

Ny markkarteringsstrategi anpassad för modellering och precisionsodling

Bo Stenberg, Johanna Wetterlind och Mats Söderström
Precisionsodling och pedometri, Institutionen för mark och miljö, SLU

Bakgrund

Syftet med precisionsodling är att platsspecifikt anpassa intensiteten i gjorda insatser efter markens och grödans behov. Skördevariationerna inom ett fält kan vara avsevärda - åtskilliga ton spannmål per hektar. Grödans behov av växtnäringssämnen kommer att variera i motsvarande grad. Med kännedom om orsaken till variationen kan platsspecifika insatser spara resurser och minimera effekter på miljön samtidigt som skörde- och kvalitetsnivåer kan bibehållas eller till och med ökas.

Jordarten reglerar i större eller mindre utsträckning många av dess funktioner, t ex dess vattendynamik, mineraliseringspotential, kemiska reaktion och genomvävning av rötter. Jordarten används följdriktigt i flera pedotransferfunktioner, dvs. funktioner som utnyttjar parametrar som är relativt lätta att mäta till att bestämma sådant som är mer svåranalyserat, för beräkning av t ex skrymdensitet (nödvändigt för att räkna om uppmätta halter i marken till arealmängder), kalkbehov och bevattningsbehov. På samma sätt är jordarten och framför allt kol- och kvävepoolerna också fundamentala som indata i mekanistiska modeller avsedda att beskriva och förutsäga olika processer i marken, t ex mineralisering, men även grödutveckling. Jordartsinformation är dessutom viktig vid läckagemodellering av pesticider.

Vid en markkartering idag är antalet provpunkter normalt begränsat till omkring ett prov per hektar och för jordart oftast bara hälften eller en tredjedel. I dagens tillämpade precisionsjordbruk är en betydligt högre upplösning möjlig för olika insatser såsom gödsel och kalk; det är i princip maskinernas arbetsbredd som begränsar insatserna. De kartor som skall tjäna som underlag för platsspecifika insatser kan ofta göras bättre om man har tillgång till mer än ett prov per hektar. Precisionen i de interpolationsmodeller som används för att uppskatta värden mellan provpunkterna med det totala antalet prover. I olika rapporter rekommenderas att en provtäthet på ett jordprov ungefär var 70:e meter skulle vara att föredra om man i normalfallet skulle fånga upp en vanligt förekommande inomfältvariation, men variationen mellan fälten är stor.

Målsättningen med det nu redovisade projektet var att utnyttja billig och enkel NIR-teknik för att kalibrera lokala (gårds eller områdesspecifika) prediktionsmodeller för att med hög precision bestämma i första hand lerhalt, och mullhalt. Eftersom NIR-spektrum inte är direkt avläsbart krävs kalibreringar mot kända lokala referensprover analyserade med konventionella metoder. Viktigt var att antalet referensprover skulle hållas så lågt som möjligt och ändå ge en god prediktion av prover från en betydligt tätare provtagning än normalt.

Material och metoder

Försöksplatserna och provtagning

Projektet utfördes på fyra gårdar (Figur 1). Hacksta (59°33'N, 17°02'E) omfattade 97 ha, Sjöstorp (55°41'N, 13°19'E) 78 ha, Bränneberg (58°20'N, 13°04'E) 69 ha och Kärrtorp

(58°21'N, 13°36'E) 62 ha. Gårdarna, eller de provtagna delarna av gårdarna, var fördelade på 5, 10, 2 respektive 10 skiften. Gårdarna valdes för att representera olika jordartstyper.



Figur 1. Karta över södra Sverige med de fyra gårdarna markerade.

Hacksta och Sjöstorp provtogs 2005 respektive 2006 utifrån tre olika provtagningsstrategier som skulle jämföras. Provtagning utfördes med 1,6 och 1,8 prov per ha på Hacksta respektive Sjöstorp med vardera strategin. Strategierna var: I) jämt fördelade enligt ett regelbundet rutnät (REG), II) stratifierat för att representera variationen i en föregående mätning av elektrisk konduktivitet med Geonics EM38 (EC_a) samt III) stratifierat för att representera variationen i en föregående mätning av reflekterat ljus registrerat i en satellitbild (SAT). EC och SAT är olika metoder att på ett översiktligt och relativt enkelt sätt ge en bild av den övergripande markvariationen på gården. Genom att välja prover som täcker in denna variation var hypotesen att även de slutliga markkartorna bättre skulle återge variationen än det regelbundna rutnätet. Detta gäller åtminstone jordartsparmetrar som är de som ger störst utslag både i EC-mätningar och i satellitbilder. Provpunkterna återfanns i fält med hjälp av GPS. Varje punkt utgjordes, beroende på plats, av 10 eller 20 sammanslagna borrstick ned till 20 cm inom en radie av 6 m.

