

Joustopiikkiäkeessä käytettävän piikin koon, terälapun leveyden ja piikkivälin vaikutus muokkausominaisuuksiin

Pro gradu- tutkielma

Mikko Saarikallio

**Helsingin yliopisto
Agroteknologian laitos**

Helsinki 2012

Tiivistelmä

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Agroteknologian laitos	
Tekijä — Författare — Author Saarikallio Mikko Markus Pellervo			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Joustopiikkiäkeessä käytettävän piikin koon, terälapun leveyden ja piikkivälin vaikutus muokkausominaisuuksiin			
Oppiaine — Läroämne — Subject Maatalousteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Pro gradu -tutkielma		Aika — Datum — Month and year Syyskuu 2009	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 59+7
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli joustopiikkiäkeen toiminnan tutkiminen sen käyttömahdollisuuksien monipuolistamiseksi. Maatilojen on pyrittävä pitämään koneisiin investoitu pääoma pienenä ja tämä tarkoittaa tehokkaiden koneketjujen lisäksi myös koneita, joilla on mahdollisimman monta käyttökohdetta. Joustopiikkiäkes on tehokas työkone ja tämän tutkimuksen pohjana oli sen käyttö keväisen sängen muokkaukseen sekä perinteiseen kylvömuokkaukseen. Tällaisessa sovelluksessa on kuitenkin ongelmana äkeen tukkeutumisongelmat, joihin ratkaisuna on äkeen läpäisevyyden parantaminen piikkijakoa harventamalla. Samalla pitää kuitenkin teriä leventää ja piikkiä suurentaa, jotta äkeen muokkauskyky ei heikkenisi. Työn tarkoituksena oli tutkia joustopiikkiäkeen piikin suurentamisen, terän leventämisen ja piikkivälin harventamisen vaikutuksia joustopiikkiäkeen muokkausominaisuuksiin.</p> <p>Kirjallisuuden avulla tarkasteltiin äkeen muokkauskykyyn vaikuttavia tekijöitä sekä aiempia tutkimuksia, joissa oli käytetty samankaltaista mittausmenetelmää kuin tässä tutkimuksessa. Tutkimuksen kokeellinen osa suoritettiin kenttäkokeen ja piikkien taipumamittausten avulla. Kokeissa tarkasteltavina koejäseninä olivat 11x45 mm:n, 10x65 mm:n, 12x65 mm:n ja 10x65 mm:n piikit sekä lautasmuokkaus. Piikit oli varustettu 40 mm:n, 50 mm:n ja 60 mm:n terillä sekä 70 mm:n, 80 mm:n ja 90 mm:n piikkijaoilla. Kenttäkokeessa tarkasteltiin äkeen vetovastusta voima-anturilla, työsyvyyttä Kritzin menetelmällä, muokkauspohjan profiilia ultraäänimittauksella sekä mururakennetta seulomalla. Kenttäkokeet suoritettiin koelohkolla, jonka maalaji oli hiesusavi. Kokeessa käytettyjä piikkien taipumaominaisuuksia testattiin koetuspenkissä 0 - 1000 N kuormilla.</p> <p>Tulosten mukaan leveällä terällä varustetut suuret joustopiikit osoittautuivat tässä tutkimuksessa ainakin normaalin s-piikin veroisiksi muokkausvälineiksi. Niillä saavutettiin erittäin tasainen muokkauspohja ja niiden taipumaominaisuudet tukivat tulosta. Murujakaumassa ei eroja havaittu tutkittujen koejäsenten välillä. Vetovastusmittauksissa ja työsyvyysmittauksessa ei saavutettu tutkimuksen tavoitteita johtuen puutteellisesta koejärjestelystä ja mahdollisesta mittausvirheestä. Muilta osin tutkimuksen tavoitteet täytettiin.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Joustopiikkiäkes, muokkausprofiili, muokkauspohja, mururakenne, työsyvyys, s-piikki			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Agroteknologian laitos, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Jukka Ahokas			

Abstract

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agrotechnology	
Tekijä — Författare — Author Saarikallio Mikko Markus Pellervo			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Joustopiikkiäkeessä käytettävän piikin koon, terälapun leveyden ja piikkivälin vaikutus muokkausominaisuuksiin			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agricultural engineering			
Työn laji — Arbetets art — Level M.Sc. Thesis		Aika — Datum — Month and year September 2009	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 59+7
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Starting point for this research was to study the action of spring tine harrow in the perspective of expanding its usage. Farms should keep the investments to machinery at reasonable levels and solution for this are machines with multiple purposes of use, as well as effective tillage systems. Spring tine harrow is effective tool and this study focuses on using it in stubble cultivation in spring, as well as in seedbed preparation. With stubble cultivation there is always the possibility of choking the harrow up with straws which can be solved by making the harrow more permeable with more scattered placement of tines. This leads to the need of broader points and larger tines if the tilling ability is to be kept at the same level. The goal for this research was to study the effects of larger tines, broader points and more scattered tine placement on tillage efficiency of spring tine harrow.</p> <p>Literature review was done in the aim of examining the factors that have effect on the tillage abilities of spring tine harrow as well as looking for studies that operate measuring systems similar the one used in this study. The empirical part of this research was made using field experiments and loading trial in the tine test bench. The treatments used in the research involved 11x45 mm, 10x65 mm, 12x65 mm and 10x45 mm tines and disc cultivation. The tines were equipped with 40 mm, 50 mm and 60 mm points and with 70 mm, 80 mm and 90 mm tine distributions. During the field experiment draft that was needed to pull the test harrow was measured with load cell type sensor, tillage depth was measured with Kritz –method, the roughness of the seedbed was measured with ultrasonic sensor and the clod distribution in the tilled layer with sieving. The soil in the field where the tests were made was silty clay. Bending characteristics of the tines were tested in the tine test bench with loads between 0 - 1000 N.</p> <p>According to results the heavier tines and broader points seemed to be at least as good tillage tools in this test as common s-tines. They produced a very even seedbed and the results from loading tests supported this outcome. Measurements of clod distribution showed no clear distinction between the tested treatments. The draft measurements and the tillage depth measurement did not reach the set objectives due to incorrect test methods as and possible error in the measuring. Otherwise the set objectives for the study were fulfilled.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Spring tine harrow, seedbed profile, seedbed, clod distribution, tillage depth, s- tine			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture and Forestry			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Jukka Ahokas			

Esipuhe

Tämä Pro gradu –työ oli toimeksiantotyönä tehty tutkimus, jonka osapuolina olivat Helsingin yliopiston agroteknologian laitos sekä Dometal Oy. Työn rahoittajana toimi Dometal Oy.

Tutkimukset tehtiin keväällä 2009 Helsingin yliopiston agroteknologian laitoksella ja Loimaalla Dometal Oy:n tiloissa sekä Mäkelän tilalla. Kiitos työn ohjaamisesta kuuluu professori Jukka Ahokkaalle agroteknologian laitoksella sekä Pasi Mäkelälle Dometal Oy:ssä. Lisäksi kiitokset kokeissa saadusta avusta Hannu, Vesa ja Juha-Pekka Mäkelälle sekä Juho Saarikalliolle.

Loimaalla 24.4.2012

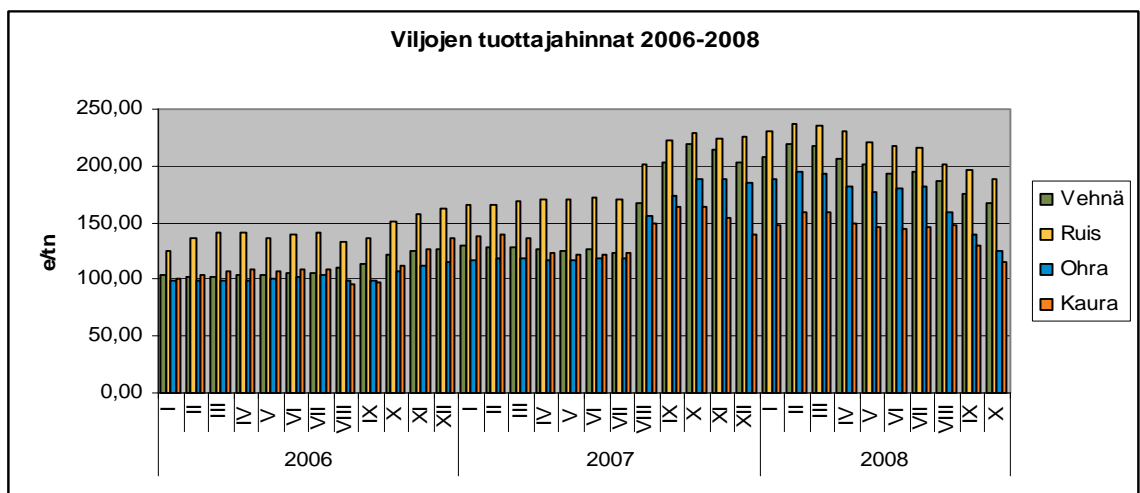
Mikko Saarikallio

Sisällys

1.	Johdanto.....	6
2.	Kirjallisuus ja teoria.....	8
2.1.	Kylvömuokkauksen vaatimukset.....	8
2.2.	Joustopiikkiäkeen rakenne ja toimintaperiaate.....	9
2.3.	Joustopiikkien toiminta muokkauksessa.....	10
2.3.1.	Piikkien toimintaperiaate.....	10
2.3.2.	Terien leveys ja piikkiväli.....	12
2.3.3.	Terien ja piikkien leikkuukulma, maahakuisuus sekä painatuksen tarve.....	14
2.3.4.	Joustopiikkien vetovastus.....	16
2.3.5.	Ajonopeuden vaikutus joustopiikkien muokkausominaisuuksiin.....	17
2.4.	Savimaan muokkausominaisuudet.....	18
2.5.	Muokkauspohjan mittaaminen.....	19
2.5.1.	Muokkausprofiilimittauksen menetelmän valinta.....	19
2.5.2.	Aiemmat tutkimukset.....	19
2.6.	Ultraäänianturiin liittyvä teoria.....	21
3.	Työn tavoitteet.....	23
4.	Aineisto ja menetelmät.....	24
4.1.	Koejärjestelyt.....	24
4.1.1.	Koeruutu ja muokkausten ajojärjestys.....	24
4.1.2.	Maan kosteuden ja koheesion mittaaminen.....	25
4.1.3.	Koejäsenet ja muokkauksissa käytetty testiäes.....	26
4.1.4.	Vetovastusmittaus muokkauksen aikana.....	28
4.1.5.	Muokkauksen jälkeiset mittaukset.....	30
4.2.	Piikkien kuormitusmittaus.....	37
5.	Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	39
5.1.	Koeruudun olojen mittaaminen.....	39
5.1.1.	Maan kosteus.....	39
5.1.2.	Maan koheesio.....	40
5.2.	Vetovastusmittaus.....	41
5.3.	Koeruutujen mittauspisteet.....	43
5.3.1.	Työsyvyys.....	43
5.3.2.	Muokkausprofiili.....	45
5.3.3.	Maan mururakenne.....	51
5.4.	Joustopiikkien kuormitusmittaus.....	53
5.5.	Tulosten luotettavuuden arviointi.....	56
6.	Johtopäätökset.....	58
	Lähteet.....	60
	Liitteet.....	63

1. Johdanto

Suomen maatalous on ollut jatkuvassa muutoksen tilassa. Kasvintuotannossa paine kustannusten vähentämiseen ei ole vähentynyt Suomen maatalouden rakenteen vähitellen muuttuessa. Maatalouden harjoittajien on pystyttävä tulevaisuudessakin suorittamaan laadukkaaseen tuotantoon liittyvät työt mahdollisimman pienin muuttuvin sekä kiintein kustannuksin. Maatilojen keskikoot ovat kasvaneet tasaisesti Suomen EU-jäsenyyden alusta asti. Kaikkien tilojen keskimääräinen peltopinta-ala oli 21,7 hehtaaria vuonna 1995 (FinFood, 2008). Vuonna 2007 tilojen keskikoko peltoalan mukaan oli 34,37 hehtaaria (Tike, 2008a). Tämä osoittaa Suomen maatalousalalla käynnissä olevan muutoksen jatkuvan tasaisesti. Tuotantoyksiköiden kasvu johtuu pääasiallisesti siitä, että maatalouden kannattavuus on ollut Suomessa melko heikko ja sitä on pyritty nostamaan tilakokoja kasvattamalla ja tätä kautta tehokkuutta lisäämällä. Näyttää siltä, ettei tähän asti jatkunut kasvu vielä riitä, vaan aktiivisesti ja päätoimisesti maataloustuotantoa harjoittavien tilojen koko tulee edelleen kasvamaan. Tällainen kasvu luo väistämättä kehittämistarvetta maatilojen kalustolle, koska tilat pyrkivät todennäköisesti tekemään lisääntyvätkin työt mahdollisimman pienellä henkilöstöllä, usein vain viljelijän itsensä ja mahdollisesti kiireapulaisen työpanoksella. Suuret pinta-alat ja pieni työntekijöiden määrä johtavat suurten ja tehokkaiden koneiden tarpeeseen. Yksittäisten koneiden lisäksi koneketjujen kehitys tulee jatkumaan kohti tehokkaampia ratkaisuja, koska sesonkiaikana työtahdin ja työsaavutusten pitää olla korkeita töiden oikean ajallisuuden takaamiseksi ja koneisiin sitoutuneen pääoman määrän tulee olla mahdollisimman pieni.



Kuva 1. Viljan hintojen keskiarvot Suomen markkinoilla vuosina 2006 - 2008 (Tike, 2008b).

Hyvän ja laadukkaan sadon merkitys on aina ollut merkittävä tekijä kasvintuotantoa harjoittavien tilojen tulokselle. Tämä korostui entisestään vuosina 2007 ja 2008 viljan markkinahinnan kohotessa (Kuva 1). Kylvötyöt ovat kasvintuotannossa hyvän sadon kannalta keskeisessä asemassa. Onnistuneeseen kylvöön vaikuttavat monet tekijät. Yhtenä tärkeimmistä kasvintuotannon onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä, joihin viljelijä voi vaikuttaa, on maan muokkaus. Mururakenne, kylvöalustan oikea syvyys sekä tasaisuus ovat oleellisimpia tekijöitä kylvön onnistumiselle. Suomessa ja maailmalla kehitys on johtanut muokkausketjujen kevenemiseen ja kynnön korvautumiseen sänkimuokkauksella tai suorakylvöllä. Tällainen koneketjujen tehostaminen ei kuitenkaan saisi aiheuttaa kylvömuokkauksen laadun heikkenemistä.

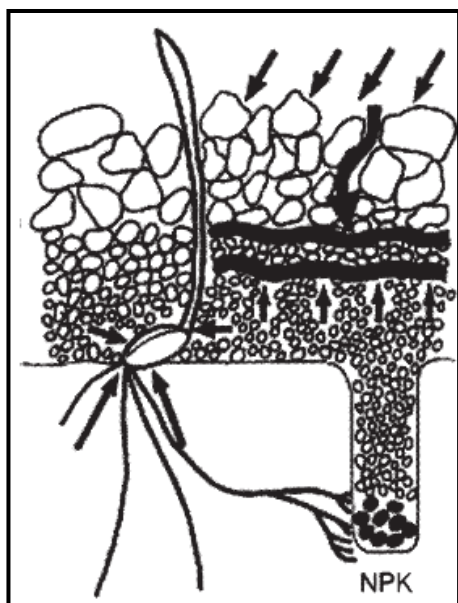
Tässä työssä keskitytään joustopiikkiäkeen muokkaustehon tarkasteluun koneen käyttötarkoituksen laajentamiseksi. Joustopiikkiäes on pääasiallisesti kylvömuokkauksessa käytetty työkone, jonka etuna on suuri muokkausteho, kestävyys ja yksinkertainen rakenne sekä sillä aikaan saatava tasainen muokauspohja ja oikeanlainen maan mururakenne. Tästä syystä joustopiikkiäkeen käyttö myös muissa kuin keväällä tehtävissä kylvömuokkaustöissä on järkevä vaihtoehto. Joustopiikkiäes on kuitenkin piikkijaoltaan normaalisti liian tiheä esimerkiksi sängen ongelmattomaan muokkaukseen. Tällöin äkeen piikkien välit eivät ole tarpeeksi suuret, äkeen runko on liian lähellä maan pintaa sekä itse piikkien sijoittelu aiheuttaa oljen läpäisyn kannalta hankalia kohtia. Ratkaisuksi äkeen läpäisevyyttä tulisi lisätä esimerkiksi runkopituutta lisäämällä ja piikkijakoa harventamalla. Äkeen runkoa ei kuitenkaan voi loputtomiin kasvattaa vaan jossain vaiheessa liika pituus estää pinnanmuotojen seuraamisen. Piikkijakoa harvennettaessa voidaan kuitenkin vastaavasti terien leveyttä kasvattaa, jotta äkeen muokkausominaisuudet eivät kärsisi ja koneella voitaisiin edelleen tehdä tavanomainen kevätmuokkaus jo perusmuokattuun maahan tehokkaasti.

Työn tarkoituksena oli tutkia mitä vaikutuksia piikkien koon suurentamisella sekä piikkivälin ja terien leveyden kasvattamisella on äkeen muokkausominaisuuksiin kuten muokauspohjan tasaisuuteen, murukokoon, työsyvyyden säilymiseen sekä vetovastukseen. Lisäksi tutkittiin kokeeseen valittujen piikkien taipumaominaisuuksia kuormituskokeilla.

2. Kirjallisuus ja teoria

2.1. Kylvömuokkauksen vaatimukset

Kylvömuokkauksella on tarkoitus muokata maa sellaiseksi, että kylvösiemen voi kosteuden ansiosta itää ja orastua (Kara et al 1972). Muokkauksen tavoitteena on muokata ja rikkoa maassa olevia kokkareita ja valmistaa muokkauskerroksen pohja tasaiseksi kylvöalustaksi (Srivastava 1993). Kylvösiemen on saatava itämisen varmistamiseksi kosketuksiin muokkauskerroksen kostean maan kanssa (Srivastava 1993). Tämä saavutetaan tasaisella ja vakiosyvyisellä muokkauksella. Muokkauksen tasaisen työsyvyyden lisäksi hyvä kylvöalusta on sellainen, joka pidättää siementen itämisen kannalta tärkeän kevätkeuuden maassa (kuva 2). Muokkauksella voidaan luoda maahan niin sanottu haihtumissuoja, joka pidättää kosteutta estämällä veden haihtumista kylvöpohjasta ilmaan. Haihtumissuojana muokkauskerroksessa toimivat halkaisijaltaan 0 - 4 mm olevat murut (Pehkonen et al 1996). Haihtumissuojan osuus muokkauskerroksesta tulisi olla 50 prosenttia ja koko muokkauskerroksen tulisi olla sellainen, että siemenen päälle saadaan vähintään 40 mm muokattua maata (Håkansson et al 2002).



Kuva 2. Esimerkkikuva hyvästä muokkauskerroksesta, jollaista kylvömuokkauksessa tulisi tavoitella (Heinonen 1978).

Varsinkin muokatut hiesusavet ovat herkkiä liettymään ja kuorettumaan keväällä sateiden vaikutuksesta. Tästä syystä maata ei saisi kylvömuokkauksessa muokata liian hienoksi vaan muokkauskerroksesta ylin 50 prosenttia tulisi olla suurempaa,

halkaisijaltaan 8-16 mm olevaa murua. Haihtumissuojan ja liettymissuojan suhde maassa on useimmiten kompromissi; harvoin voidaan saavuttaa sekä paras mahdollinen haihtumis- että liettymissuoja. (Pehkonen et al 1996).

2.2. Joustopiikkiäkeen rakenne ja toimintaperiaate

Joustopiikkiäes on maan muokkaukseen käytetty työkone, jossa muokkaavina työkaluina käytetään yleisimmin s-piikkejä. Joustopiikkiäestä käytetään useimmiten kylvömuokkauksen tekemiseen perusmuokatulla maalla, mutta sillä voidaan kylvömuokata myös esimerkiksi sänkeä. Tällöin ongelmana saattaa olla pellossa olevista oljista ja kasvijätteistä johtuva äkeen tukkeutuminen.

Nykyiset joustopiikkiäkeet ovat pääasiassa leveitä 5 - 10 metrisiä erilaisilla ladoilla tai varpajyrillä sekä jälkiharoilla varustettuja pyörin tuettuja äkeitä. S-piikkien tehtävänä äkeessä on pääsääntöisesti irrottaa ja muokata maata muokkauspohjaan asti sekä saada aikaan mahdollisimman tasainen kylvöalusta. Ladoilla ja varpajyrillä sen sijaan pyritään murskaamaan piikkien irrottamia maakokkareita, jotta muokkauskerroksen mururakenne saataisiin oikeanlaiseksi (Ahokas & Mikkola 1986). Jälkiäkeet ovat yleisimmin toteutettu ohuilla joustopiikkeillä, joiden tehtävänä on tasoittaa pellon pinta ja järjestellä murujakauma muokkauskerroksessa oikeanlaiseksi. Äkeet ovat usein raskaita kestävyyden, suuren piikkejä maahan painavan pystykuorman tarpeen, joka kuitenkin riippuu piikkien ominaisuuksista, vuoksi sekä painon mukanaan tuoman vakauden vuoksi. Tästä syystä äkeen tuentaan käytetään erillisiä tukipyöriä. Äkeen tuentaan voidaan käyttää myös latoja, varpajyriä tai jalaksia (Ahokas & Mikkola 1986). Nykyään kuitenkin pyörät ovat yleisimpiä, koska niiden avulla estetään äkeen muokkaussyvyyden vaihtelu maalajin vaihtuessa kovasta pehmeään sekä saavutetaan pienempi vetovastus tuennassa. S-piikkiäkeellä tarvitaan, äkeestä ja maalajista sekä olosuhteista riippuen, 2 - 4 ajokertaa kunnollisen kylvöalustan aikaansaamiseksi.

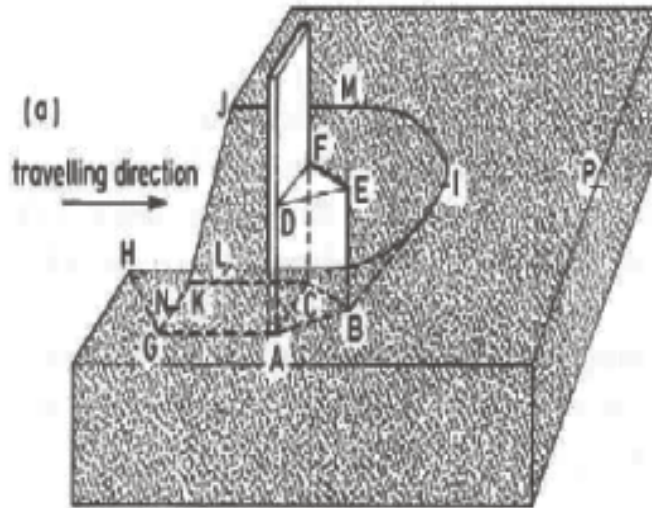
2.3. Joustopiikkien toiminta muokkauksessa

2.3.1. Piikkien toimintaperiaate

S-piikkiä käytetään pääasiassa kylvömuokkauksessa tasaisen muokkauspohjan aikaansaamiseksi. Sitä voidaan käyttää myös kuorettumien rikkomiseen, mekaaniseen rikkakasvien torjuntaan tai perusmuokkaukseen. (Srivastava 1993). S-piikiksi ymmärretään yleensä maata muokkaava työkalu, jonka vaikutus ulottuu piikin tai terän omaa leveyttä suuremmalle alueelle ja joka geometrialtaan noudattaa s -kirjaimen muotoa, kuten kuvassa 5 oleva piikki. S-piikkien ominaisuuksiin kuuluu joustavuus, joka aikaansaa piikin jäykkyydestä riippuvan värähtelyn. S-piikkien värähtely on matalataajuisista ja piikin jäykkyyden kasvaessa myös värähtelyn taajuus kasvaa. Joustopiikkien puhdistuvuus ja murustuskyky on parempi kuin vastaavilla jäykillä piikeillä. Värähtelevillä piikeillä vetotehon tarve on myös pienempi kuin jäykillä piikeillä. (Koolen & Kuipers 1983). Piikeissä käytetään terää, joka on varsinaista piikin vartta leveämpi. Piikkien terät ovat vaihdettavia kulutusosia, jotka valmistetaan paremmin kulutusta kestävästä teräksestä kuin piikit tai kokonaan eri materiaalista kuten kovat ja kulutusta kestävät keraamiset terät.

