

Variation i marken inom fältförsök – hur kan vi kvantifiera och hur skall vi hantera variationen?

Kristin Piikki, Mats Söderström, Maria Stenberg, Johan Roland

1 Bakgrund

Fältförsök har under många år varit en vedertagen metod för undersökningar av frågeställningar relevanta inom lantbruksnäringen. Forskning och utveckling inom många olika områden har varit beroende av att lantbrukare har upplåtit mark, att försöksgårdar och forskningsstationer har varit tillgängliga och att det funnits kompetens för försöksutförande i varje hörn av Sverige. Metodiken har under årens lopp standardiserats och förfinats. Kostnader för fältförsök har dock ökat och är idag så höga att man ofta hänvisas till en balans mellan få upprepningar eller försök på få platser i förhållande till vad frågeställningen egentligen kräver för att man ska kunna få resultat som ger tydliga svar.

Det är sedan länge känt att markegenskaper varierar och det även om marken synbart ser jämn ut. Därför används block, ofta fyra, som upprepning av försöksled och ledens ordning inom blocken slumpas ut (se t.ex. Forkman, 2011; Underwood, 1997). Den statistiska bearbetningen av försöksresultat visar genom variationsmått hur stor variationen varit i de undersökta variablerna. Vid en stor variation slopas försöket. Det innebär stora kostnader för den som beställt försöket. För forskningsprojekt betyder det att budgetar spricker och att projekten drar ut på tiden för att tillräckligt omfattande resultat ska kunna samlas in. Metoder som beskriver försöksutförande beskrivs i GEP (Swedac; Johansson et al., 2000) Se även SLU Fältforsks försökshandbok (<http://www.slu.se/PageFiles/37382/Fhandbok/FH.ver.20100331.pdf>).

Idag finns teknik som ytterligare skulle kunna öka kvaliteten och säkerheten i de studier som görs men som inte tidigare utvärderats för användning i fältförsök. Sedan några år tillbaka har nya mätmetoder kommit att användas inom markkarteringen som medger att stora mängder data samlas in med sensorer som kan registrera mätdata direkt i fält. I föreliggande rapport kvantifieras markvariationen med hjälp av två olika sensorer i sju fältförsök som utfördes 2010 och förslag lämnas på hur man kan hantera bakgrundsvariationen i utvärdering av fältförsök samt hur markburna sensorer och fjärranalys kan användas som underlag för val av bra försöksplatser.

2 Material och metoder

2.1 Fältförsök

Under 2006 utfördes flygfotografering och sensormätningar i försök på Lanna försöksstation och under 2007-2008 gjordes mätningar i ytterligare fem försök (sensormätningar, flygfotografering och inmätning av topografin). Det visade sig dessvärre att det fanns sådana felaktigheter i de insamlade data att de inte kunde utvärderas enligt planen. Orsaken till dessa brister var i huvudsak två, dels var det problem med registrering av data från en nyinköpt sensor och dels visade sig den GPS-utrustning som användes inte vara tillräckligt tillförlitlig. I enlighet med en tidigare skrivelse till SLF (2009-09-21) gjordes nya mätningar i sju fältförsök under 2010. Det är resultaten av dessa mätningar som redovisas i föreliggande rapport.

I rapporten ingår försök från fyra olika försöksserier (tabell 1). Försökserierna är fleråriga men här används uteslutande resultat från år 2010. Samtliga försök utom det från försöksserie M3-2285 är tidigare utvärderade i Försöksrapporten 2010 (Mellansvenska försökssamarbetet, 2011). Där finns också mer information om de olika försöken. Nedan följer kortare beskrivningar. Den här studien begränsar sig till grödvariablerna kärnskörd vid 15 % vattenhalt, proteinhalt och SN-värde från N-sensormätningar.

Tabell 1. Följande försök från 2010 ingick i studien.

