

Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält

1. Bakgrund

I och med att lantbrukaren börjar kunna använda markkartan och agera efter den variation som återges är markkarteringen på väg in i en ny era. Det finns behov av en större detaljrikedom än vad brukliga 1 prov per ha, eller för jordart ner till ett prov vart tredje ha, kan ge. Den övergripande målsättningen med projektet var att utveckla metoder för detaljerad jordartskartering av matjord och alv med ett minimum av arbetskrävande och dyra provtagningar, transporter och övrig hantering av jordprover. Istället analyseras marken direkt i fält. Tätare provtagning kräver ökad effektivitet och billigare analyser, vilket analys direkt i fält kan åstadkomma. Analys av alven närmast förutsätter analys direkt i fält för att kunna bli tillräckligt rationell. I projektet har vi använt ett antal s.k. proximala sensorer (d v s markburna sensorer där mätavståndet är högst några meter) som registrerat olika egenskaper hos både matjord och alv. Vi har också använt Lantmäteriets nya digitala höjddatabas (NNH). Strategierna för att producera högupplösta kartor över matjord och alv baseras på geostatistiska tekniker och olika multivariata beräkningsmetoder (*data mining*).

I flera studier har det visats att bestämningen av jordartsparmetrar kan förbättras genom att man använder en kombination av sensorer som mäter olika egenskaper istället för att bara använda en. Kitchen et al. (2010) fann att plogsulen kunde beskrivas betydligt bättre med en kombination olika typer av sensorer för elektrisk ledningsförmåga (ECa) än med bara en. Likaså fann Taylor et al. (2010) att lerhalten i matjord och alv kunde bestämmas bättre genom en kombination av ECa, markens naturliga gammastrålning och digitala höjdmodeller (DEM). Hedley et al. (2010) kunde via jordarten bestämma den vattenhållande förmågan i markprofilen genom att kombinera ECa med NIR-spektrum. Över ett avrinningsområde i Australien modellerade Malone et al. (2009) mullhalt och vattenhållande förmåga i markprofilen med hjälp av satellitbilder i sju bandbredder i det synliga och infraröda området (vis-NIR), gammastrålning och DEM. Ett viktigt motiv att kombinera sensorer för jordartsbestämning av både matjord och alv är att flera av dem enbart påverkas av markytan eller det allra översta jordlagret medan andra, t ex ECa, kan påverkas av markens egenskaper ner till ett par meters djup beroende på instrument och hur man mäter (Sudduth et al., 2000). Spektroskopiska metoder mäter reflektans från ytan på ett jordprov eller på marken, men utrustningar finns där en prob förs ner i marken (Ben-Dor et al., 2008; Mouazen and Ramon, 2006; Stenberg et al., 2007) för analys på olika djup.

Syftet med projektet var att utveckla strategier för hur olika sensortechniker för mätning av markegenskaper direkt i fält kan kombineras för detaljerad kartering av textur och mullhalt i matjord och alv. Mer detaljer kring metod och resultat finns att finna i (Piikki et al., 2013)

Projektet delades upp i fyra delstudier med syfte att:

- 1) Ta fram en tredimensionell ECa-karta baserat på en kombination av två olika ECa-sensorer.
- 2) Hitta den bästa kombinationen av de tre sensorerna i mätsystemet Veris P4000 EC-Force-NIR prob, för prediktion av ler, sand-, silt och mullhalt.
- 3) Utvärdera om prediktionsmodeller för ler-, -sand-, och mulhalt blir bättre om de kalibreras med ett utökat referensdataset (jordprover + värden bestämda med Verisproben) jämfört med om de kalibreras med enbart jordproverna.

- 4) Utvärdera en metod att ta fram tredimensionella markkartor för ler-, sand- och mullhalt. Metoden använder lagerspecifika ECa-värden som tagits fram med metoden från delstudie 1 och ett utökat referensdataset (delprojekt 3) som tagits fram med den bästa kombinationen av Verisprobens sensorer (delprojekt 2).

2. Material och metoder

2.1 Fältmätningar

Mätningar utfördes på tre gårdar i Skaraborg: Entorp (55 hektar), Brogården (37 hektar) och Bjertorp (35 hektar). De fält som valdes ut för mätning på respektive gård förväntades ha en uttalad jordartsvariation både horisontellt och vertikalt.

Markens ECa mättes med en sensor som bygger på elektromagnetisk induktion (EMI) (EM38 Mk2, Geonics Ltd, Mississauga, Kanada), som lades i en släde helt i plast och drogs av en fyrhjuling i transekter över fältet, var 12:e m eller 24:e m. Två mätvärden med olika djupresponser loggades varje sekund och positionerades med en DGPS (TDS Nomad GPS, Tripod Data Systems, Corvallis, OR, USA, 3-5 m positionsnoggrannhet). De två djupresponserna innebar att 70% av signalen härrörde från de översta 0,8 m respektive 1.5 m av marken.

