

RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala
Department of Soil and Environment

Nr 130

2014

Johan Arvidsson, Mikael Gilbertsson,
Anders Larsolle, Bo Stenberg, Francesco
Marinello, Elisabeth Bölenius, Olof
Gröndahl

**En mätplattform för att bestämma
mark- och grödegenskaper**

En mätplattform för att bestämma mark- och grödegenskaper

Innehållsförteckning

BAKGRUND	3
<i>Bearbetningsdjup</i>	3
<i>Vis-NIR</i>	3
<i>Bildanalys</i>	4
<i>Reflektans</i>	4
MATERIAL OCH METODER	4
Konstruktion av vagn för bärare av mätutrustning	4
Inköp och utveckling av utrustning för olika typer av mätningar	5
<i>Bearbetningsdjup</i>	5
<i>NIR-mätning</i>	6
<i>Bildanalys av aggregatstorleksfördelning</i>	6
<i>Grödrelektans och täckningsgrad mätt med laser och bildanalys</i>	7
<i>3D-kamera</i>	7
Test av olika mätmetoder	7
<i>Fältförsök</i>	7
<i>Sållade renfraktioner</i>	8
<i>Mätning av inomfältvariation</i>	8
<i>Analys av resultat</i>	9
RESULTAT	9
Mätningar i fältförsök	9
<i>Mätning av markytans relief, såbotten och bearbetningsdjup</i>	9
<i>NIR-mätningar</i>	10
<i>Mätningar i grödan</i>	11
Mätningar i sållade renfraktioner av aggregat	11
<i>Lasermätningar och 3D-bilder</i>	11
<i>Bildanalys</i>	14
Inomfältvariation	14
<i>Resultat från fasta provpunkter</i>	14
<i>Markens ojämnhet mätt med laser</i>	15
<i>NIR-mätningar</i>	15
<i>Bildanalys</i>	16
DISKUSSION	17
SLUTSATSER	18
REFERENSER	19
Appendix A. Bildanalys av aggregatstorleksfördelning	20

BAKGRUND

Mätningar av mark- och grödegenskaper i försöks- och forskningsverksamhet är till stor del arbets- och tidskrävande, dyra, och dessutom destruktiva. Detta leder till att det ofta görs få mätningar för att t.ex. karakterisera uppkomst- och tillväxtförlopp i fältförsök. I bl.a. jordbearbetningsförsök finns ett särskilt behov av att kunna karakterisera markegenskaper, bl.a. bearbetningsresultat i form av aggregatstorleksfördelning. Etableringen är det kanske viktigaste momentet i växtodlingen, och styrs av såbäddens egenskaper, främst aggregatstorlek, bearbetningsdjup och vattenhalt i såbotten. I en stickprovsundersökning i kornfält i Uppland utförd av Pettersson (2011) var vattenhalten i såbotten den enskilt viktigaste faktorn för god uppkomst, följt av andelen fina aggregat i såbädden. I studien användes en helt manuell metod för att mäta såbäddsegenskaper, utvecklad av Kritz (1983), som i stort sett varit oförändrad sedan 70-talet.

Det finns alltså ett behov av att kunna utföra snabba, billiga, ickedestruktiva mätningar på ett rutinmässigt sätt, helst online. Idag finns flera möjliga metoder att utföra detta. Denna rapport beskriver utvecklingen av en mätplattform, avsedd för on-linemätning av mark- och grödegenskaper. Projektet var finansierat av Stiftelsen Lantbruksforskning, med stöd också av AgroVäst och POS (Precisionsodling Sverige). Fokus har legat på mätning av 1) Bearbetningsdjup, 2) Bearbetningsresultat (främst aggregatstorleksfördelning), 3) Markens vattenhalt, 4) Jordart, 5) Grödans täckningsgrad vid tidig tillväxt och 6) Grödans höjd. Här ges först en kort litteraturläsa omgång av mätmetoder som varit aktuella i samband med utvecklingen av mätplattformen.

Bearbetningsdjup

Mätning av bearbetningsdjup sker i regel manuellt genom att man väger eller mäter volymen av lös jord inom en bestämd yta. Detta har gjorts bl.a. efter grund

bearbetning med olika redskap (Arvidsson m.fl., 2004), och efter sådd för att bestämma harvningsdjup (Kritz, 1983). Det finns dock möjligheter att även bestämma bearbetningsdjupet online. Mouazen m.fl. (2004) använde en belastad svängarm med ett hjul som följde markytan, och bestämde avståndet till maskinens ram med en potentiometer (figur 1). Genom att utrusta armen med en bill eller skiva som följer bearbetningsbotten, och samtidigt mäta markytans höjd, kan bearbetningsdjupet bestämmas.

Avståndet från plattformen till marken kan mätas på flera sätt, t.ex. med ultraljud eller infraröda sensorer (Yasin m.fl., 1992; Arrivo & Di Renzo, 1998; Lee m.fl., 1998). Idag finns också laserscannrar med hög upplösning som kan mäta avstånd med hög frekvens (millimeternoggrannhet med en frekvens på upp till 10 kHz). Mätning med laser är en vanlig metod för att mäta ojämnheter i markytan, speciellt inom erosionsforskning. I ett tidigare svenskt forskningsprojekt har också markytans ojämnheter mätts med laser (Arvidsson och Bölenius, 2006), frekvensen var då inte tillräckligt hög för att medge onlinemätning.

Mätning med laser kan alltså bestämma markytans höjd men också ojämnheter, som i sig utgör ett mått på bearbetningsresultatet. Om mätningarna görs med tillräcklig upplösning är det också möjligt att räkna om markytans form till en fördelning av aggregatstorlek.

Laserscannern kan också användas till mätning i växande gröda. Förutom att direkt mäta grödans höjd kan mätningarna, om de görs med tillräckligt hög upplösning, användas för att beräkna bladyteindex (Thomsen m.fl., 2006).

Vis-NIR

Vis-NIR metoden användes här för att analysera markegenskaper såsom vattenhalt och jordart. Med tekniken skannas reflekterat ljus från provet i våglängdsområdet 350-2500 nm. Med relevans för det här projektet har Vis-NIR-tekniken framgångsrikt tillämpats för

bestämning av lerhalt, mullhalt och markvattenhalt. (Ben Dor och Banin, 1995; Stenberg, 2010, Wetterlind och Stenberg, 2010). På senare tid har en del försök gjorts med att bestämma markegenskaper genom mätningar direkt i fält (Christy, 2008, Ben Dor m.fl., 2008).

I området 350-2500 nm finns flera starka absorptionsband för vatten, lermineral och humusämnen (Stenberg m.fl., 2010). Genom empiriska modeller baserade på i förhand kända referensprov relateras dessa spektrumegenskaper till den markegenskap hos provet man är intresserad av. För att kalibrera dessa modeller används normalt linjära multivariata statistiska verktyg som MLR (multipel regression), PCR (principal component regression), PLS (partial least square regressions) eller någon data mining teknik som neurala nätverk eller support vector machines (Stenberg m.fl., 2010). NIR-mätningar går mycket fort och instrument går att bygga robusta utan rörliga delar, vilket gör det möjligt att mäta online.