Försöksserie	Plats	Gröda	Försöksutläggning
M3-2287	Russelbacka	Höstkorn	Rektangulär med 2 × 2 block
M3-2287	Malma	Höstkorn	Rektangulär med 2 × 2 block
M3-2278	Skofteby	Höstvete	Avlång med fyra block i rad
M3-2278	Forshall	Höstvete	Avlång med fyra block i rad
M3-2279	Koberg	Havre	Avlång med fyra block i rad
M3-2279	Lunden	Havre	Avlång med fyra block i rad
M3-2285	Börjesgården	Vårkorn	Avlång med fyra block i rad

Syftet med försöksserie M3-2287 är att undersöka höstkorns kvävebehov i relation till skörd och markkvävebidrag. Experimentdesignen är en kvävestege med ett helt ogödslat led samt sex led med olika kvävegödslingsnivåer (60, 90, 120, 150, 180 och 210 kg N per hektar). En tidig kvävegiva på 60 kg per hektar lades på vid tillväxtstart och resterande mängd spreds vid DC 30. N-sensormätningar gjordes i DC 37.

Syftet med försöksserie M3-2278 är att studera markens kväveleverans under olika förutsättningar. Kvävestegar läggs på gårdar med och utan djur och på lättare och styvare jordar. Det ingår också att undersöka hur markens kväveleverans påverkar den optimala kvävegivan hos höstvete. Ett helt ogödslat led ingår och övriga led har tillförts 40, 80, 120, 180, 240 och 280 kg N per hektar, varav 40 kg per hektar gavs vid tillväxtstart och resterande mängd gavs för att ha effekt före DC 30. Utöver detta ingick två led som först fick 80 respektive 160 kg N per hektar och sedan ytterligare en kvävegiva i DC 37-39. Den givans storlek bestämdes av YARA utifrån på N-sensormätningar i DC37.

Försöksserie M3-2279 syftar till att undersöka kvävebehovet hos havre samt att prova delad kvävegiva för bättre årsmånsanpassning. Experimentdesignen är en kvävestege med ett helt ogödslat led. Övriga led har tillförts kväve genom kombisådd med Axan (40, 70, 100, 130 och 160 kg N per hektar). Utöver detta ingick två led som fick 70 kg N per hektar vid kombisådd och sedan kompletteringsgödslades med kalksalpeter i DC 32-37 (30 och 60 kg N per hektar). Försöksserien mättes med N-sensor i DC32.

Försöksserie M3-2285 genomförs för att undersöka om olika kornsorter har olika optimal kvävegödslingsnivå. Två sorter av vårkorn och sju olika kväveled kombineras i en ortogonal experimentdesign (d.v.s. alla kombinationer av sort och kvävegödslingsnivå ingår). Olika kvävenivåer

tillförs vid kombisådd (0, 40, 70, 100, 130 och 160 kg N per hektar). Dessutom ingick ett led som gödslades med 70 kg N per hektar vid sådd och sedan med ytterligare 30 kg N per hektar i DC 31-32. N-sensormätningar gjordes i den här försöksserien i DC31.

2.2 Mätningar av markvariation

Två olika sensorer användes för att mäta markvariation. EM38:n (EM38 Mk2 2, Geonics Ltd) mäter elektrisk konduktivitet (ECa) och mullvaden (The mole, The soil company) mäter gammastrålning. Instrumenten kopplas på en fyrhjuling, som är utrustad med en noggrann GPS. När fyrhjulingen sedan körs fram och tillbaka över fältförsöken loggas position och mätvärden samtidigt (figur 1). Gammastrålning från den naturligt förekommande isotopen Thorium-232 kan räknas om till lerhalt i matjorden. ECa-mätningarna avspeglar markens egenskaper ner till cirka en meters djup och påverkas av både jordart och vattenhalt. ECa samvarierar ofta med skördens storlek.



Figur 1. Markmätningar med EM38 och mullvad.

2.3 Andra bakgrundsdata

För ett av försöken (M3-2278 i Forshall) användes även två satellitbilder med $5 \times 5 \text{ m}^2$ upplösning. Den ena togs samma år som försöken (2010-06-03) och den andra togs året innan (2009-05-30). Informationen i bilderna har räknats om till NDVI (normalized difference vegetation index), som är ett mått på hur tät vegetationen är i varje pixel (se exempelvis: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php).

