

Raepuhalluksen vaikutus teräksen mekaanisiin
ominaisuuksiin

Henri Heikkala

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka
Insinööri(AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä	Henri Heikkala	Vuosi	2015
Ohjaaja	Timo Kauppi		
Toimeksiantaja	SSAB EUROPE		
SSAB Yhteyshenkilö	Jani Alila		
Työn nimi	Raepuhalluksen vaikutus teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin		
Sivu- ja liitemäärä	41 + 31		

Opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia raepuhalluksen vaikutusta teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin. Ongelmana oli mahdollinen raepuhalluksen aiheuttama muutos SSAB:n terästuotannon testausten tuloksiin. Jokaisesta valssatusta levystä leikataan vetokoea varten testikappaleet, jotka tulevaisuudessa puhdistettaisiin valssaushilseestä raepuhaltamalla. Tavoitteena oli selvittää, aiheuttaako raepuhallus muutosta testituloksiin vetokokeessa, sekä antaa selvitys siitä, onko raepuhallus hyväksyttävä menetelmä testikappaleiden puhdistukseen. Raepuhalluksen käyttö teollisuudessa on hyvin tunnettu menetelmä väsymislujuuden parannukseen, mutta sen vaikutuksen laajuus erikoisteräksiin on vähemmän tunnettu. Tämä työn tarkoituksena oli antaa suuntaava käsitys raepuhalluksen vaikutuksista SSAB:n erikoisteräksiin.

Työn toiminnallisessa osuudessa tutkittiin raepuhalluksen vaikutusta kolmeen eri teräslaatuun, S355, Optim 700 ja Raex 400. Kyseisistä teräslaaduista tehtiin kaksi vetokoesarjaa, puhallettu ja puhaltamaton eri paksuuksilla, joille suoritettiin tilastollinen tarkastelu t-testin avulla.

Lopputuloksena todettiin, että raepuhallus aiheuttaa pienen muutoksen vetokokeen tuloksiin S355-, ja Optim 700-teräslaadulla, Raex 400-teräslaadulla raepuhallus vaikutti ainoastaan 6 mm kokonaisvenymään. Kyseiset muutokset eivät kuitenkaan olleet niin merkittäviä, että raepuhallus ei olisi hyväksyttävä menetelmä testikappaleiden puhdistukseen.

Raepuhalluksen vaikutuksen vetokokeeseen todettiin olevan suurempi Optim 700-teräslaatuun 1,30 prosentin muutoksella 8 mm paksuisen testikappaleen murtolujuudessa, kuin S355-rakenneteräksessä. Raex 400-teräslaadussa raepuhallus aiheutti muokkauslujittumisen, joka aiheutti suhteellisen suuren -7,374 prosentin muutoksen kokonaisvenymän tulokseen 6 mm paksuudessa.

Avainsanat: raepuhallus, muokkauslujittuminen, vetokoe, Optim 700, Raex 400, S355

Industry and Natural Resources
Mechanical and Production Engineering

Author	Henri Heikkala	Year	2015
Supervisor	Timo Kauppi		
Commissioned by	SSAB EUROPE		
Company contact	Jani Alila		
Subject of thesis	Effect of Shot-blasting on the Mechanical Properties of Steel.		
Number of pages	41 + 31		

The purpose of this Bachelor's thesis was to research the effect of shot blasting on steel. This thesis was commissioned by the steel manufacturer SSAB by their production plant in Raahe, Finland. The problem was the effect shot blasting can have on the testing of rolled steel. Test pieces are cut from every produced steel sheets and they are tested to prove its quality, these test pieces would be shot blasted clean. The question was does the shot blasting have an effect on the test results of the tensile testing of these steel test pieces.

Shot blasting is a well-known method in improving the fatigue strength of steel, but its effect on special steels is less known. This work gave an understanding about the effect of shot blasting on SSABs special steels Optim 700 and Raex 400.

In this thesis the effect of shot blasting was tested on the tensile strength of three different steels, structural steel S355, ultra-high strength Optim 700 and wear resistant steel Raex 400. With the thicknesses of 6, 8, 12 and 20 mm with some exceptions. The testing was performed by making two test series of blasted and unblasted test pieces and these were compared to each other with a t-test (student's-test).

In the end it was concluded that shot blasting does in fact have a small effect on the test results of the qualities S355 and Optim 700. With Raex 400 only the 6 mm total elongation was affected with a change of -7,374 %. Interestingly shot blasting had a bigger effect on the stronger Optim 700 with the change of 1,30 % in the tensile test of the 8 mm thick test piece, than it did on the 6 mm S355. From this it can be concluded, that shot blasting could be a useful cold-working method in the use of ultra-high strength steels.

Key words: shot blasting, shot peening, yield strength, tensile strength, Optim 700, Raex 400, S355

SISÄLLYSLUETTELO

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ	I
ABSTRACT OF THESIS	II
SISÄLLYSLUETTELO	III
ALKUSANAT.....	V
1 JOHDANTO.....	1
2 SSAB EUROPE.....	3
2.1 Raahen tehdas	3
2.2 Levyvalssaamo ja EKT-linja.....	4
3 TEORIA	6
3.1 Raepuhallus.....	6
3.2 Metallurgia	7
3.3 Kovuuden muutos.....	8
3.4 Aikaisempien tutkimustöiden tarkastelu	9
3.5 Vetokoe.....	10
3.6 Tilastollinen tarkastelu	13
3.7 Ennako-oletukset	15
4 KOEMATERIAALIT JA MENETELMÄT	16
4.1 Testattavat teräslaadut	16
4.1.1 S355.....	17
4.1.2 Optim 700.....	17
4.1.3 Raex 400.....	18
4.2 Kokeiden suoritus	18
5 TULOKSET.....	22
5.1 Satunnaisvirheiden etsintä Grubbsin testillä	22
5.2 T-testit.....	23
6 TULOSTEN KÄSITTELY	28
6.1 Rakenneteräs S355.....	28
6.2 Ultraluja Optim 700	31
6.3 Kulutuksen kestävä Raex 400	33
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	35
7.1 Johtopäätökset	35

7.2	Pohdinta.....	37
8	LÄHTEET	39
9	LIITTEET	41

ALKUSANAT

Suurkiitokset kaikille niille, jotka ovat vaikuttaneet tämän opinnäytetyön toteutumiseen ja valmistumiseen. Erityiskiitokset SSAB EUROPE Raahen tehtaalla testaamon kehitysinsinööri Jani Alilalle sekä Lapin Ammattikorkeakoulun TkL Timo Kaupille loistavasta ohjauksesta sekä neuvonannosta. Suurkiitokset myös muille opinnäytetyöhön osallistuvalla SSAB:n henkilökunnalle.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia raepuhalluksen vaikutusta metallin (teräksen) mekaanisiin ominaisuuksiin. Raepuhallus on metallin pinnan käsittelyyn käytettävä työmenetelmä, jonka tarkoituksena on puhdistaa pinta epäpuhtauksista tai aiheuttaa muokkauslujittunut kerros metallin pintaan.

Opinnäytetyö tehtiin teräksenvalmistaja SSAB EUROPE Oy:n (tästä eteenpäin SSAB) Raahen tehtaan toimeksiantona. Ensisijaisena tehtävänä oli selvittää se, onko raepuhalluksen vaikutusta kvarttolevyjen mekaanisiin ominaisuuksiin. Jokaisesta valssatusta levystä irroitetaan testausta varten näyteaihiot. Näistä tehdään ainetta rikkovan aineenkoetuksen vaatimat näytteet (veto-, taivutus- ja iskusauvat, kovuustestausnäyte), joita testaamalla määritetään kyseisen valmistuserän mekaaniset ominaisuudet. Näyteaihiot polttoleikataan plasmaleikkauksella valssatusta levystä. Tässä vaiheessa levyn pinnalla on aihionhehkuksessa ja kuumavalssauksessa syntynyt oksidi- eli hilsekerros. Tästä aiheutuu ongelmia eri prosessipisteissä muun muassa siksi, että hilsettä irtoaa koneistuksen yhteydessä ja se voi aiheuttaa pölyhaittoja. Näyteaihion pinta voitaisiin puhdistaa raepuhalluksella. Tehtäessä päätös siitä, siirrytäänkö näyteaihioiden pinta puhdistamaan raepuhalluksella, on varmistettava, että se ei vaikuta testattaviin ominaisuuksiin. Tässä opinnäytetyössä tullaan selvittämään, onko raekuulapuhalluksella vaikutusta vetokokeella määritettäviin testituloksiin.

Teollisuudessa raepuhalluksen käyttö metallien väsymislujuuden parantamiseen (kuulapuhallus) on pitkään käytössä ollut hyvin tunnettu menetelmä, mutta sen vaikutus lujuuden muutoksen, erityisesti vetokokeen tuloksiin on vähemmän tunnettu. Raepuhalluksen vaikutus metallin ominaisuuksiin on hyvin riippuvainen puhalletun materiaalin ominaisuuksista.

Tämän opinnäytetyön tavoitteina ovat:

1. Tutkia raepuhalluksen aiheuttamaa muutosta opinnäytetyössä rajattujen teräslaatu- ja paksuuksien vetokokeiden tuloksiin.

2. Osoittaa raepuhalluksen hyväksyttävyyden valssattujen kvarttolevyjen pinnan puhdistukseen.
3. Antaa yleistä tutkimustietoa raepuhalluksen vaikutuksen laajuudesta työssä rajatuille SSAB:n teräslaaduille.

Opinnäytetyön testimateriaalit rajataan käsittämään SSAB:n teräslaadut S355, Optim 700 ja Raex 400, paksuuksilla 6, 8, 12 ja 20 mm, poislukien 6 mm Optim 700, sekä 20 mm Raex 400. Mekaanisten ominaisuuksien testaus rajataan koskemaan vetokoetta.

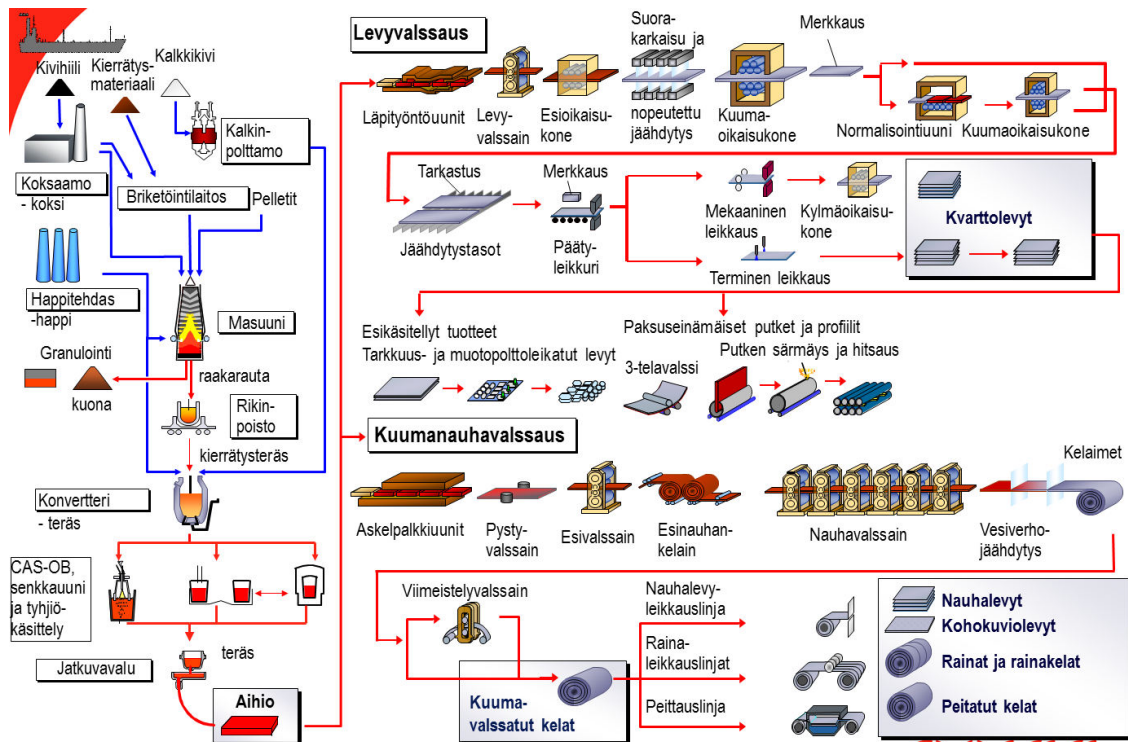
2 SSAB EUROPE

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva Pohjoismainen ja yhdysvaltalainen teräsyhtiö, jolla on johtava asema pitkälle kehitettyjen lujien terästen ja nuorrutusterästen sekä nauha-, levy- ja putkituotteiden tuotannossa, sekä rakentamisen ratkaisujen tarjoamisessa. Vuosittainen SSAB:n teräksen tuotantokapasiteetti on noin 8,8 miljoonaa tonnia, ja se työllistää maailmanlaajuisesti noin 17 300 työntekijää. Teräksentuotantolaitoksia SSAB:llä on Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa. Rakenteellisesti SSAB koostuu viidestä divisioonasta, SSAB Special Steels, SSAB Europe, SSAB Americas, Tibnor ja Ruukki Construction. SSAB:n pääkonttori sijaitsee Ruotsin Tukholmassa, ja sen osakkeet noteerataan Nasdaq OMX Tukholman pörssissä sekä toissijaisesti Helsingin pörssissä. (SSAB 2015)

Liikevaihdoltaan suurin SSAB:n divisioona on SSAB EUROPE noin 2,8 miljardin euron liikevaihdolla (2014). SSAB EUROPE on johtava pohjoismainen terästuottaja, jonka tuotteita ovat nauha-, kvarttolevy- ja putkituotteet. Sen suurimmat pohjoismaiset tuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsissa Luulajassa ja Borlängessä, sekä Suomessa Raahessa ja Hämeenlinnassa. Syksyllä vuonna 2014 SSAB osti osakevaihdolla Rautaruukki Oyj:n ja ne fuusioituivat nykyiseksi SSAB:ksi. (SSABa 2015)

2.1 Raahen tehdas

Raahen tehdas on työntekijämäärältään SSAB:n suurin tuotantolaitos, joka työllistää noin 2 800 työntekijää ollen Suomen suurimpia tuotantolaitoksia. Sen toimialoja ovat teräksen valmistus, kvarttolevyt ja nauhatuotteet. Näin ollen tehtaalla valmistetaan teräsaihoita, kvarttolevyjä ja kuumavalssattuja keloja. Raahen tehtaalla näiden tuotanto on integroitu masuuniprosessiin. Kuvassa 1 nähdään Raahen tehtaan toimintaa havainnollistava prosessikaavio, ja kuvasta voidaan myös tarkastella valmistus- ja jatkojalostusprosessit. (SSAB 2015)

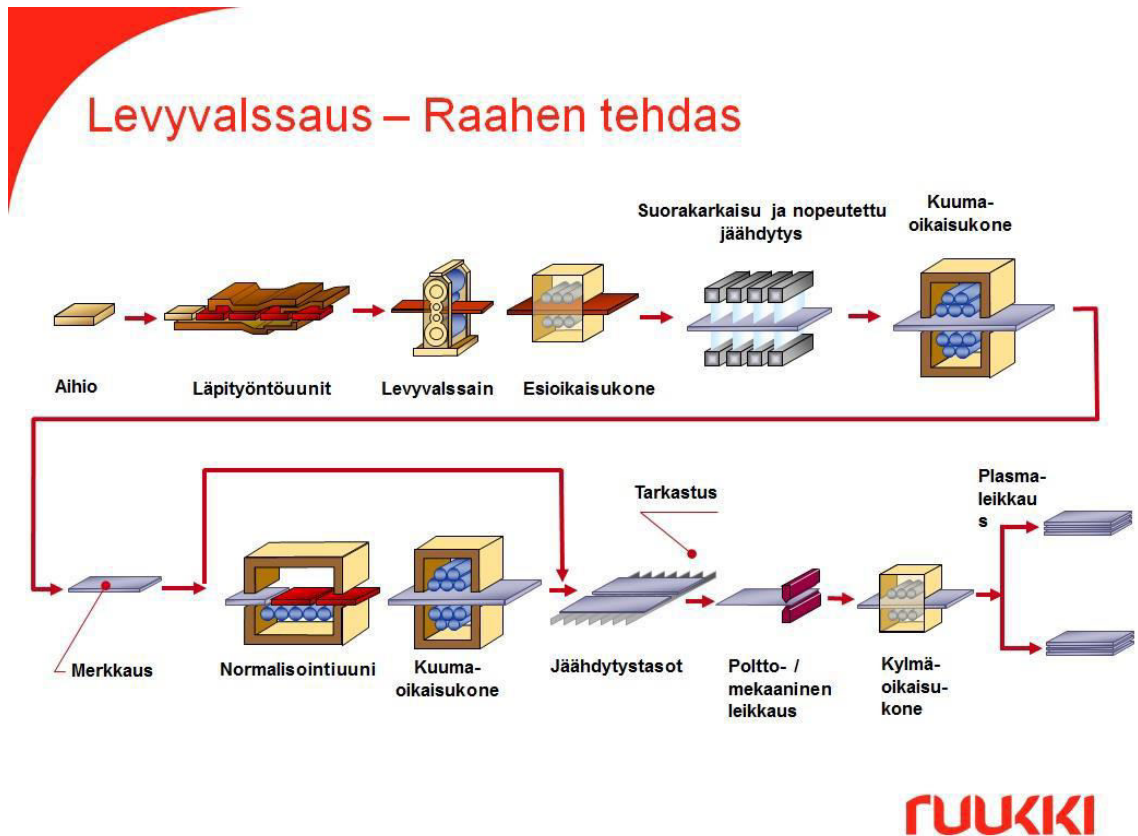


Kuva 1. SSAB EUROPE:n Raahen tehtaan prosessikaavio (Rautaruukki 2014)

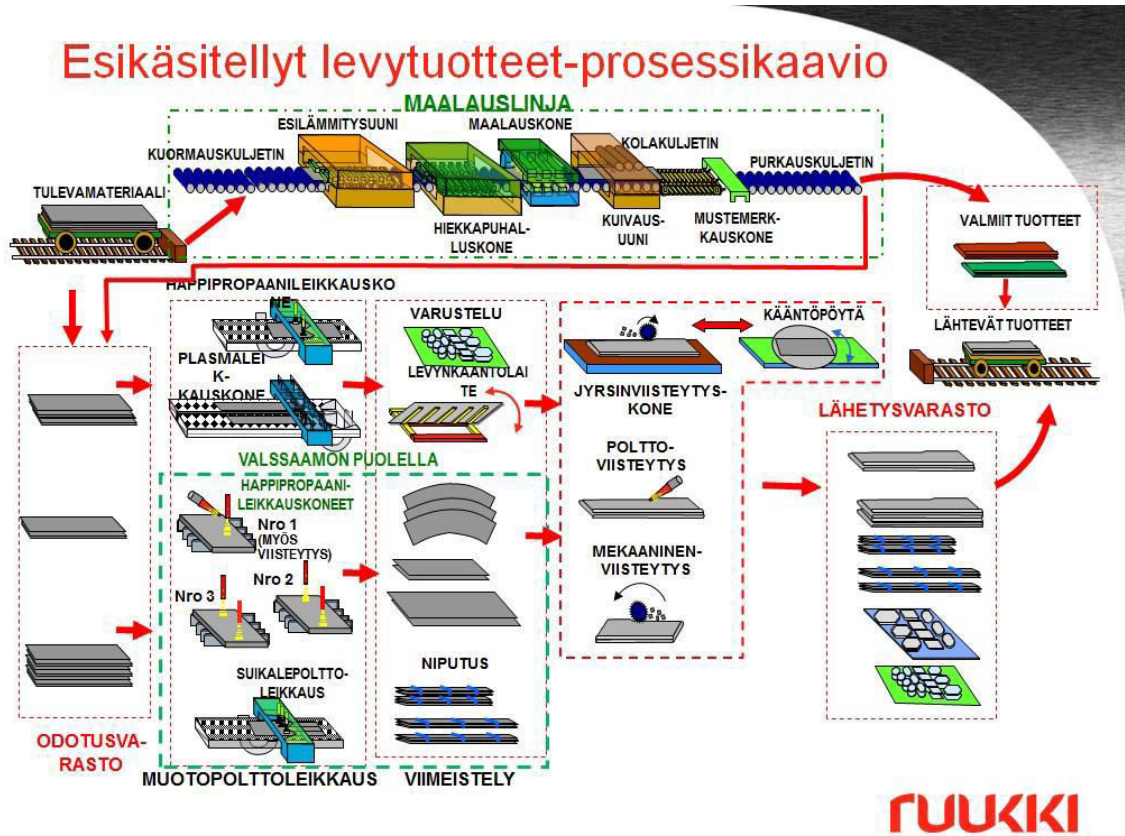
2.2 Levyvalssaamo ja EKT-linja

Raahen tehtaan levytuotannossa teräslevyt valmistetaan sen tuottamista teräsaihoista. Kuvassa 2 on havainnollistettu levyvalssauksen periaate. Valssauksen pääprosessit ovat aihion lämmitys haluttuun valssauslämpötilaan, aihion valssaus levyksi edestakaisin toimivalla nelitelavalssaimella, jäähdytys ja lämpökäsittely, levyjen oikaisu, sekä mekaaninen- tai terminenleikkaus haluttuun levykokoon. Tuotettujen levyjen mekaaniset ominaisuudet riippuvat pääasiassa teräksen kemiallisesta koostumuksesta, ja levyvalssauksessa tapahtuvasta lämpökäsittelystä. (Rautaruukki 2014)

EKT (esikäsittelyt levytuotteet) jatkojalostaa valssattuja kvarttolevyjä asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Sen tarjoamiin palveluihin kuuluvat pinnan puhdistus raepuhalluksella ja suojamaalaus, muoto- ja tarkkuusleikkaus, taivutus, viisteytys sekä suikalointi. EKT:llä voidaan tehdä tuotettujen levyjen myyntiarvon parantamiseksi myös koneistusta, hitsausta, karkaisua ja särmäystä (Kuva 3.). (Rautaruukki 2014)



Kuva 2. Levyvalssaamon prosessikaavio (Rautaruukki 2014)



Kuva 3. EKT:n prosessikaavio (Rautaruukki 2014)

3 TEORIA

3.1 Raepuhallus

Raepuhallus on metallin pinnan puhdistamiseen, lujittamiseen(kuulapuhallus) sekä pinnoittamisen esivalmisteluun käytetty työmenetelmä, jossa metallin pintaan ohjataan kovalla paineella raesuihku, joka tyypillisesti koostuu pienistä metallirakeista. Rakeiden iskeytyessä metallin pintaan ne poistavan epäpuhtauksia pinnasta(hionta) sekä aiheuttavat pinnassa muokkauslujittumista. Raepuhallusta, jonka käyttötarkoituksena on muokata metallin mekaanisia ominaisuuksia, kutsutaan kuulapuhallukseksi, kun taas raepuhalluksen käyttötarkoitus on ylimääräisen aineen poisto ja pinnan puhdistus. Käytännössä menetelmät ovat samanlaisia, erona vain haluttu loppuvaikutus metallin pintaan. Rae-, ja kuulapuhallusta käytetään lähes kaikilla teollisuuden aloilla, joissa vaaditaan metallin pinnan ominaisuuksien parantamista. (Wheelabrator Group 2015)

Raepuhalluksen tärkeimpiä tekijöitä ovat käytetyt rakeet (materiaali ja muoto), puhalluksen peitto, puhalluskulma ja puhalluksen nopeus. Nämä tekijät vaikuttava puhalluksen intensiteettiin, jolla määritellään raepuhalluksen aiheuttamaa vaikutusta materiaaliin, erityisesti muokkauslujittumisen suuruuteen. (Lyman, Boyer, Unterweiser, Hontas, Mehlman, Carnes & Lawton 1964.)

Raepuhalluksen puhallusrakeina voidaan käyttää useita materiaaleja. Yleisin raemateriaali on kuitenkin teräs. Teräsrakeita käytetään sekä kuulina että särmikkäinä muotoina. Rakeiden koot vaihtelevat 0.01-2 mm välillä. Osuessaan metallin pintaan rae muokkaa terästä plastisesti ja aiheuttaa samalla muokkauslujittumista. Kuulien aiheuttaman rakenteen muutos on noin puolet syvempi, mutta aiheutuneen muokkauslujittumisen suuruus on vähäisempi kuin särmikkäällä rakeella. Särmikkäät rakeet aiheuttavat myös puhallettavan materiaalin abrasiivista kulumista. Yleensä puhallusmateriaalina käytetään pyöreiden- ja särmikkäiden rakeiden seosta. (Toshal, Lu, Guelorget. & Nagashima ; T.Stenbacka AB 2015.)

Puhalluksen peitolla tarkoitetaan sitä osuutta puhallettavan materiaalin pinnasta, johon kuulat ovat iskeytyneet. Peiton määrittely tapahtuu yleensä visuaalisesti tarkastelemalla. Tarkasteluun on myös kehitetty Straubin menetelmä, jossa puhallettu pinta suurennetaan 50-kertaiseksi, minkä jälkeen se mallinnetaan paperilla, josta voidaan laskea iskeytymien alue suhteessa puhtaaseen pintaan. (Lyman ym. 1964.)

Rakeen nopeuden kasvaessa myös sen sisältämä kineettinen energia kasvaa, jolloin sen iskeytyminen kappaleen pintaan aiheuttaa suuremman intensiteetin ja muokkauslujittumisen. Toisaalta liian kova iskeytyminen voi aiheuttaa rakeen hajoamisen. Puhalluskulmalla voidaan säädellä puhallusrakeen sisältämän energian siirtymisen osuutta materiaalin pintaan. (Lyman ym. 1964.)

3.2 Metallurgia

Raepuhalluksessa metallin pinnassa tapahtuu plastista muodonmuutosta, jossa se muokkauslujittuu. Muokkauslujittumisella tarkoitetaan metallin lujuuden ja kovuuden kasvua plastisen muodonmuutoksen tapahtuessa. Voiman kohdistuessa metalliin siinä tapahtuu joko kimmoista- tai plastista muodonmuutosta. Metallin kiteen atomien välillä esiintyy veto- ja poistovoimia sen mukaan, mikä on niiden etäisyys toisistaan. Kimmoisessa muodonmuutoksessa kohdistuessa metalliin ulkoisia voimia atomit voivat asettua uuteen tasapainoasemaan, jossa ulkoisten ja atomien välisten voimien välillä on tasapaino. Ulkoisen voiman poistuessa kiteen atomit palautuvat alkuperäiseen rasittamattomaan tilaan, eikä siihen tapahdu sisäisten rakenteiden muutoksia. Plastisessa muodonmuutoksessa tapahtuu pysyviä kiteiden muodonmuutoksia aiheuttaen hilarakenteeseen kaksiulotteisia kidevirheitä, eli niin kutsuttuja dislokaatioita ja rakeiden muodon muutoksia. (Valorinta 1993, 261; Huhtamo 1972, 172.)

Lujuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutosta. Plastisen muodonmuutoksen tapahtuessa metallin ominaisuuden muuttuvat dislokaatioiden liikkeessa, ja mikrorakenteen muuttuessa rakeiden litistymisen

vuoksi. Metallin sisäisiin rakenteisiin jää muokkauksen ansiosta pysyviä jännityksiä, joihin varastoituu noin 5–10 % muodonmuutokseen käytetystä energiasta suurimman osan muuttuessa lämmöksi. Tämän vuoksi kylmämuokattu metalli on termodynaamisesti epävakaassa tilanteessa. Muokkauslujittuminen perustuu metallin kykyyn vastustaa jatkuvaa muokkausta lisääntyneen lujuuden ansiosta, mitä enemmän metallia muokataan, sitä lujempaa ja kovempaa siitä tulee sitkeyden ja muovautumiskyvyn vähentyessä. Muokkauslujittumiseen perustuu esimerkiksi kylmävalssa. Koska metallin lujuuden kasvaminen merkitsee dislokaatioiden liikkumisen vaikeutumista, on kyseisen materiaalin kide- ja raemuodolla olennainen merkitys muokkauslujittumiseen. (Huhtamo 1972, 172; Valorinta 1993, 261.)

Raepuhalluksessa yksittäisen rakeen iskeytyminen aiheuttaa metallin pinnassa puolipallon muotoisen pysyvän muodonmuutoksen, ja sitä myötä muokkauslujittumisen (kuva 4). Näin ollen raepuhallus aiheuttaa metallin pintaan puristusjännityksen ja tekee pinnasta lujemman sekä kovemman. Kuulapuhalluksessa ilmiötä käytetään erityisesti väsymiskestävyyden parantamiseen. (Metal Improvement Company 2015)



Kuva 4. Kuulapuhalluksen aiheuttama muokkauslujittuminen. (Metal Improvement Company 2015)

3.3 Kovuuden muutos

Raepuhalluksen muokkauslujittumisen syvyyttä voidaan mitata metallin muokkauslujittumisesta aiheutuvan kovuuden muutoksen syvyyden perusteella. Raepuhalluksen aiheuttama kovuuden muutos on suurin puhalletun materiaalin pinnassa, ja vähenee syvemmälle mentäessä. Pinnassa kovuuden muutos on puhalluksen parametreista ja materiaalista riippuen noin 1.3 – 1.8 kertainen

materiaalin peruskovuuteen verrattuna. Muokkauslujittumisen syvyys on tyypillisesti noin 0.5-1 mm luokkaa (Kuva 5.). (Toshal, Lu, Guelorget & Nagashima; Katsuji, Jian & Guelorget 2004.)

