

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Samuli Jormanainen

SYÖTTÖRULLAN PITÄVIEN ELEMENTTIEN AINESPUUHUN AIHEUT-
TAMIEN VAURIOIDEN SYVYYS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019

Sisältö

1	Johdanto	5
2	John Deere harvesteripäiden tuotekehitys ja toiminta	6
2.1	Toimeksiantaja	6
2.2	John Deeren harvesteripäiden kehityshistoria.....	6
2.3	Harvesteripäiden rakenne	7
2.3.1	Saharunko.....	8
2.3.2	Keskirunko	8
2.3.3	Eturunko.....	8
2.3.4	Syöttörullat	9
2.3.5	Latvasaharunko.....	9
2.4	Harvesteripään mittalaitteet, ohjaus ja automatiikka	10
2.4.1	Syöttörullan puuhun kohdistaman voiman säätö.....	10
2.4.2	Syöttörullan puristuksen tasoon vaikuttavat tekijät.....	11
2.5	Harvesteripäätyypit	11
2.6	2-rullaiset harvesteripäät.....	12
2.7	3- ja 4-rullaiset harvesteripäät.....	13
3	Puutavaran korjuuvauriot ja niiden ehkäiseminen	14
3.1	Konehakkuun ainespuuhun aiheuttamat korjuuvauriot.....	14
3.2	Syöttörullien ainespuuhun aiheuttamien vaurioiden tyypit.....	15
3.3	Pitävän elementin uppouman hallinta	16
4	Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimustehtävä.....	18
5	Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat	18
5.1	Tutkimusmenetelmä	18
5.2	Aineiston hankinta.....	19
5.2.1	Tutkimuksessa käytetyt syöttörullat.....	19
5.2.2	Testirunkojen valinta ja prosessointi	23
5.2.3	Näytteiden valmistelu ja mittaus.....	24
5.3	Tulosten laskenta	27
5.4	Tilastollinen testaus.....	27
6	Tulokset.....	28
6.1	Aineiston näytteiden määrä.....	28
6.2	Vauriosyvyyksien laskennan tulokset.....	28
6.3	Tulosten visualisointi	29
6.4	Analyysimenetelmän valinta tulosten varianssien yhtäsuuruuden testauksella	31
6.5	Hypoteesin H0 testauksen tulos.....	31
6.6	Erojen merkitsevyyden selvitys parittaisella vertailulla	32
6.7	Testauksen tulosten visualisointi.....	33
7	Yhteenveto	34
8	Pohdinta	35
	Lähteet	38

Liitteet

Liite 1	Kruskal-Wallis-testin tulokset koko aineistolle
Liite 2	Kruskal-Wallis-testin tulokset läpimittaluokalle 150 – 210 mm
Liite 3	Kruskal-Wallis-testin tulokset läpimittaluokalle 210 – 280 mm
Liite 4	Kruskal-Wallis-testin tulokset läpimittaluokalle 280 – 355



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019
Metsätalouden koulutus
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Samuli Jormanainen

Nimeke
Syöttörullan pitävien elementtien ainespuuhun aiheuttamien vaurioiden syvyys

Toimeksiantaja
Waratah OM Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin seitsemän eri syöttörullatyypin puutavaralle aiheuttamien vaurioiden syvyyttä kuusella kolmella eri läpimittaluokalla. Tutkimuksessa muut muuttujat kuin rulla oli vakioitu. Tutkimuksessa käytettiin neljällä syöttörullalla varustettua H415-yksioteharvesteripäätä ja John Deere 1270E -harvesteria.

Tutkimuksessa vakioitiin harvesteripään säädöt, ympäristö, näytteenotto ja työtapa. Vauriot mitattiin prosessoinnin yhteydessä harvesteripään katkaisulaitteella katkotuista näytteistä. Tuloksia tarkasteltiin tilastollisin menetelmin.

Tutkimuksen tuloksista johtopäätöksenä on, että kun muut muuttujat kuin rulla vakioidaan, puutavaraan syntyvään vaurion syvyyteen vaikuttaa rullan mekaaninen rakenne. Tutkimustulokset olivat linjassa Waratah OM Oy:n aiemmin tekemien pienempien tutkimusten tulosten kanssa.

Kieli
Suomi

Sivuja 38
Liitteet 4
Liitesivumäärä 12

Asiasanat
koneellinen puunkorjuu, harvesterit, rulla, syöttölaitteet, korjuuvauriot



THESIS
May 2019
Degree Programme in Forestry
Tikkarinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 600

Author
Samuli Jormanainen

Title
Timber Damages Caused by Feed Roller Grip Elements

Commissioned by
Waratah OM Oy

Abstract

The goal of this thesis was to study the depth of damages in the surface of spruce timber of three diameter classes caused by seven different feed roller models. All other variables were fixed apart from feed rollers. The empirical implementation of the study was conducted with John Deere 1270E-harvester which was equipped with H415 single grip harvester head that had four feed rollers.

Research setup was organized so that harvester head adjustments, environment, sampling and work method were standardized. Damages were measured from samples which were cut by harvester head saw device during processing. Results were examined with statistical methods.

The conclusion from the test results is that when all other variables were fixed, except the roller, only the feed roller's mechanical structure affects the depth of damage. The results of this study were parallel to previous studies carried out by Waratah OM Oy.

Language

Finnish

Pages 38

Appendices 4

Pages of Appendices 12

Keywords

mechanical harvesting, harvesters, roller, feeders, harvesting damages

1 Johdanto

Opinnäytetyössä selvitettiin syöttörullilla kannattelevan H415-yksioteharvesteripään erityyppisten hydraulikkamoottorikäyttöisten syöttörullien pitävien elementtien puutavaran pintaan aiheuttamien vaurioiden syvyys rungon eri osilla. Tutkimuksessa keskityttiin vain kannattelevien syöttörullien aiheuttamien vaurioiden syvyyteen. Tutkimuksen olosuhteet järjestettiin siten, että ainoa muuttuja oli syöttörulla muiden vaurion syvyyteen vaikuttavien tekijöiden pysyessä samana.

Toimeksiantaja on tehnyt useita pienempiä samaan aiheeseen liittyviä tutkimuksia. Usein syöttörullan pitävän elementin puutavaraan aiheuttamien vaurioiden syvyyden tutkinta on liittynyt puutavaran vastaanottajan esittämien vaatimusten täyttämiseen. Tällaisissa tutkimuksissa on keskitytty aina sellaisten harvesteripään säätöarvojen löytämiseen, joilla syntynyt vaurio pintalaudassa on saatu asetettuja raja-arvoja pienemmäksi. Tällaisten tutkimusten yhteydessä on usein todettu, että olisi mielenkiintoista tietää useamman syöttörullatyypin aiheuttama vauriosyvyys samassa olosuhteessa. Näistä pohdinnoista syntyi nyt tehdyn opinnäytetyön aihe. Vastaavaa tutkimusta ei tässä laajuudessa tiedetä aiemmin muiden toimijoiden toimesta tehdyn.

Olen työskennellyt John Deere -harvesteripäiden tuotekehityksen PV&V-asiantuntijana (tuotetestausasiantuntija) 12 vuoden ajan. Työtehtäviini on liittynyt useita projekteja niin tuotekehitystä kuin asiakaskenttää tukevissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu erilaisten syöttörullien sahatavaraan aiheuttamia vaurioita.

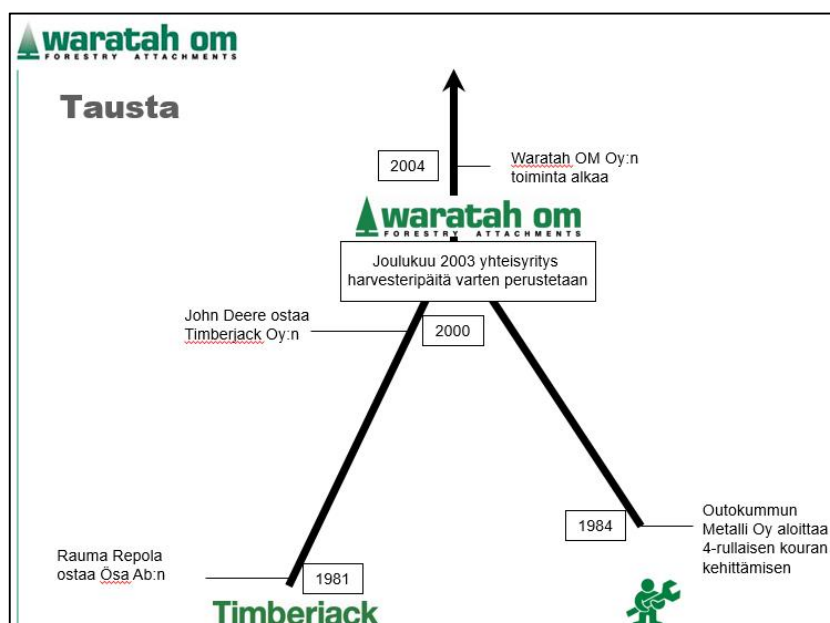
2 John Deere harvesteripäiden tuotekehitys ja toiminta

2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on v. 2004 toimintansa aloittanut Waratah OM Oy, joka on John Deere Forestry Oy:n ja Outokummun Metalli Oy:n yhteisyritys. Waratah OM Oy:n tehtävänä on harvesteripäiden tuotekehitys, tuotetuki ja valmistus John Deere Forestry:n pyörä- ja telaharvestereihin. Waratah OM Oy toimittaa Waratah-tuotemerkillä kouria myös muiden pyörä- ja telaharvesterivalmistajien alustoihin John Deere Forestry:n omistaman Waratah-myyntiyhtiön kautta.

2.2 John Deeren harvesteripäiden kehityshistoria

John Deere Forestry:n käyttämien harvesteripäiden historia alkoi 80-luvulla FMG Rauma Repolassa (kuva 1). Ennen John Deere-tuotemerkkiä samoja koneita oli monista yrityskaupoista johtuen valmistettu usealla eri merkillä (mm. LOKOMO, FMG, Timberjack), joista tunnetuin lienee Timberjack. John Deere osti Timberjack Oy:n vuonna 2000 osaksi konserninsa maanrakennus- ja metsäkonediivisioona.



Kuva 1. John Deere Forestry:n kourien historia (Waratah OM Oy 2019).

Harvesteripäiden kehityshistoria FMG Rauma Repolassa alkoi vuonna 1981, kun metsäkoneita Joensuussa valmistanut ja Tampereella kehittänyt yhtiö osti ruotsalaisen Ösa Ab:n. Ösa:n perintöä John Deere Forestryn kourissa on 2-rullainen tuoteperhe.

Vuonna 1984 Outokummun Metallin Oy aloitti harvesteripään kehitystyön. Outokummussa kehitettyjä ja valmistettuja harvesteripäitä ryhdyttiin alusta asti asentamaan FMG Rauma Repolan rakentamiin harvestereihin. Outokummun Metallin FMG Rauma Repolalle myymät harvesteripäät olivat 4-rullaisia, ja siksi silloisesta ja nykyisestäkin portfolioista löytyy molempia malleja.

Myöhemmin harvesterin brändi muuttui, mutta kuvio säilyi samana. FMG Rauma Repolan seuraajana pyöräharvesteria valmistanut yritys suunnitteli ja valmisti 2-rullaiset harvesteripäät ja osti 4-rullaiset harvesteripäät Outokummun Metallilta. Näin jatkui vuoteen 2003 asti. Vuonna 2003 John Deere siirsi omistamansa Timberjack-harvesterin ja 2-rullaisen harvesteripään valmistuksen Ruotsin Filipstadista Joensuuhun.

Valmistuksen siirryttyä Joensuuhun Outokummun Metallin ja Timberjackin Oy yhdistivät harvesteripäiden tuotekehityksen yhteisyrityksen alle ja syntyi Waratah OM Oy. Yhtiö on perustamisen jälkeen vastannut John Deere Forestryn harvesteripäiden tuotekehityksestä, laadusta, tuotetuesta ja loppukoonnasta. Outokummun metallin on Waratah OM Oy:n perustamisen jälkeen keskittynyt harvesteripäiden runkojen hitsaukseen, koneistukseen, pintakäsittelyyn ja mekaaniseen kokoonpanoon.

2.3 Harvesteripäiden rakenne

Yksioteharvesteripäissä on yleensä erotettavissa seuraavat osat: saharunko, keskirunko, eturunko, tilitirunko ja latvasaharunko. Näistä latvasaharunko on yleensä lisävaruste.

2.3.1 Saharunko

Saharunko sijaitsee harvesteripään takaosassa, kun harvesteripäätä katsotaan puintiasennossa. Saharunko voi olla vasen- tai oikeakätinen. Rungossa on sahalaitte, joka kaataa ja katkoo rungot automatiikan tai kuljettajan ohjaamana. Saharungossa sijaitsee myös kantokäsittelyvarustus ja laippaan ruiskuttamiseen perustuva pöllien värimerkkauslaite.

2.3.2 Keskirunko

Keskirunko on nimensä mukaisesti harvesteripään rungon keskellä ja muut rungon osat ja toimilaitteet liittyvät siihen. Tässä harvesteripään osassa yleensä ovat 3- ja 4-rullaisissa harvesteripäissä rungossa olevat ns. ylämoottorit ja yläsyöttörullat. Tässä tutkimuksessa tutkittavat alasyöttörullat moottoreineen on asennettu niitä auki ja kiinni liikuttaviin rullarunkoihin, jotka on pääsääntöisesti asennettu myös keskirunkoon. Joissakin malleissa rullarungot on myös voitu asentaa eturunkoon. Harvesteripää tiltaa eli kaatuu puintiasentoon keskirungossa olevan tilttirungon avulla. Keskirungon takaosassa on myös yleensä yksi kiinteä takaterä ja 1-2 liikkuvaa takaterää mikäli, kyseiseen malliin sellaiset kuuluvat.

