



## Går det att bestämma vattenhalten i fält med NIR för korrigering av andra sensormätningar?



Johanna Wetterlind & Mats Söderström

## Förord

Denna rapport bygger på slutrapporten till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) för projektet *Förbättrade bestämningar av jordart och tungmetaller direkt i fält, genom bestämningar av vattenhalt med hjälp av nära infraröd reflektans* (Anslagsnummer H13-0168) finansierat av Fonden för markvård till minne av Sanders Alburg.

Författarna  
Skara, augusti 2016

*Bild framsida: Bo Stenberg*

# Innehållsförteckning

<i>Förord</i> .....	2
<i>Innehållsförteckning</i> .....	3
<i>Sammanfattning</i> .....	4
<i>Summary</i> .....	5
<i>Bakgrund</i> .....	6
<i>Material och metoder</i> .....	7
<b>Provtagning</b> .....	8
<b>NIR-modeller</b> .....	9
Provtagning hösten och vintern 2013-2014.....	9
Provtagning hösten 2015 .....	10
Använda kalibreringar från provtagningen 2013-2014 för att bestämma vattenhalter vid provtagningarna 2015 .....	10
<b>Utvärdering</b> .....	10
<i>Resultat och diskussion</i> .....	11
<b>Vattenhalter</b> .....	11
<b>Provtagningarna hösten och vintern 2013-2014</b> .....	12
Kalibreringar av enskilda provtagningstillfällen .....	12
Kalibreringar av enskilda prov .....	14
Kalibreringar med enstaka prov från de olika klasserna.....	14
<b>Provtagningarna 2015</b> .....	14
<b>Bestämma vattenhalterna vid provtagningarna 2015 med modeller från 2013-2014</b> .....	15
<i>Slutsatser</i> .....	15
<i>Referenser</i> .....	16

## Sammanfattning

En stor skillnad mellan sensormätningar gjorda på lab och mätningar gjorda direkt i fält är att fältmätningarna påverkas av vattenhalten i marken. Vattenhalten kommer att variera mellan mätningstidpunkter men också beroende på var på fältet mätningen görs. Påverkan av vattenhalt och variationer i vattenhalt är några av anledningarna till att bestämningarna av t ex jordart eller tungmetaller från sensormätningar ofta blir något sämre med fältmätningar jämfört med mätningar på torkad jord på lab.

Syftet med pilotprojektet var därför att undersöka möjligheten att göra vattenhaltsbestämningar direkt i fält med nära infraröd reflektans (NIR) spektroskopi. Vattenhaltsbestämningar från NIR-mätningar direkt i fält i samband med andra sensormätningar skulle kunna användas för att korrigera för vattenhalt i de andra sensormätningarna och därmed förbättra bestämningarna av jordart och tungmetaller utan att behöva ta in en mängd prov för analys på lab.

Resultaten visar på möjligheten att använda NIR-mätningar för att bestämma vattenhalten i marken i samband med andra sensormätningar som t ex med ett PXRF (portabelt röntgenfluorescens) instrument. Men texturen har en stor inverkan på både vattenhalt och spektrum och det är viktigt att få med variationen i både vattenhalt och i textur i kalibreringen.

Bäst modeller fick vi genom att använda ett fåtal provplatser, två, som täckte in ytterligheterna i textur och sedan bygga modeller på de två platserna där vi hade 10 olika vattenhalter per plats. Detta är möjligt i teorin, men inte i praktiken om modellerna visar sig vara så specifika som resultaten av pilotstudien antyder. Detta måste dock testas på fler platser.

Mer framkomligt är det då att göra lokala kalibreringar i samband med varje sensormätning. Det skulle innebära att ett antal prov togs in för vattenhaltsbestämning genom torkning. Då de flesta andra sensorer också kräver någon form av kalibrering behöver detta inte nödvändigtvis innebära så mycket extrajobb. I pilotstudien gjordes sådana kalibreringar med 10 och 16 prov. Det var i minsta laget men då ska man komma ihåg att de tre fälten som ingick i pilotstudien har väldigt hög variation i textur. Med mindre texturvariationer borde det gå att hålla nere antalet kalibreringsprov för vattenhaltsbestämning.

## Summary

One large difference between sensor measurements done in the laboratory and measurements done in-field is that in-field measurements are influenced by soil moisture. The soil moisture will vary between measurement times but also depending on where in the field the measurement is done. Influence of soil moisture and variations in soil moisture are part of the reason for the often slightly worse predictions of e.g. soil texture or heavy metal content from in-field sensor measurements compared to measurements on dried soil in the laboratory.

The aim of the short project was therefore to study the possibility to use near infrared reflectance (NIR) spectroscopy for in-field soil moisture predictions. In-field predictions of soil moisture by a portable NIR instrument in connection with other sensor measurements could then be used to correct for soil moisture in other sensor measurements and thereby improve the predictions of soil texture, organic matter and heavy metal content without having to collect a lot of soil samples.

According to the results it is possible to use in-field measurements with NIR spectroscopy to predict soil moisture. But texture has a large influence on both soil moisture and the NIR spectra and it is important to cover the variation in both soil moisture and texture in the calibrations.

Best predictions were achieved by using a model including only a small number of sampling sites, two, that covered the extremes in soil texture. At both sites 10 different soil moisture levels were included in the model. This is possible in theory, but not in practice if the models prove to be as specific as the results in this study suggests. This needs to be tested on more fields.

A more practical strategy could be to do local (field or farm wise) calibrations in connection with each sensor measurement campaign. This means that a small number of soil samples would have to be collected for soil moisture analysis. However, since other sensors also often require some calibration with local samples this does not necessarily mean a lot of extra work. In this project 10 and 16 samples were used in this type of soil moisture calibrations. That was almost too few, but the three fields included in this study had a very large variation in soil texture with clay content from a couple of percent to over 60 percent and sand content from less than three percent to over 90 percent sand. With smaller variations it should be possible to keep the number of calibration samples low.

## Bakgrund

En aktuell markkarta är en grundförutsättning för att kunna anpassa sina insatser i växtodlingen. För att kunna använda kartan för att variera insatserna efter lokala behov behövs relativt täta prov-tagningar för att få ett pålitligt beslutsunderlag (Wetterlind et al, 2010). Med traditionell provtagning och analyser blir detta snabbt kostsamt. Därför tittar man idag i allt större utsträckning på sensorer av olika slag för att kunna framsälla detaljerade kartor till rimliga kostnader (t ex Söderström & Eriksson, 2012; Piikki et al., 2013). Exempel på vanligt förekommande tekniker är sensorer som mäter elektrisk induktion eller naturligt förekommande gammastrålning. I ett pilotprojekt finansierat av Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning studerades möjligheten att använda portabel röntgenfluorescens (PXRF) som är en hittills outnyttjad teknik inom jordbruket (Söderström & Stadig, 2015). PXRF är en teknik som utvecklats mycket de senaste tio åren, och används t ex inom metallindustri, miljötredningar, prospektering och arkeologi. Det som gör tekniken intressant är att man med ett behändigt instrument kan göra mätningar direkt i fält (figur 1), och då kan bestämma innehållet av en lång rad olika grundämnen, och indirekt kan man beräkna olika markegenskaper på ett lovande sätt.



