# Billigare och bättre underlag för varierad kalkning med nationell NIR-databas

## Syfte

Syftet med projektet var att ta fram information om marken som kompletterar eller till viss del ersätter informationen i lantbrukarens egen markkartering och därmed direkt kan fungera som underlag i den praktiska odlingen. I projektet tittade vi på kalkbehovet, men nyttan av informationen som tagits fram i projektet har bäring på fler tillämpningar. Det handlar om att utnyttja de nationella jordproven till att få detaljerad information om fälten, något som inte är möjligt genom att enbart använda jordproven som de är.

Genom att mäta reflektansen i det synliga och nära infraröda våglängdsområdet (vis-NIR) på befintliga jordprov från Jordbruksverkets stora nationella markkarterings-satsning skapades en stor nationell vis-NIR-databas med drygt 12000 jordbruksjordar. Jordproven täcker in en stor del av de svenska jordbruksjordarna vilket skulle kunna göra det möjligt att ta fram mer generella kalibreringsmodeller för bestämning av jordart och mullhalt, något som avsevärt ökar effektiviteten och minskar kostnaderna för analyserna.

## Vikten av detaljerade jordartskartor

Med hårdare konkurens och snävare handlingsutrymme blir resurseffektivitet i växtproduktionen allt viktigare. Det gäller inte minst ett resurseffektivt användande av insatsmedel i odlingen, både växtnäring och bekämpningsmedel. Globalt är förbättrat och effektivare växtnäringsutnyttjande i jordbruket en av de största utmaningarna för hållbar och fullgod livsmedelsförsörjning. Ökad precision och platsanpassning i tillförseln framhålls vidare som en av de främsta vägarna dit, tillsammans med sortval, bevattning och växtskydd (Sutton et al., 2013). Jordart och organiskt material har avgörande betydelse för en mängd processer i marken som påverkar både förutsättningarna för grödtillväxt och risker för förluster av växtnäring och bekämpningsmedel till omgivande miljö.

### *Billiga analyser med vis-NIR-spektroskopi*

För att högupplösta markkartor ska användas i praktiken får inte nyttan överskuggas av alltför höga provtagnings- och analyskostnader. Under flera år har därför mycket forskning ägnats åt sensorer och alternativa billigare strategier och analysmetoder, både internationellt (se t.ex. litteratursammaställningar inom området av Kuang et al., 2012; Viscarra Rossel et al., 2011), och i Sverige, i många fall finansierad av SLF (Piikki et al., 2013; Stenberg, 2010; Söderström and Eriksson, 2013; Wetterlind, 2009). Hit hör nära infraröd reflektans (NIR) –spektroskopi, ofta inkluderande det synliga området (vis-NIR) som i flera studier visat på stora möjligheter till billigare markkarteringsanalyser och tack vare nya algoritmer och kalibreringsstrategier kommer vi allt närmare en kommersiell användning (se omfattande sammanfattning av forskningen på området fram till 2010 av Stenberg et al., 2010).

Vis-NIR-spektroskopi kräver att man gör kalibreringar, d.v.s. relaterar NIR-mätningarna till den markparameter man är intresserad av. För att kunna göra det behövs det därför även ett antal traditionellt analyserade prov till kalibreringen. En stor del av kostnadseffektiviseringen ligger i att minimera antalet kalibreringsprov som behövs vid en gårdskartering. Allra mest effektivt är det med en generell, nationell, kalibreringsmodell där inga prov på den enskilda gården behöver analyseras med traditionella metoder. Flera länder har byggt upp nationella vis-NIR-databaser: t.ex., Australien (Viscarra Rossel and Chen, 2011), Danmark (Knadel et al., 2013) och Frankrike (Gogé et al., 2013) för att nämna några. Men det finns även större databaser som innefattar flera länder; t.ex. över delar av Afrika (Shepherd and Walsh, 2002) och över Europa (Stevens et al., 2013). Det är viktigt att jordproven som ingår i databasen representerar variationen i de jordar som kan komma att analyseras med metoden. Den oerhörda variation som olika jordtyper uppvisar innebär att databasernas omfattning kan behöva vara mycket stor. Jordbruksmark i Sverige har emellertid en relativt homogen mineralogi vilket borde göra förutsättningarna för nationella kalibreringar relativt goda.

Problemet med de stora kalibreringarna är att de visat sig fungera dåligt för att beskriva variationer på inomfälts- och gårdsnivå, där lokala gårds- eller fältkalibreringar ger betydligt bättre resultat (Sankey et al., 2008; Stenberg et al., 2010; Wetterlind and Stenberg, 2010). Men med lokala kalibreringar följer också lokala kalibreringsprov analyserade med traditionella metoder vilket ökar kostnaderna. I ett pågående SLF-projekt studeras en metod som ofta går under beteckningen ”spiking” i den internationella litteraturen. Den innebär att man genom att lägga till prov från den lokala gården/området till den stora databasen får betydligt bättre resultat än med enbart den stora databasen och samma eller till och med bättre precision än med en lokal kalibrering (Brown, 2007; Gogé et al., 2013; Guerrero et al., 2010; Sankey et al., 2008; Wetterlind and Stenberg, 2010). Guerrero, Stenberg, Wetterlind et al., (2014) visade att man genom att ge de lokala proven extra viktning i förhållande till proven i den nationella databasen, kunde få mycket goda bestämningar av organiskt kol med endast åtta lokala prov. Med så få lokala kalibreringsprov blir metoden intressanta även för mindre gårdar med färre hektar att slå ut kostnaderna på. Naturligtvis kan även större gårdar klara sig med ett mindre antal prov.

### *Relation till övriga pågående jordartskarteringar*

Det görs idag jordartskartor på flera håll med delvis olika metoder och oftast med olika syfte och tänkta användningsområden. Digitala markkartor är inte statiska produkter utan snarare databaser och kan ständigt utvecklas och byggas på. Vilket betyder att en del av ansträngningarna som görs kan kombineras. I Skara jobbar delar av forskargruppen t ex med att utnyttja fjärranalysmetoder som flygburen gammastrålning i kombination med höjdmodeller för att ta fram detaljerade jordartskartor.

Det här projektet har fokus på inomfältsvariationer och lantbrukarens egen markkartering. Resultat från projektet kan användas direkt, men skulle även kunna användas som lokala prov för ”spetsning” av t ex lerhaltsmodellen framtagen med fjärranalysmedoder för att förbättra kartornas detaljrikedom ytterligare.

