

# JTI-rapport

Lantbruk & Industri

**358**

## Obemannad flygfarkost (UAV) överblickar grödorna

Anna Rydberg  
Olle Hagner  
Mats Söderström  
Thomas Börjesson



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

**2007**



# Obemannad flygfarkost (UAV) överblickar grödorna

*Field specific overview of crops using UAV*

Anna Rydberg  
Olle Hagner  
Mats Söderström  
Thomas Börjesson



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	7
Bakgrund.....	8
Datainsamling för precisionsjordbruk.....	8
Fjärranalys.....	8
Obemannade flygfarkoster .....	8
UAV för precisionsjordbruk.....	9
Syfte .....	9
Material och metoder .....	10
UAV .....	10
Flygfotografering .....	10
Bildkorrigering och mosaikframställning .....	11
Vegetationsindex .....	11
Yara N-sensor.....	12
Handhållen N-sensor.....	12
Insamling av fältdata .....	13
Ogräsinspektion .....	13
Kväveinnehåll och biomassa .....	14
Proteininnehåll.....	15
Resultat .....	15
Flygning .....	15
Bildbehandling: Geometrisk korrektion, framställning av ortofoton och bildmosaiker .....	16
Ogräsförekomst .....	16
Kväveinnehåll och biomassa.....	16
Proteininnehåll .....	17
Diskussion och slutsatser .....	17
Allmänt .....	17
Tillämpningar .....	18
Uppgradering .....	19
Referenser .....	19



## Förord

Steget mellan forskning och praktik är ofta mycket långt. I det här projektet kommer användningen av förarlösa flygplan ett stort steg närmare praktisk användning inom jordbruket. Planet som används har fått generellt tillstånd att flyga professionellt från Luftfartsstyrelsen, och har i denna pilotstudie utvärderats för jordbrukstillämpningar med lovande resultat.

Projektet har genomförts som ett samarbete mellan JTI, SLU och Lantmännen. Projektgruppen har bestått av Anna Rydberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala, [Anna.Rydberg@jti.se](mailto:Anna.Rydberg@jti.se); Olle Hagner, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå, [Olle.Hagner@resgeom.slu.se](mailto:Olle.Hagner@resgeom.slu.se); Mats Söderström, Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skara, [Mats.Soderstrom@mv.slu.se](mailto:Mats.Soderstrom@mv.slu.se) och Thomas Börjesson, Lantmännen, [Thomas.S.Borjesson@lantmannen.com](mailto:Thomas.S.Borjesson@lantmannen.com). Anna Rydberg har varit projektledare och sammanställt resultaten, Olle Hagner har utfört flygningar och bearbetat bildmaterial, Mats Söderström har bearbetat bildmaterial, utfört statistiska beräkningar och arbetat med insamling av fältdata och Thomas Börjesson har ansvarat för insamling av fältdata för ogräs och proteinhalt. Projektet har även fått ta del av material som tagits fram inom projektet *Bildanalys som ett redskap för platsvis ogräsbekämpning*, finansierat av SLF.

Till alla som bidragit till projektets genomförande, både i Skara och Umeå, framförs ett varmt tack.

Studien finansierades av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF).

Uppsala i september 2007

*Lennart Nelson*

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik





## Sammanfattning

Datainsamling för precisionsjordbruk måste ske vid rätt tidpunkt, vara kostnads-effektiv och ha liten eller ingen påverkan på den växande grödan. Ett alternativ för sådan datainsamling skulle kunna vara att använda obemannade flygfarkoster, s.k. UAV (unmanned aerial vehicles) för att ta bilder med hög upplösning i tid och rum över fälten. Syftet med projektet var att testa om ett tillgängligt, relativt billigt UAV-system utrustat med digitalkamera har potential att samla in värdefull information lämplig för precisionsjordbruk. Det studerade systemet är det första i sitt slag i Sverige som har fått generellt tillstånd från Luftfartsstyrelsen att utföra rutinflygningar i oreglerat luftrum för professionella ändamål. Systemet har även liknande tillstånd i andra europeiska länder.

Kartriktiga bilder och ortofotomosaiker i färg (RGB) med hög upplösning tagna från UAVn har jämförts med fältdata. Studien har fokuserat på tre tillämpningar: ogräsförekomst, variationer i kväveinnehåll i vete samt proteinvariation i maltkorn. Värdefull information om variationer i kvävehalt och ogräsförekomst har kunnat samlas in med hjälp av UAVn. Proteininnehåll visade sig dock vara svårt att mäta i denna studie, möjligen beroende på avsaknaden av kamera för registrering i NIR-våglängdsområdet vid tidpunkten för flygning. Dessutom var variationen i proteinhalt låg inom det studerade fältet.

Sammantaget pekar resultaten på att en acceptabel bildkvalitet för datainsamling för precisionsjordbruk kan uppnås från UAVn. Systemet kan bli ett prisvärt redskap för inspektioner av jordbruksfält där tidpunkten är viktig och upprepningar är nödvändiga och studien indikerar att det är möjligt att skapa ett helautomatiskt flygburet karteringssystem i framtiden. I dag finns en IRF-kamera tillgänglig, vilket förbättrar möjligheten att studera variationer i kväve- och proteininnehåll eftersom reflektansen i NIR-området tillför betydande information om det studerade växtmaterialet.