*Figur 1. Mätning i fält med PXRF  
(Foto Mats Söderström)*

Problemet med mätningar direkt i fält jämfört med mätningar på torkade preparerade prov på labb är att jordens vattenhalt kommer att påverka mätresultatet (Potts & West, 2008). Detta syntes tydligt i några av delresultaten från pilotprojektet, där man gjort mätningar både på torkat och fuktigt prov. Innehållet av Th, som i tidigare studier visat sig korrelera väl med lerhalt, underskattades i de fuktiga proven och korrelationerna till ler- och sandhalt blev också något sämre när mätningarna gjorts på fuktiga prov jämfört med på torra ( $R^2 = 0,91$  jmf 0,86 för sandhalt och  $R^2 = 0,96$  j f m 0,93 för lerhalt).

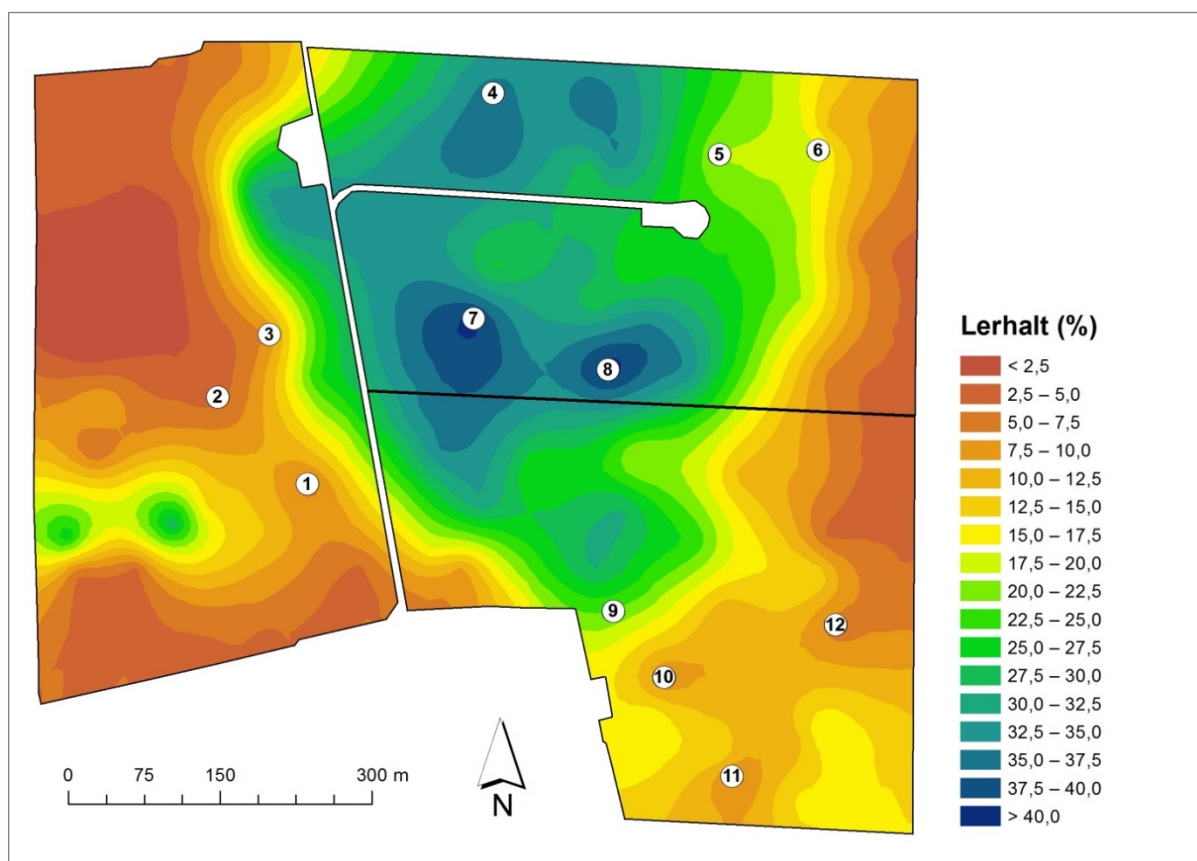
I en fransk rapport från BRGM (motsvarigheten till Sveriges geologiska undersökning (SGU)) (Quiniou & Laperche, 2011), korrigerar författarna PXRF-mätningar för vattenhalt genom att först bestämma vattenhalten utifrån mätningar med NIR-spektroskopi. NIR-spektroskopi är precis som PXRF-tekniken, en ickedestruktiv teknik. Den är billig, snabb och möjliggör mätningar direkt i fält. NIR-tekniken är en väletablerad teknik inom mark- och jordbruksrelaterad forskning och tillämpning som analysmetod för bland annat spannmål, men också för jordanalyser (Stenberg et al, 2010). Vatten absorberar starkt inom NIR-området och har bland annat tydliga absorptionstoppar vid 1400 och 1900 nm. Flera studier har också visat på möjligheten att bestämma vattenhalt med NIR-spektroskopi (t.ex. Bullock et al, 2004). Samtidigt gör starka kopplingar mellan vattenhalt, lerhalt och mineralogi att det är svårt att ta fram generella bestämningsmodeller för jordar med allt för stora skillnader i ursprung och geologi. Att använda modellen framtagen i den franska studien, som gäller tropiska jordar, skulle därför antagligen fungera dåligt på svenska jordar.

Som ett första led i att kunna ta hänsyn till aktuell vattenhalt vid sensormätningar startades därför ett pilotprojekt med syftet att undersöka möjligheterna att använda NIR-teknik för att bestämma vattenhalt i fält under svenska förhållanden.

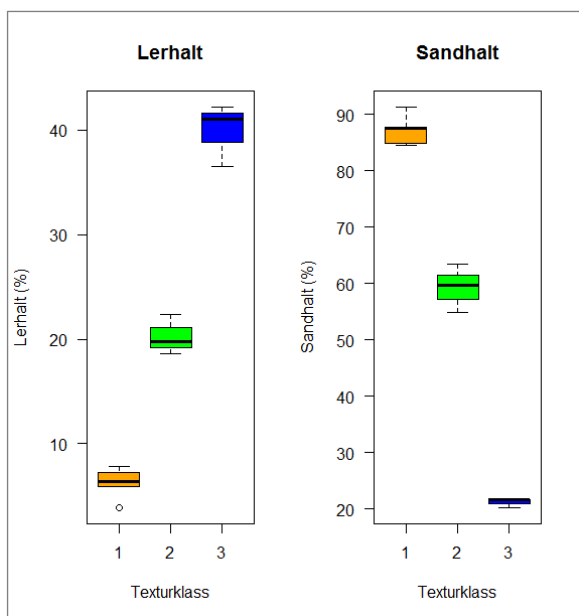
## Material och metoder

Pilotstudien utfördes på tre intilliggande fält på sammanlagt 55 ha ca 10 km väster om Skara. Fälten är väldokumenterade med täta jordartsanalyser och har stora variationer i textur med lerhalter från ett par till drygt 60 % och sandhalter från knappt 3 till över 90 % (Figur 1). Fälten ingick även i den pilotstudie där PXRF-instrumentet testades och de 12 provpunkter som valdes ut för vattenhaltsmätningarna i det här projektet ingick även i PXRF-projektet (Söderström & Stadig 2015). Figur 1 visar placeringen av de 12 provtagningspunkterna. De 12 punkterna valdes ut för att fånga så mycket som möjligt av variationerna i textur på fälten.

