

Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling

Mats Söderström, Inst. f. mark & miljö, Precisionsodling och pedometri, SLU, Skara, 2008

Bakgrund

Precisionsodling innebär att bl a gödslingsnivåer optimeras lokalt till grödans behov med hänsyn taget till skördepotential och markens förmåga att leverera näring – men även till andra faktorer som t ex risk för miljöpåverkan (Stafford, 2000). Under det senaste decenniet har teknik och tillämpningar utvecklats och börjat användas i allt större omfattning (ref). Det bygger på att man använder GPS och digitalt kartstöd med koppling till styrning av lantbruksmaskiner. Tekniken kan användas både inom ekologisk och konventionell odling och är vid rätt användning ett verktyg för den uthålliga i odlingen. Något generellt genomslag har dock inte precisionsodling fått bland jordbrukarna. Orsakerna kan variera, men praktiska svårigheter att hantera data och utrustning och otydlighet vad gäller den ekonomiska nyttan är två anledningar. Det behöver dock inte vara förknippat med stora ekonomiska investeringar att sätta igång med att tillämpa precisionsodling. En god kännedom om hur markens egenskaper varierar inom gården anses normalt vara grunden för att anpassa åtgärderna till det lokala behovet, och en stor del av den svenska åkermarken är karterad genom den vanliga markkarteringen. Egentligen handlar det om att använda den information som finns tillgänglig. Markkarteringen kom igång redan under 1940-talet. Karteringen har tydliggjort att tillgången på fosfor, kalium och andra näringsämnen ofta varierar inom fälten. Trots den relativt regelbundna karteringen under mer än 50 år har de rumsliga variationerna i t ex P-AL inte jämnats ut utan det är mycket vanligt med en avsevärd variation inom fältet (Söderström et al., 2005). Dagens rekommendationer för markkartering finns redovisade i Jordbruksverket, 2002. Traditionellt har man tagit ett prov/ha av matjorden, där varje prov är ett samlingsprov som består av 7-10 delprover insamlade med jordborr i en cirkel med 3-5 m radie. I precisionsodlingssammanhang eftersträvas att odlingsåtgärderna anpassas till förutsättningarna på varje del av fältet. En markkartering där man avser tillämpa precisionsodling bör således göras så att detta är möjligt. Styrfiler för varierad spridning görs genom interpolation av markkarteringsdata. Syftet med detta projekt har varit att sammanställa markkarteringsdata så att det blir möjligt att undersöka hur den lokala variationen ser ut i olika delar Sverige. En annan fråga är om den vanliga markkarteringen är tillräcklig för att man ska kunna interpolera dessa – fångar man upp den lokala variationen med karteringen? Dessutom beskrivs några olika metoder som kan användas för att förbättra möjligheterna att interpolera data från den befintliga karteringen.

Metoder och material

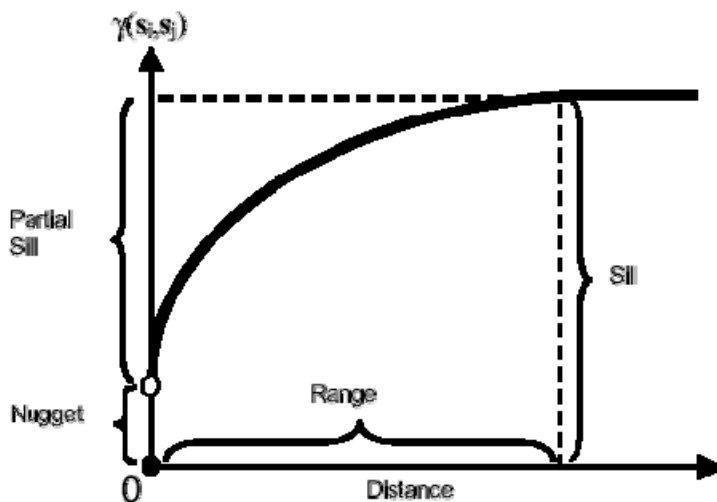
Variogramanalys

Kriging anses vara den interpolationsmetod som ger bäst resultat (t ex McBratney & Pringle, 1997). Geostatistik ses ofta som en synonym till kriging, som kan sägas vara en statistisk interpolationsform. På motsvarande sätt som vid enkel avståndsviktning, som är den vanligaste metoden, viktas omgivande observationspunkter då man vill beräkna ett värde för ej provtagna platser. Skillnaden är att viktningen här är mer sofistikerad eftersom viktningen bestäms av variogrammets utseende (figur 1). Variogrammet styrs av observationspunkternas värde och dess rumsliga fördelning, och kriging kan därför sägas vara en optimal

interpolationsmetod. Ett variogram beskriver den rumsliga korrelationen (autokorrelationen) mellan observationspunkterna. I variogrammet plottas provpunktspar i olika avståndsintervall mot den kvadrerade medeldifferensen i värde mellan provpunktsparen inom avståndsintervallet (figur 1). Normalt krävs ganska många observationer (tumregeln är >50 provpunkter (Burrough & McDonnell, 1998)) för att man ska kunna skapa ett korrekt variogram och det är det som gör att det kan vara svårt att använda kriging när det handlar om en vanlig markkartering för en gård. Antalet provpunkter kan vara för litet. Vid ett visst avstånd (*range*, R) ökar inte semivariansen längre. Inom detta avstånd finns ett statistiskt samband mellan provpunkter. Osäkerhet vid analyser eller för glest mellan provpunkter kan ge sig till känna som *s k nugget* varians (C_0). Den nivå där variogrammet planar ut benämns *sill*, C_0+C_1 . I figur 1 kallas C_1 för *partial sill*.