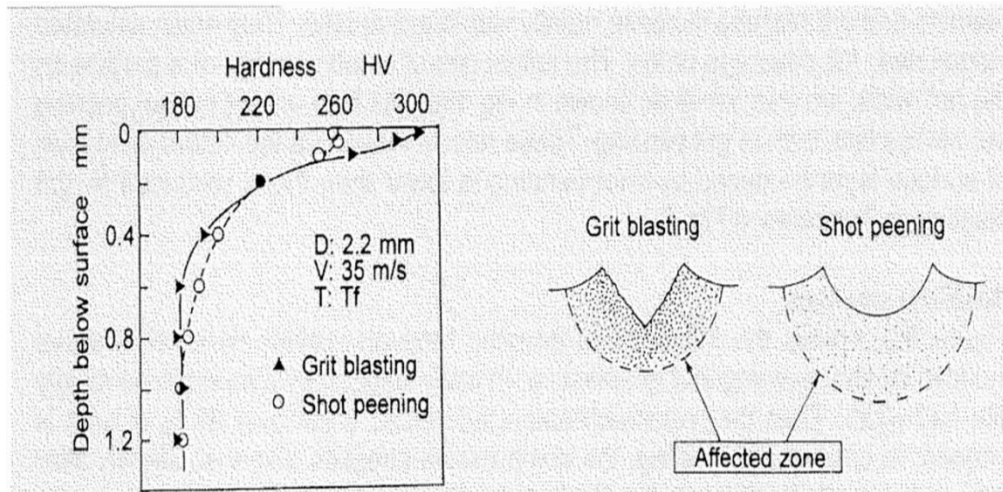


Fig.1 Comparison of hardness distribution Produced by SP and GB Fig. 2 Difference of affected zone produced by SP and GB

Kuva 5. Raepuhalluksen aiheuttama kovuuden muutos. (Toshal, Lu, Guelorget & Nagashima; Katsuji, Jian & Guelorget 2004.)

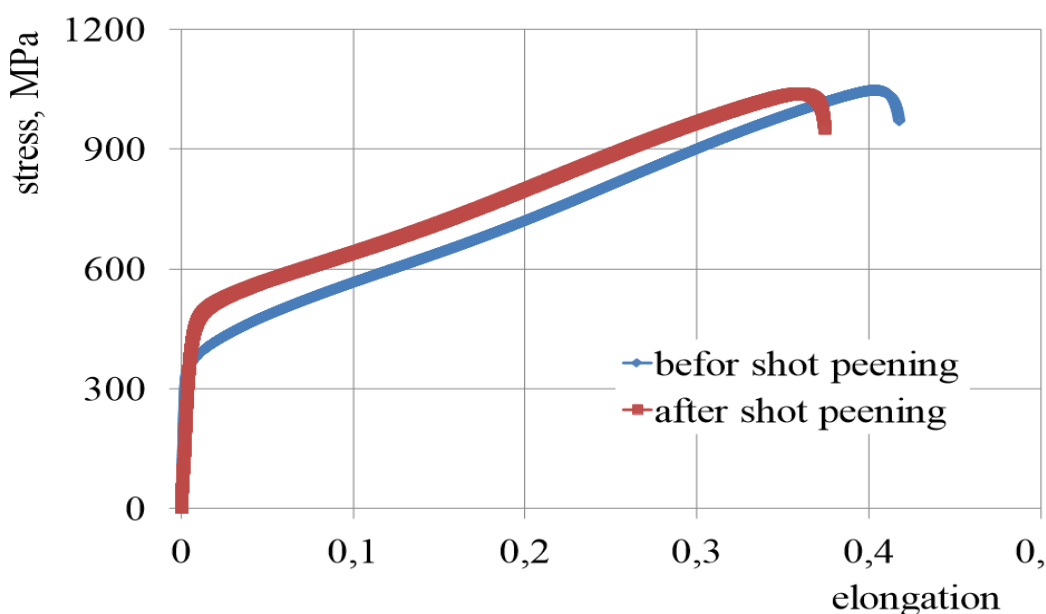
3.4 Aikaisempien tutkimustöiden tarkastelu

Raepuhallus on teollisuudessa pitkään käytössä ollut ja hyvin tunnettu työmenetelmä, jonka vaikutuksista on tehty runsaasti tutkimustyötä varsinkin kappaleen väsymiskestävyyden parantamisesta. Tutkimuksista voidaan todeta, että raepuhallus vaikuttaa metallin ominaisuuksiin kuten lujuuteen sekä kestävyteen, ja todeta seuraavat seikat:

1. Raepuhalluksen vaikutus perustuu pääasiassa pinnan kylmämuokkautumiseen.
2. Raepuhalluksella voidaan saavuttaa huomattava parannus teräksen väsymislujuuteen sekä kestävyteen. Menetelmää voidaan myös hyödyntää muille materiaaleille kuin teräksille.
3. Korkean lujuuden omaamille, kuten nuorrutetuille teräksille raepuhalluksen vaikutus jää vähäisemmäksi.

4. Raepuhalluksen aiheuttamat mekaanisten ominaisuuksien vaikutus voidaan poistaa lämpökäsittelyllä. (Zimmeli 1940; Lessells & Murray 1941.)

Pinnan muokkauslujittumisen vaikutus lujuuteen on hyvin riippuvainen materiaalin laadusta, sekä raepuhalluksen parametreista, kuten käytettyjen kuulien koosta ja puhalluksen voimakkuudesta. Rzeszowin teknillisen yliopiston teettämässä tutkimuksessa (Rzeszow University of Technology 2013) 1 mm paksuisille teräslevyille raepuhalluksen todettiin nostavan testikappaleiden myötölujuutta noin 24 MPa:ta hiiliteräksellä, ja 42 MPa:ta austeniittisellä kromi-nikkeli ruostumattomalla teräksellä vähentäen molempien koekappaleisen kokonaisvenymää. Murtolujuuden sen sijaan todettiin laskevan hiiliteräksellä ja nousevan ruostumattomalla (Kuva 6).

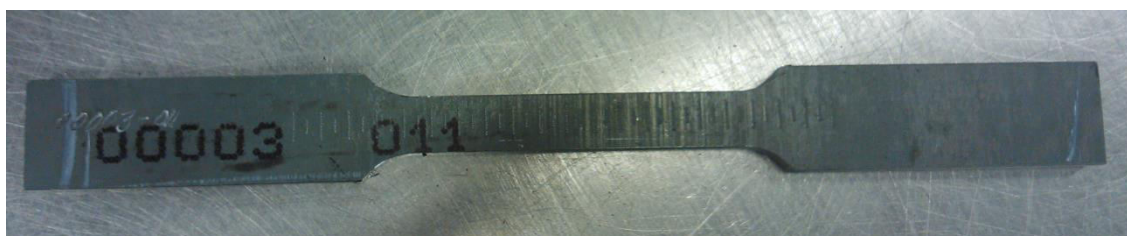


Kuva 6. Jännitys-venymäkäyrä. Kuulapuhallettu ruostumaton teräs. (Rzeszow University of Technology 2013)

3.5 Vetokoe

Vetokoe on materiaalin lujuuden tarkasteluun käytetty ainetta rikkova standardisoitu koemenetelmä. Vetokokeen suoritus periaate on yksinkertainen: tunnetun poikkipinta-alan omaavaa koesauvaa vedetään kasvavalla voimalla katkeamiseen asti, jonka aikana mitataan voima (F), ja sen aiheuttama pysyvä muodonmuutos eli venymä (e). Metallilevyjä testattaessa voidaan käyttää

työstettyjä sekä työstämättömiä koesauvoja. Yleisemmin käytetään työstettyjä, jolloin koesauvaan työstetään koepituutena toimiva kavennus (Kuva 7). Mittaustuloksena on kyseiselle materiaalille ominainen jännitys-venymäkäyrä, jonka avulla voidaan päätellä materiaalin mekaanisia ominaisuuksia lujuudesta sekä venymisestä. Jännitysvenymäkäyttäytyminen riippuu materiaalin ominaisuuksista, kuten metalliseoksesta ja koelämpötilasta. Kokeen suoritus voidaan jaotella kolmeen eri vaiheeseen. Kokeen alussa koekappale on kimmoisalla alueella, kunnes se saavuttaa myötörajan R_e pysyvän muodonmuutoksen alkaessa, lopulta saavuttaen murtolujuuden R_m , jonka jälkeen alkaa kuroutuminen ja kappaleen katkeaminen. (Huhtamo 1972, 172; Valorinta 1993, 261; Kauppi, Kyröläinen & Lukkari 2015.)



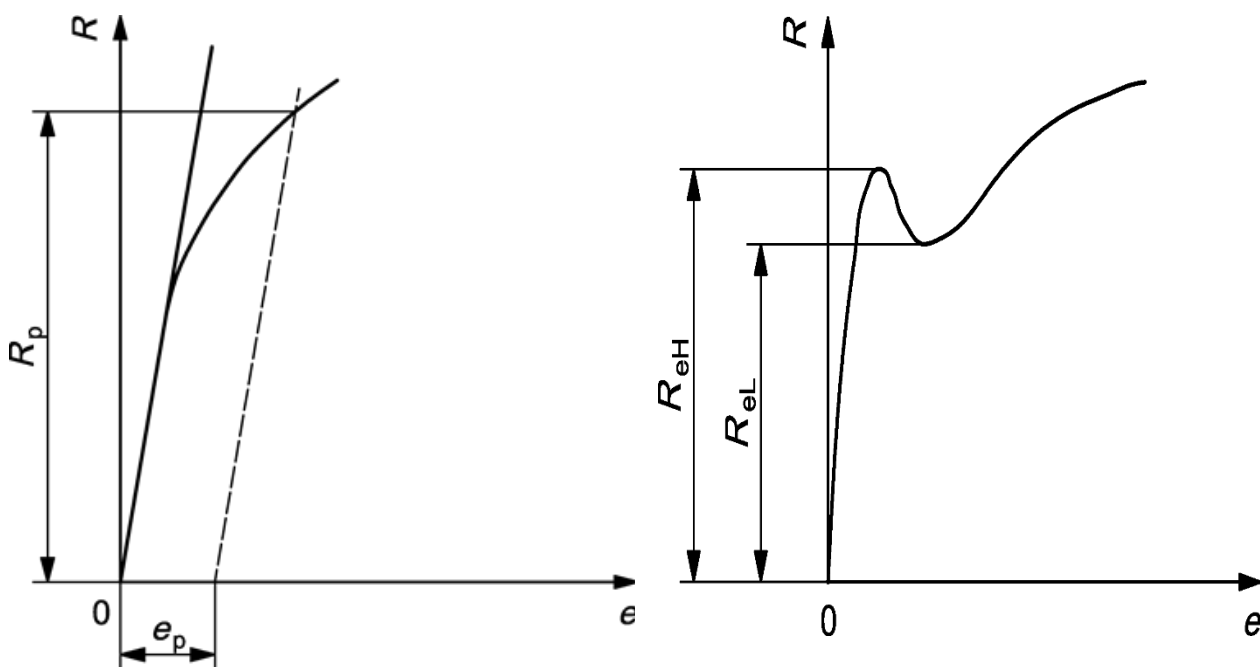
Kuva 7. Kokeita verten työstetty koesauva 00003-11.

Vetokokeessa olennaisia mittauksen käsitteitä ovat:

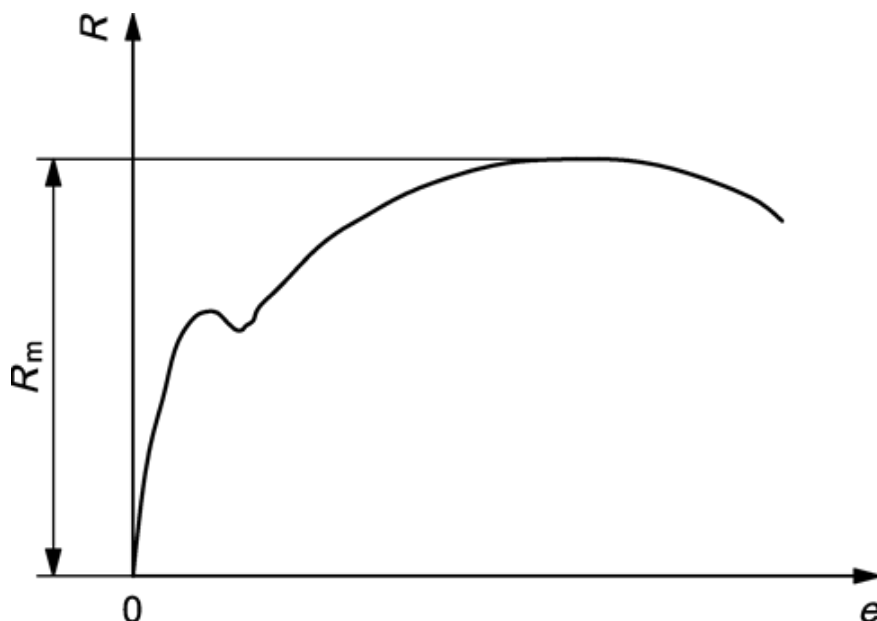
Tunnus	yksikkö	käsite
E	MPa	kimmokerroin
R_{eH}	MPa	ylempi myötöraja
R_{eL}	MPa	alempi myötöraja
R_m	MPa	murtolujuus
R_p	MPa	venymisraja, plastiseen pitenemään perustuva
A	%	murtovenymä
A_g	%	plastinen tasavenymä suurimmalla voimalla F_m
A_{gt}	%	kokonaistasavenymä suurimmalla voimalla
A_t	%	kokonaisvenymä murtohetkellä
Z	%	murtokurouma
e	%	venymä

(SFS-EN ISO 6892-1, 2009.)

Käytön kannalta teräsmateriaalin tärkein ominaisuus on sen myötölujuus, joka vetokokeessa ilmoitetaan myötörajana (R_e), tämä ominaisuus kuvaa materiaalin jännityksen arvoa, jonka ylittyessä materiaalissa tapahtuu pysyvää, plastista muodonmuutosta. Testattavan koekappaleen ominaisuuksista riippuen voidaan joissain tapauksissa määrittää ylempi-, ja alempi myötöraja. Ylemmällä myötörajalla tarkoitetaan jännityksen korkeinta arvoa ennen myötymisen tapahtumista, ja alempi myötöraja kuvaa alinta jännityksen arvoa myötymisen aikana. Tapauksissa, joissa myötöraja on homogeeninen, myötöraja määritellään venymisrajan mukaan (R_p). (Kuva 8.) Murtolujuus (R_m) ilmoittaa sen jännityksen arvon, jolla koesauva murtuu (Kuva 9). Venymän A pituudet ilmoitetaan prosentteina alkumitasta. Lujuusopin mukaisesti koesauvan jännitys (σ), jonka tunnus vetokokeessa on R , lasketaan jakamalla vetoon käytetty voima (F) koesauvan pinta-alalla (A). (Huhtamo 1972, 172; Valorinta 1993, 261; Kauppi, Kyröläinen & Lukkari 2015.)



Kuva 8. Jännitys-venymäkäyrä myötöraja SFS-EN ISO 6892-1



Kuva 9. Jännitys-venymäkäyrä murtolujuus SFS-EN ISO 6892-1

Selite

R	jännitys
R _m	murtolujuus
R _{eH}	ylempi myötöraja
R _{eL}	alempi myötöraja
e _p	plastinen venymä
R _p	plastiseen pitenemään perustuva venymisraja

3.6 Tilastollinen tarkastelu

Mittaustulosten tarkastelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset satunnaisvirheet (eng. outlier), sekä tulossarjan hajonta. Jotta kahden vetokoesarjan tuloksia, raepuhalletun-, ja puhaltamattoman, voidaan luotettavasti verrata, täytyy tuloksille suorittaa tilastollinen tarkastelu t-testin, sekä Grubbsin testin avulla.

Satunnaisvirheellä tarkoitetaan samasta materiaalista tehtyä mittaustulosta, jonka tulos eroaa muiden tulosryhmän tuloksista. Vetokokeessa satunnaisvirheitä aiheuttaa tyypillisesti joko käyttäjä, tai poikkeama testattavassa materiaalissa. Satunnaisvirheen mahdollisuuden vuoksi suoritetaan useita mittauksia samasta tarkastelun kohteesta, jolloin yksittäisiä

mittaustuloksia voidaan verrata koko mittaussarjan keskiarvoon. Jos satunnaisvirheitä ei oteta huomioon, ne vääristävät koko tulossarjan keskiarvoa ja lisäävät sen hajontaa. Satunnaisvirheen merkitys mittaustuloksissa pienenee koemäärien kasvaessa. (Heikkilä 1998, 317)

Grubbsin testi on mittaustulossarjan satunnaisvirheen tarkasteluun käytetty menetelmä, jonka avulla osoitetaan yksittäisen mittaustuloksen poikkeama tulossarjan keskiarvosta. Grubbsin testin avulla todetaan satunnaisvirheen todennäköisyys, jonka perusteella kyseinen mittaustulos voidaan poistaa tulosten tarkastelusta sen tulkinnan luotettavuuden parantamiseksi. Mikäli Grubbsin testin P-arvo on pienempi kuin 0,05, kyseinen mittaustulos on 95 % todennäköisyydellä mittaussarjasta poikkeava satunnaisvirhe. (Hibbert, Gooding. 2006. 177s)

Systemaattinen virhe on yksittäisen mittaustuloksen ja tulossarjan keskiarvon eroavaisuus. Vetokoelaitteistossa tehdyissä mittauksissa on laitteistosta sekä käyttäjästä johtuva hajonta, jolloin saatu mittaustulos ilmoittaa materiaalin lujuuden arvon hieman virheellisesti todellisesta lujuudesta. Tämä hajonta joko suurentaa tai pienentää mittaustulosta jokaisella testauksella yhtä paljon. Sen aiheuttaman hajonnan vuoksi testin tulokset lasketaan useamman testituloksen keskiarvosta. SSAB:n Raahen tehtaassa vetokokeen testituloksille laskettu hajonta on 3 % testituloksen arvosta. (SSAB 2015; Heikkilä 1998, 317)

T-testi (Student-test) on kahden tulosryhmän keskiarvon eroavaisuuden tulkintaan käytetty tilastollinen menetelmä. Testissä otetaan huomioon tulosryhmien keskiarvojen ero sekä molempien tulosryhmien oma hajonta. Mitä enemmän tulosryhmien keskiarvot eroavat suuresti toisistaan, sitä varmemmin voidaan todeta niiden eroavaisuus. Tapauksissa, joissa keskiarvojen ero pieni, on mahdollista, että eroavaisuus johtuu mittaustulosten hajonnasta. T-testillä lasketun todennäköisyyden eli P-arvon avulla määritellään, kuinka luotettavasti voidaan todeta puhalletun ja puhaltamattoman testikappaleen lujuuden muutos vetokokeessa, jos P-arvo on pienempi kuin 0.05, tulosryhmien voidaan todeta poikkeavan toisistaan. T-testi voidaan suorittaa joko olettamalla molempien testisarjojen keskiarvojen hajonnat yhtä suuriksi tai erisuuriksi. Lisäksi tulee

ennalta määrittää tehdäänkö t-testi kaksi-, vai yksisuuntaisena. Jos ennalta voidaan olettaa, että kumman tahansa testisarjan hajonta voi olla toista suurempi, käytetään kaksisuuntaista testiä. Yksisuuntaista testiä käytetään tapauksissa, joissa vain toisen testisarjan hajonta voi olla suurempi, tai halutaan vain tarkastella toista sarjaa. Tässä opinnäytetyössä t-testi tehtiin kaksisuuntaisena ja varianssit eli hajonnat oletettiin yhtäsuuriksi. (Heikkilä 1998, 317)

3.7 Ennakko-oletukset

Tarkasteltujen tutkimustöiden perusteella raepuhalluksen voi olettaa vaikuttavan testikappaleiden mekaanisiin ominaisuuksiin pinnan kylmämuokkautumisen johdosta. Kylmämuokkauksen vaikutuksen suuruus, ja syvyys jäävät kuitenkin selvitetäväksi asiaksi. Koska raepuhalluksen vaikutuksen syvyys on rajallinen, tulee ottaa huomioon testikappaleen paksuuden merkitys, sillä mitä ohuempi testattava kappale on, sitä suurempi on kylmämuokkautuneen rakenteen osuus, jolloin sen merkitys lujuuden muutoksen suhteen lisääntyy. Puhalluksen aiheuttaman lujuuden muutoksen ei aikaisempien tutkimustöiden perusteella voida olettaa parhaimmillaankaan kovin suureksi, korkeintaan 40 MPa:n luokkaa. Suurimman lujuuden muutoksen voidaan päätellä kohdistuvan ohuimpaan 6 mm S355 rakenneteräkseen sen alimman lujuuden vuoksi.

4 KOEMATERIAALIT JA MENETELMÄT

4.1 Testattavat teräslaadut

Raepuhalluksen vaikutuksen tarkastelua varten tehtävissä kokeissa käytettiin kolmea eri teräslaadua, tavallista rakenneterästä S355, ultralujaa Optim 700 ja kulutuksen kestävästä Raex 400-terästä. Koelevyjen paksuudet olivat 6, 8, 12 ja 20 mm, poislukien Raex 400, josta 20 mm paksuus jätettiin pois, sekä Optim 700, josta jätettiin pois 6 mm paksuus. Jokaisesta laadusta testattiin sekä raepuhallettu että -puhaltamaton teräslaatu. Yksinkertaistettu koematriisi on annettu taulukossa 1.

Taulukko 1. Testatut teräkset, niiden paksuudet ja näytemäärät.

	6 mm	8 mm	12 mm	20 mm
S355	20 + 20	20 + 20	20 + 20	20 + 20
Optim 700	-	20 + 20	20 + 20	20 + 20
Raex 400	20 + 20	20 + 20	20 + 19	-

Kyseiset teräkset olivat SSAB:n Raahen terästehtaalla kvarttovalssattuja levyjä, pääasiallisena erona niillä on valssauksen jälkeen tapahtuva lämpökäsittely.

Taulukossa 2 on annettu koeterästen ohjeelliset kemialliset koostumukset. Hiilipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,18 – 0,23 p-%. Optim 700 ja Raex 400 teräksiin on seostettu karkenevuutta parantavia seosaineita (Cr, Mo).

Taulukko 2. Koeterästen ohjeelliset kemialliset koostumukset. (Ruukki & SSAB 2015)

Laatu	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	B	CEV
S355	0.18	-	1.60	0.020	0.020	-	-	-	-	-	1.5
Optim 700	0.20	0.80	1.70	0.020	0.010	1.50	0.50	2.00	0.70	0.005	-

Raex 400	0.23	0.80	1.70	0.025	0.015	1.50	-	1.00	0.50	0.005	-
-------------	------	------	------	-------	-------	------	---	------	------	-------	---

Taulukossa 3 on annettu koeterästen pienin sallittu myötölujuus, murtolujuuden sallittu vaihteluväli sekä murtovenymän pienin sallittu arvo. Taulukon mukaan lujuuksissa ja murtovenymän arvoissa on suuret erot.

Taulukko 3. Koeterästen mekaaniset ominaisuudet. (Ruukki & SSAB 2015)

Teräslaatu	Rp0,2 tai ReH MPa vähintään	R _m MPa	Murtovenymä A% vähintään
S355	355	470-630	20
Optim 700	690	770-940	10
Raex 400	1000	1250	10

Tässä työssä murtovenymästä A käytetään termiä ”kokonaisvenymä” SSAB:n Raahen tehtaassa testaamon mukaisesti. (Jani Alila 2015)

4.1.1 S355

Kuumavalssattu rakenneteräs S355 on tavallisimpia teräslaatuja joita käytetään konepajatuotteiden ja teräsrakenteiden rakennusaineena. Kuumavalssauksen jälkeen teräslaatu ilmajähdytetään hitaasti, jolloin austeniitti hajaantuu ferriitiksi ja perliitiksi. Verrattuna muihin testimateriaaleihin S355 on 355 MPa:n myötölujuudella pehmein. Teräksen tekniset toimitusehdot on määritelty kansallisessa standardissa SFS-EN 10025-2:2004.

4.1.2 Optim 700

Ultraluja Optim 700 on nuorrutettu teräslaatu, jonka myötölujuus R_e on vähintään 700 MPa, murtolujuuden R_m ollessa välillä 770-940 MPa. Kuumavalssauksen jälkeen teräslevy karkaistaan ja päästetään suhteellisen korkeassa, 500-700 °C lämpötilassa. Nuorrutetun Optim-sarjan teräkset eivät sovi yli 550 °C lämpötilan vaatimaan käsittelyyn, koska teräslaatu voi alkaa menettämään sen mekaanisia ominaisuuksia. Ultralujia teräksiä käytetään kohteissa, joissa vaaditaan teräsrakenteen hyvää painon lujuussuhdetta, kuten

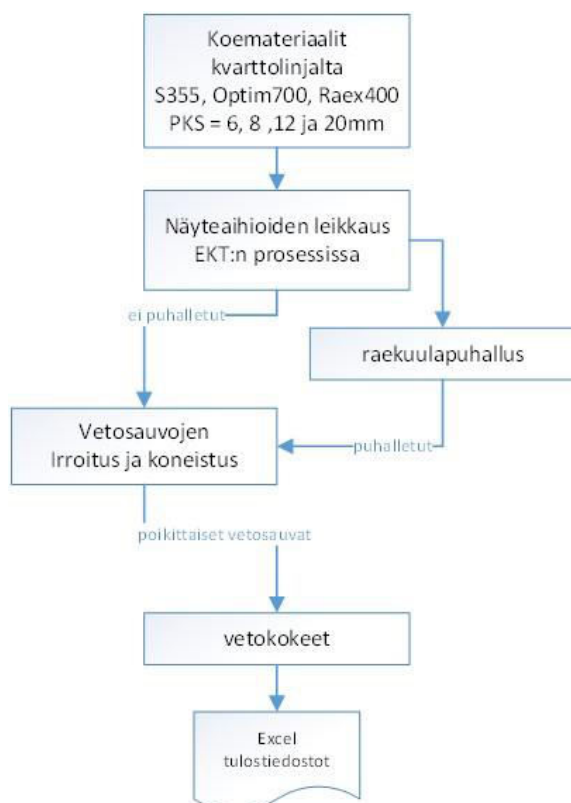
ajoneuvoissa ja nostureissa. Ultralujien terästen raepuhalluksesta ei ole tehty ennalta tutkimuksia, ja on vaikeaa ennustaa muokkauslujittumisen suuruutta. Teräs täyttää kansallisen standardin SFS-EN 10025–6:2009 vaatimukset.

4.1.3 Raex 400

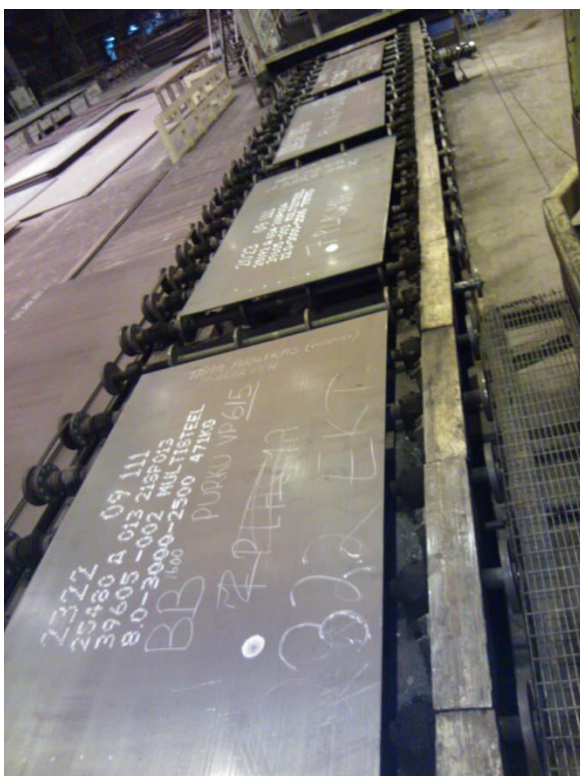
Raex-kulutusteräs on kova ja luja teräs, joka kestää hankaavaa kulutusta ja kovaa pintapainetta. Sen käyttökohteena ovat kovan kulutuksen alaiset teräsrakenteen, kuten kaivinkoneiden kauhat ja kuorma- ja kivensiirtoautojen lavat. Raex-teräkset valmistetaan suorasammutusprosessilla, jossa tuotteen vaatima karkaisu eli sammutus tehdään suoraan valssauslinjalla. Korkealla 1000 MPa:n myötölujuudella ja 1250 MPa:n murtolujuudella Raex 400 on tämän testisarjan kovin ja lujin teräs, jolloin raepuhalluksen vaikutuksen voidaan olettaa jäämään kaikista vähäisemmiksi ottaen vielä huomioon, että kyseinen teräslaatu on tehty kestävämpään pintaan kohdistuvaa kulutusta. Lisäksi teräslaadun faasirakenne on martensiittinen, joka ei ole helposti kylmämuokkautuvaa. Raepuhalluksen aiheuttama lämmön tuonti tulee kuitenkin ottaa huomioon Raex-teräksillä, sillä teräslaatu alkaa menettämään ominaisuuksiaan yli 200 °C tapahtuvassa päästöissä.

4.2 Kokeiden suoritus

Raepuhalluksen vaikutuksen selvittämiseksi tehtiin vetokokeet sekä raepuhalletuille-, että puhaltamattomille koeteräksille. Kuvassa 10 nähdään näytteiden valmistusreitti. Näytelevyaihio leikattiin EKT:n (esikäsitellyt kvarttotuotteet) prosessissa tandem-plasmaleikkauslaitteistolla asiakastilauksiin menevistä levyistä. Tuotannonsuunnittelussa määritettiin valssattaviin aihioihin tarvittava lisäpituus, josta näytelevyaihio voitiin leikata. Raepuhallettavat levyt puhallettiin SSAB:n Raahen terästehtaan EKT:n maalauslinjan sinkolaitteistolla (ks. kuva 11). Vetokoesauvat leikattiin poikittain valssaussuuntaan nähden (ks. kuva 12). Lopputuloksena saatiin kaksi vetokoenäyte sarjaa (puhallettu ja puhaltamaton) jokaiselle teräslaadulle, ja -paksuudelle. Vetokokeet suoritettiin SSAB:n Raahen tehtaan testilaboratoriossa (ks. kuva 13.).