Figur 2 visar ler- och sandhalt på de 12 provplatserna. Proven delades in i tre texturklasser där klass 1 utgjordes av prov med hög sandhalt och låg lerhalt och klass 3 av de med högst lerhalt och lägst sandhalt. Sex av de 12 provplatserna hamnade i klass 1 medan de övriga två klasserna hade tre prov vardera. Indelningen i texturklasser gjordes för att lättare kunna titta på relationerna mellan textur och vattenhalt och eventuella effekter av det på NIR-modellerna för beräkning av vattenhalten.



Figur 1. Placering av de 12 provpunkterna med lerhaltskarta som bakgrund.



Figur 2. Ler- och sandhalt på provplatserna uppdelat på 3 texturklasser.

Prov i texturklass 1: 1, 2, 3, 10, 11, 12

Prov i texturklass 2: 5, 6, 9

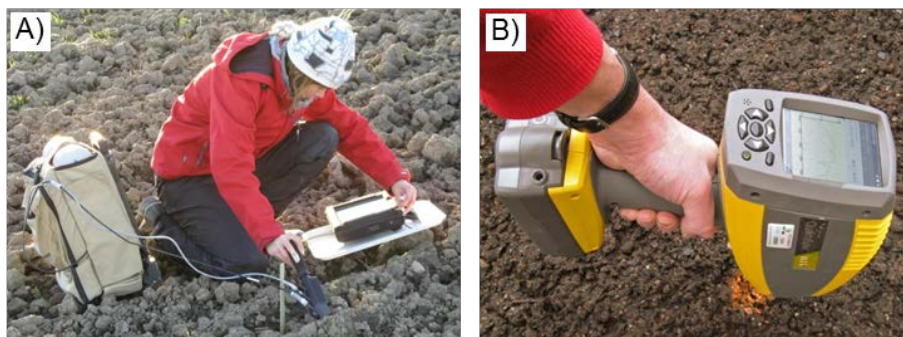
Prov i texturklass 3: 4, 7, 8

### Provtagning

Från de 12 provpunkterna togs matjordsprov (0-20 cm) in på labb för NIR-mätning och vattenhaltsbestämning vid 10 tillfällen under hösten och vintern 2013-2014 för att fånga en naturlig variation i vattenhalter. NIR-mätningarna gjordes på färska opreparerade prov samma dag som provtagningen gjordes och proven förvarades i plastpåsar från fältet till labbet. Vattenhalten bestämdes genom torkning i ugn i 105°C i ett dygn.

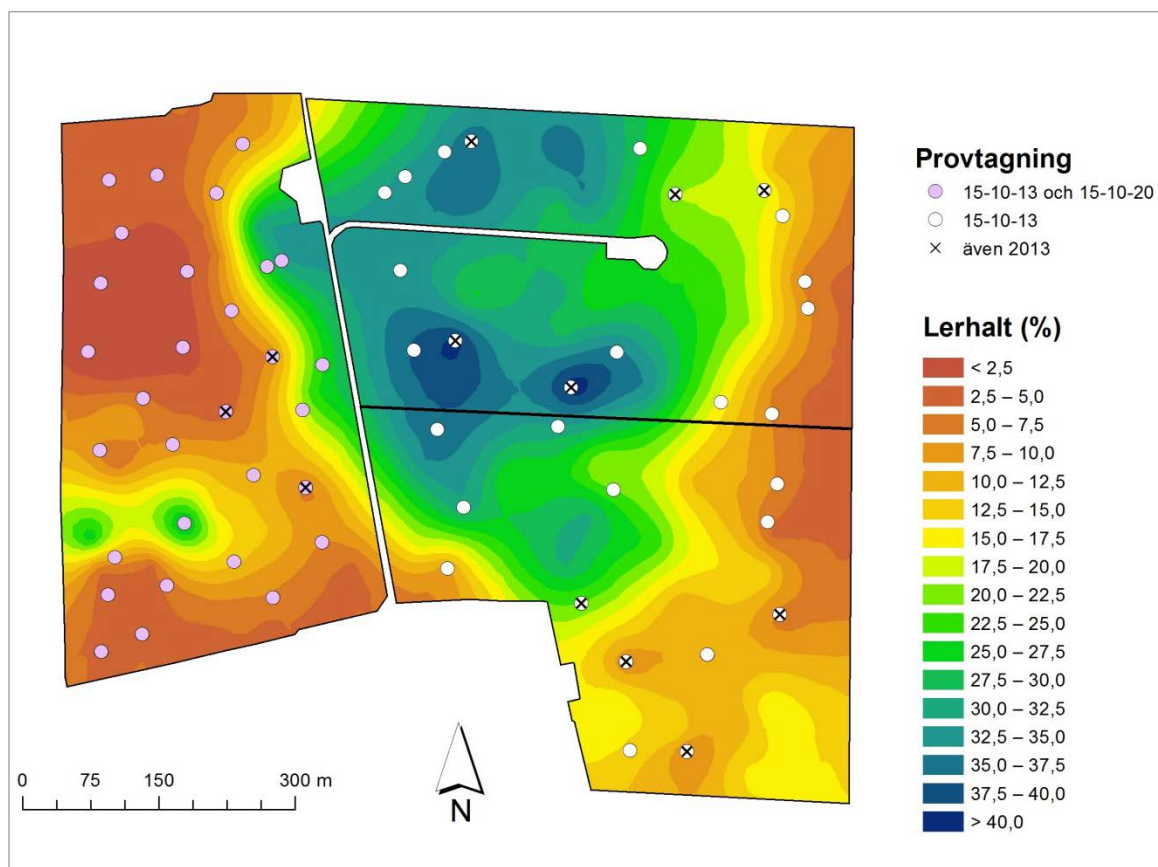
NIR-mätningarna gjordes med ett FiledSpec Pro FR instrument (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA, [www.adsi.com](http://www.adsi.com); figur 3A). Tre mätningar gjordes på varje prov och ett medelvärde av de tre mätningarna användes i de fortsatta analyserna. Kalibreringar mot en extern vit referens gjordes före var tredje prov.

Under hösten 2014 införskaffades ett nytt bärbart NIR-instrument, ett QualitySpec Trek instrument från samma tillverkare (figur 3B). Detta instrument användes för kompletterande mätningar vid två tillfällen under hösten 2015 på fler provplatser (figur 4). Även här gjordes mätningarna på insamlade färska prov på labb, men den här gången användes ett medelvärde av två mätningar per prov. Instrumentet kalibreras en gång vid uppstart mot en extern vit referens och gör sedan interna kalibreringar mot grå referens.