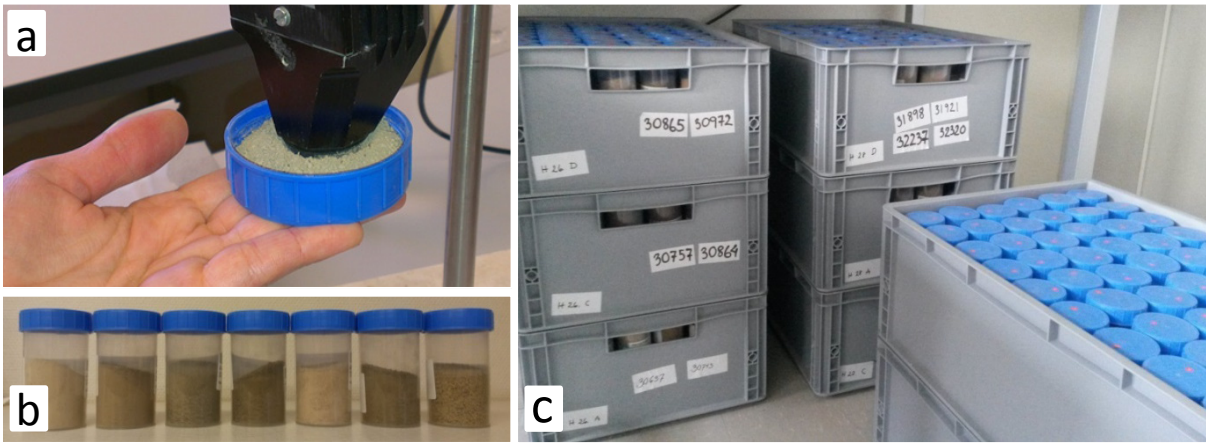
En fördel med NIR-spektroskopi är att den är bra på att bestämma både lerhalt och mullhalt. Mullhalten har visat sig vara svårare med fjärranalysmetoder och höjdmodeller.

# Material och metoder

Under 2011-2012 finansierade jordbruksverket en omfattande jordprovtagning av svensk jordbruksmark där ca 12500 matjordsprov (motsvarande 1 prov/km$^2$) samlades in och analyserades bland annat på textur och mullhalt.

## *Vis-NIR-mätningar*

I ett pågående projekt finansierat av SLF analyserades 5000 av de nationella jordproven med vis-NIR spektroskopi under 2014. I det här redovisade projektet analyserades under 2015 resterande ca 7000 prov (figur 1 b och c). Vis-NIR-mätningarna gjordes på torkade och sållade (<2 mm) prov. Mätningarna gjordes med ett FieldSpec Pro FR instrument (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA, www.asdi.com) utrustat med en kontaktprob kopplat till instrumentet via en fiberoptisk kabel. Reflektansmätningarna kalibrerades mot en extern vit referens (Spektralon). Upplägget är en anpassning av det mätsystem som används i Australien. Ett tillägg är att det vid varje mätningstillfälle även gjordes mätningar på två standarder (två olika sandprov distribuerade bland internationella forskargrupper som jobbar med vis-NIR-mätningar på jord). De två standarderna är till för att underlätta användandet av data från olika instrument och/eller olika mätupplägg (Ben Dor et al. 2015). För att få så representativa mätningar som möjligt utan att tidsåtgången blev allt för stor gjordes två reflektansmätningar per prov där jorden blandades om mellan mätningarna (figur 1 a). Ett medeltal av de två mätningarna användes sedan i analyserna. Instrumentet registrerar reflektansen i våglängdsområdet 350-2500 nm med 1 nm interval och 3-10 nm upplösning.




***Figur 1.*** Vis-NIR-mätning med kontaktprob a), jordprov från den nationella markkarteringen b och c).

Vis-NIR mätningarna uttrycktes som absorbans genom log(1/reflektans) och varje spektrum transformerades med förstaderivatan vilket förstärker svagare signaler. För att reducera mängden brus som också förstärks filtrerades spektrumen med 11 punkters interpoleringsteknik (Savitzky & Golay, 1964) före analyserna. Våglängderna upp till 460 nm togs bort från vidare analyser på grund av allt för mycket brus. Vidare analyser i studien begränsades till de 11 425 jordar med mindre än 12 % mull.

## *Nationell kalibrering*

Två tredjedelar, 7 619 prov, av de 11 425 jordproven med en mullhalt under 12 % valdes ut till kalibreringsprov med hjälp av Kennard-Stone algoritmen (Kennard and Stone, 1969). Kennard-Stone algoritmen väljer ut prov baserade på prediktorerna, i det här fallet vis-NIR spektrumen, så att kalibreringsproven blir jämnt utspridda i den variation som finns i vis-NIR spektrumen. Resterande 3 806 prov användes till validering och ingick inte på något sätt i kalibreringen av modellerna (tabell 1).

Genom att använda den multivariata kalibreringstekniken PLS (Partial Least Squares) gjordes globala nationella kalibreringsmodeller med vis-NIR-spektrum för bestämning av mull- och lerhalt (*Nationell*). Modellerna validerades med valideringsproven.

Tabell 1. Mull- och lerhaltsvariationen i de nationella kalibrerings- och valideringsproven.

| | antal | Mullhalt (min - max, %) | Lerhal (min - max, %) |
|---|---|---|---|
| Kalibreringsprov | 7 619 | <0,1 - 11,9 | <2 - 74 |
| Valideringsprov | 3 806 | 0,7 - 11,7 | <2 - 67 |

En så kallad ”memory based lerning” teknik ibland kallad ”LOCAL” användes också (*Nationell mbl*). Det är ingen global modell utan de kalibreringsprov som mest liknar de enskilda valideringsproven i vis-NIR-spektrum identifieras och ”lokala” PLS-kallibreringsmodeller tas fram för varje valideringsprov. Det vill säga, alla valideringsprov bestäms med olika kalibreringsmodeller, men utifrån samma principer och baserat på samma databas.

### *Utvärdering av modellerna på inomfältsnivå*

De nationella modellerna *nationell* och *nationell mbl*, validerades också med jordprov från sex olika gårdar (tabell 2).

Tabell 2. Gårdarna som användes för validering av de nationella modellerna.

| Gård | Län | Areal (ha) | Antal valideringsprov | Mullhalt (min - max, %) | Lerhal (min - max, %) |
|---|---|---|---|---|---|
| Bränneberg | Västra Götaland | 69 | 58 | 3,2 - 4,8 | 37 - 58 |
| Hacksta | Uppsala län | 97 | 110 | 2,3 - 7,7 | 25 - 66 |
| Kärrtorp | Västra Götaland | 62 | 71 | 5,4 - 10,8 | 11 - 34 |
| Sjöstorp | Skåne län | 78 | 98 | 2,0 - 7,4 | 12 - 52 |
| Entorp | Västra Götaland | 55 | 20 | 1,4 - 2,9 | 4 - 42 |
| Brogården | Västra Götaland | 37 | 20 | 1,7 - 11,2 | 14 - 35 |

Förutom att använda de nationella modellerna som de var ”spetsades” också den globala nationella PLS-modellen med 25 eller 10 lokala prov från den aktuella gården (*Nationell sp25* och *Nationell sp10*). Då 25 och 10 prov är väldigt få jämfört med de 7 619 andra kalibreringsproven gavs ökad vikt till de lokala proven; 50 ggr mer vikt till de lokala proven när 25 lokala prov användes och 100 ggr mer vikt när endast 10 prov användes. På två av gårdarna fanns bara 20 prov, och här gjordes inga ”spetsade” modeller.