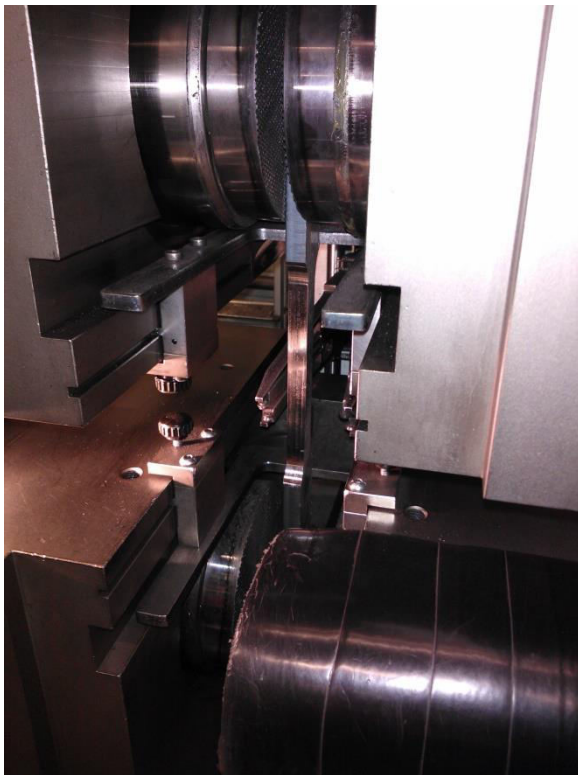
Kuva 10. Testattavien näytteiden valmistuksen ja testauksen periaatekuva.



Kuva 11. Näytelevyaihiot menossa EKT:n raepuhalluslaitteistolle.



Kuva 12. Vetosauva-aihioiden leikkaus.



Kuva 13. Vetokone

Testisauvojen numerointi oli kaksiosainen. Ensimmäinen numerosarja kertoi teräslaadun ja näytepaksuuden. Toinen osa kertoo testisauvan leikkauskohdan levystä sekä onko sen testikappale raepuhallettu vai puhaltamaton. Puhaltamattomien testisauvojen numerot olivat väliltä 011-030 ja puhalletut väliltä 061-080. Esimerkiksi testisauva numero 00002 061 on 8 mm S355 teräslaadun raepuhalletun levyn ensimmäinen testisauva. (Liite 1.)

Raepuhalluksiin käytetty raepuhalluslaitteisto on kahdeksalla siipipyörällä varustettu sinkokone, jonka siipien välinen halkaisija on noin 470 mm. Sinkojen pyörimisnopeus on säädeltävä. Tässä työssä tarkoituksena on saada teräslevyille mahdollisimman suuri vaikutus, jolloin raepuhalluslaitteistoa ajettiin täydellä pyörimisnopeudella, 1500 kierrosta minuutissa. Puhallus tapahtui noin 45° kulmassa. Puhallusrakeina käytettiin pyöreitä S330(0,85–1,18mm), sekä särmikkäitä G40(0,42–0,85mm) rakeita.

Vetokokeiden tuloksille suoritettiin satunnaisvirheiden tunnistamiseksi Grubbsin testit. Havaitut poikkeamat poistettiin tuloksista, jotta ne eivät vääristäisi t-testien tulosten tarkastelua. Mikäli Grubbsin testin P-arvo on pienempi kuin 0,05, tulosryhmässä on poikkeavia satunnaisvirheitä. Grubbsin testit suoritettiin Minitab 17-tilasto-ohjelmistolla.

Raepuhallettujen-, ja puhaltamattomien testikappaleiden vetokokeiden testituloksille tehtiin toisistaan riippumattomien kahden muuttujan t-testit mahdollisten keskiarvojen poikkeamien selvittämiseksi 0,2 prosentin venymään perustuvalla myötörajalta $R_{p0.2}$, murtolujuudelle R_m , tasavenymälle A_g , sekä kokonaisvenymälle A . Mikäli t-testin P-arvo on pienempi kuin 0,05, tulossarjojen välillä on havaittavia eroja. T-testit suoritettiin Minitab 17-tilasto-ohjelmistolla.

5 TULOKSET

5.1 Satunnaisvirheiden etsintä Grubbsin testillä

Ennen t-testejä tuloksille tehtiin Grubbsin testi satunnaisvirheiden löytämiseksi. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki Raex 400- teräslaadulle tehdystä Grubbsin testistä, josta löytyi kaksi satunnaisvirhettä, Ag12_1 ja A_2.

```
Null hypothesis           All data values come from the same normal population
Alternative hypothesis    Smallest or largest data value is an outlier
Significance level        $\alpha = 0,05$ 
```

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
Ag6_1	20	17,850	0,813	16,000	19,000	2,28	0,298
Ag6_2	20	18,000	0,725	17,000	19,000	1,38	1,000
Ag8_1	20	20,300	1,031	19,000	22,000	1,65	1,000
Ag8_2	20	20,600	1,046	19,000	22,000	1,53	1,000
Ag12_1	20	25,450	1,234	23,000	27,000	1,98	0,756
Ag12_2	19	24,474	1,645	23,000	29,000	2,75	0,035
A6_1	20	104,95	4,86	98,00	112,00	1,45	1,000
A6_2	20	98,35	7,86	88,00	120,00	2,76	0,039
A8_1	20	96,70	5,68	90,00	112,00	2,70	0,053
A8_2	20	99,95	6,77	90,00	115,00	2,22	0,358
A12_1	20	106,45	6,48	97,00	115,00	1,46	1,000
A12_2	19	110,11	5,75	98,00	119,00	2,10	0,491

Outlier

Variable	Row	Outlier
Ag12_2	18	29
A6_2	11	120

Kuva 14. Raex 400 Grubbsin testin tulos.

Taulukossa 12 on annettu kaikki mittaustuloksista ilmenneet satunnaisvirheet, joita yhteensä löytyi 16 kappaletta. Nämä tulokset poistettiin mittaustuloksista ennen t-testejä.

Taulukko 12. Vetokoetuloksissa esiintyneet satunnaisvirheet.

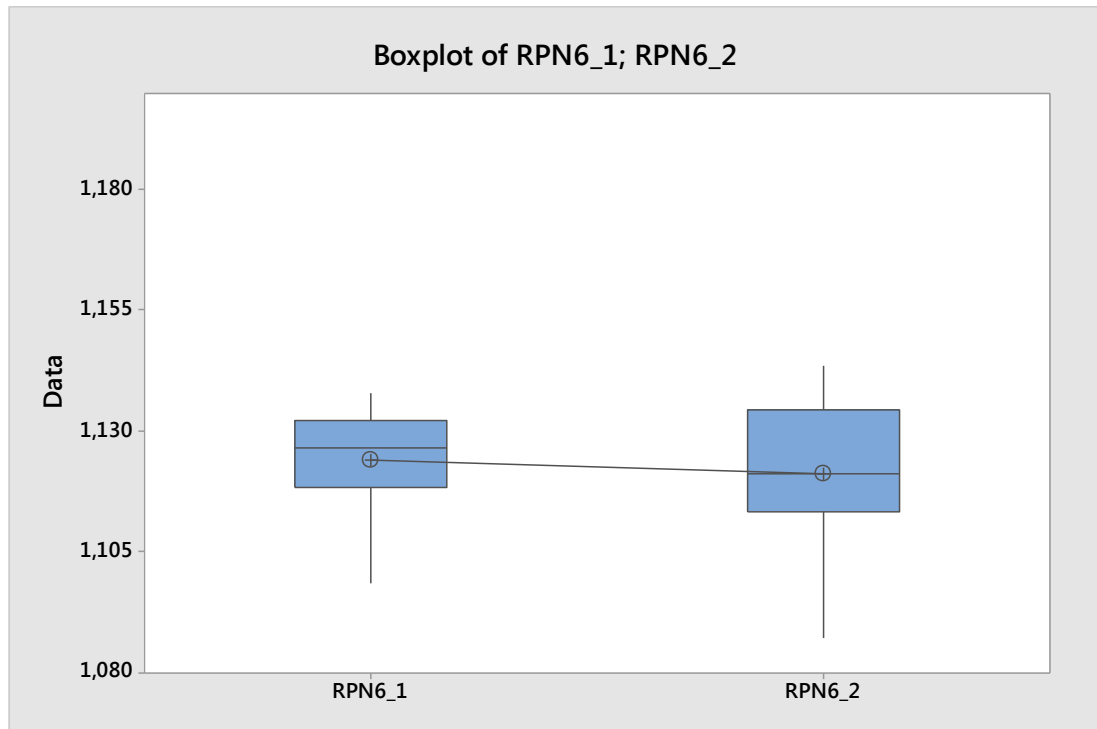
Tulosjoukko	Vaste	Rivi	Satunnaisvirhe
S355 Rp _{0,2}	RPN6_1	6	1,05
S355 Rp _{0,2}	RPN12_1	8	1,23
S355 R _m	RMN6_1	6	1,45
S355 R _m	RMN8_2	8	1,6
S355 R _m	RMN12_1	8	1,64
S355 R _m	RMN12_2	8	1,63

S355 A _g	Ag6_2	2	154
S355 A	A6_2	1	216
S355 A	A12_1	2	227
S355 A	A12_2	19	312
Optim R _{p0.2}	RPN12_2	19	1,09
Optim R _m	RMN12_2	19	1,07
Optim A _g	A20_2	2	208
Raex 400 R _{p0.2}	RPN8_1	15	1,08
Raex 400 A _g	Ag12_2	18	29
Raex 400 Ag	A6_2	11	120

5.2 T-testit

T-testeissä verrattiin toisiinsa puhaltamattomien näytteiden ja raepuhalluksella puhdistettujen näytteiden tuloksia. Seuraavassa esitetään malliesimerkkinä 6 mm S355-rakenneteräksen t-testien Minitab 17 tulosraportit. Täydelliset testitulokset voidaan lukea mittauspyötäkirjasta (Liite 2.). Välittömiä vetokoetuloksia ei esitetä työssä niiden luottamuksellisuudesta johtuen. Tietojen luottamuksellisuuden vuoksi testitulokset on lujuuksien osalta normeerattu. Tämä ei vaikuta kuitenkaan mitenkään t-testien tuloksiin. Tulokuvissa numero 1 on puhaltamaton ja numero 2 on raepuhallettu.

Kuvan 15 mukaan nollahypoteesi ei ole voimassa ($p > 0.05$) eli raepuhalluksella ei ole vaikutusta myötölujuuteen. Tätä tulosta tukee myös keskiarvojen ero, joka on vain 0,003 yksikköä. Kuvasta nähdään myös selvästi se, että raepuhallus on kasvattanut hieman tulosten hajontaa.



Two-sample T for RPN6_1 vs RPN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN6_1	19	1,1242	0,0106	0,0024
RPN6_2	20	1,1214	0,0150	0,0034

Difference = μ (RPN6_1) - μ (RPN6_2)

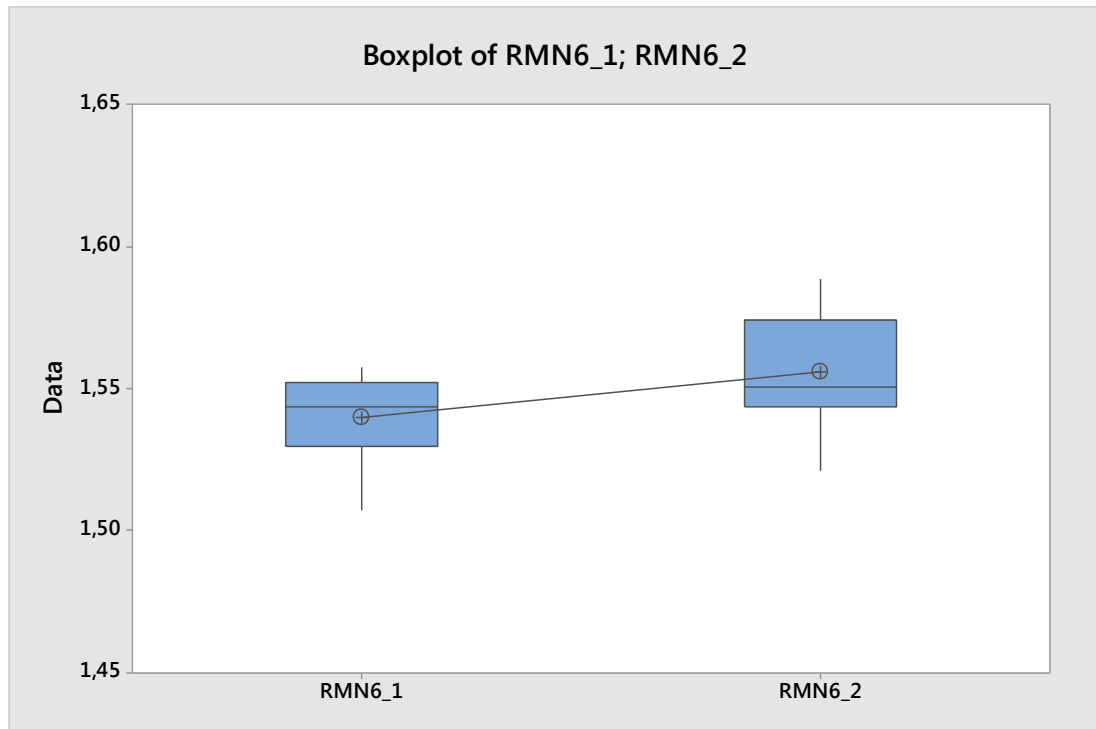
Estimate for difference: 0,00283

95% CI for difference: (-0,00560; 0,01126)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,68 P-Value = 0,499 DF = 34

Kuva 15. Myötölujuudelle $R_{p0.2}$ tehdyn t-testin tulokset S355 6mm näytteillä.

Kuvassa 16 on esitetty samojen näytteiden murtolujuudelle tehdyn t-testin tulokset. Nyt p- arvo on $0.004 < 0.05$ eli nollahypoteesi on voimassa, ja näin ollen puhaltamattomien ja raepuhallettujen näytteiden murtolujuus poikkeaa tilastollisesti tarkasteltuna toisistaan.



Two-sample T for RMN6_1 vs RMN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN6_1	19	1,5400	0,0144	0,0033
RMN6_2	20	1,5556	0,0176	0,0039

Difference = μ (RMN6_1) - μ (RMN6_2)

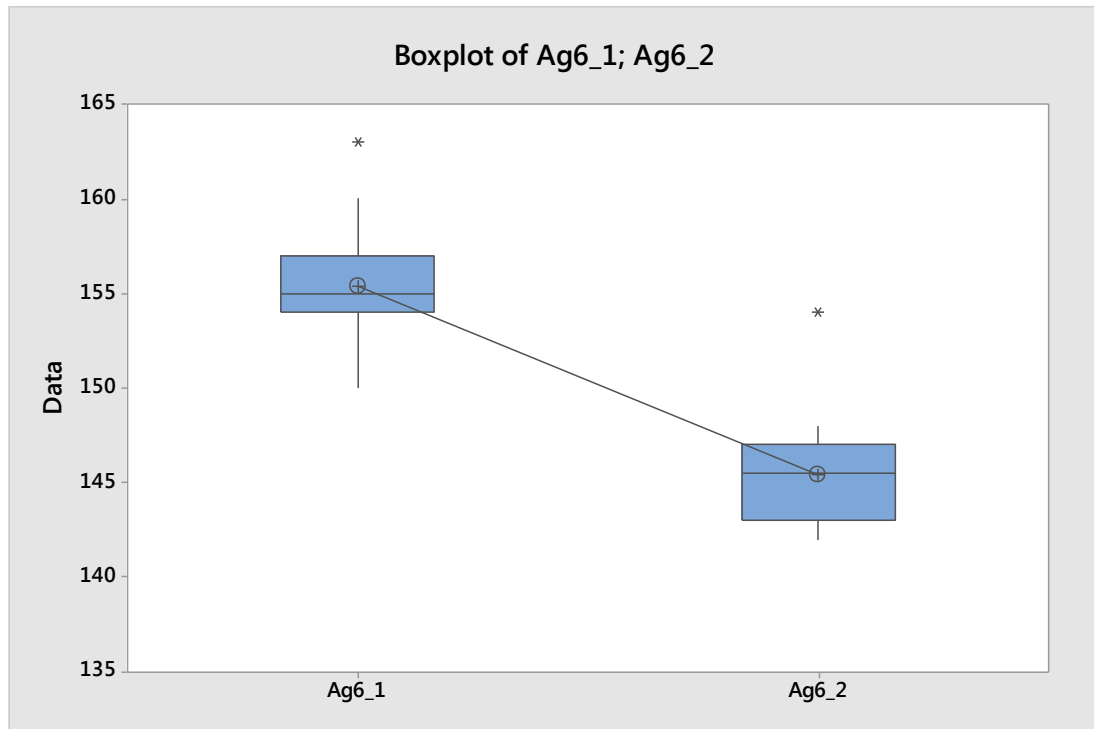
Estimate for difference: -0,01568

95% CI for difference: (-0,02609; -0,00527)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -3,05 P-Value = 0,004 DF = 36

Kuva 16. Murtolujuudelle R_m tehdyn t-testin tulokset S355 6mm näytteillä.

Kuvassa 17 on esitetty samojen näytteiden plastiselle tasavenymälle tehdyn t-testin tulokset. Nollahypoteesi on voimassa (p -arvo $0,004 < 0,05$) ja kuvasta nähdään raepuhalluksen aiheuttaneen huomattavan tasavenymän mittaustulosten putoamisen.



Two-sample T for Ag6_1 vs Ag6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag6_1	20	155,40	2,93	0,65
Ag6_2	20	145,45	2,98	0,67

Difference = μ (Ag6_1) - μ (Ag6_2)

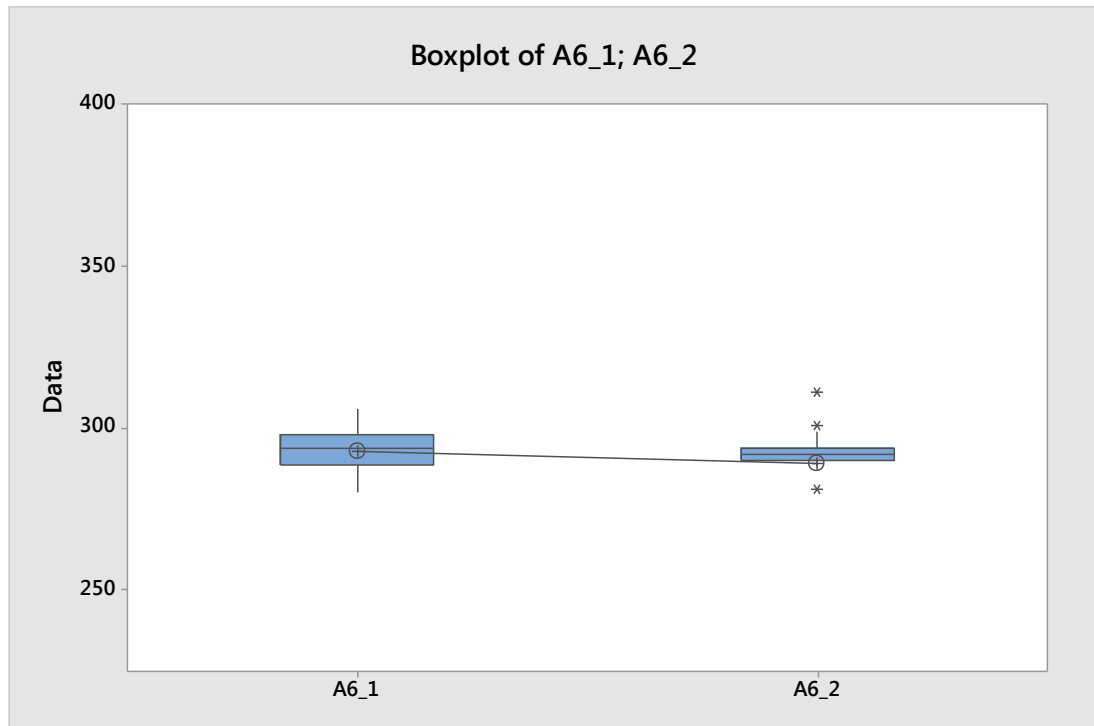
Estimate for difference: 9,950

95% CI for difference: (8,057; 11,843)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 10,65 P-Value = 0,000 DF = 37

Kuva 17. Plastiselle tasavenymälle A_g tehdyn t-testin tulokset S355 6mm näytteillä.

Kuvassa 18 on esitetty samojen näytteiden kokonaisvenymälle tehdyn t-testin tulokset. Nollahypoteesi ei ole voimassa (p-arvo 0,370 > 0,05). Raepuhallus ei aiheuttanut muutoksia testituloksiin.



Two-sample T for A6_1 vs A6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A6_1	20	293,05	6,56	1,5
A6_2	20	289,1	18,2	4,1

Difference = μ (A6_1) - μ (A6_2)

Estimate for difference: 3,95

95% CI for difference: (-4,98; 12,88)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,92 P-Value = 0,370 DF = 23

Kuva 18. Kokonaisvenymälle A tehdyn t-testin tulokset. S355 6mm näytteillä.

6 TULOSTEN KÄSITTELY

Seuraavassa esitetään t-testien p-arvot ja vertailutulosten eroavaisuudet eri teräslaaduille. Nämä tulokset ovat t-testin P-arvo, raepuhalluksen aiheuttama muutos vetokoesarjojen keskiarvoon (= puhallettujen näytteiden keskiarvo – puhaltamattomien näytteiden keskiarvo), joka myötö-, ja murtolujuuden tapauksessa on normeerattu, sekä raepuhalluksen aiheuttama prosentuaalinen muutos (= keskiarvojen erotuksen ja puhaltamattomien näytteiden keskiarvon osamäärä prosentteina). Tapauksissa, joissa 0-hypoteesi (= ”tulosten välillä on ero”) on voimassa, t-testin P-arvo on merkitty vaaleanpunaisella , ja tapauksissa joissa 0-hypoteesi on hylättävä (= ”tulosten välillä ei ole ero”) vihreällä värillä . Kuten teoria osuudessa on esitetty, t-testissä 0.05 arvoa alempi P-arvo johtaa 0-hypoteesin hyväksyntään.

6.1 Rakenneteräs S355

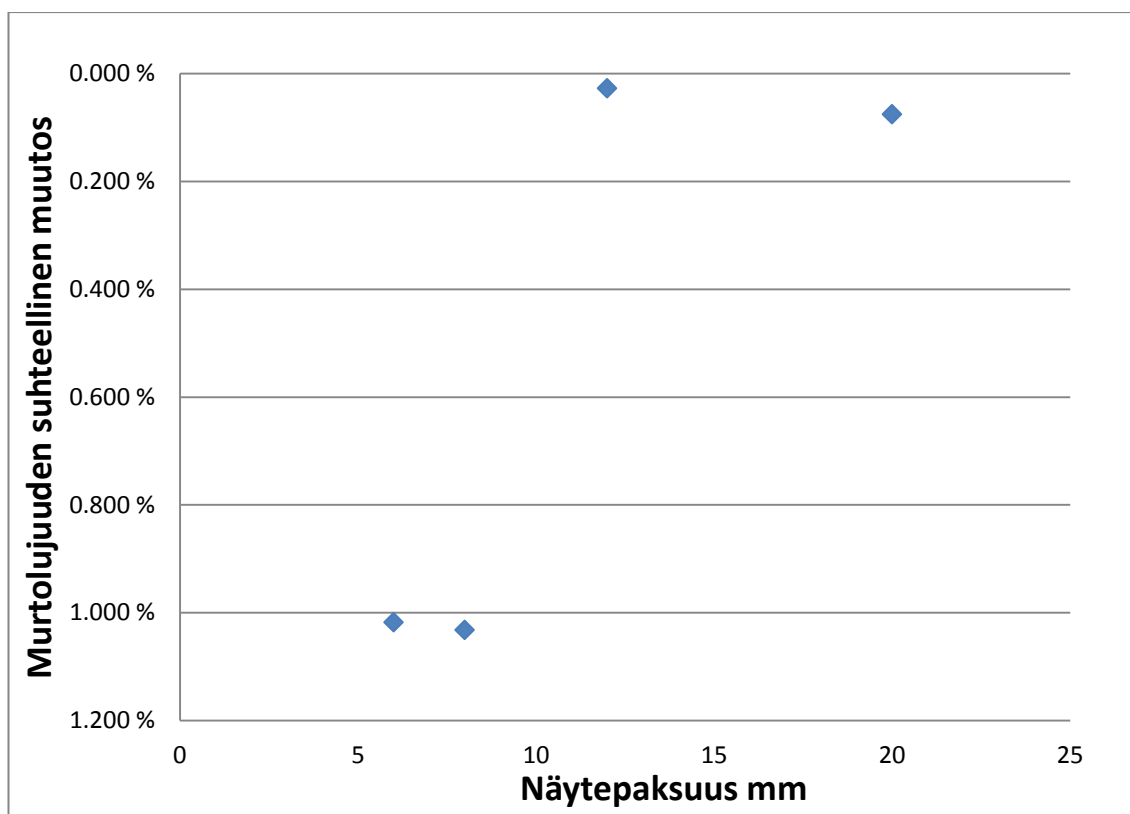
Taulukossa 13 on annettu tulokset S355 rakenneteräksen osalta. Taulukosta nähdään, että t-testien perusteella raepuhalluksella on ollut eniten vaikutusta tasavenymään ($p < 0.05$ kaikilla paksuuksilla), sitten murtolujuuteen ($p < 0.05$ kahdella paksuudella) ja vähiten myötölujuuteen ja kokonaisvenymään ($p < 0.05$ vain yhdellä paksuudella).

Taulukko 13. S355.

	6mm				8mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,499	0,004	0,000	0,370	0,232	0,000	0,000	0,539
Muutos	-0,003	0,016	-9,950	-3,950	-0,005	0,016	-5,400	-5,150
Muutos - %	-0,252 %	1,018 %	-6,403 %	-1,348 %	-0,390 %	1,032 %	-3,628 %	-1,883 %

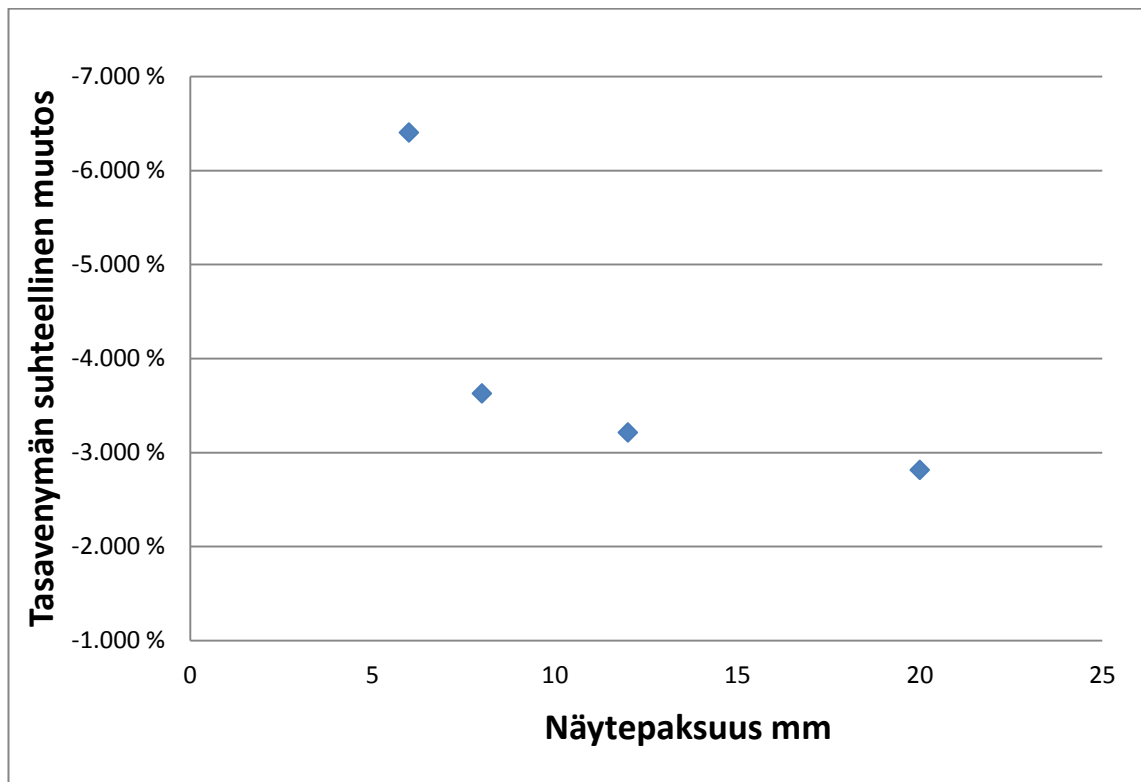
	12mm				20mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,233	0,825	0,000	0,539	0,000	0,412	0,000	0,001
Muutos	0,005	0,000	-4,763	-2,650	0,011	0,001	-4,300	-35,470
Muutos - %	0,395 %	0,028 %	-3,213 %	-0,931 %	-0,761 %	0,075 %	-2,811 %	-10,978 %

Murtolujuudessa R_m havaitaan muutoksia 6 ja 8 mm paksuuksilla. Kuvasta 19 voidaan havaita, että testikappaleiden paksuus ei ole vaikuttanut murtolujuuden muutokseen. Muutos on noin yhden prosentin luokkaa, eikä se ole merkittävä vetokokeen kannalta.



Kuva 19. Murtolujuuden muutos paksuuden suhteen. S355.

Tasavenymässä A_g on merkittäviä muutoksia jokaisella paksuudella. Kuvasta 20 voidaan havaita, että testikappaleen paksuudella on huomattava merkitys tasavenymän muutokseen. Suurin muutos on ohuimmassa 6 mm testikappaleessa -6,403 %. Mikäli raepuhallettaisiin vielä ohuempia testikappaleita, kuvaajan perusteella muutos tasavenymässä olisi huomattavasti suurempi. Vetokokeen oleellisemmat mittaustulokset ovat myötö-, murtolujuus ja kokonaisvenymä. Näin ollen tasavenymän muutoksen perusteella raepuhallusta ei tarvitse hylätä testikappaleiden puhdistusmenetelmänä. Tulokset kuitenkin osoittavat raepuhalluksen aiheuttaman muokkauslujittumisen merkityksen vetokokeen tuloksiin kasvavan testikappaleen ohentuessa ja vaikuttuvan testikappaleen jännitys-venymäkäyttäytymiseen.



Kuva 20. Tasavenymän A_g suhteellinen muutos. S355.

