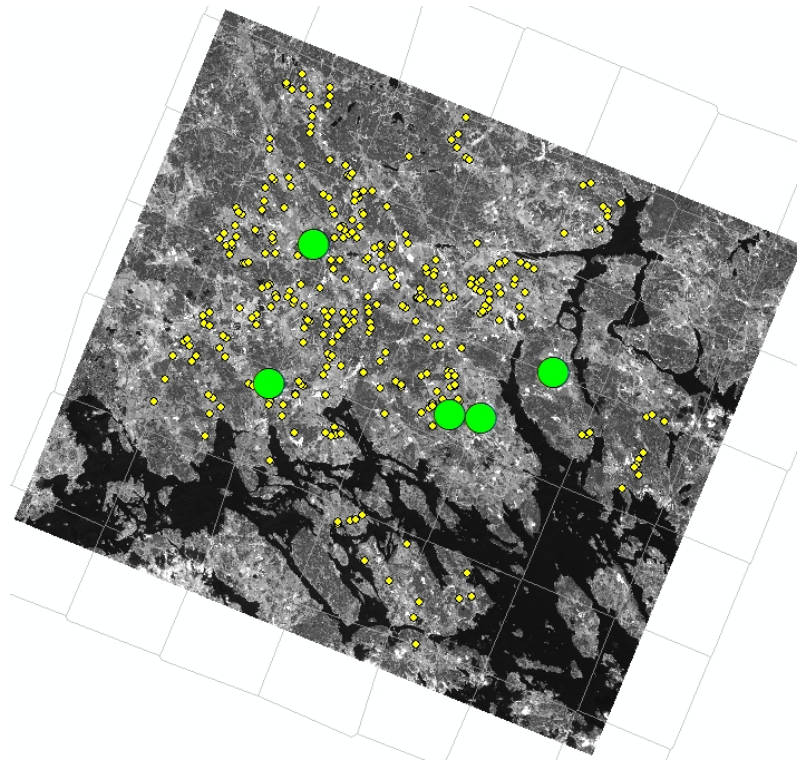




Prognoser för
malkornskvalitet
med fjärranalys



Mats Söderström, Thomas Börjesson,
C.G. Pettersson, Knud Nissen & Olle Hagner

**Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri**

Precisionsodling Sverige
Teknisk Rapport nr 20
Skara 2009
ISSN 1652-2826

Bild framsida: Mats Söderström, 2009. Gröna punkter = försöksfält. Gula punkter = urval av malkornsfält.. Bakgrund = Spot5-scen över del av Mälardalen

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	3
Sammanfattning	4
Bakgrund.....	5
Målsättning	6
Metoder och material.....	6
Grödprovtagning, Yara N-Sensordata och satellitscener	6
Meteorologiska data	9
Regionala gröddata	9
Multivariat statistik, bildanalys och geografiska informationssystem.....	10
Resultat och diskussion	10
Proteinhalten i kärnprover och inleveranser till Lantmännen	10
Modeller för inomfältvariation baserade på Yara N-Sensordata och väder	11
Modeller för inomfältvariation baserade på satellitdata och väder	12
Applicering av de lokala modellerna	13
Regional prediktion	15
Satellitmodeller med prediktionskartor som underlag	16
Slutsatser	17
Erkännanden	18
Referenser	18
Bilagor A-F.....	20
A) Nationella och internationella satellitbaserade system	20
B) Satellitbaserade system för rådgivning till lantbrukare	22
C) Success.....	23
D) Informationsmaterial och aktiviteter riktade mot yrkesverksamma inom lantbruket	24
E) Vidareutveckling av gratis datorprogram för extrahering av satellitdata	28
F) Sammanfattning av informationsspridning i projektet.....	29
G) Tankar från Lantmännen – erfarenheter från projektet och hur det kan användas	30

Sammanfattning

Detta projekt är resultatet av ett arbete som utförts med stöd av Rymdstyrelsen (ett s.k. *användarprojekt* med Dnr 163/06 och 194/07) under namnet "A malting barley information system based on remote sensing". Projektet utgjordes av två delprojekt och beviljades stöd 2006 och 2007. Denna rapport är en redovisning av resultaten från båda dessa projekt.

Målsättningen med projektet var att ta fram prognosmodeller för malkornskvalitet med hjälp av fjärranalysdata från satellit och traktor (Yara N-Sensor), var för sig eller kombinerat. Sådana prognosmodeller skulle kunna användas på olika sätt och i olika skalor – spannmålshandeln kan dra nytta av att känna till hur skörden kommer att bli och lantbrukaren kan få hjälp att fatta olika beslut beträffande gödsling och skörd.

Arbetet utfördes i samarbete mellan Lantmännen, Sweco AB och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Gruppen som arbetat aktivt med projektet utgjordes av Mats Söderström, Sweco och SLU, C.G. Pettersson, Lantmännen, Thomas Börjesson, Lantmännen, Knud Nissen, Lantmännen och Olle Hagner, SLU

I projektet har data från olika källor utnyttjats, t.ex från Jordbruksverket, SMHI, Lantmännen, Lantmäteriet och SLU. Arbetet har koncentrerats till Västra Götaland och Mälardalen som ofta skiljer sig åt med avseende på proteinhalter i malkorn.

Det gick att göra en relativt bra prognosmodell för proteinhalt i malkorn från Yara N-Sensor (som bäst $r^2 \approx 0,8$). Det gick att ta fram motsvarande modeller med hjälp av Spot- och IRS-data men precisionen i prediktionen blev något sämre ($r^2 \approx 0,6$). Det gick också att skala upp en lokal modell för att göra förutsägelser om regionala kvalitetsvariationer. Resultaten tyder på att det är nödvändigt att kalibrera modeller med grödprover, både vad gäller Yara N-Sensor och satellit om man ska uppnå godtagbar noggrannhet i en prognos. Att inkludera väderdata förbättrade alla modeller, och med enbart väderdata kunde en översiktlig regional prognos göras.

Denna rapport utgörs av två delar, dels huvudrapporten som beskriver arbetet med att analysera och försöka beräkna malkornskvalitet och dels ett antal bilagor som bl.a innehåller en mindre omvärldsanalys och resultat från arbetet med att intressera och informera lantbrukare och rådgivare om tekniken. Projektet har presenterats vid ett antal olika seminarier, både nationellt och internationellt, och i artiklar i fackpressen. Genom aktiviteter under fält- och lantbrukardagar 2009 kunde vi via Precisionsodling Sverige (POS) träffa ett stort antal lantbrukare för diskussion om möjligheterna med tekniken.

Bakgrund

Av spannmålsgrödorna är korn (*Hordeum vulgare L.*) den som odlas på störst areal i Sverige (397.000 ha 2008). Huvuddelen används som djurfoder medan 10-15% blir malkorn och används inom bryggerinäringen. En del malkorn exporteras. Malkorn är en viktig gröda för lantbrukaren eftersom det kan säljas till något högre pris. Den ideala proteinhalten i malkorn är 10,7 %, men en acceptabel nivå ligger i spannet 9,5-11,5 %. Det är inte alltid problemfritt för lantbrukaren att hålla sig inom kvalitetsgränserna, främst beroende på varierande väderförhållanden samt variationer i tillgång på vatten och näring inom fälten (Pettersson, 2007).

En hel del forskning har utförts med syfte att under växtsäsongen prognosticera proteinhalten vid skörd. En kombination av fjärranalysdata, meteorologiska data och markdata har visat sig vara användbara för att förklara både malkornets kvalitet och kvantitet, både vad gäller regionala och lokala skillnader (t.ex. Pettersson & Eckersten, 2007; Pettersson *et al.*, 2006; Schelling *et al.*, 2003; Weissteiner & Kuhlbauch, 2005). Lantmännen och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) har samarbetat i flera projekt där man undersökt potentialen för att göra kvalitetsprognoser i malkorn (t.ex. Börjesson and Söderström, 2003; Pettersson *et al.*, 2006). En viktig målsättning har varit att utveckla kommersiellt tillgängliga prognoser för variationen inom fält med hjälp av Yara N-Sensor. Yara N-sensor är en traktormonterad fjärranalysutrustning som arbetar med ljus inom det synliga till infraröda spektrumet, och som främst används för att anpassa kvävegödslingen till det aktuella behovet (Link *et al.*, 2002). För närvarande används Yara N-Sensor på ca 40 000 ha i Sverige (2008), vanligast för kompletteringsgödsling i vete.

Man kan urskilja tre användningsområden för kvalitetsprognoser i malkorn:

- tidig prognos av kvalitetsvariation inom fält för att genom varierad kvävegödsling kunna påverka kvaliteten vid skörd,
- senare prognos i fält som lantbrukaren kan använda för att planera skörden, för att öka möjligheten att partier av godkänd kvalitet levereras;
- regional prognos av kvalitet och kvantitet i den kommande skörden som kan användas som hjälpmedel för spannmålshandeln.

Pettersson (2007) utvecklade modeller för prediktion av malkornsstatus i utvecklingsstadium 32 (BBCH32 [Lancashire *et al.*, 1991]) som baseras på vegetationsindexet TCARI (Haboudane *et al.*, 2002) uppmätt med hjälp av traktormonterad och handburen N-sensor i kombination med markegenskaper och väderdata. Lufttemperatur, nederbörd och luftfuktighet har visat sig viktiga för utvecklingen av malkorn (t.ex. Pettersson *et al.*, 2006; Schelling *et al.*, 2003). Börjesson & Söderström (2003) visad att kornbeståndets reflektans i ett senare utvecklingsstadium (BBCH69) är användbart för att förutsäga inomfältvariation i proteinhalten vid skörd. Om man ser till den regionala skalan så har fjärranalysdata från satellit, meteorologiska data och markinformation använts för uppskattning av malkornskvalitet (t.ex. Schelling *et al.*, 2003; Weissteiner & Kühbach, 2005).



Målsättning

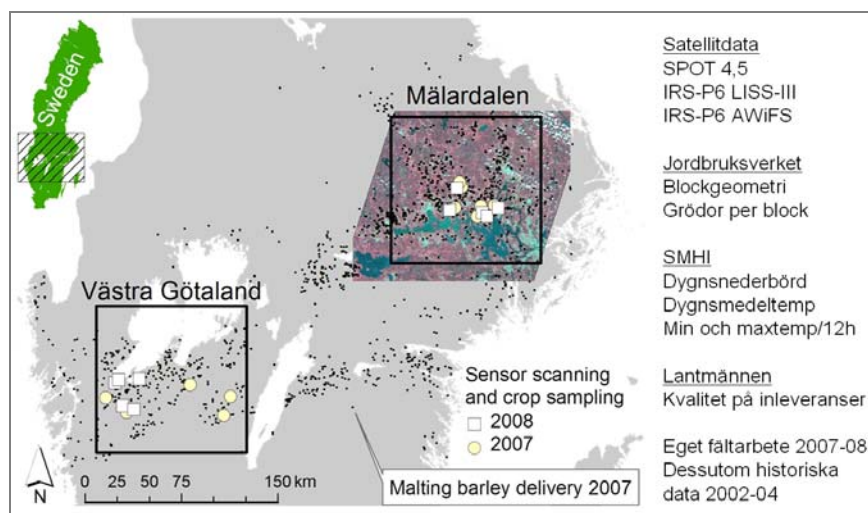
Satellitdata har hittills inte kommit till användning i någon stor omfattning inom det svenska lantbruket. Orsaker till det är flera men kostnader samt svårigheter att få tag på data från rätt tidpunkt är sannolikt viktiga aspekter. I det här projektet har den huvudsakliga målsättningen varit att gå vidare i utvecklingen av prognosmodeller för malkornskvalitet med hjälp av fjärranalysdata, både från satellit- och traktorburna sensorer. Dessutom har tanken varit att undersöka om dessa sensorer kan kombineras för att skala upp lokala prognosmodeller till större områden.

En annan viktig målsättning var att sprida information till svenska lantbrukare och andra yrkesverksamma inom lantbruksnäringen (t.ex. rådgivare) om möjligheterna med satellitdata, bl.a genom att visa hur satellitdata kan användas för att bedöma inomfältvariation och indelning av fälten i brukningszoner. Detta redovisas i bilagor tillsammans med en överblick över några befintliga satellitdatabaserade jordbrukstillämpningar.

Metoder och material

Grödprovtagning, Yara N-Sensordata och satellitscener

Arbetet har i huvudsak koncentrerats till två regioner, dels Västra Götaland och dels Mälardalen (figur 1). De båda områdena skiljer sig ofta åt med avseende på proteinhalter i malkorn. I det förstnämnda området noteras vanligen relativt låga proteinhalter medan det omvända ofta förekommer i Mälardalen. Med hjälp av rådgivare på Lantmännen valdes 5-10 malkornsfält. Fälten skannades med Yara N-Sensor vid två tillfällen, dels i ungefär tillväxtstadium 37 (BBCH37) och dels senare i stadium 69 (BBCH69). Fälternas storlek varierade avsevärt, mellan 4 och 43 ha. Information om sådatum (dagnummer) inhämtades från lantbrukarna.