Bildanalys

Bildanalys är också möjlig att använda för att karakterisera markytan och grödans utveckling. Genom bildanalys av markytan kan man t.ex. bestämma aggregatstorlek efter bearbetning (Bogrekci och Godwin, 2007). P.g.a. jordytans relativt enhetliga färg är det dock svårt att utföra denna analys. Det är betydligt lättare att analysera andelen grön markyta, dvs grödans täckningsgrad. Fortfarande krävs dock någon form av kalibrering för bildanalysen, t.ex. pga ljusförhållanden, vilket gör den svårare att standardisera än t.ex. mätning med laser.

Reflektans

Mätning av reflektans är idag en väletablerad metod som kan användas för att mäta grödans täckningsgrad, biomassa och kvävemängd (Guyot, 1990). Metoden bygger på att gröna blad i olika grad absorberar eller reflekterar olika våglängder av det infallande solljuset. Reflektansen i olika våglängder

kombineras därför i olika typer av s.k. vegetationsindex som kan korreleras till olika egenskaper hos grödan. I Sverige har reflektansmätningar gjorts framförallt med Yaras s.k. N-sensor. Denna finns både för on-linemätning monterad på en traktor och handburen för mätningar i t.ex. fältförsök.

MATERIAL OCH METODER

Arbetet har utförts i olika steg, från utveckling av själva mätmetodiken till test av mätmetoder i fält. Huvuddragen i arbetet har varit följande:

1. Konstruktion av vagn för bärare av mätutrustning
2. Inköp och utveckling av utrustning för olika typer av mätningar
3. Test av olika mätmetoder

Mätmetoderna har testats i olika typer av experiment. Framförallt har följande gjorts:

- A. Mätningar i befintliga fältförsök
- B. Mätningar i renfraktioner med olika aggregatstorlekar
- C. Mätning av inomfältvariation i ett fält med våroljeväxter

Konstruktion av vagn för bärare av mätutrustning

En första konstruktion av mätvagn gjordes av Väderstadverken AB, efter ritningar från projektgruppen. Vagnen, som byggde på en konstruktion avsedd för harvar, bestod av ett drag för koppling till traktor, en stålram med flyttbara tvärstag för montering av mätutrustning, och hjul monterade på boggivaggor. För mätnoggrannheten är det viktigt att vagnen har en jämn och stabil gång och det konstaterades att den första versionen ej medgav detta. Vid JTI:s verkstad gjordes därför en omfattande omkonstruktion av vagnen för att öka stabiliteten. Draget förkortades, stabiliseringsstag monterades samt hjulen flyttades. Dessutom påmonterades en plattform där det är möjligt att åka med på vagnen eller placera utrustning (Figur 1).



Figur 1. Mätvagn. Nederst vid körning för att bestämma såbäddsegenskaper.

Inköp och utveckling av utrustning för olika typer av mätningar

Olika typer av mätutrustning införskaffades eller modifierades för de mätningar som skulle tillämpas: djupmätning med bill mot såbotten, markytans relief med laser, NIR-mätning on-line, bildanalys, grödreflektans och 3D-kamera.

Bearbetningsdjup

För att bestämma bearbetningsdjup så behöver två parametrar bestämmas: 1) avstånd från mätplattformens ram till såbäddsbotten samt 2) avstånd från mätplattformens ram till markytan.

Avståndet till såbäddsbotten mättes med hjälp av en bill infäst i en ledad arm. En fjäderbelastad vinkelgivare av typen hall-effekt (Regal 9900) monterades på armen.

Rörelser av billen gav utslag i spänning, med en omräknad upplösning på 0,04 mm. Signalen kunde loggas med en frekvens på 1 kHz eller högre. Två olika typer av bill provades: släpbill avsedd för såmaskin samt skivbill avsedd för myllning av flygödsel. Släpbillen ansågs ha bäst följsamhet mot såbotten och valdes därför (figur 2).

Avståndet mellan mätplattformens ram och markytan (markytans relief) mättes med hjälp av en lasertrianguleringssensor (Eltrotec LDS 85). Sensorn består av en laserdiod (670 nm) som belyser mätobjektet. Det ljus som reflekteras registreras av en CCD-array och kan sedan omtolkas till ett avstånd. Lasern kan mäta i området 200-950 mm med en upplösning på 50 mikrometer och en frekvens på upp till 10 kHz. Lasern monterades på ramen

strax bredvid såbilen så att mätning av sådjupsbotten och markytans relief skulle ske så nära varandra som möjligt.

NIR-mätning

För NIR-mätning användes också en bill avsedd att följa såbotten (figur 2). Inne i billen fanns en ljuskälla samt fiberoptik för infångande av det reflekterade ljuset. I botten av billen satt ett safirglas som var genomsläppligt för ljus och kunde följa såbotten utan att skadas eller repas. Optiken var kopplad till ett NIR-instrument, ASDI FieldSpec Pro FR som registrerade våglängder mellan 350 och 2500 nm. Mätning kunde göras med en frekvens av 10 Hz. Reflektansen registreras i förhållande till en vit referens med ett mätvärde per nm. Reflektansen (R) räknas sedan om till absorptions (A) enligt:

$$A = \log(1/R)$$

Dessa absorptionspektrum kalibrerades mot traditionellt mätt vattenhalt och lerhalt med PLS och den så erhållna prediktionsmodellen validerades med korsvalidering. Prediktionsförmågan

upskattades statistiskt med R^2 som anger i vilken utsträckning modellen kan förklara variationen i data, samt med RMSE som anger den genomsnittliga absoluta avvikelsen mellan mätt och predikerat:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

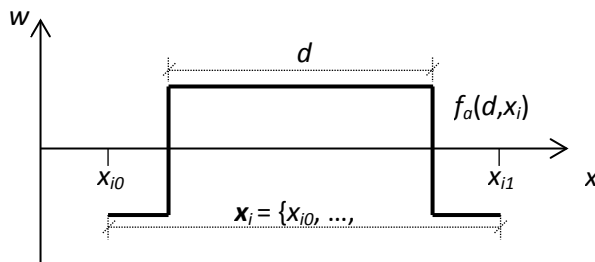
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

Bildanalys av aggregatstorleksfördelning

För fotograferingen användes en konventionell systemkamera av typ Canon EOS 500D. En bildanalysmetod utvecklades för att ta fram storleksfördelningen för ytskiktets jordaggregat ur digitala bilder. Analysen gjordes på gråskalebilden som togs från den gröna färgkomponenten. För att ta fram information om aggregatens storlek i bilden användes ett filter f_a (enligt figur 3) som ger utslag för ljusa objekt med diametern d , se vidare Appendix A.



Figur 2. Mätbilar på plattformen. Närmast: bill med inmonterad NIR-sensor. Bakom: Bill för mätning av bearbetningsdjup.



Figur 3. Aggregatfilter för bildanalys av aggregatstorlek, se vidare Appendix A.

För att kunna uppskatta den verkliga mängden av aggregat med en viss storlek undersöktes sambandet mellan verklig mängd aggregat och filtersvaret (med en diameter som motsvarar aktuella aggregatstorleken). För detta användes en uppsättning referensbilder med rena aggregat. Med hjälp av detta samband kan man sedan uppskatta fördelning mellan olika storlekar av aggregat i bilden utifrån filtersvaret.