## Summary

Data collection for precision agriculture has to be timely, cost effective and have minimum influence on the growing crop. Unmanned aerial vehicles (UAV) may provide unique spatial and temporal field specific information at a low cost. The objective of this project was to test a currently available, low-cost UAV technology and its potential usefulness for collecting information for precision agriculture. This system is the first fixed wing UAV approved for routine flying in uncontrolled airspace in Sweden. Single images and orthophoto mosaics of high-resolution true colour images have been created and compared to field measurements and the study shows the potential of creating a fully automated aerial mapping system in the future. In this study, focus was set on the occurrence of weeds and N-content variations in wheat. Some comparison between UAV images and the quality of malting barley according to protein content was also made.

Valuable information on nitrogen deficiencies and weed concentration has been collected, indicating an acceptable image quality using the SmartOne UAV for precision agriculture purposes. Protein content, however, proved to be difficult to measure without data from the NIR-spectral range. The actual variation in protein

content was also small for this field, making detect of protein variations with remote sensing more difficult.

This system shows a great potential to be an important tool for future field inspections in order to make frequent, timely inspections of entire fields without any risk of soil compaction. A limitation in this study was the lack of image acquisition in the NIR spectral range, which now is available in the new version of the UAV-system.

## **Bakgrund**

### **Datainsamling för precisionsjordbruk**

En möjlighet till att förbättra ekonomin i växtodlingen, få jämnare kvalitet i skördarna och minimera miljöbelastningen är att så långt det är möjligt anpassa odlingen till de förhållanden som råder på fältets olika delar, så kallad precisionsodling. Emellertid är datainsamling och tillgång till data ett par av flaskhalsarna för precisionsodlingens användning ute på gårdarna. För närvarande baseras många tillämpningar på beräkningar av behov av t.ex. gödsel- och växtskyddsmedel som görs med utgångspunkt från ett relativt litet antal observationer inom fälten. Data från dessa observationer interpoleras sedan så att data täcker hela fältet. Om dataunderlaget för interpolationen är bristfälligt leder detta till osäkra beräkningar och risken ökar för att felaktiga beslut tas rörande mängden insatsmedel.

Det finns ett behov av att kunna utnyttja ny datainsamlingsmetodik som är anpassad till precisionsodlingsändamål. För att få bra information krävs detaljerad rumslig information med hög temporal upplösning. Datainsamlingen måste ske vid rätt tidpunkt, vara kostnadseffektiv och ha liten eller ingen påverkan på den växande grödan. Inom precisionsodling är tidpunkten för datainsamling ofta viktig då vissa intressanta grödastadier endast varar någon vecka samt att grödans status snabbt kan förändras.

### **Fjärranalys**

Fjärranalys, i form av satellit- eller flygbilder, har länge använts inom jordbruket för att få en översiktlig överblick över grödorna på fälten. Klassiska tillämpningar är t.ex. markkarteringar och skördeprognoser. Traditionellt kräver både flygfotografering och satellitbilder god framförhållning för att få till stånd och är idag relativt dyra om inte kostnaderna kan slås ut på stora arealer. De är också mycket väderkänsliga eftersom sensorerna befinner sig ovanför molnen.

Fokus för fjärranalys inom jordbruket har på senare år flyttats från regional till lokal nivå allt eftersom teknik och sensorer förbättrats. Ett vanligt hjälpmedel i dagens precisionsodling är Yara N-sensor som används för att kartera och styra spridning av kväve m. h. a. traktorburen fjärranalys.

### **Obemannade flygfarkoster**

Med obemannade flygfarkoster UAV (unmanned aerial vehicles) som den internationella termen lyder, menas flygplan där föraren befinner sig på marken.

Lastkapacitet, kontrollsystem och bildalstringsmöjligheter varierar mycket mellan olika UAV-system vilket är viktigt att känna till för att förstå deras lämplighet för olika tillämpningar. Storleksmässigt kan UAVer variera i storlek från att vara stora som passagerarflygplan (Global Hawk med 40 m spännvidd), främst avsedda för strategisk höghöjdsplaning till bärbara farkoster i fågelstorlek för taktisk spaning inom närområdet (TacMAV 53 cm spännvidd). De senare benämns ofta som mini-UAV eller micro-UAV. UAV är det område som växer absolut snabbast inom den militära flygindustrin (Blyenburgh, 2007).

Användningen av UAV inom den civila sektorn har ännu så länge varit ytterst begränsad. Orsakerna är framförallt att man inte lyckats tillgodose de flygsäkerhetsmässiga krav som ställs. I princip krävs att ett UAV har minst samma förmåga att upptäcka och undvika annat flyg som en mänsklig pilot. Ett annat krav är att visa att risken för personer på marken skall vara försumbar. En ytterligare orsak till att inte militära UAV annat än undantagsvis kommit till användning för civila ändamål är att kostnadsbilden inte varit konkurrenskraftig med konventionell fjärranalysteknik. Även om det idag finns relativt få exempel på operationell användning av UAV inom den civila sektorn så har potentialen demonstrerats inom en rad tillämpningsområden till exempel: precisionsjordbruk, stadsplanering, skogsbruk, underhåll av infrastrukturer, trafikövervakning och dokumentation av kulturarv och arkeologiska utgrävningar (Eisenbeiss, 2004; Hagner et al., 2006).