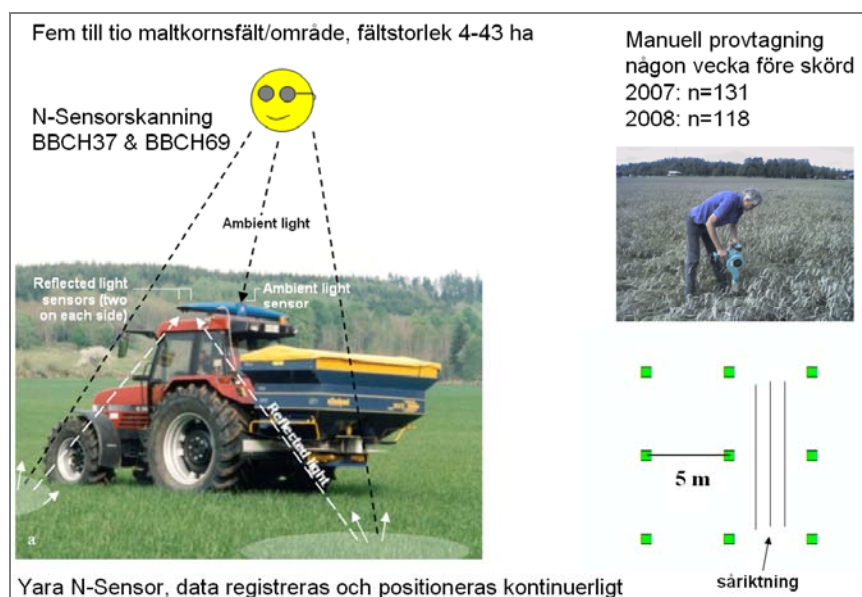
Figur 1. Läget på de två arbetsområdena, samt exempel på data som använts. I Mälardalen visas i bakgrunden satellitdata från IRS-P6/LISS III.

Inom ungefär en vecka före förväntad skörd (BBCH87) samlades grödprover in från varje fält, 6-12 prover per fält (2007 var $n=159$; 2008 var $n=121$) (figur 2). Proverna fördelades subjektivt över fälten för att täcka in inomfältvariationen enligt den senare N-sensorskanningen. Grödproverna klipptes med sax 2007 och med en handhållen provtröska 2008 (Minibatt, GODÉ, Le Catelet, Frankrike) (foto i figur 2). Varje prov var ett samlingsprov bestående av nio delprover som togs ut i ett 3x3 mönster med fem meter mellan varje delprov

(figur 2). Centrumkoordinaten mättes in med en Thales Mobile Mapper CE (Egnos DGPS). Vid varje delprov klipptes/tröskades ca 2 dm i två grödrader. De torkade, tröskade och blandade kärnproverna analyserades med avseende på proteinhalt med en FOSS Infratec1241 NIT-utrustning (FOSS, Hillerød, Danmark).

Ett antal ytterligare N-Sensorscanningar fanns tillgängliga ifrån ett par tidigare genomförda projekt (Börjesson & Söderström, 2003; Pettersson *et al.*, 2006). Bland dessa fanns även några fält från Skåne. I dessa fält hade även några proteinprover tagits ut.

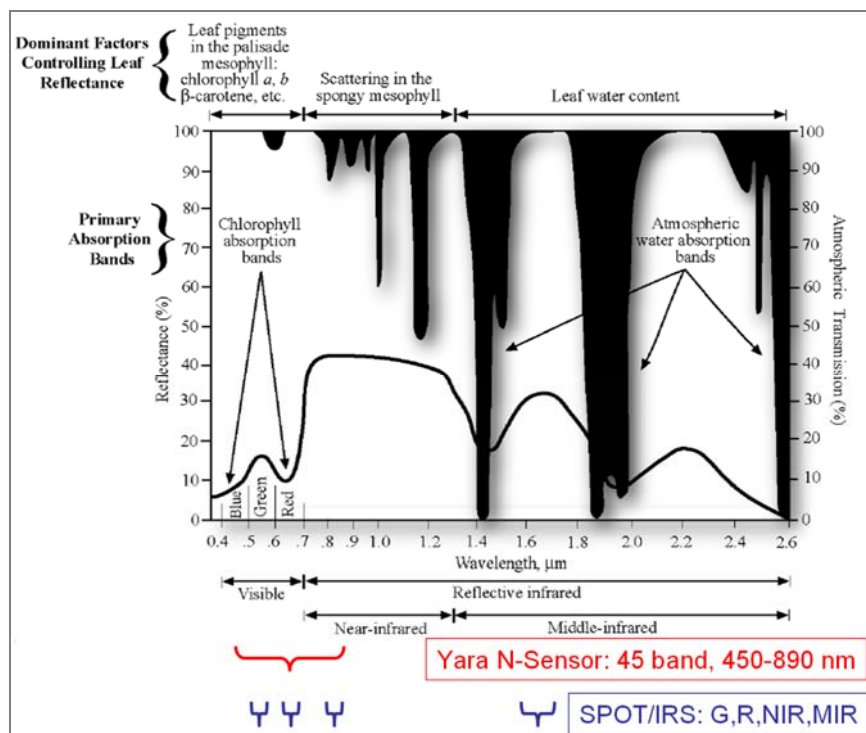
Yara N-sensor (figur 2) registrerar spektrala data i 45 våglängdsband (ρ) i spektrumet 450-890 nm. Den spektrala upplösningen är 10 nm. I de tidigare studierna (Börjesson & Söderström, 2003; Pettersson *et al.*, 2006) utvecklades modeller bestående av linjära kombinationer av enskilda våglängdsband. I det här arbetet utnyttjades i stället kvoter (q) mellan par av våglängdsband, t.ex. ρ_{450}/ρ_{670} osv., både vad gäller data från Yara N-Sensor och satellitdata (på liknande sätt som t.ex. Reusch (2003, 2005)). Kvoter är mer robusta, t.ex. mindre känsliga för varierande solvinkel och skuggeffekter. Alla ingående, möjliga kvoter användes som indata. För N-sensorn resulterade det i ett mycket stort antal kvoter (990 st.).



Figur 2. Sammanställning över fältmätningar som genomförts i projektfälten.

Satellitsscener som var tagna så nära som möjligt i tiden för N-sensorskanningarna införskaffades för områdena med fältdata (tabell 1). Scenerna 2007 och 2008 utgjordes av data från Spot 4 och 5 samt IRS-P6/LISS III, samt en IRS-P6/AWiFS scen. Den spatiala upplösningen för ortorektifierade, levererade data var för Spot 4 = 20 m, Spot 5 = 10 m, IRS LISS-III = 20 m och AWiFS = 70 m. Alla dessa har liknande spektral information i fyra våglängdsband (Spot; IRS): ρ_{green} (500-590; 520-590), ρ_{red} (610-680; 620-680), ρ_{nir} (780-890; 770-860) och ρ_{mir} (1580-1750; 1550-1700). Spot 2 har samma uppgifter som Spot 4 men saknar ρ_{mir} . Satelliterna har således betydligt bredare band än N-sensorns 10 nm och täcker en något annan del av det elektromagnetiska spektrumet (figur 3). I planen var även att undersöka om data från MODIS kunde användas, men efter en initial jämförelse bedömdes inte detta vara aktuellt i det här projektet på grund av dess spatiala upplösning (som bäst 250 m för R och NIR, 500 m för andra våglängdsband). De ovan nämnda typerna av satellitdata valdes eftersom dess spektrala information var likartad och att de representerar data som har något olika nivå vad gäller kostnaden per hektar. En Spot scen täcker 60x60 km², IRS LISS-III 140x140 km² och AWiFS 370x370 km². Projektet accepterades av Spot Images forskningsansatsning Oasis (medias.obs-mip.fr/oasis/) som innebar att ett antal arkivscener från Spot kunde laddas ned

utan kostnad., data från 2002-2004. Under 2008 lanserades Saccess (saccess.lantmateriet.se/) vilket medförde att några lämpliga satellitscener kunde hämtas där utan kostnad. Övriga data köptes från tyska Euromap (www.euromap.de) eller Metria/Lantmäteriet (www.metria.se).



Figur 3. Det elektromagnetiska spektrumet i området kring synligt och infrarött ljus. N-sensors och använda satelliters våglängdsband är markerade. Bakgrundsbild från Jensen (2006).

Tabell 1. Urval av satellitscener som använts i projektet.

Id	Registreringsdatum	Satellit, spatial upplösning	Källa	Geografisk täckning
A	2002-06-19	SPOT 4, 20 m	Oasis, Spot Image	Skåne
B	2003-06-29	SPOT 2, 20 m	Oasis, Spot Image	Västra Götaland
C	2003-07-06	SPOT 2, 20 m	Oasis, Spot Image	Mälardalen
D	2003-07-10	SPOT 2, 20 m	Oasis, Spot Image	Västra Götaland
E	2004-06-08	SPOT 4, 20 m	Oasis, Spot Image	Mälardalen
F	2007-06-03	SPOT 5, 10 m	Metria/Lantmäteriet	Västra Götaland
G	2007-06-03	SPOT 5, 10 m	Metria/Lantmäteriet	Mälardalen
H	2007-06-08	IRS-P6/AWIFS, 70 m	Euromap	Mellansverige
I	2007-07-16	IRS-P6/LISS III, 23,5 m	Saccess	Mälardalen
J	2007-07-16	IRS-P6/LISS III, 23,5 m	Saccess	Mälardalen
K	2008-06-04	SPOT 5, 10 m	Saccess	Västra Götaland
L	2008-06-07	SPOT 5, 10 m	Saccess	Mälardalen
M	2008-07-16	SPOT 5, 10 m	Metria/Lantmäteriet	Mälardalen
N	2008-07-23	SPOT 4, 20 m	Metria/Lantmäteriet	Västra Götaland

Meteorologiska data

Lufttemperatur (max och min var 12:e timma) och daglig nederbörd erhöles från SMHI i tabellform. Data fanns för en geografisk koordinat var 10:e km som täckte in hela området, så kallade MESAN-data (Häggmark *et al.*, 2000). Punktinformationen ombearbetades till en ca 10x10 km² yta kring respektive koordinat med hjälp av tesselering. För varje sådan väderpolygon beräknades den ackumulerade nederbörden halvmånadsvis för perioden maj-juli (resulterande i variablerna May1, May2, Jun1, Jun2, Jul1, Jul2) samt ett temperaturindex (STS20*) som syftar till att korrelera mot höga temperaturer under kärnfyllnaden (modifierat efter Pettersson *et al.*, 2006). STS20* beräknades som det ackumulerade temperaturöverskottet (med basnivån 20°C) under en treveckorsperiod med start 15 juni enligt:

$$STS20^* = \sum_{t=15 \text{ juni}}^{t=6 \text{ juli}} T \max(t) - 20 \quad \text{om } T_{\max} > 20^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Regionala gröddata

Lantmännen bidrog med information om proteinhalten i alla malkornsleveranser som kommit in till Lantmännen under 2007 och 2008. För att göra materialet så homogent som möjligt valdes endast poster ut med den under perioden dominerande sorten Astoria. Leveranserna vägde i genomsnitt 23,5 ton. Antalet astorialeveranser 2007 och 2008 var 6595 respektive 4849 (se även figur 1 för att få en uppfattning av den geografiska fördelningen av leveranser). Varje leverans var knuten till Lantmännens kunduppgifter där det var möjligt att ta fram uppgifter om kundens gårdskoordinat, vilket inte gör det möjligt att avgöra från vilket/vilka fält kornet kommer ifrån. I det här arbetet summerades mängden levererat malkorn och antalet leveranser med hjälp av lantbrukarens gårdskoordinat till den väderpolygon inom vilken gården är belägen.

Tabelluppgifter om vilka grödor som odlades i alla jordbruksblock erhöles från Jordbruksverket. Från samma källa införskaffades därutöver den digitala blockkartan som omfattar all åkermark. Varje polygon i blockkartan representerar åkermark som avgränsas fysiskt av hinder som t.ex diken, vägar eller skogsbryn. Ett block kan innehålla flera fält med olika grödor. Tabellinformationen kopplades samman med blockkartan, och endast block som utgjordes av ett vårkornsfält behölls. Eftersom tabellinformationen innehöll uppgift om fältets areal, jämfördes den arealuppgiften med tillhörande block i blockkartans areal.

För att göra det lättare att göra beräkningar i satellitbilderna för kornfälten utvaldes endast relativt stora fält som dessutom inte var extremt flikiga i sin form. Dessutom togs en kantzon om 20 m längs blockgränsen bort från de valda polygonerna. På detta vis minskas andelen pixlar som hamnar över fältgränsen i malkornsfälten, och som i det fallet riskerar att påverkas av vegetation utanför fältet. Förhållandena på vändtegen är ibland också lite speciella och mindre representativa för fältet som helhet. För ett litet fält kan dock en sådan kantzon utgöra en betydande del. Här valdes fält (kantzonen borträknad) med en areal >5 ha och ett värde > 0,2 på ett cirkularitetsindex som beräknades enligt $4\pi(\text{Blockareal}/(\text{Blockets omkrets}^2))$ (Miller, 1953). För alla vårkornsfält som uppfyllde dessa kriterier beräknades mediantalet av alla kvoter mellan ingående spektrala band från aktuella satellitscener inom väderpolygonerna. Antalet kornfält inom varje väderpolygon fastställdes också. För olika jämförelser användes endast väderpolygoner med minst 10 malkornsleveranser och mer än 5 av de kvarvarande kornfälten.

Multivariat statistik, bildanalys och geografiska informationssystem

Prognosmodeller för proteinhalten i malkorn togs fram med mjukvaran Unscrambler 7.6 (CAMO, Oslo) och partiell minstakvadratregression (PLS-regression) (Martens & Martens, 1986). Syftet var att utifrån det stora antalet ingående variabler (spektrala kvoter och vädervariabler) reducera dessa till ett urval med hjälp av vilket det är möjligt att skapa modeller för att prediktera proteinhalten i malkorn. I den här proceduren omräknas kombinationer av de ursprungliga variablerna till principalkomponenter som används i PLS-regressionen. Olika modeller testades med så kallad full korsvalidering som innebär att en kalibrering görs för varje prov som ingår och vid validering av modellen tas detta prov bort. Det innebär att resultaten indikerar hur modellen skulle kunna fungera i ett verkligt fall när man vill bestämma proteinhalten i en ny provpunkt som inte finns med i kalibreringen (Martens & Naes, 1989).

Satellitbildernas digitalnivåer korrigerades radiometriskt med hjälp av leverantörens kalibreringsparametrar för respektive sensor till att motsvara den strålningsintensitet som observeras av satellitsensorn (top-of-the atmosphere radiance). Beräkning av reflektans genomfördes ej eftersom studien inte syftar till att ta fram generella prognosmodeller. Merparten av hanteringen av geografiska data och satellitbilder gjordes i det geografiska informationssystemet ArcGIS 9 (ESRI Inc., Redlands, USA) med programtilläggen Spatial Analyst, Geostatistical Analyst och Image Analysis.

