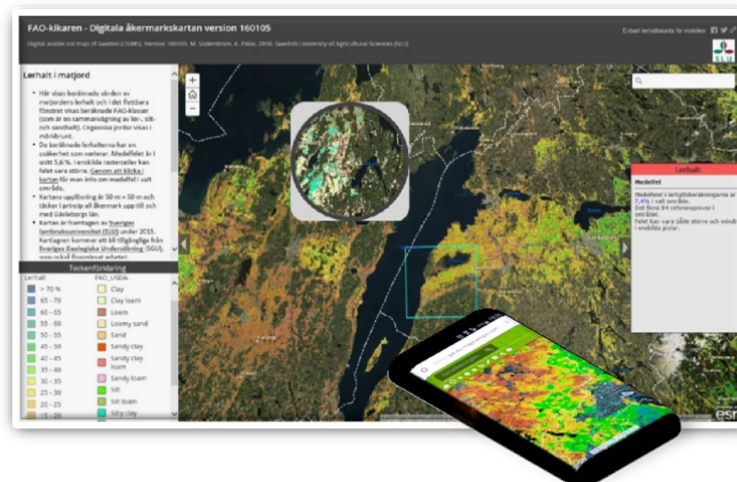




Digitala åkermarkskartan – detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord



Mats Söderström & Kristin Piikki

Förord

Detta är den sammanfattande slutrapporten för ett samarbetsprojekt mellan Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Sverige Geologiska Undersökning (SGU), avseende framtagning av texturkartor över matjorden i södra Sveriges åkermark. Det bygger på jordprovtagning som genomfördes 2011-2012 av Jordbruksverket. Detta arbete bygger på principer som utvecklats inom området *digital soil mapping*, där referensprover kopplas samman med andra typer av data från t ex fjärranalys, och där man med hjälp av statistiska modeller kan ta fram kartor av olika uppmätta egenskaper på ett ofta förbättrat sätt. Resultatet är kartlager över t ex lerhalt som täcker mer än 90 procent av jordbruksmarken i Sverige. Målet var att dessa data ska vara så bra att de ska kunna användas för operativa åtgärder av lantbrukare inom enskilda fält. Alla producerade data från projektet kommer att bli fritt tillgängliga.

Lars Rodhe, Gustav Sohlenius och Mats Wedmark, SGU, samt Henrik Stadig, Hushållningssällskapet i Skaraborg, har bidragit med data, viss databearbetning samt råd och synpunkter under arbetets gång. SGU har finansierat arbetet.

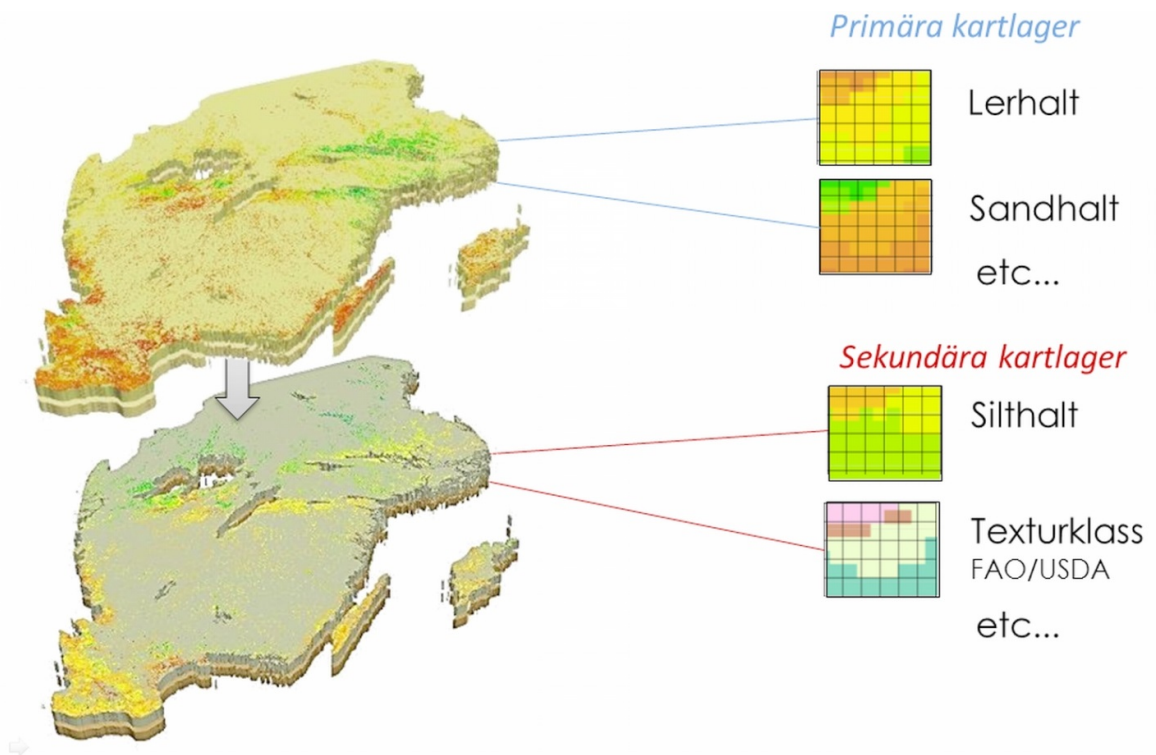
Författarna, januari 2016.

