kiinni ja laitteelle tämä kohta on 0° . Mittalaitteen opetuksessa huomattiin hieman eroja siinä, miten kiinni säleet käännettiin kiintoavaimella. Jos kiintoavaimella käännettiin säleitä kiinni hieman kovemmalla voimalla ja laitteen opetuksen teki kiintoavaimella väännettäessä eivät säleet auenneet täysin auki ja säleiden sulkeutuessa servomootori ajoi säleitä liian kiinni siihen asti, että mittalaitteen momenttiraja tuli vastaan. Tämä onkin ongelmallinen mittauksen kannalta, koska välilystein poistamisesta puuttuu vakiintunut käytäntö, joka olisi toistettavissa täsmälleen samalla voimalla mittauksesta toiseen. Ei ole tiedossa momenttia millä säleitä käännetään kiinni ennen opetusta, vaan näkemyksiä on tällä hetkellä yhtä monta, kun on mitaajakin.

Mittalaitteessa on muutama manuaalisesti säädettävä parametri, jotka ovat avautumisaika, säleiden avautumiskulma ja syklien määrä. Syklillä tässä tarkoitetaan pellin säleiden avautumista ja uudelleen sulkeutumista. Mittalaitteessa on asetettavissa pellin avautumis/sulkeutumisaika sekunteina. Jokainen mittaukseen asetettiin ajaksi 10 sekuntia ja tätä aikaa ei muutettu missään vaiheessa mittauksia. Toisena säädettävänä parametrina on säleiden avautumiskulma. Kulmaksi asetettiin 90° ja tällä arvolla menttiin loppuun asti. Mittalaitte avaa säleet 90° siitä pisteestä mihin servomootorille opetettiin aikaisemmassa kappaleessa

mainittu 0°-kohta. Viimeisenä manuaalisesti säädettävissä ole arvo on syklien määrä, joka asetettiin kolmeen sykliin jokaista mitattavaa peltiä kohden. Näiden lisäksi on ohjelmallisesti muutettavia parametreja, jotka eivät ole olennaisia mittausten kannalta, esimerkiksi raja-arvo maksimi vääntömomentille.

Mittauslaitteisto kalibroitu hyödyntäen pyörän vannetta sekä narun päässä roikkuvaa punnusta, jolloin vääntömomentti pysyy muuttumattomana. Tämän kaltainen kalibrintiprosessi on todettu tarpeeksi tarkaksi tämän laitteen käyttötarkoitusta varten.

Mittauksia lähdettiin tekemään loppukokoonpanoa odottaviin sekä jo valmistuneisiin pelteihin. Melko nopeasti mittausten aloituksesta huomattiin, että samankokoisissa pelleissä saattoi olla prosentuaalisesti todella suuria heittoja vaaditussa vääntömomentissa. Tämä hankaloittaa tilannetta huomattavasti mittausdatan analysoinnissa, koska samankokoisia täysin toisiinsa verrattavissa olevia peltejä oli määrällisesti hyvin vähän. Yhtä kokoa saatiin aina mitattua vain noin 1-3 kappaletta, jolloin suuria poikkeamia ei päästy suodattamaan isosta massasta. Suurten poikkeamien vuoksi tarvittaisiin mahdollisimman paljon toisiinsa verrattavissa olevia peltejä, koska pienestä määrästä. Joka tapauksessa tarvittiin mahdollisimman paljon mittausdataa myöhempää analysointia varten.

Ohessa myös kokeiltiin, millä näitä vaadittavia vääntömomentteja voitaisiin saada alemmas. Näistä kokeiluista selvisi, että säleiden päätyjen hiomisella on suuri vaikutus kitkan määrään, sillä laserleikkauksessa syntyvät purseet raapivat jousiteräksiä pellin H-sivulla (Kuva 8). Toisena kokeiltiin H-sivujen jousiterästen öljyämistä kitkan vähentämiseksi, josta oli paljonkin hyötyä. H-sivun öljyäminen ei kuitenkaan ratkaise ongelmaa, sillä peltien momentit halutaan sellaisista pelleistä sellaisena minä ne lähtevät tehtaalta.

Määrällisesti mittauksia ehdittiin suorittaa noin 40 palopeltiin. Määränä tämä on liian vähän tämän opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamiseksi. Mittaustuloksilla päästiin kuitenkin hie- man vertailemaan mitattuja tuloksia laskennallisiin tuloksiin.

Mittauksia tehdessä voitiin todeta, että mittaus on todella aikaa vievää hommaa, eikä mitattavia peltejä ollut sellaista määrää saatavilla, jotta olisi saatu tarkkaa luotettavaa dataa. Huomattiin myös, että tähän opinnäytetyöhön varatun ajan puitteissa ei ole mahdollista saada kokonaan mitatulla datalla täytettyä momenttitaulukkoa aikaiseksi. Vaan mittauksia on jatkettava vielä pitkään tämän opinnäytetyöprosessin jälkeen, mahdollisesti tuotannon henkilöstön toimesta.

7.2 Pellin momentinmittausprosessi ja käyttöohjeen teko

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä mittausdataa momenttitaulukkoa varten. Työn tekemisen aikana saatu mittausdata jäi kohtalaisen vähäiseksi ja tästä syystä mittauksia on jatkettava opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Opinnäytetyön ulkopuolelle jäävien tuotteiden momenttimittaukset suorittavat tuotannon henkilöstö loppukokoonpanon yhteydessä. Tästä syystä mittauslaitteisto tarvitsee käyttöohjeet mittausprosessin suorittamisesta.

Ohjeen tavoitteena on antaa selkeät ja ymmärrettävät ohjeet mittauslaitteiston käyttämiseksi ja mittaustulosten kirjaamiseksi. Ohje on suunnattu ensisijaisesti kohdeyrityksen tuotannon henkilöstölle palopeltien vääntömomenttien mittaukseen. Käyttöohje valmistellaan tässä mittausprosessin läpikäymisen yhteydessä.

Palopellin mittauslaitteisto on kokonaisuudessaan pyörillä liikuteltavassa vaunussa, joten se on liikuteltavissa haluttuun paikkaan. Ainoana rajoittavana tekijänä on mittauslaitteiston vaatima 400V voimavirtapistoke, jota ei välttämättä joka paikasta löydy. Alla vielä kuva mittauslaitteistosta kokonaisuudessaan (Kuva 9).



Kuva 9 Momentinmittauslaitteisto

Mittauksia varten tarvitaan myös 5mm kuusiokoloavain tai vastaavasti 5mm kuusikolokärki akkuporakoneeseen toimilaitteen irrottamiseen. Tätä samaa avainta tarvitaan myös servomootorin telineen (Kuva 11) kiinnitystä varten toimilaitetukeen, johon on tarkoitus laittaa Belimon valmistama BF toimilaite.

Palo- tai sulkupelistä irrotetaan toimilaite, jos se on siihen jo ehditty laittamaan kiinni. Toimilaite on kiinni neljällä tai kuudella ruuvilla riippuen toimilaitteesta. Kuvassa 10 Belimon toimilaite kiinnitettyinä palopeltiin.