Resultat och diskussion

Proteinhalten i kärnprover och inleveranser till Lantmännen

I medeltal var proteinhalten i de insamlade grödproverna i närheten av optimala 10,7 % (tabell 2). Värdena 2008 var högre än föregående år. I båda regioner och båda år fanns prover som föll utanför den kvalitet som ger full betalning som malkorn. I tabell 3 finns en översikt över proteinhalten i de malkornsleveranser av sorten Astoria som togs emot på Lantmännens anläggningar. Under både 2007 och 2008 var inlevererad malkorn i Mälardalen av ungefär samma kvalitet med avseende på proteinhalten, vilken generellt låg i överkant av önskvärt kriterium för malkorn. Antalet inleveranser av Astoria minskade från 2007 till 2008 bl.a beroende på att odlingen av sorten Tipple ökade. I Västra Götaland låg proteinhalterna 2007 något lägre, medan proteinhalterna i inleveranserna var avsevärt högre där under 2008; 80 % av inleveranserna hade en proteinhalt > 11,5 %. Orsaken till detta var sannolikt skillnader i väder mellan åren (tabell 4).

Tabell 2. Sammanfattande statistik över proteinhalten i insamlade malkornsprover.

	n	Medel (%)	Std.avv. (%)	Min (%)	Max (%)
Mälardalen 2007	107	10,55	0,91	9,03	14,00
Mälardalen 2008	52	10,90	0,85	9,50	12,90
Västra Götaland 2007	56	10,36	0,72	8,95	11,80
Västra Götaland 2008	65	11,00	1,37	8,70	14,90

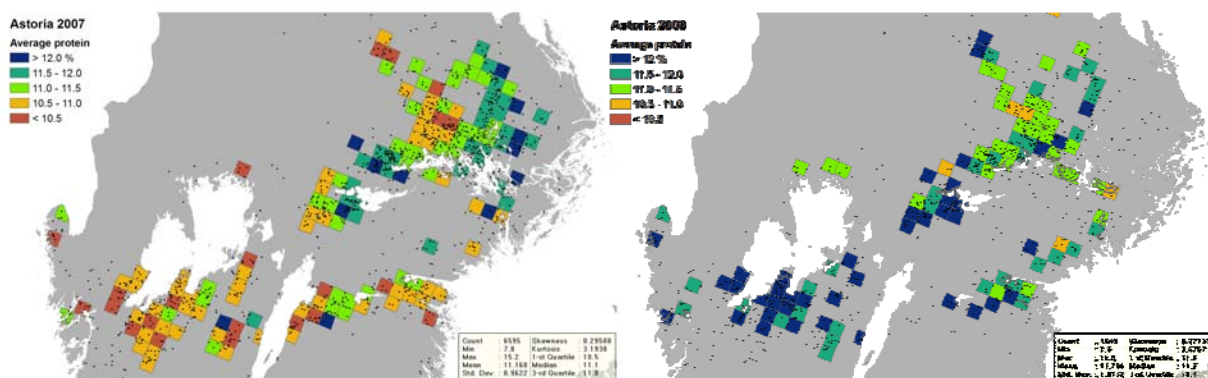
Tabell 3. Sammanfattande statistik över proteinhalten i inleveranser av malkorn (sort Astoria) till Lantmännen i de två studieområdena.

	n	Medel (%)	Std.avv. (%)	Min (%)	Max (%)
Mälardalen 2007	3360	11,41	0,94	8,7	15,2
Mälardalen 2008	2217	11,48	0,95	7,5	16,6
Västra Götaland 2007	1140	10,69	0,87	7,8	13,8
Västra Götaland 2008	1021	12,23	0,88	9,4	15,0

Säsongen 2007 var i Västra Götaland nederbördsrik och kall – helt annorlunda än 2008 som dominerades av en lång period med torrt och varmt väder i början av sommaren. Skillnaderna i väder mellan åren var mindre i Mälardalen även om nederbörden var lägre 2008. I figur 4 kan man se hur proteinhalterna i inleveranserna varierade i väderpolygonerna. Variationen inom Mälardalenområdet var större än i Västra Götaland, där skillnaderna mellan åren framträder tydligt. Även i Östergötland, där förhållanden inte studerats vidare i projektet, var proteinhalterna högre 2008.

Tabell 4. Områdesvisa medeltal för vädervariablerna i Mälardalen och Västra Götaland under 2007 och 2008.

	STS20* (°C)	May1 (mm)	May2 (mm)	Jun1 (mm)	Jun2 (mm)	Jul1 (mm)	Jul2 (mm)
Mälardalen 2007	32,4	15,3	20,5	17,6	39,1	38,0	16,9
Mälardalen 2008	33,3	3,0	25,4	9,1	27,7	37,6	16,3
Västra Götaland 2007	15,0	26,8	32,1	21,4	107,4	96,8	62,6
Västra Götaland 2008	33,4	22,4	4,7	4,9	49,2	56,0	30,2



Figur 4. Medelproteinhalter i malkorn som tagits emot av Lantmännen (sorten Astoria), 2007 till vänster och 2008 till höger. Värdena är beräknade för 10x10 km² väderpolygoner med minst tio leveranser. De svarta prickarna visar gårdar med malkorn.

Modeller för inomfältvariation baserade på Yara N-Sensordata och väder

En kombination av N-sensorkvoter (se fotnot i tabell 5) i huvudsak i området rött – NIR, men med tillägg från våglängder inom det gröna området i det elektromagnetiska spektrumet, kunde förklara det mesta av variationen ($r^2=0.77$) i proteinhalten i malkorn i fälten i Mälardalen 2008 (tabell 5). Vädervariablerna förbättrade modellen något (jämför modell b och c i tabell 5). Ett urval av kvoter (12 av 990) gav ungefär lika mycket information som alla tillgängliga kvoter. Oftast är det en svag korrelation mellan enskilda N-sensorkvoter och proteinhalt (figur 5). Många av kvoterna från N-sensormätningar är korrelerade till varandra vilket gör att ett fåtal kvoter beskriver variationen lika bra som om ett stort antal inkluderas.

Det mest användbara är om modeller kan utvecklas som är användbara vid olika förutsättningar. I annat fall måste lokala kalibreringar göras. Om indata blandades mellan regionerna och mellan åren kunde vi inte ta fram en modell som var lika effektiv som om en lokal modell utvecklades (jämför tabell 5 och tabell 6). RMSEP värdena var högre i det förra fallet medan determinationskoefficient och RPD var lägre. Även i den blandade modellen gick det emellertid att reducera antalet kvoter kraftigt (7 av 990) med bibehållen precision. I urvalet av kvoter mellan modellerna kan man bl.a notera att inslag från grönt saknas i den blandade

modellen. N-sensordata från 2007 i Mälardalen togs inte med i modellen eftersom det visade sig att datavariationen då var starkt anisotropisk i körspårsriktningen, vilket visade sig ha kunnat bero på en felaktighet i monteringen av utrustningen.

Tabell 5. Korsvalidering av PLS-modeller som baserats på data från fem malkornsfält i Mälardalen 2008 (n=48). Som oberoende PLS-variabler ingick kvoter från Yara N-Sensor och vädervariabler.

Modell	RMSEP**	r ²	RPD***
a) Alla variabler	0,40	0,77	2,10
b) Urval av kvoter* samt vädervariabler	0,42	0,77	2,00
c) Urval av kvoter* utan vädervariabler	0,46	0,72	1,83

* 510/570, 510/710, 660/670, 660/680, 670/700, 670/740, 670/780, 700/740, 700/780, 730/760, 730/780, 740/780

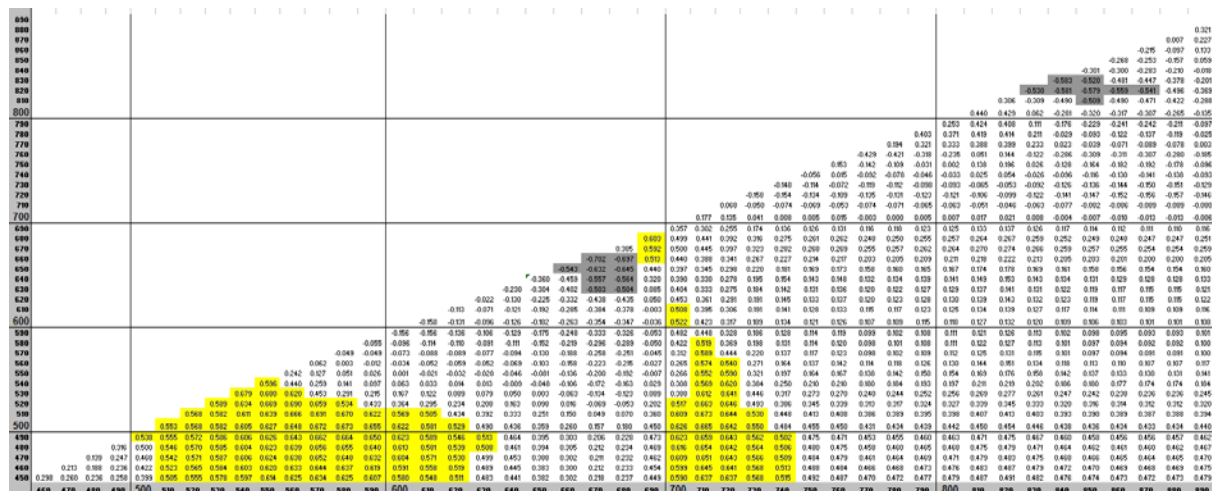
** Root mean squared error of prediction

*** Standardavvikelse dividerat med RMSEP

Tabell 6. Korsvalidering av PLS-modeller som baserats på data från malkornsfält i Mälardalen 2008 och Västergötland 2007 och 2008 (n=131). Som oberoende PLS-variabler ingick kvoter från Yara N-Sensor och vädervariabler.

Modell	RMSEP	r ²	RPD
d) Alla variabler	0,62	0,58	1,55
e) Urval av kvoter* samt vädervariabler	0,62	0,57	1,55
f) Urval av kvoter* utan vädervariabler	0,68	0,49	1,42

* 670/690, 680/690, 700/710, 700/720, 710/720, 720/730, 740/830



Figur 5. Exempel på korrelationsmatris mellan alla N-sensorkvoter (py_{i-n}/px_{i-n}) där py är ordinatan och px abscissan ($i = 480$ till $n=890$) och proteinhalten i kontrollproverna från Västra Götaland 2008 (n=48). Gula kvoter har $r > 0,5$ och grå $r < -0,5$.

Modeller för inomfältvariation baserade på satellitdata och väder
 Resultat från PLS-regression som utfördes på data från IRS P6/LISS-III 2007-07-16 jämfört med data från grödprovtagningen i projektfälten i Mälardalen visas i tabell 7. I tabell 8 visas motsvarande för 2008 då data från Spot5 2008-07-16 fanns tillgängliga. I tabell 8 visas även värden från korsvalideringen av en modell som baserats på en tidig Spot5-scen (2008-06-07). Den bästa kombinationen av kvoter var i det här fallet data från MIR och NIR-bandet kombinerade med data från G och R (2007: $r^2=0.61$; 2008: $r^2=0.51$). Om väder inkluderades blev modellerna avsevärt bättre. Data från den tidiga satellitscenen gav en betydligt mindre

tillförlitlig modell jämfört med data från det senare datumet. Om satellitdata från både en tidig och sen registreringstidpunkt kombinerades blev modellen bättre än om endast data från den tidiga användes, men inte bättre eller något sämre än om data från endast den senare scenen användes. MIR/G var den kvot som enskilt gav mest information om proteinhalten.

Tabell 7. Korsvalidering av PLS-modeller som baserats på data från fyra malkornsfält i Mälardalen 2007 (n=32). Som oberoende PLS-variabler ingick satellitdatakvoter (IRS P6/LISS-III 2007-07-16) och vädervariabler samt sådatum.

Modell	RMSEP	r ²	RPD
g) Alla variabler	0.71	0.56	1.45
h) Urval av kvoter* samt vädervariabler	0.66	0.61	1.56
i) Urval av kvoter* utan vädervariabler	0.90	0.25	1.14
j) Endast MIR/G samt väder	0.80	0.40	1.29

* MIR/G, MIR/R, NIR/G, NIR/R

Tabell 8. Korsvalidering av PLS-modeller som baserats på data från fem malkornsfält i Mälardalen 2008 (n=48). Som oberoende PLS-variabler ingick satellitdatakvoter (Spot5 2008-06-07 & 2008-07-16) och vädervariabler samt sådatum. En förklaring till modellerna finns i tabell 7.