Innehållsförteckning

<i>Förord</i>	2
<i>Innehållsförteckning</i>	3
<i>Sammanfattning</i>	5
<i>Projektets bakgrund</i>	6
<i>Produktexempel</i>	6
<i>Hur kartan togs fram</i>	8
Principer för digital markkartering	8
Databeredning	9
Jordartskarta:	9
Gammastrålningsdata:	9
Höjddata:	10
Referensdata:	10
Modellering	11
Prediktionsmodell:	11
Programvara:	11
Kalibreringar:	12
Kartproduktion	12
<i>Kartans noggrannhet</i>	13
<i>Exempel på användningsområden</i>	14
<i>Utvecklingsmöjligheter</i>	15
<i>Leverans och dataformat</i>	15
<i>Referenser</i>	17
Förteckning över rapporter utgivna i serien <i>Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter</i> : ...	19

Sammanfattning

Den digitala åkermarkskartan är en ny, allmänt tillgänglig, digital kartprodukt som ger information om matjordens egenskaper i en skala som avses vara relevant för åtgärder i lantbruket. Kartans upplösning är $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ och täcker i princip all åkermark upp till och med Gävleborgs län. De första kartlagren beskriver matjordens lerhalt respektive sandhalt. De beräknade värdena har en osäkerhet som varierar i olika regioner och i olika skalor. För hela kartan är medelfelet för lerhalt 5,6 % och $r^2 = 0.76$. Motsvarande värden för sand var 11,3 % och $r^2 = 0,57$. Lokalt kan osäkerheten förstås vara både större eller mindre.



Figur 1. Digitala åkermarkskartan kan ses som en datakub bestående av flera rasterlager med information om olika markegenskaper. De lager som hittills tagits fram är ler- och sandhalt samt silthalt och texturklass enligt FAO/USDA. Ler- och sandhalt är primära kartlager som modellerats fram. Silthalt och texturklass är sekundära kartlager som är framräknade med hjälp av de primära kartlagren. Fler kartlager kan komma att göras.

Projektets bakgrund

År 2006 gav regeringen Jordbruksverket i uppdrag att göra en nationell kartering av Sveriges åkermark. Statistiska Centralbyrån utformade en provtagningsdesign (ca 1 prov per kvadratkilometer) och proverna togs under 2011 och 2012 (Paulsson et al. 2015). Resultaten från den här omfattande provtagningen sammanställdes i två rapporter (Djodjic 2015; Paulsson et al. 2015) och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) är datavärd för den resulterande databasen.

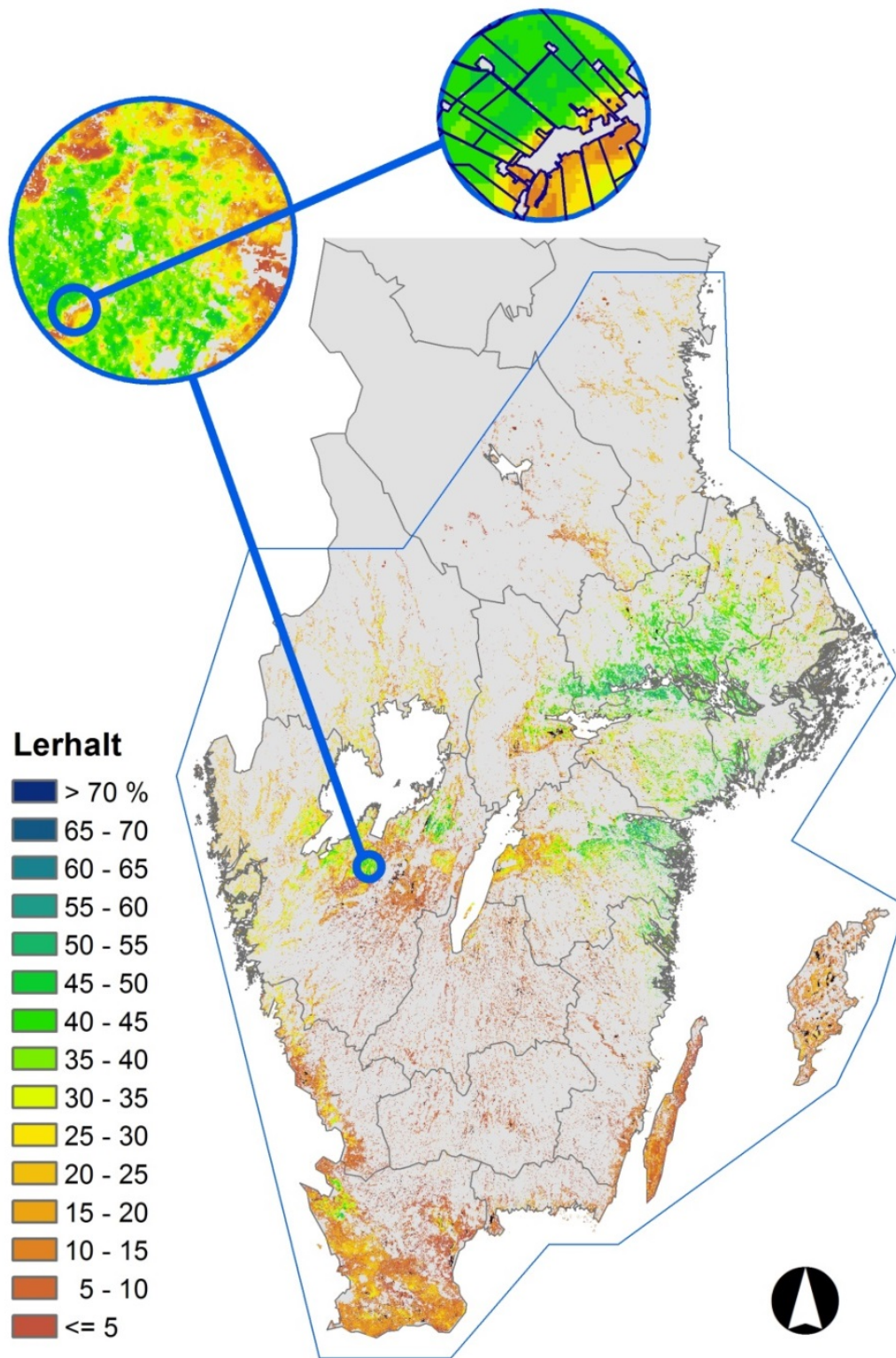
Den i denna rapport redovisade kartläggningen av matjordens lerhalt bygger på en metod för att ta fram mer högupplösta kartprodukter som baseras på statistisk modellering av referensprover i kombination med flera olika tillgängliga bakgrundsvariabler. Principen följer den teknik som redovisas i ett arbete som utfördes i ett av Rymdstyrelsen finansierat pilotprojekt i Skåne, i vilket SLU i samverkan med Hushållningssällskapen i Malmöhus och Skaraborg arbetade fram ett förfarande för att utnyttja högupplösta bakgrundsdata för att producera mer detaljerade markkartor än vad som är möjligt än när man bara använder uppmätta lerhalter i jordprover (Söderström 2012). Rymdstyrelsen finansierade därefter ett s.k. användarprojekt där metoden förfinades och testades i sex utvalda områden med olika geologi, och färdigställdes för nationell tillämpning.