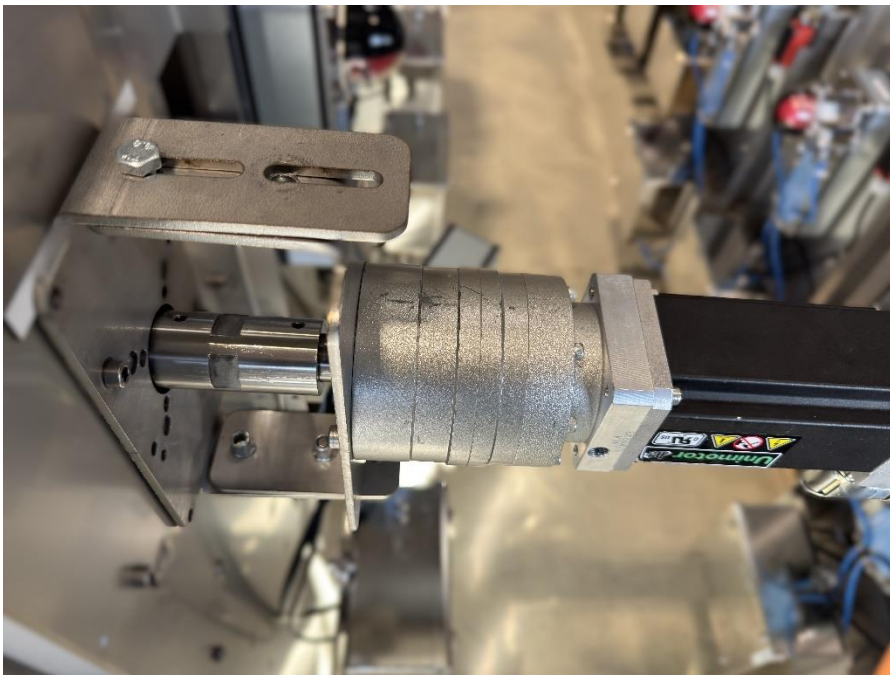
Kuva 10 Belimon BF toimilaite

Toisena yleisempänä toimilaitteena kohdeyityksessä käytetään Schischekin toimilaitetta. Palopelteihin, joihin kyseinen toimilaite tulee, servomootorin teline kiinnitetään M4 siipiruuveilla (Kuva 11).



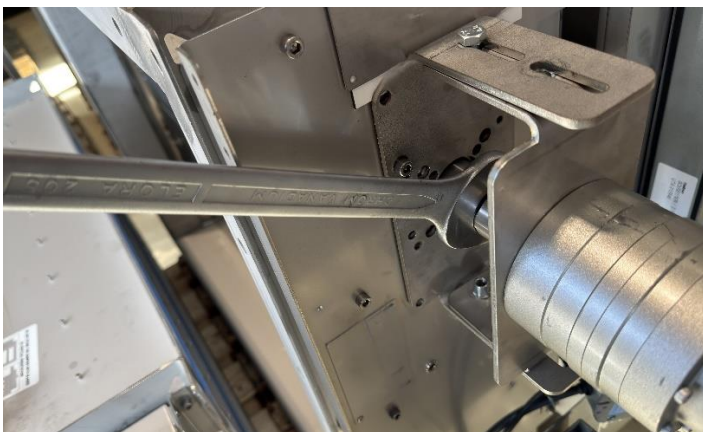
Kuva 11 Schischek kiinnitys (vas.) ja Belimo kiinnitys

Servomoottorin kiinnitykseen telineeseen (Kuva 12) tarvitaan 13mm kiintoavainta tai hylsyä. Servon kiinnittämiseen riittää yksi pultti ylhäältä ja yksi alhaalta.



Kuva 12 Servomoottori kiinnitettynä telineeseen

Näiden työkalujen lisäksi tarvitaan 30mm kiintoavain, jolla käännetään välykset pois käyttöakselista. Välykset käännetään pois Kuvassa 12 näkyvästä holkista, jossa on urat kiintoavaimelle.



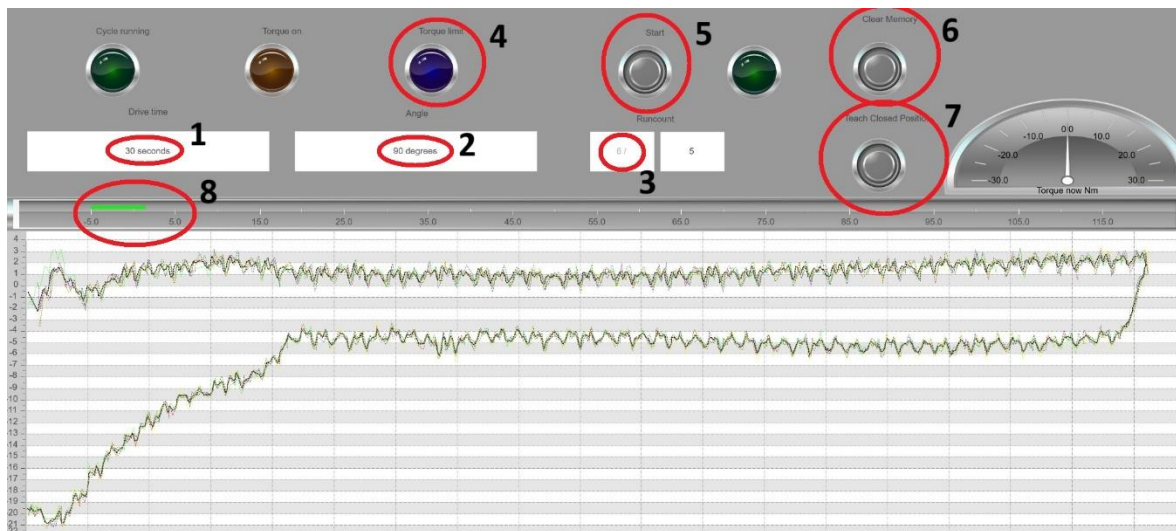
Kuva 13 Välyksien poistaminen

Servomoottorin päässä olevasta holkista käännetään välykset pois aina kiinni asentoon päin (Kuva 13). Tähän samaan kohtaan mittauslaitteelle opetetaan palopellin kiinniasento Teach Closed Position-näppäimestä (Kuva 14) mittalaitteen käyttöpaneelista. Tällöin laite nolaa säleiden asteluvun. Kun säleiden laite on nolattu, pitäisi näytössä olevan vihreä palokin olla 0-kohdassa. Tämä tulisi varmistaa ennen aloitusta.

Yksittäistä mittausta aloittaessa mittalaitteen kosketusnäytöstä asetetaan oikeat parametrit, jotka pidetään samana jokaisessa mittauksessa. Jokainen mittaus alkaa palopellin kiinniasennosta.