2.3.3 Eturunko

Eturungossa teriä yleensä on kolme, joista kaksi liikkuvaa ja yksi kiinteä. Tämä kiinteä yläterä voi myös joissain tapauksissa olla avautuva tai uiva. Kaadossa terät ja syöttörullat ottavat pitävän otteen puusta, ja niiden avulla suunnattu kaato saadaan tehtyä turvallisesti. Syöttörullat puristavat myös puuta kaadon aikana rungon pysymiseksi harvesteripään otteessa, ja lisäksi ne estävät rungon valumisen kourassa kaadon ja prosessoinnin aikana.

Prosessoinnin aikana rullat ja terät kannattelevat runkoa mallista riippuen eri tavoin, josta tarkemmin kohdissa 2.5–2.7. Etuterät ja takaterät kannattelun lisäksi

karsivat oksat rungoista. Kuorivissa harvesteripäissä terät osallistuvat rullien lisäksi kuoren irrotukseen. Takaterässä voi myös olla pöllien merkkaukseen sopivat värisuuttimet. Syöttörullien tehtävä prosessoinnissa on siirtää puunrunkoa harvesteripään läpi, jotta terät voivat karsia ja saha katkoa ”pöllit” oikeaan mittaan joko automatiikan tai kuljettajan ohjaamana.

2.3.4 Syöttörullat

Syöttörullia on markkinoilla eri valmistajien kehittämänä laaja valikoima. Syöttörullilla on erilaisia ominaisuuksia liittyen korjattavan puutavaran laatuvaatimukseen (sallittu vauriosyvyys ja irtoavan kuoren määrä) tai sille prosessoinnin aikana tehtävään käsittelyyn (eucalyptuksen korjuussa käytettävät puuta kuorivat syöttörullat). Tarjolla olevien syöttörullien rakenteelliset ratkaisut vaihtelevat paljon, mutta pääsääntöisesti syöttörullat voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat piikki- ja ripatyypiset syöttörullat. Rakenteellisesti näistä kahdesta päätyypistä poikkeaa Moipu Oy:n kehittämä syöttörulla, jossa pitävät piikit ovat levyssä, joka on niveloitu keskeltä. Tällaisella rakenteella saadaan puuta koskettamaan pyöreän syöttörullan viivakosketuksen kohdalle sattuvien pitävien elementtien sijaan levyn pinta-alalla olevien elementtien kosketus. Ero muistuttaa tilannetta, jossa auton rengas on vajaa. Vajaassa renkaassa tien pintaan koskettava pinta-ala on suurempi kuin täydessä renkaassa.

2.3.5 Latvasaharunko

Yleensä lisävarusteena toimitettava ketjusahalla varustettu latvasaharunko sijaitsee harvesteripään etuosassa eturungon jatkeena. Latvasaha voi myös olla vasen- tai oikeakätinen. Sitä käytetään esimerkiksi tienvarsiprosessoinnissa, jossa prosessoitavien runkojen latvat ovat usein poikki, koska ne on juonnettu kokorunkoina tienvarteen. Latvasahalla saadaan rikkoutunut latva mahdollisimman tarkkaan prosessoitua, ottamatta uutta otetta rungosta rikkoutuneen latvan katkaisemiseksi.

2.4 Harvesteripään mittalaitteet, ohjaus ja automaatiikka

Pituusmittalaite voi mallista riippuen olla eturungossa, keskirungossa tai jossakin syöttävistä moottoreista. Halkaisijamittaus voi olla terissä tai rullarungoissa riippuen valitusta mittaustavasta. Harvesteripään toimilaitteet ovat tällä hetkellä hydraulikäyttöisiä, ja niitä ohjataan yleensä harvesteripäässä olevalla venttiilillä. Venttiiliä ohjaa automaatiikka, joka säätelee venttiilin toimintoja automaattisesti tai kuljettajan painamien nappien mukaan. Automaattinen prosessointi perustuu tietokoneen tekemään apteraukseen haluttujen läpimittojen ja pituuksien katkomiseksi. Apterauksessa ennustetaan runkopankin avulla rungosta katkottavat pöllit antureiden mittaaman pituuden ja läpimitan perusteella.

2.4.1 Syöttörullan puuhun kohdistaman voiman säätö

Syöttörulla kohdistaa puuhun rullarungon mekaanisen rakenteen vipukulmien, mekaniikkaa käyttävän sylinterin männän pinta-alan ja harvesteripään venttiilin säätämän paineen avulla läpimitan mukaan muuttuvan voiman. Vipukulmien muutosta puun syötön aikana kompensoidaan automaatiikan ja hydraulikkaventtiilien säätämällä läpimitan mukaisella hydraulisella paineella.

Paineella kompensoidaan myös esimerkiksi ympäristöstä ja työtavasta aiheutuvia kannatteluvoiman tarpeen muutoksia. Tällaisia ovat mm. rullan kuluminen ja nosturilla tapahtuva harvesteripään auttaminen eli seuraaminen. Esimerkiksi tilanteessa, jossa kuljettaja ei seuraa puun tyvellä harvesteripäätä nosturilla ollenkaan tai hyvin vähän, joudutaan syöttörullilla kannattelevalla harvesteripäällä lisäämään painetta sylinteriin. Ilman paineen lisäystä puu putoaisi tai roikkuisi harvesteripäässä, jolloin karsinta ja mittaus huonontuvat.

2.4.2 Syöttörullan puristuksen tasoon vaikuttavat tekijät

Usein eri syöttörullavalmistajat kertovat mainonnassaan, kuinka juuri heidän syöttörullallaan voidaan syöttörullapaineita pudottaa ja näin vähentää pintalaudan vauriota, säästää harvesteripään ylläpitokustannuksissa ja koneen polttoainekuluissa. Tämä onkin varmasti totta, kun verrataan uutta ja vanhaa syöttörullaa, jonka kulumista joudutaan syöttörullan sylinterien painetta korottamalla kompensoimaan.

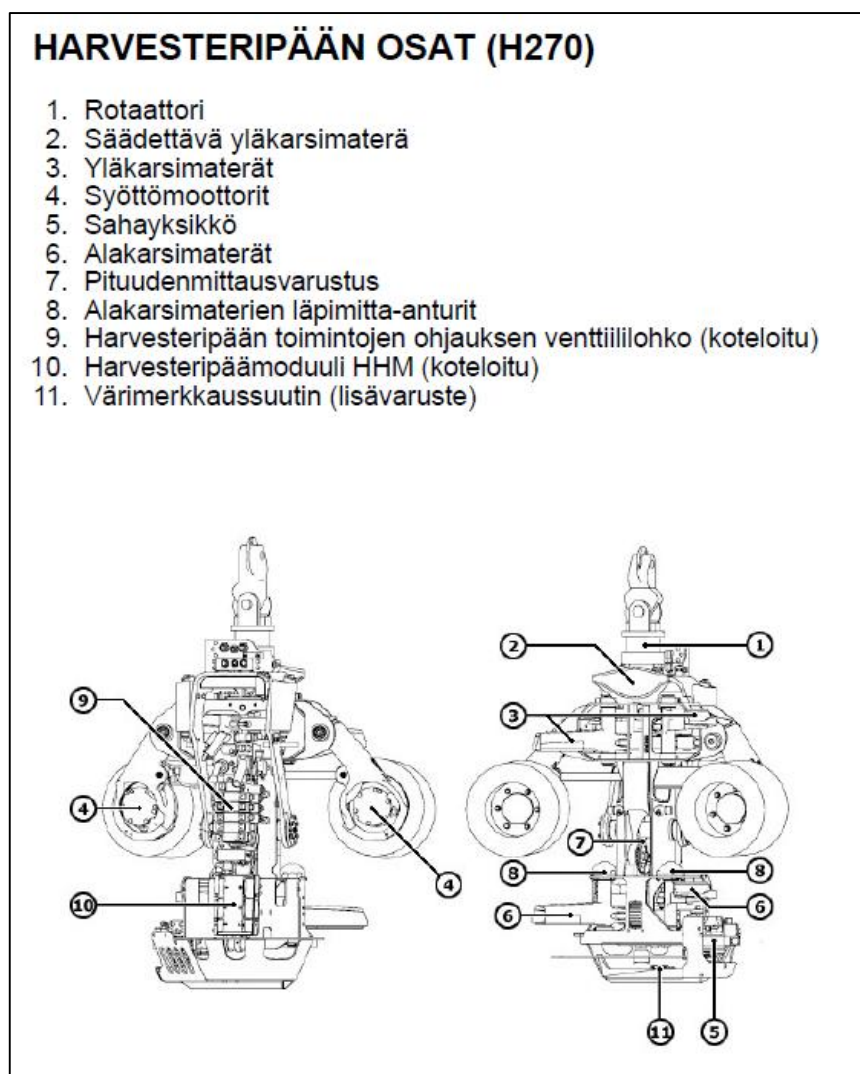
Nykyisin markkinoilla saatavat syöttörullat ovat kautta linjan uutuuttaan hyvin pitäviä ja syöttörullia puussa pitävien syöttörullanvarsien painetta ei pääsääntöisesti jouduta korottamaan pidon vuoksi. Eroja syöttörullien välille pitoon tarvittavassa paineessa syntyy kappaleessa 2.4.1 läpikäydyn harvesteripään käytön lisäksi käyttöiän kasvaessa. Käytöstä johtuva kuluminen muuttaa syöttörullien pidon kestoa eri tavoin käyttöaikana ja toisia syöttörullatyyppejä voidaan huoltaa käytön aikana paremmin kuin toisia. Syöttörullien pidon parannuttua niissä tehdyn kehityksen myötä onkin syöttörullilla kannattelevissa harvesteripäissä säätöä ohjaavaksi tekijäksi muodostunut kannatteluun tarvittava voima.

2.5 Harvesteripäätyypit

Tutkimuksessa käytettiin John Deeren 4-rullaista harvesteripäätä, jonka mallimerkintä on H415. H415-harvesteripäämalli on John Deere Forestry 4-rullaisten harvesteripäiden suurin malli ja sitä käytetään pääsääntöisesti päätehakkuussa. Suomessa käytössä olevat harvesteripäät ovat 2-, 3- tai 4-rullaisia. Nämä harvesteripäätyypit voidaan jakaa kahteen ryhmään niiden toiminnallisen eron perusteella. Harvesteripäätyypit jakautuvat terillä kannatteleviin 2-rullaisiin ja syöttörullilla sekä terillä kannatteleviin 3- ja 4-rullaisiin harvesteripäihin.

2.6 2-rullaiset harvesteripäät

2-rullaisessa harvesteripäässä kannattelu hoidetaan terillä. Syöttävät rullat ovat puuhun nähden sivulla pystyssä tai pienessä kulmassa, jolloin ne eivät kannattele tai niiden kannattelu on hyvin vähäistä (kuva 2). Sivulta puristavien syöttörullien tehtäväksi jää vain näiden kahden rullan välissä olevan puun syöttäminen harvesteripään läpi. Rakenne mahdollistaa sen, että syöttörullaa tarvitsee painaa puuta vasten vain sen verran, että syöttövoima saadaan välitettyä puuhun syöttörullan lipsumatta. Tässä harvesteripäättyypissä syöttörullien moottorit on kytetty rinnan. Tästä syystä pidon murtuminen yhdellä syöttörullalla riittää pysäyttämään syötön sutimisen vuoksi.



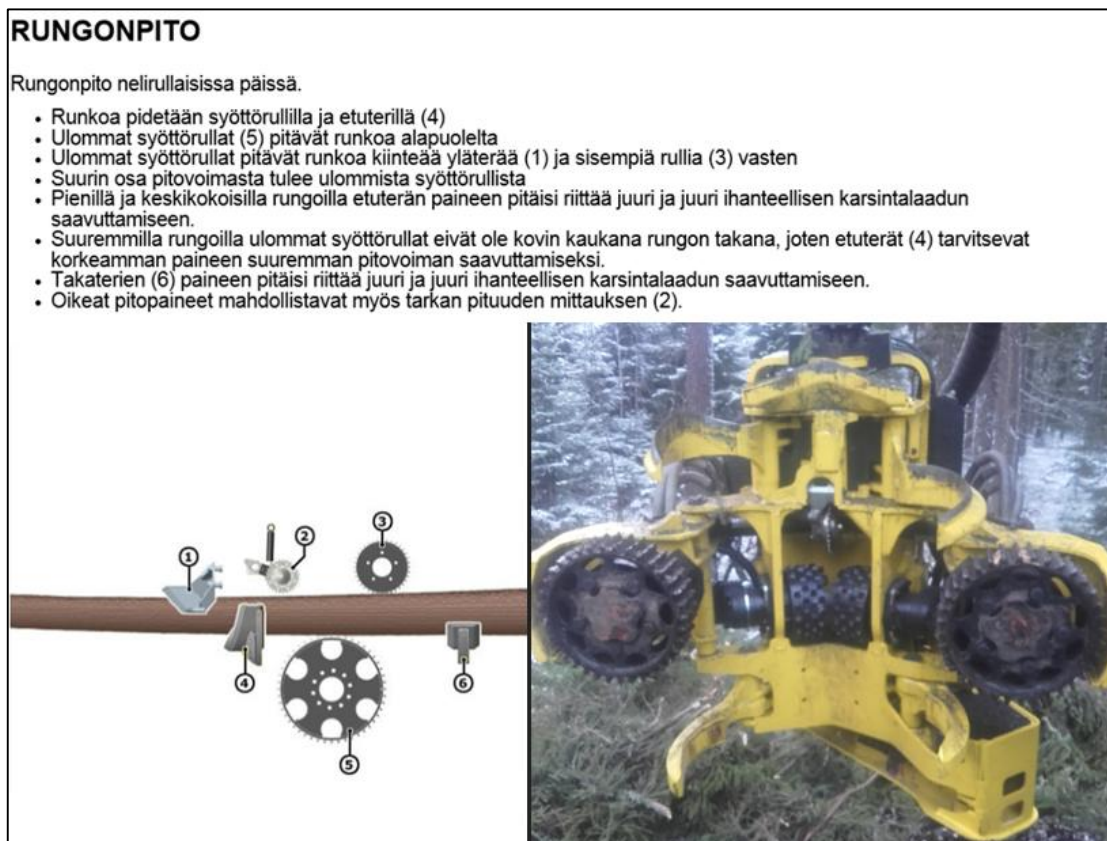
Kuva 2. Tyypillinen rakenne 2-rullaiselle harvesteripäälle (John Deere Forestry Oy 2018, 21).

