RÖNTGENDIFFRAKTIOON PERUSTUVALLA MENETELMÄLLÄ MITATTUJEN JÄÄNNÖSJÄNNITYSTEN VASTE MITTAUSJÄRJESTELYIHIN JA MITTAUSPARAMETREIHIN.

THE EFFECTS OF MEASURING ARRANGEMENTS AND PARAMETERS ON RESIDUAL STRESSES MEASURED WITH X-RAY DIFFRACTION.

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2024

Valtteri Mäntysaari

Tarkastaja: DI Jani Riski

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Valtteri Mäntysaari

Röntgendiffraktioon perustuvalla menetelmällä mitattujen jäännösjännitysten vaste mittausjärjestelyihin ja mittausparametreihin.

Koulutusohjelmasi ja tutkielmasi: Konetekniikan kandidaatintyö

2024

26 sivua, 12 kuvaa, 1 taulukko ja 2 liitettä

Tarkastaja DI Jani Riski

Avainsanat: Röntgendiffraktio, Jäännösjännitykset, Rikkomattomat menetelmät

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kuinka röntgendiffraktometrin asemoinnissa esiintyvät virheet vaikuttavat mittaustuloksiin. Koekappaleina toimivat teräksestä (S1100) ja alumiinista (6082) valmistetut levyt, joiden keskelle hitsattiin palko jäännösjännityksien aiheuttamiseksi. Kappaleiden valmistus ja mittaukset suoritettiin LUT-yliopiston teräsrakenteiden laboratoriossa.

Kappaleista mitattiin jäännösjännityksiä muuttamalla mittauksessa käytettyjä parametreja ja kallistamalla kappaleita mittalaitteeseen nähden. Tuloksista huomattiin kuinka parametrien muutokset vaikuttavat eri kulmilla mitattuihin jäännösjännityksiin. Tuloksista huomattiin myös, kuinka teräs ja alumiini reagoivat eri tavoilla kulman muutoksiin.

Teräs ja alumiini reagoivat molemmat melko lineaarisesti etäisyyden muutoksiin. Teräksellä vaste oli noin 15 MPa/0,1 mm ja alumiinilla 10 MPa/0,1 mm. Teräksellä 5-asteen kulmavirheillä ei ollut merkitystä, mutta 10-astetta kasvatti tuloksia huomattavasti. Alumiinilla ei saatu määritettyä hyväksyttävää tarkkuutta, mutta 10-asteen heitto kasvatti tuloksia todella merkittävästi. Parametreja varioidessa huomattiin kallistusten suuruudella, symmetrisyydellä ja jakojen määrällä olevan merkitystä. Alumiini kuitenkin reagoi terästä suuremmin erilaisiin kallistuksiin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Valtteri Mäntysaari

The effects of measuring arrangements and parameters on residual stresses measured with x-ray diffraction.

Bachelor’s thesis

2024

26 pages, 12 figures, 1 table and 2 appendices

Examiner: M.Sc. (Tech.) Jani Riski

Keywords: X-ray diffraction, Residual stresses, Non-destructive methods

The purpose of this bachelor's thesis was to investigate how errors in positioning of the diffractometer affect the results of XRD measurements. Specimens were steel (S1100) and aluminum (6082) squares, which had a deposition weld in the middle to induce residual stresses. The manufacturing and measurement of the specimen were conducted at the Steel Structures Laboratory of LUT university.

Residual stresses were measured changing the parameters used and angling the test specimens in relation to the diffractometer. The results showed how the distance affects residual stresses with different angles. The results also showed how steel and aluminum react differently to different angles.

The steel and aluminum both reacted linearly to changes in the distance. With steel the effect was about 15 MPa/0,1 mm and with aluminum 10 MPa/0,1 mm. With different angles, it was observed that with steel, an error of 5-degrees doesn’t affect the results significantly. However, there is a noticeable increase in the results when the degree is 10-degrees. With aluminum it wasn’t possible to define an acceptable tolerance, but an angle of 10-degrees increased the results significantly. When varying the parameters, it was observed that the size of the tilt, symmetricity and how the tilts are divided affected the results on both materials. However, aluminum was more sensitive to different parameters

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

d	hilatasojen välinen etäisyys	[Å]
d_0	hilatasojen välinen etäisyys ilman jännitystä	[Å]
E	kimmokerroin	[MPa]
I	sähkövirta	[A]
L	profiilin pituus	[mm]
Q	Lämmöntuonti	[kJ/mm]
T	lämpötila	[ºC, K]
t	paksuus	[mm]
U	jännite	[V]
v	kuljetinnopeus	[mm/s]

Kreikkalaiset

ε	venymä	
σ	jännitys	[Mpa]
θ	säteilyn tulokulma	[º]
λ	säteilyn aallonpituus	[Å]

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ 2
ABSTRACT 3
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO 4
Sisällysluettelo 5
1 Johdanto 6
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet 6
1.2 Tutkimuksen toteutus 6
2 Teoria 8
2.1 Jäännösjännitykset 8
2.2 Jäännösjännityksien mittaaminen 9
2.3 Jäännösjännitysten määritys röntgendiffraktiolla 9
3 Mittausjärjestelyt 11
3.1 Koekappaleet 11
3.2 Mittalaitteet 13
3.3 Mittausmatriisi 14
4 Tulokset 17
4.1 Teräksen mittaustulokset 17
4.2 Alumiinin mittaustulokset 20
5 Tulosten analysointia ja johtopäätökset 22
6 Yhteenveto 24
Lähteet 25

Liitteet

Liite 1. Jäännösjännitysmittauksien tulokset

Liite 2. Mittausdata

1 Johdanto

Kun materiaalia muovataan, siihen syntyy jäännösjännityksiä. Tämä tarkoittaa, että kappaleen sisällä vallitsee jännitystila, joka säilyy ulkoisista voimista riippumatta. Tarkoituksenmukaisesti aiheutetuilla jäännösjännityksillä voidaan pidentää materiaalien väsymiskestoikää, sekä parantaa väsymisrajaa, korroosionkestoa ja kulutuksen kesto (Löhe ja Vöhringer 2002). Tämä kuitenkin vaatii hyvän käsityksen siitä, minkälaisia jäännösjännityksiä kappaleessa vallitsee, koska jäännösjännityksillä voi myös olla käänteinen vaikutus materiaalin kestävyyteen.

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Jäännösjännitysten mittaaminen on nykyään mahdollista kannettavilla mittalaitteilla, jotka voidaan viedä mitattavan kappaleen luokse. Tämä tuo kuitenkin ongelmia saatujen mittauksien tarkkuudesta. Jotta jäännösjännityksistä saadaan mitattua tarkkoja tuloksia röntgendiffraktometrin avulla, on mitattavan pinnan oltava kohtisuorassa ja sopivalla etäisyydellä diffraktometriin nähden. Asemoinnin virheettömyyttä on kuitenkin joskus vaikeaa varmistaa. Esimerkkinä tämän kaltaisesta tilanteesta toimivat kenttäolosuhteissa suoritetut mittaukset, joissa mittalaite on mahdollisesti asetettu. Asemoinnissa esiintyvät virheet voivat vääristää saatuja mittaustuloksia, mutta tietoa asemoinnista johtuvien mittavirheiden suuruudesta tai suunnasta ei kuitenkaan ole yksiselitteisestä tietoa saatavilla.

Tässä työssä tutkitaan kuinka röntgendriffraktometrin asemoinnissa esiintyvät virheet ja erilaiset mittauksissa käytetyt parametrit vaikuttavat saatuihin mittaustuloksiin

1.2 Tutkimuksen toteutus

Kappaleiden valmistaminen, käsitteleminen ja mittaaminen suoritetaan LUT-yliopiston Teräsrakenteiden laboratoriossa.

Teräksiset koekappaleet valmistetaan S1100 lujuusluokan teräksestä ja niiden mitat ovat 8×150×150 mm. Alumiinisten koekappaleiden mitat ovat 8×80 ×150 mm. Molemmissa

tapauksissa levyn keskelle on hitsattu 100 mm pitkä pintapalko jäännösjännityksen luomiseksi. Jännitykset mitataan koekappaleiden toiselta puolelta valitusta kohdasta. Valitun kohdan etäisyydellä hitsiin ei tässä työssä ole suurta merkitystä, koska työssä verrataan samasta pisteestä erilaisilla asemoinneilla ja parametreilla saatuja tuloksia keskenään.

Koekappaleissa esiintyvät jäännösjännitykset mitataan Stresstech Oy:n valmistamalla Xstress G3 -röntgendiffraktometrillä LUT-yliopiston Teräsrakenteiden laboratorion henkilökunnan toimesta.

2 Teoria

Tässä luvussa käydään läpi mitä jäännösjännitykset ovat, kuinka niitä mitataan, kuinka ne syntyvät, kuinka niitä voidaan purkaa ja minkälaisia vaikutuksia jäännösjännityksillä on kappaleiden kestävyyden kannalta.

2.1 Jäännösjännitykset

Jäännösjännitykset syntyvät, kun materiaalia muovataan. Jäännösjännityksiä syntyy, kun materiaalin rakenne muuttuu epätasaisesti. Tämä muutos voi syntyä, kun materiaalia muovataan mekaanisesti tai siihen tuodaan paikallisesti lämpöä. Materiaalin rakenteen epätasainen muutos synnyttää materiaalin rakenteiden sisään vetäviä ja puristavia voimia. (Löhe ja Vöhringer 2002; Withers ja Bhadeshia 2001)

Jäännösjännityksiä voidaan purkaa mekaanisilla keinoilla tai hehkuttamalla kappaletta. Hehkutuksessa materiaali kuumennetaan hehkutuslämpötilaan, jossa kappaletta pidetään useiden tuntien ajan. Tämän jälkeen materiaali jäähdytetään hitaasti huoneenlämpöön, joka saa aikaan jännitysten purkaantumisen. Hehkuttamisella saadaan melkein kaikkien jäännösjännitysten purkaantuminen puhtaissa metalleissa. Epäpuhtailla seoksilla materiaalien erot lämpölaajenemisessa ehkäisevät jäännösjännityksien purkamisen. (Löhe ja Vöhringer 2002; Withers 2007)

Jäännösjännitykset vaikuttavat kappaleisiin samalla tavalla kuin muutkin kappaleisiin kohdistuvat kuormitukset. Halutuilla jäännösjännityksillä voidaan parantaa kappaleiden väsymiskestoikää, väsymisrajaa, korroosion kestävyyttä sekä kulutuksen kestoa. Tämä vaatii kappaleessa vallitsevien jäännösjännityksien olevan puristavia. Vetävät jäännösjännitykset vaikuttavat vastakkaisella tavalla puristaviin jäännösjännityksiin nähden. Tämä kuitenkin pätee ainoastaan kovilla ja haurailla materiaaleilla, koska sitkeissä materiaaleissa tapahtuvat plastiset muodonmuutokset tasapainottavat materiaalien sisäisiä eroja. (Löhe ja Vöhringer 2002; Withers ja Bhadeshia 2001)

2.2 Jäännösjännityksien mittaaminen

Jäännösjännityksien mittaukset voidaan karkeasti luokitella kappaleita vahingoittaviin ja vahingoittamattomiin menetelmiin. Jotkut lähteet lisäävät myös kolmannen luokan, joka on materiaalia vähän rikkovat menetelmät. (Rossini et al. 2012; Ruud 2002)

Kappaletta rikkovat menetelmät rikkovat kappaleen rakennetta sen verran, että kappaleen rakenteellinen kestävyys laskee. Materiaalia rikkovat menetelmät perustuvat kappaleessa tapahtuvien muutosten tutkimiseen, kun kappaleesta poistetaan materiaalia. Tämä ei kuitenkaan anna tarkkoja tuloksia, koska materiaalin poistaminen vaikuttaa kappaleessa vaikuttaviin jäännösjännityksiin. (Rossini et al. 2012; Withers ja Bhadeshia 2001)

Materiaalia vähän rikkovat menetelmät kuuluvat myös tämän alle, koska niissä poistetaan materiaalia kappaleesta. Rikkovista menetelmistä poiketen, kappale kuitenkin säilyttää rakenteellisen kestävyytensä. (Ruud 2002; Withers 2007)

Kappaletta rikkomattomat menetelmät, joissain lähteissä myös heijastus tekniikat, pohjautuvat kappaleessa esiintyvien jännitysten mittaamiseen seuraamalla kappaleessa tapahtuvia heijastuksia. Tämä onnistuu esimerkiksi röntgendiffraktion tai neutronidiffraktion avulla. Rikkomattomat menetelmät antavat paljon tarkemman tuloksen rikkoviin menetelmiin verrattuna. Tämän takia yleisin mittausmenetelmä jäännösjännityksien selvittämiseen on röntgendiffraktio. (Ruud 2002)

2.3 Jäännösjännitysten määritys röntgendiffraktiolla

Jäännösjännitysten mittaaminen röntgendiffraktiolla perustuu materiaalin hilatasojen välisten etäisyyksien määrittämiseen Braggin lain avulla ja jännityksien laskemiseen Hooken lain avulla.

Mittalaite määrittää säteilyn huipun ja laskee sen avulla hilatasojen etäisyydet Braggin lakia hyödyntäen

$$\lambda = 2dsin\theta$$

jossa λ on säteilyn aallonpituus, d on hilojen välinen etäisyys ja θ on säteilyn tulokulma pintaan nähden.