Bränneberg och Kärrtorp provtogs 2007 med den strategi som framstod som bäst på Hacksta och Sjöstorp. I första hand värderades precision och i andra hand rationalitet. Denna provtagning utfördes med två prov per ha. Dessutom provtogs båda gårdarna med 25 valideringsprov och enligt traditionell markartering, dvs ett prov per ha i ett regelbundet rutnät. Dessa användes för att utvärdera NIR-kalibreringar och kartor. För utvärdering av markkartorna i förhållande till traditionell provtagning skapades även dataset för Hacksta och Sjöstorp med 0,5 prov per ha för jordartsparmetrarna (textur och mullhalt).

Provberedning och analys

Samtliga prover lufttorkades och maldes till <2 mm. NIR-spektrum mättes på samtliga prover på samtliga gårdar med FieldSpec Pro FR (www.asdi.com). Instrumentet var utrustat med en optisk fiber utan försättslins. Denna och en 20 W Al-täckt halogenlampa placerades 7 cm ovanför en Petri-skål med provet. Skålen roterade sakta medan 100 skanningar utfördes under 10 s varvid ca 50 cm² av provet mättes. Ett medelspektrum av de hundra sparades för vidare analys. Spektra mättes som reflektans från jordprovet i relation till en vit referens (Spectralon). Spektrum spände över det synliga och nära infraröda våglängdsområdet (vis-NIR), dvs 350-2500 nm, med 1 nm intervall interpolerat från 1,4-2 nm intervall med en spektral upplösning på 3-10 nm.

Referensanalyser med klassiska metoder utfördes på kalibrerings- och valideringsprover. Texturanalys utfördes på Eurofins (tidigare AnalyCen). Lerfraktionen (<0,002 mm) bestämdes

enligt en modifierad sedimentationsmetod, sandfraktionen (>2 mm) genom sällning och siltfraktionen som skillnaden dem emellan. Organiskt kol bestämdes med Vario MAX (Elementar, Analysensysteme GmbH, Hanau, Tyskland). Mullhalt mättes dels som glödförlust och dels genom att multiplicera organiskt C med 1,724.. Växtilgängligt P, K och Mg mättes i AL-extrakt (P-AL, K-AL respektive Mg-AL och pH mättes i avjoniserat vatten i förhållandet 1:5.

NIR-spektrum transformerades till absorptionsspektrum enligt $A = \log(R^{-1})$, där A = absorptions och R = reflektans. Därefter deriverades spektrum som skillnaden mellan två våglängder efter att absorptionspektrum först filtrerats över 21 punkter.

Val av kalibreringsprov

Det huvudsakliga syftet med projektet var att använda ett väldigt litet antal kalibreringsprov för NIR-analysen; 25 stycken. Det är viktigt att lyckas täcka in maximalt av variationen med variation i markparametrarna med dessa 25 och hur de väljs kan därför få stor betydelse. På Hacksta och Sjöstorp jämfördes tre strategier, REG, EC och SAT, enligt ovan. För var och en av dessa valdes kalibreringsprover med två metoder. För respektive strategi var den första metoden att välja enligt samma metod som vid valet av provpunkter. För REG innebar detta ett betydligt glesare rutnät som resulterade i 25 prover (REG_{REG}). För EC och SAT valdes de 25 mest olika proven utifrån de tidigare konduktivitet och reflektionsmätningarna. Principen var att söka efter de mest extrema punkterna, alternerande mellan max- och minvärden samtidigt som en någorlunda jämn fördelning över arealen eftersträvas. Urvalsmetoden är en iterativ procedur där ett prov i taget väljs varpå en interpolerad yta ("karta") genereras av de dittills valda punktvärdena. Nästa punkt som väljs avviker mest från den genererade kartan. På så vis kan de 25 först valda proven förväntas representera så stor del av variationen som möjligt i uppmätt konduktivitet respektive reflektion i det infraröda området.

Den andra metoden var att välja ut de 25 prov från respektive provtagningsstrategi som bäst täcker in variationen i NIR-spektrum (REG_{NIR} , EC_{NIR} , SAT_{NIR}). Detta gjordes genom att välja de fem extremerna i de fem första principalkomponenterna vid en principalkomponentanalys (PCA) av deriverade spektrum. Utifrån resultaten på Hacksta och Sjöstorp valdes provtagningsstrategi och urvalsmetod till Bränneberg och Kärrtorp.

Utvärdering

Kalibreringsmodeller för att utifrån NIR-spektrum kunna bestämma de olika jordartsparametrarna gjordes med PLS (Partial Least Squares). PLS är en multivariat linjär regressionsmetod. Kalibreringarna utvärderades genom att jämföra de NIR-predikterade värdena med värden från referensanalyserna i ett antal oberoende valideringsprov. Överensstämmelsen kvantifierades med hjälp av R^2 -värdet, RMSEP (Residual Mean Squared Error of Prediction), dvs medelavvikelsen i absoluta tal mellan mätt och predikterat, samt RPD som utgör kvoten mellan standardavvikelsen och RMSEP. R^2 skall vara så högt som möjligt där 1 motsvarar 100% överensstämmelse. RMSEP anges i samma enhet som respektive parameter och skall alltså vara så lågt som möjligt. Därmed skall RPD vara så högt som möjligt. Ett RPD på 1 innebär alltså ingen förbättring jämfört med att använda medelvärdet för alla prov och $RPD = 2$ ett halverat fel, osv.