Grödreflektans och täckningsgrad mätt med laser och bildanalys

Grödans täckningsgrad uppskattades genom mätning med laser i växande gröda bl.a. i serie R2-5079 med oljeväxter. Lasern registrerade beståndets höjd, när marken ej täcks av blad träffar strålen markytan. Genom att bestämma andelen mätvärden ovan markytan kunde grödans täckningsgrad beräknas.

Samtidigt med mätningen med laser fotograferades beståndet med en konventionell systemkamera av typ Canon EOS 500D. På mätvagnen monterades en hållare med hål för objektivet, kameran lades i hållaren och stadgades med stötdämpande material. Kameran kopplades sedan till en dator för överföring av bilder och med möjlighet att reglera frekvensen.

Bildanalysen av grödan utfördes i två steg, först beräknades "excess-green" (EG) från de tre färgkomponenterna i bilden (2G-R-B). Därefter valdes ett tröskelvärde i EG-bilden på en skala över vilket ytan betraktades som grön. Med tröskeln kunde sedan den binära bilden (växt eller icke växt) beräknas genom att jämföra varje pixel i växtindexbilden med tröskelvärdet.

Grödreflektans mättes med en sensor som mäter hyperspektral reflektans från grödan genom att registrera instrålning från solen och radians från marken. Sensorn är utvecklad i tidigare SLF-projekt (Larsolle, 2003). Den monterades på en ställning och riktades ut vid sidan av mätvagnen. I denna rapport redovisas dock inte några resultat från reflektansmätningar.

3D-kamera

Under 2013 testades också inom projektet en 3D-kamera som ger en tredimensionell bild av markytan, med koordinater uppmätta med millimeternoggrannhet. Tekniken bygger på en 3Dkamera (Kinect) utvecklad för spelkonsoller (Microsoft Xbox). Den kamera som användes är en mera fältmässig version som tillhandahölls av företaget Fotonic. Kameran består av en RGB-kamera och en djupsensor, med en upplösning på 240x360 pixlar. Djupsensorn mäter reflekterat ljus från en infrarödlaser som belyser objektet som man vill fotografera.

Test av olika mätmetoder

Fältförsök

Mätvagnen testades under 2012 för att mäta såbäddsegenskaper i anslutning till sådd i sammanlagt 5 försök: serie R2-4027 med olika bearbetningsdjup i plöjningsfri odling, serie R2-4127 olika bearbetningsdjup och antal överfarter med Väderstad Top-down, serie R2-4134 med plöjning, plöjningsfri odling och direktsådd, serie R2-4136 med höst-och vårbearbetning med tallrikskultivator samt serie R2-5079, olika såddjup och

bearbetningsintensitet till vårraps. Under 2013 gjordes mätning i ett försök, R2-5079 med vårraps. I samtliga fall gjordes såbäddsundersökning i samband med sådden, vilket innebar bestämning av bearbetningsdjup, bestämning av aggregatstorleksfördelning i olika skikt, bestämning av ojämnheter i markytan samt vattenhalt i såbotten. I varje försöksruta gjordes 10 eller 15 NIR-mätningar vid körning med mätvagnen. Dessutom togs i varje ruta ett gravimetriskt vattenhaltsprov på såbotten och 10 manuella mätningar med NIR på samma plats. De manuella mätningarna och vattenhaltsprovet kan därför sägas representera punktvärden medan mätningarna med mätvagnen gjordes utmed hela rutans bredd.

Mätning av grödegenskaper gjordes i 3 försök: serie R2-4007 med plog, kultivator och tallriksredskap, serie R2-4127 samt serie R2-5079. Vagnen kördes i samtliga fall vinkelrätt mot försöksrutornas längdriktning, utanför nettoskörderutan. Den kördes med en hastighet av 2 km/h.

Sållade renfraktioner

I maj 2013 sållades aggregat i olika renfraktioner, <2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm, 32-64 mm och >64 mm och lades ut på ett fält i ytor om ca 0,5 x 0,5 cm (Fig. 4). Dessa användes sedan för flera typer av mätningar: 1. Mätvagn med laser (on-linemätning). 2. Fotografering med Fotonic 3D-kamera. 3. Fotografering med digitalkamera (Canon EOS 6D, 18 megapixels upplösning).



Figur 4. Överst mätvagn och aggregat sorterade i renfraktioner. Underst 3D-kamera.

Mätning av inomfältvariation

Våren 2013 gjordes också mätning av inomfältvariation i såbäddsegenskaper i ett fält på Ultuna egendom. Körning för mätning med laser och NIR gjordes 16 maj efter sådd av våroljeväxter. Vid mätningen loggades samtidigt GPS-positionen en gång per sekund. Mätvagnens hastighet var 4 km h⁻¹. Dessutom gjordes traditionell såbäddsundersökning, inklusive bestämning av vattenhalt, textur och vissningsgräns i 20 GPS-bestämda provpunkter där körning också gjordes med mätvagnen. Efter uppkomst gjordes också mätning av reflektans med mätvagnen, samt planträkning i de 20 mätpunkterna.

Analys av resultat

I de flesta fall studerades korrelationer mellan resultat erhållna med mätvagnen jämfört med traditionella mätningar. För mätningar med laser och 3D-kamera användes också statistiska analyser av variationen i erhållna mätdata. Detta innefattade bland annat markens råhet

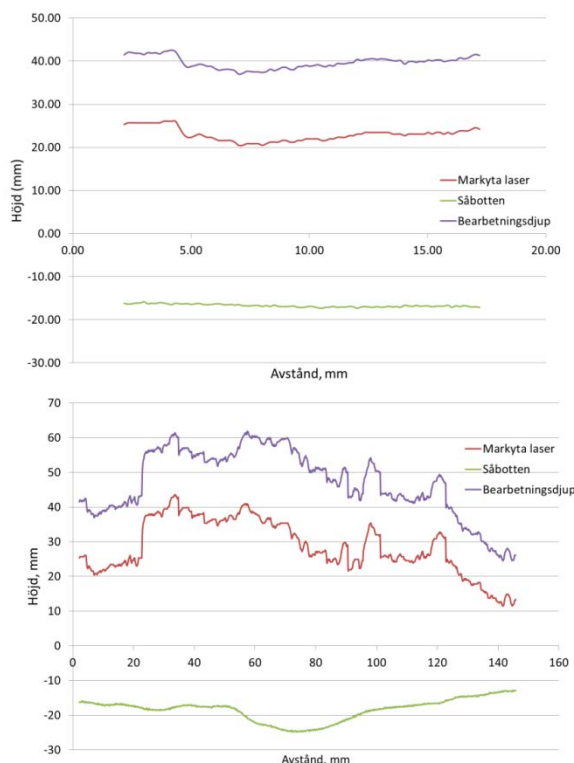
(standardavvikelse), autokorrelation och semivarians (analys av hur variansen beror på avstånd mellan provpunkter) samt Fourieranalys, som bl.a. kan användas för analys av förekomst av våglängder i ett datamaterial.