2.7 3- ja 4-rullaiset harvesteripäät

3- ja 4-rullaisissa harvesteripäissä syöttävistä rullista kaksi tulee harvesteripään sulkeutuessa puunrungon alapuolelle (kuva 3). Näissä harvesteripäämalleissa puunkannattelusta suurin osa tapahtuu näillä kahdella puunrungon alapuolelle tulevalla syöttörullalla, ja 2-rullaista vähemmän terillä. Nämä kaksi kannattelevaa syöttörullaa puristavat puuta yhtä tai kahta kouran rinnassa olevaa hydraulive-toista syöttörullaa vasten ja puun syöttö tapahtuu näiden kolmen tai neljän syöt-törullan välissä. Tämän vuoksi syöttörullien puristuksen tekevien rullarunkojen sylinterien hydraulisen paineen säätöön vaikuttaa vaadittavan pidon lisäksi syö-tettävän rungon paino.

Yleensä 3- ja 4-rullaisissa harvesteripäissä on neljä hydraulimoottoria, joista kes-kirungossa olevat moottorit on kytketty mekaanisesti yhteen. Öljy ajetaan eteen-päin syötössä ensin rungossa oleville mekaanisesti kytketyille moottoreille ja näi-den jälkeen kannattelevien syöttörullien moottoreille. Mekaanisesta kytkennästä johtuen harvesteripäää vetää eteenpäin kaikilla kolmella tai neljällä syöttörullalla, ja sutimiseen vaaditaan kaikkien syöttörullien pidon murtuminen.

Peruutuksessa pidon murtuessa suditaan kahdella tai kolmella syöttörullalla, yh-den moottorin ja syöttörullan pysyessä paikallaan. Mekaaninen kytkentä ei tässä tilanteessa pyöritä väkisin sitä syöttörullaa, jonka kohdalla pito ei murtunut.



Kuva 3. Tyypillinen rakenne 3- ja 4-rullaiselle kouralle (John Deere Forestry Oy 2018, 43).

3 Puutavaran korjuuvauriot ja niiden ehkäiseminen

3.1 Konehakkuun ainespuuhun aiheuttamat korjuuvauriot

Konehakkuussa puutavaralle voi tulla erityyppisiä vaurioita. Tyypillisiä vaurioita ovat sahan kaadosta ja katkonnasta aiheutuneet repeämät, syötöstä ja karsinnasta johtuvat kuoren ja ainespuun vauriot, puutavaran likaantuminen ja kiviin ja kantoihin kaatuneen puun katkeaminen. Oikein säädetty harvesteripää, oikeat työtavat, teräketjujen, laippojen karsimateriaalien ja syöttörullien olosuhteet huomioiden oikein tehty kunnossapito vaikuttavat suoraan konehakkuun tuottamaan puutavaran laatuun. Konehakkuun puutavaralle aiheuttamia vaurioita on tutkittu kattavasti aina 90-luvulta lähtien. Tutkimuksia löytyy kaato-, katkaisu-, karsinta- ja syöttövaurioista. Tässä tutkimuksessa keskitytään vain syöttörullien normaalin syötön aiheuttamien vaurioiden syvyyteen.

3.2 Syöttörullien ainespuuhun aiheuttamien vaurioiden tyypit

Syöttörullien aiheuttamat vauriot ainespuussa voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäinen vauriotyyppi on syötön liikkeellelähdössä tai esteeseen törmäämisestä johtuvan pidon murtumisen vuoksi syntyvä sutimisvaurio, joka syntyy syöttörullan pyöriessä tyhjää ja syöttörullan piikkien jyrsiessä ”pölliin” kuopan syvälle ainespuuhun (kuva 4). Toinen vauriotyyppi on normaalin syötön aikainen syöttörullan piikin, rivan tai muun rullan pitävän elementin uppouma ainespuuhun (kuva 5). Sutimisen aiheuttama vaurion syvyys voi vaihdella paljon riippuen sutimisen kestosta. Tästä syystä sutimisvaurio on rajattu kokonaan tämän tutkimuksen ulkopuolelle ja käsitellään vain normaalin syötön aikana syntyvän vaurion syvyyttä.



Kuva 4. Riparullan pidon murtumisen jälkeisiä jyrshintäjälkiä ainespuun oksaisissa latvapölleissä (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 5. Piikkirullan jättämät painaumat ainespuussa (Kuva: Samuli Jormanainen).

3.3 Pitävän elementin uppouman hallinta

Pitävän elementin uppoamista puuhun hallitaan yleensä kahdella tavalla. Ensimmäinen ja pidempään käytössä ollut tapa on elementtien syöttösuunnan ja moottorin akselin suuntainen etäisyyden muutos (kuva 6). Tämä on yleisin tapa hallita uppoumasyvyyttä esimerkiksi piikkirullissa, joiden piikit on tehty pyörötangosta. Mitä edempänä puuta kohtisuoraan koskettava elementti on edellisestä, seuraavasta ja viereisestä elementistä, sitä syvempään pitävä elementti voi voiman riittäessä upota. Tällä tavalla uppouman hallinta on haasteellista, koska liian lähikäin asennetut elementit saavat kuoren ja puuaineksen jäämään niiden väliin ja näin rullan pinta tukkeutuu ja pito menetetään. Lisäksi viereiset piikit uppoavat myös jonkun verran puuhun ennen kuin ne alkavat rajoittamaan, joka tuo lisää variaatiota syvyyden hallintaan.



Kuva 6. Piikin uppoumaa puuhun säädetään piikkien etäisyyttä muuttamalla kehällä ja rivien väleillä, jolloin kuvassa olevan tason korkeus suhteessa piikin korkeuteen muuttuu (Kuva: Samuli Jormanainen).

Toinen tapa hallita uppouman syvyyttä on tehdä pitävään elementtiin tasainen osuus, joka rajoittaa elementin uppoamisen puuhun korkeintaan siihen syvyyteen, joka elementistä on tasaisen osan yläpuolella (kuva 7.). Tämä tapa on yleinen ripatyypisissä syöttörullissa ja myös Moipu Oy:n kehittämän nivelöidyn levyn pitävien elementtien uppouman hallinta perustuu tähän.



Kuva 7. Riparullan ripojen terävien kärkien välissä olevat uppoumaa rajoittavat tasot (Kuva: Samuli Jormanainen).

4 Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimustehtävä

Toimeksiantajan tavoite oli saada selville seitsemän eri syöttörullatyypin puutavaralle aiheuttamien vaurioiden syvyys määritellyillä läpimittaluokilla. Tutkimus oli määritelty tehtäväksi niin, että kokeessa pidettiin muut muuttujat vakiona ja vain harvesteripään alasyöttörullaa vaihdettiin testirunkojen välillä. Tutkimuksella haluttiin saada kuvaa eri syöttörullatyypien uppouman käyttäytymisestä, kun muut muuttujat kuin syöttörulla pidetään vakioina. Tutkimuksella ei haettu hyvää tai huonoa syöttörullaa, koska syöttörulliin on tehty uppoumaan vaikuttavia piirteitä esimerkiksi jotain tiettyä puulajia varten ja tässä tutkimuksessa puulajina oli vain kuusi.

5 Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat

5.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus toteutettiin empiirisenä tutkimuksena. Empiiriselle tutkimukselle on tyypillistä, että tutkimuskohteesta muodostetaan konkreettisia tuloksia mittaamalla ja havainnoimalla (Jyväskylän yliopisto 2019). Opinnäytetyön tuloksia tarkasteltiin tilastollisin eli määrällisin menetelmin. Määrällinen menetelmä antaa tyypillisesti vastauksen kysymyksiin mikä, missä, miten paljon ja kuinka usein. Menetelmän antamissa tuloksissa pyritään siihen, että tulokset olisivat yleistettävissä. Määrällisessä menetelmässä subjektiivinen tulkinta poissuljetaan käsittelemällä tietoa tilastollisina yksiköinä (Heikkilä 2014, 7). Menetelmän käyttöä tutkimuksessa tuki se, että puutavarasta mitatut vauriot ovat mittavia numeerisia arvoja, ja otos on edustava, vaikkakaan ei kovin suuri. Otoksen edustavuutta varmistettiin vakioimalla olosuhteet jokaisen tutkittavan syöttörullan kohdalla mahdollisimman pitkälle samoiksi. Otoksen kokoa rajoittavaksi tekijäksi muodostui se, että näytteiden mittakohdat haluttiin pienellä erolla samoista läpimitoista. Tästä syystä

puut oli katkottava arvoopterauksen vastaisesti ohjelmoiduilla esivalintapituukilla. Tällainen toiminta ei ollut tässä tutkimuksessa mahdollista suuremmassa määrin.

5.2 Aineiston hankinta

Toimeksiantaja määritteli syöttörullat, joiden ainespuuhun aiheuttamien vaurioiden syvyydet haluttiin selvittää. Syöttörullat oli valittu sen mukaan, mitä eniten asennetaan H415-harvesteripäähän. Ainoa poikkeus tähän oli kartiopiikkirulla, josta haluttiin vertailtavaa tietoa mahdollista jatkokehitystä varten.

5.2.1 Tutkimuksessa käytetyt syöttörullat

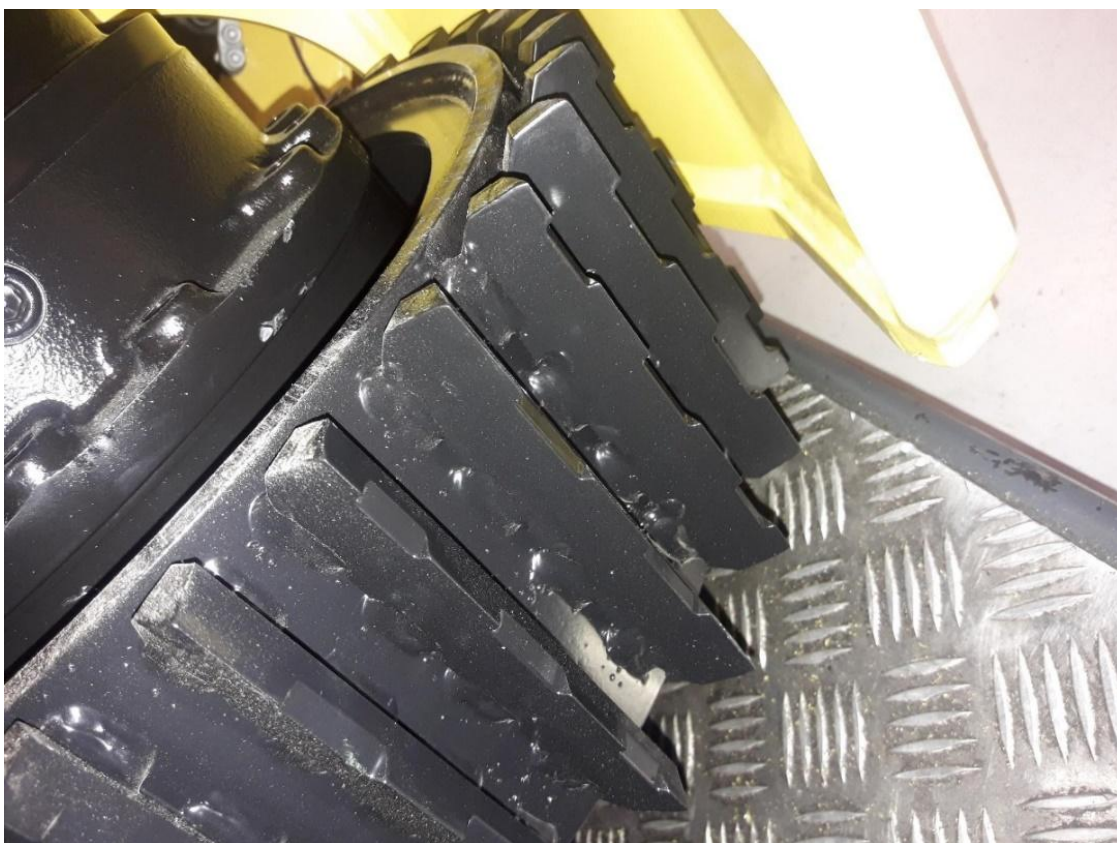
Testissä käytettävät syöttörullat olivat seuraavat: 20 mm:n teräspiikki (kuva 8), teräsripa (kuva 9) ja teräskartio (kuva 10), jotka ovat Waratah OM Oy:n kehittämiä. MenSe Oy:n tuotteita testissä olivat kumivaimennettu 20 mm:n teräspiikki (kuva 11) ja V-tec MenSe (kuva 12). Moisio Forest Oy:n aggressiivinen Moipu (kuva 13) oli testin syöttörullista ainoa, jossa on liikkuvia teräsosia. TP-Rollerssin laikoista kasattava rakenne mahdollistaa monenlaisia kombinaatioita, mutta testiin oli valittu malli, jota on eniten Suomessa asennettu H415-harvesteripäähän (kuva 14). Teknisten ratkaisujen avaamiseksi on ominaisuustaulukkoon (taulukko 1) koottu syöttörullista mitattavia ja havaittavia piirteitä.