På Bjertorp fanns data från en mätning med gammastrålningsspektrometer (The Mole, The Soil Company, Holland) från i april 2009 att tillgå. Nya mätningar gjordes på Entorp i november 2011 och på Brogården i september 2012. Instrumentet monterades på en fyrhjuling och mätningarna positionerades med en RTK-GPS (Trimble Navigation Limited, CA, USA med SWEPOS nätverks-RTK-tjänst, 2 cm positionsnoggrannhet) och gjordes i transekter på motsvarande sätt som vid ECa-mätningarna. Radioaktiviteten hos de naturligt förekommande isotoperna ^{232}Th , ^{40}K och ^{238}U bestämdes från insamlade spektrum med en fullspektrumanalys (Hendriks et al., 2001) som utfördes av The Soil Company i Holland. Även det totala antalet sönderfall (total counts, TC) användes i dataanalysen.

En Veris P4000 EC-Force-NIR prob användes för att göra täta mätningar i djupled av ECa, penetrationsmotstånd och vis-NIR-spektrum (synligt och nära infrarött ljus; 350-2200 nm, med 8 nm upplösning). Mätsystemet var monterat på en traktor och proben fördes ner genom markprofilen med kraft från traktorns hydrauluttag. Mätningar gjordes ner till 0,8 m djup på Entorp och Brogården men till 0,6 m djup på Bjertorp, för att inte skada grunda dräneringsrör. Mätvärden loggades med cirka 1,5 cm mellanrum i djupled. Mätningar gjordes på 100 platser per gård och på varje plats gjordes två profilmätningar. De 100 provplatserna bestämdes genom s k stratifierad slumpning där fälten delades in i ett rutnät med 100 lika stora rutor och placeringen av provplatsen i rutan slumpades ut. Medelvärden för mätdata beräknades för tre djupintervall, 0-0,2 m, 0,4-0,6 m och 0,6 m-0,8 m (dock inte för Bjertorp). Intervallet kring den förmodade kompaktionszonen i plogsulan (0,2-0,4 m) utelämnades.

Höjddata från NNH (grid 2+) erhöles från Lantmäteriet för de tre gårdarna. På Entorp fanns brus i data som troligen orsakats av att grödan varit tät under mätningen. I ett första steg interpolerades höjdvärdena från den ursprungliga spatiala upplösningen på 2 m × 2 m till en reducerad upplösning på 10 m × 10 m, vilket minskade bruset. För varje 10 m × 10 m rastercell beräknades lutning och relativ topografi (form). Det sistnämnda anger om en cell ligger på höjd eller i en sänka lokalt sett, och beräknades här som rastercellens höjd i förhållande till medelhöjden i ett cirkulärt närområde med 50 m radie.

Tjugo av de 100 provplatserna för profilmätning valdes ut som referenspunkter där jordprover togs för analys. Vid tidpunkten tillgängliga sensordata användes för att välja ut platser som både täckte in områdena geografiskt och representerade variationen i markegenskaper. Vid de tjugo referenspunkterna togs jordprov från de tre djupintervallen. Texturen bestämdes genom sedimentation (Gee and Bauder, 1986) och mullhalten bestämdes från glödförlust. Från texturanalysen användes fraktioner för ler ($< 2 \mu\text{m}$), silt ($2 \mu\text{m}$ - $0,6 \text{ mm}$) och sand ($0,6 \text{ mm} - 2 \text{ mm}$). Värdena skalades så att alla fraktioner är uttryckta som procent av hela jordprovet, d v s både finjord ($< 2 \text{ mm}$) och grus.

Olika referensdataset (data för kalibrering och validering av modeller) har använts i de olika delstudierna. I delstudie 1 användes ECa-värden från 80 av de 100 provplatserna för kalibrering och resterande 20 provplatserna användes för validering. I delstudie 2 användes de laboratoriebestömda värdena för ler-, sand-, silt- och mullhalt från de 20 jordprovspunkterna för kalibrering. Modellerna korsvaliderades. I delprojekt 3, användes 20 laboratoriebestämda värden för ler-, sand-, silt- och mullhalt från matjorden i de 20 jordprovspunkterna för kalibrering och 19 oberoende laboratorieanalyser av sand- och lerhalt, som tillhandahölls av lantbrukaren användes för validering. I delprojekt 4, användes värden för ler-, sand- och mullhalt som bestämts genom laboratorieanalys av jordprover (20 punkter) eller genom mätning med Verisproben i (80 punkter). Modellerna korsvaliderades genom att undanhålla de 20 laboratoriebestämda proverna ett i taget.