S-piikkeihin vaikuttavat voimat kylvömuokkauksessa ovat 8 km/h ajonopeudella ja 8-10 cm muokkaussyvyydellä yleensä 250 - 400 N maalajista riippuen. Kovilla maalajeilla voimat saattavat kuitenkin olla jopa noin 700 N ja kiveen tai muuhun esteeseen ajettaessa hetkellisesti moninkertaiset. (Vakola 1992a).

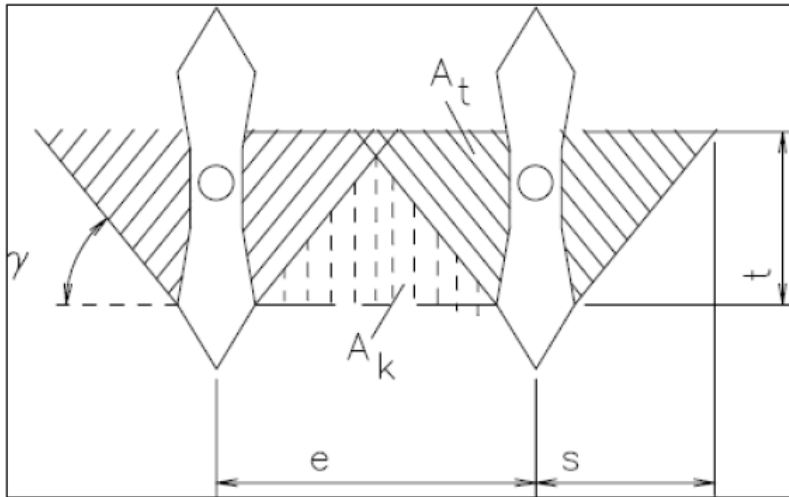
Maata muokkaavan piikin ja maan välillä vaikuttaa voimia sekä piikin edessä että sivuilla. Piikki muokkaa maata murtamalla. Tällöin piikin edessä ja sivuilla on kaareva vaikutusalue, joka on nähtävissä kuvassa 3. Vaikutusalueen sisällä piikki on irrottanut ja löyhentänyt maan, joka siirtyy osittain piikin heittämänä sivuille ja osaltaan valuu muodostuneen uran pohjalle. Piikin taakse jää yleensä kuitenkin selvä vako maanpintaan. (Koolen & Kuipers 1983).



Kuva 3. Piikin vaikutusalue murtumistyyppin muokkauksessa. Kuvassa nuoli osoittaa kulkusuuntaan. (Koolen & Kuipers 1983).

Piikin vaikuttaessa sen edessä ja sivuilla olevaan kaarevaan maa-alueeseen siihen kohdistuu voimia vaikutusalueen mukaisesti edestä ja sivuilta. Kun voimat kasvavat maan murtolujuutta suuremmiksi, maa antaa periksi ja murtuu edellä kuvatussa muodossa. Tällöin piikkiin vaikuttavat voimat purkautuvat. Eteenpäin kulkiessaan piikki kuitenkin joutuu uudestaan kosketuksiin, edellään kuljettaman irtomaan välityksellä, kiinteän maan kanssa, jolloin piikin ja maan välille muodostuu uudestaan voimia, jotka murtavat maan. Tämä jaksottainen piikkiin vaikuttavien voimien muutos aiheuttaa joustopiikin värähtelyn (Koolen & Kuipers). Värähdellessään piikin vastusvoimat pienenevät noin 10 - 20 prosenttia (Ahokas 2001).

Edellä kuvattuja vaikutuksia ei muodostu piikin ja maan välille, jos työsyvyyden ja terän leveyden suhde on pieni, esimerkiksi äestettäessä matalaan työsyvyyteen, tai hyvin suuri, esimerkiksi muokatessa kriittistä työsyvyyttä syvempään. Normaalisti piikit tekevät maahan jäljen, jossa muokkausurat ovat rinnakkain kuvan 4 mukaisesti. Tämä muoto riippuu terän kärkikulmasta, terän leveydestä sekä piikkivälistä. Muotoa ei myöskään synny, jos työsyvyys on liian suuri (Koolen & Kuipers). Maa muokkautuu tiettyyn kriittiseksi työsyvyydeksi kutsuttuun syvyyteen asti, jonka jälkeen maan ja terän välillä tapahtuu virtaustyyppin muokkautumista. Virtaustyyppisessä muokkauksessa maa siirtyy piikin edestä sivuun eikä murustumista tapahdu, vaan seurauksena on haitallista maan tiivistymistä (Ahokas 2001).



Kuva 4. Kahden terän vaikutusalue. Keskellä piikkien väliin jäävä muokkaamaton kannas, A_k . Piikkien aiheuttamat muokkausurat on merkitty tunnuksella A_t ja piikkiväli tunnuksella e . Piikin vaikutusalueen leveyteen, s , vaikuttaa erityisesti kärkikulma γ . Työsyvyys on merkitty tunnuksella t . (Ahokas 2001).

Piikkiin vaikuttavista voimista käytännön kannalta merkityksellisimmät ovat piikkiin ajosuunnasta johtuva vaakatasossa vaikuttava vastusvoima sekä piikkiä maassa pitävä tai ylös työntävä pystyvoima.

2.3.2. Terien leveys ja piikkiväli

S-piikkien terät ovat piikkiä leveämpiä ja toimivat maan kanssa kosketuksissa olevana osana. Terien leveys vaikuttaa muokkausprofiilin tasaisuuteen, maan murustumiseen sekä piikin aiheuttamaan vetovastukseen. Maata muokkaavien työkalujen maata irrottava ja muokkaava vaikutus on suurempi terillä, joilla työsyvyys/työleveys - suhde on suurempi (McKays & Maswaure 1997).

Taulukkoon 1 on laskettu tutkimuksessa käytettävien koejäsenten mukaiset esimerkkitapaukset muokkausprofiilin muodostumisesta muokkauksessa. Kaavalla 1 on ratkaistu taulukossa näkyvistä lähtöarvoista (terän leveys, B , piikkiväli, E , työsyvyys, T ja terän kärkikulma, γ) yhden terän vaikutusalue sivulle, S . Kaavalla 2 on ratkaistu kahden piikin väliin jäävän muokkaamattoman kannaksen korkeus, H , piikkivälin sekä terän kärkikulman avulla. Terän vaikutusalueen ja lähtöarvojen avulla saadaan edelleen kaavan 3 mukaan ratkaistua muokkausprofiilissa piikkien väliin muodostuvan muokkaamattoman kannaksen poikkileikkausala, A_k .

$$s = t \times \tan \gamma \quad (1)$$

$$h = \frac{e}{2} \times \tan(90 - \gamma) \quad (2)$$

$$A_k = \frac{t}{4 \times s} \times (e - b)^2 \quad (3)$$

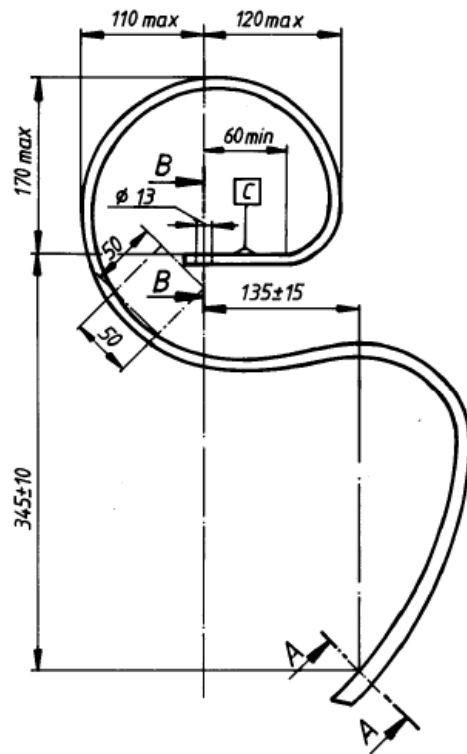
Taulukko 1. Piikkivälin ja terän leveyden vaikutus piikin muokkaaman uran poikkileikkausalaan sekä muokkausohjassa esiintyvän muokkaamattoman kannaksen alaan.

Terien leveydet, m	0,04	0,05	0,06
Piikkiväli, m	0,07	0,08	0,09
Työsyvyys, m	0,08		
Kärkikulma, γ	45 °		
	0,79 rad		
Terän vaikutusalue sivulle, m	0,08		
Muokkaamattoman kannaksen korkeus, m	0,035	0,04	0,045
Muokkaamattoman kannaksen ala, cm ²	2,25	2,25	2,25
Muokkausuran ala, cm ²	96	104	112

Taulukosta 1 voidaan nähdä, että teorian mukaan erot kokeessa käsiteltävien koejäsenten välillä ovat pieniä. Laskelman mukaan eroja tulisi esiintymään lähinnä piikkien väliin jäävän muokkaamattoman kannaksen korkeudessa. Tämä saattaa kuitenkin johtaa siihen, ettei näiden kannasten korkeus säily muokkaustapahtuman edetessä vaan ne sortuvat muokkausuraan ja murustuvat. Tämä saattaa vähentää entisestään erojen syntymistä laskennassa tarkastelujen vaihtoehtojen välillä.

2.3.3. Terien ja piikkien leikkuukulma, maahakuisuus sekä painatuksen tarve

Joustopiikkiäkeessä käytettävien terien pääasiallisena tarkoituksena on murtaa ja murustaa maata sekä muodostaa tasainen muokkauspohja. Joustopiikin perusmalli on kuvattu standardissa SFS-2781 (kuva 5). Terien leikkuukulmalla on merkittävä vaikutus maan murustamiseen. Piikeillä on yleensä kaareva muoto, joka jatkuu terissä. Kaaren alaosa muodostaa maanpinnan kanssa kulman, jota kutsutaan leikkauskulmaksi. Tämä kulma on yleensä välillä 30° - 60° (Koolen & Kuipers). Pienillä leikkauskulmilla terä nostaa maata enemmän ja tästä johtuen sekoittaa eri syvyyksiltä irrotettua maata keskenään. Usein maan liiallista sekoittumista pyritään välttämään, jottei alemmista muokkauskerroksista nouse märkää maata pellon pinnalle. Leikkuukulmilla 30° ja 90° maan muokkaus on todettu olevan tehokkaampaa kuin 60 asteen kulmalla (McKays & Maswaure 1997). Kuitenkin yleisesti suuremmalla leikkuukulmalla oletetaan murustavuuden olevan parempi, vetotehon tarpeen suurempi ja maahakuisuuden heikompi. Murustuminen lisääntyy jossain määrin myös ajonopeutta nostamalla. (Koolen & Kuipers 1983). Pystyärkinen piikki sopii hyvin poutiville savi- ja hiesumaille hyvän murustavuutensa vuoksi, mutta tarvitsee paljon painatusta pysyäkseen työsyvyydessä (Vakola 1992a).



Kuva 5. Esimerkki standardin SFS-2781 mukaisesta S-piikistä (SFS 1983).

Yksinkertaiset maata muokkaavat työkalut aiheuttavat kahdenlaisia voimia. Vaakatasossa vaikuttavat vetovastusvoimat liittyvät piikin ja terän maata muokkaavaan vaikutukseen. Pystysuunnassa vaikuttavat voimat ovat äkeen massasta ja painovoimasta aiheutuva pystyvoima ja maasta piikkiin kohdistuva tukivoima. Näiden pystysuuntaisten voimien ansiosta äkeen piikki pyrkii joko painumaan syvemmälle tai nousemaan pintaan äkeen kokonaistuennasta ja piikin maahakuisuudesta riippuen. (Godwin 2006). Maahakuinen pienellä leikkuukulmalla varustettu piikki pyrkii työntymään syvemmälle, kun suurella leikkuukulmalla varustettu piikki pyrkii nousemaan pintaan.

Joustopiikkien mitat vaikuttavat piikkien taipumaominaisuuksiin ja jäykkyyteen. Paksummasta materiaalista valmistettu piikki on jäykempi kuin ohuempi piikki ja yleisesti piikin paksuus vaikuttaa jäykkyyteen ja työsyvyyden säilymiseen enemmän kuin leveys. Joustavat ja enemmän värisevät piikit pysyvät paremmin puhtaina ja niillä on pienempi vetovastus kuin jäykillä piikeillä. Joustavat piikit voivat myös väistää maassa olevia esteitä kuten kiviä paremmin. Yleisesti jäykät piikit rikkoontuvat helpommin kivisillä mailla kuin joustavat piikit. Kovassa ja raskaassa maassa joustopiikin tulisi olla jäykkä ja hyvin työsyvyytensä säilyttävä, kun taas kevyessä ja mahdollisesti kivisessä maassa joustava. (Vakola 1992a).

Joustopiikkien geometria liittyy kiinteästi piikkien leikkuukulmaan ja työsyvyyden säilymiseen. Se voi olla joko taaksepäin kallistettu, jolloin terän kärki kulkee selvästi piikin keskiakselin takapuolella, tai piikki, jossa terän kärki muokkaa maata enemmän tai vähemmän standardin mukaisen keskiakselin kohdalla. Usein käytetään näiden välimuotoja. Taaksepäin kallistetuilla piikeillä ilmenee joustoa työsyvyydestä helpommin kuin pystypiikeillä ja jousto aiheuttaa myös suuremman työsyvyyden muutoksen kuin silloin, jos joustoliike alkaisi piikin pystyakselin tienoilta.

Maata muokkaavien työkalujen kulumisen aiheuttaa muutoksia niiden muokkausominaisuuksiin. On todettu, että terien tylsyyssä niiden alaspäin, kiinteään maahan suuntautuva tiivistävä vaikutus kasvaa ja samalla maahakuisuus heikkenee sekä vetovastus kasvaa (Fielke 1996).

2.3.4. Joustopiikkien vetovastus

Joustopiikkien vetovastukseen vaikuttaa moni tekijä. Merkittäviä tekijöitä ovat muun muassa työsyvyys, terän leveys ja leikkauskulma, terän kuluma, maan kosteus ja koheesio sekä ajonopeus. Merkittävistä tekijöistä helpoin arvioida on terän mitat. Leveämpi terä aiheuttaa suuremman vetovastuksen kuin kapea terä. Tämä suhde ei kuitenkaan ole lineaarinen. McKaysin ja Maswauren (1997) tutkimuksessa on todettu, että terän leveyden kasvaessa puolella vetovastus kasvaa vain 35 prosenttia. Maata muokkaavan terän vetovastusta voidaan myös tarkastella teoreettisesti kaavalla 4, jossa P kuvaa piikkiin vaikuttavaa kokonaisvastusvoimaa, ρ maan tilavuuspainoa, g putoamiskiihtyvyyttä, t työsyvyyttä, c muokattavan maan koheesiota, c_a terän ja maan välistä koheesiota sekä b terän leveyttä. N_y , N_c ja N_{ca} ovat kirjallisuudessa esiintyviä kertoimia. (Ahokas 2001).

$$P = (\rho \times g \times t^2 \times N_y + c \times t \times N_c + c_a \times t \times N_{ca}) \times b \quad (4)$$

Kaavalla 5 voidaan edelleen laskea piikkiin vaikuttavan kokonaisvastusvoiman pohjalta, F_x , vaakasuuntaan vaikuttava vetovastusvoima, ja kaavalla 6, F_y , pystysuuntaan vaikuttava voima. Kaavoissa kulma α on teräkulma ja δ maan ja terän välinen kitkakulma.

$$F_x = P \times \sin(\alpha + \delta) + c_a \times t \times b \times \cot(\alpha) \quad (5)$$

$$F_y = P \times \cos(\alpha + \delta) - c_a \times t \times b \quad (6)$$

Taulukossa 2 on laskettu kaavan 4, 5 ja 6 avulla tässä työssä käytettävien koejäsenten teoreettiset vetovastusvoimat. Arvoista on nähtävissä, että piikkien vetovastusvoima on piikkityypistä riippuen 95 - 114 Newtonia ja maasta aiheutuva tukivoima 28 - 47 Newtonia. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi piikkimalleilla A ja E noin 100 kilogramman massaa koeäkeen maassa pitämiseksi vällinneissa koeolosuhteissa.

Taulukko 2. Kokeessa käytettävien koejäsenten aiheuttamat vetovastukset. Taulukossa värillisellä pohjalla on alkuarvot, ja valkoisella pohjalla on näiden pohjalta lasketut piikkien aiheuttamat kokonaisvastukset (P) sekä pysty- ja vaakavoimat (F_x =vaaka ja F_y =pysty). Alkuarvot ovat tässä tutkimuksessa käytettyjä tai todettuja arvoja. Lisäksi taulukossa on laskettuna koejäsenten aiheuttama vetovastus tässä tutkimuksessa käytettävän äkeen keskilohkon leveydellä.

	A, E		B		C, D	
s	0,05	m	0,05	m	0,05	m
ρ_t	1800	kg/m ³	1800	kg/m ³	1800	kg/m ³
c	5600	Pa	5600	Pa	5600	Pa
t	0,05	m	0,05	m	0,05	m
b	0,04	m	0,05	m	0,06	m
t/b	1,25		1		0,83	
α	50	°	42	°	42	°
δ	17,5	°	17,5	°	17,5	°
ca	4000	Pa	4000	Pa	4000	Pa
N_v	4		4		3,5	
N_c	7,5		6,5		6	
N_{ca}	1,5		1,5		1,3	
P	96,01	N	106,01	N	116,41	N
F_x	95,41	N	102,45	N	113,63	N
F_y	28,74	N	43,80	N	47,08	N
Koko äes						
n	35	kpl	30	kpl	25	kpl
m	1650	kg	1650	kg	1650	kg
F_x	3339,41	N	3585,63	N	3977,01	N

2.3.5. Ajonopeuden vaikutus joustopiikkien muokkausominaisuuksiin

Ajonopeuden vaikutus muokkaukseen joustopiikkiäkeellä riippuu maan kosteudesta. Esimerkiksi maan murustuminen piikkien vaikutuksesta on vähäisempää maan ollessa kuivempi. Ahokkaan ja Mikkolan tutkimuksessa (1986) todettiin kostealla pellolla ajonopeuden noston 6,8 km/h:sta 10 km/h:iin tehostaneen maan murustamista, mutta suuremmilla nopeuksilla tehostumista ei enää tapahtunut. Ajonopeus lisää myös varpajyrien murustuskykyä, mutta ladoilla tehostumista ei sanottavammin tapahdu. Muokkauspohjan tasaisuudelle ajonopeudella ei ole merkittävää vaikutusta. Havaittavat vaikutukset liittyvätkin pääasiassa äkeen epätasaiseen kulkuun ja poukkoilemiseen ja näistä johtuvaan epätasaisuuteen. (Ahokas & Mikkola 1986).

2.4. Savimaan muokkausominaisuudet

Tutkimuksen kokeellinen osa suoritettiin Loimaalla, missä peltojen pääasiallinen maalaji on savi. Savi on melko raskas ja hienojakoinen maalaji. Kevyet maat ovat helpompia muokata, mutta ne pidättävät vähemmän vettä kuin keskiraskaat tai raskaat maalajit. Raskaiden maalajien kuten saven vedenpidätyskyky on hyvä, mutta erittäin kuivana tai märkänä ollessaan niitä on vaikea muokata. (CIGR 1999). Kuivuessaan savimaahan muodostuu rakenne, jossa yksittäiset maapartikkelit ovat lujasti toisiinsa kiinnittyneitä sisäisten koheesivoimien vuoksi. Savi onkin tyypillinen koheesiomaa hiekan ollessa tyypillinen kitkamaa (Ahokas 2001). Saven kaltaisessa koheesiomaassa voidaan usein jättää maassa vaikuttavat kitkavoimat huomioimatta, koska merkittävin muokkausvastukseen vaikuttava tekijä on maan sisäinen koheesio. Saven ollessa hyvin kosteaa rakennetta ei esiinny vaan maa on yhtenä hienojakoisena massana, jota on vaikea muokata, koska muodonmuutokset ovat plastisia (Karmakar et al 2003). Tämän vuoksi on tärkeää päästä muokkaamaan ja kylvämään savimaat oikeaan aikaan ja oikeaan kylvösyvyyteen.

Suomessa peltomaiden ominaisuuksiin vaikuttaa routa. Lähes aina talven aikana maahan muodostuu routaa kyntökerrokseen asti ja useimmiten jopa syvemmälle. Maa voi myös vuodesta riippuen sulaa ja jäätyä jopa kymmeniä kertoja talven aikana. Selkeän mururakenteen omaavilla savimailla tämä aiheuttaa muokkauskerroksessa hienon, pääosin noin 1 - 5 mm halkaisijaltaan olevia muruja sisältävän, kerroksen. (Häkansson et al 2002). Savimaita voidaankin pitää itsestään muokkautuvina. Erityisesti hiesusavien ominaisuutena on myös taipumus liettyä ja kuorettua, jos maan mururakenne on liian hienojakoinen eikä sisällä muokkauskerroksen pintakerroksessa tarpeellisia 4 - 16 mm:n kokoisia muruja (Pehkonen et al 1996). Savimailla siementen itämisen kannalta arvokas kevätkestaus saadaan säilymään maassa muokkaamalla maahan haihtumista estävä kerros, kun taas hikevillä mailla kosteuden säilöminen perustuu veden kapillaarisen nousun katkaisuun (Pehkonen et al 1996).

2.5. Muokkauspohjan mittaaminen

2.5.1. Muokkausprofiilimittauksen menetelmän valinta

Muokkauspohjan tasaisuutta voidaan mitata monilla menetelmillä. Keskeisimpiä ovat niin sanottu Kuipersin neulaprofiilimittaus sekä kosketuksettomat mittaamenetelmät kuten laser- tai ultraäänimittaus.