Vad betyder variogrammet

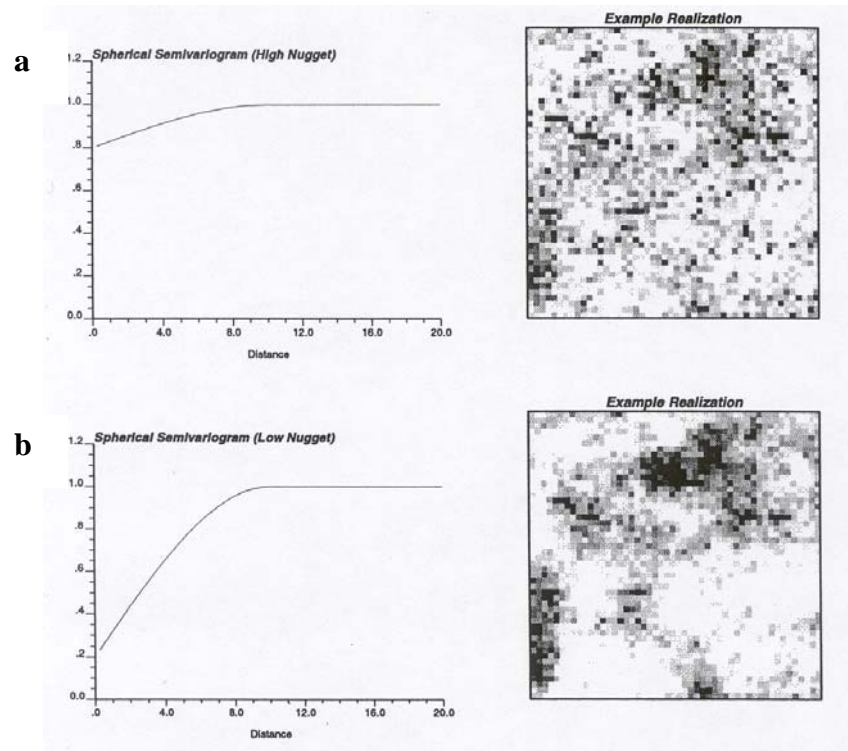
En högre *nugget* betyder större del av den uppmätta variationen som inte kan förklaras av mätdata. I figur 2 visas två exempel på hur variogrammet kan se ut vid olika typer av rumslig variation. Förhållandet $C_0/(C_0+C_1)$ ger ett mått på varierande förutsättningar för en lyckad interpolation (Burrough & McDonnell, 1998). Om C_0 närmar sig 100% av (C_0+C_1) så är all interpolation meningslös och man kan lika gärna använda medelvärdet för fältet, d v s minskat avstånd mellan provpunkter gör inte att värdena blir mer lika. Man inser lätt att även provtagningsstrategin är viktig om en yta som den i figur 2a ska karteras. Många delstick i ett prov är nödvändigt om analysvärdet ska vara ett medelvärde för den provtagna ytan.



Figur 1. Ett variogram är ett diagram som beskriver en variabels rumsliga variation. Om observationer som ligger nära varandra är mer lika än de som ligger längre ifrån varandra så kan modellvariogrammet se ut ungefär så här.

Lokala variogram och automatiserad analys

En variogramanalys görs ofta för ett helt dataset. Variogrammet ger då en bild av medelvariation för datasetet. Emellertid kan denna variation variera inom den provtagna ytan och då kan ett lokalt variogram, d v s ett variogram som skapas av data i ett delområde, bättre beskriva den lokala variationen (Minasny et al., 1999). Här har en mjukvara (Vesper) utnyttjats som skapats för detta ändamål (Minasny et al., 1999) som utan kostnad kan hämtas via Internet. En fördel med denna mjukvara är också att man kan automatisera variogramanalysen som annars är en tidsödande process. Detta medför i och för sig en osäkerhet i tolkningen eftersom variogramskapandet till delar är subjektiv och kan förbättras med en användares erfarenhet. Men i detta projekt har ett mycket stort antal variogram analyserats (> 4000 st.) vilket medfört att ett helt manuellt arbete varit i det närmaste omöjligt.



Figur 2. Exempel på hur variogrammet ser ut för ytor med olika datavariation (från Deutsch & Journel, 1997).