2,2 Dataanalys –delprojekt 1

I projektet mäts ECa på två olika sätt, dels med prob-sensorn, som mäter en liten jordvolym och ger ECa-värden för specifika djup, och dels med EMI-sensorn som ger ECa värden för hela markprofilen (två värden med olika djuprespons). Fördelen med prob-sensorn är att man får en upplösning i djupled och fördelen med EMI-sensorn är att man på ett effektivt sätt kan mäta på många punkter och få en hög upplösning i horisontalplanet. I den här delstudien provades en metod att kombinera de två olika typerna av ECa-data för att ta fram en tredimensionell ECa-modell för fältet, en karta som både har hög upplösning i horisontalplanet och som har separat information för olika djup. Metoden, som bygger på *k nearest neighbour*-prediktion (kNN), provades på de tre gårdarna för att bestämma ECa i djuplagren 0-0,2 m och 0,4-0,6 m eller 0,4-0,8 m. Medelfel (*Mean Absolute Error*, MAE) och förklaringsgrad (R^2) beräknades för de 20 referenspunkterna som undanhållits från referensdatasetet. Som en jämförelse togs motvarande kartor fram genom spatial interpolation (*ordinary kriging*) av ECa i de 80 kalibreringspunkterna. Delstudien beskrivs mer detaljerat av Piikki et al. (inskickat manuskript).

2,4 Dataanalys –delprojekt 2

Kalibreringsmodeller för de olika markparametrarna gjordes med mätningar från de enskilda sensorerna hos Verisproben (ECa, penetrationsmotsstånd och NIR-spektrum) och med kombinationer av sensorerna genom enkel linjär regression eller den multipla linjära regressionsmetoden *partial least squares regression* (PLSR). I kalibreringarna användes jordproven från de tre djupen i de 20 referenspunkterna, d v s 60 jordprov tillsammans. Kalibreringarna med NIR-spektrum gjordes både inkluderande synliga våglängder (400-2200 nm, våglängder $< 400 \text{ nm}$ togs inte med på grund av för mycket brus) och med enbart våglängder i NIR-området (780-2200 nm). Kalibreringsmodellerna validerades genom korsvalidering där prov från de tre djupen i samma provtagningspunkt undanhölls samtidigt.

2,5 Dataanalys –delprojekt 3

Kalibreringsmodeller blir säkrare ju fler referensprov som ingår. Men referensanalyser är dyra och därför undersöktes om de modeller som ska användas för tredimensionell markkartering (delstudie 4) blir bättre om man utökar referensdatasetet med ler-, silt-, sand och mullhalt som bestämts med Verisproben (delstudie 2). En frågeställning som undersöktes i projektet var om nyttan att ha 100 istället för 20 kalibreringsprov vid skapandet av de tredimensionella kartorna skulle överskugga det faktum att man tillför osäkerhet från de probbestämda mätningarna. Detta studerades i matjorden på en av gårdarna (Entorp) genom att göra kalibreringsmodeller med enbart de 20 referenspunkterna som kalibreringsprov och jämföra med modeller som kalibrerats med de 20 referenspunkterna plus 80 punkter där ler-, sand- och mullhalt bestämts från mätningar med prob-sensorn. kalibreringsmodellerna validerades med de 19 oberoende matjordsprover som tillhandahölls av lantbrukaren.

2,6 Dataanalys – delprojekt 4

De tilltänkta tredimensionella markkartorna består av rasterkartor över fraktioner av ler, sand och mull för tre intervall i markprofilen. För att ta fram sådana kartor från insamlade data kalibrerades multivariata prediktionsmodeller, *multivariate adaptive regression splines* (MARSplines; Hastie et al., 2009), en för varje djupintervall och markegenskap.

Huvudsakligen används två dataset för karteringen, ett referensdataset som består av 100 provplatser med kända värden både för prediktorerna (X-variablerna d v s gammastrålnings-ECa- och höjdvariabler) och för responsvariablerna (Y-variablerna d v s ler-, sand och mullhalt), som används för kalibrering och validering av MARSplines-modeller, samt ett rutnät av punkter (gitter) med kända värden enbart för prediktorerna, som används för att producera kartor. Modellerna korsvalideras med hjälp av de tjugo referensproverna och tillämpas på punktgitret. Tre varianter testades: 1) Att interpolera de 100 värdena för responsvariablerna i referensdatasetet till punktgitret med *ordinary kriging*, 2) Att kalibrera MARSplines-modeller där de två djupintegrerade ECa-värdena från EM38-sensorn samt differensen dem emellan var de ECa data som ingick i prediktordatasetet och 3) Att använda ECa-värden för specifika djuplager, framtagna enligt vad som beskrivs i avsnitt 2.2 och låta dem ingå i prediktorsetet. En schematisk översikt över arbetsgången i variant 3 visas i Figur 1.