2.4 Dataanalys

Punktmätningarna av ECa och Thorium-232 interpolerades till ett heltäckande raster och medelvärden bildades för varje försöksruta. Thorium-232 räknades sedan om till lerhalt i matjorden. Kartor och semivariogram gjordes i ArcMap 9.3 (ESRI Inc). Till kartorna användes även Google Earth 5.1 (Google Inc.). Genomgående i projektet används nettorutor, d.v.s. den skördade ytan i varje försöksruta.

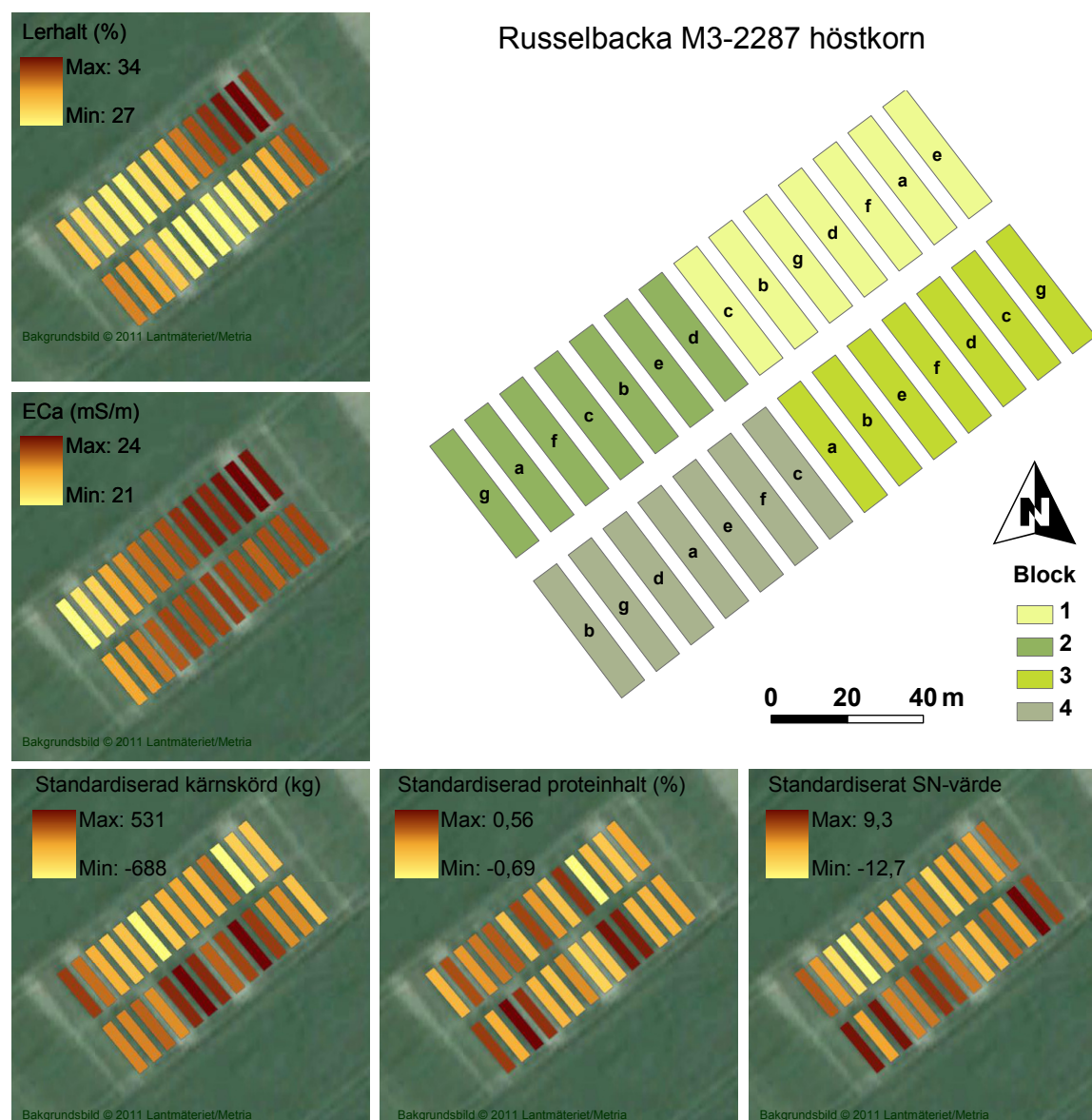
Statistiska test av block- och ledeffekter gjordes med en generell linjär modell (GLM) i Statistica 10 (Statsoft Inc.). Linjära regressioner gjordes i Statistica 10 och i Excel.