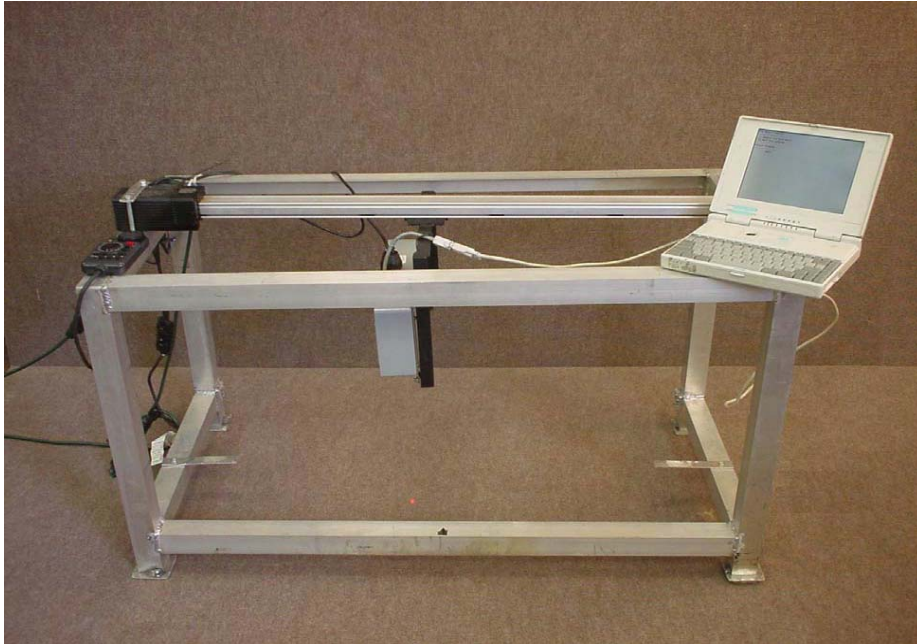
Ennen työn kokeellisen osan alkua oli valittava muokkausprofiilimittauksessa käytettävä menetelmä. Useimmiten muokkausprofiilimittaukset on tehty Kuipersin neulaprofiilimittauksella, jossa niin sanotulla työsyvyyslaatikolla määritettävä ala pellon muokkauskerroksesta puhdistetaan muokkauspohjaan asti irtomaasta. Tämän jälkeen paljastuneen maan pinnan korkeusvaihtelun hajonta mitataan telineessä liikkuvien puikkojen avulla. Vaihtelusta voidaan laskea hajontaluku, joka kuvaa muokkauspohjan tasaisuutta. Kuvatussa menetelmässä mittausväliksi tulee puikkojaosta riippuen joko 5 cm tai 2,5 cm. Tällainen mittausväli kuitenkin kertoo melko epätarkasti muokkauspohjan todellisen tasaisuuden. Esimerkiksi joustopiikin tekemät urat saattavat jäädä pääosin havaitsematta tällä menetelmällä.

Toisena vaihtoehtona muokkauspohjan tasaisuuden määrittämiseksi oli ehdolla ultraäänimittaus. Menetelmässä muokkauspohjassa esiintyvä korkeus- ja vaakatasovaihtelu määritetään mittaamalla etäisyyttä vakiotasosta muokkauspohjan pintaan. Ultraäänimittaus valittiin pääasialliseksi muokkausprofiilin mittaamenetelmäksi ja puikkomittausta pidettiin vaihtoehtona vain, jos ultraäänimittausmenetelmä ei käytännössä toimisi tai kokeita tehtäessä kohdattaisiin yllättäviä laiterikkoja. Käytännössä mittausjärjestelmällä ei oltu vielä vastaavia mittauksia tehty, joten se vaati jonkin verran kehittämistä työn edetessä.

2.5.2. Aiemmat tutkimukset

Yhdysvaltojen kansallisella maaperädynamiikan laitoksella (USDA-ARS National Soil Dynamics Laboratory) tehdyssä tutkimuksessa (Raper et al 2002) rakennettiin siirrettävä muokkauksen profiilimittauslaite, PTP, (portable tillage profiler), jonka periaatteena oli mitata muokkauksen pinta- tai kylvöalustaprofiileja pellolla. Laite koostui neljästä osasta: mittalaitteena toimivasta laseretäisyysmittarista, lineaarisesti

toimivasta asemaa muuttavasta karamoottorista, kannettavasta tietokoneesta mittausten lukemista varten sekä kevyestä ja siirreltävästä alumiinirungosta. Laitteen rakenne näkyy kuvassa 6. (Raper et al 2002).



Kuva 6. Yhdysvaltojen kansallisella maaperädynamiikan laitoksella kehitelty siirrettävä muokkauksen profiilinmittauslaite (Raper et al 2002).

Profiilinmittauslaitteessa käytettiin mittalaitteena laseretäisyysmittaria, jonka kanssa saattoi esiintyä ongelmia maan pinnan tumman värin kanssa. On mahdollista, että laser ei saanut heijastusta tummasta maasta vaan lähetetty säde hukkuu. Tämä muodostui ongelmaksi muun muassa Säterin (2008) tekemässä tutkimuksessa, jossa tutkittiin automaattista työsyvyyden säätöä. Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa saatiin kuitenkin onnistuneita tuloksia hiesusavi- ja hietamaiden mukaan värjättyjen koekappaleiden mittaamisessa. Mustalla ja valkoisella värjätty kappaleet osoittautuivat kuitenkin hankaliksi lasermittauksessa. (Raper et al 2002) Etuna Raperin yms. (2002) tutkimuksessaan käyttämässä menetelmässä oli lasermenetelmällä saatava pistemäinen mittaustulos, jolloin päästään suurempaan tarkkuuteen kuin ultraäänianturilla sekä sähköinen mittaustulos siirto, jolloin välttää mittausten epätasainen jakautuminen vaakakselilla.

Säterin (2008) Pro gradu - työnä tekemässä äkeen automaattista työsyvyyden säätöä käsittelevässä tutkimuksessa tarkasteltiin kattavasti erilaisia ultraääniantureita. Tutkimuksessa automaattinen työsyvyyden säätö suunniteltiin toteutettavaksi joko laser-, ultraääni- tai kosketusmittauksella. Tutkimusta varten Säteri testasi ja vertasi

Siemensin 3RG6233 ja 3RG61, Banner S18UIA sekä PIL P43-F4V-2D-1C0-180E -ultraääniantureita. Antureita testattiin laboratorio-oloissa muun muassa suurimman kaltevuuden selvittämiseksi sekä peili- ja diffuusiheijastusten havaitsemisen määrittämiseksi. Peiliheijastusominaisuudet selvitettiin mittaamalla tasaiselle alustalle aseteltuja erimittaisia pultteja suoraan ylhäältä päin (kuva 7) ja diffuusiheijastusominaisuuksia mittaamalla pinnan muotoja maalaatikosta, jolla simuloitiin pellolla saatavia luonnollisia kaikuja erilaisten esteiden, kuten olkien ja multakokkareiden avulla. Kokeissa havaittiin Banner -anturin olevan epäsopeva pellolla suoritettavaan pinnantason mittaukseen. PIL ja Siemens -anturit sen sijaan todettiin käyttökelpoisiksi. Siemensin valmistamilla antureilla todettiin ongelmia kohteiden havaitsemisessa suuremmilla keilan kavennusarvoilla anturin liikenopeuden vastatessa todellista äestysnopeutta. Hitaammalla liikenopeudella ja sopivilla keilankavennusarvoilla anturi todettiin kuitenkin soveltuvaksi pelto-olosuhteisiin. (Säteri 2008).



Kuva 7. Säterin tutkimuksessaan ultraääniantureille tekemän peiliheijastustestin koeasettelu (Säteri 2008).

2.6. Ultraäänianturiin liittyvä teoria

Tutkimuksen kokeellisessa osassa muokausprofiilin tasaisuus selvitettiin etäisyysmittauksena ultraäänimittauksen avulla. Ultraääni on äänivärähtelyä, joka on taajuudeltaan yleensä yli 20kHz ja siten ihmisen kuuleman taajuusalueen ulkopuolella. Ultraäänen käyttö etäisyysmittauksessa perustuu ääniaaltojen heijastumiseen takaisin lähtöpaikkaansa niiden kohdatessa esteen. Ultraäänianturit koostuvat tyypillisesti lähettimestä, joka lähettää värähtelyä tietyllä taajuudella ja aallonpituudella tietyssä keilassa, sekä vastaanottimesta, joka vastaanottaa takaisin heijastuneen äänivärähtelyn.

Ultraäänimittauslaitteiston avulla etäisyys pisteeseen, josta ääniaalto heijastui takaisin, voidaan laskea aaltojen kulkeman ajan ja nopeuden perusteella. (Säteri 2008).

Ultraäänimittaukseen vaikuttaa olennaisesti väliaine, jossa ääniaallot etenevät. Tässä tutkimuksessa väliaineena oli ilma, jolloin merkityksellisenä muuttujana oli ilman lämpötila. Käytännössä ilman lämpötilan muuttuessa ääniaaltojen etenemisnopeus muuttuu (Toroi 2007). Kontrolloimattomassa ulkotilassa saattaa aiheutua ongelmia ilman lämpötilan muutoksista, erityisesti mittausten kestäessä kauan, tai tuulen aiheuttamasta lämpötilan muutoksesta, joka saattaa vaikuttaa jo lyhyemmälläkin aikavälillä.

Myös lähettimen keila, jolla se lähettää aaltoja on merkityksellinen tekijä ultraäänimittauksessa. Jos keila on laaja, ilmassa etenevien aaltojen teho jakautuu suuremmalle alalle ja tämän johdosta takaisin palaava heijastus jää liian heikoksi, jotta se voitaisiin luotettavasti mitata. Ultraäänen lähtökeilan koko on merkityksellistä tässä tutkimuksessa myös siksi, että mitattavaan kohteeseen osuessaan etenevät aallot voivat heijastua takaisin mistä kohtaa keilaa tahansa (Säteri 2008). Keilan ollessa laaja ei tarkkaa etäisyyttä haluttuun pisteeseen enää saada vaan mittauksen tulos voi olla anturia lähinnä oleva piste, josta heijastus saadaan. Ultraäänen ongelmana on myös kaltevien pintojen mittaaminen. Ääniaallot heijastuvat esteestä siten, että lähtökulma on sama kuin tulokulma. Tasaista pintaa mitattaessa syntyy usein peiliheijastus ja lähetetty pulssi heijastuu täydellisesti takaisin. Kaltevista pinnoista voi olla hankalaa saada heijastumia anturille, koska yleensä suurin osa aaltojen tehosta heijastuu muualle ja joskus vain pieni osa vastaanottimelle. Kaltevien pintojen mittaaminen on kuitenkin mahdollista ultraäänellä sirontailmiön ansiosta. Sirontailmiössä tuleva aalto heijastuu moniin eri suuntiin pinnan epätasaisuuden ansiosta. Tällöin lähetetystä aallosta voidaan aina vastaanottaa tietty määrä. Sirontailmiö tapahtuu peiliheijastuksen sijasta silloin, kun pinnan epätasaisuus on noin $1/6 - 1/4$ tulevan aallon aallonpituudesta. (Toroi 2007).

3. Työn tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää joustopiikkiäkeen terien leveyden kasvattamisen ja piikkivälin leventämisen vaikutuksia muokkauspohjan tasaisuuteen sekä muokkauksen tulokseen todellista kylvömuokkausta vastaavissa olosuhteissa.

Tutkimuksen tavoitteet ovat:

1. selvittää joustopiikkiäkeen terän leventämisen ja piikkivälin kasvattamisen vaikutuksia muokkauspohjan tasaisuuteen,
2. selvittää joustopiikkiäkeen terän leventämisen ja piikkivälin kasvattamisen vaikutuksia maan murustavuuteen ja työsyvyyden säilymiseen muokkauksessa,
3. selvittää minkälainen vaikutus joustopiikkiäkeen terän leventämisellä ja piikkivälin kasvattamisella on äkeen vetotehon tarpeeseen ja
4. tutkia joustopiikkien taipumista johtuvia työsyvyyden muutoksia piikkien kuormitusmittauksilla.

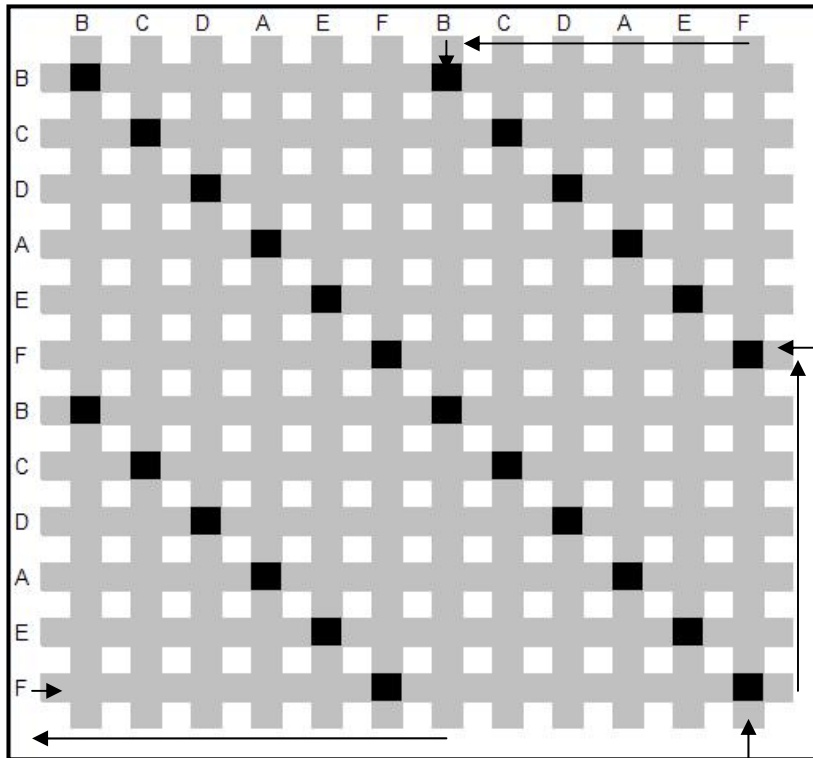
4. Aineisto ja menetelmät

4.1. Koejärjestelyt

4.1.1. Koeruutu ja muokkausten ajojärjestys

Kenttäkokeet suoritettiin Loimaalla Haaroisten kylässä sijainneella peltolohkolla. Lohkon maalaji oli hiesusavi ja se oli tasainen ilman merkittäviä kaltevuuksia. Lohkolla oli edellisenä vuonna viljelty kevätvehnää ja lohko oli perusmuokattu kyntämällä edellisenä syksynä noin 15 cm syvyyteen. Ennen kenttäkokeiden aloittamista pellon annettiin kuivua riittävästi, jotta se olisi muokattavissa 5 senttimetrin työsyvyydellä. Viikolla 28 vuonna 2009 lohko tasausäestettiin noin 2,5 - 3 senttimetrin työsyvyydellä Multiva Topline 700 -joustopiikkiäkeellä vain latoja käyttäen. Tasausäestyksen työsyvyys todettiin lautaa ja rullamittaa apuna käyttäen. Tasausäestyksen ansiosta lohkon pintakerros murustui arviolta alle 8 mm murukokoon. Loimaan seudulla mittauksia edeltäneen talven aikana maa oli ollut paksussa roudassa ja suurimman osan talvea vielä lumipeitteen suojassa, joten pintamaa ei ollut päässyt kovettumaan sateiden aiheuttaman eroosion vaikutuksesta. Näistä syistä johtuen maa oli helposti muokattavissa ja talven jäljiltä jo valmiiksi murustunut aivan pellon pinnassa. Kenttäkokeiden muokkaus käsittelyt aloitettiin lohkolla noin kaksi päivää tasausäestyksen jälkeen. Muokkaus käsittelyt ajettiin samalla äkeen keskilohkolla ja jokaisen muokkaus käsittelyn välillä äkeeseen vaihdettiin koejäsenen mukainen piikki- ja teräyhdistelmä sekä asetettiin työsyvyys koekentän ulkopuolella. Työsyvyys saatiin mittaamalla äkeen jälkeen muokkaus pohjan etäisyys pellon pinnasta kolmesta kohtaa. Mittaus suoritettiin rullamitalla ja tasaista lautaa apuna käyttäen. Työsyvyydeksi kokeissa tavoiteltiin 5:tä senttimetriä. Muokkausten aikana traktorin ajonopeus oli 10 km/h, vaihtelun ollessa 1 km/h luokkaa. Ajonopeus todettiin traktorin omasta nopeusmittarista. Muokkausten ajojärjestys on esitetty kuvassa 8.

Peltolohkolle merkittiin tasausäestyksen jälkeen 47 x 47 m kokoinen koeruutu (kuva 8), joka jaettiin edelleen 3 m leveisiin ajokaistoihin. Ajokaistojen väliin jätettiin metrin levyinen kaista muokkaamatonta maata helpottamaan käsittelyjen erottamista toisistaan. Kaikki merkinnät tehtiin merkkikeppien avulla. Käsittelyjen järjestys koekentällä satunnaistettiin kuvan 8 mukaisesti. Mittauspisteet sijaitsivat ajokaistojen käsittelyjen mukaisissa risteyskohdissa. Koekentän ulkopuolelle jäi runsaasti tilaa päisteajoa ja kokeissa käytetyn äkeen säätämistä varten.



Kuva 8. Tutkimuksessa käytetty koekenttä ja käsittelyjen ajojärjestys ja ajosuunnat. Käsittelyn tunnus näkyy kaistojen päissä. Mittauspisteet käsittelyjen risteyskohdissa on merkitty tummemmalla värillä. Muokkaukset aloitettiin kuvan alareunasta ja lohkolta poistuttiin kuvan vasemmasta reunasta. Jokaisen mittauspisteen kohdalle tuli näin kaksi muokkaukset toisiinsa nähden ristiin.

4.1.2. Maan kosteuden ja koheesion mittaus

Ennen muokkauksia koekentältä mitattiin tasaustyksen jälkeen jokaisesta mittauspisteestä maan kosteus ja koheesio. Kosteuden mittaus suoritettiin Decagon Devices:n valmistamalla EC-5-kosteusanturilla ja Procheck-lukulaitteella. Mittaus suoritettiin kerran jokaista mittauspistettä kohti. Kosteusmittaus suoritettiin noin 5 cm:n syvyydestä.

Maan koheesio mitattiin kosteusmittausten yhteydessä. Maan koheesio mitattiin Geonor H-60-siipikairalla 20x40 mm:n kairaa käyttäen. Mittaus tehtiin jokaisesta mittauspisteestä kerran. Mittaus suoritettiin pellon pinnasta alaspäin noin 1 - 5 senttimetrin välillä.

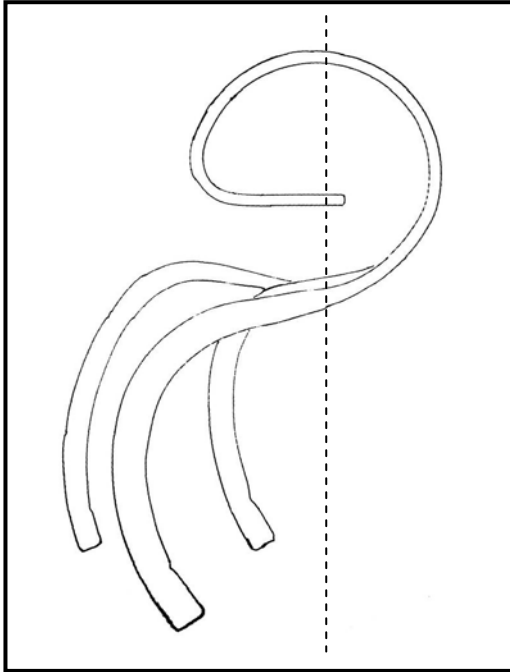
4.1.3. Koejäsenet ja muokkauksissa käytetty testiäes

Työssä koejäseninä käytettiin äkeen eri piikki- ja terävaihtoehtoja siten, että voitiin arvioida piikin koon ja piikkivälin sekä terän leveyden vaikutuksia muokkauksessa. Lisäksi kokeessa käytettiin verrokkina toisen piikkivalmistajan piikkiä sekä lautasmuokkausta. Koejäsenet on esitetty taulukossa 3.

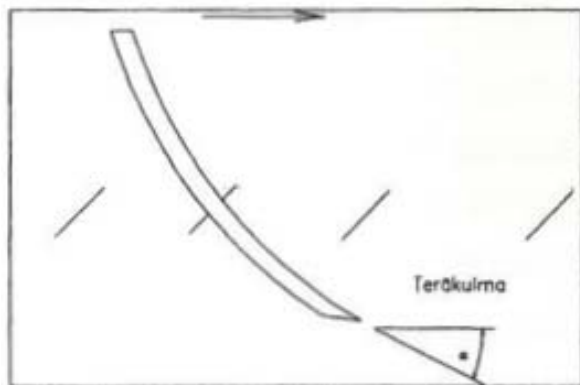
Taulukko 3. Kokeissa käytetyt koejäsenet.

Koejäsen	Piikki	Koko, mm	Terän leveys, mm	Piikkijako, mm
A	Multiva SA	11x45	40	70
B	Multiva TerraSuper	10x65	50	80
C	Multiva TerraSuper	10x65	60	90
D	Multiva TerraSuper	12x65	60	90
E	Väderstad Agrilla Cobra	10x45	40	70
F	Lautasmuokkaus DM300, 510 mm:n lautasilla			

Koejäsen A oli normaali, raskaassa kevätmuokkausäkeessä käytetty piikki, jonka leikkauskulma oli 50 astetta ja terän leveys 40 mm. Koejäsenet B ja C olivat ainevahvuudeltaan 10 mm paksuja, kooltaan suurempia piikkejä, joissa käytettiin 50 mm leveää terää (koejäsen B) ja 60 mm leveää terää (koejäsen C). Koejäsenissä B ja C leikkauskulma oli 42 astetta. Koejäsen D oli muodoltaan 10x65 mm:n piikkiä vastaava, ainevahvuudeltaan 12 mm:ä paksu, piikki, jonka leikkauskulma oli 42 astetta. Piikissä käytettiin 60 mm:n terää. Koejäsen E oli 10x45 mm:n piikki, joka erosi muista muodoltaan (kuva 9). Koejäsenen E leikkauskulma oli muita selvästi suurempi, 60 astetta ja terän leveys 40 mm:ä. Koejäsen F oli tavanomaisempana sänkimuokkausmenetelmänä käytetty lautasmuokkaus. Koejäsenten leikkauskulmat selvitettiin kuvan 10 mukaisesti. Piikeistä TerraSuper –piikit olivat saman korkuisia. Multiva SA:n ja Väderstad Agrilla Cobran olivat keskenään samankorkuisia, mutta noin 50 mm TerraSuper –piikkejä matalampia.



Kuva 9. Kokeessa käytettyjen piikkien profiilit. Lähimpänä keskilinjaa on esitetty 11x45 mm:n piikki, keskellä 10x65 mm:n piikki ja vasemmalla 10x45 mm:n piikki. 12x65 mm:n piikki vastasi muodoltaan 10x65 mm:n piikkiä.



Kuva 10. Kaarevan terän leikkauskulma (Ahokas 2001).

Kokeissa äesrunkona käytettiin Multiva Mega XL 700 -joustopiikkiäestä (kuva 11), josta poistettiin ennen kokeiden suorittamista sivulohkot sekä jälkihara ja asetettiin etu- ja takalata yläasentoon. Näin pyrittiin varmistamaan, etteivät koeruudut muokkautuisi muutoin kuin tutkittavien koejäsenten toimesta. Keskilohkon paino oli noin 1650 kg Multiva SA 1145 -vakiopiikeillä. Äkeen tukieliminä toimi telipyörästä, joka oli varustettu neljällä 300/65-12 pyörällä. Pyörästäön maahan tukeutuva pinta-ala oli suuri keskilohkon painoon nähden, joten pyörien painumisesta johtuvia äkeen työsyvyyden vaihteluongelmia ei odotettu aiheutuvan.



Kuva 11. Kokeissa käytetty Multiva Mega XL 700 -äkeen keskilohko.