Jäännösjännityksien määrittämiseksi tarvitaan kuitenkin vielä Hooken lakia, jolla saadaan määritettyä jännityksen suuruus σ, kun tiedetään venymä ε ja materiaalin kimmokerroin E.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Venymä saadaan määritettyä, kun verrataan kuormittamattoman materiaalin hilatasojen etäisyyksiä kuormitetun materiaalin etäisyyksien kanssa.

$$\varepsilon = \frac{d - d_0}{d_0}$$

jossa d_0 on hilojen etäisyys ilman kuormitusta ja d on hilojen etäisyys kuormituksen alaisena

Tämän seurauksena Hooken laki saadaan myös muotoon

$$\sigma = E\frac{d - d_0}{d_0}$$

3 Mittausjärjestelyt

Tässä luvussa käydään läpi, kuinka mittaukset suoritetaan, kuinka kappaleet valmistetaan ja mitä mittalaitteita työssä käytetään.

3.1 Koekappaleet

Työssä mitataan jäännösjännityksiä sekä teräksestä että alumiinista valmistetuista kappaleista, joihin on hitsattu palko jäännösjännitysten aiheuttamiseksi. Palot hitsattiin koekappaleiden keskelle pitkittäissuuntaisesti. Kappaleet valmistettiin LUT-yliopiston Teräsrakenteiden laboratoriossa henkilökunnan toimesta. Koekappaleiden valmistuksessa käytetyt hitsausparametrit molemmille materiaaleille on esitetty taulukossa 1.

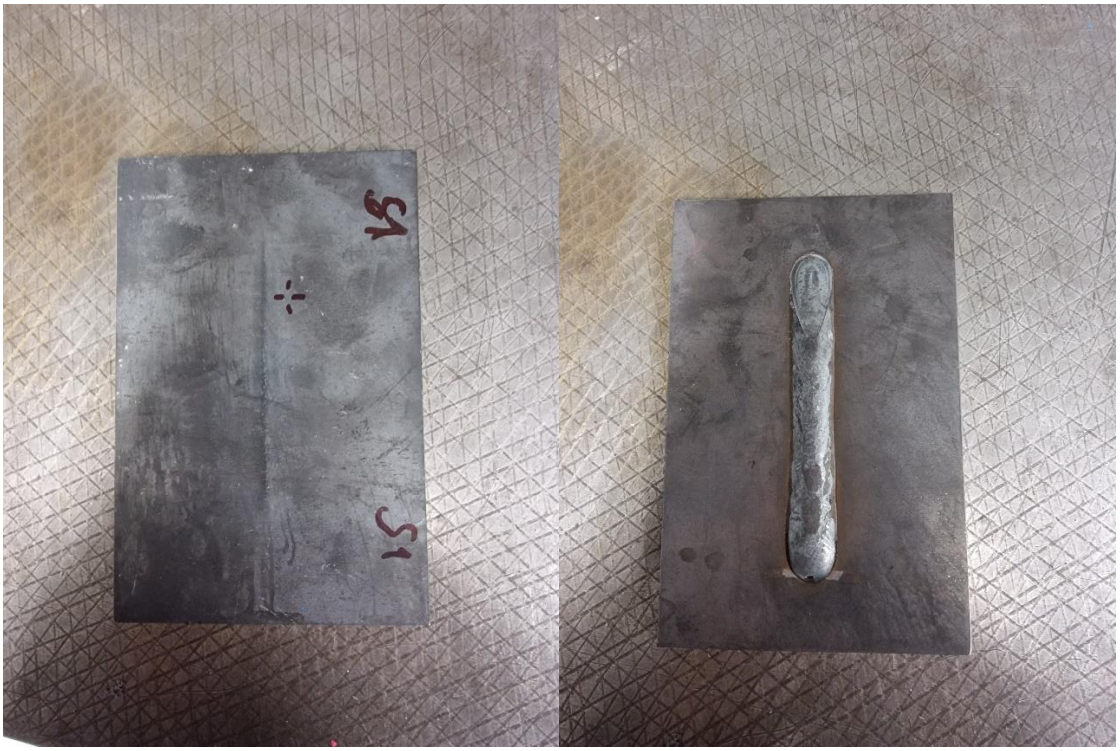
Taulukko 1. Hitsauksen parametrit.

Parametrit	Virta *I* [A]	Jännite *U* [V]	Kuljetinnopeus *v* [mm/s]	Langansyöttönopeus [m/min]
Alumiini	200	20.7	10	12
Teräs	277	29.4	5.7	13.9

Alumiiniset koekappaleet valmistettiin 6082-alumiinista ja niiden mitat olivat 8×85×150 mm. Mittauskohdaksi alumiinilla valittiin mahdollisimman lähellä keskiviivaa sijaitseva piste, jonka kohdalla ei ole suuria naarmuja. Alumiinista valmistettu koekappale on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Alumiinista valmistetut koekappale. Mittauskohta on merkattu tussilla hitsin vastakkaiselle puolelle.

Teräksiset koekappaleet valmistettiin suorakarkaisumenetelmällä valmistetusta S1100 lujuusluokan teräksestä ja niiden mitat olivat 8×150×150 mm. Mittauskohdaksi teräksellä valittiin lähellä keskiviivaa sijaitseva piste, jossa aiheutetut jäännösjännitykset olivat mahdollisimman suuria. Teräksestä valmistettu koekappale on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Teräksestä valmistettu koekappale. Mittauskohta on merkattu tussilla hitsin vastakkaiselle puolelle.

3.2 Mittalaitteet

Jäännösjännitysten mittaamiseen käytettiin Stresstech OY:n valmistamaa Xstress G3-röntgendiffraktometriä, joka on esitettynä kuvassa 3. Xstress G3 on kaupalliseen tarkoitukseen kehitetty diffraktometri, jota voidaan käyttää jäännösjännitysten määrittämisessä myös laboratorion ulkopuolella. Mittauksissa mittalaitteessa oli Cr-putki, jännite oli 30 kV ja virta oli 9 mA.

Kuva 3. Stresstech OY:n valmistama Xstress G3- röntgendiffraktometri

3.3 Mittausmatriisi

Kokonaisvaltaisen käsityksen luomiseksi asemoinnin vaikutuksesta jäännösjännitysmittauksien tuloksiin, luotiin mittausmatriisi, joka on esitettynä kuvassa 4. Mittausmatriisissa on määritelty mittauksen aikana käytettävien asemointivirheiden suuruudet. Varioitavina parametreina käytettiin kappaleen kulmaa ja etäisyyttä mittalaitteeseen nähden. Etäisyyden vertailupisteenä käytetään mittalaitteen kalibroinnissa saatua etäisyyttä. Jokaisella etäisyydellä ja kulmalla suoritetaan 10 mittausta, joissa varioidaan mittauksessa käytettyä kallistusta muuttamalla kallistuksen kulman suuruutta ja sitä, kuinka moneen osaan kulma jaetaan.

Mittausten jälkeen matriisiin lisättiin vielä 5-asteen sivuttainen kallistus teräkselle.

Kallistus sivuttain	Etäisyys						
	-0,5	-0,3	-0,1	0	0,1	0,2	0,5
0							
5							
10							
20							

Kallistuskulma / jako

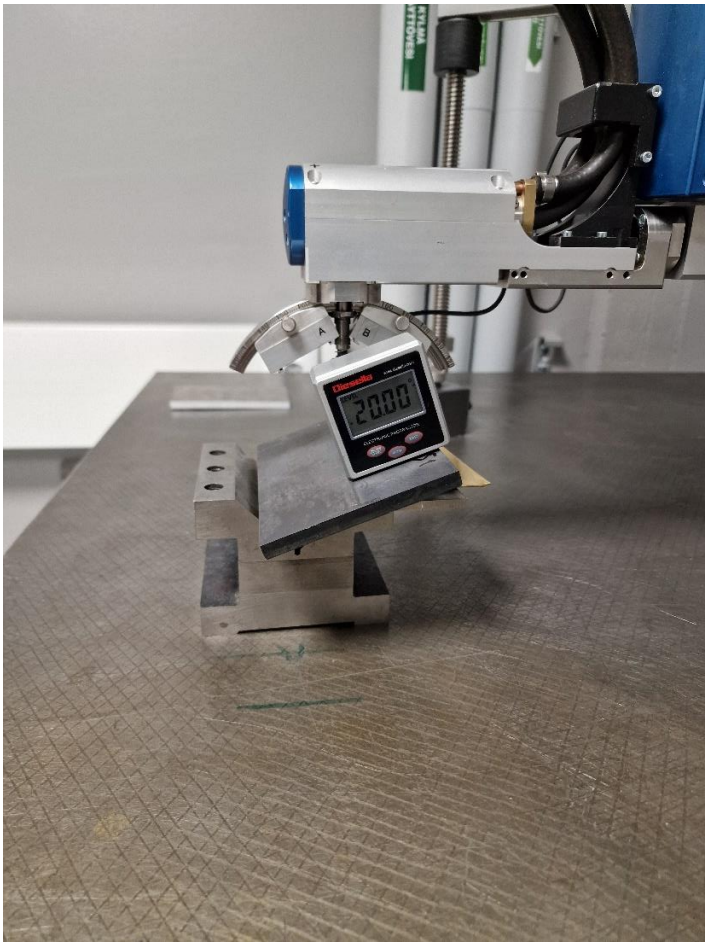
Kallistus astetta (symmetrinen)	Jako	
	3	5
25		
35		
45		

Kallistuskulma / jako

Kallistus astetta (ei symmetrinen)	Jako	
	3	5
25/45		
35/45		

Kuva 4. Työssä käytetty mittausmatriisi.

Kuvassa 5 on esitetty mittaustilanne, jossa teräksestä valmistettu koekappale on asetettu 20-asteen kulmaan mittalaitteeseen nähden. Mittalaitteen vaaituksessa sekä koekappaleiden asettamisessa haluttuun kulmaan käytettiin digitaalista kulmamittaa.



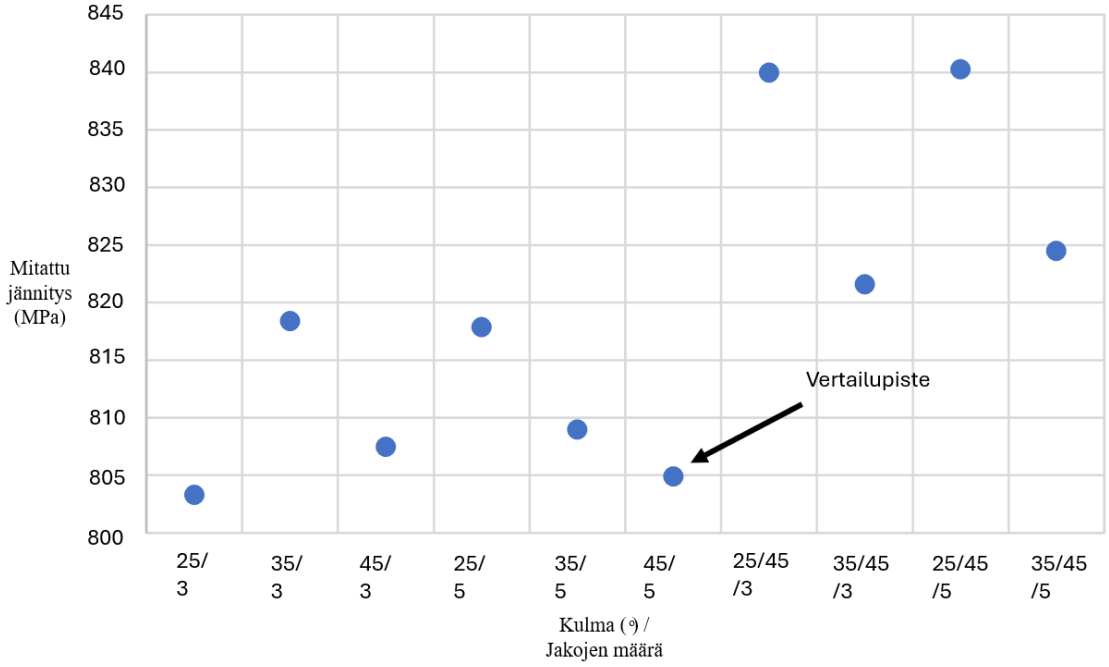
Kuva 5. Kuvassa teräksinen koekappale on asetettu 20-asteen kulmaan mittalaitteeseen nähden. Koekappaleet asetettiin haluttuun kulmaan hyödyntäen digitaalista kulmamittaa.

4 Tulokset

Tässä luvussa esitetään jäännösjännitysmittauksissa saadut tulokset. Laajemmat tulokset löytyvät liitteistä 1–2. Sekä alumiinilla että teräksellä kaikki mittaukset suoritettiin samasta pisteestä.