För att kunna studera variation oberoende av behandlingseffekter användes för vissa analyser standardiserade värden av kärnskörd, proteinhalt och SN-värde från N-sensormätning. Det innebär att behandlingens (ledets) medelvärde har subtraherats från rutans värde.

3 Resultat och diskussion

3.1 Försöksplatserna

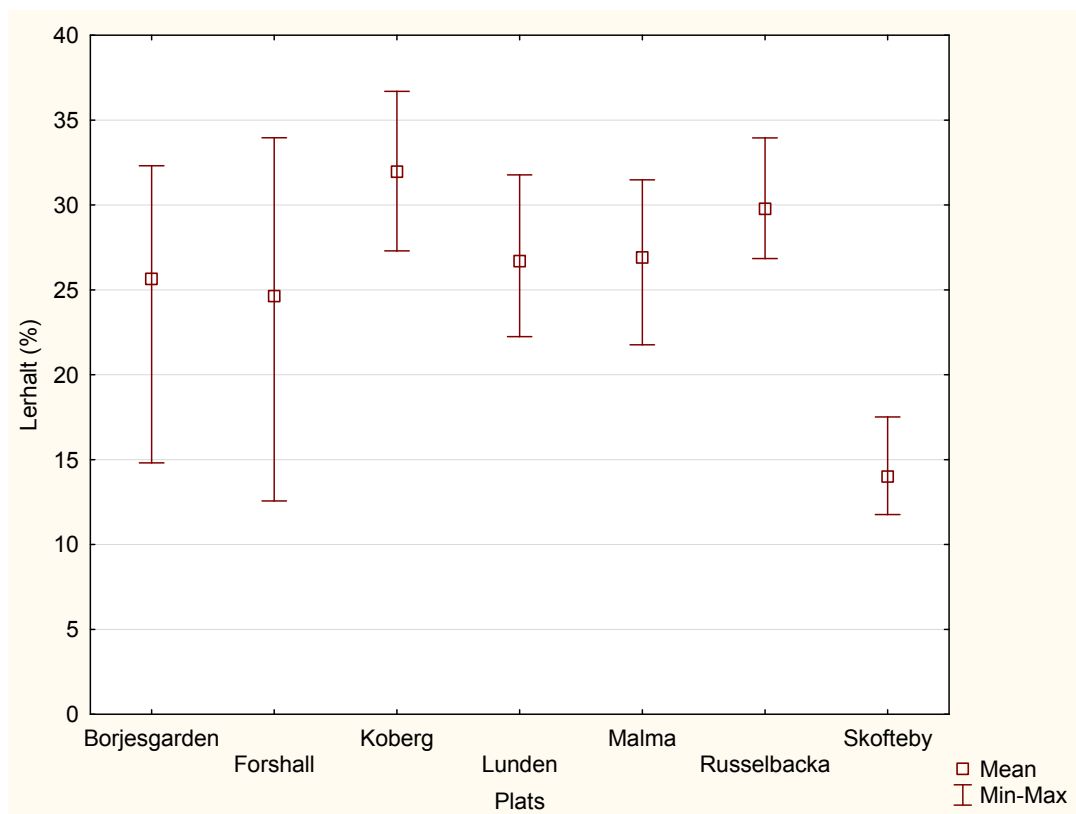
Kartor över lerhalt och ECa samt standardiserade värden av proteinhalt, kärnskörd och SN-värde från N-sensorn gjordes för samtliga försök. Kartorna över Russelbacka visas i Figur 2. För övriga kartor hänvisas till (Piikki et al., 2011).



Figur 2. Kartor över försöket i Russelbacka. Skallstreck och norrpilar gäller enbart de kartor som visar utläggning av block och led. Övriga kartor är gjorda med en annan kartprojektion. Bokstäverna i blockkartorna representerar de olika behandlingsleden

De försök som ingår i studien har valts utan hänsyn till om man förväntade sig att de skulle vara jämna eller ojämna och man kan därför säga att de representerar fältförsök i stort. Dock finns en geografisk begränsning i urvalet. Alla försök ligger på Varaslätten i Västra Götaland.