Jämförelsen av metod för val av kalibreringsprov och strategi för val av provtagningsplats gjordes i två steg inom varje gård för sig. Först jämfördes metod för val av kalibreringsprov för en strategi i taget (*steg 1*). På så vis kunde prover från de övriga strategierna användas som valideringsprov. De tre olika strategierna för provtagning jämfördes sedan bara med den bästa

metoden för val av kalibreringsprov för respektive strategi (*steg 2*). För validering användes då proverna som representerade de ej valda urvalsmetoderna.

Tabell 1. Resultat av referensanalyserna på de fyra gårdarna för alla jordprov samt för de 25 kalibreringsproven valda med EC_{EC} metoden.

| | | Bränneberg | | Hacksta | | Kärrtorp | | Sjöstorp | |
|--------|-------|------------|-----|---------|-----|----------|-----|----------|-----|
| Ler | Antal | 86 | 25 | 138 | 25 | 90 | 24 | 125 | 25 |
| | min. | 37 | 41 | 22 | 22 | 11 | 20 | 12 | 12 |
| | Max | 59 | 59 | 66 | 62 | 34 | 34 | 52 | 48 |
| | Medel | 46 | 46 | 47 | 49 | 28 | 28 | 25 | 27 |
| | Stdav | 5 | 4 | 8 | 8 | 5 | 4 | 10 | 11 |
| Silt* | min. | 36 | 36 | 25 | 28 | 17 | 26 | 13 | 19 |
| | Max | 56 | 51 | 58 | 49 | 76 | 48 | 38 | 38 |
| | Medel | 47 | 46 | 39 | 38 | 34 | 35 | 28 | 27 |
| | Stdav | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 |
| Sand** | min. | 4 | 4 | 2 | 2 | 11 | 22 | 12 | 14 |
| | Max | 17 | 17 | 47 | 47 | 72 | 54 | 73 | 65 |
| | Medel | 7 | 7 | 14 | 13 | 38 | 37 | 46 | 46 |
| | Stdav | 2 | 3 | 9 | 10 | 8 | 8 | 12 | 14 |
| Mull | min. | 1.7 | 1.7 | 1.3 | 1.4 | 3.1 | 3.4 | 1.2 | 1.3 |
| | Max | 2.8 | 2.8 | 4.1 | 4.1 | 9.3 | 9.3 | 3.9 | 3.3 |
| | Medel | 2.3 | 2.4 | 2.3 | 2.4 | 4.4 | 4.9 | 1.8 | 1.9 |
| | Stdav | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 1.1 | 1.7 | 0.5 | 0.5 |
| pH | Antal | 119 | 25 | 138 | 25 | 128 | 25 | 125 | 25 |
| | min. | 6.4 | 6.5 | 5.9 | 6.4 | 5.5 | 5.6 | 6.1 | 6.3 |
| | Max | 7.1 | 7.0 | 7.6 | 6.8 | 7.1 | 6.8 | 7.8 | 7.8 |
| | Medel | 6.9 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 6.4 | 6.2 | 6.9 | 6.9 |
| | Stdav | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| P-AL | min. | 1.1 | 1.1 | 2 | 2.3 | 1.2 | 1.8 | 4 | 5.3 |
| | Max | 19 | 19 | 39 | 21 | 26 | 10 | 31 | 24 |
| | Medel | 3.4 | 3.8 | 9 | 7.5 | 4.3 | 4.0 | 10 | 12 |
| | Stdav | 1.8 | 3.3 | 6.2 | 4.5 | 3.4 | 1.9 | 5.9 | 5.3 |

* Silt = mjäla + finmo

** Sand = grovmo + sand

Resultat och diskussion

I tabell 1 visas sammanfattande statistik för alla referensanalyser för respektive gård i jämförelse med EC_{EC} urvalet av kalibreringsprov. Hacksta och Bränneberg har båda hög lerhalt och normal mullhalt (omkring 4%). Förutom P-AL talet, som är betydligt lägre på Bränneberg, är platserna generellt lika vad medelvärdena beträffar. Bränneberg uppvisar dock genomgående en betydligt lägre variation, även jämfört med Kärrtorp och Sjöstorp. Kärrtorp och Sjöstorp ligger på mycket lättare jordar med sinsemellan likartad textur. Lerhalten varierar dock avsevärt mer på Sjöstorp. Även pH är likartat, men mullhalten är hög och kraftigt varierande på Kärrtorp och låg på Sjöstorp. P-AL däremot är högt och mer varierande på Sjöstorp.

Jämförelse av provvalsmetoder

Steg 1: I den parvisa jämförelsen av metod att välja kalibreringsprov utkristalliserades ingen metod som var genomgående bättre och skillnaderna mellan metoderna var ofta små. På Sjöstorp var valet utifrån variationen i spektrum ändå oftast den bättre, medan det motsatta förhållandet gällde för Hacksta (data ej visade). För Hacksta gick därför REG_{REG}, SAT_{SAT} och EC_{EC} vidare till steg 2 och för Sjöstorp REG_{NIR}, SAT_{NIR} och EC_{NIR}.