4.1.4. Vetovastusmittaus muokkauksen aikana

Vetovastus traktorin ja äkeen välillä mitattiin muokkauksien aikana erityisellä, tarkoitukseen rakennetulla vetokartulla. Vetokarttu oli etukäteen rakennettu siten, että se voitiin kiinnittää traktoriin kolmipistekiinnityksellä ja siihen tehtiin muutos niin, että vetokarttuun voitiin kiinnittää voima-anturi. Vetokarttu ja anturin kiinnitys on esitetty kuvassa 12. Mittauksessa käytettiin anturina Raute Precisionin valmistamaa voima-anturia jonka malli oli TB3-3, jonka mittausalue oli 0 - 15000 N ja herkkyys 2 mV/V. Voima-anturin vahvistimena käytettiin AN2401-vahvistinta, johon voitiin tallentaa yksikkömuunnos siten, että vetovastuksen arvot oli mahdollista lukea näytöltä suoraan kilogrammoina. Mittausjärjestely on esitetty kuvassa 13.

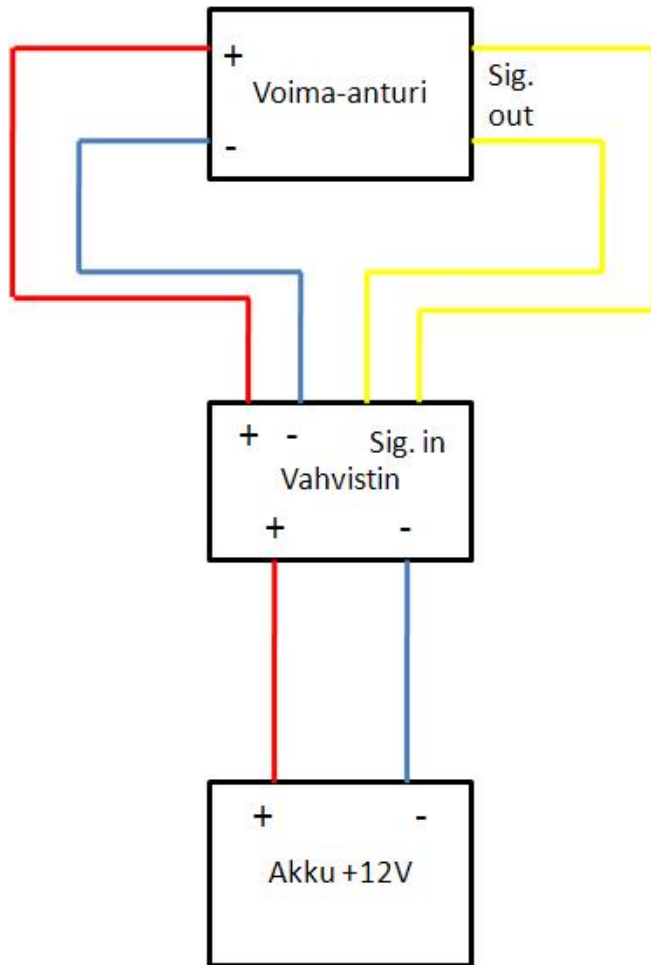


Kuva 12. Kokeissa käytetty vetokarttu ja voima-anturi

Jokaisen muokkauskaistan alussa, keskivaiheilla ja lopussa kirjattiin vahvistimen näytöltä kolme hetkellistä vetovastuksen arvoa. Työkoneen aiheuttama todellinen vetovastus muodostuu monen tekijän yhteisvaikutuksesta. Vetovastukseen vaikuttavat muun muassa työsyvyys, ajonopeus, äkeen kunto, maalaji, kosteus sekä piikkien ja terien lisäksi äkeen varusteet kuten ladat ja pyörät (Ahokas 2001). Tässä tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin vakioimaan kaikkien muiden kuin tutkittavien muuttujien vaikutukset äkeen vetovastukseen. Tutkittavien kohteiden ollessa ainoat muuttujat, voitiin vetovastusvertailua koejäsenten välillä suorittaa. Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, että ne sisältävät myös tässä tutkimuksessa vakioitujen tekijöiden aiheuttamat vetovastukset.

Vetovastusmittauksen laitteisto:

- Traktori ja äes: Massey Ferguson 5455 ja Multiva Mega XL
- Vetokarttu
- Voima-anturi: Raute Precision TB3-3
- Vahvistin: AN2401



Kuva 13. Vetovastusmittauksen kytkentäkaavio

4.1.5. Muokkauksen jälkeiset mittaukset

Työsyvyyden mittaaminen

Mittaukset aloitettiin toteutuneen työsyvyyden mittaamisella. Toiminta aloitettiin selvittämällä mittauksissa käytetyn työsyvyyslaatikon paikka. Sitä varten mitattiin rullamitalalla muokatun uran reunoilta kaistan keskikohta kahteen suuntaan. Toteutuneen työsyvyyden mittaukseen käytettiin Kritzin menetelmää, jota on Suomessa käytetty muun muassa MTT Vakolan tutkimuksissa (1992b), Koneviestin testeissä (2009) ja Säterin (2008) Pro gradu -tutkimuksessa. Myös Ruotsissa menetelmää käytetään nopeana vasta muokatun maan työsyvyyden määrittämenetelmänä (Håkansson et al 2002). Menetelmää noudattaen jokaisesta mittauspisteestä kerättiin työsyvyyslaatikosta 40 cm x 40 cm alalta muokkauskerros talteen säiliöllisellä imurilla (kuva 14). Maanäyte kaadettiin läpinäkyvästä pleksilasista valmistettuun lieriöön (kuva 14). Lieriössä olevan maapatsaan korkeus mitattiin, jolloin saatiin laskettua toteutunut keskimääräinen

työsyvyys, kun lieriön pohjan ala ja työsyvyyslaatikon pohjan ala olivat tiedossa. Kritzin menetelmää pidetään riittävän tarkkana työsyvyyden tarkastelemiseksi, kun maa kaadetaan työsyvyysputkeen noin 45 asteen kulmassa ravistelematta. Menetelmä vaatii 4 - 8 toistoa käsittelyä kohden. (Håkansson et al 2002).



Kuva 14. Muokkauskerroksen imurointi ja työsyvyysputki

Muokkausprofiilin mittaus

Ultraäänimittauksessa käytettiin Siemens 3RG6233 -ultraäänianturia. Anturi kiinnitettiin mittauskelkkaan. Mittauskelkka oli puolestaan kiinnitetty telineeseen, jossa kelkkaa voitiin liikuttaa noin 860 millimetriä portaattomasti (kuva 15). Telineeseen oli asennettu JX-PA-40 -potentiometri, josta kiinnitettiin vetolanka mittauskelkkaan. Potentiometrin avulla mittauksen x-akselin asema voitiin määrittää. Ultraäänianturin tarvitsema syöttöjännite oli +24VDC. Ultraäänianturin antama mittaussignaali oli 0 - 10VDC jänniteviesti. Potentiometrin antojännite oli suhteessa syöttöjännitteeseen. Kelkkaan kiinnitettiin 24 V:n akku huolehtimaan ultraäänianturin ja potentiometrin virran syötöstä.

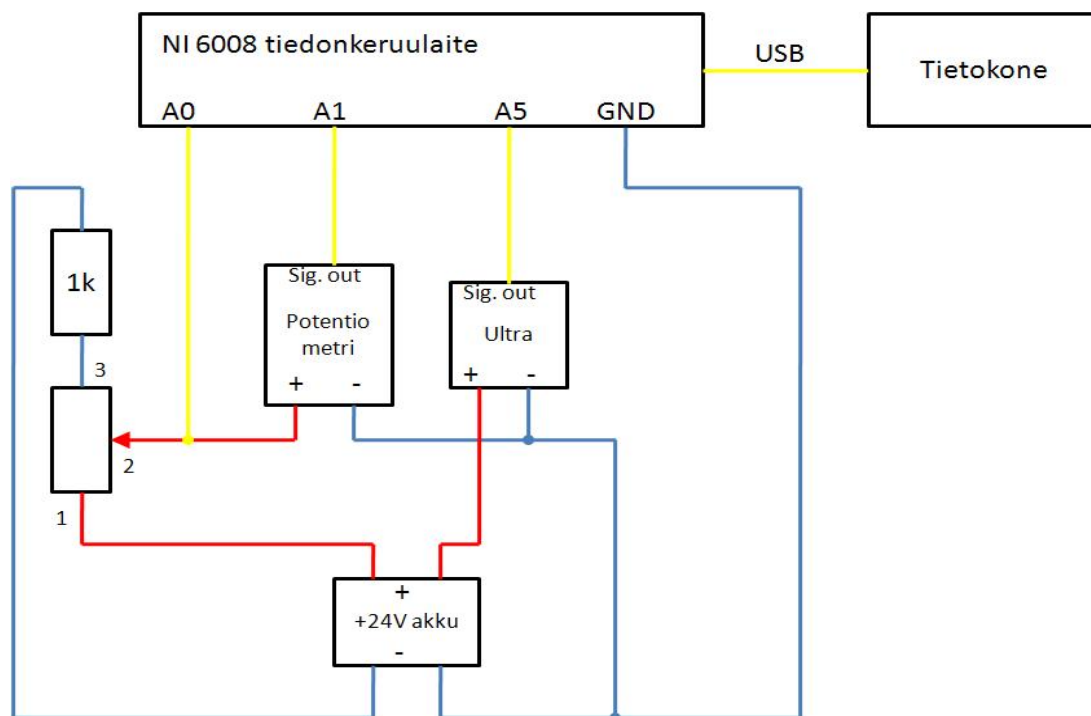


Kuva 15. Kokeessa käytetty mittauskelkka ja tiedonkeruussa käytetty tietokone.

Profiilinmittauskelkkaan oli lisäksi kytkettävä tiedonkeruulaite analogisten mittausviestien muuttamiseksi digitaaliseen muotoon tietokonetta varten. Tiedonkeruuna käytettiin National Instrumentsin NI-6008 -mittakorttia, jonka ohjaamiseen ja tulosten tallennukseen käytettiin National Instrumentsin Labview -ohjelman versiota 8.6. Mittakortti ei kuitenkaan lukenut yli 24 V:n viestejä, joten profiilinmittaukseen rakennettiin jännitteenjako. Jännitteen jaon kautta mitattiin myös akun jännite, jotta tuloksista pystyttiin näkemään akkujännitteen mahdolliset vaihtelut ja näiden vaikutukset mittausten tuloksiin. Ultraäänimittauksessa käytettiin tiedonkeruun analogisia kanavia 0, 1 ja 5. Kanava 0 liitettiin akkujännitteen seurantaan, kanava 1 potentiometriin ja kanava 5 ultraäänianturiin. Mittausjärjestely on esitetty kuvassa 16. Mittaustaajuutena järjestelmässä käytettiin 1 kHz.

Muokkausprofiilimittauksen laitteisto:

- Kannettava tietokone:
- Mittauskelkka
- Ultraäänianturi: Siemens 3RG6233
- Potentiometri: JX-PA-40
- Jännitelähde: 24V akku
- Tiedonkeruu: NI-6008
- Mittausohjelma: NI Labview 8.6



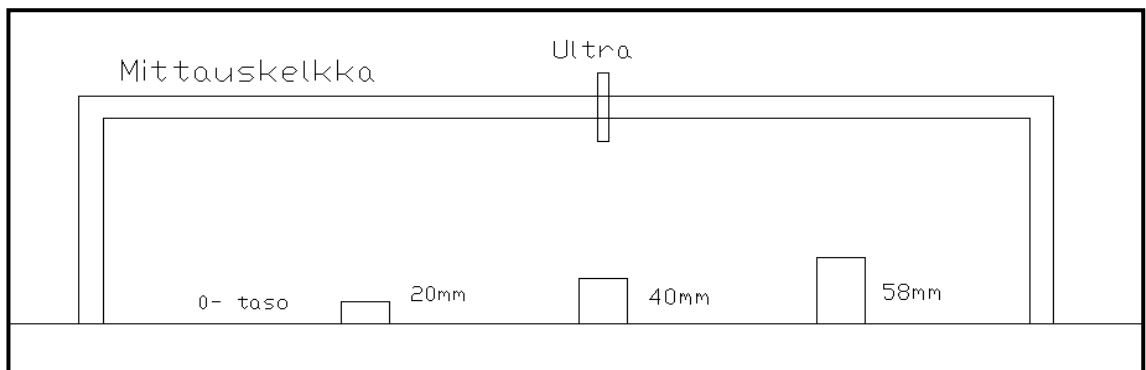
Kuva 16. Muokausprofiilimittauksen kytkentäkaavio.

Ultraäänianturin kalibrointi ja parametrien valinta

Ultraäänimittaus perustui Säterin (2008) maan pinnan mittaamiseen riittäväksi toteamaan Siemens 3RG6233 -ultraäänianturin käyttöön. Kokeissa käytetty ultraäänianturi oli varustettu muistilla, johon voitiin tallentaa anturin toimintaa säätelevät parametrit. Säädetäviä asetuksia olivat anturin mittausalue, lämpötilan kompensatio sekä anturin niin sanottu damping-arvo eli keilan kavennus. Anturin keilan kulma oli D0-asetuksella 19° ja taajuus 200 kHz. Anturin mittausalue oli 140 - 1000 mm anturin päästä mitattuna. Mittausalue asetettiin kokeissa välille 150 - 400 mm. Lämpötilakompensatio jätettiin anturiin päälle, vaikkakaan kompensatian merkitystä ei tarkasteltu, koska olosuhteet mittauspäivän aikana oletettiin olevan yhdenmukaiset, mikä osoittautuikin todeksi. Anturin damping-asetusta, joka sääti anturin herkkyyttä, voitiin muuttaa välillä D0-D6. Damping-arvoa säätämällä anturi suodatti pois keilan reuna-alueilta saatuja hajakaikuja. Tämä oli tavoiteltavaa muokauspohjan profilia mitattaessa. Damping-suodatusta käytettäessä anturi kuitenkin menetti kaltevalta tasolta saatuja heijastuksia. Säteri (2008) ei kyseisellä anturilla saanut tutkimuksessaan D2-asetuksella enää sileästä vanerilevystä toistettavissa olevaa heijastusta. Heijastavan pinnan karheuden todettiin vaikuttavan pinnan kaltevuuteen, jolta heijastuksia

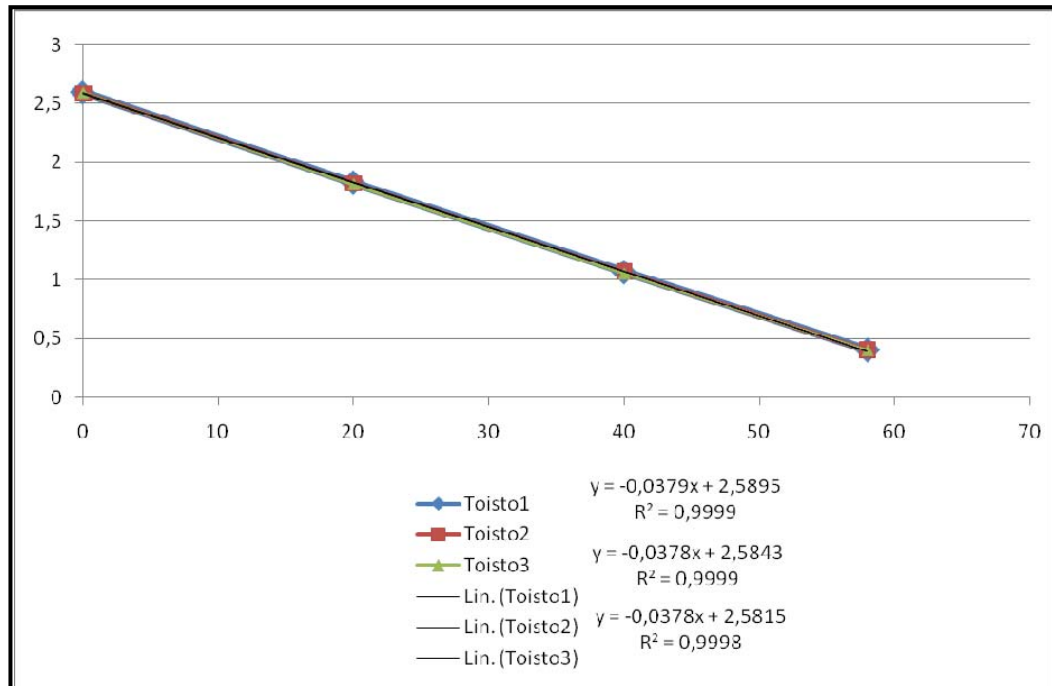
saadaan. Myös anturin liikenopeuden todettiin vaikuttavan heijastusten saamiseen epätasaisilta alustoilta. (Säteri 2008). Näiden havaintojen vuoksi anturin liikenopeus pyrittiin tämän tutkimuksen kokeellisessa osassa pitämään aina alle 0,5 m/s.

Ennen kokeiden suorittamista ultraäänianturi oli kalibroitava. Kalibrointi tehtiin Helsingin yliopiston agroteknologian laitoksella 22.4.2009 suoritetuissa testeissä. Potentiometriä varten suoritettu kalibraatiotesti tehtiin liikuttamalla mittauskelkkaa ratansa ääripäästä toiseen. Vastaavasti ultraäänianturin kalibraatiotestit suoritettiin tasaisella alustalla asettamalla ultraäänimittausjärjestelmän mittausalueelle tietyn korkuisia esineitä. Esineinä käytettiin metallisia lieriöitä, jotka valittiin tarkkojen työntömitalla varmistettujen mittojensa mukaisesti. Testissä käytetyt lieriöiden korkeudet olivat 20 mm, 40 mm ja 58 mm. Nollatasona testissä käytettiin lattiaa. Kuvassa 17 on nähtävissä kalibroinnissa käytetty koejärjestely.



Kuva 17. Ultraäänianturin kalibroinnissa käytetty koejärjestely.

Kalibroinnissa käytettiin anturin asetusta D3 ja kokeet toistettiin kolme kertaa. Kuvassa 18 on mittauksissa saaduista tuloksista nähtävillä ultraäänen kalibraatiomittaus.

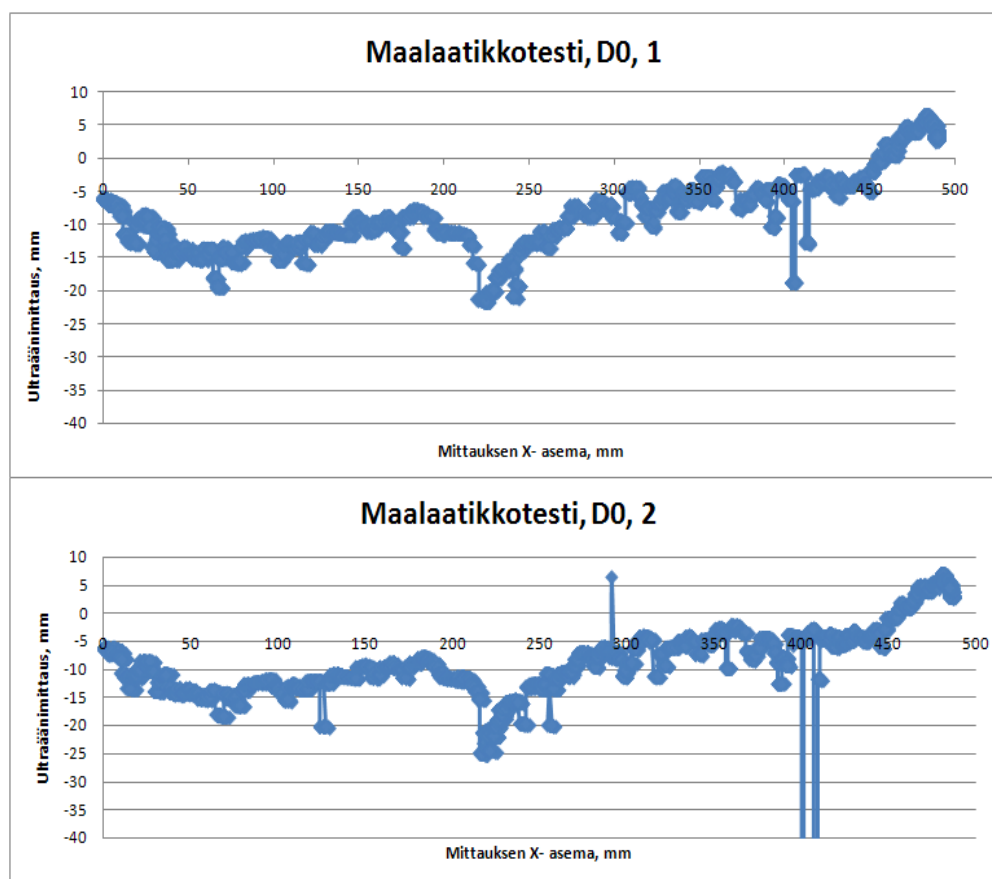


Kuva 18. Ultraäänianturin kalibraatiomittausten tuloksia. Pystyakselilla jännite, V ja vaaka- akselilla korkeus, mm. Kuvassa on esitetty myös regressioyhtälöt ja niiden selitysasteet.

Ultraäänimittauksen kalibroinnin tulosten pohjalta voitiin laskea toistojen keskiarvojen avulla regressioyhtälöt ja niiden selitysasteet ultraäänimittauksen ja potentiometrin antamille tuloksille. Kaavalla 7 voidaan laskea kalibraatio ultraäänianturille, jossa y kuvaa mittaustulosta pituusmittana ja x jännitearvona.

Muokkausprofiilin mittausta varten ultraäänianturia testattiin maalaatikoon rakennetulla mittaasettelulla erilaisilla asetuksilla ja mittaustaajuuksilla. Testit tehtiin maalaatikolla, jossa maan pintaa kuvaamaan käytettiin puutarhaturvetta. Turve oli erittäin kuivaa ja rakenteeltaan harvaa ja se sisälsi paljon vaihtelua aiheuttavia kappaleita kuten puun palasia yms. Turpeen arvioitiin olevan hyvä testi ultraäänianturille. Mikäli anturilla saataisiin selville pinnan taso ja muoto turpeesta, niin anturin oletettiin toimivan myös hienojakoisella savimaalla. Testiä varten turpeen pintaan tehtiin noin 40 mm leveä ja 35 mm syvä lovi kuvaamaan s-piikin tekemää lovea. Testit tehtiin damping-asetuksilla D0-D3 ja taajuuksilla 500 – 1000 Hz. Testeissä kullekin koejäsenelle tehtiin kaksi toistoa.

Maalaatikkotestien tuloksia tarkasteltaessa käytettiin tulosten kuvallista tarkastelua sopivan D-arvon eli keilankavennusarvon valinnassa. Kuvallisella tarkastelulla voitiin määrittää maanpinnan muodot parhaiten tunnistava asetus, kuten myös asetus, jolla maahan tehty vako tunnistettiin parhaiten ja oikean syvyyisenä. Esimerkki maalaatikolla testattujen D-arvojen tuloksista on esitetty kuvassa 19 ja varsinaiset tulokset on esitetty liitteessä 1.



Kuva 19. Maalaatikkotestin tulos D0 - asetuksella, toistot 1 ja 2.

Kuvasta 19 nähdään, että ultraäänellä saatiin selville pinnanmuodot jopa hyvin epätasaisesta ja pinnanmuodoiltaan vaihtelevasta turpeesta. Leveimmällä ultraäänikeilan asetuksella maalaatikosta mitattu pinta kuitenkin tasoittui todellisesta jonkin verran. D0-asetuksella turpeen pintaan tehty 35 mm:ä syvä vako havaittiin vain noin 15 mm:n syvyyisenä. D-arvoa kasvattamalla vaon havainnointi tarkentui ja se pystyttiin havaitsemaan oikean syvyyisenä. D-arvoa kasvatettaessa virheheijastumien määrä kuitenkin kasvoi merkittävästi. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että keilaa kavennettaessa ultraäänianturi ei saanut enää sirontaheijastuksia kaltevista pinnoista.