Många små UAV baseras till stor del på modellflygplansteknik, men till skillnad mot modellflyg som bara får användas för hobbybruk så är användningen av UAV tillståndspliktig i Sverige liksom i de flesta andra länder.

## **UAV för precisionsjordbruk**

Det finns ett flertal forskningsstudier där UAV-teknik har utvärderats för jordbrukstillämpningar. Schnug et al. (1998) förutspådde att UAV skulle komma att bli ett viktigt redskap för att samla in viktig information lämplig för jordprovtagning och effektivare markkartering. Vioix et al. (2001) har använt UAV inom precisionsodling som ett redskap att markkartera och att bestämma behovet av pesticider och Lowenberg-Deboer (2004) har använt tekniken för skördekartering. I USA har UAV använts för att kartera ogräsförekomst och bevattnings- och gödslingsavvikelser inom kaffeproduktion (Herwitz et al., 2004). Flera UAV-system med obemannade helikoptrar används inom forskning kring precisionsjordbruk (Sugiura et al., 2003).

## **Syfte**

Bra information för precisionsjordbruk innebär detaljerad rumslig information över fältet med hög temporal upplösning till en rimlig kostnad. Syftet med projektet var att testa om ett befintligt mini-UAV har potential att samla in värdefull information lämplig för precisionsjordbruk.

Förutom rent praktiska frågeställningar som hanterbarhet, känslighet för väder och vind etc. så har studien fokuserat på tre tillämpningar: ogräsförekomst, variationer i kväveinnehåll i vete samt proteinvariation i maltkorn.

## Material och metoder

### UAV

Det mini-UAV som använts i denna studie är *SmartOne* som har utvecklats av företaget SmartPlanes AB i samarbete med forskare vid SLU i Umeå inom projektet Intelligent flygplan (IFLYG). IFLYG är ett nätverk av ledande forskargrupper, användare och företag med verksamhet eller intresse för UAV. Nätverkets syfte är att bedriva tillämpningsinriktad forskning och utveckling med fokus på lösningar som krävs för att introducera tekniken inom skogs- och jordbruk. Projektet leds av SLU, Inst. för skoglig resurshushållning och geomatik, Umeå.

*SmartOne* är en så kallad flygande vinge som kastas iväg vid starten. Den prototypversion som användes i den här studien styrdes manuellt, med en konventionell RC-enhet för modellflyg, och har en termisk infraröd horisontsensor som automatiskt stabiliserar planet i planflykt när styrspaken hålls i neutralläge. Tack vare horisontsensorn så kan kameraaxelns avvikelse från lodlinjen normalt hållas inom  $\pm 10^\circ$  även vid flygning på stor höjd och långa avstånd. Föraren styr planet fram och tillbaka över fotoområdet och reglerar flyghöjden med motorvarvtalet. En enkel GPS-mottagare (Garmin Geko 201) användes för att registrera flygrutten.

Nyttolasten utgjordes av en liten digitalkamera (Canon Ixus 50) med 5 Mpixel upplösning som kalibrerats för fotogrammetrisk användning. Olika teknik för att utlösa kameran användes. Dels manuell kontroll med ett reglage på kontroll-enheten, dels automatisk exponering med bestämda tidsintervall (i detta fall 5 sekunder) som ställdes in på flygplanets servokontroll. Systemet kan också utrustas med en radiolänk som skickar ner kamerans sökarbild i realtid, men den möjligheten var inte relevant för denna studie.

Flygplanet drivs med elmotor och uppladdningsbara NiMH-celler som ger en drifttid på upp till 20 in per laddning. Flyghastigheten i planflykt ligger som regel mellan  $12,5 - 15,3 \text{ ms}^{-1}$  (45-55 km/tim). Planet väger endast 1 kg och är 1,2 meter brett mellan vingpetsarna (figur 1). Det är byggt i ett segt plastmaterial och konstruerat för att kunna starta och landa i skogsterräng samt klara av att flyga även i blåsigt väder, lätt regn och kyla.

### Flygfotografering

Fotograferingen utfördes vid två tillfällen under 2005 samt en gång under 2006. Flyghöjden varierades mellan 50 och 250 meter beroende på tillämpning, ljus- och vindförhållanden. De flesta flygningarna gjordes dock på höjder mellan 150 och 200 meter. Luftfartstyrelsens regler medger flygning upp till 300 meter men flygning över 250 meter utan autopilot är opraktiskt eftersom det är svårt att bedöma flyghöjd och position.

Överlappning mellan bilder berodde av flyghöjd, riktning och hastighet samt vindstyrka och vindriktning men låg normalt mellan 70 och 90 % i medrespektive motvind. Överlappningen mellan fotostråk var svår att kontrollera eftersom man inte kan följa förutbestämda linjer med hög precision. För att vara säker på att täcka hela området tvingas man därför att flyga varje stråk minst en

gång extra. En normal flygning som varade i ca 15 minuter resulterade i ca 250 bilder och täckte ett område på ca 300 x 300 meter.

