

**KYLVÖLANNOITTIMEN VANTAIDEN JA NOSTOSYLIN-
TERIN ASENNON MITTAUKSEEN PERUSTUVA TYÖSY-
VYSSAUTOMATIikka CASE: JUNKKARI MAESTRO**

Pro gradu – tutkielma
Antti Saukkonen
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Helsinki 2010

TIIVISTELMÄ

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos Institution – Department
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden laitos
Tekijä/Författare – Author Saukkonen Antti Juhani		
Työn nimi Arbetets titel – Title Kylvölannoittimen vantaiden ja nostosylinterin asennon mittaukseen perustuva työsyvyysautomaatiikka Case: Junkkari Maestro		
Oppiaine Läroämne – Subject Maatalousteknologia		
Työn laji Arbetets art – Level Pro –gradu tutkielma	Aika Datum – Month and year Lokakuu 2010	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages 65
<p>Tiivistelmä Referat – Abstract</p> <p>Viljan viljelyn merkitys tulee korostumaan maailmanlaajuisesti, koska väestömäärä kasvaa koko ajan ja ruokatuotokset muuttuvat riisistä viljaan. Myös mahdollinen viljan käyttö biopolttoaineen raaka-aineena lisää tarvittavaa vilja-alaa koko maapallolla. Suomessa viljelijöiden määrä vähenee koko ajan ja tilakoot suurenevat. Kevätkylvöt joutuu yhä useampi viljelijä suorittamaan pienellä työntekijämäärällä, siksi työn eri osa-alueiden automatisointi helpottaisi työtaakka. Automaation käyttö esimerkiksi kylvössä toisi lisää tarkkuutta ja helpoutta kylvösyvyyden määrittämiseen.</p> <p>Tämän työn tavoitteena oli kehittää kylvölannoittimeen työsyvyysautomaatiikka, joka perustui vantaiden ja nostosylinterin asennon mittaukseen. Tämä tutkimus liittyy Farmix – Traktorin ja työkoneneen integroitu automaatio – hankkeen peltoviljely työkoneneiden osajärjestelmien älykäs automaatio tutkimusosioon. Tutkimuksessa oli käytössä traktori-työkoneyhdistelmä, johon oli valmiiksi instrumentoitu ISO 11783 (ISOBUS) standardin täyttävä järjestelmä. Kylvölannoittimen työkoneneohjain (IECU) pystyi käskyttämään traktorin ECU:a (class 3 kategoriaan perustuen) ISOBUS – väylän kautta. Työsyvyysautomaatiikka sijaitsi IECU:ssa ja se perustui alun perin mittapyörien ja vantaiden mittaukseen.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteen toteuttaminen edellytti kenttäkokeen perustamista, jossa kerättiin aineistoa työsyvyysmallia varten. Kenttäkokeita varten kylvölannoittimen vantaiden ja nostosylinterin anturit kalibroitiin. Vantaissa oli kolme anturia ja yksi anturi nostosylinterissä. Lopullista työsyvyysautomaatiikkaa testattiin syyskylvöillä. Kylvösyvyydet varmennettiin mittaamalla oraat käsin pelloilta sekä kevään että syksyn kylvöistä 2 m matkalta ja mittaukset tehtiin vasemman vantaan kohdalta.</p> <p>Vantaiden antureiden kalibroinnit onnistuivat hyvin, koska kalibrointikäyrät olivat kaikilla vantailla sekä nostosylinterin anturilla samansuuntaiset. Kevään kenttäkokeen aineiston perusteella muodostettiin työsyvyysmalli. Kun nostosylinterin asento muuttui 0 – 50 mm, työsyvyys vaihteli laskennallisesti 15 – 60 mm. Pelloilta mitattujen oraiden perusteella kylvösyvyydet olivat noin 20 – 50 mm, joten kaavaan jouduttiin muodostamaan korjauskerroin.</p> <p>Kehitettyä työsyvyysautomaatiikka testattiin syyskylvöillä ja tavoitetyösyvyydet olivat 20 – 50 mm. Työsyvyysautomaatiikka toimi hyvin 30 ja 40 mm testiajoilla. Laskennallisen työsyvyyden hajonta oli edellä mainituilla ajoilla 4 – 9 mm tavoitesyvyyteen verrattuna. Matalaan kylvettäessä (20 mm tavoite) työsyvyys oli keskimäärin 5 mm syvemmällä pelloilta mitattujen oraiden perusteella. Työsyvyysautomaatiikalla ei päästy 50mm tavoitesyvyyteen, vaan kylvösyvyys jäi pelloilta mitattuna 40 mm. Tähän vaikutti se, ettei kylvölannoittimen kiilajyrävantailla voitu kylvää syvemmälle, vaikka nostosylinteri oli täysin kiinni.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Kylvölannoitin, kylvösyvyys, työsyvyysautomaatiikka		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Maataloustieteiden laitos, Helsingin yliopisto		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

ABSTRACT

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of agriculture and forestry		Laitos Institution – Department Agricultural sciences
Tekijä/Författare – Author Saukkonen Antti Juhani		
Työn nimi Arbetets titel – Title Combine drill's working depth automatic, based on measurements taken from the position of coulters and lift cylinder. Case: Junkkari Maestro		
Oppiaine Läraämne – Subject Agricultural Engineering		
Työn laji Arbetets art – Level Master's thesis	Aika Datum – Month and year October 2010	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages 65
<p>Tiivistelmä Referat – Abstract</p> <p>In future the importance of crop production will increase worldwide as a result of continuous population growth and changing diet routines from rice to cereals. Also the possibility to use cereals as biofuel rawmaterial will increase the need for crop cultivation area all over the world. In Finland the number of farmers is decreasing and farms are getting bigger and bigger. Seedtimes have to be done with low-input in labour force and for this reason the automatization of different sectors of work would ease the workload. Utilization of automation e.g in sowing would increase the accuracy and easiness in determination of working depth.</p> <p>Aim of this study was to develop automatic depth control system, which was based on measuring the position of coulters and lift cylinder. The study is part of the Farmix –project, which concentrates on integrated automation of tractor and implement. The study utilized a combination of tractor and implement that were already instrumented with a system fulfilling the ISO 11783 (ISOBUS) standard.</p> <p>To meet the aim of the study, it required setting up a field experiment, in which material was collected for the working depth model. For the field experiment the sensors of seed drill's coulters and lift cylinder were calibrated. Coulters had three sensors and the lift cylinder one. The final working depth automatic was tested in the autumn sowings. The sowing depth was confirmed by measuring shoots manually in the field both in spring and in autumn sowing. Manual measuring was done from 2 meters distance and from the position of the left share.</p> <p>Calibrating the sensors of the coulters worked well, because the calibration curves were parallel within all coulters and the sensor of lift cylinder. Based on the material from field experiments done in spring a new working depth formula was created. When the position of the lift cylinder changed from 0 to 50 mm, the working depth was theoretically 15 – 60 mm. Manual measuring in the field suggested that seeding depth was 20 to 50 mm so a correction factor had to be calculated.</p> <p>Accomplished working depth automatic was tested in autumn sowings and target working depths were 20 – 50 mm. Working depth automatic worked well in 30 mm and 40 mm test drives. Standard deviation of theoretical working depth in these foregoing test drives was 4 – 9 mm compared to a target working depth. Based on the measurements taken in the field working depth was an average 5 mm deeper in lower seeding (target 20 mm). Deeper seeding depth (target 50 mm) couldn't be reached and field measurements suggested that real seeding depth was 40 mm. This failure was caused by deep furrow type coulters that weren't able to seed any deeper, although the lift cylinder was completely closed.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords combine drill, seeding depth, working depth automatic		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Department of agricultural sciences, University of Helsinki		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	6
JOHDANTO	7
2 KIRJALLISUUS	9
2.1 KYLVÖN HISTORIA	9
2.2 KYLVÖMENETELMÄT	9
2.3 KYLVÖLANNOITTIMEN RAKENNE	10
2.3.1 <i>Kylvölannoittimen vannastyypit</i>	11
2.3.2 <i>Kylvölannoittimen pyörästä</i>	12
2.4 MUITA KYLVÖKONEMALLEJA	12
2.5 KYLVÖTIHEYD- JA SYVYYS	13
2.6 MAAN RAKENNE JA MUOKKAAMINEN	16
2.7 MAAPERÄN FYSIKAALISET OMINAISUUDET JA NIIDEN MITTAAMINEN	18
2.8 AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA	21
2.9 ISO 11783 STANDARDI (ISOBUS)	25
3 TYÖN TAVOITTEET	28
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	29
4.1 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVIEN LAITTEIDEN KUVAUS	29
4.2 ANTUREIDEN KALIBROINNIT	31
4.2.1 <i>Vannasanturit</i>	31
4.2.2 <i>Nostosylinterianturi</i>	33
4.3 KENTTÄKOKKEET	33
4.3.1 <i>Datan keruu työsyvyysmallin kehittämistä varten</i>	33
4.3.2 <i>Työsyvyysautomaatiikan kenttäkokeet</i>	35
4.4 TODELLISEN KYLVÖSYVYYDEN MITTAAMINEN JA MITTAUSPISTEEN PAIKANTAMINEN DATASTA	35
4.5 MAAN RAKENNEOMINAISUUKSIEN MITTAAMINEN.....	37
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	40
5.1 KALIBROINTITULOKSET.....	40
5.2 NOSTOSYLINTERIN JA VANTAIDEN ASENTOON PERUSTUVA TYÖSYVYYDEN LASKENTAKAAVA.....	44
5.2.1 <i>Kirjava lohkon testiajojen perusteella lasketut työsyvyydet</i>	46
5.2.2 <i>Kirjava lohkon todelliset kylvösyvyydet</i>	47
5.2.3 <i>Korjauskerroin</i>	48
5.3 TYÖSYVYYSAUTOMAATIIKAN TESTAUS SYYSKYLVÖILLÄ	50
5.3.1 <i>Työsyvyysmallin todelliset kylvösyvyydet</i>	52

5.3.2 Lopullisen työsyvyysmallin ja mittapyöriin perustuvan mallin vertailu	52
5.4 MAAN RAKENNEOMINAISUUKSIEN MITTAAMINEN KOEKENTILTÄ	55
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	57
LÄHTEET	60
LIITTEET	63

ESIPUHE

Tämä tutkimus liittyy Farmix – Traktorin ja työkoneen integroitu automaatio - hankkeeseen. Hankkeessa tutkittiin maatalouden peltokoneita ja yhdyskuntatekniikan työkoneita erilaisin case – esimerkein. Ideat ja laitteet tulivat näin testattua todellisissa olosuhteissa. Farmix – projektin osatavoitteena olikin edesauttaa suomalaista maatalouskoneteollisuuden osaamista. Farmix -hankkeen osapuolina olivat TKK Teknillisen korkeakoulun Automaatiotekniikan laboratorio, MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Kasvintuotannon tutkimus, Helsingin Yliopiston Agroteknologian laitos ja TTS Työteho-seura.

Farmix -projekti oli jaettu neljään eri osa-alueeseen, jotka olivat 1. Autopilot peltoajoon, 2. Koneyhdistelmien automaation järjestelmien jatkokehitys, 3. Peltoviljely työkoneiden osajärjestelmien älykäs automaatio ja 4. Tienhoitokoneiden automaatio, älykäs nostolaite. Peltoviljely työkoneiden osajärjestelmien älykästä automaatiota –osiossa keskityttiin kylvölannoittimen sähköinen syöttölaite, automaattinen kalibrointi ja paikannustiedon hyödyntäminen pannon asetelussa casetutkimuksiin. Näiden lisäksi osiossa kehitettiin kylvölannoittimen ja maanmuokkauskoneen automaattiset työsyvyyden säätöjärjestelmät, joista kylvölannoittimen nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuva työsyvyysautomaatiikka –osatutkimus oli yksi.

Farmix – hankkeen yhtenä tavoitteena oli hyödyntää ISOBUS class 3:n tuomaa mahdollisuutta, jossa työkoneet voivat käskyttää ISOBUS väylän kautta traktorin resursseja, kuten hydrauliiikkaa. Tässä työssä kehitetty kylvölannoittimen työsyvyysautomaatiikka pyrkii pitämään kuljettajan asettaman kylvösyvyydestavoitearvon, vaikka maalajit vaihtelevat peltolohkolla. Kehitetty case-kylvölannoittimen työsyvyysautomaatiikka käskyttää traktorin hydrauliiikkaa tarvittaessa, kun maaperäolosuhteet vaihtelevat peltolohkolla.

Tutkimus toteutettiin vuoden 2008 kesällä Vihdissä MTT Vakolan tiloissa sekä pelloilla. Työn ohjaajina toimivat professori Jukka Ahokas Helsingin yliopistosta sekä tutkija Pasi Suomi MTT Vakolasta. Kiitokset myös tutkimusmestari Raimo Linkolehdolle sekä MTT Jojoisten kasvintuotannon tiimille kenttäkokeiden avustamisessa.

JOHDANTO

Maailman tämän hetkisen ruokatilanteen perusteella viljan hinta näyttäisi poikkeuksetta nousevan useiden eri arvioiden mukaan. Erilaiset luonnon ääri-ilmiöt tuntuvat olevan joka vuotisia päiväntasaajan seudulla, tämän lisäksi ruokatottumukset tulevat muuttumaan tulevaisuudessa enemmän riisistä viljaan. Viljan riittäminen tulevaisuudessa kaikilla tulee olemaan haasteellista, jos viljaa aletaan käyttämään polttoaineena ihmisten ruuan ja eläinten rehun lisäksi. Satojen pilaantuminen ja menettäminen nostavat ruokatuotteiden hintoja ja samalla myös viljelijöille maksettavia tuottajahintoja. Maatalouden rooli ruuan tuottajana kasvaa siis koko ajan, siksi tuotantomenetelmiin ja teknologiaan tullaan panostamaan tulevaisuudessa yhä enemmän. Suomessa viljelijöiden keski-ikä nousee koko ajan ja viljelijöiden lukumäärä vähenee entisestään. Yhden viljelijän harteille jää tulevaisuudessa yhä suurempi urakka, koska viljelty peltopinta-ala jopa kasvaa uudispellon tekemisen johdosta. Uutta teknologiaa kaivataan maatalouden eri tuotantoprosesseihin, jotta tulevaisuuden maataloilla voidaan tuottaa ruokaa kasvavan ihmismäärän tarpeisiin.

Viljan viljelyssä lähtökohdaksi on saada hyvä sato. Siihen pääseminen edellyttää onnistumista kylvössä. Kylvön tarkoituksena on saada siemen kosteaan maahan, jotta se itäisi parhaalla mahdollisella tavalla. Kylvösyvyyden merkitys on sadon laadun ja määrän turvaamisessa suuri. Kylvökoneissa työsyvyyden säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi vannaskohtaisella tukipyörällä ja vannaspainotuksella. Nämä kylvökoneet ovat pääsääntöisesti suorakylvökoneita, perinteisessä kylvökoneessa työsyvyyden säätö suoritetaan koneen korkeutta säätämällä, vannaspainotuksella ja kylvömuokkauksella. Viljelijän tulisi säätää kylvökoneen työsyvyyttä lohko- ja maalajikohtaisesti, mutta usein kevättöiden alussa tehty säätö onkin sama koko kylvöjen ajan tai ainakaan lohkon sisällä erillistä säätöä ei tehdä. Maalajivaihtelut voivat kuitenkin olla lohkolta kohtuullisen suuret.

Työsyvyysarvon säätäminen traktorin ISOBUS virtuaaliterminaalista (VT) ja työsyvyysautomaattilla työkoneohjaimessa antaisi kuljettajalle mahdollisuuden pärjätä säätöjensä kanssa. Standardi helpottaisi myös viljelijän työtä, koska traktorin virtuaaliterminaalista voitaisiin ohjata muita ISO 11783 (ISOBUS) järjestelmää hyödyntäviä työkoneita. Työsyvyyden reaaliaikaisella mittauksella voidaan saavuttaa etuja, jossa saadaan kasvin tarvitsema kosteus pa-

remmin hyödynnettyä tai sillä voidaan säästää energiaa, koska liian suuri työsyvyys lisää polttoaineen kulutusta.

Työsyvyysautomaatiikka on mahdollista toteuttaa käyttäen hyödyksi ISO 11783 ominaisuutta, jossa työkoneohjain (IECU) ohjaa ISOBUS - väylän kautta traktorin hydraulisia toimintoja (ISOBUS class III). ISO 11783 standardi on kuvattu tarkemmin luvussa 2.9. Farmix -hankkeessa edeltävässä tutkimusosiossa toteutettiin mittapyöriin ja vantaisiin perustuva työsyvyysautomaatiikka, joka käytti hyväksi ISOBUS class III ominaisuutta (Suomi ym. 2009). Edeltävän tutkimusosion aikana muodostui idea työsyvyysautomaatiikasta, joka perustui pelkästään nostosylinterin ja vantaisten mittauksiin. Tämän työn tavoite olikin kehittää kylvölannoittimen työsyvyysautomaatiikka, joka perustui nostosylinterin ja vantaisten mittauksiin. Tässä tutkimuksessa käytettiin hyödyksi jo olemassa olevaa mittausjärjestelmää, joka oli rakennettu case -kylvölannoittimeen edellisessä tutkimusosiossa.

2 KIRJALLISUUS

2.1 Kylvön historia

Historian ensimmäinen rivikylvökoneen rakensi vuonna 1730 englantilainen Jethro Tull. Sen toiminta ei kuitenkaan ollut moitteetonta ja, siksi Saksassa vuonna 1750 kehitetty kylvökone olikin ensimmäinen toimintavarma versio. Englantilainen pappismies James Cook paranteli kylvökoneetta vuonna 1780 tuomalla markkinoille ensimmäisen tehdasversion kylvökoneesta. Siinä oli ratkaistu monta tärkeää kylvökoneen vaatimusta, jotka pätevät myös tänäkin päivänä, kylvökoneessa oli hyvin toimiva syöttö, oikea siemenen syvyyden asettelu ja riittävä multaus. Tätä Cookin kehittämän version paranneltua mallia kokeiltiin Suomessa 1800 - luvun alussa. Suomessa rivikylvökoneet alkoivat yleistyä vasta 1800 – luvun loppupuolella Pohjanmaan suurtiloilla. Näiden hevosvetoisten rivikylvökoneiden yleistymisen myötä voitiin kylvösiemen määrää vähentää 15–20 %, koska tasasyvyyteen kylvetty siemen iti paremmin kuin käsin hajakylvetty siemen. (Helsinki 2008) Seuraavaksi kylvökone muunneltiin traktorin perään sopivaksi ja vielä tänäkin päivänä kylvökoneetta vedetään traktorilla.

Kasvin kasvu alkaa siitä, kun siemen kylvetään maahan. Sen jälkeen siemenen tulee selviytyä omalla energiallaan maanpinnalle. Viljojen kylvö suoritetaan kylvökoneilla, joilla voidaan kylvää viljojen siemeniä ja piensiemeniä, kuten nurmen- ja öljykasvien siemeniä. Kylvölannoitin on kone, jolla voidaan samalla ajokerralla kylvää sekä siemen että lannoite (Smith ja Wilkes 1976). Kylvölannoittimia ruvettiin käyttämään Suomessa 1960-luvun loppupuolella (Kara ja Oksanen 1979). Jatkossa tekstissä kylvökoneella tarkoitetaan kylvölannoitinta.

2.2 Kylvömenetelmät

Kylvömenetelmien väliset erot voidaan jaotella taulukon 1 mukaisella tavalla. Perinteiseen kylvömenetelmään kuuluvat perus- sekä kylvömuokkaus ja kylvö. Perusmuokattuun maahan tehtyä kylvöä kutsutaan myös aurattomaksi viljelyksi tai kevennetyksi muokkaukseksi, jolloin maan muokkaus on hoidettu esimerkiksi lautasmuokkaimella. Kylvö voidaan tehdä myös pelkkään kylvömuokattuun maahan. Suorakylvössä kylvö tapahtuu edeltävän kasvin sänkeen ilman muokkausta.

Nykyhetken suuntauksena voidaan pitää sitä, että muokkausta tulisi tehdä mahdollisimman vähän. Sillä säästetään energian (polttoaine) kulutusta, minkä avulla voidaan parantaa viljelyn kannattavuutta.

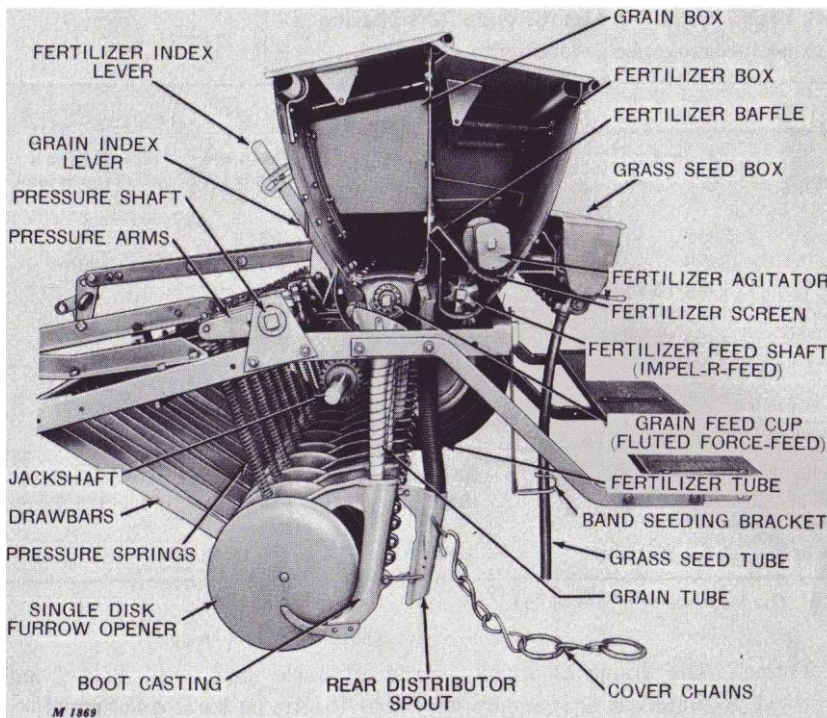
Taulukko 1. Muokkaus ja kylvömenetelmien jaottelu (Pehkonen ym. 1996)

		PERUSMUOKKAUS	
		ON	EI
KYLVÖ- MUOK- KAUS	ON	perusmuokkaus, kylvömuokkaus ja kylvö	kylvömuokkaus ja kylvö sänkeen ilman edeltävää perusmuokkausta
	EI	kylvö ilman kylvö- muokkausta vain perusmuokattuun maahan	suorakylvö

2.3 Kylvölannoittimen rakenne

Kylvökoneen pääosat (Kuva 1) ovat runko, kuljetus- ja työasentopyörät, siemen- ja lannoitesäiliö, syöttölaitteisto, vantaisto, joilla siemenvako avataan ja perässä vaon peittävä laitteisto. Siemenet sijoitetaan maahan siemenputkien avulla. Siemen putkien tulee olla lujia ja taipuisia, jotta vantaat pääsevät liikkumaan. Lannoitevanteiden lukumäärä on yleensä puolet siemenvantaiden lukumäärästä, joten lannoitteet menevät joka toisen siemenrivin keskelle (Kara ja Oksanen 1979). Kylvökoneiden rakenne voi kuitenkin vaihdella eri merkeillä. Kylvökone voi olla ilma-avusteinen (pneumaattinen), jolloin siemen puhalletaan ilman sekaan putkistossa. Perinteisissä kylvökoneissa siemenet valuvat alaspäin painovoiman avulla maahan (Goering ym. 1993).