Raepuhalluksen vaikutus 20 mm levyn vetokokeisiin on hieman poikkeava ohuimmista testikappaleista, sillä kyseisellä paksuudella havaitaan raepuhalluksen vaikuttavan myös myötölujuuteen ja kokonaisvenymään. On todennäköistä, että 20 mm paksuisen S355-teräslevyn hieman alemman myötölujuuden sekä suuremman kokonaisvenymän johdosta raepuhallus on aiheuttanut muutoksen kokonaisvenymän pienentymiseen. Raepuhalluksen aiheuttama muokkauslujittuminen on siis vaikuttanut testikappaleen venymäkäyttäytymiseen enemmän, kuin ohuimmilla S355-teräslaaduilla. Myötölujuuden 0,761 % vähentymä ole suuruudeltaan merkittävä vetokokeen kannalta, mutta -10,978 % muutos kokonaisvenymässä on otettava huomioon. Koska kyseisen teräslaadun huomattavan muutoksen kokonaisvenymässä voidaan päätellä johtuvan sen suuremmasta kokonaisvenymästä, joka on paljon suurempi, kuin SFS-EN 10025–2:2004 standardin kyseiselle paksuudelle vaatima vähimmäisarvo 22 %, noin 11 % vähentymä vetokokeen

testituloksessa ei johda testattavan materiaalin hylkäämiseen S355-teräsliadulla.

6.2 Ultraluja Optim 700

Taulukossa 14 on annettu ultralujan Optim 700 t-testin tulokset. Taulukosta nähdään, että raepuhallus on aiheuttanut testituloksien muutoksia ($p < 0.05$) paksuuksien 8 ja 12 mm myötö-, ja murtolujuudessa sekä tasavenymässä.

Taulukko 14. Optim 700.

	8mm				12mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,003	0,000	0,000	0,483	0,000	0,030	0,000	0,639
Muutos	-0,006	0,014	-1,950	0,750	-0,009	0,002	-1,250	-0,450
Muutos - %	-0,530 %	1,300 %	-2,959 %	0,468 %	-0,821 %	0,204 %	-1,952 %	-0,281 %

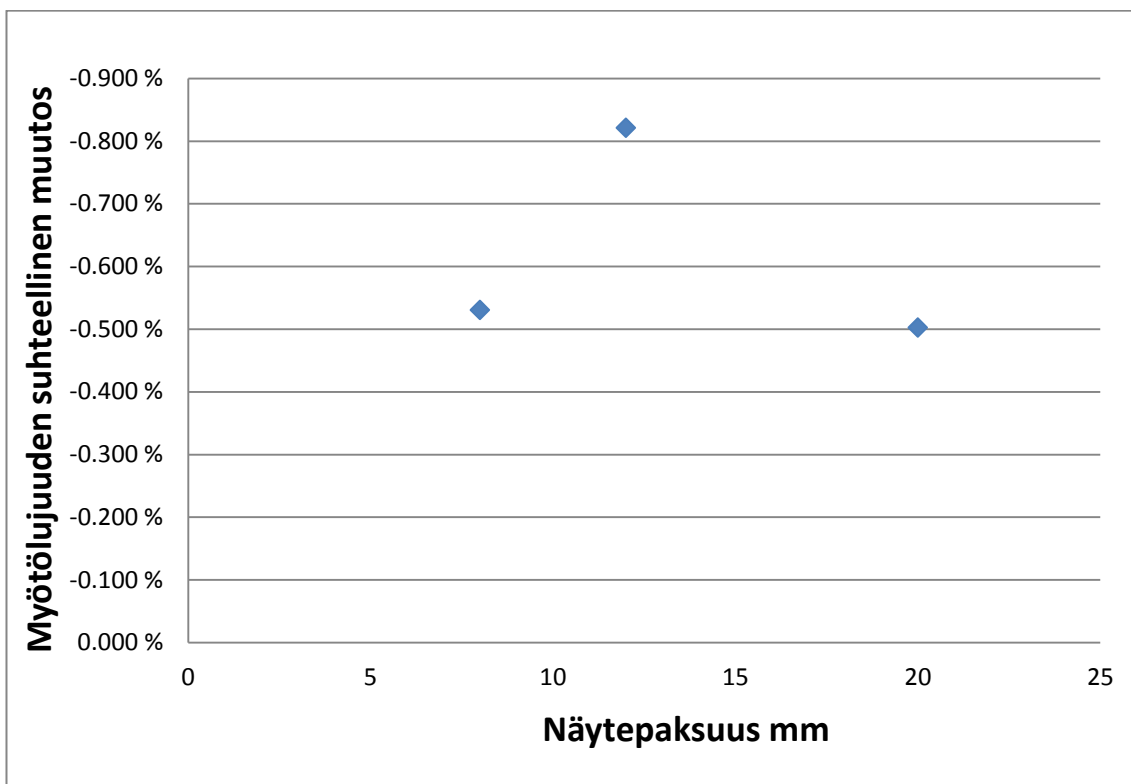
	20mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,093	0,348	0,420	0,067
Muutos	-0,006	0,002	-0,208	3,30000
Muutos - %	-0,502 %	0,162 %	-0,303 %	1,937 %

Suurin muutos myötölujuudessa oli -0,821 %, jonka suuruus ei ole vetokokeen kannalta merkittävä. Kuvasta 21 voidaan havaita, että myötölujuuden muutos ei ole paksuudesta riippuvainen.

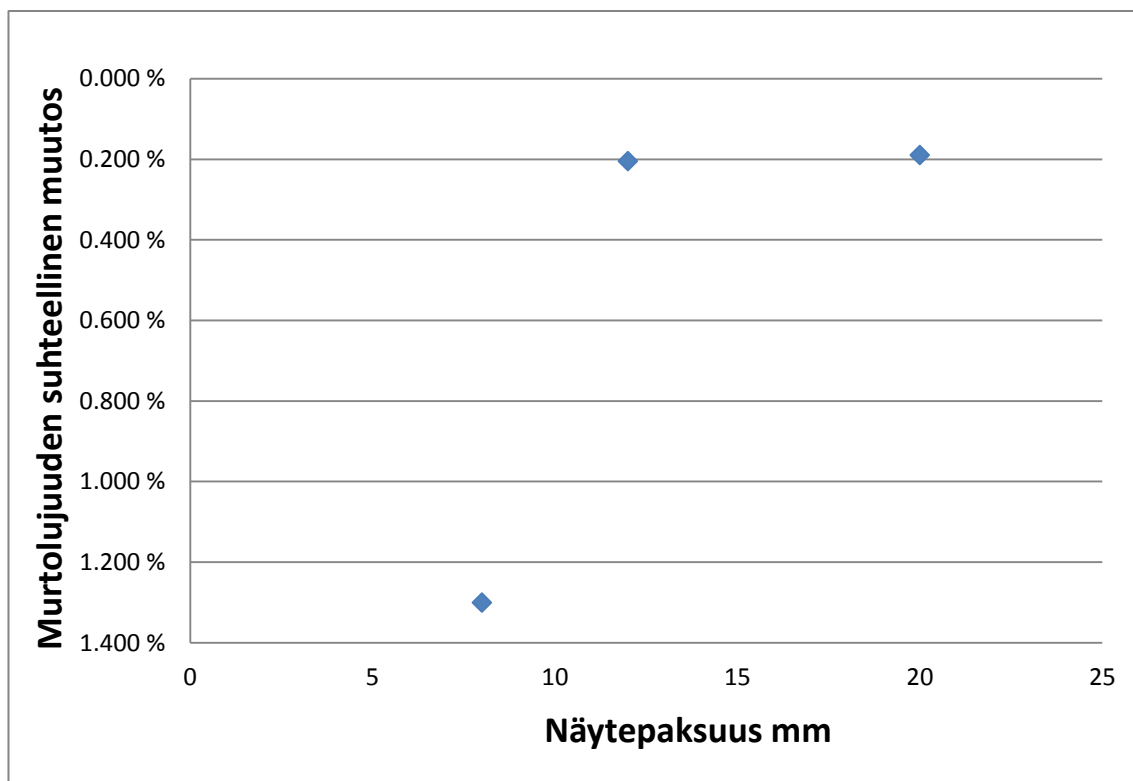
Suurin raepuhalluksen aiheuttama muutos murtolujuudessa oli 1,30 % ohuimmalla 8 millimetrin testikappaleessa, joka oli tämän opinnäytetyön testien suurin raepuhalluksen aiheuttama muutos myötö-, tai murtolujuudessa. Kuvasta 22 voidaan havaita, että murtolujuuden muutoksen suuruus riippuu testikappaleen paksuudesta.

Tasavenymässä A_g nollahypoteesi on voimassa paksuuksilla 8 ja 12 mm, myös 20 mm paksuudessa voidaan havaita lievä muutos (ks Liite 2.). Kuvasta 23 voidaan havaita, että kuten S355-teräsliadulla, myös ultralujan Optimin

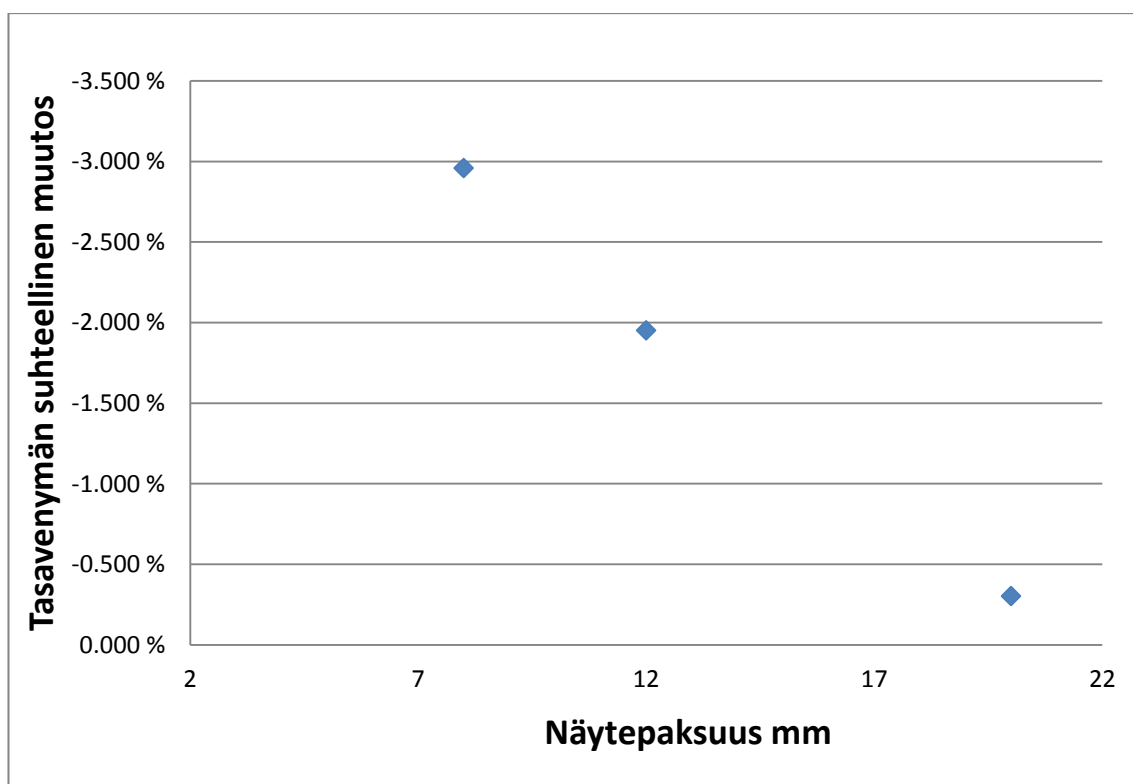
tapauksessa testikappaleen paksuudella on suuri merkitys tasavenymän muutokseen.



Kuva 21. Myötölujuuden $R_{p_{0,2}}$ muutos paksuuden suhteen. Optim 700.



Kuva 22. Murtolujuuden muutos paksuuden suhteen. Optim 700



Kuva 23. Tasavenymän A_g muutos paksuuden suhteen. Optim 700.

Kokonaisvenymässä A ei havaittu muutoksia.

6.3 Kulutuksen kestävä Raex 400

Taulukossa 15 on annettu kulutuksen kestävän Raex 400-teräsalaadun t-testin tulokset. Taulukosta nähtävistä tuloksista raepuhallus on vaikuttanut ainoastaan 6 mm kokonaisvenymän muutokseen (p -arvo $< 0,05$). 12 mm tulokset hylättiin tulosten tarkastelussa.

Taulukko 15. Raex 400.

	6mm				8mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,911	0,724	0,542	0,000	0,766	0,574	0,367	0,109
Muutos	-0,001	-0,001	0,150	-7,740	-0,002	-0,001	0,300	3,250
Muutos - %	-0,065 %	-0,054 %	0,840 %	-7,374 %	-0,157 %	-0,096 %	1,478 %	3,361 %

	12mm			
	R _{p0.2}	R _m	A _g	A
P-arvo	0,014	0,001	0,005	0,070
Muutos	-0,023	-0,013	-1,228	0,037
Muutos - %	-2,210 %	-1,265 %	-4,825 %	3,434 %

Muutos 6 mm kokonaisvenymässä A on merkittävä muutos, joka riittää laskemaan vetokokeen tuloksen alle standardin vaatimuksen. Ottaen huomioon standardin mukaisen 10 prosentin kokonaisvenymän -7,374 prosentin muutos vetokoneen mittauksen tuloksessa ei ole suuri, noin 0.7 prosentin muutos kokonaisvenymässä. Tulosten perusteella kokonaisvenymän muutoksen voidaan päätellä johtuvan raepuhalluksesta. Kahdeksan millimetrin paksuudessa raepuhallus ei ollut vaikuttanut kokonaisvenymään. Tämän tuloksen perusteella raepuhallus ei sovellu kuuden millimetrin paksuisten Raex 400-testikappaleiden puhdistukseen puhalluksen tapahtuessa täydellä teholla.

Taulukosta havaitaan, että 12 mm Raex 400-teräsalaadun testituloksissa on huomattavia eroja yksittäisten testitulosten ja tulosten keskiarvon välillä. Erot johtuvat todennäköisimmin mittauksissa tapahtuneista virheistä, joiden perusteella tämän teräsalaadun testitulokset hylätään, eikä raepuhalluksen voida olettaa ohuempien Raex-teräsalaatujen testitulosten sekä käydyn teorian perusteella vaikuttaneen testituloksiin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

7.1 Johtopäätökset

Suoritetuista mittaustuloksista voidaan todeta raepuhalluksen aiheuttavan muokkauslujittumisen testikappaleisiin, sekä vaikuttuvan vetokokeen tuloksiin käydyn teorian mukaisesti. Suoritettujen teräslaatuojen testauksissa raepuhalluksen vaikutus ei ollut kuitenkaan suuri. Suurin raepuhalluksen aiheuttama muutos myötö- ja murtolujuuteen koesarjojen keskiarvojen välillä oli Optim 700 kahdeksan millimetrin paksuuden murtolujuudessa 1,30 prosenttia. Venymän muutos oli suurempi S355-rakenneteräksessä johtuen sen suuremmasta venymästä sekä alemmasta lujuudesta. Suurin kokonaisvenymän vähennys oli S355 20 millimetrin paksuudella 10,978 prosenttia. Ohuemmilla S355-teräslaaduilla ei havaittu kokonaisvenymän muutosta. Tämän perusteella voidaan todeta, että raepuhalluksen vaikutuksen suuruus vetokokeen venymän muutokseen on suurempi korkean venyvyyden omaamilla teräslaaduilla.

Yllättävää mittauksissa oli raepuhalluksen vaikutuksen suuruus Optim 700-teräslaatuun verrattaessa pehmeämpään S355-rakenneteräkseen. Raepuhallus oli vaikuttanut S355-teräslaadulla pelkästään murtolujuuden muutokseen, kun ultralujalla Optim 700-teräslaadulla se oli aiheuttanut prosentuaalisesti suuremman muutoksen sekä murtolujuuteen että myötölujuuteen. Tulee ottaa huomioon, että ultralujana teräksenä myös sen kokonaislujuuden muutos vetokokeessa oli suurempi. Tehtyjen mittauskokeiden perusteella todetaan raepuhalluksen vaikutuksen olevan suurempi Optim 700-teräslaatuun kuin S355-rakenneteräkseen.

Lähes kaikissa tapauksissa, joissa raepuhallus oli aiheuttanut muutoksia koekappaleen mekaanisiin ominaisuuksiin, voidaan havaita muutoksia myös venymäkäyttäytymisessä muuttuneen tasavenymän tarkastelulla. Tasavenymän suhteellinen muutos oli yllättävän suuri. Raepuhallus vaikuttaa siis huomattavasti kappaleen venymäkäyttäytymiseen, mutta sen merkitys vetokokeen oleellisiin tuloksiin, myötö-, ja murtolujuuteen sekä

kokonaisvenymään on vähäisempi. Venymäkäyttäytymisen muutoksen suuruuteen vaikuttaa eniten testikappaleiden paksuus. Mikäli raepuhalluksella käsiteltäisiin kuutta millimetriä ohuempia testikappaleita, muutos tasavenymässä olisi hyvin merkittävä.

Raex 400-teräslaadun kohdalla ei teorian perusteella odotettu muutoksia vetokokeeseen. Raepuhallus oli kuitenkin aiheuttanut 6 millimetrin testikappaleisiin huomattavan 7,374 prosentin vähentymän kokonaisvenymään, mikä oli yllättävä tulos. Tulokset osoittavat raepuhalluksen vaikuttavan Raex-teräslaatuun. Muita muutoksia vetokokeen tuloksiin ei havaittu, eikä kokonaisvenymän muutosta havaittu kahdeksan millimetrin paksuudella. Koska kyseisen teräslaadun kohdalla muutos on riittävä muuttamaan kokonaisvenymän arvon alle standardin vaatiman 10 prosentin, raepuhallus ei sovellu kyseisen teräslaadun puhdistusmenetelmäksi. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että testejä varten raepuhallus tapahtui laitteiston täydellä pyörimisnopeudella, ja on todennäköistä, että käytettäessä pienempää pyörimisnopeutta raepuhalluksen vaikutus jää merkityksettömäksi.

Suoritettujen kokeiden perusteella kyseisillä teräslaaduilla ja paksuuksilla raepuhallus on hyväksyttävä koekappaleiden pinnan puhdistusmenetelmä. Pois lukien kuuden millimetrinen Raex 400, jonka kokonaisvenymän vähentyminen voi aiheuttaa virheellisen tuloksen. Testatuilla teräslaaduilla raepuhallus ei olisi johtanut testattavan materiaalin hylkäämiseen teräksen tuotannon testauksissa. Tämän työn testejä varten testikappaleet raepuhallettiin laitteiston täydellä pyörimisnopeudella, ja tulosten perusteella on suositeltavaa puhaltaa ohuimmat testikappaleet pienemmällä pyörimisnopeudella.

Suoritettujen kokeiden ja teorian tarkastelun perusteella voidaan todeta seuraavat johtopäätökset:

1. Raepuhalluksen käyttö SSAB:n Raahen tehtaalla valssattujen kvarttolevyjen puhdistuksessa on hyväksyttävä menetelmä, joka ei aiheuta merkittäviä muutoksia vetokokeiden testituloksiin.
2. Raex 400-teräslaadussa raepuhalluksen aiheuttama muutos voi täydellä puhaltamisnopeudella aiheuttaa vetokokeen kokonaisvenymän tuloksen

putoamisen alle standardin vaatimuksen 6 millimetrin ja sitä ohuemmillä teräslaaduilla.

3. Raepuhalluksen vaikutus on suurempi ultralajaan Optim 700-teräslaatuun kuin S355-rakenneteräkseen.
4. Raepuhalluksen vaikutus venymän muutokseen vetokokeessa on suurempi korkean venyvyyden omaamilla teräslaaduilla.
5. Kvarttolevyjen raepuhalluksessa on suositeltavaa käyttää pientä puhalluslaitteen siipipyörien pyörimisnopeutta muokkauslujittumisen vaikutuksen minimoimiseksi.

7.2 Pohdinta

Raepuhalluksen vaikutuksen tutkiminen SSAB:n Raahan tehtaassa tuottamien kolmeen teräslaatuun oli mielenkiintoinen tehtävä. Raepuhalluksen käytön, vaikutusten ja teorian tutkiminen antoi mielenkiinnon työn suoritukseen ja varman pohjan kokeellista osuutta sekä tulosten tarkastelua varten. Tulosten käsittelyssä raepuhalluksen ja teräksen muokkauslujittumisen tunteminen oli olennaisen tärkeää tulosten tulkinnassa testitulosten merkitystä. Oppimiskokemuksena opinnäytetyö oli hyvä, sillä se antoi mahdollisuuden perehtyä terästuotannon terästen testaukseen, tutkimustulosten käsittelyyn, raepuhallukseen sekä selvittää sen merkitystä kyseisille teräslaaduille. Tämä opinnäytetyö antoi mahdollisuuden tutkia raepuhalluksen vaikutusta itse vetokokeen tuloksiin, mikä oli tämän työn pääaihe, mutta myös raepuhalluksen vaikutuksen laajuutta yleensä SSAB:n erikoisteräksiin.

Opinnäytetyön tuloksia sekä niiden perusteella tehtyjen johtopäätöksiä voidaan pitää luotettavina. Saadut mittaustulokset pitivät paikkaansa käytyn teorian kanssa, eikä niiden välillä syntynyt ristiriitaisuuksia. Tutkimustulosten tulkinnassa ongelmia aiheutti mittaustulosten luotettavuus, erityisesti 12 millimetrin Reax 400, jonka tulokset täytyi kokonaan hylätä. Tämä aiheutti epäluottamusta myös muihin testituloksiin vaikeuttaen huomattavasti niiden pohdintaa. Tutkimustuloksia tulkittaessa oli tärkeää pitää mielessä niiden täsmävyys muiden testitulosten sekä teorian kanssa. Tutkimustulosten

tulkitseminen kokeissa tapahtuneiksi mittausvirheiksi oli huomattavan haasteellista, sillä mitä enemmän mittaustuloksia tulkitaan virheelliseksi, sitä epäluotettavammaksi koko opinnäytetyö lopulta tulisi. Lopulta epäluotettavia mittaustuloksia löytyi vain kaksi 12 millimetrinen Raex:in lisäksi. Optim 700-teräsalaadun 12 millimetrin paksuuden myötöraja, sekä 20 millimetrin kokonaisvenymä.

Tämän työn perusteella raepuhalluksen vaikutus kuuden millimetrin paksuisen Raex 400-teräsalaadun kokonaisvenymään jää hieman avoimeksi. On todennäköistä, että raepuhallettaessa pienemmällä pyörimisnopeudella raepuhalluksen aiheuttama muutos kokonaisvenymään jää merkityksettömäksi. Aihe vaatii kuitenkin lisätutkimuksia. Jatkotutkimuksiksi esitän tutkittavaksi raepuhalluksen vaikutusta metalliin, erityisesti eri teräsalaatujen muihin mekaanisia ominaisuuksia selvittäviin kokeisiin, kuten teräskappaleen särmättävyyteen, kovuuden muutokseen ja väsymislujuuteen. Erityisesti ultralujilla Optim-sarjan teräsalaaduilla raepuhallus voi olla hyvinkin hyödynnettävä työmenetelmä. Raepuhallettavien levyjen vetokokeiden kannalta on suositeltavaa tehdä lisäselvityksiä siinä tapauksessa, että raepuhalluksella käsiteltäisiin kuutta millimetriä ohuempia teräslevyjä. Erityisesti suosittelen tutkimaan raepuhalluksen muokkauslujittumisen syvyyden ja kovuuden muutoksen perusteellisesti ultralujan Optim-, sekä kulutuksen kestävän Raex-teräsalaatuihin Suomen teollisuuden teräksen valmistuksen ja käyttösovellusten edistämisen vuoksi.

Jatkotutkimuksien edistämiseksi pyydän lukijaa ottamaan huomioon, että terästeollisuus on Suomen merkittävimpiä teollisuuden aloja, ja erikoisterästen työmenetelmien mahdollisuuksien tunteminen on huomattavan tärkeää sen edistämiseksi. Tutkimalla raepuhalluksen vaikutuksen laajuus perusteellisesti väsymislujuuden parannukseen sekä teräksen pintakovuuden muutokseen voidaan saada raepuhalluksen tarjoamat mahdollisuudet tehokkaaseen käyttöön. Pintakovuuden muutos voi edistää teräspinnan kulutuksen kestävyyttä jopa Raex-teräsalaadulla. Lopuksi haluan mainita, että edistämällä SSAB:n erikoisterästen käyttöä edistetään sekä Suomen teräksenvalmistusta, että terästen käyttösovelluksiin keskittyvien yritysten kilpailukykyä.

8 LÄHTEET

Alila, J. 2015. Suullinen tekninen tiedonanto. SSAB Kehitysinsinööri. 25.5.2015

Heikkilä, T. 1998. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Hibbert, D. Brymm – Gooding, J. Justin. Data Analysis for Chemistry – An Introductory Guide for Student and Laboratory Scientist. Oxford University Press. Inc. New York. USA 2006. 177s

Huhtamo O.E. 1972. Metallialan aineoppi. Tampere: Tietomies.

Kansainvälinen standardi SFS-EN ISO 6892-1. 2009. Metallien Vetokoe.

Katsuji T, Jian L. & Guelorget B. 2004. Effect of shot peening on surface integrity - Influence on low temperature heating. Viitattu: <http://www.jmst.org/fileup/PDF/20s101.pdf>

Kauppi, T., Kyröläinen, A., Lukkari, J. 2015. Hitsauksen materiaalioppi, oppikirjan käsikirjoitus. Kustannuspaikka: Suomen hitsaustekninen yhdistys Ry.

Lessells J. M. & Murray W. M. 1941. Effect of Shot Blasting on Strength of Metals.

Viitattu 3.2.2015. Saatavilla: <http://www.shotpeener.com/library/pdf/1941007.pdf>

Lyman, T., Boyer, H. E., Unterweiser, P. M, Hontas, J. P, Mehlman, L. R, Carnes, W. J., Lawton, H. 1964. Metals Handbook, 8th Edition, Vol 2. American Society for Metals. Metals Park, Ohio, USA. s. 398-405.

Metal Improvement Company. 2015. Shop peening. Viitattu 3.2.2015. Saavilla: http://www.metalimprovement.com/shot_peening.php

Rautaruukki. 2014. Raahan tehtaan esittely. Powerpoint-esitys.

Ruukki & SSAB. 2015. Kuumavalssatut teräkset. Viitattu 5.2.2015. <http://www.ruukki.fi/Teras/Kuumavalssatut-terakset>

Rzeszow University of Technology. 2013. Analysis of the effect of shot peening on mechanical properties of steel sheets used as screener sieve materials. Viitattu 8.2.2015.

http://iopscience.iop.org/1742-6596/451/1/012029/pdf/1742-6596_451_1_012029.pdf

SSAB 2015. SSAB lyhyesti. Viitattu 20.5.2015. Saatavissa:
<http://www.ssab.com/fi/Sijoittajat-ja-media/Tietoa-SSABsta/SSAB-lyhyesti/>

SSAB 2015a, vuosikatsaus. Viitattu: 20.5.2015. Saatavilla:
<http://mb.cision.com/Main/980/9763352/372026.pdf>

Stenbacka. T. AB. 2015. Puhallusrakeet. Viitattu 3.2.2015.
<http://stenbackashopy.bootti.net/userimages/10317prdocfi-FI.pdf>

Toshal K, Lu J, Guelorget B. & Nagashima E. Shot peening and grit blasting - effects on surface integrity-. Viitattu 8.2.2015.
<http://www.shotpeener.com/library/pdf/2005116.pdf>

Valorinta, V. 1993. Koneenrakentajan metallioppi. Tampere: Pressus Oy

Wheelabrator Group. 2015. Shot blasting. Viitattu 3.2.2015.
http://www.wheelabratorgroup.com/en/sites/wheelabrator/content/about_us/about_wheelabrator/what_is_shot_blasting.aspx

Zimmeli F.P. 1940. Shot blasting and its effect on fatigue life. Viitattu 8.2.2015.
<http://www.shotpeener.com/library/pdf/1941006.pdf>

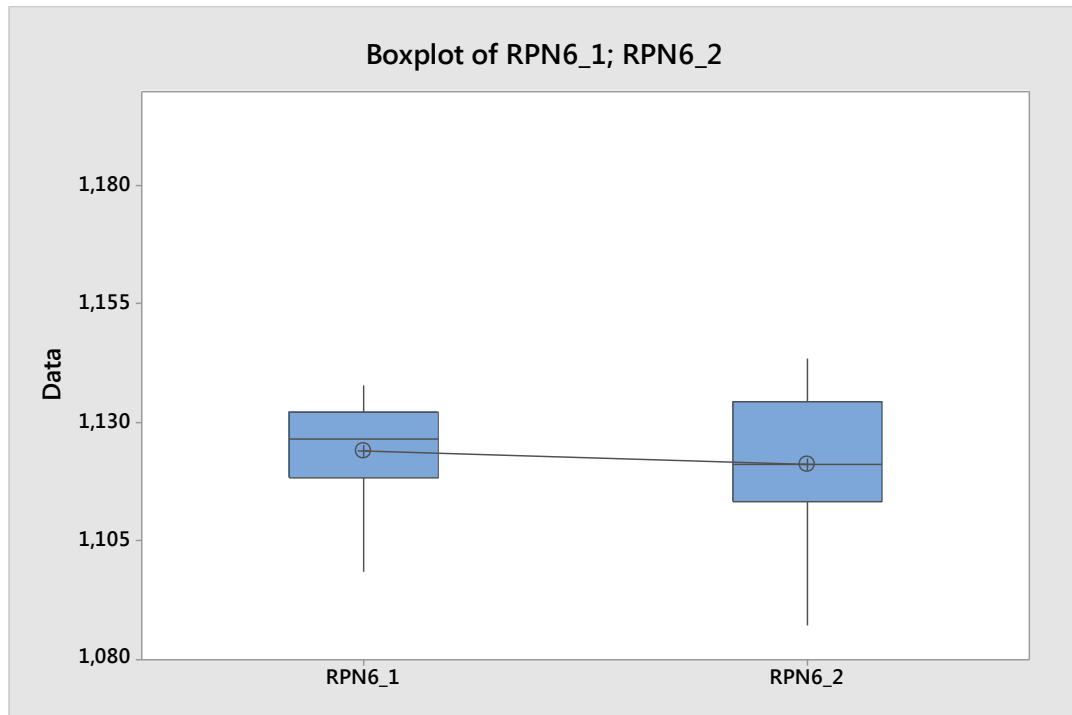
9 LIITTEET

- Liite 1. Testikappaleiden numerointi
- Liite 2. Mittauspyötkirja, t-testit
- Liite 3. Mittauspyötkirja, Grubbsin testit

Tilaus	Pos	Sul ja levyn:o	paks mm	Tunniste testisauvoissa	Leikattu	Testattu	Tunniste testisauvoissa	Leikattu	Testattu
S355				Mustat			Puhalletut		
39605	1	25480 - 012	6	00001 - 011 - 030	x	x	00001 - 061 - 080	x	x
39605	2	25480 - 013	8	00002 - 011 - 030	x	x	00002 - 061 - 080	x	x
39605	3	25192 - 034	12	00003 - 011 - 030	x	x	00003 - 061 - 080	x	x
39606	4	25702 - 031	20	00004 - 011 - 030	x	x	00004 - 061 - 080	x	x
S690QL / ptim 700 QL									
39606	5	23308 - 291	8	00005 - 011 - 030	x	x	00005 - 061 - 080	x	x
39606	6	25289 - 531	12	00006 - 011 - 030	x	x	00006 - 061 - 080	x	x
39606	7	25289 - 532	20	00007 - 011 - 030	x	x	00007 - 061 - 080	x	x
Raex 400									
39606	8	22686 - 312	6	00008 - 011 - 030	x	x	00008 - 061 - 080	x	x
39606	9	25841 - 025	8	00009 - 011 - 030	x	x	00009 - 061 - 080	x	x
39606	10	25841 - 044	12	00010 - 011 - 030	x	x	00010 - 061 - 080	x	x

Tuloskuivissa numero 1 on puhaltamaton, ja numero 2 on raepuhallettu.