Satellitscen	Modell	RMSEP	r ²	RPD
Spot 2008-07-16	g	0.59	0.50	1.37
	h	0.57	0.51	1.42
	i	0.64	0.39	1.27
	j*	0.57	0.47	1.36
Spot 2008-06-07	g	0.63	0.41	1.29
	h	0.65	0.36	1.25
	i	0.68	0.29	1.19
	j	0.78	0.10	1.03
Båda	g	0.62	0.43	1.30
	h	0.63	0.41	1.29
	i	0.61	0.44	1.33
	j	0.63	0.46	1.29

* en statistisk avvikare exkluderad

Applicering av de lokala modellerna

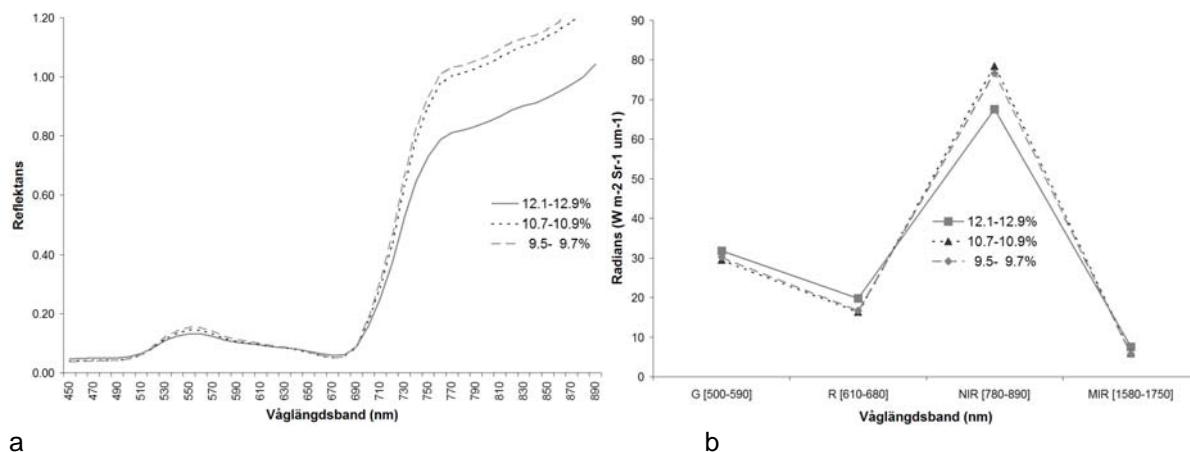
Jämfört med PLS-modellen som utvecklades med hjälp av N-sensordata är förklaringsgraden lägre när vi använder satellitdata, vilket inte är oväntat med tanke på skillnaden i informationsmängd. I figur 6 illustreras detta genom att spektrala responskurvor skapats för platser med grödprover som hade olika nivå på proteininnehållet i malkornskärnan. Medelreflektansen i våglängdsband från julmätningen 2008 i Mälardalen med Yara N-Sensor respektive medelradiansen registrerad av Spot5 i sex grödprover med hög, medel samt låg proteinhalt visas i figuren. Enheterna skiljer sig åt, bl.a kan man se att nivån på kalibreringen inte varit korrekt på N-sensorinstrumentet eftersom reflektansvärden (kvot mellan uppmätt inkommande och reflekterad strålning) >1 förekommer. De sex proverna i respektive grupp kommer från olika fält. Skillnader i strålning i det nära infraröda området mellan prover med olika proteinhalt utmärker sig mest, där proverna med högst proteinhalt har lägst värden både i data från Spot och Yara N-Sensor. Detta stämmer inte med resultat som presenterats av t.ex

Petterson *et al.* (2006), vilka testade sambandet mellan olika vegetationsindex vid BBCH69 och proteinhalten i malkorn vid skörd. REIP-indexet (Petterson *et al.*, 2006) fungerade då bäst med ett $r^2 = 0,77$. Här (Mälardalen 2008) fungerar inte REIP lika bra ($r^2 = 0,39$). I den tidigare studien hade inte oväntat ytor som tillförts en större kvävegiva högre proteinhalt och gav högre skörd jämfört med ytor som fått mindre kväve, och de senare hade lägre reflektans i NIR-området. Skillnaden mellan studierna ligger bl.a i kalibreringsprovtagningen. I det här arbetet fördelades kontrollproverna så att variationen i N-sensormätningar, som gjordes på många olika fält, skulle täckas in. Prover togs bl.a på platser med relativt tunn gröda, som sedermera visade sig ha höga proteinhalter, där sannolikt någonting annat än brist på gödsel begränsade tillväxten, t.ex vattenbrist. Hela fälten hade här fått en jämn gödselgiva som anpassats efter fältets medelbehov. På platser med liten tillväxtpotential sprids då mer gödsel än grödan behöver. Dock blir skörden ändå låg, men proteinhalten kan bli hög. Dessutom kan mognaden ev. också starta tidigare än på andra delar av fältet med andra jordar och markvattenförhållanden, vilket skulle resultera i lägre reflektion i NIR-området. Omvänt får fältdelar med hög tillväxtpotential vid en jämn medelgiva för lite kväve och därmed en lägre proteinhalt, men skörden kan fortfarande bli relativt hög, men hade sannolikt blivit högre om kvävegivan ökats. Proteininnehållets positiva korrelation med MIR/G som redovisats ovan skulle också kunna förklaras av detta resonemang.

Den predikterade proteinhalten (P^*) beräknas enligt PLS-modellerna enligt linjära kombinationer på formen:

$$P^* = k_1q_1+k_2q_2+\dots+k_nq_n+k_{w1}w_1+ k_{w1}w_2+\dots +k_{wn}w_n+m$$

där $q_1 - q_n$ är utvalda kvoter, $w_1 - w_n$ är vädervariabler och $k_1 - k_n$ samt $kw_1 - kw_n$ är regressionskoefficienter medan m är interceptet. I figur 7 kan som exempel en jämförelse göras mellan kartor över den predikterade proteinhalten i malkorn på ett av fälten i Mälardalen 2008 som gjorts med den bästa N-sensorbaserade (modell b i tabell 5) respektive satellitdatabaserade modellen (modell h i tabell 8) från juli 2008.



Figur 6. Exempel på spektrala responskurvor för malkorn med olika proteinhalt i Mälardalen 2008, a) Yara N-Sensor, 11 eller 15 juli b) Spot5, 16 juli. Underlaget utgörs av medelvärden från sex grödprover i varje klass.

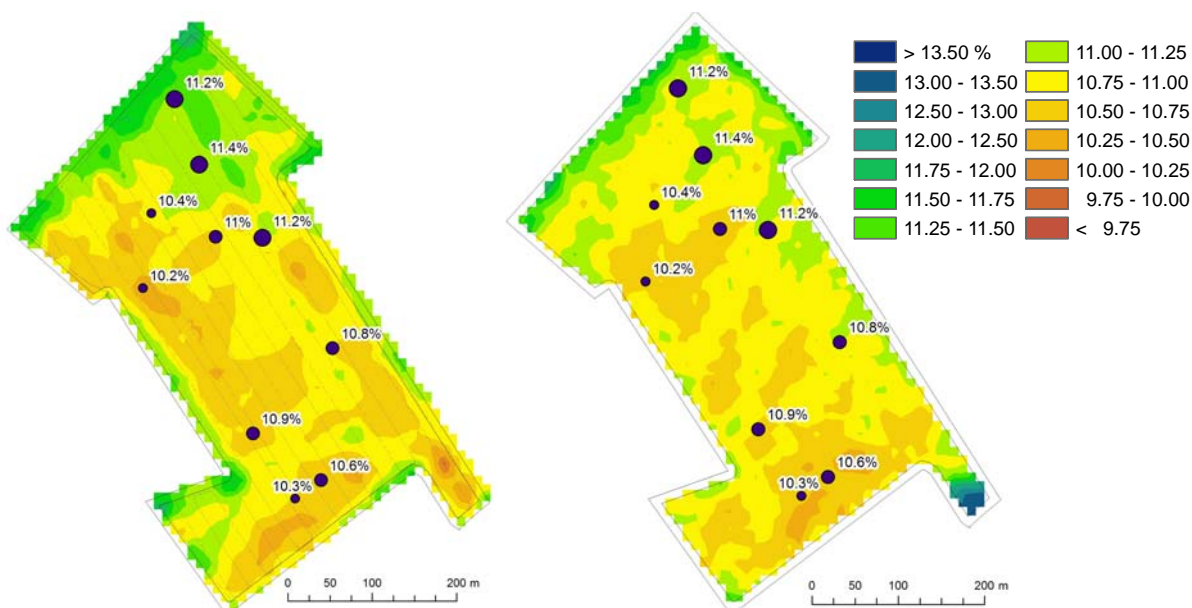


Figure 7. Exempel på proteinprognoskartor som tagits fram med olika modeller för ett fält i Mälardalen 2008. *Vänster*: N-sensormodell (b i tabell 5), *höger*: Satellitmodell (h i tabell 7). Grödprovers läge och proteinhalt visas.

Variationen på det aktuella fältet är måttlig och alla kontrollprover ligger inom det proteinintervall som ger full betalning för malkorn. Det geografiska mönstret är i stort likartat i båda prognoskartorna, men på vissa delar av fältet skiljer sig prognosen, t.ex i ett litet område i sydöstra hörnet. Medelvärde för fältet är dock detsamma i båda fallen (10,9 %) men variationen är något större i prognoskartan från satellitmodellen (std. avv. 0,71 jämfört med 0,29 för N-sensormodellen). På grund av arbetsgången saknas en 20 m bård i kanten av kartan enligt satellitmodellen. Ett sätt att åtgärda det skulle kunna vara att extrapolera kartan ut till fältkanten genom medelvärdesfaltning.

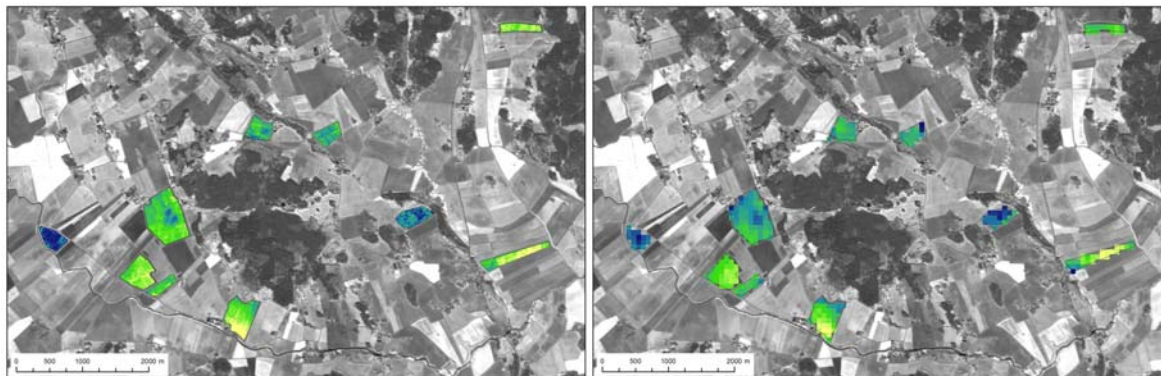
Regional prediktion

I tabell 9 redovisas resultat i det fall en lokal satellitbaserad modell appliceras regionalt. Det är modell h och j i tabell 7 som används för att beräkna proteinhalten i alla malkornsfält i studieområdet i Mälardalen 2007. Alla kvoter är medianvärden inom alla utvalda malkornsblock från IRS P6/LISS-III- scenen 2007-07-16 (n=296). Medelproteinhalten beräknades för väderpolygonerna i Mälardalen och en jämförelse gjordes mot proteinhalten i det spannmål som levererades till Lantmännen från gårdar belägna inom respektive polygon. Prognosberäkningar gjordes för de 16 väderpolygoner som hade minst tio inleveranser och mer än fem malkornsfält (totalt 1514 malkornsliveranser och 141 malkornsfält från blockdatabasen fanns inom dessa 16 polygoner). Den bästa lokala modellen (h) fungerade inte särskilt bra jämfört med om endast data från kvoten MIR/G kombinerat med väderdata användes (modell j i tabell 7). Från detta datamaterial gick det även att göra ännu bättre modeller men de bedömdes alltför osäkra på grund av att datasetet var mycket litet.

Tabell 9. Prediktion av medelproteinhalt i väderpolygoner i Mälardalen (n = 16) 2007 när den lokala satellitmodellen (modell h och j i tabell 7) appliceras på 141 malkornsfält inom IRS P6/LISS-III 2007-07-16 i jämförelse med medelproteinhalten i 1514 inleveranser till Lantmännen.

Modell	RMSEP	r ²	RPD
h	0.76	0.29	0.90
j	0.48	0.51	1.42

Under projekttiden fanns ingen AWiFS-scen tillgänglig från början av juli något av åren. För regional prediktion borde dock den typen av data vara lika användbar som de mer högupplösta data som redovisats ovan. Som exempel visas i figur 8 hur MIR/G-kvoten varierar inom några malkornsfält i en del av Mälardalen i början av juni 2008.



Figur 8. Färgade ytor visar MIR/G inom malkornsfält, till vänster Spot5 2008-06-07 och till höger AWiFS 2008-06-08. Den gråfärgade bakgrunden är från Spots scenen.

Beräknas medianradiansen från alla malkornsfält ($n = 110$) i Mälardalen i området som överlappas av de båda scenerna (Spot5 2008-06-07 och AWiFS 2008-06-08) är dock inte r^2 bättre än 0,57. Det kan till delar bero på att många fält är väl små för beräkning med AWiFS och att kantonen där data exkluderats fortfarande var 20 m. Detta exemplifieras i figur 8 genom att de större och rundare fälten tycks stämma väl överens medan de långsmala fälten i den högra delen av bilden skiljer sig åt mer. Dessutom torde en radiometrisk korrektion kunna förbättra sambandet.

När man arbetar med satellitdata, och särskilt om tidpunkt för registreringen är väsentlig, finns alltid risk att det inte går att erhålla några data. Om ett satellitbaserat system utvecklas och satellitdata uteblir hade det varit fördelaktigt om det gick att använda endast väderdata för att göra en prediktion. Vi har sett ovan i de lokala modellerna att väderdata förbättrar proteinprognosen både vad gäller Yara N-Sensor och satellitdata (tabell 5-8). En modell som enbart bygger på vädervariabler för prognos av proteinhalten i inlevererad malkorn enligt figur 4 (161 polygoner 2007 och 2008 i båda regioner) ger $RMSEP = 0,47$ och $r^2 = 0,50$. Höga värden på STS20* ger högre proteinhalt liksom låg nederbörd i maj och juni. En sådan väderbaserad modell kan vara lämplig som utgångspunkt för att bedöma den generella kvalitetsnivån i olika områden, inom vilka fjärranalys kan användas för en förfinad prognos.