Tämän jälkeen laitteen ohjauspaneelista painetaan start-nappia, jolloin laite ajaa peltiä auki ja kiinni viisi kertaa. Laitteen näytölle piirtyy momenttikuvaaja, josta vääntömomentti on seurattavissa koko mittauksen ajan pienellä viiveellä. Laitteen ajettua testi loppuun mittaustulos kirjataan ylös. Kirjattava lukema on pellin sulkeutumismomentin huippuarvo, joka löytyy käyrän alkupäästä y-akselin negatiiviselta puolelta. Y-akseli on pystysuuntainen akseli, jossa momenttilukemat näkyvät.

Mittalaitteen näytössä on myös muutamia merkkivaloja sekä mittari, jonka viisari liikkuu vääntömomentin mukaan. Tämän kappaleen toiminnot on esitetty kuvassa 14. Näytössä on Torque limit-merkkivalo, joka ilmaisee, jos laitteeseen asetettu maksimi vääntömomentti ylittyy, jolloin valo syttyy. Laitteeseen on asetettu maksimi vääntömomentiksi 60Nm. Se voi kuitenkin ylittyä, jos opetus on epäonnistunut ja säleiden asento ei ole nollaantunut tai ne ovat jääneet liian auki. Tällöin laite saattaa ajaa säleitä kiinniasennossa tiivisteliskoja vasten ja momenttiraja ylittyy. Tämän jälkeen on aloitettava alusta sekä nollattava muisti Clear memory-näppäimestä. Clear memory-näppäin tyhjentää Runcount laskurin sekä pyyhkii jo piirityneen momenttikäyrän.



Kuva 14 Ohjauspaneeli. Punaisella ympyröidyt kohdat: 1 Drive time eli kauanko yksi sykli kestää, 2 Angle, säleiden avautumiskulma asteina, 3 Runcount, syklien määrä, 4 Torque limit, merkkivalo momenttirajan ylityksestä, 5 Start, käynnistää mittauksen, 6 Clear memory, pyyhkii runcount laskurin sekä momenttikäyrän näytöltä, 7 Teach Close Position, nollaa säleiden kulman ja 8 palkki näyttää säleiden sen hetkisen kulman.

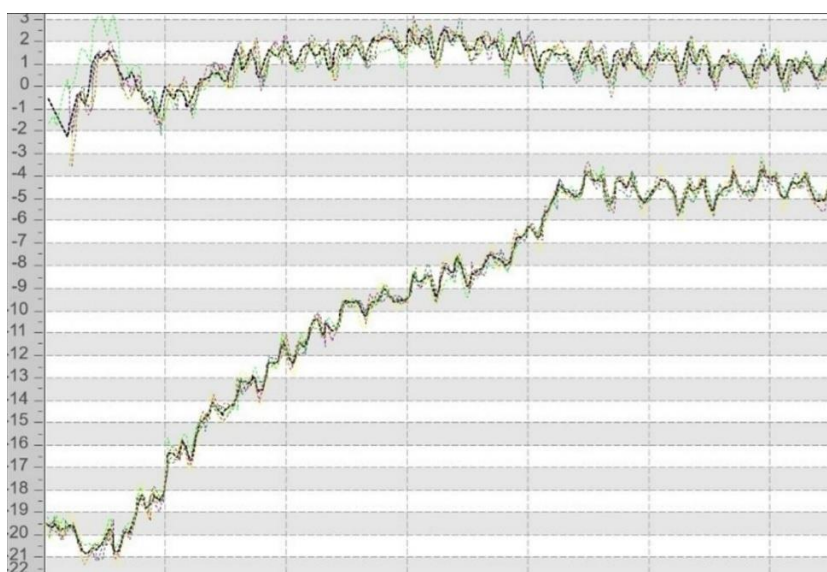
Kuvassa 14 punaisella ympyröity 8 kohta palkin pitäisi mennä nolnaan opetettaessa kiinniasentoa. Tämän lisäksi oikeassa laidassa on mittari, jonka viisari näyttää momentin pienellä viiveellä sekä momenttikäyrä, josta sulkeutumismomentin huippu luetaan.

Kohdeyritys myös valmistaa peltejä, jotka ovat säleet auki asennossa virrattomana normaalista poiketen. Näissä mittaus tapahtuu niin, että säleet suljetaan käsin manuaalisesta, ennen kuin mittauslaite kiinnitetään.

7.3 Mittaustulosten keruu

Mittausprosessista saadut mittaustulokset taltioitiin alkuun ottamalla valokuva mittalaitteen näytöstä. Tämä kuitenkin osoittautui aikaa vieväksi tyyliseksi ja virheellisten kuvien myötä myös huonoksi vaihtoehdoksi. Sillä joistakin kuvista jäi epähuomiossa mitta-asteikon numerointi pois tai valokuvaan unohtui merkitä tuotteen tiedot eli tuote sekä sen koko. Välissä kokeiltiin myös kirjoittaa nämä tiedot muistilapulle ja liimata lappu näytön kehukseen, jotta se tulisi myös kuvaan. Tästäkin saattoi tehdessä unohtua merkinnät ja jouduttiin aloittamaan alusta. Lopulta varmimmaksi ja toimivimmaksi tavaksi osoittautui aivan perinteinen kirjanpito kynällä paperille, johon merkittiin tuote, tuotteen koko sekä näytöstä luettu vääntömomentti jokaisen mittauksen jälkeen. Mittausten päätteeksi mittaustulokset syötettiin Exceliin ja jokaisen peltikoon tuloksista otettiin keskiarvo. Keskiarvoa hyödynnettiin myöhemmin datan analysoinnissa.

Mittaustulokset pyrittiin lukemaan näytöltä ja pyöristämään 0,25Nm tarkkuudella. Tämäkin tarkkuus on hieman liioiteltu tässä prosessissa. Esimerkkinä kuvassa 15 luettuna 20,75Nm suuruinen vääntömomentti.



Kuva 15 20,75Nm sulkeutumismomentti. Kuvassa on jokaisesta mittaussyklistä oma käyränsä (y-akselilla vääntömomentti [Nm], x-akselilla säleiden kulma [°])

8 Mittausdatan analysointi

Vääntömomentin mittaus on olennainen osa monien mekaanisten järjestelmien suorituskyvyn arviointia, tässä tapauksessa toimilaitteen mitoitus ja mekaanisten palopeltien momentin tarpeen määrittämistä. Mittausdata kerättiin servomootorin virta-arvoon perustavalla mittauslaitteistolla. Laite piirsi momenttikäyrän näytölle, josta mittaustulos otettiin talteen. Mittaukset suoritettiin asentamalla servomootorin palopellin käyttöakselin päähän.

Tässä opinnäytetyössä kerätty vääntömomenttidata oli suhteellisen epätarkkaa suurten heittojen vuoksi ja sitä ei voinut käyttää sellaisenaan. Datan analysoimiseksi pohdittiin erilaisia menetelmiä aina todennäköisyyslaskennasta tilastollisiin menetelmiin, kuten keskiarvojen, keskihajonnan ja normaalijakauman hyödyntämistä.

