

Slutrapport mätplattform projekt H1160236

Johan Arvidsson, Bo Stenberg, inst. för mark och miljö, SLU, Anders Larsolle, inst. för energi och teknik, SLU, Mikael Gilbertsson, JTI.

BAKGRUND

Bestämningar av markfysikaliska egenskaper är ofta dyra, destruktiva och arbetskrävande. Det är därför angeläget att ta fram metoder som medger enklare mätningar som helst kan utföras online. Syftet med det genomförda projektet var att utveckla en mätplattform, med fokus på utveckling av metoder för bestämning av markegenskaper i samband med sådd. Undersökningarna har främst avsett 1) Bearbetningsdjup, 2) Bearbetningsresultat (främst aggregatstorleksfördelning), 3) Markens vattenhalt, 4) Jordart, 5) Grödans täckningsgrad vid tidig tillväxt, 6) Grödans höjd.

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. Till höger vid körning för att bestämma såbäddsegenskaper.

Inköp och utveckling av utrustning för olika typer av mätningar

Olika typer av mätutrustning införskaffades eller utvecklades för de metoder som skisserats i ansökan: 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 såddsbotten varvid den valdes (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 såbillen så att mätning av såddjupsbotten 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 finns en ljuskälla samt fiberoptik för infångande av det reflekterade ljuset. I botten av billen sitter ett safirglas som är genomsläppligt för ljus och kan följa såbotten utan att skadas eller repas. Optiken är kopplad till ett NIR-instrument, ASDI FieldSpec Pro FR som registrerar våglängder mellan 350 och 2500 nm. Mätning kan göras med en frekvens av 10 Hz.



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

Bildanalys

För bildanalys användes bilder från en konventionell systemkamera av typ Canon EOS 500D. För fotografering från mätvagnen monterades en hållare med hål för objektiv, 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.

Proceduren för bildanalys av aggregat är för omfattande för att beskrivas här, se istället rapport i publikationslista. I korthet används ett filter som scannar bilden efter ljusa områden med olika längd, som sedan kan relateras till aggregatstorlek. För grödans täckningsgrad användes ett tröskelvärde för grönhet i varje enskild pixel.

Grödrepektans och täckningsgrad

Grödans täckningsgrad uppskattades genom mätning med laser i växande gröda bl.a. i serie R2-5079 2013. Lasern registrerade beståndets höjd, när marken ej täcks av blad träffar strålen markytan. Genom att bestämma andelen mätvärden ovan markytan kunde grödans täckningsgrad beräknas.

Grödrepektans mättes med en sensor som mäter hyperspektral repektans från grödan genom att registrera instrålning från solen och radians från marken. Denna monterades på en ställning och riktades ut vid sidan av mätvagnen.

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 mm (Fig. 3). Dessa användes sedan för flera typer av mätningar: 1. Mätvagn med laser (on-linemätning). 2. Mätning med Fotonic 3D-kamera. 3. Fotografering med digitalkamera (Canon EOS 6D, 18 megapixels upplösning).



Figur 3. Till vänster mätvagn och aggregat sorterade i renfraktioner. Till höger 3D-kamera.

Mätning av inomfältvariation

Våren 2013 gjordes också mätning av inomfältvariation i såbäddsegenskaper i ett fält (Säby3) 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. Dessutom gjordes traditionell såbäddsundersökning, inklusive bestämning av vattenhalt, textur och vissningsgräns i 20 GPS-bestämda provpunkter där körning också gjordes med mätvagnen. Innan såbäddsundersökningen togs också digitala bilder av den yta som senare sållades för att bestämma aggregatstorleksfördelning. Efter uppkomst gjordes mätning av reflektans med mätvagnen, samt planräkning i de 20 mätpunkterna.