Satellitmodeller med prediktionskartor som underlag

I en test gjordes också satellitmodeller som i stället för grödklippningar baserades på prediktionskartor skapade med Yara N-Sensor (som den till vänster i figur 7, som gjordes för fyra fält med grödprover i Mälardalen 2008). Omkring två pixlar per hektar valdes ut i proteinkartorna och en modell gjordes mot satellitdata (Spot5 2008-07-16) samt väder. På motsvarande sätt gjordes modeller från data från tidigare projekt i Skåne 2002. Detta kan tänkas vara en lämplig metod för kombination och uppskalning av N-sensordata och satellitdata, särskilt i det fall man lyckas ta fram en N-sensormodell som kanske till och med kan användas utan kalibrering mot klippta grödprover. Modellerna i tabell 10 torde vara jämförbara med modell g och h i tabell 8 och värdena är i ungefär samma storleksordning med en måttlig förklaringsgrad. Värdena från Skånefältet 2002 (tabell 11) har avsevärt lägre $RMSEP$ -värden men r^2 -värdena är på samma nivå.

Tabell 10. Korsvalidering av PLS-modeller som baserats på ett urval av pixlar (n=261) i N-sensorprognoskartor från Yara N-Sensor i fyra maltkornsfält i Mälardalen 2008. Som oberoende PLS-variabler ingick satellitdatakvoter (Spot5 2008-07-16).

Model	RMSEP	r^2	RPD
k) Alla reflektanskvoter	0.50	0.54	1.52
l) Urval av kvoter*	0.52	0.49	1.46

* MIR/G, MIR/R, NIR/G, NIR/R

Tabell 11. Korsvalidering av PLS-modeller (motsvarande de i tabell 10) som baserats på ett urval av pixlar (n=50) i N-sensorprognoskartor från Yara N-Sensor i ett maltkornsfält i Skåne 2004. Som oberoende PLS-variabler ingick satellitdatakvoter (Spot4 2002-06-19).

Model	RMSEP	r^2
k)*	0.34	0.54
l) *	0.37	0.42

* två statistiska avvikare borttagna

Slutsatser

- Vi hade en del problem med insamling av data med Yara N-Sensor, både vad gäller instruktioner till traktorförare och montering av utrustning, som gjorde att data inte var tillgänglig i alla fält från båda år och regioner. Detsamma gäller satellitdata, som beroende på väderförhållandena inte gick att få fram i önskvärd omfattning. Det visar svårigheten att arbeta med den här typen av tillämpningar där tidsfönstret för datainsamling är ganska litet. En hel del tester med olika varianter på prognosmodeller kunde dock göras.
- Om data från ett år och en region användes gick det att göra en relativt bra prognosmodell för proteinhalt i maltkorn ($r^2 \approx 0,7$ och $RPD \approx 2$) med hjälp av ett urval av reflektanskvoter från Yara N-Sensor i stadium BBCH69 kombinerat med väderdata. Om man blandade N-sensordata från båda år och regioner blev resultatet sämre ($r^2 \approx 0,5$ och $RPD \approx 1,5$). Antalet kvoter kunde reduceras avsevärt jämfört med alla ingående variabler utan att modellerna försämrades mer än marginellt.
- Det gick att ta fram motsvarande modeller med hjälp av Spot- och IRS-data med 10-20 m spatial upplösning, men precisionen i prediktionen blev något sämre ($r^2 \approx 0,55$ och $RPD \approx 1,6$ i medeltal för två år). Intressant var att MIR-bandet gav viktig information om variationen i proteinhalt. Det kan bero på att reflektansen i MIR-området är starkt kopplad till vatteninnehållet i grödan, och inte ovanligt så kan korn som utsatts för viss vattenstress ha högre proteinhalt.
- En lokal PLS-modell som enbart baserades på kvoten MIR/G och väder fungerade bra vid uppskalning till en regional prediktion av maltkornsprotein i Mälardalen 2007, men i andra fall var det bättre att även inkludera andra kvoter, t.ex NIR/R, vid en prediktion.
- De vädervariabler som användes verkade användbara i kombination med fjärranalysdata. Variationen i proteinhalt över landet kunde till delar ($r^2 = 0,50$) förklaras av skillnader i väder, medan den lokala variationen bättre beskrivs med reflektansdata.

- Med utgångspunkt från de resultat vi fått fram i det här projektet verkar det vara nödvändigt att kalibrera modeller med grödprover, både vad gäller Yara N-Sensor och satellit om man ska uppnå godtagbar noggrannhet i prediktionen.
- I arbetet med informationsspridning som presenterades som bilaga visades att NDVI-kartor även från tidiga satellitscener från växtsäsongen ger en god fingervisning om i vilka områden kornskörden (och veteskörden) kommer att bli hög respektive låg.
- Intresset bland lantbrukare var stort för möjligheterna med satellitbilder. En utveckling gjordes av några funktioner i en gratis mjukvara för att extrahera data från nedladdade satellitscener för att underlätta användning för yrkesverksamma inom jordbruket.

Erkännanden

Projektet finansierades av Rymdstyrelsen (Dnr 163/06 och 194/07). Genom Spot Images forskningssatsning Oasis fick vi tillgång till ett antal äldre satellitscener utan kostnad. NDVI-kartan över Sverige (bilaga D) togs fram med hjälp av medel från Precisionsodling Sverige (POS).

Referenser

- Börjesson, T. & Söderström, M., 2003. Prediction of protein content in cereals using canopy reflectance. In: Stafford, J. & Werner, A (eds.) Precision Agriculture. Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany. Wageningen Academic Publishers. s. 89-94.
- Foltescu, V.L., 2000. Prediction of crop yield in Sweden based on mesoscale meteorological analysis. Meteorol. Appl. 7, 313–321.
- Haboudane, D, Miller, J.R., Trembley, N., Zarco-Tejada, P.J. & Dextraze, L., 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Remote Sensing of Environment 81, 416-426.
- Häggmark,, L., Ivarsson, K-I., Gollvik, S. & Olofsson, P-O., 2000. Mesan, an operational mesoscale analysis system. Tellus, 52A, 2–20.
- Jensen, J.R., 2006. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd Edition, Prentice-Hall, 608 s.
- Korporal, K.D., Dobbins, R. & Hillary, N.M., 1989. The Statistics Canada Crop Condition Assessment Program, Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing, s. 2006-2009, Canadian Remote Sensing Society, Ottawa, Ontario.
- Lancashire, P. D., Bleiholder, H., van den Boom, T., Langeluddeke, P., Stauss, R., Weber, E. & Witzemberger, A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology 119 (3), 561-601.
- Link, A., Panitzki, M. and Reusch, S., 2002. Hydro N-Sensor: Tractor-mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. In: Robert, P.C. (ed.) Proceedings of 6th International Conference on Precision Agriculture (CD), ASA/CSSA/SSSA, Madison, USA, s. 1012-1018.
- Martens, M. & Martens, H., 1986. Partial least squares regression. In: Piggott, J.R. (ed.) Statistical procedures in food research, Bios. Scientific Publ., Oxford, UK., s. 3-31.
- Martens, H. and Naes, T., 1989. Multivariate calibration. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 419 s.
- Miller, V. C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Tech rep. 3, Office of Naval Research, Dept. of Geology, Columbia University, New York.

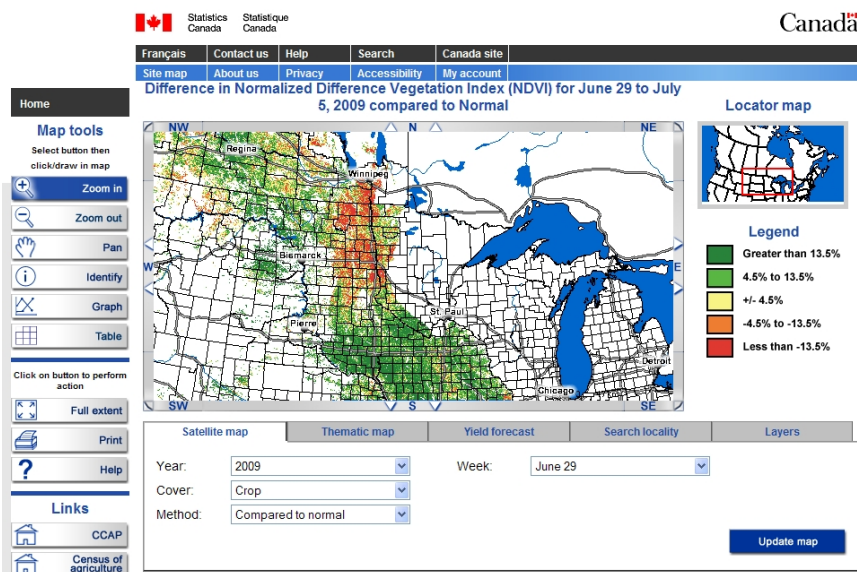
- Pettersson, C. G. & Eckersten, H., 2007. Prediction of grain protein in spring malting barley grown in northern Europe. *European Journal of Agronomy* 27, 205-214.
- Pettersson, C. G., Söderström, M. & Eckersten, H., 2006. Canopy reflectance, thermal stress, and apparent soil electrical conductivity as predictors for within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley. *Precision Agriculture* 7, 343-359.
- Reusch, S., 2003. Optimisation of oblique-view remote measurement of crop N-uptake under changing irradiance conditions. In: Stafford, J. & Werner, A (eds.) *Precision Agriculture. Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture*, Berlin, Germany. Wageningen Academic Publishers. s. 573-578.
- Rydberg, A. & Söderström, M., 2000. Potential crop growth assessment from remotely sensed images compared to ordinary yield maps. *The 5th International Conference on Precision Agriculture*, Minneapolis, Minn. USA.
- Reusch, S., 2005. Optimum waveband selection for determining the nitrogen uptake in winter wheat by active remote sensing. In: Stafford, J. (ed.) *Precision Agriculture. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*, Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publishers, s. 261-266.
- Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F., 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 55, 95-107
- SCB, 1999. Application of Remote Sensing and Crop Growth Model for Estimation of Agricultural Crop Production in Sweden. Dept of Env. of Agric. SCB, Örebro., 49 s.
- Schelling, K., Born, K., Weissteiner, C. & Kühlbauch, W., 2003. Relationships between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare L.*) and phenological and meteorological data. *J Agronomy & Crop Science* 189, 113-122.
- Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor. POS Teknisk rapport 12. 32 s
- Weissteiner, C. J. & Kuhlbauch, W., 2005. Regional yield forecasts of malting barley (*Hordeum vulgare L.*) by NOAA-AVHRR remote sensing data and ancillary data. *J Agronomy & Crop Science* 191 (4), 308-320.

Bilagor A-G

A) Nationella och internationella satellitbaserade system

När det gäller studier av vegetation och dess egenskaper som vigör och biomassa utnyttjas ofta variationen i reflektans mellan det röda och det nära infraröda våglängdsområdet. NDVI (*normalized difference vegetation index*) är det vanligast använda indexet $((NIR-R) / (NIR+R))$, men en rad varianter har utvecklats, t.ex. med målsättning att bättre ta hänsyn till reflektion från jord när vegetationen är mycket tunn, eller det faktum att indexet når mättnad vid mycket högt bladyteindex (Rondeaux *et al.*, 1996). Andra index, vilka till stor del är varianter på eller en utveckling av NDVI, är t.ex. EVI, SAVI, MSAVI, TSAVI, OSAVI, GEMI m.fl. Ibland används även ännu enklare kvotindex som NIR/R. Fördelen med att använda kvoter och index jämfört med reflektansvärden i enskilda våglängdsband är att det reducerar en del problem och osäkerhet som uppstår vid t.ex. skillnader i instrålningsvinklar och skuggeffekter.

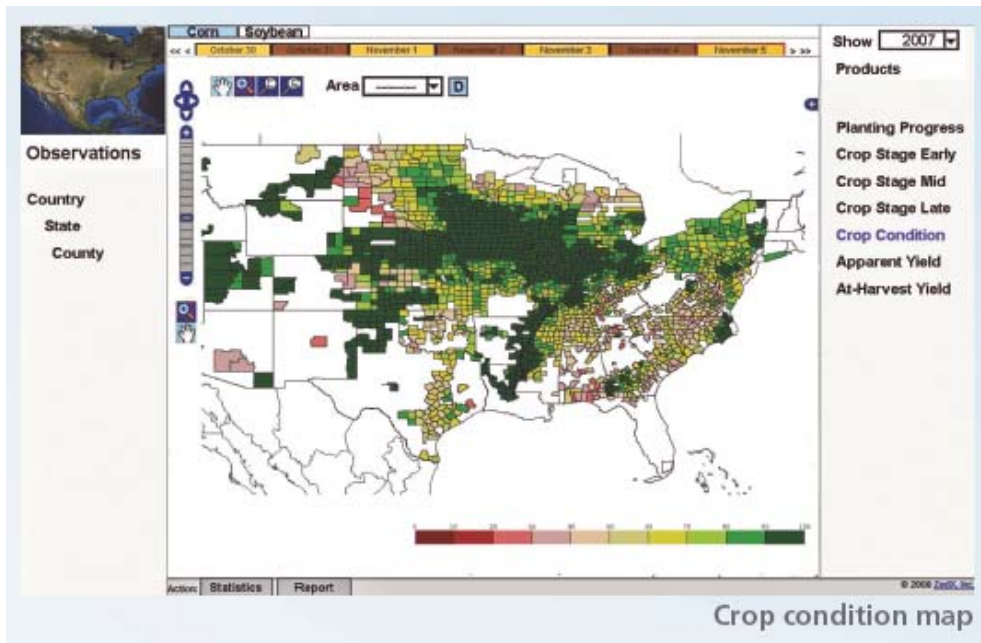
Några exempel på globala eller internationella system, som till stor del bygger på satellitdata och NDVI, för övervakning eller prognos inom jordbruket är t.ex. GIEWS (*Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture* som drivs av FNs organisation för jordbruket FAO), CCAP (*Statistics Canada's Crop Condition Assessment Program*) (figur A1), *CropForecaster* (prognoser för sojaböner och majs i USA från [ZedX, Inc.](#) samt [Infoterra](#)) (figur A2) och MARS (*Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques* som är en verksamhet inom EU med syfte att Europeiska Kommissionen ska kunna följa utvecklingen av jordbruksgrödor för genomförandet av CAP, den gemensamma jordbrukspolitiken) (figur A3).