RESULTAT

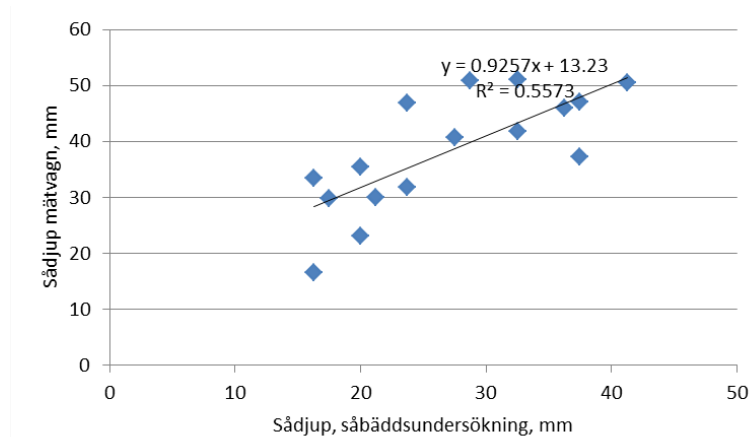
Mätningar i fältförsök

Mätning av markytans relief, såbotten och bearbetningsdjup

Exempel på mätning av markytans relief, såbotten samt det beräknade bearbetningsdjupet visas i figur 5. Överst visas resultatet för en sträcka på ca 15 mm, underst för ca 150 mm. Mätning har gjorts med en frekvens på 1 kHz vilket gör det möjligt att studera ojämnheter i ytan hos enskilda aggregat. Ett exempel på mätning av sådjup i ett enskilt försök visas i figur 6, från serie R2-5079 med 16 försöksrutor och två bearbetningsdjup, 2 och 4 cm.



Figur 5. Exempel på mätning av markytans relief, såbotten och bearbetningsdjup. Observera skalan på x-axeln.



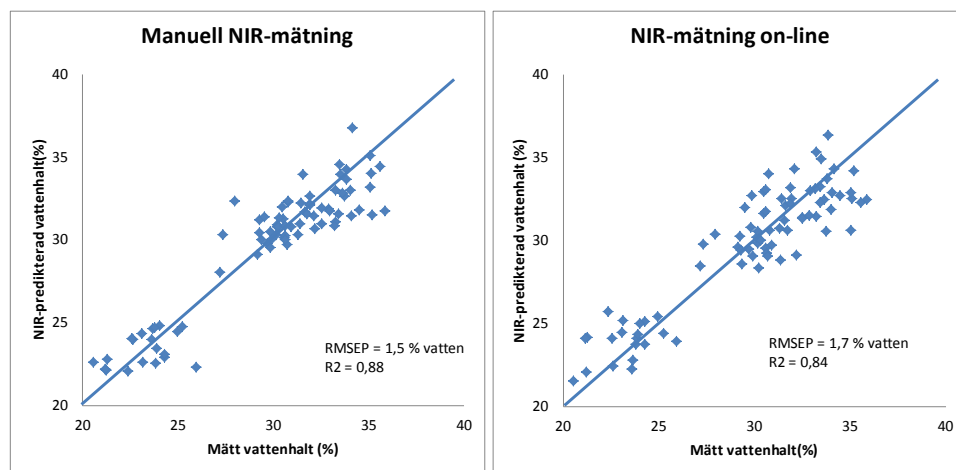
Figur 6. Uppmätt bearbetningsdjup med såbäddsundersökning och mätvagn i försök R2-5079, med olika sådjup till vårraps.

Överensstämmelsen är relativt god mellan de värden som erhöles med mätvagnen och i den manuella såbäddsundersökningen. Värdena blev dock i genomsnitt högre för mätvagnen. En möjlig förklaring är att mätbilden ej följt såbotten tillräckligt väl utan gått något för djupt och att bearbetningsdjupet därför överskattats.

NIR-mätningar

En jämförelse mellan resultatet av NIR-mätningarna med vagn och manuella

mätningar och gravimetriska vattenhalter visas i figur 7. Överensstämmelsen med de gravimetriska proverna är ungefär samma för mätningarna on-line och de manuella mätningarna, dock aningen högre för manuell mätning. Det finns dock en systematisk skillnad mellan spektrumen vid on-linemätning jämfört med manuell mätning. Vad denna består i är inte helt klart, men en trolig förklaring är att inte samma ljuskälla används för de olika mätformerna.

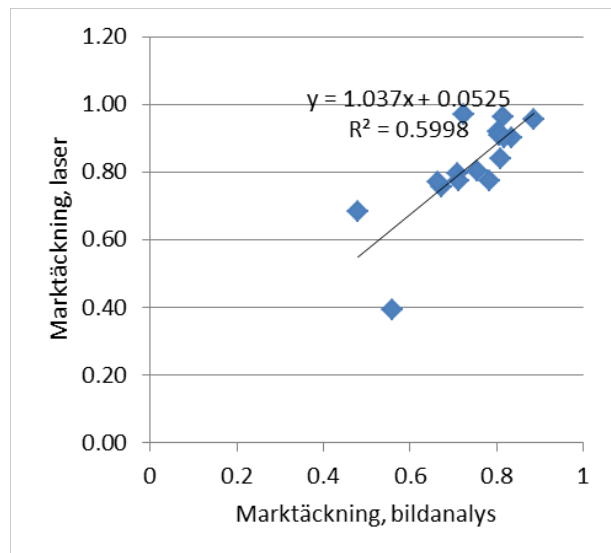


Figur 7. Markens vattenhalt vid manuella NIR-mätningar (vänstra bilden) och on-linemätningar (högra bilden) som funktion av gravimetriska vattenhaltsprover.

Mätningar i grödan

Mätningar med laser i grödan gjordes bl.a. i serie R2-5079 med oljeväxter. I figur 8 visas täckningsgraden mätt med laser som funktion av täckningsgrad bestämt med

bildanalys. Värdena är i samma storleksordning, det är intressant att konstatera att regressionslinjen har en lutning nära 1 och ett intercept nära 0.



Figur 8. Täckningsgrad mätt med laser i försök med våroljeväxter (R2-5079) som funktion av täckningsgrad bestämt med bildanalys.

Mätningar i sållade renfraktioner av aggregat

Lasermätningar och 3D-bilder

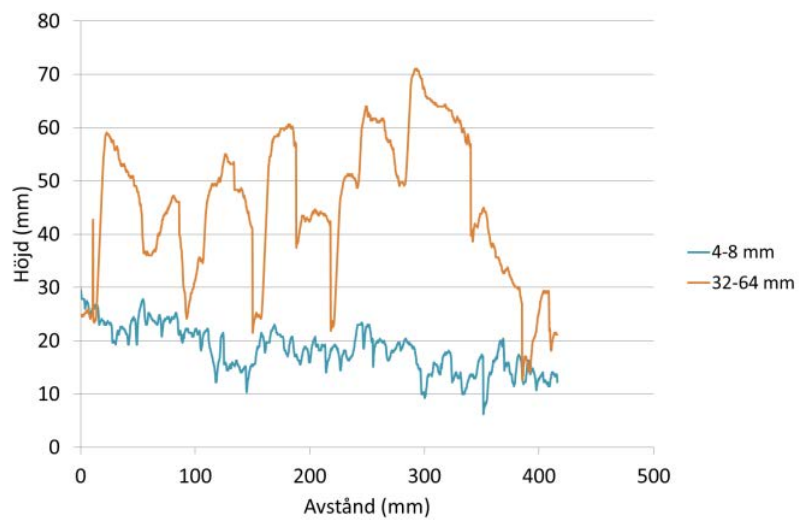
I figur 9-11 visas exempel på digitala bilder, resultat från lasermätningar och en 3D-bild från mätningar på renfraktioner av aggregat.

