



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Z-LUJUUSMITTAUKSEN MAHDOLLISUUDET TAIVEKARTONGIN LAADUNHALLINASSA

Tomi Mäkinen

Ville Herajärvi

Opinnäytetyö
Elokuu 2018
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka
Biotuotetekniikka

TOMI MÄKINEN & VILLE HERAJÄRVI:
Z-lujuusmittauksen mahdollisuudet taivekartongin laadunhallinnassa

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Elokuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia z-lujuusmittarin ja Scott Bond menetelmään pohjautuvan mittalaitteen välistä korrelaatiota. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi eräs suomalainen taivekartonkitehdas. Toimeksiantajalle oli ilmennyt tarve pystyä tutkimaan entistä tarkemmin tuotteidensa z-suuntaista lujuutta. Tästä johtuen heidän tehtaalle ollaan suunnittelemassa uuden z-lujuusmittarin hankintaa. Opinnäytetyön tavoitteena onkin selvittää antaisiko z-lujuusmittari jotain sellaista tietoa jota ei saataisi Internal bond-mittalaitteella selville.

Opinnäytetyöhön vaadittavat Bond-mittaukset suoritettiin toimeksiantajan tehtaalla, kun taas vastaavat z-lujuudet mitattiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa olevalla z-lujuusmittarilla. Mittauksia otettiin kaikista heidän kartonkilajeista, joiden neliömassa oli yli 300g/m².

Opinnäytetyössä on esiteltynä lajeista saatujen z-lujuuksien ja Bond-arvojen keskiarvot, sekä niiden lajikohtaiset korrelaatiokertoimet. Lisäksi työssä on laskettuna eri lajien hajontalukuja. Teoriaosuudessa on myös kuvattuna molempien laitteiden mittaustapahtumat, joita arvioidaan käytännön hyötyjen ja haittojen osalta johtopäätökset osiossa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering
Bioproduct Engineering

TOMI MÄKINEN & VILLE HERAJÄRVI:
Potential of Z-directional Strength Testing in Quality Control of Folding Boxboard

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 0 pages
August 2018

The purpose of this thesis was to study the correlation between the z-directional tensile tester and the Scott Bond method device. This work was commissioned by a Finnish folding boxboard mill. The client had a need to study the z-directional strength of their products more closely. Because of this, there are plans to purchase a new z-directional tensile tester for the mill. The aim of the thesis is to find out whether the z-directional tensile tester would give any information that could not be found with the Scott Bond tester.

The required Scott Bond measurements were carried out at the mill, while the corresponding z-strength was measured in the paper laboratory of Tampere University of Applied Sciences. Measurements were taken from all their board grades with grammage over 300 g/m².

This thesis includes the averages of z-strength and Scott Bond results, as well as their correlation coefficients. In addition, measures of dispersion of different species have been calculated. The theoretical part also describes the measurement events for both devices, which are evaluated for practical benefits and disadvantages in the section of conclusions.

Key words: z-directional strength, bonding, folding boxboard, scott bond

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	Z-SUUNTAINEN LUJUUS.....	8
3	Z-LUJUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
	3.1 Kuidut ja massatyypit	10
	3.2 Jauhatus.....	11
	3.3 Rainanmuodostus.....	11
4	Z-LUJUUDEN MITTAAMINEN.....	13
	4.1 Scott Bond-menetelmä.....	14
	4.2 Lorentzen & Wettren z-suuntainen lujuusmittari	16
5	MITTAUSTULOKSET	18
	5.1 Työn tarkoitus ja tavoitteet	18
	5.2 Mittauksien ottaminen ja tulosten analysointi	18
6	MITTAUSTULOSTEN KESKIARVOT	19
	6.1 Tuote A	19
	6.2 Tuote B	20
	6.3 Tuote C	22
	6.4 Yhteenveto keskiarvoista.....	23
7	MITTAUSTULOSTEN PROFIILIT JA 3,5,8 RATAPAIKAT.....	24
	7.1 Tuote A	24
	7.1.1 305.....	24
	7.1.2 330.....	27
	7.1.3 355.....	29
	7.1.4 380.....	32
	7.2 Tuote B	34
	7.2.1 310.....	34
	7.2.2 330.....	36
	7.2.3 355.....	39
	7.3 Tuote C	41
	7.3.1 315.....	41
	7.3.2 340.....	44
8	KORRELAATIO.....	47
	8.1 Korrelaation analysointi.....	47
9	MITTAUSTULOSTEN HAJONTA	49
	9.1 Tuote A	49
	9.1.1 305.....	49

9.1.2	330.....	50
9.1.3	355.....	51
9.1.4	380.....	52
9.2	Tuote B	53
9.2.1	310.....	53
9.2.2	330.....	54
9.2.3	355.....	55
9.3	Tuote C	56
9.3.1	315.....	56
9.3.2	340.....	57
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	59
	LÄHTEET.....	62

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
FBB	Folding boxboard
ZD	Z-direction
Palstautuminen	Tapahtuma missä paperi/kartonki halkeaa joko kerroksen sisältä tai kerroksien välistä

1 JOHDANTO

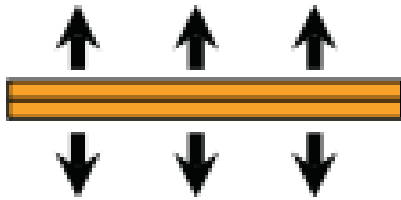
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli päästä kiinni Z-lujuusmittarin ja Internal bond-mittalaitteen väliseen korrelaatioon. Opinnäytetyö tehtiin erään suomalaisen taivekartongin valmistajan toimeksiannosta. Toimeksiantajalla on ollut ajoittain ongelmaa riittämättömistä lujuuksista painatukseen ja jalostukseen menevien tuotteiden kanssa, jotka ovat siten näkyneet asiakaspalautteina. Tätä tarvetta varten he ovat aikeissa hankkia z-lujuusmittarin korvaamaan hieman vanhanaikaista Internal bond-mittalaitetta. Ennen laitteen hankintaa tehtävänämmä on selvittää Tampereen ammattikorkeakoulun z-lujuusmittarin avulla, saataisiinko vastaavanlaisella laitteella mitään uutta ja hyödyllistä tietoa heidän ongelmaansa. Tavoitteena oli myös z-lujuusprofiilin muodon selvitys ja sitä kautta mahdollisten uusien testattavien ratapaikkojen määrittäminen.

Kirjallisessa osassa avataan z-suuntaisen lujuuden lainalaisuuksia ja käsitellään z-lujuuden vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi käydään sekä Scott-Bond-mittausmenetelmän että z-lujuusmittarin mittaustapahtumat läpi melko yksityiskohtaisesti, jotta saadaan hyvä kuva myös laitteiden käytännön hyödyistä ja haitoista. Kirjallisen osan tekoon varattiin aikaa kuukausi.

Kokeellinen osa suoritettiin kahdessa eri paikassa. Z-lujuudet mitattiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa ja Scott-Bond-menetelmän vastaavat lujuudet toimeksiantajan oman tehtaan laboratoriossa. Mittauksia suoritettiin yhteensä kahden kuukauden aikana. Mittauksia otettiin kaikista toimeksiantajan yli 300 gramman neliöpainon omaavista tuotteista. Näytteitä oli tarkoitus ottaa kartonkikoneen operaattorien toimesta joka toisesta konerullasta, jotta näytteitä kertyisi tarpeeksi tulosten mielekäästä käsittelyä varten. Tämä ei kuitenkaan toteutunut aivan joka vuoron osalta, joten osa lajeista jäi hieman vajaiksi kertyneiden näytteiden osalta. Mittauksia otettiin ratapaikoilta 3,5 ja 8. Lisäksi jokaisesta tuotantoajasta otettiin kerran koko profiili eli ratapaikat 1-10.

2 Z-SUUNTAINEN LUJUUS

Z-lujuus kuvaa paperin tai kartongin kykyä kestää kuormitusta joka kohdistuu siihen kohtisuoraan eli z-suuntaisena. Z-lujuudella tarkoitetaan siis työtä tai voimaa, joka tarvitaan halkaisemaan tietyn pinta-alan omaava näyte Z-suunnassa. (Viitanen 2008)



KUVA 1. Z-suuntainen kuormitus (ABB, 2017)

Näyte voi hajota joko kerrosten välistä tai kerrosten sisältä. Kun näyte halkeaa eri kerrosten välistä, puhutaan kerrosten välisestä lujuudesta (ply bond). Kun kerrosten välinen lujuus on suurempi kuin heikoimman kerroksen sisäinen lujuus, tapahtuu halkeaminen heikoimman kerroksen sisältä. Tällöin puhutaan sisäisestä lujuudesta (internal bond) (Know-Pap)

Hyvää Z-lujuutta tarvitaan useissa eri loppukäyttökohteissa ja jatkojalostuksessa. Ehkäpä tärkein näistä on painatus ja nimenomaan offset-painatus, jossa tahmean painovärin käytön takia paperilta/kartongilta vaaditaan hyvää Z-lujuutta. Offset-painatuksessa liian alhainen Z-lujuus voi aiheuttaa paperin delaminoitumista tai halkeamista painosylinterin siirtäessä tahmean painovärin sylinteriltä paperille, joka taas aiheuttaa merkittäviä ratakatoja ja ajettavuusongelmia painokoneella. (ABB, 2017)



KUVA 2 Delaminoituminen painotapahtumassa (ABB, 2017)

Lisäksi hyvää Z-lujuutta tarvitaan esimerkiksi aallotuskartonkia aallotettaessa, karttonkia nuutattaessa ja muovilla päällystettäessä.

3 Z-LUJUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Yleisesti voidaan todeta, että paperin z-lujuuteen pyritään vaikuttamaan parantamalla sen kuitujen välisiä sidoksia. Keinoja vaikuttaa tähän on kuitenkin monia.

3.1 Kuidut ja massatyyppi

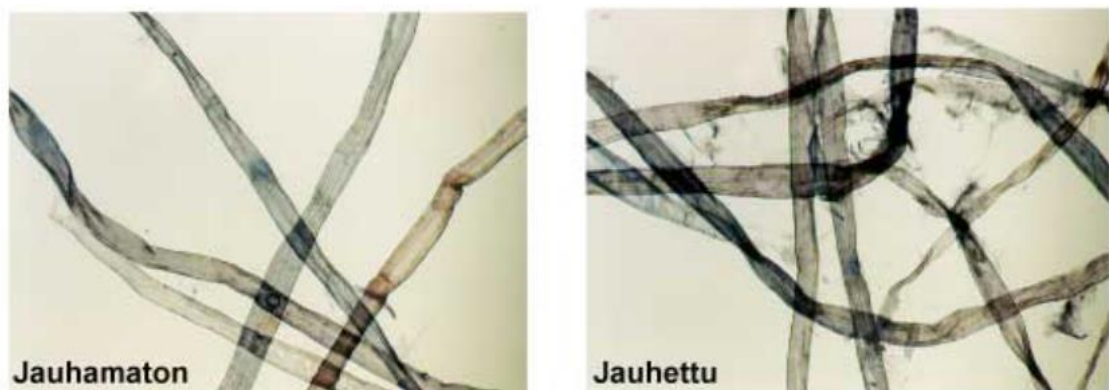
Käytettävien puukuitujen valinta ja missä suhteessa niitä käytetään, vaikuttaa paperin ja kartongin lujuusominaisuuksien muodostumiseen. Havupuukuidut antavat paperille paremmat lujuusominaisuudet kuin lehtipuukuidut. Tämä johtuu kuitujen välisestä pituuserosta. Havupuukuitujen keskipituuden ollessa n. 3 mm, lehtipuilla se on vain n. 1mm. (Lyytikäinen, 2012)

Massan valmistustavalla on myös merkitystä. Kemiallisesti valmistetussa sellussa kuidut ovat pitkiä ja taipuisia, koska kuituja sitova ligniini on poistettu kemikaalien ja lämmön avulla, ilman että ne vahingoittuvat. Mekaaninen massa valmistetaan joko hiomalla tai hiertämällä. Tällöin kuidut erotetaan siis mekaanisen rasituksen ja lämmön avulla. Ongelmana mekaanisessa massassa on kuitenkin kuitujen katkeilu mekaanisen käsittelyn johdosta. Tällöin kuidut jäävät lyhyiksi sekä jäykiksi, jolloin niiden sitoutuneisuus jää heikoksi. Mekaanista massaa käytetään kuitenkin paperin valmistuksessa sen korkean saannon ja sitä kautta edullisen hinnan ansiosta. (Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003)

Massan valmistustapaa ja kuitutyyppiä tärkeämpi tekijä massassa on sen sisältämä täyteainemäärä. Täyteaineet ovat kuituja huomattavasti pienempiä mineraalipohjaisia hiukkasia, joilla ei ole sitoutumiskykyä. Täyteaineet heikentävät huomattavasti paperin Z-lujuutta, koska ne asettuvat kuitujen välisiin tiloihin ja näin heikentävät kuitujen välisiä sidoksia. (Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003)

3.2 Jauhatus

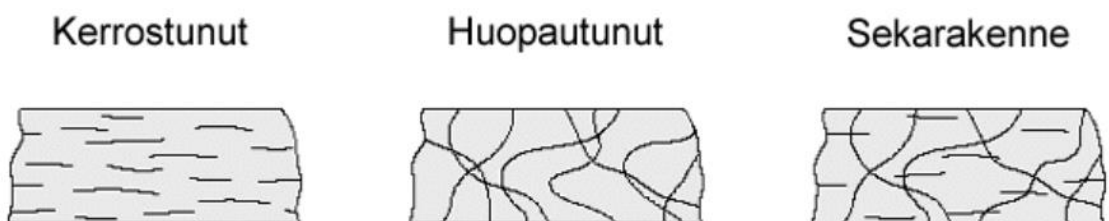
Ehkä suurin yksittäinen tekijä paperin Z-lujuuden muodostumisessa on jauhatus. Jauhatuksen ansiosta kuidut kokevat sisäistä ja ulkoista fibrillaatiota. Sisäisessä fibrillaatiossa vetysidosten katkeamisen johdosta kuidut muuttuvat notkeiksi ja plastisiksi. Lisäksi kuidut turpoavat kuidun sisäisen löystymisen takia. Ulkoisessa fibrillaatiossa kuidut ikään kuin hapsuuntuvat. Ulkoisen fibrillaation johdosta kuidun ulkoinen pinta suurenee ja samalla se muuttuu alttiiksi kuitujen välisten sidosten syntymiselle. (KnowPap)



KUVA 3 Jauhatuksen vaikutus kuiduissa (KnowPap)

3.3 Rainanmuodostus

Huopautuneen rakenteen z-suuntainen lujuus on parempi kuin kerrostuneen rakenteen, sillä huopautuneessa rakenteessa pitkien kuitujen z-suuntainen orientaatio on voimakkaampaa.



KUVA 4 Kuituverkon rakenteet (KnowPap)

Formereista paras z-lujuus saadaan aikaiseksi tasoviiralla. Tämä selittyy sillä, että tasoviiralla vettä poistetaan vain yhteen suuntaan. Tällöin ei z-suuntaan pääse syntymään heikkoja kohtia, kun kaikki vesi poistetaan samaan suuntaan. Kaksoisviiraformereilla vettä poistetaan molempien pintojen läpi. Tällöin rainaan muodostuu aina heikko kohta, jossa vettä on poistettu eri suuntiin (KnowPap)

Monikerroskartongin valmistuksessa huopautettavien rainojen kuiva-ainepitoisuudella vaikutetaan eri kerrosten väliseen lujuuteen. Huopautus tulisi tehdä mahdollisimman alhaisessa kuiva-ainepitoisuudessa. Mitä kosteampina rainat yhdistetään sitä paremmin ne pystyvät keskenään muodostamaan kuitusidoksia. Rainojen kuiva-ainepitoisuuden laskua rajoittaa kuitenkin vaara rainan menemisestä kuralle. Samoin avoimet viennit ennen kerrosten yhdistämistä vaativat rainoilta tietyn minimi kuiva-ainepitoisuuden siirron onnistumisen edellyttämän lujuuden saavuttamiseksi. (KnowPap)

Rainaa tiivistämällä esimerkiksi märkäpuristamalla voidaan nostaa palstautumislujuutta. Tämän johdosta sitoutuneisuuden paraneminen vaikuttaa eniten rainan z-suuntaisiin lujusominaisuuksiin. Muita paperin z-lujuuteen vaikuttavia tekijöitä on mm. massa tärkelyksen määrä, pintaliimaus, kuivatus ja kalanterointi. (KnowPap)

4 Z-LUJUUDEN MITTAAMINEN

Kartongin kerrosten välinen eli z-suuntainen lujuus on monessa yhteydessä tärkeä ominaisuus. Sillä pyritään mm. ennaltaehkäisemään heikosta z-suuntaisesta lujuudesta johtuvia ongelmia jatkojalostuksessa kuten offsetpainatuksessa. Koestuksessa voidaan kohdistaa rasitusvoimia eri suuntiin esim. kohtisuoraan pintaa vastaan tai synnyttää kerrosten välisiä leikkausvoimia. (KnowPap)

Paperin ja kartongin Z-lujuutta mitataan yleisesti ottaen nykypäivänä kahdella eri menetelmällä. Hieman vanhemmilla Scott-Bond tekniikkaan nojaavilla mittalaitteilla (Kuva 5), sekä uudemmalla Lorentzen & Wettren z-suuntaisella lujuusmittarilla (Kuva 6).



KUVA 5 Huygen internal bond tester

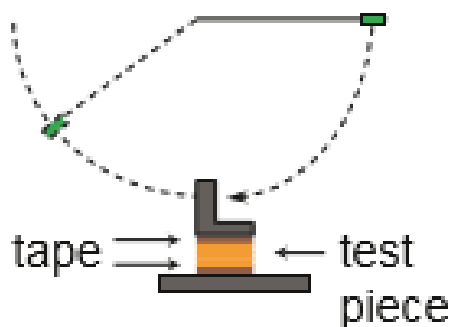


KUVA 6 Lorentzen & Wettren z-suuntainen lujusmittari

Paperin pinalujuutta mitataan usein offset-painatusta simuloivalla IGT-menetelmällä, jossa tutkitaan pintarakenteen nukkautumiseen ja rikkoutumiseen vaadittavia voimia. Jos paperin z-suuntainen lujuus on pinalujuutta heikompi IGT-mittauksessa, mittaa menetelmä itse asiassa paperin z-suuntaista lujutta. (Viitanen 2008)

4.1 Scott Bond-menetelmä

Tässä työssä palstautumislujutta mitattiin digitaalisella Huygen Internal Bond-mittalaitteella (Kuva 5). Mittalaite toimii heiluriperiaatteen mukaisesti, jolloin mittaustulos osoittaa koepalan palstautumiseen tarvittavan työn. (KnowPap)

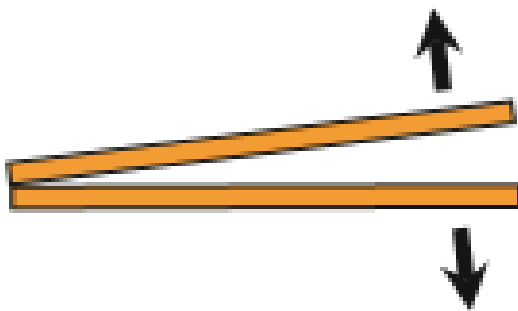


KUVA 7 Scott bond periaatekuva (KnowPap)

Varsinainen mittaustapahtuma alkaa näyteliuskan valmistelulla. Näyteliuskaa olisi hyvä käsitellä vain sen päistä kiinnipitämällä, jotta sen päälle ei päätyisi esim. rasvaa tai muuta likaa sormista. Ensimmäiseksi asetetaan kaksipuolista teippiä näytealasinten päälle, jonka jälkeen näyte sijoitetaan tarkasti teipin päälle. Lopuksi näytteen päälle laitetaan vielä toinen kerros kaksipuolista teippiä. Tässä kohtaa näyteliuska teippeineen leikataan viiteen osaan näytealasinten välisiä uria pitkin, jolloin syntyy yhteensä viisi (tuuma kertaa tuuma) kokoista näytepalaa.

Seuraavaksi näytekulmat sisältävä puristimen yläosa asetetaan paikoilleen niin, että näytekulmat tulevat teippiä vasten. Seuraavaksi käännetään puristinkahvat yläosan päälle, jolloin laite aloittaa automaattisesti puristuksen. Puristuksen jälkeen puristinkahvat käännetään takaisin alkuperäiseen asentoon ja puristimen yläosa poistetaan näytekulmien päältä.

Nyt alasimet näytekulmineen pystytään siirtämään yksitellen testauspidikkeeseen. Seuraavaksi heiluri vapautetaan ylhäältä, jolloin heilurin osuessa näytekulman yläosaan näyteliuska teippien välissä palstautuu. Palstautuminen alkaa näytepalojen toisesta reunasta ja näytepalaan kohdistuu sekä näytteen pinnan suuntaan, että näytteen pintaan kohtisuoraan vaikuttava voima. Tästä syystä mittauksista saatavat tulokset eivät ole riippuvaisia vain paperin z-suuntaisesta lujuudesta. (KnowPap)

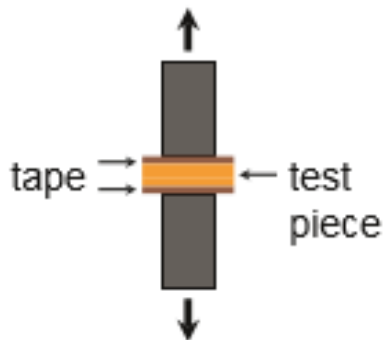


KUVA 8 Näytepalaan kohdistuvat voimat (ABB, 2017)

Lopuksi mittauksen tulos on luettavissa laitteen näytöltä. Tuloksen yksikkönä on J/m^2 , joka ilmoittaa palstautumiseen kuluneen energian näytteen pinta-alayksikköä kohden.

4.2 Lorentzen & Wettren z-suuntainen lujuusmittari

Toinen opinnäytetyössä käytettävä laite z-lujuuden mittaamiseen oli Lorentzen & Wettren z-suuntainen lujuusmittari (Kuva 6). Toisin kuin Scott Bond menetelmässä, L&W:n mittalaitteessa näytteeseen teipin välityksellä kohdistuu ainoastaan z-suunnassa olevat vetävät voimat.



KUVA 9 Z-lujuusmittarin periaatekuva (ABB, 2017)

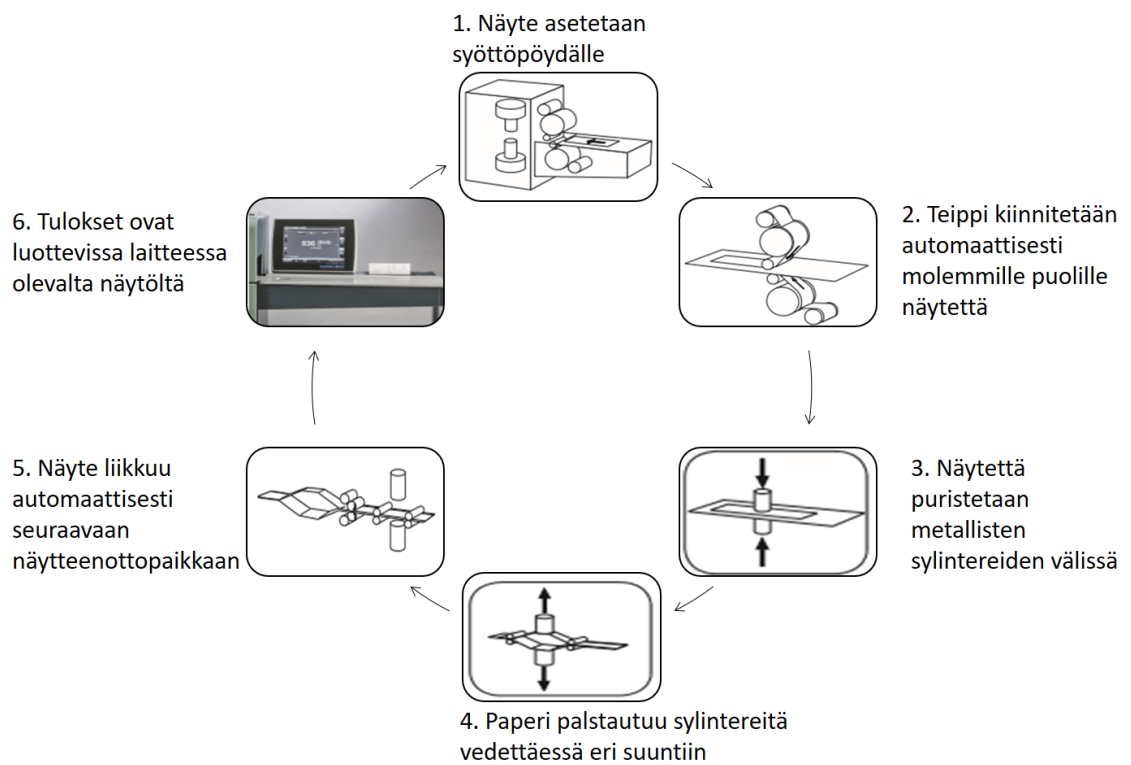
Laite on melkein kokonaan automatisoitu, joten saadut mittaustulokset eivät ole ollenkaan riippuvaisia käyttäjästä. Automatisoinnin ansiosta laite on helppo ja nopea käyttää. Operaattorin tarvitsee ainoastaan asettaa näyte syöttöpöydälle ja painaa start-painiketta. (ABB, 2017)

Mittalaitteessa voidaan määrittää käytettävä kuormitusnopeus ja puristusaika näytekapaleelle oletetun lujuuden mukaisesti. Laite ilmoittaa automaattisesti, jos käytetään virheellistä kuormitusnopeutta tai puristusaikaa. Laitteen mittausalue on todella laaja ja käytettävän teipin lujuus määrittelee mittalaitteen ylärajan. Teippi saattaa vahvistaa neliömassaltaan alle 60 g/m² olevia näytteitä, mistä voi aiheutua virheellisiä mittaustuloksia. (Viitanen 2008)

Ennen mittauksen aloittamista laitteeseen asetetaan halutut asetukset. Asetukset valitaan joko manuaalisesti tai valitsemalla aikaisemmin tallennetut asetukset. Valittavia muuttujia ovat mm. näytteen neliömassa, näytteen pituus, näytteiden kokonaismäärä sekä yhdestä näytteestä otettavien mittausten lukumäärä. Tämän jälkeen varsinainen mittaustapah-tuma voidaan käynnistää asettamalla näyteliuska syöttöpöydälle. Näyteliuskan tarkalla

leveydellä ei ole väliä, kunhan se vain mahtuu laitteen sisälle ja on leveämpi kuin puristinsylinterien halkaisija. Myöskään kone- tai poikkisuunnalla ei ole väliä, koska näytteen mittauksessa vaikuttavat ainoastaan z-suuntaiset voimat.