3. Resultat

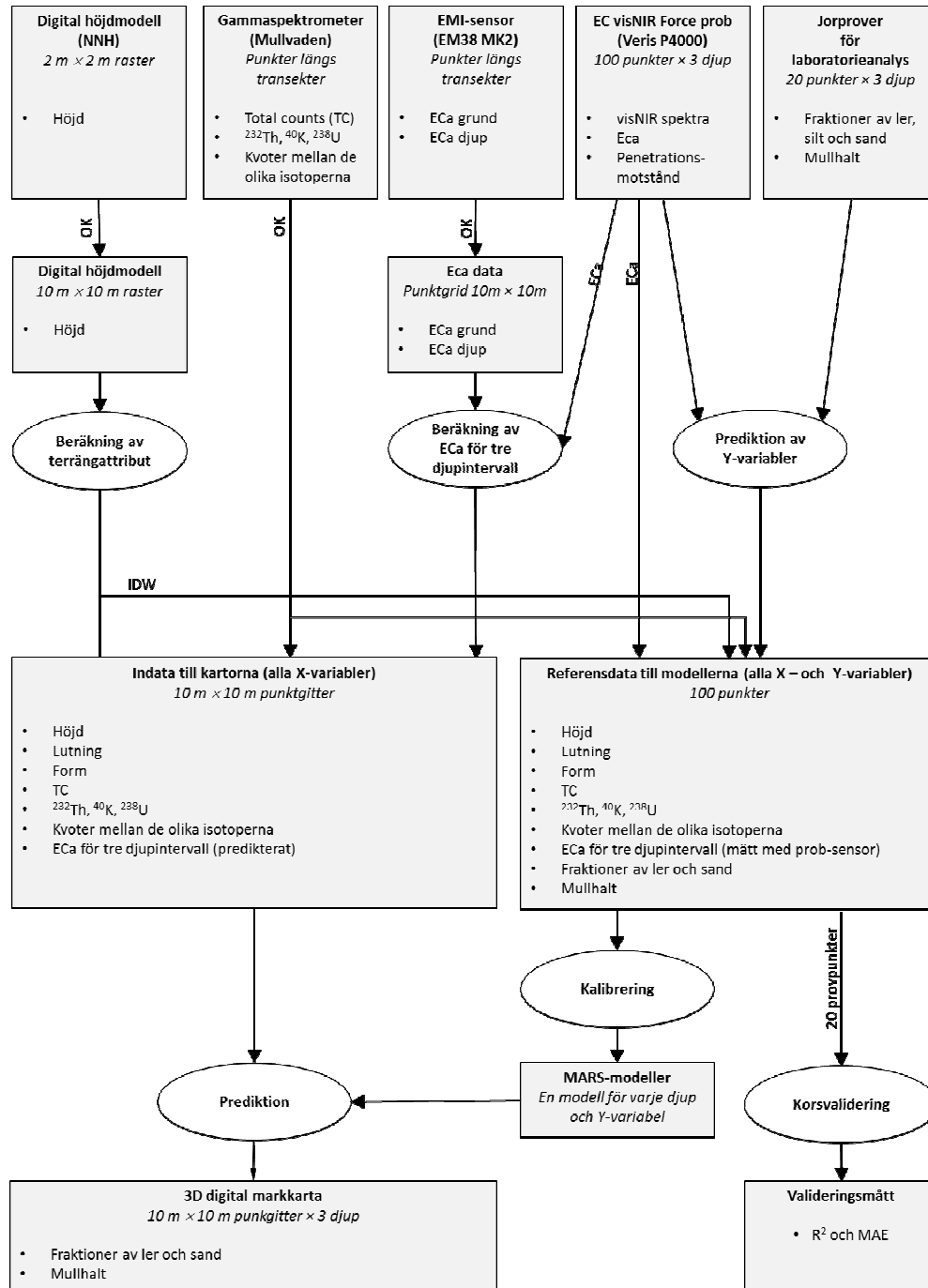
3,1 Genom att kombinera flera EC-mätningar kan man ta fram en 3D-karta över ECa

På två av de undersökta fälten (Entorp och Brogården) fungerade det relativt bra att ta fram kartor över ECa för två olika djupintervall med en kombination av EMI- och prob-sensordata (Tabell 1). På det tredje fältet fungerade det bättre att bara interpolera probdata (högre R^2 och lägre MAE). I matjorden på Brogården var ECa mycket låg och jämn och ett medelvärde av probdata var bättre än både kNN-prediktion och spatial interpolation.