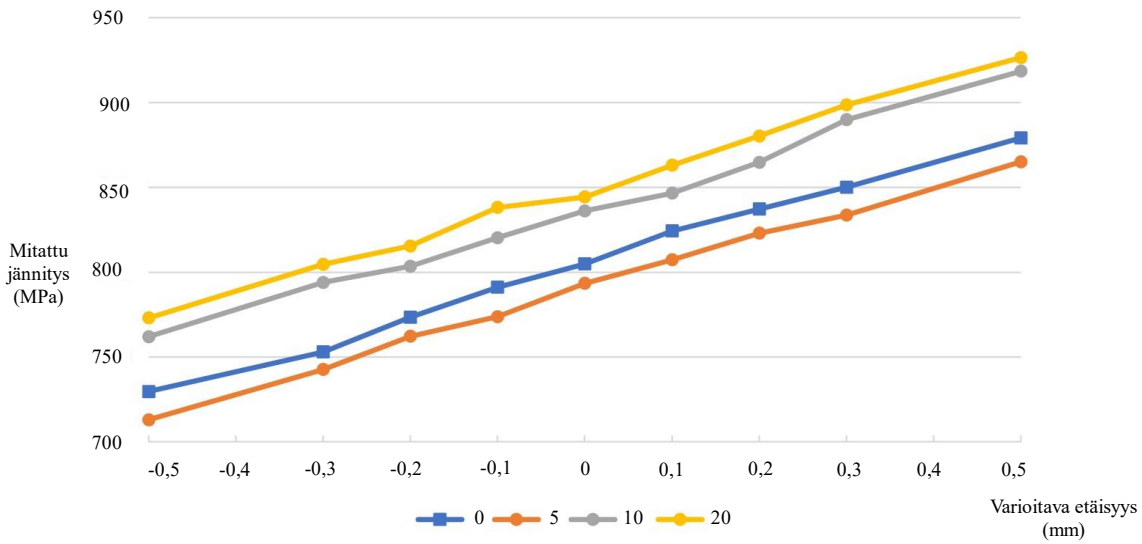
4.1 Teräksen mittaustulokset

Teräkselle suoritetuissa mittauksissa kappale asetettiin 0, 5, 10 ja 20-asteen kulmaan mittalaitteeseen nähden. Mittauksista saadut tulokset on koottu yhteen ja esitetty kuvissa 7–9. Kuvassa 7 on esitettynä erilaisilla kallistuksilla saatuja tuloksia. Mittauksissa varioitiin kallistuksien suuruutta, symmetrisyyttä ja kuinka moneen osaan mittalaite jakoi kallistukset. Kuvassa 7 on myös esitettynä teräksellä valittu vertailupiste, joka on saatu, kun kappale oli 0-asteen kulmassa mittalaitteeseen nähden ja etäisyyden muutos kalibroituun etäisyyteen nähden oli 0 mm. Vertailupiste saatiin, kun jäännösjännitykset mitattiin symmetrisellä 45-asteen kallistuksella, joka jaettiin 5-osaan.



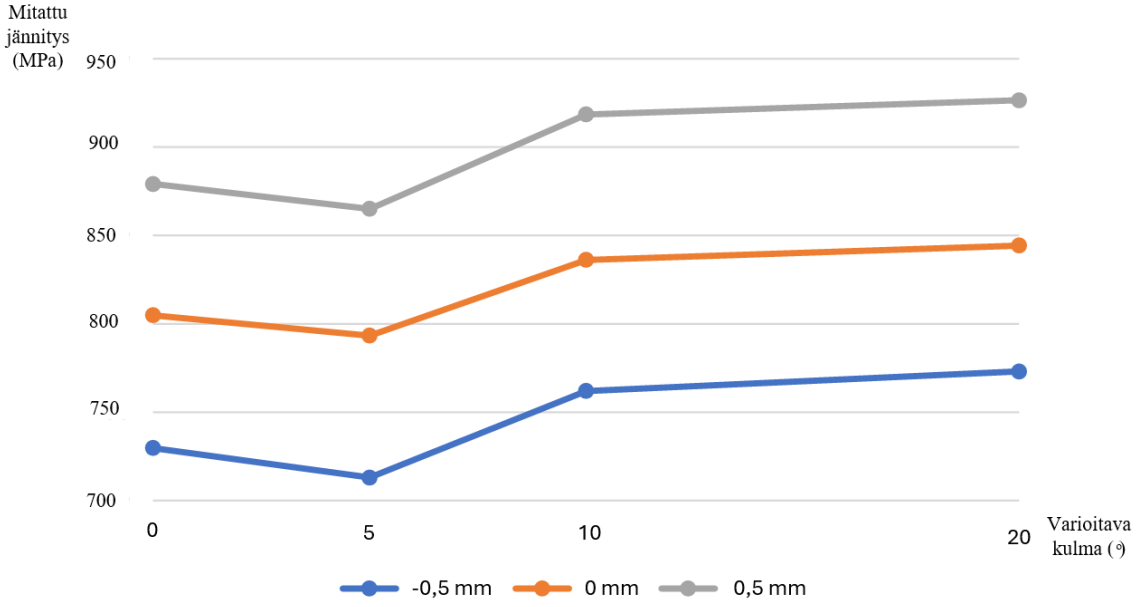
Kuva 7. Mitattujen jäännösjännitysten vaihtelu teräksellä eri mittausparametreilla, kun kulma on 0-astetta ja etäisyys 0 mm. Kuvassa on nuolella merkattu vertailupiste, johon viitataan aina, kun puhutaan teräksestä valmistettujen koekappaleiden vertailupisteestä.

Kuvassa 8 on esitetty etäisyyden muutoksen vaikutus saatuihin mittaustuloksiin, kun kappale on asemoitu eri suuruisiin kulmiin mittalaitteeseen nähden. Jokainen piste on mitattu samanlaisella 45-asteen symmetrisellä kallistuksella, joka on jaettu 5 osaan. Erilaiset kulman suuruudet on esitetty eri väreillä.



Kuva 8. Etäisyyden vaikutus mittaustuloksiin teräksellä eri kulman suuruuksilla.

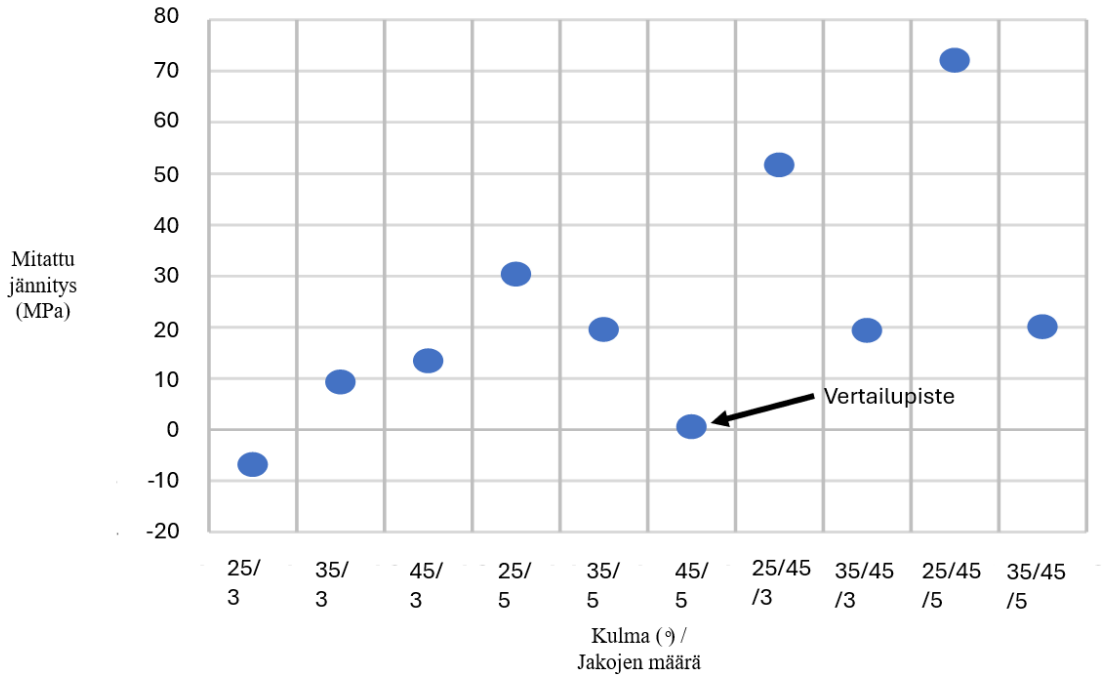
Kuvassa 9 on esitetty kuinka erilaiset asemoinnissa esiintyvät kulmavirheet voivat vaikuttaa saatuihin mittaustuloksiin. Kuvassa on esitettynä kulman vaikutus kolmella eri etäisyyden muutoksella: -0.5,0 ja 0.5 mm.



Kuva 9. Kulmavirheen vaikutus mittaustulokseen eri etäisyyksillä. Teräksinen kappale.

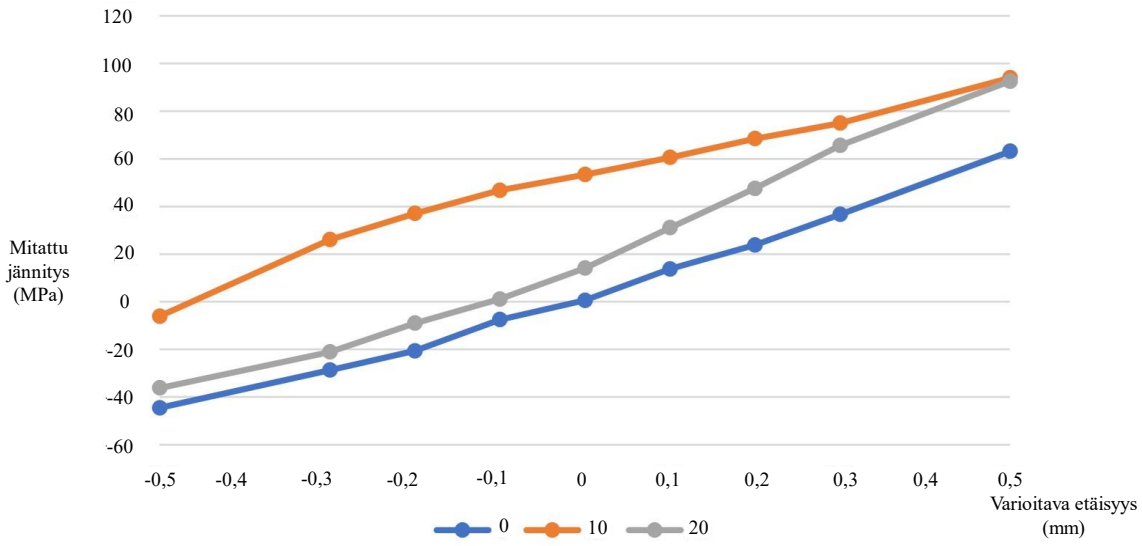
4.2 Alumiinin mittaustulokset

Alumiinille suoritetuissa mittauksissa koekappale asetettiin 0, 10 ja 20-asteen kulmaan mittalaitteeseen nähden. Mittauksista saadut tulokset on esitetty kuvissa 10–12. Kuvassa 10 on esitettynä erilaisilla kallistuksilla saatuja tuloksia. Mittauksissa varioitiin kallistuksien suuruutta, symmetrisyyttä ja kuinka moneen osaan mittalaite jakoi kallistukset. Kuvassa 10 on myös esitettynä alumiinilla valittu vertailupiste, joka on saatu, kun kappale oli 0-asteen kulmassa mittalaitteeseen nähden ja etäisyyden muutos kalibroituun etäisyyteen nähden oli 0 mm. Vertailupiste saatiin, kun jäännösjännitykset mitattiin symmetrisellä 45-asteen kallistuksella, joka jaettiin 5-osaan.



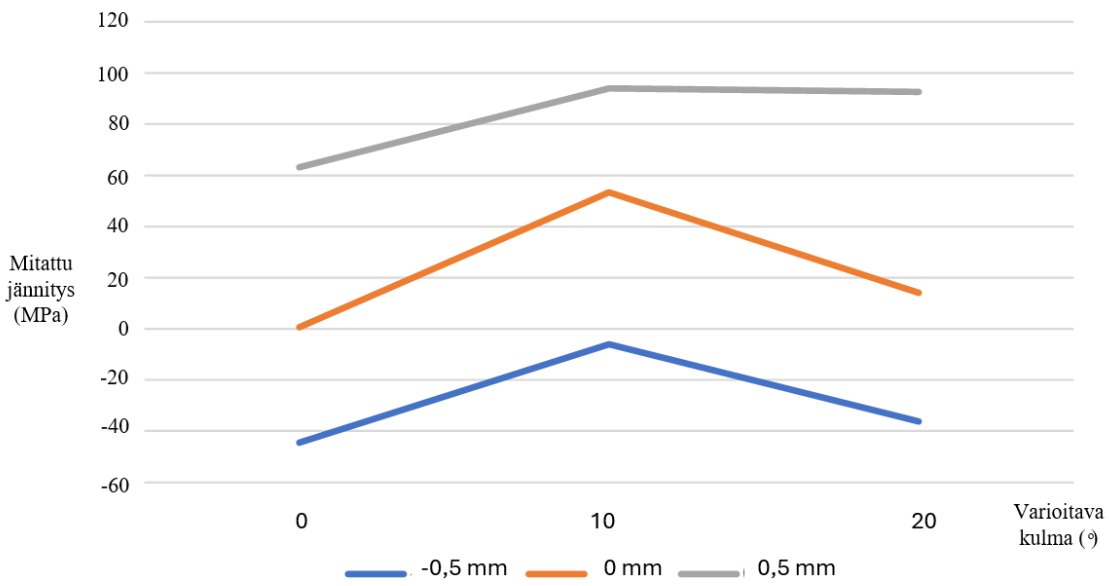
Kuva 10. Mitattujen jäännösjännitysten vaihtelu alumiinilla eri mittausparametreilla, kun kulma on 0-astetta ja etäisyys 0 mm. Kuvassa on nuolella merkattu vertailupiste, johon viitataan aina, kun puhutaan alumiinista valmistettujen koekappaleiden vertailupisteestä.

