



Ville Hynninen

Puristekiinnikkeiden laadun vaihtelun tutkiminen ja testaaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri

Konetekniikka

Opinnäytetyö

14.02.2023

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Ville Hynninen
Otsikko:	Puristekiinnikkeiden laadun vaihtelun tutkiminen ja testaaminen
Sivumäärä:	53 sivua + 8 liitettä
Aika:	14.02.2023
Tutkinto:	Insinööri
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tuotanto- ja valmistustekniikka
Ohjaaja(t):	Lehtori Pekka Hirvonen, Metropolia AMK; Design Manager Johannes Pylvänen, ABB System Drives Oy

Tämä opinnäytetyö toteutettiin ABB Oy:n laadun hallinnan projektina. Työn tavoitteena oli ottaa selvää ohutlevytuotteissa käytettävien puristekiinnikkeiden laadusta eri toimittajien välillä, sillä puristekiinnikkeille ei ole erillistä laadullista standardia. Tutkimuksen perusteella oli tarkoituksena saada tietoa puristekiinnikkeiden laadun vaihtelusta ja suunnitella mahdollisia jatkotoimenpiteitä laadun hallinnoimiseksi.

Työ aloitettiin selvittämällä puristekiinnikkeiden koestusmenetelmiä. Koestusmenetelmiksi valittiin vetokoe ja kiertolujuuskoe. Puristekiinnikkeistä testattavaksi valittiin kolme eri puristekiinnikettä, joita tilattiin kahdelta eri toimittajalta. Veto- ja kiertolujuuskoetta varten suunniteltiin ja valmistettiin testijigit, joiden avulla koestus onnistuu. Puristekiinnikkeet koestettiin ja tulosten perusteella tehtiin vertailua toimittajien kesken. Lisäksi lopussa esitettiin havaintoja liittyen testituloksiin ja testikappaleiden visuaaliseen tarkasteluun.

Testitulosten perusteella voidaan todeta, että puristekiinniketoimittajien laadussa voi olla suurta vaihtelua. Tämän vuoksi ehdotettiin, että puristekiinnikkeille tulisi jatkossa laatia spesifikaatio, joka velvoittaa toimittajia varmistumaan käytettävien puristekiinnikkeiden laadusta spesifikaatiossa määritetyllä tavalla.

Avainsanat: Puristekiinnike, laadun hallinta, vetokoe, kiertolujuuskoe.

Abstract

Author(s): Ville Hynninen
Title: Researching and testing of variation in quality of self-clinching fasteners
Number of Pages: 53 pages + 8 appendices
Date: 14 February 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Specialisation option: Manufacturing and Production engineering
Instructors: Lecturer Pekka Hirvonen, Metropolia University of applied Sciences; Johannes Pylvanen Design Manager, ABB System Drives Oy

This thesis was a quality management project for ABB Oy. The purpose of this study was to research quality variation of self-clinching fasteners between different suppliers. The research was needed because there is no quality standard for self-clinching fasteners. Follow-up actions were possible to determinate based on results of the research.

Research was started by investigating different methods to test self-clinching fasteners. Pull-through test and torque-out test were chosen as testing methods used in this research. Three different self-clinching fasteners were chosen to be tested and those were ordered from two different suppliers. Testing setup was designed and manufactured for both testing methods, so test pieces were able to test correctly. Self-clinching fasteners were tested, and a comparison was made between two suppliers based on test results. Observations were made based on analyzed test results and visual review.

The test results show that there can be a large variation in the quality between different suppliers of self-clinching fasteners. For this reason, it was suggested that a specification should be created for self-clinching fasteners in the future. The specification should oblige suppliers to make sure of the self-clinching fastener quality as defined in the specification.

Keywords: Self-clinching fasteners, quality management, pull-through test, torque-out test.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	ABB	1
1.2	ABB Oy Drives	1
2	Tutkimuskysymys ja työn lähtökohdat	2
2.1	Tutkimuskysymys	3
2.2	Rajaus	3
3	Ohutlevytuotteiden valmistus	4
3.1	Materiaalit	5
3.2	Jalostustekniikat	6
4	Puristekiinnikkeet	9
4.1	Kierteet puristekiinnikkeissä	10
4.2	Ruuvien materiaalitekniset ominaisuudet	12
4.3	Yleisimpiä puristekiinnikkeitä	14
4.4	Puristekiinnikkeiden asennus ohutlevyyn	15
4.5	Virheet ohutlevyn ja puristekiinnikkeen liitoksessa	16
4.6	Puristekiinnikkeiden laadun valvonta	17
5	Puristuskiinnikkeen lujuus ja materiaalitekniset ominaisuudet	18
5.1	Puristekiinnikkeen liitoksen hajoamismekanismit	18
5.2	Puristekiinnikkeen lujuuden laskeminen vetorasituksessa	20
5.3	Puristekiinnikkeen lujuuden laskeminen vääntörasituksessa	21
5.4	Puristekiinnikkeiden koestus	23
6	Mittausten suorituskyky ja tilastollinen laadun hallinta	25
7	Puristekiinnikkeiden testaus ja testilaitteisto	29
7.1	Vetokoe	30
7.2	Kiertolujuuskoe	33
7.3	Välikierreholkkien reiän syvyyden mittaus	36
8	Testitulokset ja niiden analysointi	38
8.1	Vetokokeen tulokset	38

8.2	Kiertolujuuskokeen tulokset	41
8.3	Välikierreholkkien reiän syvyys	43
8.4	Teoreettisesti laskettuja arvoja	43
8.5	Tulosten analysointi	45
8.6	Tutkimuksen käyttökelpoisuus ja jatkotoimenpiteet	48
9	Yhteenveto	50
	Lähteet	52
	Liitteet	1
	Liite 1: Matertest FMC-MEC vetolaitteen kalibrointitodistus	1
	Liite 2: STwrench älyvääntimen 15Nm vääntövarren kalibrointitodistus	4
	Liite 3: Toimittajan 1 veto- ja kiertolujuuskokeiden tulokset	6
	Liite 4: Toimittajan 2 veto- ja kiertolujuuskokeiden tulokset	7
	Liite 5: Välikierreholkkien reiän syvyyden mittaustulokset	9
	Liite 6: Toimittajan 2 koestetun FH-M5-35 puristepultin leikkauspinta	10
	Liite 7: Voima-siirtymä kuvaaja vetokokeesta	11
	Liite 8: Kiertolujuustestin momentti - kulma kuvaaja	12

Lyhenteet

R_{eH}	myötöraja
R_m	murtolujuus
$R_{m,nom}$	nimellismurtolujuus
$F_{m,min}$	vähimmäisvetokuorma
τ_L	leikkausjännitys
τ_v	vääntöjännitys
Q	leikkausvoima
A_L	leikkausjännityspinta-ala
W_v	vääntövastus
M_v	vääntömomentti
D_s	synteriputken ulkohalkaisija
d_s	synteriputken sisähalkaisija
β	sisähalkaisijan ja ulkohalkaisijan suhde
u	mittausepävarmuus

u_{suht}	mittalaitteen suhteellinen epävarmuus
x_i	mittauksen tulos
\bar{x}	mittausten keskiarvo
s	keskihajonta
n	mittausten lukumäärä
UCL	Ylempi kontrolliraja
LCL	Alempi kontrolliraja
D	sisäkierteen nimellisulkohalkaisija
d	ulkokierteen nimellisulkohalkaisija
D_2	sisäkierteen nimelliskylkihalkaisija
d_2	ulkokierteen nimelliskylkihalkaisija
D_1	sisäkierteen nimellissisähalkaisija
d_1	ulkokierteen nimellissisähalkaisija
H	kierteen peruskolmion korkeus
P	kierteen nousu
α	kylkikulma=60°

D_3

kierteen sydänhalkaisija

A_3

kierteen sydänpinta-ala

A_s

kierteen jännityspinta-ala

R_{min}

kierteen pohjan minimisäde.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö toteutettiin ABB Oy:n laadunhallinnan projektina. Työ käsittelee ohutlevytuotteissa käytettäviä puristekiinnikkeitä ja niiden laadun todentamista. Työssä käydään läpi puristekiinnikkeiden ja yleisten kiinnitystarvikkeiden teoriaa, sekä tutustutaan erilaisiin keinoihin todentaa puristekiinnikkeiden laatua. Lopuksi valitaan keinot puristekiinnikkeiden laadun todentamiseen ja koestetaan kahden eri toimittajan puristekiinnikkeet, jotta voidaan vertailla niitä keskenään. Testitulosten perusteella saadaan tietoa, onko puristekiinnikkeiden laadussa vaihtelua eri toimittajien välillä.

1.1 ABB

ABB on vuonna 1988 syntynyt teollisuuden alan yhtymä. Se syntyi, kun ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. ABB tuottaa muun muassa sähköistystuotteita, robotteja, teollisuusautomaatiota sekä sähköverkkoratkaisuja. ABB yhtymä toimii tällä hetkellä yli 100 maassa ja työllistää noin 105 000 henkilöä. Suomessa ABB työllistää noin 5000 henkilöä. Sen tehdas-keskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. Suomen tytäryhtiö ABB Oy:n toiminta perustuu Oy Strömberg Ab:n toimintaan, joka myytiin ruotsalaiselle ASEA:lle 1987. [1.]

1.2 ABB Oy Drives

ABB Oy Drives on ABB:n divisioona, joka on keskittynyt taajuusmuuttajien valmistukseen. Taajuusmuuttaja on tiivistettynä laite, jolla voidaan portaattomasti ohjata sähkömoottorin käyttämän virran taajuutta. Taajuutta säätämällä voidaan vaikuttaa sähkömoottorin kierrosnopeuteen. Näin saadaan pienennettyä moottorin energian kulutusta jopa 50 %. ABB Oy Drivesin tuotekehityksen johtava yksikkö sijaitsee Helsingissä, joka työllistää noin 1300 henkilöä. Maailmanlaajuisesti ABB Oy Drives työllistää noin 6000 henkilöä. [2.]

2 Tutkimuskysymys ja työn lähtökohdat

ABB Oy haluaa tehdä selvitystä ohutlevyyn asennettavien puristekiinnikkeiden alkuperästä ja laadusta. Puristekiinnikkeellä tarkoitetaan ohutlevyosissa käytettäviä puristettavia kiinnikkeitä. Kuvassa 1 on esitettyä yleisimpiä puristekiinnikkeitä irrallaan sekä ohutlevyyn kiinnitettynä havainnollistamaan niiden käyttötarkoitusta.



Kuva 1. Yleisimpiä puristekiinnikkeitä irrallaan sekä ohutlevypalaan puristettuna. [3].

Yritys haluaisi valikoida joukon puristekiinnikkeitä ja vertailla niiden laatua keskenään. Puristekiinnikkeiden laatu on merkittävässä roolissa ohutlevykokoonpanoissa. Vioittunut puristekiinnike aiheuttaa aina ylimääräistä purkutyötä sekä osien romuttamista, joka vie paljon aikaa sekä rahaa.

2.1 Tutkimuskysymys

PEM® on yksi puristekiinnikkeiden valmistaja ja sitä pidetään niiden alkuperäisenä kehittäjänä. PEM® ilmoittaa katalogissaan puristekiinnikkeille geometriset mitat ja toleranssit. Puristekiinnikkeille ei kuitenkaan ole ISO-standardin mukaista kierrettä lukuun ottamatta standardia tai muuta valvovaa laadullista spesifikaatiota. Laadun vaihtelua halutaan tutkia puristekiinnikkeiden puutteellisen standardisoinnin vuoksi.

Markkinoilla on PEM®:n lisäksi lukuisia puristekiinnikevalmistajia. On huomattu, että puristekiinnikkeiden geometria voi vaihdella huomattavan paljon, riippuen niiden toimittajasta [4]. Puutteellinen standardisointi ja laadun määrittäminen, johtaa hallitsemattomaan laadun vaihteluun, niin geometrisesti kuin kestävyysdenkin kannalta.

Työn tavoitteena on tutkia puristekiinnikkeiden laadun vaihtelua niiden materiaalitekniisten ominaisuuksien perusteella. Eri valmistajien puristekiinnikkeet ja niiden ohutlevyliitosten merkitsevät lujuusarvot testataan ja niitä verrataan keskenään. Vertailua tehdään myös valmistajan ilmoittamien arvojen suhteen.

Tavoitteena on saada testituloksien perusteella tietoa puristekiinnikkeiden laadusta sekä laadun vaihtelusta. Testitulosten avulla voidaan arvioida mahdollisia jatkotoimenpiteitä laadun hallinnan parantamiseksi.

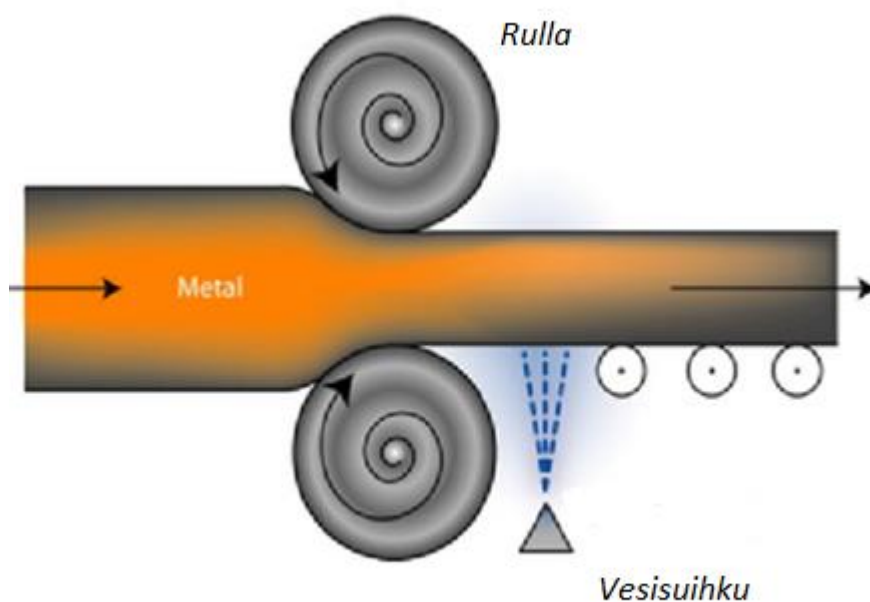
2.2 Rajaus

Erilaisia puristekiinnikkeitä on olemassa todella paljon. Tämän vuoksi tuotteita ja testimenetelmiä on rajattava, jotta tutkimus on realistisesti mahdollista suorittaa tämän työn puitteissa.

Tässä työssä on tarkoitus käsitellä M5-kierteisiä puristepultteja, sekä puristeväliholkkeja. Testimenetelmistä tässä työssä käytetään vetokoetta sekä kiertolujuuskoetta.

3 Ohutlevytuotteiden valmistus

Ohutlevyllä tarkoitetaan normaalisti 1–15 mm ohutta metallilevyä. Metallilevy voi olla myös isoina keloina. Ohutlevyä valmistetaan kuumentamalla metallia ja muovaamalla sitä kahden valssin välissä ohuemmaksi. Tätä valmistusmenetelmää kutsutaan kuumavalssaukseksi. Kuumavalssauksen perusidea on esiteltyinä kuvassa 2. Joskus ohutlevyä voidaan muokata myös ilman metallin lämmittämistä, jolloin sitä kutsutaan kylmävalssaukseksi. [5.]



Kuva 2. Kuumavalssauksessa metallia kuumennetaan ja se muovataan kahden rullan eli valssin välissä sopivan paksuiseksi [5].

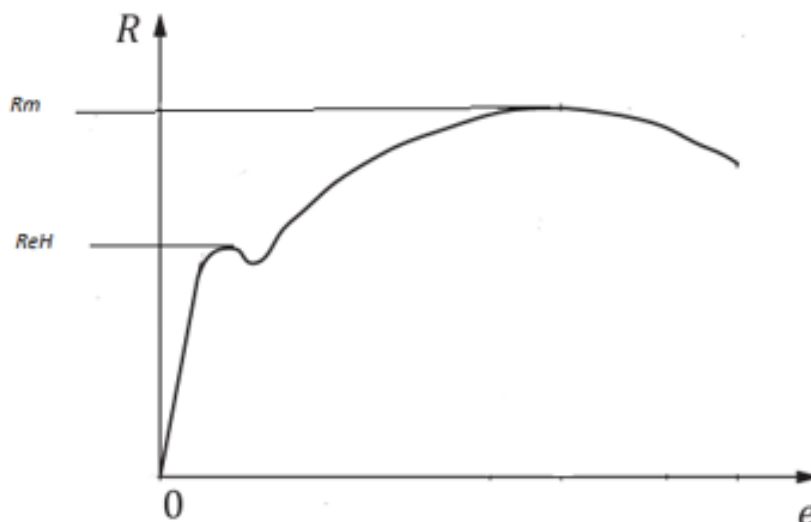
Ohutlevyn etuja ovat sen jäykkä rakenne suhteessa kevyeen painoon. Lisäksi materiaalin hukkaa tulee kohtalaisen vähän verrattuna koneistettuihin komponentteihin, joihin tarvitaan materiaalia poistavia työstötapoja. [6, s. xiii.]

3.1 Materiaalit

Ohutlevyissä voidaan käyttää monia eri materiaaleja. Yleisimpiä ovat alumiini ja erilaiset teräkset kuten kuumasinkitty teräs ja ruostumaton teräs. Varsinkin teräksen kohdalla materiaalivalikoimaa on hyvinkin paljon erilaisten pinnoitusten ja hiilipitoisuuksien vuoksi. Tärkeimmät kriteerit materiaalia valittaessa on ohutlevytuotteelta vaadittavat ominaisuudet kuten lujuus, jäykkyys ja korroosionkesto. [6, s. 1.]

Materiaalin yksi merkittävimmistä ominaisuuksista on sen lujuus. Materiaalin lujuusominaisuuksia ilmoittaessa käytetään usein myötölujuutta R_{eH} ja murtolujuutta R_m . Niiden yksikkö on megapascal (MPa). Myötölujuus tarkoittaa materiaalin jännitystä siinä venymän pisteessä, jonka yli mentäessä materiaali ei enää palaudu alkuperäiseen muotoonsa eli sen rakenteeseen tulee pysyviä muutoksia. Murtolujuus tarkoittaa materiaalin suurinta mahdollista jännitystä. Tässä pisteessä materiaali murtuu. [7, s. 270.]

Kuvassa 3 on esitetty materiaalin jännitys-venymäpiirros. Se saadaan vetokoikeesta, joka on standardisoitu testimenetelmä materiaalien lujuusominaisuuksien testaamiselle. Jännitys-venymäpiirrokselta voi tulkita myötö- ja murtolujuutta. Murtolujuus sijoittuu käyrän korkeimpaan kohtaan ja myötölujuus kohtaan, jossa käyrä tekee pienen notkahduksen. [8, s. 26.]



Kuva 3. Jännitys-venymä piirros, johon on merkattu murtolujuus sekä myötöraja [8, s. 26].