I ett första steg analyserades råhet (standardavvikelse) på 3D-bilder, resultatet visas i figur 12. Sambandet mellan aggregatstorlek och råhet var mycket

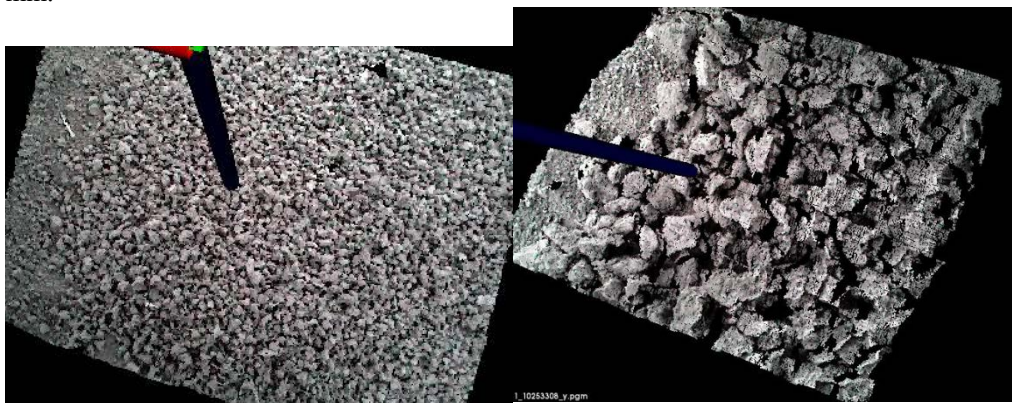
starkt. I figur 13 visas samband mellan aggregatstorlek och råhet från mätningar med laser på mätvagnen. Det fanns ett starkt samband, som dock inte var linjärt. Sambandet var starkare för logaritmerade värden på aggregatstorleken. Sambandet mellan semivarians för olika avstånd och aggregatstorlek var ändå högre än för standardavvikelse (figur 14). För små aggregatstorlekar var sambandet starkare för små avstånd, för stora aggregat var sambandet starkare för större avstånd.



Figur 9. Bilder från mätningar i renfraktioner av aggregat. Digitala bilder av fraktionerna 4-8 och 32-64 mm.



Figur 10. Resultat från lasermätningar i renfraktioner av aggregat, fraktionerna 4-8 och 32-64 mm.



Figur 11. 3D-bilder från renfraktioner av aggregat, fraktionerna 4-8 och 32-64 mm.

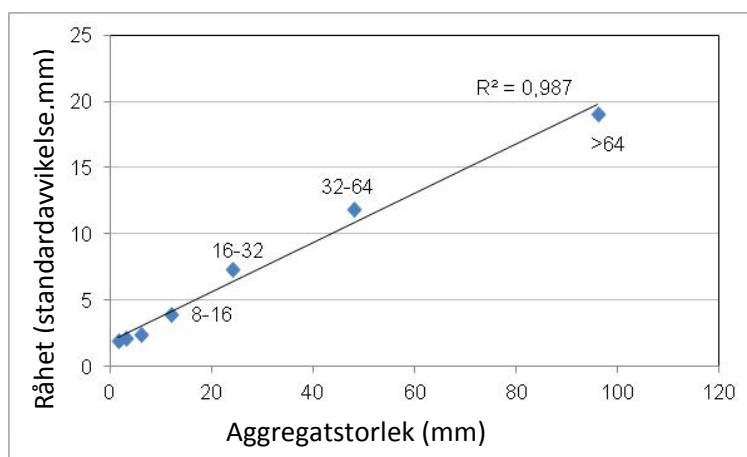
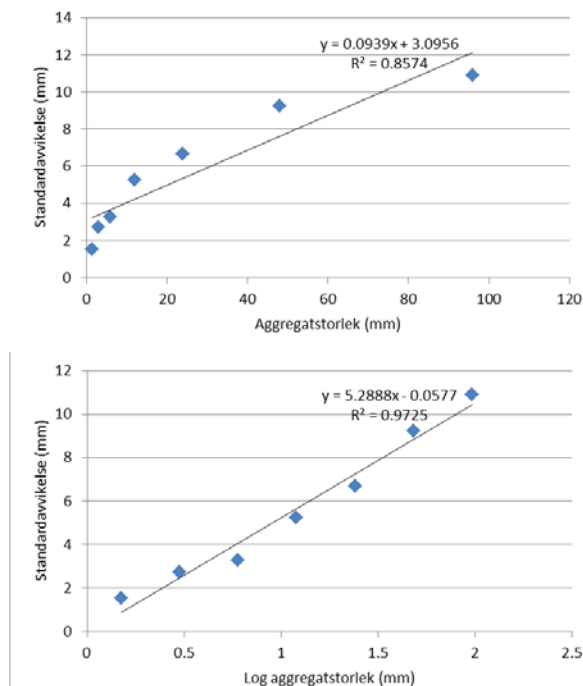
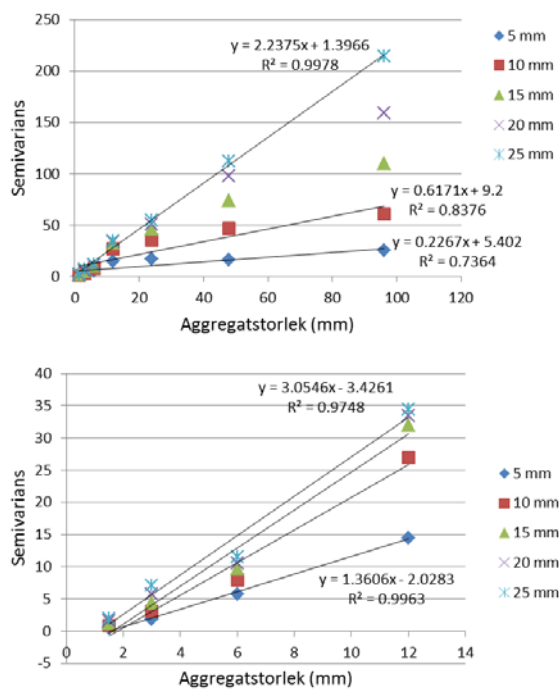


Fig. 12. Råhet (standardavvikelse) som funktion av aggregatstorlek från mätning med 3D-kamera.



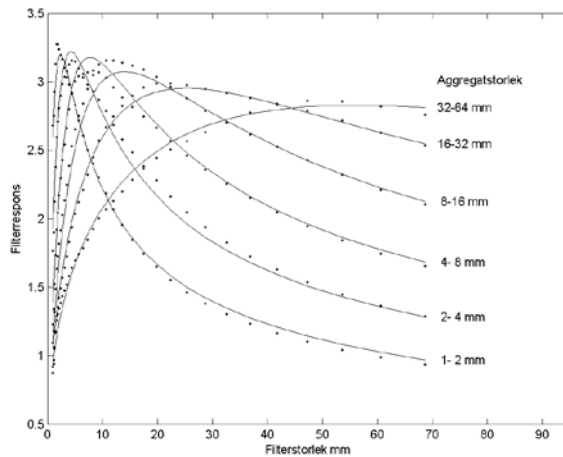
Figur 13. Standardavvikelse som funktion av aggregatstorlek (överst) och logaritmerad aggregatstorlek (nederst) för mätning med laser.