Dataunderlag

Underlaget för studierna är ett stort antal jordanalyser som analyserats av AnalyCen Nordic AB i samband med markkartering där provpunkterna positionerats med GPS (satellitbaserad positionering) utförda i huvudsak 1999-2002 sammanställdes i en databas. Ca 250.000 jordprover sammanställdes av vilka två tredjedelar kom från Skåne, resterande del från jordbruksområdena i norra Götaland och Svealand. Data saknas dock till största delen från vissa områden, t ex från Halland, varför materialet inte är riktigt heltäckande geografiskt. Gårds- och skiftesgränser saknades dock, men för att kunna undersöka den lokala variationen kompletterades materialet med gränserna från Jordbruksverkets blockkarta. Ett block kan i verkligheten bestå av mer än ett skifte. Dess avgränsning sker vid fysiska hinder som t ex diken eller skogskanter. Genom att provpunkterna var koordinatsatta kunde varje jordprov knytas till ett block m h a ett geografiskt informationssystem (GIS). Endast blockgeometrin användes, och ett för projektet unikt id-nummer tilldelades varje block. Sammanfattande statistik beräknades för markkarteringsdata inom respektive block. För ett stort antal av dessa analyserades även variogram. För geografiska sammanställningar gjordes en summering av blockstatistiken på skördeområdesnivå, vilkas gränser erhöles från Statistiska Centralbyrån (SCB) 2002. Blockstatistik sammanställdes endast för block med minst 10 analysvärden. För variogramanalyserna användes endast block med minst 20 prover.

För att möjliggöra detaljstudier av effekt av beräkning över skiftesgränser samt varierad provtagning användes dessutom analyser av 1579 jordprover från Svalöf-Weibulls försöksgård Bjertorp från 1995-2000, samt 137 analyser från gården Bryggum, båda i Västergötland.

Ny mätmetodik för undersökning av inomfältvariation

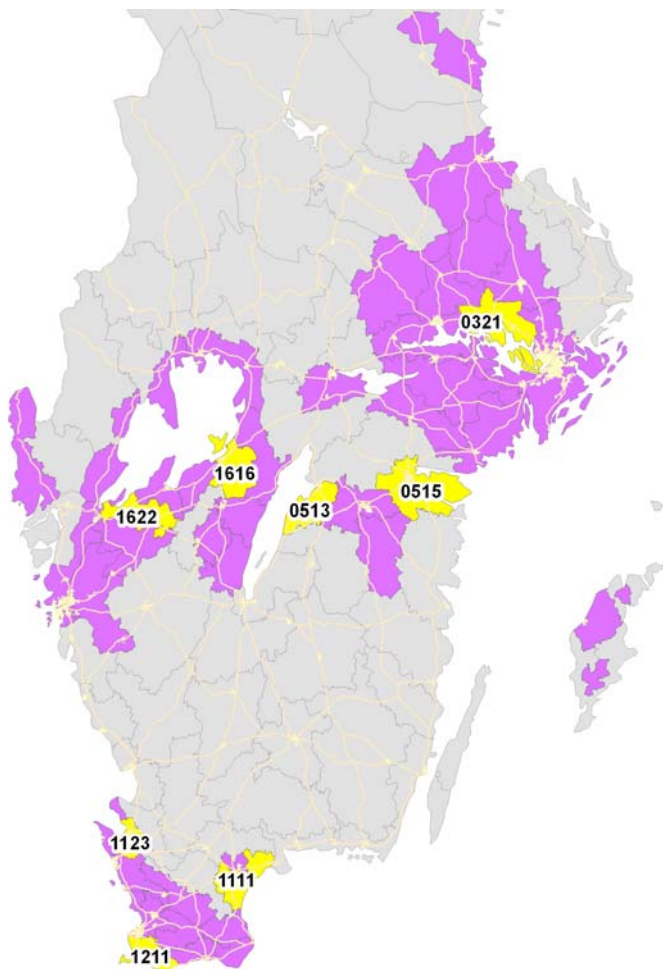
En för Sverige ny metod för kartering av markegenskaper introducerades under projektet, faktiskt som en följd av arbetet. Instrumentet EM38 (tillverkad av det kanadensiska företaget

Geonics Ltd) mäter markens elektriska ledningsförmåga och har visat sig vara användbar för kartering av jordartskillnader inom fält (t ex Nehmdahl & Greve, 2001). Instrumentet dras av en fyrhjulig motorcykel som utrustats med DGPS (utrustning för satellitpositionering med korrektionssignal för ökad positionsnoggrannhet (< 2 m)) och en datalogger som fortlöpande registrerade data från EM38-instrument och GPS. EM38 genererar ett elektromagnetiskt fält och mäter sedan den elektromagnetiska induktansen ned till drygt 1 m djup, beroende på markens beskaffenhet. Mätningarna är gjorda i drag med ca 12-24 meter emellan. Det är i storleksordningen 5-7 m mellan varje registrerad mätpunkt i dragen. Mätningar från 32 fält var tillgängliga i projektet och användes för att utveckla en ny markkarteringsstrategi baserad på EM38, samt att undersöka den rumsliga variationen i jordartskillnader inom fält.

Resultat och diskussion

Sammanställning av markkarteringsdata på blocknivå

Totalt hade 7805 block ≥ 10 jordprover där analys med AL-extraktet utförts, och 2087 block med ≥ 10 HCl-analyser. Dessa block innehöll 178.000 AL-analyser och 38.000 HCl-analyser. Antalet HCl-analyser i Skåne är noterbart litet, endast 6.200 (med tanke på att 115.000 av AL-analyserna var gjorda i detta område). Antalet prov per block varierade mellan 10-225 för AL och 10-120 för HCl. Här redovisas statistik för ett urval av block och skördeområden (figur 3).



Figur 3. Skördeområden för vilka sammanfattande statistik sammanställts över markkarteringsvärde på blocknivå är mörkfärgade (Söderström, 2006). För ett urval av SKO redovisas data i tabell 1.