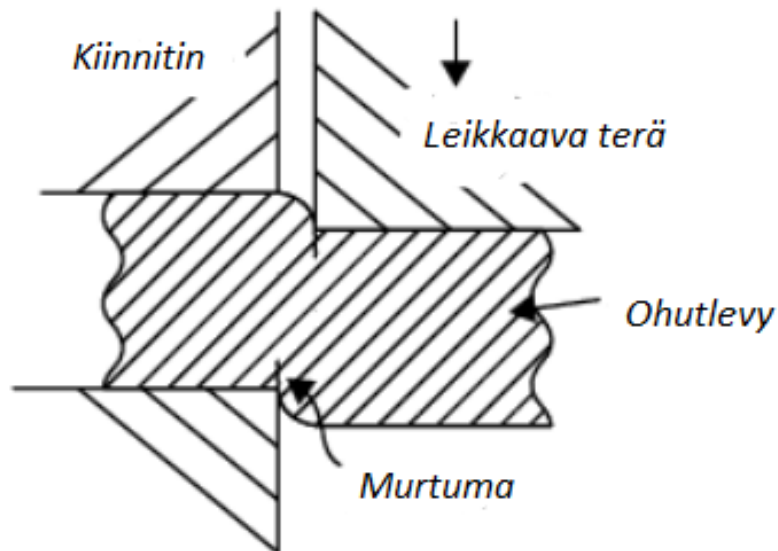
EN 10346 -standardi määrittää ohutlevyjen lujuus- ja laatuluokituksen. Ohutlevyalaadut luokitellaan niiden kemiallisen koostumuksen perusteella. Laatuluokitus sallii kuitenkin melko suuren vaihtelun tiettyjen laatuluokkien ohutlevykelejen mekaanisille ominaisuuksille. Esimerkiksi DX51D-laadun ohutlevyn murtolujuus voi olla 270–500 MPa. [9, s. 15.]

Materiaalin lujuusominaisuuksien vaihtelun vuoksi jokaisesta ohutlevykelasta mitataan sen materiaalin murtolujuus, myötölujuus ja kovuus. Tarvittaessa kela-tietojen tulisi olla saatavilla toimittajalta, jos niitä tarvitsisi tarkastaa.

3.2 Jalostustekniikat

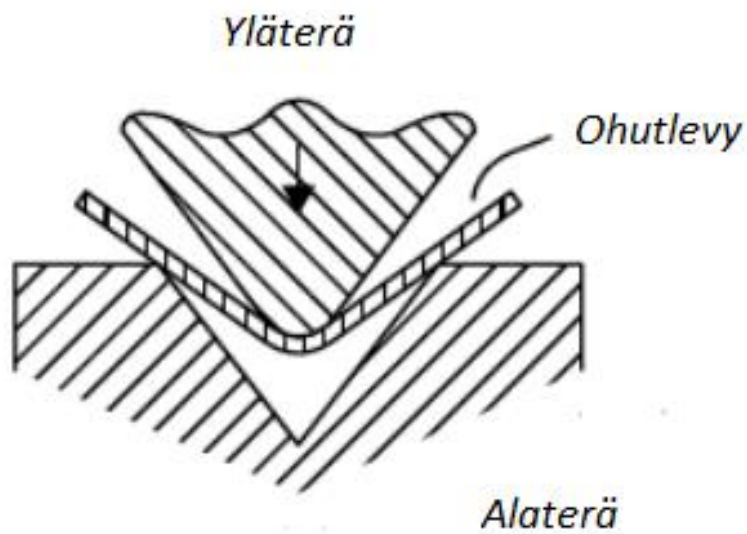
Ohutlevyn jalostamisessa varsinaiseksi osaksi tai tuotteeksi käytetään hyvin monenlaisia tekniikoita. Oikean tekniikan valitseminen kussakin jalostuksen vaiheessa riippuu jalostettavasta materiaalista, sekä valmistettavista määristä.

Usein ensimmäinen vaihe on aihion leikkaus suuremmasta levystä. Leikkaamiseen voidaan käyttää erinäisiä leikkaus- ja lävistyskoneita. Myös laser-tekniikkaa hyödyntävät laitteet ovat yleistyneet. Kuvassa 4 on esitetty ohutlevyn lävistämistä. [6, s. 1.]



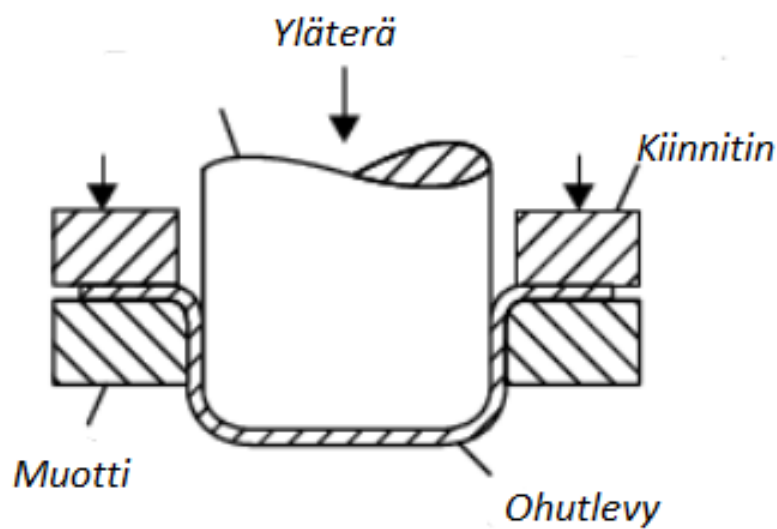
Kuva 4. Ohutlevyn teoreettista lävistämistä esittävä piirros [6, s. 1].

Tuotteen aihiota voidaan muovata halutulla tavalla esimerkiksi taivuttamalla aihioon kulmia. Tämä tapahtuu erilaisilla ohutlevyn taivutukseen suunnitelluilla laitteilla. Kuvassa 5 nähdään esimerkki ohutlevyn muovauksesta särmäyspuristimella. Siinä ohutlevyä painetaan yläterällä alaterän loveen, jolloin saadaan aikaan kantti. [6, s. 1.]



Kuva 5. Ohutlevyn teoreettista taivutusta esittävä piirros [6, s. 1].

Aihion muovaamisessa toinen yleinen tekniikka on syväveto. Siinä aihiota venytetään erikoisvalmistetun työkalun avulla haluttuun muotoon. Kuvassa 6 on esimerkki syvävedosta, jossa aihiota painetaan muottiin. [6, s. 1.]



Kuva 6. Ohutlevyn syvämuovausta esittävä piirros [6, s. 1].

4 Puristekiinnikkeet

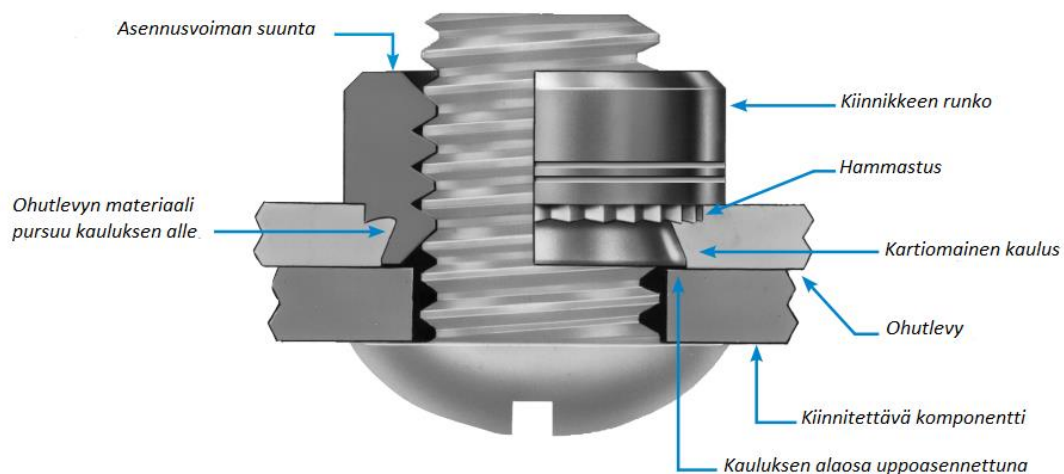
Usein ohutlevyysiin tarvitaan erinäisiä kiinnityskohtia, joista se saadaan kiinnitettyä toisiin komponentteihin. Erinäiset puristekiinnikkeet ovat yksi vaihtoehto tällaisten kiinnityskohtien toteuttamiseen. Puristekiinnikkeellä voidaan tarkoittaa ohutlevyyn asennettavaa pulttia, mutteria, välikierreholkkia, niittiä tai muuta kiinnipuristettavaa komponenttia [10].

Kuvassa 7 on nähtävissä läpileikkaus liitoksesta, jossa puristemutteri on puristettu ohutlevyyn ja se on kiinnitetty toiseen komponenttiin ruuvilla. Puristemutteri siis asennetaan ohutlevyyn vastakkaisesta suunnasta ruuvin asennussuuntaan nähden. Tällöin liitosta kiristettäessä puristemutteri puristuu vielä entistä tiukemmin levyyn ja liitoksesta tulee luja. [10.]

Kuvassa 7 voidaan nähdä, että puristemutterissa on hammastus, joka ohutlevyyn puristettaessa uppoaa materiaaliin. Se estää puristemutteria kiertymästä irti, kun siihen kohdistetaan aksiaalista vääntömomenttia. [10.]

Puristemutterissa on myös kaulus, joka estää sitä liikkumasta pois asennusreiästä. Kun puristekiinnike puristetaan ohutlevyssä olevaan reikään, metalli purtuu puristekiinnikkeen kauluksen alle. Täten puristekiinnike lukittuu paikalleen myös vertikaalisuunnassa. [10.]








Sama kiinnittymismekanismi yhdistää kaikkia puristekiinnikkeitä. Kaikissa niissä on hammastus vastustamassa kiertävää rasiusta ja kaulus tai ura pitämään puristekiinnikkeen asennusreiässä.



Kuva 7. Lämpileikkaus PEM® -puristemutterista ohutlevyssä [10].

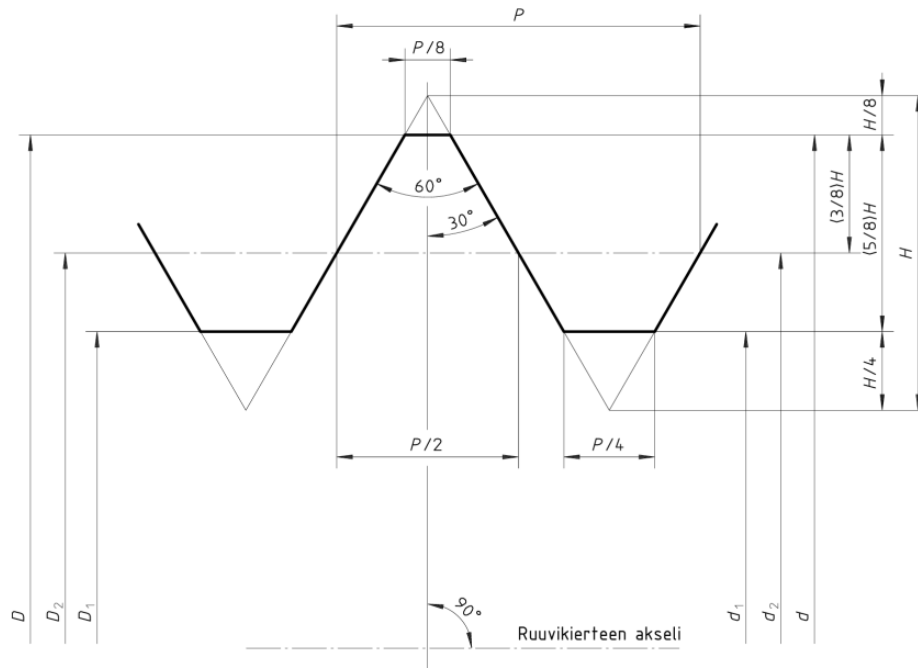
4.1 Kierteet puristekiinnikkeissä

Useissa puristekiinnikkeissä on kierre, joka mahdollistaa puristekiinnikkeen käyttämisen esimerkiksi kahden ohutlevyn välisessä liitoksessa. ISO 68-1 -standardi on kansainvälinen spesifikaatio, joka määrittää kierreprofiiliin. Kierreprofiililla tarkoitetaan tiettyä kierteen teoreettista perusprofiilia, joka on sama sekä ulko- että sisäkierteissä [11]. Kierteitä on monenlaisia eri käyttötarkoituksiin. Kuvassa 8 on esitettyinä erilaisia kierteitä ja niiden käyttötarkoituksia.

Käyttö	Kierremuoto	Kierretyyppi	Koodi
Yleiskierteet		ISO metrinen American UN	MM UN
Putkikierteet		Whitworth, brittiläinen standardikierre (BSPT), amerikkalaiset standardikierteet (NPT, NPTF)	WH, NT PT, NF
Elintarvike- ja palontorjunta-ala		DIN 405 -pyörökierre	RN
Ilmailuteollisuus		MJ UNJ	MJ NJ
Öljy- ja kaasuteollisuus		API pyöreä API V-profiili 60°	RD V38, 40, 50
		API Buttress VAM	BU
Liikeruuvit		Trapetsi/DIN 103 ACME Stub ACME	TR AC SA

Kuva 8. Erilaisia kierreprofileja eri käyttötarkoituksiin [11].

Metrinen ISO-kierre on yleisin kiinnitystarvikkeissa käytetty kierre. Sitä käytetään myös puristekiinnikkeissä. Kuvassa 9 on esitetty metrisen ISO-kierteen perusprofiili. Kuvan mukaista perusprofiilia voidaan soveltaa ulko- ja sisäkierteisiin. Tärkeimpiä mittoja kierteen käytön kannalta ovat kierteen nousu P ja kylkikulma α . Muita kierteen merkitseviä mittoja ovat ulko- ja sisäkierteen ulkohalkaisija, kylkihalkaisija ja sisähalkaisija. Ne määrittävät kierteen omaavan kiinnikkeen koon. [12, s. 6.]



Kuva 9. Kuvassa on esitetty metrisen ISO-kierteen perusprofiili ja sen tärkeimpiä merkitseviä mittoja [12, s. 6].

4.2 Ruuvin materiaalitekniset ominaisuudet

Kaikki kiinnittimet, mukaan lukien ruuvit, on luokiteltu ISO 898-1 -standardissa niiden lujuusarvojen mukaan. Standardin mukainen tapa ilmoittaa luokitus, on esitetty taulukossa 1. Lujuusluokituksessa pisteen vasemmanpuoleinen yksi- tai kaksinumeroinen arvo tarkoittaa kiinnittimen nimellismurtolujuuden $R_{m,nom}$ sadasosaa (MPa). Pisteen oikeanpuoleinen arvo taas kertoo alemman myötörajan $R_{eL,nom}$ ja nimellismurtolujuuden $R_{m,nom}$ välisen suhteen kerrottuna kymmenellä. [13, s.18.]

Taulukossa 1 on esitetty erikokoisten ruuvien vähimmäisvetokuormia riippuen ruuvin lujuusluokituksesta. Vähimmäisvetokuorma saadaan kaavasta:

$$F_{m,min} = A_{s,nom} * R_{m,min} \quad (1.)$$

jossa

$F_{m,min}$ on vähimmäisvetokuorma

$A_{s,nom}$ on nimellinen jännityspoikkipinta-ala

$R_{m,min}$ on vähimmäismurtolujuus. [13, s. 26.]

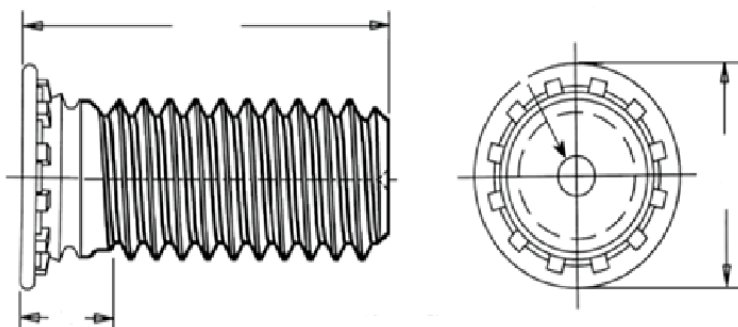
Tämä kuormitus on otettava huomioon, kun testataan puristekiinnikkeen lujuusominaisuuksia. Jos testimenetelmissä käytetään kiinnittimiä, tulee niiden olla riittävän kestäviä. Tällöin varmistutaan, että testeissä saadut tulokset kertovat nimenomaan puristekiinnikkeessä ja sen ohutlevyliitoksessa tapahtuvista muutoksista, eikä testilaitteiston kiinnittimen muutoksista.

Taulukko 1. Ruuvien nimellisiä poikkipinta-aloja, lujuusluokituksia ja vähimmäisvetokuormia [13, s. 26].

Kierre ^{a)} <i>d</i>	Nimellinen jännitys- poikkipinta- ala $A_{s,nom}$ ^{b)} mm ²	Lujuusluokka								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/ 12.9
		Vähimmäisvetokuorma $F_{m,min} (A_{s,nom} \times R_{m,min}), N$								
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 530	5 230	6 140
M3,5	6,78	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 100	7 050	8 270
M4	8,78	3 510	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700
M5	14,2	5 680	5 960	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500
M7	28,9	11 600	12 100	14 400	15 000	17 300	23 100	26 000	30 100	35 300
M8	36,6	14 600 ^{c)}	15 400	18 300 ^{c)}	19 000	22 000	29 200 ^{c)}	32 900	38 100 ^{c)}	44 600
M10	58	23 200 ^{c)}	24 400	29 000 ^{c)}	30 200	34 800	46 400 ^{c)}	52 200	60 300 ^{c)}	70 800
M12	84,3	33 700	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400 ^{d)}	75 900	87 700	103 000
M14	115	46 000	48 300	57 500	59 800	69 000	92 000 ^{d)}	104 000	120 000	140 000
M16	157	62 800	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000 ^{d)}	141 000	163 000	192 000
M18	192	76 800	80 600	96 000	99 800	115 000	159 000	-	200 000	234 000
M20	245	98 000	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	-	255 000	299 000
M22	303	121 000	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	-	315 000	370 000
M24	353	141 000	148 000	176 000	184 000	212 000	293 000	-	367 000	431 000
M27	459	184 000	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	-	477 000	560 000
M30	561	224 000	236 000	280 000	292 000	337 000	466 000	-	583 000	684 000
M33	694	278 000	292 000	347 000	361 000	416 000	576 000	-	722 000	847 000
M36	817	327 000	343 000	408 000	425 000	490 000	678 000	-	850 000	997 000
M39	976	390 000	410 000	488 000	508 000	586 000	810 000	-	1 020 000	1 200 000

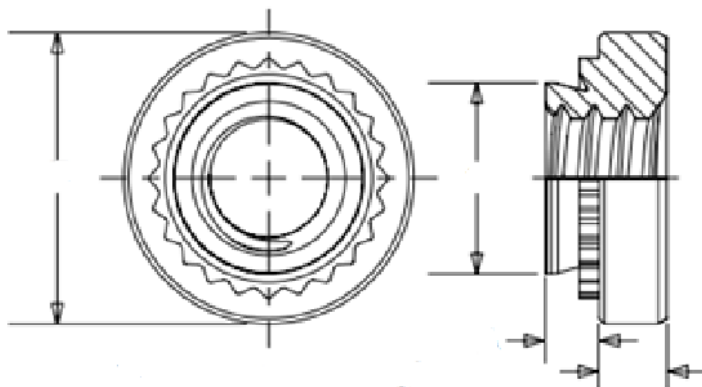
4.3 Yleisimpiä puristekiinnikkeitä

Puristepultit korvaavat ohutlevyliitoksessa normaalin pultin. Puristepulteissa on ISO-standardin mukainen kierre. Puristepultteja on saatavilla eri kokoisilla kier-teillä ja eri pituisina, lisäksi tarjolla on muutamaa eri mallia eri käyttötarkoituk-siin ja eri ohutlevymateriaaleille. [14.] Kuvassa 10 on piirros puristepultista.