Lopuksi opinnäytetyössä päädyttiin hyödyntämään jo olemassa olevaa momenttitaulukkoa, joka perustuu laskentaan. Laskentaan perustuvasta taulukosta saatiin kaava, jolla laskettiin muuttuja

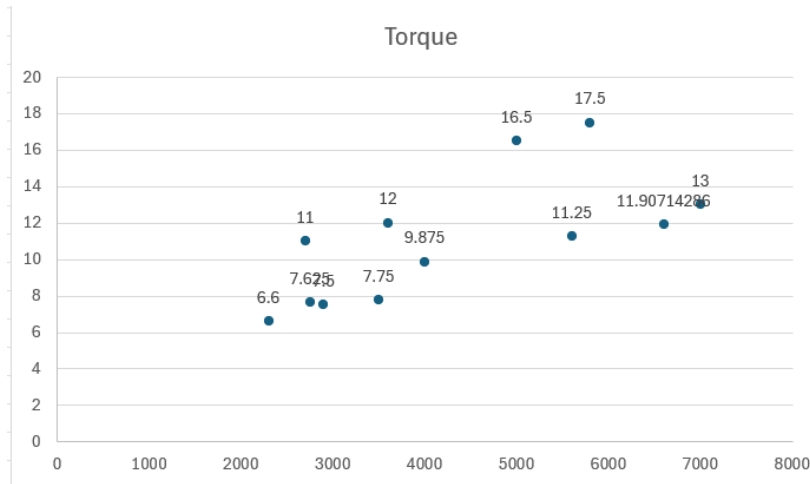
$$x = (Lkm + 1) * W + 2 * H$$

Kaavassa W on palopellin leveys, H on palopellin korkeus ja Lkm on palopellin säleiden lukumäärä. Muuttuja x on kehys- ja säletiivisteiden yhteenlaskettu pituus ”juoksumetreinä”. Tästä syystä x riippuu pellin korkeudesta, leveydestä ja säleiden määrästä.

Muuttuja y saatiin käyttämällä keskiarvoa mitatuista vääntömomenteista. Taulukossa 1 palopellin koon 1000x800 jälkeiset luvut ovat mitattuja vääntömomenteja Newtonmetreinä, eli tässä on kuuden yksittäisen palopellin mitatut vääntömomentit.

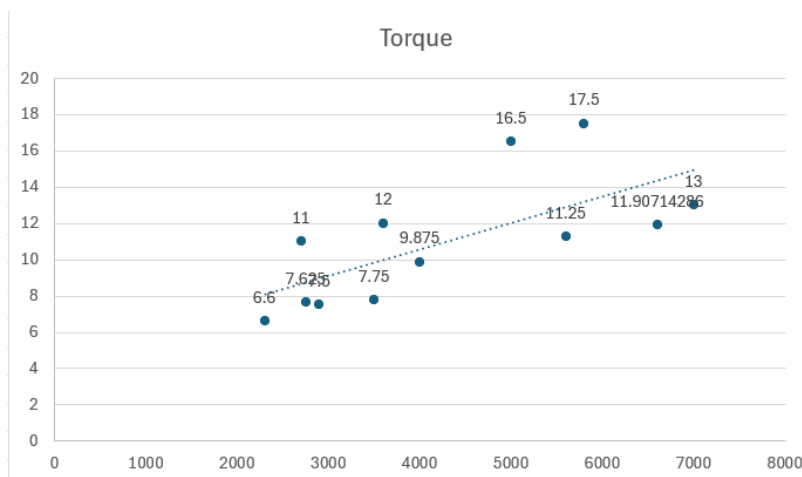
1000x800	10.5	12.6	12.5	13.5	9.75	12.5	12
----------	------	------	------	------	------	------	----

Taulukko 1 Mitatut vääntömomentit [Nm]



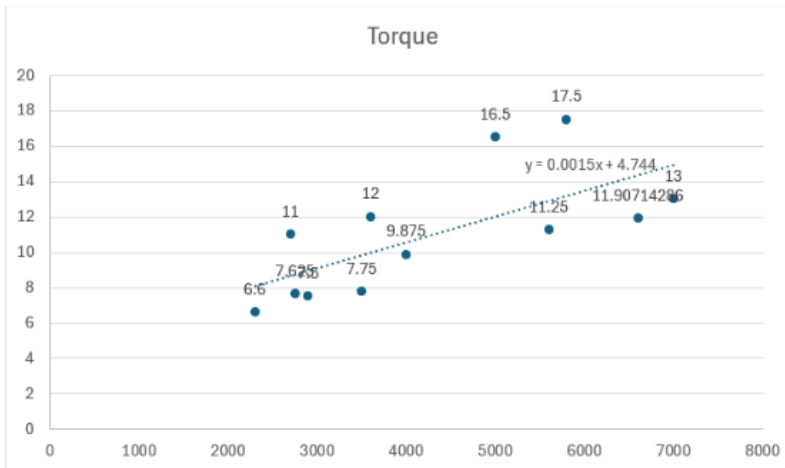
Kuva 16 Pistekaavio (y-akselilla vääntömomentti [Nm] ja x-akselilla "juoksumetri" [mm])

Kuvan 16 pistekaaviossa on esitetty datapisteet, joissa yksittäinen piste vastaa yhden palopeltikoon mitattujen vääntömomenttien keskiarvoa. Vääntömomentti on y-akselilla ja x-akselilla on palopellin koon sekä säleiden määrän mukaan muuttuva arvo, ns "juoksumetri". Tämän jälkeen kaavioon sovitettiin suora lisäämällä siihen trendiviiva (Kuva 17).



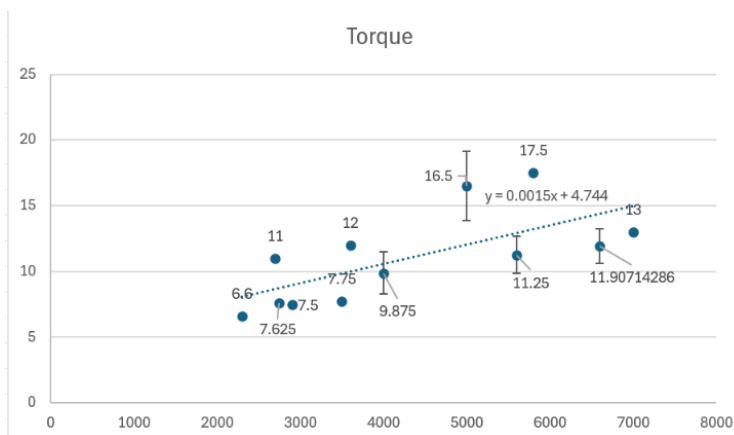
Kuva 17 Trendiviiva (y-akselilla vääntömomentti [Nm] ja x-akselilla "juoksumetri" [mm])

Trendiviivan lisäyksen jälkeen pistekaavioon voitiin lisätä näkyviin suoran eli trendiviivan Yhtälö muodossa $y = kx + b$, joka on suoran yhtälö ratkaistussa muodossa. Tässä tapauksessa yhtälöksi saatiin $y = 0.0015x + 4.744$. Yhtälössä k on kulmakerroin ja muutuja b on vakio-termi. Kulmakerroin on y -koordinaatin muutoksen ja sitä vastaavan x -koordinaatin muutoksen suhde. Vakio-termi kertoo, missä kohdassa suora leikkaa y -akselin. Yhtälö kertoo mihin suuntaan kaavion arvot ovat menossa ja tästä nähdään, että arvot ovat jokseenkin nousujohteisia. Joten käytetyn yhtälön voidaan todeta toimivan ja momentin lisääntyvän sitä mukaa kun säleiden määrä ja palopellin koko kasvaa (Kuva 18).