De nationella modellerna jämfördes även med kalibreringsmodeller med enbart 25 och 10 lokala prov. De lokala modellerna på de två gårdarna med bara 20 prov gjordes enbart med 20 prov och validerades genom full korsvalidering.

Kalibreringsmodellerna värderades genom $r^2$-värdet mellan beräknad och uppmät mull- och lerhalt, med feltermerna RMSE (root mean squared error) som har samma enhet som den beroende variabeln (d v s mull- och lerhlat). Analyser och statistik gjordes i the Unscrambler X 10.3 (CAMO PROCESS AS, Oslo, Norway) och i R (R Development Core Team, 2012).

### *Utvärdering av kalkbehovsberäkningar*

Markens förmåga att buffra mot pH-förändringar är beroende av både mull- och lerhalt vilket betyder att det som oftast används i praktiken är en kombination av mull- och lerhaltsbestämningar. Därför är det intressant att se på den kombinerade effekten av vis-NIR-bestämda mull- och lerhalter. Detta gjordes genom att jämföra kalkbehov i form av kalkstensmjöl (50 % CaO) för att höja pH-värdet en enhet (buffringsförmågan) beräknat från traditionella mull- och lerhaltsanalyser med kalkbehovet

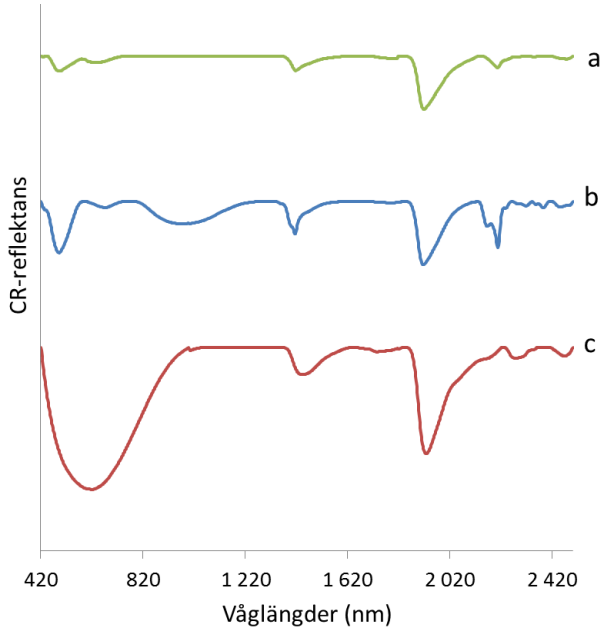
beräknat från vis-NIR-bestämda mull- och lerhalter på fyra av gårdarna. Tre av vis-NIR-modellerna jämfördes; *Nationell-MBL, Nationell sp10 och Lokal 25*.

Kalkbehovet i form av kalkstensmjöl (50 % CaO) för att höja markens pH-värde med en enhet (buffringsförmågan) beräknades enligt:

Kalkbehov = 1.9 + (((3.5 * mullhalt) + lerhalt)/3.8) (1)

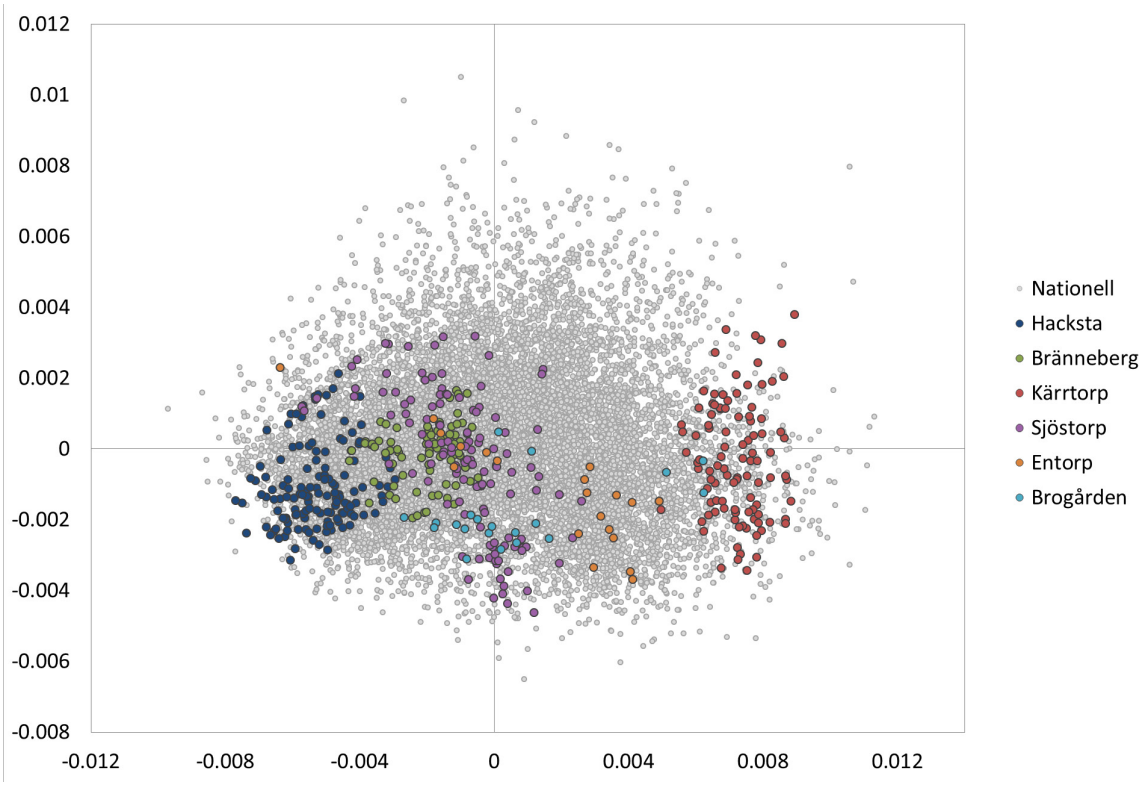
## Resultat och diskussion

Vis-NIR-spektrumen från de drygt 12 000 nationella jordproven visade på mycket stora variation. Det mest framträdande i spektrum från jord är absorbtion relaterad till vatten, lermineral och organiskt material (Stenberg et al., 2010). Figur 2 visar spektrum från tre av de nationella jordproven. Spektrumen visar reflektans och är transformerade med en metod som kallas ”continuum removed” som är ett sätt att förstärka diagnostiska toppar/dalar i spektrumen. Det absolut vanligaste mineralet i svenska jordar är illit som har en tydlig absorbtionstopp vid 2200 nm (Figur 2a) men det fanns även ett fåtal jordprov som visade på ett tydligt innehåll av kaolinit med ”dubbeltoppar” vid 1400 och 2200 nm och järnoxider som goethit och/eller hematit med karaktäristiska ”toppar” mellan 700 och 900 nm (Figur 2b). Kaolinit är ett vittrat mineral som är vanligt i äldre tropiska jordar. Samma jordar som ofta även innehåller goethit och hematit som ger upphov till den typiska röda färgen på de jordarna. Organiskt material påverkar stora delar av spektrumet men syns bland annat tydligt i den synliga delen och mellan 2200 till 2400 nm (Figur 2c).