P-AL-talen är mycket höga i SKO i Skåne, klass IV och V i medeltal i provtagna block. En tolkning från precisionsodlingssynpunkt av dessa värden är att man här bör använda tekniken för att styra P-givor till de områden som har relativt låga P-värden för att undvika läckagerisk. Däremot är det låga klass III-värden i medeltal i Västergötland. Där har man generellt ett behov av P och man torde finna delar av fält med riktigt låga P-AL-värden där P-gödsling kan ha en betydande effekt på skörden. Dock är variationen relativt liten vilket skulle indikera att en jämn giva i skulle fungera bra på många fält. I SKO 0515 och 0321 är CV för PAL högt i medeltal. Det tyder på att man bör ha stor anledning att undersöka möjligheterna med precisionsodling för att undvika onödiga P-förluster (se även

Söderström et al, 2005). I Mälardalen och delar av östra Götaland har man ju mycket höga lerhalter och detta avspeglas i högt K-HCl, Mg-AL och Cu-HCl, men även högt K-AL. I delar av Västergötland och Skåne kan man notera stor inomfältvariation i Cu- och K-HCl och i många fall låga medeltal.

Tabell 1. Markkarteringsanalyser (mg/100 g jord). Medelvärden (Med) för block i ett urval av skördeområden (SKO) (figur 3) (CV=variantionskoefficienten (%), n = antal block).

SKO	AL			K-AL			Mg-AL			pH			HCl			K-HCl			Cu-HCl		
	n	Med	CV	Med	CV	Med	CV	n	Med	CV	n	Med	CV	Med	CV	Med	CV				
0321	166	6.6	46.8	22.3	22.3	33.9	30.7	165	6.5	5.6	63	534.1	16.9	32.2	14.6						
0513	72	9.6	40.0	13.3	30.4	12.3	34.2	71	7.0	3.9	39	209.6	30.8	20.0	24.2						
0515	188	7.1	47.2	19.6	22.9	46.5	42.0	188	6.4	4.3	75	389.4	21.4	23.8	20.5						
1111	394	17.7	31.6	9.2	32.6	12.4	55.5	382	7.0	5.8	15	88.4	36.2	9.0	28.7						
1123	316	10.9	39.5	15.5	28.6	14.1	44.3	301	6.9	4.8	23	194.7	38.5	11.9	24.5						
1211	729	11.5	43.7	9.6	25.8	8.8	46.2	712	7.2	5.2	73	121.2	23.9	11.3	23.3						
1616	272	4.7	43.6	15.6	31.2	34.5	47.7	272	6.4	3.7	158	253.3	34.1	15.5	34.9						
1622	249	6.1	34.3	13.4	24.0	22.9	38.0	249	6.5	2.8	135	218.0	29.6	10.1	21.7						