Kuva 18 Suoran yhtälö (y-akselilla vääntömomentti [Nm] ja x-akselilla "juoksumetrit" [mm])

Lopuksi vielä kokeiltiin lisätä kaavioon virhepalkit (Kuva 19). Tätä varten mittaustuloksista on laskettu keskihajonta. Näitä arvoja käytetään virhepalkkien muodostamiseen. Kuitenkaan kaikkiin kaavion pisteisiin ei saatu lisättyä virhepalkkia, koska näillä pisteillä ei ollut kuin yksi mittaustulos, jolloin mittaustuloksilla ei ole keskihajontaa. Kaaviosta jätettiin kokonaan pois x-suuntaiset virhepalkit, sillä x-akselilla oleva arvo tulee palopellin koosta sekä säleiden määrästä sen laskemiseen käytetyn yhtälön avulla.



Kuva 19 Virhepalkit y-suunnassa (y-akselilla vääntömomentti [Nm] ja x-akselilla "juoksumetrit" [mm])

Tavalla, jossa oletetaan, että tulokset ovat normaalijakautuneita saadaan vain 68% todennäköisyys, että mittaustulokset osuvat kaaviossa esitettyjen virherajojen sisään. Jos halutaan käyttää tätä normaalijakauman ominaisuutta niin 95% prosentoin todennäköisyys vaatii 1,96 keskihajonnan ja 99,7% todennäköisyys taas 2,97 kertaa keskihajonnan verran kumpaankin suuntaan (Gustafsson, 29).

Tässä myös mietittiin jotakin esitystapaa, josta ilmeni mitattujen vääntömomenttien suuruus suhteessa laskettuihin momentteihin. Tässä päädyttiin lähestymään asiaa suhteellisen

virheen kautta. Eli absoluuttisen virheen suhdetta mittaustulokseen. Ensiksi laskettiin mittaustuloksen ja laskennallisen tuloksen erotus, jota kutsutaan absoluuttiseksi virheeksi. Tämän jälkeen suhteellinen virhe laskettiin kaavalla

$$\Delta x / xm * 100\%,$$

jossa Δx on absoluuttinen virhe ja xm on mitattu arvo.

Tämä tehtiin jokaiselle mittaustulokselle ja huomio kiinnitettiin korkeimpaan suhteelliseen virheeseen, joka oli 29%. Tässä suurimmassa virheessä mitattu momentti oli 7,8Nm ja absoluuttinen virhe 2,2Nm. Ero suurimman ja pienimmän suhteellisen virheen välillä oli yli kolminkertainen, pienimmän ollessa 9%. Mittaustulosten suhteellisten virheiden keskiarvo oli 20%.

Tässä kuitenkin voidaan pohtia, että kuvaako suoran sovitusmalli näiden tulosten käytöstä. Suorasta havaitaan lievää nousua vääntömomentissa tiivisteiden ”juoksumetriä” noustessa. Suuri hajonta kuitenkin viittaa mittauserävarmuuksiin tai siihen, ettei tiivisteiden mitta yksistään selitä vääntömomenttien vaihtelua. Tämä viittaa siihen, ettei lineaarinen malli ei välttämättä kuvaa ilmiötä kovinkaan hyvin.

Suoran sovituksista saadut parametrit eli kulmakerroin ja vakiotermin mahdollistivat momenttitaulukon interpoloinnin tässä työssä mitattujen vääntömomenttien perusteella. Kulmakerroin k ja vakio-termi b lisättiin aikaisemmin esitettyyn kaavaan

$$M = (k * (Lkm + 1) * W + 2 * H) + b)$$

Tästä saatiin tuloksena laskennallinen vääntömomentti. Tätä kaavaa hyödyntäen tehtiin momenttitaulukolle interpolointi, jossa ”ennustettiin” vääntömomentin arvot taulukkoon.

Tätä juuri luotua taulukkoa (Taulukko 2) pystyttiin vertaamaan jo olemassa olevaan taulukkoon (Taulukko 3). Taulukoita vertaillaessa voitiin todeta, että interpoloidussa taulukossa arvot alkavat suuremmista arvoista kuin vertailtavan taulukon arvot, mutta vertailtavassa taulukossa momenttiarvot nousevat jyrkemmin ja päättyvät suurempi lukemiin. Tämä johtuu siitä, että jo olemassa olevassa taulukossa on käytetty kulmakertoimena 0,0022 ja vakioterminä 2,4. Suora siis nousee jyrkemmin, mutta lähtee matalammalta y-akselin suhteen.

Vertailuksi otettiin otos satunnaisesta kohdasta laadittua momenttitaulukkoa. Taulukosta jätettiin pois rivit ja sarakkeet, joista selviää, mitä taulukon arvo vastaa.

8,5	8,9	9,4	9,8	10,3	10,7
8,6	9,1	9,5	10,0	10,4	10,9
9,5	10,1	10,7	11,3	11,9	12,5
9,7	10,3	10,9	11,5	12,1	12,7
9,8	10,4	11,0	11,6	12,2	12,8
10,0	10,6	11,2	11,8	12,4	13,0
10,9	11,6	12,4	13,1	13,9	14,6
11,0	11,8	12,5	13,3	14,0	14,8
11,2	11,9	12,7	13,4	14,2	14,9
11,3	12,1	12,8	13,6	14,3	15,1
11,5	12,2	13,0	13,7	14,5	15,2

Taulukko 2 Otos interpoloidusta taulukosta (y-akselilla korkeus ja x-akselilla leveys [Nm])

Pois jääneet rivit ja sarakkeet eivät kuitenkaan ole olennaisia vertailun suorittamiseksi, sillä samainen otos otettiin jo olemassa olevasta taulukosta. Taulukoiden arvot ovat siis otettu samasta kohtaa kumpaakin taulukkoa, ainoana erona yhtälössä käytetyt k-arvot ja vakio-termi.

7.9	8.6	9.2	9.9	10.5	11.2
8.1	8.8	9.4	10.1	10.8	11.4
9.4	10.3	11.2	12.1	13.0	13.8
9.7	10.5	11.4	12.3	13.2	14.1
9.9	10.8	11.6	12.5	13.4	14.3
10.1	11.0	11.9	12.7	13.6	14.5
11.4	12.5	13.6	14.7	15.8	16.9
11.6	12.7	13.8	14.9	16.0	17.1
11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4
12.1	13.2	14.3	15.4	16.5	17.6
12.3	13.4	14.5	15.6	16.7	17.8

Taulukko 3 Vertailukohde taulukko (y-akselilla korkeus ja x-akselilla leveys [Nm]) (Taulukko: RPa)

Tästä voidaan todeta, että tulokset eivät ole kovin kaukana toisistaan. Tarkempaa taulukkoa varten kuitenkin tarvitaan paljon enemmän mittausdataa. Tähän datan määrään ja laatuun edellä avattu analysointitapa sopi vaihtoehtoista parhaiten. Tätä tapaa puolusti myös se, että laskemiseen ja interpolointiin oli valmiiksi olemassa toimiva yhtälö.