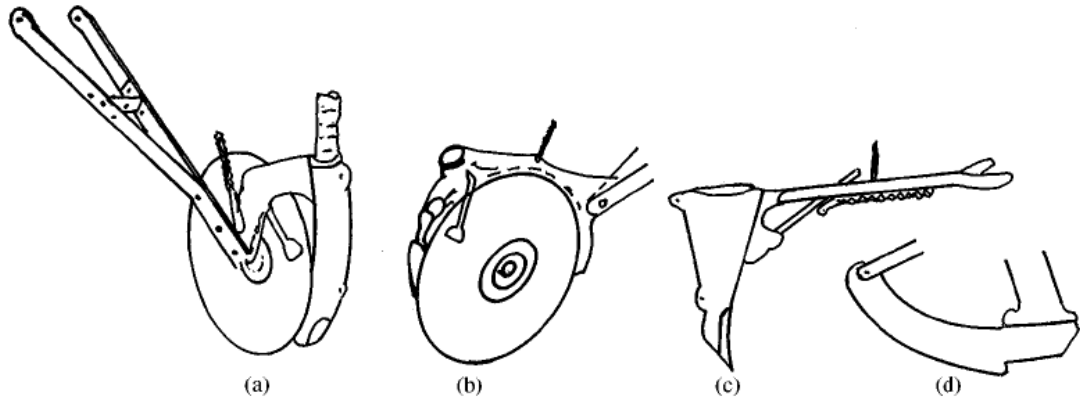
Kylvölannoitin voi olla joko nostolaitesovitteinen tai hinattava. Tällä hetkellä suurin osa myytävistä kylvölannoittimista on hinattavia. Hinattavien koneiden etuja on parempi näkyvyys vantaille sekä pienempi tehon tarve. Suurten kylvölannoittimien omamassa on myös niin suuri, ettei niitä ole järkevää tehdä nostolaitesovitteisiksi.



Kuva 1. Kylvölannoittimen pääosat. (Smith ja Wilkes 1976)

2.3.1 Kylvölannoittimen vannastyypit

Kylvökoneiden vantaita on montaa eri mallia ja kukin niistä soveltuu parhaiten hieman erilaisille kylvötavoille ja olosuhteille. Kuvassa 2 on esitetty kylvökoneen tyypilliset vannasvaihtoehdot. Vetovantaan (Hoe-type) maahantunkeutumiskyky on kohtuullisen hyvä ja sitä parannetaan kallistamalla vannasta eteenpäin. Vetovannas soveltuu hyvin muokatuille maille, joissa ei ole olkia tai turpeita. Laahavannas (Curved-runner) on muuten samanlainen kuin vetovannas, paitsi sen takaosa on kaareva. Laahavannas ei myöskään ole vetovantaan tavoin ”maahaakuinen”. Laahavantaan kylvösyvyyttä säädetään pääasiassa jousilla tai lisäpainoilla. Kiekkovantaassa (Double disk) on kaksi lautasta, jotka ovat asetettu terävään kulmaan. Vantaiden etuna on tukkeutumattomuus vaikeissa olosuhteissa. Haittana pidetään sitä, että keveillä maille kiekkovannas pyrkii menemään liian syvään. Lautasvantaassa (Single disk) on vain yksi lautanen ja kylvösyvyys pidetään tasaisena laahasvantaan tyyppisellä olakkeella lautasen alareunassa. Muuten toiminta on samankaltainen kiekkovantaan kanssa. Siipivantaan (Stub runner) sivuilla on olakkeet, joiden avulla työsyvyys pysyy tasaisena. (Kara ja Oksanen 1979) Laaha- ja kiekkovantailla on tyypillistä siirtää maata sivuille, kun siipivannas pyrkii nostamaan maata.



Kuva 2. Kylvölannoittimien eri vannastyypit: a. Single disk b. Double disk c. Hoe-Type d. Curved-Runner (Chaudhuri 2001)

Eri vantaista riippuen voidaan kylvää, joko nauha- tai rivikylvöä. Siipivantaalla siemenet sijoitetaan nauhana ja muilla vannastyypeillä pääasiassa rivikylvönä. Siemeniä voi näillä menetelmillä tulla monta vierekkäin verrattuna tarkkuuskylvöön, jossa siemenet sijoitetaan yksitel- len peräkkäin. (Heege ja Billot 1999) Suorakylvössä käytetään poikkeuksetta kiekkovantaita ja perinteisessä muokkaus ja kylvömenetelmässä pääasiassa kiekko- ja laahavannas tyyppisiä.

2.3.2 Kylvölannoittimen pyörästä

Kylvölannoittimen pyörästä voi olla, joko koneen sivulla tai takana. Jos pyörät ovat koneen sivulla, koneen paino on kokonaan kahden kuljetuspyörän varassa. Jos pyörät ovat koneen takana, paino jakautuu tasaisesti koko koneen leveydelle. (Goering ym. 1993) Maan tiivisty- essä tasaisemmin koko työleveydeltä, oraat nousevat tasaisemmin pintaan. Jyräpyörästä etu- na on myös kapeampi kuljetusleveys verrattuna sivupyöräkylvökoneeseen (Mikkola 1994).


2.4 Muita kylvökonemalleja

Perinteisten kylvökoneiden lisäksi on olemassa tarkkuuskylvökoneita, joilla kylvetään kasve- ja, joiden riviväli on suuri, kuten sokerijuurikas ja maissi. Tarkkuuskylvökoneissa siemenet sijoitetaan maahan riviin yksilöllisesti, joten syöttölaitteisto on erilainen verrattuna viljojen kylvökoneeseen. Siemensäiliöt ovat pienemmät ja ne ovat sijoitettuina vannaskohtaisesti (Goering ym. 1993). Muuten tarkkuuskylvökoneilla on samankaltainen vannasrakenne kuin

perinteisillä kylvökoneilla. Ennen kuin siemen sijoitetaan, maahan avataan vantaalla vako, joka peitetään jyräpyörällä.

2.5 Kylvötiheys- ja syvyys

Kylvösiemenen määrä (kpl/m^2) muodostuu rivivälistä ja keskimääräisestä siementen etäisyydestä yksittäisessä rivissä. Rivivälin valintaan vaikuttavat pääasiassa kasvilajit ja ilmasto-olosuhteet. Tarkkuuskylvössä käytetään yleensä riviväliä 25 cm:stä 90 cm:iin. Viljoilla käytetään riviväliä välillä 8- 25 cm. Viljojen kylvötiheys on keskimäärin 150 – 400 kpl/m^2 (Kuva 3).

Crop	Average seed density in seeds per m^2	Presently used seeding methods	Conditions for precision drilling
corn for grain	6 - 12	precision-drilling	
corn for silage	9 - 15		
sugar beets	10 - 15		
beans	30 - 60		
rape	50 - 90	domain of transition	
peas	60 - 100		
small grains	150 - 400	bulk-drilling	
alfalfa, clover	500 - 1 000		
ray - grass	700 - 2 000		

Kuva 3. Siementen kylvötiheyksiä eri kylvömenetelmillä. (Heege ja Billot 1999)

Karan ym. (1972) mukaan viljojen kylvösyvyudet vaihtelevat 3 – 6 cm:iin, mutta käytännössä työsyvyyden tulisi olla mahdollisimman matala, jotta viljat versoisivat riittävästi. Heegen (1993) mukaan pienten siementen, kuten viljojen ja rypsin siemenet tulisi kylvää saksalais-tyyppisissä olosuhteissa 25 – 45 mm syvyyteen. Nurmen ja rypsin siemenet tulee kylvää mahdollisimman matalaan. Jos ennen kylvöä suoritetaan kylvömuokkausta, siemenet tulisi sijoittaa muokatun ja muokkaamattoman maan rajapinnalle. Kylvön onnistumiseen voi vaikuttaa oleellisesti käytettävä vannastyyppi. Ajonopeuden lisääntyessä vannas pyrkii nouse-

maan, tämän vuoksi nopeuden tulisi kylvettäessä olemaan mahdollisimman tasainen. (Kara ym. 1972)

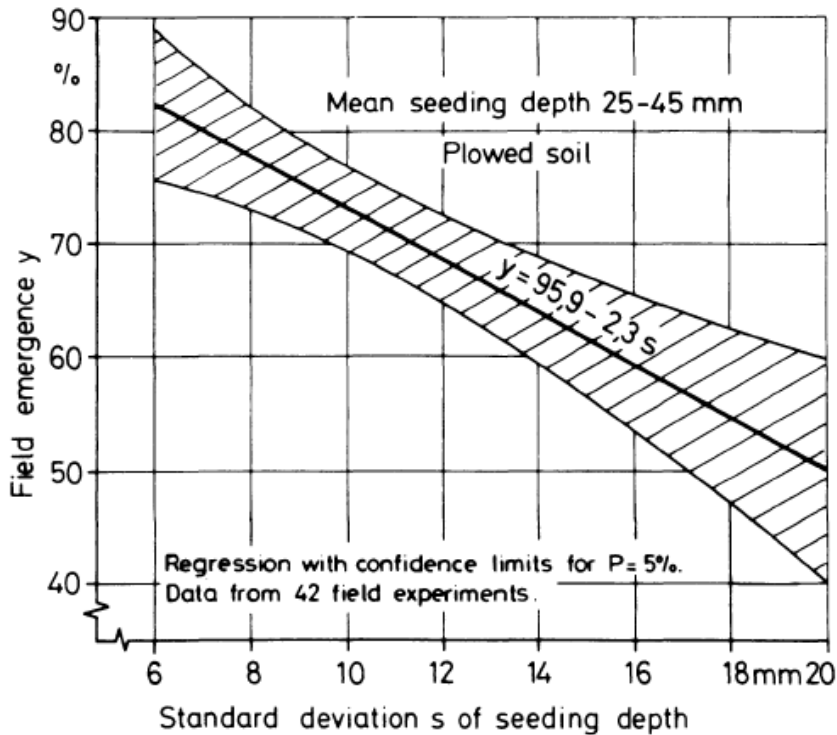
Kara ym. 1972 mukaan kylvösyvyyden tulisi olla tasaisesti sijoittunut muokkaamattoman ja muokatun maan välikerrokseen. Vaikka kylvömuokkaus olisi huolellisesti tehty, niin kylvösyvyyden vaihtelu voi olla useita senttimetrejä eri vannastyypeistä riippuen. Pellon pinnan tulee olla tasainen, jotta vannas ei pääse pomppimaan. Kylvöannoittimen yksi tärkeimmistä vaatimuksista on, että sillä voidaan kylvää siemenet haluttuun kylvösyvyyteen (1 – 8 cm). Kylvösyvyyden vaihtelut eivät saisi sanottavasti olla yli 25 % halutusta kylvösyvyydestä.

Heegen 1993 mukaan kylvösyvyyden vaihtelut ovat rivikylvössä kynnetyllä maalla 6 – 11 mm (Taulukko 2). Muokkaamattomalla maalla vaihtelu suurenee 12 – 17 mm. Kylvösyvyytenä oli käytetty 25 – 45 mm keskiarvoa. Tarkimman tuloksen kynnetyllä maalla antoi tarkkuuskylvö, jossa oli tukipyörä sekä vantaan edessä että takana. Muokkaamattomalla maalla toimi parhaiten pyöriväteräinen muokkain, jonka taakse oli yhdistetty vannas. Kylvösyvyyden hajonta oli tällä menetelmällä 5 – 11 mm. Muokkain rikkoi muokkaamattomalla maalla olleet kasvijätteet, jolloin kylvö onnistui paremmin.

Taulukko 2. Kylvösyvyyden hajonnat eri kylvömenetelmillä (Heege 1993)

Seeding-method		Technique for seed placement into the soil	Stand. Deviation of the seeding-depth	
			soil ploughed	soil not ploughed
Drilling		Shoe-openers, Disc-openers	6 - 11 mm	12 - 17 mm
		Packer - ring furrows (only for sandy soils)	6 - 11 mm	
Band-seeding	Bandwidth 3 cm	Seed tubes located in falling soil of cultivating implements	12 - 17 mm	14 - 19 mm
		Disc-openers, slanted		
	Bandw. 8 cm	Wing-openers, Broad-shoe openers	6 - 11 mm	
Broadcast-seeding		Wing-openers, Broad-shoe openers		
		Seeding underneath soil trajectories of rotary cultivator (broadcast.-bar)	5 -13 mm	5 -11 mm
		Incorporation by stirring cultivator tines	15 -20 mm	
Precisiondrilling		Shoe-openers equipped with gage-wheels and clod-deflectors	4 -9 mm	

Kuvassa 4 on esitettyä kylvösyvyyden hajonnan vaikutuksesta orastuvuuteen. Kylvösyvyyden hajonnan lisääntyessä orastuvuus pienenee. (Heege 1993)



Kuva 4. Työsyvyyden hajonta ja orastuvuus piensiemillä (Heege 1993)

Kylvösyvyyden säätö suoritetaan suorakylvökoneissa yleensä erillisellä siemenvannaskohtaisella mitta/tukipyörällä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että pyörä seuraa maassa olevia kakkareita ym. liian tarkkaan ja aiheuttaa samalla paljon vaihtelua työsyvyyteen. (Heege ja Billot 1999) Suorakylvökoneissa käytetään poikkeuksetta kiekkovantaita.

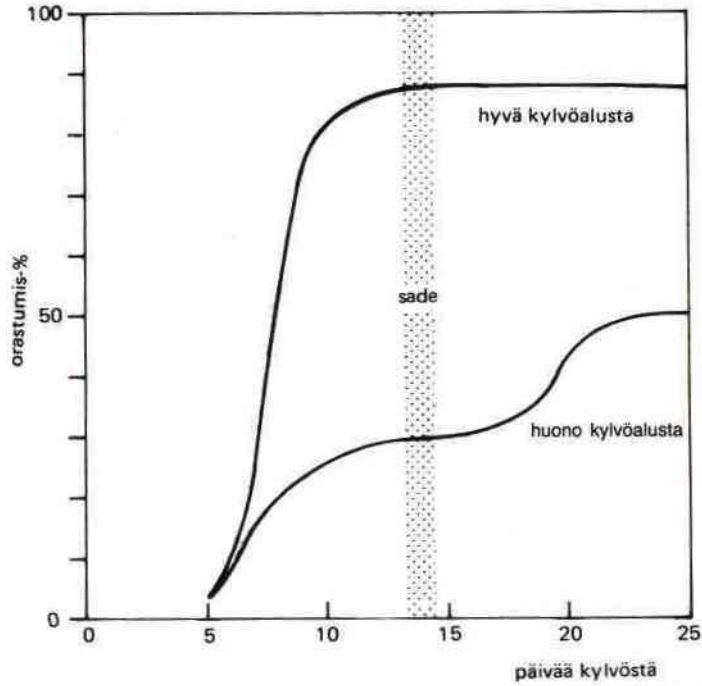
Veto- ja laahavannaskylvökoneissa kylvösyvyyttä säädetään vantaan kuormitusta muuttamalla. Vetovantaissa voidaan työsyvyyttä säätää myös vantaan ottavuutta muuttamalla. Vantaiden työsyvyyttä voidaan myös säätää lisäpainotuksen avulla, jolloin työsyvyyden vaihtelu riippuu maalajivaihtelusta. Nykyään työsyvyyden säätö tapahtuu vantaiden jousikuormaa muuttamalla. Puristusjousen alaspäin suuntautuva voima on progressiivinen, kun vannas nousee ylös, jousikuorma lisääntyy. Puristusjousen aiheuttaman työsyvyyden vaihtelut ovatkin pienemmät verrattuna lisäpainotettuihin vantaisiin. Jouset tasoittavat myös kovassa nopeudessa vantaiden heilahteluita. (Kara ym. 1972)

2.6 Maan rakenne ja muokkaaminen

Kun maata kynnetään, sen ensisijainen tehtävä on maan vapauttaminen kasvijätteestä sekä maan kuohkeuttaminen. Kasvuston jätteiden multaaminen aiheuttaa aina maan rakenteeseen kohdistuvan muutoksen. (Heinonen 1983) Maan rakenne koostuu hiukkasista, joiden ryhmittymisellä määritetään onko maa löyhää tai kovettunutta. Karkeilla maalajeilla hiukkasrakenne on pääasiassa löyhää, jolloin muokkauskerroksen rakenne ei aiheuta ongelmia. Jos karkeiden maa-ainesten välissä on savi- tai hiesuainesta, maa kovettuu kuivuessaan. Maa-aineksen joukossa voi olla myös rautaa sisältäviä ainesosia. (Heinonen 1992) Maan kovuuteen vaikuttaa vesipitoisuus, joka etenkin pohjamaan rakenteessa on hyvin kerrostunutta. (Heinonen 1983) Runsasmultaiset aitosavimaat ovat toiminnaltaan hyvin voimakkaita verrattuna karkeisiin maalajeihin. Niihin muodostuu luonnostaan suotuisissa olosuhteissa 1 – 10 mm mururakenne, joka on erittäin kestävä. (Heinonen 1992)

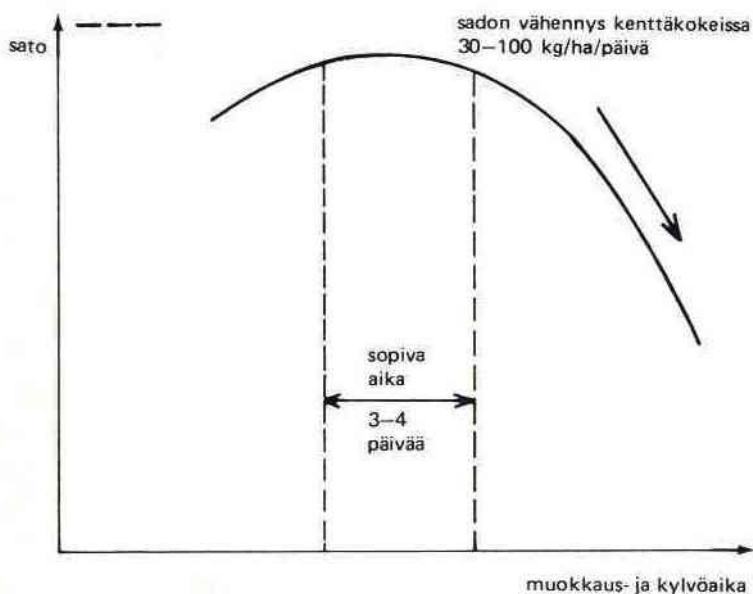
Maan ominaisuuksien muotoutuminen riippuu hiukkasten mururakenteesta. Mururakenne syntyy suotuisissa olosuhteissa, kun sitovaa saviainesta ja humusta on riittävästi. Suurin osa muruista ovat tällöin kooltaan 1 – 5 mm. Parhaimmillaan nämä kestävät sadepisaroita ja suuria koneiden painoa, ennen kuin hajoavat. Ihanteellinen mururakenne voidaan saada aikaiseksi oikea aikaisella muokkauksella, mutta siihen vaikuttavat eniten monimutkaiset ympärillä tapahtuvat ilmiöt. Tärkein tekijä on maalaji, jonka ominaisuudet ratkaisevat miten maa-aines käyttäytyy. Muita tekijöitä ovat ilmasto, kemialliset tekijät, kasvipeite, mikrobitoiminta, kastemadot ja viljelytekniikka.

Heinosen (1983) mukaan keväällä kylvömuokkaus ja kylvö tulisi aloittaa heti, kun maan kantavuus ja muokkautuvuus sen sallivat. Kun siemen saadaan sijoitettua tasaisesti, oraan kehittyminen alkaa nopeasti ja mahdollisuudet tasalaatuisen satoon paranevat, tasainen oraspeitto on myös tärkeä suoja rikkakasveja vastaan (Kuva 5).



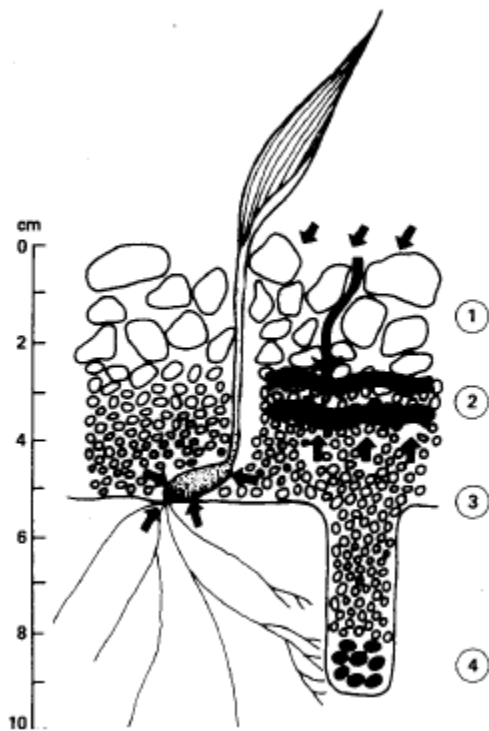
Kuva 5. Kylvöalustan vaikutus orastumiseen (Heinonen 1983)

Suotuisissa olosuhteissa tapahtuvaan kylvöön savimailla on aikaa vain 3 – 4 päivää (Kuva 6). Liian varhainen pellolle meno aiheuttaa sadon vähenemistä yhtä lailla kuin kylvön myöhästyminen. Sadon väheneminen on sitä suurempaa, mitä myöhäisemmäksi kylvö jää. Kosteamilla maalajeilla, kuten hietta- ja multamailla on enemmän aikaa kylvön suorittamiseen kuin poudan aroilla mailla.