Det här arbetet har bekostats av Sverige Geologiska Undersökning (SGU), och det har utförts av SLU i samverkan med SGU. Resultatet är nya texturkartor (ler- och sandhalt) över matjorden i större delen av Sveriges åkermark. Kartorna täcker in nära 3,0 miljoner hektar som klassificerades som jordbruksmark enligt Jordbruksverkets blockkarta 2013, vilket utgör drygt 92 % av den total arealen i blockkartan i Sverige vid det tillfället.

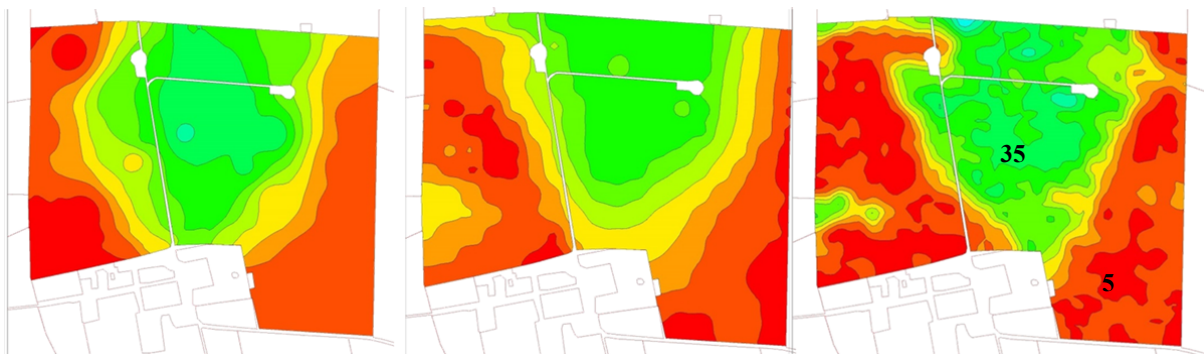
Konceptet kallar vi för *Digitala åkermarkskartan (Digital Arable Soil Map of Sweden; DSMS)* (Figur 1). Inom ramen för projektet har lerhalt och sandhalt modellerats – och från dessa beräknad silthalt. Dessutom har texturklasser tagits fram enligt FAO/USDA (texturtriangeln; USDA 2015) (Figur 1). Mullhalt har också modellerats men för mull är osäkerheten så pass stor så detta kartlager behöver förbättras innan publicering. Man kan tänka sig en rad ytterligare frammodellerade markegenskaper som kan produceras på liknande sätt som dessa kartor, särskilt sådana som är relaterade till textur har stor potential att fungera väl.

Produktexempel

DSMS lerhalt är ett 50 m × 50 m raster med beräknade lerhalter (Figur 2). I Figur 3 jämförs lerhaltsdata från DSMS, dels med traditionell markkartering och dels med den ”sanna” lerhalten. Här får detaljerade gammastrålningsmätningar gjorda med en markburen spektrometer (Piikki et al. 2015) representera sanningen.



Figur 2. Beräknad lerhalt i åkermarkens matjord. Kartområdet är markerat. Den rumsliga upplösningen är 50 m × 50 m I den uppförstorade, översta bilden är fältgränser infogade.



Figur 3. Kartan till vänster visar lerhalten i matjorden enligt en traditionell markkartering med en lerhaltsanalys per 3 hektar. Kartan i mitten visar lerhalt enligt Digitala åkermarkskartan (DSMS) utan några lokala prover i det här fallet. Kartan till höger är en detaljerad lerhaltskarta gjord med hjälp av en markburen proximal gammastrålnings sensor som kombinerats med jordprover och representerar den bästa kartläggning som kan göras med dagens teknik. Denna teknik är inte tillämpbar i nationell skala men fungerar mycket bra i mindre områden. Arealen utgör totalt 55 hektar och ligger utanför Skara i Västra Götaland. Bild: Henrik Stadig Hushållningssällskapet Skaraborg.

Hur kartan togs fram

Principer för digital markkartering

Under senare år har en ny disciplin utvecklats som länkar samman jordanalyser med hjälpvariabler som t ex sensordata – både mätt från nära håll och med fjärranalys – och andra tillgängliga kartdata. Sedan appliceras statistiska metoder där avsikten är att bygga modeller för beräkning och kostnadseffektiv kartering av olika mätvärden. På engelska går detta under benämningen *digital soil mapping*, *DSM* (Minasny & McBratney, 2016). I de flesta fall använder man billiga och heltäckande data som är indirekt korrelerade med det man egentligen vill kartera. Man utnyttjar ofta en stor mängd förklaringsvariabler och bland dessa söker man upp statistiska samband för att skapa prediktionsmodeller.