## **Bildkorrigering och mosaikframställning**

Geometrisk korrektion av bilddata kräver noggranna orienteringsdata för varje bild. Med kännedom om bildernas orientering och kameraoptikens egenskaper kan man transformera om bilderna. Orienteringsdata kan antingen mätas direkt med tröghetssensorer ombord på planet eller skattas genom att identifiera punkter i bilderna med kända koordinater. Precisionen kan förbättras om man även identifierar genomsamma punkter i överlappande bilder och optimerar de skattade parametrarna för alla bilder i ett fotoblock.

I denna studie användes programvaran Leica Photogrammetry Suite för Bildmatchning, blocktriangulering och framställning av ortofotomosaiker. Vid manuell flygning baseras orienteringsdata enbart på GPS-mätningar och får därmed sämre noggrannhet än data baserad på tröghetssensorer (INS – inertial sensors) i exempelvis en autopilot. Då behövs det mer efterbearbetning i form av manuellt arbete vid den fotogrammetriska bearbetningen. Geokorrigerade bilder, ortofotomosaiker med högupplösta färgbilder, skapades över flera försöksområden (tabell 1).

Bilder från en del av det fältet blocktriangulerades, korrigerades geometriskt till ett ortofoto och slogs samman till en mosaik m. h. a. programvaran ArcView.

I ett försök att automatisera bildmatchning och identifiering av knytpunkter testades Autostitch (panorama stitching software) på vissa av dataseten. Mjukvaran identifierar automatiskt vilka bilder som överlappar varandra med hjälp av bildmatchningsteknik och skapar därefter en bildmosaik över området. Eftersom processen inte utnyttjar någon tilläggsinformation alls (t.ex. GPS-loggad flygrutt) måste resultatet kontrolleras manuellt för att utesluta vissa bilder som orsakar grova fel. Processen fungerar dock bra i de flesta fall och genererar snabbt en översiktsbild över området. Resultatet är dock inte georefererat och skalan kan variera kraftigt inom mosaiken vilket gör den olämplig för direkt användning i geografiska informationssystem (GIS). Eftersom programmet antar att alla bilder tagits från en och samma utgångspunkt fungerar det bäst över platt terräng och med bilder med nära nadir orientering. En grov geometrisk korrektion gjordes med hjälp av programvaran ArcMap från ESRI genom att identifiera punkter med kända koordinater och transformera om bilden för att jämna ut skalvariationen.

## **Vegetationsindex**

Vegetationsindex innebär att flera våglängdsband kombineras på olika sätt. De används för att minimera oönskade störningar från varierande jordbakgrund eller atmosfäriska effekter (Clevers, 1999). All påverkan av atmosfär, jord och sensor-specifika effekter försvinner inte genom att använda index, men för de flesta tillämpningar där den rumsliga variationen är viktigare än kvantitativa mätningar räcker det oftast med indexvärden. När flera bilder ska slås ihop till en bildmosaik, är indexering nödvändig för att minska effekten av varierande bildvinkel vid bildtagning samt olika tidpunkt för bildtagning (även om tidsskillnaden är liten).

Klorofyllet i växterna gör att grönt ljus reflekteras mest medan mycket av det röda ljuset absorberas. Normalt brukar främst nära-infrarött ljus (NIR) studeras istället för grönt för att titta på reflekterat ljus eftersom andelen reflekterat ljus är så mycket större där, men i denna studie fanns inte tillgång till NIR. I den här studien har indexen  $G/(R+G+B)$  och excess green index  $2G-R-B$  använts för att räkna om UAV-bilderna. Dessa index valdes för att de är det vanligast förekommande index som inte innehåller NIR. I det parallella projektet ("Bildanalys som ett redskap för platsvis ogräsbekämpning" finansierat av SLF) har excess green använts med framgång för att separera gröda från bakgrund.

## Yara N-sensor

Yara N-sensor består av två diode-array spektrometrar, fiberoptik och en mikroprocessor som monteras i ett plasthölje på taket av ett fordon. En spektrometer registrerar reflekterat ljus uppmätt på fyra platser runt fordonet med hjälp av fiberoptik (två på varje sida, riktade snett utåt). Den andra spektrometern registrerar inkommande solstrålning från himlen och registrerar inkommande omgivande ljus för att kompensera för varierande ljusförhållanden. Effekter beroende på solvinkel och skuggor från fordonet kan till stor del undvikas genom att registrera ljus i sned betraktningssvinkel (Reusch, 2003). Vanlig datainsamlingshastighet är en avläsning per sekund. Registrerade data sparas och bearbetas i en användarterminal inne i fordonet. Ytan som avläses utgör ett band parallellt med färdriktningen, vars bredd beror på sensorernas höjd över marken.

N-sensorn levererar en skattning av grödans kvävebehov samt ett index på biomassan. Dessa skattningar baseras på två förbestämda kvoter ("S1" och "S2"). S1 och S2 kan betraktas som vegetationsindex i paritet med exempelvis NDVI, RVI med flera. S1 korrelerar främst med klorofyllinnehållet hos grödan medan S2 korrelerar med biomassan (Hydro Agri, 2000).

## Handhållen N-sensor

Den handhållna varianten av N-sensorn som använts i detta projekt, fungerar på samma sätt som den fordonsburna varianten, men är anpassad för mätning av försöksytor och mäter endast i en riktning. Mätvärdet är med andra ord framräknat från en mätning och är inte ett värde sammanräknat från flera sensorer. Dock görs normalt fyra mätningar av t.ex. en försöksyta från olika håll, just för att minska effekter beroende på solvinkel och skuggor från olika källor.