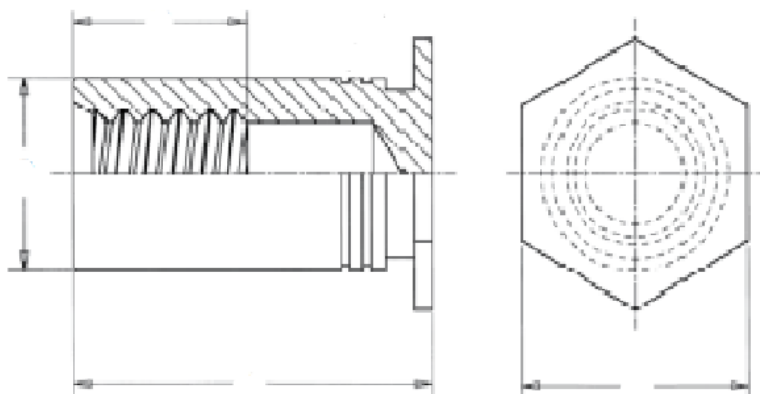
Kuva 10. Puristepultin piirros [14].

Puristemutterit ovat mutterien kaltaisia sisäkierteellisiä kiinnikkeitä, joissa on ISO-standardin mukainen kierre. Sen avulla ohutlevytuotteeseen saadaan val-mis kierre, johon voidaan pultata toinen komponentti kiinni. Puristemuttereita on saatavilla eri kokoisilla kierteillä ja kahdella eri korkeudella. Lisäksi tarjolla on useaa eri mallia eri käyttötarkoituksiin ja eri ohutlevymateriaaleille. [14.] Ku-vassa 11 on läpileikkaus liitoksesta, komponentit on kiinnitetty toisiinsa puriste-mutterin ja normaalin pultin avulla.



Kuva 11. Puristemutterin piirros ja läpoileikkaus [14].

Välikierreholkkit ovat ISO-standardin mukaisella sisäkierteellä varustettuja niittejä. Välikierreholkkeja on eri kokoisilla kierteillä ja eri pituuksilla. Lisäksi saatavilla on useita malleja eri käyttötarkoituksiin ja eri ohutlevy materiaaleille. Välikierreholkkeja löytyy kuvassa 12 olevan umpikantaisen holkin lisäksi myös läpikierteisenä. [14.]



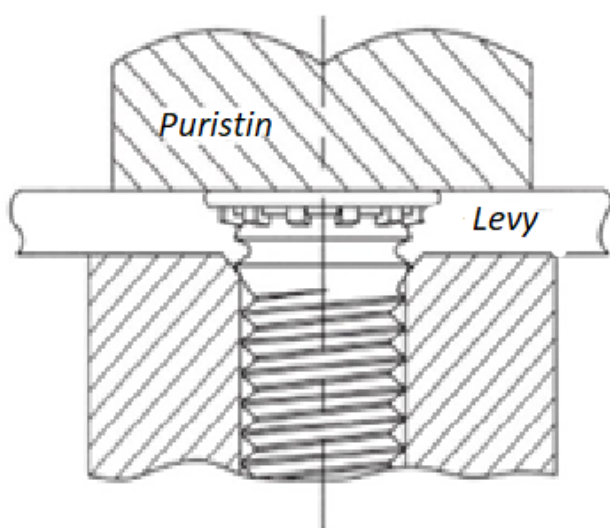
Kuva 12. Välikierreholkin piirros ja läpileikkaus [14].

4.4 Puristekiinnikkeiden asennus ohutlevyyn

Jotta puristekiinnike on mahdollista asentaa, täytyy ohutlevyssä olla oikeankokoinen alkureikä, jotta liitoksesta tulee tiukka. Oikea alkureiän koko on määriteltävä kullekin puristekiinnikkeelle valmistajan tuotekatalogissa [14].

Puristekiinnikkeiden asennukseen käytetään yleensä sähkö- tai hydraulikkatoimista puristinta. Puristekiinnike asetetaan ohutlevyssä olevan alkureiän suulle ja liitoskohta asetetaan puristimen ylä- ja alamatriisiin väliin. Sen jälkeen liitos puristetaan sopivalla voimalla kasaan niin, että puristekiinnikkeen kanta painuu ohutlevyyn. Oikea puristusvoima on määritelty esimerkiksi puristekiinnikkeen valmistajan tuotekatalogissa. Puristusvoima määräytyy puristekiinnikkeen, materiaalin sekä ainevahvuuden mukaan. [15.]

Joidenkin puristekiinnikkeiden asentamiseen tarvitaan erityistyökaluja kuten alasin tai holkki. Kuvassa 13 on nähtävissä puristepultin asennus. Siinä alapuolella on reiällinen alasin, johon pultin kierreosa menee. Ohutlevy asetetaan alasimen päälle niin, että puristepultti menee alkureiän läpi alasimen reikään. Tämän jälkeen puristepultti puristetaan ylämatriisilla paikoilleen. Samanlaista asennusmekanismia käytetään myös niittien ja sisäkierreniittien asennuksessa.



Kuva 13. Puristepultin asennus ohutlevyyn [14].

4.5 Virheet ohutlevyn ja puristekiinnikkeen liitoksessa

Liitoksen kestävyys vaikuttaa se, mitä materiaalia käytettävä ohutlevykapale ja puristekiinnike on. Ohutlevymateriaaleja voivat olla esimerkiksi alumiini

tai teräs. Myös tietyn materiaalin lujuusominaisuudet voivat vaihdella raakamateriaalin valmistuserän mukaan. [9.]

Puristekiinnikkeiden valmistajan katalogissa on määritelty eri materiaaleille sopivat puristekiinnikkeet. On tärkeää käyttää oikeaa, tarkoitukseen suunniteltua puristekiinnikettä laadukkaan liitoksen aikaan saamiseksi. [16.]

Puristekiinnikkeelle tehtävä alkureiän koko ohutlevyssä vaikuttaa liitoksen lujuuteen ja toimivuuteen. Liian pieni reikä voi aiheuttaa materiaalin vääntymistä tai venymistä. Liian suuressa reiässä puristekiinnikkeeseen suunniteltu hammastus ei saa tarttumapintaa ohutlevyssä olevan reiän reunoista ja täten liitos voi jäädä hauraaksi. [16.]

Kaikille puristekiinnikkeille on määritelty asennuksessa tarvittava puristusvoima. Puristusvoimaan vaikuttaa myös ohutlevyn materiaali. Liian suuri puristusvoima aiheuttaa ohutlevyn venymistä ja pahimmassa tapauksessa murtumia. Liian pieni puristusvoima ei paina puristuskiinnikkeen hammastusta tarpeeksi syväälle materiaaliin, jolloin liitos voi jäädä hauraaksi. Puristusvoima kiinnikkeille on määritelty valmistajien tuotekatalogeissa. [16.]

4.6 Puristekiinnikkeiden laadun valvonta

Puristekiinnikkeille ei ole olemassa vastaavaa laatu standardia kuin esimerkiksi ruuveille ja muille yleisesti käytetyille kiinnitystarvikkeille. ISO 898 on standardi, joka kertoo millaisia kiinnitystarvikkeiden pitäisi olla. Sen avulla määritellään ruuvien ja vaarnaruuvien mekaaniset ominaisuudet. [13, s. 1.]

Tämän lisäksi on olemassa standardi ISO 3269, joka määrittelee, miten kiinnitystarvikkeiden lujuutta ja geometriaa testataan. Standardissa on määritelty laatuokittain, kuinka suuria testauserien tulee olla ja kuinka suuri osa testausarjan testikappaleista tulee olla hyväksytyjä. [22, s.1.]

Yllä mainitun tyylisten standardisointien puutteen vuoksi puristekiinnikkeiden laatu voi vaihdella riippuen valmistajasta. Usein laadun varmistus ja testaus jää puristekiinnikkeiden käyttäjän omalle vastuulle.

5 Puristuskiinnikkeen lujuus ja materiaalitekniset ominaisuudet

Puristekiinnikkeiden lujuusominaisuudet vaikuttavat merkittävästi koko liitoksen kestävyysominaisuuksiin. Puristekiinnikkeen tulee kestää siihen syntyvät jännitykset ohutlevyn kiinnittäessä ja kokoonpanovaiheessa. Puristekiinnikkeisiin on mahdollista kohdistua vetoa, vääntöä ja taivutusta.

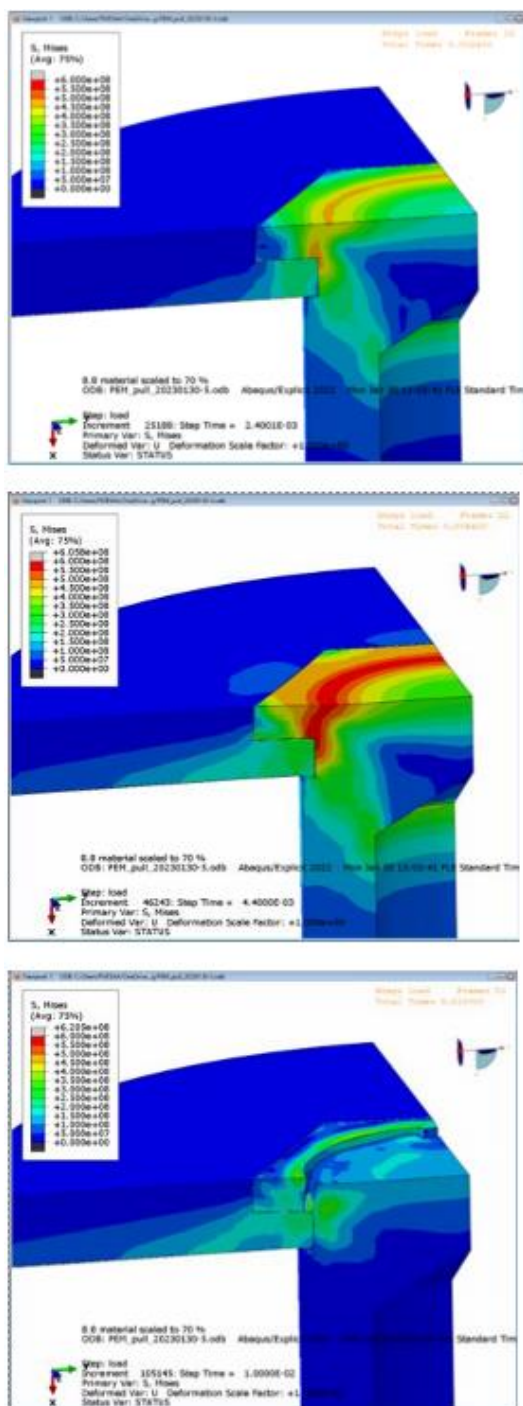
5.1 Puristekiinnikkeen liitoksen hajoamismekanismit

Puristekiinnikkeen ohutlevyliitoksessa on karkeasti kaksi hajoamismekanismia. Ensimmäinen vaihtoehto on, että puristekiinnikkeen ja ohutlevyn välinen liitos antaa periksi. Tämä tapahtuu yleensä, jos puristekiinnikkeeseen kohdistuu aksiaalista vääntöä tai asennusvoimaan nähden vastakkaista rasitusta. Tässä tapauksessa periksi voi antaa joko puristekiinnikkeen kanta, ohutlevyn materiaali tai molemmat näistä. Käytännössä puristekiinnikkeen kannan ja ohutlevyn välinen leikkausjännitys ylittää materiaalin sietokyvyn.

Toinen mahdollinen hajoamismekanismi on puristekiinnikkeen murtuminen sen kierreosasta. Tällöin puristekiinnikkeen kierreosaan kohdistettu jännitys ylittää puristekiinnikkeen materiaalin sietokyvyn.

Välikiranholkin 3D-mallin avulla suoritettiin FEM (Finite Element Method) -simulointi Abaqus -simulointiohjelmalla. Simulointi tehtiin niin, että välikiranholkkia rasitettiin vetämällä. Simulaatiossa käytettiin ¼ kokoista lohkoa puristepultista. Simulaation perusteella voidaan todeta, että puristekiinnikkeen kantaan kohdistuu suurin jännitys, joka on sen todennäköinen murtumiskohta vetorasituksessa.

Kuvassa 14 on välikierreholkin FEM-simulointi, jossa on esitetty kuormituksen kasvu ajan suhteen ylimmästä tilanteesta alimpaan. Kirkkaat värit kuvaavat syntyneitä jännityksiä ja alimmassa tilanteessa voidaan nähdä kannastaan leikkaantunut välikierreholkki.

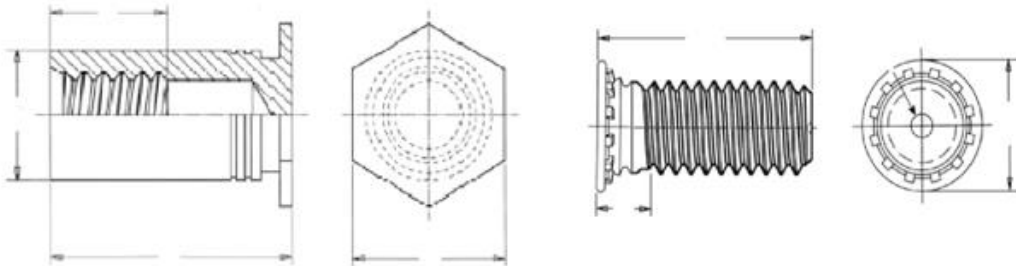


Kuva 14. FEM-simulaatio, jossa on väreillä ilmaistu ohutlevyyn ja siinä kiinni olevaan välikierreholkkiin syntyviä jännityksiä.

5.2 Puristekiinnikkeen lujuuden laskeminen vetorasituksessa

Puristekiinnikkeiden teoreettisia lujuuksia on mahdollista laskea. Siinä on tärkeää selvittää puristekiinnikkeen heikoin kohta, josta se todennäköisesti murtuu. Kun puristekiinnikettä katsotaan läpileikkauksena, voidaan nähdä sen kannan olevan materiaalivahvuudeltaan ohuin. Kuvassa 15 voidaan nähdä sekä kierre-
väliholkin, sekä puristepultin kannan olevan sen ohuin kohta.

Kun metallilevyn kiinnipuristettua puristekiinnikettä kuormitetaan vetämällä sitä niin sanotusti levyn läpi, syntyy levyssä olevan alkureiän reunasta puristekiinnikkeen kantaan leikkausjännitys. Tämä on havainnollistettu myös aiemmin esitettyssä FEM-simuloinnissa kuvassa 14.



Kuva 15. Välikierreholkki puristepultti [14].

Leikkausjännitys voidaan laskea kaavasta:

$$\tau_L = \frac{Q}{A_L} \quad (2.)$$

jossa

τ_L on leikkausjännitys (MPa)

Q on leikkausvoima (N)

A_L on leikkaantuva pinta-ala (mm²). [7, s. 272.]

Puristekiinnikkeen tapauksessa leikkaantuva pinta-ala on ympyrälieriön vaipan muotoinen pinta. Sen halkaisija on ohutlevyssä olevan alkureiän halkaisija ja korkeus puristekiinnikkeen kannan paksuus.

Ympyrälieriön vaipan pinta-ala saadaan kaavasta:

$$A_y = 2 * \pi * r_y * h_y \quad (3.)$$

jossa

r_y on ympyrälieriön säde (mm)

h_y on ympyrälieriön korkeus (mm). [7, s. 23.]

5.3 Puristekiinnikkeen lujuuden laskeminen vääntörasituksessa

Kun lasketaan puristekiinnikkeen kykyä sietää vääntörasitusta, on oleellista ottaa huomioon puristekiinnikkeen käyttökohde. Kun puristekiinnike on puristettu ohutlevyyn ja siihen kohdistetaan aksiaalista vääntöä, antaa ohutlevyn materiaali usein ensimmäisenä periksi. Joissain tilanteissa puristekiinnikkeen kantaa voi myös osittain tulla pieniä muutoksia. Puristekiinnikkeen kannan monimutkaisen geometrian vuoksi teoreettista korkkausmomenttia ohutlevyn ja puristekiinnikkeen liitokselle on hankala laskea. Sen vuoksi ainut luotettava tapa sen toteamiseksi on käytännön testaus.

Kuitenkin, jos oletettaisiin ohutlevyn ja puristekiinnikkeen kannan liitoksen kestävä, voidaan puristekiinnikkeen sylinterimäiselle kierre osalle määrittää teoreettinen vääntöjännitys.

Vääntöjännitys saadaan kaavasta:

$$\tau_v = \frac{Mv}{W_v} \quad (4.)$$

jossa

τ_v on vääntöjännitys (MPa)

Mv on vääntömomentti (Nmm)

W_v on vääntövastus (mm³). [7, s. 273.]

Väliskierreholkin tapauksessa vääntövastus saadaan ympyräsylinteriputken vääntövastuksen kaavasta:

$$W_{vp} = \frac{\pi D_s^3}{16} (1 - \beta^3) \quad \left(\beta = \frac{d}{D}\right) \quad (5.)$$

jossa

D_s on sylinterin ulkohalkaisija (mm)

d_s on sylinterin sisähalkaisija (mm)

β on sylinterin ulkohalkaisijan ja sisähalkaisijan suhde. [7, s. 259.]

Puristepultin tapauksessa vääntövastus saadaan ympyräsylinterin vääntövastuksen kaavasta:

$$W_{vs} = \frac{\pi D^3}{16} \quad (6.)$$

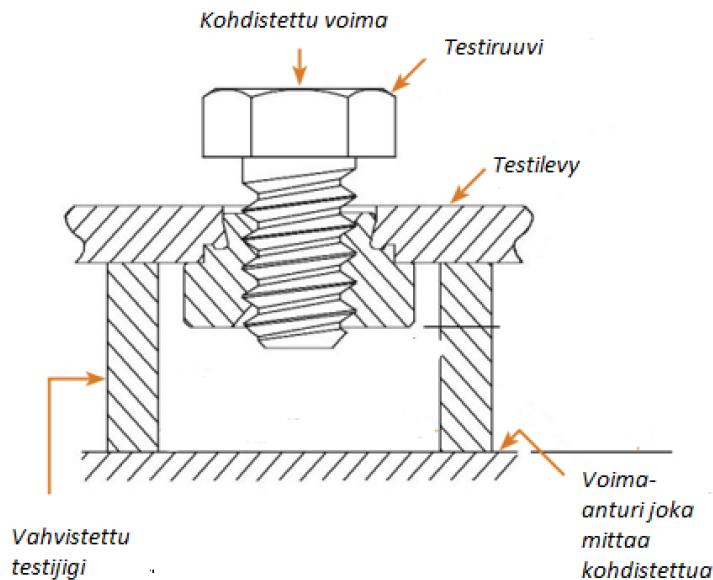
jossa

D_s on sylinterin ulkohalkaisija (mm). [7, s. 259.]