Steg 2: I jämförelsen mellan olika provtagningsstrategier på Hacksta var SAT_{SAT} generellt något bättre än de övriga två. Skillnaderna var dock oftast ganska små. På Sjöstorp fanns inga generella skillnader (Tabell 2). I tabell 2 framgår också att det är lerhalt, sand och mullhalt som lyckas bäst och att Hacksta generellt blir bättre än Sjöstorp. RMSEP-värdena som anger den faktiska storleken på felet skiljer emellertid inte alltid så mycket även om R²-värdena gör det. Detta hänger samman med att en mindre variation ger upphov till lägre R² vid samma storlek på felet. Sjöstorp kan också förväntas vara svårare att täcka in med enbart 25 prov i en kalibrering eftersom gården ligger på gränsen mellan den Baltiska moränen och nordostmoränen. Två vittskilda jordtyper skall alltså täckas av samma kalibrering.

Eftersom skillnaderna både i steg 1 och 2 var små beslutade vi att för det fortsatta arbetet låta praktiska kriterier avgöra valet. Eftersom det för ett laboratorium skulle förenkla rutinerna att veta vilka prover som är kalibreringsprov och skall användas för referensanalyser redan vid inskrivningen valde vi EC_{EC} eftersom det valet görs i förväg och satellitbilder fortfarande är dyra och kan vara svåra att få tag i där alla skiften är fria från grödor och snö.

Validering och kartering

Spridningen i referensdata med EC_{EC}-urvalet visas i tabell 1. I jämförelse med alla referensdata i tabellen tycks variationen i de flesta fall ganska bra. De uppenbara undantagen är att höga ler-värden missats på Kärrtorp, höga P-AL tal på alla gårdar utom Bränneberg och höga och låga silt- och sandvärden på alla gårdar utom Bränneberg.

Tabell 2. Prediktionsresultat från Vis-NIR-kalibreringar på Hacksta och Sjöstorp i steg 2, jämförande de olika provtagningsstrategierna.

| | REG ₁ | | | EC ₂ | | | SAT ₃ | | |
|--------------------------------|------------------|-------|-----|-----------------|-------|-----|------------------|-------|-----|
| | R ² | RMSEP | RPD | R ² | RMSEP | RPD | R ² | RMSEP | RPD |
| Hacksta | | | | | | | | | |
| Ler (%) | 0.72 | 4.4 | 1.9 | 0.77 | 4.0 | 2.1 | 0.76 | 4.1 | 2.0 |
| Silt (%) | 0.58 | 4.2 | 1.6 | 0.31 | 5.4 | 1.2 | 0.61 | 4.1 | 1.6 |
| Sand (%) | 0.81 | 3.6 | 2.3 | 0.84 | 3.3 | 2.6 | 0.87 | 3.0 | 2.8 |
| pH | 0.28 | 0.23 | 1.2 | 0.39 | 0.21 | 1.3 | 0.50 | 0.19 | 1.4 |
| Mull (%) | 0.88 | 0.48 | 3.0 | 0.81 | 0.62 | 2.3 | 0.89 | 0.47 | 3.0 |
| tot N (%) | 0.45 | 0.04 | 1.4 | 0.82 | 0.023 | 2.4 | 0.89 | 0.018 | 3.0 |
| P-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.51 | 4.9 | 1.4 | 0.33 | 5.8 | 1.2 | 0.66 | 4.1 | 1.7 |
| K-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.68 | 2.6 | 1.8 | 0.58 | 3.0 | 1.6 | 0.48 | 3.3 | 1.4 |
| Mg-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.67 | 7.3 | 1.8 | 0.77 | 6.2 | 2.1 | 0.75 | 6.4 | 2.0 |
| Sjöstorp | | | | | | | | | |
| Ler (%) | 0.80 | 4.1 | 2.3 | 0.87 | 3.3 | 2.8 | 0.79 | 4.2 | 2.2 |
| Silt (%) | 0 | 3.8 | 1.0 | 0 | 3.9 | 1.0 | 0 | 3.7 | 1.0 |
| Sand (%) | 0.67 | 6.5 | 1.8 | 0.74 | 5.8 | 2.0 | 0.54 | 7.7 | 1.5 |
| pH | 0.64 | 0.28 | 1.7 | 0.52 | 0.32 | 1.5 | 0.59 | 0.30 | 1.6 |
| Mull (%) | 0.45 | 0.63 | 1.4 | 0.19 | 0.76 | 1.1 | 0.46 | 0.62 | 1.4 |
| tot N (%) | 0.33 | 0.031 | 1.2 | 0.44 | 0.029 | 1.3 | 0.40 | 0.030 | 1.3 |
| P-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.40 | 4.0 | 1.3 | 0.26 | 4.4 | 1.2 | 0.60 | 3.3 | 1.6 |
| K-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.02 | 5.3 | 1.0 | 0.20 | 4.8 | 1.1 | 0.16 | 4.9 | 1.1 |
| Mg-AL (mg 100g ⁻¹) | 0.53 | 3.5 | 1.5 | 0.38 | 4.0 | 1.3 | 0.72 | 2.7 | 1.9 |