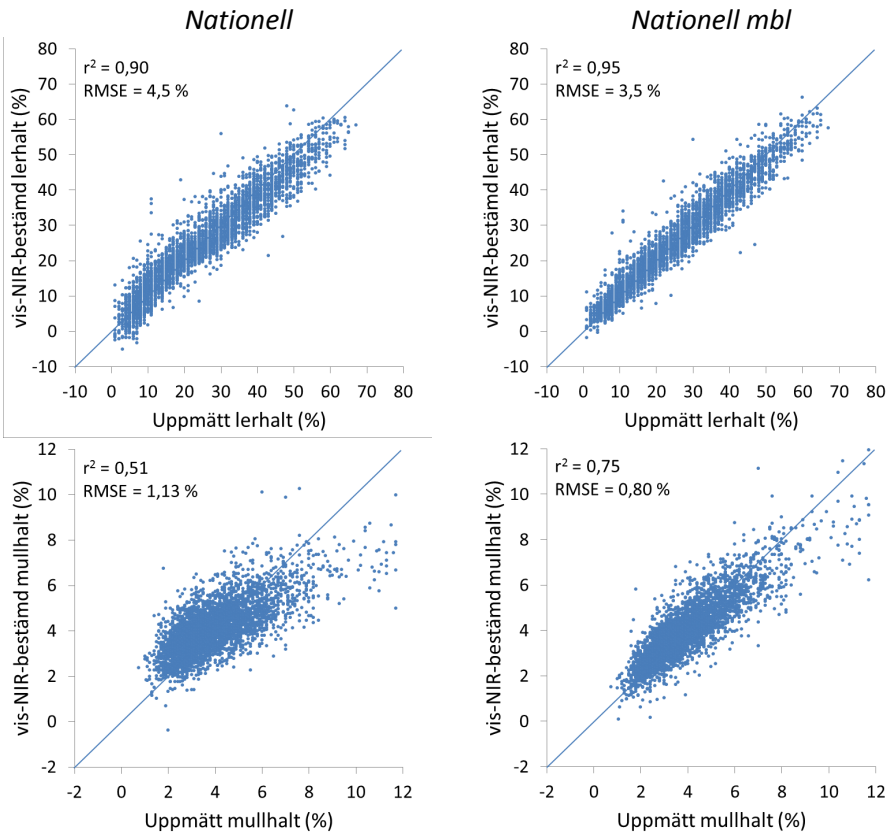



***Figur 2*** Continuum removed reflektansspektrum för tre av jordproven:
a) jord med illit som dominerande lermineral,
b) jord med inslag av kaolinit och goethi och/eller hematit och
c) mulljord.

Variationen bland spektrumen av de nationella jordproven kan även visas i en principalkomponent-analys (PCA). Figur 3 visar spridningen i de första två principalkomponenterna för de 11 425 jordarna med en mullhalt under 12 %. I figuren är även spektrumen från de sex gårdarna projicerade. Jordproven från de sex gårdarna rymdes inom variationen i de nationella jordproven. Men det är intressant att se att även ett fåtal fält kan uppvisa stor variation i förhållande till den totala variationen bland de nationella jordproven.




***Figur 3*** Plott av de två första principalkomponenterna från en PCA-analys där de enskilda gårdarna är projicerade på nationella jordproven.



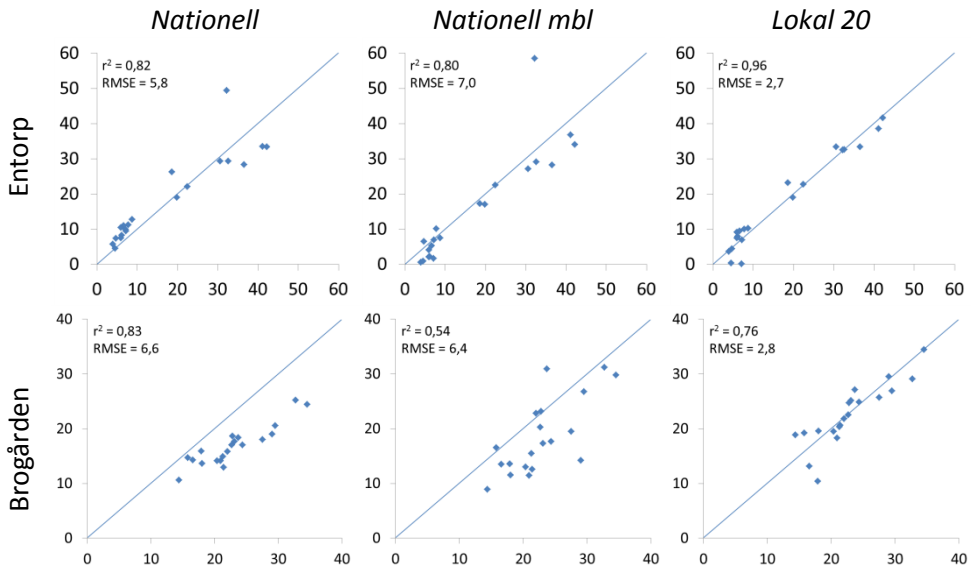

***Figur 4.*** Vis-NIR-bestämd ler- och mullhalt mot uppmätt ler- och mullhalt för de två nationella modellerna validerade med nationella valideringsprov.

### *Nationell kalibrering*

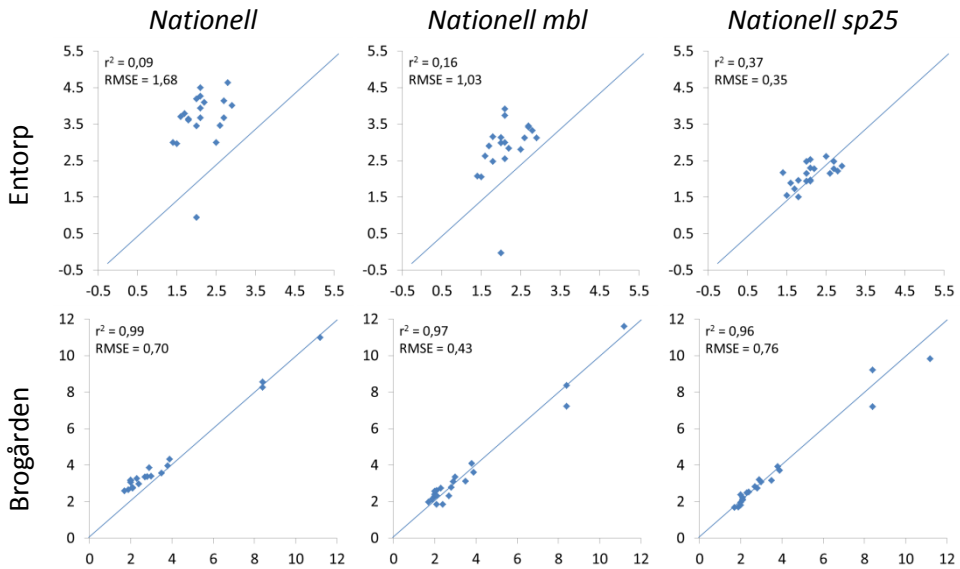
Figur 4 visar resultaten av de nationella mull- och lerhaltsmodellerna (*Nationell och Nationell mbl*) validerade med de nationella valideringsproven. Lerhalten gick bäst att bestämma med vis-NIR-modellerna och bestämningarna för både ler- och mullhalt förbättrades med *Nationell mbl*-modellen. I *Nationell mbl*-modellen görs olika kalibreringsmodeller för varje enskilt valideringsprov där prov som är väldigt olika det aktuella valideringsprovet (och ofta tillför en onödigt stor variation till modellen) inte ingår i modellen för det provet.