Kuvassa 11 on esitetty etäisyyden muutoksen vaikutus saatuihin mittaustuloksiin, kun kappale on asemoitu eri suuruisiin kulmiin mittalaitteeseen nähden. Jokainen piste on mitattu samanlaisella 45-asteen symmetrisellä kallistuksella, joka on jaettu 5 osaan. Erilaiset kulman suuruudet on esitetty eri väreillä.



Kuva 11. Etäisyyden vaikutus mittaustuloksiin alumiinilla eri kulman suuruuksilla.

Kuvassa 12 on esitetty kuinka erilaiset asemoinnissa esiintyvät kulmavirheet voivat vaikuttaa saatuihin mittaustuloksiin. Kuvassa on esitettynä kulman vaikutus kolmella eri etäisyyden muutoksella: -0.5,0 ja 0.5 mm.



Kuva 12. Kulmavirheen vaikutus mittaustulokseen eri etäisyyksillä. Alumiininen kappale.

5 Tulosten analysointia ja johtopäätökset

Teräksestä valmistettuihin koekappaleisiin saatiin luotua suuret jäännösjännitykset hitsin avulla. Teräksen mittaustuloksilla saatiin määritettyä, että jäännösjännitysmittauksissa saadut tulokset kasvoivat lineaarisesti etäisyyden kasvaessa. Mitatut jännitykset kasvoivat noin 15 MPa/0,1 mm. Suoran kulmakerroin pysyy kaikilla mitatuilla kallistuksilla samana. Kulmakertoimen avulla lasketut tulokset erosivat mitatuista tuloksista enintään 10 MPa, joka vastaa noin 1-prosentin virhettä. Mittalaite laskee myös itse tuloksille mittatarkkuuden, joka suurimmassa osassa mittauksista oli noin $\pm$10 MPa. Tämän myötä voidaan olettaa, että ainakin, kun etäisyyden muutos mittalaitteen kalibroinnissa asetettuun etäisyyteen pysyy 0,5 mm sisällä, mittaustulokset käyttäytyvät lineaarisesti.

Tämän tiedon pohjalta voidaan arvioida jäännösjännitysten suuruutta, jos niiden mittaaminen ei onnistu kalibroidulla etäisyydellä. Tästä on hyötyä, jos mittauspiste on esimerkiksi kohdassa, johon mittalaitteen kollimaattori ei syystä tai toisesta mahdu. Jatkotutkimuksissa voisi selvittää jatkaako jäännösjännitysten muutos kasvamista lineaarisesti, kun etäisyyden muutos kasvaa yli 0,5 mm.

Teräksellä huomattiin, että 5-asteen kulma ei vielä vaikuta saatuihin tuloksiin merkittävästi. Mittauksissa saadut tulokset antoivat hieman pienemmät tulokset kuin kohtisuorat tulokset. 5-asteen kulmalla saadut tulokset pysyivät kuitenkin kohtisuorien tuloksen mittaustarkkuuksien sisäpuolella, joten niiden erot voidaan olettaa merkityksettömiksi. Kun kulmaa kasvatettiin 10-asteeseen, tulokset kasvoivat reilu 30 MPa, joka vastaa noin 4 % kasvua. Kun kulmaa kasvatettiin 10-asteesta 20-asteeseen, muutos oli huomattavasti pienempi. 20-asteen kulma aiheutti noin 40 MPa:n kasvun vertailupisteeseen nähden, joka vastaa noin 5 % kasvua. Tuloksista huomataan, että 5-asteen kulmavirhe asemoinnissa voidaan sallia, koska sen vaikutus mittaustuloksiin on mittaustarkkuuden puitteissa hyvin pieni, ja siksi voidaan olettaa merkityksettömiksi.

Kun kallistuksia varioitiin teräksellä, pienillä kulmavirheillä huomattiin, että kallistuksen kulman suuruudella, symmetrisyydellä ja jakojen määrällä oli merkitystä tulosten kannalta. Epäsymmetrisillä kallistuksilla epäsymmetrisyyden suuruus vaikutti jäännösjännityksien suuruuteen. Suurempi ero kallistuksenkulmien välillä antoi suurempia tuloksia jakojen määrästä riippumatta. Kulmavirheen kasvaessa kallistuksien merkitys pienenee merkittävästi.

Suurilla kulmavirheillä ei ollut havaittavissa suuria eroja erilaisten kallistusten välillä. Suurilla kulmavirheillä merkittävin tekijä on kallistuksen kulman suuruudella; pienempi kallistuskulma johtaa pienempään jännitykseen.

Alumiinisilla koekappaleilla hitsauksen jälkeen jäännösjännitykset olivat lähellä nollaa. Alumiinisten koekappaleiden mittauksissa huomattiin niiden olevan herkempiä asemoinnissa esiintyville kulmavirheille. Etäisyyden vaikutus alumiinilla on kuitenkin terästä pienempi. Etäisyyden muutos vaikuttaa alumiinilla noin 10 MPa/0,1 mm. Tämä on kuitenkin alumiinisessa koekappaleessa vallitseviin jäännösjännityksiin suhteutettuna todella merkittävä muutos.

Alumiinilla saaduissa tuloksissa kulmavirheen merkitys vaihtelee. 10-asteen kulmavirhe aiheutti noin 40 MPa:n kasvun mitattuihin arvoihin. 20-asteen kulmavirhe aiheutti kuitenkin noin 10 MPa:n kasvun mitattuihin arvoihin, kun etäisyyden muutos ei ollut positiivista. Positiivisella etäisyyden muutoksella virheen suuruus 10- ja 20-asteen kulmavirheillä oli suurin piirtein yhtä suuri.

Kallistusten merkitys alumiinilla oli terästä merkittävämpi. Pienillä kulmavirheillä kallistusten suuruus ja symmetrisyys korostuvat. Suurella kulmavirheellä kallistusten suuruuksien ja jakojen määrien merkitykset pienenevät, mutta symmetrisyyden merkitys korostuu. Suurilla kulmavirheillä ja symmetrisillä kallistuksilla saadut tulokset pysyivät suurin piirtein yhtä suurina. Epäsymmetrisillä kallistuksilla suuret erot kallistuskulmien välillä johti merkittävään virheeseen kaikilla kulmavirheillä.

Alumiinin mittauksissa ongelmana oli koekappaleisiin hitsauksen ja siirtämisen aikana syntyneet naarmut, jotka ovat mahdollisesti vaikuttaneet saatuihin tuloksiin. Alumiinisia koekappaleita ei kuitenkaan ehditty valmistamaan uudestaan tämän työn aikataulun puitteissa. Jotta alumiinilla saaduista tuloksista saataisiin varmaa tietoa, täytyisi mittaukset uusia alumiinin kohdalta kulmavirheen vaikutuksen osalta.

6 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin röntgendiffraktometrin asemoinnissa esiintyvien virheiden ja erilaisten mittausparametrien vaikutusta mittaustuloksiin. Tutkimuksessa valmistettiin teräksestä ja alumiinista koekappaleita, joiden pintaan hitsattiin pintapalko jäännösjännityksien aiheuttamiseksi.

Koekappaleista mitattiin jäännösjännitykset varioimalla mittauksessa käytettyjä parametreja ja kallistamalla koekappaleita mittalaitteeseen nähden. Tutkimuksessa varioitavia parametreja olivat koekappaleen kulma ja etäisyys mittalaitteeseen nähden ja mittauksissa käytetyt kallistukset. Saatuja tuloksia verrattiin kummallakin materiaalilla valittuun vertailupisteeseen, jonka oletettiin edustavan mittauspisteen todellista jäännösjännitystä. Alumiinisissa koekappaleissa jäännösjännitykset pysyivät matalina. Teräksisissä koekappaleissa jäännösjännitykset olivat huomattavasti alumiinisia korkeammat.

Tuloksista huomattiin, että jäännösjännitykset muuttuvat teräksellä ja alumiinilla lineaarisesti etäisyyden muuttuessa. Teräksellä jäännösjännitysten muutos oli noin 15 MPa/0,1 mm ja alumiinilla muutos oli noin 10 MPa/0,1 mm.

Teräksellä huomattiin, että 5-asteen kulmavirhe asemoinnissa ei vaikuta mittaustuloksiin merkittävästi. Alumiinilla ei saatu määritettyä sallittua kulmavirhettä, koska alumiinilla suoritettiin terästä vähemmän mittauksia aikataulun takia.

Parametreja varioitaessa huomattiin molemmilla materiaaleilla kallistusten suuruuksilla, jakojen määrällä ja symmetrisyydellä olevan merkitystä saatuihin tuloksiin. Alumiini reagoi terästä herkemmin erilaisiin kallistuksiin. Molemmilla materiaaleilla symmetriset kallistukset olivat epäsymmetrisiä kallistuksia parempi vaihtoehto.

Työssä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jäännösjännitysten mittauksessa entistä tarkempien tulosten saamiseksi tilanteissa, joissa mittalaitteen asemoiminen ei täysin vastaa kalibroinnissa käytettyä asemointia.

Lähteet

Asquith D., Chen Z., Hattingh D.G., Hughes D.J., James M.N., Lombard H. et al. (2007) *Residual Stresses and Fatigue Performance.* Oxford ; New York : Pergamon.

Bhadeshia H.K.D.H. ja Withers P.J. (2001a) Residual stress. Part 1 - Measurement techniques. *Materials Science and Technology* 17(4): 355-365.

Bhadeshia H.K.D.H. ja Withers P.J. (2001b) *Residual Stress. Part 2 – Nature and Origins.* London ; Cambridge, Mass. : Maney.

Benke M., Cseh D. ja Mertinger V. (2015) Innovative Residual Stress Measurements by X-Ray Diffraction. *Materials Science Forum* 812: 303-308.

Benyounis K.Y., Dassisti M.,Rossini N.S., Olabi A.G. (2012) *Methods of Measuring Residual Stresses in Components.* Reigate, Surrey, Eng.] : Scientific and Technical Press.

Fitzpatrick M.E., Fry A.T., Holdway P., Kandil F.A., Shackleton J. ja Suominen L. (2005) Determination of residual stresses by X-ray diffraction.

Halford G.R. ja Zhuang W.Z. (2001) *Investigation of Residual Stress Relaxation Under Cyclic Load.* Guildford, Surrey : IPC Science and Technology Press.

Inoue T., Howes M., Totten G. (2002) *Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel.* Materials Park: A S M International.

Kudryavtsev Y.F. and Sharpe W.N. (2008) *Residual Stress.* Boston, MA : Springer Science+Business Media.

Lin J., Lei Y., Ma N. ja Murakawa H. (2017) Measurement of residual stress in arc welded lap joints by cosα X-ray diffraction method. *Journal of Materials Processing Technology* 243: 387-394.

Löhe, D. and Vöhringer O. (2002) *Stability of Residual Stresses.* Teoksessa: Inoue T., Howes M, Totten G. Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. A S M International.

McCLUNG R.C. (2007) *A Literature Survey on the Stability and Significance of Residual Stresses during Fatigue.* Oxford ; New York, NY : Pergamon Press.

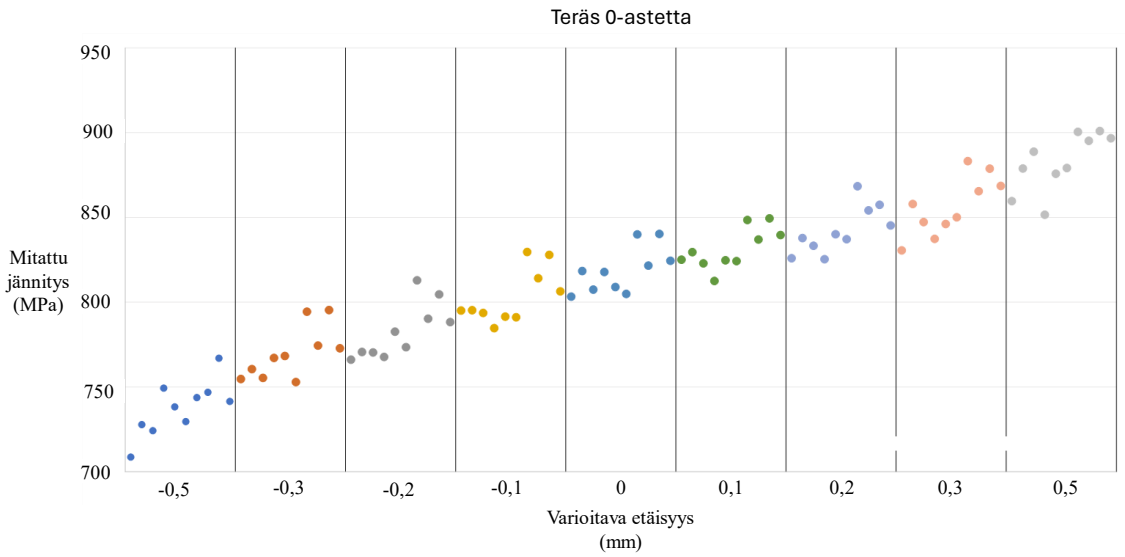
Ruud, C. (2002) *Measurement of Residual Stresses.* Teoksessa: Inoue T, Howes M, Totten G Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel. A S M International.