Figur 3. Fältmätningar med A) FiledSpec Pro instrument med kontaktprob och B) ett handburet QualitySpec Trek instrument. I den här studien gjordes mätningarna med samma instrument men på färska jordprov på labb.





Figur 4. Provtagningspunkter vid de två kompletterande provtagningarna hösten 2015.

### NIR-modeller

Våglängdsområdet för båda instrumenten går från 350 till 2500 nm, med en upplösning på 3-10 nm, och täcker därmed in både synligt och nära infrarött ljus. Resultatfilen från båda instrumenten är interpolerad till ett våglängdsintervall på 1 nm. NIR-spektrumen uttrycktes som absorbans ( $\log(1/\text{reflektans})$ ) och varje spektrum transformerades med förstaderivatan vilket förstärker svagare signaler. För att reducera mängden brus som också förstärks filterades spektrumen också med 11 eller 15 punkters interpoleringsteknik (Savitzky & Golay, 1964) före analyserna. Analyser och statistik kopplat till NIR-mätningarna gjordes i Unscrambler 10.3 (CAMO PROCESS AS, Oslo, Norway).

Genom att använda den multivariata kalibreringstekniken PLS (Partial Least Squares) gjordes sedan flera olika kalibreringsmodeller med NIR för bestämning av vattenhalt för att hitta en lämplig strategi för bestämning av vattenhalt i samband med annan sensormätning. Totalt testades 7 strategier eller scenarier:

#### Provtagning hösten och vintern 2013-2014

- 1) **Vattenhaltskalibreringen görs på ett fåtal platser med variationer i både textur och vattenhalt. Modellen är sedan tänkt att användas vid fler tillfällen.**  
Testades genom att göra kalibreringsmodeller för de enskilda provtagningstillfällena som sedan validerades med mätningar från de andra provtagningstillfällena.  
Antal kalibreringsprov: 12 (de 12 provplatserna)
- 2) **Vattenhaltskalibreringen görs genom att använda ett prov med flera vattenhalter. Modellen är sedan tänkt att användas på flera prov och vid flera tillfällen.**

Testades genom att göra kalibreringsmodeller för de enskilda proven och validera modellerna med de andra provplatserna, vid enskilda provtagningsstillfällena och för alla tillsammans. Validering gjordes också med hänseende på texturklass.

Antal kalibreringsprov: 10 (de olika provtagningsstillfällena)

**3) En kombination av strategi 1 och 2 där kalibreringar görs för ett prov i varje texturklass med flera vattenhalter för samma prov.**

Testades genom att kalibreringsmodeller gjordes där alla provtagningsstillfällena för ett prov från varje texturklass ingick. Modellerna validerades med de andra provplatserna, vid enskilda provtagningsstillfällena och med alla tillsammans.

Antal kalibreringsprov: 30 (3 prov \* 10 provtagningsstillfällena).

10 slumpade kombinationer av kalibreringsprov testades.

**4) Som strategi 3 fast enbart med prov från texturklass 1 och 3.**

Antal kalibreringsprov: 20 (2 prov \* 10 provtagningsstillfällena).

10 slumpade kombinationer av prov testades.

### **Provtagning hösten 2015**

**5) Som strategi 1; kalibreringsmodeller för de enskilda provtagningsstillfällena fast med fler prov.**

Antal kalibreringsprov: 59 (13/10) och 30 (20/10)

Modellerna validerades med det andra provtagningsstillfället.

**6) Som strategi 1 och 5 fast istället för att använda hela spektrummet används enbart absorbanstoppen vid 1900 nm (den s k vattentoppen) som innehåller information om vatten.**

Antal kalibreringsprov: 59 (13/10) och 30 (20/10)

Modellerna validerades med det andra provtagningsstillfället.

**7) Vattenhaltskalibreringen görs för varje provtagstillfälle fast på ett mindre antal provplatser.**

Testades vid provtagningsstillfället den 13 oktober genom att slumpvis välja 16 eller 10 kalibreringsprov där hälften av provplatserna tillhörde klass 1 och hälften klass 3.

Modellerna validerades med övriga prov vid samma provtagningsstillfälle (13/10).

Antal kalibreringsprov: 16 eller 10.

Tre slumpvisa kombinationer av provplatser för kalibreringen testades för 16 respektive 10 kalibreringsprov.

### **Använda kalibreringar från provtagningen 2013-2014 för att bestämma vattenhalter vid provtagningarna 2015**

Trotsa att provtagningarna 2015 gjordes med ett annat instrument gjordes även försök att bestämma vattenhalten vid provtagningarna från 2015 med kalibreringsmodeller gjorda på 2013-2014 års provtagningar för att kunna validera modeller gjorda vid en provtagningspunkt, med delvis nya provplatser, då fler provplatser analyserades vid de två tillfällena 2015. Här testades att använda en modell på alla prov och provtagningsstillfällena 2013-2014 samt fem av modellerna från strategi 4 d v s med ett prov från texturklass 1 och ett från klass 3.

### **Utvärdering**

Modellerna utvärderades med korrelationskoefficienten mellan uppmätt och bestämd vattenhalt ( $r^2$ ), RMSEP (root mean squared error of prediction, ett slags medelfel) och bias som är ett mått på systematiska fel. För att sätta felet i relation till variationen i vattenhalt användes också RPD (standardavvikelsen/RMSEP). Ett RPD på 1 betyder att modellen inte

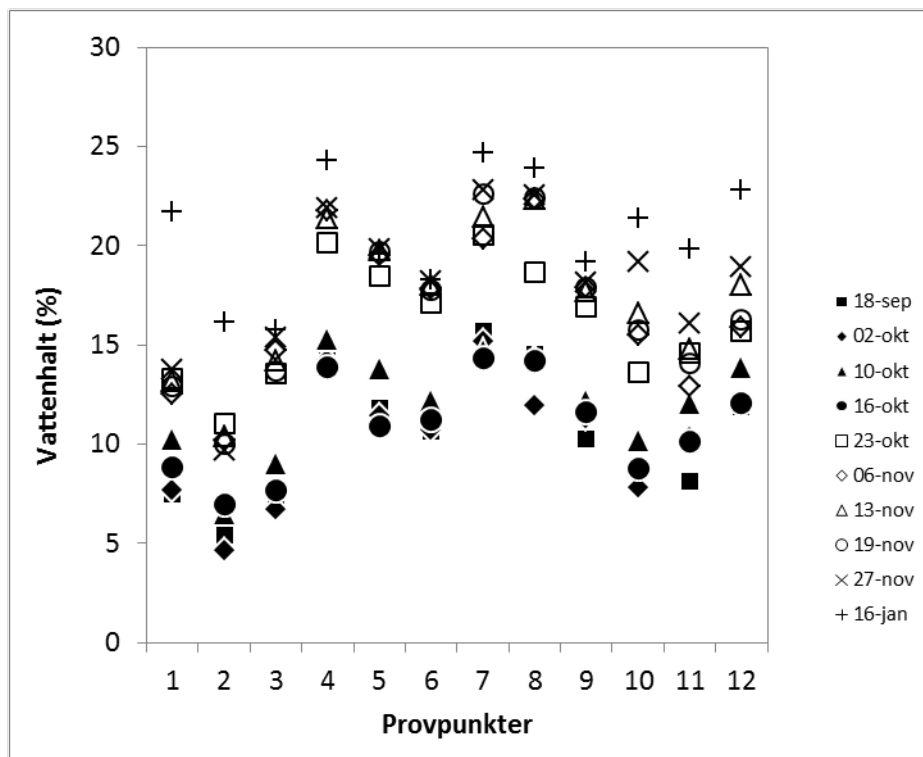
tillför mer än att använda ett medeltal. Ett RPD på 2 används ibland som ett mått på en hyfsad modell. Men det måste alltid sättas i relation till det faktiska felet. Är det för stort spelar det ingen roll om RPD också är högt.