### *Utvärdering av modellerna på inomfältsnivå*

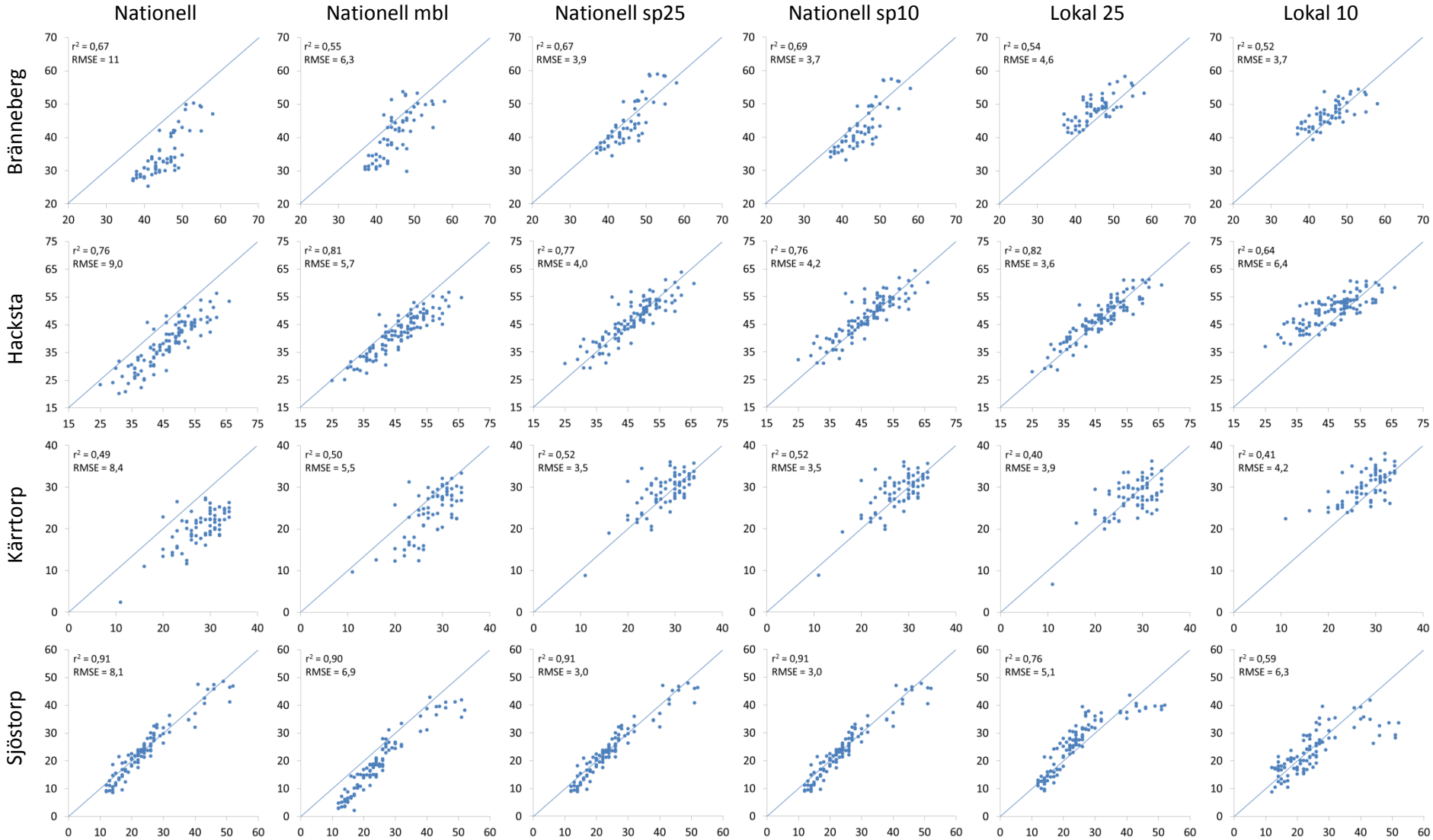
Figurerna 5 till och med 8 visar resultaten av de nationella ler- och mullhaltsmodellerna validerade med jordprov från de sex gårdarna. På fyra av de sex gårdarna gjordes även modeller som ”spetsats” med prov från gården (Figur 7-8).