Analys av resultat

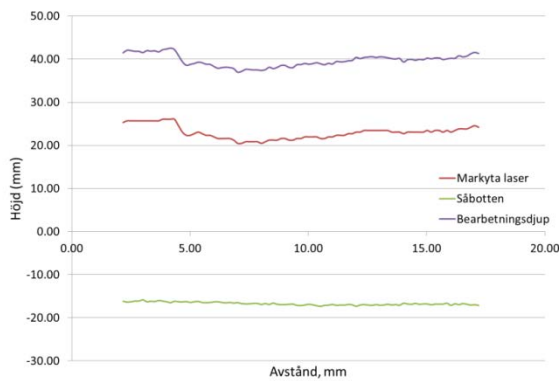
I de flesta fall studerades korrelationer mellan resultat erhållna med mätvagnen jämfört med traditionella mätningar. För mätningar med laser och 3D-kamera användes också statistiska analyser av variationen i erhållna mätdata. Detta innefattade bland annat markens råhet (standardavvikelse i höjdmätningar), autokorrelation och semivarians (analys av hur variansen beror på avstånd mellan provpunkter) samt Fourieranalys.

RESULTAT

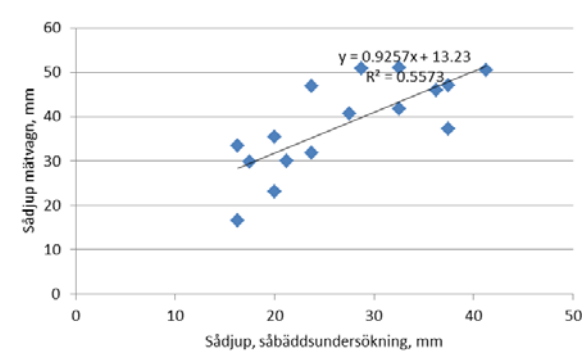
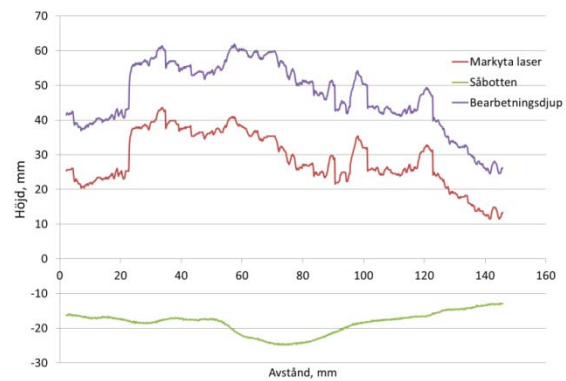
I det följande presenteras de viktigaste resultaten, alla resultat inom projektet ryms ej i denna rapport.

Mätning av markytans relief, såbotten och bearbetningsdjup i fältförsök

Exempel på mätning av markytans relief, såbotten samt det beräknade bearbetningsdjupet visas i figur 4. I figuren visas resultatet dels för en sträcka på ca 15 mm, dels 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 såddjup i ett enskilt försök visas i figur 5, från serie R2-5079 med 16 försöksrutor och två bearbetningsdjup, 2 och 4 cm. 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 mätbilen ej följt såbotten tillräckligt väl utan gått något för djupt och att bearbetningsdjupet därför överskattats.



Figur 4. Exempel på mätning av markytans relief, såbotten och bearbetningsdjup. Observera skalan på x-axeln.



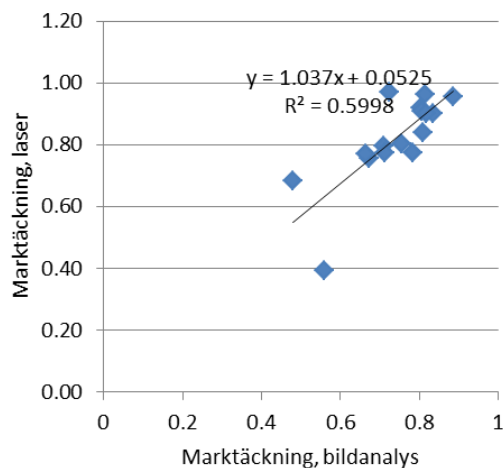
Figur 5. Uppmätt bearbetningsdjup med såbäddsundersökning och mätvagn i försök R2-5079, med olika sådjup till vårraps.