Mittaus aloitetaan painamalla start-painiketta, jolloin näyteliiska imeytyy koneen sisälle samalla kun liuska päällystetään molemmin puolin kaksipuoliteipillä. Näytteen edetessä mittauskammioon sylinterit ensin puristavat näytettä molemmin puolin varmistaen riittävän pidon sekä teipin ja näytteen, että teipin ja sylinterien välillä. Tämän jälkeen sylinterit lähtevät vetämään näytettä z-suuntaisilla voimilla. Näytteen palstautuessa laite ilmoittaa näytöllä mittauksen tulokset, joka kuvaa siis näytteen heikoimman kohdan z-suuntaisen lujuuden arvoa. Laite käyttää yksikköä kPa. Mittaustapahtuma on esitetty myös kuvassa 10.



KUVA 10 Mittaustapahtuman kulku z-lujuusmittarilla

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Opintonäytetyön aiheen taustana oli ongelma, että toimeksiantajan taivekartongin raskaimmat neliömassa lajit delaminoituvat rungosta asiakkaan paino- tai jalostusproses- sissa helpommin kuin kevyet ja keskipainoiset neliömassa lajit. Tämän hetkisel- lä laadunhallinnalla ei nähdä mistä tämä johtuu.

Työn tarkoituksena oli selvittää, että havaitseeko Lorentzen & Wettren Z-suuntainen lujuusmittari vallitsevaa ongelmaa. Tavoitteena oli Z-lujuusprofiilin muodon selvitys ja mahdollisten uusien mitattavien ratapaikkojen määrittäminen tulevaisuutta varten. Lisäksi opintonäytetyössä tutkittiin Lorentzen & Wettren Z-suuntaisen lujuusmittarin ja Scott Bond mittauslaitteen luotettavuutta.

5.2 Mittauksien ottaminen ja tulosten analysointi

Opintonäytetyön mittausosuus suoritettiin 9.3.2018 – 31.5.2018 välisenä aikana. Mittaukset tehtiin molemmilla laitteilla samoista näytteistä. Scott Bondilla saadut tulokset ovat samasta näytteestä viiden mittauksen keskiarvoja ja Lorentzen & Wettren Z-suuntaisen lujuudenmittarilla otetut tulokset ovat neljän mittauksen keskiarvoja. Näytteet otettiin arkeista 1-10 eli ratapaikoilta 1-10. Jokaisen tuotantoajon ensimmäisistä näytteistä otettiin koko profiili, jolloin kaikista arkeista 1-10 otettiin mittaukset. Lopuista tuotantoajon näytteistä mitattiin arkit eli ratapaikat 3, 5 ja 8. Tuloksista laskettiin lajikohtaiset keskiarvot, korrelaatiokertoimet sekä erilaisia hajontalukuja. Tästä eteenpäin Lorentzen & Wettren Z-suuntaista lujuusmittariin viitataan ”Z-lujuutena”. Mitattuja näytteitä kertyi kokonaisuudessaan n. 700 kpl.

Näytteitä oli tarkoitus ottaa kartonkikoneen operaattorien toimesta joka toisesta konerul- lasta, jotta näytteitä kertyisi tarpeeksi tulosten mielekäästä analysointia varten. Tämä ei kuitenkaan toteutunut aivan joka vuoron osalta, joten osassa lajeissa on enemmän mitattavia näytteitä kuin toisissa lajeissa. Lajien eri tuotantomäärä aiheutti myös eroa kerään- tyneiden näytteiden määrään. Mitattuja lajiryhmiä oli yhteensä kolme, jotka esitellään tässä opinnäytetyössä nimillä Tuote A, Tuote B ja Tuote C. Tuotteiden nimien perässä oleva numero tarkoittaa kyseisen lajin neliömassaa, jotka sijoittuvat välille 305-380.

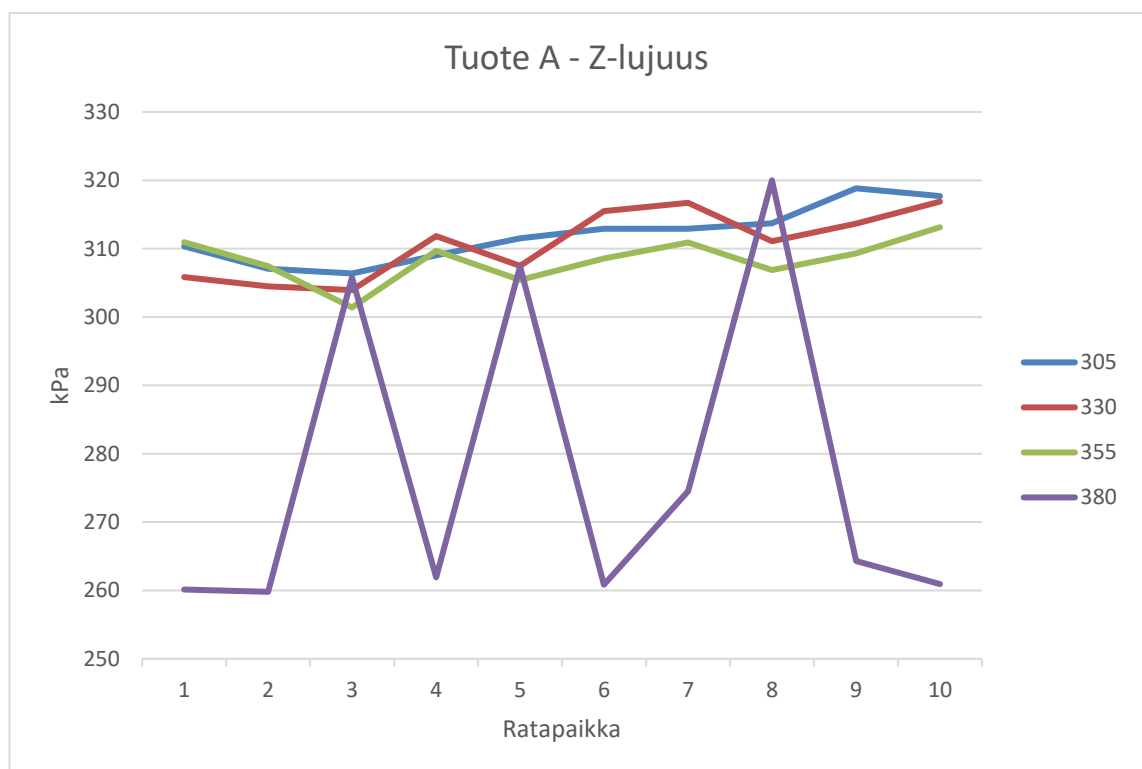
6 MITTAUSTULOSTEN KESKIARVOT

Kaikkien tulosten keskiarvoista piirrettiin profiilit, missä kaikki saman lajiryhmän lajit ovat yhdessä kaaviossa, jotta saadaan hyvä kuva kokonaisuudesta. Scott Bondille ja Z-lujuudelle tehtiin molemmille omat lajikohtaiset profiilit tarkempaa vertailua ja analysointia varten.

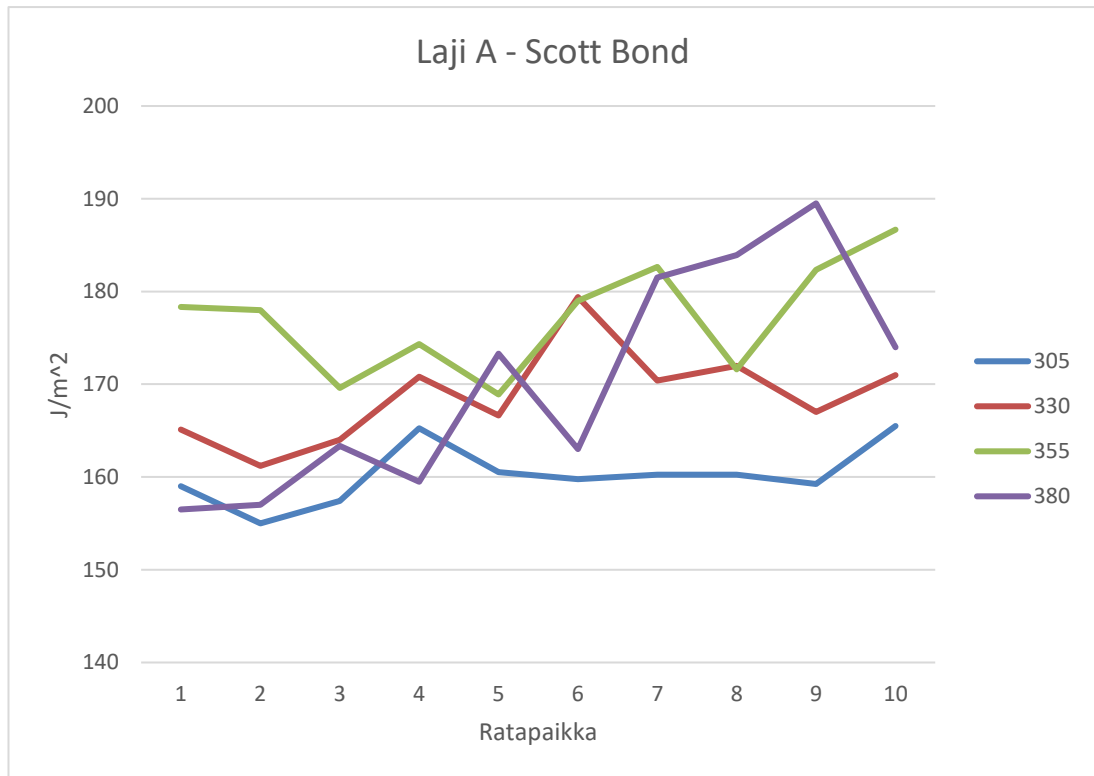
6.1 Tuote A

Z-lujuuden tuloksista (Kuvio 1.) huomataan heti, että tässä tuotteessa Z-lujuudet laskevat neliömassan kasvaessa. Erityisesti silmään ottaa laji 380 eli violetti keskiarvoprofiili, missä on todella suuret piikit ratapaikkojen 3, 5 ja 8 kohdalla. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä lajissa mittauksia on huomattavasti vähemmän kuin muissa.

Scott Bondin tuloksissa (Kuvio 2.) palstautumislujuus kasvaa neliömassan kasvaessa. Keskiarvoprofiileissa on myös selkeästi enemmän hajontaa kuin Scott Bondin profiileissa, sillä niihin muodostuu isoja piikkejä.



KUVIO 1. Tuote A – Z-lujuus keskiarvot neliömassoittain

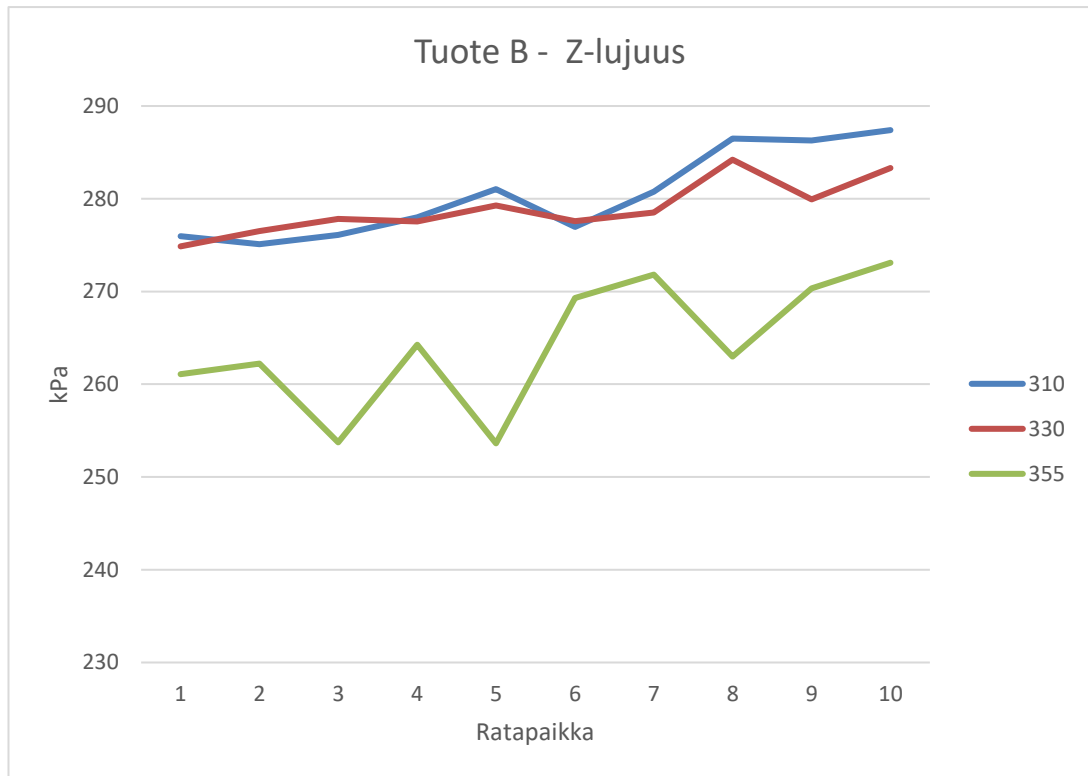


KUVIO 2. Laji A – Scott Bondin keskiarvot neliömassoittain

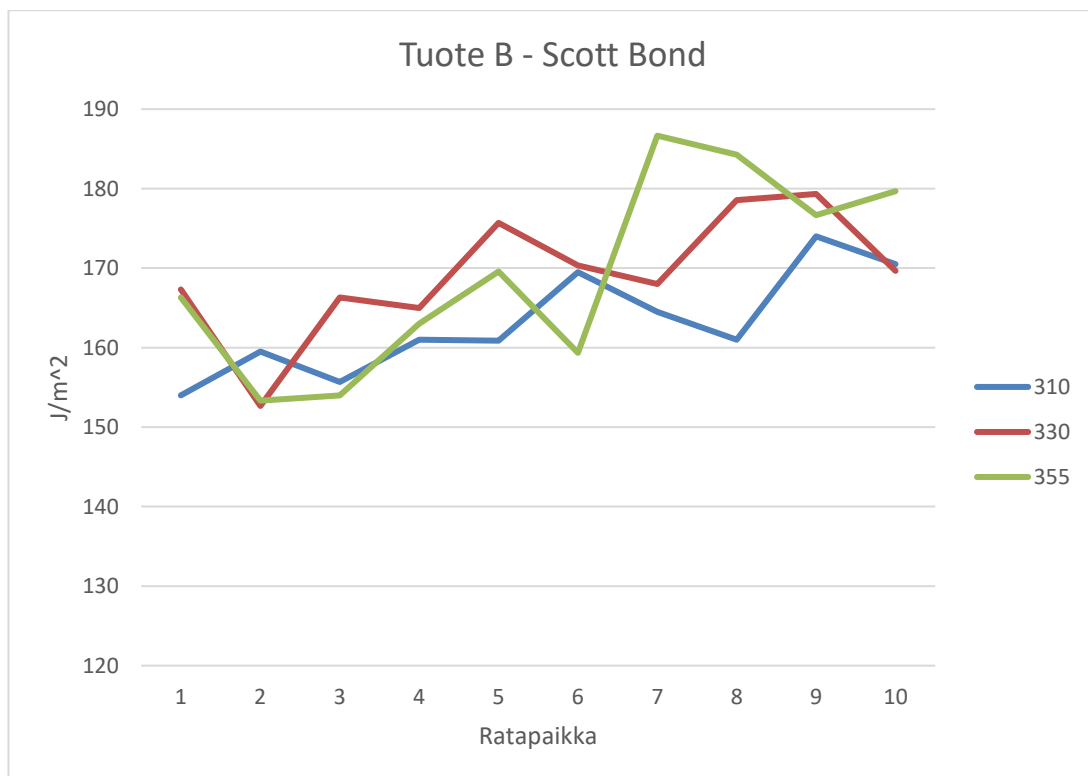
6.2 Tuote B

Keskiarvoista piirretystä profiileista (Kuvio 3 ja 4) huomataan, että Z-lujuus laskee neliömassan kasvaessa, kun taas Scott Bondin palstautumislujuus nousee neliömassan kasvaessa. Z-lujuuden tuloksista nähdään, että laji 355 on selkeästi Z-lujuudeltaan heikompaa kuin kevyemmän neliömassan omaavat lajit.

Scott Bondin vastaavaista tuloksista ei taas voida sanoa muuta kuin, että palstautumislujuus kasvaa hyvin vähän neliömassan kasvaessa. Z-lujuusmittarin tuloksien perusteella raskaammat neliömassat ovat selkeästi heikompia kuin mitä Scott Bond mittaustaite väittää. Ongelmana oli juuri että, raskaimmat neliömassa lajit delaminoituvat rungosta asiakkaan paino- tai jalostusprosessissa helpommin kuin kevyet ja keskipainoiset neliömassa lajit.



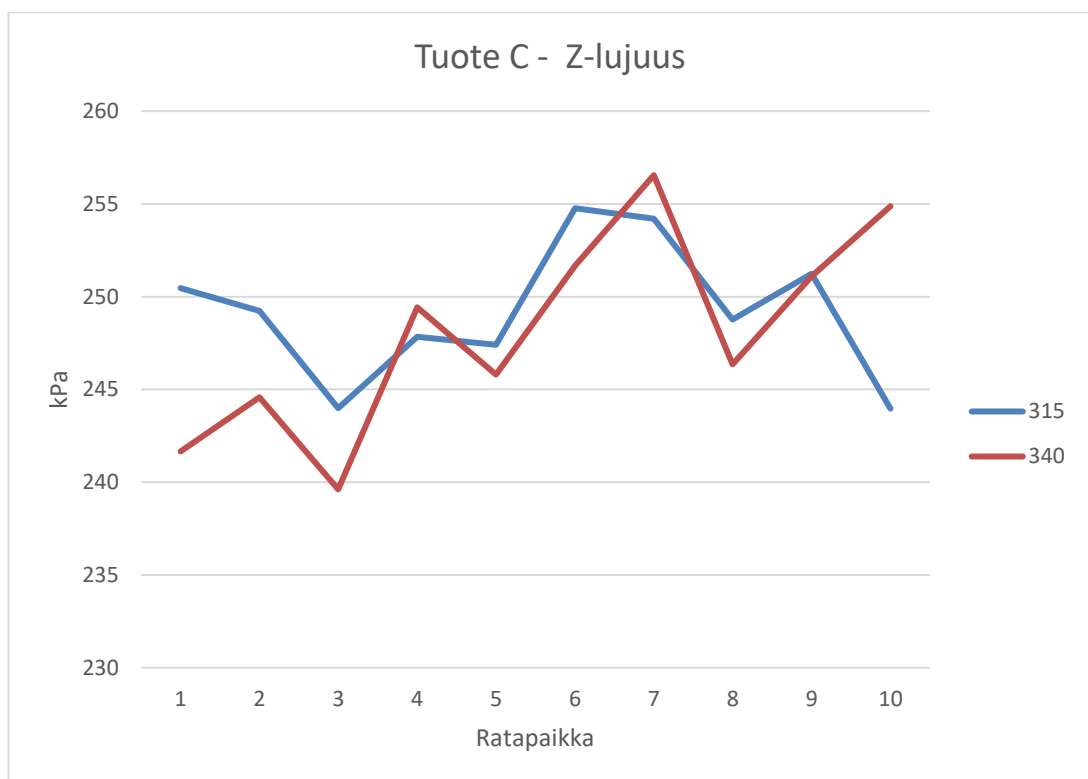
KUVIO 3. Tuote B - Z-lujuuksien keskiarvot neliömassoittain



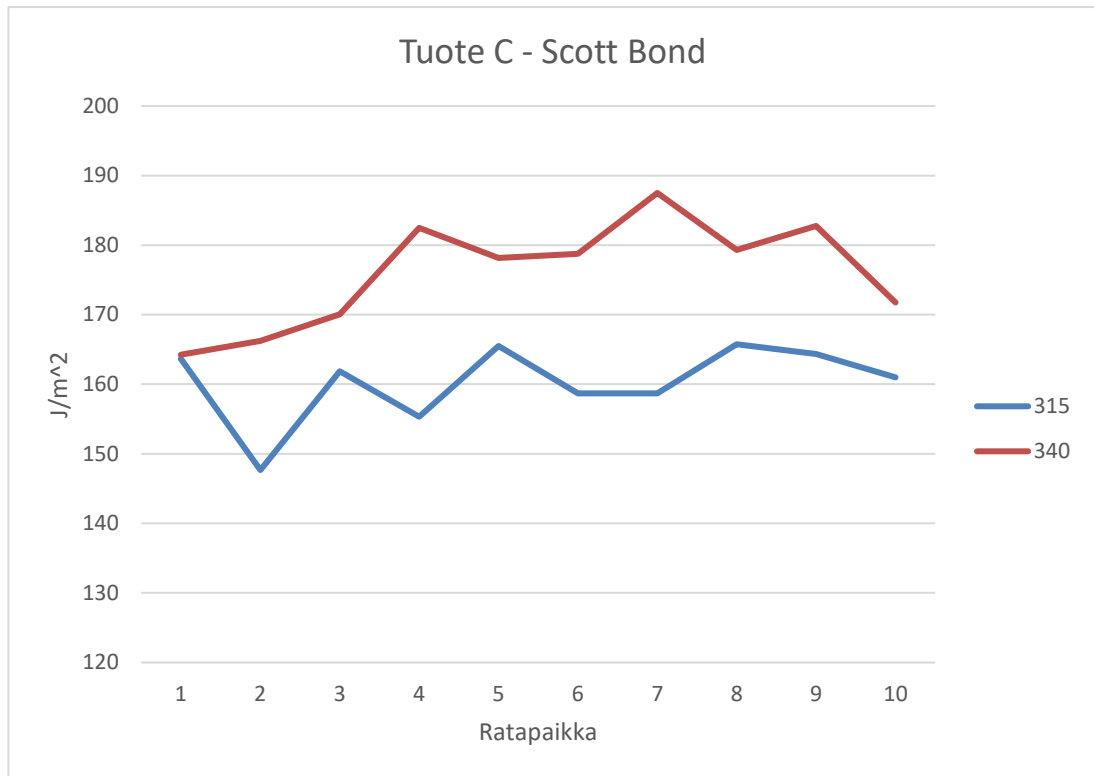
KUVIO 4. Tuote B - Scott Bondin keskiarvot neliömassoittain

6.3 Tuote C

Tässä lajiryhmässä neliömassoja on vain kaksi, joten tuloksia on vaikeampi analysoida, mutta kuten Z-luujuden ja Scott Bondin profiileista (Kuvio 5 ja 6.) nähdään, niin sama trendi jatkuu kuin kahdessa aiemmassa tuotteessa. Z-lujuus laskee neliömassan kasvaessa, mutta ei niin selkeästi kuin aiemmissa tuotteissa. Scott Bondin tuloksissa palstautumislujuus nousee selkeästi neliömassan kasvaessa.