9 Pohdinta ja johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada aikaiseksi mitattuun dataan perustuva momenttitaulukko palo- ja sulkupeltien vääntömomenteista. Opinnäytetyössä päästiin perehtymään palo- ja sulkupeltien mekaaniseen toimintaan ja näkemään mitkä mekaaniset ratkaisut lisäävät kitkaa ja täten myös vaadittavaa vääntömomenttia.

Mitatuissa palo- ja sulkupelleissä todettiin, että vaadittavaa momenttia lisääviä tekijöitä oli useita. Näistä merkittävimpiä olivat säleiden määrä ja korkeus, mikä tiedettiin jo ennen mitausten aloitusta. Säleiden määrän kasvaessa myös tiivisteiden metrimäärä kasvaa ja kitka lisääntyy. Säleiden päätyjen purseet, mitkä syntyvät laserleikkauksesta lisäävät kitkaa jousiterästiivisteeseen hankaamalla. Tätä kitkaa saisi vähennettyä hiomalla jokaisen säleen päätyjen purseet pois, tämä taas lisää työtä säleiden kasausvaiheessa. Kolmantena mahdolliset tuotannosta aiheutuvat mittapoikkeamat, esimerkiksi hitsauksesta. Vaikka nämä poikkeamat olisivat toleranssien rajoissa, aiheuttaisi esimerkiksi sisäänpäin pyöristynyt rungon korkeussuuntainen sivu ahdistusta säleille ja täten kitka lisääntyy.

Mittaustulosten suurten heittojen ja vähäisten samankokoisten yksilöiden vuoksi kovinkaan tarkkaa taulukkoa ei voitu laatia. Mittaustuloksiin on annettava jokin varmuusraja, joten myös suuret poikkeamat näin vähissä mittaustulosten määrissä on otettava huomioon, joka nostaa varmuusrajaa kohtuuttomasti. Tarkan mittaustaulukon laatiminen vaatii todella paljon jatkuvaa mittauksia tuotannossa ja suuren määrän samankokoisten yksilöiden mittaustuloksia, jotta suuret poikkeamat voidaan suodattaa pois ja jättää huomiotta. Opinnäytetyöhön varatun ajan puitteissa ei tällaista tarkkaa momenttitaulukkoa voitu laatia, joten tältä osin tavoite jäi saavuttamatta.

Mittauslaitteiston käyttöohjeen laatiminen saatiin valmiiksi ja siltä osin tavoitteet saavutettiin. Mittauslaitteistoon voisi olla datan keräystä helpottamaan jonkinlainen pilvitallennus, jonne mittaustulokset voisi tallentaa suoraan päätelaitteelta. Myös mahdollinen toimilaitteiden testaus olisi kätevä tehdä tällä laitteella, jotta selviäisi toimilaitteiden tarjoamia todellisia momenteja ilmoitetuista momenteista poiketen. Momenttikäyrän tulkitsemistakin voisi helpottaa, jos laite tallentaisi tai näyttäisi mittauksen vääntömomentin huippuarvon näytöllä, josta sen voisi nopeammin ja helpommin ottaa talteen. Itse mittauslaitteistoon liittyvissä parannus ja kehitysideoista tullaan olemaan yhteydessä laitteistoin kehittäjään. Mittauslaitteistossa on parannettavaa ja kehitettävää.

Johtopäätöksenä voi siis todeta, että tällaisen tarkan taulukon laatiminen vaatii todella paljon aikaa ja todella paljon toisiinsa täysin verrattavissa olevia peltejä, jotta poikkeamat

voitaisiin suodattaa saman tien pois. Eli mittaustulokset, joissa epäillään karkeaa virhettä, jätettäisiin huomiotta.

Tästä eteenpäin mittauslaitteen käyttö opetetaan tuotannon henkilöstölle ja mittauksia jatketaan loppukokoonpanon yhteydessä. Dataa kerätään sekä taulukoidaan sitä mukaa kun sitä saadaan.

10 Lähteet

Setänen, T. 2021. Fire Protection with Fire Dampers. Halton Marine Oy. Viitattu 4.2.2025. Saatavissa <https://www.halton.com/app/uploads/2021/09/Fire-Protection-with-Fire-Dampers-in-Demanding-Industrial-Environments.pdf>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, SI-mittayksiköt Suomessa, voima ja vääntömomentti. Viitattu 5.2.2025. Saatavissa <https://www.vttresearch.com/fi/si-mittayksikot-suomessa-voima-ja-vaantomomentti>

Aumala, O. 2009. Mittaustekniikan perusteet. 12. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto.

Krishnamurthy, L., Raghavendra, N.V. 2013. Engineering metrology and measurements. Oxford University Press. Viitattu 20.02.2025. Saatavissa https://gsfcuniversi-tymmm.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/krishnamurthy_l-raghavendra_n-v_engineeringbookzz-org.pdf

SFS-EN 1751:2014 Ventilation for buildings. Air terminal devices. Aerodynamic testing of damper and valves. Helsinki. SFS Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa rajoitetusti <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID6/1/294993.html.stx>

Finnish accreditation service FINAS, Mittausepävarmuus, Viitattu 6.4.2025. Saatavissa <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Mittausepavarmuus.aspx>

Hemminki S., Hiltunen E., Hägg M., Järvenpää E., Kärhä P., Linko L., Saarinen P., Simonen S. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Verkkojulkaisu. Vantaa: Multiprint Oy. Luettu 24.02.2025. Saatavissa <https://publications.vtt.fi/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>

Joint Committee for Guides in Metrology (2008) Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008. Bureau International des Poids et Mesures. Viitattu 18.4.2025. Saatavissa https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf

Gustafsson, C. Tilastotieteen perusteet: Luentorunko. Vaasan yliopisto. Viitattu 18.4.2025. Saatavissa <https://lipas.uwasa.fi/~chg/Tilastotieteen%20perusteet%20luentorunko.pdf>