På flera platser varierade lerhalten inom försöken betydligt. Figur 3 visar att i det försök där lerhalten varierade mest (Forshall) varierade lerhalten mellan 13 % och 34 %, d.v.s. med ett spann på 21 procentenheter mellan olika rutor. I det försök som hade jämnast jordartsförhållanden (Skofteby) varierade lerhalten med 6 procentenheter. Variationsmönstret för lerhalt och ECa är ofta men inte alltid likartat (Piikki et al., 2011). På samma sätt liknar variationsmönstren för de standardiserade kärnskords- och SN-värdena varandra på vissa platser.



Figur 3. Max och min för rutvis lerhalt i de olika försöken.

3.2 Hur väl har man lyckats med etableringen?

Om markvariationen är stor men slumpvis i förhållande till leden ger det ett svagare test (mindre sannolikhet att påvisa behandlingseffekter som faktiskt finns). Om markvariationen slår olika mot olika led ger det risk för feltolkningar. I fältförsök upprepas försöksleden ofta i block och ledens ordning slumpas ut inom blocken, just för att undvika att platsspecifika skillnader ska slå systematiskt och påverka frågeställningen som undersöks (se t ex Forkman, 2011). I den här studien var markvariationen så stor att var det statistiskt signifikanta skillnader mellan blocken i båda markvariablerna och i samtliga försök (tabell 2). Att lägga ut försök i block är således högst motiverat. I ett försök av sju och i en av de två markvariablerna fanns en statistiskt signifikant skillnad mellan leden. Slumpningen av ledens placering inom blocken har i övrigt fungerat bra.

Tabell 2. *P*-värden från statistisk analys av markvariablerna. ECa, markens elektriska konduktivitet. *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$.

Plats	Block		Led	
	Lerhalt	ECa	Lerhalt	ECa
Börjesgården	***	***	0.69	0.91
Forshall	***	***	0.83	0.92
Koberg	***	***	0.07	0.30
Lunden	*	***	0.26	*
Malma	***	*	0.73	0.40
Russelbacka	***	***	0.42	0.62
Skofteby	***	***	0.28	0.54