Kuva 6. Kylvöajankohdan vaikutus sadon määrään savimailla (Heinonen 1983)

Oikeaoppisesti muokattu maan mururakenne on edellytys oraan selviytymiseen maan pinnalle ja suoja kevään vaihteleville sääoloille (Kuva 7). Heinosen (1983) mukaan pinnalla tulisi olla suuria muruja suojaavana kerroksena vesisateen aiheuttaman kuorettuman ehkäisemiseksi. Toisaalta tämä ei hidasta haihtumista juuri lainkaan. Siemenen ympärille tulisi saada hienojakoinen murukerros estämään haihtumista. Siemen tulisi sijoittaa muokatun ja muokkaamattoman maan rajakerrokseen, jolloin itäminen onnistuu myös kuivana keväänä. Kuvassa 7 esitetyn murukerroksen saaminen edellyttää usein muokkausta ennen kylvöä. Toisaalta suora kylvössäkin samanlainen mururakenne voidaan saada aikaan, mutta se edellyttää juuri oikeaan aikaan tapahtuu kylvöä.



Kuva 7. Savimaille suositeltava kylvöalusta (Heinonen 1983)

2.7 Maaperän fysikaaliset ominaisuudet ja niiden mittaaminen

Maaperän fysikaalisia ominaisuuksia ovat mm. hiukkaskoko, ominaispaino, lujuus ja huokos-tilavuus. Maan lujuusominaisuudet antavat mallin maan käyttäytymiselle sitä siirrettäessä tai muokattaessa. (Ahokas 2001)

Maaperän lujuus vaikuttaa oleellisesti kantavuuden kannalta muokkaamiseen, jos kantavuutta ei ole niin muokkaaminen tai pellolla liikkuminen ei onnistu. Jos kantavuus pettää, niin maaperän rakenne on jo ehtinyt vaurioitua tiivistymällä. (Ahokas 2001) Maan lujuusominaisuudet perustuvat Coulombin vuonna 1776 selvittämiin lakeihin. Murtumisvastus koostuu kahdesta tekijästä, maan koheesiosta ja kitkasta. Koheesio mittaa maahiukkasten välistä jännitystä. Koheesio on osa murtumisvastusta, johon ei vaikuta kohtisuorat paineet kappaleen pinnassa. Kitka on puolestaan prosessi, johon vaikuttavat kohtisuorat paineet kappaleen liukupinnoissa. (McKeys 1989). Taulukossa 3 on esitettyä eri maalajien koheesio ja kitkakertoimia.

Taulukko 3. Maan koheesio ja kitkakertoimia (Ahokas 2001)

Maalaji	Kosteus %	Koheesio c kPa	Kitkakulma ϕ °
Hiesusavi	11	4,8	20
	13	6,9	29
	21	17,2	22
	23	11,0	25
	30	6,2	23
	32	5,2	11
Kuiva hiekka	0	1,0	28
Raskas savi	25	68,9	34
	30	48,2	22
	35	34,5	14
	40	20,7	6
Kevyt savi	22	68,9	20
	26	34,5	15
	30	17,2	11
	32	13,8	11

Maan leikkauslujuus tai murtumisvastus on olennaisin käsite, kun tutkitaan erilaisten voimien vaikutusta maahan. Maata muokattaessa maa yleensä murtuu kerroksittain eri suuntiin. Maahan kohdistuva voima voidaan jakaa kahteen erisuuntaiseen voimakomponenttiin; vetävävoima ja sitä vastaan kohtisuora kuormavoima. Näiden perusteella voidaan määrittää murtamisvoima eli murtumisvastus. (Heinonen 1992) Maan kosteus vaikuttaa oleellisesti kitkaan ja koheesioon. Leikkauslujuus voidaan määrittää seuraavalla yhtälöllä (kaava 1) (Ahokas 2001):

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan\phi \quad (1)$$

τ = leikkausjännitys

c = maan koheesio

σ = puristusjännitys

ϕ = maan kitkakulma

Maan leikkauslujuutta voidaan määrittää monella eri välineellä, näistä yleisimmät ovat esitettyinä kuvassa 8. Mittaaminen kuvan 8 välineillä tapahtuu kenttäolosuhteissa, jolloin mittaus-tarkkuus ei yllä laboratorio-olosuhteissa tapahtuvan mittauksen tasolle. Kenttäolosuhteissa mittaaminen on kuitenkin nopeaa ja maata ei tarvitse siirtää pois sen alkuperäiseltä sijainniltaan (vrt. laboratoriomittaaminen). (McKeys 1989) Kuvan 8 menetelmät 1(leikkausrengas), 2 (leikkauslautanen) ja 3 (leikkausgraafi) mittaavat leikkauslujuutta maan pinnalta. Mittausten perusteella voidaan laskea sekä koheesio ja kitka. Leikkausrenkaan ja – lautasen toimintaperiaatteena on mitata maan pinnan ominaisuuksia optimaaliselta muokkausalueelta, kovan maan päältä. Mitattaessa mittalaitteen sijainti maahan nähden pysyy vakiona. Leikkausgraafi on edellä mainittujen menetelmien kaltainen, mutta etäisyys suhteessa maahan muuttuu eri tavoin. Mitattava alue on ympyrän muotoinen ja laitteella mitataan yleensä pohjamaasta. Menetelmä 4 on siipikaira ja sillä mitataan koheesiota maan sisältä, työsyvyyydet ovat yleensä 0 – 30 cm. Tekemällä siipikairalle valmis reikä, työsyvyyttä voidaan kasvattaa jopa viiteen metriin. Maan koheesio avulla voidaan laskea myös kääntämiseen tarvittava vääntömomentti T kaavan 2 avulla: (McKeys 1989)

$$T = \frac{\pi c d^2 h}{2} + \frac{\pi c d^3}{12} \quad (2)$$

T = Vääntömomentti

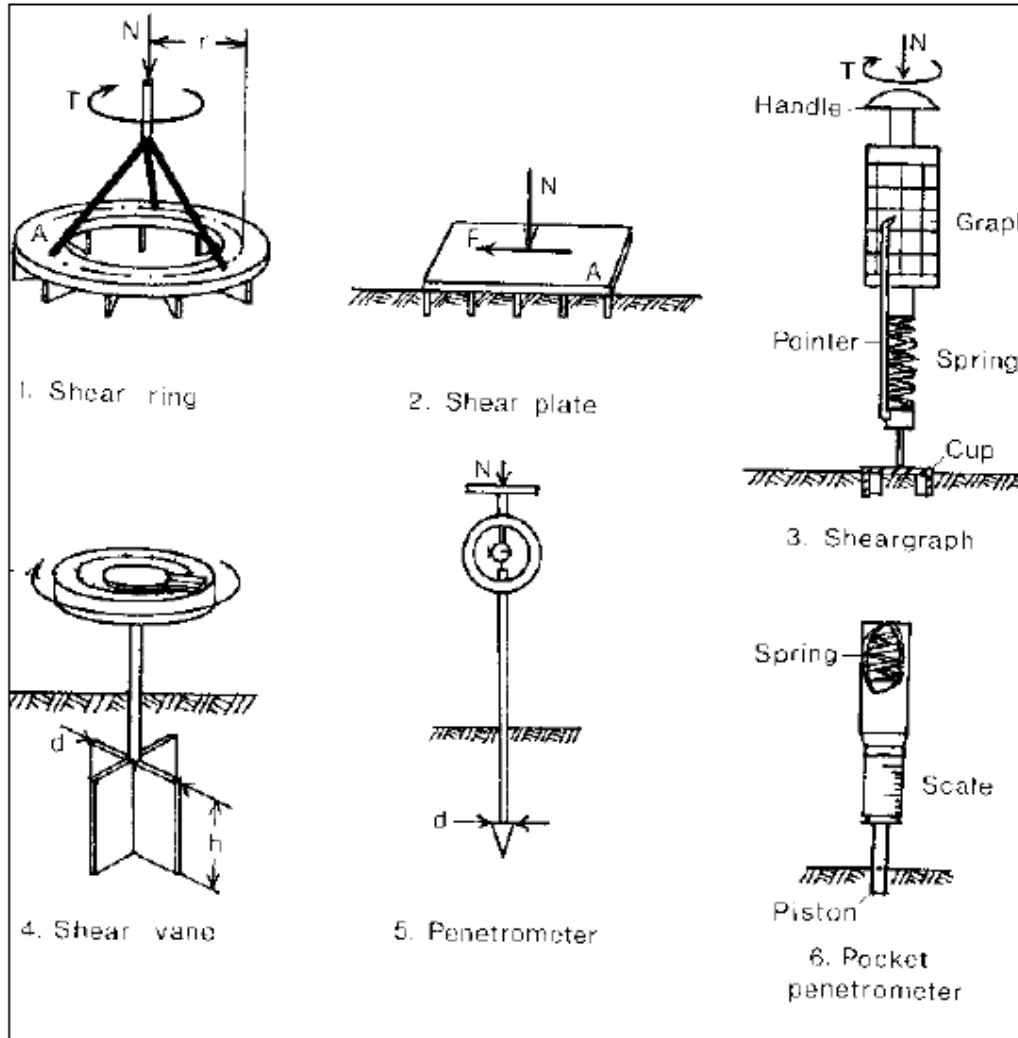
c = Leikkauslujuus

d = Siiven halkaisija

h = siiven korkeus

Menetelmä numero 5 on penetrometri, joka ei liity millään lailla maan koheesioon tai kitkakulmaan. Penetrometrillä mitataan voima, jolla penetrometrin kartion kärki saadaan työnnet-

tyä maahan. Kun maahan työntämiseen tarvittava voima jaetaan kartion koolla, saadaan paine eli cone index. Penetrometrin tuloksia käytetään usein tulkitsemaan maan tiivistyisyyttä.



Kuva 8. Maan lujuuden mittausmenetelmiä (McKeys 1989)

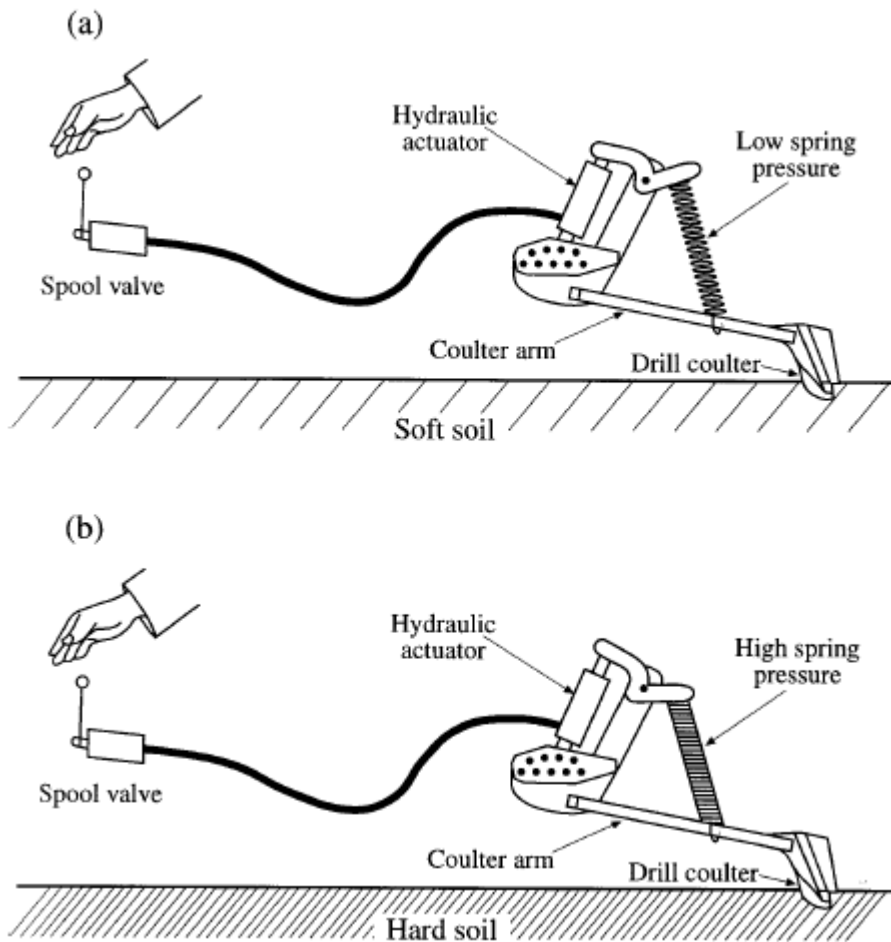
2.8 Aikaisempia tutkimuksia

Automaattista työsyvyysmittausta on tutkittu maailmalla paljon, mutta kylvölannoittimeen liittyen tutkimuksia on vähemmän. Toisaalta syvyysmittauksen perusperiaate on sama, jos kyseessä on vaikka kylvökone, rikkaäes tai lautasmuokkain. Sögaard (1995) tutki ultraäänianturiin perustuvaa työsyvyysmittalaitetta. Siinä työsyvyyttä kontrolloitiin äkeen piikkien kulmien sekä kumisen mittapyörän avulla. Ultraäänianturi mittasi erillisen mittapyörän etäisyyttä, ja sen avulla säädettiin piikkien kulmaa. Piikkien kulman muutosta seurattiin myös ultraäänianturil-

la. Laitetta testattiin koekentällä, jossa verrattiin automaattista säätöä normaaliin rikkaäestykseen, jossa piikkien kulma säädettiin ennalta tiettyyn arvoon. Tarkoituksena oli selvittää, onko työsyvyydellä ja maan pinnalle jäävillä kasveilla positiivista korrelaatiota. Ajot suoritettiin nopeuksilla 2 km/h, 6 km/h ja 10 km/h. Tuloksissa havaittiin, että säädetty referenssiarvo saavutettiin kohtuullisen hyvin etenkin kevyemmällä maalajeilla. Ajettaessa nopeudella 6 km/h automaattisäädöllä oli vaikeaa säilyttää työsyvyys noin ± 2 mm tavoitellusta arvosta. Toisaalta työsyvyys ei välttämättä ole ratkaisevin tekijä rikkakasvien torjunnassa, vaan maalajin koostumus. Sen avulla voitaisiin saada tärkeää tietoa rikkakasvien torjunnasta. Myös säätimen arvojen valintaan tulisi kiinnittää enemmän jatkossa huomiota.

Scarlett (2001) esittelee artikkelissaan maataloudessa käytettäviä säätöjärjestelmiä, sekä niiden kehittämisestä. Traktorin ohjaamosta tapahtuva työlaitteiden säätäminen ja kontrollointi, sekä työkoneen ja traktorin välinen ”keskustelu” lisää työtehoa ja parantaa työn laatua. Automaatiota hyödyntäen voi traktorista ohjata työvaiheita samalla aikaa esimerkiksi paljon tarkkuutta vaativassa jyrskinkylvössä. Traktorin ja työkoneiden välistä teknologiaa pitäisi kehittää edelleen, toisaalta CAN – väylään perustuvan tiedonsiirtotekniikan yleistymisen parantaa tilannetta. Kylvölannoittimen työsyvyuden mittaamisessa tulisi keskittyä työsyvyuden vaihtelun pienentämiseen. Heegen (1993) mukaan kynnetyillä lohkoilla työsyvyuden hajonta vaihteli 6 – 11 mm ja huonoimmassa olosuhteissa lisääntyen 12 – 17 mm. Lisääntynyt työsyvyuden vaihtelu vähensi viljoilla satotavoitetta jopa 82:sta 62 prosenttiin.

Sopivan tekniikan valitseminen työsyvyuden hallintaan, riippuu oleellisesti kylvölannoittimen rakenteesta. Suurimmassa osassa eurooppalaisista kylvölannoittimissa ovat erilliset tukipyörät tai pyörästö, joiden avulla konetta hinataan. Vantaat ovat kytkettyinä kylvölannoittimeen tukivarsilla, joissa sijaitsevat myös jouset, joiden avulla vannas saadaan tunkeutumaan maahan. Vantaiden painatusta voidaan hoitaa myös hydraulisesti jousipainon lisänä (Kuva 9). Tämä toimii etenkin yhtenevillä maalajeilla, mutta maalajien vaihtelu voi aiheuttaa ongelmia.



Kuva 9. Hydrauliseen säätöön perustuva vantaan painatusjärjestelmä. Kuvassa: a) pehmeä maa b) kova maa.

Weatherly ym. (1997) ottivat lähtökohdaksi työsyvyyssäädön kehittämiseen maan kosteuden tai oikeastaan kuivuuden. Laite kehitettiin istutuskoneeseen, jonka työsyvyyttä säädeltiin sen eteen asennetulla kosteusanturilla. Yleensä riittävä kosteus itämisellä löytyy yllättävänkin syvältä, joten optimaalinen istutussyvyys on yleensä kompromissi tältä väliltä. Työsyvyyssäätö istutuskoneeseen toteutettiin LVDT lineaarianturiin perustuen. Järjestelmän muut pääosat olivat kosteusanturi, proportionaaliventtiili, sylinteri ja signaalien ohjausyksikkö. Järjestelmän kehittämisessä paneuduttiin säätönopeuteen, jotta istutuskone saatiin ohjattua oikeaan syvyyteen kosteusanturin tietoon perustuen.

Lötjönen ym. (2004) kehittävät kylvölannoittimeen työsyvyuden mittajärjestelmän, joka perustui maan pintaa seuraavaan mittasukseen. Mittasuksi mittasi yhden vantaan työsyvyyttä ja mittaaminen suoritettiin kulmanmittausanturilla. Järjestelmällä suoritettiin kalibroinnit, jossa selvitettiin kuinka hyvin kulmanmittausanturi, mittaustietokone ja mittasuksi toimivat yhdes-

sä. Kalibroinnin avulla muutettiin kaavalla 3 anturin jännite korkeuden muutokseksi, joka siis vastaa vantaan työsyvyyttä. Kuvassa 10 on esitetty sivuprofiilina anturin toimintaperiaate.

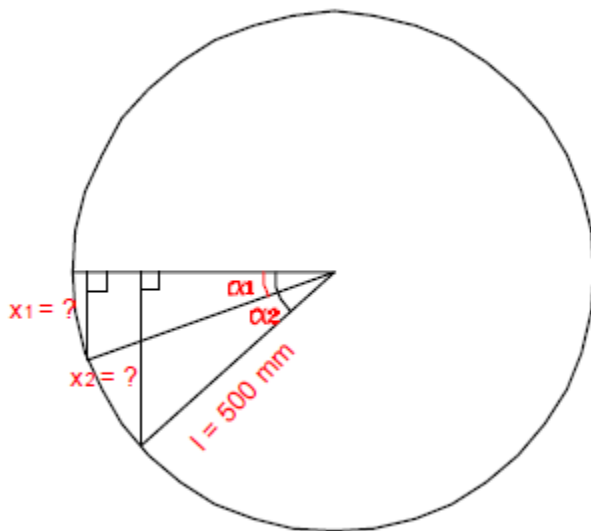
$$x = L * \sin \left(43,3 - \frac{U - 2,504}{0,143} \right) - 90 \quad (3)$$

x = työsyvyys (mm)

L = mittasuksen pituus

U = anturin mittaama jännite

Kalibroinnin tarkoituksena oli matkia pelto-olosuhteita, jonka avulla voitaisiin tehdä johtopäätökset, soveltuuko laite käytäntöön. Tuloksissa ilmeni, että mittasuksi saattaa yliarvioida maanpinnan ja saman todistivat työsyvyyskartat, joissa oli 1 – 2 cm:n ero.



Kuva 10. Kulmanmittausanturin toimintaperiaate (Lötjönen ym. 2004)

Kurjenluoma ym. (2004) tutkivat eri työkoneneiden renkaiden vaikutusta maan rakenteeseen. Maan rakenteen muutoksia tarkasteltiin mittaamalla maan kartio-indeksi (cone indeksi, CI) ja maan koheesio sekä maan kosteus. Cone indeksin mittaamiseen käytettiin penetrometriä, joka mittaa maan tunkeumapainetta (MPa). Maan hiukkasten välistä koheesiota mitattiin siipikairan avulla. Maan kosteuden määrittämiseen käytettiin maaveden dialektisyyssominaisuuksia hyödyntävällä mittarilla. Mittauksia tehtiin 2 – 3 eri syvyydestä ja mittauspaikat sijaitsivat renkaan jäljen kohdalla, jäljen vieressä ja häiriintymättömän maan alueella. Penetrometrimit-

tauksissa tarkasteltiin 10 – 20 cm syvyydeltä maan cone indeksiä ja samoin myös siipikairamittauksissa. Cone indeksin muutokset vaihtelivat vain jonkin verran eri renkaiden välillä, myös koheesion muutokset olivat samankaltaiset. Maan tiivistyminen näkyy kuitenkin hyvin mittaustulosten kasvuna.

2.9 ISO 11783 standardi (ISOBUS)

ISO 11783 kehitettiin traktorin ja työkoneen välisen tiedonsiirron tarpeisiin ja se on kansainvälisen standardointiorganisaation luoma tiedonsiirtostandardi maatalouskoneisiin. ISO 11783 standardi koostuu 13 eri osasta, jotka pohjautuvat OSI – malliin (Open Systems Interconnection). OSI – järjestelmässä on 7 eri kerrosta, kukin kerros käyttää aina alempien tasojen tietoja hyväkseen. (Benneveis 2005) ISOBUS on valmistajien yhteinen tulkinta ja ”spesifikaatio” ISO 11783 standardista. ISOBUS on ns, kaupan nimi ISO standardin mukaisille laitteille. (ISOBUS 2010)

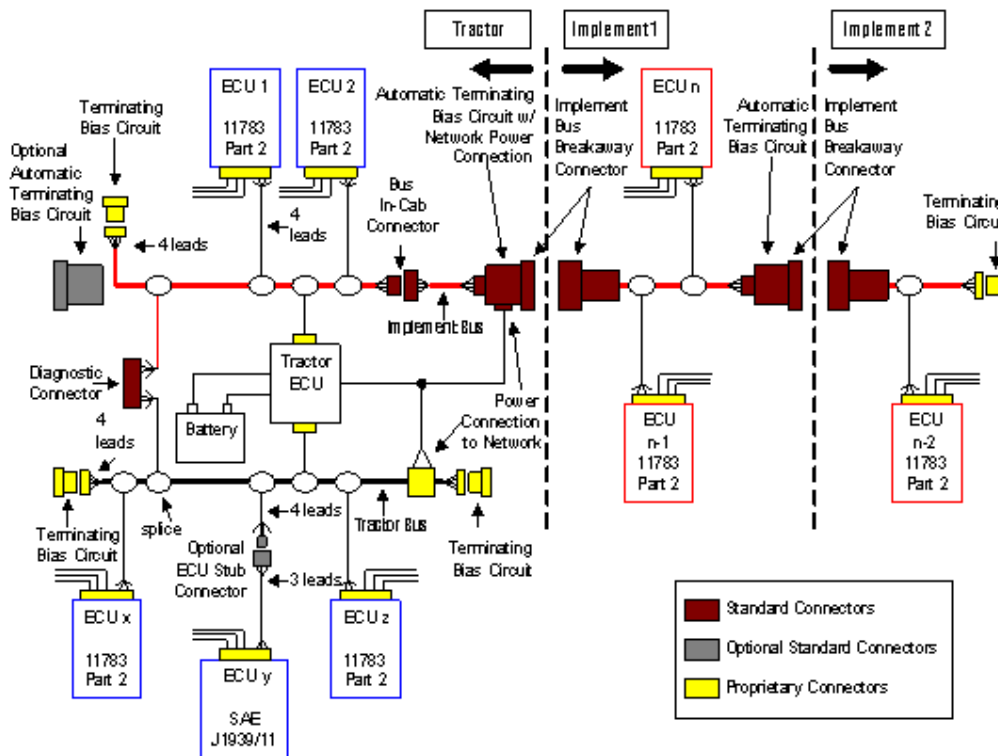
Standardin tarkoituksena on yhdenmukaistaa elektronisten järjestelmien eri osa-alueita ja helpottaa asentamista esimerkiksi lyhyiden tiedonsiirtovälien avulla. Traktoreiden ja työkoneiden lisääntyneen elektroniikan johdosta automaation hyödyntäminen onnistuu parhaiten yhdenmukaisen standardin pohjalta. Yhteisellä käyttöliittymänäytöllä (virtuaali terminaali) voidaan käyttää eri ISOBUS -standardiin pohjautuvia työkoneita. Väyläpohjainen standardiin perustuva ohjaus laskee kustannuksia. ISO 11783 standardi pohjautuu CAN (Controller Area Network) protokollaan, joka on hyvin yleinen muun muassa uusissa autoissa. (Stone ym. 1999) ISO 11783 (ISOBUS) standardin mukainen laitteisto voisi myös helpottaa automaation käyttöönottoa eri konevalmistajien välillä.