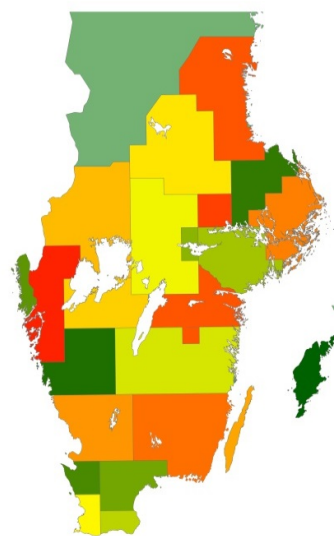
För att kunna hantera de stora datamängder som yttäckande högupplösta data innebär, och för att skapa mer homogena dataset, delades hela kartområdet in i 23 delområden (Figur 4). Dessa hanterades sedan var för sig och de slutliga kartorna lades samman. Tidigare testområden behölls och för indelningen av resterande yta användes i stort rutorna enligt terrängkartans bladindelning som gränser mellan områden eftersom flera olika dataset följde denna indelning. På vissa ställen blev det överlapp mellan områden eftersom testområdena inte följde kartbladens indelning, men även beroende på att vi ville få lämpliga dataset för modellering. I Figur 4 visas områdesindelningen. I områden med jordar klassificerade som organogena i SGUs kvartärgeologiska karta 1:50-100k gjordes ingen modellering. Inte heller områden som klassificerats som våtmark i Jordbruksverkets blockdatabas 2013. Dessa klassificerades också som organogena.

Databeredning

Jordartskarta: Den kvartärgeologiska kartan från SGU var en typ av indata som användes till prediktionsmodellerna. För att kunna göra det var det nödvändigt att först minska antalet klasser i kartan. Två reducerade klassindelningar gjordes, en med sju klasser (lera, sand, silt, morän, moränlera, organogena jordar och övrigt) och en med tre klasser (lera, organogena jordar och övrigt). Dessutom förenklades geometrin i jordartskartan något för att undvika felklassning av jordprover p g a osäkerhet i gränsdragningen mellan olika jordartsklasser; enbart ytor avgränsade av Jordbruksverkets blockdatabas hanterades, och inom dessa slogs jordartspolygoner med en yta <1 ha samman med grannpolygonen med störst area. På motsvarande sätt tilldelades ytor som var klassificerade som vatten samma jordart som grannpolygonen med störst area. Det fanns dock ändå några mindre ytor kvar i de fall de inte hade någon grannpolygon eller om grannpolygonerna också var mindre än 1 ha.

Gammastrålningsdata: Gammastrålningsdata från SGUs flyggeofysiska mätningar består av mätpunkter som ligger tätt i flygstråken (17 m, 40 m eller 60 m) medan det är betydligt längre mellan stråken (ca 200 m, dock på Gotland och Öland 400 m). Mätningarna har gjorts på två olika flyghöjder, 30 m vid mätningarna 1968-1980 och 60 m vid senare mätningar. Responsytan för varje enskild mätpunkt, man kan i stort räkna med att radien är ca 4 gånger flyghöjden (IAEA, 2003). De isotoper som registreras är ^{40}K , ^{232}Th och ^{238}U . Den senare användes inte p g a en hel del brus i mätdata i vissa områden som lätt påverkar prediktionsmodelleringen.

Mätpunkter som låg >300 m från ett jordbruksblock eller <100 m från sjö eller vattendrag enligt Lantmäteriets terrängkarta (1:50k) togs bort, dessutom mätpunkter där $^{40}\text{K} < 0\%$ eller $^{232}\text{Th} < 1\text{ ppm}$. För att undvika problem orsakade av ofta enstaka, höga extremvärden sattes $\text{K} > 4.5\%$ till 4.5 % och $\text{Th} > 30\text{ ppm}$ till 30 ppm. I vissa fall krävdes även manuell nivåjustering/filtrering av gammastrålningsdata i de fall det fanns abrupta skillnader mellan intilliggande flygstråk eller mellan mätdata som samlats in vid olika tillfällen.

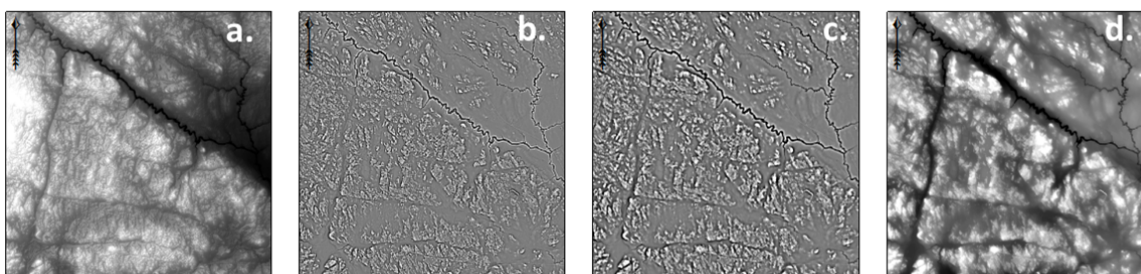


Figur 4. Ytan delades in i 23 delområden. Delkartorna sattes sedan samman till ett heltäckande raster.

Punktdata interpolerades till ett $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ raster genom *ordinary 2×2 block kriging*. Vi använde exponentiella eller sfäriska modeller med *nugget* och satte sökradien till maximalt 300 m (Gotland och Öland dock 500 m) oavsett *range*. I vardera av fyra cirkelsektorer användes max 5 mätpunkter vid interpolationen. I några områden fanns tydliga artefakter i interpolerade data t ex i form av vissa linjära strukturer. I de fallen gjordes ytterligare filtrering.

Höjddata: Laserskannade höjddata (Grid 2+) från Lantmäteriet användes för att beräkna ett antal terrängattribut som förmodades kunna samvariera med jordarten. Först gjordes en medelvärdesfiltrering för att reducera upplösningen till $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ från ursprungliga $2\text{ m} \times 2\text{ m}$. Denna digitala höjddata (DEM, digital elevationsmodell) användes sedan för att beräkna landform (lokal topografi) i tre olika skalor. Landformerna beräknades som höjden över medelhöjden i den närmsta omgivningen. Närområden var 5 ha, 50 ha och 500 ha (se exempel i Figur 5).