Förhållandet nugget:sill

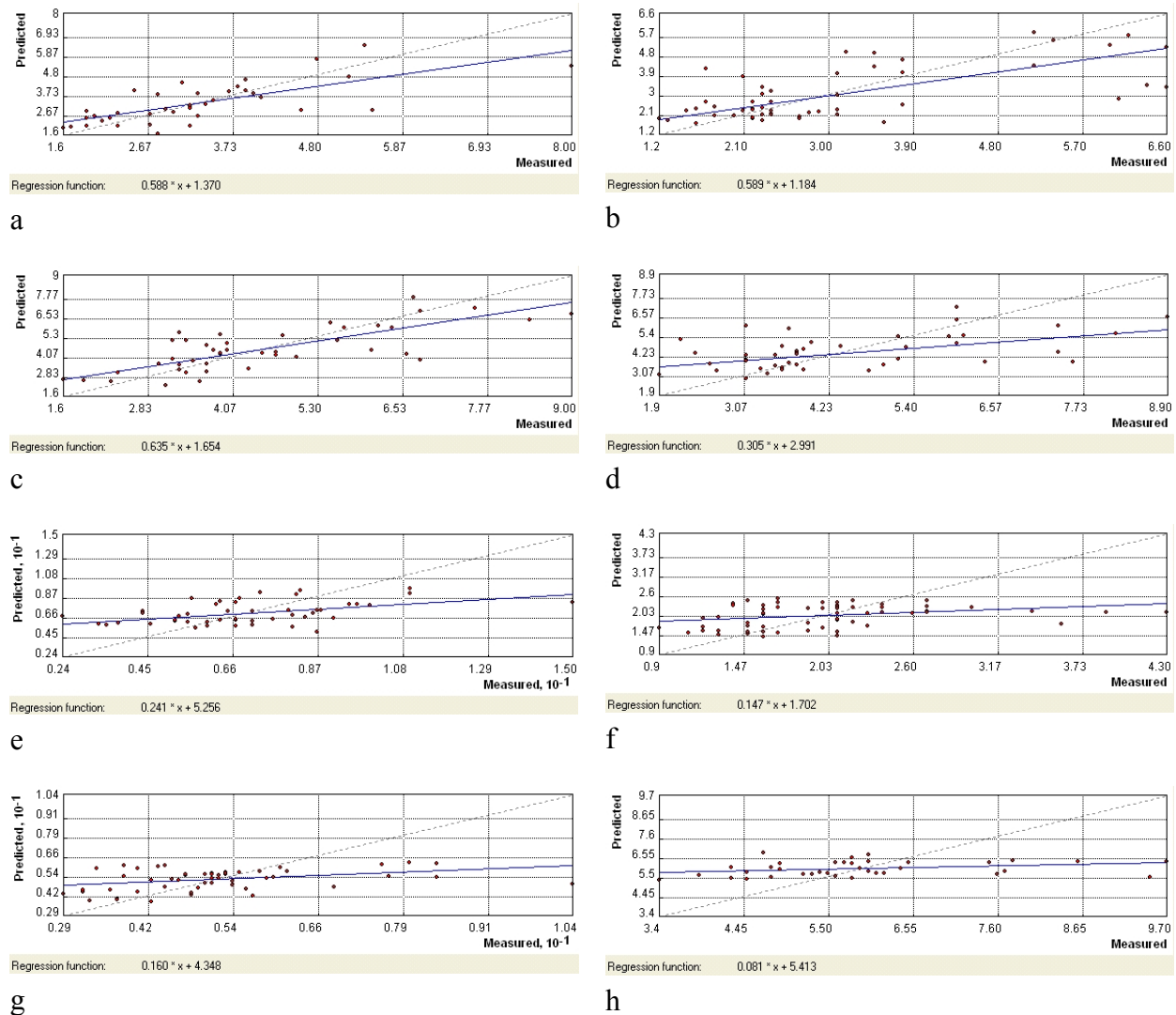
Figur 4 visar ett antal korsvalideringar för block med varierande kvot $C_0/(C_0+C_1)$. I stort sett är sambandet mellan uppmätta och observerade värden allt svagare ju högre kvoten är. I figurerna 4f-h är sambandet mellan uppmätta och observerade värden mycket svagt och interpolationen fungerar dåligt. Det omvända förhållandet råder däremot i figurerna 4a-c. En förenkling och klassindelning kan förslagsvis göras enligt tabell 2. Det är en viss modifiering av en liknande tidigare klassificering (Cambardella et al., 1994). En sådan klassindelning är tänkt som en vägledning då det gäller att avgöra om dataunderlaget är tillräckligt för meningsfull interpolation. Orsaken till C_0 -klass 3 kan vara att provtagningen behöver förtätas eller att variationen är så liten (låg CV) så att man lika gärna kan använda medelvärdet vid t ex beräkning av gödselbehov.

Tabell 2. Generalisering i klasser av $C_0/(C_0+C_1)$ med avseende på hur interpolationen fungerar.

Grad av rumsligt beroende	$C_0/(C_0+C_1)$ [%]	C_0 -klass
Högt	< 30	1
Måttligt	30-60	2
Svagt	> 60	3

Tabell 3 visar fördelningen av C_0 -klasser i några olika skördeområden i olika delar av Mellansverige. Med ledning av tabellen kan man dra slutsatsen att interpolationen torde fungera ganska bra i 60-80% av fallen (C_0 -klass = 1). För K-AL är värdena något lägre; i ett par SKO fungerar interpolationen tveksamt eller dåligt i mer än 50% av undersökta block, men någon större skillnad är det inte mellan de olika variablerna. Man hade kunnat förvänta sig att interpolationen av Mg-AL, som är starkast kopplat till lerhalt, skulle fungera bäst, men det kan inte utläsas av sammanställningen. Upp till 15% av markkarteringarna ligger i C_0 -klass 3. Här fungerar definitivt inte interpolation av mätvärden. Det tycks finnas vissa geografiska skillnader för några variabler: Skaraborg (områden 1616 och 1622) har relativt

hög andel C_0 -klass 3 för P-AL, medan interpolation av pH i Mälaronrådet oftare fungerar dåligt.



Figur 4. Exempel på korsvalideringar av markkarteringar (P-AL) med olika kvot $C_0/(C_0+C_1)$. Kvoten uttryckt i % är i a) 0 %, b) 7,6 %, c) 12,6 %, d) 31,5 %, e) 51,6 %, f) 60,6 %, g) 63,9 %, h) 82,2 %.

Interpolation över gränser för olika strata

Om man endast har tillgång till ett fåtal markkarteringsvärden fungerar interpolationen sämre. Om dessutom de data man har representerar helt olika typer av ytor, t ex olika jordarter eller kanske olika gödslingshistorik, kan det vara svårt att göra en bra interpolation om man blandar data från dessa ytor (Burrough & McDonnell, 1998). Några olika angreppssätt att hantera detta har testats. I normalfallet vinner man på att interpolera över skiftesgränsen. Det gäller framförallt för variabler som är knutna till jordarten, men ofta även för andra variabler som mer påverkas av t ex gödsling. Fenomenet är datahanteringsmässigt detsamma som när det förekommer olika jordarter inom ett och samma fält (Delin & Söderström, 2002). Abrupta nivåskillnader kan konstateras med olika metoder: t ex en visuell bedömning av en enkel klassindelning av mätvärden, en analys av varians i ett fönster som flyttas över ytan, en analys av nugget:sill-förhållandet i lokala variogram eller variogramanalys i hela datasetet jämfört

med variogramanalys i respektive delyta. För att hantera abrupta nivåskillnader kan man använda olika angreppssätt: varje delyta interpoleras var för sig, medelvärde används för respektive delyta (*management zones*), alternativt hanteras skillnaden på samma sätt som en trend. I interpolationssammanhang försöker man ta bort trenden från observationsvärdena innan interpolationen. När sedan interpolationen gjorts kan trenden åter läggas till det interpolerade datasetet. Den senare metoden kan vara ett bra alternativ om man har en generell nivåskillnad i markkarteringsvärden över skiftesgränser eller mellan områden med olika jordart (se t ex Delin & Söderström, 2002).