¹ REG_{REG} på Hacksta, REG_{NIR} på Sjöstorp. ² EC_{EC} på Hacksta, EC_{NIR} på Sjöstorp. ³ SAT_{SAT} på Hacksta, SAT_{NIR} på Sjöstorp

Att Bränneberg täcks upp bra i alla parametrar beror antagligen på den låga variationen och att extremvärden generellt saknas. För de andra gårdarna är det genomgående ett eller ett par

extrema värden som inte kommit med bland kalibreringsproven. Detta är särskilt tydligt för P. Detta kan orsaka att extrema värden predikteras dåligt av NIR-kalibreringarna.

Prediktionerna med EC_{EC}-kalibreringarna av de oberoende valideringsproven visas i tabell 3. Genomgående är det ler- och mullhalten som predikteras bäst. På Kärrtorp och Bränneberg fungerar dock lerhalten något sämre med avseende på R²-värdet och RPD. Detta hänger sannolikt samman med att jordartsvariationen på dessa gårdar är liten (Tabell 1) vilket avspeglas i att det faktiska felet i genomsnitt (RMSEP) inte är större än på de andra gårdarna. Mullhaltsprediktionen har också gått lite sämre på Sjöstorp, sannolikt pga de två så olika jordtyperna på gården.

Sandprediktionerna fungerade också bra förutom på Bränneberg, men där finns knappt någon sand och det faktiska felet är litet. Silt, som dels varierar lite på alla gårdar och dessutom är bestämt som skillnaden mellan sand- och lerhalt, och därmed ackumulerar de båda referensmetodernas fel, har i stort sett misslyckats, men felet är inte större än för ler och sand. Prediktionen av pH var måttligt lyckosam och felet är upp till en tredjedels pH-enhet. Resultatet för P-AL var något sämre utom på Bränneberg där P-AL-prediktionen misslyckades helt. På Bränneberg var dock P-AL-variationen mycket liten med merparten av proven inom klass II och några i I och III.

Kalibreringar för K-AL och Mg-AL utfördes bara på Hacksta och Sjöstorp. Framför allt Mg-AL gick relativt bra. Detta hänger samman med den starka kopplingen till lerhalt och Mg-AL predikterades lika bra med lerhalten som med NIR (data ej visade).

Tabell 3. Prediktionsresultat enligt oberoende valideringsprov med EC_{EC} kalibreringarna. Antalet valideringsprov är 61, 112, 65 respektive 81 på Bränneberg, Hacksta, Kärrtorp och Sjöstorp.

| | | Bränneberg | Hacksta | Kärrtorp | Sjöstorp |
|-------------------------------|----------------|------------|---------|----------|----------|
| Ler (%) | r ² | 0.61 | 0.82 | 0.48 | 0.80 |
| | RMSEP | 3.5 | 3.6 | 3.6 | 4.0 |
| | RPD | 1.3 | 2.3 | 1.2 | 2.3 |
| Silt (%) | r ² | 0.62 | 0.61 | 0.29 | 0 |
| | RMSEP | 3.2 | 4.1 | 4.2 | 4.3 |
| | RPD | 1.4 | 1.6 | 0.9 | 1.0 |
| Sand (%) | r ² | 0.30 | 0.89 | 0.53 | 0.75 |
| | RMSEP | 2.6 | 3.0 | 5.0 | 5.6 |
| | RPD | 0.8 | 3.0 | 1.5 | 2.0 |
| Mull (%) | r ² | 0.70 | 0.89 | 0.71 | 0.57 |
| | RMSEP | 0.21 | 0.32 | 0.91 | 0.47 |
| | RPD | 1.9 | 3.0 | 1.5 | 1.9 |
| tot N (%) | r ² | - | 0.89 | - | 0.56 |
| | RMSEP | - | 0.018 | - | 0.025 |
| | RPD | - | 3.0 | - | 1.5 |
| pH | R ² | 0.49 | 0.50 | 0.50 | 0.48 |
| | RMSEP | 0.10 | 0.19 | 0.22 | 0.31 |
| | RPD | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| P-AL (mg 100g ⁻¹) | R ² | 0.05 | 0.36 | 0.31 | 0.31 |
| | RMSEP | 1.8 | 5.4 | 3.0 | 3.4 |
| | RPD | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.5 |
| K-AL (mg 100g ⁻¹) | R ² | - | 0.74 | - | 0.49 |
| | RMSEP | - | 2.3 | - | 3.8 |
| | RPD | - | 2.0 | - | 1.4 |

Kartor interpolerades dels utifrån prover tagna och analyserade på traditionellt sätt (ler och mull 0,5 prov/ha samt pH och P-AL 1 prov/ha), dels utifrån de betydligt fler (Tabell 4 & 5) NIR-

predikterade proverna. På Hacksta och Sjöstorp ingick inte separat provtagning enligt traditionell strategi. För 0,5 prov/ha kunde sådana dataset emellertid rekonstrueras från övriga dataset, men inte för 1 prov/ha. Kartor för pH och P-AL är därför bara gjorda för Bränneberg och Kärrtorp som var de egentliga valideringsgårdarna.