## Resultat och diskussion

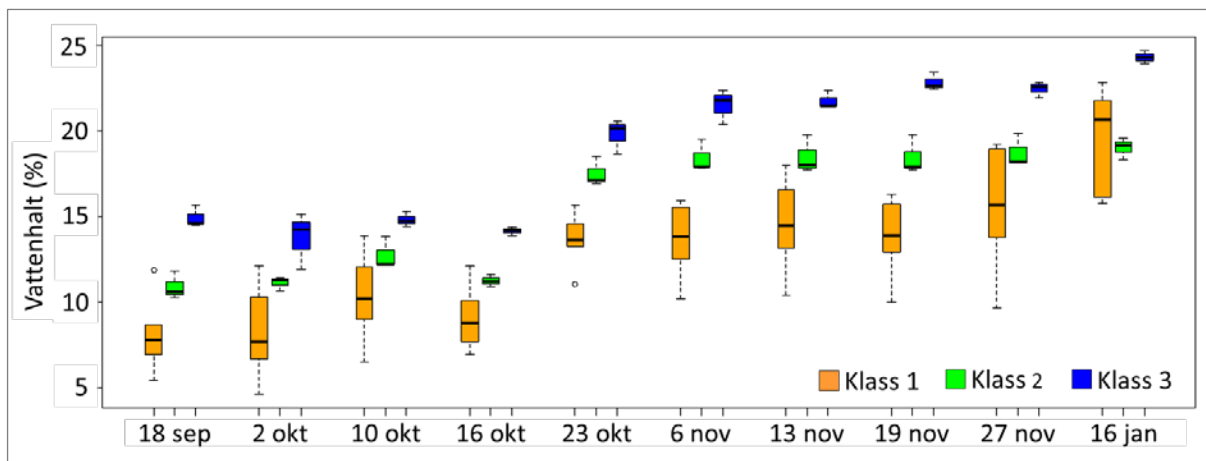
### Vattenhalter

Figur 5 visar vattenhalterna i de 12 jordproven vid de 10 provtagningsstillfällena. Figur 6 visar vattenhalterna vid de 10 provtagningsstillfällena med jordproven grupperade i de tre texturklasserna. Början på hösten var väldigt torr vilket avspeglas i de låga vattenhalterna i de fyra första provtagningarna. Efter provtagningen den 16 oktober kom regnen och vattenhalterna i marken steg och var som allra högst vid det sista provtagningsstillfället i januari 2014.

Den inbördes relationen i vattenhalt mellan de 12 provplatserna var i stort sett den samma vid de olika provtagningsstillfällena (figur 5), men tydligast blir mönstret när de grupperas efter texturklass (figur 6). Som förväntat hade proven med hög lerhalt också högst vattenhalt och de med hög sandhalt lägst vattenhalt. Störst var variationen inom klass 1 med sandiga jordar, vilket delvis kan förklaras med att den klassen hade dubbelt så många prov som de andra. Korrelationen mellan lerhalt och vattenhalt varierade mellan de olika provtagningsstillfällena och var som störst den 6 och den 18 november med  $r^2$  över 0,8. Lägst korrelation var det vid den sista provtagningen, 16 januari, med  $r^2 = 0,4$  då flera av de väldigt sandiga provplatserna också hade höga vattenhalter.

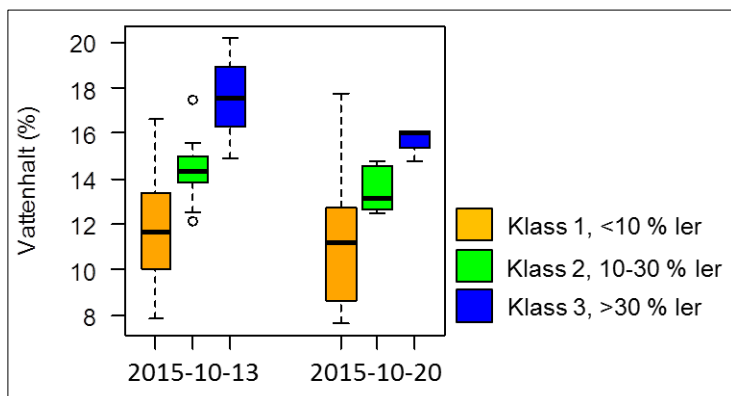


Figur 5. Vattenhalter i de 12 propunkterna vid de 10 olika provtagningsstillfällena 2013-2014.



Figur 6. Vattenhalter i de tre texturklasserna vid de olika provtagningstillfällena 2013-2014.

Vattenhalterna vid de två provtagningstillfällena under 2015 var relativt lika (figur 7). Vid provtagningen den 20 oktober var vattenhalterna jämförbara med det första tillfället 2013 (18 september) medan vattenhalterna vid provtagningen den 13 oktober var lite mer av ett mellanting av de torrare och de blötare provtagningstillfällena under 2013-2014. De lägre vattenhalterna vid provtagningen den 20 oktober 2015 kan delvis förklaras av att färre platser med hög lerhalt var med i den provtagningen (figur 7).