KUVIO 5. Tuote C – Z-lujuus keskiarvot neliömassoittain



KUVIO 6. Tuote C – Scott Bond keskiarvot neliömassoittain

6.4 Yhteenveto keskiarvoista

Tulosten perusteella nähdään selkeästi, että Scott Bondin ja Z-lujuusmittarin tulokset neliömassoittain eroavat huomattavasti. Scott Bondissa palstautumislujuus kasvaa neliömassan kasvaessa joka lajiryhmässä. Taas Z-lujuudessa Z-lujuus laskee neliömassan kasvaessa.

Tämän perusteella voisi olla mahdollista, että Z-lujuusmittari pystyisi havaitsemaan raskaampien neliömassalajien heikkoutta. Ongelmana juuri oli, että raskaimmat neliömassa lajit delaminoituvat rungosta asiakkaan paino- tai jalostusprosessissa helpommin kuin kevyet ja keskipainoiset neliömassa lajit. Z-lujuusmittari voisi mahdollisesti auttaa vallitsevan ongelman ratkaisemista toimeksiantajan päässä.

7 MITTAUSTULOSTEN PROFIIKIT JA 3,5,8 RATAPAIKAT

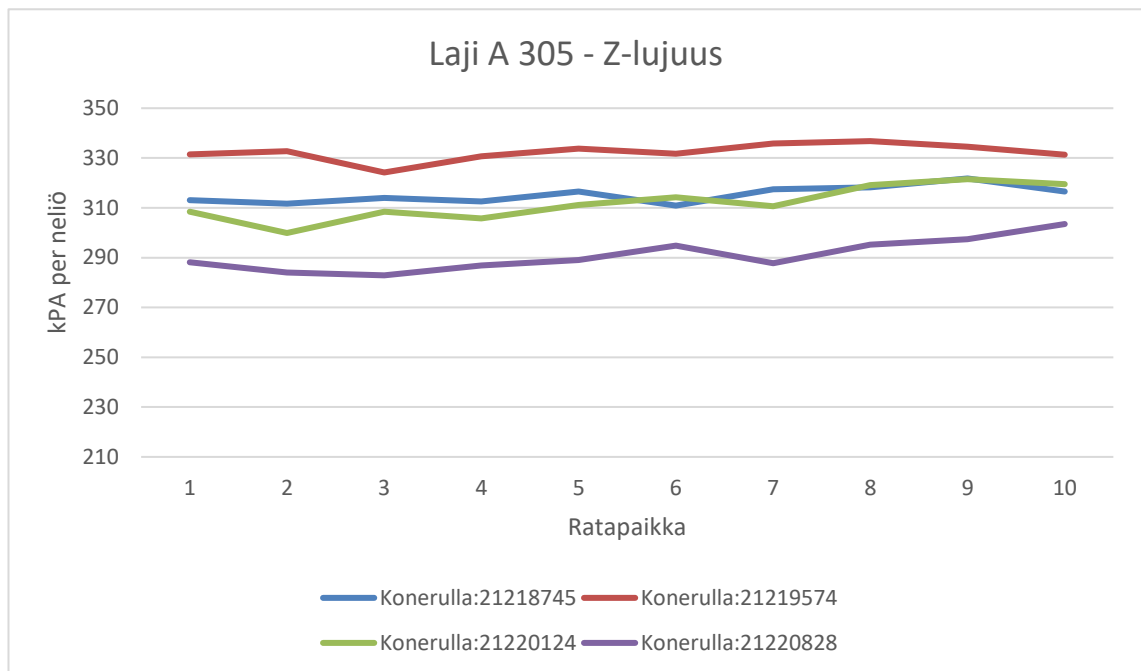
Jokaisesta tuotantoajosta mitattiin kerran koko profiili. Profiilit otettiin tuotteista A, B ja C neliömassoittain. Mitatuista arvoista piirrettiin profiilit jokaiselle lajille ja molemmille mittauslaitteille, jotta lajien profiileja voidaan verrata keskenään. Lisäksi jokaiselle lajille tehtiin profiilit, missä käytettiin ainoastaan ratapaikoista 3,5 ja 8 saatuja arvoja. Nämä ratapaikat antavat tarkempaa dataa, koska ne mitattiin joka toisesta konerullasta. Profiilien muotojen avulla pyrittiin määrittämään mahdolliset seurattavat ratapaikat laaduntarkkailussa.

7.1 Tuote A

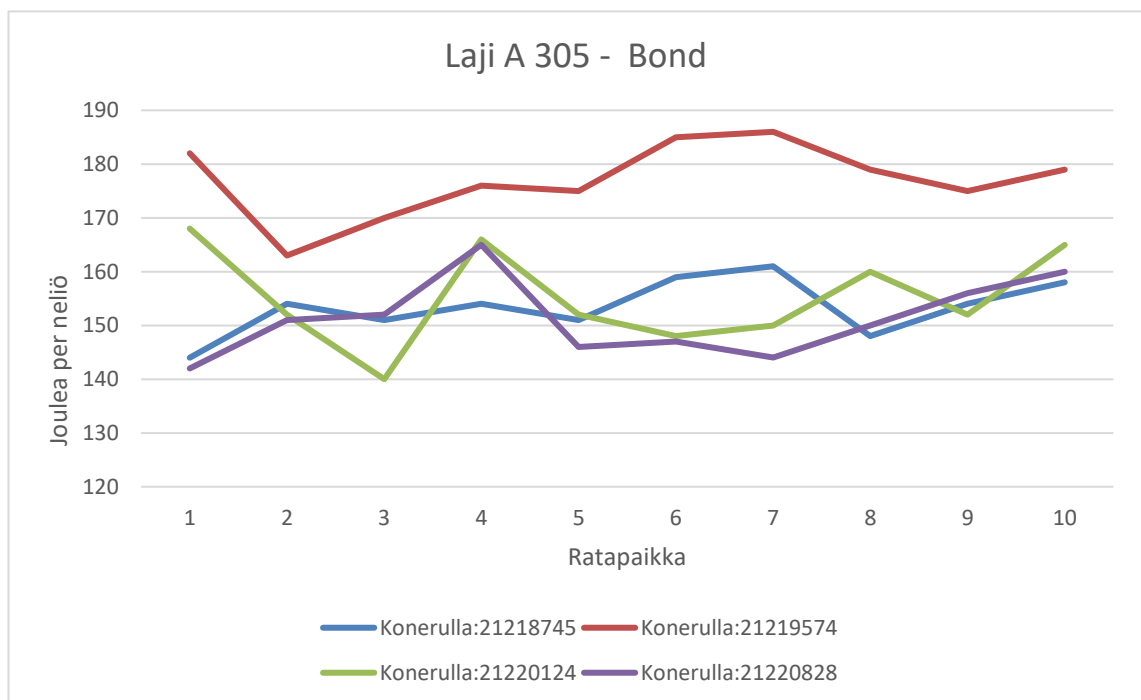
7.1.1 305

Lajin A 305 tuloksista piirretyistä profiileista (Kuvio 7. ja 8.) huomataan, että Z-lujuusmittarilla otettujen arvojen vaihteluväli on pienempää, profiilit ovat suurempia ja mittaus tulokset osuvat lähemmäksi toisiaan. Scott Bondissa taas huomataan suurta vaihtelua profiilin mittauspisteissä, joten hajonta on suurempaa.

Z-lujuusmittarin profiilit pysyvät hyvin samalla korkeudella alun ratapaikoista lopun ratapaikkoihin. Scott Bondin vastaavissa profiileissa huomataan paljon korkeuseroja ja piikkejä mikä lisää tuloksien epätarkkuutta. Tämän lajin Z-lujuuden profiileissa ei ole selkeitä poikkeamia, joten tulevaisuudessa tarkkailtavien ratapaikkojen määrittäminen on vaikeaa.

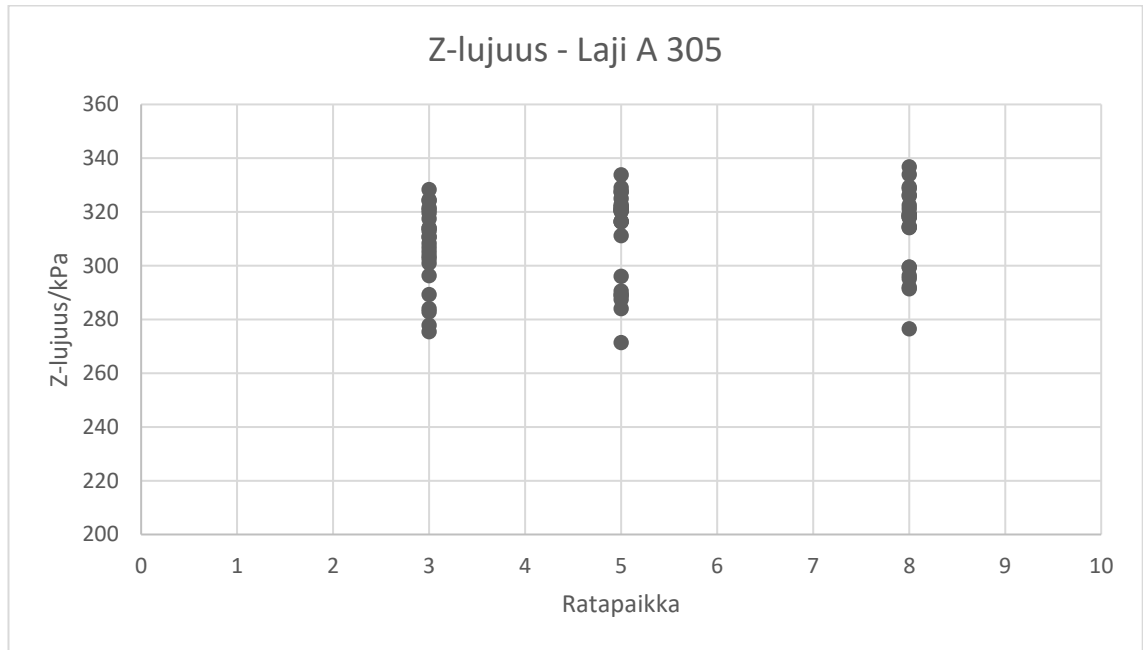


KUVIO.7 Z-lujuus – Laji A 305 profiilit

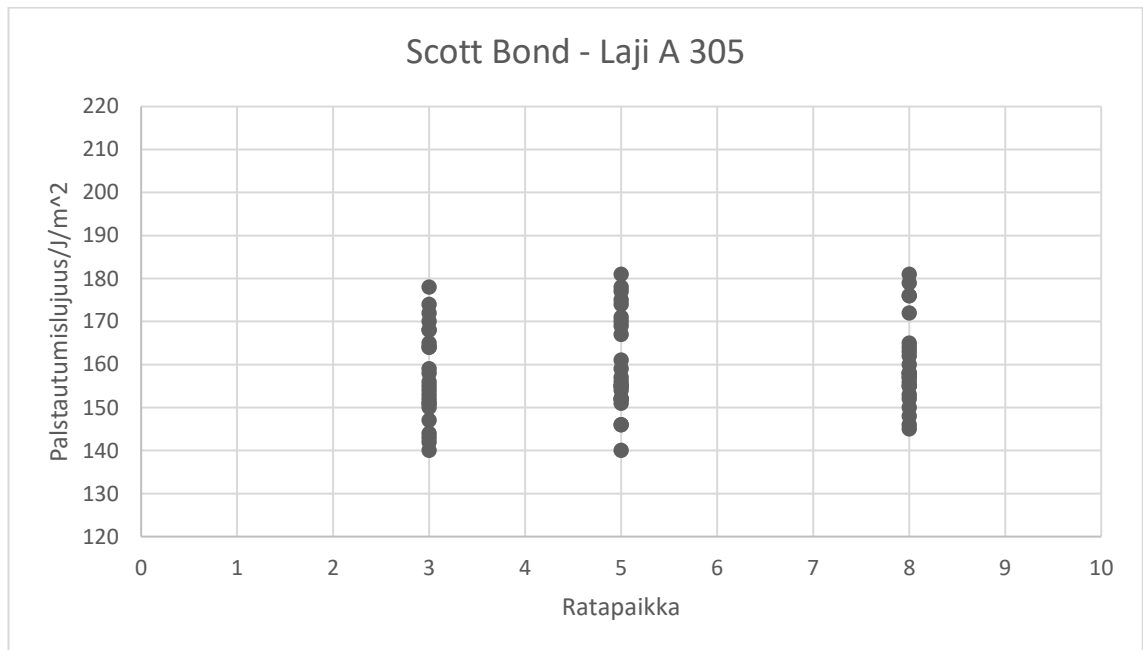


KUVIO 8. Scott Bond – Laji A 305 profiilit

Kun tarkastellaan ratapaikkoja 3,5 ja 8 (Kuviot 9. ja 10.) huomataan myös, että mittaus-tulokset jakaantuvat suuremmalle välille Scott Bondissa kuin Z-lujuudessa. Prosentuaalisesti hajonta on vielä suurempaa, kun näitä verrataan toisiinsa, sillä Scott Bondin kuvaajassa on pienemmät akseli välit kuin Z-lujuuden vastaavassa.



KUVIO 9. Z-lujuus – Laji A 305 ratapaikat 3,5 ja 8

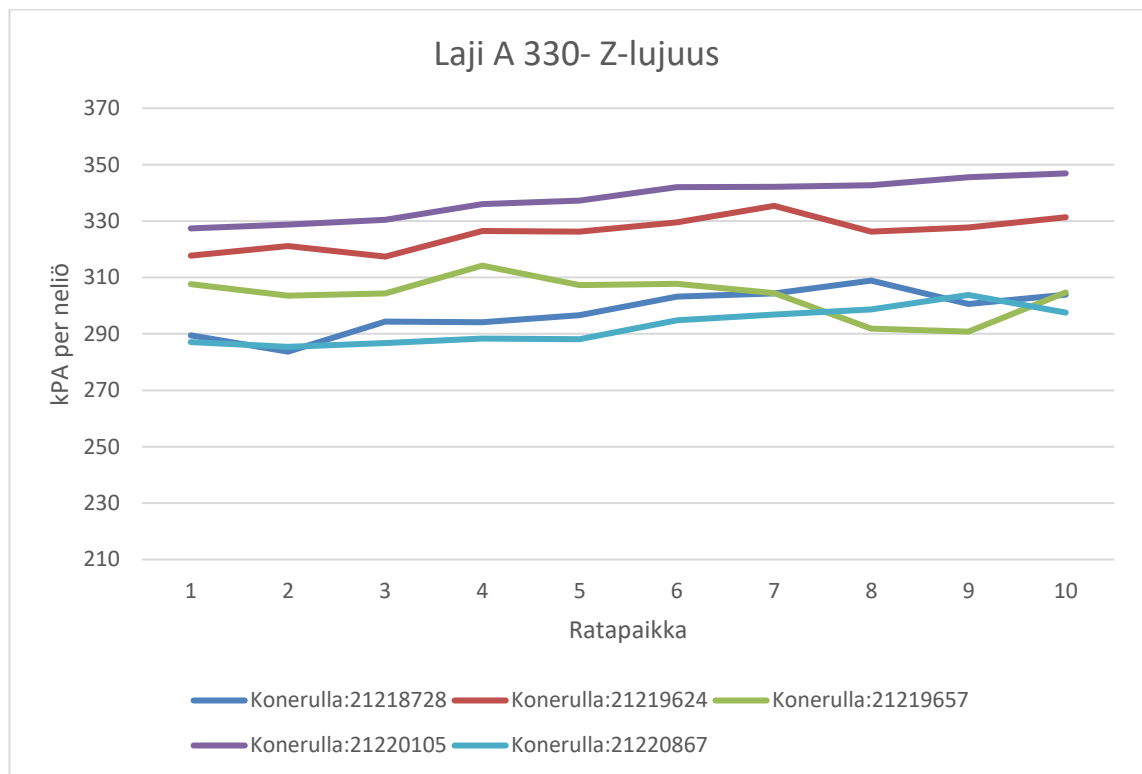


KUVIO 10. Scott Bond – Laji A 305 ratapaikat 3,5 ja 8

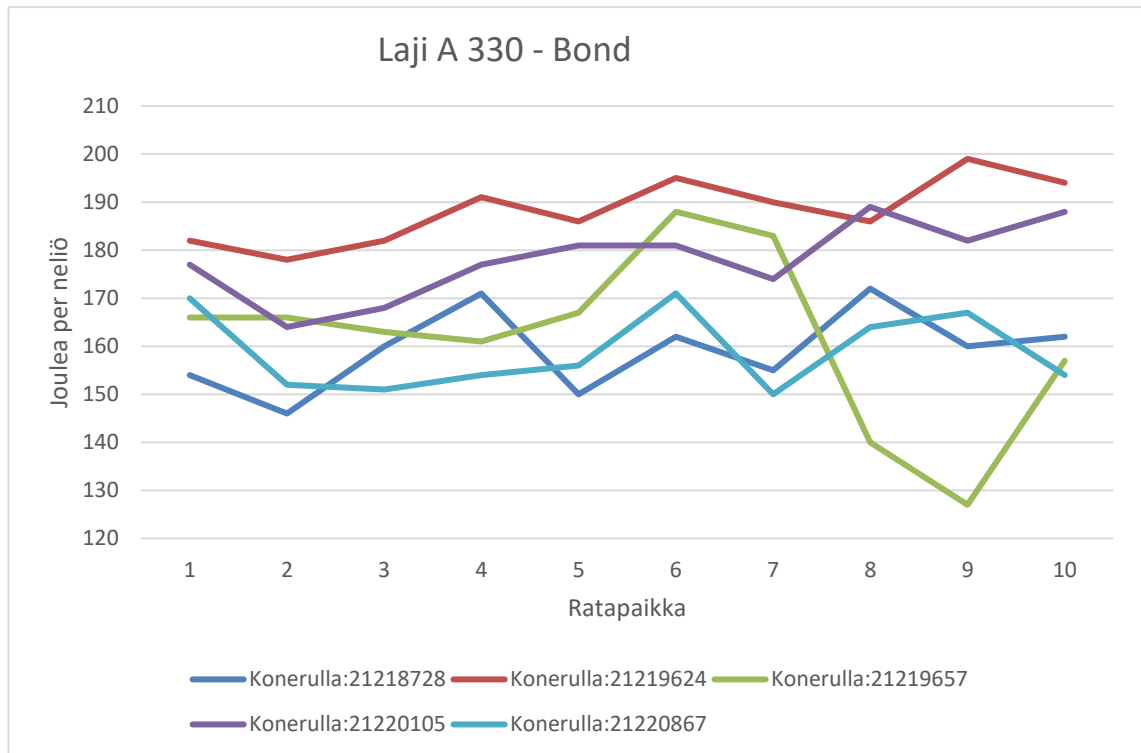
7.1.2 330

Tässä lajissa jatkuu sama trendi kuin A 305:ssa. Z-lujuusmittarin profiilit ovat suurin piirtein suoria ja korkeudeltaan samoja jokaisessa ratapaikassa (Kuvio 11). Kuitenkin jotain pieniä piikkejä muodostuu osiin profiileista. Erityisesti loppupään ratapaikoissa on suurempia eroja. Tulevaisuudessa olisi järkevää tarkastella tarkemmin loppupään ratapaikkoja. Profiileissa on myös selkeä kasvava trendi.

Scott Bondin tuloksista (Kuvio 12.) nähdään, että Scott Bondin profiileissa on taas suuria piikkejä ja korkeuseroja saman lajin sisällä. Profiilit kuitenkin alkavat suurin piirtein samalta korkeudelta. Erityisesti konerulla 21219657 eli vihreä profiili osuu silmään, sillä siinä on todella suurta hajontaa. Koska hajonta ja vaihteluväli ovat yleisesti suuria Scott Bondissa, niin on vaikea sanoa mistä tämä johtuu. Mahdollinen mittausvirhe on kuitenkin mahdollista tässä tapauksessa.



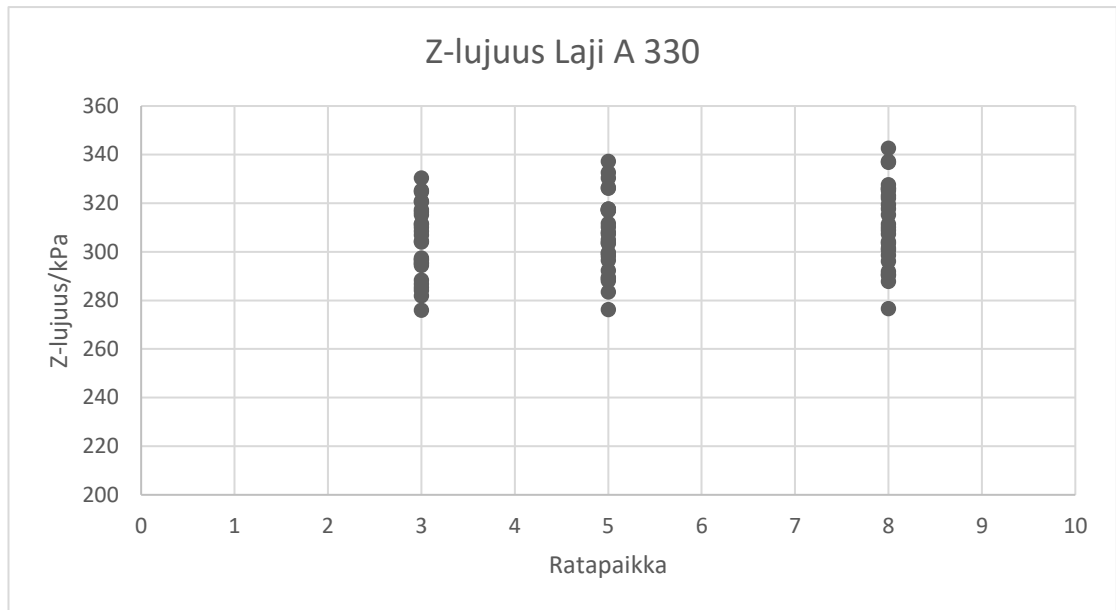
KUVIO 11. Z-lujuus – Laji A 330 profiilit



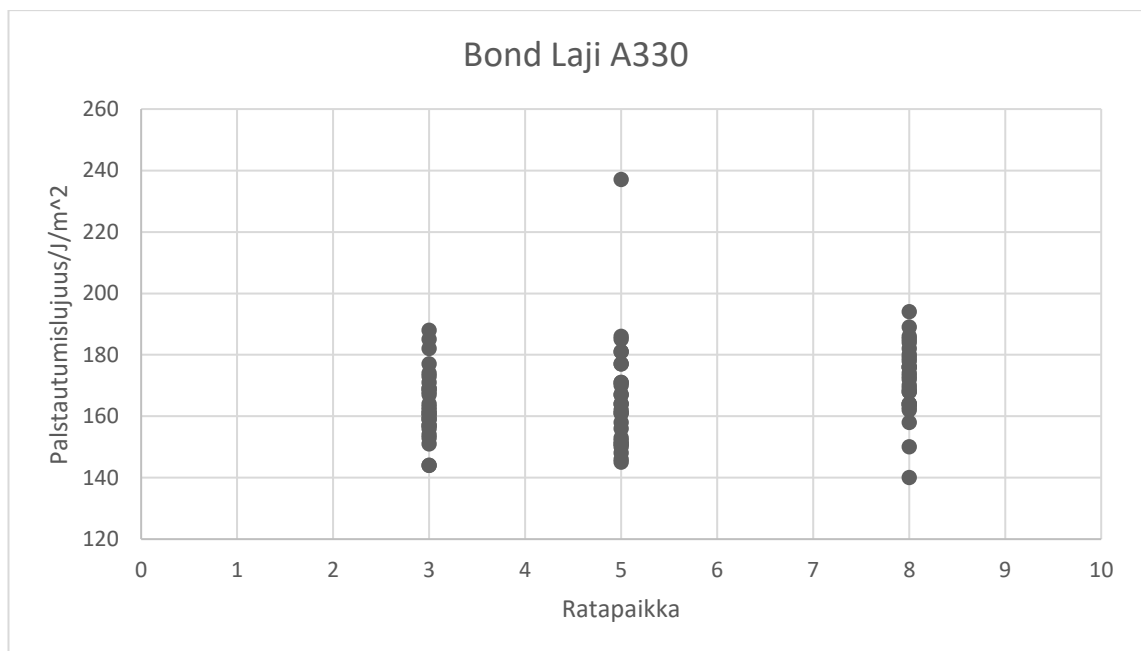
KUVIO 12. Scott Bond – Laji A 330 profiilit

Tarkastellessa tämän lajin ratapaikkoja 3,5 ja 8 (Kuviot 13. ja 14.) nähdään suurempaa hajontaa kuin aikaisemmissa lajeissa molempien mittareiden kohdalla. Scott Bondin arvoissa, ratapaikalla 5 yksi piste on selkeästi muita korkeammalla. Koska tämä piste eroaa niin selkeästi muista, voidaan olettaa, että tulos johtuu mittausvirheestä. Scott Bondin tapauksessa luultavasti teipistä tai sen käsittelystä johtuvasta mittausvirheestä.