Yksinkertaisimmillaan ISOBUS traktori-työkoneyhdistelmä koostuu traktorinohjaimesta (TECU) ja työkoneohjaimesta (Working Set) sekä virtuaaliterminaalista (VT). Minimi järjestelmää on mahdollista laajentaa tehtävänohjaimella (TC), joka on linkki maatalan tiedonhallintajärjestelmän (FMIS) ja työkoneyhdistelmän välillä. ISO 11783 standardi tukee myös täsmäviljelyyn liittyviä ominaisuuksia. TC voi käskyttää työkoneohjainta esimerkiksi täsmäviljelykartin perusteella paikkakohtaisesti. (Stone ym. 1999) Työkoneohjaimesta voidaan käyttää myös termiä Implement ECU (IECU).

Traktorin ECU:t on jaettu kolmeen eri kategoriaan (class). Kategorian jaottelu perustuu minimimäärään viestejä, jotka voidaan lähettää muille ISOBUS-verkkoon liitetyille jäsenille. Class 1 kategoria käsittää viestit, joita ovat perustiedot esimerkiksi traktorin valoista, nostolaitteesta, voimanulosotosta ja erilaisista kieliparametreista. Class 2 kategoriassa ovat mukana kaikki ne viestit, jotka olivat mukana class 1:ssä. Näiden lisäksi class 2:n ominaisuuksiin kuuluvat ajan ja päivämäärän, ajosuunnan ja etäisyyden, kaikkien valojen sekä takanostolaitteen vetovastuksen viestit. Class 3 kategoriassa traktorin ECU voi ottaa vastaan viestejä työkoneen ECU:lta. Traktori ECU:n ja työkone ECU:n välisen väylän avulla voidaan ohjata traktorin hydraulikkaa, nostolaitetta tai voimanulosottoa työkoneen käskyjen perusteella. Class 3 hyödyntää myös kaikkia class 1 ja 2 kategorioiden ominaisuuksia. Lisäksi kategoriaan voidaan ylimääräisillä kirjaimilla erotella lisää ominaisuuksia. N tarkoittaa paikannustiedon hyödyntämistä ja F etunostolaitteen tietojen tukemista. (Auernhammer 2006)

Kuvassa 11 on esitettyä ISO 11783 järjestelmän väylärakenne sekä väyliä yhdistävien liittimien tyypit. Standardiliittimiä on kolmea eri mallia; katkaisuliitin, diagnostiikkaliitin ja ohjaamoliitin. Kuvasta nähdään kuinka traktoriväylä (Tractor Bus) yhdistetään työkoneväylään (Implement Bus). Vikadiagnostiikka sekä traktorin ECU on kytketty sekä traktori – että työkoneväylään.

Viestin vastaanottaminen ECU:un tapahtuu viestien prioteettitasoa tarkastelemalla. Ne viestit, joiden tärkeystaso on korkeammalla pääsevät ensiksi läpi. CAN – väyläprotokollassa viestien oikeaan järjestykseen laittaminen perustuu bittisarjan lukemiseen, josta päätellään millä tasolla viesti on tulossa. (Stone ym. 1999) Class 1 ja 2 kategorioiden viestejä hyödynnetään työkone (Implement) ECU:ssa. Class 3 kategoriassa traktorin ECU voi vastaanottaa käskyjä työkone ECU:lta.



Kuva 11. ISO 11783 standardin mukaisen järjestelmän liittimien käyttö (Bennevis 2005)

3 TYÖN TAVOITTEET

Tämän työn aihe ja tavoite muodostui Farmix-hankkeen edeltävässä tutkimusosiossa, jossa havaittiin mahdollisuus toteuttaa työsyvyysautomaatiikan työsyvyysmalli pelkästään nostosylinterin ja vantaiden mittausten perusteella. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin edellisen Farmix tutkimusosion laitteistoa, jossa Junkkari Maestro kylvölannoitin oli instrumentoitu ISOBUS – standardin mukaiseksi. Instrumentointi piti sisällään työkoneen ECU:n ja antureiden valinnan sekä asennuksen (Suomi ym 2009).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää kylvölannoittimeen ECU:un työsyvyysmalli, joka perustui vantaiden ja nostosylinterin asennon mittauksiin. Lopullinen työsyvyysmalli päivitettiin työsyvyysautomaatiikkaan TKK:n toimesta.

Työsyvyysmallin kehittämistä varten perustettiin keväällä koekenttä ja saadun aineiston pohjalta muodostettiin ensimmäinen versio työsyvyysmallista. Koekenttälohkolla kylvettiin eri nostosylinterin asennoilla ilman työsyvyysautomaatiikkaa. Kenttäkokeita varten kylvölannoittimen anturit kalibrointiin ja lopullinen työsyvyysmalli muodostui testiajoissa saatujen datojen ja kalibrointitulosten perusteella. Työsyvyysautomaatiikan testaaminen suoritettiin syyskylvöillä ja todelliset kylvösyvydet varmistettiin käsin mittaamalla.

Tutkimuksen tavoite voidaan jakaa 2 eri osa-alueeseen:

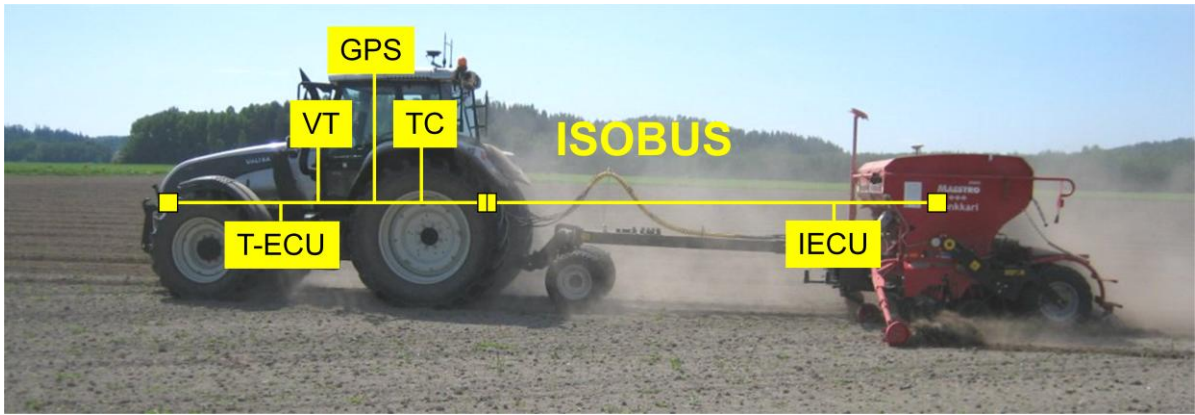
1. Voidaanko nostosylinterin asennon ja vantaiden mittausten perusteella laskea kylvölannoittimen työsyvyys?
2. Toimiiko mittausjärjestelmä, työsyvyysmalli ja säätö tavoitteen mukaisesti?

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Tutkimuksessa käytettävien laitteiden kuvaus

Kylvöyhdistelmä muodostui Valtra T190 traktorista ja Junkkari Maestro 3000 kylvölannoitimesta. Junkkari Maestro on kylvölannoitin, jolla voidaan kylvää samanaikaisesti viljaa ja lannoitetta. Maestron vantaina ovat hammastetut yksikielkkovantaat, joissa on ns. kiilajyrätyyppinen olake pitämässä työsyvyyden tasaisena. Vantaita on kaiken kaikkiaan 32 kappaletta ja ne sijaitsevat kahdessa rivissä. Riviväli on 12,5 cm ja lannoite sekä vilja kylvetään samasta vantaasta. Vannaspaino säädetään vantaan jousen asentoa muuttamalla, säädettävä vannaspainoalue on 6 – 140 kg. Vannaspainon toiminta perustuu siihen, että kun konetta lasketaan, jouset kiristyvät. Työsyvyyden säätö tapahtuu nostosylinterin pituutta muuttamalla, joita koneessa on yksi kappale. Nostosylinteri sijaitsee kylvölannoittimen takana keskellä.

Järjestelmän toiminta ja tiedonsiirto traktorin ja kylvölannoittimen välillä perustuu ISOBUS-tekniikkaan. Valtra oli instrumentoinut traktorin ISOBUS class 3 luokan ominaisuudet Farmix tutkimuksen tarpeita varten. Vastaavasti kylvölannoittimen säätöjärjestelmä on rakennettu ISO 11783 standardiin pohjautuen. Kuvassa 12 on esitettyä tutkimuksessa käytetty traktori-työkoneyhdistelmä. Traktorissa sijaitsevat VT (virtuaaliterminaali), TC (tehtävänohjain), traktorin ECU ja GPS – paikannin, sekä kylvölannoittimessa oleva IECU (työkoneohjain). Farmix-tutkimuksen aikana TKK ohjelmoi ja MTT instrumentoi kylvölannoittimen prototyyppi IECU:n, jonka ominaisuuksiin kuului mm. työsyvyyssautomatiikka. Kylvölannoittimen IECU voi käskyttää traktorin ECU:a ISOBUS – väylän kautta esimerkiksi pyytämällä hydraulikalta lisää öljyä (class 3) kylvölannoittimen nostoon.



Kuva 12. Valtra T190 traktorin ja Junkkari Maestro kylvölannoittimen ISOBUS - järjestelmän rakenne (Suomi ym. 2009)

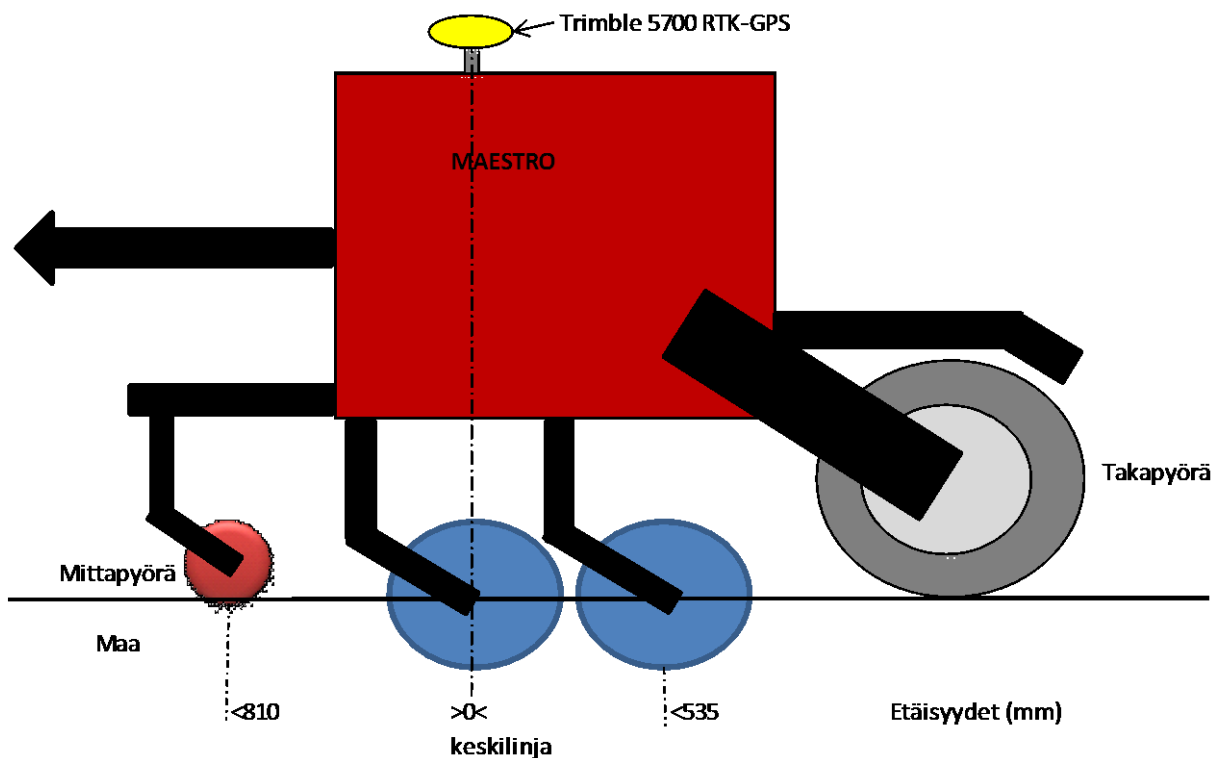
Kylvölannoittimen mittausjärjestelmän antureina olivat vantaissa sijaitsevat Blade 60 mm lineaarianturit, joita oli kolme kappaletta. Vantaiden anturit olivat asennettuna vasemmalta lukien 5:een, 12 ja 27:een vantaaseen. Anturin toiminta perustui kosketuksettomasti liukuvan U – muotoisen *aktivaattorin* (eng. activator) tunnistamiseen anturin pinnalla (Kuva 13). Ulostuleva viesti luetaan jännitteenä, joka muutetaan kalibrointiarvojen perusteella vantaan työsyvyudeksi (mm). Neljäs anturi oli rungossa sijaitseva lineaarianturi, joka mittasi rungon aseman suhdetta takapyörästäön sekä nostosylinterin asentoa (sylinterin iskunpituutta).



Kuva 13. Blade 60 mm lineaarianturi (Gillsensors 2009)

Tiedon käsittelyyn ja laitteiston ohjaamiseen käytettiin Panasonic Toughbook CF-18 kannettavaa tietokonetta, joka sijaitsi traktorin ohjaamossa. Antureilta tuleva jännite siirrettiin National Instrument's Usb-6009 tiedon keruukorteille, joista data siirrettiin tietokoneelle. Mittaustaajuutena käytettiin läpi testien 50 Hz. GPS – paikantimena käytettiin Trimble 5700 RTK – GPS:ää, jonka dynaamiseksi tarkkuudeksi luvataan 20 mm (Trimble 2010). Laite oli sijoitet-

tuna kylvölannoittimen päällä ensimmäisen vannasrivin keskikohdalle sekä leveysuunnassa koneen keskelle (Kuva 14). (Suomi ym. 2009) Todellisen kylvösyvyyden mittaaminen oraista suoritettiin ensimmäisen vannasrivin kohdalta ja mittauspaikka voitiin paikantaa gps-koordinaattien perusteella tiedostosta.



Kuva 14. Junkkari Maestron sivukuva ja vantaiden etäisyydet keskilinjasta

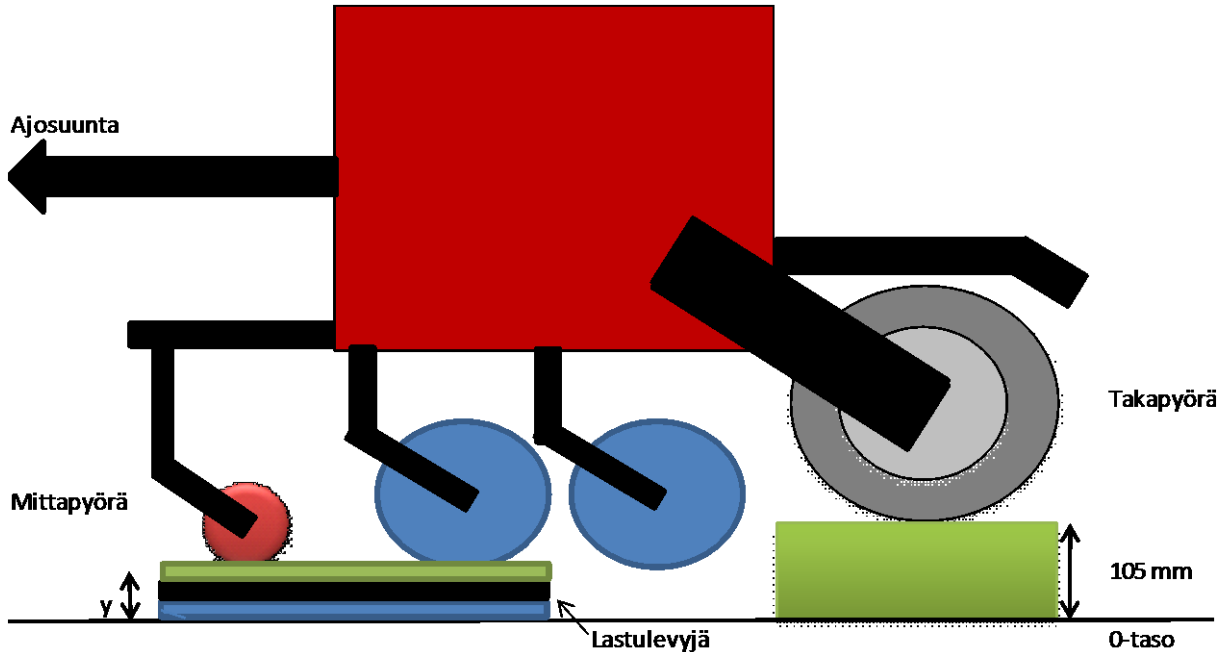
4.2 Antureiden kalibroinnit

Kenttäkokeiden vaatimat antureiden kalibroinnit suoritettiin sisäolosuhteissa MTT Vakolassa Vihdissä. Kalibrointien avulla jännite muutettiin työsyvyyksmallin vaatimiksi parametreiksi (mm). Uusintakalibroinneilla varmistettiin, etteivät mittausjärjestelmän arvot olleet muuttuneet kenttäkokeiden aikana.

4.2.1 Vannasanturit

Kalibroinnit suoritettiin tasaisella hallin lattialla. Kylvölannoitin jyräpyörästä ja välipakkeri nostettiin 105 mm korkeudelle hallin lattian pinnasta. Hallin lattia nimettiin 0-tasoksi (Kuva 15). Vantaiden kalibroinneissa kylvölannoitin asetettiin kalibrointiasentoon, jossa nostosylinteriä oli avoinna 24 mm ja kone oli säädetty vakaasuoraan koneen aisalla sijaitsevalla työntö-

varrella. Vantaiden kalibroinneissa vantaiden alle laitettiin lastulevyjä asteittain 0 -14 kpl 0 -tasosta, jolloin kalibrointialueeksi muodostui 0 – 121 mm. Anturin antama jännite mitattiin noin 10 sekunnin ajan jokaisen levyn kohdalla.



Kuva 15. Kalibroinnin periaate. Jyräpyörästä ja välipakkeri (ei näy kuvassa) nostettuna 105 mm korkeudelle hallin lattiasta (0-tasosta). Vantaiden alle laitettiin lastulevyjä ja mitattiin antureiden jännite 10 sekunnin ajan

Vantaiden kalibrointi-arvojen tuloksista muodostettiin kolmannen asteen polynomifunktio (Kaava 4), koska vantaan tukivarren liike ei ole lineaarinen ja anturi havaitsee kulmassa tapahtuvan liikkeen. Yhtälö on muotoa:

$$y = -ax^3 + bx^2 - cx + d \quad (4)$$

y = vantaiden etäisyys 0 – tasosta (mm).

x = vantaan anturin jännite (V).

a , b , c ja d = vakioita

4.2.2 Nostosylinterianturi

Nostosylinterin kalibroinnit suoritettiin siten, että nostosylinterin asentoa muutettiin portaittain ja jokaisen asennon kohdalta mitattiin vantaiden etäisyys 0 – tasoon (hallin lattiaan) vantaiden ollessa vapaana ilmassa. Samalla mitattiin anturin jännite noin 10 sekunnin ajan. Kun kylvölannoittimen asemaa muutetaan kalibrointiasennosta (nostosylinteri auki 24 mm), etummaisesta ja takimmaisesta vantaan etäisyys 0-tasosta ei muutu samassa suhteessa. Nostosylinterin asennon ollessa pisimmillään, kone on hieman eteenpäin kallellaan. Kalibrointikuvaajaan sovitettiin lineaarista mallia (Kaava 5).

$$y_1 = ax + b \tag{5}$$

y_1 = vantaiden etäisyys 0 - tasoon (mm).

x = nostosylinterin anturin jännite (V).

a ja b = vakioita.

Kalibrointien ohessa mitattiin kylvölannoittimen rungon asema hallin lattiaan nähden. Mittauksilla haluttiin varmistaa, että kylvölannoitin on suorassa hallin lattian suhteen. Mittaukset suoritettiin rullamitalla ja mittauspaikat olivat merkittävänä kylvölannoittimeen, jolloin mittauspiste oli joka kerralla sama. Mittaukset tehtiin koneen vasemmasta ja oikeasta reunasta.

4.3 Kenttäkokeet

4.3.1 Datan keruu työsyvyysmallin kehittämistä varten

Keväällä 2008 toteutettiin kenttäkoe, jossa kerättiin aineistoa työsyvyysmallin kehittämistä varten. Koekenttä kylvettiin siten, että nostosylinterin asento mitattiin manuaalisesti mittanauhalla ja kylvö suoritettiin ilman työsyvyysautomaattia. Testiajot suunniteltiin niin, että nostosylinterin eri asennot saatiin järkevällä porrastuksella käytyä läpi, jolloin teoreettiset työsyvyudet olisivat olleet 20 – 70 mm. Nostosylinterin asento mitattiin sylinterin männän varresta.