3,2 Att kombinera flera sensorer ger bättre bestämmningar

NIR-sensorn på Verisinstrumentet var den enskilda sensor som bestämde markparametrarna med störst förklaringsgrad (R^2) och minst fel (root mean squared error of cross validation; RMSECV; Tabell 2). Detta gällde för alla markparametrar och på båda gårdarna. Det synliga tillsammans med det nära infraröda våglängdsområdet (vis-NIR) gav bäst mullhaltsbestämningar medan enbart det nära infraröda våglängdsområdet (NIR) gav bäst ler-, silt- och sandbestämningar. En kombination av flera sensorer gav i de allra flesta fall

något bättre ler-, silt-, sand och mullhaltsbestämningar. Generellt gav NIR tillsammans med ECa bäst ler-, silt- och sandbestämningar medan vis-NIR tillsammans med penetrationsmotståndet gav bäst mullhaltsbestämningar.



Figur 1. Arbetsgång för variant 3. MARS = multivariate adaptive regression splines, ECa = elektrisk ledningsförmåga, IDW = inverse distance weighting, OK = ordinary kriging, R^2 = kartans förklaringsgrad, MAE = medelfel.

3,3 Att utöka referensdatasetet med NIR-mätningar direkt i fält ger robustare modeller

Resultaten av kalibreringsmodellerna för ler och sand blev något bättre när de 20 referenspunkterna kompletterades med de 80 punkterna med probbestämda ler- och sandhalter (Tabell 3). En enkel form av stressanalys där de 19 oberoende valideringsproven hölls bort från valideringen ett i taget, visade också på att modellerna verkade bli något mer robusta (lägre standardavvikelse hos R^2 och RMSEP) när referenspunkterna kompletterades med de probbestämda ler- och sandhalterna. Ingen av modellerna kunde bestämma mullhalten.

Tabell 1. Validering av prediktion av elektrisk ledningsförmåga (ECa) i två djuplager. Värden inom parentes har predikterats genom spatial interpolation av probdata. $R^2 < 0$ markeras med -. R^2 = modellens förklaringsgrad. MAE = medelfel (Mean Absolute Error).

Gård	Djup	R^2	MAE (mS m ⁻¹)
Entorp	0-0,2 m	0,76 (0,48)	1,4 (2,0)
Entorp	0,4-0,8 m	0,80 (0,60)	3,6 (5,8)
Brogården	0-0,2 m	- (-)	1,1 (1,1)
Brogården	0,4-0,8 m	0,49 (0,33)	3,8 (4,4)
Bjertorp	0-0,2 m	- (0,29)	1,4 (1,0)
Bjertorp	0,4-0,6 m	0,18 (0,25)	3,8 (3,4)

Tabell 2. Kalibreringsresultat för den bästa enskilda sensorn, NIR-sensorn, och de bästa kombinationerna av sensorer. RMSECV = Root mean squared error av korsvalidering; vis-NIR = reflektansspektrum för 400-2200 nm; NIR = reflektansspektrum för 780-2200 nm. ECa = elektrisk ledningsförmåga; F = penetrationsmotstånd.