Figur 1. Smart One UAV utrustad med GPS och digitalkamera.

Tabell 1. Beskrivning av tre olika fältförsök (A,B,C) vid tre olika datum.

Plats	Gröda	Applikation	Datum
A (10)	Havre	Ogräs	22 maj, 2006
B (19)	Höstvete	N-innehåll / biomassa	30 juni, 2005
C (18)	Malkorn	Protein innehåll	30 juni, 2005

## Insamling av fältdata

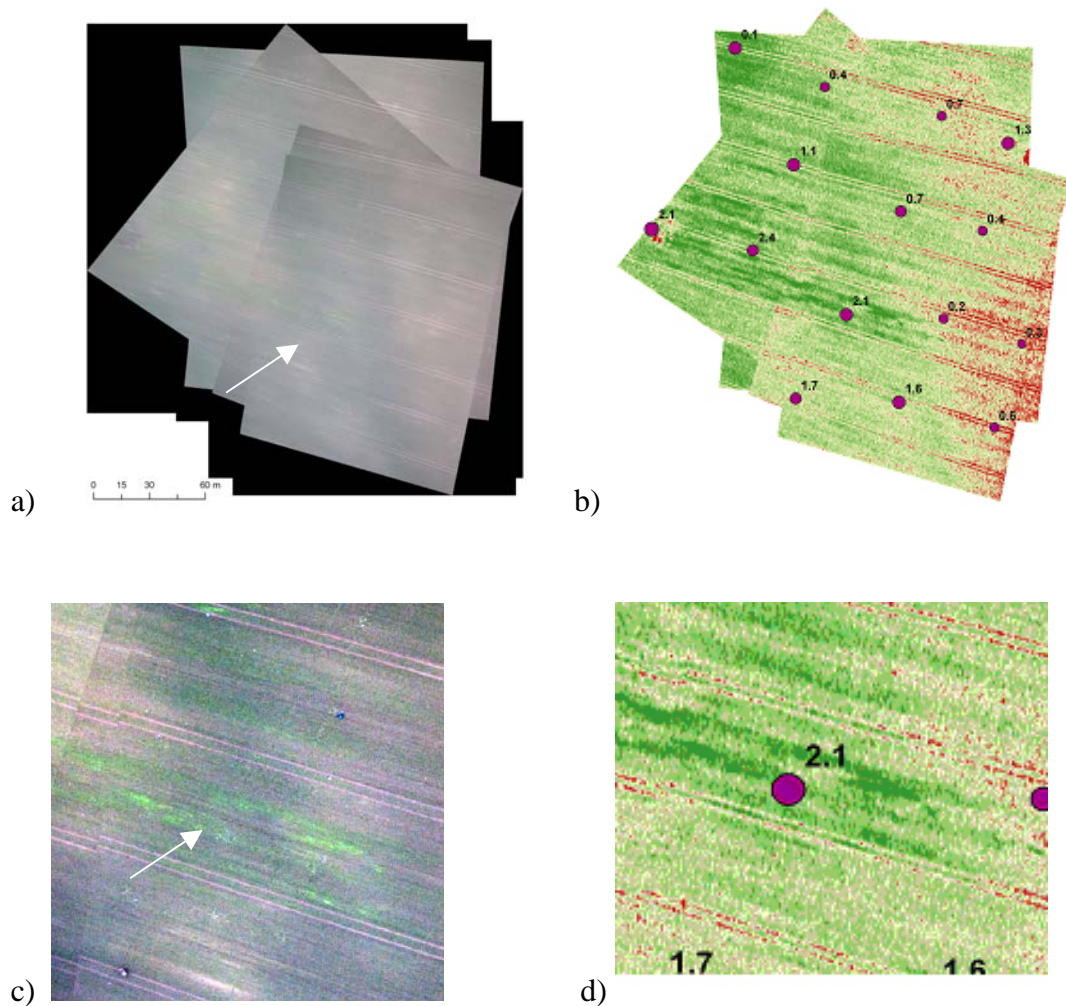
Studieområdet är beläget i närheten av Bjertorp (58.26°N-13.13°E) i sydvästra Sverige. Tre olika fält har använts i studien (tabell 1). Det fanns signifikanta skillnader i marktäckning mellan de olika fälten och mellan de olika datumen för bildtagning. Bilderna från fält A är tagna tidigt under odlingsäsongen och grödorna hade endast uppnått grödastadie 12 på Zadokskalan (Zadok et al., 1974). Bilderna från fält B och C är tagna mitt i växtsäsongen och grödorna har där uppnått grödastadie 55. Grödan på fält B uppvisade stora variationer, vilket delvis kan förklaras av en stor variation i jordarter inom fältet. Grödan på fält C var tät och homogen. Som referensdata på marken användes ogräsförekomst detekterad med bildanalys av marktagna bilder, laboriemätningar av proteininnehåll från grödklipp, biomassabestämningar med Yara N-sensor, och spektrala mätningar med en handburen N-sensor.