Kuvissa 16 ja 17 on esitetty lohkon koejärjestelyt. Kenttäkoe tehtiin Kirjava loholla, joka oli tasausäestetty. Varsinaista kylvömuokkausta ei suoritettu maalajin pehmeiden vuoksi. Loh-

kolle kylvettiin Annabell mallasohraa 240 kg hehtaarille, jolloin siemenväli oli 1,7 cm. Testiajajonon ajonopeus oli 10 km/h ja kylvölannoittimen vannaspaino oli säädettyinä täydelle (140 kg). Kirjavan lohko kylvettiin 23.5.2008.

Nostosylinterin asento

6. Max / 0

7. 11 mm

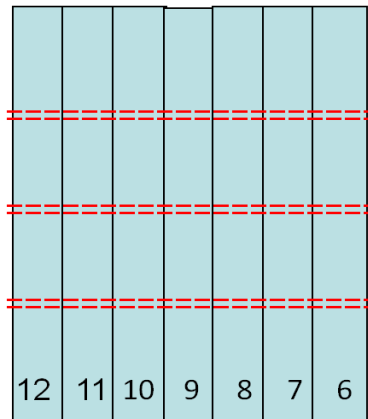
8. 20 mm

9. 25 mm

10. 30 mm

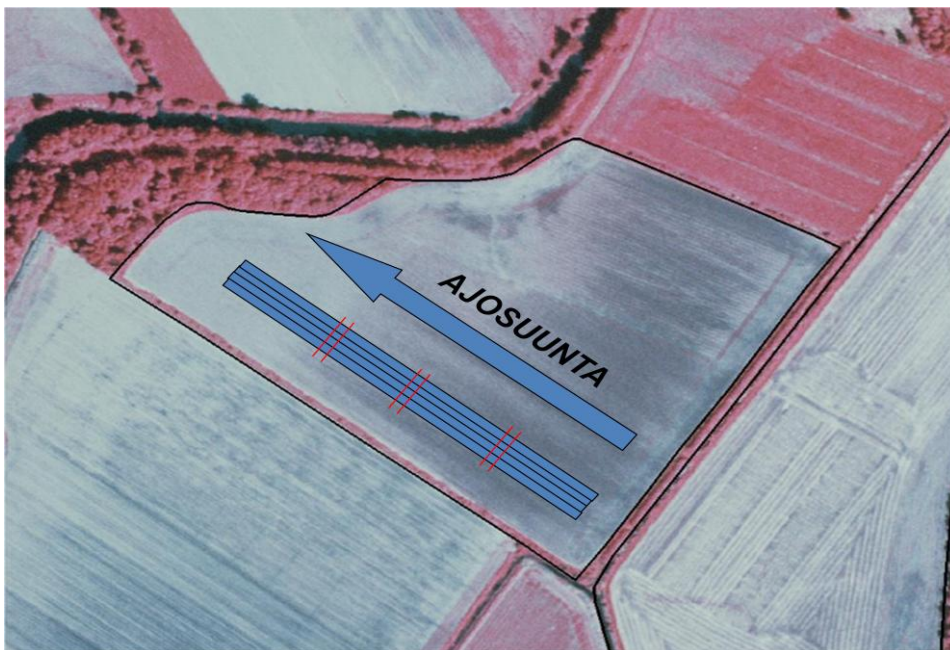
11. 40 mm

12. 50 mm



=, Todellisen työsyvyyden mittauskohdat

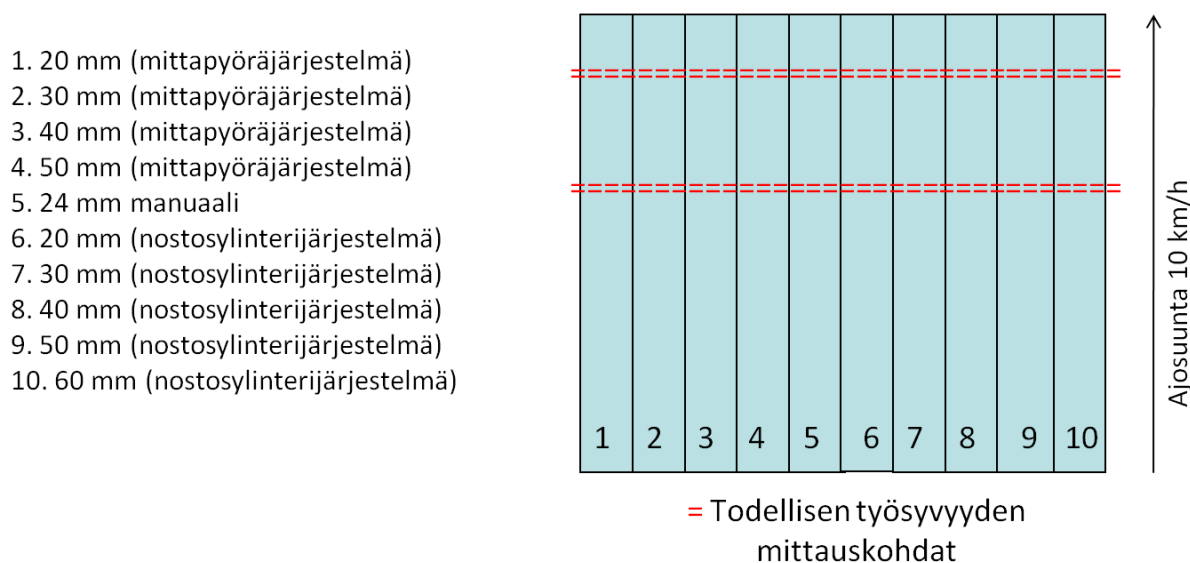
Kuva 16. Kirjava lohkon koekentän testiajokaavio



Kuva 17. Kirjavan koekenttälohkon havainnekuva

4.3.2 Työsyvyysautomaatiikan kenttäkokeet

Nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuvaa työsyvyysautomaatiikkaa (nostosylinterijärjestelmä) testattiin syksyllä 2008 Koulutila lohkolle 17.9.2008. Samassa kenttäkokeessa testattiin myös Suomi ym. 2009 kehittämällä mittapyörän ja vantaiden mittauksiin perustuvalla työsyvyysautomaatiikalla (mittapyöräjärjestelmä) (Kuva 18). Molemmilla malleilla kylvettiin 20, 30, 40 ja 50 mm tavoitesyvyyteen, lisäksi kylvettiin väliin manuaalijono nollaruuduksi 24 mm nostosylinterin asennolla, ilman työsyvyysautomaatiikkaa. Lohkolle kylvettiin Urho syysvehnää 240 kg hehtaarille ja ajonopeutena oli 10 km/h. Lohko oli ollut avokesanolla kesällä 2008 ja syksyllä suoritettiin vain kylvömuokkaus äkeellä noin 60 millimetriin. Lohko äestettiin normaalia syvempään, jotta koekentän olosuhteet olisivat tasaiset joka kohdassa. Koekentän sijaintia jouduttiin tarkastelemaan hieman tarkemmin, koska lohkon alapäässä oli märkää erittäin sateisen alkusyksyn johdosta.



Kuva 18. Koulutila lohkon ajot

4.4 Todellisen kylvösyvyyden mittaaminen ja mittauspisteen paikantaminen datasta

Todellinen kylvösyvyys mitattiin viivoittimella oraiden maanpinnan alapuolella olevasta oraan vaaleammasta osasta (Kuva 19). Tuloksia käytettiin referenssinä sille, kun verrattiin laskennallista työsyvyyttä todelliseen pellolta mitattuun arvoon. Oraat mitattiin 2 m matkalta ja oraiden mittausväli oli 100 mm, jolloin saatiin 20 kpl näytteitä. Todellinen kylvösyvyys

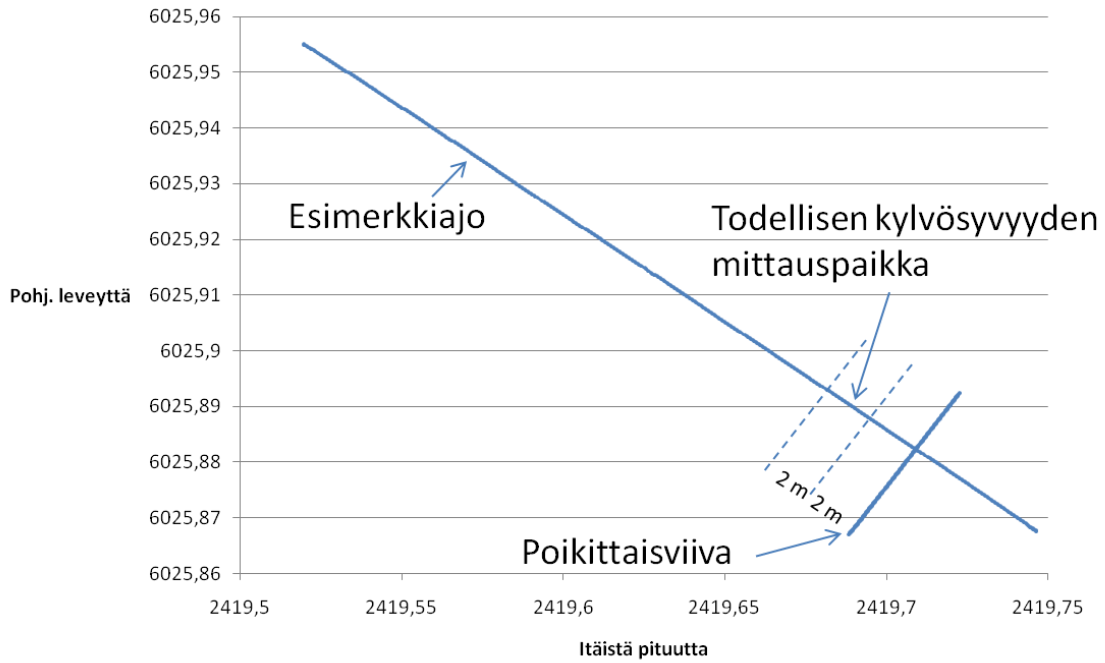
mitattiin vasemman eli viidennen vantaan kohdalta. Kylvösyvydellä tarkoitetaan sitä, missä syvyydessä siemen on ja työsyvydellä tarkoitetaan vantaan alareunaan mitattua työsyvyyttä.



Kuva 19. Todellisen kylvösyvyyden mittaaminen

Todelliset kylvösyvyydet mitattiin Kirjavassa 19.6.2008, jolloin mitattiin testiajot 6 - 11 ja testiajo 12 mitattiin vasta 7.7.2008, koska alkukesän kuivuuden takia pinnassa olleet jyvät itivät huomattavasti myöhemmin. Koulutila lohkolta oraat mitattiin 10.11.2008. Oraiden mittaaminen aloitettiin silloin, kun ne saatiin nostettua kokonaisuudessaan maasta ylös. Kylvösyvyyden mittaaminen oraista edellyttää, että oraat ovat kasvaneet riittävän pitkäksi. Jos oras on liian pieni, sitä ei saa otettua maasta irti ehjänä. Toisaalta oraat eivät saa kasvaa liian pitkäksi, koska juuret ovat kasvaneet liian suuriksi ja kylvösyvyyden mittaustulos ei ole enää tarkka.

Pellolla olevien mittauspisteiden paikantaminen datasta perustui koekentälle ajettuun poikittaisviivan (Kuva 20). Kylvölannoittimessa olevan GPS:n avulla voitiin kerranneajon ja poikittaisajon koordinaattien perusteella piirtää kuvaaja, josta leikkauspiste voitiin määrittää. Mittauspiste määritettiin pellolle siten, että aluksi mitattiin 2 m poikittaisviivasta (renkaiden painamien jälkien takia), jonka jälkeen kahdelta seuraavalta metriltä mitattiin oraat. Datasta 2 metrin mittainen pätkä voitiin paikantaa tiedostosta mittaustaajuuden perusteella, joka oli 50 Hz. Jos kylvönopeus on tasan 10 km/h, niin silloin 2 m:n matkaan kuluu 0,72 s. 2 m matka tarkoittaa siis 36 mittapistettä (Hz).



Kuva 20. Todellisten kylvösvyyksien mittauspisteen paikantaminen GPS – koordinaattien avulla

4.5 Maan rakenneominaisuuksien mittaaminen

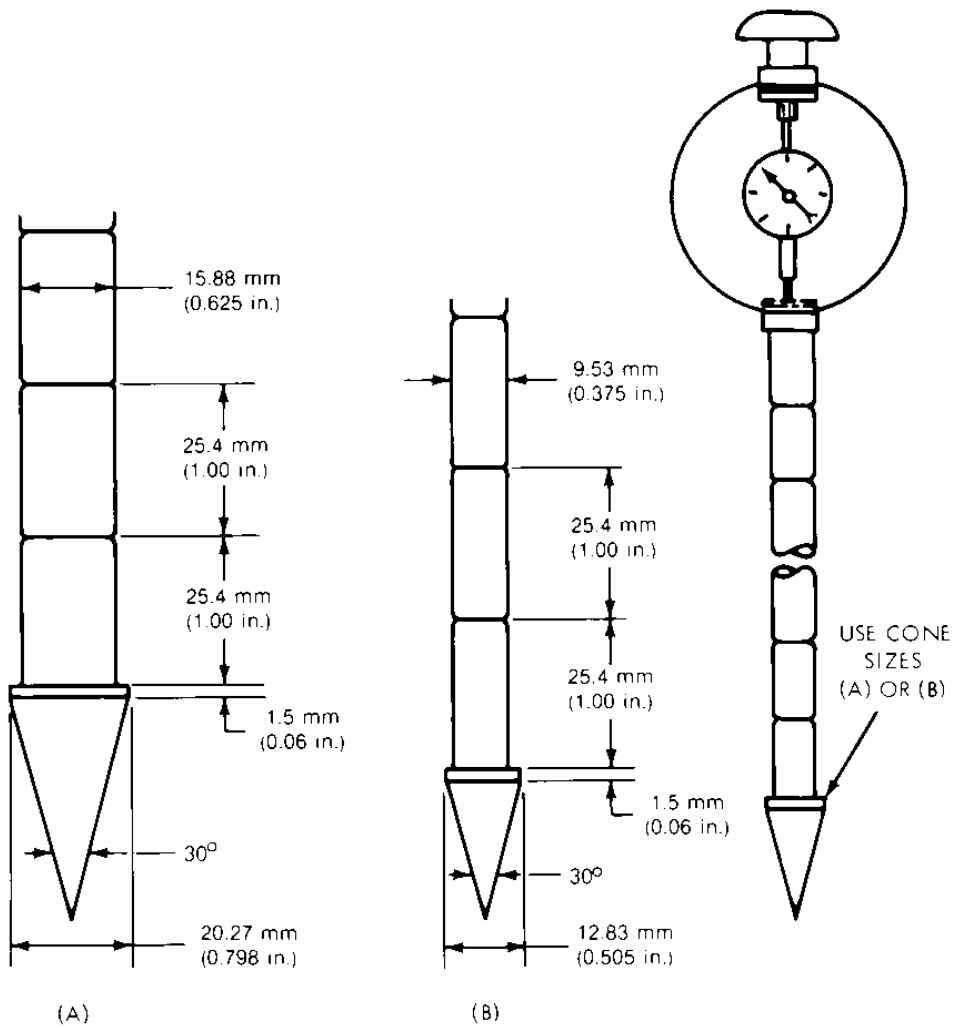
Koekentiltä mitattiin maan rakenneominaisuuksia sekä penetrometrillä että siipikairalla. Penetrometrinä oli Agroteknologian laitoksen Eijkelkamp 06.15, jossa on tulosten tallennus mahdollisuus. Tallennusta ei kuitenkaan mittauksissa käytetty. Penetrometrillä mitataan kartion tunkeumapaine eli cone index. Mittalaite oli standardin ASAE S313.2 mukainen (ASAE 1994). Kartion maahan työntämiseen tarvittava paine saadaan laskettua kaavalla 7. Mittauksissa kartion halkaisija oli 12,83 mm, joka on esitetty kuvassa 21 ja kohdassa b.

$$P = \frac{F}{A} \quad (7)$$

P = paine (Pa).

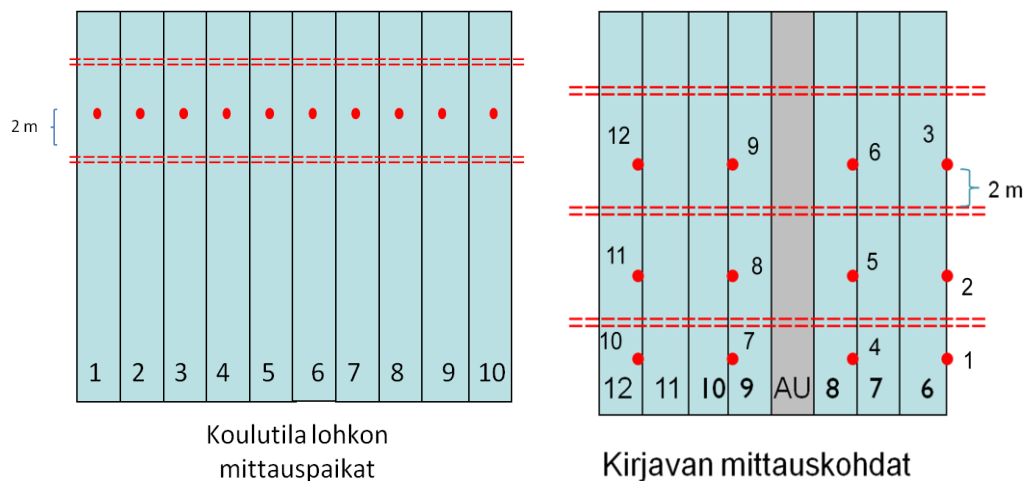
F = voima (N).

A = pinta-ala (m²)



Kuva 21. Penetrometri ja eri kartioiden mitat (ASAE 1994)

Kirjava lohkolta mitattiin penetrometrillä ja siipikairalla samalta mittauspaikalta (Kuva 22). Koulutila lohkolta mitattiin pelkästään penetrometrillä (Kuva 22). Siipikairamittaukset Kirjavan lohkolla tehtiin 13.6.2008. Mittaukset tehtiin 12 eri pisteestä koekentältä (Kuva 22). Kirjavan lohkon koheesiomittaukset tehtiin siten, että yhden pisteen koheesion mittaus on keskiarvo kahdesta ajosta. Pisteet 1, 2 ja 3 ovat ajosta 6 mitattuja. Pisteet 4,5 ja 6 liittyvät ajoihin 7 ja 8. Pisteet 7, 8 ja 9 liittyvät ajoihin 9 ja 10. Pisteet 10, 11 ja 12 liittyvät ajoihin 11 ja 12.



Kuva 22. Koulutila ja Kirjava lohkojen maan rakenteen mittauspaikat merkitty punaisella pisteellä

Maan koheesion mittaukset tehtiin Geonor H-60 siipikairalla. Taulukossa 4 on esitettyä siiven koon vaikutuksen koheesioon, jolloin tuloksista saadaan kilopascaleita. Mittauksissa käytettiin 20 x 40 mm kokoista siipeä, jolloin lukema oli suoraan kPa (kerroin 1). Kairan mittaskaala on 0 – 200 kPa. (Geonor 2009) Mittaukset suoritettiin kahdesta eri syvyydestä 0 – 5 cm:iin sekä 5 – 10 cm:iin ulottuvalla alueella.

Taulukko 4. Siipikairan lukeman muuntokertoimet (kPa) (Geonor 2009).

Siiven koko	lukema kerrottuna = arvo kPa
16 x 32 mm	2
20 x 40 mm	1
25,4 x 50,8 mm	0,5

5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

5.1 Kalibrintitulokset

Kalibrointien tarkoituksena oli selvittää vantaiden antureiden sekä nostosylinterin anturin kalibrointikäyrät, joiden avulla anturin jännite voitiin muuttaa vantaan työsyvyydeksi. Näiden tulosten perusteella saatiin muodostettua koko kylvölannoittimen työsyvyys.

Taulukossa 5 on esitetty kylvölannoittimen rungon vasemman ja oikean reunan etäisyydet hallin lattiaan nähden. Kylvölannoittimen rungon vasemman puolen etäisyys hallin lattiaan oli kevään mittauskerroilla hieman suurempi kuin oikean puolen. Kirjava lohkon kylvöä edeltäneissä mittauksissa (mittaus 5) rungon vasemman ja oikean reunan erotus oli 8 mm ja lohkon kylvön jälkeen tehdyissä mittauksissa (mittaus 6) erotus oli 9 mm. Ennen syyskylvöjä tehdyissä mittauksissa (mittaus 7) rungon oikea reuna oli kuitenkin ylempänä kuin vasen reuna. Vasen vannas oli jokaisella mittauskerralla muutaman millimetrin korkeammalla kuin keskimäinen ja oikea vannas hallin lattiaan mitattuna.