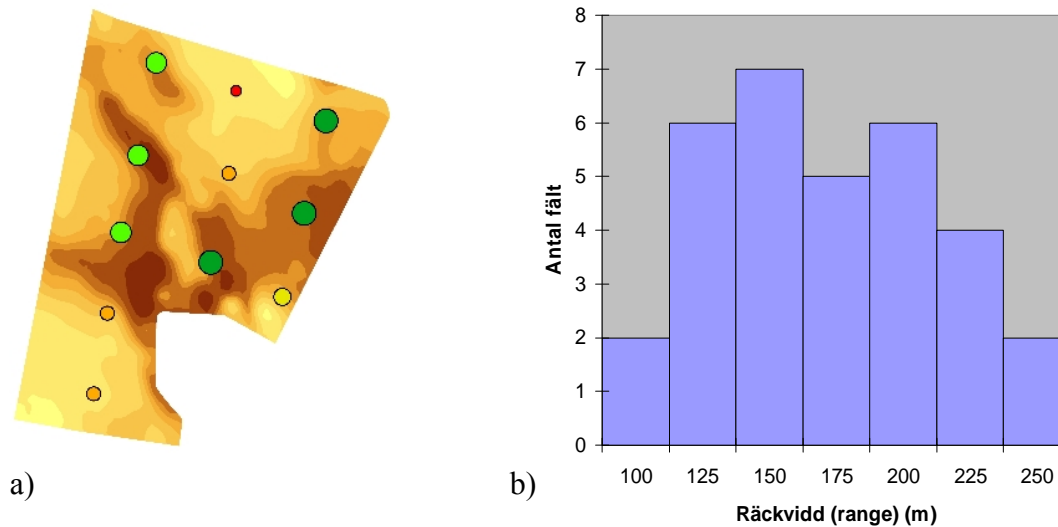
Tabell 3. Procentuell fördelning av variogram i klasser av C₀% i ett urval av undersökta skördeområden (läget på dessa visas i figur 3)

SKO	pH				P-AL			
	n	1	2	3	n	1	2	3
321	55	67	18	15	55	91	5	4
513	27	70	26	4	27	70	22	7
515	59	73	24	3	59	81	17	2
1616	98	82	11	7	101	65	20	15
1622	72	76	22	1	72	74	15	11
	K-AL				Mg-AL			
	n	1	2	3	n	1	2	3
321	55	84	9	7	55	76	22	2
513	27	67	26	7	27	70	19	11
515	60	48	42	10	60	80	13	7
1616	101	64	29	7	101	85	12	3
1622	72	47	38	15	72	64	26	10