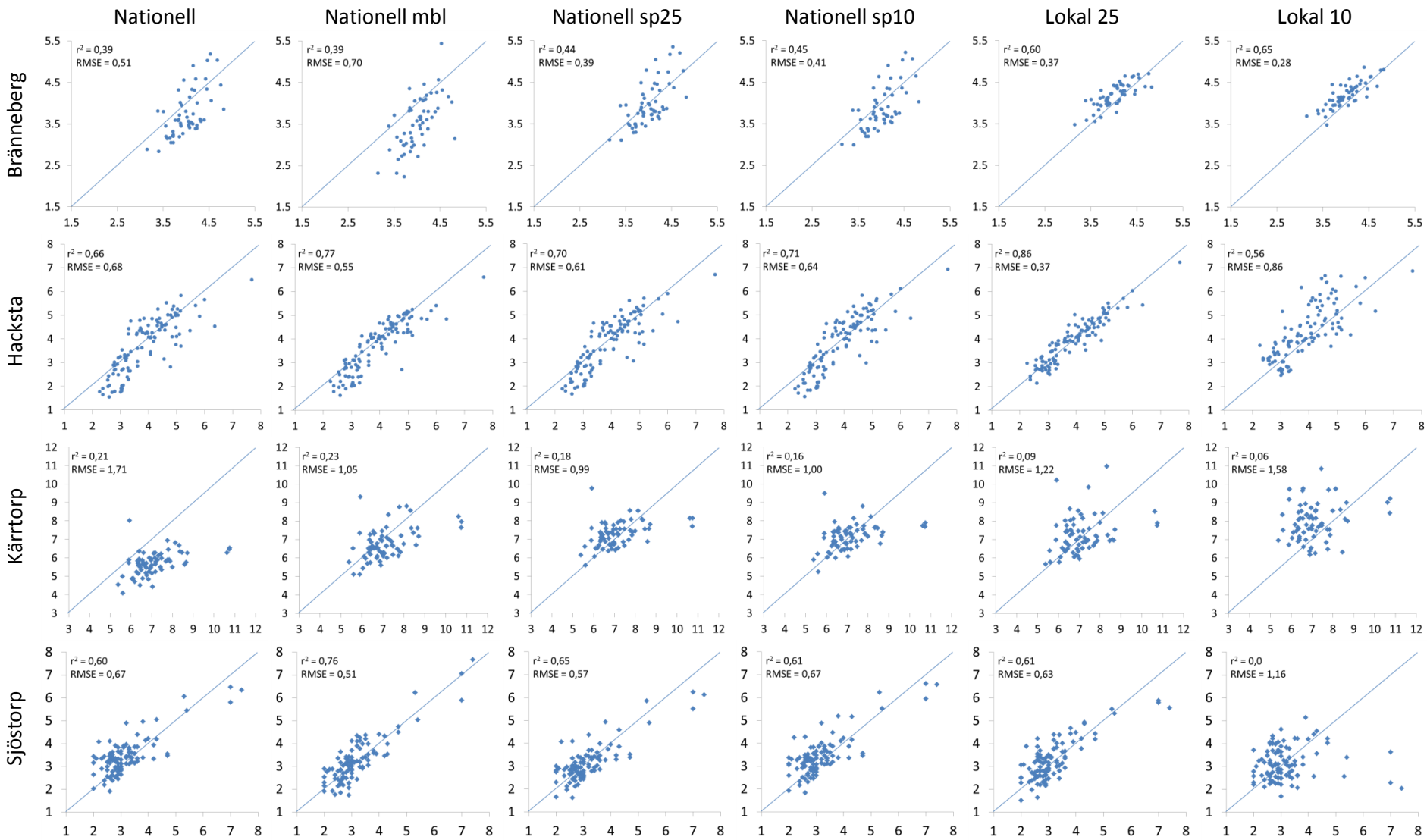

***Figur 7.*** Vis-NIR-bestämd lerhalt i % på y-axeln och uppmätt lerhalt i % på x-axeln för de olika kalibreringsmodellerna på de två gårdarna utan valideringsprov.




***Figur 8.*** Vis-NIR-bestämd mullhalt i % på y-axeln och uppmätt mullhalt i % på x-axeln för de olika kalibreringsmodellerna på de två gårdarna utan valideringsprov.



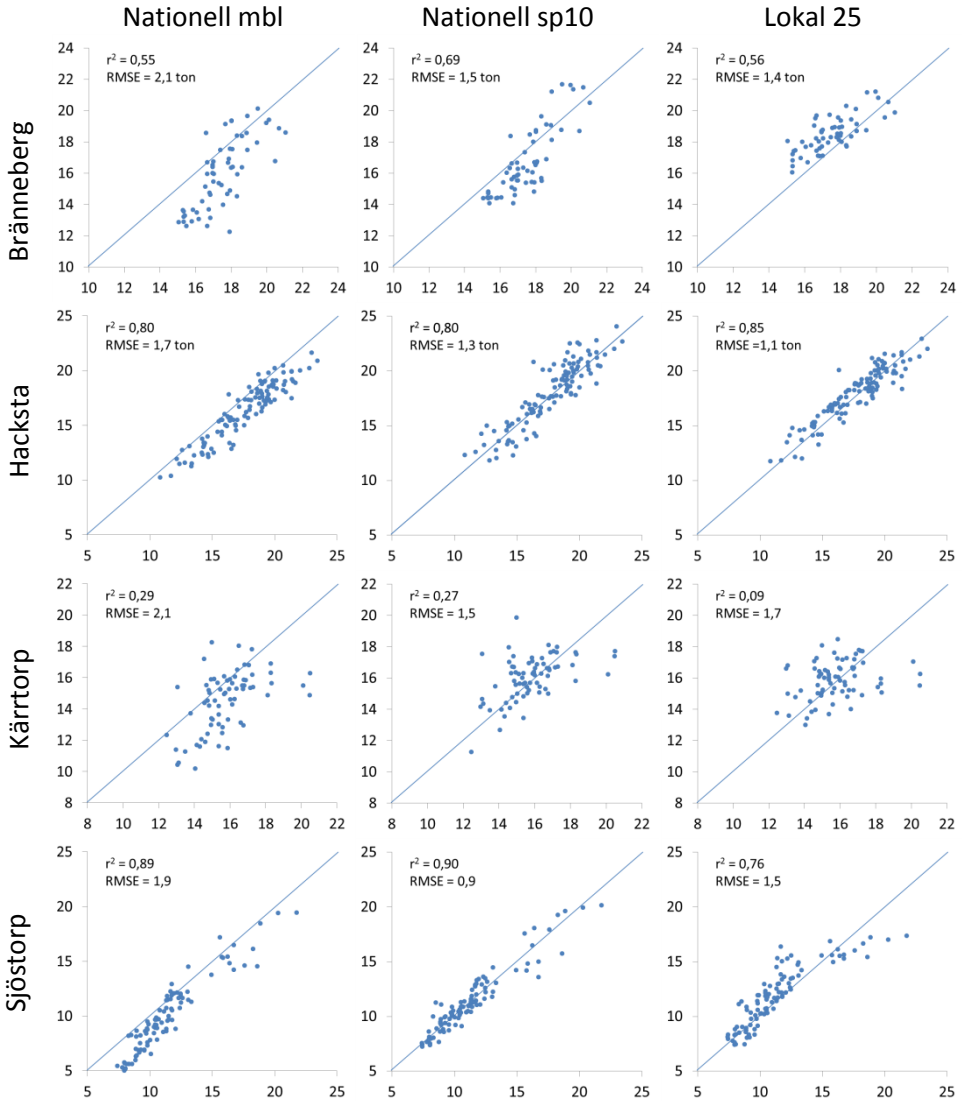

***Figur 5.*** Vis-NIR-bestämd lerhalt i % på y-axeln och uppmätt lerhalt i % på x-axeln för de olika kalibreringsmodellerna på de fyra gårdarna med valideringsprov.




***Figur 6.*** Vis-NIR-bestämd mullhalt i % på y-axeln och uppmätt mullhalt i % på x-axeln för de olika kalibreringsmodellerna på de fyra gårdarna med valideringsprov.

Trots att gårdarna kan sägas representeras av de nationella jordproven (Figur 4) kunde den globala nationella kalibreringsmodellen (*Nationell*) inte bestämma mull- eller lerhalterna på gårdarna utan relativt stora systematiska fel (Figur 5-8). Resultaten blev något bättre med *Nationell mbl*, men lokala kalibreringsmodeller för de enskilda gårdarna var, trots att endast 25 (eller 20) prov användes, oftast bättre.