S355 6mm myötöraja $R_{p0,2}$



Two-sample T for RPN6_1 vs RPN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN6_1	19	1,1242	0,0106	0,0024
RPN6_2	20	1,1214	0,0150	0,0034

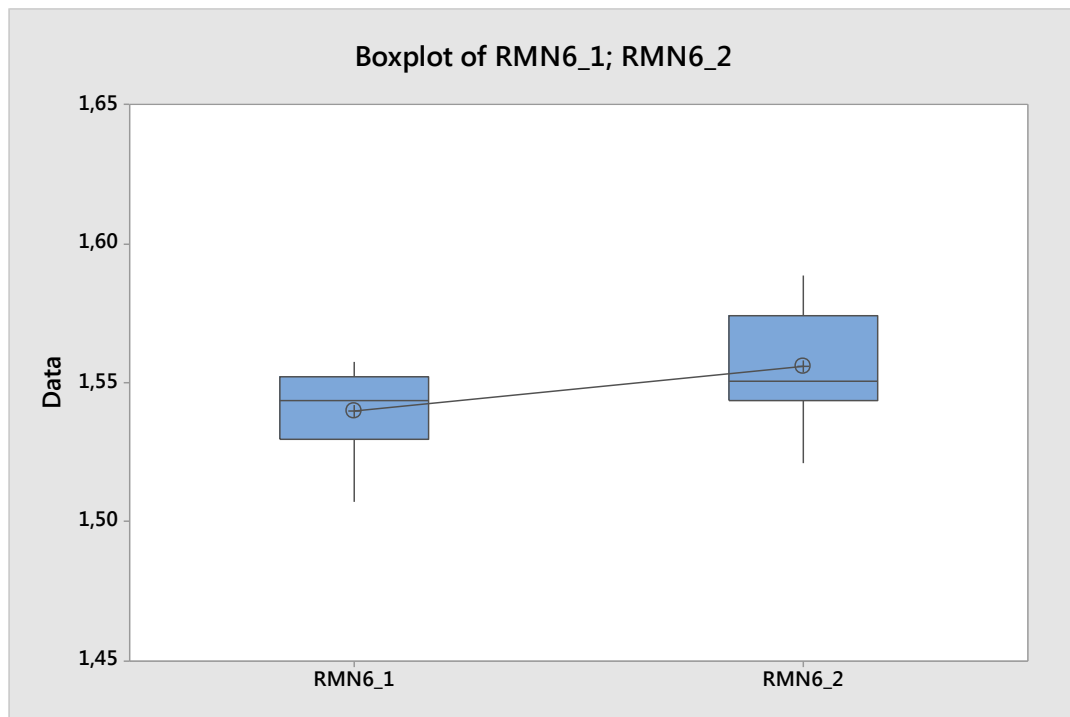
Difference = μ (RPN6_1) - μ (RPN6_2)

Estimate for difference: 0,00283

95% CI for difference: (-0,00560; 0,01126)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,68 P-Value = 0,499 DF = 34

S355 6mm murtolujuus R_m



Two-sample T for RMN6_1 vs RMN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN6_1	19	1,5400	0,0144	0,0033
RMN6_2	20	1,5556	0,0176	0,0039

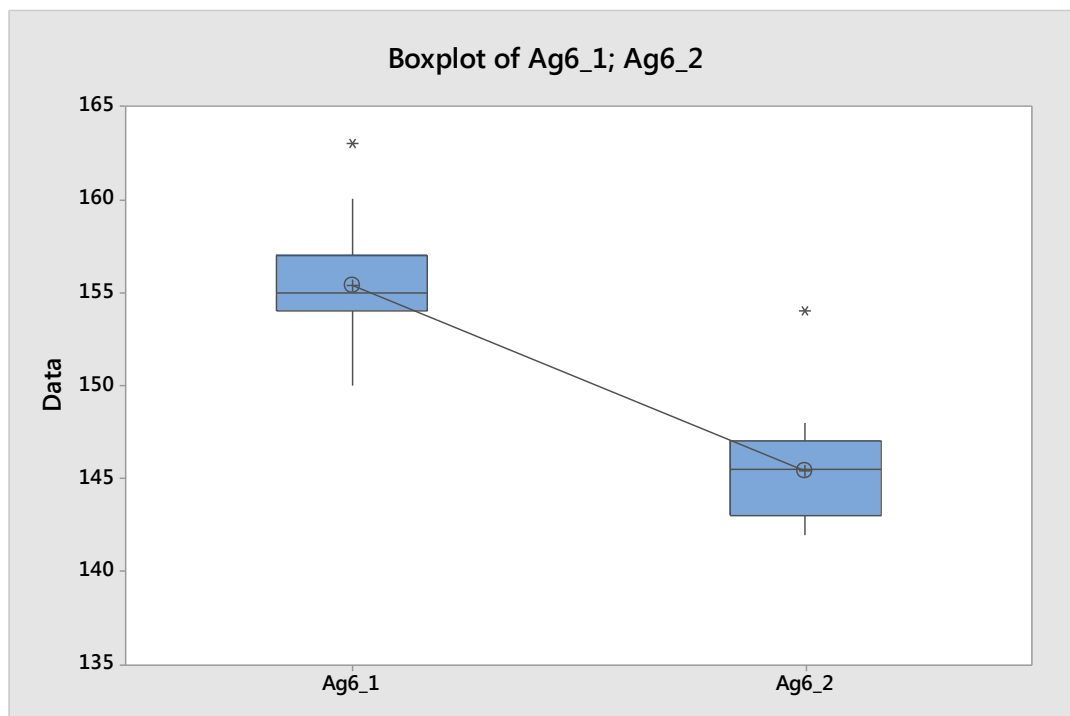
Difference = μ (RMN6_1) - μ (RMN6_2)

Estimate for difference: -0,01568

95% CI for difference: (-0,02609; -0,00527)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -3,05 P-Value = 0,004 DF = 36

S355 6mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag6_1 vs Ag6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag6_1	20	155,40	2,93	0,65
Ag6_2	20	145,45	2,98	0,67

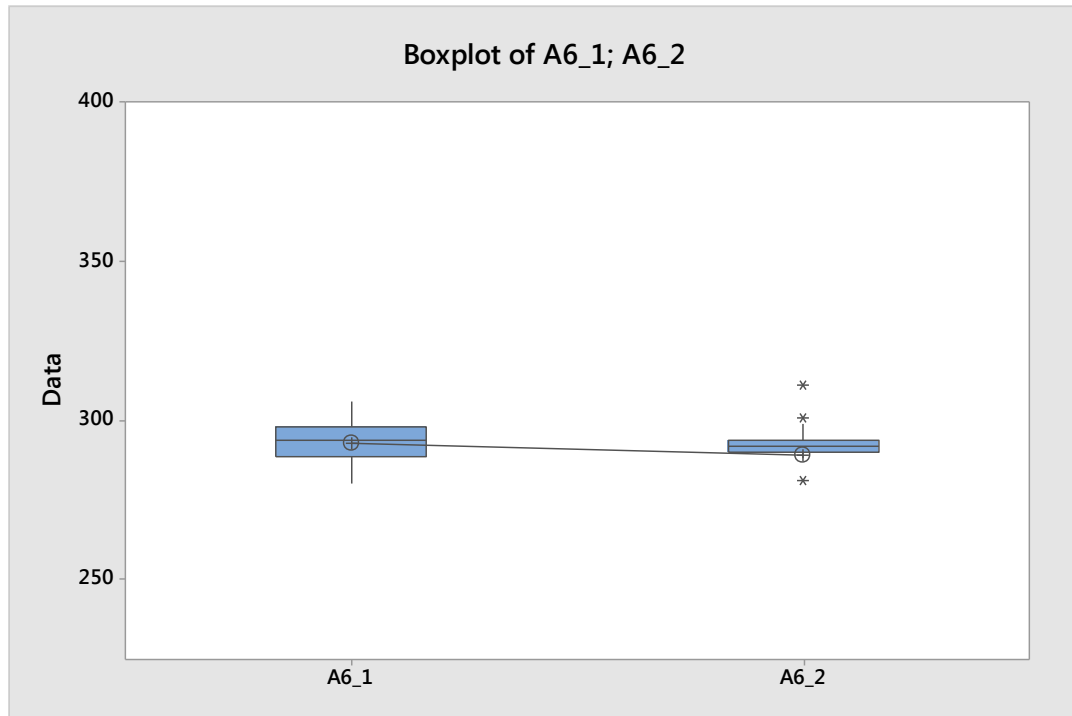
Difference = μ (Ag6_1) - μ (Ag6_2)

Estimate for difference: 9,950

95% CI for difference: (8,057; 11,843)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 10,65 P-Value = 0,000 DF = 37

S355 6mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A6_1 vs A6_2

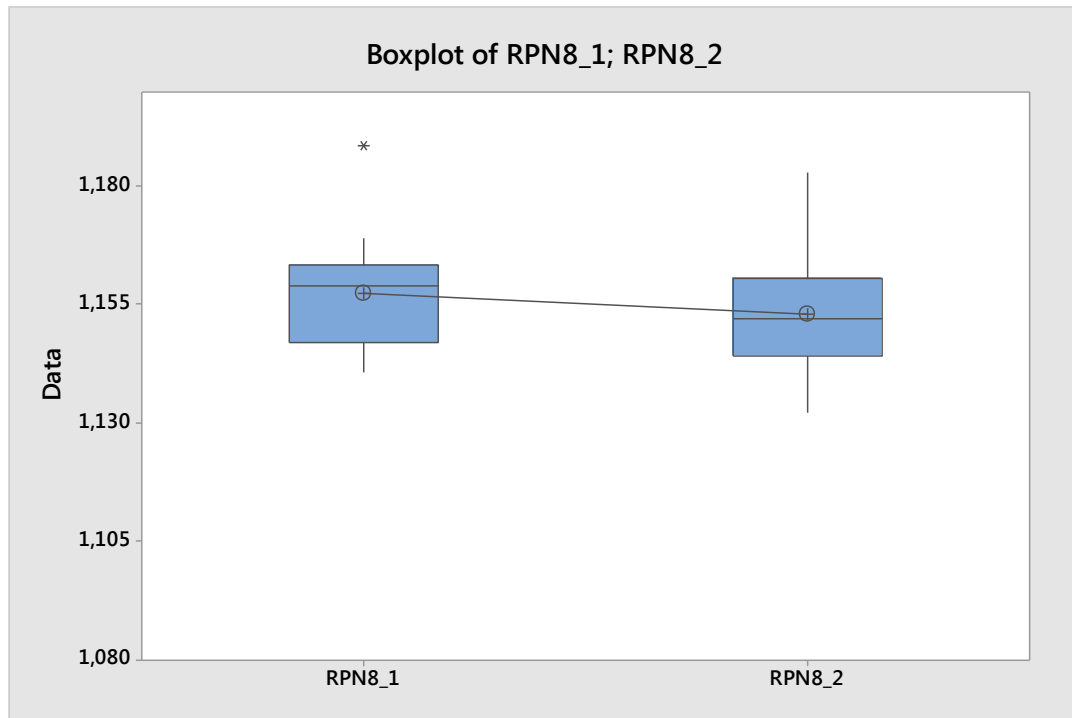
	N	Mean	StDev	SE Mean
A6_1	20	293,05	6,56	1,5
A6_2	20	289,1	18,2	4,1

Difference = μ (A6_1) - μ (A6_2)

Estimate for difference: 3,95

95% CI for difference: (-4,98; 12,88)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,92 P-Value = 0,370 DF = 23S355 8mm myötöraja Rp_{0,2}



Two-sample T for RPN8_1 vs RPN8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN8_1	20	1,1576	0,0115	0,0026
RPN8_2	20	1,1531	0,0119	0,0027

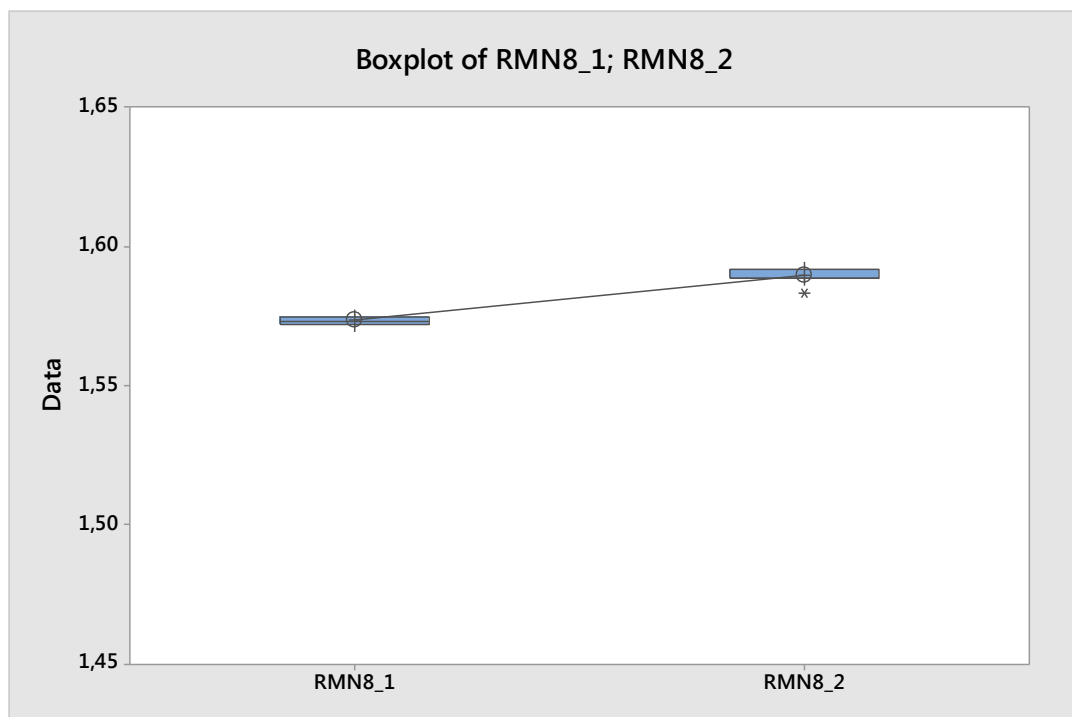
Difference = μ (RPN8_1) - μ (RPN8_2)

Estimate for difference: 0,00451

95% CI for difference: (-0,00301; 0,01203)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 1,21 P-Value = 0,232 DF = 37

S355 8mm murtolujuus R_m



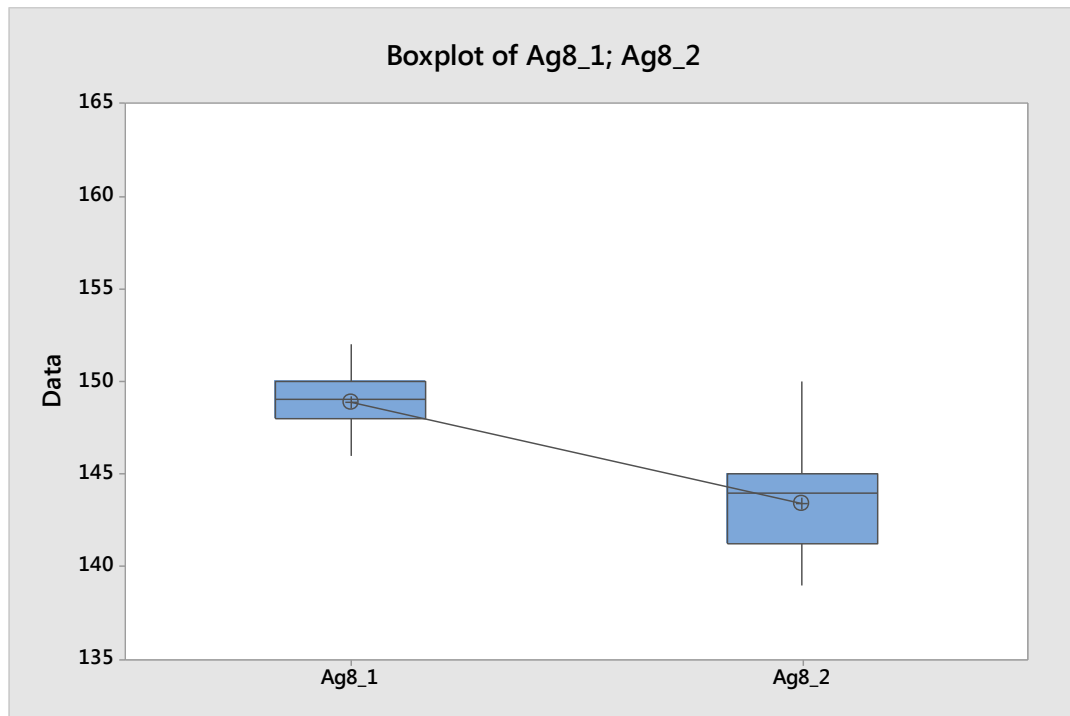
Two-sample T for RMN8_1 vs RMN8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN8_1	20	1,57338	0,00281	0,00063
RMN8_2	19	1,58962	0,00283	0,00065

Difference = μ (RMN8_1) - μ (RMN8_2)

Estimate for difference: -0,016242

95% CI for difference: (-0,018073; -0,014410)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -17,98 P-Value = 0,000 DF = 36S355 8mm plastinen tasavenymä A_g

Two-sample T for Ag8_1 vs Ag8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag8_1	20	148,85	1,35	0,30
Ag8_2	20	143,45	2,87	0,64

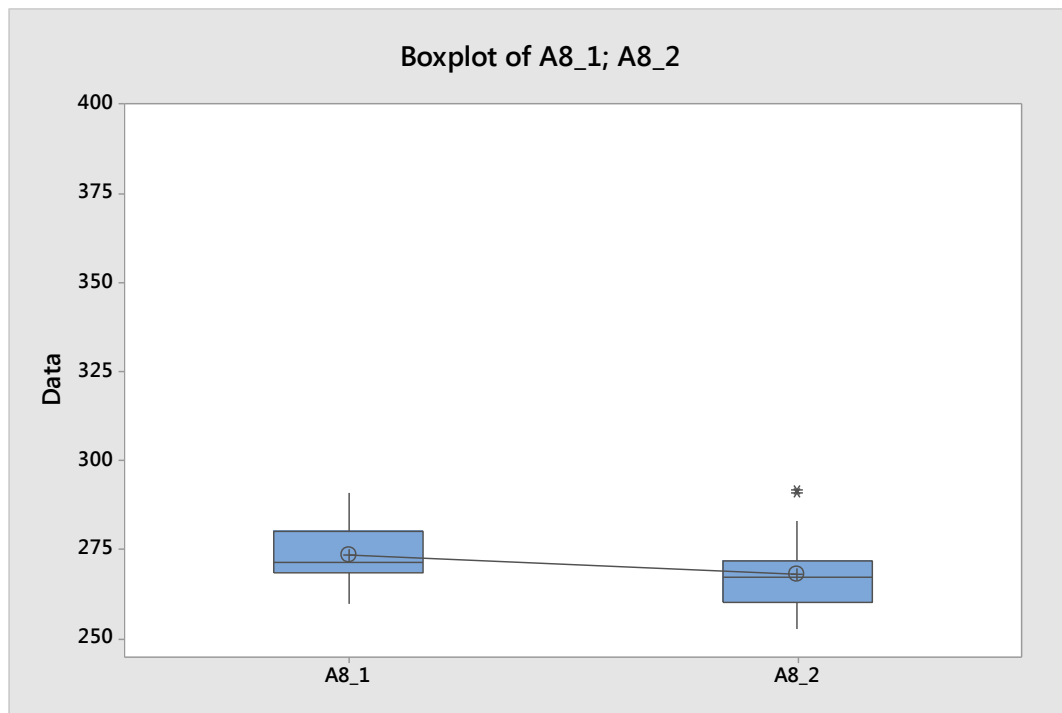
Difference = μ (Ag8_1) - μ (Ag8_2)

Estimate for difference: 5,400

95% CI for difference: (3,941; 6,859)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 7,61 P-Value = 0,000 DF = 26

S355 8mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A8_1 vs A8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A8_1	20	273,55	7,83	1,8
A8_2	20	268,4	10,7	2,4

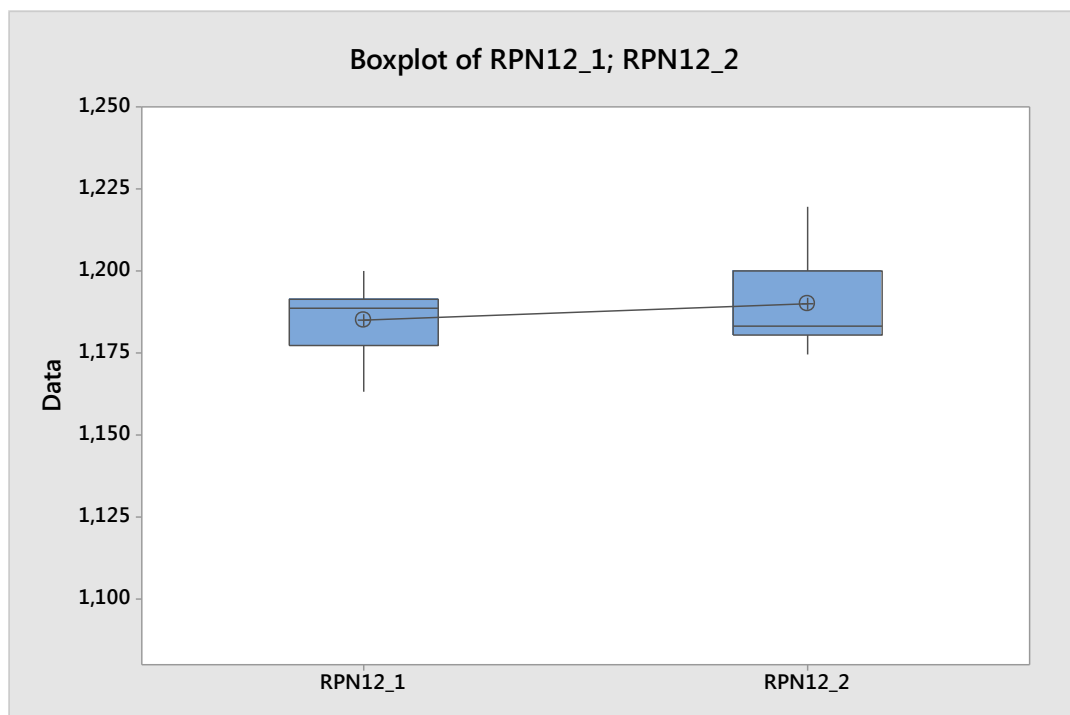
Difference = μ (A8_1) - μ (A8_2)

Estimate for difference: 5,15

95% CI for difference: (-0,89; 11,19)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 1,73 P-Value = 0,092 DF = 34

S355 12mm myötöraja $R_{p0.2}$



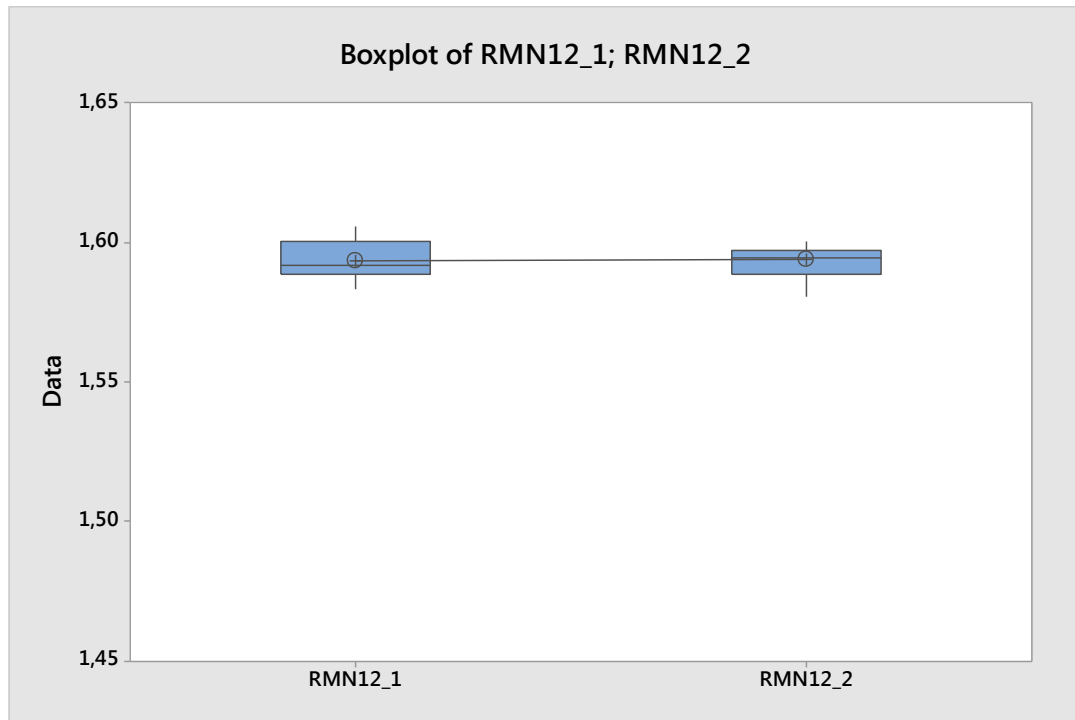
Two-sample T for RPN12_1 vs RPN12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN12_1	19	1,1852	0,0107	0,0024
RPN12_2	20	1,1899	0,0134	0,0030

Difference = μ (RPN12_1) - μ (RPN12_2)

Estimate for difference: -0,00468

95% CI for difference: (-0,01253; 0,00316)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -1,21 P-Value = 0,233 DF = 35S355 12mm murtolujuus R_m 

Two-sample T for RMN12_1 vs RMN12_2

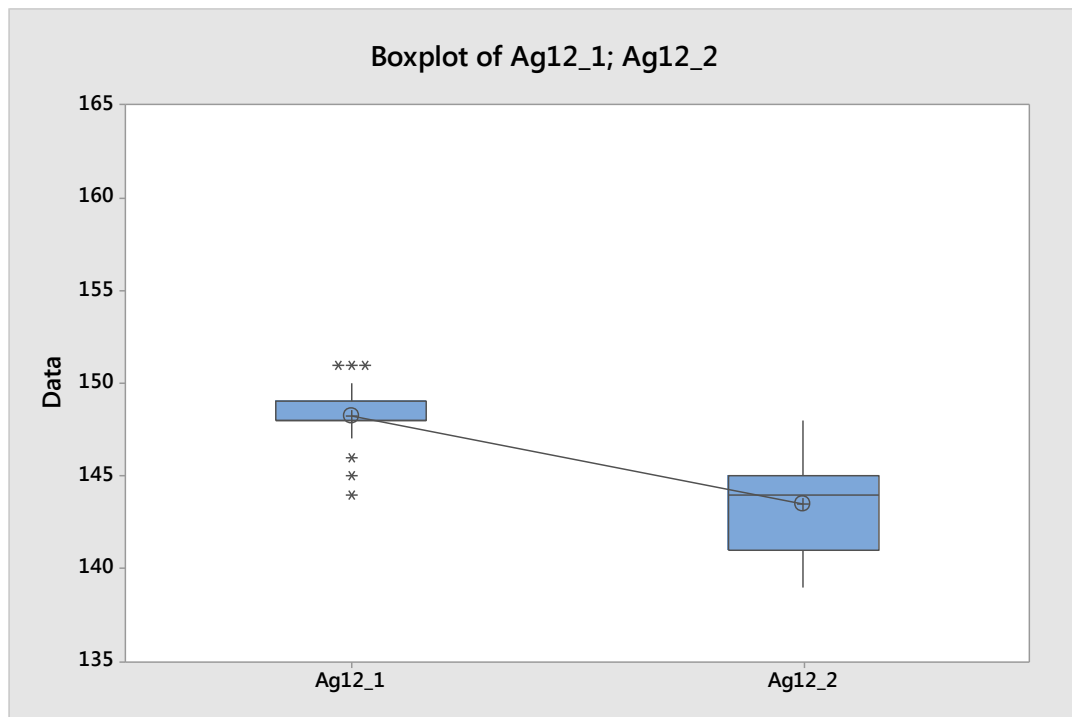
	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN12_1	19	1,59348	0,00677	0,0016
RMN12_2	19	1,59392	0,00550	0,0013