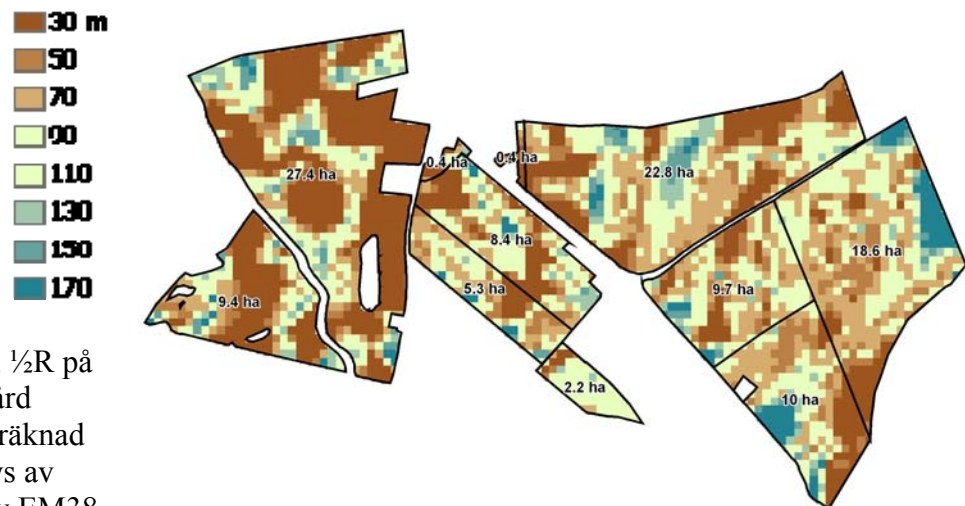
Provtagningsavstånd

Den vanliga markkarteringen med ett prov/ha kan inte fånga upp variation som sker på korta avstånd. Denna variation ger sig till känna som högt C₀ i förhållande till C₀+C₁. För att få en bild av hur variationen ser ut på korta avstånd erfordras en mycket tätare provtagning. En normal mätning av EC_a m h a EM38 resulterar i mätdata var 5:e m längs kördragen som ofta görs med 12-24 m mellanrum. Eftersom skillnader i jordart är den viktigaste faktorn som styr variationen i EC_a (se t ex Nehmdahl & Greve, 2001), och skillnader i jordart ofta betyder variation i de flesta markkarteringsvärdena, bör data från EM38-karteringen kunna ge en bild av hur tät en provtagning av ett fält bör vara för att man ska fånga den variation som föreligger. *Range*-värdena (R) från variogramanalysen från 32 EM38-mätningar sammanställdes (figur 5b). R anger det största avstånd inom vilket två mätpunkter är korrelerade till varandra. Vid provtagning i ett regelbundet rutnät brukar ½R anses vara ett tillräckligt avstånd för att man ska fånga den rumsliga variationen. Medelvärdet av R för dessa 32 fält var 157 m, vilket således medför att i snitt knappt 80 m (min 30 m; max 116 m) mellan provpunkter skulle vara ett lämpligt värde, d v s ungefär två prover/ha. Men variationen är ju trots allt ganska stor, och dessutom varierar den optimala provtätheten inom samma gård. Figur 6 visar hur ½R kan variera inom en gård. I det fallet är medeltalet 85 m för gården, men det är tydligt att man egentligen bör variera provtätheten. I anslutning till det här projektet genomfördes ett examensarbete vid Högskolan i Skövde. En metod och en mjukvara för att anpassa provtagningen till den variation som EM38-karteringen visar utarbetades.

Metoden finns redovisad i Olsson et al. (2003), och den används idag som ett redskap vid provpunktsplanering m h a EM38 av AnalyCen Nordic AB.



Figur 5. a) Exempel på resultat från EM38-kartering (brungula nyanser). Punkterna visar K-HCl-värden från en vanlig markkartering. Större prickar högre K-HCl. b) Histogram som visar fördelningen av räckvidd (range) från variogramanalysen för 32 EM38-karteringar.



Figur 6. Variation i $\frac{1}{2}R$ på olika delar av en gård (rutor om 20 m) beräknad vid variogramanalys av lokala variogram av EM38-data (Bryggum, Västergötland).

Metoder för att hantera analyser i vartannat prov

För att minska på kostnaderna analyseras endast i HCl-extrakt (K och Cu) på vartannat eller vart tredje prov. Likadant är det med mull- och lerhaltsanalyser. Detta ger i normalfallet ett alltför dåligt underlag för att användas för interpolation och sedermera framställande av styrfiler för varierad spridning. Det är framförallt styrfiler för kalkning som är aktuella, men även för anpassning av växtnäringsbehovet beroende på jordartsskillnader. Det finns även exempel på stor variation i kopparbehov inom fält. För att råda bot på denna brist på observationsvärden har i projektet testats ett par olika metoder. Det bygger på att man kan utnyttja en sekundär variabel som stöd till den primära i det fall dessa är korrelerade. När det gäller koppling till lerhalt (och därmed ofta K-HCl och Cu-HCl) så har det visat sig att Mg-AL och EM38-kartan ofta kan användas. Korrelationen (r^2) mellan ler och EM38 kan variera men är ofta i storleksordningen 0.6-0.8 på fält med varierande jordart. Mg-AL, som man

normalt har tillgång till i alla provpunkter, är i vissa fall också mycket väl kopplad till dessa variabler, men i båda fallen krävs att man utvärderar sambandet lokalt först för en bedömning av möjligheterna.

Om ett bra samband kan dokumenteras kan man använda ett par olika metoder för karteringen. Det enklaste är att använda regressions sambandet och räkna om kartbilden för den sekundära variabeln till den primära. Detta lämpar sig bäst för EM38-data om man har ett starkt samband med t ex lerhalt. På grund av EM38-värdenas tendens till att kunna variera rätt mycket lokalt (ett visst brus på grund av allehanda störningar) är det lämpligt att EM38-kartan filtreras från detta så att det är de stora dragen i variationen som framträder (det finns en skillnad i skala mellan EM38-mätning (ca 1 m²) och den yta som ett jordprov representerar (25-30 m²) som i annat fall kan försvåra jämförelser).

Effektivare än regression kan det vara att använda cokriging (Burrough & McDonnell, 1998). Metoden bygger på att man viktar samman den primära och sekundära variabeln med hjälp av variogram och korsvariogram (Deutsch & Journel, 1997). Många undersökningar har visat att detta kan ge säkrare interpolerade värden än vad som annars varit möjligt (t ex Rosenbaum & Söderström, 1996), men metoden är mer tidskrävande och komplicerade än den föregående. Denna metod kan vara användbar t ex för interpolation av lerhalt eller K-HCl i de fall man har tillgång till tätare AL-analyser, eftersom Mg-AL ofta är väl korrelerat med dessa variabler. I ett exempel utnyttjades cokriging av 113 lerhaltsanalyser mot 164 Mg-AL-analyser. Korrelationen r^2 var 0.56 mellan ler och Mg-AL men gav ändå upphov till en minskning av RMS-felet vid korsvalidering på 20% jämfört med om endast lerhalt användes.