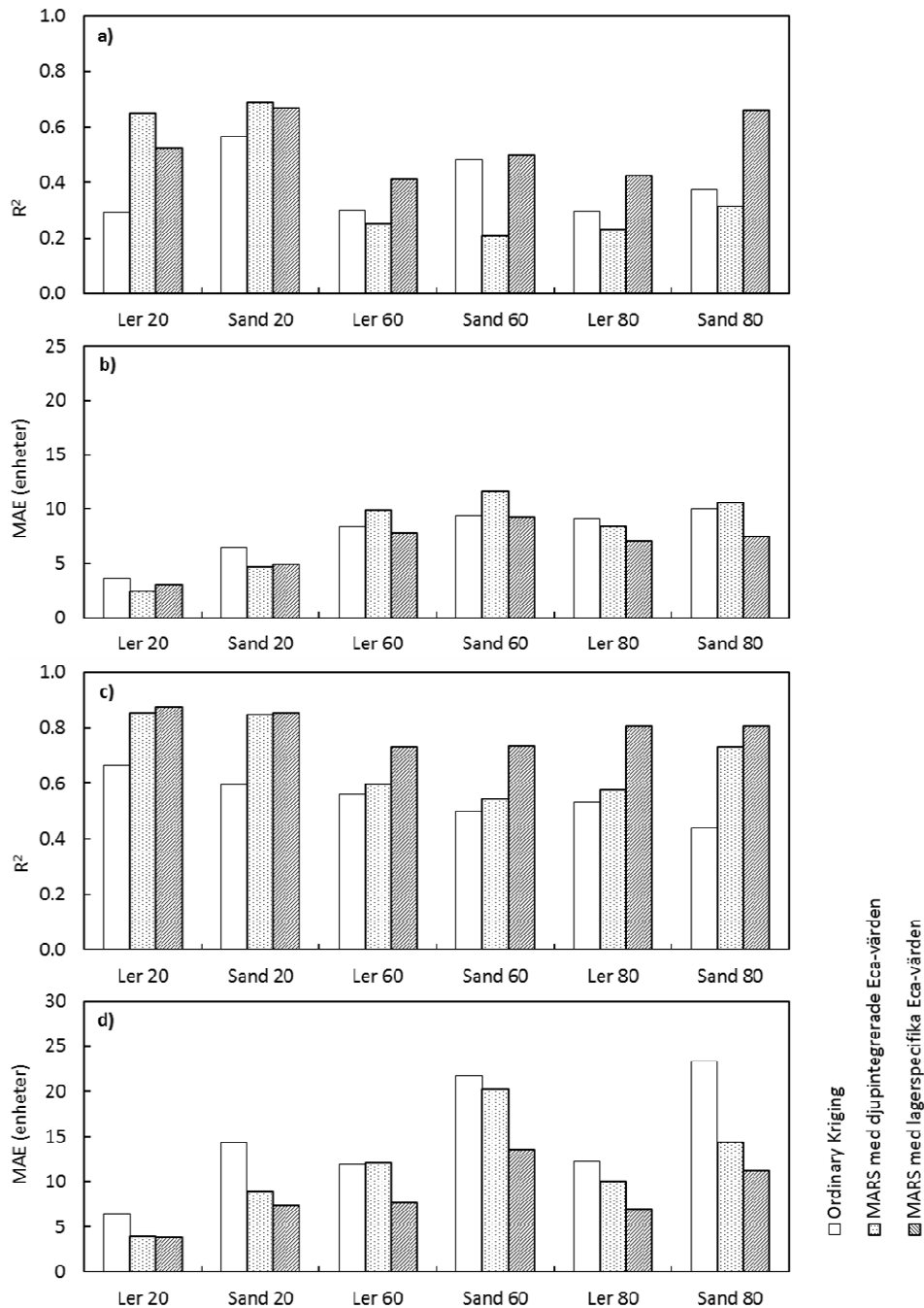
		Bästa enskilda sensor			Bästa kombination av sensorer		
		våglängder	R^2	RMSECV	sensorer	R^2	RMSECV
Entorp	Ler	NIR	0,94	5,5	NIR+ECa	0,94	5,8
	Sand	NIR	0,91	11,6	NIR+ECa+F	0,93	10,3
	Silt	NIR	0,84	6,6	NIR+ECa	0,88	5,7
	Mull	vis-NIR	0,90	0,31	vis-NIR+ECa+F	0,93	0,26
Brogården	Ler	NIR	0,76	6,4	NIR+ECa	0,81	5,6
	Sand	NIR	0,64	10,4	NIR+ECa	0,73	8,9
	Silt	NIR	0,37	6,2	NIR+ECa	0,40	6,0
	Mull	vis-NIR	0,89	0,74	vis-NIR+F	0,93	0,60

Tabell 3. Resultat från valideringar av MARSplines-modellerna med de 19 oberoende valideringsproven. Siffror inom parentes är standardavvikelsen från stresstesten.

		Endast referensprov (20 st)		Referensprov + probprov (100 st)	
		R^2	RMSEP	R^2	RMSEP
Ler		0,76 (0,049)	7,0 (0,96)	0,77 (0,035)	6,8 (0,64)
Sand		0,38 (0,066)	19,5 (0,99)	0,48 (0,033)	17,8 (0,50)

3,4 Tredimensionella markkartor över mullhalt och textur

MARSplines-modeller för fraktioner av sand och ler samt för mullhalt parameteriserades för tre djup på Entorp och på Brogården. På båda dessa gårdar var mullhalten i de två djupa marklagren låg och homogen och därför svår att prediktera. För det översta marklagret fungerade det bättre att interpolera referensdata (Entorp: $R^2 = 0.28$ och $MAE = 0.3$; Brogården: $R^2 = 0.87$ och $MAE = 0.3$) jämfört med att göra prediktioner baserade på ECa,



Figur 4. Korsvalidering av kartlager för ler-, sand- och mullhalt på två gårdar, Brogården (a-d) och Entorp (c-d), och tre djup, 0-0,2 m djup (20), 0,4-0,6 m djup (60) och 0,6-0,8 m djup (80). Kartlagren är framtagna med tre olika metoder. MARS= multivariate adaptive regression splines, R^2 = kartans förklaringsgrad; MAE= medelfel.

gammastrålning och höjdvariabler. Resultat från valideringen av modellerna för ler- och sandhalt visas i Figur 2. Att kombinera de båda typerna av ECa-data och ta fram lagerspecifika värden för ECa som indata till MARSplines-modellerna gav högre R^2 och lägre MAE för samtliga modeller i de två djupa marklagren jämfört med när djupintegrerade ECa-data användes. I matjorden blev modellerna inte alltid bättre med lagerspecifika ECa-värden. R^2 och MAE för modellerna med lagervis ECa var alltid bättre än rumslig interpolation av referensdata. Dock förekom i vissa fall problem med outliers d v s enstaka stora felprediktioner.