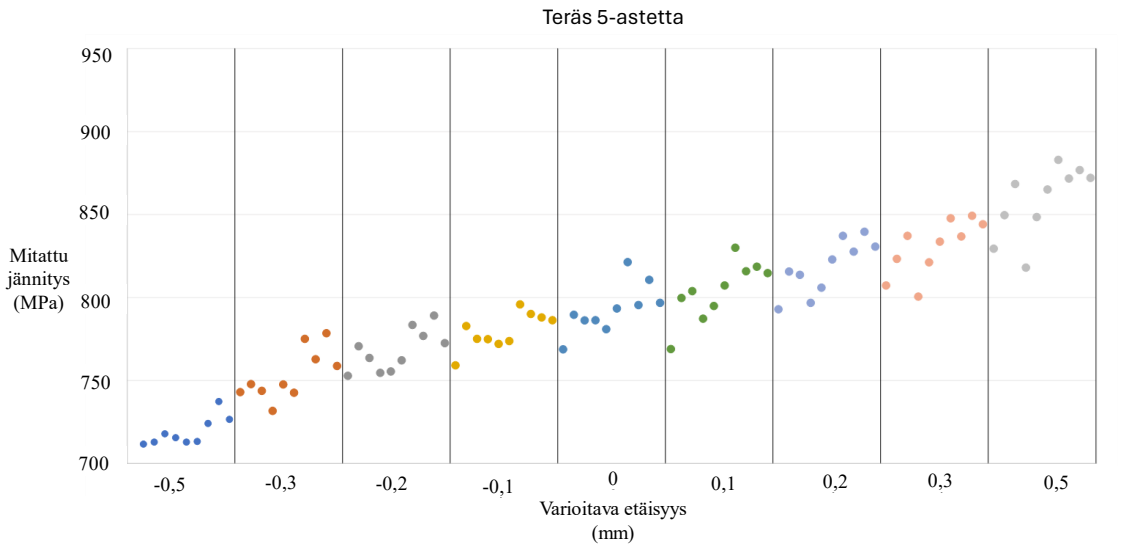
Schajer G.S. (2013) *Practical Residual Stress Measurement Methods.* Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Inc.

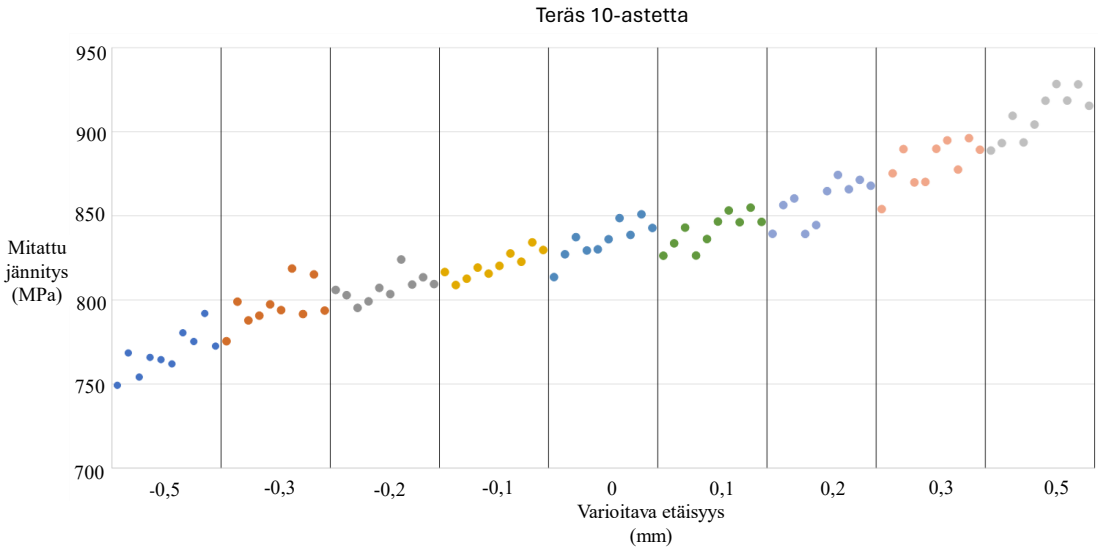
Sharpe W.N. (2008) *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics.* Boston, MA: Springer Science+Business Media.

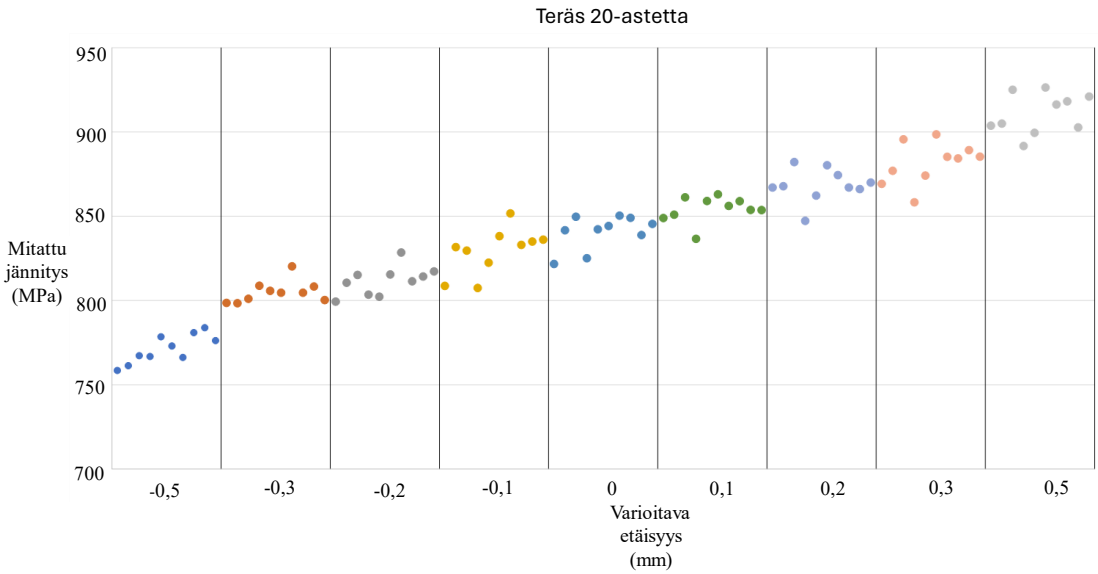
Withers P.J. (2007) Residual stress and its role in failure. *Reports on Progress in Physics* 70(12): 2211.

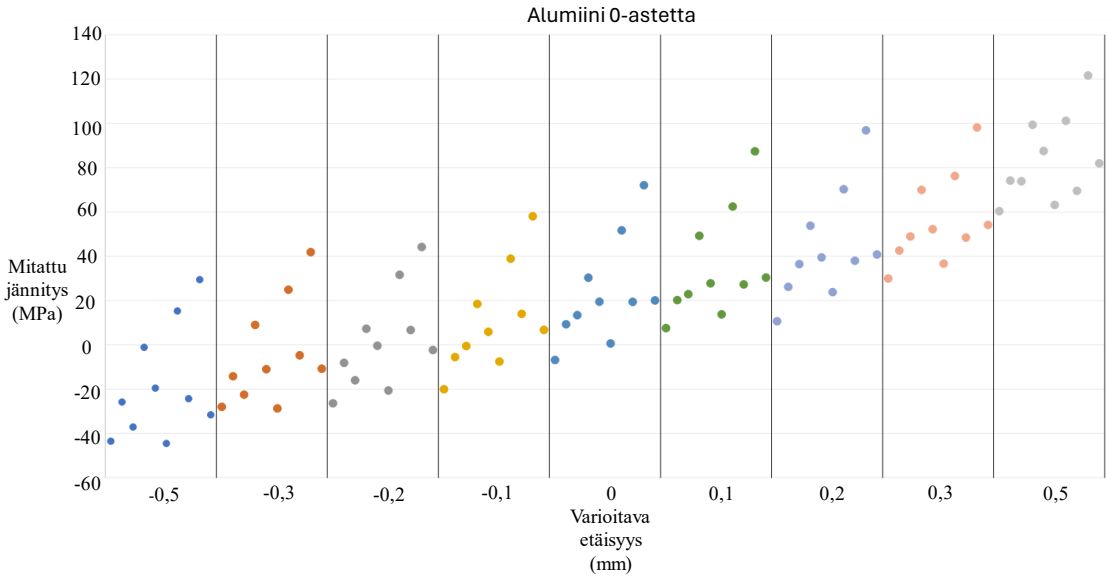
Liite 1. Jäännösjännitysmittauksien tulokset.

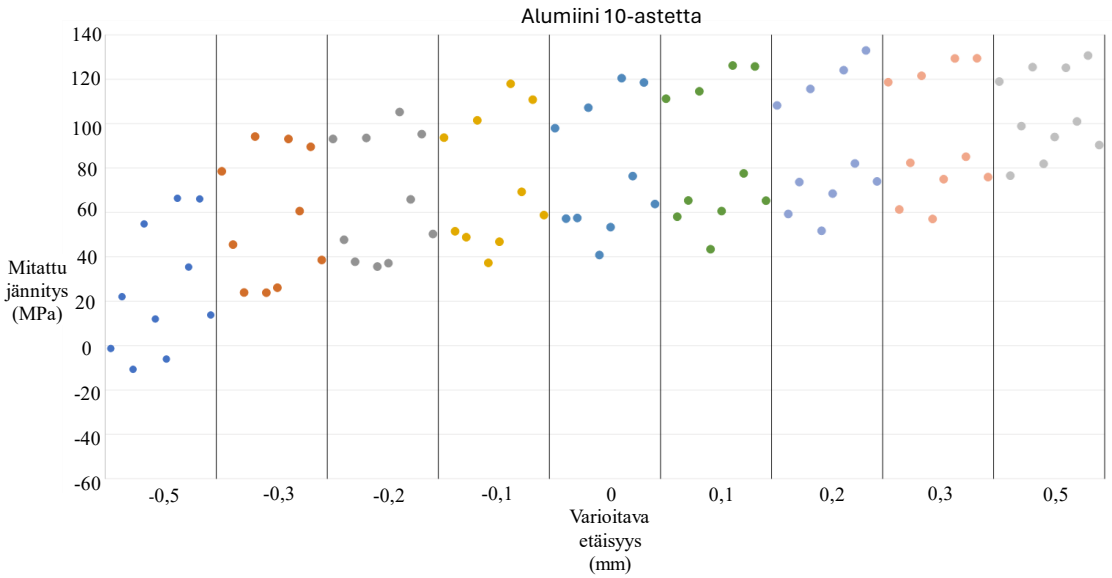


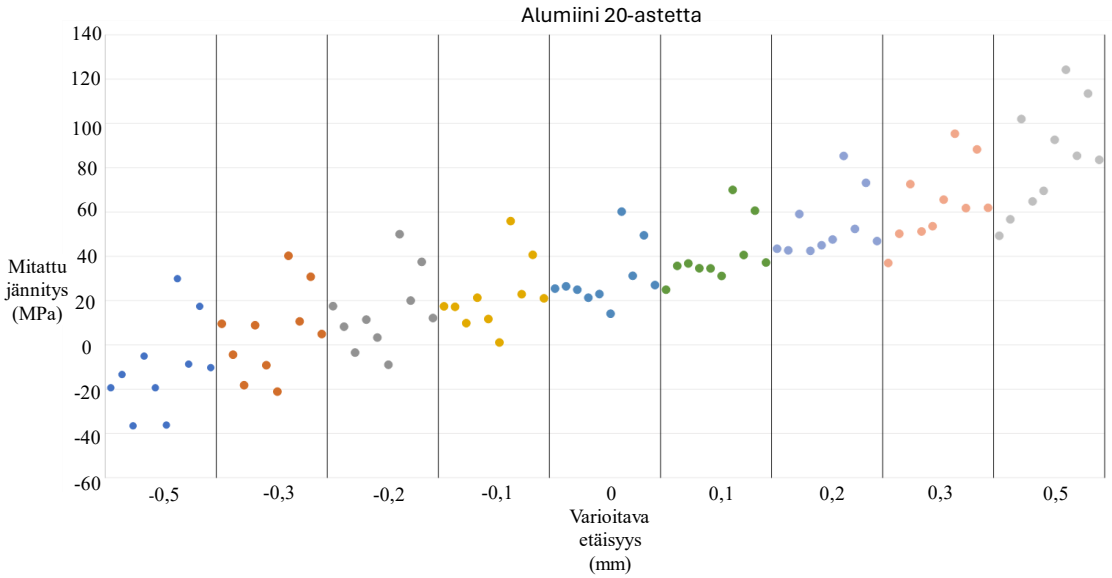



Teräs 10-astetta
950
900
850
800
750
700
Mitattu jännitys (MPa)
-0,5
-0,3
-0,2
-0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,5
Varioitava etäisyys (mm)


Teräs 20-astetta
950
900
850
800
750
700
Mitattu jännitys (MPa)
-0,5
-0,3
-0,2
-0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,5
Varioitava etäisyys (mm)


Alumiini 0-astetta
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
Mitattu jännitys (MPa)
-0,5
-0,3
-0,2
-0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,5
Varioitava etäisyys (mm)


Alumiini 10-astetta
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
Mitattu jännitys (MPa)
-0,5
-0,3
-0,2
-0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,5
Varioitava etäisyys (mm)


Alumiini 20-astetta
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
Mitattu jännitys (MPa)
-0,5
-0,3
-0,2
-0,1
0
0,1
0,2
0,3
0,5
Varioitava etäisyys (mm)

Liite 2. Mittausdata

Alumiini 0 (vas.), 10 (kesk.) ja 20-astetta (oik.)