Asetuksia valittaessa tultiin siihen lopputulokseen, että kenttäkokeisiin valitaan suurin testattu D-arvo, D₃, ja virheheijastumien määrä kompensoidaan erittäin suurella mittaustaaajuudella, jolloin mittauksia saadaan tutkittavan muokkauspohjan koko mitalta.

Seulonta

Mittauspisteistä kerätyt maanäytteet kaadettiin paperisäkkeihin, joissa näytteet kuivattiin ilmakeiviksi. Näytteitä kuivattiin sateelta suojatussa kuivassa rakennuksessa niin pitkään, että kaikkien säkkien sisältämät murut olivat silmämääräisesti väriltään harmaita eli kuivia. Seulonnassa käytettiin läpimitaltaan 32, 16, 8 sekä 4 millimetrin seuloja. Seuloja liikutettiin siten, että seulojen päälle jäi vain silmäkokoa suuremmat murut (kuva 20). Seulojen päälle jääneet jakeet punnittiin Precisa 12100G -vaa'alla, jonka punnitustarkkuus oli 1 g.

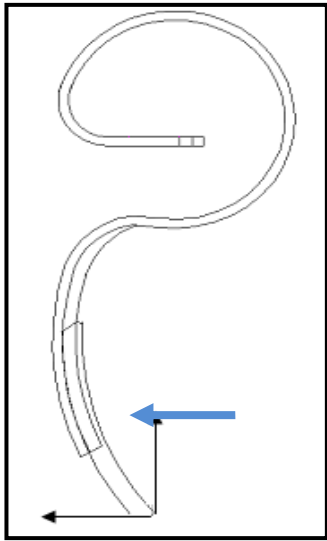


Kuva 20. Testissä käytetty seulontalaite ja 4 mm seula.

4.2. Piikkien kuormitusmittaus

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös piikkien taipumaominaisuuksia kuormitusmittauksilla. Jokaisesta koejäsenestä valittiin testeissä kolme piikkiä tarkasteluun. Piikkejä kuormitettiin 100 N:n askelvälillä alueella 0 – 1000 N. Kuormitussuunta ja mitatut taipumasuunnat on esitetty kuvassa 21. Jokaiselle piikille tehtiin kolme toistoa. Piikit testattiin tarkoitusta varten rakennetussa koetuspenkissä,

jossa piikkiä vedettiin siltanosturilla ylöspäin (kuva 22). Vallitsevat kuormat todettiin Tamtron MCS3+ vaa'alla, jonka tarkkuus oli $\pm 3,15$ kg.



Kuva 21. Piikkiteissä käytetyt piikkien kuormitussuunta ja mittaussuunnat. Kuormitussuunta merkitty sinisellä nuolella ja mittaussuunnat mustilla nuolilla.



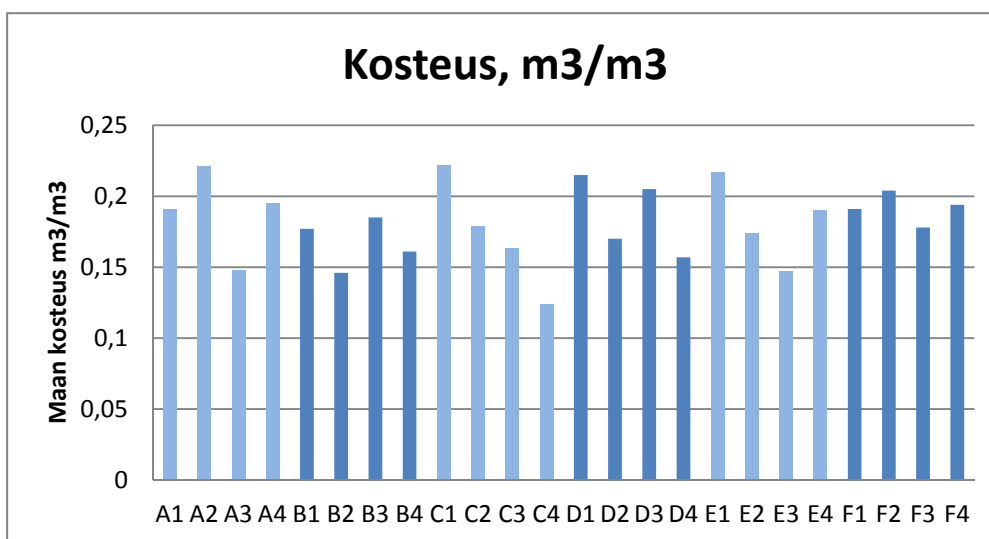
Kuva 22. Piikkien kuormituskokeessa käytetty koejärjestely.

5. Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.1. Koeruudun olojen mittaus

5.1.1. Maan kosteus

Maan kosteus mitattiin koeruuduista suunniteltujen mittauspisteiden kohdalta tasausäestyksen jälkeen Decagon EC-5 kosteusanturilla. Mittauksissa saadut tulokset on esitetty kuvassa 23. Tuloksista lasketut keskiarvot, keskihajonnat ja hajontaa kuvaavat luottamusvälit 95 prosentin todennäköisyydellä on esitetty taulukossa 4.



Kuva 23. Decagon EC-5 -anturilla saadut maan kosteusmittausten tulokset. X-akselilla on esitetty tutkimuksessa käytetyt koejäsenet.

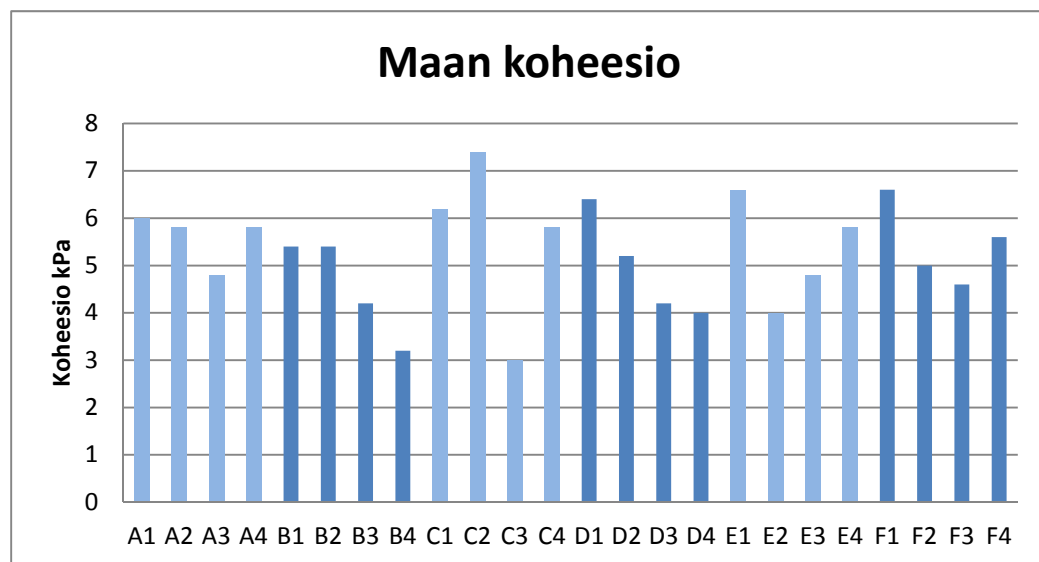
Mittaustuloksista voidaan havaita jonkin verran vaihtelua maan kosteudessa mittauspisteiden välillä. Keskiarvojen mukaan maan kosteus oli matalin käsittelyjen B ja C mittauspisteissä ja kosteinta käsittelyn A mittauspisteissä. Tulosten luottamusvälejä (taulukko 4) tarkastelemalla voidaan sanoa, että tulosten tarkkuus ja luotettavuus ovat lähes yhtä suuria kaikilla käsittelyillä. Kuvan 23 tuloksista voidaan nähdä, että yksittäisten mittauspisteiden välillä on eroja, muttei kuitenkaan kovin merkittäviä vaihteluita. Koekentän maalaji oli yhteneväinen ja lohko vaikutti silmämääräisesti kosteudeltaan yhdenmukaiselta. Pienet vaihtelut selittyvät todennäköisesti maassa olleilla koloilla, joita oli syntynyt joidenkin kyntöviilujen väleihin. Tällaisen kolon kohdalla maan tiiviys ja sen myötä kosteusarvo saattoi vaihdella. Taulukkoon 4 laskettuihin keskiarvoihin yksittäiset vaihtelut eivät kuitenkaan vaikuta, vaan keskiarvot näyttävät olevan samaa luokkaa koejäsenten kesken ja voidaan todeta koekentän olleen tutkitulla syvyydellä kosteudeltaan melko yhteneväistä, erittäin kuivaa savimaata.

Taulukko 4. Kosteusmittausten tuloksista lasketut keskiarvot ja luottamusvälit 95 % todennäköisyydellä.

Koejäsen	Keskiarvo, m ³ /m ³	Keskihajonta m ³ /m ³	Luottamusväli 95%, m ³ /m ³
A	0,189	0,030	0,189±0,06
B	0,167	0,017	0,167±0,03
C	0,172	0,041	0,172±0,08
D	0,187	0,028	0,187±0,06
E	0,182	0,029	0,182±0,06

5.1.2. Maan koheesio

Maan koheesio mitattiin kosteusmittausten yhteydessä. Mittausten tulokset on esitetty kuvassa 24. Tuloksista lasketut keskiarvot, keskihajonnat ja luottamusvälit 95 prosentin todennäköisyydellä on esitetty taulukossa 5.



Kuva 24. Siipikairalla suoritettujen maan koheesiomittausten tulokset.

Taulukko 5. Koheesiotuloksista lasketut keskiarvot, keskihajonnat ja luottamusvälit 95 % todennäköisyydellä.

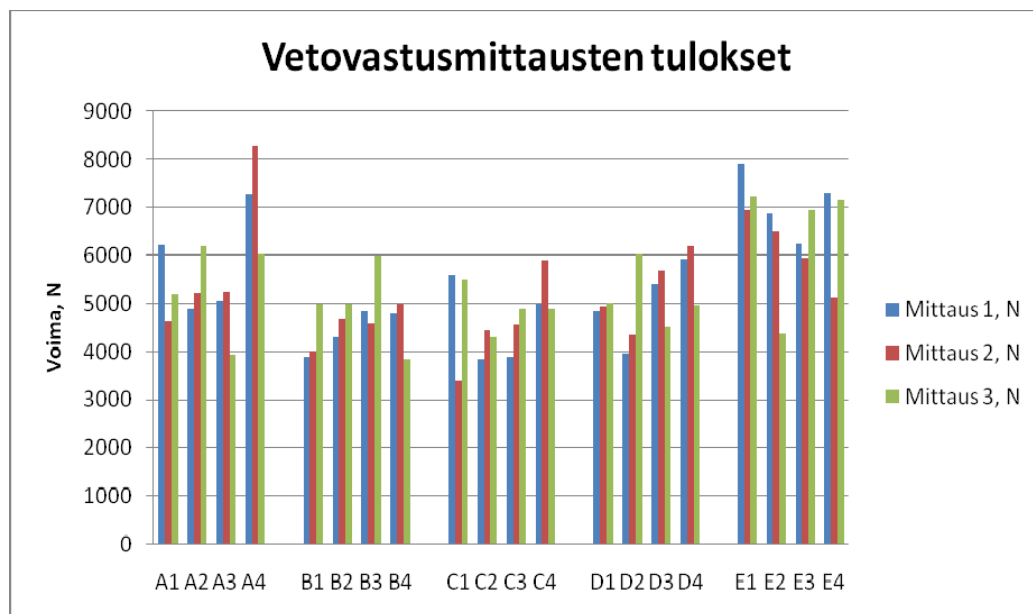
Koejäsen	Keskiarvo, kPa	Keskihajonta, kPa	Luottamusväli 95%, kPa
A	5,6	0,542	5,6±1,1
B	4,6	1,063	4,6±2,1
C	5,6	1,862	5,6±3,7
D	5,0	1,100	5,0±2,2
E	5,3	1,137	5,3±2,3

Koheesiomittaus tuloksissa voidaan havaita jonkin verran vaihtelua mittauspisteiden välillä. Muutamissa mittauspisteissä vaihtelujen suuruus on niin suuri, ettei se todennäköisesti ole maan luonnollista tilaa vastaavaa, vaan kyseessä on kynnyksessä maassa kyntöviilujen välin kohdalla oleva onkalo, joka on muodostunut olkien jäädessä pystyyn kyntöviilujen väliin. Tuloksista on kuitenkin nähtävissä muutamia huippuarvoja, jotka eivät selity maassa olevilla onkaloilla. Näiden perusteella on oletettava, että maassa oli jonkin verran myös kovempia kohtia. Mahdollista on myös, että mittauksia edeltänyt tasausäestys ei toteutunut tasavyyisenä vaan sen syvyys vaihteli paikoittain koekentällä. Tässä tapauksessa osa koheesiomittauksista olisi tehty jo valmiiksi muokatusta maasta osan ollessa tehty kiinteämmästä käsittelemättömästä maasta. Koheesiotulosten hajontalukujen pohjalta voidaan kuitenkin arvioida maan koheesion olleen kokonaisuutena melko yhdenmukainen koko koekentällä lukuun ottamatta poikkeavia kohtia. Voidaan todeta koekentän olleen melko hyvin roudan pehmittämää kynnöstä, jossa esiintyy kuitenkin paikallisia vaihteluja esimerkiksi kyntöviilujen välien kohdalla ja kovemmissa kohdissa. Keskiarvoisesti vaihtelu koheesiotuloksissa ei estä muiden tutkimustulosten tarkastelua, koska vaihtelua ilmenee kaikilla koejäsenillä ja koko koekentän alalla. Savimaalta saatujen koheesiotulosten matala taso osoittaa hiesusaven olleen routaisen kevättalven jäljiltä helposti murenevaa. Myös mittausalueen osittainen osuminen tasausäestyksessä jo murustuneeseen maakerrokseen selittää matalia koheesion arvoja.

5.2. Vetovastusmittaus

Koeruutujen muokkausten aikana suoritettiin traktorin ja äkeen välisen vetovastuksen mittaus. Jokaisesta muokkauskerranteesta saatiin kolme mittausta, kaistan alussa, keskivaiheilla ja lopussa. Tulokset kirjattiin mittaustilanteesta käsin ja tämän vuoksi tulosten tarkastelussa on otettava kirjaamisesta johtuva mahdollinen virhelähde huomioon. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 25, keskiarvot ja tulosten vaihteluväli on esitetty taulukossa 6. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ne sisältävät myös tässä tutkimuksessa vakioitujen tekijöiden kuten renkaiden aiheuttamat vetovastukset eivätkä pelkästään koejäsenten aiheuttamia vetovastuksia. Tämän vuoksi tulosten tarkastelu on tehtävä tässä tutkittujen käsittelyjen vertailuna, eivätkä saadut tulokset käy todellisista pelkkien piikkien aiheuttamista arvoista. Koejäsen F ei ollut

mukana vetovastusmittauksessa, koska käytetty lautasmuokkain oli nostolaitteisiin kolmipistekiinnityksellä kiinnitettävä, eikä sen vetovastusta voitu mitata vetokoukkukiinnitteisten koneiden vetovastuksen mittaukseen tarkoitetulla vetokartulla.



Kuva 25. Vetovastusmittausten tulokset.

Taulukko 6. Vetovastusmittausten tuloksista lasketut keskiarvot ja vaihteluvälit

Koejäsen	Keskiarvo, N	Tulosten vaihteluväli, N
A	5686	3950-8270
B	4670	3850-6000
C	4693	3410-5910
D	5161	3970-6210
E	6553	4370-7930

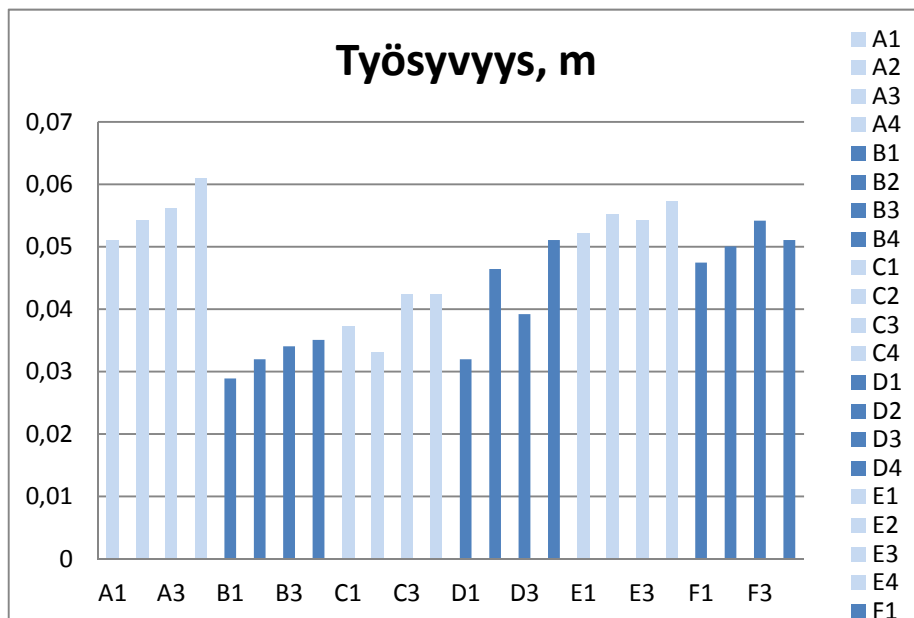
Tuloksista (kuva 25) on kuvallisella tarkastelulla nähtävissä, että koejäsenellä E muokkauksien aikana vallinnut vetovastus oli suurin. Pienin vetovastus vaikuttaisi olevan koejäsenille B ja C. Koejäsenen D vetovastus oli näiden kanssa samaa suuruusluokkaa. Koejäsenten B ja C välisiä eroja ei voida kuitenkaan varmasti todeta. Näiden koejäsenten keskinäinen vertailu on tulosten pohjalta hankalaa. Käsittelyn A vetovastus on tarkasteltavassa joukossa suurempi kuin koejäsenten B, C ja D. Vetovastustuloksien tarkastelussa selkeä on myös käsittelyn E muista suurempi vetovastus. Vertailua ei kuitenkaan voi tehdä tai varmoja eroja todeta, koska käsin kirjaamisesta aiheutunut virhemahdollisuus on liian suuri tilastollisten tunnuslukujen laskemiseksi.

5.3. Koeruutujen mittauspisteet

5.3.1. Työsyvyys

Muokkausten todellisen työsyvyyden selvittämiseksi hyödynnettiin Kritzin menetelmää. Mittauspisteistä kerättyjen maanäytteiden tilavuuden avulla saatiin selvitettyä muokkauksien aikana vallinnut työsyvyys kaavan 8 mukaisesti. Kaavassa lasketaan työsyvyys (t) jakamalla tilavuus (V) työsyvyyslaatikon pohjan alalla (A). Lasketut työsyvytydet mittauspisteittäin on esitetty kuvassa 26.

$$t = \frac{V}{A} \quad (8)$$



Kuva 26. Kritzin menetelmällä saadut työsyvyyden arvot mittauspisteittäin.

Työsyvyystuloksista voidaan havaita, etteivät muokkausten aikaiset työsyvyydet ole yhteneviä käsittelyjen välillä. Erityisesti käsittely B, jossa piikin koko oli 10x65 mm, terän leveys 50 mm ja piikkiväli 80 mm, vaikuttaa jääneen muokkaussyvytydessä selkeästi matalammalle kuin muut koejäsenet. Tämä vaihtelu saattaa johtua virheestä muokkaussyvytyden asettamisessa tai se saattaa aiheutua piikkijaosta. Äkeessä käytetyt piikkijaot ovat aina jonkin verran niin sanotusti auraavia eli maata sivusuunnassa piikiltä seuraavalle siirtäviä. Kokeessa käytetyistä piikkijaoista käsittelyn B jako oli selkeästi auraavin. Tämä saattaa selittää työsyvytyksien vaihtelua Kritzin menetelmällä mitattuna, koska koeäkeessä ei käytetty jälkiharaa tasoittamaan työjälkeä. Kuvassa 27 on esitetty käsittely B:n jälkeinen mittauspiste. Kuvassa näkyy selvästi jälkiäkeen

puuttumisesta johtuva muokkauskerroksen pinnan epätasaisuus. Ongelmaksi vaikuttaa muodostuneen se, ettei kaistan keskelle eli mittauspisteen kohdalle aina osunut samanlaista pinnanmuotoa. Koeäkeessä käytetyt piikkijaot ovat nähtävissä liitteessä 2. Niistä voidaan nähdä piikkijakojen auraavuuksissa olevat erot, jotka aiheuttavat jokaiselle käsittelylle erilaisen pintakuvion ja siten luovat epävarmuustekijän Kritzin menetelmän tuloksille.



Kuva 27. Mittauspiste B1 muokkauskäsittelyn jälkeen, ennen mittauksia. Kuvassa näkyy selvästi muokkauksessa syntyneet harjat.

Taulukossa 7 on esitetty Kritzin menetelmällä saadut työsyvyystulokset. Lukujen perusteella voidaan todeta, että työsyvyysmittausten käsittelyjen sisäinen vaihtelu on pienin koejäsenellä E ja suurin koejäsenellä D. Työsyvyystuloksien tulkinnassa on kaksi vaihtoehtoa. Työsyvyiden voidaan joko todeta muuttuneen tutkimuksen aikana virheen johdosta tai olettaa sen pysyneen samana koejäsenillä ja erojen johtuvan muokkauskerroksessa olevan maan erilaisesta leviämisestä ja siirtymisestä työsyvyyslaatikon alueelta ja mittauskohdasta jälkiäkeen puuttuessa. Lisäksi työsyvyiden vaihtelu on voinut johtua siitä, että kokeessa ei tehty virhettä vaan matalampaan muokanneet koejäsenet eivät pysyneet muokkaussyvytydessään vaan niiden painatuksen tarve on suurempi kuin äkeen paino. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon piikkien maahakuisuus, käsittelyillä B, C ja D piikkien leikkuukulmat ovat selvästi pienempiä kuin käsittelyillä A ja E, joten niiden on oletettava olevan

huomattavasti maahakuisempia. Ne ovat kuitenkin tulosten mukaan jääneet matalampaan työsyvyyteen kuin koejäsenet A ja E. Verratessa tätä Joustopiikkien vetovastus -kappaleessa laskettuihin piikkien ja maan välillä vaikuttaviin pystysuuntaisiin F_y -voimiin vaikuttaa siltä, ettei piikkien maahan painumisessa ole todennäköisesti ollut ongelmia, koska suurimmillaan piikkien teoreettinen painatuksen tarve olisi vain noin 100 kg:aa.

Syytä työsyvyyden suureen vaihteluun on tulosten pohjalta hankala todeta varmasti. On kuitenkin todennäköistä, että kyseessä on virhe, koska teoria leikkauskulmista ei tue havaittua ilmiötä. Pienikin vaihtelu työsyvyydessä vaikutti mittauksissa paljon, koska käytetty työsyvyys oli matala. Varmaa johtopäätöstä ei voida kuitenkaan tehdä.

Taulukko 7. Käsittelyjen toteutuneet työsyvyydet Kritzin menetelmällä mitattuina. Sarakkeissa tuloksista lasketut keskiarvot, keskihajonnat, luottamusväli 95%:n todennäköisyydellä, minimi- ja maksimi-arvot sekä varianssit. Tulokset esitetty millimetreinä.