NIR-mätningar

En jämförelse mellan resultatet av NIR-mätningarna med vagn och manuella mätningar för prediktion av gravimetriska vattenhalter visar att skillnaden inte var särskilt stor. De manuella mätningarna blev ca 15 % bättre. Det genomsnittliga felet on-line blev 1,7 % vatten medan det med manuell mätning blev 1,5 % vatten. NIR-predikterade värden stämde överens med de mätta till 83 respektive 88 %. Även om orsaken till skillnaden inte går att avgöra definitivt så torde skillnader i spektrumets kvalitet tillsammans med bättre överensstämmelse mellan det jordprov som analyserats på labb och det som NIR-analysen gjorts på vid manuell mätning vara de viktigaste. Av den lilla skillnaden mellan spektrumets utseende och brusnivå att döma hade det senare troligtvis störst betydelse.

Mätningar i grödan

Mätningar med laser i grödan gjordes bl.a. i serie R2-5079 med våroljeväxter. I figur 6 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 6. Täckningsgrad mätt med laser i försök med våroljeväxter (R2-5079) som funktion av täckningsgrad bestämt med bildanalys.

Mätningar i sållade renfraktioner av aggregat

3D-kamera och laser

I figur 7 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 8.

Sambandet mellan aggregatstorlek och råhet var mycket starkt. I figur 9 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 (fig. 9). Sambandet mellan semivarians för olika avstånd och aggregatstorlek var ändå högre än för standardavvikelse (figur 10). För små aggregatstorlekar var sambandet starkare för små avstånd, för stora aggregat var sambandet starkare för större avstånd.