5.4 Puristekiinnikkeiden koestus

Puristekiinnikkeiden testausta voidaan tarvittaessa tehdä hyvinkin monenlaisilla tavoilla. PEM® on määrittänyt puristekiinnikkeiden mekaaniselle kestävyydelle kolme erilaista testimenetelmää, joiden perusteella se on antanut tuotteilleen lujuusarvoja katalogissaan.

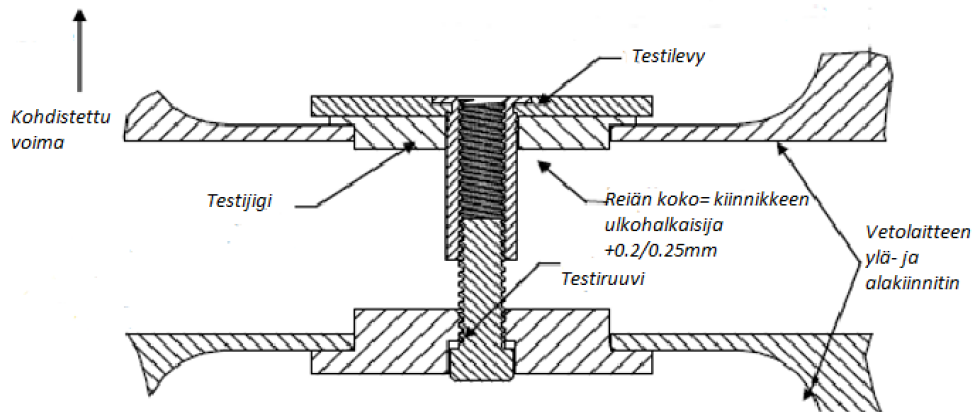
Työntökokeella (push-out-test), voidaan testata kaikkia PEM® puristekiinnikkeitä. Siinä puristekiinnikettä rasitetaan vastakkaisesta suunnasta kiinnikkeen asennusvoimaan nähden. [10.] Työntökokeen testilaitteiston piirros on nähtävissä kuvassa 16.



Kuva 16. Työntökokeen testilaitteiston piirros [10].

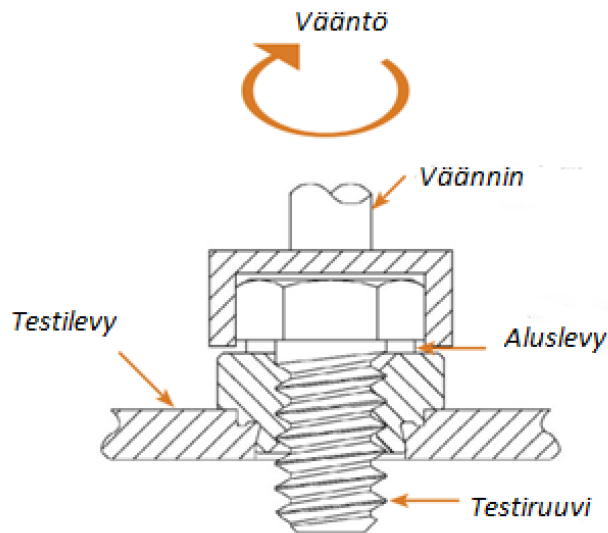
Vetokoe (pull-through-test) on tarkoitettu kaikille muille puristekiinnikkeille paitsi puristemuttereille. Vetokokeessa puristekiinnikettä rasitetaan vetämällä samaan suuntaan asennussuunnan kanssa. Testi jigi koostuu kahdesta puoliskosta. Toiseen puoliskoon kiinnitetään vedossa apuna käytettävän kiinnikkeen pää ja toiseen päähän testilevy, jossa on puristekiinnike. Testilevyn puoleisessa päässä

testijigiä tulee olla puristekiinnikkeelle oikean kokoinen reikä, jonka läpi se vedetään. Oikea reiän halkaisija on 0.20–0.25 mm isompi kuin puristekiinnikkeen ulkohalkaisija. [10.] Testimenetelmän piirros on esitettyä kuvassa 17.



Kuva 17. Kuvassa on esitettyä vetokokeen testimenetelmä, jossa testilevyssä olevaa puristekiinnikettä vedetään siihen kierretyllä testiruuvilla [18].

Kiertolujuuskoe (torque-out-test) on tarkoitettu kaikille puristekiinnikkeille. Kiertolujuuskokeessa puristekiinnikettä rasitetaan kohdistamalla siihen aksiaalisesti vääntömomenttia, kuten kuvassa 18 olevassa piirroksessa on esitetty. Testissä haetaan korkeinta vääntömomenttia ennen puristekiinnikkeen tai sen ja ohutlevyn välisen liitoksen murtumista. Tärkeää on huomioida, että puristekiinnikkeen ei kohdistu muita ulkoisia voimia kuin vääntömomenttia. [10.]



Kuva 18. Kiertolujuuskokeen testimenetelmän piirros [10].

Yllä mainitut PEM®:n määrittämät testimenetelmät ovat rikkovia aineenkoestusmenetelmiä. Se tarkoittaa, että koestettava materiaali vaurioituu testauksessa. On olemassa myös rikkomattomia aineenkoestusmenetelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi tunkeumaneste-, magneettijauhe- ja ultraäänitarkastukset. Niiden avulla voidaan tarkastella aineen rakennetta niin, ettei tutkittava materiaali vaurioidu. [19.]

6 Mittausten suorituskyky ja tilastollinen laadun hallinta

Luotettavan mittauksen kannalta on tärkeää, että mittauksessa käytettävä laite soveltuu kyseiseen mittaukseen ja että mittaukseen suorittava henkilö on pätevä suorittamaan mittaukset riittävällä tarkkuudella [20, s. 157].

Mittaukseen liittyy aina mittausvirheitä tai epävarmuustekijöitä. Mittausvirheellä tarkoitetaan mitattavan asian oikean arvon ja mittauksessa saadun arvon eroa. Mittausvirheet voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri tyyppiin: karkeaan virheeseen, systemaattiseen virheeseen ja satunnaiseen virheeseen. [21, s. 95.]

Karkealla virheellä tarkoitetaan mittauksessa saatua poikkeavaa arvoa, joka voidaan suoraan yhdistää mittauksessa tapahtuneeseen virheeseen, esimerkiksi virheelliseen tuloksen lukemiseen tai mittalaitteen toimintahäiriöön. [21, s. 95.]

Systemaattinen virhe syntyy mittalaitteen aiheuttamasta jatkuvasta virheestä. Tämä voi johtua esimerkiksi kalibroimattomasta laitteesta tai epätarkoituksenmukaisista mittausolosuhteista kuten lämpötilasta. [21, s. 95.]

Satunnainen virhe on aina mittauksessa mukana oleva mittausvirhe, joka ei vääristä mittauksen lopputulosta, jos se toistetaan riittävän monta kertaa. Satunnainen virhe kasvaa usein, mitä tarkempi mittalaite on kyseessä. [21, s. 95.]

Mittauksesta saatu tulos ei ole koskaan absoluuttisesti oikein. Se on vain arvio mitattavasta arvosta. Mittausepävarmuus on mittaustulokseen liitettävä parametri, joka arvioi mittaussuureen odotettua vaihtelua. Siihen vaikuttaa pääsääntöisesti mittauksissa käytettyjen mittalaitteiden ja mittausten suorittajan tarkkuus. [21, s. 98.]

Mittausepävarmuutta voidaan laskea kaavalla:

$$u = x_i \sqrt{\left(\frac{x_i \cdot u_{suht}}{x_i}\right)^2} \quad (7.)$$

Jossa

u = mittausepävarmuus

x_i = mittauksen tulos

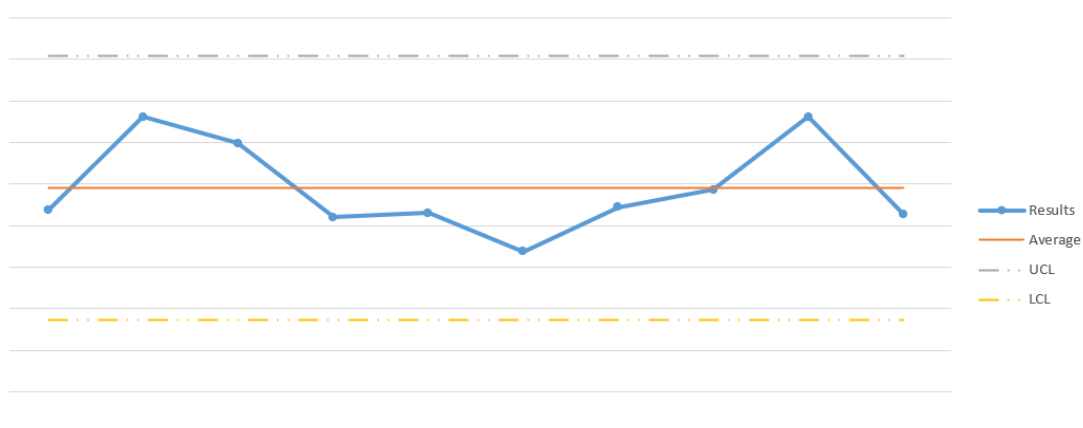
u_{suht} = mittalaitteen suhteellinen epävarmuus. [21, s. 98.]

Mittausepävarmuus ilmoitetaan aina mittatuloksen perässä ± merkin kanssa. Se tarkoittaa, että mittauksen todellinen arvo voi olla mittausepävarmuuden verran

molempiin suuntiin mittaustuloksen arvosta. Mittausepävarmuus on käyttökelpoinen mittari kuvaamaan mittauksen kyvykkyyttä. [21, s. 98.]

Kun halutaan arvioida jonkin prosessin laatua, siihen hyvä tapa on erinäiset tilastollisen laadunhallinnan työkalut. Yksi hyvä tapa vertailla kahden eri prosessin kyvykkyyttä on vertailla niiden keskihajontaa. Se kertoo paljon prosessin kyvystä tuottaa tasaista laatua.

Valvontakortti on yksi tilastollisen laadunhallinnan tärkeimpiä työkaluja. Sen avulla voidaan seurata prosessin suorituskykyä ja erottaa mittaustuloksista poikkeavuudet. [22, s.39]. Keskihajontaa hyväksikäyttäen on mahdollista määrittää mittaustuloksille valvontakortin kontrollirajat UCL (Upper Control Limit) ja LCL (Lower Control Limit). Kontrollirajojen avulla voidaan todeta normaalisti jakautuneen satunnaismuuttujan osuvan niiden väliin 99,7 % todennäköisyydellä. Pienessä mittauserässä tällä on hankala arvioida prosessin todellista kyvykkyyttä. Tällä tavoin saadaan kuitenkin selville, mille välille lähes kaikki mittaustulokset osuvat. Kuvassa 19 nähdään valvontakortti, jossa näkyy mittaustulosten perusteella tehty käyrä, keskiarvo, ylempi kontrolliraja ja alempi kontrolliraja. [22, s. 54].



Kuva 19. Esimerkkikuvaaja, johon on merkaattu tulokset, keskiarvo ja kontrollirajat.

Valvontakorttia varten täytyy laskea keskihajonta, joka saadaan kaavasta:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (8.)$$

jossa

s on keskihajonta

x_i on mittauksen tulos

\bar{x} on mittausten keskiarvo

n mittausten lukumäärä. [22, s. 74.]

Keskiarvo saadaan kaavasta:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}} \quad (9.)$$

[22, s. 60.]

UCL eli ylempi kontrolliraja saadaan kaavasta:

$$UCL = \bar{x} + (3 * s) \quad (10.)$$

[22, s. 61.]

LCL eli alempi kontrolliraja saadaan kaavasta:

$$LCL = \bar{x} - (3 * s) \quad (11.)$$

[22, s. 61.]

Edellä mainittu keskihajonta s on laadun arvioinnissa erittäin hyödyllinen luku. Se kuvaa keskimääräistä vaihtelua mittaustulosten välillä. Mitä suurempi keskihajonta prosessilla on, sitä epätarkempaa laatua se kykenee tuottamaan. Silloin kun keskihajonta on pieni, voidaan prosessin olettaa kykenevän tuottamaan taiseempaa laatua. [22, s. 42.]

7 Puristekiinnikkeiden testaus ja testilaitteisto

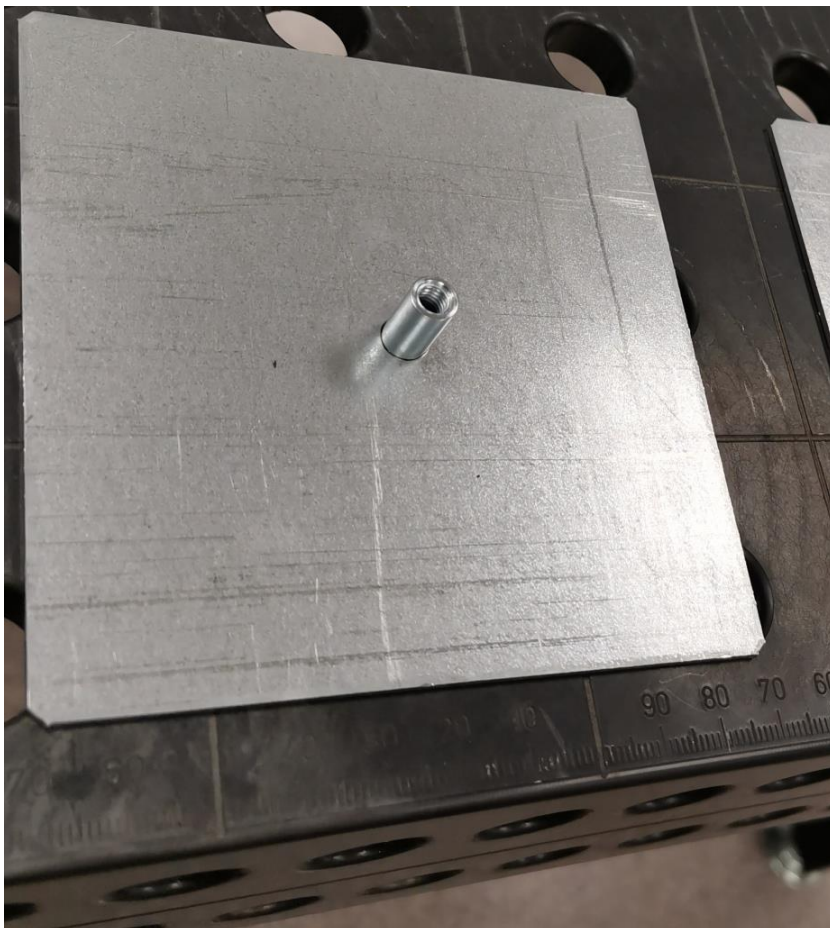
Seuraavaksi esitellään tässä tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät sekä testilaitteet. Kuvassa 20 on nähtävissä testattavat puristekiinnikkeet. Testattavaksi valikoitui BSO-M5-14 sinkitty umpikantainen välikierreholkki (kuvassa vasemmalla), BSO4-M5-14 rosterinen umpikantainen välikierreholkki (kuvassa keskellä) ja FH-M5-14 sinkitty puristepultti (kuvassa oikealla). Kyseiset puristekiinnikkeet valittiin testattavaksi, koska ne ovat toimeksiantajan yleisimmin käytettyjä puristekiinnikkeitä ja niitä voidaan koestaa samoilla menetelmillä.



Kuva 20. Kuvassa on testattavat puristekiinnikkeet. [14.]

Testattavia puristekiinnikkeitä tilattiin kahdelta eri toimittajalta. Toimitusketjuista tehtiin selvitys, jonka avulla varmistettiin, että valikoitujen toimittajien puristekiinnikkeet tulevat eri valmistajalta. Tässä raportissa käytetään valikoiduista toimittajista nimiä toimittaja 1 ja toimittaja 2.

Puristekiinnikkeiden testauksessa käytettiin testilevyä, johon ne on kiinnitetty. Kaikki koestettavat puristekiinnikkeet tilattiin 100 mm x 100 mm kokoiseen ohutlevyyn kiinnitettynä. Testilevyn materiaalina käytettiin kuumasinkittyä DX51D+Z275-M-B-C ohutlevyä, jonka ainevahvuus oli 1,5 mm. Toimittajalta saatujen kelatietojen mukaan testilevyn materiaalin murtolujuus on 380 MPa ja myötöraja 269 MPa [23]. Kuvassa 21 on nähtävissä testilevy, johon on puristettu välikierreholkki.



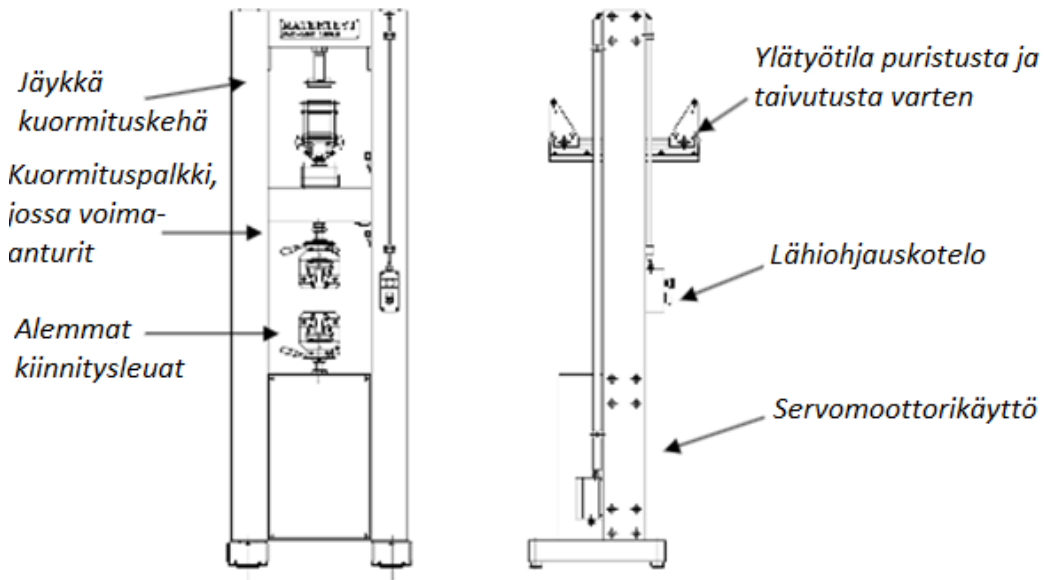
Kuva 21. Testilevy, jossa BSO-M5-14 välikierreholkki.

Puristekiinnikkeille suoritettiin vetokoe ja kiertolujuuskoe. Lisäksi koestettavista sisäkierreniiteistä mitattiin työntömitalla niissä olevan reiän syvyys. Testit suoritettiin kaikilla testimenetelmillä kymmenelle testikappaleelle. Testitulosten avulla vertailtiin toimittajia keskenään. Lisäksi tuloksia verrattiin katalogissa ilmoitettuihin lujuusarvoihin.