I tabell 4 framgår att ler och mull alltid, med undantag för mull på Sjöstorp, blir bättre interpolerat från NIR-predikterade data. Detta beror både på den tätare provtagningen och på de bra NIR-kalibreringarna (Tabell 3). Förbättringen avspeglar sig i att flera av kartorna (Figur 2) blivit mer detaljerade. Detta gäller särskilt ler på Bränneberg, Hacksta och Sjöstorp och mull på Hacksta och i viss mån Kärrtorp.

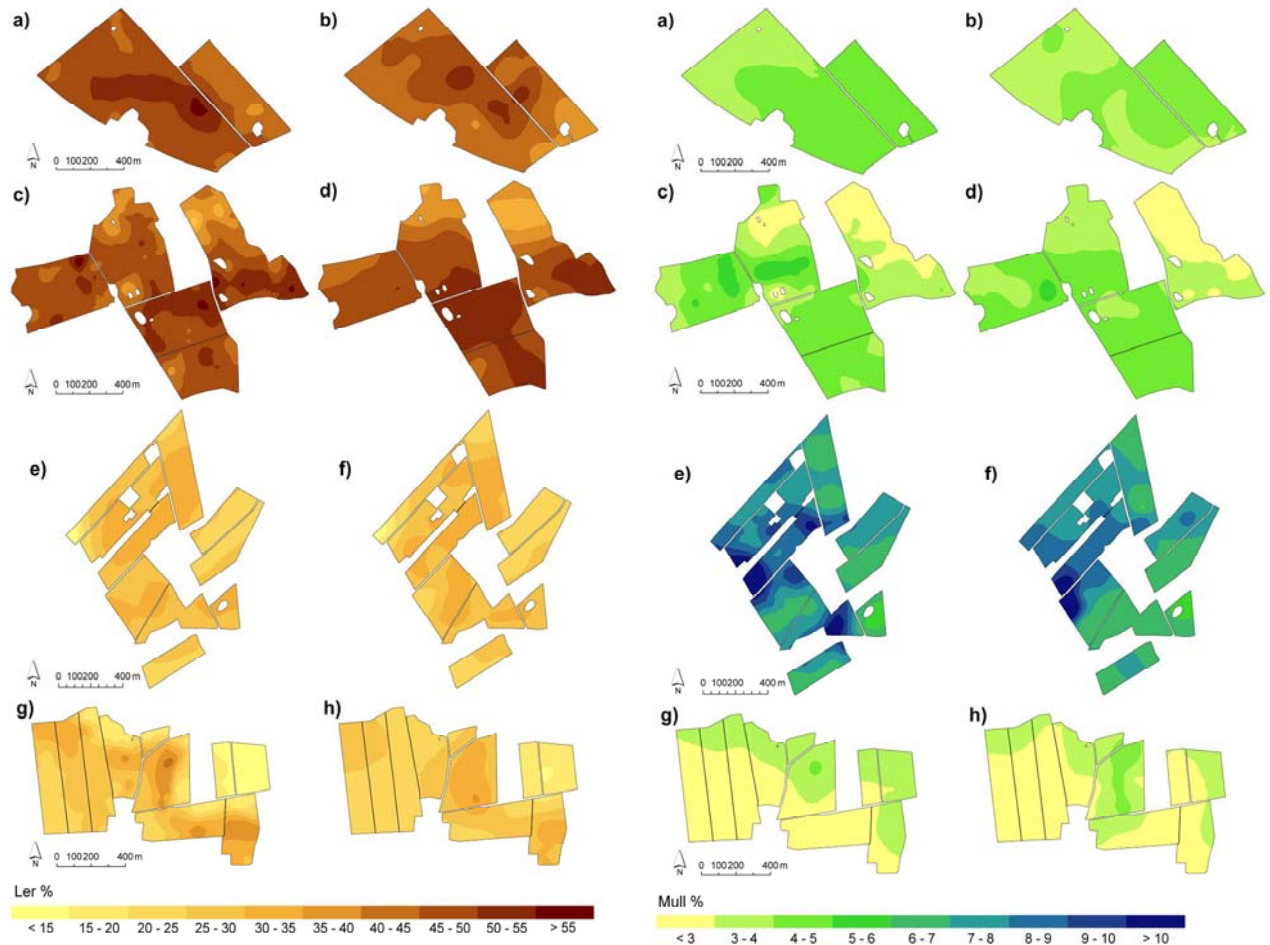
Tabell 4. Validering av interpolerade ler och mull kartor med NIR-predikterade data jämfört med traditionellt provtagna och analyserade prover.