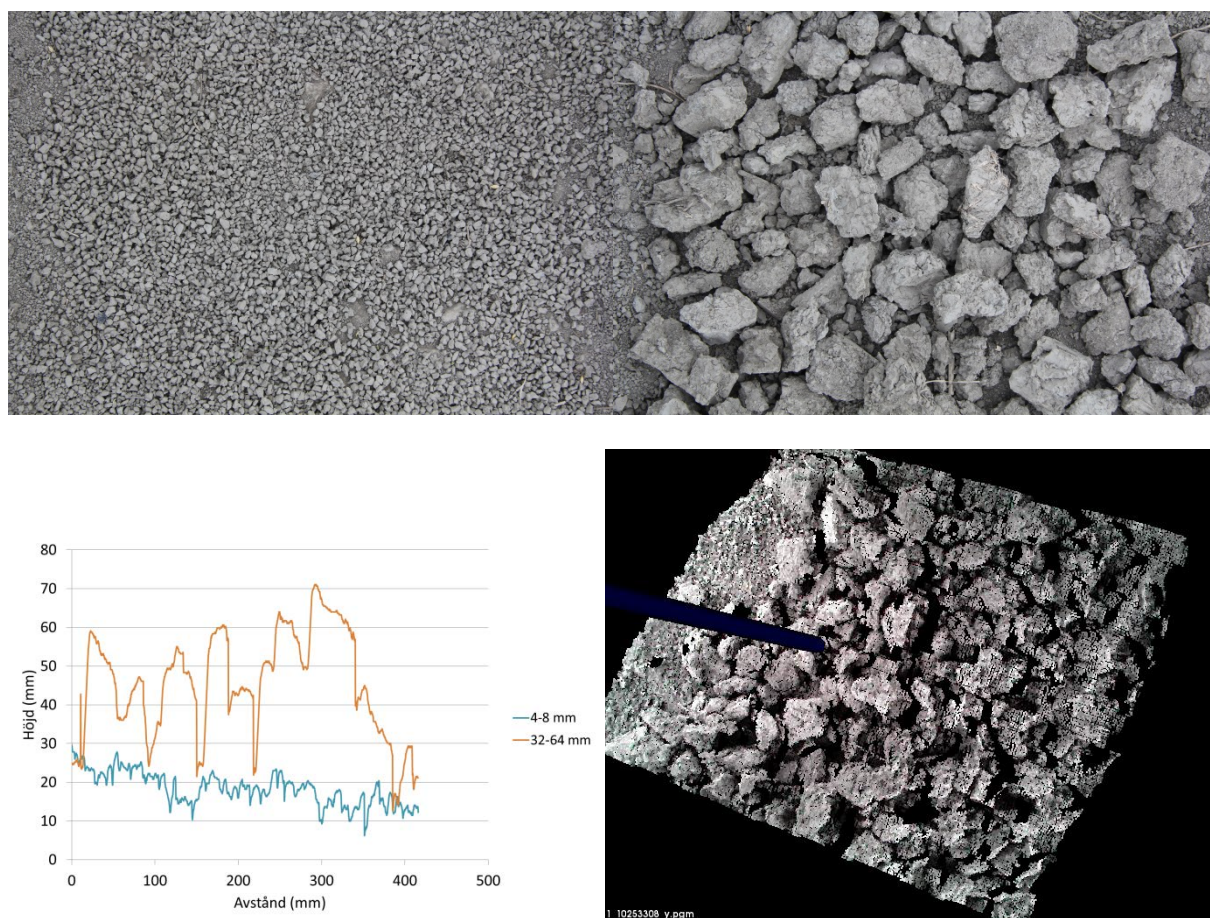


Fig. 7. Bilder från mätningar i renfraktioner av aggregat. Överst: digitala bilder av fraktionerna 4-8 och 32-64 mm. Nedan till vänster: lasermätningar med samma renfraktioner. Nedan till höger: 3D-bild av 32-64 mm.

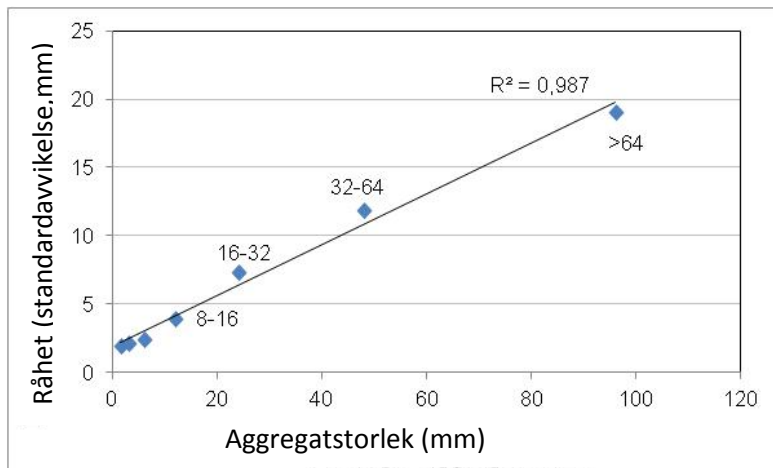
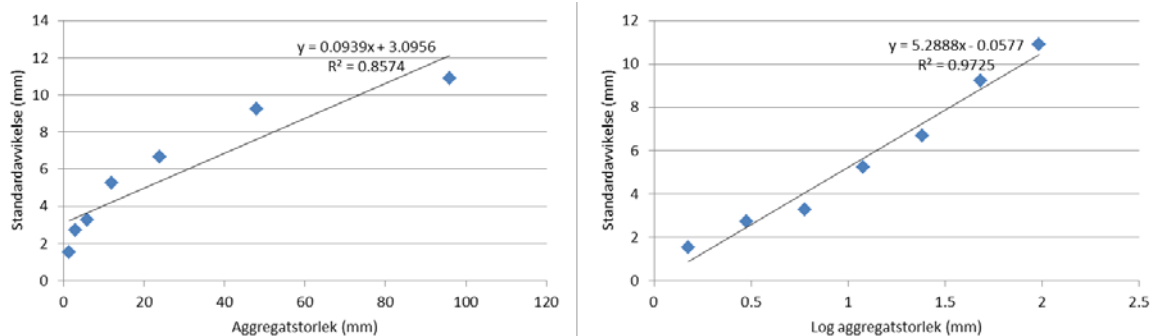
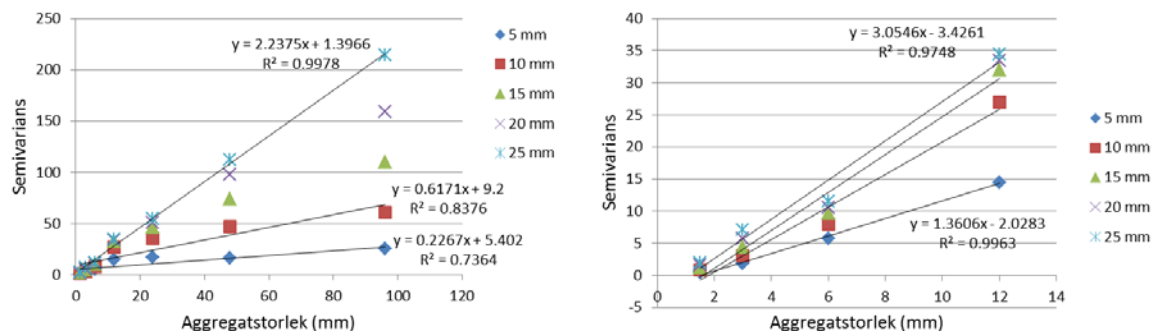