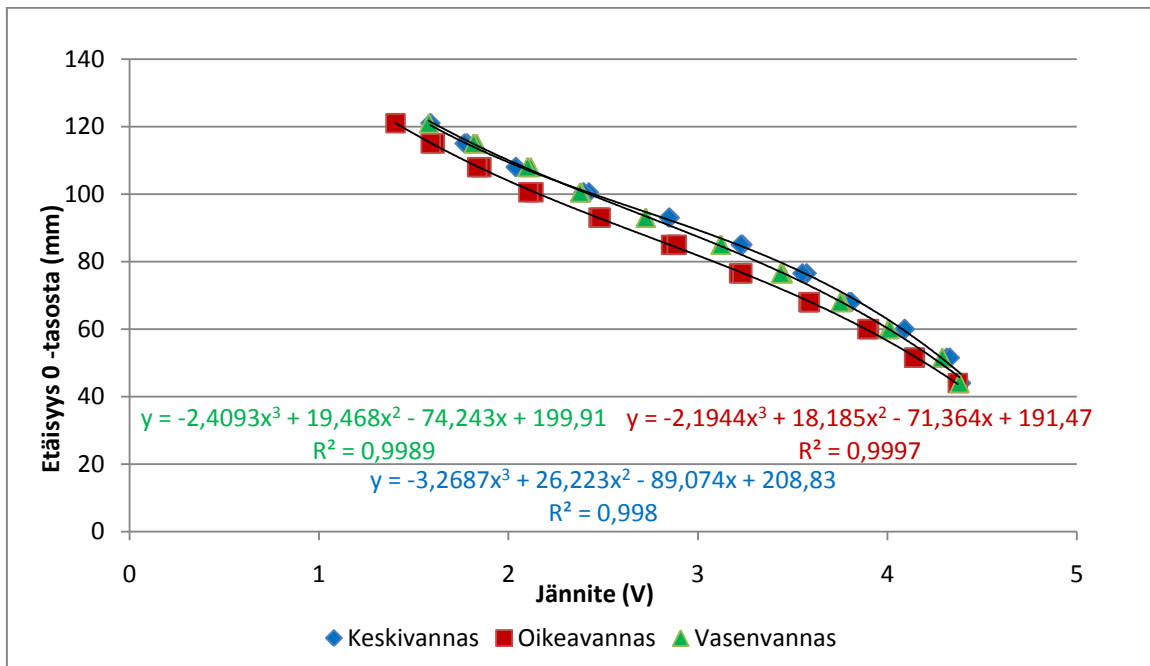
Taulukko 5. Kylvölannoittimen rungon vasemman ja oikean reunan sekä vantaiden etäisyydet hallin lattiaan nähden (mm)

Mittauskerta	1	2	3	4	5	6	7
Nostosylinterin asento (mm)	23	22	21	22	24	24	24
Runko vasen	518	512	509	512	519	518	523
Runko oikea	510	504	501	503	511	509	526
Vasen vannas	48	43	40	44	49	49	
Keski vannas	47	43	38	41	48	47	
Oikea vannas	44	39	36	40	45	45	

1. Säiliössä siementä 600 kg ja lannoitetta 650 kg. Mitattu 20.5.2008.
2. Säiliössä siementä 600 kg ja lannoitetta 1300 kg. Mitattu 20.5.2008.
3. Säiliössä siementä 1200 kg ja lannoitetta 1300 kg. Mitattu 20.5.2008.
4. Säiliössä siementä 600 kg ja lannoitetta 1300 kg. Mitattu 20.5.2008.
5. Mitattu 23.5.2008 ennen Kirjavan lohkon kylvöä.
6. Mitattu 26.5.2008 Kirjavan lohkon kylvön jälkeen.
7. Mitattu 11.9.2008 ennen syyskylvöä.

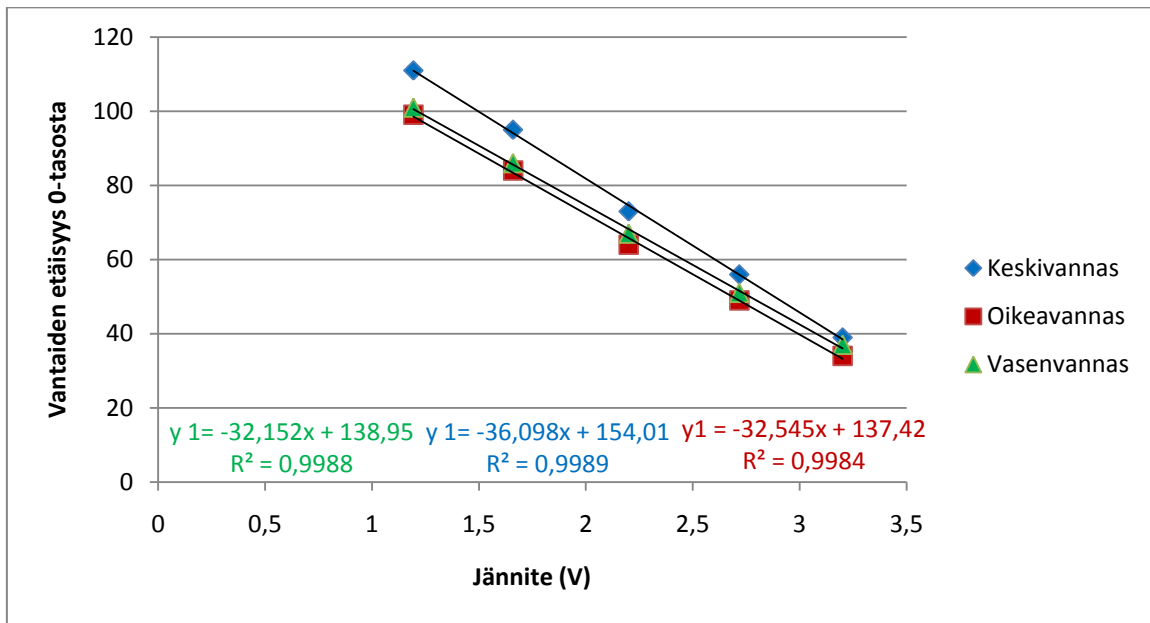
Kuvasta 23 nähdään, että vantaiden kalibrointikäyrät kulkevat hyvin lähellä toisiaan. Ainoastaan oikean vantaan käyrä on jonkin verran matalammalla verrattuna vasempaan ja keskim-

mäiseen vantaaseen. Oikean vantaan ero muihin vantaisiin oli joitakin millimetrejä (< 10 mm) läpi kalibrointialueen.



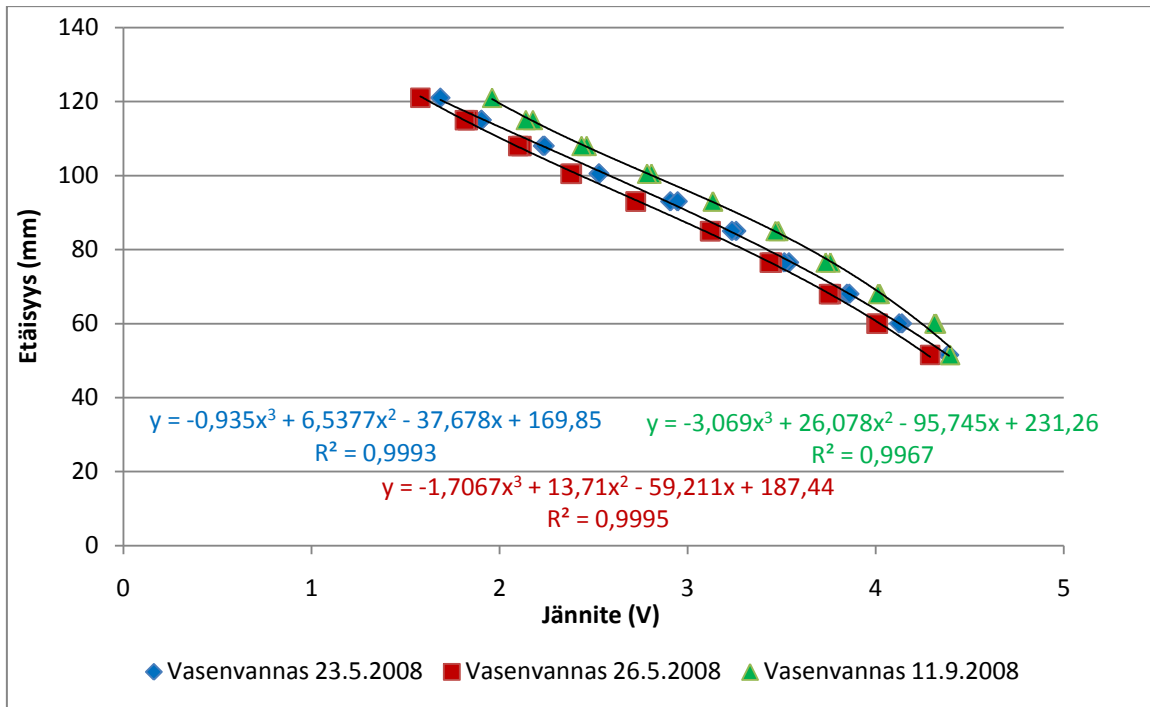
Kuva 23. Vantaiden kalibroinnit 26.5.2008

Kuvassa 24 on esitetty nostosylinterin asennon perusteella tehdyt vantaiden kalibrointikuvaajat. Keskimmäisen vantaan käyrä oli jonkin verran etäämmällä verrattuna muiden vantaiden käyriin. Nostosylinterin iskunpituuden kasvaessa ero suureni entisestään. Tämä johtui siitä, että kylvölannoitin oli säädetty vaakatasoon nostosylinterin asennolla 24 mm.



Kuva 24. Nostosylinterin kalibrointi 20.5.2008, jossa mitattiin vantaiden etäisyydet 0 – tasoon eri nostosylinterin asennoilla sekä mitattiin nostosylinterin anturin jännite 10 sekunnin ajan jokaisella nostosylinterin asennolla

Syksyllä vantaiden kalibrointeja tehtiin vain ennen syyskylvöjä, koska keväällä havaittiin, ettei kalibrointikäyrissä ole suuria eroja (<10 mm). Kuvasta 25 nähdään, että keväällä tehdyissä kalibroinneissa vasemman vantaan kalibrointikäyrät kulkevat melkein samassa linjassa. Syksyn kalibroinneissa vasemman vantaan käyrä oli suurimmillaan 10 mm korkeammalla verrattuna muihin vantaisiin läpi kalibrointialueen. Tähän vaikuttaa se, että kylvölannoittimen säiliössä ei ollut yhtä paljoa siementä kuin keväällä, sekä koneen runko oli nyt suorassa linjassa (Taulukko 5).



Kuva 25. Vasemman vantaan kalibrointikäyrien yhteenveto

Lopullisessa työsyvyysmallissa päädyttiin käyttämään vantaiden osalta 26.5.2008 tehtyjen kalibrointien yhtälöitä. Nostosylinterin anturin kalibrointien perusteella käytettiin 19.5.2008 suoritettujen kalibroinnin arvoja. Selitysasteiden (R^2) perusteella käyrät selittävät x:n ja y:n muutokset mahdollisimman hyvin. Kalibroinneissa saadut vantaiden polynomifunktiot ja nostosylinterin lineaariregressiot sekä selitysasteet on esitetty seuraavana.

Vantaiden kalibroinnit 26.5.2008.

$$\text{Vasen vannas } y = -2,409x^3 + 19,46x^2 - 74,24x + 199,9 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Keski vannas } y = -3,268x^3 + 26,22x^2 - 89,07x + 208,8 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Oikea vannas } y = -2,194x^3 + 18,18x^2 - 71,36x + 191,4 \quad R^2 = 0,999$$

Nostosylinterin asennon perusteella tehdyt vantaiden kalibroinnit 19.5.2008.

$$\text{Vasen vannas } y_1 = -32,15x + 138,9 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Keski vannas } y_1 = -36,09x + 154,0 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Oikea vanna } y_1 = -32,54x + 137,4 \quad R^2 = 0,998$$

Kylvölannoittimen säiliön täyttöaste vaikuttaa kalibrointituloksiin. Koska runko painuu alemmas ja se vaikuttaa vantaan työsyvyyteen. Jos kylvölannoittimen säiliöön asennettaisiin paineanturit, niiden avulla voitaisiin määrittää säiliössä oleva siementen ja lannoitteen massa.

5.2 Nostosylinterin ja vantaiden asentoon perustuva työsyvyyden laskentakaava.

Kylvölannoittimen työsyvyys muodostuu vantaiden työsyvyyksistä pellolla (vantaiden mitta-
us) sekä vantaiden asemista kalibrointitilanteessa (nostosylinterin mitta-
us) (Kuva 26). Van-
taan työsyvyys lasketaan siten, että kalibrointiyhtälöllä määritetään vantaan etäisyys 0 – ta-
soon (y). Tästä vähennetään vakio (K), joka tarkoittaa vantaiden etäisyyttä 0 -tasoon, kun nos-
tosylinteri oli 24 mm auki kalibrointiasennossa. Tulos lisätään nostosylinterin asennon perus-
teella laskettuun vantaan (vanna vapaana kalibrointitilanteessa) etäisyyteen 0 – tasosta (y_1).
Korjauskerroin (I) jouduttiin muodostamaan, koska todellisella kylvösyvyydellä ja laskennal-
lisella työsyvyydellä oli eroja. Kun vantaan etäisyys 0-tasosta on laskettu vantaan ja nos-
tosylinterin mittausten perusteella, vähennetään tuloksesta kalibroinneissa oleva korokkeen
etäisyys (105 mm) 0 -tasosta, jolloin vantaan työsyvyys ($C1_y$) saadaan määritettyä. Työsy-
vyyskaava olettaa, että pellon pinta on jyräpyörästön alapinnassa. Vantaan työsyvyyden las-
kentakaava on esitetty kaavassa 8.

$$C1_y = 105 - (y - K + y_1 - I) \quad (8)$$

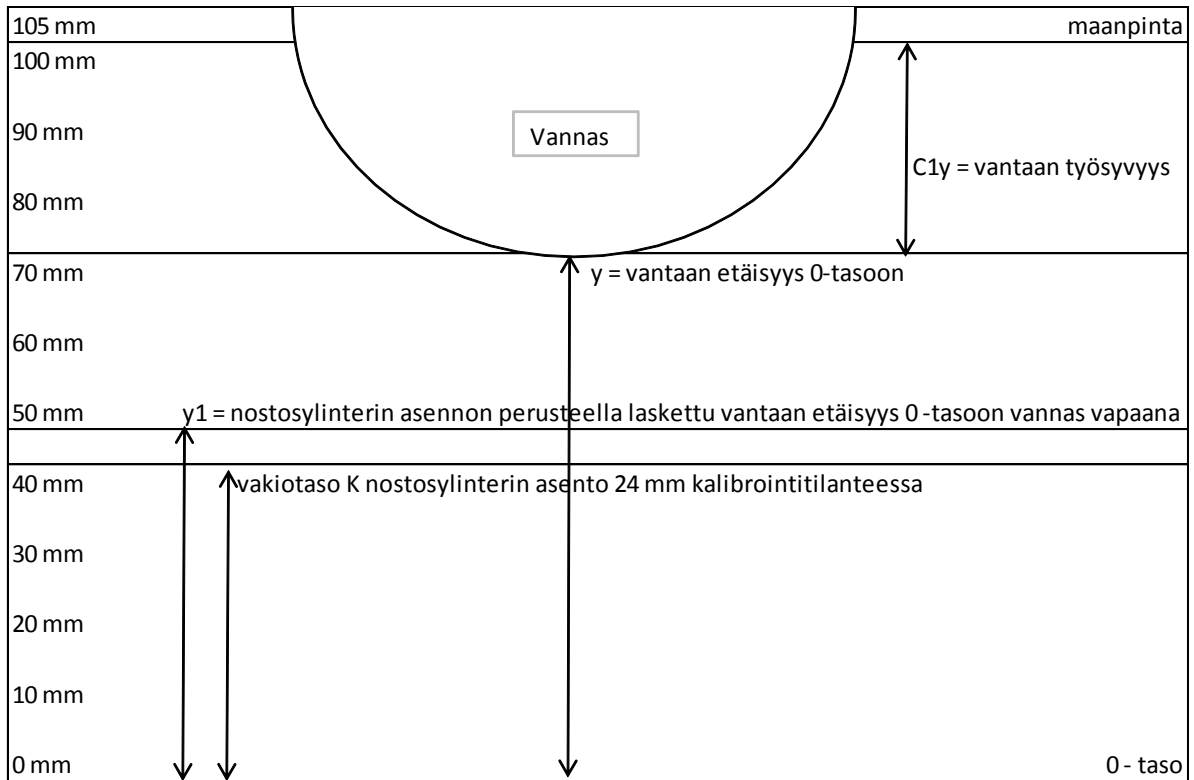
$C1_y$ = vantaan työsyvyys (mm).

y = vantaiden etäisyys kalibrointi 0 – tasoon nähden (mm).

K = vakio, vantaiden etäisyys 0 – tasoon kalibrointitilanteessa (mm) nostosylinterin asento 24 mm.

y_1 = nostosylinterin asennon perusteella laskettu vantaiden etäisyys kalibrointi 0 – tasoon nähden vanna vapaana (mm).

I = korjauskerroin (mm).



Kuva 26. Havainnekuva työsyvyyden laskennasta

Seuraavassa on esitettyinä vantoita koskevat kaavat ($C1_y$, $C2_y$ ja $C3_y$) kalibrointiyhtälöineen, sekä nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuva työsyvyyskaava (C_y):

$$C1_y = (105 - ((a_3 V_1^3 + a_2 V_1^2 + a_1 V_1 + a_0) - K_1 + (b_1 V_4 + b_0))) - (g_3 V_4^3 + g_2 V_4^2 + g_1 V_4 + g_0)$$

$$C2_y = (105 - ((c_3 V_2^3 + c_2 V_2^2 + c_1 V_2 + c_0) - K_2 + (d_1 V_4 + d_0))) - (g_3 V_4^3 + g_2 V_4^2 + g_1 V_4 + g_0)$$

$$C3_y = (105 - ((e_3 V_3^3 + e_2 V_3^2 + e_1 V_3 + e_0) - K_3 + (f_1 V_4 + f_0))) - (g_3 V_4^3 + g_2 V_4^2 + g_1 V_4 + g_0)$$

$$C_y = \frac{C1_y + C2_y + C3_y}{3} + H$$

$$C_y = \text{kylvölannoittimen työsyvyys} \quad V_1 = \text{jännite vasen vannas}$$

$$C1_y = \text{vasemman vantaan työsyvyys} \quad V_2 = \text{jännite keski vannas}$$

$$C2_y = \text{keskimmäisen vantaan työsyvyys} \quad V_3 = \text{jännite oikeavannas}$$

$$C3_y = \text{oikean vantaan työsyvyys} \quad V_4 = \text{jännite nostosylinteri}$$

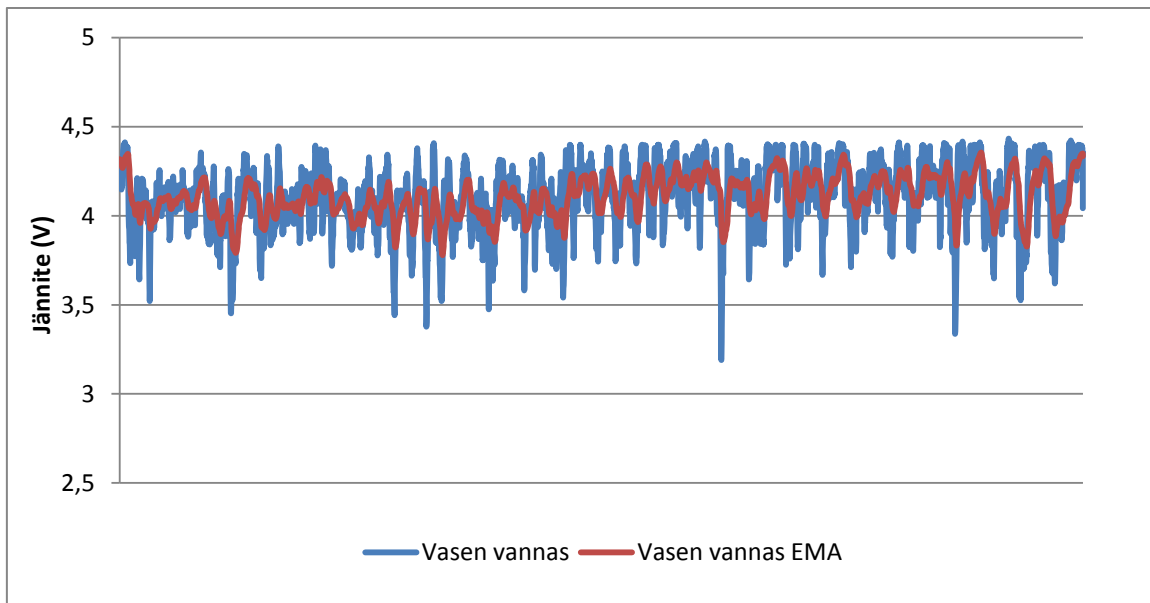
$$K_1 = 45,5 \quad K_2 = 46,9$$

$K_3 = 43,1$ H =korjausparametri

a, b, c, d, e ja g = kertoimia, jotka saatiin kalibroinneissa

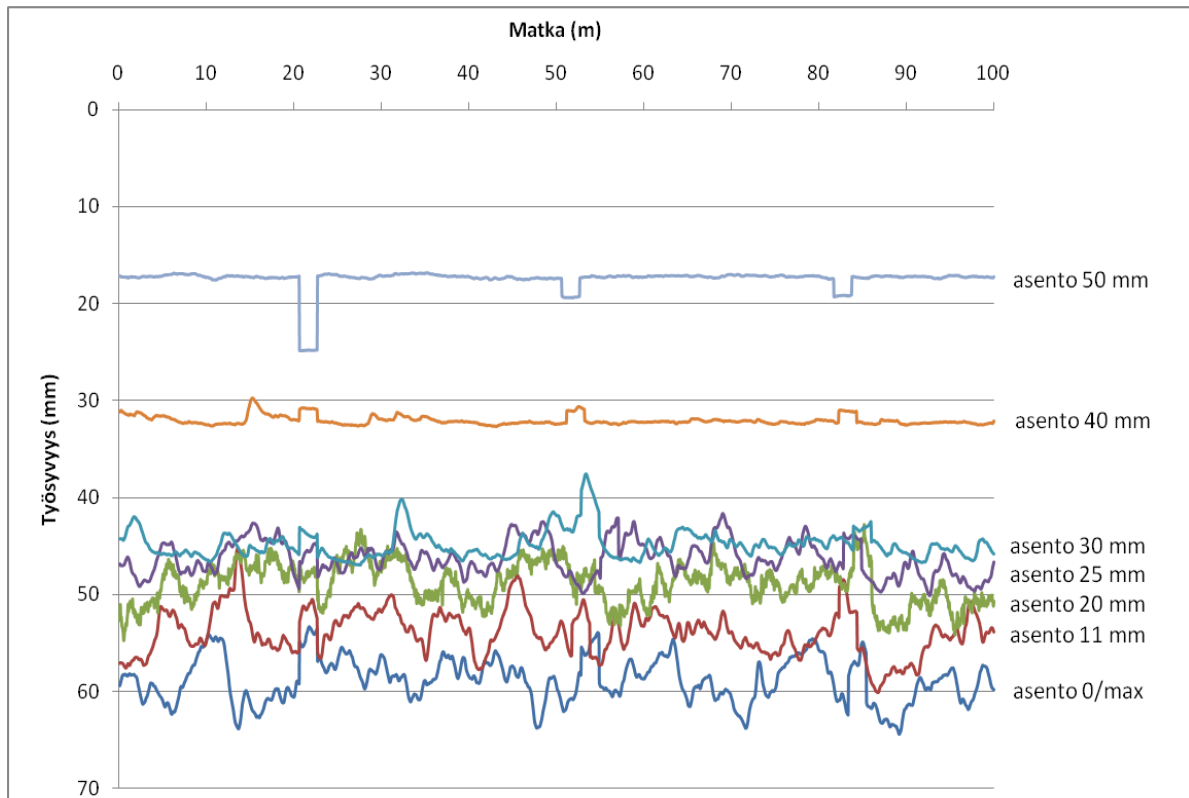
5.2.1 Kirjava lohkon testiajojen perusteella lasketut työsyvyyydet

Ensisijaisesti Kirjava koekenttälohkolta (Luku 4.3.1 Datan keruu työsyvyysmallin kehittämistä varten) mitattua kenttäkoeaineistoja käytettiin työsyvyysmallin kehittämistä varten. Työsyvyysmallin kehittämisen yhteydessä ensimmäistä versiota työsyvyyyden laskentakaavasta sovitettiin kerättyyn aineistoon. Kaikkien testiajojen datat suodatettiin eksponentiaalisesti painotetulla liukuvalla keskiarvolla (EMA, exponentially moving average). Kuvassa 27 on esitetty esimerkki vasemman vanteen jännitteestä sekä suodatetusta jännitteestä.