Z-lujuuden profiili näyttää suurin piirtein samalta kuin aikaisemman lajin profiili, mutta hiukan suuremmalla hajonnalla.



KUVIO 13. Z-lujuus – Laji A 330 ratapaikat 3,5 ja 8

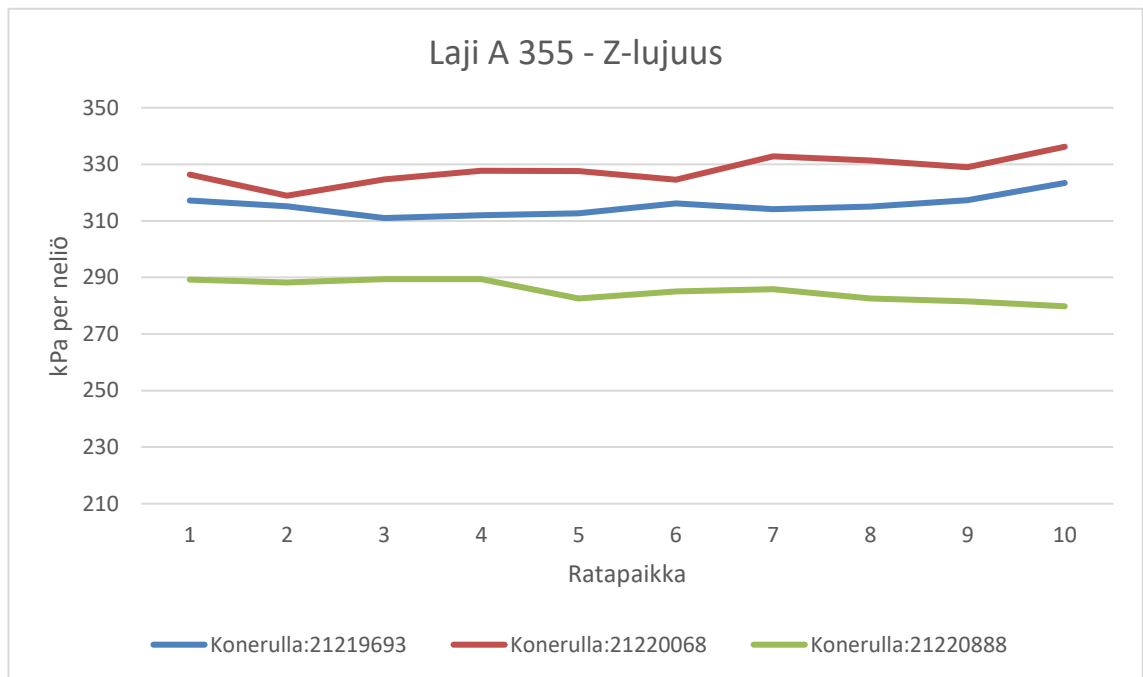


KUVIO 14. Scott Bond – Laji A 330 ratapaikat 3,5 ja 8

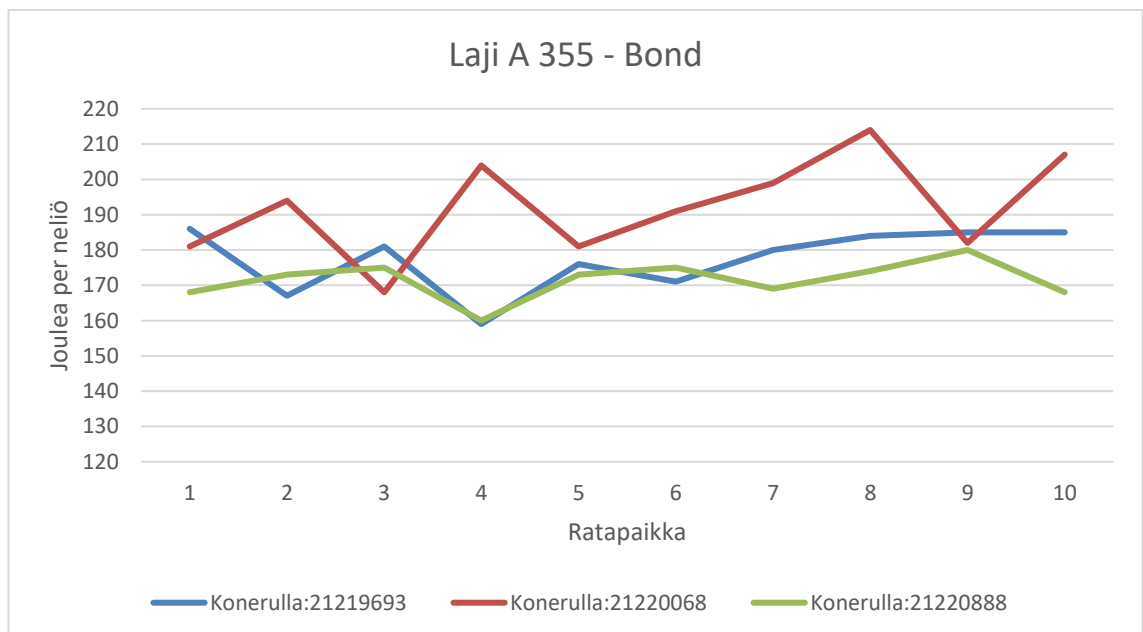
7.1.3 355

Z-lujuudessa (Kuvio 15.) kaksi profiilia ovat samalla korkeudella ja yksi eroaa selkeästi kahdesta muusta korkeudellisesti. Kuitenkin myös harmaa profiili on kohtuullisen suora, joten voidaan olettaa, että näiden korkeusero johtuu jostain mittauksesta riippumattomasta syystä. Tässäkin lajissa tulevaisuudessa kannattaisi ottaa loppupään ratapaikat tarkempaan tarkkailuun. Kaksi profiilia lähtee selkeästi nousuun loppupäässä ja yksi profiili laskee.

Scott Bondin tuloksista huomataan sama trendi kuin aiemmissa lajeissa, profiilit alkavat suurin piirtein samalta korkeudelta, mutta hajonta profiilien arvoissa on suurta. Erityisesti konerullan 21220068 eli punaisen profiilin kohdalla vaihteluväli kasvaa suureksi. Suurimmat piikit ovat ratapaikoilla 4 ja 8.



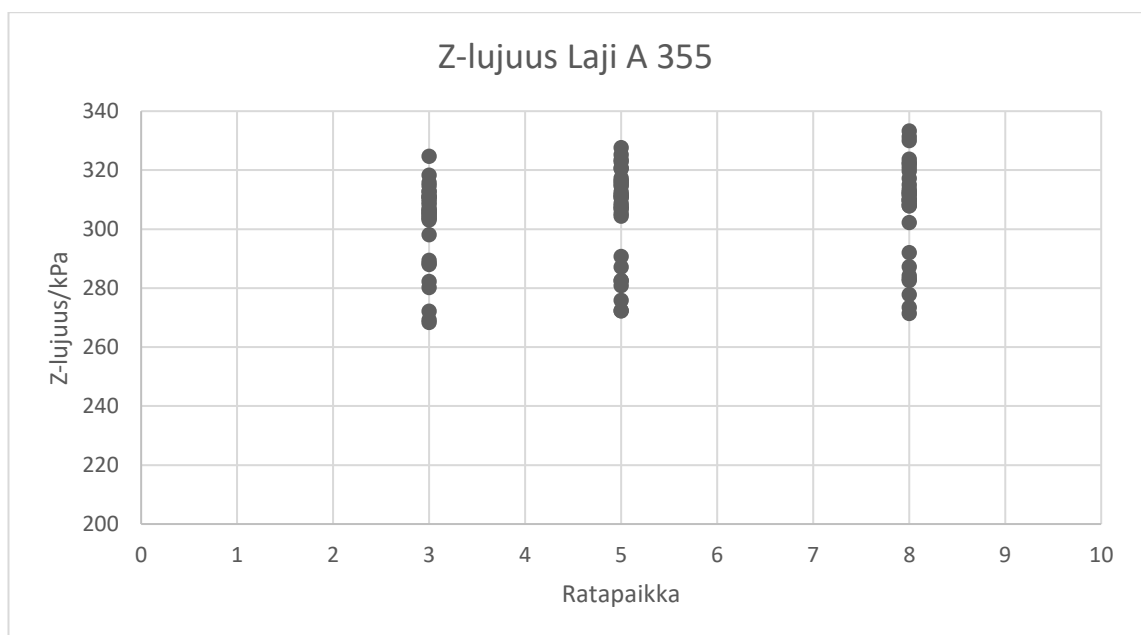
KUVIO 15. Z-lujuus – Laji A 355 profiilit



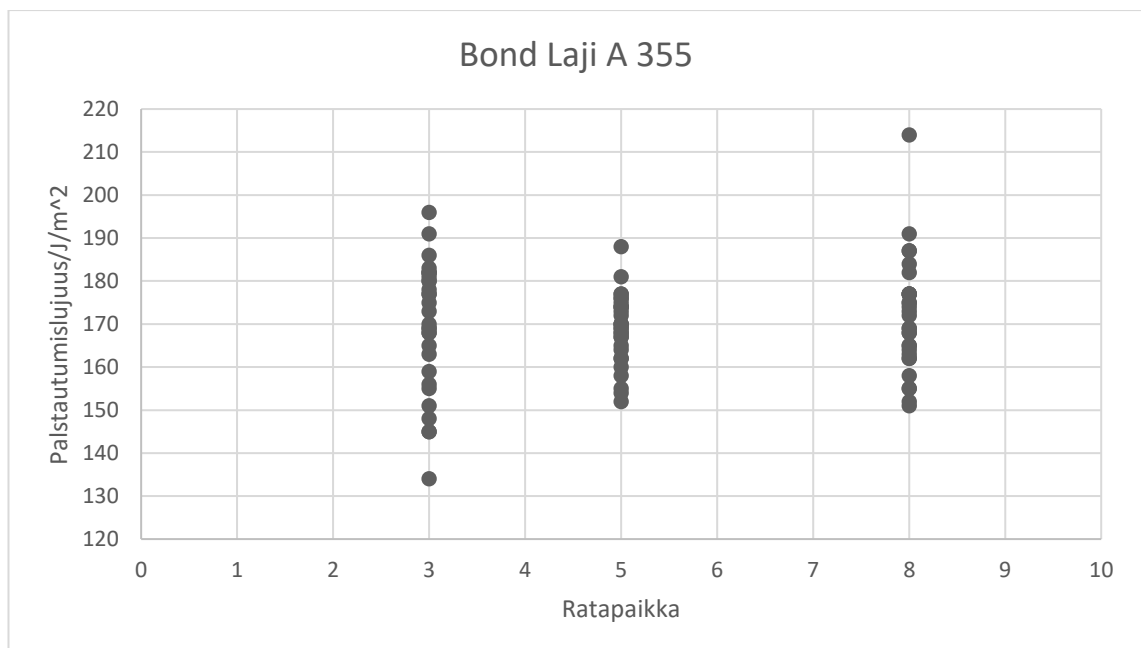
KUVIO 16. Scott Bond – Laji A 355 profiilit

Z-lujuuden ratapaikoilla 3, 5 ja 8 (Kuvio 17.) ei huomata juuri mitään poikkeavaa edellisiin lajeihin verrattuna. Ainoa ero on, että arvoissa on kaksi rykelmää. Tämä johtuu luultavasti vihreästä profiilista kuviossa 15, sillä se on alempana verrattuna kahteen muuhun.

Scott Bondin arvoissa (Kuvio 18.) on todella suurta hajontaa. Erityisesti ratapaikan 3. kohdalla vaihteluväli on todella suuri. Myös ratapaikalla 8. yksi mittaustulos on selkeästi erossa muista.



KUVIO 17. Z-lujuus – Laji A 355 ratapaikat 3,5 ja 8

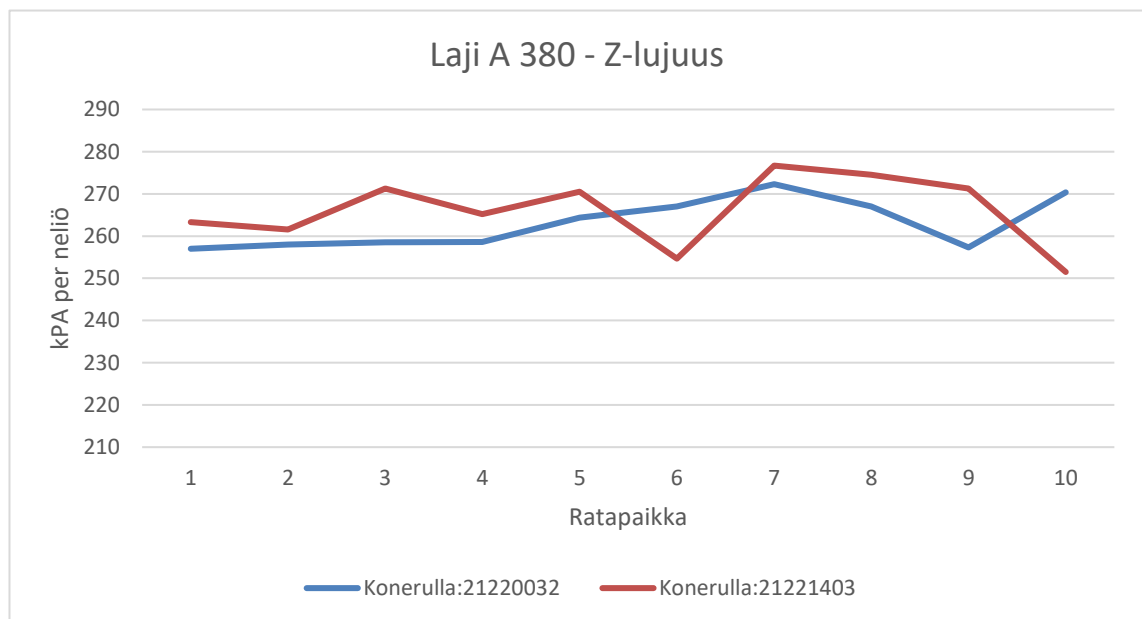


KUVIO 18. Scott Bond – Laji A 355 ratapaikat 3,5 ja 8

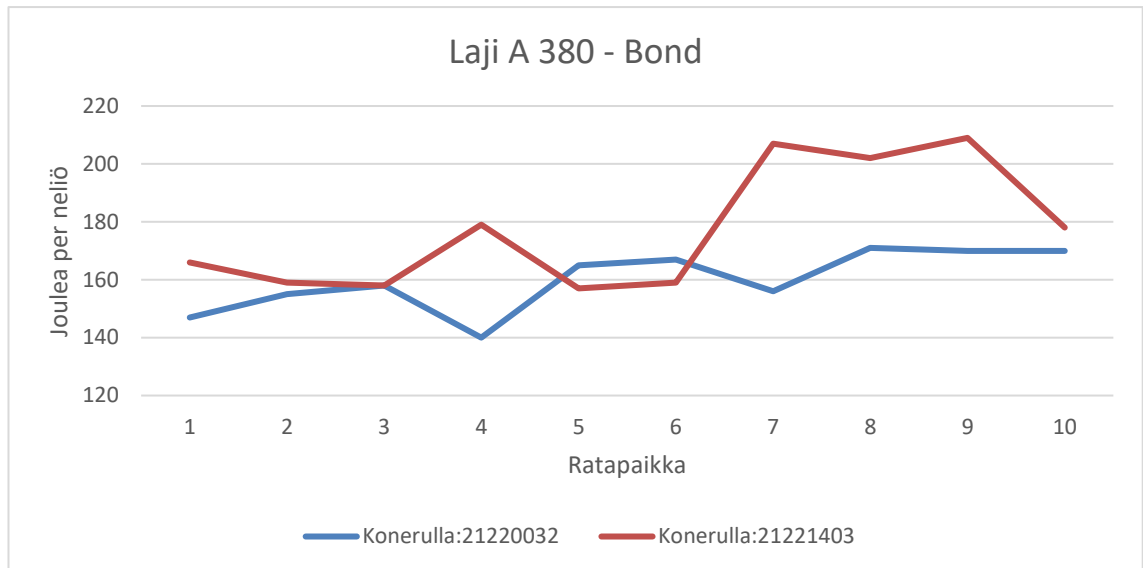
7.1.4 380

Tässä lajissa Z-lujuuden profiileissa (Kuvio 19.) on selkeästi enemmän piikkejä kuin aikaisemmissa lajeissa. Huomataan, että hajonta lisääntyy selkeästi neliömassan kasvaessa, mikä todettiin jo aikaisemmin tuloksien keskiarvoja analysoidessa. Profiilien korkeudesta on vaikea sanoa mitään, koska tässä lajissa mittauksia otettiin vain kahdesta tuotantoajosta. Tässä lajissa olisi järkevä laittaa jokainen ratapaikka tarkkailuun, sillä hajonta kasvoi selkeästi lähes joka ratapaikalla.

Scott Bond profiileissa (Kuvio 20.) jatkuu sama trendi kuin kaikissa aikaisemmissakin neliömassoissa eli piikkejä on paljon ja hajonta on suurta. Neliömassan kasvu ei tee mitään selkeää muutosta profiileihin.



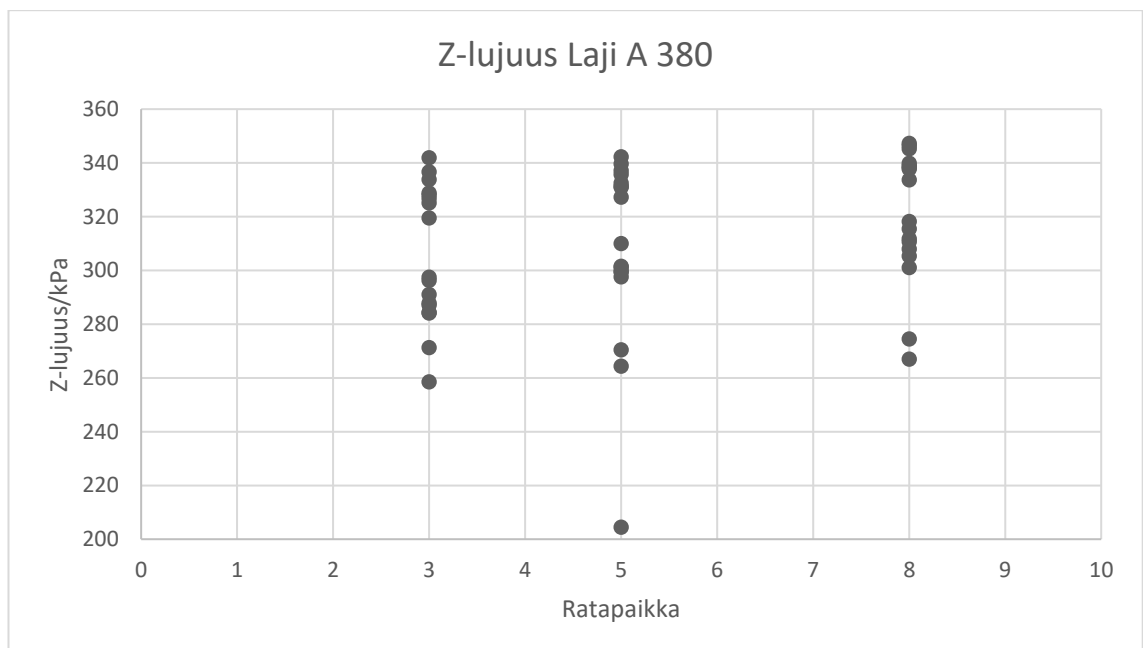
KUVIO 19. Z-lujuus – Laji A 380 profiilit



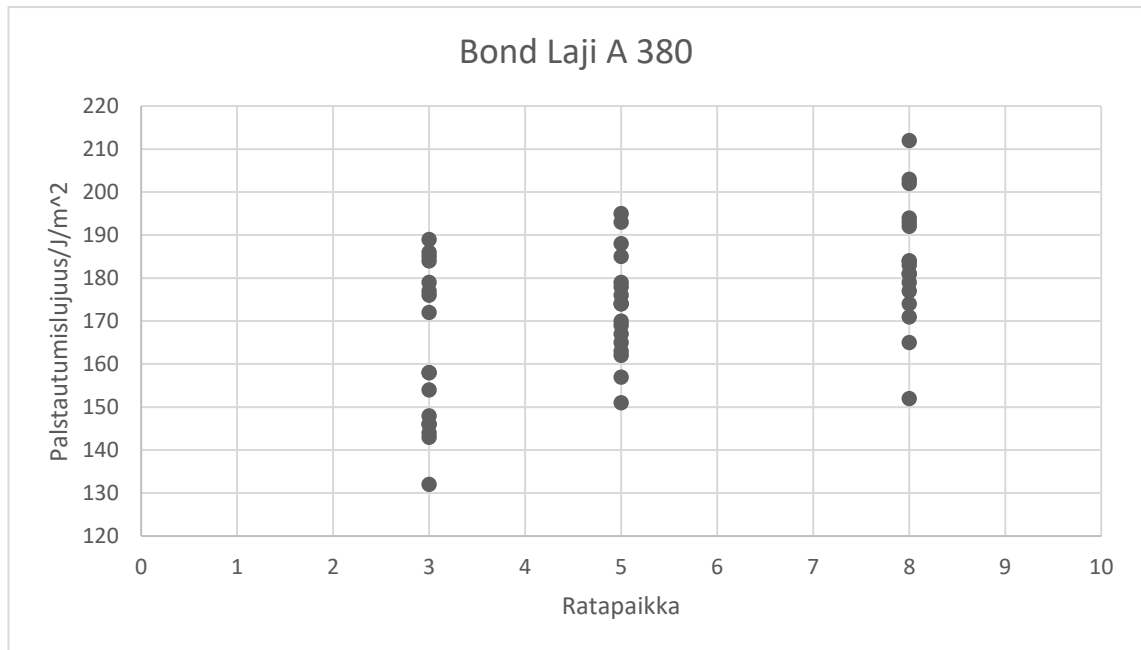
KUVIO 20. Scott Bond – Laji A 380 profiilit

Ratapaikkojen 3,5 ja 8 arvoista (Kuvio 21. ja 22.) huomataan myös sama kuin profiileista. Z-lujuuden arvoissa on selkeästi enemmän hajontaa kuin alhaisemmissa neliömassoissa. Myös vaihteluväli kasvaa todella suureksi.

Scott Bond tuloksissa (Kuvio 22.) jatkuu samanlainen trendi kuin muiden lajien kohdalla.