Difference = μ (RMN12_1) - μ (RMN12_2)

Estimate for difference: -0,00044

95% CI for difference: (-0,00451; 0,00362)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,22 P-Value = 0,825 DF = 34S355 12mm plastinen tasavienymä A_g



Two-sample T for Ag12_1 vs Ag12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag12_1	19	148,26	1,88	0,43
Ag12_2	20	143,50	2,33	0,52

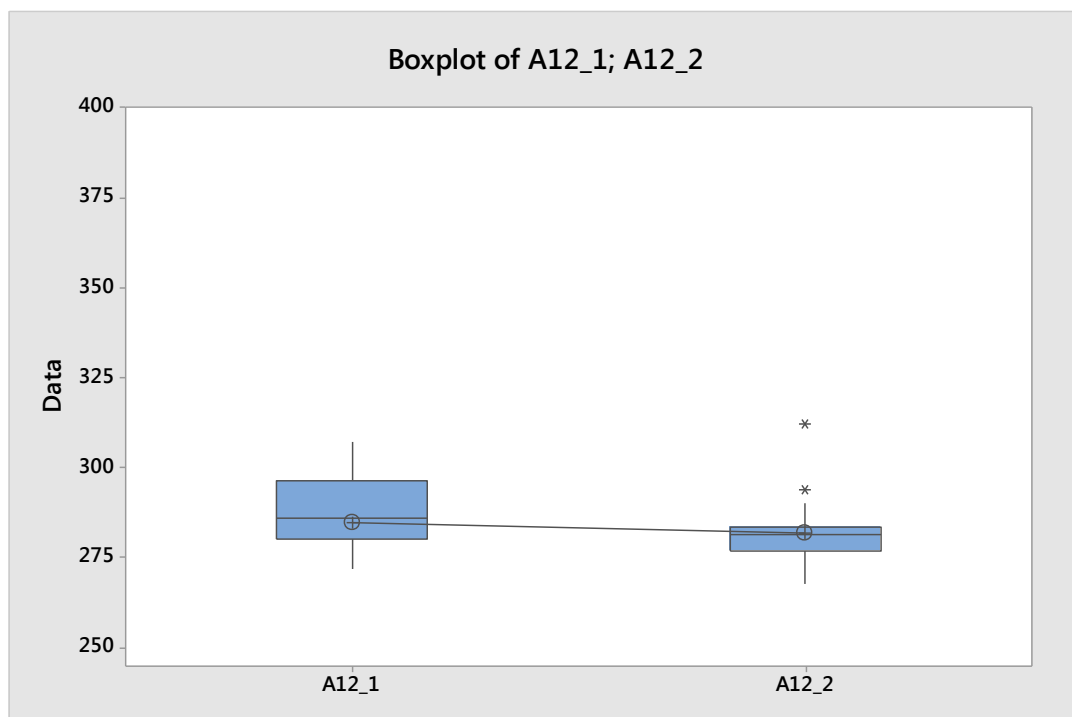
Difference = μ (Ag12_1) - μ (Ag12_2)

Estimate for difference: 4,763

95% CI for difference: (3,392; 6,135)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 7,04 P-Value = 0,000 DF = 36

S355 12mm kokonaisvenymä A



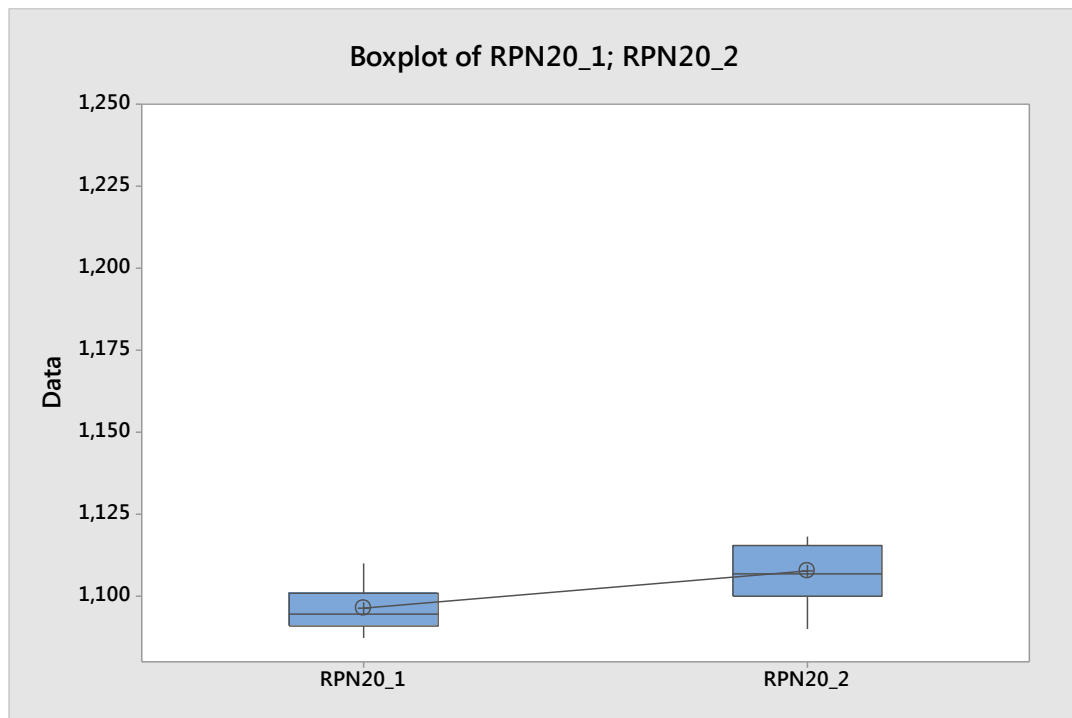
Two-sample T for A12_1 vs A12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A12_1	20	284,7	16,5	3,7
A12_2	20	282,05	9,56	2,1

Difference = μ (A12_1) - μ (A12_2)

Estimate for difference: 2,65

95% CI for difference: (-6,06; 11,36)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,62 P-Value = 0,539 DF = 30S355 20mm myötöraja $R_{p0.2}$ 

Two-sample T for RPN20_1 vs RPN20_2

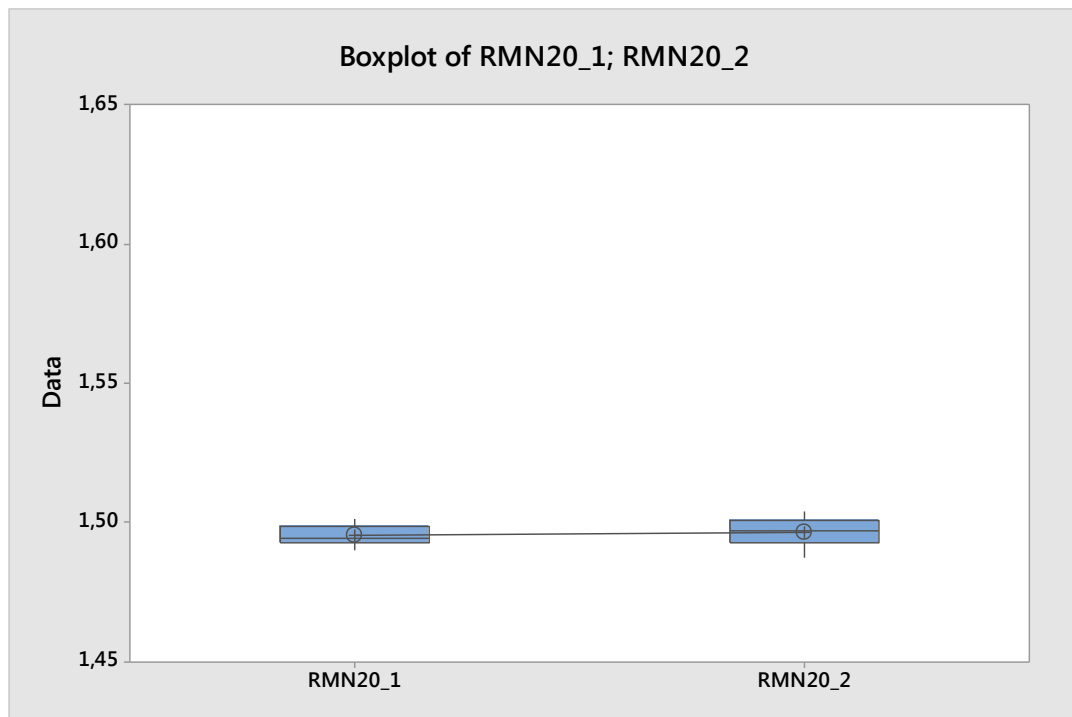
	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN20_1	20	1,09634	0,00631	0,0014
RPN20_2	20	1,10761	0,00879	0,0020

Difference = μ (RPN20_1) - μ (RPN20_2)

Estimate for difference: -0,01127

95% CI for difference: (-0,01619; -0,00635)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -4,66 P-Value = 0,000 DF = 34S355 20mm murtolujuus R_m



Two-sample T for RMN20_1 vs RMN20_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN20_1	20	1,49549	0,00315	0,00070
RMN20_2	20	1,49662	0,00518	0,0012

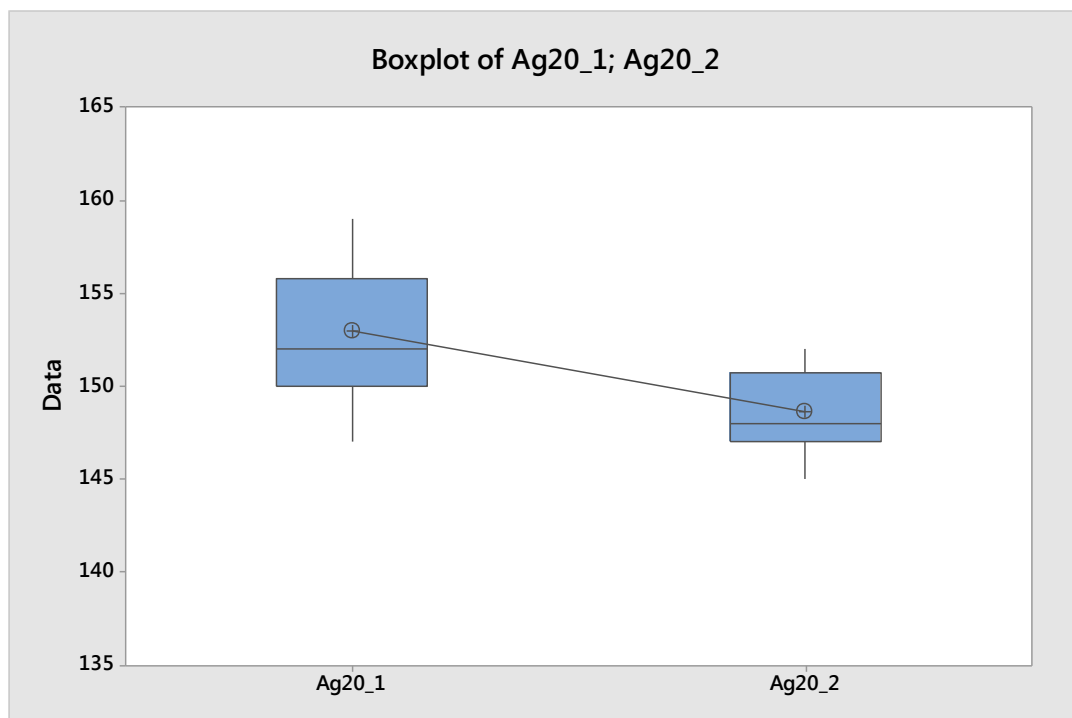
Difference = μ (RMN20_1) - μ (RMN20_2)

Estimate for difference: -0,00113

95% CI for difference: (-0,00389; 0,00164)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,83 P-Value = 0,412 DF = 31

S355 20mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag20_1 vs Ag20_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag20_1	20	152,95	3,43	0,77
Ag20_2	20	148,65	2,25	0,50

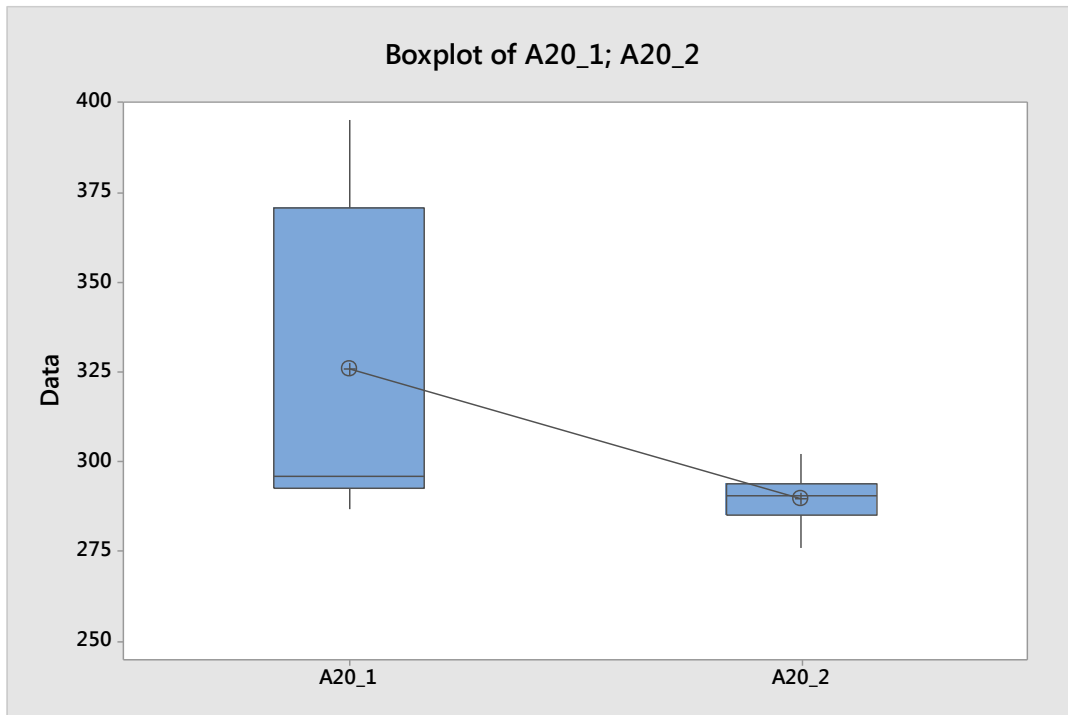
Difference = μ (Ag20_1) - μ (Ag20_2)

Estimate for difference: 4,300

95% CI for difference: (2,432; 6,168)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 4,69 P-Value = 0,000 DF = 32

S355 20mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A20_1 vs A20_2

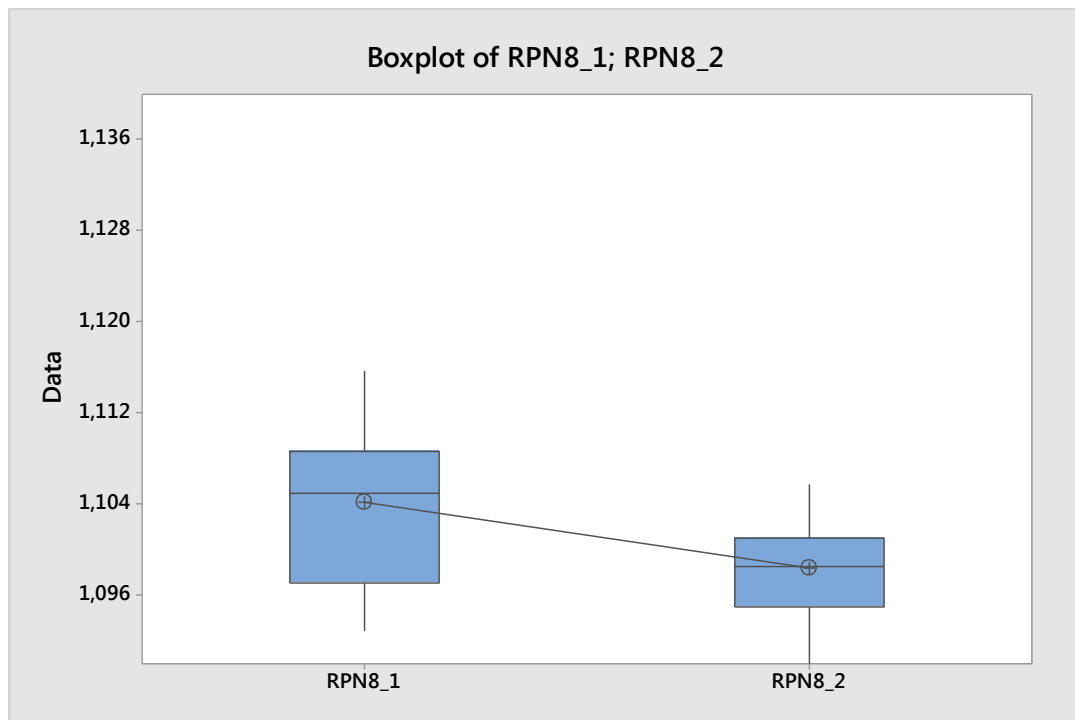
	N	Mean	StDev	SE Mean
A20_1	20	325,6	41,3	9,2
A20_2	20	289,90	5,93	1,3

Difference = μ (A20_1) - μ (A20_2)

Estimate for difference: 35,75

95% CI for difference: (16,24; 55,26)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 3,83 P-Value = 0,001 DF = 19Optim 700 8mm myötöraja Rp_{0.2}



Two-sample T for RPN8_1 vs RPN8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN8_1	20	1,10421	0,00701	0,0016
RPN8_2	20	1,09836	0,00399	0,00089

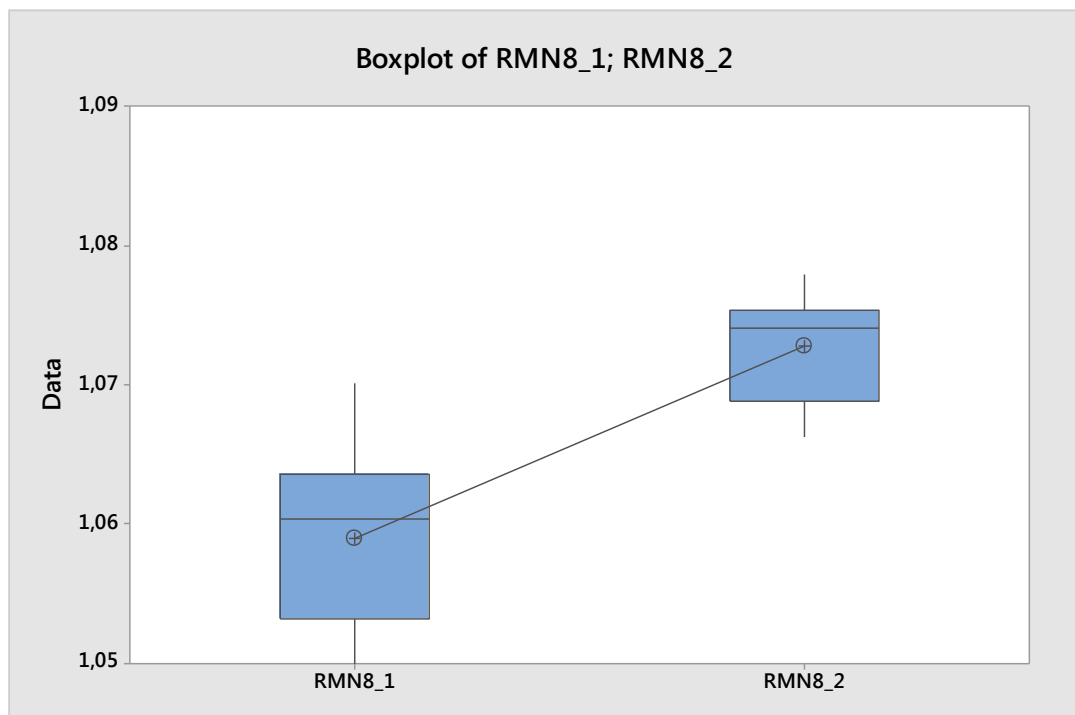
Difference = μ (RPN8_1) - μ (RPN8_2)

Estimate for difference: 0,00586

95% CI for difference: (0,00217; 0,00954)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 3,25 P-Value = 0,003 DF = 30

Optim 700 8mm murtolujuus R_m



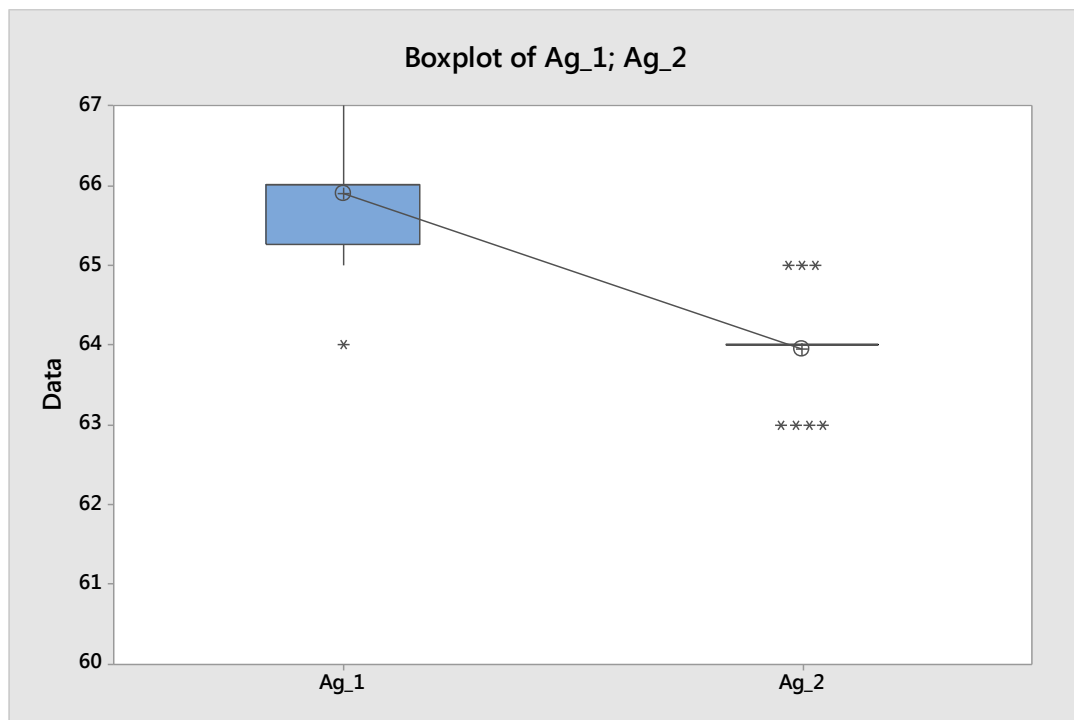
Two-sample T for RMN8_1 vs RMN8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN8_1	20	1,05896	0,00631	0,0014
RMN8_2	20	1,07273	0,00384	0,00086

Difference = μ (RMN8_1) - μ (RMN8_2)

Estimate for difference: -0,01377

95% CI for difference: (-0,01714; -0,01040)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -8,33 P-Value = 0,000 DF = 31Optim 700 8mm plastinen tasavenymä A_g

Two-sample T for Ag_1 vs Ag_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag_1	20	65,900	0,788	0,18
Ag_2	20	63,950	0,605	0,14

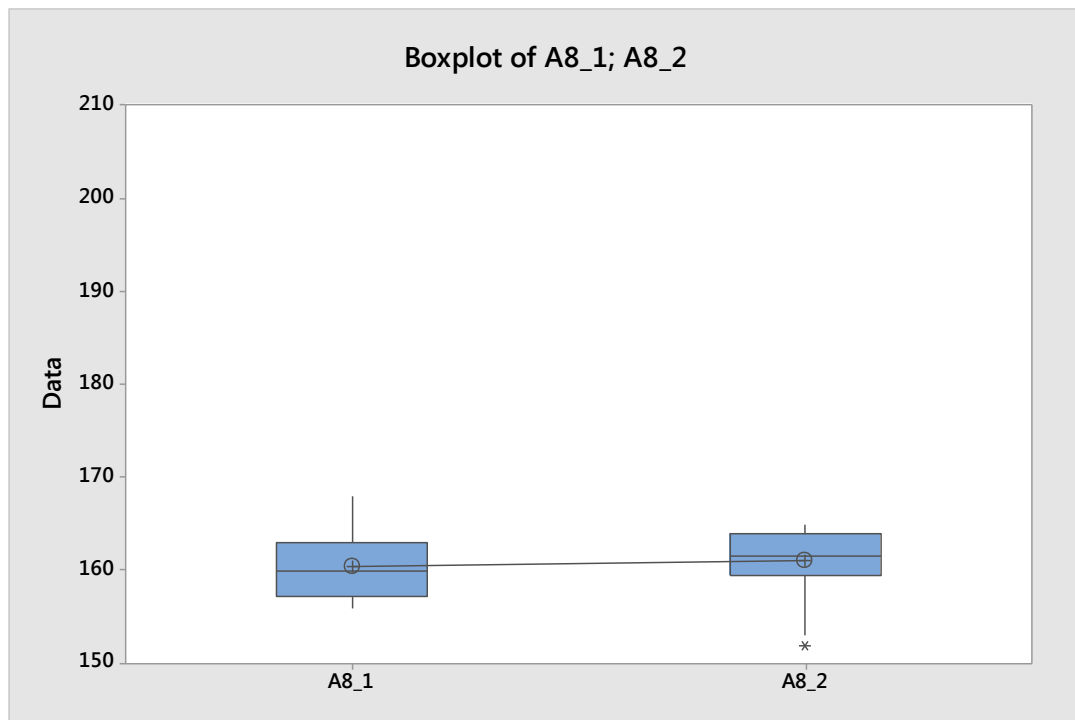
Difference = μ (Ag_1) - μ (Ag_2)

Estimate for difference: 1,950

95% CI for difference: (1,499; 2,401)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 8,78 P-Value = 0,000 DF = 35

Optim 700 8mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A8_1 vs A8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A8_1	20	160,35	3,23	0,72
A8_2	20	161,10	3,46	0,77

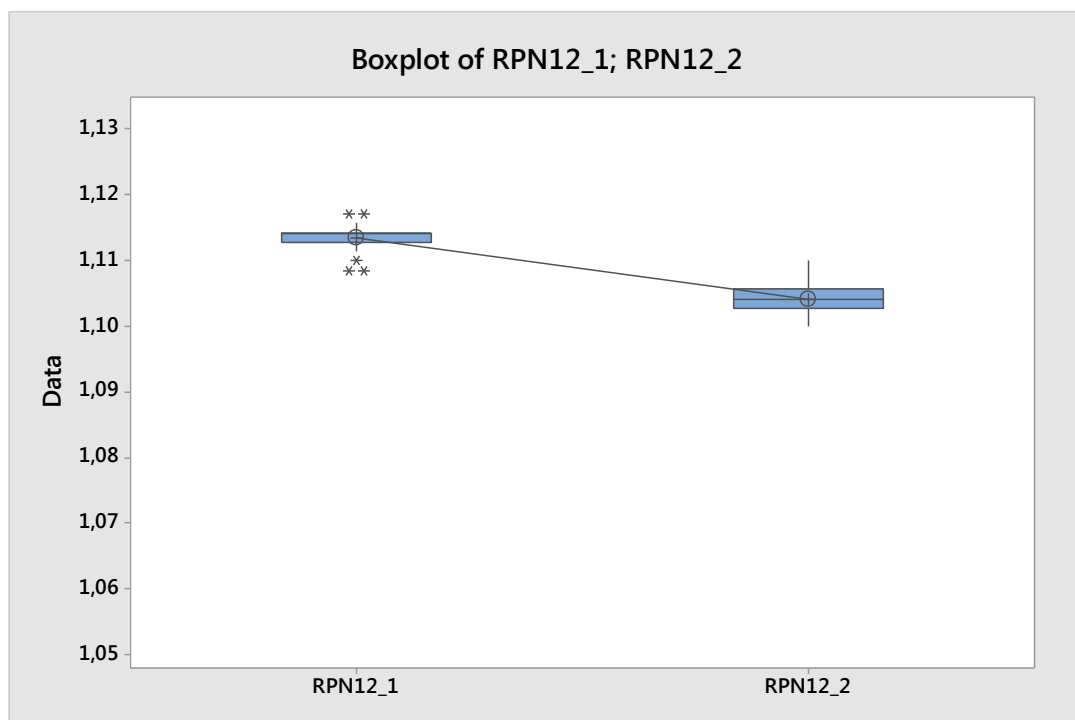
Difference = μ (A8_1) - μ (A8_2)

Estimate for difference: -0,75

95% CI for difference: (-2,90; 1,40)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,71 P-Value = 0,483 DF = 37

Optim 700 12mm myötöraja Rp_{0.2}



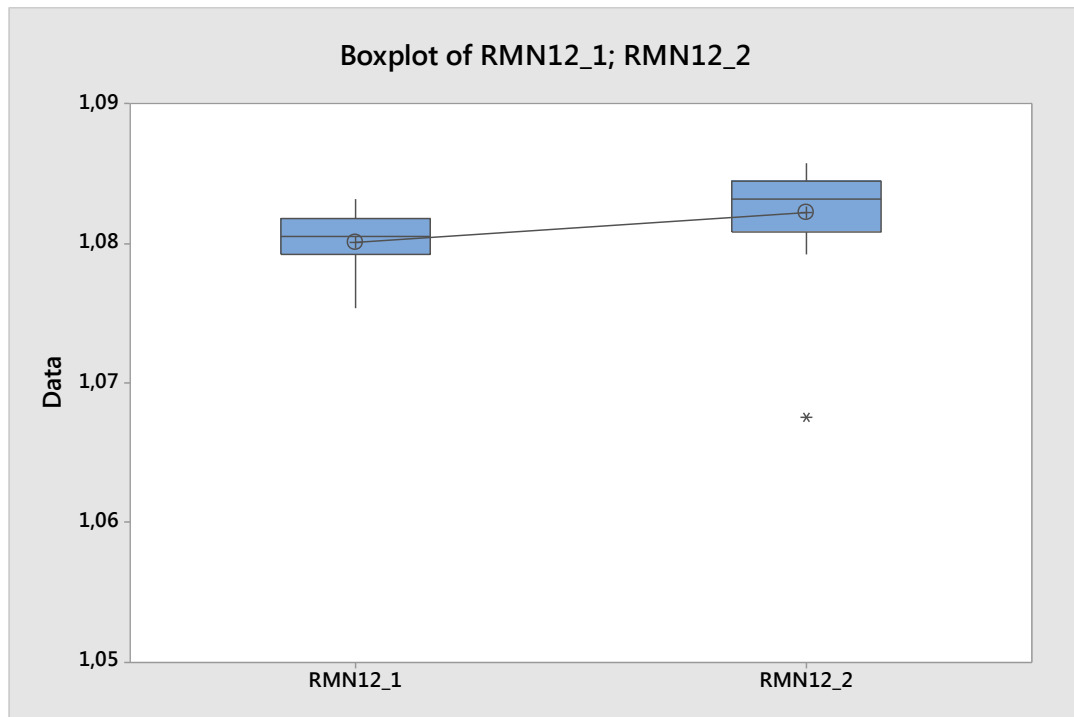
Two-sample T for RPN12_1 vs RPN12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN12_1	20	1,11343	0,00238	0,00053
RPN12_2	19	1,10429	0,00252	0,00058