Liite 1

Prod (SI)	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	bieliden lkm
200	1,2	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	8,9	9,4	9,8	1
250	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	8,9	9,4	9,8	10,2	1
300	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	8,9	9,4	9,8	10,2	10,7	1
350	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,1	5,5	5,9	6,4	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	8,9	9,4	9,8	10,2	10,7	11,1	1
400	3,8	4,4	5,1	5,7	6,4	7,0	7,6	8,3	8,9	9,6	10,2	10,9	11,5	12,2	12,8	13,5	14,1	14,7	15,4	16,0	16,7	2
450	4,2	4,9	5,5	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4	10,0	10,7	11,3	11,9	12,6	13,2	13,9	14,5	15,2	15,8	16,5	17,1	2
500	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9	8,5	9,2	9,8	10,4	11,1	11,7	12,4	13,0	13,7	14,3	15,0	15,6	16,2	16,9	17,5	2
550	5,1	5,7	6,4	7,0	7,6	8,3	8,9	9,6	10,2	10,9	11,5	12,2	12,8	13,5	14,1	14,7	15,4	16,0	16,7	17,3	18,0	3
600	6,4	7,2	8,1	8,9	9,8	10,7	11,5	12,4	13,2	14,1	15,0	15,8	16,7	17,5	18,4	19,3	20,1	21,0	21,8	22,7	23,6	3
650	6,8	7,6	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,7	14,5	15,4	16,2	17,1	18,0	18,8	19,7	20,5	21,4	22,3	23,1	24,0	3
700	7,2	8,1	8,9	9,8	10,7	11,5	12,4	13,2	14,1	15,0	15,8	16,7	17,5	18,4	19,3	20,1	21,0	21,8	22,7	23,6	24,4	3
750	7,6	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,7	14,5	15,4	16,2	17,1	18,0	18,8	19,7	20,5	21,4	22,3	23,1	24,0	24,8	3
800	8,9	10,0	11,1	12,2	13,2	14,3	15,4	16,5	17,5	18,6	19,7	20,8	21,8	22,9	24,0	25,1	26,1	27,2	28,3	29,4	30,4	4
850	9,4	10,4	11,5	12,6	13,7	14,7	15,8	16,9	18,0	19,0	20,1	21,2	22,3	23,3	24,4	25,5	26,6	27,6	28,7	29,8	30,9	4
900	9,8	10,9	11,9	13,0	14,1	15,2	16,2	17,3	18,4	19,5	20,5	21,6	22,7	23,8	24,8	25,9	27,0	28,1	29,1	30,2	31,3	4
950	10,2	11,3	12,4	13,5	14,5	15,6	16,7	17,8	18,8	19,9	21,0	22,1	23,1	24,2	25,3	26,4	27,4	28,5	29,6	30,7	31,7	4
1000	10,7	11,7	12,8	13,9	15,0	16,0	17,1	18,2	19,3	20,3	21,4	22,5	23,6	24,6	25,7	26,8	27,9	28,9	30,0	31,1	32,2	4
1050	11,9	13,2	14,5	15,8	17,1	18,4	19,7	21,0	22,3	23,6	24,8	26,1	27,4	28,7	30,0	31,3	32,6	33,9	35,2	36,5	37,7	5
1100	12,4	13,7	15,0	16,2	17,5	18,8	20,1	21,4	22,7	24,0	25,3	26,6	27,9	29,1	30,4	31,7	33,0	34,3	35,6	36,9	38,2	5
1150	12,8	14,1	15,4	16,7	18,0	19,3	20,5	21,8	23,1	24,4	25,7	27,0	28,3	29,6	30,9	32,2	33,4	34,7	36,0	37,3	38,6	5
1200	13,2	14,5	15,8	17,1	18,4	19,7	21,0	22,3	23,6	24,8	26,1	27,4	28,7	30,0	31,3	32,6	33,9	35,2	36,5	37,7	39,0	5
1250	13,7	15,0	16,2	17,5	18,8	20,1	21,4	22,7	24,0	25,3	26,6	27,9	29,1	30,4	31,7	33,0	34,3	35,6	36,9	38,2	39,5	5
1300	15,0	16,5	18,0	19,5	21,0	22,5	24,0	25,5	27,0	28,5	30,0	31,5	33,0	34,5	36,0	37,5	39,0	40,5	42,0	43,5	45,0	6
1350	15,4	16,9	18,4	19,9	21,4	22,9	24,4	25,9	27,4	28,9	30,4	31,9	33,4	35,0	36,5	38,0	39,5	41,0	42,5	44,0	45,5	6
1400	15,8	17,3	18,8	20,3	21,8	23,3	24,8	26,4	27,9	29,4	30,9	32,4	33,9	35,4	36,9	38,4	39,9	41,4	42,9	44,4	45,9	6
1450	16,2	17,8	19,3	20,8	22,3	23,8	25,3	26,8	28,3	29,8	31,3	32,8	34,3	35,8	37,3	38,8	40,3	41,8	43,3	44,8	46,3	6
1500	16,7	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2	25,7	27,2	28,7	30,2	31,7	33,2	34,7	36,2	37,7	39,3	40,8	42,3	43,8	45,3	46,8	6
1550	17,1	18,6	20,1	21,6	23,1	24,6	26,1	27,6	29,1	30,7	32,2	33,7	35,2	36,7	38,2	39,7	41,2	42,7	44,2	45,7	47,2	6
1600	17,5	19,0	20,5	22,1	23,6	25,1	26,6	28,1	29,6	31,1	32,6	34,1	35,6	37,1	38,6	40,1	41,6	43,1	44,6	46,1	47,6	6

Prod2 (SI)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1150	1200	äleiden lkm
200	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,8	8,9	1
250	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	8,9	9,1	1
300	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,1	9,2	1
350	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,2	9,4	1
400	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1	9,5	10,0	10,4	10,9	11,1	11,3	2
450	7,0	7,4	7,9	8,3	8,8	9,2	9,7	10,1	10,6	11,0	11,3	11,5	2
500	7,1	7,6	8,0	8,5	8,9	9,4	9,8	10,3	10,7	11,2	11,4	11,6	2
550	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1	9,5	10,0	10,4	10,9	11,3	11,6	11,8	2
600	7,7	8,3	8,9	9,5	10,1	10,7	11,3	11,9	12,5	13,1	13,4	13,7	3
650	7,9	8,5	9,1	9,7	10,3	10,9	11,5	12,1	12,7	13,3	13,6	13,9	3
700	8,0	8,6	9,2	9,8	10,4	11,0	11,6	12,2	12,8	13,4	13,7	14,0	3
750	8,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,2	11,8	12,4	13,0	13,6	13,9	14,2	3
800	8,6	9,4	10,1	10,9	11,6	12,4	13,1	13,9	14,6	15,4	15,8	16,1	4
850	8,8	9,5	10,3	11,0	11,8	12,5	13,3	14,0	14,8	15,5	15,9	16,3	4
900	8,9	9,7	10,4	11,2	11,9	12,7	13,4	14,2	14,9	15,7	16,1	16,4	4
950	9,1	9,8	10,6	11,3	12,1	12,8	13,6	14,3	15,1	15,8	16,2	16,6	4
1000	9,2	10,0	10,7	11,5	12,2	13,0	13,7	14,5	15,2	16,0	16,4	16,7	4
1050	9,7	10,6	11,5	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0	16,9	17,8	18,2	18,7	5
1100	9,8	10,7	11,6	12,5	13,4	14,3	15,2	16,1	17,0	17,9	18,4	18,8	5
1150	10,0	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,4	16,3	17,2	18,1	18,5	19,0	5
1200	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,5	16,4	17,3	18,2	18,7	19,1	5
1250	10,3	11,2	12,1	13,0	13,9	14,8	15,7	16,6	17,5	18,4	18,8	19,3	5
1300	10,7	11,8	12,8	13,9	14,9	16,0	17,0	18,1	19,1	20,2	20,7	21,2	6
1350	10,9	11,9	13,0	14,0	15,1	16,1	17,2	18,2	19,3	20,3	20,9	21,4	6
1400	11,0	12,1	13,1	14,2	15,2	16,3	17,3	18,4	19,4	20,5	21,0	21,5	6
1450	11,2	12,2	13,3	14,3	15,4	16,4	17,5	18,5	19,6	20,6	21,2	21,7	6
1500	11,3	12,4	13,4	14,5	15,5	16,6	17,6	18,7	19,7	20,8	21,3	21,8	6
1550	11,5	12,5	13,6	14,6	15,7	16,7	17,8	18,8	19,9	20,9	21,5	22,0	6
1600	11,6	12,7	13,7	14,8	15,8	16,9	17,9	19,0	20,0	21,1	21,6	22,1	6