Taulukko 1. Ominaisuustaulukko tutkimuksessa käytetyistä rullista.

Syöttörullan nimi (kauppanimi)	Pitävien elementtien kosketus puuhun	Suurin halkaisija (mm)	Pitäviä elementtejä syöttörullan korkeussuunnassa (kpl)	Peräkkäisten elementtien välit kehän suunnassa (mm)	Kahden kehän välinen jako (mm)	Pitävien elementtien kehien välit (mm)	Pitävän elementin puuhun uppoavan kärjen muoto	Syöttörullassa joustava elementti
Waratah teräsripa	viiva	445	5	39	0	23	tasainen kolmion kärki	ei
Waratah 20mm piikki teräs	viiva	445	5	45	10	25	katkaistu pyörötanko (20mm)	ei
Waratah teräskartio	viiva	445	5	45	13	25	kartio	ei
Mense V-tec	viiva	450	5	75	12	25	tasainen kolmion kärki	ei
Mense 20mm piikki kumi	viiva	445	6	64	32	20	katkaistu pyörötanko (20mm)	kyllä
Moipu aggressiivinen	levy 105*90mm	445	7	38	0	30	tasainen kolmion kärki	kyllä
TP-roller	viiva	445	4	50	25	35	tasainen kolmion kärki	ei



Kuva 8. Waratah OM Oy:n 20 mm:n teräspiikkirulla. (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 9. Waratah OM Oy:n teräsriparulla (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 10. Waratah OM Oy:n teräskartiorulla (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 11. Mense Oy:n kumivaimennettu 20 mm:n teräspiikkirulla (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 12. Mense Oy:n V-tecrulla (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 13. Moisio Forest Oy:n aggressiivinen Moipu-rulla (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 14. TP-roller (Kuva: Samuli Jormanainen).

5.2.2 Testirunkojen valinta ja prosessointi

Testissä käytetty leimikko oli hyvin kantava tasamaan päätehakkuukuusikko ja korjuuaika oli kesä, jolloin maaston vaikutus voitiin minimoida. Tutkimuksen rungot valikoitiin leimikosta etukäteen. Näin varmistuttiin siitä, että jokaiselle syöttöruudalle koerungoiksi tulevat rungot olivat samaa kokoluokkaa ja oksaisuudeltaan sekä kuoreltaan mahdollisimman samanlaisia. Rungot valittiin leimikon keskeltä, jotta niissä ei olisi epätasaisen valaistuksen tuomaa oksien suuntautumista. Tutkimuksen rungot olivat rinnankorkeusläpimitaltaan 350–400 mm. Tämä runkokoko voitiin helposti syöttää H415-kouralla nosturilla seuraamatta, jolloin nosturin käytön vaikutus saatiin jäämään pois.

Rungot apteerattiin manuaalisesti ohjelmoiduilla pituuksilla, jolloin näytteiden välit saatiin määrättyä kiinteiksi ja näytteiden läpimitat mahdollisimman lähelle toisiaan. Näytepölliä syötettiin esivalitulla pituudella suoraan katkaisuikkunaan, jolloin rungon käsittelyn aikana ei ollut tarvetta peruuttaa. Mikäli näytelaikkoihin tuli

laadullista vikaa, koko runko hylättiin ja tehtiin tilalle uusi näyterunko. Katkotut ”pöllit” olivat 5,2 m pitkiä. 14 cm pitkä näytelaikka syötettiin myös ohjelmoidulla pituusnapilla aina katkaistun 5,2 m:n pöllin jälkeen.

Harvesteripäää säädettiin niin, että valikoitu runkokoko saatiin syötettyä ilman nos-turin seuraamista kouran keulimatta. Keulinta tarkoittaa tilannetta, jossa rungon liike-energia pyrkii avaamaan kouran etuteriä ja näin menetettäisiin puun kar-sinta, pituuden ja läpimitan mittausta. Rungot puitiin aina koneen kulkusuunnassa eteenpäin kaataen ja runko puitiin pinoon koneen vasemmalle puolelle. Näillä järjestelyillä voitiin varmistua siitä, että näyterunkojen prosessoinnin työtavasta uppoumaan vaikuttavat tekijät säilyivät samoina. Ennen näytteiden ottamista teh-tyjen säätöjen vaikutus koneen mittaukseen tarkastettiin kontrollimittauksella. Mittauksen tulos oli +0,5 %. Tulos tarkoitti sitä, että kone mittasi 0,5 % suurem-man tilavuuden mitatuista rungoista, kuin mitä saksimittauksella otantarunkojen tilavuudeksi saatiin. Tällainen tulos kontrollimittauksessa on erinomainen ja osoit-taa laitteen olevan oikein säädetty.

5.2.3 Näytteiden valmistelu ja mittaus

Harvesteripään sahalaitteella prosessoinnin yhteydessä katkotut näytelaikat merkattiin katkonnan yhteydessä kuivatukseen ajaksi siten, että niiden jäljitettä-vyys säilyi sahausta varten. Koneen näytön läpimittatieto kirjattiin Excel-tauluk-koon näytteiden luokittelua varten. Näytteet luokiteltiin kolmeen luokkaan, jotka olivat: luokka 1. 280–355 mm (isot sorvitukit), luokka 2. 210–280 mm (pienet sor-vitukit) ja luokka 3. 150–210 mm (sahatukin minimilatvaläpimitta – sorvitukin mi-nimilatvaläpimitta). Näytelaikat oli kuivattava, jotta näytteet voitiin sahata vanne-sahalla. Laikat olivat yhtä pitkiä, ja ne kuivatettiin samassa tilassa ilmavasti ase-teltuna (kuva 15). Tilan lämpötila oli noin +18°C.



Kuva 15. Laikkojen kuivaus lavoilla, ilmastavasti ja katkaisupinnat erillään (Kuva: Samuli Jormanainen).

Vannesahaus suoritettiin syöttörullien tekemien keskimmäisten painaumien keskeltä puun keskustaa kohti (kuva 16). Näytepala irrotettiin laikasta sektorina ja sektorista mitattiin piikkien puutavaraan tekemät vauriot työntömitalla (kuva 17). Mitattavaksi vauriosyvyydeksi tulkittiin se mitta, mihin asti puun kuidut oli silminnähten rikkoutunut. Kuorta ei mitattu näytteen mittauksen yhteydessä. Kuoren paksuutta mitattiin satunnaisesti jokaisen syöttörullan näyte-erästä ja sen paksuus oli hyvin tasaista. Kuoren paksuus vaihteli tyvipöleissä 4–5 mm:n välillä ja väli- ja latvapöleissä 2–4 mm:n välillä. Mikäli kuivatuksen aiheuttama halkeama sattui mittauskohtaan, ei näytettä mitattu. Tällaisia kohtia sattui vain kaksi koko tutkimuserään. Saadut vauriosyvyydet kirjattiin Excel-taulukkoon tulosten muodostamista varten.



Kuva 16. Sahattuja laikkoja (Kuva: Samuli Jormanainen).



Kuva 17. Laikkojen mittaus työntömitalla (Kuva: Samuli Jormanainen).

5.3 Tulosten laskenta

Toimeksiantajaa tutkimuksessa eniten kiinnosti se, kuinka vertailtavien syöttöruulien uppoumat käyttäytyivät eri läpimitoilla, kun muut muuttujat kuin syöttörulla pidettiin samana. Tulosten laskentaan käytettiin jokaisen näytekohdan neljää syvintä vauriota. Näytekohdan painaumaksi laskettiin neljän syvimmän vaurion keskiarvo. Saaduista läpimittojen vauriosyvyyksistä muodostettiin jokaiselle syöttörullatyyppille kuvaajat samaan kaavioon tulosten visualisoimiseksi.

5.4 Tilastollinen testaus

Testauksella pyritään selvittämään, onko tutkimuksessa saaduilla eroilla tilastollista merkitsevyyttä. Testausmenetelmiä tilastolliseen testaukseen on tarjolla hyvin paljon. Se mitä testausmenetelmää käytetään, riippuu esimerkiksi otoskoosta ja muuttujan jakautuneisuudesta (Heikkilä 2014b, 2–4). Tämän tutkimuksen aineistolle sopiva testausmenetelmä olisi yksisuuntainen varianssianalyysi, mutta mikäli sen ehdot normaalijakautuneisuudesta ja ryhmien varianssien yhtäsuuruudesta eivät toteudu, käytetään Kruskal-Wallis-testiä (Taanila 2019).

Tilastollinen testaus lähtee liikkeelle aineistosta muodostettavien hypoteesien eli oletusten määrittelyllä. Nollahypoteesi (H_0) oletetaan oikeaksi ja vastahypoteesi (H_1) pyrkii sen kumoamaan. Tyypillisesti H_0 on esimerkiksi asetettu niin, että eroa tai riippuvuutta ei ole, ellei vastahypoteesi H_1 astu voimaan ja todista tilannetta toisin. Otantavirhe voi tehdä tulokseen poikkeamaa H_0 :sta, mutta varsinaisen todistaminen todetaan testin p-arvon avulla. H_0 :n kumoutuminen on sitä todennäköisempää, mitä pienempi tuloksena saatu p-arvo on. (Taanila 2012.) Testauksen tuloksena saatu p-arvo kertoo merkitsevyytason, jolla määritellään tasoa riskille, että tulos olisi sattumaa. Merkitsevyydestä voidaan käyttää myös lyhennettä Sig. Testattu ero tai riippuvuus on tilastollisesti erittäin merkitsevä, jos $p \leq 0,001$, merkitsevä, jos $0,001 < p \leq 0,01$ ja melkein merkitsevä, jos $0,01 < p \leq 0,05$. (Heikkilä 2014b, 7.)

6 Tulokset

6.1 Aineiston näytteiden määrä

Näytelaikkoja kertyi kaikkiaan 72 kappaletta, ja niistä mitattiin yhteensä 449 näytettä. Jokaisen laikan näytteistä kelpuutettiin neljä syvintä vauriota, koska tarkoituksena oli vertailla syvimpiä vaurioita syöttörullan keskilinjalta, johon painaumia tuli minimissään neljä kappaletta jokaiseen laikkaan. Kahta poikkeusta lukuun ottamatta syvimmet jäljet löytyivät aina syöttörullan puuhun jättämien jälkien keskeltä. Näin saatiin tutkimukseen tulosten laskentaa varten 288 näytettä. Näytemäärä syöttörullaa kohden vaihteli välillä 36–44 (näytettä/syöttörulla). Tämä johtui siitä, että joistakin näyterungoista tuli kohdan 5.2 mukaisella katkonnalla valittuihin läpimittaluokkiin 4 ”pölliä” ja joistakin 3 ”pölliä”.

6.2 Vauriosyvyyksien laskennan tulokset

Näytelaikkojen neljästä syvimmästä näytteestä laskettiin keskiarvo, josta tuli uppouman arvo näytteen läpimitalle (taulukko 2). Läpimitan arvona käytettiin mittalaitteen näytön näyttämää katkaisukohdan läpimitan arvoa.

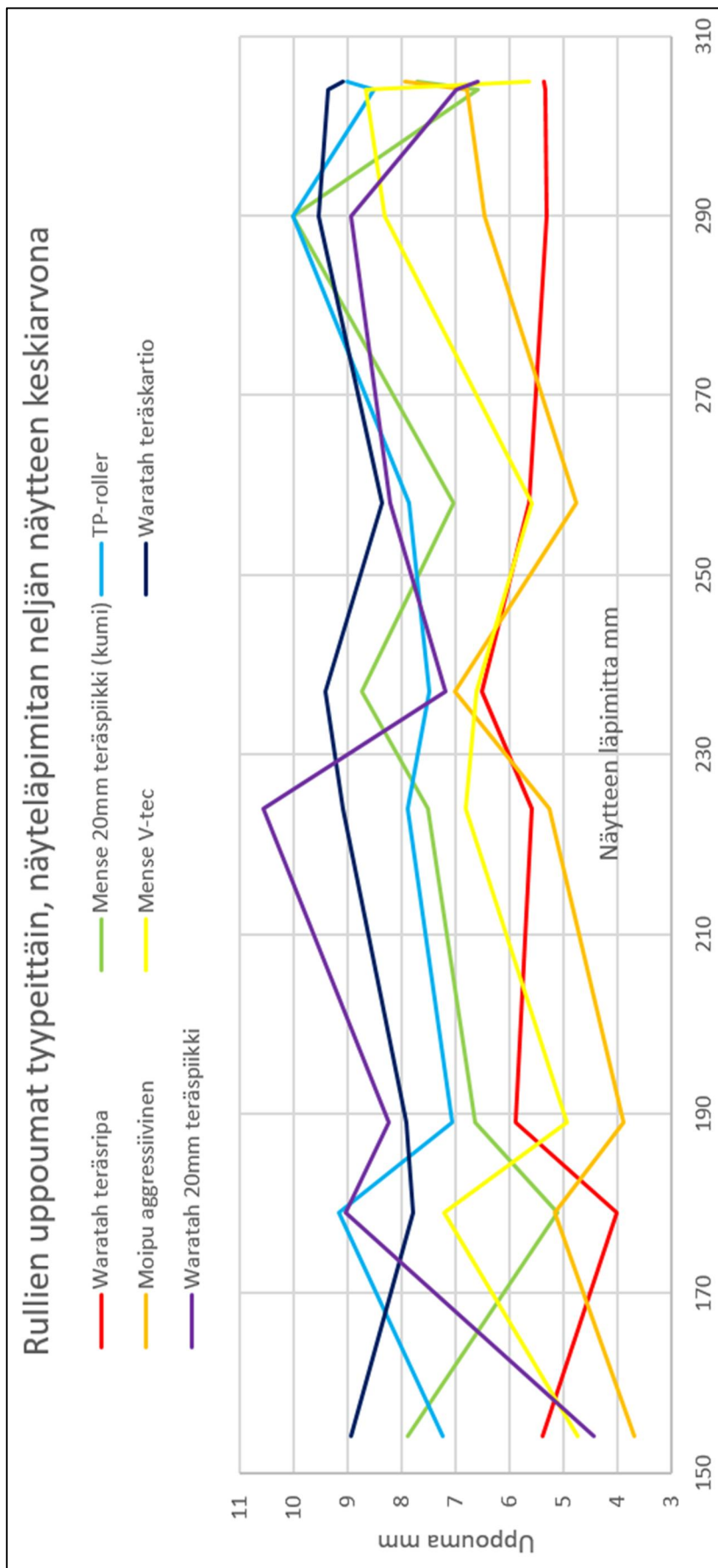
Taulukko 2. Esimerkki laskentapohjasta Waratahin riparullalle, jossa mitattu uppouma on vauriosyvyys (4 syvintä), LPM on mittakohdan läpimita koneen näyttämänä ja näytteen uppouma-arvoksi laskettu keskiarvo.