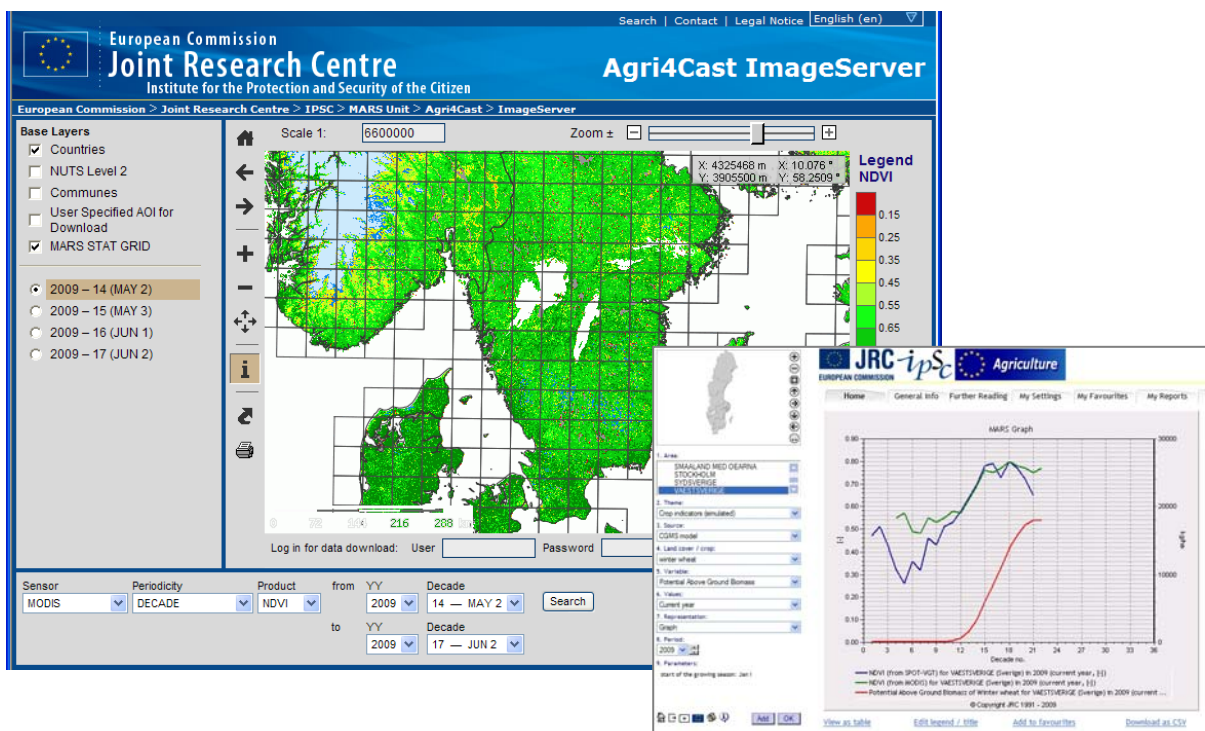
Figur A1. Det kanadensiska systemet CCAP (www26.statcan.ca/ccap/start-debut-eng.jsp) utvecklades redan i slutet av 1980-talet (Korporal *et al.*, 1989) och ger veckovis information om grödtillväxt i Kanada.

Dessa övergripande monitoreringssystem bygger ofta på lågupplösta satellitdata (t.ex. AVHRR med 1,1 km upplösning och sedan några år MODIS-data med 250-500 m upplösning) men som i gengäld kan erhållas dagligen. Dessutom används tillväxtmodeller som i huvudsak baseras på väderdata (WOFOST (Foltescu, 2000)). Enligt en studie som koordinerades av SCB (1999) gav skördeuppskattningen m h a WOFOST användbara resultat (prediktionsfel 8-16%) medan

användningen av lågupplösta satellitdata var begränsad p.g.a att ofta många olika grödor fanns inom pixlarna och att molnigheten var ett stort problem.



Figur A2. CropForecaster (www.cropforecaster.com/) är ett system för USA som ger prognoser för sojabönor och majs baserat på satellitdata och väder. Man anger att prognoser planeras göras även för andra grödor.

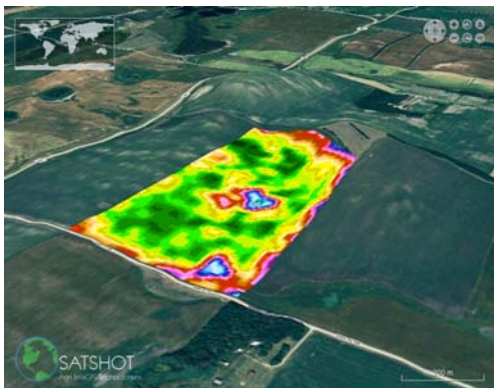


Figur A3. Inom EU-projektet MARS (mars.jrc.it/) tas bl.a olika typer av vegetationsindex fram för hela Europa m.h.a lågupplösta data från t.ex Modis. Dessutom görs grödprognoser som baseras på en agrometeorologisk modell.

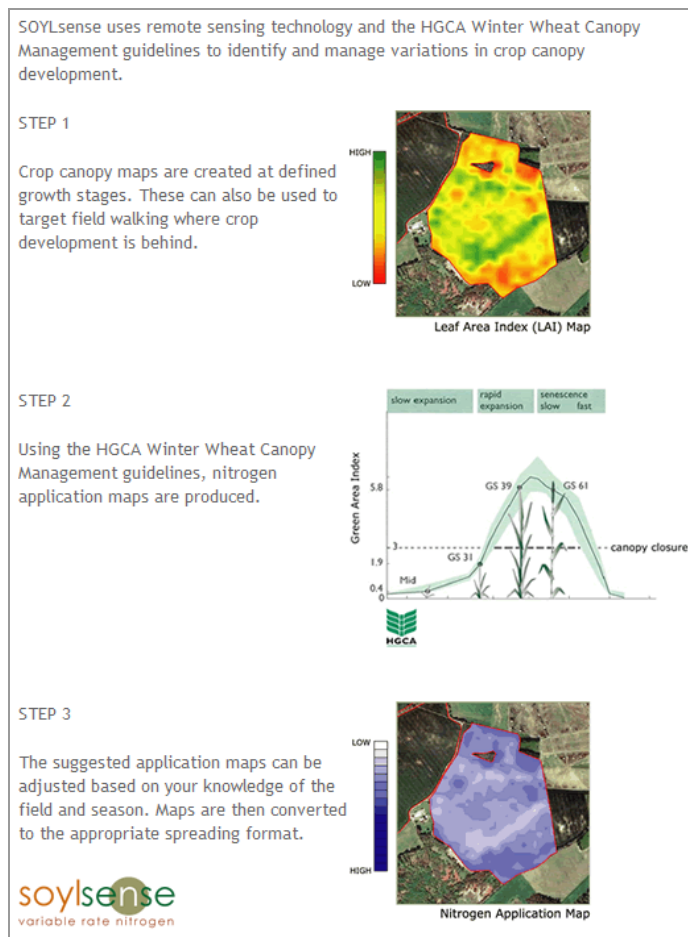
B) Satellitbaserade system för rådgivning till lantbrukare

De internationella och nationella satellitbaserade systemen som baseras på lågupplösta (> 250 m pixlar) data ger begränsad information för den som är intresserad av förhållanden på gårds- eller fältnivå. Det finns emellertid flera tillämpningar som bygger på mer detaljerade satellitdata (> 30 m). Tre exempel ges i figur B1, där avsikten är att tillhandahålla satellitdata från lämplig tidpunkt och beräkna inomfältvariation med hjälp av olika vegetationsindex.

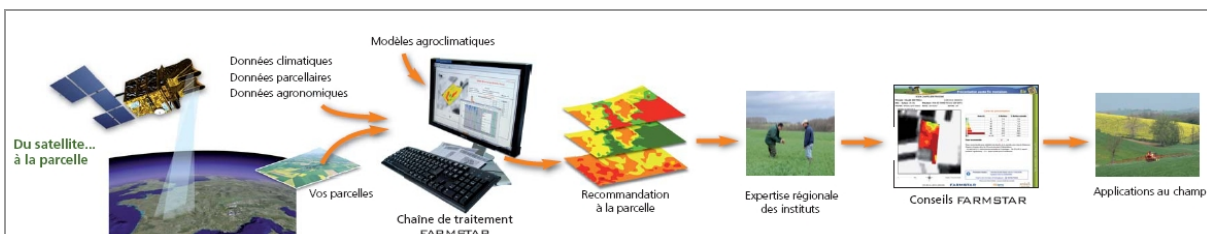
Figur B1. Tre exempel på satellitbaserade tillämpningar som utvecklats med inriktning mot enskilda lantbrukare. a) Satshot från USA, b), SOYLSense från Storbritannien och c) Farmstar från Frankrike. SOYLSense och Farmstar är rådgivningskoncept där man tillhandahåller gödslingsråd, Satshot är en weblösning där användaren får tillgång till satellitdata över sin gård via en kartapplikation.



a) www.satshot.com/



b) www.soyl.co.uk/Services/soylsense.htm



c) www.infoterra.fr/Infoterra/farmstar.php

C) Success

Under 2008 sattes den s.k satellitdatabasen Success i drift. Success innehåller ett urval av historiska satellitdata sedan 1970-talet med i huvudsak en geometrisk upplösning på 10-30 m (Landsat, IRS och Spot). Sedan 2007 uppdateras Success årligen med ett nytt rikstäckande dataset med data registrerade under vegetationsperioden.

Success administreras av Lantmäteriet men driftskostnaderna täcks av Naturvårdsverket, Rymdstyrelsen, Skogsstyrelsen, SLU, Holmen Skog, Vattenfall och Svea Skog. Det är gratis att söka och ladda ned satellitscener och mosaiker (figur C1).

Success

Success hjälper dig att studera förändringar i det svenska landskapet och miljön under drygt tre decennier. Alla kan titta på satellitdata (lågupplöst). För att beställa högupplösta mosaiker och scener ([högupplösta produktexempel här](#)) måste du registrera dig, se [beställningsvillkor](#). Behöver du hjälp att komma igång? [Så här gör du \(nytt fönster\)](#).

The screenshot displays the Success web application interface. On the left, there is a search section titled "Snabbsökning:" with a text input field containing "Trollhättan" and a "Sök" button. Below this is a section "Beställ produkter" with a link "Beställ produkter i det valda området" and instructions: "Den gula rutan visar det valda området. Välj område genom att zooma eller markera ett område med markeringsverktyget." Further down is "Kundvagnen" which is empty, and "Översikt" with a small map of Sweden. The main area shows a satellite map of Sweden for the year 2007, with a yellow rectangular selection box over a central region. At the bottom of the map, there are controls for "Markera" (checkbox), "Avmarkera" (checkbox), and zooming with buttons "Zooma ut" and "Zooma in" and a zoom level indicator showing "0 1 2 3".

Figur C1. Via en kartapplikation kan man söka upp tillgängliga satellitscener i Success (success.lantmateriet.se/), beställa data och ladda ned beställningarna.

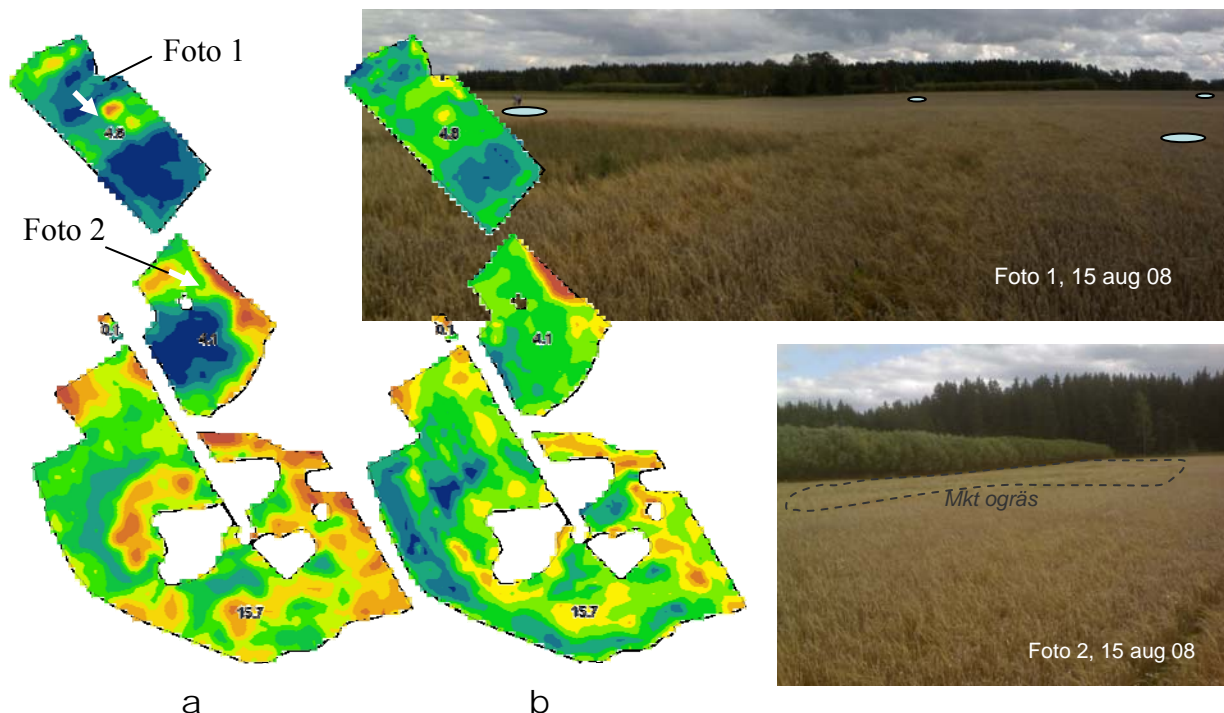
Från Success laddas hela satellitscener ned - olika filformat och koordinatsystem kan specificeras av användaren. Data för ett år har hittills funnits tillgängliga under hösten. För spridning av data utanför den egna organisationen finns det begränsningar. Data som vidareförädlas av användaren kan i vissa fall utnyttjas fritt (se vidare success.lantmateriet.se/).