Fig. 8. Råhet (standardavvikelse) som funktion av aggregatstorlek från mätning med 3D-kamera.



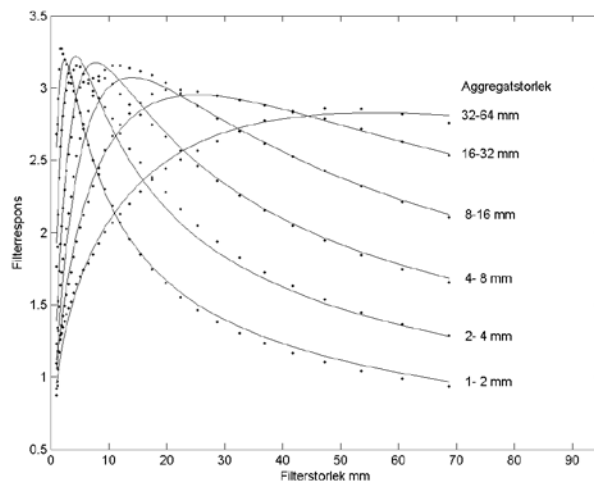
Figur 9. Standardavvikelse som funktion av aggregatstorlek (vänster) och logaritmerad aggregatstorlek (höger) för mätning med laser.



Figur 10. Semivarians för olika avstånd som funktion av aggregatstorlek för alla storlekar (vänster) och aggregat <16 mm (höger) 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 11. Filtringen gjordes i x-led i bilderna, dvs. horisontellt i bilden. Punkterna visar filterresponsen Z för olika filterdiameter d och linjerna visar den anpassade funktionen f_z . För samtliga fraktioner erhöles ett maxvärde i funktionen nära aggregatens medeldiameter.

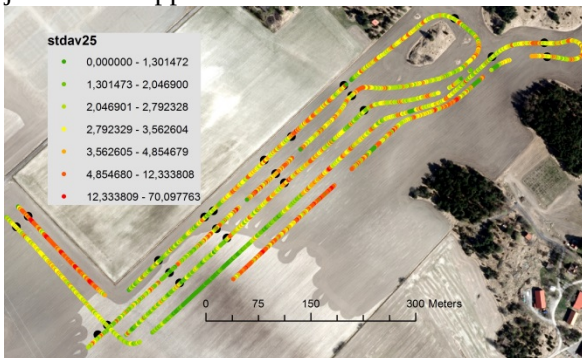


Figur 11. Filtersvar för bilder med sorterade aggregat (punkter). Linjerna visar anpassad funktion.