Figur 14. Semivarians för olika avstånd som funktion av aggregatstorlek för alla storlekar (överst) och aggregat <16 mm (nederst) för mätning med laser.

Bildanalys

Förutom analysen av markens råhet gjordes också bildanalys på digitala bilder. Filterresponsen Z tillsammans med den anpassade funktionen f_z för bilderna med sållade aggregatstorlekar ($D = \{1.5, 3, 6, 15, 24, 48\}$ mm) kan ses i figur 15.



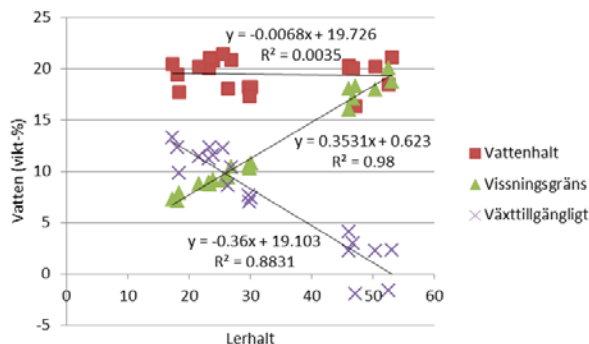
Figur 15. Filtersvar för bilder med sorterade aggregat (punkter). Linjerna visar anpassad funktion.

Inomfältvariation

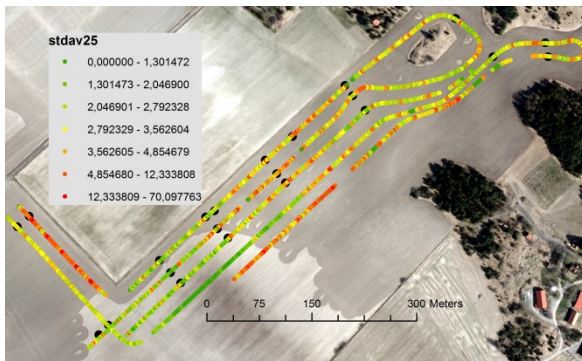
Resultat från fasta provpunkter

Det undersökta fältet hade en stor variation i jordart och såbäddsegenskaper. I de 20 utvalda provpunkterna fanns en t.ex. en variation i lerhalt mellan 17 och 53 %. Beräknad medeldiameter för aggregat i markens ytskikt varierade mellan 3,5 och 17,5 mm. Variationen i vattenhalt (viktsprocent) i såbäddens botten mellan olika provpunkter var liten, och hade inte

något samband med markens lerhalt (figur 16). Permanenta vissningsgränsen hade däremot ett linjärt samband med lerhalten, vilket gjorde att mängden växttillgängligt vatten i såbotten minskade kraftigt med ökande lerhalt (figur 16). Vid lerhalter över 40 % var mängden växttillgängligt vatten i samtliga fall under 6 %, vilket ofta anges som en gräns för tillräckligt med vatten för groning. Provplatsernas läge på fältet visas i figur 17.



Figur 16. Vattenhalt, permanent vissningsgräns och mängd växttillgängligt vatten som funktion av lerhalt i 20 provpunkter.

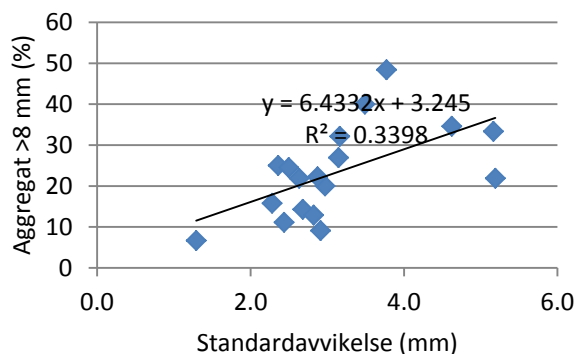


Figur 17. Karta över fältet Säby 3 med mätning av standardavvikelse med laser. De svarta punkterna visar platserna för de 20 fasta provpunkterna.

Markens ojämnhet mätt med laser

I figur 17 visas en karta över råhet (standardavvikelsen i markytans höjd), mätt med laser på mätvagnen. Av figuren framgår tydligt vissa områden med högre råhet, detta stämmer också med visuell bedömning av såbäddens struktur i fält. I

figur 18 visas korrelation mellan standardavvikelse mätt med laser och andelen stora aggregat (>8 mm) i de fasta provpunkterna. Detta samband var inte så starkt, det var generellt svårt att koppla såbäddsegenskaperna till andra mätta parametrar, däribland jordart och uppkomst.

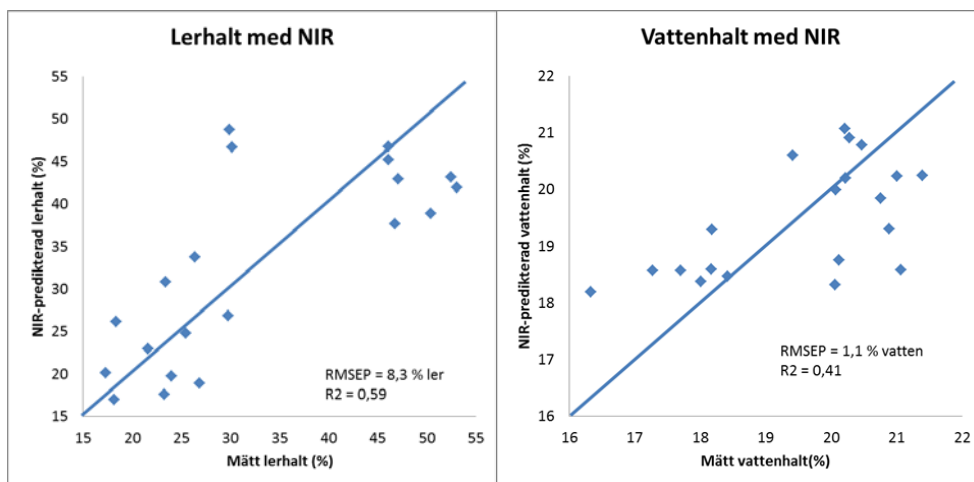


Figur 18. Samband mellan standardavvikelse mätt med laser och andel aggregat >8 mm mätt i 20 provpunkter.

NIR-mätningar

Vid on-line mätningar som gjordes på fältet utfördes kalibreringar för lerhalt och vattenhalt från mätvärden tagna vid de tjugo referenspunkterna (figur 19). Särskilt lerhalten lyckades mycket bra och prediktion av de övriga ca 700 mätpunkterna visar på övergripande

geografiska variationer. Vattenhalten lyckades inte lika väl, främst beroende på att vattenhaltsvariationerna var ganska små (jämför med figur 7), men trots det uppvisade predikterade vattenhaltsvärden tendenser till övergripande variationer över fältet.

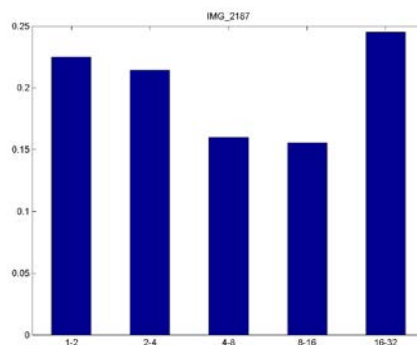


Figur 19. Kalibreringar av lerhalt och gravimetriska vattenhalt vid on-line mätningar med NIR vid de tjugo referenspunkterna på Säby 3 2013.