Koejäsen	KA	Keskihajonta	95% tod.näk	Min	Max	Varianssi
A	5,6	0,4	5,6±0,8	5,1	6,1	1,7E-05
B	3,3	0,3	3,3±0,5	2,9	3,5	7,5E-06
C	3,9	0,5	3,9±0,9	3,3	4,2	2,0E-05
D	4,2	0,8	4,2±1,7	3,2	5,1	7,0E-05
E	5,5	0,2	5,5±0,4	5,2	5,7	4,6E-06

5.3.2. Muokkausprofiili

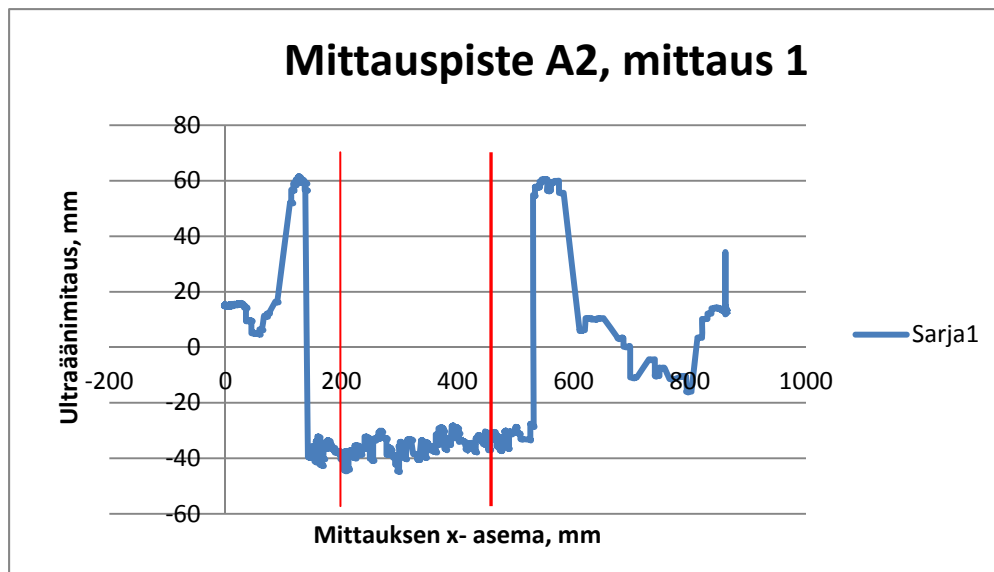
Muokkausprofiilin tasaisuus mitattiin ultraäänen avulla kappaleessa 4.1.5 Muokkausten jälkeiset mittaukset kuvatulla mittausjärjestelmällä. Mittauksista saatiin jännitearvot sekä mittauksen x-asemalle että etäisyydelle ultraäänianturin päästä muokkauspohjaan. Ultraäänianturin signaalin jännitetaso oli välillä +0 - 10V mittausalueella 150 - 1000 mm. Lähempänä anturia signaalin taso oli matalampi ja lähempänä maata korkeampi. Käytännössä mittauksen aikana se vaihteli noin +2 - 5V:n välillä. Ultraäänianturi ei kuitenkaan pystynyt saamaan jokaisesta vaihtelevan maan muodosta sirontaheijastusta. Varsinkin jyrkästi kaltevista pinnoista johtuen anturi menetti signaalinsa. Tällöin ultraäänianturi antoi aina +10V:n virhesignaalin, jotka poistettiin datasta ensimmäisenä. Tämä onnistui helposti, koska ultraäänianturin normaali signaali ylitti tässä

sovelluksessa vain harvoin +5V. Virhesignaalien poistamiseksi kaikki yli 7 V:n signaalit suodatettiin pois. Tämän jälkeen jännitearvot muutettiin kalibraatioarvojen avulla millimetreiksi. Ultraäänianturin viestin muuttamiseen käytettiin kaavaa 9, jossa jännitearvoa kuvaa V. Kaavaa 10 käytettiin x-asema-arvon muuttamiseen, jossa potentiometrin jänniteviestiä kuvaa V_{pot} . Kaavoissa L_{ultra} kuvaa ultraäänianturin antamaa etäisyyttä maasta ja L_{pot} mittauskelkan lähtöpisteestä kulkemaa matkaa x-akselilla.

$$L_{ultra} = \frac{V - 2,5851}{-0,0379} \quad (9)$$

$$L_{pot} = \frac{V_{pot}}{0,008915} \quad (10)$$

Esimerkki yhdestä mittauspisteestä saadusta datasta on esitetty kuvassa 28. Kuvassa näkyy selkeästi työsyvyyslaatikon alueelta saatu mittaus, johon on merkitty valittu mittausalue.



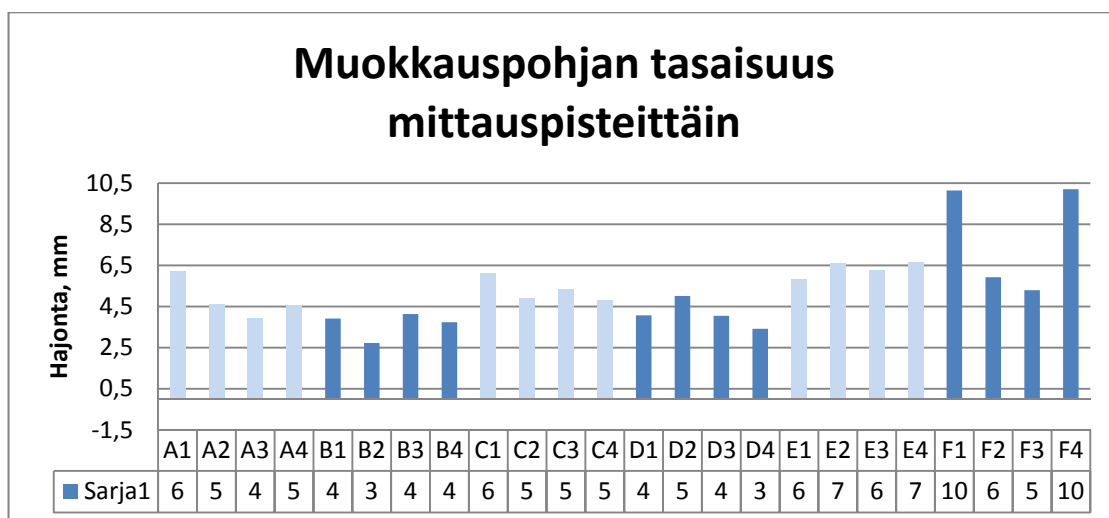
Kuva 28. Esimerkki mittauksista saadusta datasta, josta on suodatettu anturin antamat virhesignaalit pois ja jolle on tehty yksikkömuunnos. Kuvassa on esitetty mittaustulos koko kelkan pituudelta. Laatikon reunat erottuvat kuvassa selkeästi korkeampina kohtina. Valittu mittausalue on merkitty kuvaan punaisilla viivoilla.

Ultraäänimittaus suoritettiin koko kelkan 86 cm:n mitalta tutkittavan alueen ollessa vain työsyvyyslaatikon 40 cm:n alue. Tämän vuoksi saadusta ultraäänidatasta oli valittava mittausalue. Mittausalueeksi valittiin jokaisesta mittauksesta 30 cm:n mittainen alue työsyvyyslaatikon keskeltä, jotta laatikon metallireunoista mahdollisesti aiheutuvat

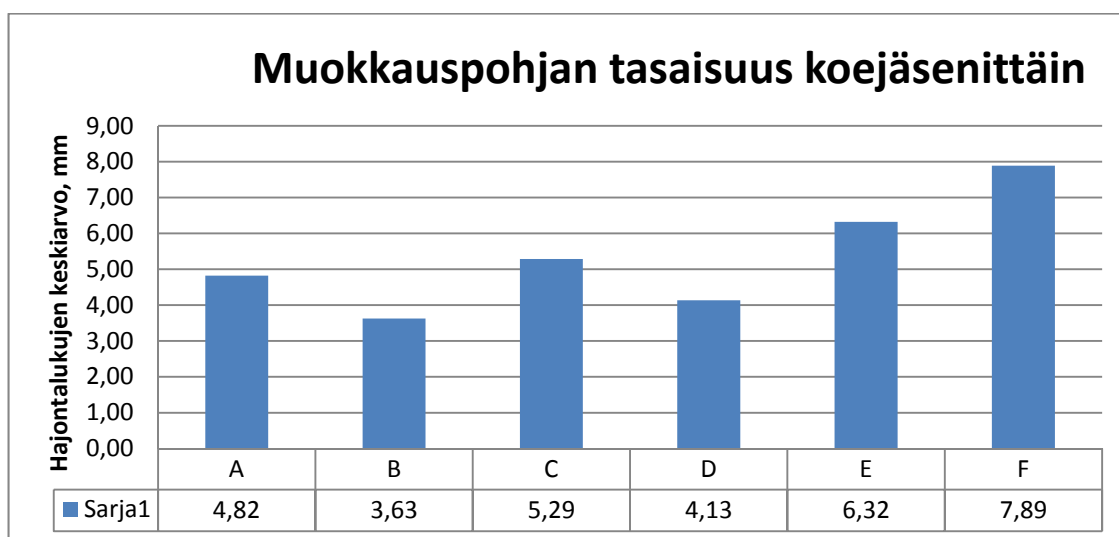
häiriöt eivät vaikuttaisi saataviin tuloksiin. Mittausalueelta valittu data ei kuitenkaan suoraan antanut oikeaa kuvaa muokkauspohjan tasaisuudesta, koska mittaustilanteessa ultraäänianturin kelkkaa liikutettiin käsin. Tästä johtuen mittauspisteet eivät jakaantuneet tasaisesti mittausalueelle, vaan kohdissa, joissa kelkka oli kulkenut huonommin tai pysähtynyt hetkeksi mittauksia oli enemmän. Tämän vuoksi valittu mittausdata käsiteltiin Matlab- ohjelman avulla. Käsittelyssä ultraäänianturin antamista lukujonoista valittiin x-akselin lukusarjojen avulla yksi mittaus 3 mm:n välein, jolloin mittauksia saatiin valittua tasaisesti x-akselilta. Kokeissa käytetyn mahdollisimman suuren taajuuden avulla mittauksia saatiin näin koko x-akselin matkalta eikä väliin jäänyt alueita, joilta ei saatu mittauksia lainkaan. Lisäksi käsittelyssä käytettiin mediaanisuodatinta.

Datan käsittelyn jälkeen mittaustiedoista laskettiin hajonta kuvaamaan muokkauspohjan vaihtelua. Hajontalukuja tarkastellessa pieni arvo kuvaa tasaisempaa muokkauspohjaa ja suurempi arvo epätasaisempaa muokkauspohjaa. Näiden hajontalukujen keskiarvojen avulla voitiin tehdä mittauspisteiden välisiä (kuva 29) ja käsittelyjen välisiä (kuva 30) tarkasteluja muokkauspohjan tasaisuudesta.

Kuvissa 29 ja 30 esitetyistä tuloksista voidaan havaita jonkin verran vaihtelua käsittelyjen sisällä. Erot vaikuttavat kuitenkin olevan pääsääntöisesti samansuuruisia eri käsittelyissä ja ainoastaan käsittelyssä F on nähtävissä suurempaa vaihtelua eri mittausten välillä. Tämä olikin odotettavaa, koska lautasmuokkaimen tuottama muokkauspohja on usein vaihteleva. Mittaustoistojen vaihtelut huomioon ottaen tuloksista voi myös nähdä tasoeroja koejäsenten välillä. Taulukossa 8 esitetyissä tuloksissa paras muokkauspohjan tasaisuus oli käsittelyllä B ja heikoin käsittelyllä F. Käsittely D:n tulos oli toiseksi paras ennen käsittelyä A ja käsittely E oli toiseksi heikoin mitatuista koejäsenistä.



Kuva 29. Muokkausprofiilimittauksen tulokset mittauspisteittäin.



Kuva 30. Muokkausprofiilimittauksen tulokset koejäsenittäin.

Taulukossa 8 on esitetty muokkausprofiilimittauksissa eri toistoista saatujen hajontojen lasketut keskiarvot, keskiarvojen keskihajonnat ja luottamusvälit 95 % todennäköisyydellä. Näitä tarkastelemalla voidaan nähdä, että mittausten välinen vaihtelu on samansuuruista käsittelyillä B, C ja D. Keskihajonta on käsittelyllä E selvästi näitä pienempi ja käsittelyllä A suurempi. Käsittelyn F keskihajonta on huomattavasti suurempi kuin muilla koejäsenillä. Vaikka tuloksista lasketut keskihajonnat (taulukko 8) ovat keskiarvoihin nähden suuria, ne ovat pääasiassa kuitenkin alle yhden millimetrin luokkaa.

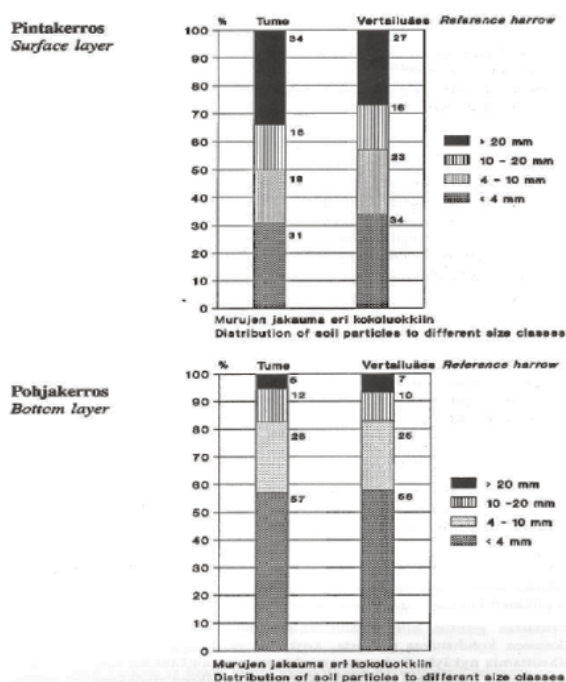
Taulukko 8. Muokkausprofiilimittausten tuloksista lasketut muokkauspohjan tasaisuutta kuvaavat mittauspisteiden hajontojen keskiarvot. Esitetty on myös hajontalukujen keskiarvon keskihajonnat ja luottamusvälit. Tulokset on taulukossa esitetty millimetreinä.

	Hajontalukujen KA	Keskiarvon keskihajonta	Luottamusväli 95%
A	4,8	1,0	4,8±2,0
B	3,6	0,6	3,6±1,3
C	5,3	0,6	5,3±1,2
D	4,1	0,7	4,1±1,3
E	6,3	0,4	6,3±0,8
F	7,9	2,6	7,9±5,3

Tarkastelemalla muokkausprofiilimittauksen tuloksia (taulukko 8), voidaan muokkausprofiilimittausten pohjalta tehdä johtopäätöksiä koejäsenten muokkauspohjien tasaisuudesta. Taulukossa hajontalukujen keskiarvot -sarake kuvaa muokkauspohjan tasaisuutta ja keskiarvon keskihajonta edellisten hajontaa. Muokkauspohjan tasaisuuden heikoimmassa päässä voidaan todeta käsittelyjen E ja F olevan epätasaisimpia, koska niiden muokkauspohjan tasaisuutta kuvaavat hajontalukujen keskiarvot olivat tarkastelun suurimmat. Tämä oli odotettavissa, koska lautasmuokkauksen (F) on yleisesti käsitetty tekevän epätasaisempaa muokkauspohjaa kuin joustopiikkiäkeen. Paras tulos muokkausprofiilimittauksessa saatiin 10x65 mm:n piikillä jonka kanssa käytettiin 50 mm terää ja 80 mm piikkiväliä (koejäsen B). Tämä tulos on keskihajontalukuja tarkasteltaessa luotettava, koska hajontojen vaihtelu on samaa luokkaa kuin muilla koejäsenillä. Voidaan myös selvästi todeta koejäsenen B tuloksen olleen parempi kuin koejäsenellä C, joka oli sama 10x65mm:n piikki varustettuna 60 mm:n terällä ja 90 mm:n piikkijaolla. Suhteellisen joustava 10x65 mm:n piikki vaikuttaa olevan liian joustava 60 mm:ä leveälle terälle ja heikomman muokkausprofiilituloksen johtuvan liian suuresta piikille kohdistuvasta voimasta. 10x65 mm:n piikillä varustetut koejäsenet B ja C ovat kuitenkin selvästi parempia kokeissa saavutetuissa muokkauspohjan tasaisuuksissa kuin koejäsenet E ja F. Koejäsen A, joka oli 11x45 mm:n piikki varustettuna 40mm:n terällä ja 70 mm:n piikkijaolla oli myös selvästi muokkauspohjan tasaisuudessa koejäseniä E ja F parempi. On kuitenkin vaikeaa sanoa oliko käsittely A parempi kuin koejäsen C. Käsittely D oli järeä 12x65 mm:n piikki 60 mm:n terällä ja 90 mm:n piikkijaolla. Tarkasteltaessa muokkausprofiilimittauksen tuloksia voidaan sanoa sen olevan parempi kuin koejäsen C, kun ajatellaan muokkauspohjan tasaisuutta. Käsittely B sen sijaan saattaa tuottaa tasaisemman muokkauspohjan kuin käsittely D, mutta ero vaikuttaa olevan pieni.

Yleisesti tuloksissa voidaan nähdä suuntaus, jonka mukaan järeät 10x65 mm:n ja 12x65 mm:n piikit tavanomaista leveämmillä terälapuilla ja väljemmillä piikkijaoilla tuottivat tasaisemman tai vähintään yhtä tasaisen muokkauspohjan kuin perinteiset 11x45 mm:n tai 10x45 mm:n vahvuiset joustopiikit. Lisäksi tuloksista erottuu 10x45 mm:n piikin ja lautasmuokkauksen muita heikompi muokkauspohjan tasaisuus.

Vertailukohtana saaduille muokkausprofiilin mittaustuloksille voidaan pitää MTT Vakolan koetustutkimuksessa (1992b) testattua Tume Nordic joustopiikkiäkeen toimintaa ja muokkaustulosta (kuva 31). Äes oli 12x32mm:n s-piikeillä varustettu pyörä-äes, jossa käytettiin varusteina etulataa, varpajyrää ja jälkiharaa. Kokeissa äkeen muokkaustuloksia tarkasteltiin murustamiskyvyn ja muokkauspohjan tasaisuuden perusteella. Kokeessa muokkauspohjan tasaisuutta kuvaavaksi keskihajonnaksi saatiin tarkastellulla äkeellä ajosuunnassa 0,9 cm ja työleveyden suunnassa 0,9. Keskiarvohajontana oli näin 0,9 cm. (Vakola 1992b).



Kuva 31. Vakolassa tehdyn äeskoetuksen mururakenteiden jakaumatulokset (Vakola 1992b).

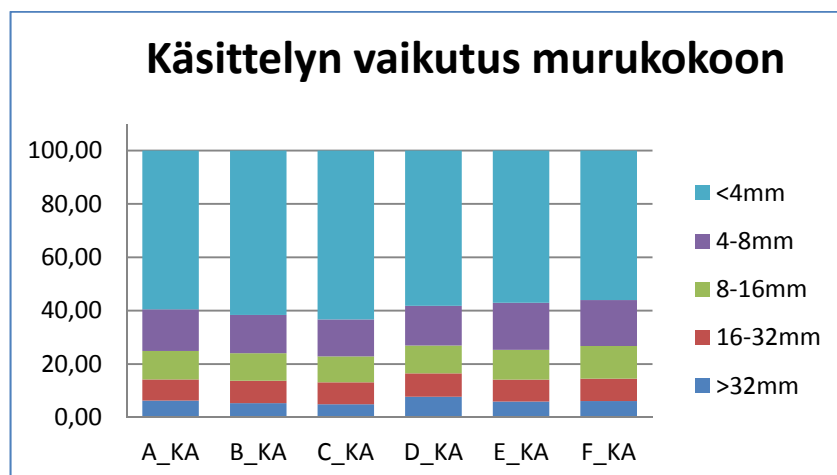
Vertailuna voidaan käyttää myös vuonna 2009 Koneviesti- ammattilehdessä julkaistua artikkelia (Härkönen 2009), jossa tarkasteltiin kahta tavanomaista joustopiikkiäestä kylvömuokkauksessa. Äkeistä toinen oli varustettu 10x45mm:n piikeillä ja 40 mm:n terillä sekä 75 mm:n piikkijaolla ja toinen 10x45mm:n piikillä, 36 mm:n terällä ja 80 mm:n piikkijaolla. Tarkastelussa äkeiden kaksi kertaa ristiin muokkaamasta maasta

mitattiin muokkauspohjan tasaisuus. Testissä saadut muokkauspohjan tasaisuutta kuvaavat hajonnan tulokset olivat äkeillä 5,1 mm ja 6,8 mm. Samassa yhteydessä todettiin savimaan tehoäkeellä, jossa käytettiin tihennettyä 65 mm:n piikkijakoa ja kolmea lataa, saadun parhaimmillaan muokkauspohjan tasaisuuden arvoksi 3,4 mm. Tarkastelussa arvioitiin tyydyttävän tasaisen muokkauspohjan hajonta-arvon olevan luokkaa 8,0 mm. (Härkönen 2009). Verrattaessa tässä tutkimuksessa saatuja muokkauspohjan profiileja kuvaavia hajonnan arvoja Koneviestin ja Vakolan tutkimuksiin voidaan todeta muokkauspohjien olleen kaikilla koejäsenillä tasaisia. Erityisesti koejäsenillä B, C ja D saatiin huomattavan tasaiset muokkauspohjat.

Muokkausprofiilimittauksen yhteydessä mitattiin myös koejärjestelyn virransyötöstä vastanneen akun jännitettä. Potentiometrin antojännite oli mittauksissa suoraan riippuvainen syöttöjännitteen tasosta ja ultraäänianturin syöttöjännite ei myöskään saanut mittauksien aikana laskea alle +20 VDC. Akkujännite pysyi kaikkien mittausten aikana samalla tasolla, eikä merkittäviä, muihin tuloksiin vaikuttaneita, muutoksia syntynyt.

5.3.3. Maan mururakenne

Maan mururakenne selvitettiin koekentältä kerätyistä maanäytteistä seulomalla. Paperisäkeissä olevat maanäytteet kuivattiin ilmakeiviksi ennen seulomista. Seulontatulokset jakautuivat seulojen mukaan alle 4 mm:n, 4 - 8 mm:n, 8 - 16 mm:n, 16 - 32 mm:n ja yli 16 mm:n jakeisiin. Tulosten jakautuminen eri murukokoihin on esitetty painoprosentteina kuvassa 32.



Kuva 32. Maan mururakenteen seulontatulokset painoprosentteina.

Seulonnan tuloksista ilmenee jakeiden välisten erojen olevan pieniä. Esimerkiksi muokkaustuloksen arvioimisen ja siementen itävyyden kannalta merkittävimmän murujakeen, alle 4 mm suuruisten murujen, kohdalla erot suurimman (käsittely C) ja pienimmän (käsittely F) luvun välillä ovat vain noin 7 prosenttia. Vastaavasti suurimman murukoon kohdalla tämä ero on noin 3 prosenttia.

Taulukko 9. Seulontatuloksista lasketut keskiarvot ja luottamusvälit 95% todennäköisyydellä.