## Ogräsinspektion

Analys av ogräsutbredningen med bildanalys (av bilder från en markbaserad kamera) samt bestämning av inomfältvariationen av ogräs har utförts i edet parallella bildanalysprojektet. Dessa marktagna bilder täckte knappt 1 m<sup>2</sup> och var tagna från 1 m höjd i ett regelbundet intervall om 50 m. I det projektet analyserades andelen mark som täcktes av plantor och andelen täckt av ogräs.

UAV-bilder togs från ca 150 m höjd vid samma tidpunkt och över samma område som de marktagna bilderna. Bilder från en del av det fältet blocktrianglerades, korrigerades geometriskt till ett ortofoto och slogs samman till en mosaik m. h. a. Programvaran ArcGIS. I figur 2 kan man se att det föreligger vissa svårigheter att få en perfekt matchning i överlapp på grund av distorsioner i bilderna. De geometriska felen skattades med hjälp av markkontrollpunkter till 2,5 m (standardavvikelse). Dessutom förekom spektrala skillnader mellan bilderna i mosaiken på grund av okorrigerad vinjettering i kameraoptiken (mörkare i bildhörnerna).

Bilderna är omräknade med hjälp av excess green index (2G-R-B). Ett medelvärdesfilter användes för att jämna ut mätvärdena från markmätningen för att bättre passa den geometriska noggrannhet som vegetationsindexbilden beräknad från flygbilden uppvisade. Den indexberäknade flygbilden jämfördes sedan med den analys av ogräs- och planttäthet som baserades på de marktagna bilderna (figur 2b).



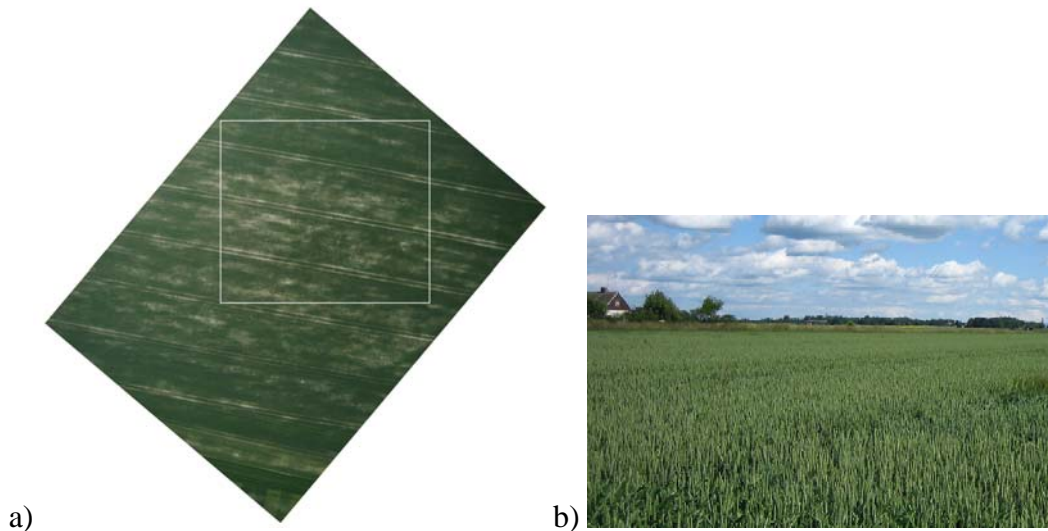
Figur 2. a) Mosaik av UAV-bilder över en del av fält A. Den vita pilen indikerar en yta med hög ogräskoncentration. Ytor med hög andel ogräs har en distinkt ljusgrön färg. b) Spektralt transformerade UAV-bilder m. h. a. excess green index. Punkterna visar platser där markfoton är tagna. c) och d) visar uppförstorade ytor. Siffrorna i d) visar procenten ogräs vid kontrollpunkterna.

## Kväveinnehåll och biomassa

En körning med Yara N-sensor utfördes på fält B vid Bjertorp, den 20:e juni 2005. Rådata konverterades till ESRI shape-format och transformerades till RT90.

På fält B togs bilder den 30:e juni 2005. I figur 3a visas en georefererad bild tagen från 150 m höjd. I denna bild syns tydligt att grödtäckningen varierar mycket, men detta kan vara svårt att se när man befinner sig på marken. (figur 3b). Den vita rektangeln i figur 3a visar den försöksyta i figur 4 som är körd med N-sensorn. I figur 4 är även data insamlad med Yara N-sensor jämförd med indexdata insamlad från flygplanet. Vid klassningen av flygbilden användes indexet  $G/(R+G+B)$  som grund.





Figur 3. a) UAV-bild av del av fält B. Den vita rektangeln har analyserats mer i detalj i figur 4. b) Bild tagen från marken över grödtäckningen på fält B.

## Proteininnehåll

En handburen Yara N-sensor användes för att mäta grödans reflektans på 10 platser i fält C i anslutning till tidpunkten då bilder togs över samma fält med UAVn. För att få mätvärden från en punkt utfördes 4 mätningar i 4 olika riktningar.

Mätningarna gjordes med 60° vinkel i spektralområdet 400 till 1000 nm med 10 nm intervall. Proteininnehåll uppmätt i laboriet på mognad malkornskärna jämfördes med den spektrala signaturen från den handburna N-sensorn (Börjesson, & Söderström, 2003). Indexvärden beräknade från UAV-bilderna jämfördes med proteinberäkningarna från N-sensorn.