Referensdata: Som referensdata användes jordanalyser från Jordbruksverkets nationella jordartskartering (datasetet JV-grid). Proverna är tagna i ett ca $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ rutnät över Sverige (Figur 6), med en slumpvis förskjutning av punkterna av sekretesskäl (Paulsson et al. 2015). Den här provtagningen kompletterar Naturvårdsverkets tidigare nationella provtagning (datasetet SNV-grid; Eriksson et al. 2010). Totalt fanns ca 15.000 prover tillgängliga för att kalibrera prediktionsmodellerna. Hur de är fördelade mellan de delområdena för modellering framgår av Figur 6.



Figur 5. Exempel på höjdvariabler. Karta a visar höjd över havet och kartorna b-d visar de beräknade formvariablerna. De anger lokal höjd över medelhöjden i ett närområde om b) 5 ha, c) 50 ha och d) 500 ha. Svart visar en (lokal) svacka och vitt visar en (lokal) höjd. Det $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ stora området ligger i Mälardalen.

Vi fick även tillgång till ytterligare 22.500 gårdsvisa miljöstödsprover (datasetet JV-miljöstöd). Dessa användes som oberoende valideringsprover för att undersöka hur väl kartan fungerade på gårdsnivå. I den här rapporten redovisas dock enbart resultat från korsvalidering. I Figur 6 visas exempel på hur de olika proverna är fördelade i ett mindre område. Exempelområdet ligger i Västra Götaland.

Kornstorleksfördelningen bestämdes genom sedimentation och mullhalten bestämdes från glödförlust och lerhalt. Mätosäkerheten uppges vara 15 % för mullhalt, 20 % för lerhalt och 30 % för sand.



Figur 6. Kartan till vänster indikerar kalibreringsprovernans geografiska fördelning. Kartan till höger visar hur det kan se ut i ett område där alla tre provtyperna förekommer.

Modellering

Prediktionsmodell: *Multivariate adaptive regression splines* (MARSplines), en metod för s.k. datautvinning, användes för att förutsättningslöst ta fram samband mellan tillgängliga förklaringsvariabler (X ; prediktorerna som beskrivits ovan och responsvariablerna (Y ; primärt lerhalt i matjord som behandlas här, men även sand- respektive mullhalt undersöktes). MARSplines är en form av icke-parametrisk regression som kan användas för att ta fram statistiska samband ur en stor datamängd, även icke-linjära samband och även om data inte är normalfördelade. Dessutom kan man kombinera kvantitativa och kvalitativa data. För en detaljerad beskrivning av MARSplines-modellen hänvisas till Hastie et al. (2009). Metoden bygger på att data delas upp i en mängd linjära funktioner $h_m(X)$ avdelade av brytpunkter som kombineras för att producera en beräkning av \hat{y} :

$$\hat{y} = f(X) = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m h_m(X)$$

Man summerar M termer i modellen, β_0 är intercept och β_m är viktningen av de s.k. basfunktionerna. En beskärningsfunktion används för att ta bort alla funktioner som inte på ett påtagligt sätt bidrar till prediktionen.

Programvara: Merparten av hanteringen av geografiska data gjordes i det geografiska informationssystemet ArcGIS 10 (ESRI Inc., Redlands, USA) med programtilläggen Spatial Analyst och Geostatistical Analyst. De statistiska analyserna och modelleringen utfördes i R med programpaketet Earth (www.r-project.org)

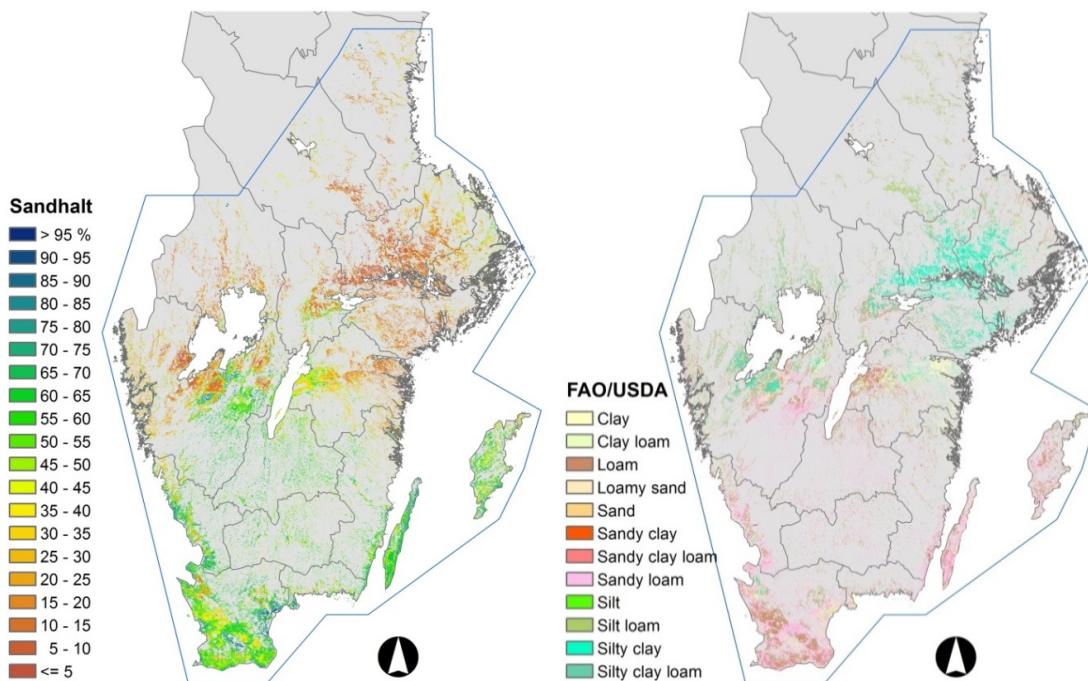
Kalibreringar: Sammanfattningsvis togs åtta prediktorvariabler fram:

- Uppmätt gammastrålning från sönderfall av ^{232}Th och ^{40}K
- Höjd över havet och landform i tre skalor
- Jordart i sju respektive tre klasser.