| | | n | Ler | | Mull | |
|------------|---------------|-----|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | r ² | RMSED | r ² | RMSED |
| Bränneberg | NIR-bestämt | 138 | 0.37 | 3.7 | 0.40 | 1.1 |
| | Traditionellt | 34 | 0.31 | 3.9 | 0.26 | 1.1 |
| Hacksta | NIR-bestämt | 152 | 0.60 | 5.6 | 0.72 | 0.6 |
| | Traditionellt | 50 | 0.51 | 5.7 | 0.36 | 0.9 |
| Kärrtorp | NIR-bestämt | 155 | 0.78 | 2.0 | 0.29 | 1.3 |
| | Traditionellt | 40 | 0.56 | 3.0 | 0 | 1.8 |
| Sjöstorp | NIR-bestämt | 128 | 0.74 | 5.8 | 0.59 | 0.7 |
| | Traditionellt | 38 | 0.51 | 8.0 | 0.68 | 0.6 |

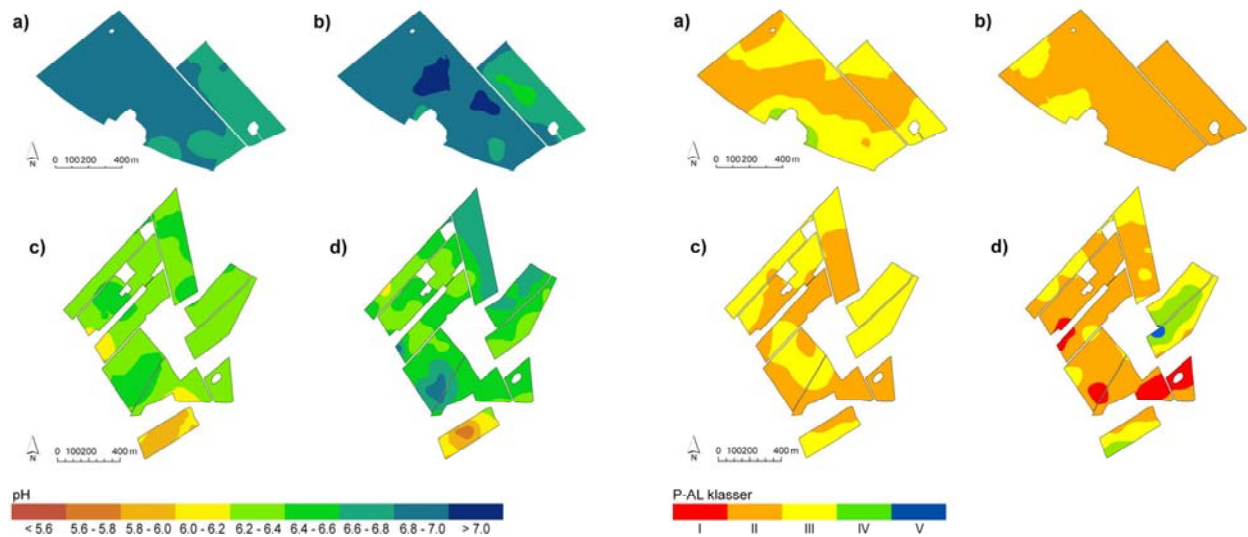
För pH och P-AL går det inte att säga att den tätare provtagningen med NIR-predikterade data gett ett bättre resultat (Tabell 5). För pH är resultaten likvärdiga, om än lite bättre med NIR-predikterade data på Kärrtorp. För P-AL är resultatet klart sämre med NIR-predikterade data. När det gäller pH är orsaken till att kartorna blir likvärdiga trots den tätare provtagningen dels att NIR-kalibreringarna är måttligt bra (Tabell 3) och dels att skillnaden i provtäthet är betydligt mindre än för ler och mull. På Bränneberg är en viktig del av förklaringen också att det finns väldigt lite variation att beskriva. På Kärrtorp är det tydligt att interpoleringen av P-AL kartor tillsammans med NIR-kalibreringen har smetat ut variationen (Figur 3). Detta beror främst på att, som tidigare nämnts, inga prov med de högsta P-AL talen ingår i kalibreringssetet. Det är också sannolikt så att P-AL inte absorberar i NIR-området utan att kalibreringarna förlitar sig på samband med andra markparametrar. Eftersom höga fosfortal istället ofta beror på närhet till gårdscentrum, dvs. mycket tillfört stallgödsel som kan antas i östra delen av Kärrtorp (Figur 3), bryts sådana jordartssamband och kalibreringarna fungerar inte.

Tabell 5. Validering av interpolerade pH och P-AL kartor med NIR-predikterade data jämfört med traditionellt provtagna och analyserade prover.

| | | n | pH | | P-AL | |
|------------|---------------|-----|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | r ² | RMSED | r ² | RMSED |
| Bränneberg | NIR-bestämt | 138 | 0,54 | 0,081 | 0,11 | 1,54 |
| | Traditionellt | 67 | 0,61 | 0,083 | 0,33 | 0,99 |
| Kärrtorp | NIR-bestämt | 155 | 0,68 | 0,26 | 0,40 | 4,07 |
| | Traditionellt | 78 | 0,23 | 0,29 | 0,80 | 2,64 |



Figur 2. Interpolerade ler och mullhaltskartor. a,c,e och g bygger på tät provtagning och NIR-predikerade data och b,d,f och h på traditionell kartering och analys. Uppifrån och ner: Bränneberg, Hacksta, Kärtrorp och Sjöstorp.