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	-43,5	38,2	1,19	0,05	138,89
1	1,5	-25,8	25,1	1,22	0,05	138,89
2	2,5	-37,1	10,4	1,2	0,05	138,9
3	3,5	-1,1	40,4	1,15	0,07	138,93
4	4,5	-19,5	16,8	1,19	0,09	138,91
5	5,5	-44,5	13,2	1,2	0,07	138,89
6	6,5	15,3	39,3	1,19	0,08	138,91
7	7,5	-24,3	19,1	1,24	0,05	138,9
8	8,5	29,5	31,7	1,19	0,08	138,94
9	9,5	-31,6	13,3	1,19	0,1	138,9
0	10,5	-28	33,6	1,16	0,08	138,78
1	11,5	-14,2	17	1,24	0,03	138,75
2	12,5	-22,5	8,8	1,22	0,04	138,75
3	13,5	9	38,7	1,16	0,07	138,79
4	14,5	-11	14,4	1,18	0,08	138,78
5	15,5	-28,7	13,8	1,19	0,07	138,73
6	16,5	24,9	29,8	1,18	0,06	138,76
7	17,5	-4,7	15,2	1,21	0,03	138,75
8	18,5	41,9	30,7	1,18	0,07	138,77
9	19,5	-10,8	13,1	1,17	0,08	138,75
0	20,5	-26,4	28,5	1,17	0,07	138,69
1	21,5	-8,1	17,9	1,23	0,02	138,67
2	22,5	-16	8	1,22	0,06	138,67
3	23,5	7,3	40	1,17	0,06	138,71
4	24,5	-0,4	14,5	1,18	0,08	138,7
5	25,5	-20,6	13,3	1,19	0,07	138,66
6	26,5	31,6	30,1	1,17	0,05	138,69
7	27,5	6,7	18,4	1,21	0,02	138,67
8	28,5	44,2	32,4	1,18	0,06	138,7
9	29,5	-2,3	13	1,18	0,08	138,68
0	30,5	-20	32	1,2	0,08	138,62
1	31,5	-5,5	18,8	1,22	0,04	138,59
2	32,5	-0,5	9,1	1,23	0,09	138,6
3	33,5	18,5	37,8	1,17	0,08	138,62
4	34,5	5,9	15,1	1,17	0,07	138,62
5	35,5	-7,5	11,8	1,21	0,1	138,58
6	36,5	38,9	28	1,19	0,07	138,61
7	37,5	14	18,5	1,21	0,05	138,61
8	38,5	58,1	29,2	1,17	0,08	138,62
9	39,5	6,8	13,6	1,17	0,08	138,61
0	40,5	-6,8	33,6	1,18	0,07	138,54
1	41,5	9,3	20,7	1,21	0,03	138,52
2	42,5	13,4	9,6	1,24	0,09	138,55
3	43,5	30,3	37,5	1,18	0,08	138,55
4	44,5	19,5	15,7	1,17	0,07	138,54
5	45,5	0,6	12,3	1,21	0,09	138,5
6	46,5	51,7	32,8	1,16	0,05	138,54
7	47,5	19,4	19,2	1,19	0,05	138,52
8	48,5	72,1	30,7	1,17	0,07	138,55
9	49,5	20,1	13,5	1,17	0,07	138,53
0	50,5	7,6	35,2	1,19	0,06	138,47
1	51,5	20,2	20,6	1,21	0,03	138,45
2	52,5	22,9	9,8	1,26	0,09	138,45
3	53,5	49,3	39,3	1,16	0,07	138,49
4	54,5	27,8	14,9	1,17	0,07	138,47
5	55,5	13,8	13,5	1,21	0,1	138,44
6	56,5	62,5	30	1,17	0,05	138,46
7	57,5	27,3	20	1,19	0,03	138,45
8	58,5	87,4	33	1,17	0,07	138,49
9	59,5	30,4	13,1	1,17	0,08	138,48
0	60,5	10,7	38,9	1,2	0,08	138,39
1	61,5	26,2	21,5	1,21	0,02	138,38
2	62,5	36,5	9,8	1,24	0,07	138,38
3	63,5	53,8	39,9	1,17	0,07	138,4
4	64,5	39,5	15,7	1,18	0,07	138,39
5	65,5	23,8	13,8	1,21	0,07	138,37
6	66,5	70,3	26,6	1,19	0,06	138,39
7	67,5	38	16,3	1,2	0,02	138,37
8	68,5	96,9	36,2	1,16	0,07	138,42
9	69,5	40,8	13,9	1,18	0,08	138,39
0	70,5	30	36,9	1,2	0,08	138,32
1	71,5	42,6	22,9	1,21	0,04	138,31
2	72,5	49	13,9	1,24	0,06	138,31
3	73,5	70	43,4	1,18	0,08	138,33
4	74,5	52,2	17,8	1,19	0,07	138,31
5	75,5	36,7	13,8	1,21	0,08	138,31
6	76,5	76,3	28,2	1,19	0,06	138,32
7	77,5	48,5	17,8	1,2	0,05	138,29
8	78,5	98,2	38,3	1,19	0,08	138,33
9	79,5	54,2	14,4	1,17	0,09	138,31
0	80,5	60,4	50,4	1,21	0,06	138,18
1	81,5	74,2	25,2	1,22	0,07	138,17
2	82,5	73,9	18,3	1,23	0,03	138,16
3	83,5	99,4	42	1,16	0,08	138,19
4	84,5	87,6	23,4	1,19	0,08	138,18
5	85,5	63,2	15,5	1,21	0,07	138,15
6	86,5	101,2	35,1	1,19	0,05	138,17
7	87,5	69,6	17	1,21	0,05	138,15
8	88,5	121,7	35,5	1,19	0,08	138,18
9	89,5	82	17,5	1,19	0,09	138,17

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	-1,3	20,6	1,16	0,05	138,9
1	1,5	22	16,9	1,17	0,06	138,91
2	2,5	-10,7	23,4	1,26	0,14	138,92
3	3,5	54,8	28,4	1,14	0,03	138,95
4	4,5	12	28,4	1,16	0,05	138,93
5	5,5	-6,1	14,7	1,22	0,13	138,89
6	6,5	66,4	24,6	1,22	0,14	138,92
7	7,5	35,4	25,4	1,23	0,12	138,91
8	8,5	66,1	25,6	1,2	0,11	138,93
9	9,5	13,8	26,7	1,17	0,12	138,91
0	10,5	78,5	33,1	1,17	0,02	138,76
1	11,5	45,5	16,9	1,15	0,03	138,75
2	12,5	23,9	30	1,26	0,09	138,75
3	13,5	94,2	28,8	1,15	0,05	138,78
4	14,5	23,8	28	1,17	0,04	138,75
5	15,5	26,1	19,7	1,22	0,11	138,73
6	16,5	93,1	30,9	1,22	0,09	138,76
7	17,5	60,6	35	1,23	0,09	138,76
8	18,5	89,6	26,6	1,19	0,09	138,77
9	19,5	38,6	27,7	1,17	0,1	138,76
0	20,5	93,1	34,2	1,15	0,02	138,69
1	21,5	47,7	17,6	1,14	0,05	138,68
2	22,5	37,8	34,2	1,24	0,09	138,67
3	23,5	93,6	30,5	1,16	0,04	138,71
4	24,5	35,6	26,3	1,15	0,04	138,67
5	25,5	37,1	19,6	1,21	0,08	138,66
6	26,5	105,3	32,7	1,21	0,07	138,69
7	27,5	65,9	36,9	1,21	0,08	138,68
8	28,5	95,3	26,6	1,2	0,07	138,69
9	29,5	50,3	25,1	1,18	0,07	138,66
0	30,5	93,7	43,3	1,15	0,03	138,62
1	31,5	51,5	19,1	1,16	0,04	138,6
2	32,5	48,8	34,2	1,26	0,07	138,6
3	33,5	101,5	31,6	1,15	0,04	138,62
4	34,5	37,3	26	1,16	0,05	138,58
5	35,5	46,8	19,2	1,22	0,08	138,59
6	36,5	118	33,7	1,19	0,09	138,61
7	37,5	69,3	37,7	1,22	0,07	138,59
8	38,5	110,8	27,4	1,18	0,06	138,63
9	39,5	58,8	23,4	1,19	0,08	138,58
0	40,5	98	41,4	1,17	0,02	138,54
1	41,5	57,2	20,9	1,18	0,02	138,51
2	42,5	57,5	33,2	1,26	0,07	138,51
3	43,5	107,2	29,9	1,16	0,03	138,55
4	44,5	40,8	23,8	1,18	0,05	138,51
5	45,5	53,4	18,6	1,23	0,07	138,51
6	46,5	120,5	30,4	1,21	0,08	138,53
7	47,5	76,4	39,9	1,23	0,07	138,51
8	48,5	118,6	26,5	1,19	0,06	138,53
9	49,5	63,8	22,9	1,2	0,07	138,5
0	50,5	111,3	38,9	1,15	0,01	138,46
1	51,5	58,1	20,4	1,18	0,05	138,44
2	52,5	65,4	28,9	1,26	0,08	138,44
3	53,5	114,6	31,5	1,16	0,05	138,46
4	54,5	43,4	21,3	1,17	0,05	138,43
5	55,5	60,6	16,7	1,23	0,08	138,43
6	56,5	126,2	27,4	1,21	0,07	138,46
7	57,5	77,6	35,8	1,22	0,07	138,43
8	58,5	125,8	25,5	1,19	0,05	138,45
9	59,5	65,3	20,8	1,2	0,05	138,42
0	60,5	108,2	38,9	1,16	0,02	138,36
1	61,5	59,3	20,5	1,17	0,04	138,35
2	62,5	73,7	26,5	1,25	0,08	138,36
3	63,5	115,7	26,8	1,17	0,05	138,38
4	64,5	51,7	17,9	1,19	0,06	138,35
5	65,5	68,5	14,6	1,24	0,08	138,35
6	66,5	124,1	25,3	1,19	0,07	138,36
7	67,5	82,1	30,1	1,22	0,07	138,35
8	68,5	133	21,6	1,19	0,05	138,38
9	69,5	74	18,8	1,2	0,06	138,36
0	70,5	118,7	37,5	1,17	0,03	138,29
1	71,5	61,3	19,6	1,19	0,05	138,29
2	72,5	82,4	20,2	1,28	0,07	138,28
3	73,5	121,6	27,2	1,18	0,04	138,31
4	74,5	57,1	15,5	1,19	0,05	138,29
5	75,5	75	13,3	1,26	0,07	138,29
6	76,5	129,4	21,5	1,19	0,07	138,3
7	77,5	85,1	26,4	1,22	0,05	138,29
8	78,5	129,5	18	1,21	0,05	138,29
9	79,5	75,9	16,9	1,22	0,05	138,28
0	80,5	119	37,4	1,16	0,03	138,15
1	81,5	76,6	17,4	1,2	0,04	138,12
2	82,5	98,9	10,3	1,26	0,08	138,14
3	83,5	125,5	26,6	1,18	0,05	138,15
4	84,5	81,9	13,4	1,21	0,06	138,14
5	85,5	94	8,9	1,25	0,07	138,15
6	86,5	125,2	16,4	1,18	0,06	138,14
7	87,5	101	14,7	1,22	0,07	138,13
8	88,5	130,7	16,3	1,2	0,06	138,15
9	89,5	90,4	14	1,21	0,07	138,14