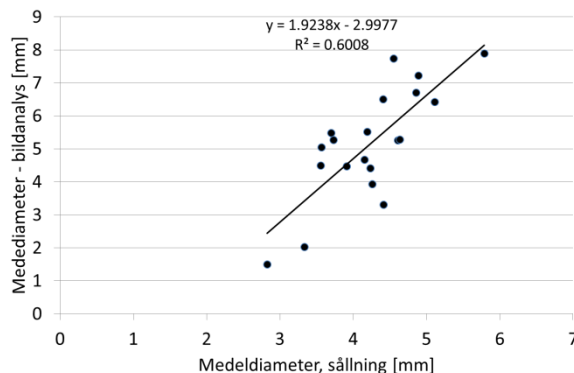
Bildanalys

Den metod som användes för bildanalys av renfraktioner användes också för att analysera bilder från de 20 fasta provpunkterna. Ett exempel på digital bild och motsvarande aggregatstorleksfördelning ges i figur 20. Bestämning av andel aggregat > 16 mm lyckades inte särskilt väl, troligtvis beroende på vissa

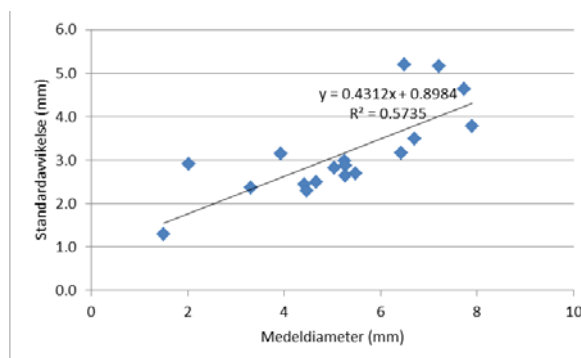
fårar som gav skugg effekter i bilderna. Medeldiametern för fraktioner < 16 mm som erhöles med bildanalys jämfört med sällning gav dock ett ganska starkt samband (figur 21). Intressant nog fanns också ett samband mellan aggregatstorlek från bildanalysen och standardavvikelsen vid mätning med laser på mätvagnen (figur 22).



Figur 20. Digital bild från en av 20 provpunkter (vänster). Aggregatstorleksfördelning baserad på bildanalys (höger).



Figur 21. Samband mellan medeldiameter från bildanalys och sällning i 20 provpunkter.



Figur 22. Samband mellan medeldiameter från bildanalys och standardavvikelse vid mätning med laser på mätvagnen.

DISKUSSION

De mätmetoder som användes fungerade i huvudsak väl. Lasern användes inte med högsta möjliga frekvens men gav ändå bilder av markytan med mycket hög upplösning, ca 1 mm mellan provpunkter i längsled. I renfraktioner av aggregat gav bestämning av råhet med laser mycket starkt samband med aggregatstorleken. I slumpmässiga prover var dock korrelationen med aggregatstorlek bestämd genom sällning betydligt sämre. Man måste dock också komma ihåg att sällningen också innehåller felkällor. Med lasern kan enbart markytans relief bestämmas. Vid provtagning för sällning är det svårt att ta ett representativt prov av ytlagret, dessutom är den rumsliga variationen i ytlagrets utseende stor. Vid lasermätningarna av inomfältvariation erhöles tydliga mönster i fältet, vilket pekar på att lasern detekterade verkliga skillnader i markytans relief.

Lasern fungerade också bra för bestämning av täckningsgrad jämfört med bildanalys. För uppskattning av biomassa finns dock redan reflektansmätning som en väl utvecklad metod som också har hög kapacitet vid onlinemätning. Lasermätning i bestånd kan dock vara av intresse för speciella undersökningar, t.ex. mätning av beståndshöjd (Thomsen m.fl., 2006).

I tidigare undersökningar har det varit svårt att bestämma aggregatstorlek med hjälp av bildanalys (bl.a. (Bogrekci och Godwin, 2007)). Resultaten i denna studie måste dock betraktas som mycket lovande. En felkälla för filtersvaret i de större klasserna var att fåror i ytjorden i bilderna gav högre filterrespons för stora filterdiameterar, vilket i sin tur tolkades som högre andel av den största aggregatfraktionen. Om denna uteslöts erhöles därför en bättre korrelation till aggregatstorlek bestämd genom sällning. Bildanalysmetoden har stor potential för att bestämma aggregatstorleksfördelningen i

ytjordsskiktet. Problematiken kring inverkan av skuggbildning, främst pga. fåror i jorden, skulle kunna hanteras genom att göra filteranalysen av bilderna i olika riktningar. Bildanalys passar dock inte lika bra som t.ex. punktlaser för onlinemätningar. Den bildanalys som krävs är också svår att automatisera.

3D-scanning fungerade bra för bestämning av råhet som hade mycket stark korrelation till aggregatstorlek i renfraktioner. I detta projekt gjordes endast inledande studier med 3D-kamera, t.ex. gjordes inga mätningar on-line. Frekvensen i scanningen gör antagligen att onlinemätning endast kan utföras vid låga hastigheter. 3D-tekniken ger dock möjligheter till bildanalys som är lättare att automatisera än för digitala bilder. Tekniken inom 3D-scanning utvecklas dessutom hela tiden. För närvarande driver vår projektgrupp ett fortsättningsprojekt med särskild inriktning på användning av 3D-kamera.

NIR-mätningarna fungerade bra framförallt för att bestämma lerinnehåll men tekniken är relativt dyr. Det krävs också en god anslutning mellan jord och mätsensor vilket gör det svårare att implementera online. För bestämning av mängden växttillgängligt vatten, som är en viktig parameter i såbädden, krävs en god uppskattning av två variabler: lerhalt och vattenhalt (figur 17).

Bäst resultat för olika metoder erhöles, inte oväntat, vid mätningar på sållade renfraktioner av aggregat. Sambanden blev svagare för enskilda provplatser vid studier av inomfältvariation. En förklaring till detta är att det finns en osäkerhet också i bestämningen med traditionella mätmetoder, vilket ökar variationen i de erhållna resultaten.

SLUTSATSER

De använda metoderna fungerade i huvudsak väl. De viktigaste resultaten kan sammanfattas:

Lasermätning kunde vid onlinemätning återge markytans och enskilda aggregats utseende med mycket hög upplösning (<1 mm i både längs- och höjddled). Genom mätning av avståndet till bearbetningsbotten kunde också bearbetningsdjupet bestämmas. Lasern kunde också användas för att bestämma grödans höjd och täckningsgrad.

3D-kamera hade inte lika hög upplösning som punktlaser men fungerade väl för att återge markens tredimensionella ytstruktur (ca 1 mm i höjddled och 2 mm i x- och y-led).

Markens ojämnheter hade en mycket stark koppling till aggregatstorlek, mätt både med laser och 3D-kamera. Båda dessa metoder skulle vara möjliga att automatisera och har stor potential till onlinemätning.

NIR-mätning on-line gav praktiskt taget samma resultat som manuella mätningar, och kunde prediktera både lerhalt och vattenhalt. Vid små variationer i t.ex. vattenhalt var det dock svårt att få önskvärd precision i mätningarna. Metoden är mycket intressant framförallt för studier av inomfältvariation.