För varje område kalibrerades en MARSplines-modell som sedan användes för ler-, sand-, och mullhaltsprediktion.

Kartproduktion

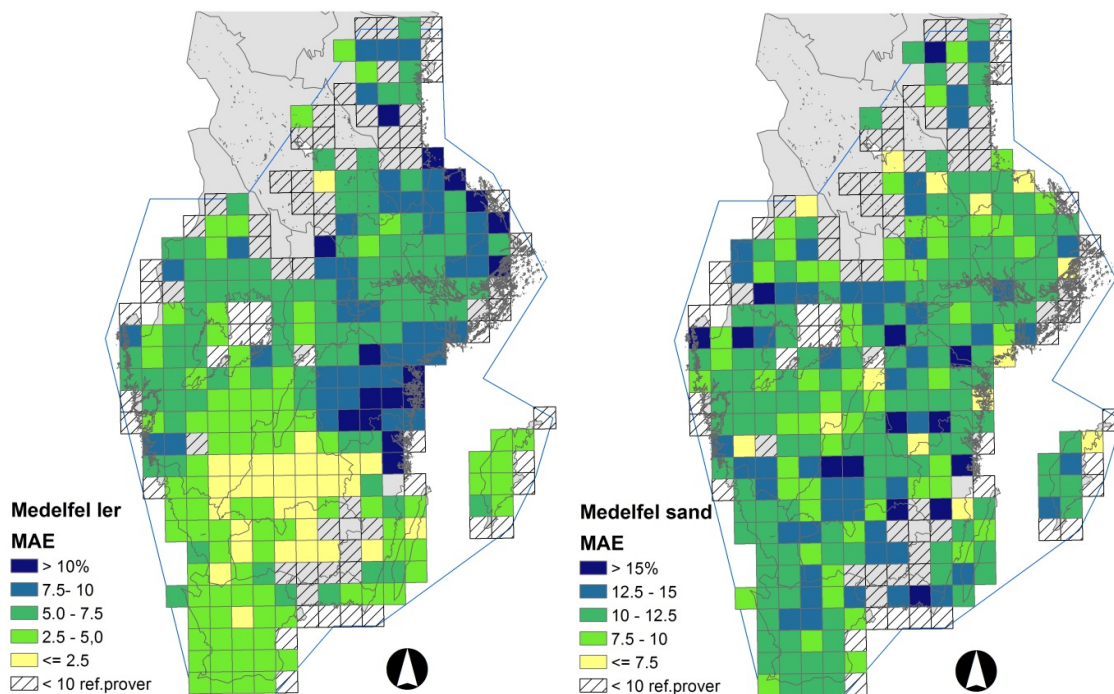
De kalibrerade modellerna applicerades på $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ punktgridtet i varje delområde. Alla ingående prediktorvariabler hade beräknats för dessa punkter. Vissa justeringar gjordes för att undvika orimliga värden i enskilda gridceller. Predikterade halter <0 sattes till 0 och predikterade värden som var större än det maximala värdet i kalibreringsdatasetet ansattes kalibreringsdatasetets maxvärde. Om det sammanlagda värdet i en gridcell av beräknad lerhalt + sandhalt översteg 100 % reducerades sandhalten (som var mer osäker) så att summan blev 100 %. Den slutliga kartan utgjordes av en mosaik av delområdenas prediktionsraster (lerhalt visas i Figur 2 och sandhalt i Figur 7). Där två områden överlappade varandra togs ett medelvärde av de båda prediktionerna. Silthalt, som inte var analyserad i referensproverna, beräknades som restprodukt. Texturklasser enligt FAO/USDA (Figur 7) beräknades enligt formler från USDA (2015). Man kan notera att våra gränser för kornstorleksklasserna skiljer sig något från USDAs.



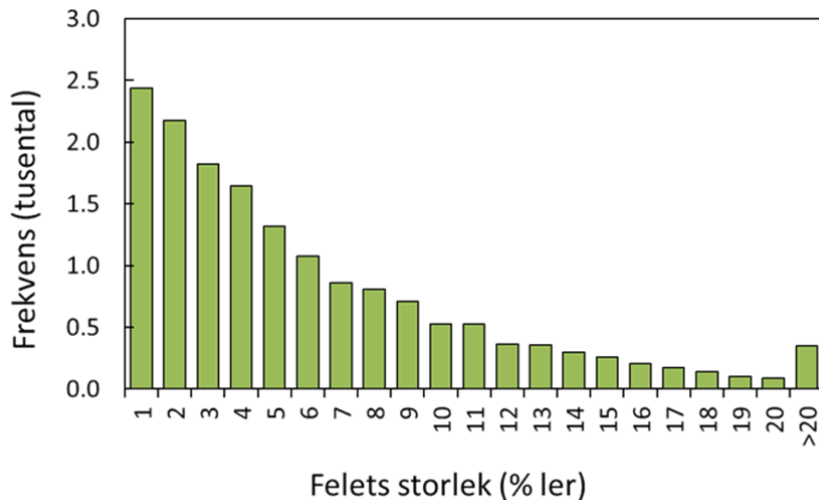
Figur 7. Predikterad sandhalt och beräknade texturklasser från ler-, sand och silthalt.