Slutsatser

Det finns regionala skillnader i inomfältvariation – både medelvärden och variationen i Sverige. Effekten av att tillämpa precisionsodling som baseras på markkartering kan skilja mellan landsdelarna – minskad risk för läckage kan vara främsta vinsten i vissa fall medan höjd skörd kan bli resultatet på annat håll. Variationen inom ett område är ofta kopplad till jordartsskillnader vilket gör att likartade förutsättningar kan råda i närområdet till en gård eller i en region. Den vanliga markkarteringen med ett prov/ha fungerar i normalfallet (i 60-80%) bättre som underlag för precisionsstyrning av växtnäring och kalk än användning av medelvärdet för fältet. Man bör ha i åtanke att en sådan provtagning ger en bild av den lite mer storskaliga variationen inom och mellan fält – variationen på korta avstånd uppfattas som brus eller osäkerhet och kan inte hanteras och medför ibland felaktigheter i kartan. Många delstick i ett prov minskar bruset. Interpolation till alltför små ytor med en vanlig markkartering som grund ska undvikas. För regelbunden provtagning tycks två prover/ha vara en lämplig provtäthet för att man i normalfallet ska fånga jordartsvariationer. Man vinner ofta på att använda observationer från grannfälten vid interpolation för att få tillgång till fler mätvärden, i vissa fall kan dock kalkning och kraftig gödsling på ett fält medföra nivåskillnader mellan fälten, men denna typ av variation kan ibland regleras genom upp- eller nedjustering av nivåer. Ibland fungerar alltså inte den traditionella markkarteringen och det finns utrymme för förbättringar. Stödvariabler som EM38-mätning ger möjlighet till avsevärt säkrare kartering och anpassad provtagning, samt ger möjlighet att kvantifiera jordartsvariationen inom och mellan fält. Analys av vissa parametrar i vartannat eller vart tredje prov ger ett dåligt underlag för precisionskartering. En möjlighet att avhjälpa detta kan vara att använda en tätare provtagen variabel för förbättrad interpolation, t ex EM38-kartering eller ibland Mg-AL. Som ett resultat av projektet startade uppbyggnaden av en provpunktsdatabas som används av AnalyCen, t ex för Kartdata Direkt - en Internetjänst som drivs av Lantmännen och AnalyCen. En tjänst för lantbrukare med styrd provtagning efter EM38-kartering utvecklades också i anslutning till projektet och används idag.

Publikationer och referenser

Referenser med fet stil är publikationer inom eller delvis inom projektet. Samtliga dessa kan nås via projektets hemsida: www.agrovast.se/precision/markkarta

- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 333 p.
- Cambardella, C.A. Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B. Karlen, D.L., Turco, R.F. & Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1501-1511
- Delin S. & Söderström M., 2002. Performance of Soil Electrical Conductivity and Different Interpolation Methods for Mapping Soil Data from a Small Dataset. Published in the proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture - July 14-17, 2002, Minneapolis, USA.**
- Deutsch C. V. & Journel A. G. 1997. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, 2nd edn., Oxford University Press, New York, 369pp
- Gustafsson K. & Söderström M. 2003. Stor variation i markernas näringstillstånd. Grodden nr 6, 2003.**
- Jordbruksverket. 2002. Markkartering. Jordbruksinformation 6 – 2002. Jordbruksverket, Jönköping.
- McBratney, A.B. & Pringle, M.J. 1997. Spatial variability in soil – implications for precision agriculture. In: Precision agriculture '97 (ed. Stafford, J.V.), pp. 3-31.
- Minasny B, McBratney A B & Whelan B M, 1999. VESPER version 1.0. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. Freeware available at: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/>
- Nehmdahl, H. & Greve, M. H. 2001. Using Soil Electrical Conductivity Measurements For Delineating Management Zones On Highly Variable Soils in Denmark. In: Grenier, G. & Blackmore, S. (eds.): ECPA 2001. 3rd European Conference on Precision Agriculture (vol. 1). agro Montpellier, 461-466
- Olsson D., Söderström M. & Nissen K. 2003. An automated method to locate optimal soil sampling sites using ancillary information. Poster presented at the 4th European conference on Precision Agriculture, 4th ECPA, Berlin, June 15 to 19, 2003.**
- Stafford, J.V. 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. J. Agric. Engng Res., Vol. 76, pp. 267-275.
- Söderström M. 2000. A soil properties database for precision farming support - a study of regional variability of local variography parameters. Submitted to Precision Agriculture.**
- Söderström M. 2003. Systems of soil mapping in precision agriculture. NJF seminar no. 336 "Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture", 10-12 June 2002. DIAS report, Plant Production No. 100. pp 17-25.**
- Söderström M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling. Utökad slutrapport. Institutionen för mark och miljö, Avdelningen för precisionsodling, SLU, Skara. Precisionsodling Sverige, POS Teknisk rapport, xx.**
- Söderström M, Nyberg A., Anderson C. & Lindén B. 2005. A key indicator for the assessment of spatially variable phosphorus fertilisation. In: Stafford J V (ed.). Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers. ISBN 9076998698. pp. 977-983.

Övrig resultatförmedling

Förutom redovisning enligt publikationslistan, har muntliga presentationer av projektresultat gjorts vid ett POS (Precisionsodling Sverige)-seminarium om modellering i Skara 2003, NJF-seminariet "Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture", 2002 i Skara, vid den 6:e precisionsodlingskonferensen 2002 i Minneapolis samt vid ett Odling i balans-möte 2004 i Motala.