D) Informationsmaterial och aktiviteter riktade mot yrkesverksamma inom lantbruket

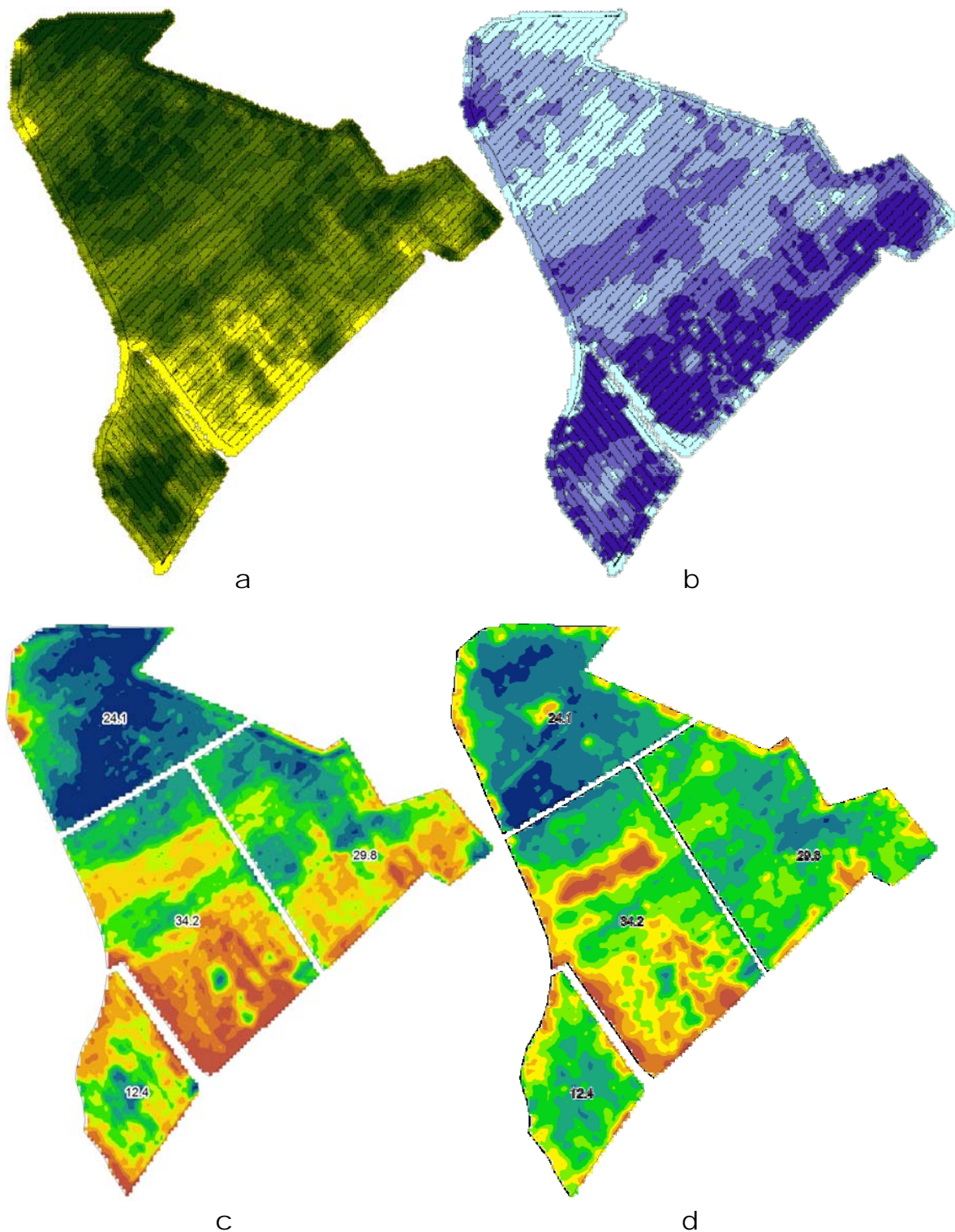
Projektets huvudmål var att ta fram modeller för hur man kan använda fjärranalysdata för att göra prognoser för malkornskvalitet. Förutom spannmålshandeln är tanken att detta ska kunna användas av lantbrukare och rådgivare. En del av projektet har varit att informera dessa yrkesgrupper om vårt arbete samt även att sprida kunskap och intresse om möjligheterna med satellitdata. Saccess har förenklat tillgången till satellitdata, och detta har medfört att det för allt fler inte känns avlägset att börja undersöka hur sådana data ser ut och vad man kan ha det till.

Under 2008 deltog vi med presentationer på olika seminarier med lantbrukare och rådgivare och under 2009 togs informationsmaterial fram i form av postrar (figur D3) samt en digital karta över NDVI över större delen av Sveriges åkermark med en geografisk upplösning på 10x10 eller 20x20 m. I samarbete med Precisionsodling Sverige (POS) (www.agrovast.se/precision) fick vi möjlighet att visa materialet vid tre olika mässor och lantbrukardagar med totalt upp mot 14 000 deltagare. Intresserade lantbrukare kunde förstora kartan över sina fält och få en uppfattning om vad man kan se från satellit. Detta var mycket uppskattat av många, som ofta kunde förklara en hel del av de variationer som gick att se.

Som underlag för att beskriva kopplingen mellan dessa satellitkartor och variationen i skörd inom fälten gjordes en mindre studie som jämförde NDVI-kartor på fem gårdar eller delar av gårdar, framtagna från en Spot 5-scen från 4 juni 2008, med skördekartor (liktande arbete har bl.a gjorts av Rydberg & Söderström, 2000) som gjorts av data från lantbrukarnas tröskor med skördearteringssystem baserade på GPS och kontinuerlig mätning av skörd. I figur D1 och D2 kan man visuellt jämföra variationen i skördekartor från tröskan med NDVI-kartor från satellit på två platser. Här bör man ha i åtanke att satellitbilden i det här fallet är mycket tidig och att dessutom grödan var vårkorn i fyra av fallen (figur D1), vilket gör att en hel del kan komma att hända med grödan innan skörden. I det femte fallet (figur D2, Sjöryd) var grödan höstvetete som då har kommit längre i utvecklingen.



Figur D1. Torp, Västra Götaland. Variationskartor malkorn (orangebrunt = lägst värden; mörkblå = högst värden. Siffror anger areal i hektar), a) NDVI, Spot 2008-06-04; b) Skörd 2008: 3,3 (min 0,7 – max 5,3) ton/ha. Vita pilar visar fotoläget. Punkterna i foto 1 visar läget för proteinprover. Foto: Knud Nissen.



Figur D2. Sjöryd, Västra Götaland. Variationskartor höstvetete a) Biomassa, Yara N-Sensor, 2008-05-15 (mörkgrönt = högst; gult = lägst); b) Kvävebehov, Yara N-Sensor 2008-05-15 (mörkblått = högst; ljusblått = lägst); c) NDVI, Spot, 2008-06-04 (orangebrunt = lägst värden; mörkblå = högst värden. Siffror anger areal i hektar); d) Skörd 2008: 6,9 (min 1,7 – max 10,4) ton/ha (färgskala som i c).

I figur D2 visas även kartor från en tidig skanning med Yara N-Sensor där det finns standardfunktioner för kartering av biomassa och kvävegödslingsförslag. Mönstret i kartorna

känns igen. Perioden mellan Yara N-sensorgödslingen och satellitscenens registrering var mycket nederbördsfattig vilket gjorde att gödslingen inte hade så stor effekt under den tiden.

Det kan vara svårt att göra visuella jämförelser mellan kartor. Som exempel kan nämnas att determinationskoefficienten r^2 mellan NDVI från Spot5 och skördekartan för 48 pixlar jämnt fördelade över det minsta av fälten i figur D2 (12,4 ha) var 0,60. En tänkbar tillämpning skulle kunna vara att med ett sådant enkelt samband skapa skördekartor på fält med motsvarande gröda enbart med hjälp av satellitdata. Om skörden predikteras med satellitdata på övriga fält i figur D2 med hjälp av korrelationssambandet erhålls en ganska god överensstämmelse med den faktiskt karterade skörden (tabell D1).

Tabell D1. Jämförelse mellan faktiskt uppmätt skörd (figur D2d) och skörd som beräknats med hjälp av NDVI (figur D2c) på de tre största fälten på Sjöryd. Prediktionsmodellen baseras på korrelationen mellan skörd och NDVI på det minsta av fälten.

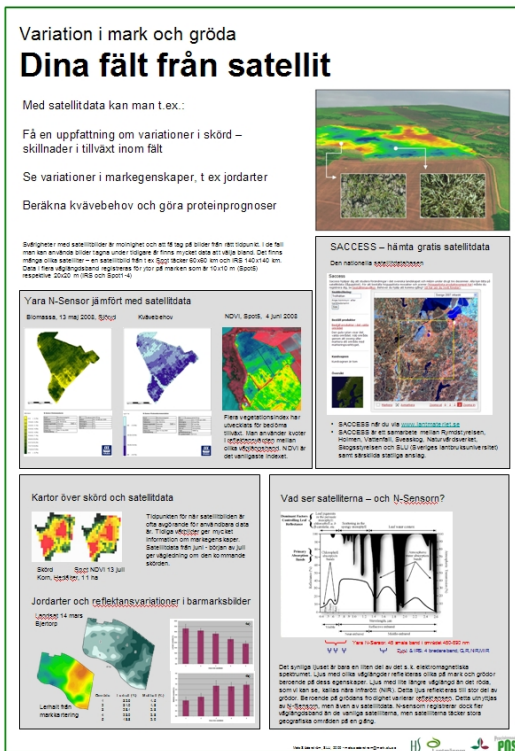
Fält id = areal	Skördeartering medelskörd (min-max)	Predikerad från NDVI medelskörd (min-max)
34,2	5,8 (1,7-9,7) ton/ha	6,2 (2,6-8,1) ton/ha
29,8	7,0 (2,8-9,7) ton/ha	6,9 (2,9-8,3) ton/ha
24,1	8,3 (3,0-10,4) ton/ha	7,9 (2,2-8,6) ton/ha

I framförallt USA är det vanligt att man använder skördekartor som underlag för att dela in fälten i olika brukningszoner inom vilka man anpassar gödslingen efter behovet inom respektive zon. Ett alternativ för den som inte har skördearteringsutrustning på tröskan skulle kunna vara enkla satellitkartor, där man skapar zoner genom att klassindela NDVI. En klassindelning av NDVI kartor kan göras på många olika sätt, vilket påverkar utseendet på de resulterande klassindelade kartorna. Här klassificerade vi fälten på de fem olika platserna i fem klasser. Medelskörd och skördens standardavvikelse beräknades inom respektive klass. I tabell D2 visas medelskörd för respektive NDVI-klass. Skörden varierar i stort sett med NDVI-klasserna utom på Stensberget där variationen mellan klasserna är obetydlig.

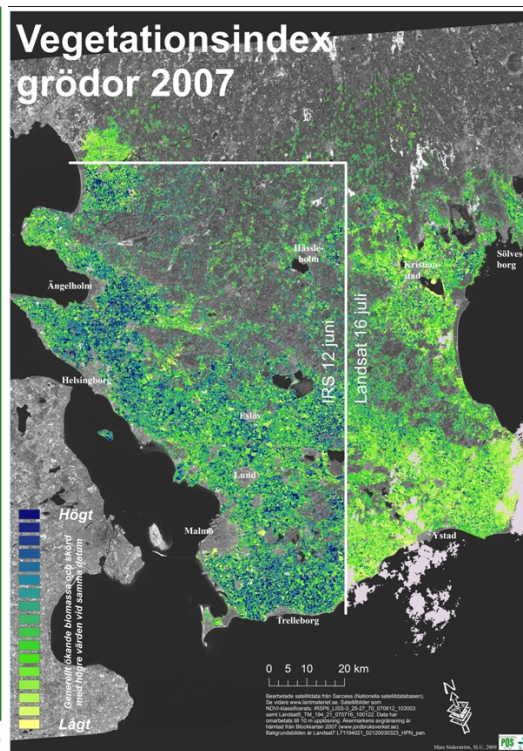
Det finns många olika sätt att göra en klassindelning. Enkla sätt är t.ex lika intervall eller percentiler. I det första fallet delas data in efter differensen mellan högsta och lägsta förekommande värde. I andra fallet bestäms klassgränserna så att lika många pixlar hamnar i var och en av klasserna. Framförallt vid skeva fördelningar av data och om ett fåtal extrema värden förekommer ger de båda metoderna olika resultat. Är man intresserad av att hitta mindre områden med mer uttalat höga respektive låga värden är indelningen i lika intervall att föredra. Vill man ha en jämn fördelning av brukningszonernas storlek väljer man percentiler. Andra metoder kan användas för att anpassa klassindelningen efter datavariationen.

Tabell D2. Resultande medelskörd i olika NDVI-klasser i Spot 5-scen från 4 juni 2008 över Västergötland. Klassindelningen i fem klasser gjordes här i kvintiler. Grödan var vårkorn utom på Sjöryd där det var höstvet.