Figur 3. Interpolerade pH och P-AL kartor. A och c bygger på tät provtagning och NIR-predikerade data och b och d på traditionell kartering och analys. Uppifrån och ner: Bränneberg och Kärtrorp.

Slutsatser

Resultaten visar att metoden är fullt användbar för jordartskartering, framförallt ler- och mullhalt. pH och P-AL skall inte förkastas, men troligen behöver antalet referensprov ökas en del och områden med höga P-AL-tal måste kunna identifieras utifrån kunskap om gårdens historia eller gamla markkartor.

Det är svårt att räkna ut exakt vad strategin skulle innebära ekonomiskt eftersom så mycket hänger på osäkra provtagningskostnader och hur laboratorier väljer att prissätta NIR-analysen. Tar man däremot de jordartsanalyser som görs på vart tredje hektar inom miljöstödet borde en NIR-analys på samtliga prov och kalibreringar inte behöva kosta mer än 5-10 000 kronor mer för 100 ha. Då får man en betydligt mer användbar jordartskartering som bygger på ett trettiotal prov analyserade med referensmetod och resterande predikterade med NIR.

Somliga lantbrukare väljer redan idag att provta två prov per ha för standardanalys och jordart på vartannat prov. För 100 ha beräknas detta kosta ca 55-60 000 kr. Om traditionell jordartsanalys kostar 200 kr per prov utgör den 20 000 kr. Om man istället analyserar endast 30 av dessa för NIR kalibrering blir det 14 000 kr över till NIR-analys och kalibrering. Detta borde gott och väl räcka till för jordartsbestämning av samtliga 200 prov istället för bara 100, dvs. två istället för ett prov per ha även för jordart.

Eftersom vi inte utesluter möjligheten att använda metoden även för P-AL och pH, även om det behöver utredas hur många referensprov som då behövs, kan vinsten bli ännu större eftersom NIR-analysen i räkneexemplet ovan redan är utförd.

För att fullt ut utnyttja NIR-tekniken är det viktigt att kunna hålla ner antalet referensprov från den enskilda gården. En generell svensk kalibrering vore det optimala, men i en utvidgning av det SLF-finansierade projektet (se publikationer) fann vi att detta inte fungerade, men att en kombination, och då eventuellt med så få som 5-10 lokala referensprov, kan fungera lika bra eller till och med ännu bättre än de här presenterade resultaten. Inte minst för en gård som Sjöstorp som jordartsmässigt egentligen är två enheter. Här finns en potential till ytterligare rationalisering, men ett större mer heltäckande nationellt dataset än det vi hade tillgång till behövs för att utreda den fulla potentialen.

Publikationer och övrig resultatförmedling till näringen.

- Wetterlind, J., Stenberg, B. & Söderström, M. (2008). The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. *Precision Agriculture* 9(1-2), 57-69.
- Wetterlind, J., Stenberg, B. & Söderström, M. Increased sample point density in farm soil mapping by local calibration of near infrared prediction models. (Inskickad).
- Wetterlind, J. & Stenberg, B. Near infrared spectroscopy for within field soil characterisation – Small local calibrations compared with national libraries augmented with local samples. (Inskickad).
- Wetterlind, J. (2009) Improved farm soil mapping using near infrared reflection spectroscopy. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* Doctoral thesis no 2009:68, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU
- Wetterlind, J., Stenberg, B. 2009. Using near infrared reflection spectroscopy in farm soil mapping comparing small local calibrations with national calibrations for predicting within-field soil variation, In: *Pedometrics 2009, One World One Soil*, Beijing, Kina. (Muntlig presentation)
- Wetterlind, J., Stenberg, B., Söderström, M. 2007. Farm-soil mapping using NIR-technique for increased sample point density. In: *Proceedings of the 6th European Conference on Precision*

Agriculture, eds. Stafford, J.V. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp 265-270. (Muntlig presentation)

Wetterlind, J., Stenberg, B. and Söderström, M. 2006. New strategy for farm-soil mapping using NIR to increase sample point density. In: 12th International Conference on Near-InfraRed Spectroscopy, Auckland, New Zealand, edited by G. R. Burling-Claridge, S. E. Holroyd and R. M. W. Sumner. New Zealand Near Infrared Spectroscopy Society Incorporated. (Muntlig presentation)

Stenberg, B. Wetterlind, J. 2009. Small sized local vs. large sized national calibration sets and their combination for farm scale predictions by NIR. In: The European Geoscience Union General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna Austria. (Muntlig presentation).

Projektet är även redovisat för och diskuterat med markkarteringsrådet

Resultaten är presenterade i Arvensis 6.2009, s.17.

Resultaten skall presenteras vid Jord- och SkogsGIS i Jönköping den 26-27 januari 2010.