KUVIO 21. Z-lujuus – Laji A 380 ratapaikat 3,5 ja 8



KUVIO 22. Scott Bond – Laji A 380 ratapaikat 3,5 ja 8

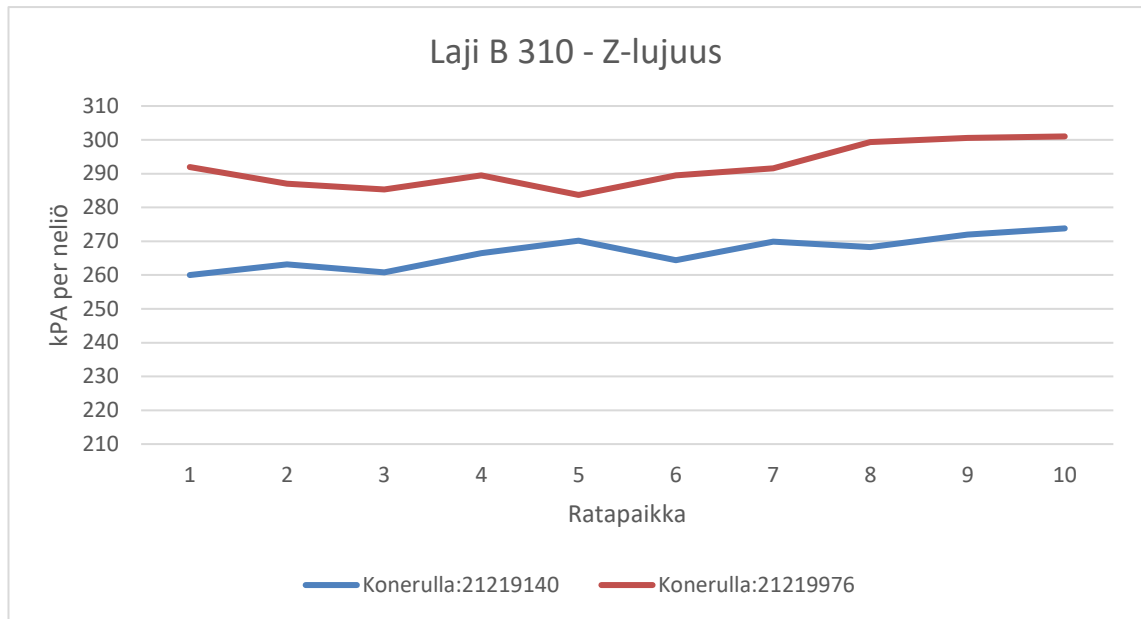
7.2 Tuote B

7.2.1 310

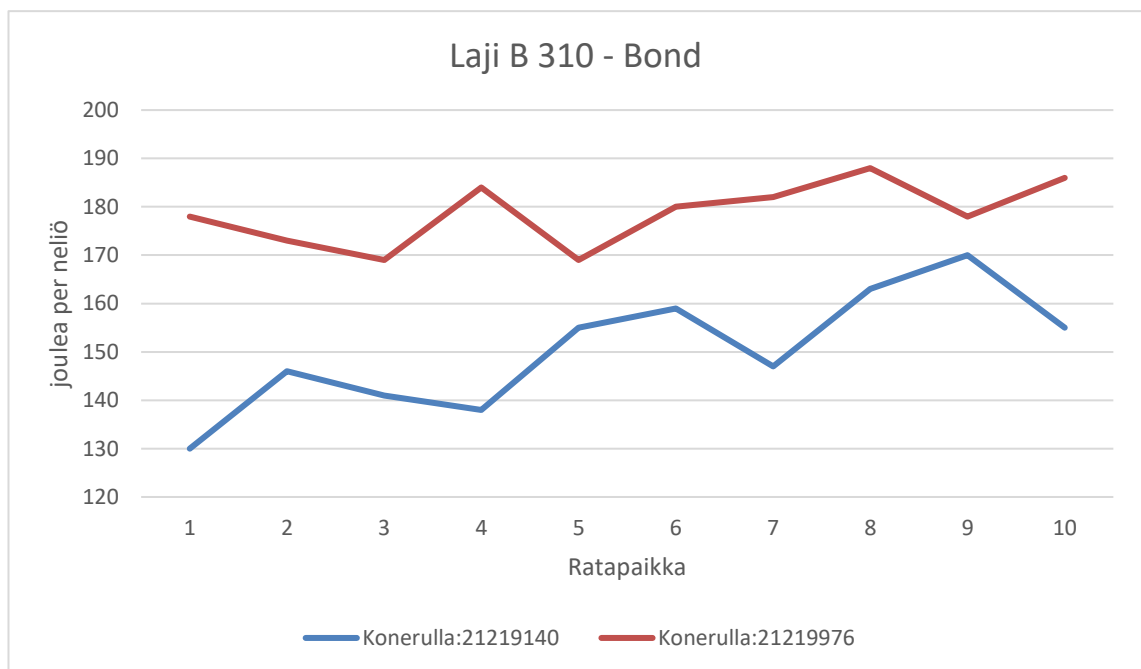
Lajin profiileista (Kuvio 23. ja 24.) nähdään heti, että profiileja on vähemmän kuin aikaisemmissa lajeissa. Tämä johtuu siitä, että joko vastuussa oleva vuoro on unohtanut ottaa näytteet osista tuotantoajoista tai lajia on ollut vähemmän ajossa mittauksia tehtäessä.

Profiileista huomataan selkeästi, että hajonta ja vaihteluväli ovat paljon suurempia Scott Bondissa kuin Z-lujuudessa. Sama trendi siis jatkuu tässäkin lajiryhmässä kuin lajiryhmässä A. Koska tuotantoajoja on tässä lajissa vain kaksi, on vaikea sanoa, onko Z-lujuuden profiileissa selkeitä korkeus poikkeamia. Koska tuotantoajoja on mitattu vain kaksi, tulevaisuudessa olisi järkevää tarkkailla kaikkia ratapaikkoja ainakin aluksi.

Kuitenkin Scott Bond profiilit (Kuvio 24.) ovat selkeästi eri korkeudella. Myös Scott Bondissa jatkuu sama trendi kuin tuotteessa A, suurta hajontaa ja vaihteluväli on suuri.

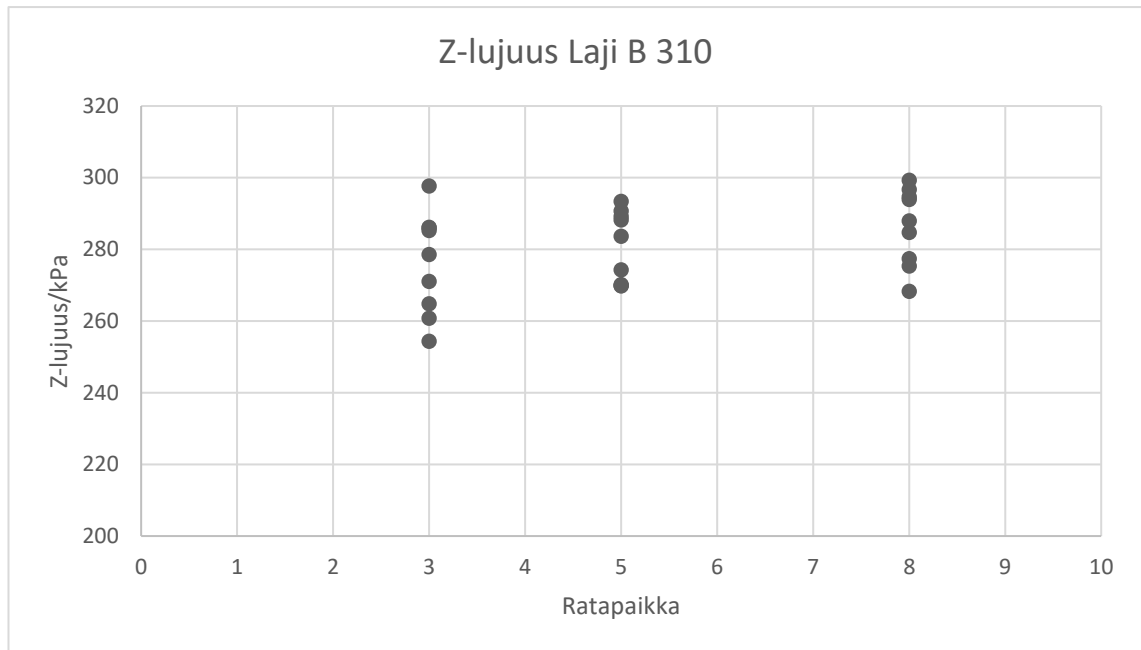


KUVIO 23. Z-lujuus – Laji B 310 profiilit

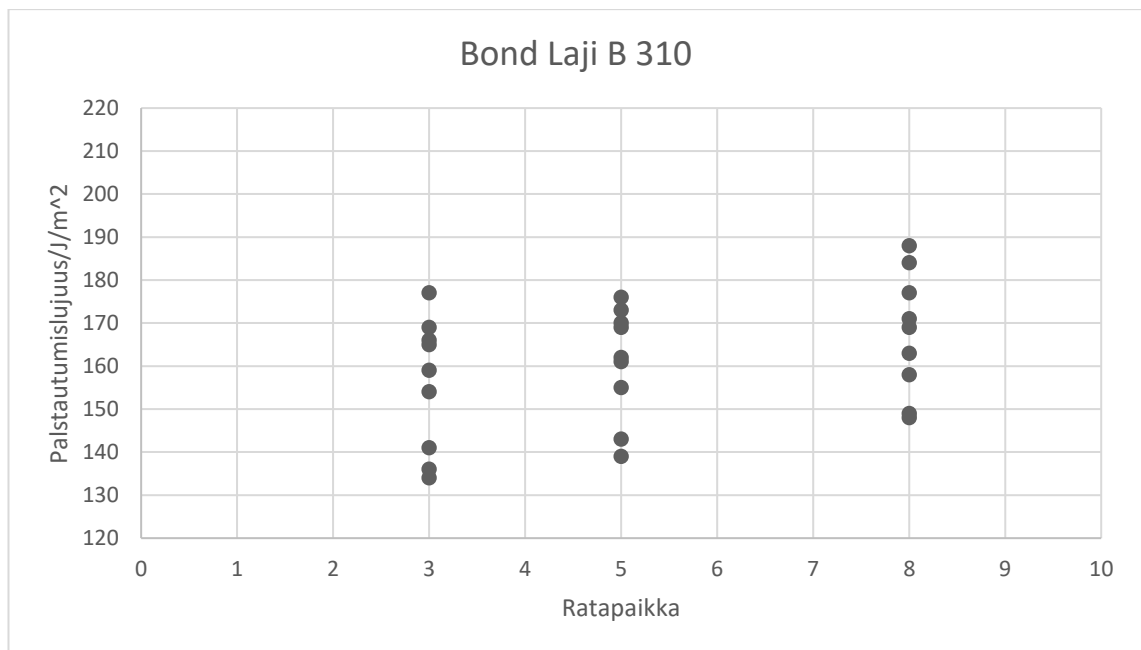


KUVIO 24. Scott Bond – Laji B 310 profiilit

Myöskään ratapaikkojen 3,5 ja 8 - profiileista (Kuvio 25. ja 26.) ei huomata mitään uutta verrattuna aikaisempaan tuotteeseen. Ainoa ero on pisteiden määrä, joka mainittiin jo aikaisemmin.



KUVIO 25. Z-lujuus – Laji B 310 ratapaikat 3,5 ja 8

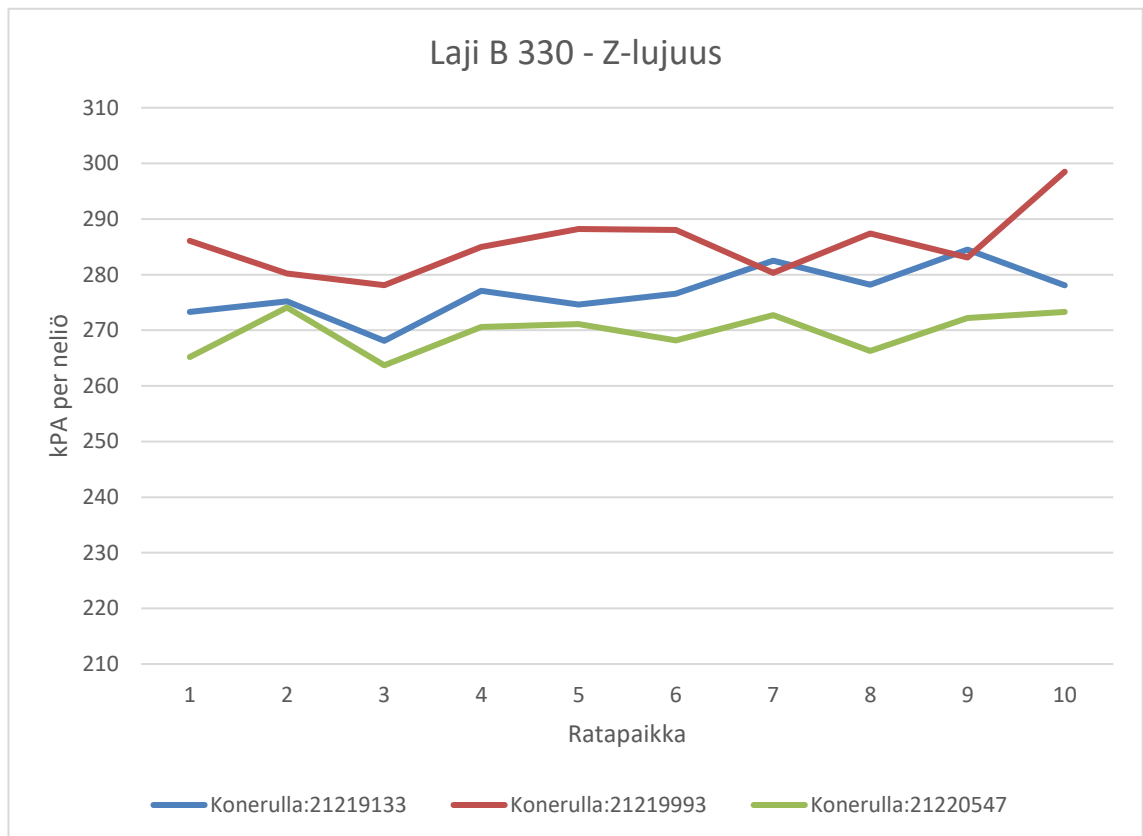


KUVIO 26. Scott Bond – Laji B 310 ratapaikat 3,5 ja 8

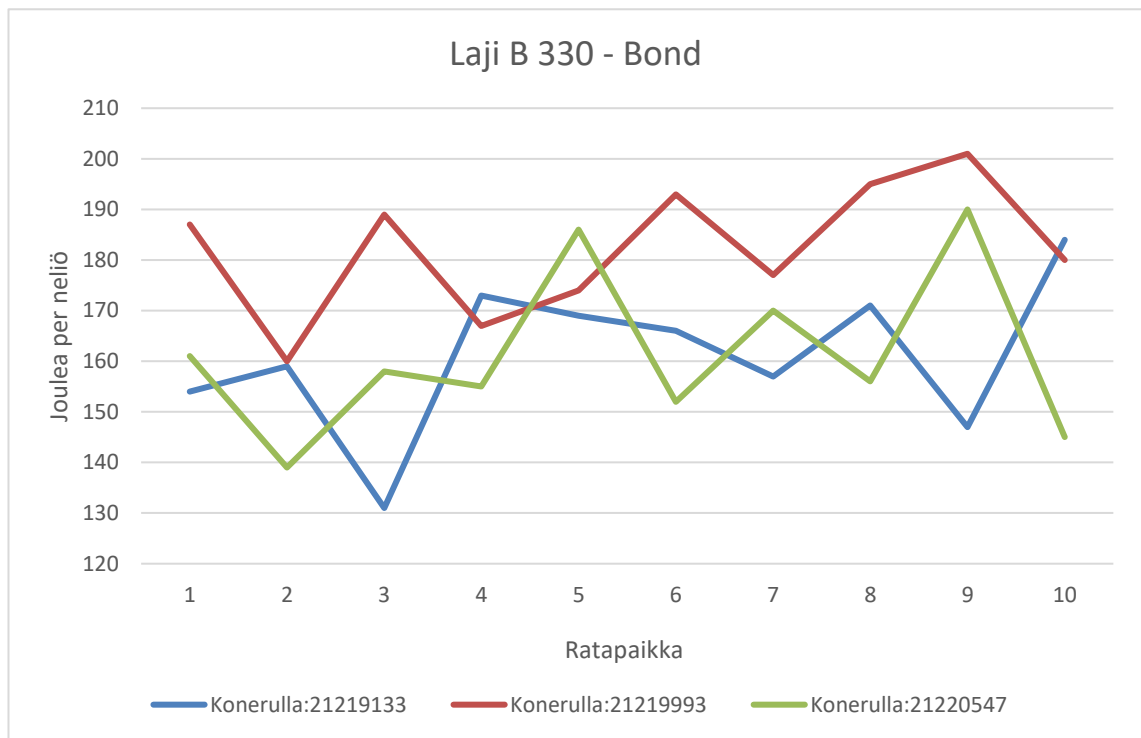
7.2.2 330

Z-lujuuden profiileista huomataan, että hajonta on tässä lajiryhmässä yleisesti suurempaa kuin tuotteen A lajeissa. Kaikki profiilit alkavat suurin piirtein samalta korkeudelta mutta tekevät pieniä piikkejä monessa kohtaa. Erityisesti ratapaikoissa 2, 3, 7, 8 ja 9. Tulevaisuuden laadunhallinnassa olisi järkevää tarkkailla erityisesti näitä ratapaikkoja.

Scott Bondin tuloksista (Kuvio 28.) huomataan heti, että profiileissa on paljon piikkejä ja ne ovat eri korkeudella toisiinsa verrattuna. Tämä kertoo suuresta hajonnasta ja vaihteluvälistä. On vaikea sanoa mistä profiilien korkeuserot johtuvat, sillä Scott Bondissa on ollut suurta hajontaa molemmissa lajiryhmissä ja kaikissa neliömassoissa tähän asti. Kuitenkin hajonta on vielä selkeästi suurempaa kuin tuotteessa A.

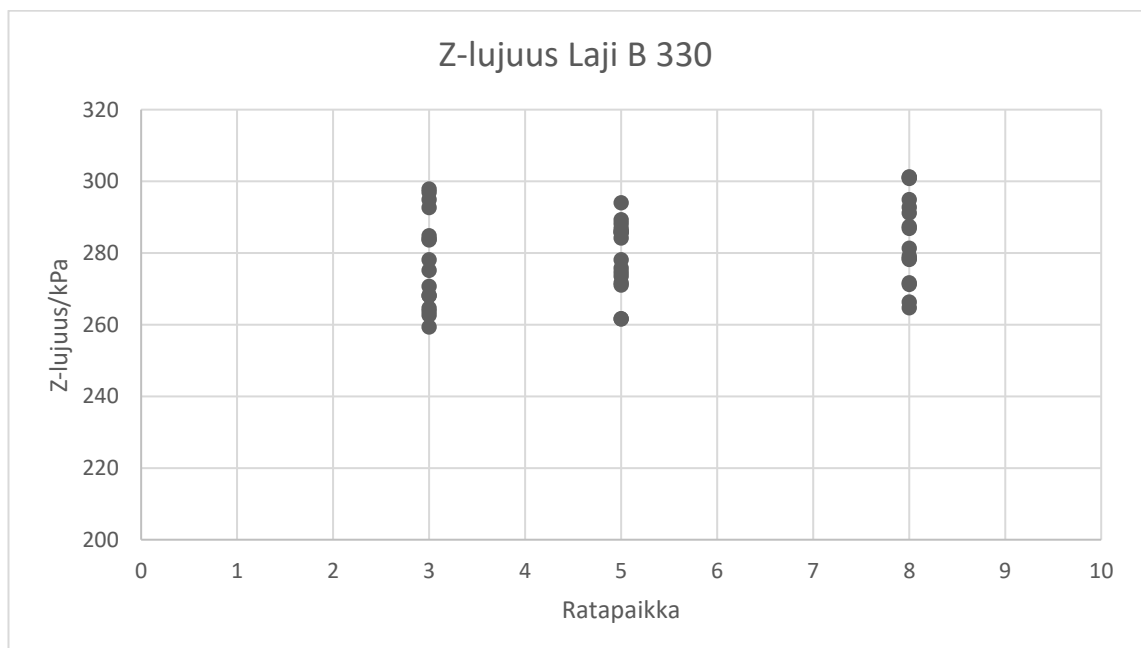


KUVIO 27. Z-lujuus – Laji B 330 profiilit

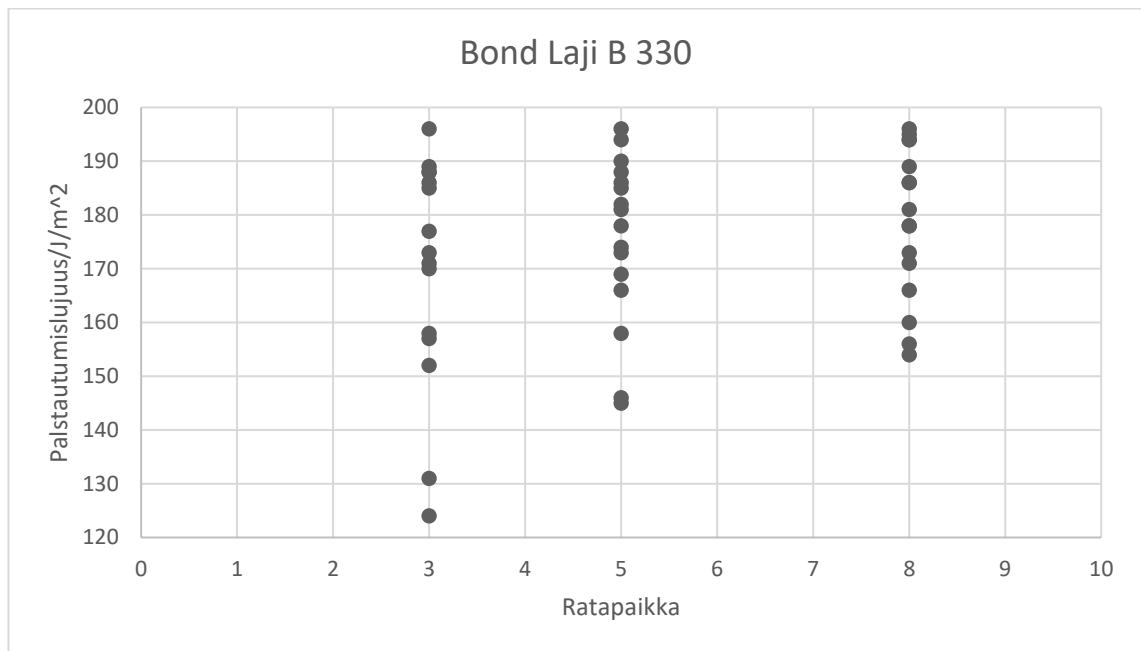


KUVIO 28. Scott Bond – Laji B 330 profiilit

Kun tutkitaan ratapaikkojen 3, 5 ja 8 profiileja, huomataan, että Z-lujuuden tuloksien (Kuvio 29) hajonta ja vaihteluväli ovat pieniä. Scott Bondin vastaavissa tuloksissa (Kuvio 30.) hajonta on todella suurta ja vaihteluväli kasvaa huippu lukemiin. Erityisesti ratapaikan 3 kohdalla mittaustuloksia on ihan laidasta laitaan, mikä on todella huono asia Scott Bondin tuloksien luotettavuuden kannalta. Myös ratapaikoissa 5 ja 8 on todella suurta hajontaa.



KUVIO 29. Z-lujuus – Laji B 330 ratapaikat 3,5 ja 8

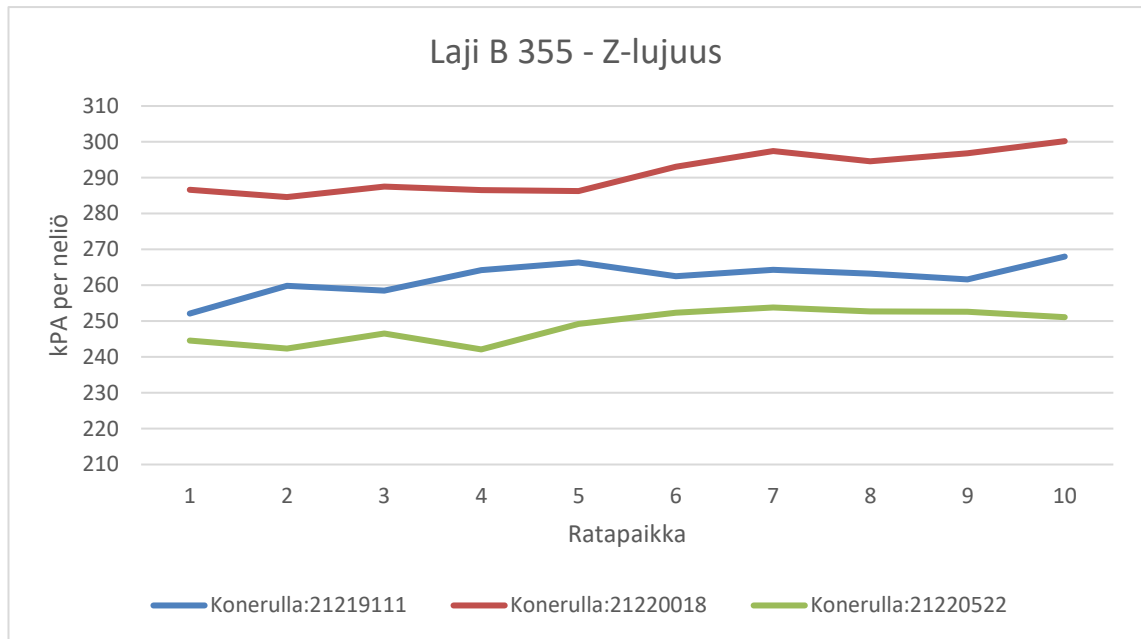


KUVIO 30. Scott Bond – Laji B 330 ratapaikat 3,5 ja 8

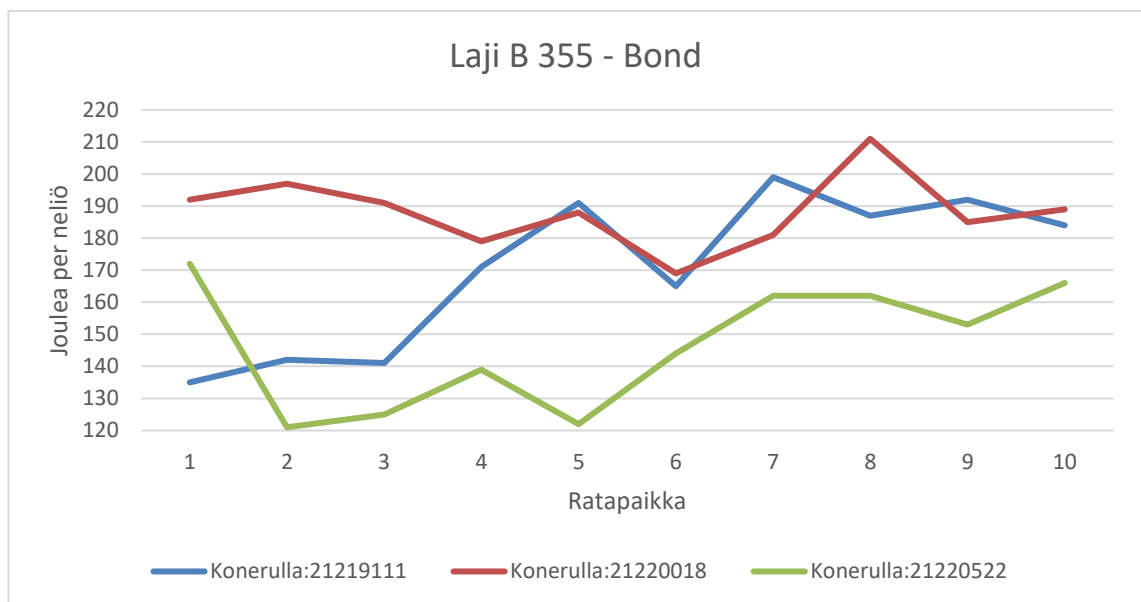
7.2.3 355

Z-lujuuden profiileista (Kuvio 31.) huomataan heti ensimmäisenä, että konerullan 21220018 eli punainen profiili on kahta muuta profiilia selkeästi korkeammalla. Profiili on kuitenkin kohtuu suora, joten voidaan olettaa, että profiilin korkeus johtuu mittauksiin riippumattomista tekijöistä. Tässä lajissa hajonta ei kasvanut niin selkeästi suhteessa neliömassaan. Muuten profiilit ovat melko suoria, joten hajonta on pientä. Alkupäässä suurempaa hajontaa, joten olisi järkevää tulevaisuuden laadunhallinnassa tarkkailla alkupään ratapaikkoja tarkemmin.