7.1 Vetokoe

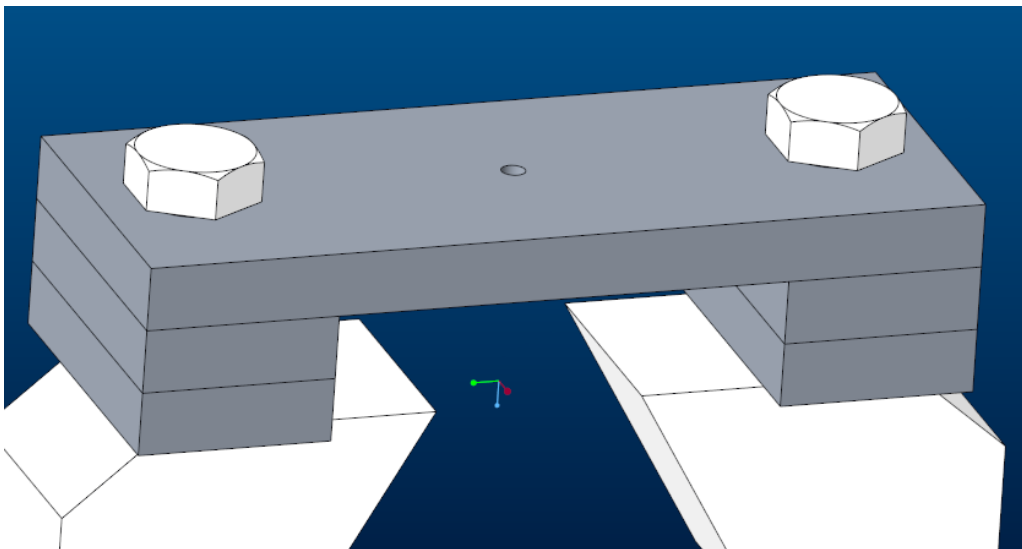
Vetokoe suoritetaan puristekiinnikkeille Matertest FMT-mec -vetolaitteella. Siinä on erikseen veto ja puristuspuoli. Tämä testi suoritetaan vetopuolella. Laitteen rakenne on nähtävissä kuvassa 22. Ylhäällä on laitteen puristuspuoli, välissä on liikkuva kuormituspalkki ja laitteen alatilassa on kiinnitysleuat vetokoestusta var-

ten. Laitteen viimeisin kalibrointitodistus on nähtävissä liitteessä 1. Siinä on esitettyä laitteen suhteelliset epävarmuudet, jotka on hyvä ottaa huomioon mitaustuloksissa.



Kuva 22. Vetolaitte, johon nimetty sen tärkeimmät osat. [24.]

Vetolaitteeseen tehtiin rakenneteräksestä puristekiinnikkeiden koestamiseen soveltuva testijigi. Testijigi koostui neljästä korokepalasta ja yhdestä poikkipalkista. Poikkipalkkiin porattiin aiemmin kuvassa 14 esitetyn kokoinen reikä. Koska välikierreholkin ja puristepultin ulkohalkaisijat ovat erilaiset, täytyi poikkipalkkeja valmistaa kaksi kappaletta erikokoisilla reillä. Jigin osat koneistettiin manuaalisesti 100 x 20 lattaraudasta. Jigin osat kiinnitettiin vetolaitteen alempaan kiinnitysleukaan M24 koon pulteilla. Kuvassa 23 on esitettyä 3D-malli vetolaitteen alempaan kiinnitysleukaan kiinnitetystä jigistä.



Kuva 23. Vetokoetta varten valmistetun testijigin 3D-malli.

Vetokokeessa testikappale asetetaan jigin alapuolelle niin, että puristekiinnike osuu poikkipalkin reikään. Tämän jälkeen puristekiinnikkeeseen kiinnitettiin jatkovarsi, joka asetettiin ylemmän kiinnitysleuan ruuvipuristimeen ja puristettiin kiinni. Jatkovartena käytettiin DIN 912 M5-180 -kuusiokoloruuvia, jonka lujuusluokitus oli 12.9. Välikierreholkkiin ruuvi kierrettiin kiinni suoraan, mutta puristepultin tapauksessa käytettiin välissä DIN 6334 M5 -jatkomutteria, jotta testiruuvi saatiin kiinnitettyä. Sekä testiruuvi, että jatkomutteri vaihdettiin uusiin jokaisen testikappaleen kohdalla. Kuvassa 24 on esitettyä testijigi kiinnitettynä vetolaitteen alempaan kiinnitysleukaan. Kuvassa välikierreholkilla varustettu testilevy on kiinnitetty vetolaitteeseen.



Kuva 24. Vetokone ja testijigi, johon on asetettu testikappale vetokoetta varten.

Vetokokeiden tulokset kerättiin ForceProof-tietokoneohjelmalla. Sen avulla saatiin talteen puristekiinnikkeeseen kohdistunut voima, sekä voima-siirtymä kuvaajat testivedoista.

7.2 Kiertolujuuskoe

Kiertolujuuden mittaamisessa käytettiin Atlas Copcon valmistamaa STwrench-älyväännintä, joka on esitetynä kuvassa 25. Sen avulla mitattiin puristekiinnikkeiden murtumismomenttia. Älyväänninissä on murtumismomenttia mittaava ohjelma, joka taltioi suurimman mitatun momentin. Lisäksi älyväänninellä on

mahdollista tallentaa momentti – kiertokulma kuvaajan vääntötesteistä.

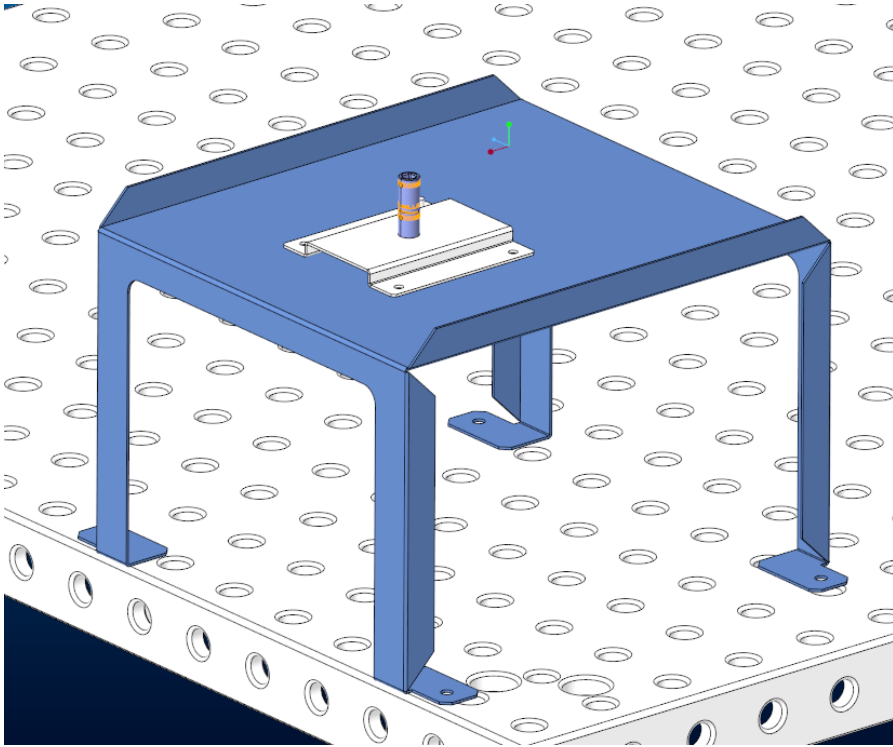
STwrench-älyvääntimen viimeisin kalibroitodistus on nähtävissä liitteessä 2.

Kalibroitodistuksen avulla voidaan laskea mittausepävarmuutta mittauksissa.



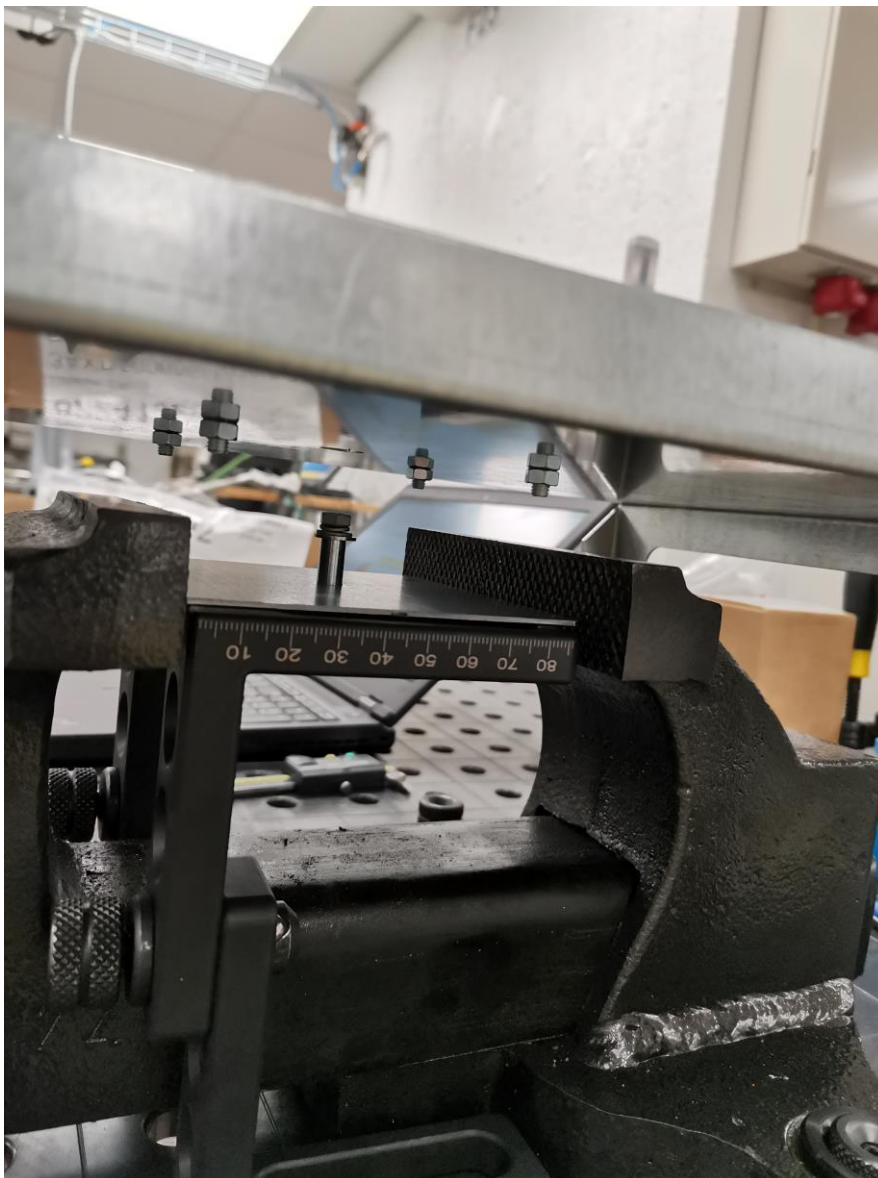
Kuva 25. STwrench-älyvääntin.

Kiertolujuuden mittaamista varten suunniteltiin ohutlevystä testijigi, jonka tarkoituksena on minimoida puristekiinnikkeeseen kohdistuvaa taivutusta. Jigin valmistus tilattiin eräältä ABB Oy:n alihankkijalta. Jigi koostui rungosta ja siihen kiinnitettävästä sovitelevystä, joissa molemmissa oli 8 mm kuusiohysyn ulkohalkaisijan kokoinen reikä. Kun hylsyn työntää niistä läpi, se on tuettu kahdesta pisteestä, eikä täten pääse aiheuttamaan taivutusta puristekiinnikkeeseen vääntötestin aikana. Kuvassa 26 on testijigi, sovitelevy sekä hylsy.



Kuva 26. Kiertolujuuskoetta varten valmistetun testijigin 3D-malli.

Testijigi asetoitiin normaalin ruuvipenkin päälle niin, että testikappaleen ollessa asemoituna puristimeen, puristekiinnike on jigissä olevan reiän kohdalla. Testilevy asemoitiin aina samalle korkeudelle hitsauskiinnikkeillä. Vääntötestiä varten ruuvattiin välikierreholkkeihin DIN 933 M5x12 kuusioruuvi lujuusluokituksella 10.9 ja puristepultteihin DIN 1587 M5 hattumutteri lujuusluokituksella 6. Näin vääntömomentti saatiin välitettyä puristekiinnikkeeseen hylsyn avulla. Kuvassa 27 on testijigi ja testilevy ruuvipuristimeen kiinnitettynä.



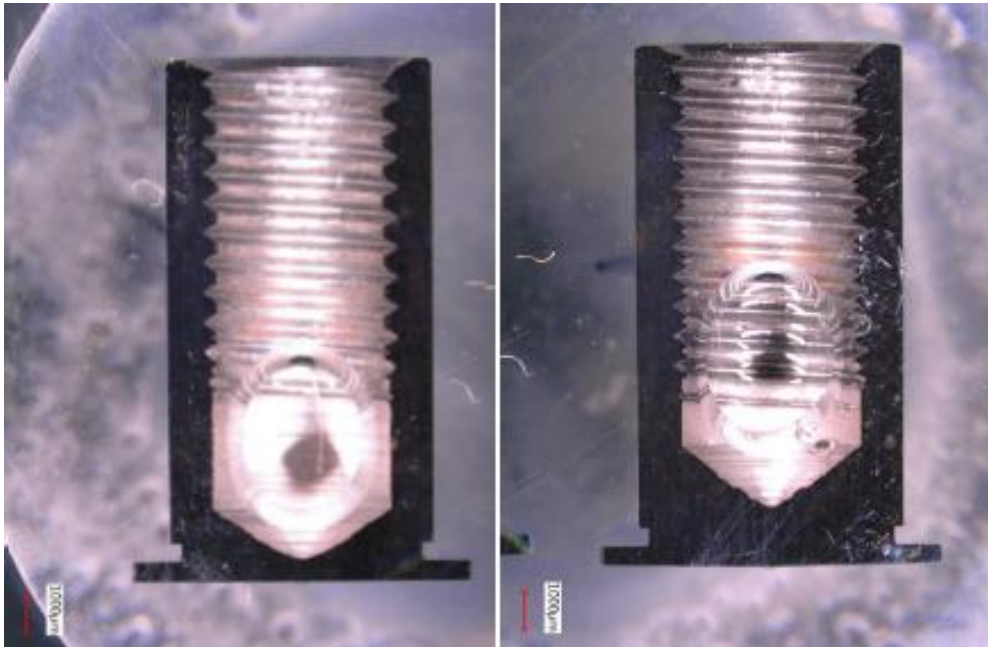
Kuva 27. Kiertolujuuskokeen testilaitteisto.

Vääntötestien tulokset luettiin STwrench-älyvääntimen näytöltä. Lisäksi testiosista tallennettiin näytösluontoisesti momentti – vääntökulma käyrät.

7.3 Välikierreholkkien reiän syvyyden mittaus

Testatuista välikierreholkeista mitattiin niiden kierteytetyn reiän syvyys. Tällä on vaikutusta puristekiinnikkeen kannan materiaalivahvuuteen ja voi mahdollisesti siksi vaikuttaa sen murtumiseen. Mittaukset suoritettiin kuvassa 29 olevalla

työntömitalla, jossa on digitaalinen näyttö tulosten lukemista varten. Tulokset luettiin 0,1 mm tarkkuudella. Kuvassa 28 on nähtävissä, kuinka välikierreholkin reiän syvyys vaikuttaa sen kannan materiaalivahvuuteen, joka taas voi vaikuttaa puristekiinnikkeen kestävyYTEEN.



Kuva 28. Läpileikattuja umpikantaisia välikierreholkkeja, joissa on eri syvyiset reiät. [4.]

Työntömitan syvyyttä mittavalla mittakärjellä ei ole mahdollista mitata välikierreholkissa olevan reiän todellista syvyyttä sen kartioimaisen pohjan muodon vuoksi. Tästä syystä mittaukset eivät ole absoluuttisia, mutta samalla tavalla tehdyt mittaukset tämän työn puitteissa ovat vertailukelpoisia. Näin voidaan arvioida esimerkiksi toimittajien välisiä eroja puristekiinnikkeen geometriassa.



Kuva 29. Työntömitta, jolla mitattiin välikierreholkkien reiän syvyyttä.

8 Testitulokset ja niiden analysointi

Testeistä saadut tulokset taulukoitiin ja niiden pohjalta tuotettiin erinäisiä parametrejä sekä kuvaajia havainnollistamaan testien tuloksia. Mittaustulosten perusteella laskettiin mittaussarjan keskiarvo, pienin arvo, suurin arvo ja keskihajonta. Lisäksi testattuja kappaleita analysoitiin visuaalisesti, niiden hajoamismekanismien erittelemiseksi.

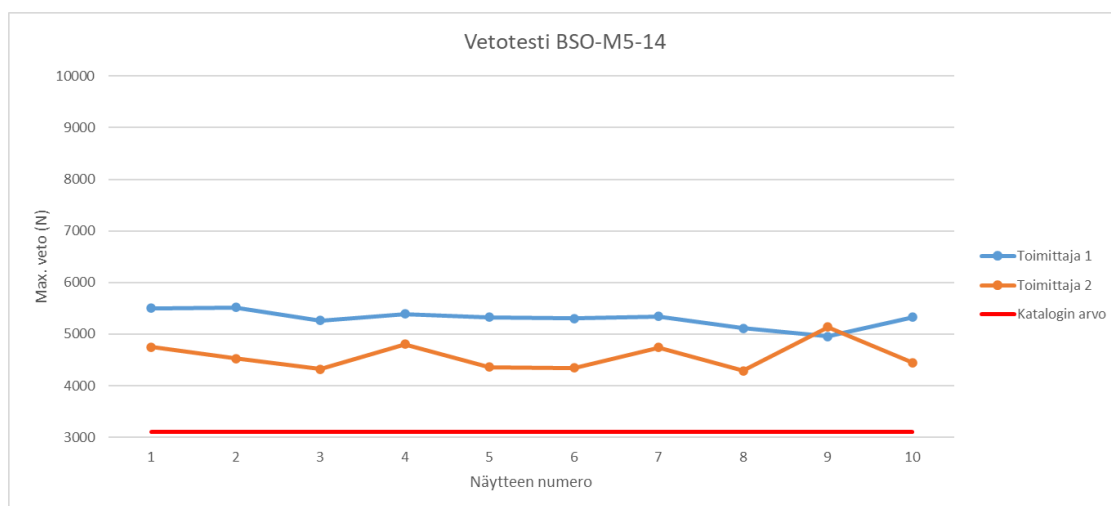
Testituloksia vertailtiin toimittajien välillä keskenään ja lisäksi molempien toimittajien testituloksia verrattiin katalogissa ilmoitettuihin arvoihin.