Kartans noggrannhet

Kartans noggrannhet har utvärderats genom korsvalidering. Tio procent av referensproverna valdes slumpmässigt ut och hölls bort varefter en ny modell gjordes med resterande 90 %. Varje gång predikterades värden för de undanhållna provpunkterna. Detta upprepades 10 gånger, och utfördes i respektive delområde (metoden benämns *bootstrapping*). De predikterade halterna jämfördes med de halter som bestämts på laboratorium och det absoluta medelfelet (MAE) och determinationskoefficienten r^2 beräknades bl a för respektive 25 km × 25 km kartruta över landet (MAE redovisas i Figur 8). Rutor med färre än 10 prover ansågs ha ett för dåligt underlag för felberäkning och utelämnades. MAE för ler var sett till alla enskilda prover 5,6 % för hela kartområdet och $r^2 = 0,76$. För 75 % av de enskilda observationerna var prediktionsfelet <8 % ler och för 90 % av observationerna var det <13 % ler (Figur 9). Felen är generellt större i områden med högre lerhalt vilket framgår om man jämför Figur 2 och Figur 8. Vad gäller sandhalt är beräkningsosäkerheten större. I snitt för hela området var MAE = 11,3 % och $r^2 = 0,57$. Här varierar prediktionsfelen mer, även om stora fel normalt hänger samman med höga halter. Generellt finns vissa områden och platser för vilka det kan vara svårare att göra prediktioner p g a att gammastrålningsmätningarna kan vara påverkade av omgivningen på ett störande sätt. Det kan röra sig om åkermark i smala dalgångar, små fält omgivna av andra jordar, områden i anslutning till våtmarker eller sjöar samt områden med mycket lokalt varierande jordar. Vi har dock försökt filtrera bort sådant i så stor utsträckning som möjligt. Prediktioner är gjorda för både åker och betesmark. Dock är i princip alla referensprover tagna på åkermark varför osäkerheten kan vara större för betesmark. Viss betesmark som t ex alvarmarkerna på Öland har mycket tunt eller inget jordtäckte, men beräknade värden finns för dessa områden ändå.



Figur 8. Felens geografiska fördelning. Beräkningar redovisas enbart för kartrutor med minst 10 referensprover. Övriga är rasterade.



Figur 9. Felets frekvensfördelning. Hos 75 % av de enskilda observationerna är prediktionsfelet <8% ler och hos 90 % av observationerna är prediktionsfelet <13 % ler.

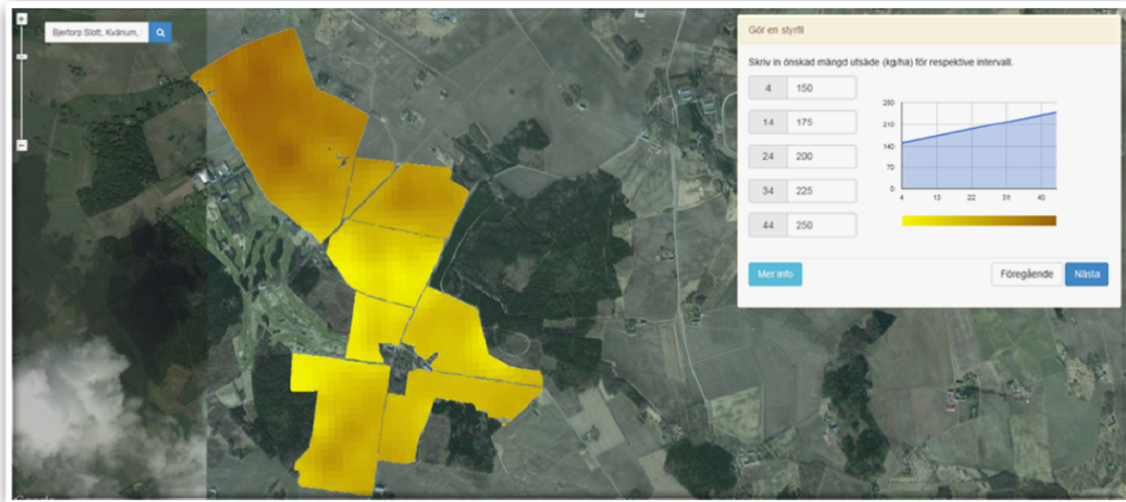
Exempel på användningsområden

Det finns flera tänkbara användningsområden för DSMS utöver förbättrade modelleringsmöjligheter vad gäller fosforläckage, som var det ursprungliga syftet med kartframställningen. Den högupplösta lerhaltsinformationen kan även användas för att styra åtgärder mot fosforläckage till de delar av åkermarken där de skulle göra mest nytta. Några exempel på sådana åtgärder är strukturkalkning (som normalt görs på jordar med >15 % ler), anläggning av kalkfilerdiken och anläggning av fosfordammar.

Vidare kan denna information också vara ett värdefullt underlag för den som vill variera spridning av olika insatsmedel inom fält. I en testversion av en webbtjänst (Figur 11) kan lerhaltskartan fungera som underlag för att generera tilldelningsfiler för t ex varierad utsädesmängd eller varierad mängd strukturkalk.



Figur 10. Med bättre kunskap om markförhållandena kan man anpassa sina odlingsåtgärder till markens förutsättningar på varje plats. Det kallas precisionsodling. Läs mer på precisionskolan.se.



Figur 11. Utsädesmängden kan varieras efter lerhalten. I denna interaktiva webapplikation, som är utvecklad av DataVäxt AB i samverkan med SLU och Hushållningssällskapet i Skaraborg, används lerhaltskartan som grund för tilldelningsfiler som kan användas i praktiken för varierad sådd (för närvarande en betaversion på jordart.datavaxt.se; kontakta DataVäxt för tillgång till applikationen).

Utvecklingsmöjligheter

Under utvecklingsarbetet tog vi även fram en algoritm för att göra kartan interaktiv; man kan lägga till egna jordanalyser och förbättra kartan lokalt. Detta är under utveckling och medel för att genomföra detta har tillhandahållits av Västra Götalandsregionen samt via Interreg ÖKS (Öresund-Kattegat-Skagerrak och Stiftelsen Lantbruksforskning).

I detta projekt har vi sett att det är svårt att ta fram tillförlitliga beräkningsmodeller för matjordens mullhalt. Däremot fungerar det ofta bra att kalibrera modeller för markegenskaper som påverkas av mullhalten, men som främst är relaterade till jordens textur. Ett par exempel är lämpligt mål-pH och markens buffertkapacitet. Dessa utgör, vid sidan av aktuellt pH-värde, det underlag som behövs för varierad pH-kalkning.