4. Diskussion

Det går alltid att parameterisera multivariata modeller och använda dem för att ta fram kartor. Det är dock viktigt att validera modellerna innan man tillämpar dem, helst med ett oberoende dataset som undanhållits från kalibreringen. Någon egentlig utvärdering av hur effektivt det är att ta fram tredimensionella markkartor för ler- sand och mullhalt på det sätt som presenterats här har inte gjorts. Det tog 2-3 dagar per gård (2 personer) att göra mätningarna med Verisproben. Mätningarna med övriga sensorer tog cirka ½ dag per gård. Därtill kommer arbetet med dataanalys och kostnad för jordprover. Det verkar dock räcka att analysera jordprover från 20 platser $\times$ 3 djup på varje gård. Eftersom projektet inkluderade utveckling av metoden finns utrymme för effektivisering både vid provtagning och vid dataanalys.

Den digitala höjdmodellen och de täta sensormätningarna (EMI-sensor och gammastrålnings-spektrometer) förbättrade inte mullhaltsprediktionerna i matjorden jämfört med rumslig interpolation av det utökade referensdatasetet. Gammastrålning härrör från mineral i marken och påverkas mycket lite av de relativt låga mullhalter som finns representerade på gårdarna i studien. ECa är en kombination av flera markegenskaper där mullhalt är en faktor som påverkar, men med de relativt låga mullhalterna (om än representativa för svensk jordbruksmark) och den lilla variationen kommer markens textur i kombination med markfukt att vara klart dominerande. Det kan finnas andra högupplösta data som skulle kunna bidra med mer relevant information. Ett möjligt exempel är satellitbilder med information i olika band i NIR-området. Till skillnad från många sensorer som resulterar i ett mätvärde där alla markegenskaper som påverkar mätningen vägs in, har markparametrar som lermineral och organiska molekyler mer eller mindre väldefinierade avtryck i ett NIR-spektrum (Adamchuk et al., 2004; Mahmood et al., 2012; Stenberg et al., 2010). Detta kan förklara varför NIR-sensorn var den enskilda sensor som gav bäst ler-, silt-, sand- och mullhaltsbestämningar.

Generellt fungerade MARSplines-modellerna bäst för matjorden, kanske beroende på att gammastrålningsspektrometern bidrar med viktig information om matjordens egenskaper. Den påverkas av markens egenskaper ner till cirka 0.3 m djup. EMI-sensorn kan däremot bidra med information om alvens egenskaper. Man har störst nytta av EMI-instrumentet om man kombinerar det med probmätningar av ECa.

5. Slutsatser

- Att kombinera ECa-mätningar från en EMI-sensor och en prob-sensor och ta fram lagerspecifika ECa-värden som indata till MARSplines-modellerna gav konsekvent högre förklaringsgrad och lägre medelfel för ler- och sandhalt i de två djupa marklagren. I matjorden var inte alltid lagerspecifika ECa-data bättre.

- Att kombinera de tre sensorerna på Verisproben som mätte ECa, penetrationsmotstånd och reflekterat ljus i det synliga och infraröda våglängdsområdet gav bättre ler-, silt-, sand- och mullhaltsbestämningar på Entorp och Brogården jämfört med att använda de enskilda sensorerna var för sig.
- Att utöka referensdatasetet genom att göra mätningar med Verisproben i fält gav robustare kalibreringsmodeller i en utvärdering som gjordes på ler- och sandhalter i matjorden på Entorp.
- På Entorp och Bjertorp kunde lerhalten predikteras med ett medelfel $< 4 \%$ ler i matjorden och $< 8 \%$ ler i de två alvlagren. Förekomsten av sand var i viss grad omvänt proportionell med förekomsten av ler och kunde predikteras med likvärdig eller något högre förklaringsgrad.
- För mullhalten i matjorden fungerade det bättre eller ungefär lika bra med rumslig interpolation av det utökade datasetet som bygger på att man mäter med Verisproben, som att använda multivariata modeller baserade på data från en EMI-sensor, en gammastrålningsspektrometer och en digital höjdmodell.