Kuva 27. Vasemman vantaan anturin jännite sekä (EMA) suodatettu jännite. Suodatuksessa käytetty 5 % painoarvoa

Kuvassa 28 on esitetty Kirjava lohkon testiajojen tulokset. Testiajossa 6 nostosylinterin ollessa täysin alhaalla työsyvyys oli kuvaajan perusteella keskimäärin 60 millimetriä. Testiajo 7 suoritettiin nostosylinterin asennolla 11mm, jolloin työsyvyys oli keskimäärin 55 mm. Nostosylinterin asennolla 50 mm työsyvyys oli noin 15 – 20 mm. Työsyvyiden vaihtelu oli syvempään kylvettäessä samankaltaista, matalaan kylvettäessä vaihtelua ei juuri esiintynyt. Kirjavan lohkon maalaji oli testiajojen perusteella tasalaatuinen. Testijoilla 6 – 12 voitiin laskennallisesti kylvää 15 – 60 mm, jos työsyvyiden keskiarvo lasketaan koko ajosta.



Kuva 28. Kirjava lohkon testiajot 6 – 12 nostosylinterin asennoilla 0 – 50 mm

5.2.2 Kirjava lohkon todelliset kylvösyvytydet

Todelliset kylvösyvytydet mitattiin jokaisesta testiajosta kolmesta eri kohdasta (Taulukko 6). Testiajo 6 suoritettiin nostosylinterin ollessa täysin kiinni, jolloin siemen meni maksimisyvyteen. Mittausten perusteella kylvösyvytyys oli noin 50 mm. Nostosylinterin asennon ollessa 50 mm (ajo 12) kylvösyvytyys oli keskimäärin 22 mm. Oletettiin, että ajonopeuden ollessa 10 km/h siemen enää tippua vaon pohjalle, jos ajonopeus olisi ollut hitaampi, olisi maata varissut vaon pohjalle ennen siementä.

Taulukko 6. Todelliset kylvösyvyydet (mm) Kirjavan lohkolta 2 m matkalta mitattuna, mittaukset tehty yhdestä testiajosta kolmesta eri kohdasta (yläviiva, alaviiva ja keskiviiva)

	Testiajo 6	Testiajo 7	Testiajo 8	Testiajo 9	Testiajo 10	Testiajo 11	Testiajo12
Nostosylinterin asento, mm	0	11	20	25	30	40	50
Yläviiva keskiarvo	45,4	45,3	39,5	37,1	31,8	26,4	20,6
Ka:n keskihajonta	2,6	5,1	5,4	3,5	3,6	4,1	2,7
Keskiviiva keskiarvo	49,0	43,2	44,8	38,8	39,3	25,1	22,2
Ka:n keskihajonta	5,0	4,2	2,4	1,8	4,9	3,3	3,3
Alaviiva keskiarvo	49,8	43,8	46,0	31,5	31,6	25,8	22,3
Ka:n keskihajonta	2,2	4,2	2,5	3,4	4,6	2,8	2,8

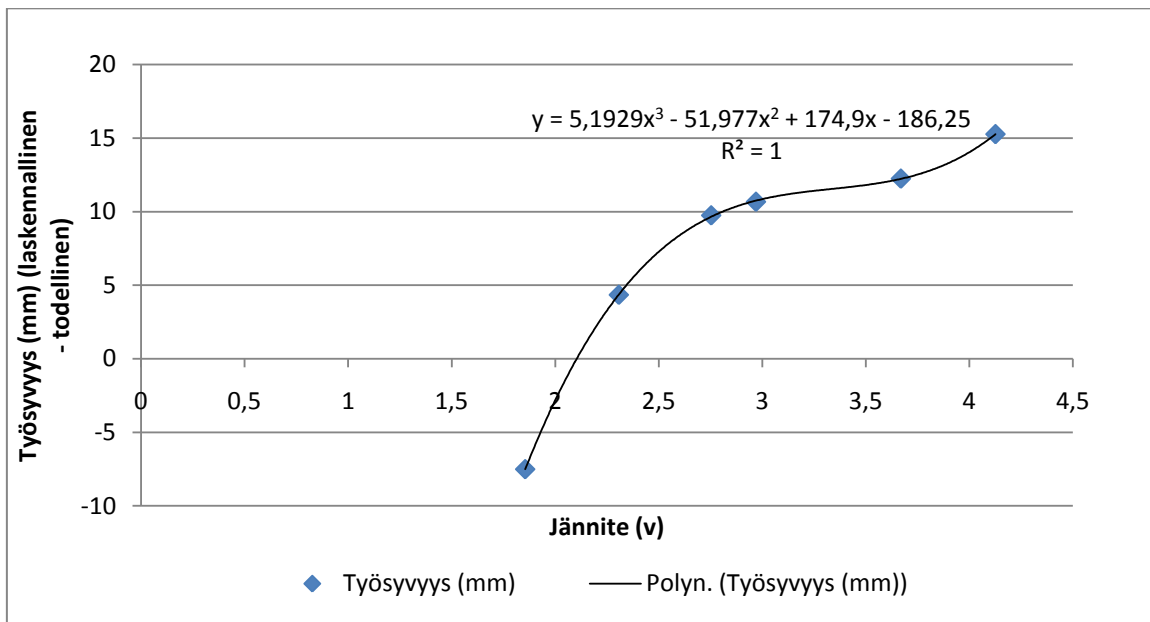
5.2.3 Korjauskerroin

Kirjava lohkolta kerättyjen datojen avulla muodostettiin ensimmäinen versio työsyvyysmallista. Työsyvyysmallin ensimmäisen version perusteella laskettujen Kirjava ajojen työsyvyyksien ja käsin mitattujen todellisten kylvösyvyyksien välillä oli jonkin verran eroa. Tästä johtuen lopulliseen työsyvyysmalliin lisättiin korjauskerroin (I) (kaava esitetty luvussa 5.2). Taulukossa 7 on esitettyinä todelliset kylvösyvyydet ja tiedostoista lasketut työsyvyydet sekä niiden erotukset. Laskennallinen työsyvyys tarkoittaa 2 metrin matkalta tiedostoista laskettua keskimääräistä vasemman vantaan työsyvyyttä. Todellinen kylvösyvyys oli mitattu yhdestä testiajosta kolmesta eri kohdasta (alaviiva, keskiviiva ja yläviiva) ja 2 m matkalta. Laskennallisen työsyvyyden ja todellisen kylvösyvyyden tuloksista nähtiin, että erotus pienenee kylvettäessä matalampaan.

Taulukko 7. Todellisen kylvösyvyyden ja laskennallisen työsyvyyden (mm) vertailu Kirjavan lohkon manuaaliajoista, tulokset ovat 2m matkalta ja vasemman vantaan kohdalta

		Ajo 6	Ajo 7	Ajo 8	Ajo 9	Ajo 10	Ajo 11	Ajo 12
Nostosylinterin asento (mm)		0	11	20	25	30	40	50
alaviiva	laskennallinen	62,9	57,6	54,8	48,0	45,2	30,0	14,1
	todellinen	49,8	43,8	46,0	31,5	31,6	25,8	22,3
	erotus	13,1	13,8	8,7	16,5	13,6	4,2	-8,2
keskiviiva	laskennallinen	64,3	56,8	51,7	44,3	41,5	30,2	14,3
	todellinen	49,0	43,2	44,8	38,8	39,3	25,1	22,2
	erotus	15,2	13,6	6,9	5,5	2,3	5,0	-7,9
yläviiva	laskennallinen	62,9	54,6	45,0	47,2	45,2	30,2	14,1
	todellinen	45,4	45,3	39,5	37,1	31,8	26,4	20,6
	erotus	17,5	9,3	5,5	10,0	13,4	3,8	-6,5

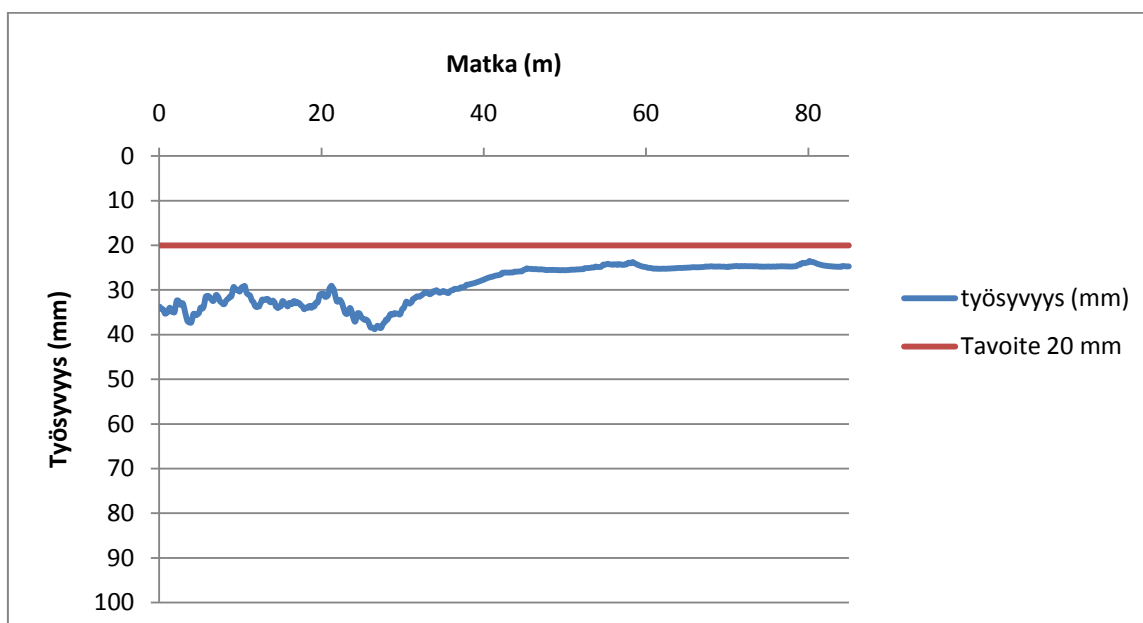
Korjauskerroin muodostettiin taulukossa 7 esitettyjen erotusten keskiarvoista. Korjauskertoimen (I) lopullinen kolmannen asteen polynomifunktio ja käyrä on esitetty kuvassa 29. Korjauskerroin muuttui uudessa työsyvyysautomaatikassa nostosylinterin jännitteen mukaan (kaava esitetty luvussa 5.2).



Kuva 29. Korjauskerroin työsyvyyskaavaan (laskennallinen työsyvyys - todellinen kylvösyvyys).

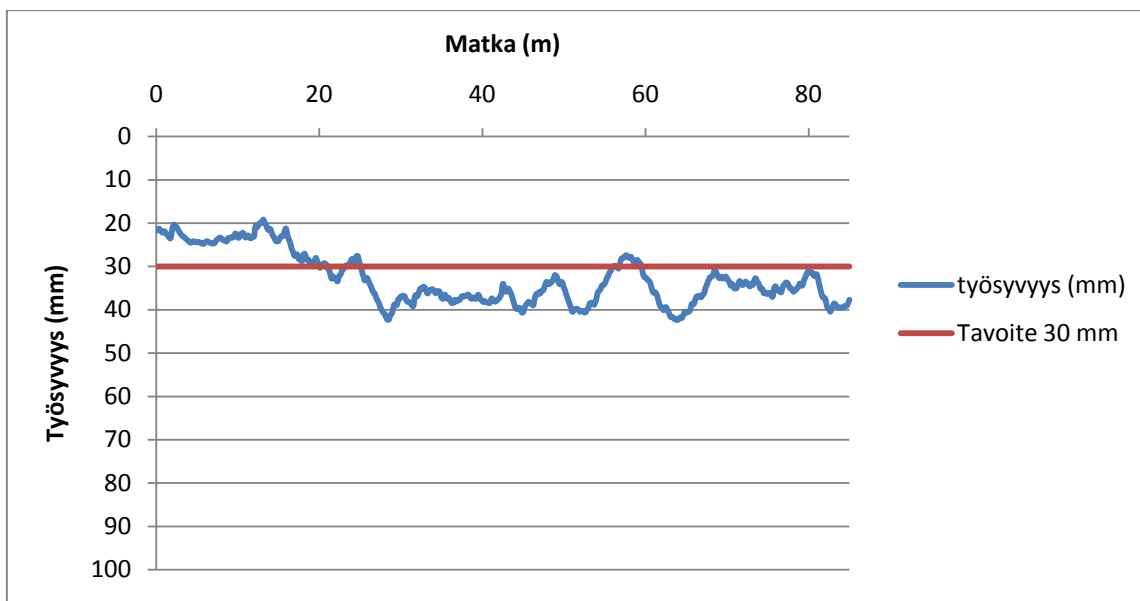
5.3 Työsyvyysautomaatiikan testaus syyskylvöillä

Traktori-kylvölannoitin yhdistelmää ja työsyvyysautomaatiikka tässä työssä tehdyllä työsyvyysmallilla testattiin syyskylvöillä Koulutila lohkolla ja tavoitetyösyvyys säädettiin traktorin virtuaaliterminaalista 20, 30, 40 ja 50 mm:iin. Ensimmäisen testiajon alussa työsyvyys oli huomattavasti syvempi kuin säädetty arvo 20 millimetriä, (Kuva 30). Tämä johtui siitä, että työsyvyysautomaatiikassa oleva PID-säädin oli rakennettu niin, että edellisen ajon viimeisin säätöarvo jäi työsyvyysautomaatiikan muistiin. Ajon lopussa työsyvyys kuitenkin tasaantui lähelle 25 millimetriä. 20 mm kylvösyvyys on käytännössä tarkoitettu piensiemেন্টen kylvöön ja pehmeällä alustalla 20 mm kylvösyvyyden saavuttaminen voi olla hankalaa jyräpyörästön (kylvölannoittimen) painumisen takia.



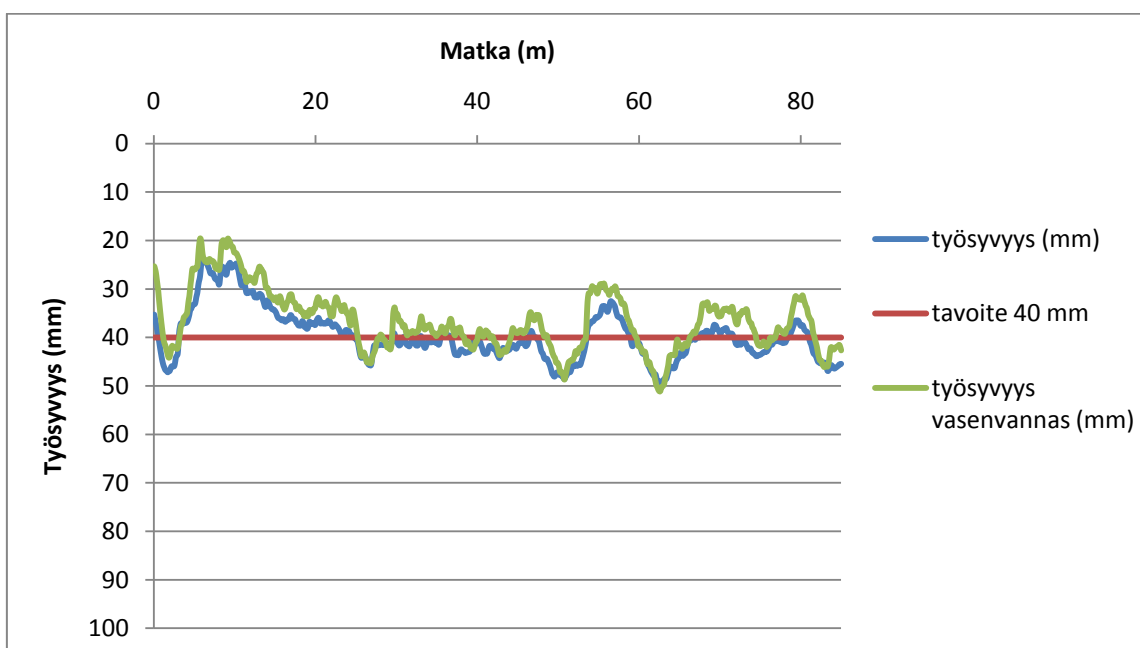
Kuva 30. Uuden työsyvyysmallin peltotestiajo. Työsyvyys säädetty 20 mm

Seuraavassa ajossa työsyvyys säädettiin 30 mm (Kuva 31). Ajon alkupäässä työsyvyysautomaatiikan parametrit olivat edellisen 20 mm ajon jäljiltä, jonka jälkeen järjestelmä lähti säätämään itseään uuden säädön ja tilanteen mukaan. Järjestelmä pysyi lähellä 30 mm tavoitetyösyvyttä koko loppuajon ajan.



Kuva 31. Työsyvyys säädettyinä 30 mm

Seuraavassa ajossa työsyvyys säädettiin 40 mm (Kuva 32). Työsyvyys oli hyvin lähellä tavoitetta koko ajon ajan. Ainoastaan ajon alussa työsyvyys oli 10 – 15 mm pienempi kuin tavoitesyvyys, johtuen todennäköisesti säätimen toiminnasta. Kuvaajasta on nähtävissä joitakin piikkejä, joissa työsyvyys oli hieman tavoitesyvyyttä matalammalla ja syvemmällä. Kuvasta 32 nähdään samalla vasemman vantaan työsyvyys, joka seurasi kohtuullisen hyvin koko kylvölannoittimen työsyvyyttä. Muutamissa kohdissa vasen vannas oli noin 5 mm matalammalla kuin koneen keskimääräinen syvyys.



Kuva 32. Työsyvyys säädettyinä 40 mm

5.3.1 Työsyvyysmallin todelliset kylvösyvyydet

Syksyn sateet vaikuttavat todellisten työsyvyyksien mittauksiin syyskylvöiltä. Kylvösyvyydet mitattiin ainoastaan keskiviivan kohdalta jokaisesta kerranteesta. Taulukon 8 mukaan kylvö-lannoittimen maksimikylvösyvydeksi tuli Koulutila lohkolle noin 40 mm, koska säätöjärjestelmä ei päässyt tavoitteeseen 50 mm ja 60 mm ajoissa (nostosylinteri oli täysin kiinni). 50 mm:n tavoitetyösyvyydellä todellinen kylvösyvyys oli noin 38 mm:ä. 20 mm:n ajossa kylvösyvyys oli 26 mm:ä ja 30 mm:n ajossa kylvösyvyys oli 32 mm:ä.

Taulukko 8. Todelliset kylvösyvyydet Koulutila lohkon testiajoista 2 m matkalta

	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
keskiarvo	26,0	32,7	36,8	38,2	33,8
ka:n keskihajonta	3,4	4,2	5,1	5,7	3,7

5.3.2 Lopullisen työsyvyysmallin ja mittapyöriin perustuvan mallin vertailu

Taulukossa 9 on verrattu 2 m matkalta mitattuja todellisia kylvösyvyksiä laskennallisiin työsyvyksiin Koulutila lohkon kylvöjen tuloksista. Mittaukset on tehty pelkästään vasemman vantaan tietojen perusteella tehtyjä. Vertailu on tehty alkuperäisen mittapyöriin ja vantaiden mittauksiin perustuvan järjestelmän (mittapyöräjärjestelmä) ja nostosylinterin ja vantaiden asentoon perustuvan järjestelmän (nostosylinterijärjestelmä) välillä. Taulukossa 9 on laskettu todellisen ja laskennallisen työsyvyyden erotus molemmilla järjestelmillä. 20 mm testiajoissa erotukset olivat melkein samat ja 30 mm testiajossa mittapyöräjärjestelmällä erotus oli 4,6 mm, kun nostosylinterijärjestelmällä se oli 0,2 mm. 40 mm testiajossa mittapyöräjärjestelmällä erotus oli 0,2 mm ja nostosylinterijärjestelmällä 4,5 mm. Laskennallisten työsyvyyksien perusteella nostosylinterin ja vantaiden asentoon perustuva järjestelmä pääsi lähemmäksi tavoitesyvyyttä.

Taulukko 9. Työsyvyyksien keskiarvot ja keskiarvon keskihajonnat sekä todellisen ja laskennallisen työsyvyyden erotus, vertailu tehty mittapyöräjärjestelmän ja nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuvan järjestelmän välillä (mm)

Mittaukset 2 m matkalta						
Testiajo	Mittapyörien ja vantaiden mittauksiin perustuva järjestelmä			Nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuva järjestelmä		
	Todelliset kylvösyvyydet	Tiedostoista lasketut työsyvyydet	erotus (tod.-las.)	Todelliset kylvösyvyydet	Tiedostoista lasketut työsyvyydet	erotus (tod.-las.)
20 mm keskiarvo	17,1	16,5	0,6	26,0	23,8	2,2
ka:n keskihajonta	2	2,8		3,4	0,4	
30 mm keskiarvo	21	25,6	-4,6	32,7	32,4	0,2
ka:n keskihajonta	2,9	1,7		4,2	1,9	
40 mm keskiarvo	33,9	34,1	-0,2	36,8	41,2	-4,5
ka:n keskihajonta	4,2	0,9		5,1	0,6	
50 mm keskiarvo	40,5	36,4	4,1	38,2	41,5	-3,3
ka:n keskihajonta	4,6	0,8		5,7	3,6	

Taulukossa 10 on verrattu mittapyöräjärjestelmän tunnuslukuja nostosylinterin ja vantaiden asennon perusteella säätyvään järjestelmään koko ajon (85 m) matkalta. Mittapyöräjärjestelmä pääsi lähemmäksi 20 mm tavoitesyvyyttä, koska sen keskiarvo koko oli testiajossa 21,5 mm ja nostosylinterin ja vantaiden asennon perusteella säätyvän järjestelmän 28,7 mm. Ajojen 30 mm ja 40 mm keskiarvotyösyvyydet olivat molemmilla järjestelmillä lähellä tavoitesyvyyttä. 50 mm testiajo oli liian syvä tavoite, koska kummallakaan järjestelmällä ei päästy keskimääräisessä työsyvyydessä yli 40 mm. Hajontakertoimet vaihtelivat nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuvalla järjestelmällä 12,8 – 15 %:iin. Mittapyöräjärjestelmällä hajontakertoimet olivat 8 %:sta 27 %:iin.