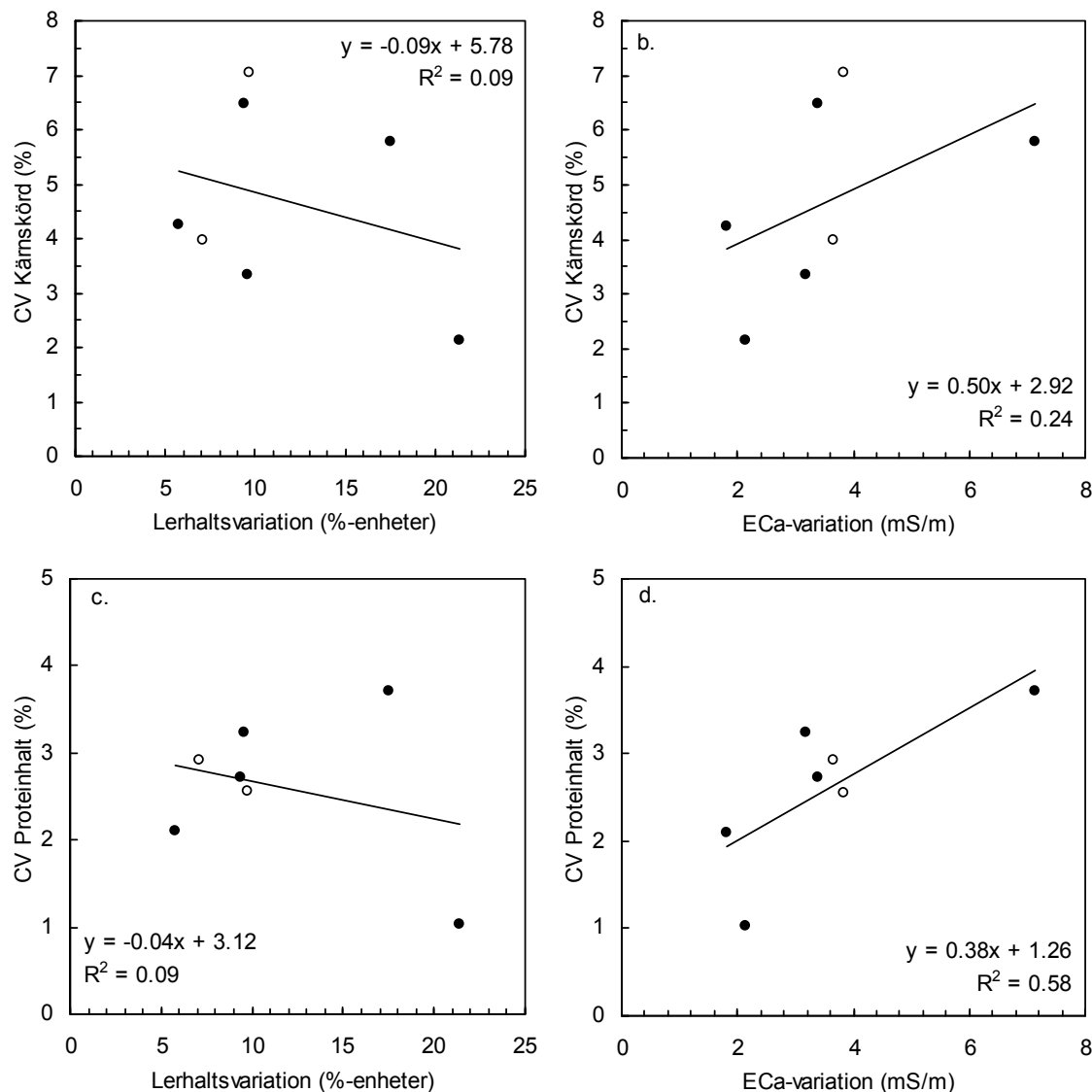
Kärnskörd och proteinhalt varierar mellan rutorna beroende på försöksbehandlingen i de olika leden (i det här fallet olika kvävegivor). Utöver denna variation finns också variation som beror på andra faktorer. Variationskoefficienten (coefficient of variation, CV) är ett mått på hur stor denna restvariation är (se Forkman, 2011). Enligt Försöksrapporten från Mellansvenska försökssamarbetet 2010 kan försökens jämnhet klassificeras så här:

CV < 3	mycket jämnt försök
3 < CV < 6	jämnt försök
6 < CV < 10	något ojämnt försök
10 < CV	försöket kasseras i de flesta fall

Av de ingående försöken var ett försök enligt denna definition mycket jämnt och övriga var jämna eller något ojämna med avseende på kärnskörd. I figur 4 visas linjära regressioner mellan variationens storlek hos gröd- och markvariabler. När det gäller lerhalt i matjorden är det inte några starka samband men det verkar som att variationen i ECa skulle kunna användas vid val av försökplatser som en indikation på hur jämnt ett försök kommer att bli. Det är inte så förvånande med tanke på att kärnskörd och ECa ofta samvarierar (se t.ex. Kitchen et al., 2005). I figur 4 kan man också notera att det inte finns någon uppenbar skillnad i storleken på variationen mellan avlånga (svarta punkter) och rektangulära försök (vita punkter), vare sig för gröd- eller markvariablerna.

3.3 Påverkar inomförsöksvariationen slutsatserna i den statistiska analysen av försöken?

En förutsättning för att markvariationen ska påverka den statistiska analysen är att markvariablerna påverkar grödvariablerna. De standardiserade värdena för kärnskörd och proteinhalt samvarierar ibland med markvariablerna (se Piikki et al., 2011). Det finns alltså risk för att markvariation på försökplatsen kan ha påverkat tolkningen av resultaten.