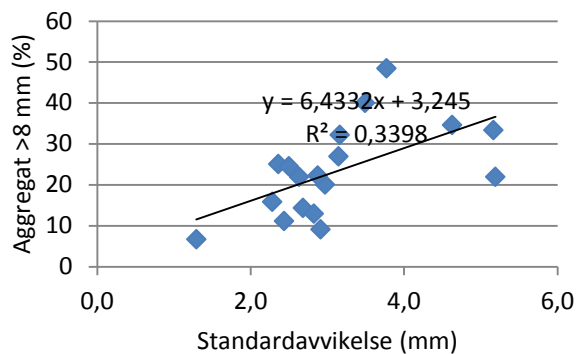
Inomfältvariation

Råhet

I figur 12 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 13 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.



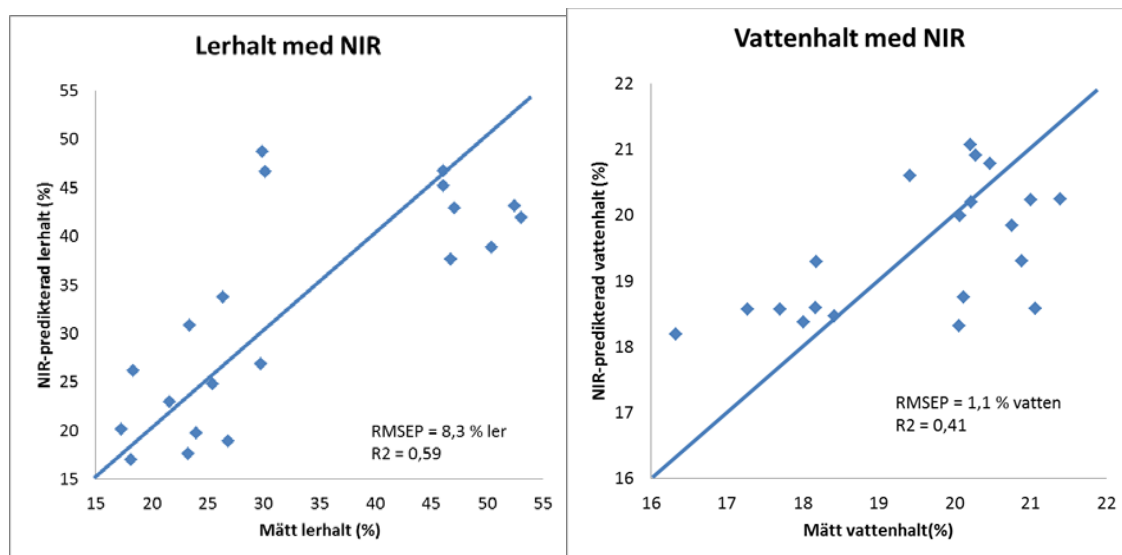
Figur 12. Karta över fältet Säby 3 med mätning av standardavvikelse med laser. De svarta punkterna visar platserna för de 20 fasta provpunkterna.



Figur 13. Samband mellan standardavvikelse mätt med laser och andel aggregat >8 mm mätt i 20 provpunkter.