Difference = μ (RPN12_1) - μ (RPN12_2)

Estimate for difference: 0,009143

95% CI for difference: (0,007549; 0,010737)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 11,63 P-Value = 0,000 DF = 36Optim 700 12mm murtolujuus R_m 

Two-sample T for RMN12_1 vs RMN12_2

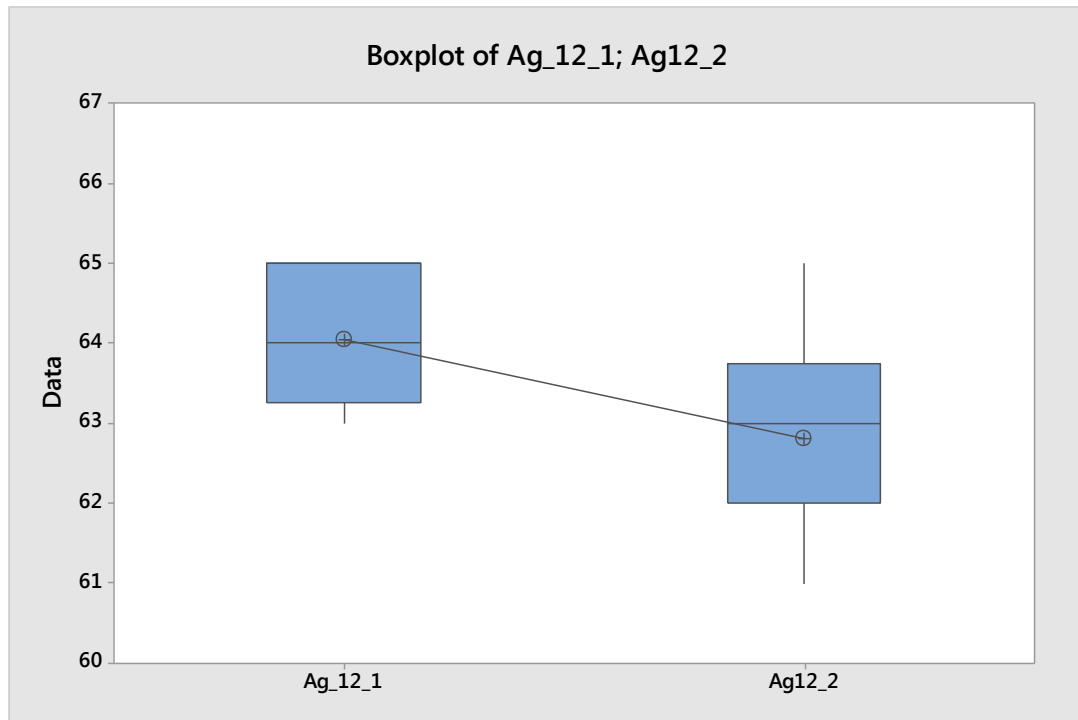
	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN12_1	20	1,08000	0,00195	0,00044
RMN12_2	20	1,08221	0,00386	0,00086

Difference = μ (RMN12_1) - μ (RMN12_2)

Estimate for difference: -0,002208

95% CI for difference: (-0,004190; -0,000225)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -2,28 P-Value = 0,030 DF = 28Optim 700 12mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag_12_1 vs Ag12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag_12_1	20	64,050	0,759	0,17
Ag12_2	20	62,80	1,11	0,25

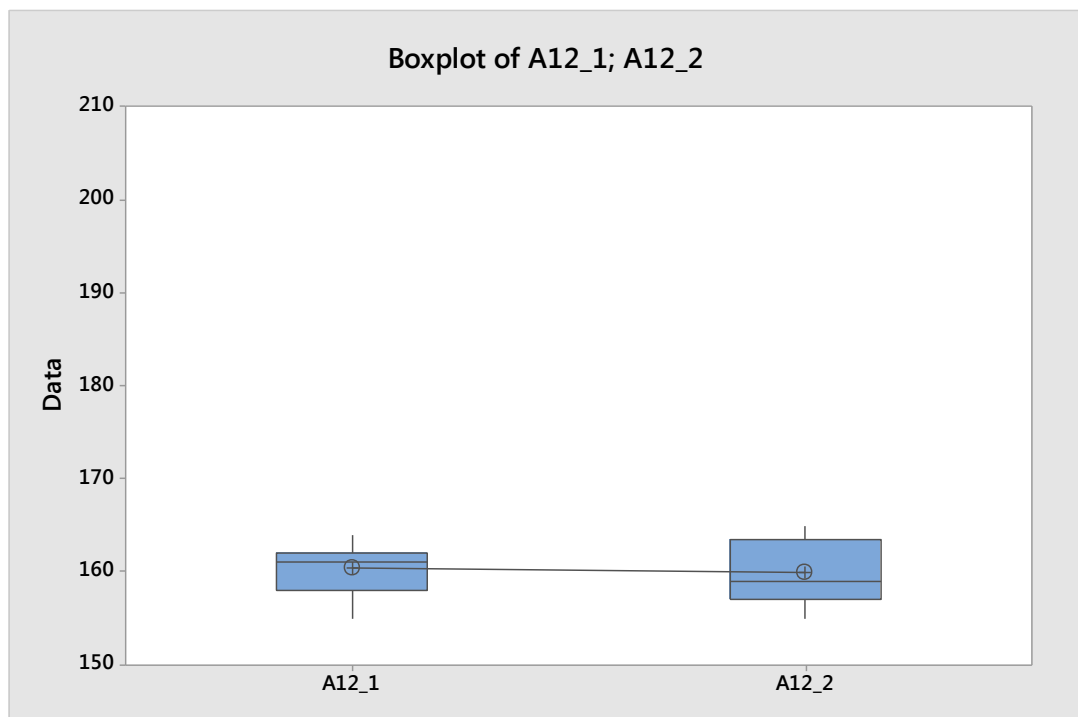
Difference = μ (Ag_12_1) - μ (Ag12_2)

Estimate for difference: 1,250

95% CI for difference: (0,640; 1,860)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 4,17 P-Value = 0,000 DF = 33

Optim 700 12mm kokonaisvenymä A



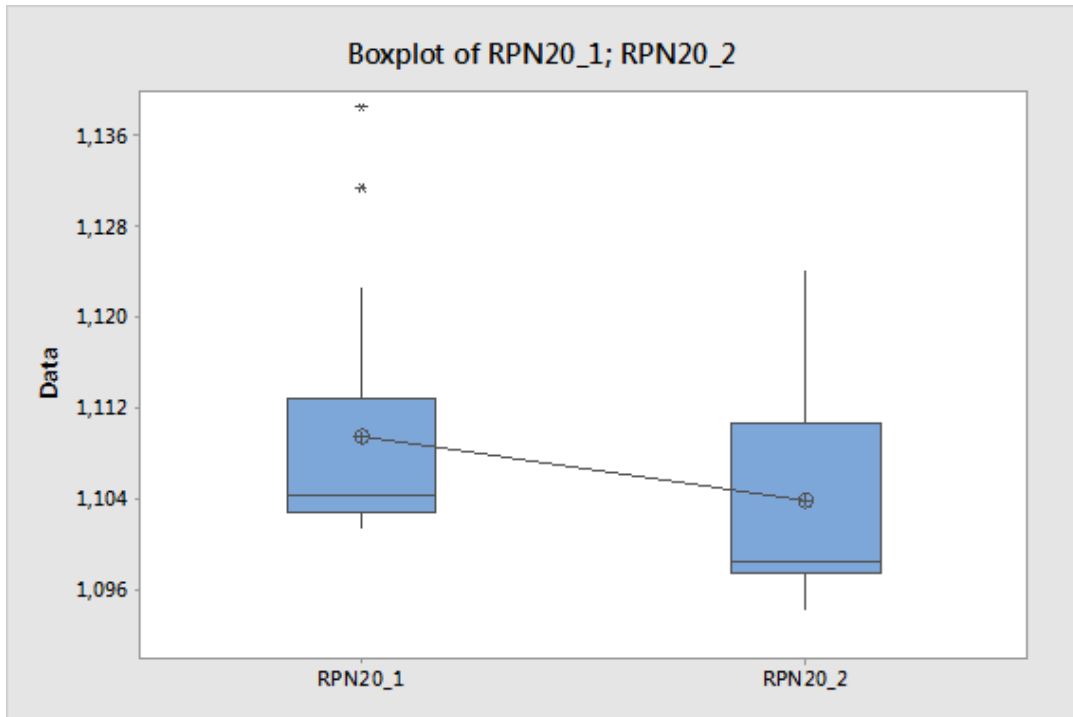
Two-sample T for A12_1 vs A12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A12_1	20	160,40	2,52	0,56
A12_2	20	159,95	3,43	0,77

Difference = μ (A12_1) - μ (A12_2)

Estimate for difference: 0,450

95% CI for difference: (-1,483; 2,383)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,47 P-Value = 0,639 DF = 34Optim 700 20mm myötöraja Rp_{0.2}

Two-sample T for RPN20_1 vs RPN20_2

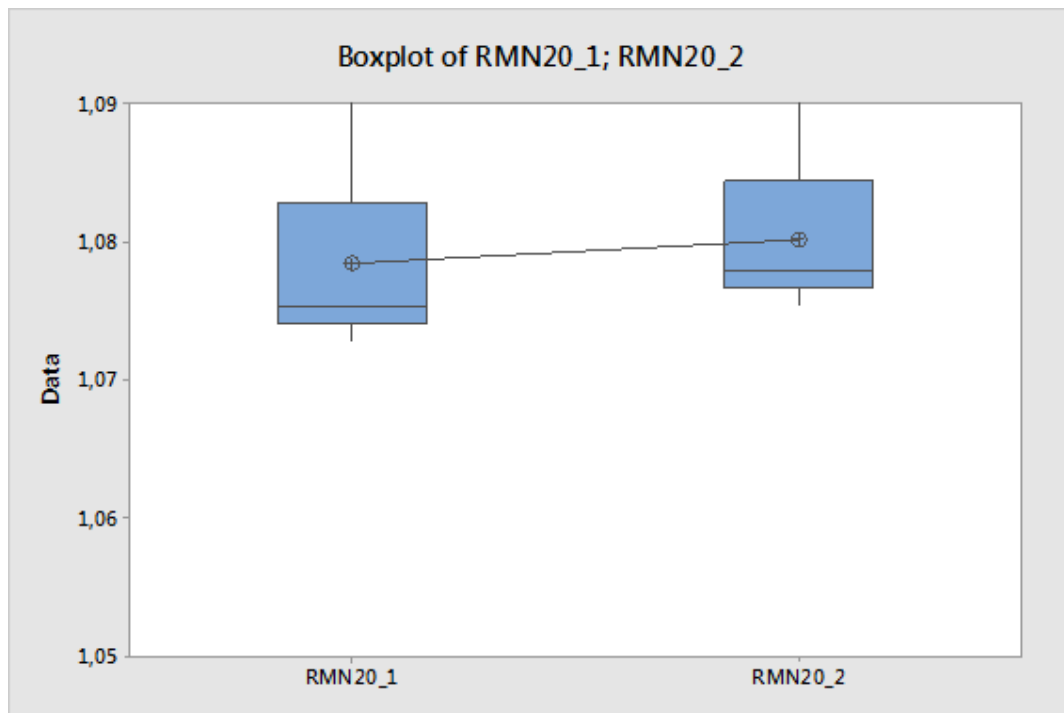
	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN20_1	20	1,1095	0,0108	0,0024
RPN20_2	20	1,10393	0,00964	0,0022

Difference = μ (RPN20_1) - μ (RPN20_2)

Estimate for difference: 0,00557

95% CI for difference: (-0,00098; 0,01213)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 1,72 P-Value = 0,093 DF = 37Optim 700 20mm murtolujuus R_m



Two-sample T for RMN20_1 vs RMN20_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN20_1	20	1,07844	0,00633	0,0014
RMN20_2	20	1,08019	0,00528	0,0012

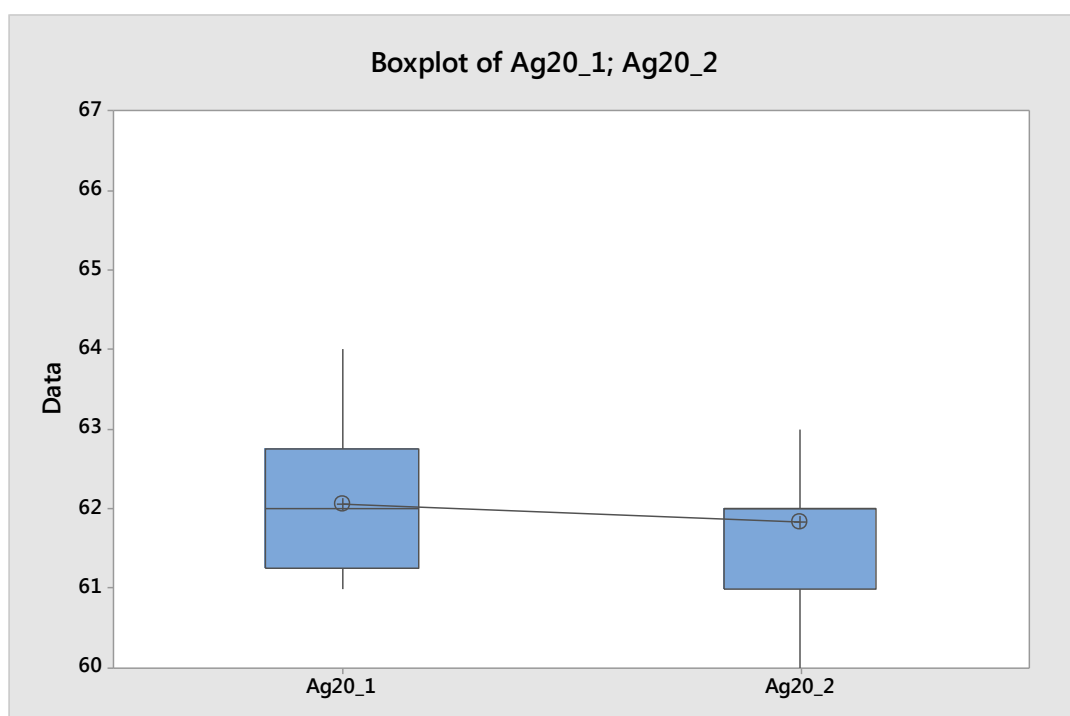
Difference = μ (RMN20_1) - μ (RMN20_2)

Estimate for difference: -0,00175

95% CI for difference: (-0,00549; 0,00198)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,95 P-Value = 0,348 DF = 36

Optim 700 20mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag20_1 vs Ag20_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag20_1	20	62,050	0,826	0,18
Ag20_2	19	61,842	0,765	0,18

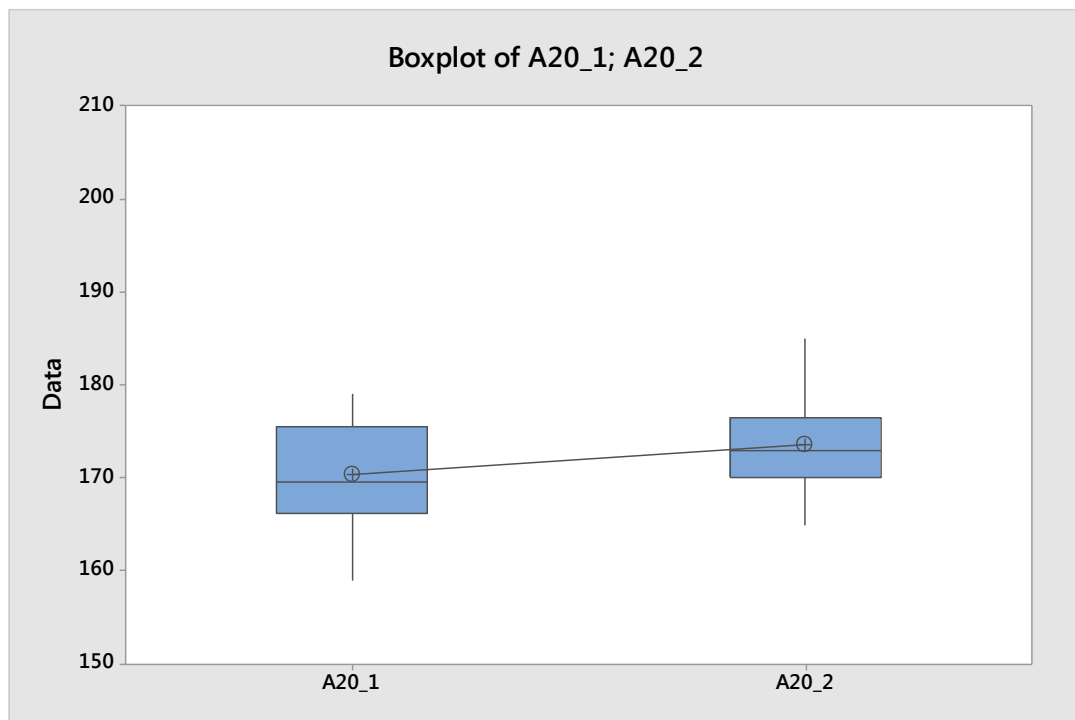
Difference = μ (Ag20_1) - μ (Ag20_2)

Estimate for difference: 0,208

95% CI for difference: (-0,309; 0,724)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,82 P-Value = 0,420 DF = 36

Optim 700 20mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A20_1 vs A20_2

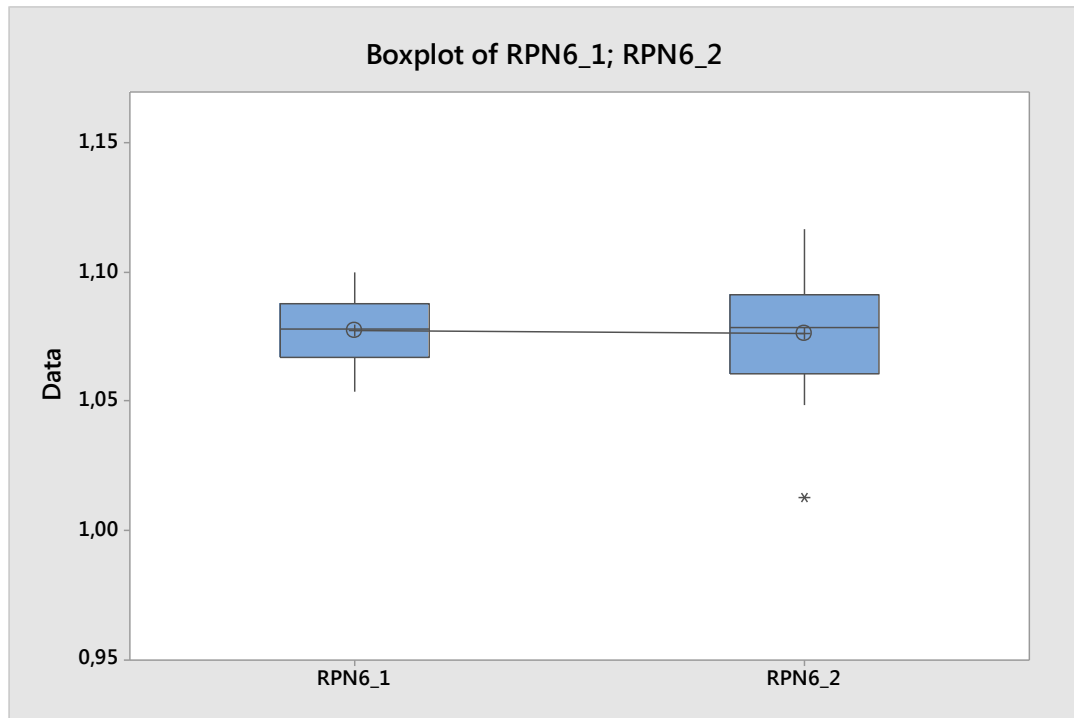
	N	Mean	StDev	SE Mean
A20_1	20	170,35	5,48	1,2
A20_2	17	173,65	5,11	1,2

Difference = μ (A20_1) - μ (A20_2)

Estimate for difference: -3,30

95% CI for difference: (-6,84; 0,24)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -1,89 P-Value = 0,067 DF = 34Raex 400 6mm myötöraja Rp_{0,2}



Two-sample T for RPN6_1 vs RPN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN6_1	20	1,0774	0,0134	0,0030
RPN6_2	20	1,0767	0,0243	0,0054

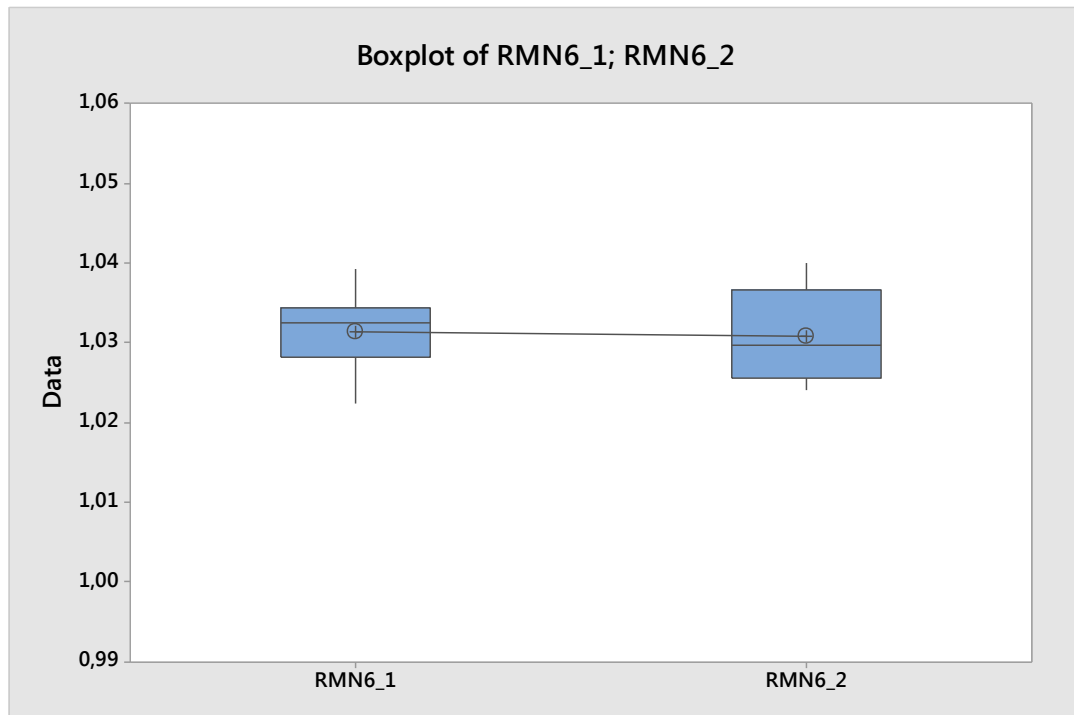
Difference = μ (RPN6_1) - μ (RPN6_2)

Estimate for difference: 0,00070

95% CI for difference: (-0,01198; 0,01338)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,11 P-Value = 0,911 DF = 29

Raex 400 6mm murtolujuus R_m



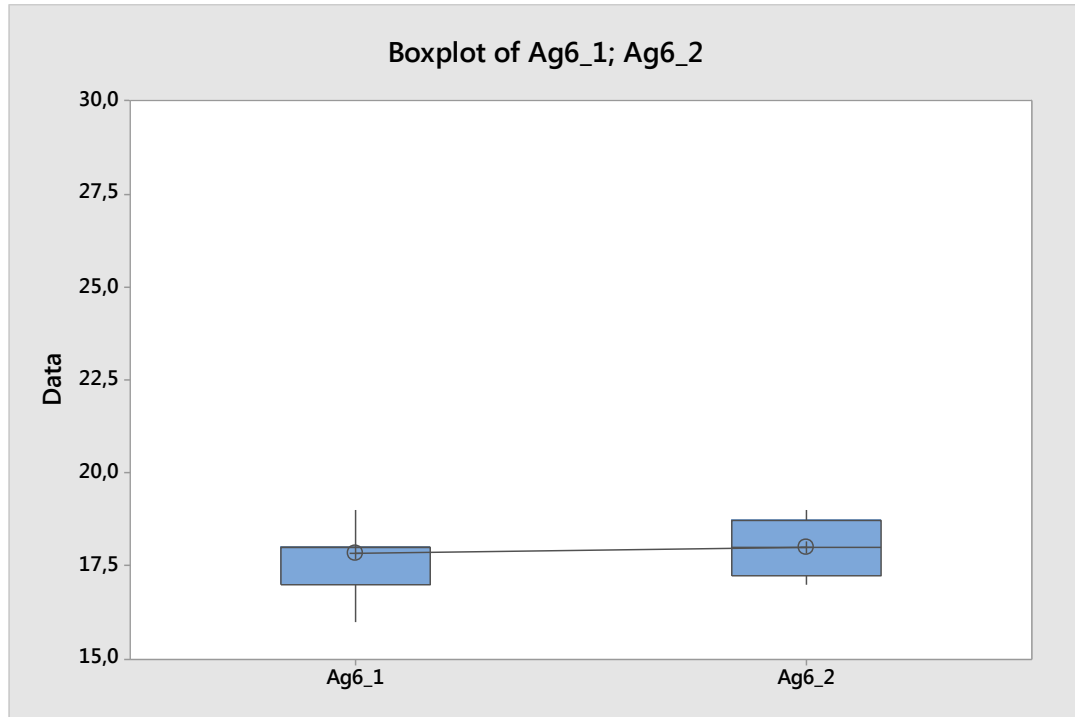
Two-sample T for RMN6_1 vs RMN6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN6_1	20	1,03136	0,00446	0,0010
RMN6_2	20	1,03080	0,00545	0,0012

Difference = μ (RMN6_1) - μ (RMN6_2)

Estimate for difference: 0,00056

95% CI for difference: (-0,00264; 0,00376)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,36 P-Value = 0,724 DF = 36Raex 400 6mm plastinen tasavenymä A_g

Two-sample T for Ag6_1 vs Ag6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag6_1	20	17,850	0,813	0,18
Ag6_2	20	18,000	0,725	0,16

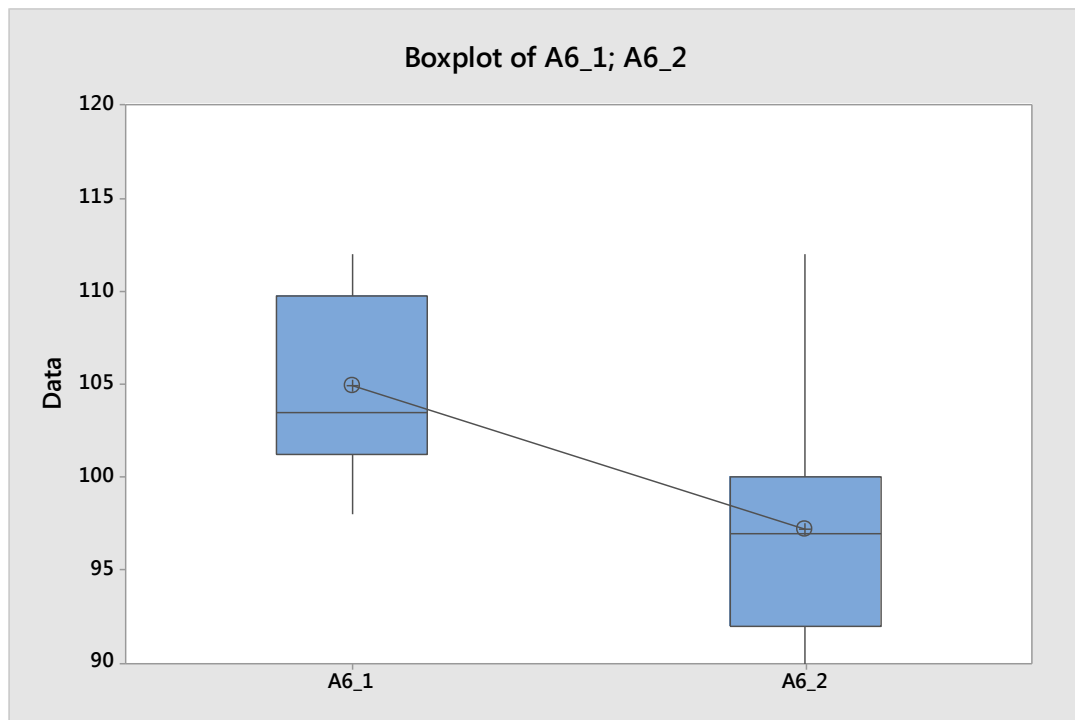
Difference = μ (Ag6_1) - μ (Ag6_2)

Estimate for difference: -0,150

95% CI for difference: (-0,644; 0,344)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,62 P-Value = 0,542 DF = 37

Raex 400 6mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A6_1 vs A6_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A6_1	20	104,95	4,86	1,1
A6_2	19	97,21	6,14	1,4