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	-19,4	17,5	1,21	0,04	138,74
1	1,5	-13,4	20	1,2	0,06	138,77
2	2,5	-36,6	22,4	1,26	0,08	138,77
3	3,5	-5,1	20,9	1,2	0,04	138,77
4	4,5	-19,4	15,2	1,19	0,05	138,76
5	5,5	-36,2	15,7	1,23	0,06	138,76
6	6,5	29,9	24,3	1,21	0,08	138,79
7	7,5	-8,7	18,9	1,24	0,07	138,77
8	8,5	17,4	20	1,2	0,07	138,77
9	9,5	-10,3	12,4	1,23	0,06	138,78
0	10,5	9,5	13,5	1,2	0,02	138,62
1	11,5	-4,4	21,6	1,19	0,07	138,62
2	12,5	-18,2	20,9	1,26	0,08	138,63
3	13,5	8,9	18,3	1,2	0,05	138,62
4	14,5	-9,2	15,8	1,2	0,04	138,64
5	15,5	-21,1	14,6	1,24	0,06	138,6
6	16,5	40,2	25,9	1,23	0,06	138,63
7	17,5	10,6	22,1	1,24	0,06	138,62
8	18,5	30,8	19,1	1,22	0,05	138,63
9	19,5	4,9	15,6	1,23	0,05	138,62
0	20,5	17,5	11,5	1,2	0,04	138,53
1	21,5	8,2	23,3	1,19	0,04	138,54
2	22,5	-3,5	18,8	1,27	0,09	138,55
3	23,5	11,4	20,5	1,2	0,03	138,54
4	24,5	3,3	15,9	1,21	0,04	138,55
5	25,5	-9	13,3	1,25	0,08	138,53
6	26,5	50	23,3	1,23	0,06	138,56
7	27,5	20	22,5	1,25	0,07	138,55
8	28,5	37,5	16,6	1,23	0,06	138,54
9	29,5	12,1	15,7	1,23	0,05	138,54
0	30,5	17,4	11	1,21	0,05	138,47
1	31,5	17,2	25,8	1,2	0,07	138,48
2	32,5	9,8	20,3	1,28	0,09	138,48
3	33,5	21,3	20,4	1,21	0,04	138,47
4	34,5	11,7	17,5	1,22	0,06	138,48
5	35,5	1,1	13,9	1,27	0,07	138,45
6	36,5	55,9	21,4	1,24	0,07	138,49
7	37,5	22,9	22,4	1,29	0,07	138,47
8	38,5	40,7	14,7	1,24	0,07	138,48
9	39,5	21	14,6	1,26	0,06	138,47
0	40,5	25,4	11,6	1,19	0,03	138,4
1	41,5	26,4	25,5	1,21	0,04	138,4
2	42,5	24,9	16,9	1,29	0,1	138,41
3	43,5	21,3	20,1	1,2	0,03	138,4
4	44,5	23	19,1	1,23	0,05	138,4
5	45,5	14,1	13,9	1,29	0,09	138,39
6	46,5	60,2	17,8	1,25	0,11	138,4
7	47,5	31,2	20,8	1,27	0,08	138,4
8	48,5	49,5	12,7	1,24	0,08	138,4
9	49,5	27	14,6	1,25	0,06	138,4
0	50,5	24,9	11,5	1,22	0,02	138,32
1	51,5	35,7	30,8	1,21	0,03	138,32
2	52,5	36,8	15,7	1,33	0,1	138,32
3	53,5	34,6	19,8	1,2	0,02	138,31
4	54,5	34,5	20,3	1,23	0,06	138,34
5	55,5	31,1	13,8	1,29	0,09	138,32
6	56,5	70	17,4	1,27	0,11	138,33
7	57,5	40,6	19,3	1,29	0,08	138,33
8	58,5	60,6	10,5	1,24	0,08	138,33
9	59,5	37,2	14,5	1,25	0,08	138,34
0	60,5	43,4	15,2	1,22	0,03	138,27
1	61,5	42,7	32,2	1,2	0,05	138,26
2	62,5	59,1	15,1	1,31	0,07	138,26
3	63,5	42,5	20,1	1,21	0,04	138,25
4	64,5	45	19,7	1,22	0,07	138,28
5	65,5	47,6	13,4	1,3	0,09	138,26
6	66,5	85,3	14,2	1,27	0,09	138,27
7	67,5	52,4	20,7	1,28	0,1	138,26
8	68,5	73,2	12,2	1,26	0,09	138,25
9	69,5	46,9	14,8	1,27	0,09	138,25
0	70,5	37	22,6	1,2	0,02	138,18
1	71,5	50,2	30,9	1,2	0,04	138,18
2	72,5	72,6	17,8	1,32	0,1	138,19
3	73,5	51,2	21,7	1,19	0,02	138,17
4	74,5	53,6	19,4	1,23	0,06	138,19
5	75,5	65,6	15,2	1,3	0,1	138,17
6	76,5	95,4	17,5	1,26	0,11	138,18
7	77,5	61,8	20,4	1,28	0,1	138,18
8	78,5	88,3	12	1,25	0,09	138,18
9	79,5	61,9	14	1,26	0,08	138,19
0	80,5	49,3	19,9	1,21	0,04	138,04
1	81,5	56,7	30,4	1,21	0,04	138,03
2	82,5	102	14,1	1,33	0,08	138,03
3	83,5	64,8	22,3	1,21	0,03	138,03
4	84,5	69,6	18,7	1,23	0,05	138,05
5	85,5	92,6	16,5	1,3	0,08	138,02
6	86,5	124,3	19,1	1,27	0,1	138,03
7	87,5	85,4	19,9	1,28	0,07	138,03
8	88,5	113,5	17,3	1,26	0,08	138,05
9	89,5	83,6	15,4	1,27	0,06	138,04

Teräs 0-astetta (vas.) ja 5-astetta (oik.)

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	708,7	21,2	2,51	0,03	156,68
1	1,5	727,9	19	2,53	0,03	156,7
2	2,5	724,3	21	2,57	0,05	156,73
3	3,5	749,4	14,1	2,57	0,03	156,72
4	4,5	738,3	12,4	2,6	0,03	156,72
5	5,5	729,7	12,2	2,61	0,02	156,71
6	6,5	743,8	19	2,61	0,05	156,79
7	7,5	746,9	14	2,61	0,03	156,71
8	8,5	767	12,5	2,6	0,04	156,72
9	9,5	741,5	12,3	2,6	0,03	156,72
0	10,5	754,8	15,8	2,59	0,04	156,63
1	11,5	760,6	16,9	2,58	0,03	156,62
2	12,5	755,4	15,9	2,6	0,03	156,62
3	13,5	767,2	11,9	2,58	0,03	156,61
4	14,5	768,3	12,8	2,6	0,04	156,61
5	15,5	753	11,4	2,61	0,04	156,62
6	16,5	794,5	17,7	2,61	0,03	156,62
7	17,5	774,5	15	2,58	0,06	156,62
8	18,5	795,4	14	2,59	0,04	156,61
9	19,5	772,9	9,6	2,59	0,02	156,62
0	20,5	766,2	16,2	2,58	0,03	156,57
1	21,5	770,7	18,2	2,58	0,04	156,56
2	22,5	770,4	17,8	2,6	0,02	156,56
3	23,5	767,8	14,4	2,6	0,02	156,59
4	24,5	782,7	12,3	2,58	0,03	156,59
5	25,5	773,5	12,7	2,61	0,05	156,58
6	26,5	813	17,5	2,6	0,06	156,57
7	27,5	790,3	15,9	2,6	0,03	156,56
8	28,5	804,7	11,1	2,59	0,03	156,58
9	29,5	788,3	10,1	2,61	0,04	156,57
0	30,5	795,1	20,4	2,61	0,02	156,53
1	31,5	795,3	22,9	2,62	0,04	156,54
2	32,5	793,7	15,4	2,61	0,03	156,55
3	33,5	784,8	13	2,59	0,02	156,53
4	34,5	791,5	10,7	2,61	0,02	156,53
5	35,5	791,2	10,9	2,6	0,03	156,52
6	36,5	829,7	20,9	2,61	0,03	156,54
7	37,5	814,2	16,6	2,62	0,01	156,52
8	38,5	828	13,7	2,62	0,03	156,51
9	39,5	806,5	10,2	2,62	0,03	156,54
0	40,5	803,3	17,9	2,61	0,02	156,48
1	41,5	818,4	20,3	2,62	0,04	156,49
2	42,5	807,5	18,4	2,6	0,03	156,49
3	43,5	817,9	13,2	2,61	0,02	156,49
4	44,5	809	10	2,6	0,02	156,47
5	45,5	804,9	12,4	2,62	0,02	156,47
6	46,5	840	21,1	2,61	0,02	156,49
7	47,5	821,6	16,2	2,61	0,02	156,48
8	48,5	840,3	11,1	2,61	0,02	156,49
9	49,5	824,5	10	2,61	0,01	156,48
0	50,5	825,1	23,4	2,61	0,02	156,44
1	51,5	829,6	18,6	2,61	0,02	156,43
2	52,5	823	19,3	2,63	0,03	156,42
3	53,5	812,6	13,1	2,6	0,02	156,46
4	54,5	824,8	11,6	2,62	0,03	156,44
5	55,5	824,3	11,5	2,63	0,03	156,43
6	56,5	848,5	25,8	2,63	0,03	156,44
7	57,5	837	15,9	2,61	0,03	156,44
8	58,5	849,5	13,7	2,62	0,03	156,46
9	59,5	839,7	10,3	2,61	0,03	156,44
0	60,5	826	19,6	2,62	0,02	156,4
1	61,5	837,9	23,6	2,62	0,02	156,38
2	62,5	833,3	18,1	2,61	0,03	156,4
3	63,5	825,4	14,9	2,61	0,02	156,4
4	64,5	840,1	12,3	2,61	0,02	156,39
5	65,5	837,2	11,2	2,61	0,03	156,39
6	66,5	868,4	21,1	2,62	0,04	156,39
7	67,5	854,2	14,6	2,62	0,02	156,39
8	68,5	857,5	12,4	2,62	0,02	156,4
9	69,5	845,3	10,5	2,61	0,03	156,39
0	70,5	830,6	16,5	2,61	0,03	156,34
1	71,5	858	22,8	2,58	0,04	156,35
2	72,5	847,3	17,7	2,62	0,04	156,34
3	73,5	837,4	14,5	2,63	0,02	156,34
4	74,5	846,2	12,3	2,61	0,03	156,34
5	75,5	850,1	10,2	2,63	0,02	156,34
6	76,5	883,2	16,4	2,61	0,03	156,36
7	77,5	865,5	16,5	2,61	0,05	156,36
8	78,5	878,8	12,9	2,62	0,03	156,35
9	79,5	868,6	11,2	2,62	0,03	156,36
0	80,5	859,7	32,7	2,6	0,02	156,26
1	81,5	878,9	21,3	2,61	0,03	156,25
2	82,5	888,8	18,5	2,62	0,03	156,24
3	83,5	851,6	13,5	2,6	0,02	156,26
4	84,5	875,8	13,7	2,62	0,03	156,25
5	85,5	879,2	11,3	2,61	0,03	156,24
6	86,5	900,5	22,9	2,63	0,03	156,24
7	87,5	895,2	18,2	2,64	0,06	156,26
8	88,5	901	13,4	2,62	0,03	156,27
9	89,5	896,7	11	2,61	0,04	156,26

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	690,7	23,8	2,57	0,04	156,66
1	1,5	711,7	20	2,58	0,02	156,66
2	2,5	713	18,9	2,58	0,03	156,67
3	3,5	718	9,8	2,57	0,03	156,67
4	4,5	715,6	7,9	2,59	0,02	156,68
5	5,5	713	9,4	2,62	0,05	156,68
6	6,5	713,3	17,4	2,6	0,03	156,77
7	7,5	724,2	12,8	2,61	0,03	156,69
8	8,5	737,4	11,7	2,59	0,03	156,69
9	9,5	726,6	9	2,6	0,04	156,67
0	10,5	743,1	14,7	2,58	0,02	156,58
1	11,5	747,9	16,5	2,6	0,03	156,59
2	12,5	743,8	14,7	2,62	0,07	156,59
3	13,5	731,7	13,8	2,59	0,04	156,57
4	14,5	747,7	10,8	2,6	0,03	156,59
5	15,5	742,7	11,5	2,61	0,04	156,58
6	16,5	775,1	19,1	2,61	0,02	156,58
7	17,5	762,9	12,7	2,63	0,03	156,6
8	18,5	778,5	9,8	2,61	0,03	156,58
9	19,5	758,8	7,7	2,6	0,03	156,57
0	20,5	752,9	18,8	2,61	0,02	156,53
1	21,5	770,7	12,6	2,59	0,04	156,54
2	22,5	763,6	17,6	2,63	0,04	156,54
3	23,5	754,7	8,6	2,6	0,03	156,56
4	24,5	755,5	9,3	2,61	0,02	156,56
5	25,5	762,2	12,2	2,61	0,05	156,53
6	26,5	783,5	10,9	2,61	0,05	156,52
7	27,5	776,9	15,7	2,6	0,04	156,54
8	28,5	789,2	10,1	2,61	0,04	156,55
9	29,5	772,6	8,8	2,6	0,03	156,53
0	30,5	759,2	7,2	2,6	0,02	156,49
1	31,5	782,9	13,5	2,61	0,02	156,49
2	32,5	775,1	14,9	2,61	0,06	156,46
3	33,5	774,9	10,4	2,6	0,03	156,49
4	34,5	772,1	9,5	2,61	0,03	156,5
5	35,5	773,8	9,9	2,61	0,04	156,48
6	36,5	795,9	14,9	2,63	0,06	156,5
7	37,5	790,1	15,9	2,61	0,05	156,49
8	38,5	788,1	10,2	2,6	0,03	156,48
9	39,5	786,4	9	2,6	0,03	156,51
0	40,5	768,8	11,1	2,61	0,03	156,43
1	41,5	789,7	16	2,6	0,01	156,43
2	42,5	786,3	16,9	2,64	0,04	156,44
3	43,5	786,4	10,8	2,6	0,03	156,45
4	44,5	781	10,6	2,61	0,03	156,44
5	45,5	793,4	10,9	2,64	0,04	156,44
6	46,5	821,4	23,3	2,63	0,04	156,44
7	47,5	795,5	15,9	2,63	0,05	156,42
8	48,5	810,7	11,5	2,62	0,04	156,44
9	49,5	796,8	10,6	2,61	0,03	156,42
0	50,5	769	24,2	2,6	0,03	156,39
1	51,5	799,8	17,4	2,6	0,04	156,39
2	52,5	803,9	16	2,64	0,04	156,39
3	53,5	787,3	12,1	2,6	0,03	156,41
4	54,5	794,9	10	2,62	0,04	156,38
5	55,5	807,3	11,5	2,63	0,03	156,4
6	56,5	830	18,9	2,62	0,01	156,4
7	57,5	815,9	18,2	2,63	0,04	156,38
8	58,5	818,6	14	2,61	0,04	156,37
9	59,5	814,8	9,5	2,62	0,02	156,39
0	60,5	793	10,3	2,6	0,02	156,34
1	61,5	815,7	17	2,61	0,02	156,32
2	62,5	813,7	15,7	2,65	0,04	156,33
3	63,5	796,8	12,7	2,61	0,02	156,34
4	64,5	806	10,2	2,6	0,03	156,34
5	65,5	823	10,9	2,63	0,06	156,35
6	66,5	837,2	17,1	2,62	0,04	156,35
7	67,5	827,7	16,6	2,64	0,02	156,35
8	68,5	839,7	11,8	2,61	0,03	156,35
9	69,5	830,7	11,1	2,62	0,04	156,35
0	70,5	807,3	13,2	2,6	0,02	156,29
1	71,5	823,3	19,1	2,61	0,03	156,29
2	72,5	837,2	16,8	2,64	0,05	156,3
3	73,5	800,6	9,5	2,6	0,03	156,29
4	74,5	821,3	10,6	2,61	0,03	156,3
5	75,5	833,7	11,7	2,65	0,04	156,29
6	76,5	847,8	17,9	2,62	0,04	156,3
7	77,5	836,8	15	2,63	0,04	156,28
8	78,5	849,3	13,6	2,64	0,03	156,29
9	79,5	844,2	10,7	2,62	0,03	156,29
0	80,5	829,5	12,2	2,62	0,02	156,19
1	81,5	849,7	19,6	2,61	0,03	156,19
2	82,5	868,4	16,9	2,66	0,03	156,21
3	83,5	818,1	12,2	2,6	0,03	156,18
4	84,5	848,5	14,3	2,62	0,05	156,2
5	85,5	865,1	12,1	2,64	0,03	156,18
6	86,5	883	20	2,63	0,05	156,22
7	87,5	871,7	21,2	2,64	0,03	156,22
8	88,5	876,8	12,4	2,65	0,04	156,19
9	89,5	872,1	12,5	2,65	0,03	156,2

Teräs 10-astetta (vas.) ja 20-astetta (oik.)