Uppouma (mm)	LPM (mm)	Keskiarvo (mm)
5,87	304	5,345
5,5		
5,18		
4,83		
5,96	290	5,31
5,18		
5,1		
5		

6.3 Tulosten visualisointi

Tuloksilla ei pyritty osoittamaan syöttörullien paremmuutta, vaan tulosten haluttiin kertovan lähinnä eri syöttörullien aiheuttaman vauriosyvyyden käyttäytymisestä eri läpimittaluokissa, muiden tekijöiden pysyessä samana. Tulokset on esitetty syöttörullittain kuviossa yksi, uppouman ja näytelaikan läpimitan funktiona. Sekä näytteenläpimitta, että uppouma on esitetty kuviossa millimetreinä.

Kaavion kuvaajista on havaittavissa erot uppoumien syvyydessä eri rullatyypeillä. Kuvaajat tuovat myös esiin aiemmin teoriaosassa todetun huomion uppouman hallinnan haasteellisuudesta piikkityyppisellä syöttörullalla. Tämä on nähtävissä piikkityyppisten syöttörullien kuvaajien suurempana vaihteluna ripatyypisten syöttörullien kuvaajiin verrattuna.



Kuvio 1. Pitävien elementtien uppoumat laskettuna neljän näytteen keskiarvona näytekohtien läpimittojen funktiona.

6.4 Analyysimenetelmän valinta tulosten varianssien yhtäsuuruuden testauksella

Aineiston normaalijakautuneisuuden ja varianssien yhtäsuuruus eivät mahdollista yksisuuntaisen varianssianalyysin käyttöä. Varianssien yhtäsuuruuden testauksessa (taulukko 3) koko aineiston p-arvoksi tuli erittäin pieni arvo, joten nolalahypoteesi varianssien yhtäsuuruudesta hylättiin. Läpimittaluokitelluille aineistoille tehdyt testit varianssien yhtäsuuruudesta antoivat vastaavia tuloksia. Saatujen tulosten perusteella päädyttiin siihen, että analyysimenetelmänä tässä tutkimuksessa käytettiin Kruskal-Wallis-testiä. Testaus tehtiin SPSS-ohjelmalla (Statistical Package for Social Sciences).

Taulukko 3. Tulos varianssien yhtäsuuruuden testauksesta koko aineistolla anovan yksisuuntaisella testillä.

YHTEENVETO						
<i>Ryhmät</i>	<i>Lukumäärä</i>	<i>Summa</i>	<i>Keski-arvo</i>	<i>Varianssi</i>		
Waratah teräsripa	36	196,33	5,453611	1,018144		
Mense 20mm teräspiikki kumi	44	313,39	7,1225	3,288628		
TP-roller	44	357,22	8,118636	2,232482		
Moipu aggressiivinen	44	238,68	5,424545	3,07037		
Mense V-tec	36	234,35	6,509722	4,240883		
Waratah teräskartio	36	318,33	8,8425	2,679185		
Waratah 20mm piikki	44	333,042	7,569136	3,142031		
ANOVA						
<i>Vaihtelun lähde</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Luokkien välissä	396,09695	6	66,01616	23,37293	<u>2,61E-22</u>	2,1313822
Ryhmissä	782,37837	277	2,824471			
Yhteensä	1178,4753	283				

6.5 Hypoteesin H0 testauksen tulos

Kruskal-Wallis-testin tuloksen sig-arvo 0,000 (liite 1) perusteella voitiin todeta, että hypoteesi (H0) uppoumien jakaumat ovat samanlaisia hylättiin ja hypoteesi

(H1) jakaumissa on eroja jää voimaan. Tulos oli sama sekä kaikkien läpimittaluokkien, että koko aineiston testauksen tuloksissa.

6.6 Erojen merkitsevyyden selvitys parittaisella vertailulla

Valittu testi antoi myös tiedon testattujen aineistojen erojen tilastollisesta merkitsevyydestä p-arvona. Tilastollisesti jollakin kolmesta merkitsevyydestä ilmaistuja yhdistelmiä aineistoissa oli 10:stä 16:sta kappaletta. Tilastollisesti merkityksettömiä eroja aineistoista löytyi viidestä 11:sta kappaletta.

Koko aineiston testin tulos kertoo syöttörullien välillä olevan eroa (Liite 1). Parittaisessa analyysissä 21:stä vertailuparista oli ero tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \leq 0,001$) yhdessätoista vertailuparissa, merkitsevä ($0,001 < p \leq 0,01$) kolmessa vertailuparissa, melkein merkitsevä ($0,01 < p \leq 0,05$) kahdessa vertailuparissa. Tilastollisesti merkityksettömiä ($0,05 < p$) pareja oli viisi.

Läpimittaluokan 150–210 testin tulos kertoo syöttörullien välillä olevan eroa (Liite 2). Parittaisessa analyysissä 21:stä vertailuparista oli ero tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \leq 0,001$) kolmessa vertailuparissa, merkitsevä ($0,001 < p \leq 0,01$) neljässä vertailuparissa ja melkein merkitsevä ($0,01 < p \leq 0,05$) kolmessa vertailuparissa. Tilastollisesti merkityksettömiä ($0,05 < p$) pareja oli 11.

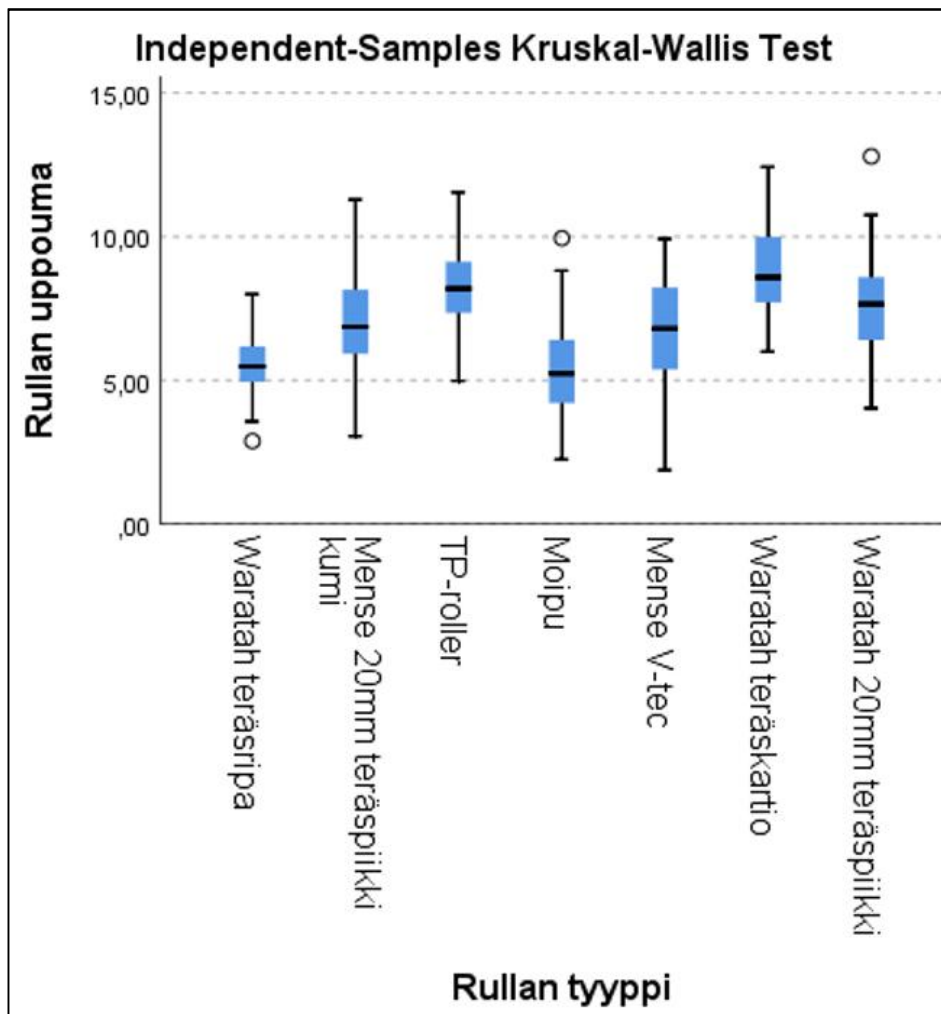
Läpimittaluokan 210–280 mm testin tulos kertoo syöttörullien välillä olevan eroa (Liite 3). Parittaisessa analyysissä 21:stä vertailuparista oli ero tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \leq 0,001$) seitsemässä vertailuparissa, merkitsevä ($0,001 < p \leq 0,01$) kolmessa vertailuparissa ja melkein merkitsevä ($0,01 < p \leq 0,05$) kolmessa vertailuparissa. Tilastollisesti merkityksettömiä ($0,05 < p$) pareja oli kahdeksan.

Läpimittaluokan 280–355 mm testin tulos kertoo syöttörullien välillä olevan eroa (Liite 4). Parittaisessa analyysissä 21:stä vertailuparista oli ero tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \leq 0,001$) seitsemässä vertailuparissa, merkitsevä ($0,001 < p \leq 0,01$) yhdessä vertailuparissa ja melkein merkitsevä ($0,01 < p \leq 0,05$) neljässä vertailuparissa. Tilastollisesti merkityksettömiä ($0,05 < p$) pareja oli yhdeksän.

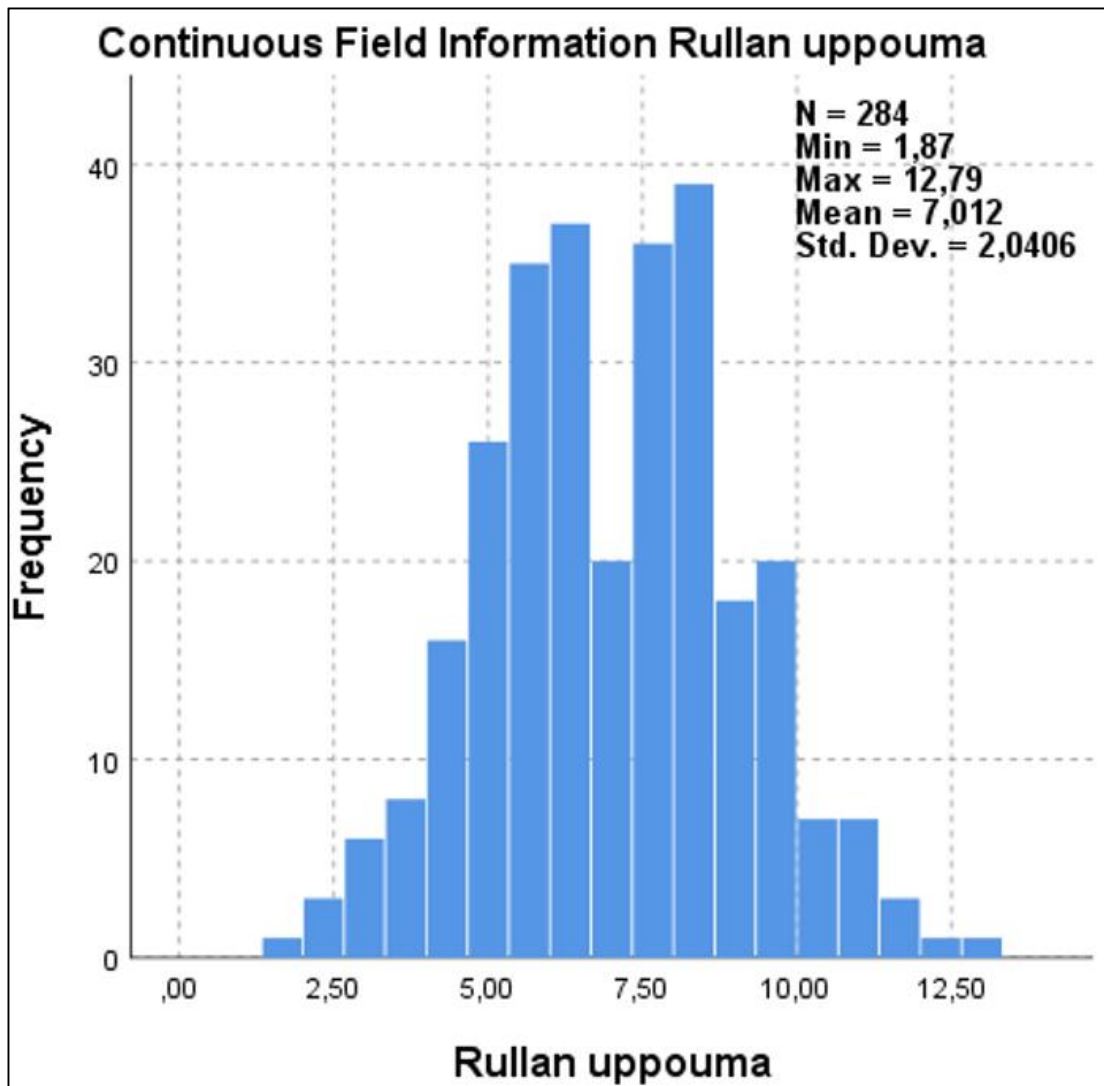
6.7 Testauksen tulosten visualisointi

Testien tuottamat tulokset olivat hyvin saman suuntaisia. Tästä syystä tässä luvussa käsitellään SPSS ohjelman tuottamia tulosteita vain koko aineiston osalta (Liite 1). Vastaavat tiedot muiden aineistojen osalta on luettavissa liitteistä 2–4.