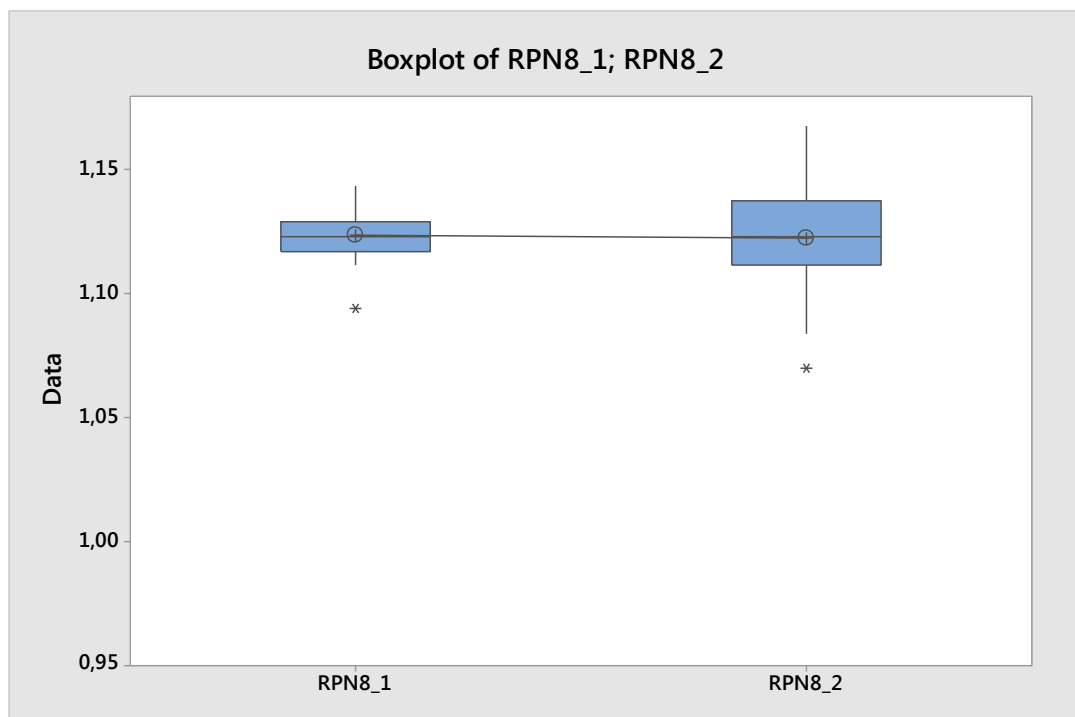
Difference = μ (A6_1) - μ (A6_2)

Estimate for difference: 7,74

95% CI for difference: (4,12; 11,36)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 4,35 P-Value = 0,000 DF = 34

Raex 400 8mm myötöraja $R_{p0.2}$



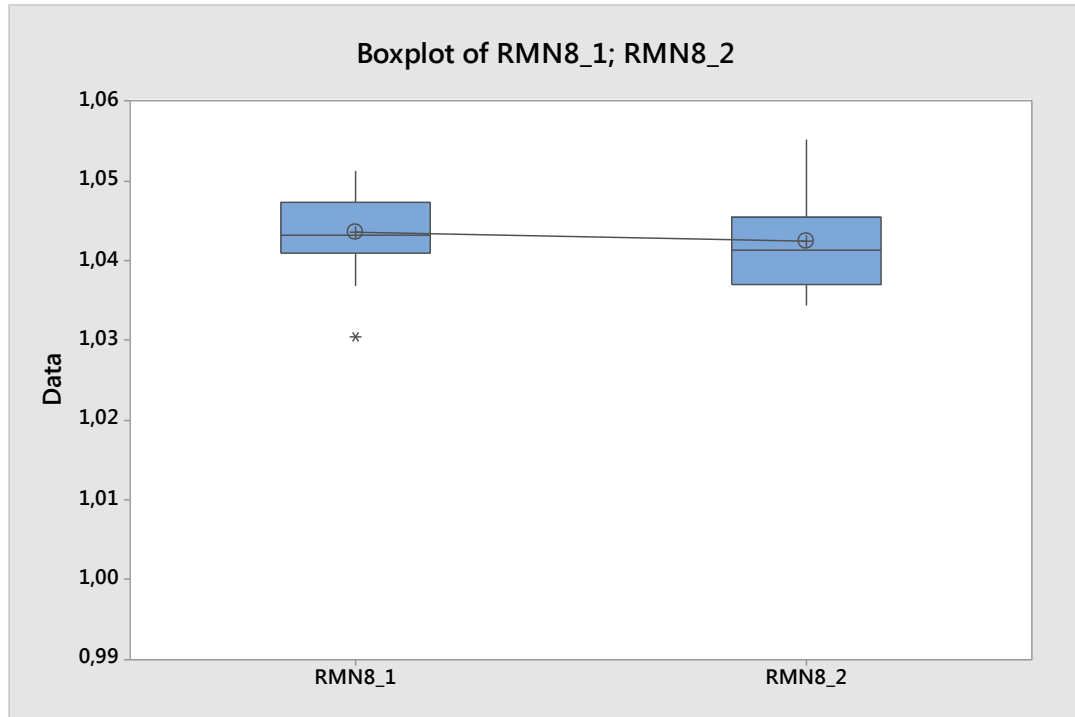
Two-sample T for RPN8_1 vs RPN8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN8_1	19	1,1242	0,0114	0,0026
RPN8_2	20	1,1224	0,0233	0,0052

Difference = μ (RPN8_1) - μ (RPN8_2)

Estimate for difference: 0,00176

95% CI for difference: (-0,01022; 0,01373)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,30 P-Value = 0,766 DF = 27Raex 400 8mm murtolujuus R_m 

Two-sample T for RMN8_1 vs RMN8_2

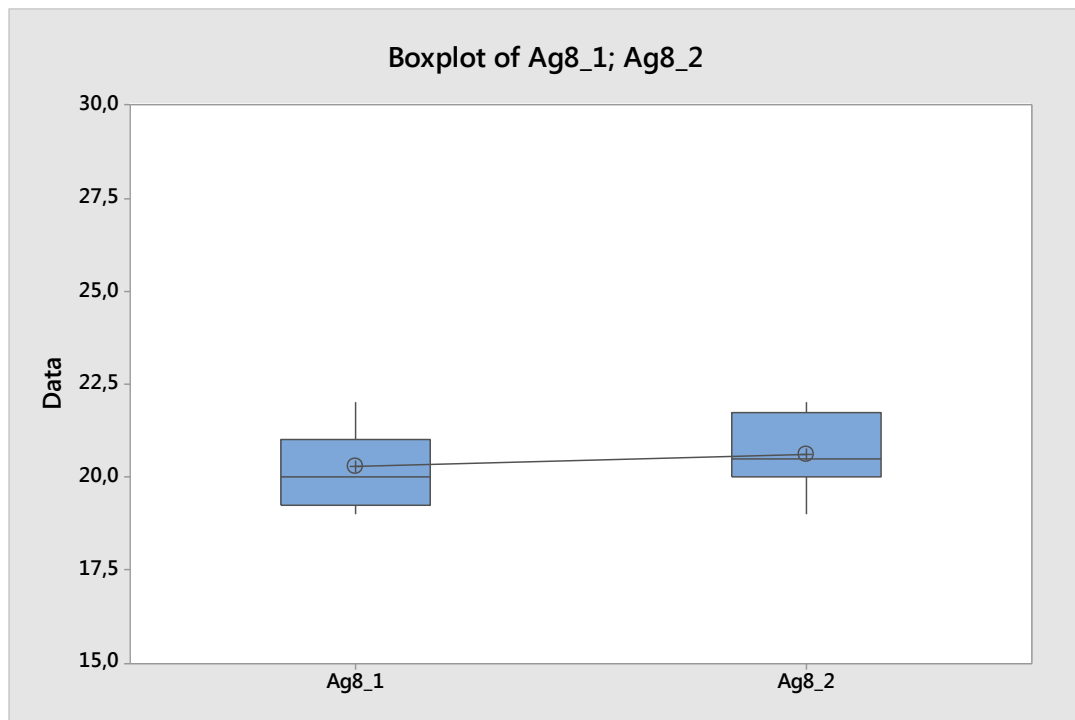
	N	Mean	StDev	SE Mean
RMN8_1	20	1,04348	0,00498	0,0011
RMN8_2	20	1,04248	0,00610	0,0014

Difference = μ (RMN8_1) - μ (RMN8_2)

Estimate for difference: 0,00100

95% CI for difference: (-0,00257; 0,00457)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0,57 P-Value = 0,574 DF = 36Raex 400 8mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag8_1 vs Ag8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag8_1	20	20,30	1,03	0,23
Ag8_2	20	20,60	1,05	0,23

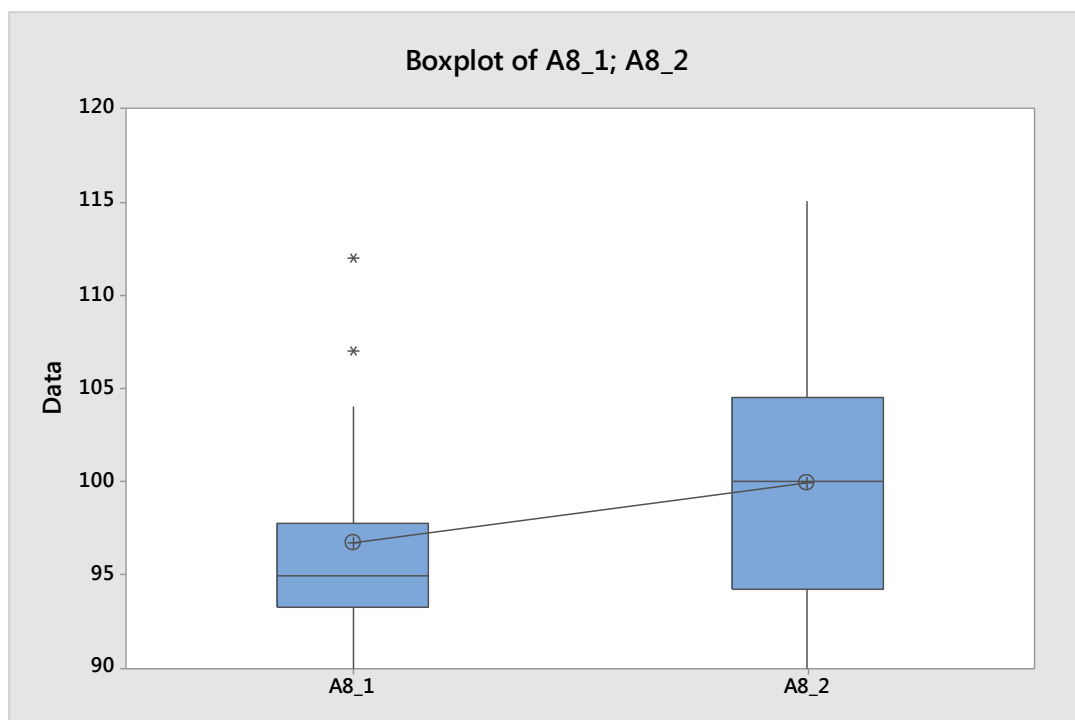
Difference = μ (Ag8_1) - μ (Ag8_2)

Estimate for difference: -0,300

95% CI for difference: (-0,966; 0,366)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,91 P-Value = 0,367 DF = 37

Raex 400 8mm kokonaisvenymä A



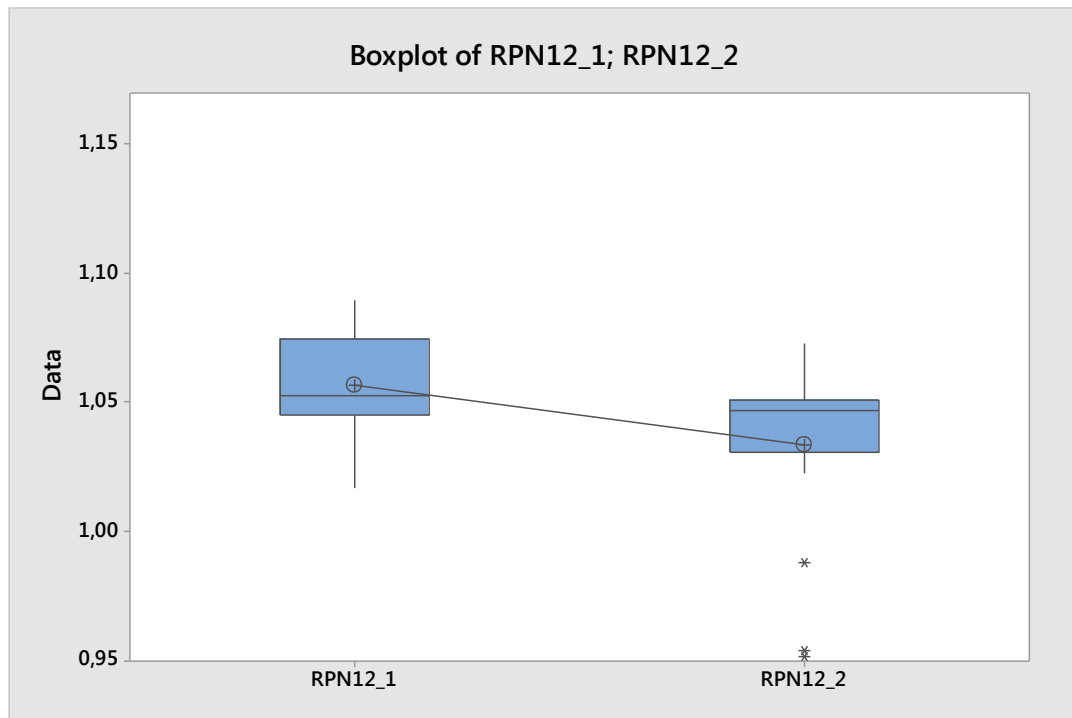
Two-sample T for A8_1 vs A8_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A8_1	20	96,70	5,68	1,3
A8_2	20	99,95	6,77	1,5

Difference = μ (A8_1) - μ (A8_2)

Estimate for difference: -3,25

95% CI for difference: (-7,26; 0,76)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -1,65 P-Value = 0,109 DF = 36Raex 400 12mm myötöraja Rp_{0,2}

Two-sample T for RPN12_1 vs RPN12_2

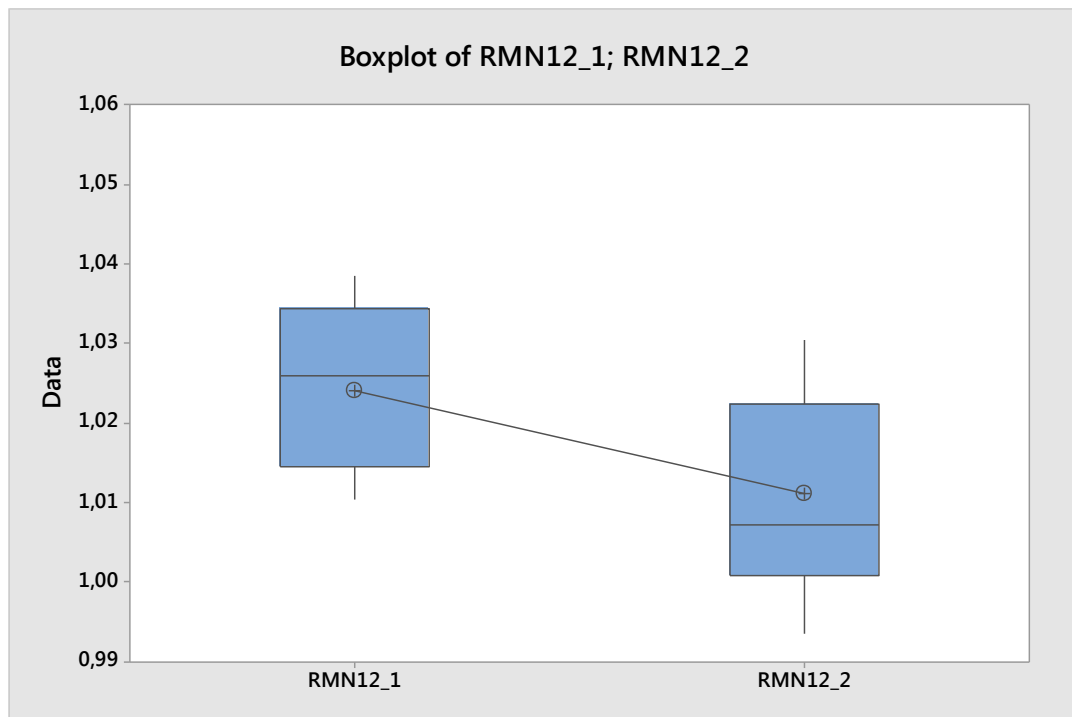
	N	Mean	StDev	SE Mean
RPN12_1	20	1,0571	0,0211	0,0047
RPN12_2	19	1,0337	0,0333	0,0077

Difference = μ (RPN12_1) - μ (RPN12_2)

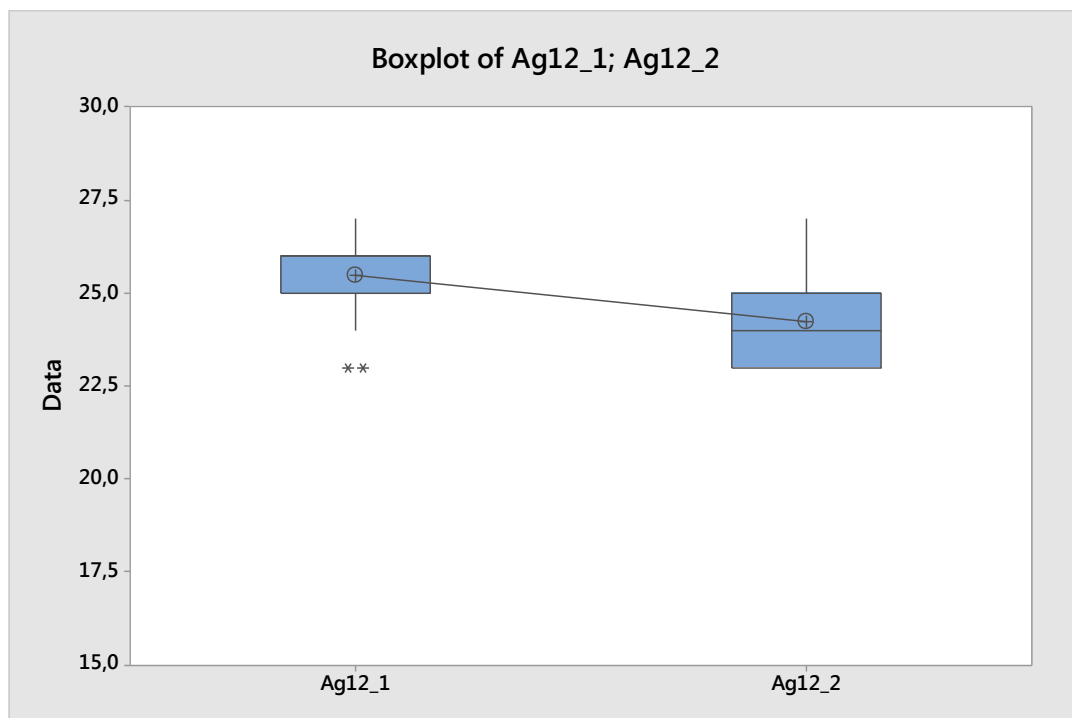
Estimate for difference: 0,02336

95% CI for difference: (0,00502; 0,04171)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 2,60 P-Value = 0,014 DF = 30Raex 400 12mm murtolujuus R_m



Raex 400 12mm plastinen tasavenymä A_g



Two-sample T for Ag12_1 vs Ag12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ag12_1	20	25,45	1,23	0,28
Ag12_2	18	24,22	1,26	0,30

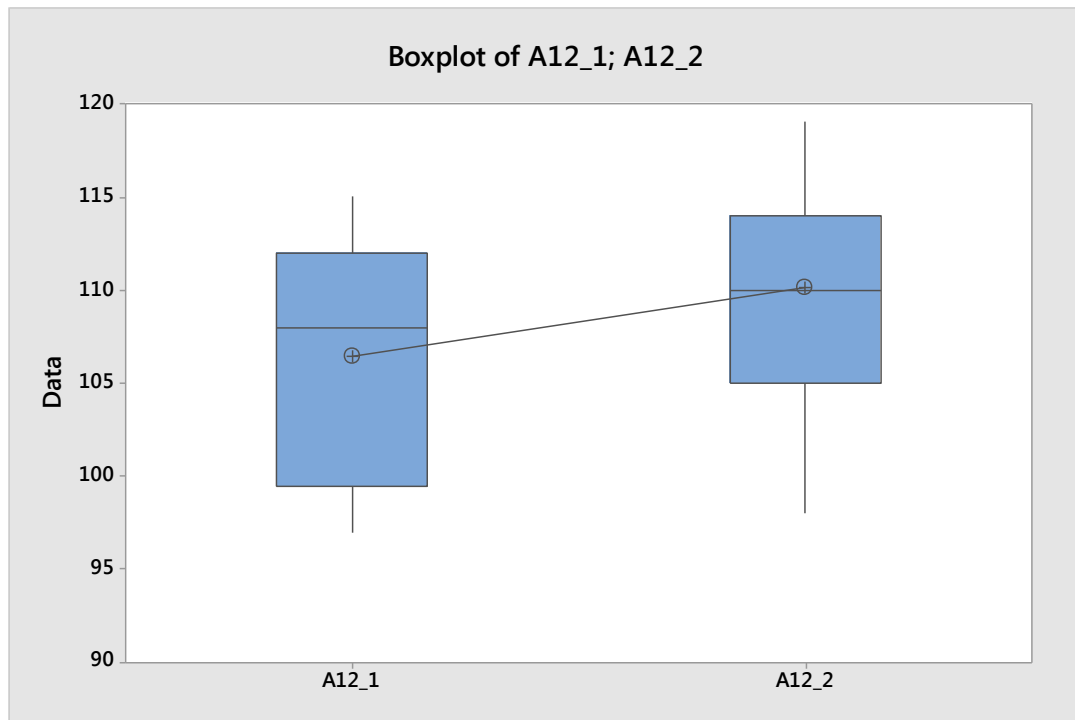
Difference = μ (Ag12_1) - μ (Ag12_2)

Estimate for difference: 1,228

95% CI for difference: (0,404; 2,052)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 3,02 P-Value = 0,005 DF = 35

Raex 400 12mm kokonaisvenymä A



Two-sample T for A12_1 vs A12_2

	N	Mean	StDev	SE Mean
A12_1	20	106,45	6,48	1,4
A12_2	19	110,11	5,75	1,3

Difference = μ (A12_1) - μ (A12_2)

Estimate for difference: -3,66

95% CI for difference: (-7,63; 0,32)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -1,87 P-Value = 0,070 DF = 36

S355

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0,05$

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
RPN6_1	20	1,1206	0,0194	1,0507	1,1380	3,60	0,000
RPN6_2	20	1,1214	0,0150	1,0873	1,1437	2,27	0,305
RPN8_1	20	1,1576	0,0115	1,1408	1,1887	2,70	0,053
RPN8_2	20	1,1531	0,0119	1,1324	1,1831	2,52	0,119
RPN12_1	20	1,1873	0,0141	1,1634	1,2282	2,89	0,020
RPN12_2	20	1,1899	0,0134	1,1746	1,2197	2,23	0,348
RPN20_1	20	1,0963	0,00631	1,0873	1,1099	2,14	0,465
RPN20_2	20	1,1076	0,00879	1,0901	1,1183	1,99	0,754
RMN6_1	20	1,5355	0,0244	1,4507	1,5577	3,48	0,000
RMN6_2	20	1,5556	0,0176	1,5211	1,5887	1,96	0,805
RMN8_1	20	1,5734	0,00281	1,5690	1,5775	1,55	1,000
RMN8_2	20	1,5901	0,00360	1,5831	1,6000	2,74	0,043
RMN12_1	20	1,5959	0,0127	1,5831	1,6423	3,64	0,000
RMN12_2	20	1,5958	0,00986	1,5803	1,6310	3,57	0,000
RMN20_1	20	1,4955	0,00315	1,4901	1,5014	1,88	1,000
RMN20_2	20	1,4966	0,00518	1,4873	1,5042	1,80	1,000

Outlier

Variable	Row	Outlier
RPN6_1	6	1,05070
RPN12_1	8	1,22817
RMN6_1	6	1,45070
RMN8_2	8	1,60000
RMN12_1	8	1,64225

Method

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0,05$

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
Ag6_1	20	155,40	2,93	150,00	163,00	2,60	0,084
Ag6_2	20	145,45	2,98	142,00	154,00	2,87	0,022
Ag8_1	20	148,85	1,35	146,00	152,00	2,34	0,240
Ag8_2	20	143,45	2,87	139,00	150,00	2,28	0,295
Ag12_1	19	148,26	1,88	144,00	151,00	2,27	0,284
Ag12_2	20	143,50	2,33	139,00	148,00	1,93	0,877
Ag20_1	20	152,95	3,43	147,00	159,00	1,77	1,000
Ag20_2	20	148,65	2,25	145,00	152,00	1,62	1,000
A6_1	20	293,05	6,56	280,00	306,00	1,99	0,745
A6_2	20	289,10	18,16	216,00	311,00	4,03	0,000
A8_1	20	273,55	7,83	260,00	291,00	2,23	0,352
A8_2	20	268,40	10,74	253,00	292,00	2,20	0,390
A12_1	20	284,70	16,50	227,00	307,00	3,50	0,000
A12_2	20	282,05	9,56	268,00	312,00	3,13	0,004
A20_1	20	325,65	41,27	287,00	395,00	1,68	1,000
A20_2	20	289,90	5,93	276,00	302,00	2,34	0,233

Outlier

Variable	Row	Outlier
Ag6_2	2	154
A6_2	1	216
A12_1	8	227
A12_2	19	312

Optim 700

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
RPN8_1	20	1,1042	0,00701	1,0929	1,1157	1,64	1,000
RPN8_2	20	1,0984	0,00399	1,0900	1,1057	2,09	0,548
RPN12_1	20	1,1134	0,00238	1,1086	1,1171	2,04	0,644
RPN12_2	20	1,1034	0,00482	1,0857	1,1100	3,66	0,000
RPN20_1	20	1,1095	0,0108	1,1014	1,1386	2,70	0,053
RPN20_2	20	1,1039	0,00964	1,0943	1,1243	2,11	0,517
RMN8_1	20	1,0590	0,00631	1,0481	1,0701	1,77	1,000
RMN8_2	20	1,0727	0,00384	1,0662	1,0779	1,69	1,000
RMN12_1	20	1,0800	0,00195	1,0753	1,0831	2,40	0,190
RMN12_2	20	1,0822	0,00386	1,0675	1,0857	3,80	0,000
RMN20_1	20	1,0784	0,00633	1,0727	1,0935	2,38	0,203
RMN20_2	20	1,0802	0,00528	1,0753	1,0935	2,52	0,116

Outlier

Variable	Row	Outlier
RPN12_2	19	1,08571
RMN12_2	19	1,06753

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
Ag8_1	20	65,900	0,788	64,000	67,000	2,41	0,181
Ag8_2	20	63,950	0,605	63,000	65,000	1,74	1,000
Ag_12_1	20	64,050	0,759	63,000	65,000	1,38	1,000
Ag12_2	20	62,800	1,105	61,000	65,000	1,99	0,743
Ag20_1	20	62,050	0,826	61,000	64,000	2,36	0,218
Ag20_2	19	61,842	0,765	60,000	63,000	2,41	0,166
A8_1	20	160,35	3,23	156,00	168,00	2,37	0,215
A8_2	20	161,10	3,46	152,00	165,00	2,63	0,073
A12_1	20	160,40	2,52	155,00	164,00	2,14	0,469
A12_2	20	159,95	3,43	155,00	165,00	1,47	1,000
A20_1	20	170,35	5,48	159,00	179,00	2,07	0,585
A20_2	19	176,84	10,80	165,00	208,00	2,89	0,017

Outlier

Variable	Row	Outlier
A20_2	2	208

Raex 400

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0,05$

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
RPN6_1	20	1,0774	0,0134	1,0540	1,1000	1,74	1,000
RPN6_2	20	1,0767	0,0243	1,0130	1,1170	2,63	0,073
RPN8_1	20	1,1219	0,0150	1,0790	1,1440	2,86	0,023
RPN8_2	20	1,1224	0,0233	1,0700	1,1680	2,25	0,331
RPN12_1	20	1,0571	0,0211	1,0170	1,0900	1,90	0,951
RPN12_2	19	1,0337	0,0333	0,9520	1,0730	2,45	0,140
RMN6_1	20	1,0314	0,00446	1,0224	1,0392	2,01	0,707
RMN6_2	20	1,0308	0,00545	1,0240	1,0400	1,69	1,000
RMN8_1	20	1,0435	0,00498	1,0304	1,0512	2,63	0,074
RMN8_2	20	1,0425	0,00610	1,0344	1,0552	2,09	0,558
RMN12_1	20	1,0241	0,00973	1,0104	1,0384	1,47	1,000
RMN12_2	19	1,0112	0,0118	0,9936	1,0304	1,64	1,000

|
 Outlier

Variable	Row	Outlier
RPN8_1	15	1,079

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0,05$

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
Ag6_1	20	17,850	0,813	16,000	19,000	2,28	0,298
Ag6_2	20	18,000	0,725	17,000	19,000	1,38	1,000
Ag8_1	20	20,300	1,031	19,000	22,000	1,65	1,000
Ag8_2	20	20,600	1,046	19,000	22,000	1,53	1,000
Ag12_1	20	25,450	1,234	23,000	27,000	1,98	0,756
Ag12_2	19	24,474	1,645	23,000	29,000	2,75	0,035
A6_1	20	104,95	4,86	98,00	112,00	1,45	1,000
A6_2	20	98,35	7,86	88,00	120,00	2,76	0,039
A8_1	20	96,70	5,68	90,00	112,00	2,70	0,053
A8_2	20	99,95	6,77	90,00	115,00	2,22	0,358
A12_1	20	106,45	6,48	97,00	115,00	1,46	1,000
A12_2	19	110,11	5,75	98,00	119,00	2,10	0,491

Outlier

Variable	Row	Outlier
Ag12_2	18	29
A6_2	11	120