Att använda bara 10 lokala prov till kalibrering gav osäkra mull- och lerhaltsbestämningar, men att istället använda de 10 lokala proven till att ”spetsa” den globala nationella modellen gav bättre och stabilare resultat (Figur 7-8). Modeller ”spetsade” med 10 lokala prov resulterade i lika bra mull- och lerhaltsbestämmelser som när den nationella modellen ”spetsades” med 25 lokala prov. Detta kan jämföras med slutsatsen från ett tidigare projekt (Stenber et al., 2015) där minst 40 prov bedömdes behövas för att få tillförlitliga gårdsmodeller för mull- och lerhaltsbestämningar.




***Figur 9.*** Vis-NIR-bestämt kalkbehov i ton kalkstensmjöl (50 % CaO) för att höja pH-värdet en enhet på y-axeln och beräknat kalkbehov från uppmätt mull- och lerhalt på x-axeln för 3 modeller; *Nationell mbl, Nationell sp10 och Lokal 25*.

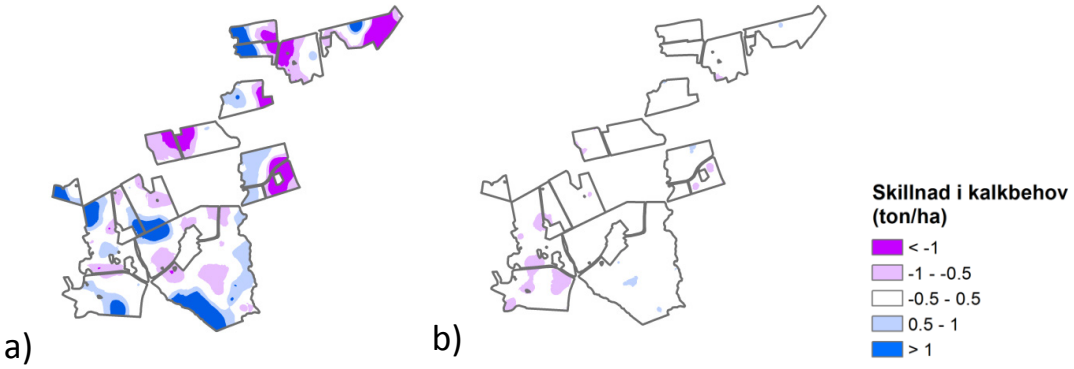
Att göra traditionella mull- och lerhaltsanalyser på bara 10 lokala jordprov på den enskilda gården och sedan endast göra vis-NIR mätningar på resterande jordprov skulle innebära betydande kostnadsbesparingar och göra tekniken möjlig även för gårdar med mindre areal.

Möjligheten att kunna använda så få som tio lokala prov till kalibrering kommer att utredas ytterligare under våren, bland annat på fler gårdar, i det SLF-finansierade projektet som finansierat en del av vis-NIR-mätningarna av de nationella jordproven.

### *Utvärdering av kalkbehovsberäkningar*

Figur 9 visar resultaten för kalkbehovsberäkningar baserade på mull- och lerhalter bestämda med vis-NIR jämfört med de baserade på traditionella mull- och lerhaltsanalyser. Den kombinerade effekten av vis-NIR-bestämd mull- och lerhalt följer mönstret hos resultaten för de enskilda mull- och lerhaltsbestämningarna.

Effekterna av ett bättre underlag för kalkning även med vis-NIR-bestämd mull- och lerhalt demonstrerades i ett tidigare projekt med lokala vis-NIR-kalibreringar på sju olika gårdar (Stenberg et al., 2015). Kalkbehovskartor baserade på 1 prov per ha antingen med alla prov analyserade på traditionellt vis (referenskarat) jämfördes med kartor baserade på 1 prov per 3 ha analyserade på traditionellt vis och kartor med 1 prov per ha med 2/3 bestämda med vis-NIR. Figur 10 visar ett exempel på en av gårdarna från studien där det tydligt syns att kartan med 1 prov per ha med 2/3 av proven bestämda med vis-NIR var mycket lik referenskartan jämfört med en karta baserad på enbart 1 prov på tre ha.




Figur 10. Skillnaden i kalkbehov mellan referenskartan (1 prov/ha, traditionellt analyserad mull- och lerhalt) och a) kartan baserad på 1 prov/3ha och b) kartan baserad på 1 prov/ha med 2/3 av proven bestämda med vis-NIR.

## Slutsatser

Den nationella vis-NIR-databasen och de magasinerade jordproven representerar en majoritet av de svenska jordbruksmarksjordarna och erbjuder fantastiska möjligheter till vidare studier t ex kopplat till kvalitén på det organiska material och mineralogin i svensk jordbruksmark.

De nationella modellerna (*Nationell och Nationell mbl*) klarade inte av att bestämma mull- eller lerhlat på de enskilda gårdarna utan relativt stora systematiska fel. Lokala modeller med så få som 25 prov gav ofta bäst resultat.

Att använda bara 10 lokala prov till kalibrering gav osäkra mull- och lerhaltsbestämningar, men att istället använda de 10 lokala proven till att ”spetsa” den globala nationella modellen (*Nationell sp10*)

gick bättre och resulterade i stabilare resultat som var lika bra som att ”spetsa” med 25 lokala prov (*Nationell sp25*).

Resultaten för den kombinerade effekten av vis-NIR-bestämd mull- och lerhalt i form av beräknat kalkbehov för att höja pH-värdet en enhet, följde mönstret för mull- och lerhaltsbestämningarna.

Att göra traditionella mull- och lerhaltsanalyser på bara 10 lokala jordprov på den enskilda gården och sedan endast göra vis-NIR mätningar på resterande jordprov skulle innebära betydande kostnadsbesparingar och göra tekniken möjlig även för gårdar med mindre areal. Detta kommer att utredas ytterligare på fler gårdar under våren.

## Referenser


Basso, B., Ritchie, J.T., Cammarano, D., Sartori, L. 2011. A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. European Journal of Agronomy 35(4), 215-222.

Basso, B., Sartori, L., Cammarano, D., Fiorentino, C., Grace, P.R., Fountas, S., Sorensen, C.A. 2012. Environmental and economic evaluation of N fertilizer rates in a maize crop in Italy: A spatial and temporal analysis using crop models. Biosystems Engineering 113(2), 103-111.

Ben Dor, E. , Ong, C., Lau, I. C. 2015. Reflectance measurements of soils in the laboratory: Brook Standards and protocols. Geoderma, 245, 112-124.

Booltink, H.W.G., van Alphen, B.J., Batchelor, W.D., Paz, J.O., Stoorvogel, J.J., Vargas, R. 2001. Tools for optimizing management of spatially-variable fields. Agricultural Systems 70(2-3), 445-476.