Taulukko 10. Työsyvyyksien keskiarvot (mm), keskihajonnat (mm) ja hajontakerroimet (%) 85 m matkalta syyskylvöiltä

Mittaukset 85 m matkalta (tiedoista lasketut työsyvyudet)		
Testiajo	Mittapyöriin perustuva järjestelmä	Nostosylinterin ja vantaiden mittaukseen perustuva järjestelmä
20 mm keskiarvo	21,5	28,7
ka:n keskihajonta	5,8	4,3
hajontakerroin	27,1	15,0
30 mm keskiarvo	28,1	32,5
ka:n keskihajonta	5,0	5,9
hajontakerroin	17,8	19,5
40 mm keskiarvo	36,5	39,5
ka:n keskihajonta	3,6	3,9
hajontakerroin	10,1	13,5
50 mm keskiarvo	38,7	39,4
ka:n keskihajonta	3,1	5,0
hajontakerroin	8,1	12,8

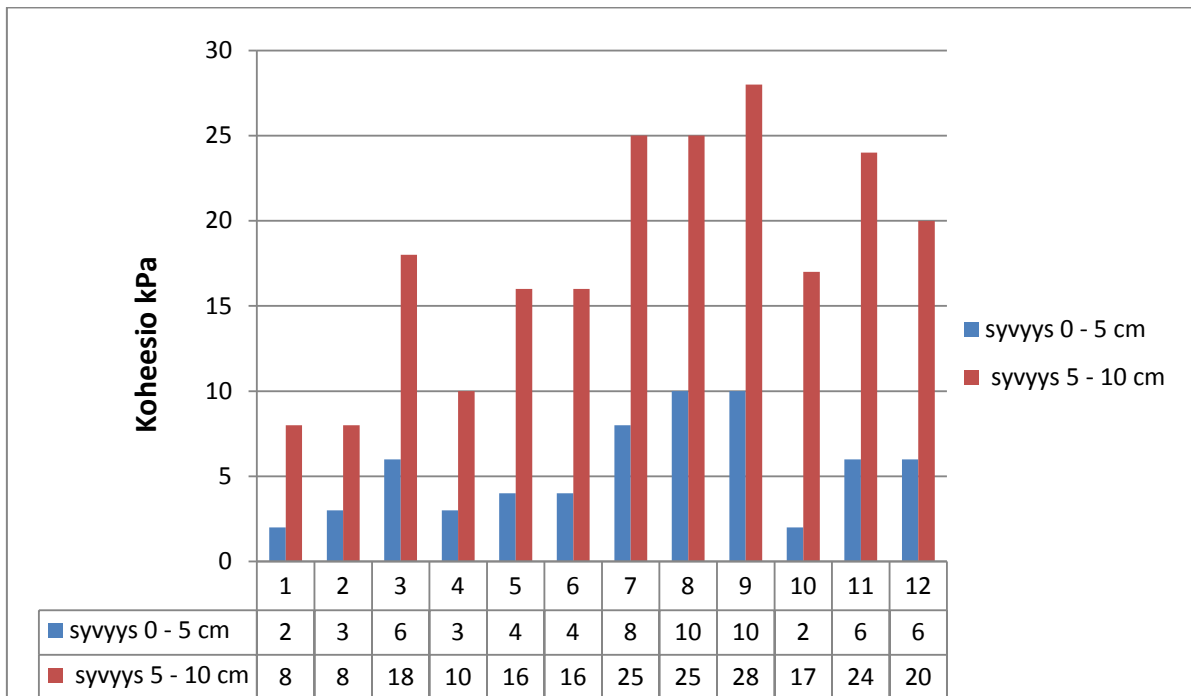
Työsyvyyden vaihtelu tavoitearvon ympärillä kuvaa järjestelmän toimivuutta. Karan (1972) mukaan kylvölannoittimen vaatimukseen kuuluu, että työsyvyyden keskimääräinen vaihtelu ei saa olla yli 25 % tavoitesyvyydestä. Tämä tarkoittaisi, että 20 mm työsyvyydellä vaihtelu saisi olla 5 mm, 30 mm työsyvyydellä 7,5 mm ja 40 mm työsyvyydellä 10 mm. Nämä vaatimukset täyttyvät laskennallisesti nostosylinterin ja vantaiden asennolla säätyvässä järjestelmällä 30 ja 40 mm ajoissa (Taulukko 11). Mittapyöräjärjestelmällä vaatimukset täyttyivät kaikissa muissa ajoissa paitsi viimeisessä 50 mm ajossa. Heegen 1993 mukaan työsyvyyden vaihtelu eräässä tutkimuksessa muokatulla maalla oli 6 – 11 mm. Tässä tutkimuksessa työsyvyyden vaihtelut olivat 4,0 – 11 mm. Työsyvyyden vaihtelua suurentaa 50 mm testiajo, koska näin suurta työsyvyyttä ei voitu syyskylvöillä saavuttaa.

Taulukko 11. Työsyvyyden keskimääräinen vaihtelu (mm) tavoitearvoon verrattuna (tavoitetyösyvyys - laskennallinen työsyvyys)

Mittaukset 85 m matkalta		
Testiajo	Mittapyöriin perustuva järjestelmä	Nostosylinteriin perustuva järjestelmä
20 mm	4,8	8,7
30 mm	4,1	5,9
40 mm	4,9	4,0
50 mm	11,3	10,6

5.4 Maan rakenneominaisuuksien mittaaminen koekentiltä

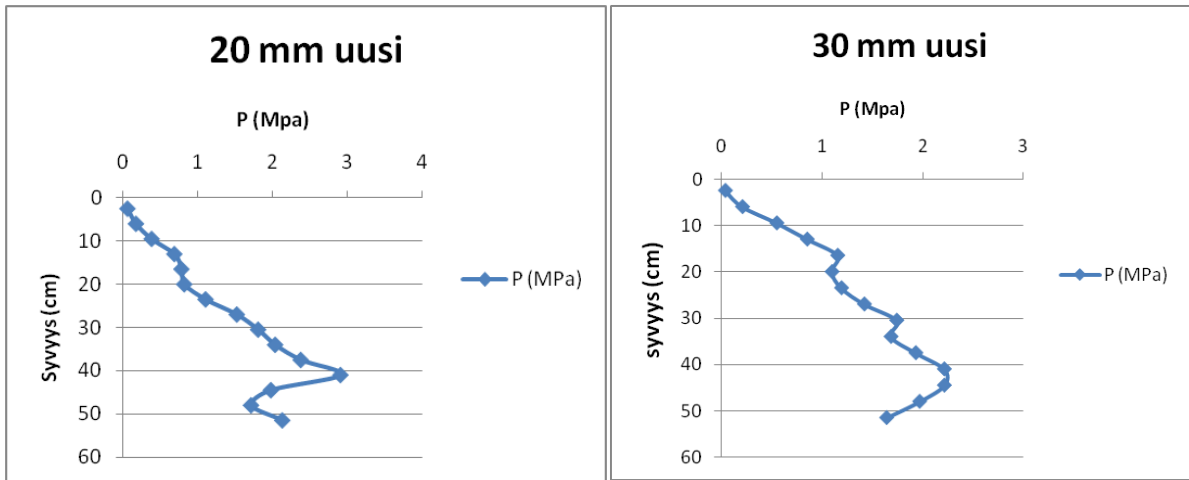
Kirjavan lohkon maalaji oli runsasmultainen hienohieta (rm HHT). Kuvasta 33 nähdään, että lohkon yläpäässä koheesio (pisteet 3, 6, 9 ja 12) oli suurempi.



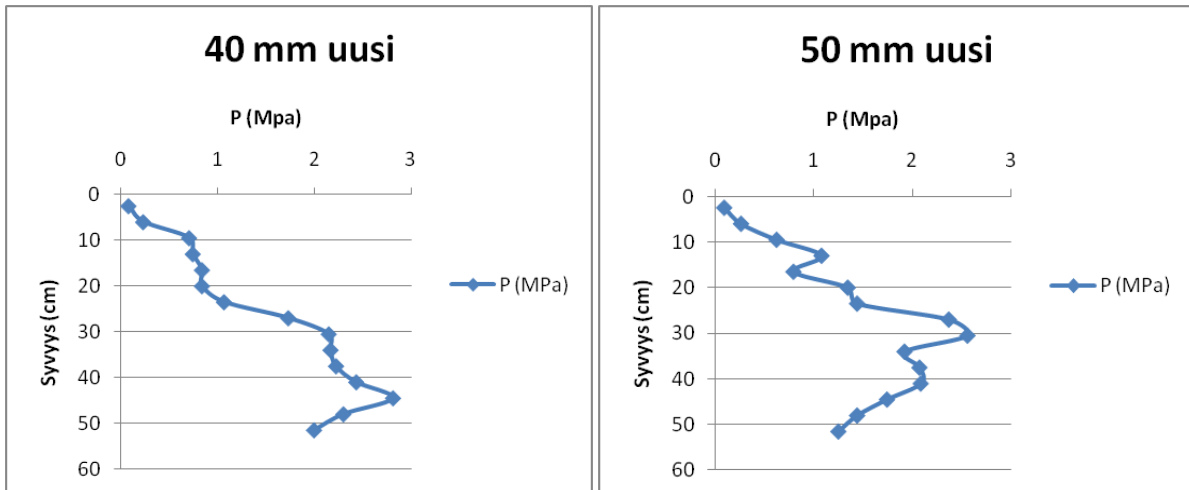
Kuva 33. Koheesio kirjava lohkolta

Liitteessä 1 on esitettyä Kirjava lohkon cone index mittaukset. Tuloksista nähdään, että lohkon maalaji oli kauttaaltaan pehmeä.

Kuvissa 34 ja 35 on esitettyä cone index mittaukset Koulutila lohkolta. Kuvaajista nähdään, että maan tiiviys oli erittäin samankaltainen kaikilla testiajoilla. Koekenttälohkon maalaji oli multava hiue (m He).



Kuva 34. Cone index 20 mm ja 30 mm ajot Koulutila lohkolla



Kuva 35. Cone index 40 mm ja 50 mm ajot Koulutila lohkolla

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Antureiden kalibrointiarvojen määrittämisen yhteydessä havaittiin, että mittausjärjestelmä toimi luotettavasti. Tätä edesauttoi, että mekaaniset välykset kylvölannoittimen eri kohdissa olivat asettuneet edellisen vuoden kylvöissä. Tästä huolimatta vantaiden regressiokaavojen kertoimissa oli jonkin verran muutoksia kevään ja syksyn kalibrointikertojen välillä (Kuva 25). Keväällä tehdyissä kalibroinneissa kalibrointikäyrät olivat hyvin lähellä toisiaan (ero 4 mm). Ainoastaan syksyn kalibrointikäyrä oli hieman erillään muista, mutta ero oli suurimmillaan vain 10 mm. Eri aikana tehdyissä kalibroinneissa vantaiden ollessa vapaasti alasenossa ja nostosylinterin ollessa 24 mm auki antureiden jännitteet olivat samat. Tuloksen perusteella, voidaan olettaa että mittausjärjestelmä ei muuttunut kenttäkokeiden aikana, vaan muutokset johtuivat lähinnä siitä, että kylvölannoittimen runko ei ollut täysin samassa asemassa hallin lattiaan nähden, jota vastaan kalibroinnit tehtiin. Tämä tuli ilmi, kun mitattiin kylvölannoittimen rungon aseman etäisyyksiä (Taulukko 5). Nostosylinterin kalibroinneissa (Kuva 24) keskimmäisen vantaan käyrä oli hieman erillään (suurimmillaan 10 mm) muista vantaista nostosylinterin asentoa muutettaessa 24 mm kalibrointiasennosta (kone säädetty vaakatasoon nostosylinteri auki 24 mm). Epäkohta voitaisiin korjata asentamalla kylvölannoittimeen hydraulinen työntövarsi, joka säätäisi koneen vaakatasoon nostosylinterin eri asennoilla.

Kirjavan lohkolle perustetun koekenttälohkon aineiston pohjalta muodostettiin nostosylinterin ja vantaiden mittauksiin perustuva työsyvyysmalli. Työsyvyysmallin perusteella lasketut työsyvytydet olivat eri nostosylinterin asennoilla noin 15 – 60 mm. Todellisten kylvösyvytyksien perusteella työsyvytydet vaihtelivat pellolla 20 – 50 mm. Taulukossa 5 esitettyjen tulosten perusteella voidaan kylvölannoittimen työsyvytyys nostosylinterin ja vantaiden asennon mittauksella laskea ± 10 mm tarkkuudella (osatavoite 1). Koska laskennallisen työsyvytyden ja todellisen kylvösyvytyden välillä oli eroja, jouduttiin yhtälöön muodostamaan korjauskerroin. Korjauskerroin muodostettiin Kirjavan lohkon aineiston perusteella (Taulukko 7), jossa olosuhteet olivat tasaiset.

Kaikki pellolla tehdyt todellisen kylvösyvytyden mittaukset suoritettiin pelkästään vasemman vantaan kohdalta. Kuvasta 32 nähtiin, että vasemman vantaan työsyvytyys ei eronnut paljoa

koko koneen keskimääräisestä työsyvyydestä. Tarkemman tuloksen saamiseksi todelliset työsyvyydet olisi voitu mitata kaikkien kolmen vantaan kohdalta.

Syyskylvötestien perusteella työsyvyyssautomatiikka ja lopullinen työsyvyyssmalli toimivat hyvin. Työsyvyyssautomatiikan laskennalliset työsyvyydet olivat lähellä tavoitetyösyvyyttä, etenkin kylvettäessä 30 mm (Kuva 31) ja 40 mm (Kuva 32) tavoitesyvyyteen. 50 mm testiajossa tavoitesyvyys jäi saavuttamatta, koska todellisten kylvösyvyyksien perusteella työsyvyys oli 40 mm (Taulukko 8). Kylvölannoittimen nostosylinteri oli täysin kiinni 40 mm ja 50 mm testiajoilla, joten koneella ei ollut mahdollista kylvää yli 40 mm. Kylvölannoittimen maksimikylvösyvyyteen vaikutti osaltaan koneen kiilajyrävantaat. Kiilajyrävantaan rakenne perustuu yksikiekkosysteemiin, jonka kyljessä on ns. laahavannas ja laahavantaan pohjalla on olake, joka on tarkoitettu tasaamaan kylvösyvyyttä. Kiilajyrävannas on kehitetty erityisesti pehmeämmille maalajeille, joten tällä vannastyypillä ei voida kylvää ”ylisyvään”.

Työsyvyyssautomatiikan laskennallinen työsyvyyden vaihtelu oli 20 – 40 mm ajoilla tavoitesyvyyteen verrattuna noin 4 – 9 mm ja 50 mm testiajossa työsyvyyden vaihtelu oli 11 mm (Taulukko 11) Kirjallisuuden perusteella todettiin, että kylvölannoittimen työsyvyyden vaihtelu saa olla enintään 25 % tavoitesyvyydestä. Tässä tutkimuksessa vaatimus täyttyi 20 – 40 mm testiajoilla. (osatavoite 2)

Tutkimuksessa käytetty traktori-kylvölannoitin yhdistelmän mittausjärjestelmä toimi testiajoilla hyvin, koska työsyvyyssäädin pystyi pitämään virtuaaliterminaalista säädetyn tavoitetyösyvyyden testiajoissa. Tässä tutkimuksessa kehitetyllä työsyvyyssmallilla päivitetty työsyvyyssautomatiikka toimi yhtä hyvin kuin mittapyörien ja vantaiden mittauksiin perustuva työsyvyyssautomatiikka. Tulosten perusteella kylvölannoitinvalmistajilla olisi mahdollisuus tuottaa työsyvyyssautomatiikka viljelijöiden avuksi. Kylvölannoittimen työsyvyyssautomatiikan mittausjärjestelmää voidaan soveltaa myös muokkauslaitteisiin. Joustopiikkiäkeillä ja lautasmuokkaimilla on hyvin samankaltainen rungon rakenne kuin kylvölannoittimella, joten ISOBUS – mittausjärjestelmä antureineen voitaisiin helposti asentaa niihin.

Farmix – hankkeen eri tutkimusaiheiden sisältö on muodostettu siten, että tutkimukset olisivat edellä nykyistä maatalouskoneteknologiaa. Teollisuudessa automaatiota on viety pidemmällä kuin maataloudessa. Robotiikka on ollut pitemmän aikaa arkipäivää teollisuuslaitoksissa. Maatalouden osalta seuraavaa teknistä kehitysaskelta, siirtymistä täysin automaattisiin ohjaus-

järjestelmiin tullaan varmasti näkemään seuraavien vuosikymmenien aikana. Tässä tutkimuksessa kehitettyä työsyvyysautomaattia voitaisiinkin hyödyntää tulevaisuuden autonomisissa kylvöroboteissa.

Jatkotutkimuksia varten tässä oli tutkimuksessa mainittu joitakin kohtia, joita voitaisiin edelleen kehittää sekä joitakin osa-alueita tulisi tutkia lisää. Tutkimuksessa tuli ilmi, että kylvö-lannoittimeen voitaisiin asentaa hydraulinen työntövarsi, joka säätäisi koneen vaakatasoon eri nostosylinterin asennoilla, jolloin koneen vantaat olisivat koko ajan samassa suhteessa maahan nähden. Antureiden kalibrointien toteutus tulisi jatkoa ajatellen olla niin, että sen voisi esimerkiksi viljelijä suorittaa yksin tai tulisi miettiä sitä kuinka usein antureita tarvitsee kalibroida. Kenttäkokeissa voisi todelliset kylvösyvydet mitata kaikkien kolmen vantaan kohdalta, jolloin saataisiin laajempi vertauskohta sille, onko laskennallisen työsyvyyden ja todellisen kylvösyvyyden välillä eroa.

LÄHTEET

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

ASAE. 1994. ASAE standard: ASAE S313.2 DEC94. Soil cone penetrometer

Auernhammer, H. & Speckmann, H. 2006. Cigr handbook of agricultural engineering Volume VI. Information technology. ASAE. 435- 452 s

Benneveis, R. K. 2005. Status of the ISO 11783 Serial control and communications data network standard. ASAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE Tampa Convention Center Tampa, Florida 2005 July 17 – 20.

Chaudhuri, D. 2001. Performance Evaluation of Various Types of Furrow Openers on Seed Drills. Journal of Agricultural Engineering Research Volume 79, Issue 2, June 2001, Pages 125-137.

Geonor, 2009. The Original Geonor H-60 Hand – Held Vane Tester. Käyttöohje. [verkkojulkaisu]. Viitattu [24.4.2009] Saatavilla Internetissä: <http://www.geonor.com/PDF/H-60%20Brochure.pdf>

Heege, H. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape and beans. Trans. ASEA 36 (3) 653 – 661.

Heege, H. & Billot, J. F. 1999. Cigr handbook of agricultural engineering Volume III. Plant production engineering. ASAE. 227-234 s.

Heinonen, R. 1983. Maan muokkaus. Julkaisussa: Kasvinviljelyoppi 1: s. 199-230. Toim. Pekka Köppä.

Heinonen, R. (toim.) 1992. Maa, viljely ja ympäristö. 334 s.

Helsinki, 2008. Muuttuva maaseutu, historiallinen maatalous. Helsingin yliopisto, humanistinen tiedekunta, kulttuurien tutkimuksen laitos, kansantiede. <http://www.helsinki.fi/kansantiede/histmaatalous/peltoviljely/kylvo.htm> Viitattu 15.5.2008.

Kara, O. & Oksanen E. H. 1979 Maamiehen koneoppi 2. Työkoneet ja laitteet. Kirjayhtymä, Helsinki, 205 s.

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

Kurjenluoma, J., Ahokas, J. & Alakukku, L. 2004. Työkonerenkaiden ominaisuudet ja maan rakenteen säilyttäminen. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2004 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 19. Toim. Anneli Hopponen ja Marketta Rinne. Viitattu [15.3.2009]. Julkaistu 5.1.2004. Saatavilla Internetissä: <http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/> (Työkonerenkaiden ominaisuudet ja maan rakenteen säilyttäminen).

Lötjönen, T., Suomi, P., Mikkola, H. 2004. Suorakylvökoneen vantaan työsyvyyden mittaaminen. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2004 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 19. Toim. Anneli Hopponen ja Marketta Rinne. Viitattu [15.3.2009]. Julkaistu 5.1.2004. Saatavilla Internetissä: <http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/> (Suorakylvökoneen vantaan työsyvyyden mittaaminen).

McKeys, E. 1989. Agricultural engineering soil mechanics. Developments in agricultural engineering 10. 292 s.

Pehkonen, A., Pietilä, S., Pitkänen, J., Sipilä, I. ja Turtola, E. 1996. Ympäristöä säästävä muokkaus- ja kylvölannoitustekniikka. Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos, Maatalousteknologian julkaisuja 20: 6.

Scarlett, A. 2001. Integrated controls of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. Computers and electronics in agriculture 30 (2001): 167 – 191.

Smith, H. P. & Wilkes, L. H. 1976. Farm machinery and equipment. Sixth edition. McGraw-Hill Publications in the agricultural sciences, 488 s.

Stone, M. L., McKee, K. D., Formwalt, C. W. & Benneweis, R. K. 1999. ISO 11783: An electronic communications protocol for agricultural equipment. ASAE – the society for engineering in agricultural, food and biological systems. Presentation at the agricultural equipment technology conference, Louisville, Kentucky 7 – 10 February 1999: 17 s.

Suomi, P., Oksanen, T., Ojanne, A., Kalmari, J., Linkolehto, R. & Teye, F. 2009. Automatic depth control for seed drill using ISO 11783 compatible tractor. In: Edited by E.J. van Henten, D. Goense and C. Lokhorst. Precision agriculture '09. Wageningen Academic Publishers. p. 683-690.

Sogaard, H. 1998. Automatic control of a finger weeder with respect to the harrowing intensity at varying soil structure. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, 157- 163 p.

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

Trimble, 2010. Trimble 5700 Gps receiver Datasheet. Viitattu [27.03.2010] Saatavilla Internetissä: http://www.evsgps.com/PDFS/Trimble_5700_DS_0808_LR.pdf

Weatherly, E. T. & Bowers, Jr. C. G. 1997. Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing. *Transactions of the ASAE*. Vol. 40 (2), 295-305.

LIITTEET

Liite 1. Penetrometrimittaukset Kirjavan lohkolta.