## Resultat

### Flygning

Montering och klargöring inför en flygning tog cirka 15 minuter. Själva flygningen tog ca 10-15 minuter beroende på areal och övertäckningsgrad, överföring av bilddata och GPS-logg krävde ca 15 minuter.

Start och landning var enkla att genomföra tack vare stora öppna ytor och risken för att skada utrustningen vid landning var liten. Väderförhållandena varierade kraftigt mellan de olika flygtillfällena, med allt från svag (0-3 m/s) vind och molnfritt till stark vind (9 m/s) och kompakt molntäcke. Planet kunde dock enkelt manövreras utan större problem även i stark vind tack vare horisontsensorn som automatiskt stabiliserar i planflykt. Några av flygningarna genomfördes i lätt regn utan problem. Vid fotografering från 50 meters flyghöjd krävdes solsken för att inte rörelseoskärpa skulle uppstå på grund av långa slutartider. Med minst 150 meters flyghöjd blev bildkvaliteten som regel god även under kompakta moln. Enstaka bilder kunde dock bli oskarpa på grund av vindkytt.

Vid visuell bildtolkning kunde man observera grödans täthet, utvecklingsgrad, såddmönster och dräneringsmönster. Det gick även att upptäcka ogräsförekomst (se nedan), sprutmönster, viltspår med mera. Skillnader mellan olika gödselgivor och sorter kunde tydligt urskiljas i försöksodlingar även om inga kvantitativa mätningar genomfördes i denna studie. På fält där grödan ännu inte slutit sig kunde man observera variation i jordart och fuktighetsförhållanden samt stenighet. Från låg höjd var det även möjligt att urskilja individuella plantor av raps och knippen av stråsäd.

## **Bildbehandling: Geometrisk korrektion, framställning av ortofoton och bildmosaiker**

Arbetet med att identifiera och matcha kontrollpunkter i bilderna krävde en stor arbetsinsats. Trots att området var relativt litet (150 x 150 m) och få bilder ingick i blocket (ca 20) krävdes 6 timmar för arbetet. En bidragande orsak var den relativt låga noggrannheten på orienteringsdata som skattades enbart med hjälp av den loggade GPS-rutten.

Framställning av enkla översiktliga bildmosaiker kunde genomföras relativt enkelt med programvaran AutoStitch. En lågupplöst mosaik med ca 2 meters upplösning tog ca 10 minuter att producera utifrån ett 50-tal bilder. En mosaik med 2 decimeters upplösning tog ca 40 minuter att färdigställa.

## **Ogräsförekomst**

Ogräsansamlingar kunde med lätthet ses med blotta ögat i de obehandlade flygbilderna. Olika bladriktning mellan ogräs och gröda förstärkte de spektrala skillnaderna registrerade från luften. Ogräset hade en karaktäristisk ljusgrön färg och förekom i tydliga strimmor, vilket antyder att flygbilderna kan ge värdefull platsspecifik information om ogräsförekomst. Figur 2 visar en klassificerad mosaik och positionerna på bilderna tagna från marken. Siffrorna anger hur stor procent av markfotot som är täckt med gröda enligt bildanalysberäkningarna.

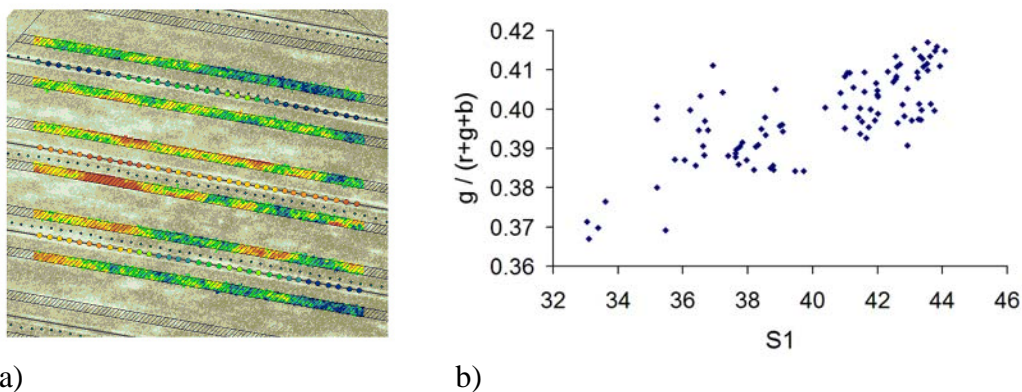
Av 15 markfoton var i medeltal endast 16,5 % (min 8,5 %; max 27) av ytorna täckta med gröda. Motsvarande medeltal för ogräsandelen var 1,1 % (min 0,1 %; max 2,4 %). Det fanns ett förhållande mellan ogräsförekomsten och den totala plantförekomsten i de 15 bilderna tagna från marken ( $r^2 = 0,41$ ). Ett samband på  $r^2 = 0,47$  uppmättes mellan den klassade UAV-bilden och plantförekomsten och med UAV-bilden och ogräs uppmättes endast  $r^2 = 0,09$ .