SPSS-ohjelman tuottamasta boxplot-tulostuksesta (Kuvio 2) voidaan havaita mediaaneja (viiva laatikon sisällä), ala- ja yläneljänneksiä (laatikon ylä- ja alareunat) vertailemalla, että syöttörullien uppoumien jakaumissa on eroja. Janojen ala- ja yläpääät kertovat syöttörullan uppoumien suurimmat ja pienimmät arvot. Poikkeavat arvot on esitetty janan ylä- tai alapuolella ympyröinä. SPSS:n tuloste jakaumasta (kuvio 3) havainnollistaa jo aiemmin käsiteltyä tulosta siitä, että aineisto ei ole normaalijakautunut.



Kuvio 2. SPSS:n boxplot tuloste koko aineistolle.



Kuvio 3. SPSS:n tuloste koko aineiston jakaumasta.

7 Yhteenveto

Toimeksiantajan tavoitteena oli saada käsitys vauriosyvyyden käyttäytymisestä seitsemällä eri syöttörullatyypillä tilanteessa, jossa muut ympäristön muuttujat kuin syöttörullat pysyivät samana. Koejärjestely oli onnistunut, koska kaikki näyterungot pystyttiin syöttämään tutkimukseen valituilla syöttörullatyypeillä ja tarpeellisen kannattelun varmistavilla säädöillä ilman sutimista. Näytteiden kuivatus

mittausta varten ja itse mittausta onnistuivat suunnitellulla tavalla ja tarvittavat määrät näytteitä saatiin kaikista näytelaikoista.

Tutkimukseen valitulla puulajilla, kuusella vauriosyvyyksissä syöttörullien välillä oli nähtävissä tilastollisesti merkitseviä tasoeroja. Kuusi oli valittu puuksi testiin pehmeytensä vuoksi, jotta mahdolliset erot tulisivat korostetusti esiin. Erot vauriosyvyydessä selittyvät syöttörullien erilaisilla mekaanisilla rakenneratkaisuilla, joilla on usein haettu jotain erityistä ominaisuutta (esimerkiksi murtumaton pito, vaurion syvyys, syöttö- ja peruutussuunnan pidon symmetrisyys) syöttörullan käyttökohteen vaatimusten mukaan. Aineistosta saatiin laskettua tulokset, jotka olivat saatavissa luettavaan muotoon kaavion avulla. Aineisto oli riittävä myös tilastollisen tarkastelun tekemiseen.

8 Pohdinta

Tutkimuksen toteutus tapahtui ennalta kaavailun suunnitelman mukaan. Tutkimus täytti toimeksiantajan tutkimukselle asettamat tavoitteet saada tutkittua tietoa toimeksiantajan aiempien omien tutkimusten tueksi koejärjestelystä, jossa muut muuttujat kuin syöttörulla oli vakioitu. Tutkimustulos tuki myös toimeksiantajan aiempaa käsitystä piikki- ja ripatyypisten syöttörullien vauriosyvyyden tasoeroista, jotka nähtävissä tutkimuksen tuloksissa (Turunen 2019).

Toimeksiantaja halusi tutkimuksella myös lisää tietoa kentällä nähtyjen muiden valmistajien toimesta tehtyjen kartiopiikki syöttörullien uppoumasta verrattuna nykyisin sarjavalmistuksessa asennettaviin syöttörulliin, mahdollista jatkokehitystä varten. Tämä tieto onnistuttiin tuottamaan samalla koejärjestelyllä, vaikka tarkkaa tietoa vastaavan syöttörullatyyppin toiminnasta H415 kourassa ei ollut saatavissa.

Nyt tehdyn tutkimuksen ja saatujen tulosten vertailu aiempiin eri laitosten tekemiin tutkimuksiin tämän työn yhteydessä ei ole mahdollista. Vastaavaa koejärjestelyä ei saatavilla olevasta lähdeaineistosta löydy ja toimeksiantajan vastaavat

omat aiemmat tutkimukset eivät ole julkisia. Tieto siitä, että nyt tehdyn tutkimuksen tulokset ovat linjassa toimeksiantajan aiempiin tutkimuksiin tuo varmuutta sille, että nyt tehdyn tutkimuksen tulokset ovat oikeita ja luotettavia. Koejärjestely, jossa oli vain yksi muuttuja, kone säädetty ja työ suunniteltu niin, että kuljettaja ei vaikuttanut prosessointiin, vähentää inhimillisen virheen mahdollisuutta. Yhtymäkohtaa aiempiin tutkimuksiin on vaikea löytää, koska aiempien tutkimuksien kuvattut koejärjestelyt poikkeavat olennaisesti nyt tehdystä tutkimuksesta. Syöttörullien aiheuttamia vaurioita on tutkittu seuraavissa tutkimuksissa, joko varsinaisena tutkimusaiheena tai tutkimuksen osana. Metsätehon tutkimuksessa on verrattu eri konemerkkien puutavaralle aiheuttamia vaurioita (Mäkelä & Yli-Hukkala 1995). Metsätehon raportissa on koottu Metsätehon v.1980–97 tekemien puutavaran korjuuvauriotutkimusten tuloksia yhteen (Mäkelä 1998).

Metsätieteen aikakauskirjan artikkelissa on tutkittu hakkuukoneen syöttörullien vaikutusta rungon prosessoinnin nopeuteen, polttoaineenkulutukseen sekä tukkipuuvaurioihin. Tutkimuksessa on verrattu kuuden eri syöttörullan puutavaralle aiheuttamia vaurioita. Tutkimus poikkeaa nyt suunnitellusta tutkimuksesta, koska siinä on haettu syöttörullanpuristuspainetta pidon ehdoilla, jotta pitoon tarvittavan puristuksen vaikutus syöttönopeuteen ja polttoaineen kulutukseen on saatu esille. Lisäksi muuttujana on ollut myös leimikot ja niiden korjuuolosuhteet. (Nuutinen, Väätäinen, Asikainen, Prinz & Heinonen 2010.)

Skogforskin raportissa 602 on verrattu neljän eri syöttörullatyyppin puutavaralle aiheuttamia vaurioita eri valmistajien koneissa (Jonsson 2005). Skogforskin raportissa numero 622 on verrattu kolmea syöttörullaa ja niiden puutavaralle aiheuttamia vaurioita. Tämä tutkimus on aiemmista tutkimuksista lähimpänä nyt suunniteltua tutkimusta. Erona on se, että tässäkin tutkimuksessa syöttörullien puristusta on säädetty pidon ei kannattelun ehdoilla. Lisäksi testissä käytetty harvesteripää on kaksi kehityssukupolvea H415 harvesteripäätä vanhempi (Brunberg, Hofsten & Jonsson 2006). Puolalaisessa tutkimuksessa on tutkittu Komatsun 360.2 kouran syöttörullien puutavaralle aiheuttamia vaurioita kolmella eri puulajilla (Karaszewski, Lacka, Mederski, Noskowiak & Bembenek 2016).

Aihepiiri mahdollistaa hyvin monipuoliset jatkotutkimusmahdollisuudet. Hyödynnettävissä olevia tutkimusaiheita nyt tehdyn järjestelyn jatkoksi voisivat olla polttoaineenkulutus, tuottavuus, syöttörullan elinkaarikustannukset ja nyt toteutettu uppouma tutkimus muilla puulajeilla. Syöttörullissa tapahtuu koko ajan kehitystä sekä konevalmistajien että muiden toimijoiden toimesta. Muutaman vuoden sisällä todennäköisesti, joku nyt testistä pois jäänyt syöttörulla on vakiinnuttanut paikkansa myynnissä niin, että nyt tehdyn tutkimuksen tekeminen laajennettuna uusilla malleilla olisi järkevää.

Lähteet

- Brunberg, T., Hofsten, H. & Jonsson, M. 2006. Studier av stålvalsar tilsammans med John Deere. Arbetsraport 622-2006.
https://www.skogforsk.se/cd_48e58b/contentassets/f7d0b860d0f74a19b3f4148ea9866b18/arbetsrapport-622-2006.pdf. 14.5.2019.
- Heikkilä, T. 2014a. Kvantitatiivinen tutkimus.
<http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>. 1.5.2019.
- Heikkilä, T. 2014b. Muuttujien väliset riippuvuudet-esimerkkejä.
<http://www.tilastollinentutkimus.fi/5.SPSS/Riippuvuudet.pdf>. 1.5.2019.
- John Deere Forestry Oy. 2018a. H270 käyttöohje 09/2018.
- John Deere Forestry Oy. 2018b. H415 käyttöohje 09/2018.
- Jonsson, M. 2005. Kartläggning av dubbskador. Arbetsraport 602-2005.
https://www.skogforsk.se/cd_48e5a6/contentassets/9f8b7f9b6ea242a3a1b1af4bc4faebde/arbetsrapport-602-2005.
- Jyväskylän yliopisto. 2019. KOPPA, empiirinen tutkimus.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/empiirinen-tutkimus>. 1.5.2019.
- Karazewski, Z., Lacka, A., Mederski, P., Noskowiak, A. & Bembedek, M. 2016. Damage caused by harvester head feed rollers to alder, pine and spruce.
http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-6e95bfdc-1cd9-4cc5-b82f-c869de5ef234/c/drewno_197_karazewski.pdf. 14.5.2019.
- Mäkelä, M. 1998. Tukkien korjuu- ja käsittely. Metsätehon raportti 51.
http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_051. 14.5.2019.
- Mäkelä, M. & Yli-Hukkala, T. 1995. Tukkien korjuu- ja kuorintavauriot. Metsäteho katsaus 6/1995. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1995_06.pdf. 14.5.2019.
- Nuutinen, Y., Väättäinen, K., Asikainen, A., Prinz, R. & Heinonen, J. 2010. Hakuukoneen syöttörullien vaikutus rungon prosessoinnin nopeuteen, polttoaineenkulutukseen sekä tukkipuuvaurioihin. Metsätieteen aikakauskirja 2/2010. 208-210.
<https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/5754/author/11021>. 14.5.2019.
- Taanila, A. 2012. P-arvo. <https://tilastoapu.wordpress.com/tag/tilastollinen-testaus/>. 1.5.2019.
- Taanila, A. 2019. Yksisuuntainen varianssianalyysi. <https://tilastoapu.wordpress.com/2012/09/28/yksisuuntainen-varianssianalyysi/>. 1.5.2019.
- Turunen, J. 2017. Opinnäytetyön-suunnittelupalaveri Waratah OM Oy:llä 11.9.2017.
- Waratah OM Oy. 2019. Yritysesittely.

Nonparametric Tests

Hypothesis Test Summary

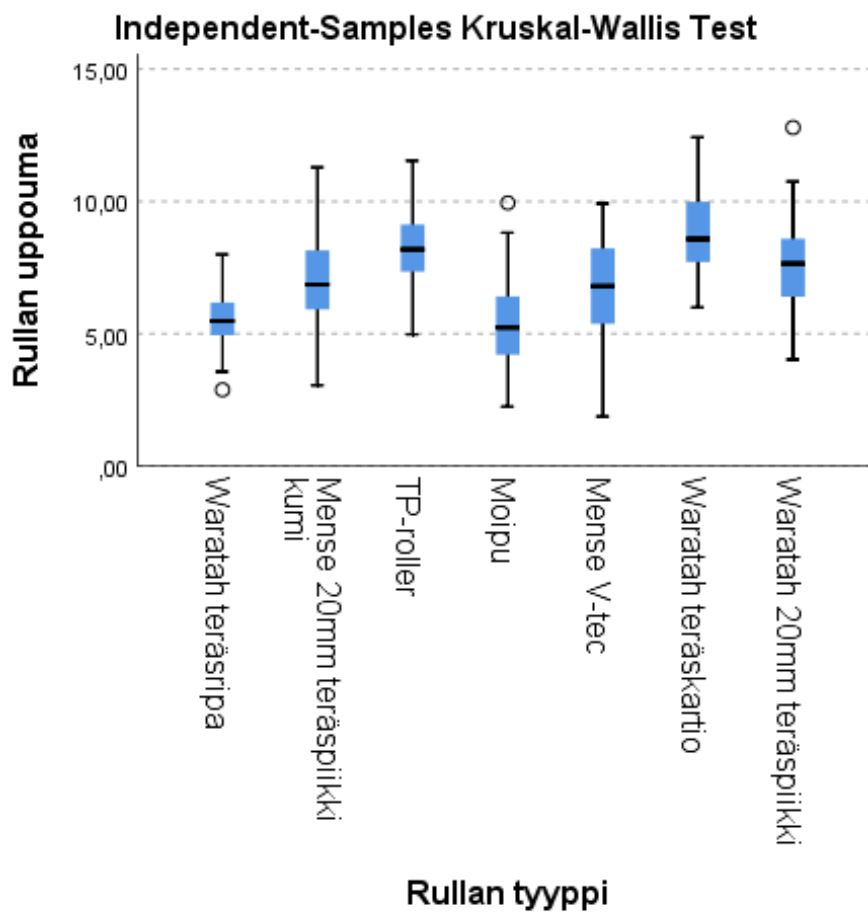
	Null Hypothesis	Test	Sig.
1	The distribution of Rullan uppouma is the same across categories of Rullan tyyppi.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,000