8.1 Vetokokeen tulokset

Vetokokeessa vetolaite asetettiin vetämään puristekiinnikettä rakennetussa testijigissä, kunnes se murtuu. Voima-anturi taltioi puristekiinnikkeeseen kohdistetun vedon koko testin ajalta ja suurin taltioitu voima tallennettiin testin tuloksena.

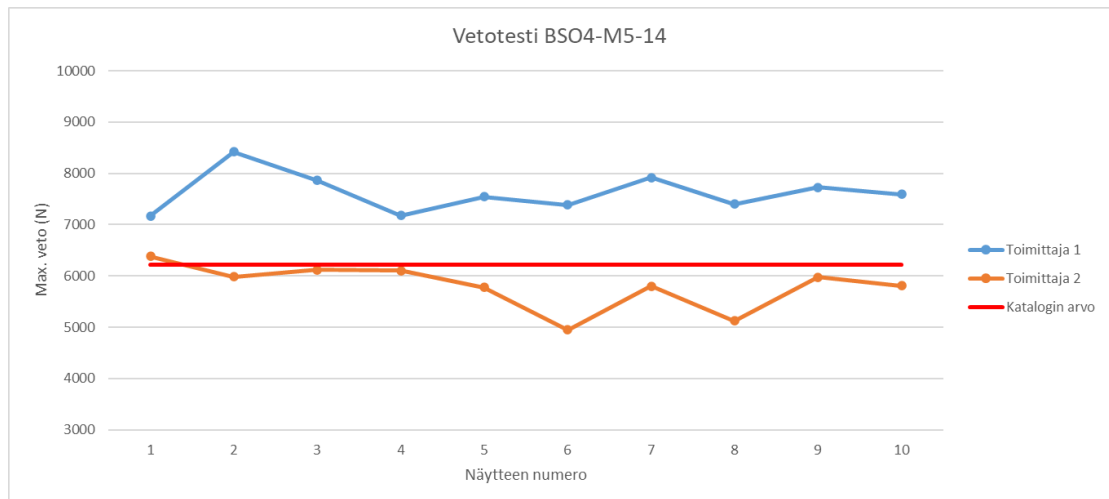
Liitteessä 7 on nähtävissä esimerkki kymmenestä voima - siirtymä kuvaajasta havainnollistamaan kuormituksen muutoksia vedon aikana.

BSO-M5-14 umpikantaisen välikierreholkin vetotestien tulokset ovat esitettynä taulukossa, joka on nähtävissä liitteissä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 30. Pystyakselilta nähdään testistä saatu suurin veto Newtonina ja vaaka-akselilta nähdään näytteen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2 testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa vetotestille.



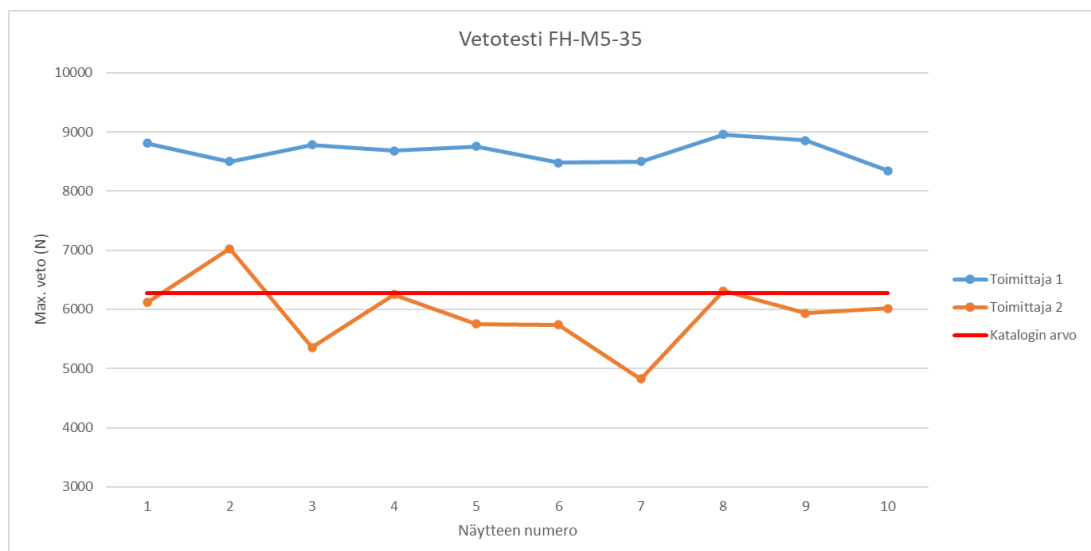
Kuva 30. Viivadiagrammi BSO-M5-14 välikierreholkin vetotestien tuloksista.

BSO4-M5-14 umpikantaisen välikierreholkin vetotestien tulokset ovat esitettynä taulukossa, joka on nähtävissä liitteissä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 31. Pystyakselilta nähdään testistä saatu suurin veto Newtonina ja vaaka-akselilta nähdään näytteen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2 testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa vetotestille.



Kuva 31. Viivadiagrammi BSO4-M5-12 umpikantaisen välikierreholkin vetotestien tuloksista.

FH-M5-35 puristepultin vetotestien tulokset ovat esitettynä taulukossa, joka on nähtävissä liitteistä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 32. Pystyakselilta nähdään testistä saatu suurin veto Newtonina ja vaaka-akselilta nähdään näytteen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2 testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa vetotestille.

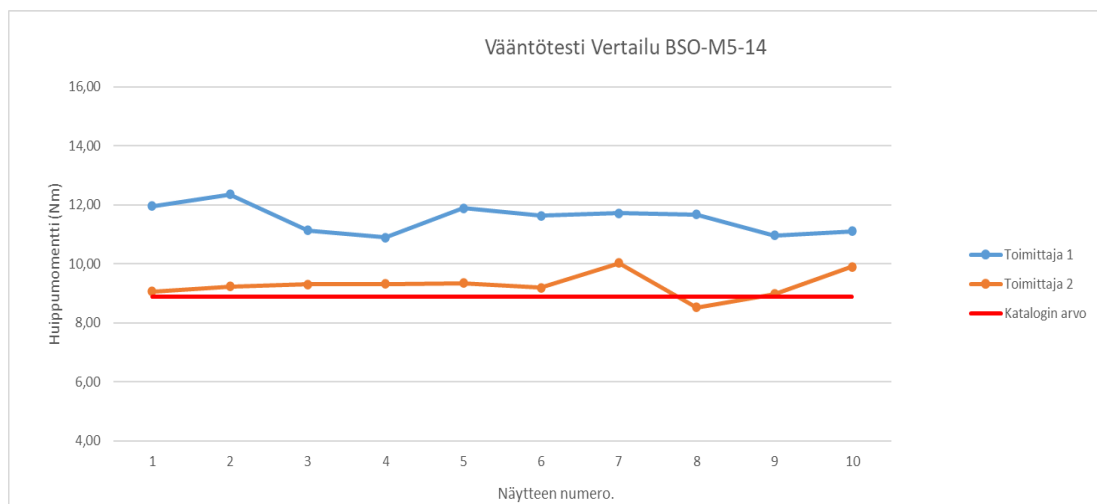


Kuva 32. Viivadiagrammi, jossa esitettynä FH-M5-35 puristepultin vetotestien tulokset.

8.2 Kiertolujuuskokeen tulokset

Kiertolujuuskokeet suoritettiin STwrench-älyvääntimellä. Puristekiinnikkeitä kiertettiin, kunnes saatiin taltioitua suurin syntynyt momentti. Liitteessä 8 on nähtävissä havainnollistava momentti - kulma kuvaaja, jossa nähdään vääntötestin aikana tapahtuvia momentin muutoksia kiertokulman suhteen.

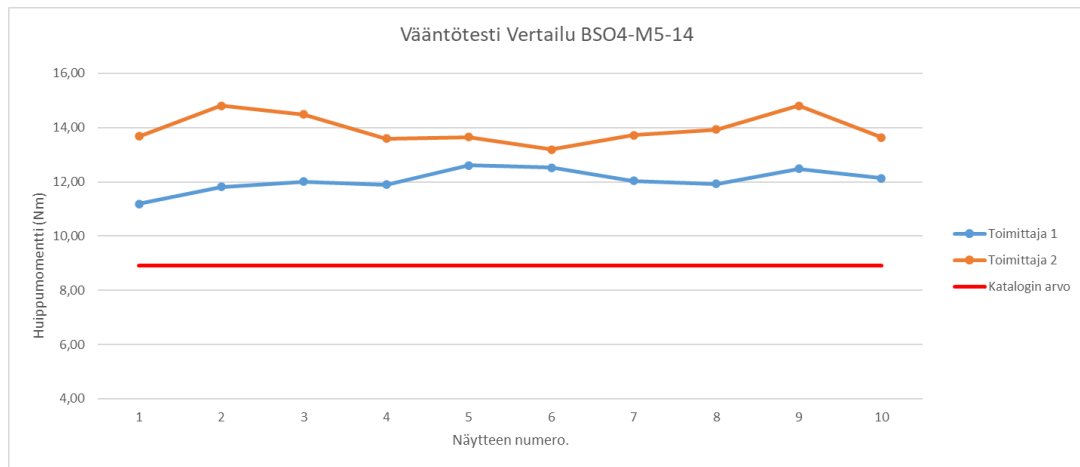
BSO-M5-14 kiertolujuustestien tulokset ovat esitettynä taulukossa, joka on nähtävissä liitteissä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 33. Pystyakselilta nähdään suurin testin aikana mitattu momentti newtonmetreinä ja vaaka-akselilta nähdään näytekappaleen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2 testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa kiertolujuustestille.



Kuva 33. Viivadiagrammi, jossa on esitettynä BSO-M5-14 umpikantaisen välikierreholkin kiertolujuustestien tulokset.

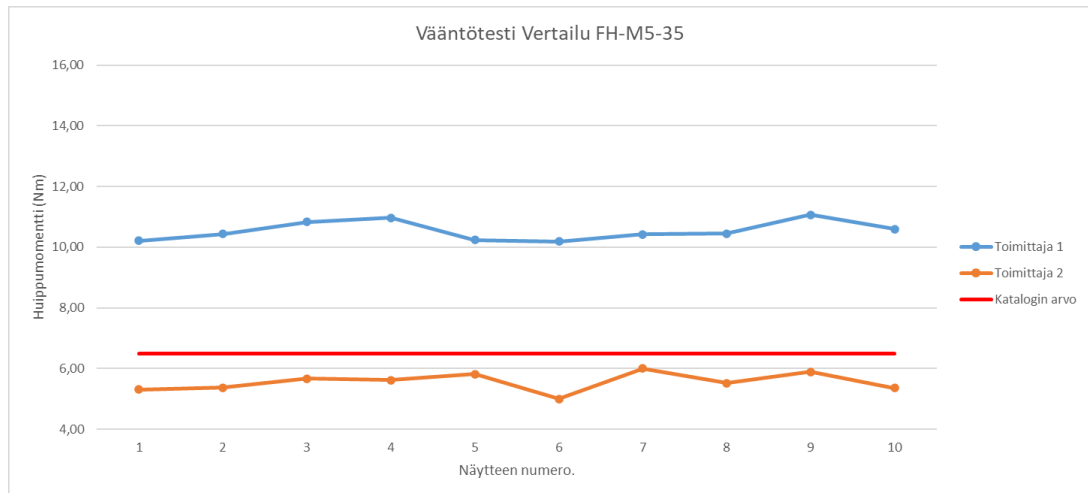
BSO4-M5-14 kiertolujuustestien tulokset ovat esitettynä taulukossa, joka on nähtävissä liitteissä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 34. Pystyakselilta nähdään suurin testin aikana mitattu momentti newtonmetreinä ja vaaka-akselilta nähdään näytekappaleen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2

testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa kiertolujuustestille.



Kuva 34. Viivadiagrammi, jossa on esitetty BSO4-M5-14 umpikantaisen välikierreholkin kiertolujuustestien tulokset.

FH-M5-35 puristepultin kiertolujuustestien tulokset ovat esitetty taulukossa, joka on nähtävissä liitteissä 3 ja 4. Taulukoiden perusteella on laadittu viivadiagrammi, joka näkyy kuvassa 35. Pystyakselilta nähdään suurin testin aikana mitattu momentti newtonmetreinä ja vaaka-akselilta nähdään näytekappaleen numero. Sininen viiva kuvaa toimittajan 1 testituloksia, oranssi viiva kuvaa toimittajan 2 testituloksia ja punainen viiva kuvaa PEM® tuotekatalogissa ilmoitettua arvoa kiertolujuustestille.



Kuva 35. Viivadiagrammi, jossa on FH-M5-14 puristepultin kiertolujuustestien tulokset.

8.3 Välikierreholkkien reiän syvyys

Välikierreholkkien reikien syvyyksiä mitattiin työntömitalla. Mittaustulokset ovat esitettyinä taulukossa, joka on nähtävissä liitteessä 5. Taulukossa 2 on tulosten pohjalta laskettu mittaussarjan keskiarvo, pienin arvo, suurin arvo ja keskihajonta.

Taulukko 2. Välikierreholkkien reikien syvyyksien pohjalta laskettuja parametreja.

Toimittaja 1			Toimittaja 2		
	BSO-M5-14	BSO4-M5-14		BSO-M5-14	BSO4-M5-14
Average	12,1	9,7	Average	12,1	11,9
Min.	12,0	9,5	Min.	12,1	11,4
Max.	12,2	9,8	Max.	12,1	12,6
Standard deviation	0,1	0,1	Standard deviation	0,0	0,5

8.4 Teoreettisesti laskettuja arvoja

Mittauksille laskettiin mittaasepävarmuutta aiemmin esitetyn kaavan 7 avulla. Mittalaitteen epävarmuus saatiin kalibrointitodistuksista, jotka ovat nähtävissä

liitteissä 1 ja 2. Vetokokeen tulosten epävarmuudeksi saatiin ± 62 N ja kiertolujuuskokeen epävarmuudeksi $\pm 0,036$ Nm.

Testitulosten perusteella laskettiin teoreettisesti, pitääkö testeissä saadut tulokset paikkansa. Vääntötestissä varresta hajoaneet toimittajan 2 puristepultit kestivät keskimäärin 5,55 Nm vääntö ennen hajoamistaan. Täten kaavan 4 avulla voidaan laskea puristepultissa vaikuttanut vääntöjännitys käyttämällä keskiarvoa laskuissa.

Ensin lasketaan vääntövastus puristepultille:

$$W_{vs} = \frac{\pi \cdot (4,25 \text{ mm})^3}{16} = 15,07 \text{ mm}^3.$$

Tämän jälkeen voidaan laskea vääntöjännitys:

$$\tau_v = \frac{5500 \text{ Nmm}}{15,07 \text{ mm}^3} = 364 \text{ Mpa}$$

Vääntöjännitystä voidaan verrata materiaalissa vaikuttavaan leikkausjännitykseen. Täten voidaan laskea paljonko leikkausjännitystä puristepultin kanta kestäisi teoreettisesti. Puristepultin kannan paksuus on 0,8 mm.

Lasketaan puristepultin leikkautuvan pinnan pinta-ala kaavalla 3:

$$A_y = 2 * \pi * 2,5 \text{ mm} * 0,8 \text{ mm} = 12,56 \text{ mm}^2.$$

Lasketaan voima kaavasta 2:

$$Q = 12,56 \text{ mm}^2 * 364 \text{ Mpa} = 4572 \text{ N}.$$

Tämä arvo on teoreettinen, jos puristepultin kantaan ei kohdistu muita voimia. Vetotesteissä saadut tulokset vaihtelevat noin 4800 N ja 7000 N välillä. Laskettu voima asettuu melkein tulosten alapäähän. Teoreettisessa laskennassa ei ole

otettu huomioon esimerkiksi puristepultin ja testilevyn välistä kitkavoimaa. Lisäksi puristepultin geometria voi aiheuttaa vastustavia voimia. Laskennan avulla voidaan kuitenkin osoittaa testitulosten välinen yhteys.

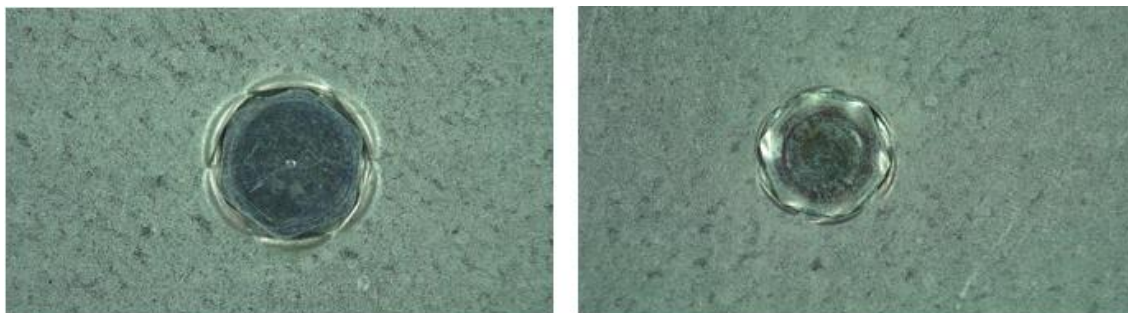
8.5 Tulosten analysointi

Testitulosten perusteella voidaan todeta, että toimittajan 1 tuotteiden testitulokset ovat kaikki katalogissa luvattujen arvojen yläpuolella. Toimittajan 2 tuotteet puolestaan jäivät joissain testeissä kokonaan tai osittain katalogissa ilmoitettujen arvojen alapuolelle. Mittausepävarmuus oli mittalaitteiden suhteellisen epävarmuuden perusteella niin pieni, että se ei vaikuta tutkimuksen lopputulokseen.

BSO-M5-14 umpikantaisten välikierreholkkien tapauksessa toimittaja 1 oli selvästi parempi kuin toimittaja 2 ja ylitti katalogissa ilmoitetun arvon selvästi. Toimittajan 2 testitulokset ylsivät vetokokeessa katalogissa ilmoitetun arvon yläpuolelle, mutta kiertolujuustestissä se jäi osittain kyseisen arvon alapuolelle.

Kiertolujuustestatuiden kappaleiden visuaalisessa tarkastelussa huomattiin eroja puristekiinnikkeiden kannoissa. Kuvassa 36 vasemmalla on toimittajan 1 puristekiinnike ja oikealla toimittajan 2 puristekiinnike. Kuvasta voidaan huomata kuinka toimittajan 1 puristekiinnikkeen kanta on pysynyt muuttumattomana ohutlevyn materiaalin antaessa periksi, kun taas toimittajan 2 puristekiinnikkeen kannan reunat ovat muokkautuneet kiertolujuustestin aikana. Tämän perusteella voidaan päätellä toimittajan 2 BSO-M5-14 puristekiinnikkeen olevan ma-

terialliltaan tai geometrialtaan eriävä toimittajan 1 vastaavaan puristekiinnikkeeseen verrattuna.