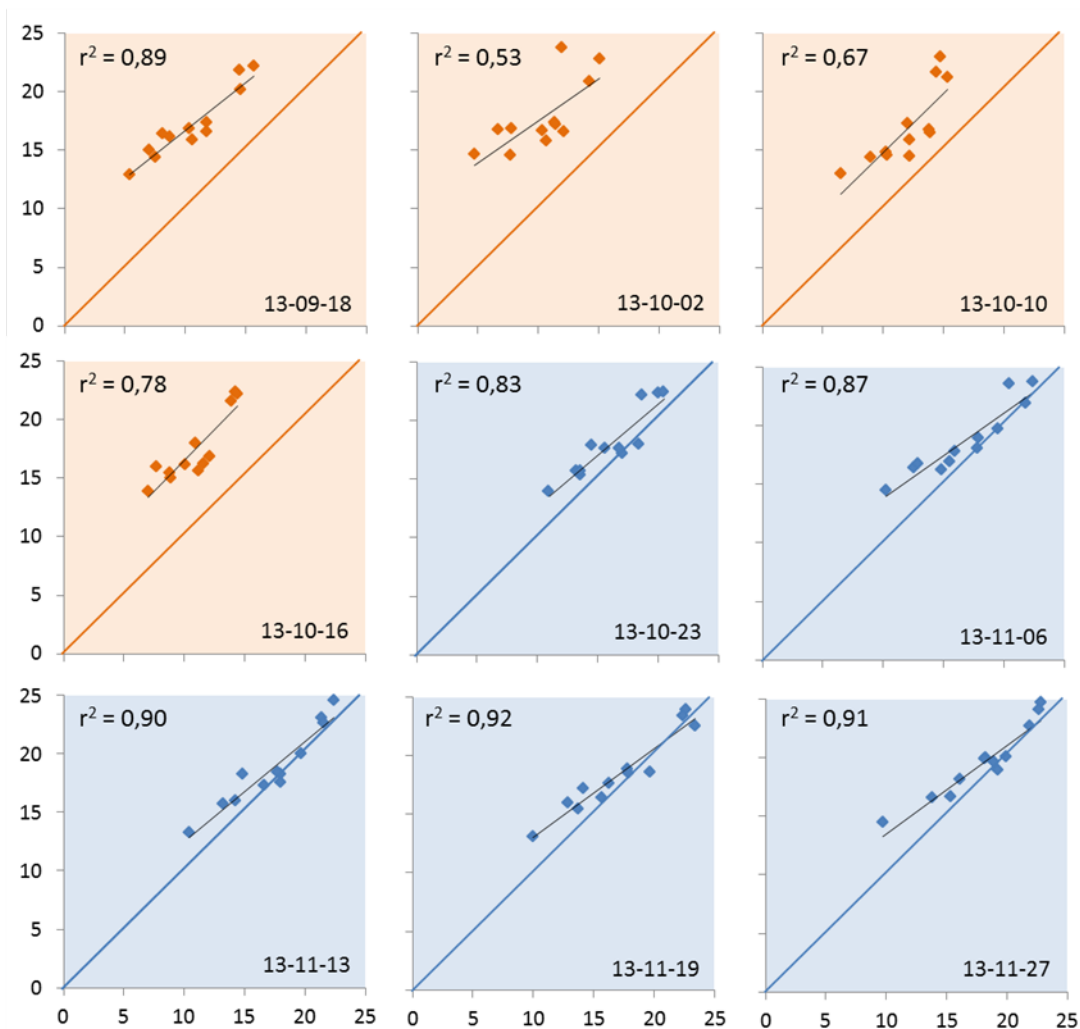


Figur 7. Vattenhalter i de tre texturklasserna vid de två provtagningstillfällena 2015.

## Provtagningarna hösten och vintern 2013-2014

### Kalibreringar av enskilda provtagningstillfällena

Att använda en modell gjord från mätningar vid ett provtagningstillfälle för att bestämma vattenhalterna vid de övriga provtagningstillfällena gick bra i de flesta fall med ett  $r^2$ -värde på 0,85, RMSEP på 2,2 och ett RPD på 2,3 i medeltal för de 10 kalibreringarna. Nu ska man komma ihåg att det är samma provplatser vid alla provtagningstillfällena vilket gör att det inte riktigt är samma sak som att göra en kalibrering vid ett tillfälle och sedan använda den på nya platser vid ett annat tillfälle. Modellen gjord på mätningar vid den sista provtagningen, resulterade i dåliga vattenhaltsbestämningar när den användes för att bestämma vattenhalter vid de övriga tillfällena. Vid den sista provtagningen var det relativt blött och det syns tydligt i figur 8 att det var vattenhaltsbestämningarna vid de torrare provtagningstillfällena som modellen inte klarade av. Modellen klarade av att rangordna vattenhalterna (bra  $r^2$ -värde) men överpredikerade systematiskt alla vattenhalter. Detta visar på svårigheterna att använda en modell som tagits fram under vissa förhållanden när omständigheterna ändras.



Figur 8. Bestämning av vattenhalt (uppmät mot predikerat) för vattenhaltsmodellen gjord på mätningarna vid sista provtagningstillfället (2014-01-16). Färgerna representerar här torrt (orange) respektive blött (blå).

Tabell 1. Resultat av vattenhaltsbestämningar med modeller jorda på enskilda prov.

Provet som använts i kalibreringen*	klass 1		klass 2		klass 3	
	$r^2$	RMSEP	$r^2$	RMSEP	$r^2$	RMSEP
Nr 1	0.93	1.38	0.95	4.51	0.94	8.63
Nr 2	0.96	1.72	0.93	4.62	0.96	8.2
Nr 3	0.93	1.25	0.95	3.52	0.94	7.64
Nr 10	0.82	2.49	0.88	4.37	0.92	6.86
Nr 11	0.95	1.27	0.94	4.99	0.95	8.45
Nr 12	0.91	1.59	0.91	3.73	0.93	6.8
<b>medel</b>	<b>0.92</b>	<b>1.62</b>	<b>0.93</b>	<b>4.29</b>	<b>0.94</b>	<b>7.76</b>
Nr 5	0.93	4.44	0.97	1.12	0.94	3.76
Nr 6	0.94	3.06	0.96	1.35	0.94	4.99
Nr 9	0.94	3.3	0.94	1.1	0.94	4.71
<b>Medel</b>	<b>0.94</b>	<b>3.60</b>	<b>0.96</b>	<b>1.19</b>	<b>0.94</b>	<b>4.49</b>
Nr 4	0.92	7.45	0.93	3.86	0.96	0.83
Nr 7	0.93	7.85	0.95	4.04	0.94	1.19
Nr 8	0.95	5.83	0.94	2.71	0.95	1.71
<b>medel</b>	<b>0.93</b>	<b>7.04</b>	<b>0.94</b>	<b>3.54</b>	<b>0.95</b>	<b>1.24</b>

\* Se Figur 1 för att se var på fältet provet är taget.

## Kalibreringar av enskilda prov

Att de prov som ingår i kalibreringen representerar de vattenhalter man kan komma att vilja bestämma med modellen visades tydligt i figur 8. Men räcker det med att man fångar in variationen i vattenhalt? Detta testades genom att göra kalibreringar på enskilda prov men med varierande vattenhalter. Resultaten i tabell 1 visar tydligt att prov med likande textur klarade av att bestämma vattenhalterna i liknande prov, men inte i prov med tydligt avvikande textur.  $r^2$ -värdena är genomgående höga för alla modeller men RMSEP ökar snabbt när modellerna används på prov utanför den egna texturklassen. Detta beror på hög bias, d.v.s. en systematisk över eller underprediktion av vattenhalten. Vatten i marken finns både som fritt vatten i markporer och som löst eller hårdare bundet vatten till lermineral och detta påverkar NIR-spektrumet (Stenberg et al., 2010). Detta ser dessutom olika ut för olika lermineral vilket gör det svårt att bestämma vattenhalt i t.ex. jordar med olika ursprung (Ben-Dor et al., 1999). Vattenhalt och lerhalt är alltså starkt sammankopplat även i NIR-spektrumet vilket försvårar bestämningen av vattenhalt om jordarna har stor variation i lerhalt.