Scott Bondin kohdalla (Kuvio 32.) kaikki profiilit näyttävät olevan eri korkeudella. Myös kaikissa profiileissa on todella paljon hajontaa. Tässä lajissa on todella paljon eroja profiilien korkeuksien välillä. Voidaan sanoa, että Scott Bondin hajonta kasvaa vielä suuremmaksi tuotteessa B kuin tuotteessa A.



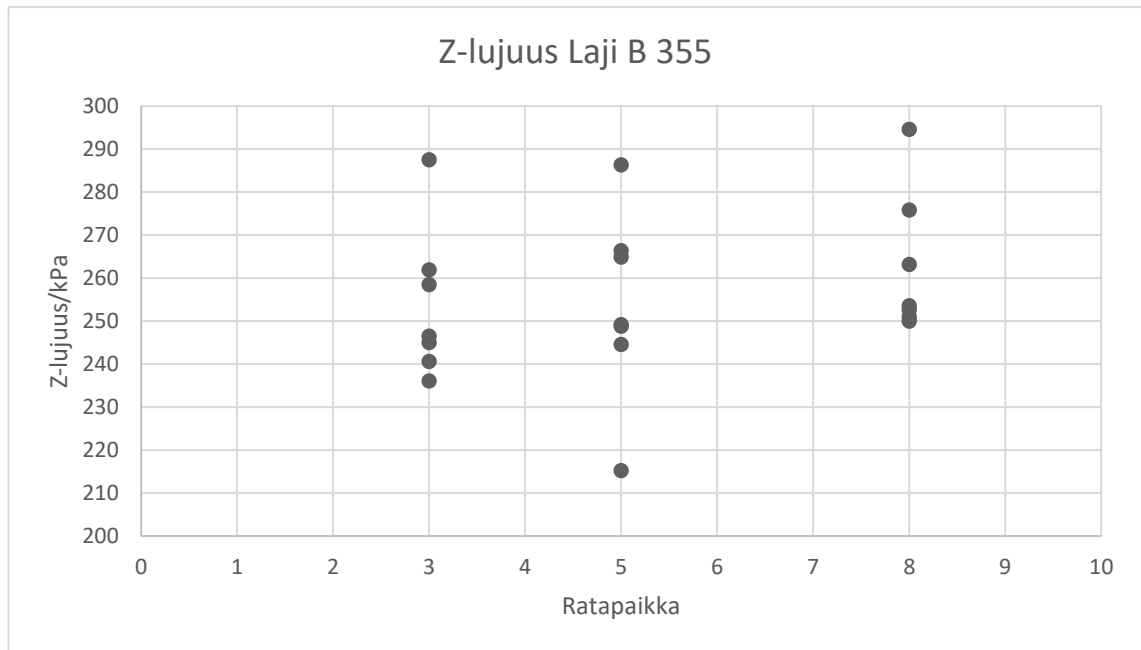
KUVIO 31. Z-lujuus – Laji B 355 profiilit



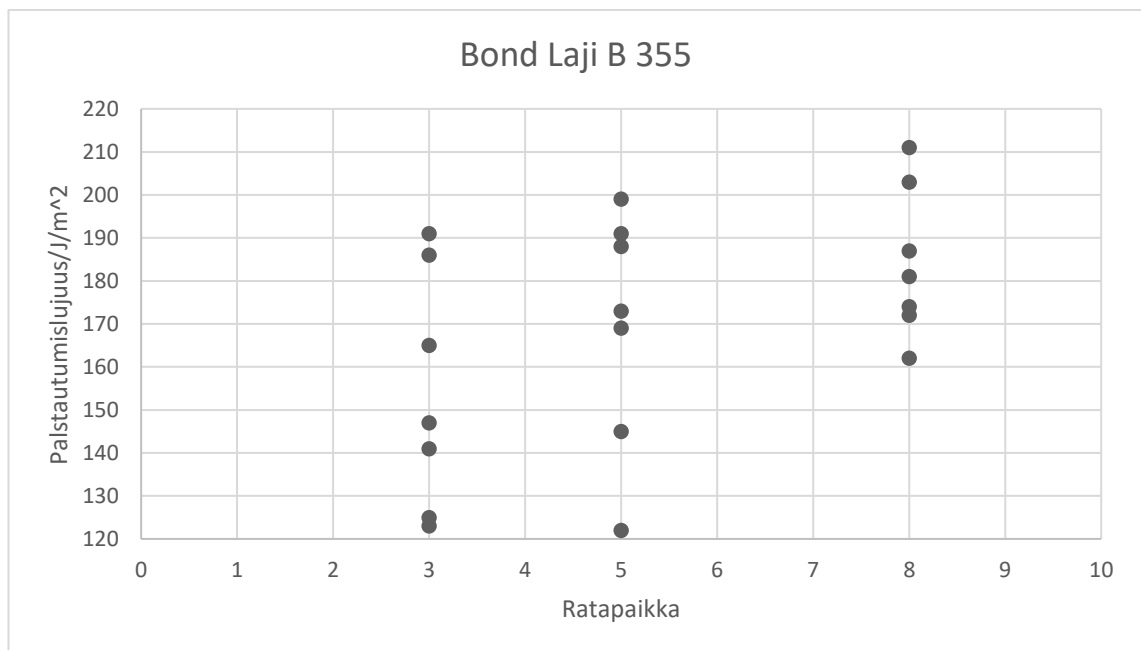
KUVIO 32. Scott Bond – Laji B 355 profiilit

Z-lujuuden ratapaikkojen 3.5 ja 8 profiileissa on selkeästi suurin vaihteluväli tähän asti. Tämä johtuu profiilien korkeuseroista, joka taas johtuu mittauksista riippumattomista tekijöistä.

Scott Bondin vastaavissa profiileissa (Kuvio 34.) pisteet ovat myös jakaantuneet suurelle vaihteluvälille, mutta tämä ei ole Scott Bondin kohdalla mitenkään poikkeavaa.



KUVIO 33. Z-lujuus – Laji B 355 ratapaikat 3,5 ja 8



KUVIO 34. Scott Bond – Laji B 355 ratapaikat 3,5 ja 8

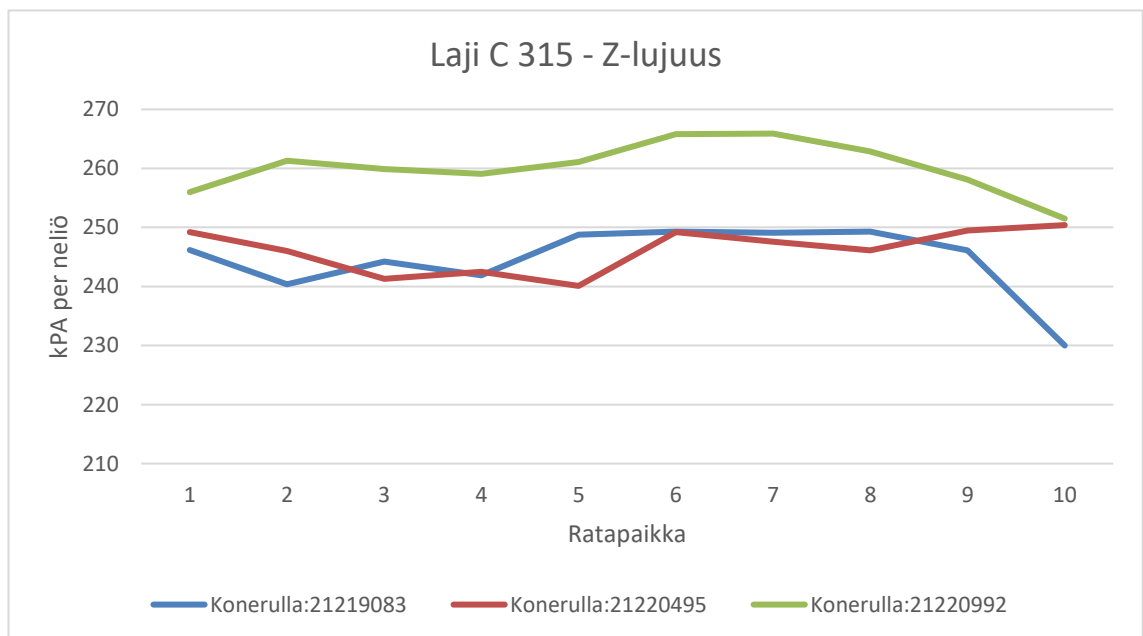
7.3 Tuote C

7.3.1 315

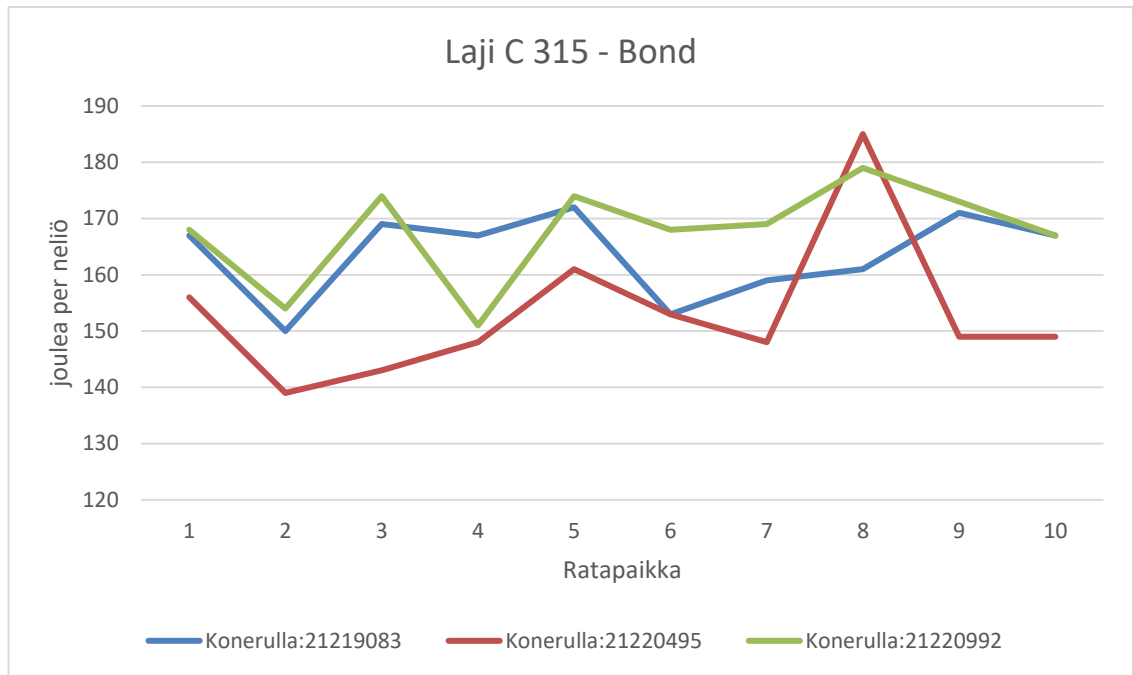
Z-lujuuden (Kuvio 35.) profiileissa hajonta on suurempaa erityisesti profiilien loppupäässä. Profiilit ovat selkeästi loppua kohden laskevia. Lisäksi niiden välille muodostuu myös pieniä korkeuseroja. Konerulla 21220992 eli vihreä profiili on hiukan kahta muuta

korkeammalla. Laadunhallinnassa olisi järkevää tarkkailla erityisesti loppupään ratapaikkoja.

Scott Bondin profiileissa (Kuvio 36.) huomaamme, että mittaustulosten välillä on hajontaa ja vaihteluväli on kohtuullisen suuri. Kuitenkin Scott Bondille tämä hajonta on keski-vertoa pienempää verrattaessa aikaisempiin tuotteisiin. Erityisen suuri piikki huomataan ratapaikan 8. kohdalla, jossa on selkeästi suurempi piikki. Profiilit ovat kuitenkin suurin piirtein samalla korkeudella, vaikka profiilien ratapaikkojen välillä onkin selkeää hajontaa.



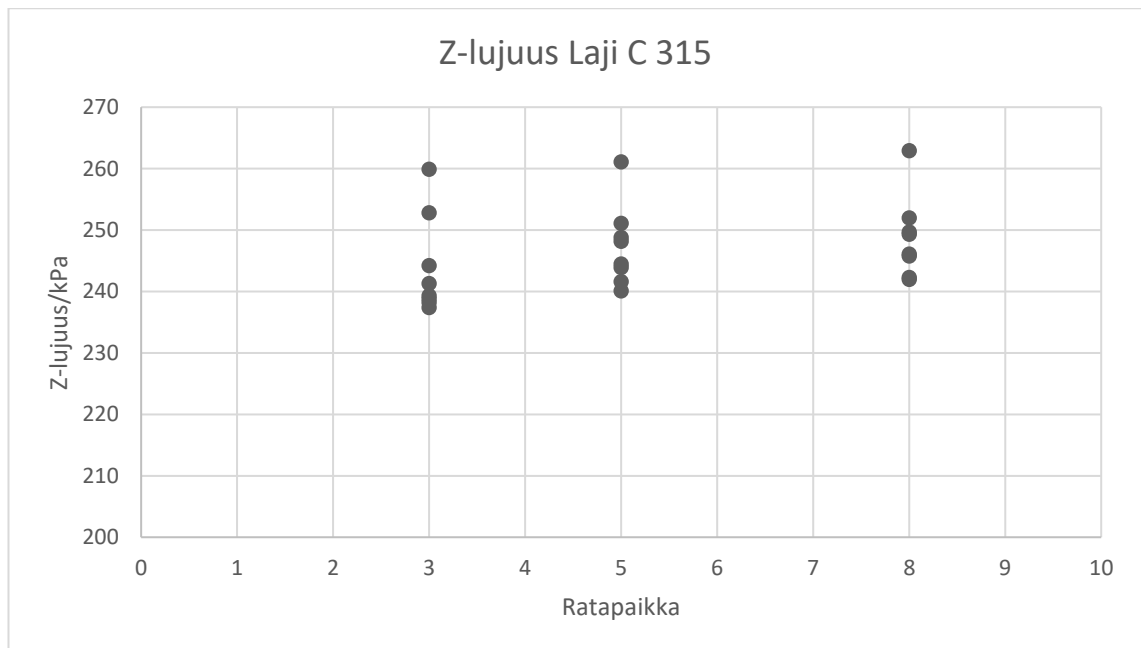
KUVIO 35. Z-lujuus – Laji C 315 profiilit



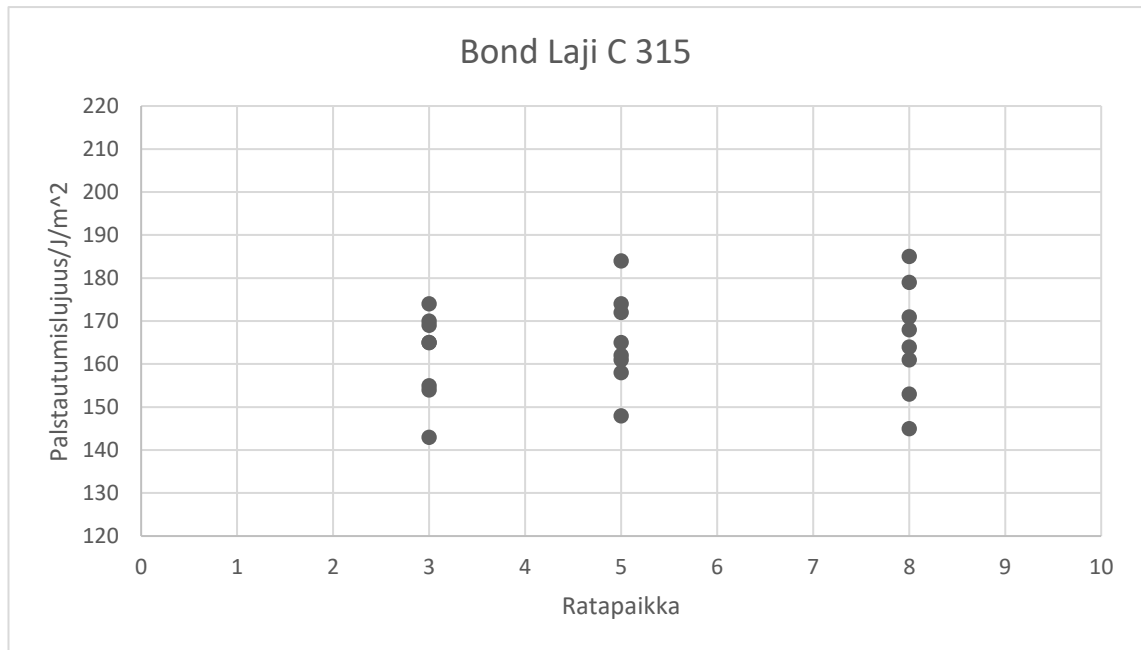
KUVIO 36. Scott Bond – Laji C 315 profiilit

3,5 ja 8 ratapaikkojen kohdalla Z-lujuuden osalta (Kuvio 37.) jatkuu sama trendi kuin muiden tuotteiden profiileissa. Mittaustulokset ovat rykelmissä ja hajonta on vähäistä.

Scott Bondissa (Kuvio 38.) pisteet jakautuvat välille, mutta hajonta ja vaihteluväli ovat pienempiä kuin aikaisemmissa tuotteissa.



KUVIO 37. Z-lujuus – Laji C 315 ratapaikat 3,5 ja 8

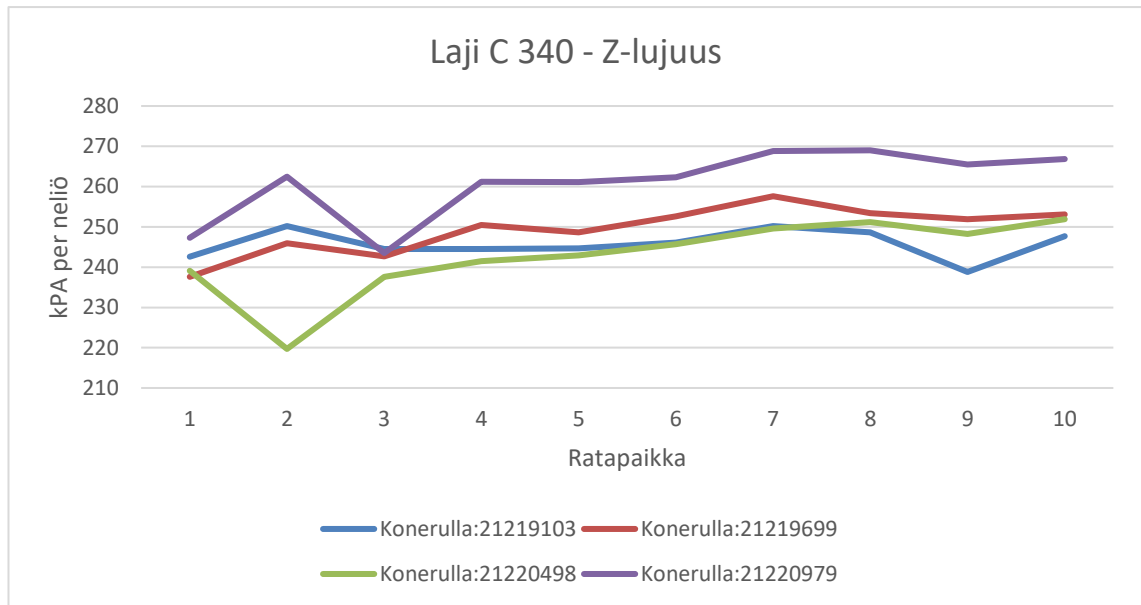


KUVIO 38. Scott Bond – Laji C 315 ratapaikat 3,5 ja 8

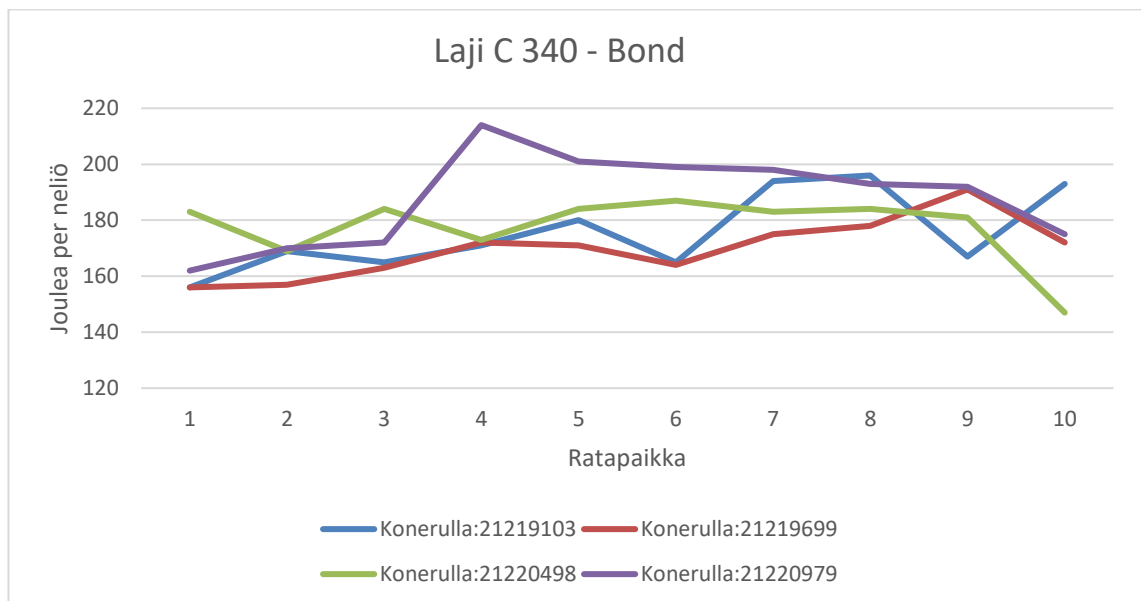
7.3.2 340

Tässä lajissa Z-lujuuden profiileissa (Kuvio 39.) on selkeästi suurempia piikkejä kuin yleensä. Erityisesti ratapakoilla 2, 3 ja 9 on suuria piikkejä. Profiilit kuitenkin alkavat kaikki samalta korkeudelta. Aikaisempien lajien perusteella Z-lujuudessa piikkien määrä yleisesti kasvaa neliömassan kasvaessa, niin myös käy tässä lajissa. Ratapaikkoja 2,3,9 ja 10 olisi hyvä tarkkailla laadunhallinnassa.

Scott Bondin profiilit (Kuvio 40.) alkavat kaikki suurin piirtein samalta korkeudelta. Kuitenkin hajonta on suurta ja vaihteluväli kasvaa joidenkin profiilien kohdalla todella suureksi. Erityisesti keltaisen profiilin kohdalla huomataan suuri piikki. Scott Bondilla on yleisesti suurempi hajonta, joten tämä ei ole kuitenkaan erityisen suuri piikki.