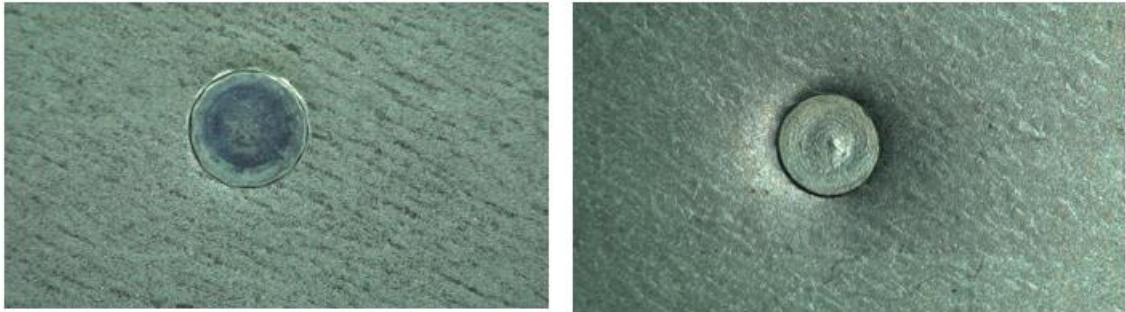
Kuva 36. Toimittajan 1 puristepultti (vasemmalla) ja toimittajan 2 puristepultti (oikealla) kiertolujuustestien jälkeen.

BSO4-M5-14 umpikantaisten välikierreholkkien testitulosten perusteella toimittajan 1 puristekiinnikkeet olivat parempia kuin toimittajan 2. Vetokokeessa toimittajan 1 puristekiinnikkeiden testitulokset olivat selvästi yli katalogissa ilmoitetun arvon, mutta toimittajan 2 puristekiinnikkeen testitulokset jäivät osittain katalogissa ilmoitetun arvon alapuolelle. Kiertolujuustestin tuloksien perusteella toimittaja 2 oli hieman parempi kuin toimittaja 1, mutta molempien toimittajien puristekiinnikkeiden testitulokset ylittivät katalogissa ilmoitetun arvon.

BSO4-M5-14 umpikantaisen välikierreholkin kiertolujuustesteissä huomattiin visuaalisen tarkastelun seurauksena, että kummankaan toimittajan puristekiinnikkeiden kannat eivät olleet muokkautuneet testin aikana. Tämä tarkoittaa, että testilevyn materiaali on antanut periksi ennen kuin niitin materiaali. Täten voidaan päätellä testitulosten välisen eron johtuvan puristekiinnikkeiden geometrisistä eroista tai eri asetuksilla tehdystä asennuksesta.

FH-M5-35 puristepultin testitulosten perusteella toimittaja 1 oli selvästi parempi, kuin toimittaja 2. Toimittajan 1 puristepulttien veto- sekä kiertolujuustestien tulokset olivat reilusti yli katalogissa ilmoitetun arvon. Toimittajan 2 puristepulttien testitulokset olivat molemmissa testeissä katalogissa ilmoitettujen arvojen alapuolella. Visuaalisessa tarkastelussa huomattiin, että toimittajan 1 puristepultteja testatessa puristepultin kanta ei muokkaantunut vaan testilevy antoi periksi.

Toimittajan 2 puristepultit hajosivat kiertolujuustesteissä niiden varresta. Kuvassa 37 on vasemmalla toimittajan 1 puristepultti ja oikealla toimittajan 2 puristepultti. Puristepulttien materiaalit ovat myös silminnähten hyvin erilaisia. Lisäksi liitteessä 6 on nähtävissä toimittajan 2 varresta murtuneen puristepultin leikkauspinta kiertolujuustestin jälkeen.



Kuva 37. Toimittajan 1 puristepultti (vasemmalla) ja toimittajan 2 puristepultti (oikealla) kiertolujuustestien jälkeen.

Puristepulttien testitulosten ja visuaalisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että toimittajan 2 puristepultit olivat selvästi heikompaa materiaalia kuin toimittajan 1 puristepultit. Toimittajan 1 puristepultit kestivät testissä selvästi enemmän momenttia, eikä itse kiinnike vaurioitunut testauksessa, kun taas toimittajan 2 puristepultit kestivät testissä huomattavasti vähemmän momenttia ja itse kiinnikkeet vaurioituivat.

Välikierrholkkien reiän syvyyden mittauksessa havaittiin toimittajakohtaisia eroja puristekiinnikkeen geometriassa. Taulukossa 2 voidaan nähdä BSO-M5-14 välikierrholkkien reikien syvyyksien keskiarvon ja keskihajonnan olevan hyvin lähelle samat. BSO4-M5-14 välikierrholkkien reikien syvyyksien keskiarvot ja keskihajonnat eroavat kuitenkin selvästi toisistaan. BSO4-välikierrholkeissa toimittajan 2 puristekiinnikkeissä oli selvästi syvempi reikä kuin toimittajan 1 puristekiinnikkeissä. Lisäksi mittausten keskihajonta oli BSO4-välikierrholkeissa selvästi suurempi toimittajalla 2 kuin toimittajalla 1.

Liitteissä 3 ja 4 on esitettyä vetotestien sekä kiertolujuustestien tuloksia. Tuloksien pohjalta on laskettu keskihajontaa, joka kuvaa mittatulosten keskimääristä

vaihtelua keskiarvosta katsottuna. Kun verrataan toimittajien keskihajontaa keskenään, nähdään toimittajan 1 omaavan usein toimittajaa 2 alhaisemman keskihajonnan. Varsinkin FH-M5-35 puristepulttien vetotestissä ero on suuri toimittajan 1 keskihajonnan ollessa 189 N ja toimittajan 2 keskihajonnan ollessa 557 N. Pieni keskihajonta kertoo tuotantoprosessin kyvykkyydestä tuottaa tasaista laatua ja suuri keskihajonta taas tarkoittaa laadun vaihtelevan enemmän.

8.6 Tutkimuksen käyttökelpoisuus ja jatkotoimenpiteet

Tutkimuksen tuloksiin vedoten voidaan todeta, että puristekiinnikkeiden laadussa voi toimittajien välillä olla suuriakin eroja. Puristekiinnikkeiden mekaaniset ominaisuudet voivat vaihdella, mutta myös toimittajan sisäisissä vaihteluissa oli selkeitä eroavaisuuksia. Ennen tutkimusta ei voitu olla varmoja toimittajien välisestä laadun vaihtelusta, eikä siitä, kuin suurta se voi olla.

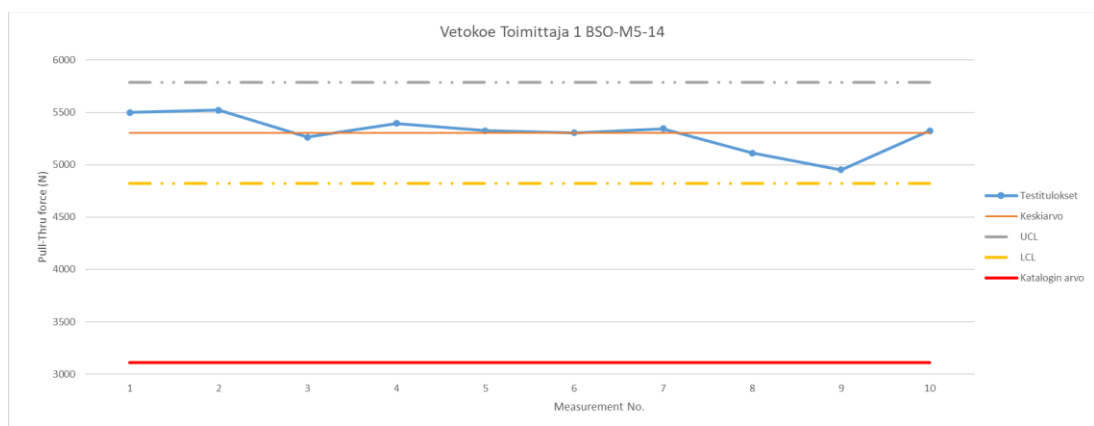
Tämä tutkimus kattoi vain M5-kierteellisiä puristekiinnikkeitä ja myös puristekiinniketyyppejä jouduttiin rajaamaan. Tämän työn tulosten pohjalta voidaan todeta, että puristekiinnikkeiden laatua ja lujuusominaisuuksia kannattaisi testata myös laajemmin. Tutkimusta voisi jatkossa laajentaa muun muassa eri kokoihin puristekiinnikkeisiin ja mittausarjojen kokoa voisi kasvattaa tulosten luotettavuuden lisäämiseksi.

Puristekiinnikkeiden laatu ja sen valvonta on paljon kiinni niiden toimittajista. Tällä hetkellä ainakaan kaikki toimittajat eivät testaa puristekiinnikkeitä, jonka vuoksi niiden laatua ei voida tietää. Myöskään puristekiinnikkeitä sisältävien osien piirustuksissa ei ole asetettu vaatimuksia käytettyjen puristekiinnikkeiden suhteen. Jatkossa voitaisiin luoda spesifikaatio, joka vaatii puristekiinnikkeiden testausta. Spesifikaatiossa voitaisiin määrittää pienimmät sallitut lujuusarvot, jotka käytettävien puristekiinnikkeiden tulee ylittää.

Mittausarjan tulosten perusteella voitaisiin määrittää kontrollirajat. Kontrollirajat voidaan laskea keskihajonnan perusteella aiemmin esitellyillä kaavoilla 10 ja 11. Jos oletetaan, että puristekiinnikkeiden valmistusprosessi on normaalitilassa ja tulokset ovat normaalisti jakautuneita, tulisi 99,7 % mittaustuloksista sattu

kontrollirajojen väliin. Tämän tiedon perusteella voitaisiin spesifikaatiossa määrittää, että alempi kontrolliraja ei saa alittaa valmistajan katalogissa ilmoitettua arvoa. Tällaisen rajauksen avulla voitaisiin sanoa suurella todennäköisyydellä, että käytettävät puristekiinnikkeet ovat riittävän vahvoja.

Kuvassa 38 on esimerkkinä laadittu toimittajan 1 BSO-M5-14 välikierreholkin vetokoetuloksista kuvaaja, joka sisältää testitulokset, keskiarvon, katalogin arvon ja kontrollirajat. Kuvaajasta voidaan heti nähdä, että alempi kontrolliraja on selvästi katalogissa ilmoitetun arvon yläpuolella.



Kuva 38. Toimittajan 1 BSO-M5-14 välikierreholkin vetokoetulosten perusteella laadittu kuvaaja.

Spesifikaatio voisi laadun testausmenetelmän osalta hyödyntää ruuveille käytettävää laadun hallinnan standardia ISO-3269. Standardissa ruuveille on asetettu vaatimuksia riippuen halutusta laatuluokasta. Laatuluokat on jaettu sen mukaan, miten suuri mittausarja ruuveja testataan ja miten moni mittausarjan ruuvi saa alittaa annetut arvot, jotta laatu on vielä hyväksyttävää. Puristekiinnikkeiden laatuspesifikaatiossa voisi käyttää samanlaista vaatimusta.

9 Yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli tutkia puristekiinnikkeiden lujuusominaisuuksia ja toimittajien välistä laadun vaihtelua. Tutkimuksen perusteella saatiin selville, että puristekiinnikkeiden lujuudessa ja geometriassa voi olla laadun kannalta suuria eroja. Tutkimus haluttiin tehdä, koska puristekiinnikkeille ei ole vastaavaa laadun varmistavaa standardia tai spesifikaatiota, jonka avulla voitaisiin varmistua niiden laadusta. Lisäksi puristekiinniketoimittajien välisestä laadun vaihtelusta ei ollut tutkimustietoa, joten tulosten avulla voidaan osoittaa, ovatko toimenpiteet puristekiinnikkeiden laadun varmistamiseksi tarpeellisia.

Tutkimus aloitettiin keräämällä tietoa puristekiinnikkeistä ja niiden ominaisuuksista. Lisäksi otettiin selvää PEM®:n virallisista puristekiinnikkeiden testausmenetelmistä, joiden avulla katalogissa ilmoitetut lujuusarvot on saatu selville. Testausmenetelmien selvittämisen perusteella tämän tutkimuksen testimenetelmiksi valittiin vetokoe ja kiertojuuskoe. Kokeiden suorittamiseksi valmistettiin PEM® piirustusten pohjalta jiggit, joiden avulla testikappaleet saatiin koestettua.

Koestusta varten hankittiin testilevyjä, joihin puristekiinnike on kiinnitetty. Testikappaleille suoritettiin vetokoe ja kiertojuuskoe. Lisäksi välikierrholkeista mitattiin niissä olevan reiän syvyyttä, jotta voitaisiin vertailla puristekiinnikkeiden geometriaa keskenään. Puristekiinnikkeiden lujuutta ja testimenetelmissä puristekiinnikkeisiin syntyneitä jännityksiä arvioitiin myös laskemalla.

Testitulosten perusteella toimittajan 2 puristekiinnikkeiden lujuusominaisuudet olivat selvästi heikommat verrattuna toimittajan 1 puristekiinnikkeisiin. Osittain toimittajan 2 puristekiinnikkeet jäivät myös alle katalogissa ilmoitettujen lujuusarvojen, joita voidaan pitää laadun minimivaatimuksena. Lisäksi mitattiin välikierrholkkien reiän syvyyttä, jonka seurauksena selvisi, että myös puristekiinnikkeiden geometriassa voi olla vaihtelua toimittajasta riippuen.

Testitulosten perusteella ehdotettiin jatkotoimenpiteenä spesifikaation laatimista, jossa eriteltäisiin muun muassa testausmenetelmät, pienimmät sallitut lujuusarvot ja testisarjojen koot. Pienimpien sallittujen lujuusarvojen laskemiseen ehdotettiin käytettäväksi tilastollisen laadunhallinnan työkaluja kuten kontrollirajoja. Lisäksi ehdotettiin kiinnitystarvikkeiden testausstandardin ISO-3269 hyödyntämistä testaussarjojen ja niiden laadun määrittämiseen.

Lähteet

1. Historia. Verkkoaineisto. Abb Oy. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>>. Luettu 09.01.2023.
2. ABB Oy, Drives. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnaat/drives>>. Luettu 15.02.2023.
3. Saving with self-clinching fasteners. 2015. Verkkoaineisto. Engineering live. Luettu 14.02.2023.
4. Blind Hole Threaded Standoffs - supplier comparison. Yrityksen sisäinen dokumentti. Abb System Drives Oy
5. Rolling. Verkkoaineisto. University of Cambridge. <<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/metal-forming-2/rolling.php>>. Luettu 06.11.2022.
6. Marciniak, Zdzislaw ; John Duncan ; Zdzislaw Marciniak. Mechanics of sheet metal forming. E- Kirja. Burlington Butterworth-Heinemann 2002.
7. Valtanen, Esko. 2019. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis Kirjat Oy.
8. SFS-EN ISO 6892-1. Metallien vetokoe. 2019. Vetokoe huoneenlämpötilassa. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
9. SFS-EN 10346. Jatkuvatoinimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut ohutlevyteräukset. 2015. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
10. McKenna, Jay. Self-clinching theory. Koulutusaineisto. PennEngineering.
11. Kierteytys. Verkkoaineisto. Sandvik Coromant. <<https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/threading/pages/default.aspx>>. Luettu 24.11.2022.
12. SFS-ISO 68-1. Metrinen ISO kierre yleiskäyttöön. 2010. Perusprofiili. Osa 1: Metrinen ruuvikierre. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
13. SFS ISO 898-1. Kiinnityselimien lujuusominaisuudet. 2013. Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
14. PEM® fasteners catalog. 2022. Verkkoaineisto. PennEngineering. <<https://www.pemnet.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/07/PEM-Catalog.pdf>>. Luettu 06.11.2022.

15. John Sprovieri. 2018. Self-Clinching Fasteners. PennEngineering. Assembly Magazine. 09/2018.
16. Attarian, Leon. M. 2016. Clinching successfully into stainless steel. American fastener journal 08/2016.
17. ISO 3269. Fasteners. 2015. Acceptance inspection. Switzerland.
18. Doody, Shane. 2022. Sovellussuunnittelupäällikkö. PennEngineering. Sähköposti.
19. NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus. Verkkoaineisto. Kiwa. <<https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/ndt-tarkastus-ja-teknologiapalvelut/ndt-tarkastus-eli-rikkomaton-aineenkoetus-ndt-non-destructive-testing/>>. Luettu 14.02.2023.
20. Aumala, Olli. 2006. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.
21. Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
22. Gupta, Bhisham. C & Walker, H. Fred. 2007. Statistical quality control for the Six sigma green belt. E-Kirja. ASQ Quality press.
23. Aineistotodistus. Yrityksen sisäinen dokumentti. SSAB.
24. Aineenkoestuskoneet FMT-MEC. PDF-dokumentti. Helsinki: Matertest Oy.

Liitteet

Liite 1: Matertest FMC-MEC vetolaitteen kalibrointitodistus

KALIBROINTITODISTUS nro Kalibreringsbevis nr

Certificate of calibration no.

K-22N1743-029

1 (3)

Asiakas - Kund Customer	Metropolia Ammattikorkeakoulu Leiritie 1 01600 Vantaa
Kalibroitu laite - Kalibrerat objekt Calibrated Item	Aineenkoetuskone
Valmistaja - Tillverkare Manufactured by	Matertest Oy
Tyyppi - Typ Model	FMT-MEC 225 kN
Laitetunnus - Apparat Id Device Id	-
Sarjanumero - Serienummer Serial number	-
Päiväys - Datum Date	16.11.2022
Allekirjoitus - Underskrift Signature	 Harri Virta Kalibroija

Tämän todistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain asianomaisen kalibrointilaboratorion antaman kirjallisen luvan perusteella. Todistuksessa annetut tulokset ovat jäljitettävissä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin.

Detta bevis får endast publiceras i sin helhet - i annat fall behövs skriftligt tillstånd av kalibreringslaboratoriet. Mätresultat i detta kalibreringsbevis är spårbara till nationella eller internationella mätnormaler.

This certificate may only be reproduced in full, except with the prior written permission by the Issuing Laboratory. The measurement results issued in this certificate are traceable to national or international measurement standards.

Inspecta Tarkastus Oy
PL 1000
00581 Helsinki, Finland
010 521 600
fi.asiakaspalvelu@kiwa.com

Käyntiosoite
Sörmälänskatu 2
00581 Helsinki, Finland
www.kiwa.com/fi

Y-tunnus
2047308-3



KALIBROINTITODISTUS nro Kalibreringsbevis nr

Certificate of calibration no.

K-22N1743-029

Pvm. 16.11.2022

Varmennus: 

2 (3)

LAITTEEN TEKNISET TIEDOT

Kuormitusalue N:	10000,00	Kuormitustapa:	Veto
Askel N:	10,00		
Eroittelukyky N:	10,00		

LAITTEEN SIAINTI JA KALIBROINTIOLOSUHTTEET

Kalibrointipäivämäärä: 16.11.2022 Lämpötila 21 °C Kalibroija Harri Virta
Kalibrointipaikka: Metropolia Ammattikorkeakoulu, Leiritie 1, 01600 Vantaa

KALIBROINNISSA KÄYTETYT MITTANORMAALIT JA MENETELMÄ

Malli / tyyppi	Päivämäärä	Todistus	Erääntymispvm
Käytetyt normaalit: Mecmesin 1000-10000 N T61-102 luokka 0,5 veto 066026	2.5.2022	M-22K121	10.2.5.2024

Menetelmä: SFS-EN ISO 7500-1:2018 mukainen.