## Kalibreringar med enstaka prov från de olika klasserna

Ett sätt att komma runt problemet att textur har så stor inverkan på vattenhaltskalibreringarna skulle kunna vara att se till att man får med kalibreringsprov som täcker in texturvariationen. För att göra det men samtidigt hålla nere antalet prov testades därför att göra kalibreringar med ett prov per texturklass där varje prov hade vattenhalter från alla provtagningsstillfällena. För att ytterligare minska antalet prov testades också att strunta i mittenklassen och bara se till att prov från klass 1 och klass 3 var med. Resultaten redovisas i tabell 2 och visar att det gick lika bra att göra modeller med enbart 2 prov (med tio vattenhalter per prov) som att använda prov från alla tre klasserna. Tyvärr är även två prov som måste mätas vid flera olika vattenhalter inte riktigt praktiskt.

Tabell 2. Resultat för 10 kalibreringsmodeller med 3 respektive 2 slumpade prov där det tio modellerna med 3 prov har ett prov per texturklass och i de tio modellerna med 2 prov har ett prov från klass 1 och ett från klass 3.

	3 prov			2 prov		
	$r^2$	RMSEP	RPD	$r^2$	RMSEP	RPD
medeltal	0.87	2.3	2.1	0.86	2.2	2.2
min	0.82	1.8	1.8	0.82	1.8	1.9
max	0.92	2.6	2.6	0.90	2.5	2.6

## Provtagningarna 2015

Kalibreringsmodellen gjord på mätningarna från den 13 oktober gick bra att använda för att bestämma vattenhalterna vid provtagningen den 20 oktober ( $r^2 = 0,85$ , RMSEP = 1,2 %, bias = 0,25, RPD = 2,6). Däremot gick det något sämre att använda modellen från den 20 oktober till att bestämma vattenhalterna den 13 oktober ( $r^2 = 0,77$ , RMSEP = 2,2 %, bias = -1,54, RPD = 1,5). Framförallt ökade bias vilket ledde till större fel. Detta går att förklara med att modellen från den 20 oktober inte innehöll prov med lika höga vattenhalter som de vid provtagningen den 13 oktober och att mätningarna den 20 oktober inte heller var gjord på prov med lika hög lerhalt.

Toppen vid 1900 nm har tidigare visat sig vara bättre för vattenhaltsbestämningar än t.ex. band nära 1400 nm som också är relaterat till vatten (Dalal and Henry, 1986). Det var också vad som användes i den Franska studien (Quiniou & Laperche, 2011). Modellerna gjorda med

enbart 1900 nm vattentoppen i vår studie resulterade i sämre prediktioner för båda provtagningstillfällena med lägre  $r^2$ -värden (0,78 och 0,60), större bias och större fel (2,9 och 9,1 %) jämfört med att använda hela spektrumet (400-2500 nm). Även Bullock et al. (2004) fick bättre resultat när de använde ett större våglängdsområde (1100-2500 nm) jämfört med att bara använda våglängdsband nära 1900 nm.

Strategin att använda ett mindre antal prov till kalibrering och sedan bestämma vattenhalten i resterande prov vid samma provtagningstillfälle fungerade relativt bra med  $r^2$ -värden i medeltal för de tre modellerna med 16 prov på 0,70 och RMSEP på 1,8 % (RPD = 1,8). Med 10 kalibreringsprov blev bestämningarna något sämre ( $r^2 = 0,6$ , RMSE = 2,2 och RPD = 1,5 i medel). Resultaten kan jämföras med två andra studier med fältmätningar med jämförbara vattenhalter; en från Israel med  $r^2 = 0,98$  och RMSE = 1,1 (Ben-Dor et al., 2008), och en från 8 fält i Kansas, USA med  $r^2$ -värden mellan 0,4 och 0,65 och RMSE mellan 3,6 och 2,8 (Christy, 2008).

### ***Bestämna vattenhalterna vid provtagningarna 2015 med modeller från 2013-2014***

Trots att olika instrument användes vid provtagningarna 2013-2014 och 2015 gick det relativt bra att bestämma vattenhalterna vid de två provtagningarna 2015 med modeller från 2013-2014. En modell gjord på alla mätningar 2013-2014 kunde bestämma vattenhalterna vid provtagningen den 13 oktober med  $r^2$ -värde på 0,76 och RMSEP på 1,6 % och den 20 oktober med  $r^2$ -värde på 0,74 och RMSEP på 1,8 %. Att göra en sådan modell är dock inte så realistiskt. Mer realistiskt är det kanske att tänka sig att använda en modell motsvarande den i strategi 4 där endast två prov ingår i modellen men där samma prov har mätts vid flera vattenhalter. Detta var dock lite svårare. Bäst gick det att bestämma vattenhalterna vid provtagningen den 13 oktober ( $r^2 = 0,59$ , RMSEP = 2,4 % och RPD = 1,4 i medeltal för 5 modeller). Den 20 oktober gick det egentligen inte alls, med  $r^2$ -värde i medeltal på 0,32, RMSEP på 3,0 och ett RPD på 1.

## **Slutsatser**

Pilotstudien visar på möjligheten att använda NIR-mätningar för att bestämma vattenhalten i marken i samband med andra sensormätningar som t ex med en PXRf. Men texturen har en stor inverkan på både vattenhalt och spektrum och det är viktigt att få med variationen i både vattenhalt och i textur i kalibreringen.

Bäst modeller fick vi genom att använda ett fåtal prov, två, som täckte in ytterligheterna i textur och sedan bygga modeller på de två proven där vi hade 10 olika vattenhalter per prov. Detta är möjligt i teorin, men inte i praktiken om modellerna visar sig vara så specifika som resultaten av pilotstudien antyder. Detta måste dock testas på fler platser.

Mer framkomligt är det då att göra lokala kalibreringar i samband med varje sensormätning. Det skulle innebära att ett antal prov togs in för vattenhaltsbestämning genom torkning. Då de flesta andra sensorer också kräver någon form av kalibrering behöver detta inte nödvändigtvis innebära så mycket extrajobb. I pilotstudien gjordes sådana kalibreringar med 10 och 16 prov. Det var i minsta laget men då ska man komma ihåg att de tre fälten som ingick i pilotstudien har väldigt hög variation i textur. Med mindre texturvariationer borde det gå att hålla nere antalet kalibreringsprov för vattenhaltsbestämningen.