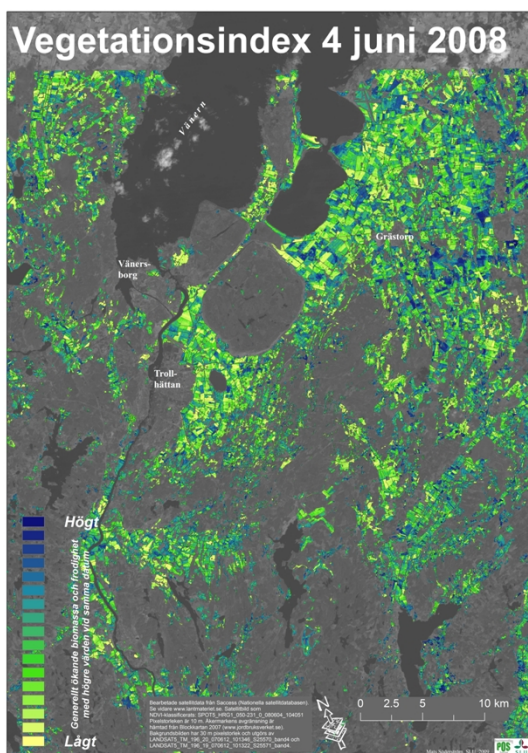
	NDVI-klass (1 = lägst; 5 = högst)				
	1	2	3	4	5
Hökedalen	1.94 ton/ha	2.15 ton/ha	2.30 ton/ha	2.54 ton/ha	2.56 ton/ha
Holmen	2.44	2.68	3.02	3.13	3.20
Torp	2.50	2.85	3.08	3.31	3.45
Stensberget	3.82	3.89	3.93	4.00	3.87
Sjöryd	4.84	6.05	6.99	7.69	8.54



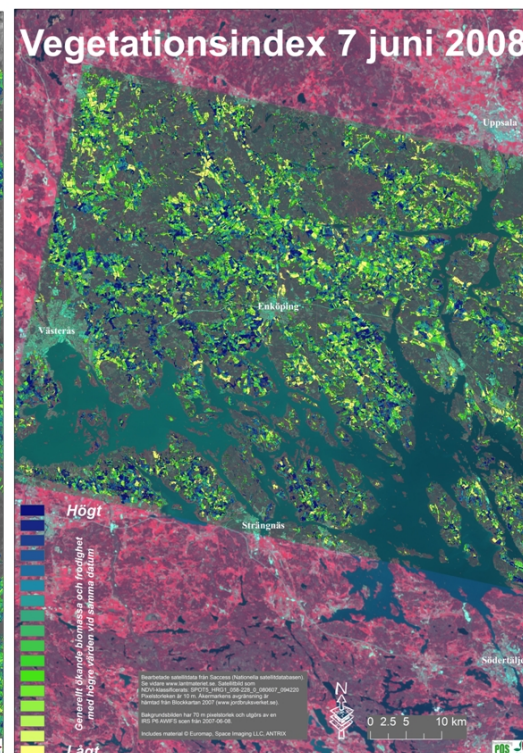
a



b



c



d

Figur D3. Postrar som togs fram till fältdagarna i Borgeby, Logården och Brunnby.

E) Vidareutveckling av gratis datorprogram för extrahering av satellitdata

En stötesten för användningen av satellitbilder är t.ex. datamässiga svårigheter att hantera stora filer och få fram intressant information på ett enkelt sätt. Mjukvaror som är speciellt anpassade för ändamålet är dyra, även om det finns de som kan laddas ned utan kostnad (t.ex. GRASS GIS (grass.itc.it)). För vår målgrupp inom lantbruket är det dock alltför svårt att använda de flesta av dessa program, och dessutom finns inte funktioner som medger att man t.ex. kan ta fram geografiska data i rätt format så att de direkt ska kunna användas för att styra lantbruksmaskiner, t.ex. gödselspridare. PrecisionWizard (PWiz) är ett fristående gratisprogram som har en rad efterfrågade funktioner för precisionsodling, och som är avsett att användas som tillägg till valfritt kartprogram (Söderström, 2008). Som ett led i att möjliggöra användning av satellitdata på gårdsnivå utvecklades i det här projektet ett par nya funktioner i PWiz. Tanken är att man ska kunna ladda ned en satellitscen från t.ex. Saccess och sedan kunna klippa ut den del av bilden som täcker gården. Dessutom utvecklades en funktion för att extrahera pixelvärden från ingående våglängdsband till ett kartlager med vektorpunkter. PWiz är upplagt på sådant sätt att användaren gör beräkningar av olika slag i attributtabeln till ett kartlager som består av ett punktgitter som täcker fälten. Det gör att man lätt kan lägga samman olika typer av information och beräkningar liknar de som görs t.ex. i kalkylprogram, vilket många användare är vana vid. Programmet kan hämtas via Precisionsodling Sveriges Internetsida (www.agrovast.se/precision).

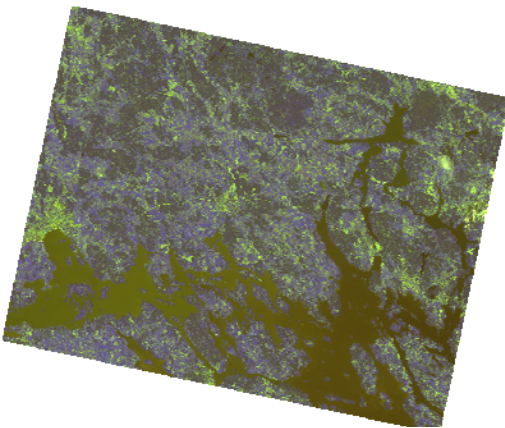


Fig. E1. Nedladdad satellitscen från Saccess t ex Spot-scen med fyra våglängdsband, under förutsättning att formatet är tif.

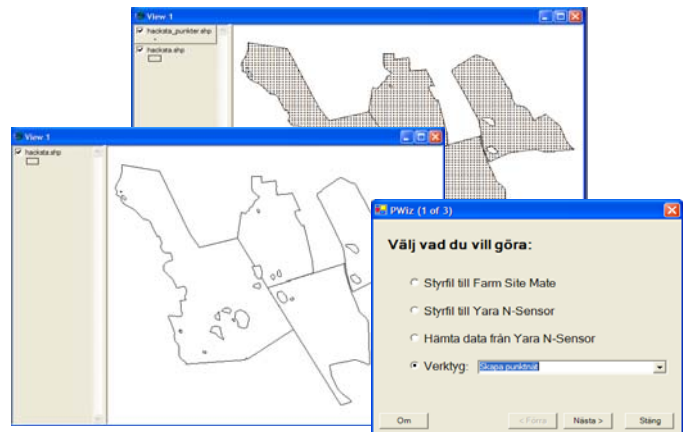
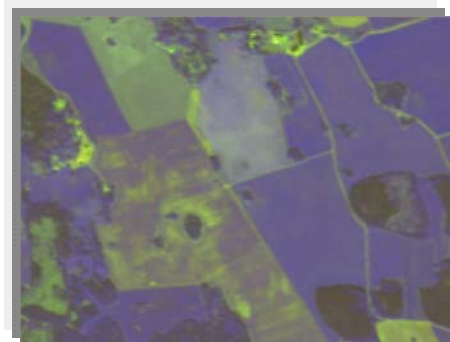
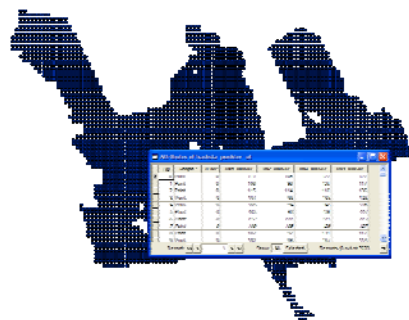


Fig. E2. Vi förutsätter att shapefil (polygon) som visar lantbrukarens fält finns, och att punktnät skapats, vilket kan göras i PWiz.



Figur E3. Utklippt del av satellitscen. med ny funktion i PWiz



Figur E4. Funktion för extrahering av värden från en satellitscen till punktnätets attributtabel.

F) Sammanfattning av informationsspridning i projektet

Konferenser

2009-03-10/11: Fjärranalysdagarna, Stockholm, ca 140 deltagare. Presentation: Uppskattning av malkornskvalitet.

2009-07-06/09: Joint International Agricultural Conference 2009, Wageningen The Netherlands, ca 500 deltagare. Presentation: Within-field and regional prediction of malting barley protein content using canopy reflectance

Seminarier för yrkesverksamma inom jordbruket

2008-10-07: HIR-konferensen 2008, Ronneby, ca 300 rådgivare från Hushållningssällskapen. Presentation: Möjligheter med fjärranalys i jordbruket.

2008-10-28: Precisionsodlingsseminarium, Grästorps, ca 50 deltagare, fr.a. lantbrukare inbjudna av Lantmännen. Presentation: Fjärranalys i jordbruket.

Mässor och lantbrukardagar

2009-06-24/25: Borgeby Fältdagar, 227 utställare, 11 800 besökare

2009-06-30: HS jordbrukardag Logården, Grästorps, ca 1000 besökare

2009-07-02: Brunnby lantbrukardag, Västerås, ca.1000 besökare



Foto: Hushållningssällskapet

Publikationer och rapporter

Fackpress:

Lantmannen, 2008, nr 5, s 34-35. ”Växtodlaren & satelliten”

ATL, 2009, nr 18, s 8-9. ”De gröna näringarna tar hjälp av satellit”

Lantbrukets Affärer, 2009, nr 3, s 30-31. ”Kolla proteinhalten från rymden”

Vetenskapligt:

Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G., Nissen, K. & Hagner, O. 2009. Within-field and regional prediction of malting barley protein content using canopy reflectance. In: van Henten, E.J., Goense, D. & Lokhorst, C. (eds.). Precision Agriculture '09. Wageningen Academic Publishers. ISBN 978-90-8686-113-2. pp. 119-126.

Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G. & Nissen, K. 2009. Using remote sensing to predict malting barley protein concentration. To be submitted to Precision Agriculture.

Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G. & Nissen, K. 2009. Prognoser för malkornskvalitet med fjärranalys. Publiceras i serien POS teknisk rapport. Denna rapport.

Datorprogram

Utveckling av funktioner för extrahering av satellitdata i datorprogrammet PrecisionWizard som gratis kan användas. Nedladdning via (www.agrovast.se/precision).

G) Tankar från Lantmännen – erfarenheter från projektet och hur det kan användas

Ur Lantmännens perspektiv är regionala tidiga proteinprognoser för malkorn av stort intresse. I en fluktuerande malkornsmarknad är det viktigt att ha tillgång till information om kvaliteter tidigt. Idag får man vänta på inleveranserna från odlarna innan man kan agera.

Genom projektet har demonstrerats hur data som finns tillgängliga från olika källor, t.ex. Jordbruksverket, SMHI, Lantmännen, Lantmäteriet och SLU, har kunnat sammanställas och analyseras med hjälp av GIS- och fjärranalysteknik. Markbaserad fjärranalys har praktiskt använts under ett tiotal år inom lantbruket. Kopplingen mellan satellitbaserad fjärranalys och mätningar från traktorer är potentiellt mycket intressant och kan ge underlag för nya arbets- och analysmetoder. Projektet har återigen visat att det är behäftat med vissa svårigheter att basera tidskritisk verksamhet enbart på satellitdata, i synnerhet på våra breddgrader där väderleken kan utgöra hinder för att man ska erhålla data av god kvalitet. När det gäller prognoser för malkornskvalitet har projektet också åskådliggjort att man kan kombinera olika datakällor och modeller för att minska risken att man står helt utan prognos om väderförhållandena varit ogynnsamma. Man kan t.ex. som grund använda en regional modell som enbart baseras på väderdata, men som ändå ger en viss uppfattning om sannolika regionala kvalitetsvariationer.

Lantmännen har idag ett etablerat samarbete med SMHI för flera väderbaserade tjänster riktade till lantbrukare, som bygger på ett kontinuerligt flöde av väderdata. Det rör sig om betaltjänster vilka finns samlade på nätadressen <https://bizmet.smhi.se/bizmet/index2.php>. Här finns, förutom detaljerade vanliga väderprognoser, tjänster som Avdunstningsprognoser (viktiga under skördeperioden), Skördekalculator (daggradsbaserad utvecklingsmodell för grödan) och Sprutväderprognos (sammanvägning av nederbörd, temperaturer och vind). En proteinmodell för malkorn kan vara ett kommande utveckling.

Idag använder Lantmännen inga satellitbilder operativt, så någon struktur för detta finns inte. För att vara tillräckligt värdefull för spannmålshandeln behöver säkra proteinskattningar finnas tillgängliga i mitten av juli, alltså ungefär en månad före skörd. Om vi uppnår detta genom en kombination av väderdata och satellitbilder ligger det i Lantmännens intresse att gå vidare och bygga infrastruktur för en sådan intern funktion.

I projektet har en stor mängd data samlats in, och en hel del ytterligare utvärdering går att göra. Dessutom har vissa nya frågeställningar formulerats, vilka kan kräva fortsatta undersökningar.

**Förteckning över rapporter utgivna av Avdelningen för precisionsodling i serien
*Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter:***

1. Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis
2. Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvetete och ogräsförekomst i vårsäd
3. Delin, S. 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
4. Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005
5. Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006
6. Söderström, M., 2006. PrecisionWizard - Gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-sensor
7. Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS
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)
9. Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006.
10. Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
11. Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält
12. Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor .
13. Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning .
14. Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007.
15. Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.
16. Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold.
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"
18. Lundström, C. (red). 2009. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2008.
19. Börjesson, T. & Söderström, M. 2009. Bedömning av kvalitetsskillnader över tid i vallar avsedda för hösilage med Yara N-sensor.
20. Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G., Nissen, K. & Hagner, O. 2009. Prognoser för malkornskvalitet med fjärranalys.

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 handburen sensor 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, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i ett samarbete mellan bl.a. Svenska Lantmännen, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Svalöf Weibull AB, Yara AB, hushållningssällskap, Greppa Näringsen 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.mark.slu.se/>

<http://www.agrovast.se/precision>