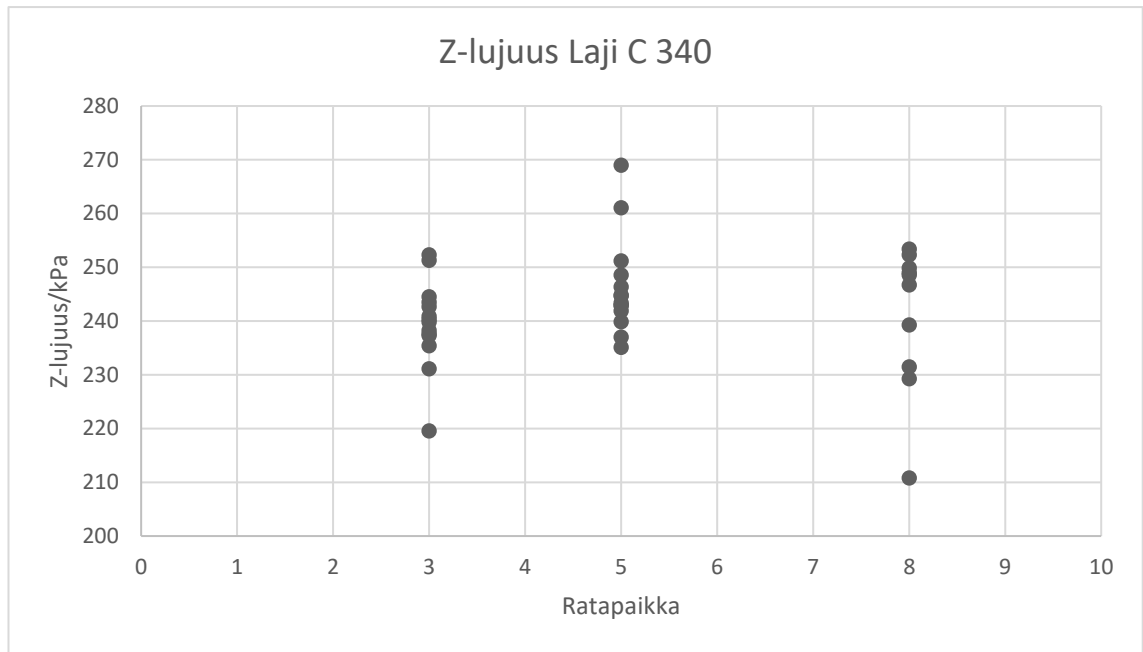


KUVIO 39. Z-lujuus – Laji C 340 profiilit

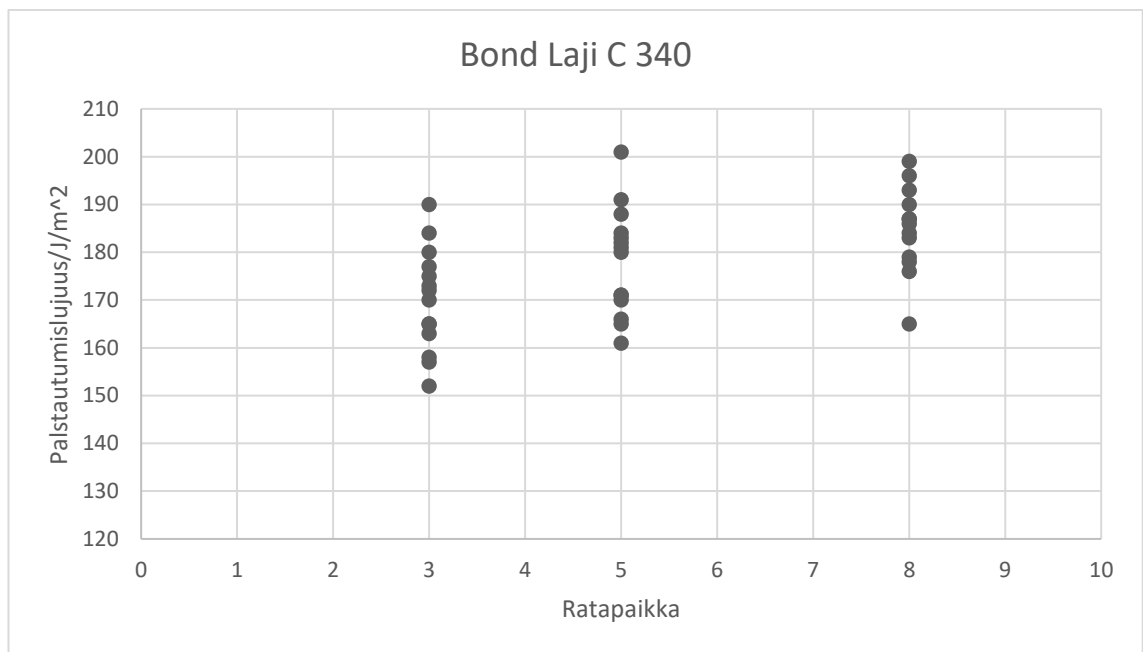


KUVIO 40. Scott Bond – Laji C 340 profiilit

Ratapaikoista 3,5 ja 8 saaduista tuloksistakin nähdään, että tässä lajissa vaihteluväli on suurempaa kuin saman tuotteen alemmalla neliömassalla olevassa lajissa. Scott Bondin arvot (Kuvio 42.) näyttävät suurin piirtein samalta kuin aikaisemmat, mutta vaihteluväli on hieman pienempää ja pisteet ovat enemmän ryppäissä.



KUVIO 41. Z-lujuus – Laji C 340 ratapaikat 3,5 ja 8



KUVIO 42. Scott Bond – Laji C 340 ratapaikat 3,5 ja 8

8 KORRELAATIO

Korrelaatiolla tarkoitetaan kahden muuttajan välistä riippuvuutta toisiinsa. Yleisin tapa laskea kahden muuttajan välistä korrelaatiota on Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroin (r). Korrelaatioon eniten vaikuttavat tekijät ovat muuttujien keskihajonta ja keskiarvot. Erityisen tärkeässä osassa on keskihajonta, jos hajonta on suurta, niin muuttujien välinen korrelaatio kärsii. Korrelaationkerroin lasketaan oheisen kaavan avulla. (Kaava 1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n s_x s_y}$$

missä

n on lukuparien x_i, y_i lukumäärä

s_x, s_y ovat muuttujien x ja y keskihajonnat ja

\bar{x}, \bar{y} ovat muuttujien x ja y keskiarvot.

KAAVA 1. Korrelaatiokertoimen laskukaava (KvantiMOTV)

8.1 Korrelaation analysointi

Opinnäytetyössä haluttiin tutkia Lorentzen & Wettren z-suuntainen lujuusmittarin ja Scott-Bond menetelmän välistä korrelaatiota. Jokaisesta lajille laskettiin keskiarvot rata- paikoille 1-10 ja niiden avulla laskettiin korrelaatiokertoimet jokaiselle lajille ja niiden neliömassalle. Korrelaatiokerroin laskettiin käyttäen kaavaa 1 ja Exceliä. Saadut korrelaatiokertoimet taulukoitiin analysointia varten. (Taulukko 1.)

Laji	Korrelaatiokerroin (r)
Laji A 305	0,437380344
Laji B 310	0,632055308
Laji C 315	-0,119852193
Laji A 330	0,764840732
Laji B 330	0,592805525
Laji C 340	0,67290374
Laji A 355	0,837688784
Laji B 355	0,523481994
Laji A 380	0,347133322

TAULUKKO 1. Lajien korrelaatiokertoimet

Mitä lähempänä $|r| = 1$, sitä suurempi muuttujien välinen korrelaatio on. Kuva 11 kertoo mitä eri korrelaatiokertoimen eri arvot tarkoittavat käytännössä. (Internetix)

- voimakas, jos $|r| \geq 0.8$
- huomattava, jos $0.6 \leq |r| < 0.8$
- kohtalainen, jos $0.3 \leq |r| < 0.6$
- merkityksetön, jos $|r| < 0.3$

KUVA 11. Korrelaatiokertoimen tulkinta (Internetix)

Taulukosta 1. huomataan, että vain yhden lajin kohdalla korrelaatio on voimakasta. Tämä laji on A 355, jonka korrelaatio on voimakasta koska korrelaatiokerroin suurempi tai yhtä suuri kuin 0,8. Tämä johtuu Scott Bondin pienestä keskihajonnasta, joka voidaan nähdä taulukosta 4.

Huomattavaa korrelaatiota taas ilmenee kolmessa eri lajissa; B 310, A 330 ja C 340 koska arvot ovat $0,6 \leq |r| < 0,8$. Näissä lajeissa Scott Bondin keskihajonta on huomattavasti suurempaa kuin lajin A 355 keskihajonta, mikä johtaa korrelaation kärsimiseen kuten taulukoista 6, 3 ja 10 huomataan.

Kohtalaista korrelaatiota ilmenee neljässä eri lajissa; A 305, B 330, B 355 sekä A 380, arvot ovat välissä $0,3 \leq |r| < 0,6$. Näissä lajeissa sekä Z-lujuuden, että Scott Bondin hajonta on suurempaa kuin A 355:ssa (Taulukot 2, 5, 7 ja 8).

Yhdessä lajissa huomattiin negatiivista korrelaatiota, tämä laji on C 315. Korrelaatiokerroin r on itseisarvoissa, arvosta huomataan, että korrelaatio on merkityksetöntä tässä lajissa. Tämän lajin alhainen korrelaatio johtuu pienestä erosta Scott Bondin ja Z-lujuuden keskiarvoissa, vaikka keskihajonta onkin pienempää. (Taulukko 9).

Scott Bondin ja Z-lujuuden välinen korrelaatio kärsii Scott Bondin suuresta hajonnasta. Niiden välistä korrelaatiota on siis vaikea analysoida luotettavasti.

9 MITTAUSTULOSTEN HAJONTA

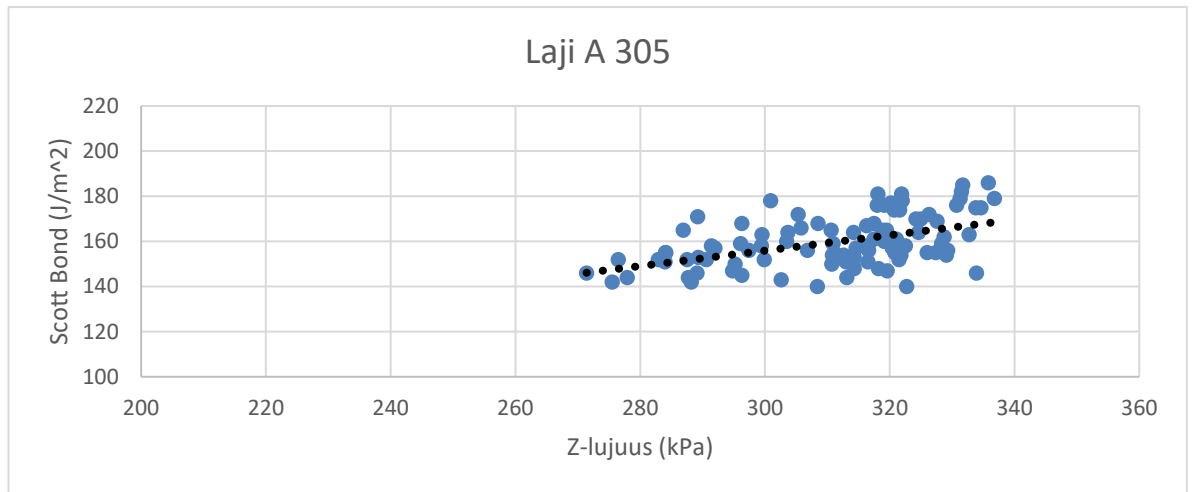
Mitatuille tuloksille laskettiin hajontalukuja kuvaamaan tuloksien hajontaa. Lasketut hajontaluvut olivat keskiarvo, keskihajonta, keskivirhe, vaihteluväli, minimi ja maksimi. Hajontaluvut laskettiin mittaustuloksista jokaiselle lajille erikseen. Hajontalukujen laskemiseen käytettiin Microsoft Exceliä. Saadut hajontaluvut taulukoitiin. Lisäksi jokaiselle lajille piirrettiin pistekaavio eli hajontakaavio. Hajontakaavio piirrettiin kaikista kyseisen lajin mittaustuloksista.

9.1 Tuote A

9.1.1 305

Hajontakaaviosta (Kuvio 43.) huomataan, että tässä lajissa molempien mittalaitteiden tuloksissa on jonkun verran hajontaa. Kuitenkin mittaustuloksissa näkyy selkeitä rykelmiä ja tulokset ovat lähellä trendiviivaa. Kuvasta huomataan, että mittaustulokset ovat levittäytyneet vaakatasossa välille 270-340 kPa. Myös pystysuunnassa eli Scott Bondissa huomataan myös hajontaa ja tulokset ovat levittäytyneet pystyakselilla välille 140-190 J/m².

Kuten jo hajontakaaviosta huomattiin, niin myös taulukosta 2 huomataan, että Z-lujuuden keskihajonta on tässä lajissa suurempaa kuin Scott Bondin. Todellisuudessa hajontojen ero on pienempää prosentuaalisesti verratessa, koska Z-lujuuden mittaustulokset ovat huomattavasti isompia lukuja kuin Scott Bondin mittaustulokset, kuten keskiarvojen erosta huomataan.



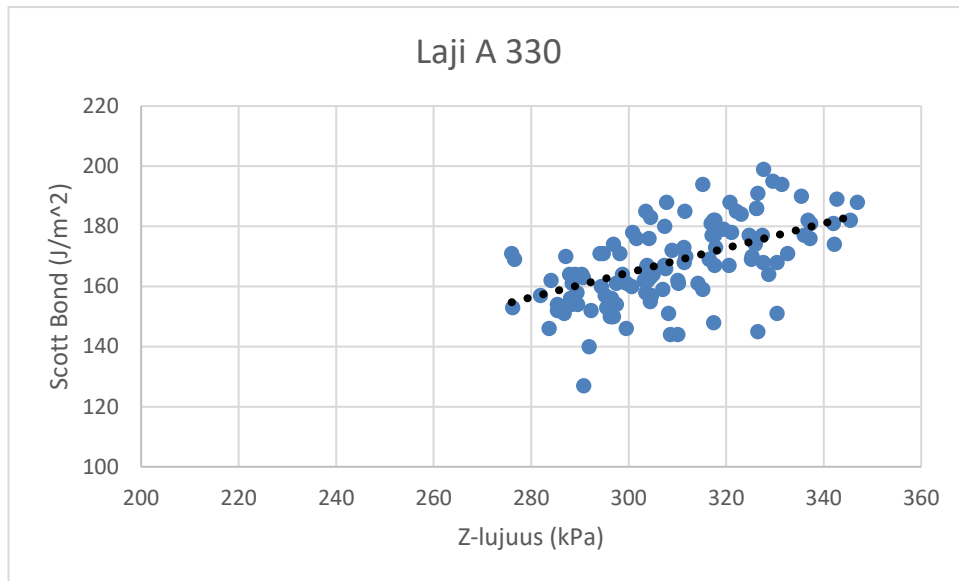
KUVIO 43. Laji A 305 hajontakaavio

<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	311,19	Keskiarvo	159,73
Keskivirhe	1,59	Keskivirhe	1,13
Keskihajonta	15,92	Keskihajonta	11,29
Vaihteluväli	65,40	Vaihteluväli	46,00
Minimi	271,40	Minimi	140,00
Maksimi	336,80	Maksimi	186,00
Mittauksien määrä	100	Mittauksien määrä	100

TAULUKKO 2. Laji A 305 Hajontaluvut

9.1.2 330

Mittaustulokset ovat jakautuneet suurelle välille (Kuvio 44.) erityisesti Z-lujuus akselilla. Väli on 270-350 kPa. Scott Bondin hajonta on välillä 140-200 J/m². Taulukosta 3. nähdään, että Scott Bondin keskihajonta on pienempää kuin Z-lujuuden. Scott Bondin keskihajonta on 15,05, joka on samaa suuruus luokkaa kuin B 310:ssa. Z-lujuuden keskihajonta on 16,69, joka on suurempaa kuin yleisesti Z-lujuudessa. Kuitenkin prosentuaalisesti Z-lujuuden keskihajonta on pienempää kuin Scott Bondin, sillä kuten taulukosta 2. huomataan, Z-lujuuden keskiarvo on huomattavasti isompi kuin Scott Bondissa. Vaikka mittaustuloksia on 116, mikä on eniten tähän asti, keskihajonta on silti alhaista.



KUVIO 44. Laji A 330 hajontakaavio

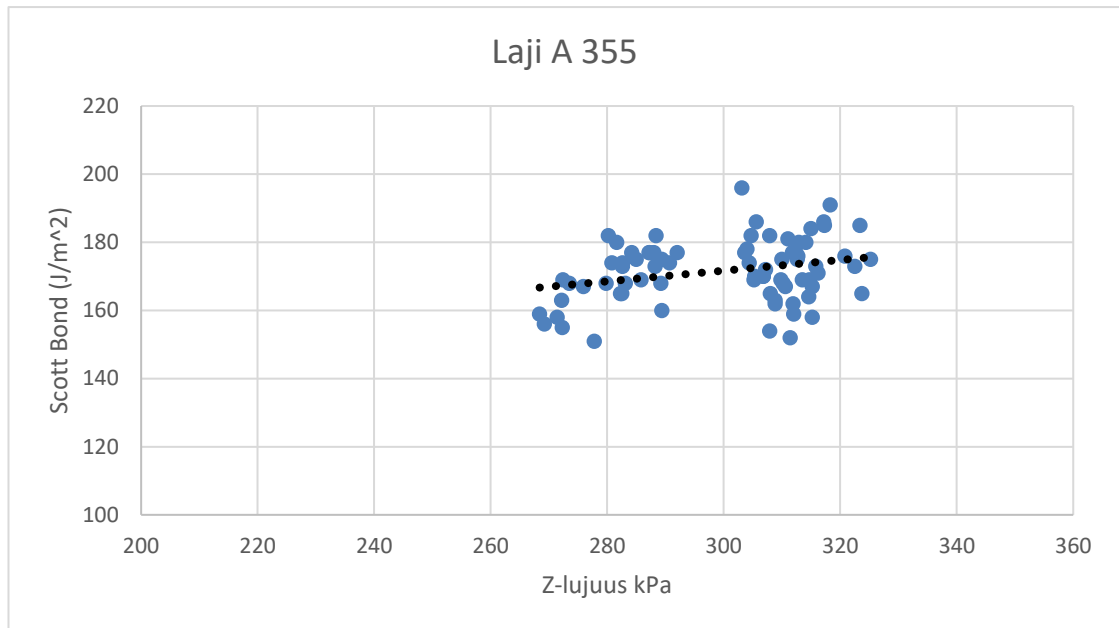
<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	308,90	Keskiarvo	168,21
Keskivirhe	1,57	Keskivirhe	1,40
Keskihajonta	16,96	Keskihajonta	15,05
Vaihteluväli	70,90	Vaihteluväli	110,00
Minimi	276,00	Minimi	127,00
Maksimi	346,90	Maksimi	237,00
Mittauksien määrä	116	Mittauksien määrä	116

TAULUKKO 3. Laji A 330 hajontaluvut

9.1.3 355

Tämän lajin hajontakaaviosta (Kuvio 45.) huomataan, että mittaustulokset ovat ryppäissä ja lähellä trendiviivaa. Tämä kertoo pienestä hajonnasta. Erityisesti pysty- eli Scott Bond-akselilla arvot ovat jakautuneet pienelle välille. Z-lujuusakselilla arvot ovat jakautuneet selkeästi suuremmalle välille.

Taulukosta 4. nähdäänkin, että Scott Bondin keskihajonta on vain 9,06, mikä on selkeästi alin verrattuna muiden lajien Scott Bondin keskihajontaan. Z-lujuuden keskihajonta on taas 16,13, mikä on keskimääräistä suurempi keskihajonta Z-lujuudelle.



KUVIO 45. Laji A 355 hajontakaavio

<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	299,79	Keskiarvo	171,62
Keskivirhe	1,84	Keskivirhe	1,03
Keskihajonta	16,13	Keskihajonta	9,06
Vaihteluväli	56,80	Vaihteluväli	45,00
Minimi	268,40	Minimi	151,00
Maksimi	325,20	Maksimi	196,00
Mittauksien määrä	77	Mittauksien määrä	77

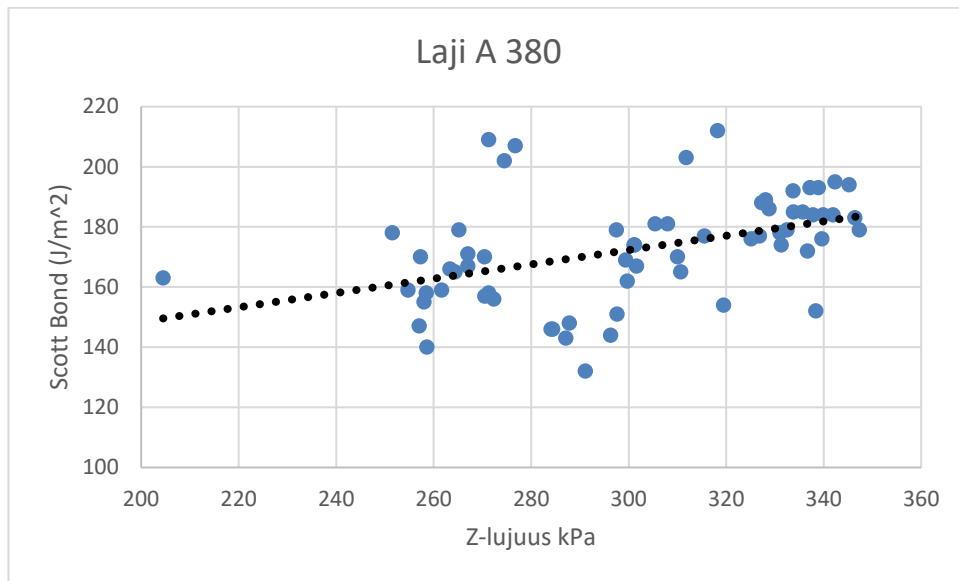
TAULUKKO 4. Laji A 355 hajontaluvut

9.1.4 380

Lajin A 380 hajontakaaviosta (Kuvio 46.) nähdään heti, että Z-lujuuden hajonta on erittäin suurta verrattuna muihin neliömassoihin. Z-lujuuden mittausarvot jakautuvat välille 200-340 kPa. Z-lujuus akselin hajonnasta voidaan päätellä, että tämän lajin mittauksissa on käynyt mittausvirhe Z-lujuutta mitatessa, koska yksittäisiä pisteitä on paljon erossa muista ja Scott Bond-akselin tulokset eivät kuitenkaan ero merkittävästi muista lajeista.

Myös taulukosta 5. huomataan, että Z-lujuuden keskihajonta ja vaihteluväli ovat todella suuria. Z-lujuuden keskihajonta 32,61 on melkein kaksi kertaa suurempi mitä muilla mitatuilla neliömassoilla, joka varmistaa epäilystä mittausvirheestä. Kuitenkin Scott Bondin

keskihajonta on 17,83, mikä ei eroa huomattavasti muiden lajien arvoista, vaikka sekin on hiukan suurempi kuin muissa lajeissa.