Liite 2

Käyttöohje: Palopellin Momentinmittauslaitteisto

1. Valmistelut

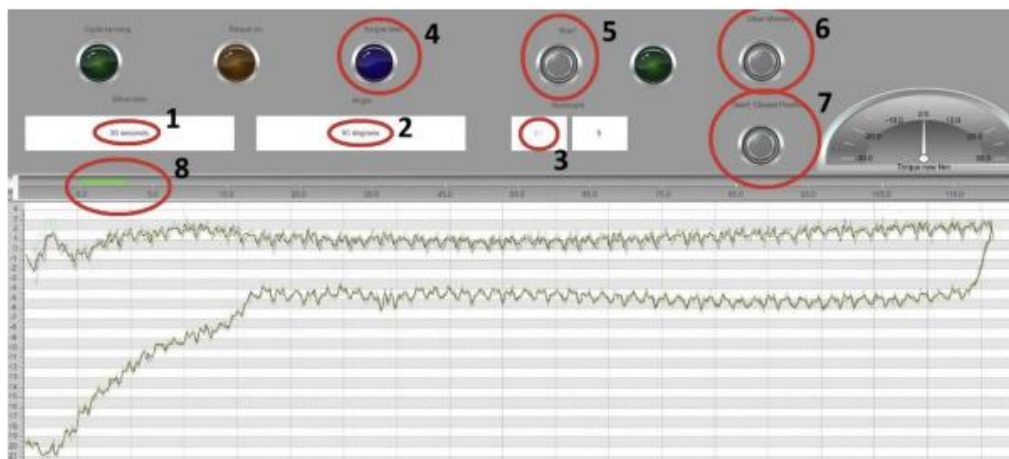
- **Tarvittavat työkalut:** 5 mm kuusiokoloavain tai kuusikolokärki akkuporakoneeseen, 13 mm kiintoavain tai hylsy. 30 mm kiintoavain opetusta varten (löytyy karrystä).
- **Mittauslaitteisto:** Liikutettava vaunu, jossa on mittauslaitteisto (Kuva 1). Varmista, että käytettävissä on 400V voimavirtapistoke.



Kuva 1 Mittauslaitteisto

- Aseta parametrit mittauslaitteiston paneelista. Drive time: 10 seconds, Angle: 90 Degrees ja Runcount: 3. Parametrit asetetaan paneelista painamalla kyseisten arvojen kohdalla olevia valkoisia laatikoita. Kuvassa 2 kohdat 1, 2 ja 3.

Liite 3 2/5



Kuva 2 Käyttöpaneeli

2. Toimilaitteen Irrotus

- Irrota palopellistä toimilaitte, jos se on jo kiinnitetty.
- Kiinnitä servomoottorin teline toimilaitetukeen. M6x16 ruuvit Belimon kiinnitysreikiin. M4 siipiruuvit tai M4 jos Schischekin kiinnitysreiät.



Kuva 3 Schischek (vas.) ja Belimo (oik.)

3. Servomoottorin Kiinnitys

3. Servomootorin Kiinnitys

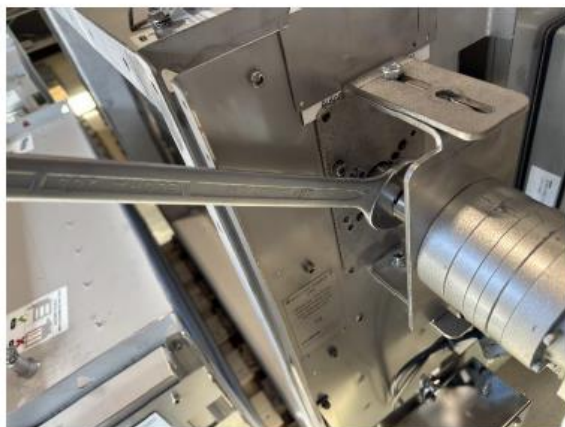
- Kiinnitä servomoottori telineeseen käyttäen 13 mm kiintoavainta tai hylsyä. Yhdellä pultilla ylhäältä ja yhdellä alhaalta riittää (Kuva 4).



Kuva 4 Servo kiinnitettynä telineeseen

4. Mittauslaitteen Opetus

- Poista välykset käyttöakselista 30 mm kiintoavaimella aina kiinni asentoon päin.



Kuva 5 Välyksien poisto

Liite 3 4/5

- Paina Clear memory-näppäintä(Kuva 2: kohta 6).
- Opetta mittauslaitteelle palopellin kiinniasento painamalla Teach Closed Position-näppäintä mittalaitteen käyttöpaneelista(Kuva 2: Kohta 7). Varmista, että näytön vihreä palkki asettuu 0-kohtaan(Kuva 2: kohta 8). Tämä voi vaatia useamman kuin yhden painalluksen.

6. Mittauksen Suorittaminen

- Aloita mittaus painamalla ohjauspaneelista "Start"-nappia (Kuva 2: kohta 5). Laitte ajaa peltiä auki ja kiinni kolme kertaa.
- Seuraa momenttikuvaajaa näytöltä. Kirjaa ylös sulkeutumismomentin huippuarvo, joka löytyy käyrän alkupäästä y-akselin negatiiviselta puolelta.



Kuva 6 Sulkeutumismomentti kuvaajalla (n. 9.5Nm)

7. Mittaustulosten Kirjaaminen

- Kirjaa mittaustulokset ylös paperille sisältäen peltimalli, tiivistemateriaali, koko sekä vääntömomentti tulkinnanvaraisella tarkkuudella (esim 0.5Nm)

8. Virhetilanteet

- Jos "Torque limit" -merkkivalo syttyy, mittauslaitteen maksimi vääntömomentti (60Nm) on ylittynyt. Aloita mittaus alusta. Jos Clear memory- näppäimellä ja uudelleen opetuksella ei saa tolkkua koneeseen ja momenttikuvaaja näyttää mitä sattuu. Käynnistä laite uudestaan irrottamalla töpseli.
- Laitteen uudelleen käynnistys töpseli irrottamalla auttaa moneen ongelmaan.