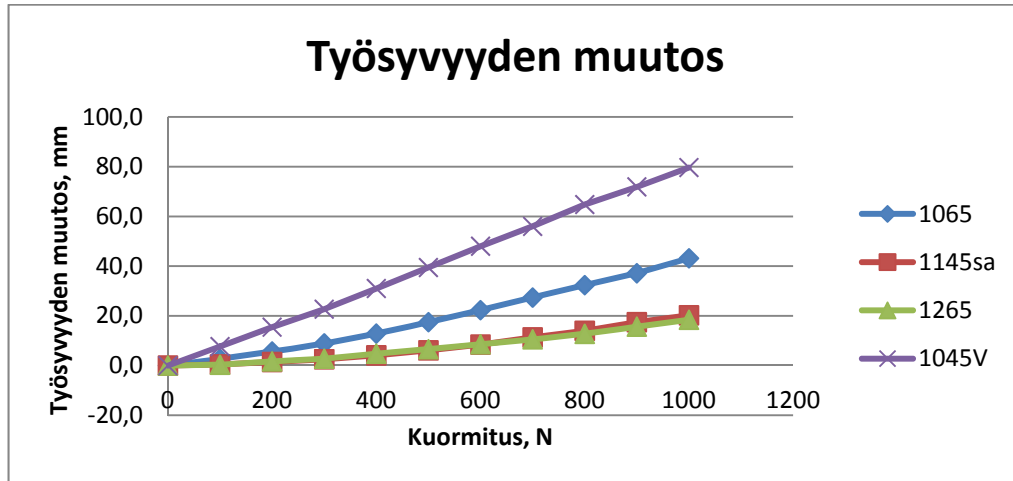
Koejäsen	Seula1, %	Seula2, %	Seula3, %	Seula4, %	Loppu, %
	>32mm	16-32mm	8-16mm	4-8mm	<4mm
A	6,3±2,3	7,9±1,3	10,7±1,4	16,6±2,3	59,5±5,0
B	5,3±7,2	8,4±2,5	10,4±2,5	14,4±3,7	61,6±6,6
C	5,0±6,6	8,2±3,5	9,7±0,3	13,8±0,5	63,3±9,1
D	7,7±1,7	8,8±2,7	10,5±1,0	14,8±2,8	58,2±1,7
E	6,0±3,2	8,2±1,7	11,1±5,4	17,6±3,9	57,0±9,8
F	6,1±1,6	8,4±2,4	12,2±7,9	17,2±4,7	56,0±15,1

Taulukossa 9 on esitetty seulontatulosten keskiarvot ja luottamusvälit. Niiden perusteella voidaan arvioida, ettei käsittelyjen välillä ole eroja muokkauskerroksen laadun kannalta oleellisimmissa murujakeissa. Osin tulos selittyy muokkausten tekoajankohtana olleen kevään hyvillä olosuhteilla ja edeltävän talven vaikutuksella. Routa oli murustanut hiesusavisen maan valmiiksi hyvin muokkautuvaksi. Tuloksissa on kuitenkin nähtävissä kohtia, joissa keskihajonnat ovat suuria. Syitä saattavat olla muun muassa imuroinnin aikana hajonneet murut. Näiden poikkeamien merkitys ei kuitenkaan ole merkittävä tuloksia tarkasteltaessa, koska tuloksissa olevat erot ovat niin vähäisiä, ettei niiden pohjalta ole muutenkaan mielekästä suorittaa vertailua käsittelyjen välillä.

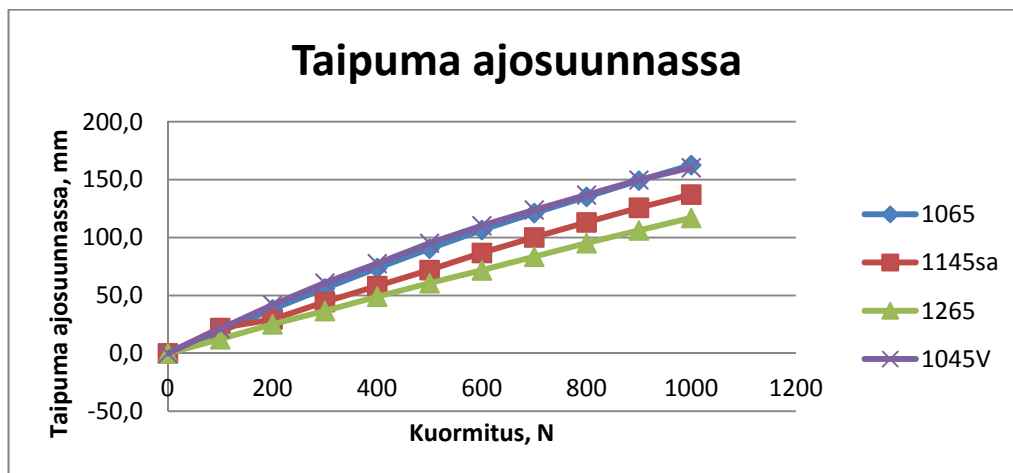
Myös Vakolassa tehdyssä äeskoetuksessa (1992b) testattiin murujakaumaa. Testissä todettiin murujakaumien olevan testi- ja verrokkiäkeellä hyvin lähellä toisiaan, eikä eroja syntynyt. Mururakenteen tulokset on esitetty kuvassa 31. Tuloksista laskettujen keskiarvojen mukaan testatun äkeen tuottamassa muokkauskerroksessa oli alle 4 mm:n muruja 44 %, 4 – 10 mm:n muruja 22,5 %, 10 – 20 mm:n muruja 28 % ja yli 20 mm:n muruja 19,5 %. (Vakola 1992b). Vakolan tutkimuksessa saatuja tuloksia ja tässä työssä selvitettyjä murujakaumia ei kuitenkaan voi verrata suoraan toisiinsa, koska maalaji sekä mittausten aikaiset olosuhteet eivät välttämättä olleet yhdenmukaisia ja tarkasteluissa käytettiin eri seuloja

5.4. Joustopiikkien kuormitusmittaus

Joustopiikkien kuormitusmittaus tehtiin Dometal Oy:n tiloissa kesäkuussa 2009. Mittauksissa saadut tulokset on esitetty kuvissa 33 ja 34. Kuvassa 33 on näkyvissä piikkien jousto työsyvyyden suunnassa ja kuvassa 34 piikkien jousto ajosuunnassa taaksepäin.



Kuva 33. Joustopiikkien kuormitusmittauksissa saaduissa tuloksissa ilmenevät työsyvyyden muutokset. 1065 = koejäsenissä B ja C käytetty piikki, 1145sa = koejäsenessä A käytetty piikki, 1265 = koejäsenessä D käytetty piikki ja 1045v = koejäsenessä E käytetty piikki.



Kuva 34. Joustopiikkien kuormitusmittauksissa ilmenevät piikkien taaksepäinjoustopot 1065 = koejäsenissä B ja C käytetty piikki, 1145sa = koejäsenessä A käytetty piikki, 1265 = koejäsenessä D käytetty piikki ja 1045v = koejäsenessä E käytetty piikki.

Kuormitusmittausten tuloksissa on havaittavissa selkeä eroavaisuus materiaaliltaan paksumpien ja ohuempien piikkien välillä. 12x65 mm:n piikki säilyttää huomattavasti

paremmin työsyvyytensä kuin muut testatut piikit 11x45 mm:n piikkiä lukuunottamatta. Huomioitavaa tuloksissa on myös 10 mm paksujen piikkien huomattavasti heikompi työsyvyyden säilyttäminen ja 10x65 mm:n piikin sijoittuminen 10x45 mm:n piikin ja paksumpien piikkien väliin.

Piikkien x-akselin suuntaisista taipumatuloksista (kuva 34) voidaan nähdä, että kuormituksessa 10 mm:ä paksujen piikkien kärjet joustavat kuormittamattomasta asemasta eniten, kuitenkin keskenään lähes yhtä paljon. Vähiten periksi antaa 12x65 mm:n piikki, 11x45 mm piikin sijoituessa 10 mm:n piikkien ja 12 mm:n piikin välimaastoon.

Taulukossa 10 on esitetty kuormitusmittausten tulokset koejäsenittäin 95% luottamusvälillä sekä koejäsenten toistojen väliset hajonnat. Tuloksista voidaan todeta toistojen välisen vaihtelun olevan pientä varsinkin 200 - 400 N:n kuormituksilla. Tämän suuruusluokan voimat ovat yleensä kylvömuokkauksessa vallitsevia. Suurempaa vaihtelua keskihajonnoissa on havaittavissa 10x45 mm:n piikillä pienillä kuormilla mikä saattaa johtua piikin joustavasta luonteesta. Vaihtelua ilmenee myös 10x65 mm:n piikillä suurilla kuormilla. Tämän vaihtelun syytä on vaikeampi tulkita. Näiden keskihajonta-arvojen vaihtelu ei kuitenkaan kokonaisuuden kannalta ole merkittävää, koska piikkien taipumissa ilmenevät erot ovat tuloksissa muutenkin erittäin selviä.

Taulukko 10. Joustopiikkien kuormitusmittausten tuloksia 95% luottamusvälillä. Taulukossa on esitetty tulosten keskiarvot ja keskihajonnat. Rivi y kuvaa työsyvyyden muutosta mm ja rivi x taipumaa ajosuunnassa mm

1065	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
y	0,0±0,0	2,7±0,7	5,7±0,7	8,9±1,7	12,8±2,7	17,5±3,1	22,3±4,0	27,3±3,5	32,3±3,5	37,1±6,6	43,1±4,3
y keskihaj	0,0	0,3	0,33	0,9	1,3	1,6	2,0	1,8	1,8	3,3	2,2
x	0,0±0,0	18,4±2,2	38,1±1,1	56,10±1,09	73,7±2,4	90,4±2,7	106,5±2,5	121,2±2,7	135,2±3,4	149,2±2,7	162,7±3,7
x keskihaj	0,0	2,2	0,6	0,55	1,2	1,3	1,2	1,3	1,7	1,3	1,9
1145sa											
y	0,0±0,0	0,4±0,4	1,4±0,4	2,5±1,1	4,1±1,7	6,1±1,4	8,4±1,9	11,3±2,0	14±2,4	17,4±2,4	20,2±2,1
y keskihaj	0,0	0,2	0,2	0,5	0,9	0,7	1,0	1,0	1,2	1,2	1,0
x	0,0±0,1	21,9±21,8	29,3±3,0	44,3±4,1	58,1±3,8	72±4,6	86,8±3,2	100,1±5,6	113,1±4,7	125,8±5,0	137,2±5,5
x keskihaj	0,0	10,9	1,5	2,0	1,9	2,3	1,6	2,8	2,3	2,5	2,7
1265											
y	0±0,0	0,3±0,7	1,7±1,1	2,8±0,2	4,8±0,8	6,5±1,4	8,5±1,4	10,5±1,4	12,8±1,6	15,7±1,7	18,4±2,3
y keskihaj	0,0	0,3	0,6	0,2	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,2
x	0,0±0,0	12,3±2,7	25,1±3,4	36,6±1,4	49±1,2	60,6±1,8	71,8±0,4	83,5±1,1	95,2±1,4	106,2±2,2	117±1,8
x keskihaj	0,0	1,3	1,7	0,7	0,6	0,9	0,2	0,5	0,7	1,1	0,9
1045											
y	0,0±0,1	7,7±2,3	15,4±2,1	22,7±1,3	31±1,3	39,4±1,3	48±1,9	56±1,1	64,8±2,0	71,9±1,0	79,7±1,3
y keskihaj	0,0	1,1	1,1	0,6	0,6	0,7	1,0	0,6	1,0	0,5	0,6
x	0,0±0,0	21,2±2,2	41,9±1,6	60,8±3,3	77,5±1,1	95,1±2,1	110,3±1,1	123,9±1,6	136,8±1,6	149,8±1,9	160,3±1,3
x keskihaj	0,0	1,1	0,8	1,6	0,5	1,1	0,6	0,8	3,2	1,0	0,7

5.5. Tulosten luotettavuuden arviointi

Tutkimuksen kenttäkoe -osassa tarkasteltiin useita muuttujia pelto-olosuhteissa, joissa aina syntyy luonnollista vaihtelua. Tämän vuoksi on aiheellista tarkastella saatujen tulosten luotettavuutta. Kun tutkimuksen kohteena on maa, tai jonkin ilmiön vaikutukset maassa ongelmaksi yleensä muodostuu suuri vaihtelu ja suuri virheiden ja poikkeuksien mahdollisuus. Jotta tällaisen vaihtelun vaikutuksia tutkimustuloksille voitaisiin vähentää, pitäisi toistojen määrää kasvattaa. Myös tässä tutkimuksessa tuli esiin ongelma toistojen määrän suhteen.

Tutkimuksessa todettiin koekentän olevan melko yhdenmukainen eikä suuria mittauspisteiden välisiä vaihteluita maan kosteudessa tai koheesiossa todettu. Mitatut arvot edustivat maan tutkittavaa kerrosta. Tämän vuoksi mitatut arvot olivat matalia, koska tutkimuksessa tarkasteltiin maan pinnan alta vain noin 5 senttimetrin syvyyteen ulottuvaa kerrosta. Mittaukset eivät siis täysin edusta yleistettäviä savimaan arvoja.

Vetovastusmittauksessa tulosten käsin kirjaus aiheutti suuren virhemahdollisuuden, jota olisi voinut kompensoida ainoastaan tarpeeksi suurella toistomäärällä. Tutkimuksessa toistoja saatiin koejäsentä kohden vain neljällä ajokerralla, kullakin kolme mittausta. Tämä ei kuitenkaan riitä yleistettävien johtopäätösten tekemiseen vaan tuloksia voidaan arvioida vain karkeasti toisiinsa verraten tämän tutkimuksen puitteissa. Vetovastusmittauksen tuloksien luotettavuus olisi varmasti parempi, jos muokkaus olisi tehty suurella työsyvyydellä, jolloin olisi saatu aikaan suurempia eroja ja erityisesti, jos mittausdatan tallennus olisi onnistunut suoraan tietokoneen muistiin, kuten alun perin oli suunnitelma. Tällöin koejäsenten välisiä eroja olisi voitu käsitellä tilastollisesti ja havainnot olisivat luotettavia.

Työsyvyysmittausmenetelmä, jota tutkimuksessa käytettiin, on todettu luotettavaksi menetelmäksi, kuten Aineisto ja menetelmät kappaleen osiossa 4.1.5. on todettu. Tässä mittauksessa pellon pinta ei kuitenkaan ollut muokkausten jäljiltä tasainen vaan siinä esiintyi harjoja äkeestä pois jätetyn jälkiharan vuoksi. Tämä aiheuttaa tuloksiin virhemahdollisuuden. Tulokset olisi saatu luotettavammaksi, jos äkeessä olisi käytetty jälkiharaa muokkausjälkeä tasoittamassa. Lisäksi toistojen määrä olisi mittauksessa

luultavasti pitänyt olla suurempi, koska tutkittava kohde oli peltomaa, jonka luonnollinen vaihtelu on suurta.

Seulontamittauksessa, jossa selvitettiin koejäsenten aikaansaamaa mururakennetta, oli vaikea saada eroja koejäsenten välille. Roudan pehmittämä savimaa oli tutkimusajankohtana lähtökohtaisesti helposti muokkautuvaa ja tasausäestys helpotti tutkittavien piikkien murustustehtävää entisestään. Tutkittavien piikkien välille ei tässä tarkastelussa saatukaan tunnistettavia eroja aikaiseksi, koska kaikkien piikkien murustamiskyky oli olosuhteisiin nähden riittävä. Työsyvyyden lisääminen olisi saattanut tässäkin tapauksessa lisätä eroja koejäsenten välillä. Maan murustavuuden mittaaminen onnistui kuitenkin hyvin myös tässä tutkimuksessa ja mittausten olosuhteissa piikit eivät tuottaneet merkittävästi erilaisia murujakaumia.

Kokonaisuutena tämän tutkimuksen suunnitteluvaiheessa olisi pitänyt miettiä tietyt mittaukset ja tarkastelut paremmin. Tasausäestetty savimaa arvioitiin tutkimussuunnitelmaa luodessa hyväksi ja yhdenmukaiseksi testausalueeksi. Sitä se myös mittausten aikana oli, mutta se muuttui tasauksessa myös melko helpoksi kohteeksi esimerkiksi piikkien murustamisvaikutuksen testausta ajatellen. Tutkimussuunnitelmassa olisi myös pitänyt ottaa huomioon piikkien muodostamat harjat ja pelkkien piikkien aiheuttama epätasainen pinta. Työsyvyyden mittaaminen vain 40 senttimetriä leveältä alueelta keskeltä muokattua kaistaa oli liian kapea, kun otetaan huomioon piikkien luomien harjojen koko. Työsyvyyden tarkastelua varten, maan keruu ja mittaaminen olisi pitänyt tehdä koko muokatun kaistan leveydeltä. Toinen vaihtoehto olisi ollut varustaa äes jälkiharalla, jota käytetään myös käytännön olosuhteissa piikkien muokkaaman maan tasoittamiseen. Osan mittauksissa havaituista epävarmuuksista aiheutti myös epäonni. Vetovastusmittaus oli suunniteltu tehtäväksi niin, että voima-anturin antamia arvoja olisi tallennettu jatkuvasti tiedonkeruun kautta tietokoneen muistiin. Näin olisi päästy tarkastelemaan vallinnutta vetovastusta luotettavasti. Mittauksiin lähdetessä havaittiin kuitenkin tätä varten varatun tietokoneen olevan epäkunnossa eikä sitä saatu korjattua. Tilalle ei myöskään saatu hankittua korvaavaa konetta, jossa olisi ollut mittauksen tallentamiseen soveltuva ohjelmisto. Toki tähänkin ongelmaan olisi voitu varautua tutkimussuunnitelmassa paremmin. Nyt kirjaukset jouduttiin tekemään käsin, joka menetelmänä oli epävarma.

6. Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella joustopiikkiäkeessä käytettyjen piikki- ja teräyhdistelmien muokkausominaisuuksia keväällä tapahtuvassa kylvömuokkauksessa. Pääosin tutkimuksessa päästiin asetettuihin tavoitteisiin. Tutkimuksessa tutkittavien koejäsenten vaikutus työsyvyyden säilymiseen ja muokkauksen aikaiseen vetovastukseen jäivät kuitenkin epäselviksi. Työsyvyystuloksien pohjalta ei voitu täydellä varmuudella todeta piikkien todellista työsyvyyttä, sillä koeäkeessä ei käytetty jälkiäestä, eikä pellon pinta ollut muokkausten jälkeen tasainen. Kritzin menetelmän tuloksiin ei näin voida täysin luottaa. Vetovastusmittauksen epävarmuus oli liian suuri varmojen johtopäätösten tekemiseksi, koska mittaukset suoritettiin käsin eikä toistojen määrä ollut riittävä. Tämän vuoksi tulosten tarkastelussa ei ollut mielekäästä tehdä tilastollista tarkastelua.

Koejäsenten B (10x65 mm:n piikki, 50 mm:n terä ja 80 mm:n piikkijako) ja D (12x65 mm:n piikki, 60 mm:n terä ja 90 mm:n piikkijako) muokkauspohjan tasaisuutta kuvaavat hajonta-arvot 3,63 mm ja 4,13 mm osoittavat jäykällä ja vahvalla piikillä saavutettavan erittäin tasaisen kylvöalustan, kun arvoja verrataan tavanomaisten piikkien A (11x45 mm:n piikki, 40 mm:n terä ja 70 mm:n piikkijako) ja E (10x45 mm:n piikki, 40 mm:n terä ja 70 mm:n piikkijako) arvoihin 4,82 mm ja 6,32 mm. Käsittelyn E heikkoa tulosta muokkausprofiilimittauksessa tukee piikkien taipumamittaus, jonka perusteella 10x45 mm:n s-piikki joustaa työsyvyydestään äestyksessä tavanomaisella 300 N:n kuormalla yli 20 mm muiden tutkittujen piikkien taipumien ollessa selvästi alle 10 mm ja 11x45 mm:n sekä 12x65 mm:n piikeillä alle 5 mm. Kokonaisuutena voidaan tämän tutkimuksen perusteella sanoa, että ainevahvuudeltaan suuremmilla ja mitaltaan korkeammilla piikeillä ja leveämmillä terillä ja piikkijaolla voidaan saada aikaan vähintään yhtä tasainen muokkauspohja kuin tällä hetkellä eniten äkeissä käytetyillä 11x45 mm:n ja 10x45 mm:n piikeillä, 40 mm:n terillä ja 70 mm:n piikkijaolla. 10x45 mm:n piikkiä ja sen suurta muokkausvyvyyden muutosta ja epätasaista muokkauspohjaa ajateltaessa järeämpi 12x65 mm:n piikki vaikuttaa paremmalta työkalulta kylvömuokkauksessa. On kuitenkin otettava huomioon, että mitatut erot ovat melko pieniä kuten myös kappaleen 2.3.2. Terien leveys ja piikkiväli taulukon 1 laskenta antoi olettaa. Saadut muokkauspohjantasaisuutta tarkastelevat hajontalukujen erot olivat tarkastelussa millimetrituokkaa, joten ei ole kovin mielekäästä erottaa joukosta parempaa

piikki- ja teräyhdistelmää. Toisaalta voidaan sanoa varmasti, että suurempaa piikkiä, terää ja piikkijakoa edustavat koejäsenet ovat ainakin yhtä hyviä kuin tavanomaiset tällä hetkellä äkeissä käytetyt yhdistelmät.

Tutkimuksessa ei havaittu myöskään merkittäviä eroja koejäsenten murustavuusominaisuuksissa, vaikka kapeampien ja kärkikulmaltaan pystyempien piikkien pitäisi kirjallisuuden mukaan olla murustavuudeltaan parempia. Tämä selittyy helpolla lähtötilanteella, jossa maa oli jo osittain murustunut ja muutenkin helposti muokattavissa. Yllättävää kokeessa oli kuitenkin lautasmuokkaimen aikaansaama mururakenne, joka ei poikennut s-piikkien tuottamasta. Tämä selittyy myös murustamisen kannalta helpon kevään ja maalajin sekä lautasmuokkaimessa käytetyn hyvin kokkareita rikkovan raskaan levyjyrän vuoksi.

Tutkimuksen jälkeen nousee esiin kysymyksiä, joita selvittämään tarvittaisiin lisätutkimuksia. Tässä tutkimuksessa epäselviksi jääneitä tutkimusongelmia olivat joustopiikkiäkeen piikin ja teräkoon vaikutusten tarkasteleminen työsyvyyteen ja vetovastukseen sekä ehkä myös maan mururakenteeseen. Näitä seikkoja pitäisi tarkastella suuremmalla toistomäärällä ja paremmalla mittausasetelmalla. Myös koekentän tutkimuksia edeltävää käsittelyä olisi hyvä muuttaa. Puinnin jälkeinen sänkimaa saattaisi olla hyvä ja yhdenmukainen koekenttä, jossa suurempia eroja varmasti syntyisi. Lisätiedolle saattaa olla tarvetta myös työn pohjana olevan sänkiäkeen läpäisykyvyssä ja muokkauskyvyssä syksyllä. Jos ajatellaan Suomessa tavoitteena olevaa hyvää 6000 kg:n siemensatoa hehtaarilta, tarkoittaa se yleensä vastaavaa määrää olkea pellossa. Määrät tuntuvat suurilta ja saattavat aiheuttaa todellisia ongelmia harvennetullakin piikkijaolla varustetulle joustopiikkiäkeelle erityisesti syksyllä.

Tutkimuksen kokeellisen osan kuten myös kirjallisuuden perusteella voidaan todeta suuremmalla piikillä, terällä ja piikkijaolla saavutettavan yhtä hyvän muokkaustuloksen kevätmuokkauksessa kuin tavanomaisilla piikeillä, terillä ja piikkijaoillakin, kun tarkastellaan muokkauspohjan tasaisuutta tai piikin kykyä säilyttää työsyvyytensä sekä tässä tapauksessa muokkauksessa tuotettua maan mururakennetta. Suuremman piikin, terän ja työlevyden vaikutuksia äkeen vetovastukselle, työsyvyyden säilymiselle tai maan mururakenteelle yleisemmin ei kuitenkaan voida tämän tutkimuksen perusteella tarkasti ja yleistettävästi todeta.