## Referenser

- Ben-Dor, E., Irons, J. R. & Epema, G. F. 1999. Soil reflectance. In ‘‘Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing’’ (A. N. Rencz, Ed.), Vol. 3, pp. 111–188. (3rd edn.). Wiley, New York.
- Ben-Dor, E., Heller, D. & Chudnovsky, A. 2008. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 1113–1123.
- Bullock, P. R., Li, X., Leonardi, L. 2004. Near-infrared reflectance spectroscopy for soil water determination in small soil volumes. *Canadian Journal of Soil Science.* 84, 333-338.
- Christy, C. D. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Comput. Electron. Agric.* 61, 10–19.
- Dalal, R. C. & Henry, R. J. 1986. Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 120–123.
- Piikki, K., Söderström, M., Stenberg, B. 2013. Sensor data fusion for topsoil clay mapping. *Geoderma.* 199, 106-116.
- Potts, P.J. & West M. 2008. Portable X-ray fluorescence spectrometry – capabilities for in situ analysis. Cambridge, UK: RSC Publishing.
- Quiniou, T. & Laperche, V. 2011. Mesures « in situ » des teneurs. Programme CNRT. Rapport final, Janvier 2011. BRGM/RP-RC-59436-FR.
- Stenberg, B., Viscarra Rossel, R., Mouazenc, A.M., Wetterlind, J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science: Advances in Agronomy 107, 163-215.
- Söderström, M. & Eriksson, J. 2012. Gamma-ray spectrometry and geological maps as tools for cadmium risk assessment in arable soils. *Geoderma.* 192, 323-334.
- Söderström, M. & Stadig, H. 2015. Test av portabel röntgenfluorescens (PXRF) för bestämning av jordart, näringsämnen och tungmetaller direkt i fält – en pilotstudie. Presisionsodling Sverige Teknisk Rapport nr 33.
- Wetterlind, J., Stenberg, B., Söderström, M. 2010. Increased sample point density in farm soil mapping by local calibration of visible and near infrared prediction models. *Geoderma.* 156(3-4), 152-160.
- Aboelghar, M., Ali, A.R., Arafat, S., 2014. Spectral wheat yield prediction modeling using SPOT satellite imagery and leaf area index. *Arab J Geosci.* 7(2): 465-474.



**Förteckning över rapporter utgivna i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter*:**

- 40 Wetterlind, J. & Söderström, M. 2016. Går det att bestämma vattenhalten i fält med NIR för korrigering av andra sensormätningar?
- 39 Engström, L. & Piikki, K. 2016. Skördeprognos med hjälp av YARA N-sensor.
- 38 Lundström, C. 2016. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2015.
- 37 Söderström, M. & Piikki, K. 2016. Digitala åkermarkskartan detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord.
- 36 Söderström, M., Stadig, H., Nissen, K. & Piikki, K. 2015. CropSAT: kväve-rekommendationer och grödstatuskartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer
- 35 Piikki, K., Söderström, M., Wetterlind, J. Stenberg, B. & Jarvis, N. 2015. Digital soil mapping for modelling of transport pathways for pesticides to surface water.
- 34 Gustavsson, K., Berge, T. W. & Hauge Madsen, K. 2015. Hållbart jordbruk genom precisionsodling - En förstudie från Öresund-Kattegat-Skagerrak-området.
- 33 Söderström, M & Stadig, H. 2015. Test av portable röntgenfluorescens (PXRF) för bestämning av jordart, näringsämnen och tungmetaller direkt i fält – en pilotstudie
- 32 Lundström, C (red). 2015. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2014.
- 31 Lundström, C (red). 2015. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2014.
- 30 Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström, M. & Stenberg, B. 2013. Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält.
- 29 Krijger, A-K. 2013. Kontrollerad trafik (CTF) – en förstudie
- 28 Ståhl, P., Söderström, M & Adolfsson, N. 2013. Gradering av rotogräs i ekologisk odling med hjälp av fotografering från obemannat flygplan (UAV).
- 27 Lundström, C (red). 2013. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2012.
- 26 Söderström, M. 2013. Digital markkartering av Skånes åkermark med fjärranalys.
- 25 Piikki, K., Söderström, M., Stenberg, M. & Roland, J. 2012. Variation i marken inom fältförsök.
- 24 Lundström, C (red). 2012. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2011.
- 23 Lundström, C (red). 2011. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2010.
- 22 Lundström, C (red). 2010. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2009.
- 21 Söderström, M. 2009. Interpolerade markkartor – några riktlinjer.
- 20 Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G., Nissen, K. & Hagner, O. 2009. Prognoser för malkornskvalitet med fjärranalys.
- 19 Börjesson, T. & Söderström, M. 2009. Bedömning av kvalitetsskillnader över tid i vallar avsedda för hösilage med Yara N-sensor.
- 18 Lundström, C (red). 2009. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2008.

- 17 Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Regional analyse af samspillet mellem satellitdata og jordbundsvariation. Delrapport 2 i SLF-projektet (dnr SLF 297/02): "Kostnadseffektiv markkartering genom stratifierad datainsamling baserad på fjärranalys"
- 16 Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold.
- 15 Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.
- 14 Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007.
- 13 Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platspecifik ogräsbekämpning.
- 12 Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor.
- 11 Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält.
- 10 Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
- 9 Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006
- 8 Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvetete – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
- 7 Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS.
- 6 Söderström, M., 2006. PrecisionWizard - Gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-sensor.
- 5 Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006.
- 4 Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005.
- 3 Delin, S. 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
- 2 Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvetete och ogräsförekomst i vårsäd.
- 1 Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis.

**Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter* (ISSN:1651-2804):**

1. Börjesson, T, Ivarsson, K., Engquist, A., Wikström, L. 2002. Kvalitetsprognoser för brödvete och malkorn med reflektansmätning i växande gröda.
2. Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M. och Wetterlind, J. 2002. Handburen Hydro sensor i vall -prediktering av torrsubstansavkastning och kvalitetsegenskaper.
3. Söderström, M. (red.). 2003. Precisionsodling Sverige 2002, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna.
4. Jonsson, A. och Söderström, M. 2003. Precisionsodling - vad är det?

5. Nyberg, A., Lindén, B., Wetterlind, J. och Börjesson, T. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar med en handburensensor i vallförsök med nötflytgödsel på Tubbetorp i Västergötland, 2002.
6. Nyberg, A., Stenberg, M., Börjesson, T. och Stenberg, B. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar i växande vall med ett bärbart NIR-instrument – en pilotstudie.

**Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling i Väst, Tekniska rapporter*:**

1. Rapport från en studieresa till norra Tyskland.
2. Thylén, L. & Algerbo, P-A. Teknik för växtplatsanpassad odling.
3. Seminarium och utställning i Skara den 10 mars 1998.
4. Delin, S. 2000. Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält.
5. Lundström, C. Delin, S. och Nissen, K. 2000. Precisionsodling - teknik och möjligheter.



AGROVÄST-projektet *Precisionsodling Sverige* syftar till att utveckla och tillämpa användbara metoder inom precisionsodlingen till nytta för det praktiska jordbruket.

I projektet arbetas med precisionsodling i form av utvärdering och tolkning av samt teknik för markkartering, kalkning, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i samarbete mellan bl.a. Lantmännen AB, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Yara AB, hushållningssällskap, Greppa Näringen och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

---

**Distribution:**

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för mark och miljö  
Box 234  
532 23 Skara  
Tel. 0511-670 00

Internet: <http://www.slu.se/mark>  
<http://www.agrovast.se/precision>  
<http://www.precisionskolan.se>