Bildanalys gav mycket lovande resultat för att bestämma aggregatstorlek, trots att denna teknik i tidigare studier oftast visat sig svår att tillämpa. Tekniken är dock svår att använda i onlinemätning.

Metoderna lämpar sig väl i forskningssyfte, både i fältförsök och för studier av inomfältvariation.

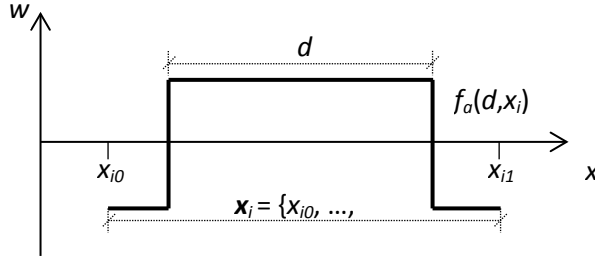
I förlängningen skulle metoderna kunna appliceras på konventionella jordbearbetningsredskap för att ge ett direkt mått på bearbetningsresultatet i fält.

REFERENSER

- Arrivo, A., Di Renzo, G.C., 1998. Trailed unit for testing implements under field conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 19–24.
- Arvidsson, J., Keller, T., Gustafsson, K., 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79 (2), 221-232.
- Arvidsson, J., Bölenius, E., 2006. Effects of soil water content during primary tillage - laser measurements of soil surface changes. *Soil and Tillage Research*, 90, 1-2, 222-229.
- Ben Dor, E., Banin, A., 1995 Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 59(2), 364-372.
- Ben-Dor, E., Heller, D., Chudnovsky, A., 2008. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. *Soil Science Society of America Journal*, 72(4): 1113-1123.
- Bogrecki, I., Godwin, R.J., 2007. Development of an image-processing technique for soil tillth sensing, *Biosystems Engineering*, doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.03.025..
- Christy, C.D., 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1): 10-19.
- Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. I: Applications of Remote Sensing in Agriculture (red. Sleevens. M.D., Clark. J.A.), s. 19-43. Cambridge.
- Kritz, G., 1983. Såbäddar för vårstråsäd. Rapport 65, avd. för jordbearbetning, inst. för markvetenskap, SLU, Uppsala. 187 sidor.
- Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H., Shimizu, H., 1998. Electro-hydraulic tillage depth control system for rotary implements mounted on agricultural tractor design and response experiments of control system. *Journal of Terramechanics* 35, 229–238.
- Larsolle, A., 2003. Instantaneous Measurement of Reflectance Spectra in the Open Field using Diode Array Spectrometers. *Biosystems Engineering* 86 (1), 1–8.
- Larsson, R., 2011. Grödreflektans och bildanalys för bestämning av biomassa i fältförsök. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen, nr 65. SLU, Uppsala.
- Mouazen, A.M., Anthonis, J., Saeys, W., Ramon, H., 2004. An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 1: Sensor Design for Measurement of Frame Height Variation from Soil Surface. *Biosystems Engineering* 89 (2), 139–150.
- Pettersson, L., 2011. Beståndsetablering för optimerad malkornsodling. Meddelande från jordbearbetningsavdelningen, nr 62 SLU, Uppsala.
- Stenberg, B., 2010. Effects of soil sample pretreatments and standardised rewetting as interacted with sand classes on Vis-NIR predictions of clay and soil organic carbon. *Geoderma*, 158(1-2): 15-22.
- Stenberg, B., Viscarra Rossel, R.A., Mouazen, A.M., Wetterlind, J., 2010. Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. In: L.S. Donald (Editor), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 163-215.
- Thomsen, A., Schelde, K., Hougaard, H., 2006. Nitrogen fertilisation based on combined measurements of canopy spectral reflectance and structure. 8th Conference on Precision Agriculture. Conference abstracts, p. 95.
- Wetterlind, J., Stenberg, B., 2010. Near-infrared spectroscopy for within-field soil characterization: small local calibrations compared with national libraries spiked with local samples. *European Journal of Soil Science*, 61(6): 823-843.
- Yasin, M., Grisso, R. D., Lackas, G. M., 1992. Non-contact system for measuring tillage depth. *Computer and Electronics in Agriculture*, 7, 133–147

Appendix A. Bildanalys av aggregatstorleksfördelning

För fotograferingen användes en konventionell systemkamera av typ Canon EOS 500D. En bildanalysmetod utvecklades för att ta fram storleksfördelningen för ytskiktets jordaggregat ur digitala bilder tagna med Canon EOS 500D. Analysen gjordes på gråskalebilden som togs från den gröna färgkomponenten. För att ta fram information om aggregatens storlek i bilden användes ett filter f_a (enligt figur 3) som ger utslag för ljusa objekt med diametern d .



Figur A1. Aggregatfilter för bildanalys av aggregatstorlek.

Filterresponserna $Z(d)$ för filterdiameter d beräknades genom att filtrera gråskalebilden med aggregatfiltret $f_a(d)$ dividerat med medelvärdet $1/n \sum_i v(x)$ på samma position. $v(x)$ är pixelvärdet i bilden i position x .

$$Z(d) = \sum_i \frac{\sum_j r_a(d, x_{ij}) v(x_{ij})}{1/n \sum_j v(x_{ij})}$$

För att representera filterresponserna med avseende på aggregatfraktionens medeldiameter D användes en funktion f_Z baserad på en gammafördelningsfunktion där parametrarnas värde beror av D :

$$f_Z(D, d) = \frac{\frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{d}{\alpha}\right)^{(\beta-1)}}{\left[1 + Q \left(\frac{d}{\alpha}\right)^\beta\right]^{2/Q}} s \quad \begin{aligned} \alpha(d) &= C_{0\alpha} + C_{1\alpha} \cdot C_\alpha^d \\ \beta(d) &= C_{0\beta} + C_{1\beta} \cdot C_\beta^d \\ Q(d) &= C_{0Q} + C_{1Q} \cdot C_Q^d \\ s(d) &= C_{0s} + C_{1s} \cdot C_s^d \end{aligned}$$

Hur filtersvaret beror av aggregatstorlek och filterdiameter kan således beskrivas med 12 parametrar. Fördelen med att använda f_Z är att beräkningar blir enklare och stabilare.

För att uppskatta en okänd aggregatstorleksfördelning W med bildanalys användes determinationskoefficienten R^2 mellan den uppmätta filterresponserna Z och en skattning Z^* . Skattningen av filterresponserna gjordes med hjälp av den viktade summan av $f_Z \cdot W$.

$$Z^*(d) = \sum_{i=1}^N f_Z(D_i, d) W_i$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Z - Z^*)^2}{\sum (Z - \bar{Z})^2}$$

Genom att beräkna R^2 för alla kombinationer av W där W_i varierar mellan 0 och $W_{i \max}$ kan de bästa kombinationerna av W för den högsta andelen (5 %) av R^2 tas fram. Det absoluta värdet

av $W_{i \max}$ är inte konstant eftersom alla W_i måste anpassas så att $\sum (Z - Z^*)^2$ minimeras. Man får således en matris med W_{ij} där i är aggregatstorleksklass och j är kombinationsindex. W_i beräknas sedan med medelvärdet för de kombinationerna med högst R^2 : $W_i = 1/m \sum_j W_{ij}$ (m är antalet kombinationer).