KUVIO 46. Laji A 380 hajontakaavio

<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	300,76	Keskiarvo	172,49
Keskivirhe	4,04	Keskivirhe	2,21
Keskihajonta	32,61	Keskihajonta	17,83
Vaihteluväli	142,80	Vaihteluväli	80,00
Minimi	204,50	Minimi	132,00
Maksimi	347,30	Maksimi	212,00
Mittauksien määrä	65	Mittauksien määrä	65

TAULUKKO 5. Laji A 380 hajontakaavio

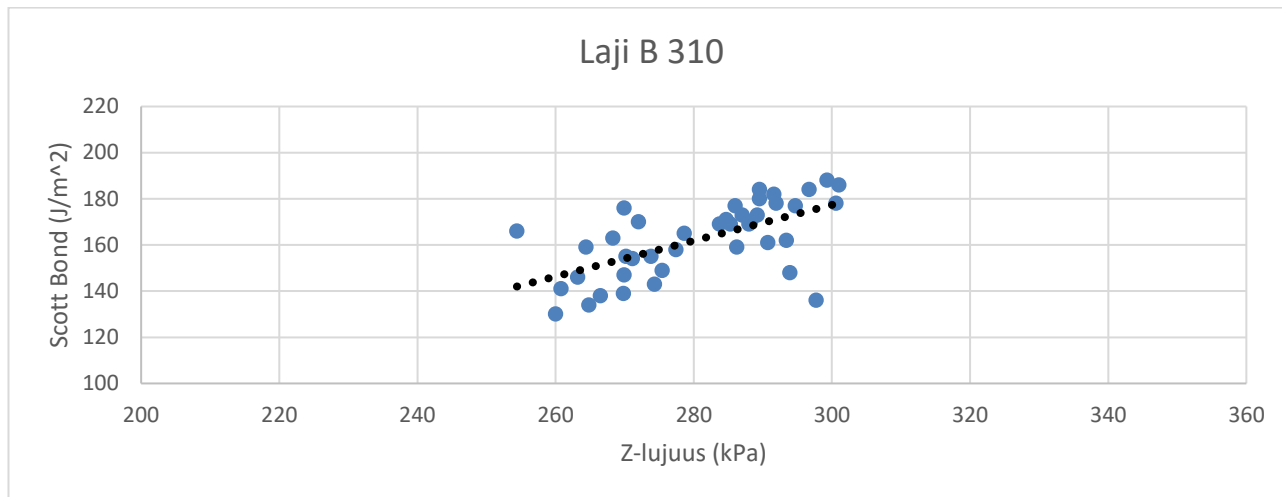
9.2 Tuote B

9.2.1 310

Tämän lajin hajontakaaviosta (Kuvio 47.) nähdään heti, että hajonta on pysty suunnassa eli Scott Bondissa selkeästi suurempaa kuin A 305:ssa. Vaaka-akselilla kuitenkin mit-taustulokset ovat noin 260-300 kPa välillä mistä nähdään, että Z-lujuuden hajonta on sel-keästi pienempää kuin edellisessä lajissa. Scott Bondin pystyakselistaa taas nähdään, että hajonta mittaustulosten välillä on suurempaa kuin aikaisemmassa lajissa. Scott Bondin

mittaustulokset ovat levittäytyneet välille 130-190 J/m². Varsinkin korkeussuunnassa arvot ovat kaukana trendiviivasta.

Taulukosta 6. huomataan, että keskihajonta ja vaihteluväli ovat selkeästi suurempia Scott Bondissa kuin Z-lujuudessa, vaikka Scott Bondin arvot ovat pienempiä suhteessa Z-lujuuteen. Tämä kertoo, että Scott Bondin hajonta on selkeästi suurempaa kuin Z-lujuuden.



KUVIO 47. Laji B 310 hajontakaavio

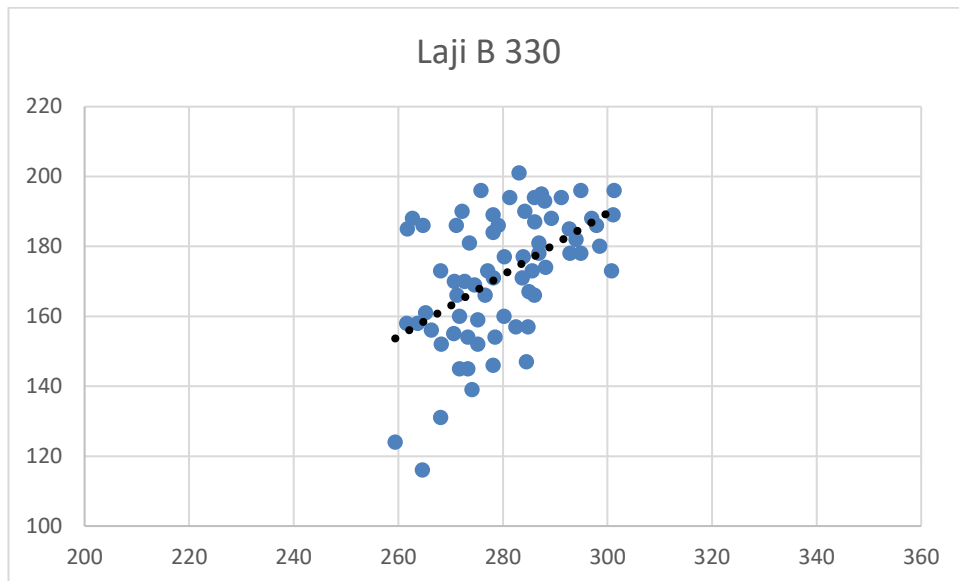
<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	280,82	Keskiarvo	162,49
Keskivirhe	1,99	Keskivirhe	2,49
Keskihajonta	12,76	Keskihajonta	15,93
Vaihteluväli	46,60	Vaihteluväli	58,00
Minimi	254,40	Minimi	130,00
Maksimi	301,00	Maksimi	188,00
Mittauksien määrä	41	Mittauksien määrä	41

TAULUKKO 6. Laji B 310 hajontaluvut

9.2.2 330

Lajin B 330 hajontakaaviosta (Kuvio 48.) ottaa heti silmään suuri hajonta pystyakselilla eli Scott Bond akselilla. Mittaustulokset ovat välillä 110-200 J/m², joka on todella suurta hajontaa Scott Bondille. Z-lujuuden hajonta on selkeästi pienempää ja sen hajonta jakautuu välille 260- 300 kPa. Kuitenkaan pisteet eivät ole suurissa rykelmissä mikä nostaa keskihajontaa. Kuten kuvaajasta jo huomattiin, Scott Bondin keskihajonta lajille B 330

on jopa 18.59. Kun taas Z-lujuuden vastaava arvo on 10,75. Tästä johtuu myös Scott Bondin suuri keskivirhe arvo, joka nousee 2,24 asti.



KUVIO 48. Laji B 330 hajontakaavio

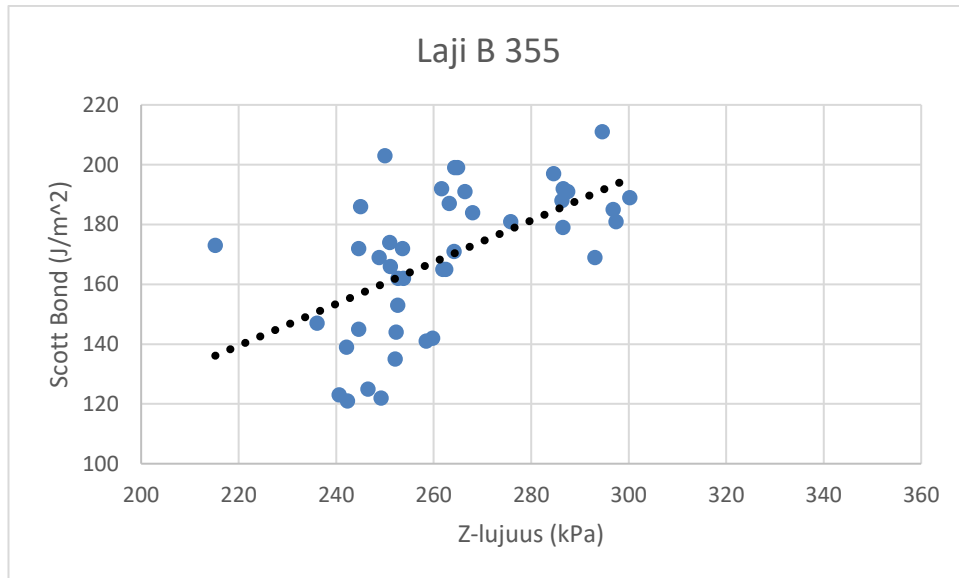
<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	279,80	Keskiarvo	171,68
Keskivirhe	1,29	Keskivirhe	2,24
Keskihajonta	10,75	Keskihajonta	18,59
Vaihteluväli	41,90	Vaihteluväli	85,00
Minimi	259,40	Minimi	116,00
Maksimi	301,30	Maksimi	201,00
Mittauksien määrä	69	Mittauksien määrä	69

TAULUKKO 7. Laji B 330 hajontaluvut

9.2.3 355

Lajin B 355 hajontakaaviossa Scott Bond-akselin hajonta on todella suurta. Scott Bondin mittaustulokset (Kuvio 49.) jakautuvat välille 120-220 J/m². Kaaviossa ei ole selkeitä mittaustulos kasoja, mikä kertoo myös suuresta hajonnasta. Myös Z-lujuudessa on selkeästi suurta hajontaa ja mittaustulokset jakautuvat välille 210-300 kPa.

Taulukon 8. keskihajonnoista huomataan myös, että Scott Bondin arvo on 24,22, joka korkein kaikista lajeista tähän asti. Myös Z-lujuuden arvo on 19,54, joka on myös korkea keskihajonta.



KUVIO 49. Laji B 355 hajontakaavio

<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	262,12	Keskiarvo	168,86
Keskivirhe	3,02	Keskivirhe	3,74
Keskihajonta	19,54	Keskihajonta	24,22
Vaihteluväli	85,00	Vaihteluväli	90,00
Minimi	215,20	Minimi	121,00
Maksimi	300,20	Maksimi	211,00
Mittauksien määrä	42	Mittauksien määrä	42

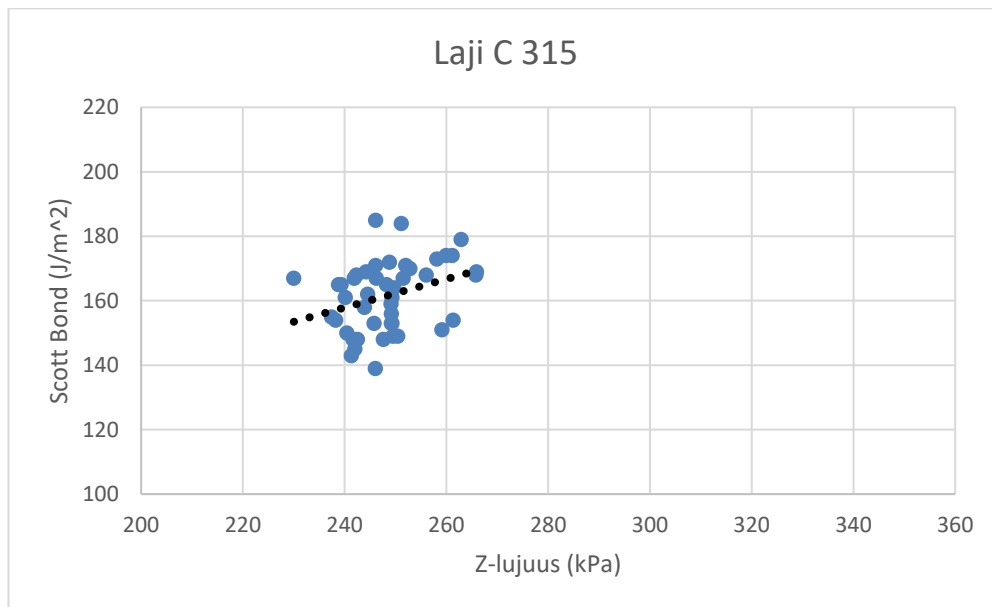
TAULUKKO 8. Laji B 355 hajontaluvut

9.3 Tuote C

9.3.1 315

Tutkiessa lajin C 315 hajontakaaviota (Kuvio 50) huomataan heti, että mittaustulokset ovat selkeästi enemmän kasassa kuin pienemmissä neliömassa lajeissa. Erityisesti Z-lujuus akselin arvot ovat jakautuneet huomattavasti pienemmälle välille. Myös Scott Bondin hajonta on pienempää, mutta ei niin selkeästi kuin Z-lujuuden. Arvot ovat myös lähellä trendiviivaa, mikä kertoo myös selkeästä hajonnan laskusta.

Kuten taulukosta 9. nähdään, että Z-lujuuden keskihajonta on vain 7,99, kun aikaisempien lajien vastaava keskihajonta oli huomattavasti suurempaa. Myös Scott Bondin keskihajonta on tässä lajissa laskenut, muttei niin paljon kuin Z-lujuuden. Kuitenkin verratessa keskiarvoihin, prosentuaalisesti tämä lasku on myös huomattavaa. Myös keskivirhe nousee suureksi johtuen suuresta keskihajonnasta suhteessa mittauksiin.



KUVIO 50. Laji C 315 hajontakaavio

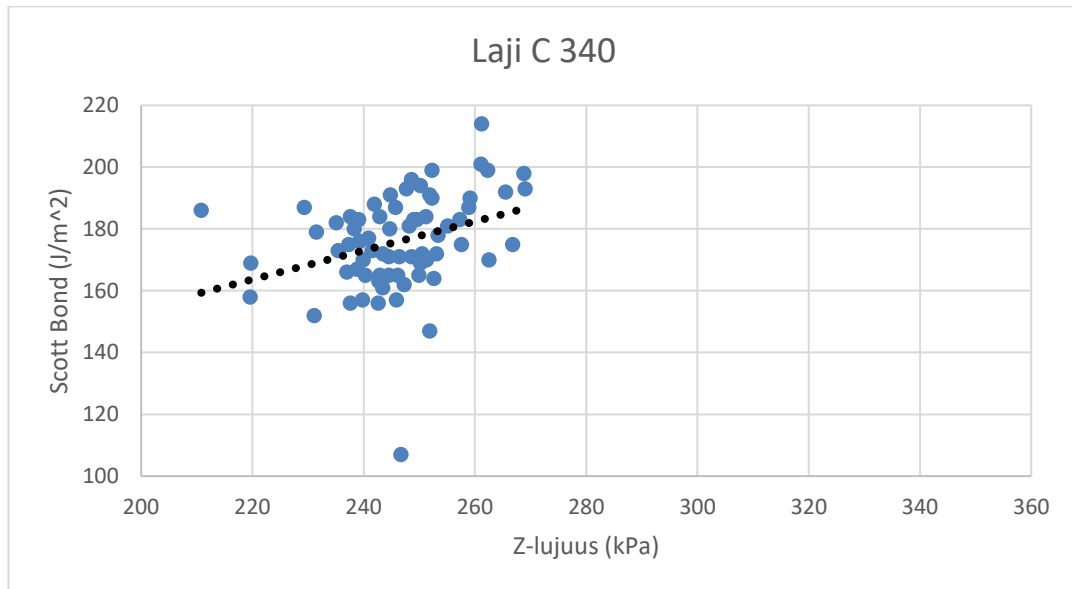
<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	248,36	Keskiarvo	161,58
Keskivirhe	1,19	Keskivirhe	1,62
Keskihajonta	7,99	Keskihajonta	10,89
Vaihteluväli	35,90	Vaihteluväli	46,00
Minimi	230,00	Minimi	139,00
Maksimi	265,90	Maksimi	185,00
Mittauksien määrä	45	Mittauksien määrä	45

TAULUKKO 9. Laji C 315 hajontaluvut

9.3.2 340

Lajin C 340 hajontakaaviossa (Kuvio 51.) ottaa heti silmää parin pystyakselilla olevan yksittäisen mittaustuloksen eroavaisuus muista tuloksista. Nämä yksittäiset mittauspisteet eivät kuitenkaan vaikuta merkittävästi hajontaan, koska suurin osa mittaustuloksista on kassassa.

Taulukosta 10. nähdään, että keskihajonta kuitenkin kärsii hiukan näistä yksittäisistä arvoista. Z-lujuuden keskihajonta nousee lähes yhteentoista ja Scott Bondin keskihajonta nousee arvoon 15.71 Koska suuren hajonnan mittauspisteitä on vähän niin myöskään keskivirhe ei pääse nousemaan korkeaksi kummassakaan mittaustavassa.



KUVIO 51. Laji C 340 hajontakaavio

<i>Z-lujuus</i>		<i>Scott Bond</i>	
Keskiarvo	246,34	Keskiarvo	176,00
Keskivirhe	1,31	Keskivirhe	1,88
Keskihajonta	10,97	Keskihajonta	15,71
Vaihteluväli	58,2	Vaihteluväli	107
Minimi	210,80	Minimi	107,00
Maksimi	269	Maksimi	214
Mittauksien määrä	70	Mittauksien määrä	70

TAULUKKO 10. Laji C 340 hajontaluvut

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Jo mittauksia otettaessa meille muodostui melko hyvä käsitys z-lujuusmittarin ja Scott Bond mittalaitteen eroista. Z-lujuusmittarilla työskennellessä huomattiin jo alkutekijöissä, että yhdestä liuskasta otetut mittaustulokset eivät eronneet toisistaan juuri ollenkaan. Kun taas Bondissa yhdestä liuskasta otetut tulokset saattoivat erota huomattavasti toisistaan.

Työskentely Z-lujuusmittarilla todettiin hieman nopeammaksi kuin Scott Bondilla, mutta ero ei osoittautunut niin suureksi kuin alussa kuvittelimme. Pientä eroa voidaan selittää sillä, että Scott Bondin mekaaniset vaiheet alkoivat muuttua rutiininomaisiksi toistojen kertyessä. Näin ollen työskentelynopeus sillä kasvoi myös ajan kuluessa. Z-lujuusmittarilla yhteen mittaukseen kuluva aika pysyi koko työn ajan vakiona, johtuen mittarin automatisoidusta luonteesta.

Z-lujuusmittarilla tarkastelimme työn aikana myös, kuinka ja missä suhteessa kartongin keskikerroksen palstautuminen tapahtuu, tai että tapahtuuko se ylipäättänsä keskikerroksessa. Mittauksien päätyttyä voidaan todeta, että palstautuminen tapahtui kaikilla lajeilla joko suhteessa 20/80 tai 30/70, niin että vähemmän materiaalia jäi aina taustan puolelle. Pieni osa näytteistä jakautui myös suhteessa 40/60, mutta tälle ei löydetty mitään johdonmukaista selitystä.

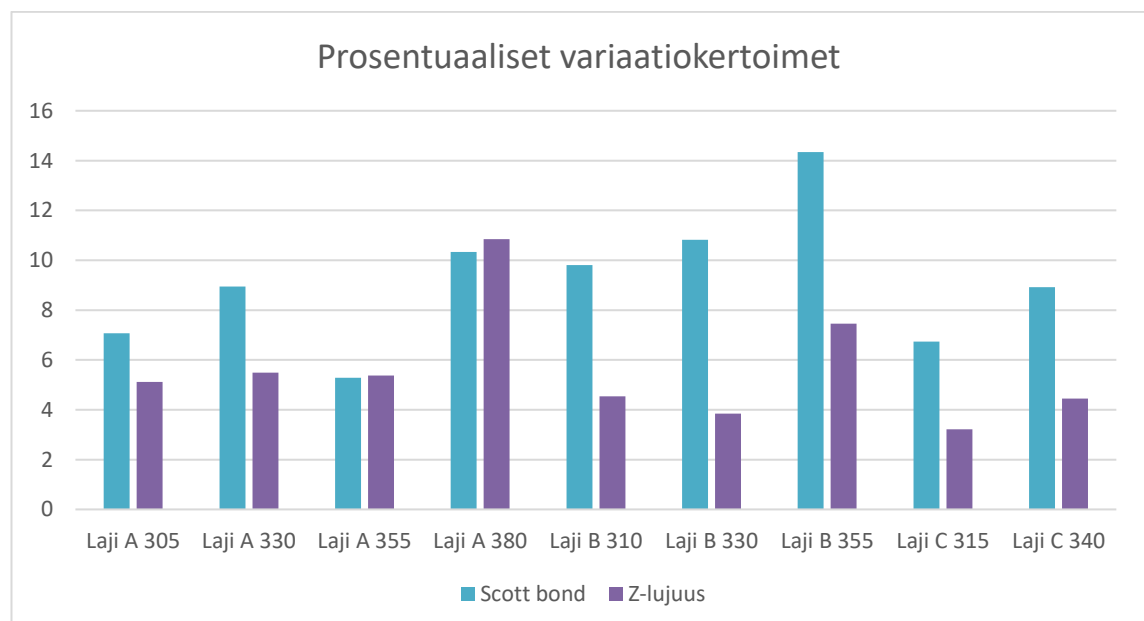
Z-lujuusmittarin yhdeksi merkittävimmäksi hyödyksi osoittautui sen riippumattomuus operaattorin toiminnasta. Scott Bond mittarilla ilmeni useita mittauksia suorittavan henkilön toimintaan liittyviä seikkoja, millä oli vaikutusta saatuihin mittaustuloksiin. Tällaisia asioita on mm:

- Kuinka tarkasti teipin saa asetettua alasimen/näytteen päälle
- Näyteliuskan leikkaamisen onnistuminen
- Näyteliuskan asettaminen teipin päälle
- Näyteliuskan leikkaaminen näytepaloiksi
- Näyteliuskan likaaminen esimerkiksi likaisilla/rasvaisilla sormilla

Mikään edellä mainituista tekijöistä ei vaikuta Z-lujuusmittarin tuloksiin. Näyteliuskan voi asettaa miten päin tahansa laitteeseen. Eikä näyteliuskan tarkalla leveydelläkään ole väliä, kunhan se mahtuu laitteen sisälle eikä ole pienempi kuin mittaussylintereiden halkaisija. Tästä syystä näytteen likaamisestakaan ei tarvitse huolehtia niin paljoa, koska liuskan päissä on reilusti tilaa mistä ei mittausta oteta. Näyteliuskan teippaaminen tapahtuu laitteen toimesta, mikä voi mennä pilalle ainoastaan, jos onnistuu syöttämään näytteen vinossa laitteeseen. Tätä ehkäisee syöttöpöydällä oleva näytteenohjain, joka toimii hyvin ja näytteet ohjautuivat suoraan laitteeseen lähestulkoon poikkeuksetta.

Saatujen mittaustuloksien avulla pystytään toteamaan mittalaitteiden välisestä korrelaatiosta, että niiden välillä esiintyy korrelaatiota, tosin vain kohtalaista sellaista. Mittausmenetelmien korrelaatiot vaihtelevat jonkin verran eri lajien välillä. Yhdessä lajissa (C 315) korrelaatio oli merkityksetöntä, kun taas yhden lajin (A 355) korrelaatio oli voimakasta. Loput lajeista asettuivat näiden kahden välimaastoon. Saadut tulokset selittyvät pitkälti Scott Bond-menetelmän viriheherkkyydellä ja sillä faktalla, että z-lujuusmittarin mitattaessa vain z-suuntaista lujuutta, Bond menetelmässä vaikuttaa myös osittain kartongin pinnan suuntaiset voimat.

Kuviossa 52 keskihajonnoista on laskettuna prosentuaaliset variaatiokertoimet, jotta niitä pystytään vertaamaan keskenään. Hajonta oli järjestäen voimakkaampaa Scott Bond mittalaitteella kuin z-lujuusmittarilla. Lisäksi huomataan, että hajonta nousee aina neliömasan kasvaessa.



KUVIO 52. Prosentuaaliset variaatiokertoimet

Kun vertailtiin saman tuotteen, mutta eri neliömassan omaavia lajeja huomattiin, että Scott-Bondilla saadut palstautumislujuudet kasvoivat neliömassan muuttuessa, kun taas z-lujuudet pienenevät neliömassan muuttuessa. Eli mitattujen lajien z-lujuus on heikompaa kuin palstautumislujuus antaa ymmärtää. Tämä osaltaan tukee myös z-lujuusmittarin luotettavuutta z-suuntaista lujuutta mitattaessa. Sillä voidaan pitää epätodennäköisenä, että pelkästään neliömassan nostamisella olisi z-lujuutta parantava vaikutus. Kuvioiden 31-36 perusteella näyttää siltä, että Internal Bond mittalaite ei tunnista vallitsevaa lujuusongelmaa raskaiden lajien keskikerroksessa. Tämän edellä mainitun seikan perusteella suosittelemme vahvasti z-lujuusmittarin hankintaa.

LÄHTEET

1. Lyytikäinen, Johanna. Palstautumislujuusmittauksen mittauserävarmuus; vaikutus paperikoneen massatärkkelyksen annosteluun. Kandidityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Kemiantekniikka, Kemia / Lappeenranta 2012
2. KnowPap versio 19.0. 2017. AEL / Proledge Oy. Paperin ja kartongin ominaisuudet. Luettu 3.8.2018 http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/8_bonding_strength/frame.htm
Saatavilla rajoitetusti.
3. ABB, L&W ZD Tensile Tester Summary 2017, <http://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/lorentzen-wettre-products/laboratory-paper-testing/l-w-zd-tensile-tester>
4. Viitanen, J. & ammattikorkeakoulu, T. 2008. *Polymeerien vaikutukset paperin z-suuntaiseen lujuteen*. Tampereen ammattikorkeakoulu
5. Niskanen, K. (2008). *Papermaking science and technology: 16, Paper physics* (2nd ed., totally updated ed.). Helsinki : 2008: Finnish Paper Engineers' Association.
6. Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. (2003). *Kemiallinen metsäteollisuus: 2, Paperin ja kartongin valmistus* (3. tark. p. - 5.p. 2006.). Helsinki: Opetushallitus.
7. Thwingalbert [www-sivu] [viitattu 3.8.2018] Saatavissa: <http://www.thwingalbert.com/huygen-internal-bond-tester.html>
8. KvantiMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkójulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html> (Viitattu 7.8.2018)
9. Internetix [Verkkójulkaisu] http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/luo/maa/maa06/maa6_05_korrelaatio.pdf?C:D=1818993 (Viitattu 7.8.2018)