Huomautus: -

Mittausepävarmuus on arvioitu EA-4/02 mukaisesti, käyttäen kerrointa k=2 ja ottamalla huomioon käytetyn siirtonormaanin epävarmuus, koneen toistettavuus- ja erottelukykyepävarmuus.

KALIBROINTITULOKSET VOIMAN MITTAUS

Standardin SFS-EN ISO 7500-1 taulukon mukaan kalibroidun laitteen tarkkuusluokka on seuraava:

Kuormitusalue N:	Kalibroitu alue N:	Luokka
10000	1000	2
10000	2000-10000	1

MITTAUSTULOKSET

Voima N	Mittaus 1 nouseva N:	Mittaus 2 nouseva N:	Mittaus 3 nouseva N:
0,00	0,00	0,00	0,00
1000,00	1005,11	934,81	1024,10
2000,00	2011,45	1936,90	2030,18
3000,00	3015,58	2939,69	3033,86
4000,00	4020,91	3945,40	4040,72
5000,00	5024,70	4950,79	5047,51
7000,00	7038,51	6960,93	7058,20
10000,00	10043,00	9979,29	10072,32
0,00	0,00	0,00	0,00

Nollapisteen suht. virhe (fo) %

0,00	0,00	0,00	0,00
------	------	------	------

Voima N	Keskiarvo N	Kalibrointitulokset nousevilla voimilla				Epävarmuus ± %
		Virhe % (g)	Toistettavuus % (b)	Eroittelukyky % (a)		
1000,00	988,01	-1,20	8,93	1,00	5,53	
2000,00	1992,84	-0,36	4,66	0,50	2,87	
3000,00	2996,38	-0,12	3,14	0,33	1,94	
4000,00	4002,34	0,06	2,38	0,25	1,46	
5000,00	5007,66	0,15	1,93	0,20	1,17	
7000,00	7019,21	0,27	1,39	0,14	0,85	
10000,00	10031,53	0,32	0,93	0,10	0,55	
0,00	0,00					

Inspecta Tarkastus Oy
PL 1000
00581 Helsinki, Finland
010 521 600
fi.asiakaspalvelu@kiwa.com

Käyntiosoite
Sörnäistenkatu 2
00581 Helsinki, Finland
www.kiwa.com/fi

Y-tunnus
2047308-3



KALIBROINTITODISTUS nro Kalibreringsbevis nr

Certificate of calibration no.

K-22N1743-029

Pvm. 16.11.2022

Varmennus: 

3 (3)

LAITTEEN TEKNISET TIEDOT

Kuormitusalue kN: 50,00 Kuormitustapa: Veto
Askel kN: 0,01
Eroittelukyky kN: 0,01

LAITTEEN SIJAINTI JA KALIBROINTIOLOSUHTEET

Kalibrointipäivämäärä: 16.11.2022 Lämpötila: 21 °C Kalibroija: Harri Virta
Kalibrointipaikka: Metropolia Ammattikorkeakoulu, Leiritie 1, 01600 Vantaa

KALIBROINNISSA KÄYTETYT MITTANORMAALIT JA MENETELMÄ

Malli / tyyppi	Päivämäärä	Todistus	Eräätymispvm
Käytetyt normaali: Zemic H3 10-100 kN luokka 0,5 veto M2D 021798	10.3.2021	M-21K075	10.3.2023

Menetelmä: SFS-EN ISO 7500-1:2018 mukainen.

Huomautus: -

Mittausepävarmuus on arvioitu EA-4/02 mukaisesti, käyttäen kerrointa k=2 ja ottamalla huomioon käytetyn siirtonormaanin epävarmuus, koneen toistettavuus- ja erottelukykyepävarmuus.

KALIBROINTITULOKSET VOIMAN MITTAUS

Standardin SFS-EN ISO 7500-1 taulukon mukaan kalibroidun laitteen tarkkuusluokka on seuraava:

Kuormitusalue kN:	Kalibroitu alue kN:	Luokka
50	10-50	1

MITTAUSTULOKSET

Voima kN	Mittaus 1 nouseva kN:	Mittaus 2 nouseva kN:	Mittaus 3 nouseva kN:
0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	10,07	10,04	10,06
12,00	12,08	12,07	12,07
15,00	15,10	15,09	15,09
20,00	20,12	20,12	20,12
25,00	25,16	25,14	25,15
30,00	30,18	30,17	30,18
40,00	40,25	40,25	40,24
50,00	50,30	50,30	50,31
0,00	0,00	0,00	0,00

Nollapisteen suht. virhe (fo) % 0,00 0,00 0,00

Voima kN	Keskiarvo kN	Kalibrointitulokset nousevilla voimilla			
		Virhe % (g)	Toistettavuus % (b)	Eroittelukyky % (a)	Epävarmuus ± %
10,00	10,06	0,58	0,25	0,10	0,25
12,00	12,07	0,62	0,05	0,08	0,25
15,00	15,09	0,61	0,07	0,07	0,25
20,00	20,12	0,61	0,01	0,05	0,25
25,00	25,15	0,61	0,07	0,04	0,25
30,00	30,18	0,60	0,04	0,03	0,25
40,00	40,25	0,62	0,02	0,03	0,25
50,00	50,31	0,61	0,02	0,02	0,25
0,00	0,00				

Inspecta Tarkastus Oy
PL 1000
00581 Helsinki, Finland
010 521 600
fi.asiakaspalvelu@kiwa.com

Käyntiosoite
Sörmälstenkatu 2
00581 Helsinki, Finland
www.kiwa.com/fi

Y-tunnus
2047308-3



Liite 2: STwrench älyvääntimen 15Nm vääntövarren kalibrointitodistus

ITS Calibration laboratory accredited by CAI under no. 2339 according to ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 Industrial Technique Services s.r.o. V Parku 2336/22, 148 00 Praha 4 - Chodov www.its-ee.com, tel.: +420 602 164 439, +420 725 544 506		 
	CALIBRATION CERTIFICATE	
Certificate no.: AKL-21-22180-ITS-04 No. of pages: 3 Page: 1		
Customer:	Quant Finland Oy Valimopolku 2 , FI-00380 Helsinki	
Object:	Electronic torque wrench Type: smartHEAD A15 Serial no.: 30240534 Range: 15 Nm Manufacturer: Atlas Copco BLM Calibration value: 15,15 Nm	
Display unit:	Reference STwrench controller Type: STwrench controller Serial no.: CM.10597 Manufacturer: Atlas Copco BLM	
Torque direction:	Clockwise	
Air temperature / humidity:	22,5 °C ± 1°C / < 90 % according calibration procedure	
Used Etalons:	The metrologic traceability to the (inter)national etalons	
Transducer:	model: TCR 15 (CW+CCW) , S/N: TCR.15.115	
Display unit:	AEP, model: MP10 Plus, S/N: 6483	
Certificate no.:	Cal. certificate DG41636, related to CL n.: D-K-17447-01-01; 2/2022	
Calibration procedure:	ITS-04-11-S according internal calibration procedure	
Date of calibration:	05.11.2021	
Result of calibration:	On the page 2 of this calibration certificate.	
The measured and calculated values relate to the day and place where the calibration was performed. The results relate to the object as received.		

ITS Calibration laboratory accredited by CAI under no. 2339		Certificate no.: AKL-21-22180-ITS-04	
		No. of pages: 3	Page: 2

Result of calibration: Clockwise

Etalon [Nm]	X str [Nm]	W [%]	W _{icm} [%]	q [%]	tolerance [%]	results yes/no/?
0	0,00					
3	3,01	0,44	0,10	-0,33	1	yes
6	6,01	0,37	0,10	-0,17	1	yes
9	9,00	0,36	0,10	0,00	1	yes
12	11,98	0,35	0,10	0,17	1	yes
15	14,95	0,35	0,10	0,33	1	yes

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EA-4/02 M and EURAMET cg - 14.

Etalon	indication of torque measuring device
X str	mean value of the measured torque
W	expanded relative uncertainty of measurement
W _{icm}	relative uncertainty contribution of the torque calibration machine
q	relative deviation of mean value of the measured torque
tolerance	tolerance is set according to manufacturer
yes/no/?	yes - meets => $W+ q \leq \text{tolerance}$
	no - does not meet => $ q > \text{tolerance}$
	? - cannot be decided => $ q < \text{tolerance} \wedge W+ q > \text{tolerance}$

Formula of the output signal:

$M = a + bX$, where

a = 0,01667

b = 0,99667

Liite 3: Toimittajan 1 veto- ja kiertolujuuskokeiden tulokset

Max. Force peak needed for pull-through (N)				
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	FH-M5-35	
Measure 1	5499	7170	8812	
Measure 2	5521	8420	8502	
Measure 3	5263	7867	8785	
Measure 4	5394	7182	8682	
Measure 5	5325	7547	8752	
Measure 6	5305	7386	8479	
Measure 7	5344	7923	8497	
Measure 8	5112	7401	8954	
Measure 9	4953	7729	8853	
Measure 10	5324	7593	8342	
Average	5304	7622	8666	
Min.	4953	7170	8342	
Max.	5521	8420	8954	
Standard deviation	160	362	189	
Median	5325	7570	8717	
Deviation	568	1250	612	
UCL	5785	8707	9232	
LCL	4823	6537	8099	
Catalog value	3110	6226	6270	

Max. Force peak needed for torque-out (Nm)				
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	FH-M5-35	
Measure 1	11,96	11,18	10,21	
Measure 2	12,35	11,81	10,44	
Measure 3	11,14	12,01	10,83	
Measure 4	10,89	11,90	10,97	
Measure 5	11,89	12,60	10,24	
Measure 6	11,64	12,53	10,19	
Measure 7	11,72	12,04	10,42	
Measure 8	11,67	11,93	10,45	
Measure 9	10,97	12,48	11,06	
Measure 10	11,11	12,13	10,60	
Average	11,53	12,06	10,54	
Min.	10,89	11,18	10,19	
Max.	12,35	12,60	11,06	
Standard deviation	0,46	0,40	0,30	
Median	11,66	12,03	10,45	
Deviation	1,46	1,42	0,87	
UCL	12,91	13,25	11,44	
LCL	10,16	10,87	9,64	
Catalog value	8,5	8,9	6,5	

Liite 4: Toimittajan 2 veto- ja kiertolujuuskokeiden tulokset

Max. Force needed for pull-through (N)			
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	FH-M5-35
Measure 1	4749	6381	6118
Measure 2	4530	5988	7024
Measure 3	4323	6117	5359
Measure 4	4801	6100	6252
Measure 5	4359	5776	5754
Measure 6	4342	4952	5739
Measure 7	4744	5798	4825
Measure 8	4291	5124	6310
Measure 9	5139	5977	5938
Measure 10	4451	5810	6019
Average	4573	5802	5934
Min.	4291	4952	4825
Max.	5139	6381	7024
Standard deviation	263	421	557
Median	4491	5894	5979
Deviation	848	1429	2199
UCL	5361	7065	7605
LCL	3785	4540	4263
Catalog value	3110	6226	6270

Max. Force needed for torque-out (Nm)

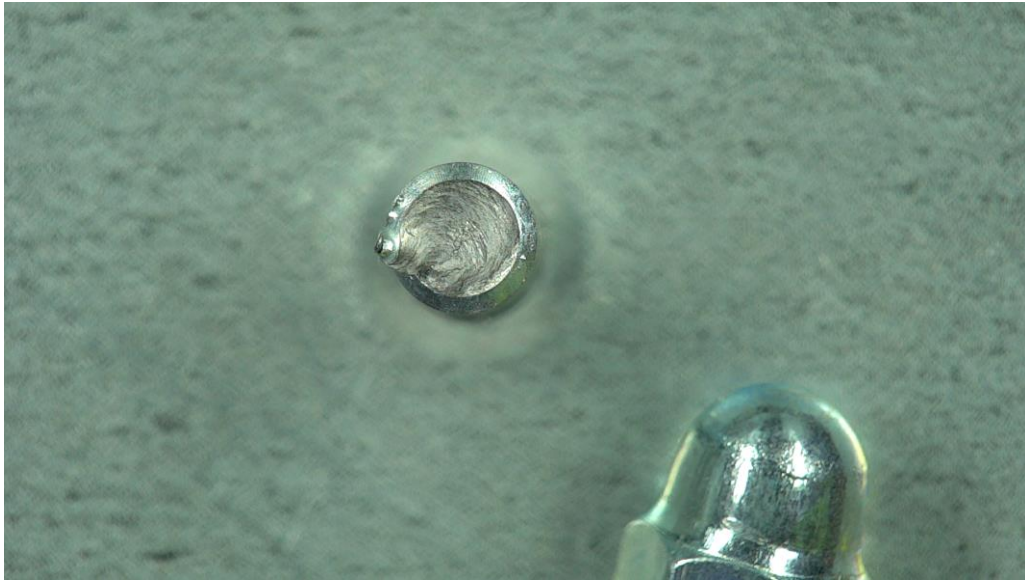
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	FH-M5-35
Measure 1	9,07	13,68	5,31
Measure 2	9,24	14,81	5,37
Measure 3	9,31	14,49	5,66
Measure 4	9,32	13,60	5,62
Measure 5	9,35	13,65	5,81
Measure 6	9,19	13,19	5,00
Measure 7	10,03	13,72	6,00
Measure 8	8,52	13,93	5,52
Measure 9	8,98	14,81	5,89
Measure 10	9,90	13,64	5,36
Average	9,29	13,95	5,55
Min.	8,52	13,19	5,00
Max.	10,03	14,81	6,00
Standard deviation	0,41	0,53	0,29
Median	9,28	13,70	5,57
Deviation	1,51	1,62	1,00
UCL	10,52	15,53	6,42
LCL	8,06	12,37	4,69
Catalog value	8,5	8,9	6,5

Liite 5: Välikierreholkkien reiän syvyyden mittaustulokset

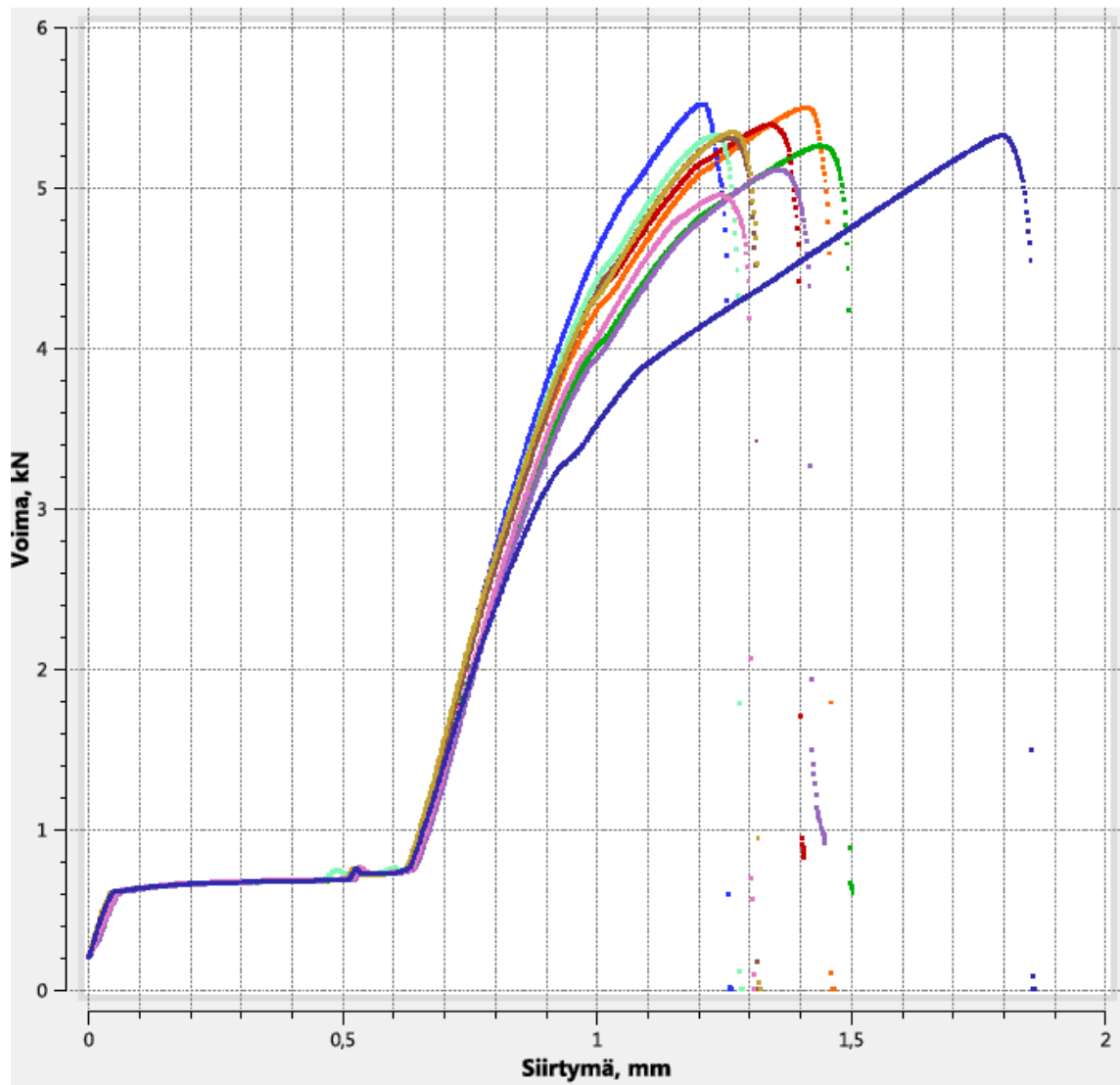
Supplier 1			
Depth of hole (mm)			
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	
Measure 1	12,0	9,5	
Measure 2	12,1	9,7	
Measure 3	12,1	9,7	
Measure 4	12,1	9,8	
Measure 5	12,1	9,7	
Measure 6	12,0	9,7	
Measure 7	12,0	9,7	
Measure 8	12,0	9,7	
Measure 9	12,1	9,7	
Measure 10	12,2	9,8	
Average	12,1	9,7	
Min.	12,0	9,5	
Max.	12,2	9,8	
Standard deviation	0,1	0,1	
Median	12,1	9,7	
Deviation	0,3	0,2	

Supplier 2			
Depth of hole (mm)			
Model:	BSO-M5-14	BSO4-M5-14	
Measure 1	12,1	12,3	
Measure 2	12,1	11,4	
Measure 3	12,1	11,6	
Measure 4	12,1	12,5	
Measure 5	12,1	12,6	
Measure 6	12,1	11,6	
Measure 7	12,1	11,5	
Measure 8	12,1	12,3	
Measure 9	12,1	11,9	
Measure 10	12,1	11,5	
Average	12,1	11,9	
Min.	12,1	11,4	
Max.	12,1	12,6	
Standard deviation	0,0	0,5	
Deviation	0,1	1,2	
Median	12,1	11,7	

Liite 6: Toimittajan 2 koestetun FH-M5-35 puristepultin leikkauspinta



Liite 7: Voima-siirtymä kuvaaja vetokokeesta



Liite 8: Kiertolujuustestin momentti - kulma kuvaaja