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

Rullan uppouma across Rullan tyyppi

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	284
Test Statistic	99,348 ^a
Degree Of Freedom	6
Asymptotic Sig.(2-sided test)	,000



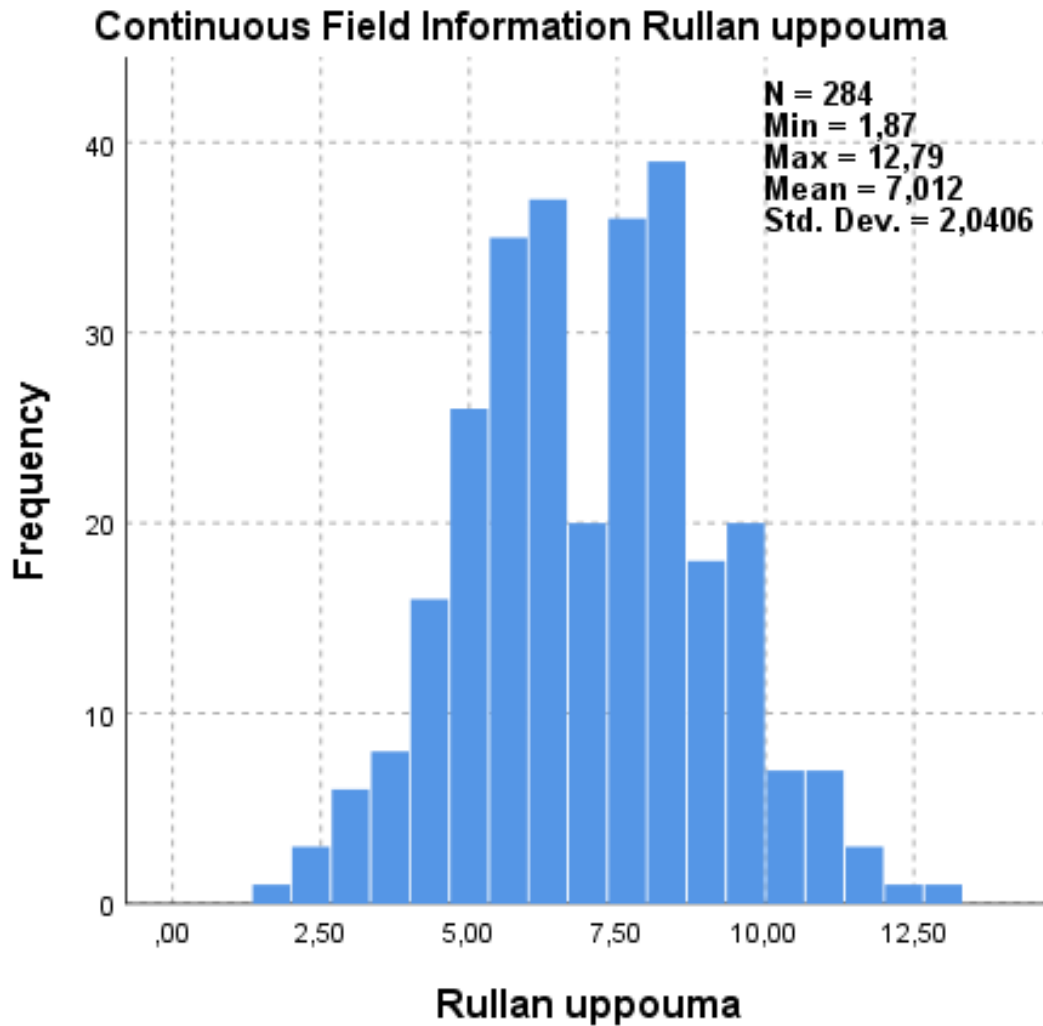
Pairwise Comparisons of Rullan tyyppi

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Waratah teräsriipa-Moipu	-5,437	18,457	-,295	,768	1,000
Waratah teräsriipa-Mense V-tec	-55,611	19,358	-2,873	,004	,085
Waratah teräsriipa-Mense 20mm teräspiikki kumi	-72,607	18,457	-3,934	,000	,002
Waratah teräsriipa-Waratah 20mm teräspiikki	-92,857	18,457	-5,031	,000	,000
Waratah teräsriipa-TP-roller	-116,585	18,457	-6,317	,000	,000
Waratah teräsriipa-Waratah teräskartio	-141,514	19,358	-7,311	,000	,000
Moipu-Mense V-tec	-50,174	18,457	-2,718	,007	,138
Moipu-Mense 20mm teräspiikki kumi	67,170	17,510	3,836	,000	,003
Moipu-Waratah 20mm teräspiikki	-87,420	17,510	-4,993	,000	,000
Moipu-TP-roller	111,148	17,510	6,348	,000	,000
Moipu-Waratah teräskartio	-136,077	18,457	-7,373	,000	,000
Mense V-tec-Mense 20mm teräspiikki kumi	16,996	18,457	,921	,357	1,000
Mense V-tec-Waratah 20mm teräspiikki	-37,246	18,457	-2,018	,044	,915
Mense V-tec-TP-roller	60,973	18,457	3,304	,001	,020
Mense V-tec-Waratah teräskartio	-85,903	19,358	-4,438	,000	,000
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah 20mm teräspiikki	-20,250	17,510	-1,157	,247	1,000
Mense 20mm teräspiikki kumi-TP-roller	-43,977	17,510	-2,512	,012	,252
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah teräskartio	-68,907	18,457	-3,733	,000	,004
Waratah 20mm teräspiikki-TP-roller	23,727	17,510	1,355	,175	1,000
Waratah 20mm teräspiikki-Waratah teräskartio	48,657	18,457	2,636	,008	,176
TP-roller-Waratah teräskartio	-24,929	18,457	-1,351	,177	1,000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.

Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,05.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.



Nonparametric Tests

Hypothesis Test Summary

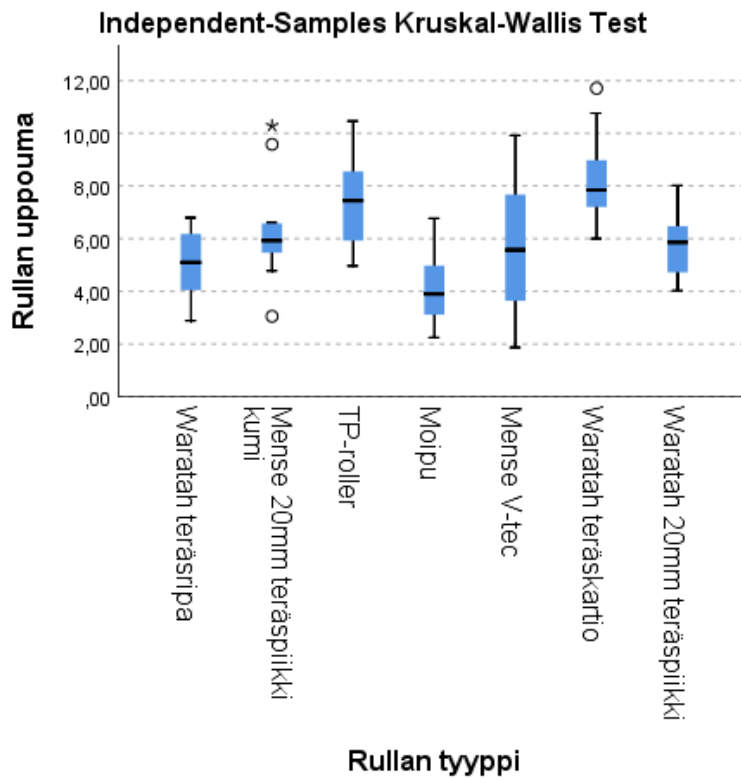
	Null Hypothesis	Test	Sig.
1	The distribution of Rullan uppouma is the same across categories of Rullan tyyppi.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,000

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

Rullan uppouma across Rullan tyyppi

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	84
Test Statistic	32,173 ^a
Degree Of Freedom	6
Asymptotic Sig. (2-sided test)	,000



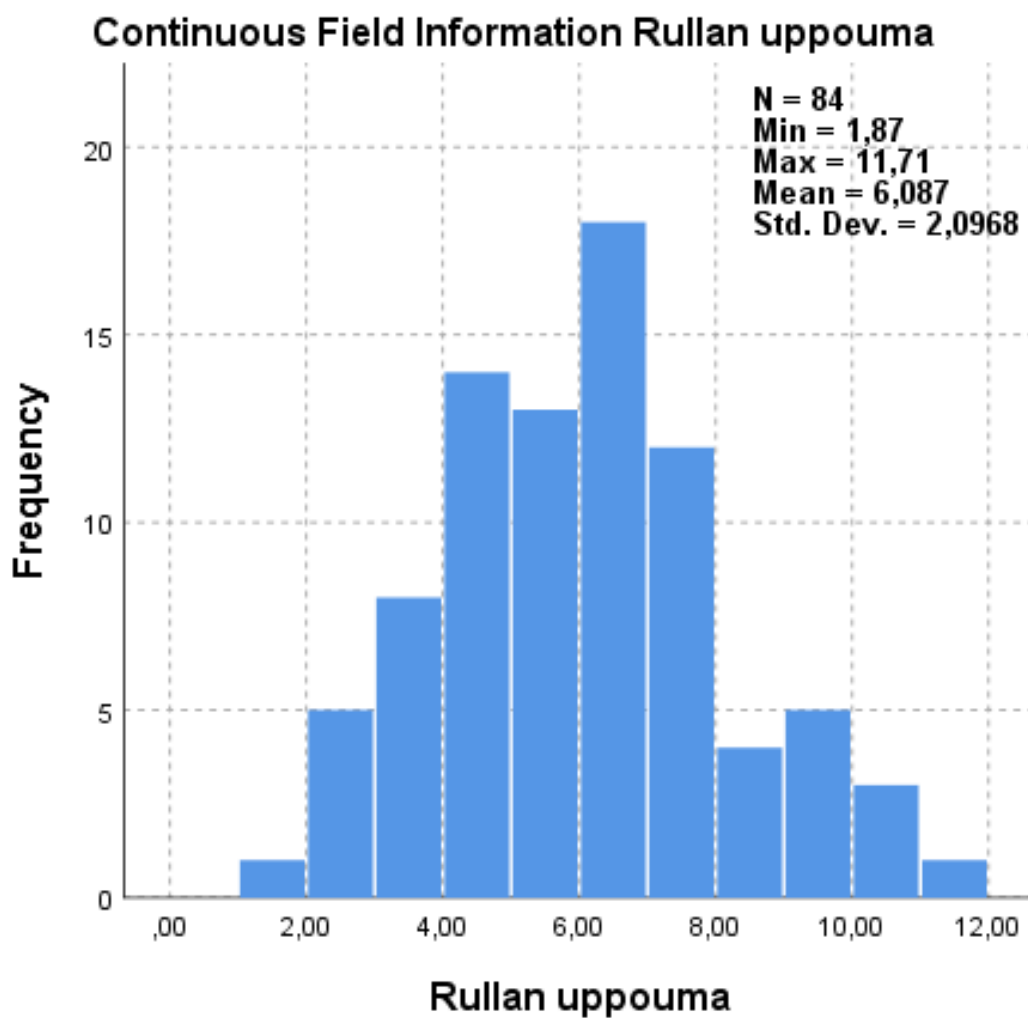
Pairwise Comparisons of Rullan tyyppi

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Moipu-Waratah teräsriipa	12,417	9,958	1,247	,212	1,000
Moipu-Mense V-tec	-20,125	9,958	-2,021	,043	,909
Moipu-Waratah 20mm teräs-piikki	-22,375	9,958	-2,247	,025	,517
Moipu-Mense 20mm teräs-piikki kumi	26,583	9,958	2,670	,008	,159
Moipu-TP-roller	39,833	9,958	4,000	,000	,001
Moipu-Waratah teräskartio	-48,708	9,958	-4,891	,000	,000
Waratah teräsriipa-Mense V-tec	-7,708	9,958	-,774	,439	1,000
Waratah teräsriipa-Waratah 20mm teräspiikki	-9,958	9,958	-1,000	,317	1,000
Waratah teräsriipa-Mense 20mm teräspiikki kumi	-14,167	9,958	-1,423	,155	1,000
Waratah teräsriipa-TP-roller	-27,417	9,958	-2,753	,006	,124
Waratah teräsriipa-Waratah teräskartio	-36,292	9,958	-3,645	,000	,006
Mense V-tec-Waratah 20mm teräspiikki	-2,250	9,958	-,226	,821	1,000
Mense V-tec-Mense 20mm teräspiikki kumi	6,458	9,958	,649	,517	1,000
Mense V-tec-TP-roller	19,708	9,958	1,979	,048	1,000
Mense V-tec-Waratah teräskartio	-28,583	9,958	-2,870	,004	,086
Waratah 20mm teräspiikki-Mense 20mm teräspiikki kumi	4,208	9,958	,423	,673	1,000
Waratah 20mm teräspiikki-TP-roller	17,458	9,958	1,753	,080	1,000
Waratah 20mm teräspiikki-Waratah teräskartio	26,333	9,958	2,644	,008	,172
Mense 20mm teräspiikki kumi-TP-roller	-13,250	9,958	-1,331	,183	1,000
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah teräskartio	-22,125	9,958	-2,222	,026	,552
TP-roller-Waratah teräskartio	-8,875	9,958	-,891	,373	1,000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.

Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,05.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.



Nonparametric Tests

Hypothesis Test Summary

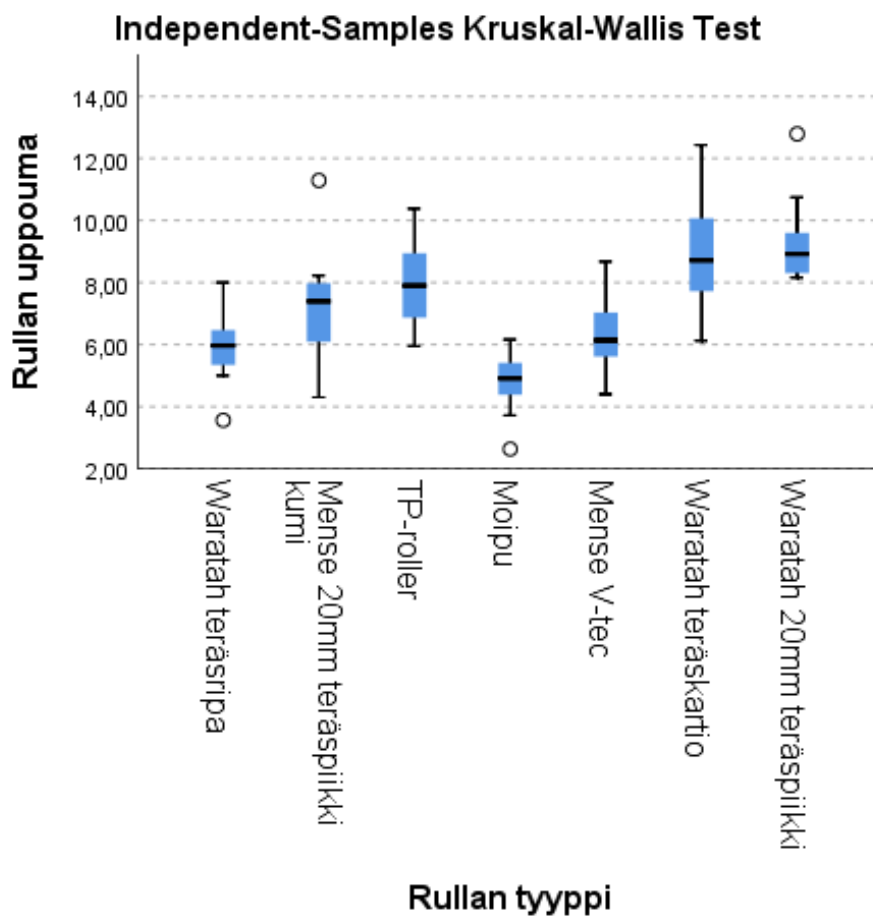
	Null Hypothesis	Test	Sig.
1	The distribution of Rullan uppouma is the same across categories of Rullan tyyppi.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,000

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

Rullan uppouma across Rullan tyyppi

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	92
Test Statistic	53,233 ^a
Degree Of Freedom	6
Asymptotic Sig.(2-sided test)	,000



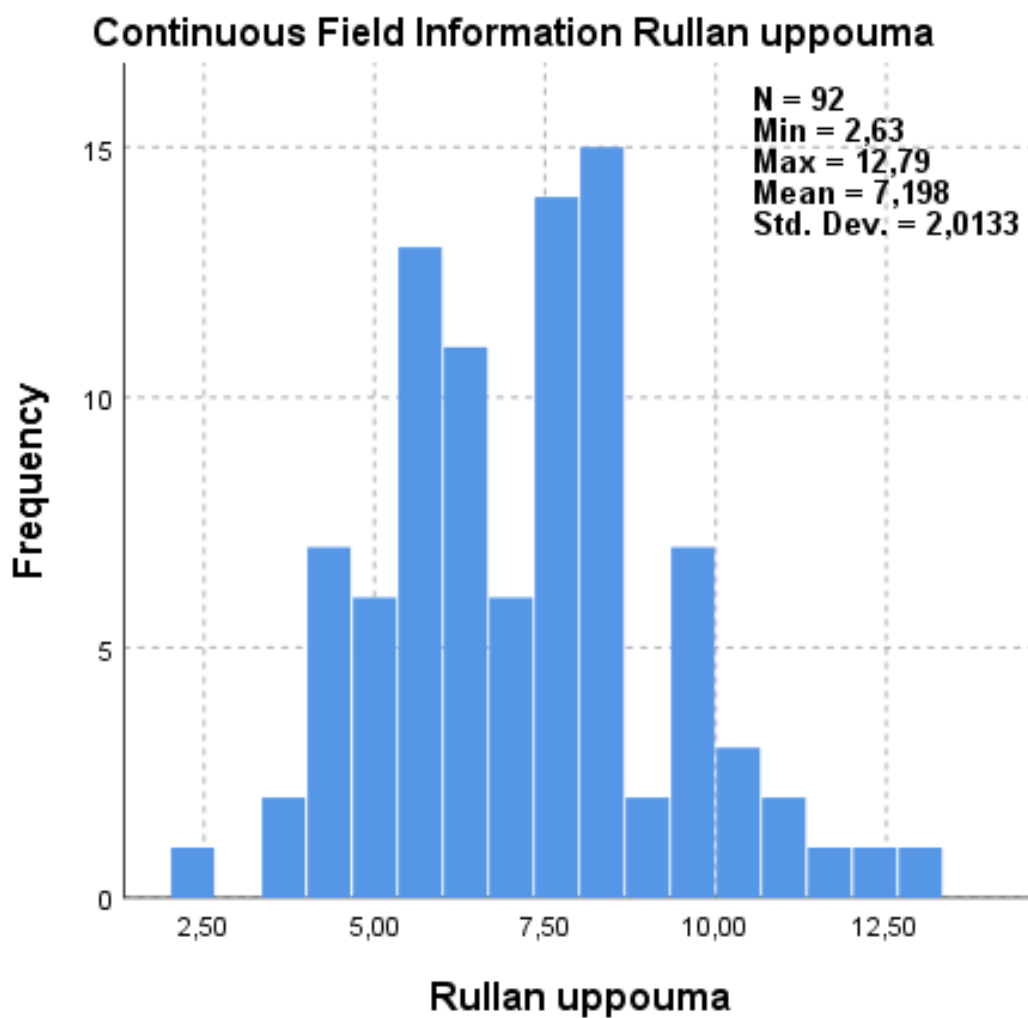
Pairwise Comparisons of Rullan tyyppi

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Moipu-Waratah teräsriipa	15,708	10,901	1,441	,150	1,000
Moipu-Mense V-tec	-21,583	10,901	-1,980	,048	1,000
Moipu-Mense 20mm teräs- piikki kumi	30,875	10,197	3,028	,002	,052
Moipu-TP-roller	44,875	10,197	4,401	,000	,000
Moipu-Waratah teräskartio	-56,417	10,901	-5,175	,000	,000
Moipu-Waratah 20mm teräs- piikki	-63,083	10,901	-5,787	,000	,000
Waratah teräsriipa-Mense V- tec	-5,875	10,901	-,539	,590	1,000
Waratah teräsriipa-Mense 20mm teräspiikki kumi	-15,167	10,197	-1,487	,137	1,000
Waratah teräsriipa-TP-roller	-29,167	10,197	-2,860	,004	,089
Waratah teräsriipa-Waratah teräskartio	-40,708	10,901	-3,734	,000	,004
Waratah teräsriipa-Waratah 20mm teräspiikki	-47,375	10,901	-4,346	,000	,000
Mense V-tec-Mense 20mm teräspiikki kumi	9,292	10,197	,911	,362	1,000
Mense V-tec-TP-roller	23,292	10,197	2,284	,022	,470
Mense V-tec-Waratah teräs- kartio	-34,833	10,901	-3,195	,001	,029
Mense V-tec-Waratah 20mm teräspiikki	-41,500	10,901	-3,807	,000	,003
Mense 20mm teräspiikki kumi-TP-roller	-14,000	9,440	-1,483	,138	1,000
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah teräskartio	-25,542	10,197	-2,505	,012	,257
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah 20mm teräs- piikki	-32,208	10,197	-3,159	,002	,033
TP-roller-Waratah teräskartio	-11,542	10,197	-1,132	,258	1,000
TP-roller-Waratah 20mm te- räspiikki	-18,208	10,197	-1,786	,074	1,000
Waratah teräskartio-Waratah 20mm teräspiikki	-6,667	10,901	-,612	,541	1,000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.

Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,05.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.



Nonparametric Tests

Hypothesis Test Summary

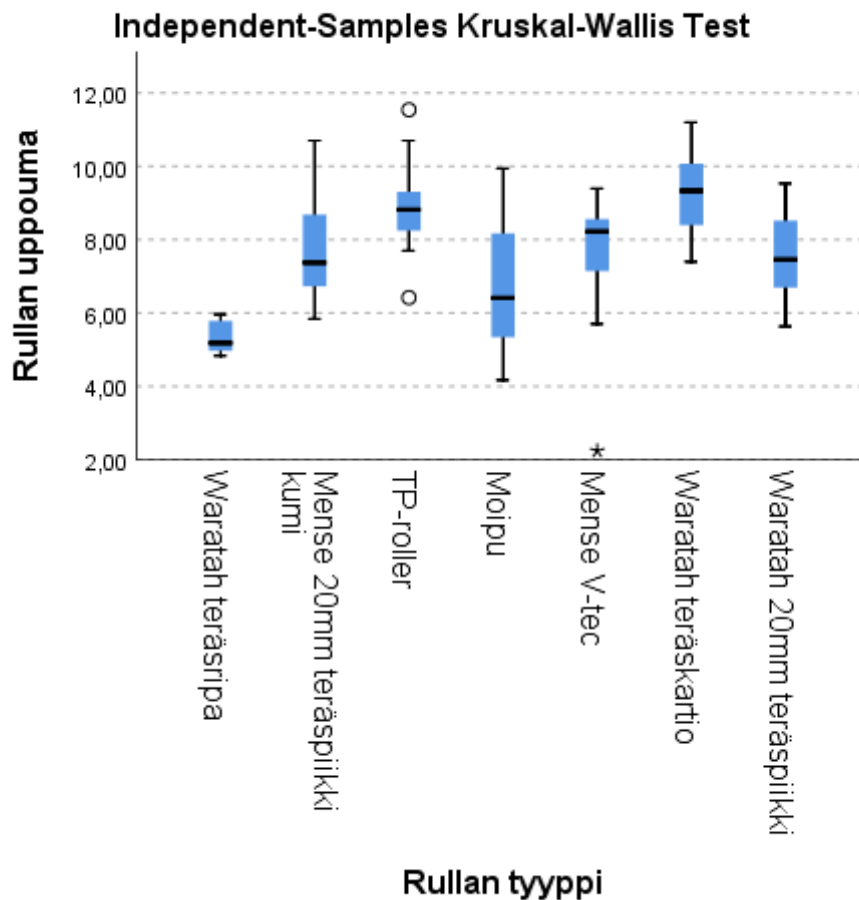
	Null Hypothesis	Test	Sig.
1	The distribution of Rullan uppouma is the same across categories of Rullan tyyppi.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,000

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

Rullan uppouma across Rullan tyyppi

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	108
Test Statistic	47,525 ^a
Degree Of Freedom	6
Asymptotic Sig.(2-sided test)	,000



Pairwise Comparisons of Rullan tyyppi

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Waratah teräsriipa-Moipu	-23,917	11,437	-2,091	,037	,767
Waratah teräsriipa-Waratah 20mm teräspiikki	-41,292	11,437	-3,611	,000	,006
Waratah teräsriipa-Mense V-tec	-43,750	12,786	-3,422	,001	,013
Waratah teräsriipa-Mense 20mm teräspiikki kumi	-44,229	11,961	-3,698	,000	,005
Waratah teräsriipa-TP-roller	-64,479	11,961	-5,391	,000	,000
Waratah teräsriipa-Waratah teräskartio	-72,000	12,786	-5,631	,000	,000
Moipu-Waratah 20mm teräspiikki	-17,375	9,904	-1,754	,079	1,000
Moipu-Mense V-tec	-19,833	11,437	-1,734	,083	1,000
Moipu-Mense 20mm teräspiikki kumi	20,313	10,505	1,934	,053	1,000
Moipu-TP-roller	40,563	10,505	3,861	,000	,002
Moipu-Waratah teräskartio	-48,083	11,437	-4,204	,000	,001
Waratah 20mm teräspiikki-Mense V-tec	2,458	11,437	,215	,830	1,000
Waratah 20mm teräspiikki-Mense 20mm teräspiikki kumi	2,938	10,505	,280	,780	1,000
Waratah 20mm teräspiikki-TP-roller	23,188	10,505	2,207	,027	,573
Waratah 20mm teräspiikki-Waratah teräskartio	30,708	11,437	2,685	,007	,152
Mense V-tec-Mense 20mm teräspiikki kumi	,479	11,961	,040	,968	1,000
Mense V-tec-TP-roller	20,729	11,961	1,733	,083	1,000
Mense V-tec-Waratah teräskartio	-28,250	12,786	-2,209	,027	,570
Mense 20mm teräspiikki kumi-TP-roller	-20,250	11,073	-1,829	,067	1,000
Mense 20mm teräspiikki kumi-Waratah teräskartio	-27,771	11,961	-2,322	,020	,425
TP-roller-Waratah teräskartio	-7,521	11,961	-,629	,529	1,000

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.

Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,05.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