Bottcher, A.B., Whiteley, B.J., James, A.I., Hiscock, J.G. 2012. Watershed assessment model (WAM): Model use, calibration, and validation. Transactions of the Asabe 55(4), 1367-1383.

Brown, D.J. 2007. Using a global VNIR soil-spectral library for local soil characterization and landscape modeling in a 2nd-order Uganda watershed. Geoderma 140(4), 444-453.

Börjesson, T., Stenberg, B., Linden, B., Jonsson, A. 1999. NIR spectroscopy, mineral nitrogen analysis and soil incubations for the prediction of crop uptake of nitrogen during the growing season. Plant and Soil 214(1-2), 75-83.

Delin, S., Berglund, K., 2005. Management zones classified with respect to drought and waterlogging. Precision Agriculture 6(4), 321-340.

Gogé, F., Gomez, C., Jolivet, C., Joffre, R. 2013. Which strategy is best to predict soil properties of a local site from a national Vis–NIR database? Geoderma 213(2014), 1-9.

Guerrero, C., Zornoza, R., Gomez, I., Mataix-Beneyto, J. 2010. Spiking of NIR regional models using samples from target sites: Effect of model size on prediction accuracy. Geoderma 158(1-2), 66-77.

Guerrero, C., Stenberg, B., Wetterlind, J., Rossel, R.A.V., Maestre, F.T., Mouazen, A.M., Zornoza, R., Ruiz-Sinoga, J.D., Kuang, B. 2014. Assessment of soil organic carbon at local scale with spiked NIR calibrations: effects of selection and extra-weighting on the spiking subset. European Journal of Soil Science 65(2), 248-263.

Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C.T., Styczen, M. 2012. DAISY: Model use, aclibration, and validation. Transactions of the Asabe 55(4), 1315-1333.

Jarvis, N.J. 2007. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. European Journal of Soil Science, 58, 523-546

Kennard, R.W., Stone, L.A. 1969. Computer aided design of experiments. Technometrics 11, 137-148.

Knadel, M., Viscarra Rossel, R.A., Deng, F., Thomsen, A., Greve, M.H. 2013. Visible-Near Infrared Spectra as a Proxy for Topsoil Texture and Glacial Boundaries. Soil Science Society of America Journal 77(2), 568-579.

Kuang, B., Mahmood, H.S., Quraishi, M.Z., Hoogmoed, W.B., Mouazen, A.M., van Hentent, E.J. 2012. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: a review. In: D.L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy, Vol 114. Advances in Agronomy, pp. 155-223.

Larsson, M.H., Jarvis, N.J. 2000. Quantifying interactions between compound properties and macropore flow effects on pesticide leaching. Pest Management Science, 56, 133-141

Link, J., Batchelor, W.D., Graeff, S., Claupein, W. 2008. Evaluation of current and model-based site-specific nitrogen applications on wheat (Triticum aestivum L.) yield and environmental quality. Precision Agriculture 9(5), 251-267.

Moeys, J., Larsbo, M., Bergstrom, L., Brown, C.D., Coquet, Y., Jarvis, N.J. 2012. Functional test of pedotransfer functions to predict water flow and solute transport with the dual-permeability model MACRO. Hydrology and Earth System Sciences 16(7), 2069-2083.

Novak, S.M., Portal, J.M. & Schiavon, M. 2001. Effects of soil type upon metolachlor losses in subsurface drainage. Chemosphere, 42, 235-244

Piikki, K., Söderström, M., Stenberg, B. 2013. Sensor data fusion for topsoil clay mapping. Geoderma 199, 106-116.

R Development Core Team 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. ISBN 3-900051-07-0 [WWW document]. URL http://www. R-project.org/.

Rosenzweig, C., Wilbanks, T.J. 2010. The state of climate change vulnerability, impacts, and adaptation research: strengthening knowledge base and community. Climatic Change 100(1), 103-106.

Rötter, R.P., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Takac, J., Trnka, M. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. Field Crops Research 133, 23-36.

Sankey, J.B., Brown, D.J., Bernard, M.L., Lawrence, R.L. 2008. Comparing local vs. global visible and near-infrared (VisNIR) diffuse reflectance spectroscopy (DRS) calibrations for the prediction of soil clay, organic C and inorganic C. Geoderma 148(2), 149-158.

Savitzky, A., Golay, M., 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. Analytical chemistry 36, 1627-1639.

Shepherd, K.D., Walsh, M.G. 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. Soil Sci Soc Amer J 66, 988-998.

Stenberg, B., Wetterlind, J., Westbom, R., Olsson, D. 2015. Validering och implementering av NIR-teknik i jordlaboratoriers analysrutiner för billigare markkartering. Slut rapport av SLF-projekt H1033307. http://www.lantbruksforskning.se/projektbanken/

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., Rossel, R.A.V., Mouazen, A.M., Wetterlind, J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. In: D.L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy, Vol 107. Advances in Agronomy, pp. 163-215.

Stevens, A., Nocita, M., Toth, G., Montanarella, L., van Wesemael, B. 2013. Prediction of Soil Organic Carbon at the European Scale by Visible and Near InfraRed Reflectance Spectroscopy. Plos One 8(6).

Sutton, M.A., Bleeke, R.A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W., van Grinsven, H.J.M., Abrol, Y.P., Adhya, T.K., Billen, G., Davidson, E.A., Datta, A., Diaz, R., Erisman, J.W., Liu, X.J., Oenema, O., Palm, C., Raghuram, N., Reis, S., Scholz, R.W., Sims, T., Westhoek, H., Zhang, F.S. 2013. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution, On behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.

Söderström, M., Eriksson, J. 2013. Gamma-ray spectrometry and geological maps as tools for cadmium risk assessment in arable soils. Geoderma 192, 323-334.

Wauchope, R.D., Yeh, S., Linders, J., Kloskowski, R., Tanaka, K., Rubin, B., Katayama, A., Kordel, W., Gerstl, Z., Lane, M., Unsworth, J.B. 2002. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. Pest Management Science 58(5), 419-445.

Wetterlind, J. 2009. Improved farm soil mapping using near infrared reflection spectroscopy. Doctoral diss. Dept. of Soil and Environment, SLU. Acta Universitatis agricuturae Sueciae vol. 2009:68.

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.

Wetterlind, J., Stenberg, B., Jonsson, A., 2008. Near infrared reflectance spectroscopy compared with soil clay and organic matter content for estimating within-field variation in N uptake in cereals. Plant and Soil 302, 317-327.

White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A., Wall, G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. Field Crops Research 124(3), 357-368.

Viscarra Rossel, R.A., Adamchuk, V.I., Sudduth, K.A., McKenzie, N.J., Lobsey, C. 2011. Proximal soil sensing: an effective approach for soil measurements in space and time. In: D.L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy, Vol 113. Advances in Agronomy, pp. 237-282.

Viscarra Rossel, R.A.V., Chen, C. 2011. Digitally mapping the information content of visible-near infrared spectra of surficial Australian soils. Remote Sensing of Environment 115(6), 1443-1455.