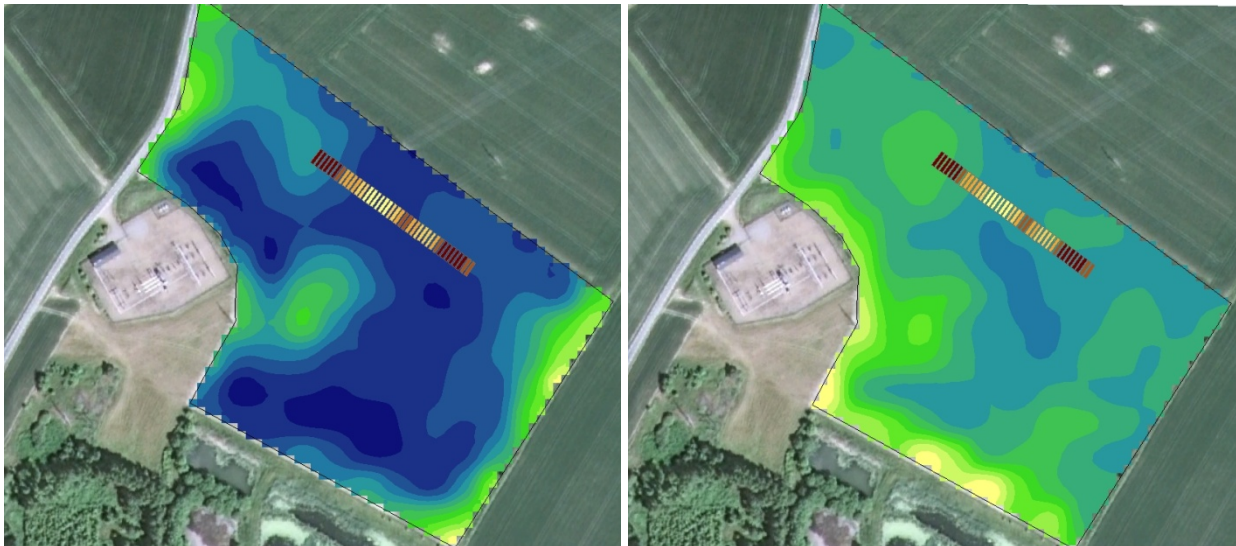
Figur 4. Linjära regressioner mellan variationskoefficienten (CV) för grödvariablerna och variationsspannet (max-min) för markvariablerna. Varje punkt representerar ett försök. De svarta punkterna visar försök med avlång försöksutläggning och de vita punkterna visar rektangulära försök.

3.4 Hur kan man ta hänsyn till den befintliga inomfältvariationen i den statistiska analysen av försöken?

Residualerna (d.v.s. restvariationen som inte kan tillskrivas behandlingarna) är ibland autokorrelerade (se figur 4 i (Piikki et al., 2011)rapport). Det betyder att rutor som ligger nära varandra också har mer lika residualvärden. Det skulle eventuellt kunna utnyttjas för att bättre kunna påvisa behandlingseffekter trots den bakgrundsvariation som finns på platsen. Det finns flera metoder utvecklade för att ta hänsyn till residualernas autokorrelation i den statistiska analysen men det görs inte regelmässigt i svenska fältförsök och man vet egentligen inte hur stor nytta det skulle göra.

Ett annat tänkbart sätt att ta hänsyn till markvariationen skulle kunna vara att lägga till lerhalt och ECa som förklarande variabler i den statistiska modellen. Om p-värdena minskar när man lägger till markvariablerna har man fått ett starkare test. Eftersom försöksbehandlingarna i den här studien (olika kvävegiva) hade en mycket stor effekt på responsvariablerna (kärnskörd och proteinhalt) var p-värdena så låga från början att det var svårt att se någon skillnad när man lade till information om marken.

Det mest direkta sättet att hantera markvariation i fältförsök är kanske ändå att från början välja mer homogena platser. Här skulle EM38-sensorn kunna vara ett bra verktyg. Om man utgår från en ECa karta när man väljer försöksplats kan man undvika onödig variation. Satellitbilder skulle också kunna användas som underlag för att bra val av försöksplatser. I figur 5 visas fältförsöket i Forshall. De blågröna bakgrundskartorna på fältet visar vegetationsindex (NDVI) från satellitbilder tagna 2009 och 2010. Man kan se att variationsmönstret är relativt likartat de båda åren. Det är därför tänkbart att använda en satellitbild från tidigare år för planering av fältförsök.