Den datastruktur som byggts upp i projektet kan användas för förbättrade beräkningar av en rad andra markegenskaper, i synnerhet de som är relaterade till textur, antingen direkt från de iordninggjorda prediktordataseten, eller genom att tillämpa pedotransferfunktioner på de redan färdiga kartlagren (Söderström et al. 2016).

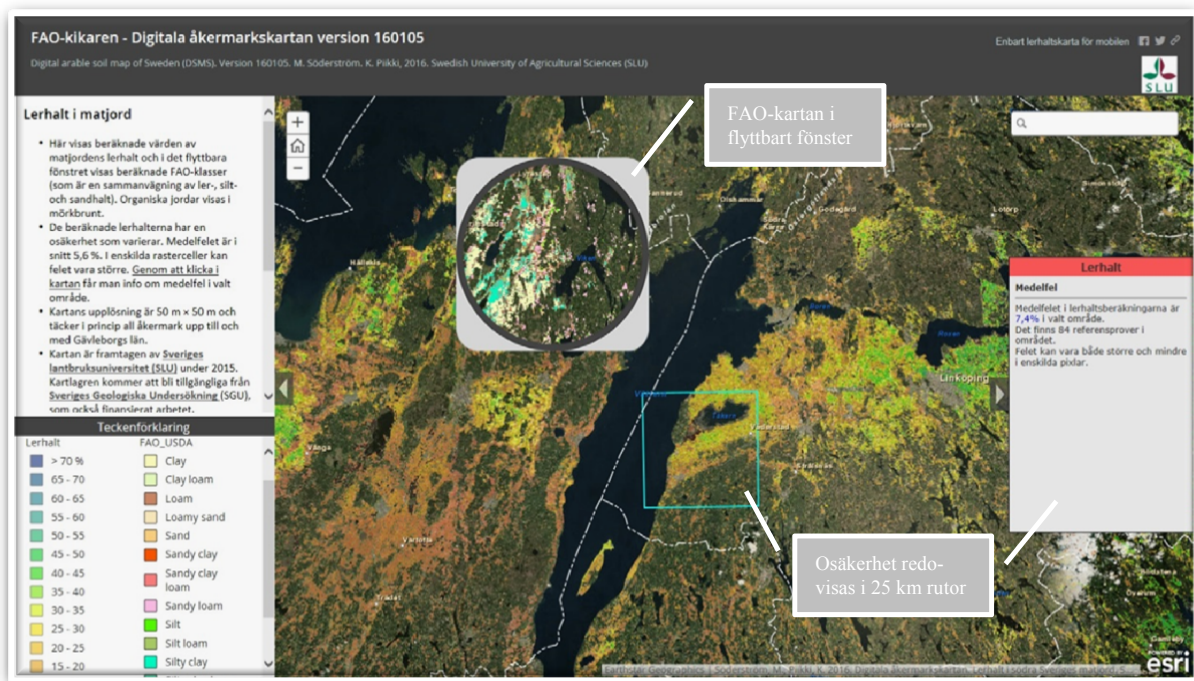
Leverans och dataformat

Producerade data kommer att vara fritt tillgängliga från SGU. Alla framtagna data föreligger som rasterkartlager i tif-format med 50 m pixlar. Osäkerheten i beräkningarna har sammanfattats enligt det rutnät (25 km rutor) som SGUs kvartärgeologiska kartor följer (samma som Lantmäteriets Terrängkarta) (enligt Figur 8). Använt koordinatsystem är Sweref 99 TM.

För närvarande finns möjlighet att undersöka lerhalt och FAO/USDA-kartlagren via ArcGIS Online. Lerhaltskartan finns på <http://arcg.is/1PjH6u6>, som t ex passar bra att använda i en GPS-utrustad mobiltelefon (Figur 12). Man kan även titta på ”FAO-kikaren” (<http://arcg.is/1navxPT>) (Figur 13). Kartlagren går att nå även via mobilappen ArcGIS Explorer.



Figur 12. Lerhaltskartan finns tillgänglig via ArcGIS Online. Går att använda t ex i en mobiltelefon: <http://arcg.is/1PIH6u6>.



Figur 13. FAO-kikaren är ett annat exempel på en webbapplikation som man kan använda för att undersöka lerhalts- samt FAO-kartan. Tillgänglig via ArcGIS Online: <http://arcg.is/1navxPT>.

Referenser

- Djodjic, F. 2015. Jordartsfördelning och växtnäringstillstånd i svensk åkermark – sammanställning av resultat från Jordbruksverkets nationella jordartskartering. SLU, Vatten och miljö, Rapport 2015:11.
- Eriksson, J., Mattsson, L., Söderström, M. 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda. Naturvårdsverket, Rapport 6349.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. 2009. The elements of statistical learning: data mining Inference and prediction. 2nd edition. Springer Series in Statistics: New York
- Minasny B., McBratney, A.B. 2016. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. Geoderma 264: 301–311.
- Paulsson, R., Djodjic, F., Carlsson Ross, C., Hjerpe, K. 2015. Nationell jordartskartering, Matjordens egenskaper i åkermarken. Jordbruksverket, Rapport 2015:19.
- Piikki, K., Wetterlind, J., Soderstrom, M., Stenberg, B. 2015. Three-dimensional digital soil mapping of agricultural fields by integration of multiple proximal sensor data obtained from different sensing methods. Precision Agriculture **16**:29-45.
- Söderström, M. 2012. Digital markkartering av Skånes åkermark med fjärranalys. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, POS Teknisk rapport 26.
- Söderström, M., Sohlenius, G., Rodhe, L., Piikki, K. 2016. Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture. Submitted to Precision Agriculture.
- USDA. 2015. Soil texture calculator. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.
http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167.
Accessed 2015-11-30.

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

- 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 roto gräs 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 platsspecifik 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, gödning, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i ett 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>