6. Publikationer

Projektet har resulterat i följande manuskript och publikationer. Konferensbidrag markerade med stjärna har eller ska även presenterats muntligt:

- *Piikki K., Söderström M., Wetterlind J., Stenberg B. 2012. Constructing a layered electrical conductivity model from a combination of proximal and probe sensor data. Konferensbidrag. Eurosoil, Bari, Italien.
- Piikki K., Wetterlind J., Söderström M., Stenberg B. Constructing a layered electrical conductivity model using a combination of two proximal sensors. Manuskript skickat till European Journal of Soil Science, Februari 2013.
- *Wetterlind J., Piikki K., Stenberg B., Söderström M. 2013. Improved predictions of soil texture and soil organic matter content by combining simultaneous in-situ measurements of visible and near infrared reflectance, electrical conductivity and insertion force. Acceperat konferens-bidrag. The third global workshop on proximal soil sensing, Potsdam, Tyskland. 4 pp.
- Wetterlind J., Piikki K. 2013. Increasing the number of calibration samples by mixing traditional soil analysis with in-field vis-NIR spectroscopy - Does the benefit of having more calibration samples outweigh the introduction of additional uncertainty? Acceperat konferens-bidrag. Pedometrics Conference 2013, Nairobi, Kenya.
- Piikki K., Wetterlind J., Söderström M. Stenberg B. 2013. Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält. POS teknisk rapport 29.
- Wetterlind J., Piikki K., Stenberg B., Söderström M. Combining simultaneous in-situ measurements of near infrared reflectance, electrical conductivity and insertion force to improve predictions of soil texture and soil organic matter content. Manuskript till internationell refereegranskad tidskrift.

7. Övrig resultatförmedling till näringen

En rapport på svenska (Piikki et al., 2013) kommer att finnas tillgänglig på Precisionsodling i Sveriges (POS) hemsida (www.agrovast.se/precision/). Rapporten kommer även att aviseras via Precisionsskolan.se

8. Tack

Tack riktas till dem som upplåtit mark för fältmätningarna.

9. Referenser

- Adamchuk, V.I., J.W. Hummel, M.T. Morgan, and S.K. Upadhyaya. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44:71-91.
- Ben-Dor, E., D. Heller, and A. Chudnovsky. 2008. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. *Soil Science Society of America Journal* 72:1113-1123.
- Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis, p. 383-411, *In* A. Klute, ed. *Physical and mineralogical methods*. Soil science society of America, Madison.
- Hastie, T., R. Tibsharini, and J. Friedman. 2009. *The elements of statistical learning*. Data Mining, Inference, and prediction Springer Science + Business Media New York.
- Hedley, C.B., I.J. Yule, M.P. Tuohy, and B.H. Kusumo. 2010. Proximal Sensing Methods for Mapping Soil Water Status in an Irrigated Maize Field. *Proximal Soil Sensing*:375-385.
- Hendriks, P.H.G.M., J. Limburg, and R.J. de Meijer. 2001. Full-spectrum analysis of natural gamma-ray spectra. *Journal of Environmental Radioactivity* 53:365-380.
- Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, R.J. Kremer, and D.B. Myers. 2010. Sensor-Based Mapping of Soil Quality on Degraded Claypan Landscapes of the Central United States, p. 363-373, *In* R. A. Viscarra Rossel, et al., eds. *Proximal Soil Sensing*, Vol. 1. Springer Netherlands.
- Mahmood, H.S., W.B. Hoogmoed, and E.J. van Henten. 2012. Sensor data fusion to predict multiple soil properties. *Precision Agriculture* 13:628-645.
- Mouazen, A.M., and H. Ramon. 2006. Development of on-line measurement system of bulk density based on on-line measured draught, depth and soil moisture content. *Soil & Tillage Research* 86:218-229.
- Piikki, K., J. Wetterlind, Söderström M., and B. Stenberg. 2013. Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält. POS teknisk rapport 29, in press.
- Piikki, K., J. Wetterlind, M. Söderström, and B. Stenberg. inskickat manuskript. Constructing a layered electrical conductivity model using a combination of two proximal sensors. *European Journal of Soil Science*.
- Stenberg, B., G. Rogstrand, E. Bölenius, and J. Arvidsson. 2007. On-line soil NIR spectroscopy: identification and treatment of spectra influenced by variable probe distance and residue contamination, p. 125-131, *In* J. V. Stafford, ed. ECPA 2007. Wageningen Academic Publishers, Skiathos, Greece.
- Stenberg, B., R.A.V. Rossel, A.M. Mouazen, and J. Wetterlind. 2010. Visible and near Infrared Spectroscopy in Soil Science. *Advances in Agronomy*, Vol 107 107:163-215.
- Sudduth, K.A., J.W. Hummel, N.R. Kitchen, and S.T. Drummond. 2000. Evaluation of a soil conductivity sensing penetrometer, pp. 1-8 ASAE Annual International Meeting, Milwaukee, Wisconsin, USA.
- Taylor, J., B. Short, A.B. McBratney, and J. Wilson. 2010. Comparing the ability of multiple soil sensors to predict soil properties in a scottish potato production system, p. 387-396, *In* R. A. Viscarra Rossel, et al., eds. *Proximal soil sensing, progress in soil science*, 1 ed. Springer science + Business Media B. V., Dordrecht