Figur 5. De blågröna bakgrundskartorna på fältet visar vegetationsindex (NDVI) från två olika satellitbilder. Grönt visar lågt NDVI och blått visar höga värden. Den vänstra bilden är från 2009 och den högra är från försöksåret (2010). Den brungula skalan i försökrutorna visar ECa (se även utförlig rapport).

3.5 Övrig diskussion

Ursprungligen var det tänkt att högupplösta flygfoton tagna från modellflygplan (unmanned aerial vehical, UAV) skulle användas för att mäta variationen på försöksplatsen. Tyvärr kunde inte dessa flygfoton användas i projektet, eftersom de försök som fotograferats inte hade positionsbestämts med tillräcklig noggrannhet. En lärdom från projektet är således att stor noggrannhet i positioneringen av försök är en förutsättning för att man ska kunna ta hänsyn till bakgrundsvariation på platsen. Figur 6 visar hur noggrant positionsbestämda försök (RTK-GPS) matchar flygfoton hämtade från Google Earth.



Figur 6. Försöksrutor i Forshall. Notera den ljusare färgen hos rutor utan kvävegödsling.

4 Publikationer

Resultat från projektet ska publiceras även i en mer utförlig rapport i en rapportserie från Institutionen för mark och miljö, SLU.

5 Övrig resultatförmedling till näringen

Resultat från projektet ska presenteras i ett föredrag på den regionala växtodlingskonferensen i Uddevalla 12-13 januari 2012.

6 Slutsatser

Följande slutsatser kan sammanfattas från projektet:

- Markvariationen var betydande i flera av fältförsöken trots att man normalt försöker välja försöksplatser som är synbart homogena. Skillnaden i lerhalt mellan försöksrutor på samma plats låg mellan 6 och 21 procentenheter.
- Skillnaden mellan block var statistiskt signifikant på samtliga platser, både för lerhalt och ECa. Slutsatsen av detta blir att det finns anledning att fortsätta lägga ut fältförsök i block.
- Slumpningen av leden inom blocken ledde i samtliga försök utom ett till att markvariationen inte slog systematiskt mot de olika behandlingarna. Det betyder inte att markvariation saknar betydelse. En generellt stor men slumpvis variation ger svagare statistiska test, d.v.s. mindre sannolikhet att påvisa behandlingseffekter som faktiskt finns.

- På försöksplatser med stor variation i ECa var också variationen i proteinhalt och kärnskörd stor.
- Det finns olika sätt att hantera markvariation i fältförsök. Ett sätt är att undvika den. En ECa-karta bör utgöra ett bra underlag för val av homogena försöksplatser. Vegetationsindex från satellitbilder bör också fungera bra.
- Ett annat sätt att hantera markvariation i fältförsök är att ta hänsyn till variationen i den statistiska analysen. Rekommendationer om hur detta bör göras kräver en djupare analys. Tänkbara sätt är att utnyttja residualernas autokorrelation eller att lägga till lerhalt och ECa som förklarande variabler i den statistiska modellen.
- Noggrann positionering av fältförsök är en förutsättning om man ska kunna ta hänsyn till bakgrundssvariation kvantifierad med markburna sensorer eller fjärranalys

7 Tack

Tack riktas till de lantbrukare som upplåtit sina fält för försök och till Amelie Lindgren som utförde fältmätningarna.

8 Referenser

- Forkman, J., 2011. Handbok i statistik för fältförsök, Fältforsk, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Johansson, E., Leuchovius, T., Andersson, B., 2000. Good experimental practice accreditation of field studies in Sweden. , IAMFE/AAB UK 2000: The 11th International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments.
- Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Drummond, S.T., Hong, S.Y., 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. Computers and Electronics in Agriculture 46(1-3), 285-308.
- Mellansvenska försökssamarbetet, 2011. Försöksrapport 2010.
- Piikki, K., Söderström, M., Stenberg, M., Roland, J., 2011. Variation i marken inom fältförsök - hur kan vi kvantifiera och hur skall vi hantera variationen?, Institutionen för mark och miljö., rapport undertryckning.
- Underwood, A.J., 1997. Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, Melbourne, Australia.