NIR-mätningar

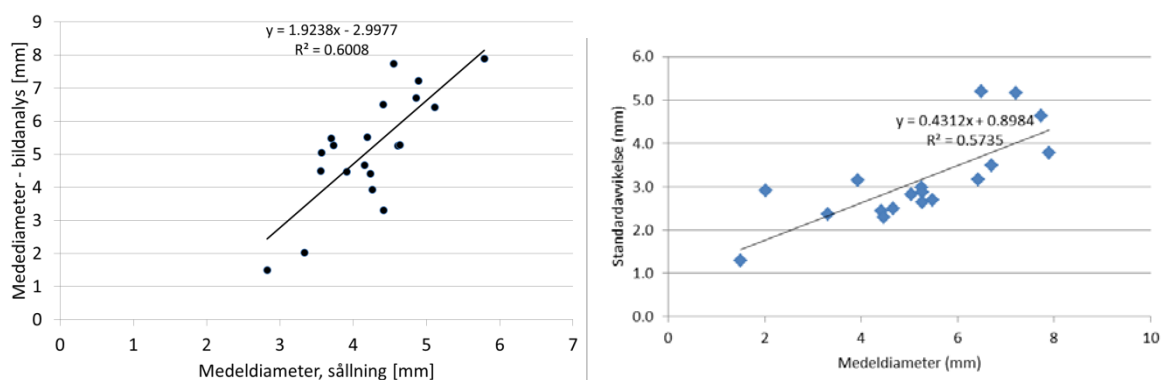
Vid on-line mätningar som gjordes på fältet utfördes kalibreringar för lerhalt och vattenhalt från mätvärden tagna vid de tjugo referenspunkterna (figur 14). Särskilt lerhalten lyckades mycket bra och prediktion av de övriga ca 700 mätpunkterna visar på övergripande geografiska variationer. Vattenhalten lyckades inte lika väl, främst beroende på att vattenhaltsvariationerna var ganska små, men trots det uppvisade predikterade vattenhaltsvärden tendenser till övergripande variationer över fältet.



Figur 14. 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. Bestämning av andel aggregat >16 mm lyckades inte särskilt väl, troligtvis beroende på vissa fåror som gav skuggeffekter i bilderna. Medeldiametern för fraktioner <16 mm som erhöles med bildanalys jämfört med sållning gav dock ett ganska starkt samband (figur 15). Intressant nog fanns också ett samband mellan aggregatstorlek från bildanalysen och standardavvikelsen vid mätning med laser på mätvagnen (figur 15).



Figur 15. Samband mellan medeldiameter från bildanalys och sållning i 20 provpunkter (vänster). Samband mellan medeldiameter från bildanalys och standardavvikelse vid mätning med laser på mätvagnen (höger).

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. 3D-scanning och analys av digitala bilder fungerade bra för bestämning av råhet och bestämning av aggregatstorlek men framförallt bildanalys passar inte lika bra som punktlaser för mätning on-line. NIR-mätningarna fungerade bra framförallt för att bestämma lerinnehåll men tekniken är relativt dyr och komplicerad och därför just nu svårare att implementera online.

Bäst resultat för olika metoder erhöles, inte oväntat, vid mätningar på sållade renfraktioner av aggregat. Sambanden blev svagare vid 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.

PUBLIKATIONER

Resultat har publicerats i:

Arvidsson, J., Gilbertsson, M., Larsolle, A., Stenberg, B., 2013. Mätplattform för mätning av mark- och grödegenskaper. I Jordbearbetningens årsrapport 2012. Rapporter från jordbearbetningen nr 125. Inst. för mark och miljö, SLU.

Arvidsson, J., Gilbertsson, M., Larsolle, A., Stenberg, B., Bölenius, E., 2014. 3D-kamera för bestämning av markens ytstruktur, främst såbäddsegenskaper. I Jordbearbetningens årsrapport 2012. Rapporter från jordbearbetningen nr 128. Inst. för mark och miljö, SLU.

Arvidsson, J., Gilbertsson, M., Larsolle, A., Stenberg, B., Bölenius, E., Gröndahl, O., 2014. Mätplattform för mätning av mark- och grödegenskaper. Rapporter från jordbearbetningen nr 130. Inst. för mark och miljö, SLU.

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 kanske störst potential till on-linemätning av de studerade metoderna.

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.

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.

RESULTATFÖRMEDLING TILL NÄRINGEN

Förutom de publikationer som anges ovan har resultat presenterats bl.a. på:

Seminarium om jordbearbetning och växtföljder, Vreta kloster, 13 mars 2014.

Föredrag anordnat av IAMFE, nätverk för fältförsök, Borgeby fältdagar, 26 juni 2014.

Lantmannen nr 5, 2014.

NJF-seminarium Future arable farming and agricultural engineering, Herning, Danmark 24-25 november 2014 (kommande)