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	749,3	12,7	2,59	0,01	156,66
1	1,5	768,5	10,3	2,61	0,04	156,65
2	2,5	754,2	12,2	2,63	0,04	156,65
3	3,5	765,9	11	2,6	0,03	156,67
4	4,5	764,6	9,8	2,63	0,02	156,67
5	5,5	762	7,9	2,64	0,03	156,7
6	6,5	780,5	5,2	2,62	0,02	156,77
7	7,5	775,3	5,3	2,64	0,02	156,69
8	8,5	792	7,8	2,63	0,03	156,68
9	9,5	772,6	7,5	2,64	0,02	156,66
0	10,5	775,5	14,6	2,63	0,03	156,58
1	11,5	799	13,8	2,64	0,02	156,58
2	12,5	787,9	13,1	2,64	0,02	156,57
3	13,5	790,7	9,7	2,63	0,02	156,59
4	14,5	797,4	10,1	2,64	0,03	156,55
5	15,5	794	6,7	2,64	0,02	156,57
6	16,5	818,7	6,4	2,66	0,02	156,58
7	17,5	791,6	11,9	2,64	0,02	156,56
8	18,5	815,2	9,2	2,65	0,03	156,58
9	19,5	793,7	6,8	2,64	0,03	156,57
0	20,5	806	12,8	2,62	0,01	156,52
1	21,5	802,9	9,4	2,64	0,02	156,51
2	22,5	795,3	9,5	2,63	0,04	156,53
3	23,5	799,2	10,3	2,65	0,04	156,51
4	24,5	807,2	6,1	2,63	0,02	156,55
5	25,5	803,5	9,8	2,64	0,04	156,52
6	26,5	824,1	15,3	2,65	0,04	156,52
7	27,5	809,2	11,6	2,65	0,04	156,54
8	28,5	813,5	6,9	2,64	0,03	156,54
9	29,5	809,5	7,8	2,65	0,02	156,52
0	30,5	816,6	11,2	2,62	0,03	156,48
1	31,5	808,9	9,7	2,64	0,02	156,47
2	32,5	812,7	9,2	2,65	0,05	156,48
3	33,5	819,3	12,3	2,63	0,01	156,49
4	34,5	815,7	6,3	2,64	0,03	156,48
5	35,5	820,3	7,2	2,64	0,05	156,46
6	36,5	827,7	8,2	2,64	0,05	156,48
7	37,5	822,8	11,1	2,65	0,04	156,47
8	38,5	834,3	7	2,64	0,03	156,48
9	39,5	829,8	8,3	2,63	0,04	156,49
0	40,5	813,6	16,1	2,63	0,01	156,44
1	41,5	827,2	11,5	2,63	0,03	156,44
2	42,5	837,4	14,4	2,66	0,04	156,44
3	43,5	829,5	10	2,65	0,01	156,46
4	44,5	830,1	7,2	2,64	0,02	156,42
5	45,5	836,2	6,1	2,64	0,03	156,45
6	46,5	848,7	13,8	2,65	0,04	156,43
7	47,5	838,7	12,7	2,64	0,03	156,45
8	48,5	851	11,1	2,63	0,02	156,45
9	49,5	842,9	9,2	2,66	0,02	156,43
0	50,5	826,4	16,5	2,64	0,02	156,38
1	51,5	833,7	14,1	2,64	0,02	156,37
2	52,5	843,1	12,5	2,66	0,06	156,41
3	53,5	826,5	12,3	2,63	0,02	156,39
4	54,5	836,3	9,7	2,66	0,02	156,39
5	55,5	846,6	9,5	2,65	0,04	156,39
6	56,5	853,2	10,2	2,65	0,06	156,39
7	57,5	846,3	15,8	2,65	0,03	156,39
8	58,5	854,9	11,5	2,65	0,05	156,4
9	59,5	846,5	7,5	2,64	0,04	156,4
0	60,5	839,4	18,3	2,64	0,03	156,35
1	61,5	856,5	12,7	2,63	0,04	156,34
2	62,5	860,4	10,3	2,66	0,04	156,34
3	63,5	839,3	13,6	2,64	0,03	156,33
4	64,5	844,6	10,2	2,64	0,03	156,35
5	65,5	864,8	8,5	2,65	0,03	156,36
6	66,5	874,4	9,2	2,65	0,06	156,35
7	67,5	865,9	13	2,66	0,05	156,33
8	68,5	871,5	8,4	2,64	0,02	156,35
9	69,5	868	8,2	2,64	0,04	156,35
0	70,5	854,1	12,5	2,63	0,02	156,3
1	71,5	875,3	12,1	2,65	0,03	156,29
2	72,5	889,8	11,8	2,64	0,03	156,29
3	73,5	869,9	9,6	2,64	0,02	156,3
4	74,5	870,2	8,8	2,65	0,02	156,29
5	75,5	889,9	8,3	2,65	0,02	156,31
6	76,5	894,9	12,7	2,65	0,04	156,3
7	77,5	877,6	8,9	2,66	0,05	156,3
8	78,5	896,3	7,2	2,64	0,03	156,3
9	79,5	889,4	10,1	2,66	0,04	156,3
0	80,5	888,9	9,4	2,64	0,04	156,21
1	81,5	893,3	13,3	2,64	0,02	156,2
2	82,5	909,6	9,3	2,66	0,04	156,23
3	83,5	893,7	10,8	2,65	0,03	156,21
4	84,5	904,4	6,5	2,64	0,03	156,2
5	85,5	918,5	7,7	2,65	0,05	156,24
6	86,5	928,4	15,5	2,67	0,03	156,22
7	87,5	918,6	12,4	2,66	0,03	156,2
8	88,5	928,2	9,4	2,67	0,03	156,23
9	89,5	915,5	8,3	2,65	0,04	156,21

ID	ID	σ (MPa)	(±)	FWHM(°	(±)	2θ: 0.0°
0	0,5	758,5	14,3	2,55	0,03	156,61
1	1,5	761,4	7,5	2,58	0,05	156,61
2	2,5	767,3	4,2	2,67	0,1	156,61
3	3,5	766,8	10,2	2,61	0,04	156,61
4	4,5	778,5	6,9	2,65	0,04	156,62
5	5,5	773,1	4	2,67	0,06	156,61
6	6,5	766,3	7,4	2,65	0,06	156,68
7	7,5	781	6,8	2,66	0,05	156,6
8	8,5	783,9	6	2,67	0,05	156,6
9	9,5	776,3	5,2	2,68	0,07	156,6
0	10,5	798,6	5,4	2,64	0,04	156,52
1	11,5	798,4	7	2,67	0,06	156,52
2	12,5	801,1	10	2,7	0,07	156,51
3	13,5	808,8	6,7	2,65	0,02	156,53
4	14,5	805,8	5,8	2,66	0,04	156,52
5	15,5	804,7	4,1	2,69	0,07	156,5
6	16,5	820,3	12,1	2,68	0,04	156,52
7	17,5	804,7	8,5	2,69	0,08	156,52
8	18,5	808,3	9,2	2,66	0,06	156,52
9	19,5	800,3	5,2	2,66	0,07	156,5
0	20,5	799,4	8,8	2,62	0,04	156,46
1	21,5	810,6	8,5	2,65	0,07	156,46
2	22,5	815,2	3	2,69	0,08	156,46
3	23,5	803,5	8,3	2,62	0,03	156,47
4	24,5	802,3	4,8	2,64	0,05	156,45
5	25,5	815,5	3,6	2,65	0,07	156,46
6	26,5	828,5	10,4	2,66	0,09	156,47
7	27,5	811,5	6,7	2,65	0,07	156,44
8	28,5	814,3	7,7	2,64	0,07	156,47
9	29,5	817,3	5,3	2,68	0,05	156,47
0	30,5	808,7	8,2	2,63	0,04	156,43
1	31,5	831,7	8,8	2,65	0,05	156,43
2	32,5	829,7	8	2,68	0,07	156,42
3	33,5	807,5	15,4	2,62	0,03	156,42
4	34,5	822,5	5,5	2,64	0,04	156,42
5	35,5	838,2	5,1	2,67	0,04	156,42
6	36,5	851,7	13,4	2,67	0,07	156,43
7	37,5	833,1	2,4	2,68	0,06	156,41
8	38,5	835	4,8	2,64	0,06	156,43
9	39,5	836,2	5,9	2,68	0,06	156,44
0	40,5	821,7	2,4	2,65	0,02	156,38
1	41,5	841,7	8	2,66	0,03	156,38
2	42,5	849,8	4,9	2,67	0,07	156,36
3	43,5	825,1	8,7	2,65	0,03	156,38
4	44,5	842,3	7	2,67	0,04	156,37
5	45,5	844,3	6,5	2,69	0,07	156,38
6	46,5	850,4	8,2	2,67	0,06	156,35
7	47,5	849,1	8,8	2,68	0,06	156,37
8	48,5	838,9	8	2,67	0,05	156,37
9	49,5	845,5	6,4	2,67	0,05	156,38
0	50,5	849	6,1	2,65	0,02	156,33
1	51,5	851	3,4	2,67	0,05	156,33
2	52,5	861,3	7	2,69	0,08	156,33
3	53,5	836,6	6,8	2,66	0,03	156,32
4	54,5	859,1	5,9	2,66	0,03	156,33
5	55,5	863,1	3,7	2,7	0,08	156,35
6	56,5	856,2	6,8	2,67	0,07	156,33
7	57,5	859	8	2,7	0,06	156,33
8	58,5	853,8	7,6	2,68	0,06	156,33
9	59,5	853,7	6,1	2,67	0,06	156,33
0	60,5	867,1	2,3	2,64	0,05	156,31
1	61,5	867,9	8,6	2,65	0,06	156,28
2	62,5	882,2	8,5	2,71	0,08	156,29
3	63,5	847,3	10,3	2,65	0,04	156,28
4	64,5	862,3	3,4	2,67	0,04	156,28
5	65,5	880,3	7,4	2,7	0,06	156,31
6	66,5	874,5	15	2,69	0,08	156,29
7	67,5	867,1	5,6	2,68	0,08	156,28
8	68,5	866,2	8,9	2,67	0,09	156,28
9	69,5	870	5,7	2,68	0,06	156,27
0	70,5	869,3	7,5	2,64	0,03	156,24
1	71,5	877	7,1	2,67	0,03	156,24
2	72,5	895,7	11,6	2,71	0,09	156,23
3	73,5	858,3	8,9	2,63	0,02	156,22
4	74,5	874,2	5,9	2,66	0,04	156,21
5	75,5	898,6	6,8	2,71	0,08	156,24
6	76,5	885,3	11,1	2,69	0,1	156,25
7	77,5	884,4	7,9	2,69	0,1	156,25
8	78,5	889,3	9	2,67	0,07	156,25
9	79,5	885,4	6,3	2,68	0,07	156,25
0	80,5	903,8	16,5	2,65	0,03	156,14
1	81,5	905	7,4	2,68	0,03	156,16
2	82,5	925,1	12,8	2,73	0,1	156,13
3	83,5	891,7	7,9	2,66	0,05	156,15
4	84,5	899,6	4,2	2,66	0,05	156,14
5	85,5	926,5	7,9	2,7	0,07	156,14
6	86,5	916,4	10,8	2,69	0,1	156,13
7	87,5	918,2	10,8	2,7	0,09	156,13
8	88,5	902,8	10,3	2,68	0,09	156,16
9	89,5	921,1	8,2	2,68	0,08	156,14