Lähteet

Ahokas, J. 2001. Maamekaniikkaa. Maa- ja kotitalousteknologian julkaisuja 8. 64 s.

Ahokas, J., Mikkola, H. 1986. Traktori ja polttoaineen kulutus. Vakolan tiedote, 38/86. 12 s.

Fielke, 1999. Finite Element Modelling of the Interaction of the Cutting Edge of Tillage Implements with Soil. J. agric. Engng Res. 74. Silsoe Research Institute. s.91- 101

Finfood. 2008. Peltoalan käyttö, Tietohaarukka. Tietovakka, Finfood. [Online]. [Viitattu 8.4.2008] Saatavana [www-muodossa <URL: http://www.finfood.fi/finfood/ff.nsf/1/07609AAFA7C0CE69C22571B80039CE9A?opendocument&lng=Suomi&sh=Kaikille&cat1=Tietoa%20ruuasta&cat2=Tietohaarukka>](http://www.finfood.fi/finfood/ff.nsf/1/07609AAFA7C0CE69C22571B80039CE9A?opendocument&lng=Suomi&sh=Kaikille&cat1=Tietoa%20ruuasta&cat2=Tietohaarukka)

Godwin, R. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. Soil & Tillage Research 97. Elsevier. s.331- 340

Heinonen, R., 1978. Maan muokkaus. Kasvinviljelyoppi 1. Kirjayhtymä. s.199-230

Håkansson, I., Myrbeck, Å., Etana, A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. Soil & Tillage Research 64 (2002). s.23-40

Härkönen 2009. Koneviesti kokeilee, Potila Master ja Multiva Optima S. Koneviesti 57. s.12-15, 20-22

Kara, O., Räisänen, L., Palomäki, A. 1972. Kylvö ja kylvökoneet. Vakolan tiedote 20/72. 10 s.

Karmakar, S., Kushwaha, R., Stilling, D. 2005. Soil failure associated with crack propagation for an agricultural tillage tool. Soil & Tillage Research 84. Elsevier. s. 119-126

Koolen, A., Kuipers, H. 1983. Agricultural Soil Mechanics. Advanced Series in Agricultural Sciences 13. Springer- Verlag. s.241

McKyes, E., Maswaure, J. 1997. Effect of design parameters of flat tillage tools on loosening of clay soil. Soil & Tillage Research 43 Elsevier s. 195- 204

Pehkonen, A., Pitkänen, J., Turtola, E., Pietilä, S., Sipilä, I. 1996. Ympäristöä säästävä muokkaus- ja kylvölannoitustekniikka. Maatalousteknologian julkaisuja 20. Maa- ja Kotitalousteknologian laitos. Helsingin Yliopisto. s.19-34

Raper, R., Grift, T., Tekeste, M. 2002. A Portable Tillage Profiler for Measuring Subsoiling Effectiveness. 2002 ASAE Annual International Meeting. ASAE. 10 s.

SFS. 1983. SFS 2781. Maatalouskoneet. S-joustopiikki. Mitoitus ja laatuvaatimukset. Suomen standardisoimisliitto. 3 s.

Srivastava, A., Goering, C., Rohrbach, R. 1993. Engineering principles of agricultural machines. ASAE Textbook Number 6. 601 s.

Säteri, J. 2008. Muokkaussyvyyden mittausmenetelmän kehittäminen automaattisäätöä varten. Case: joustopiikkiäes. Agroteknologian Laitos, Helsingin Yliopisto. s. 69

Tike, 2008a. Maatilojen maankäyttölajit työvoima- ja elinkeinokeskuksittain 2007. Matilda Tietopalvelu, Tike. [Online]. [Viitattu 8.4.2008] Saatavana www- muodossa <URL:

http://www.matilda.fi/dev60cgi/rwcgi60?server=Rep60_sirppi&report=masp_03_html.rdf&destype=Cache&desformat=HTML&P_ALUEKOODI=001&P_ALUETYYPPI=01&P_KIELI=sf&P_VUOSI=2007&webdbversion=3&_www_rw_log_id_=1&_www_rw_stime_=426502787&session_id=313099765599&authid=PUBLIC>

Tike, 2008b. Maataloustuotteiden hinnat. Matilda Tietopalvelu, Tike. [Online]. [Viitattu 8.4.2008] Saatavana www- muodossa <URL:
http://www.matilda.fi/servlet/page?_pageid=549,193&_dad=portal30&_schema=PORT

[AL30&908_MATILDA_JULKAISUT_4484043.lk=249&952_MATILDA_JULKAISUT_4484043.cls=262>](#)

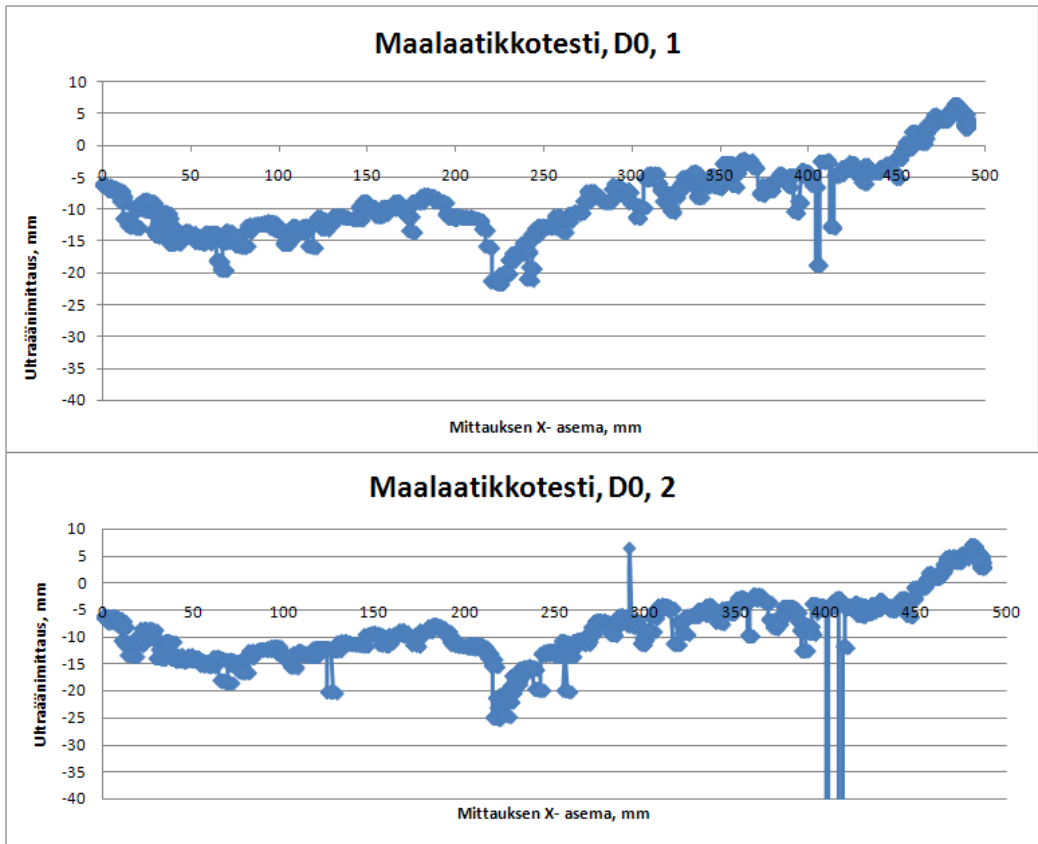
Toroi, H. 2007. Akustiikkaa pinnanvalvontaan. Mitä kaiku vastaa? Automaatioväylä 1/2007. s.16-19.

Vakola. 1992a. S-piikkien ryhmäkoetus. Koetusselostus 1313. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. 19 s.

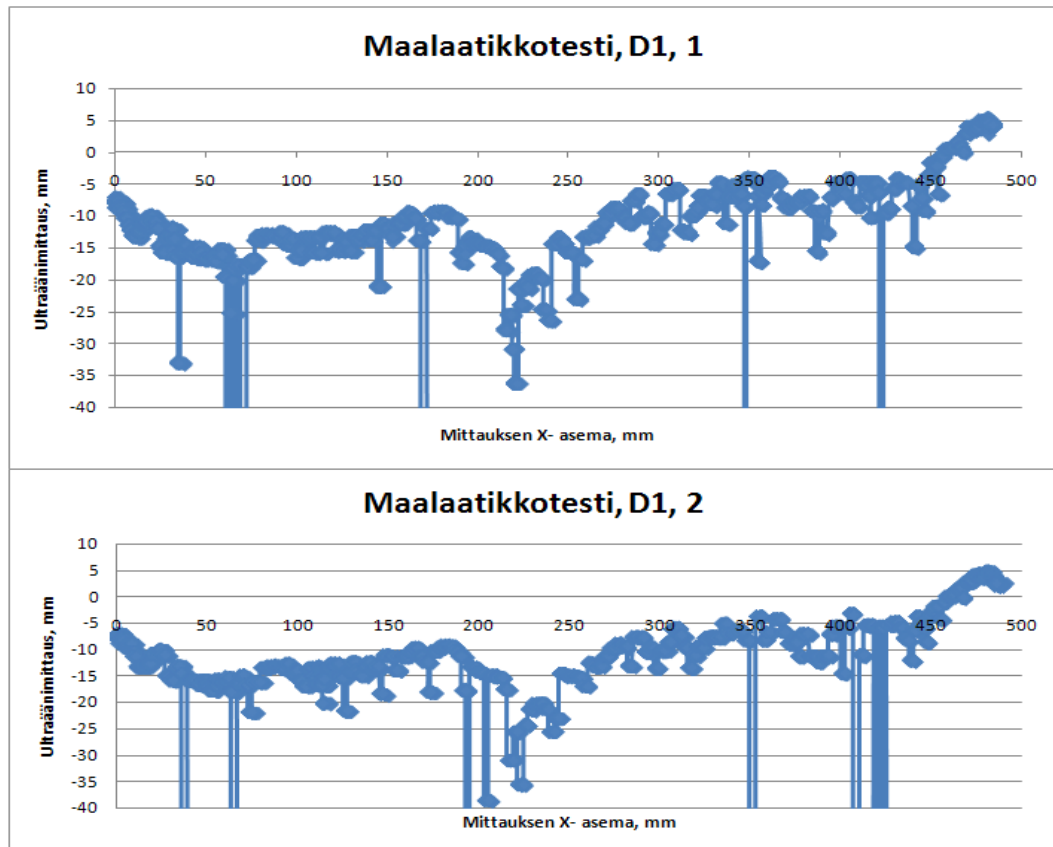
Vakola. 1992b. Tume Nordic 5600 –s-piikkiäes. Koetusselostus 1311. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. 11 s.

Liitteet

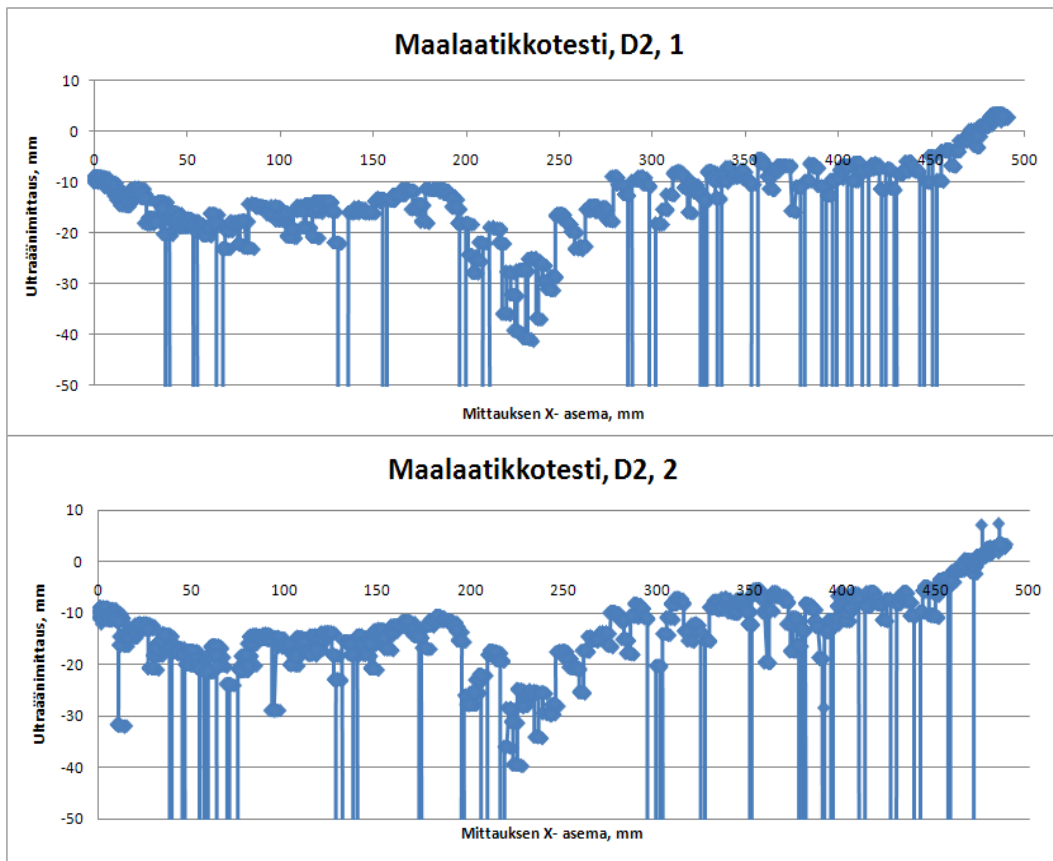
Liite 1. Maalaatikkotestit D- asetusten valitsemiseksi



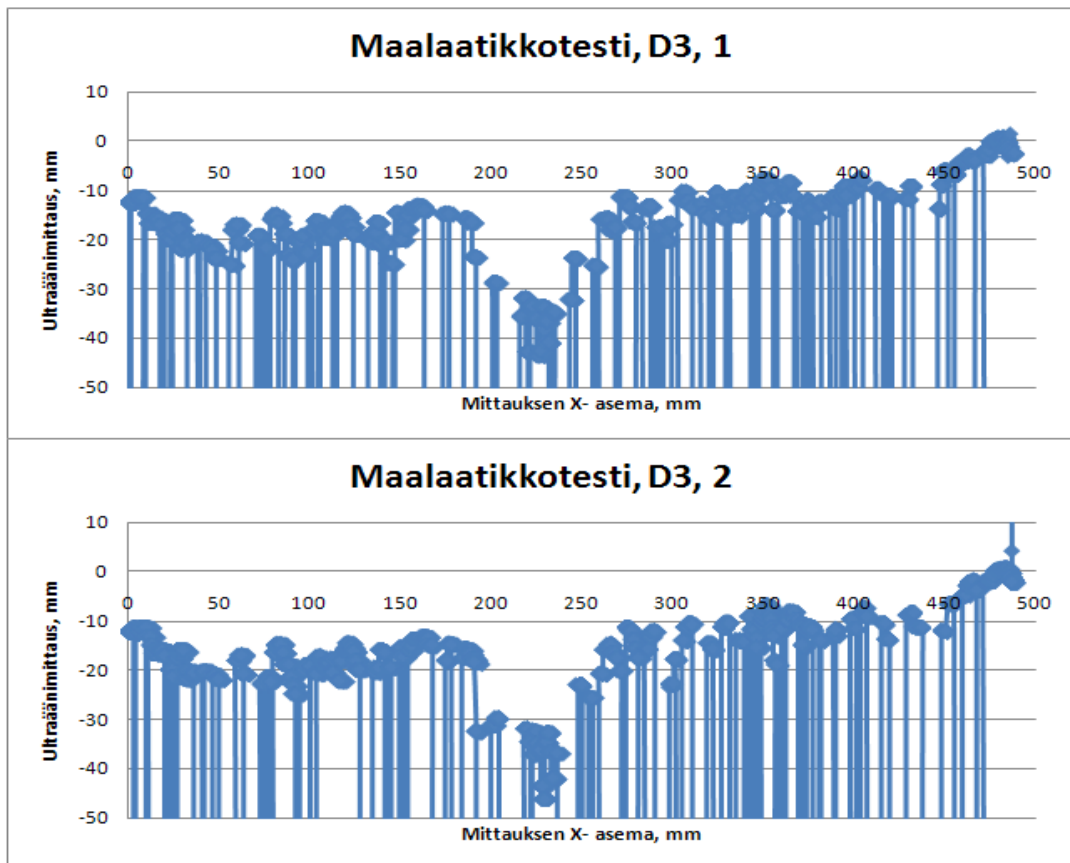
Kuva 1. Maalaatikkotestien tulokset D0 – asetuksella, toistot 1 ja 2.



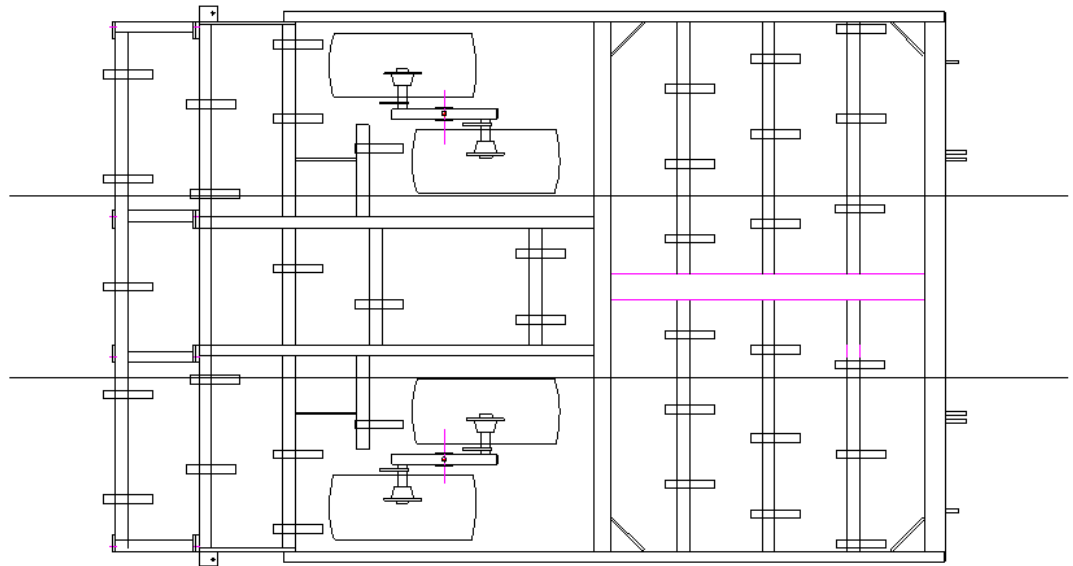
Kuva 2. Maalaatikkotestin tulos D1 – asetuksella, toistot 1 ja 2.



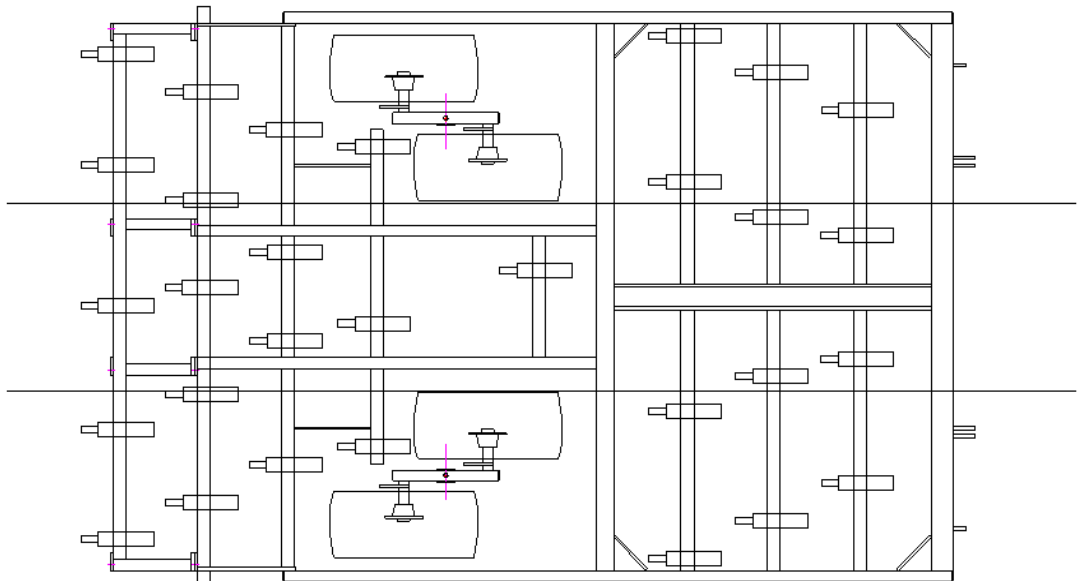
Kuva 3. Maalaatikkotestin tulos D2 – asetuksella, toistot 1 ja 2.



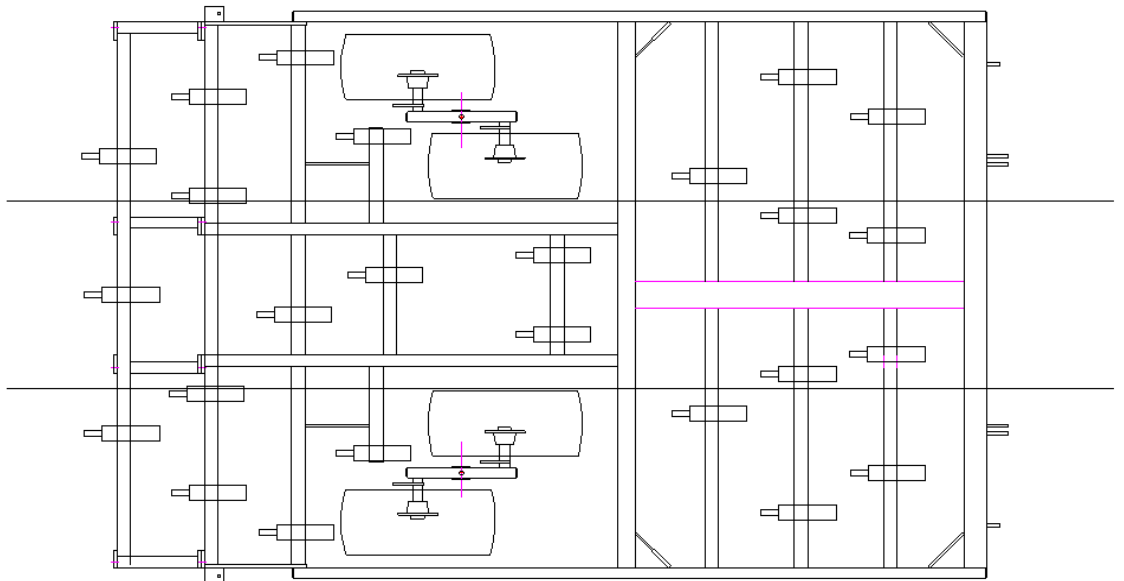
Kuva 4. Maalaatikkotestin tulos D3 – asetuksella, toistot 1 ja 2.

Liite 2. Kokeissa käytetyt piikkijao

Kuva 5. 70 mm piikkijako, 40 mm terä.



Kuva 6. 80 mm piikkijako, 50 mm terä.



Kuva 7. 90 mm piikkijako, 60 mm terä.