## **Kväveinhåll och biomassa**

Figur 4 visar både datainsamling från Yara N-sensor och variationer registrerade i UAV-bilder. Punkterna längs korridorerna visar var N-sensorregistreringar uppmätts, medan banden antyder den faktiska ytan som skannats av Yara N-sensorn. Banden är 2,5 m breda och täcker en yta ungefär 4,5-7,0 m från fordonets centrum. Höga S1-värden representeras av mörka punkter (blå) medan ljusare punkter (bruna) representerar låga registrerade värden på S1. På grund av osäkerheten i GPS-värdena och det faktum att GPSen var monterad på ena sidan

av traktorn justerades positionen för registrering till korridorens centrum. Ursprungliga positionen finns också uppritad i figur 4a.

Spektralindexet  $G/(R+G+B)$  jämfördes med det kvävebehov och biomasseindex som registrerats av Yara N-sensor i fält B. Ett samband kunde noteras mellan vegetationsindex S1 från N-sensorn och spektralindexet från UAV-bilderna (figur 4b). Som synes finns ett stabilt förhållande mellan de båda variablerna ( $r^2 = 0,57$ ). Värt att lägga märke till är att UAV-bilden uppvisar en betydande variation mellan banden där N-sensorns registreringar slås ihop såväl som på den yta där N-sensorn inte registrerar alls.



Figur 4. a) Yara N-sensormätningar ovanpå den klassade UAV-bilden på fält B ( $G/(R+G+B)$ ). b) Förhållandet mellan S1-värden från Yara N-sensor och green index-värden beräknade från data i UAV-bilden.

## Proteininnehåll

För skattning av proteininnehållet i fält C med den handburna Yara N-sensorn var förhållandet 0,58 ( $r^2$ ). Det var däremot inte möjligt att skatta proteininnehållet med hjälp av UAV-bilderna.

## Diskussion och slutsatser

### Allmänt

Detta pilotprojekt, som är ett samarbete mellan JTI, Lantmännen samt SLU i Umeå och Skara, har som första svenska studie praktiskt demonstrerat hur mini-UAV kan användas för jordbruksändamål. Jämfört med tidigare studier inom området (se Bakgrund) är steget mellan forskning och praktik i detta fall ovanligt kort. Valet av *SmartOne* som plattform för UAV-projektet berodde dels på det tillstånd för professionell flygning i oövervakat luftrum som Luftfartsstyrelsen nyligen hade beviljat, dels på att själva flygplanskonstruktionen är smidig, robust och flygsäker samtidigt som kostnadsnivån är relativt låg jämfört med liknande system för militärt bruk.

Genom den låga flyghöjden och att flygplan och sensorer kan operera även i mullet och blåsig väder är det möjligt att uppnå bättre tillgänglighet med denna teknik jämfört med konventionell flygfotografering. Jämfört med markbunden inventering kan tekniken ge stora tidsvinster. Den främsta potentialen ligger dock

i möjligheten att kombinera UAV-tekniken med riktad provtagning i fält och möjligheten att spara fältinformationen i kartform. Flygplan och kringutrustning ryms i bagageutrymmet på en normal personbil och systemet kan skötas av en person.

Vid mätning i fjärranalysbilder är det alltid problematiskt att använda mosaiker p.g.a. svårigheten att radiometriskt kalibrera för spektrala skillnader mellan bilder tagna vid olika tidpunkter och med förändrad betraktningssvinkel. Enstaka bilder från hög höjd ger å andra sidan problem med ökad skillnad i betraktningssvinkel med ökat avstånd från centrum av bilden, samt en lägre upplösning. För att bearbeta en stor yta med hög upplösning och relativt liten skillnad i betraktningssvinkel har dock användningen av mosaiker visat sig vara ett bra alternativ för att få fältspecifik information.

Kartriktiga enskilda bilder och ortofotomosaiker med hög upplösning har skapats och jämförts med fältdata och resultaten pekar på potentialen av att använda högupplösta bildmosaiker som genererats automatiskt. En stor flaskhals för praktisk användning av tekniken har varit just avsaknaden av lämplig programvara för automatisk framställning av kartriktiga bildmosaiker. De kommersiellt tillgängliga programvaror som använts i studien har krävt allt för mycket manuellt arbete för att motivera insatsen. Det stora antalet bilder gör att processen måste vara höggradigt automatiserad för att fungera praktiskt. Försök med Autostitch (panorama stitching software) visade dock att bildmatchning och identifiering av knytpunkter kan automatiseras.

## Tillämpningar

I försöket att detektera ogräsförekomsten med UAVn var både grödans densitet såväl som ogräsdensiteten mycket låg. På de platser där grödan växte bra, fanns även mest ogräs, vilket innebar att en större total andel av marken var täckt med växtlighet på dessa platser, något som också kunde noteras i flygbilderna. På dessa platser kunde ogräset detekteras visuellt och markeras, men för den transformerade bilden tog planttätheten över helt. En överensstämmelse mellan de transformerade UAV-bilderna och biomassa kunde däremot noteras för fältet i ogräsförsöket.

Det förhållandevis goda sambandet mellan Yara N-sensorvärdena och bildindexvärdena, trots att information från NIR-området saknades, antyder att bildkvaliteten i bilderna från den använda standardkameran är fullt acceptabel, och att även en vanlig digital bild kan vara användbar i sammanhanget. Till skillnad från den traktorburna N-sensorn som mäter en mindre yta längs körspåren, genererar UAVn underlag till en kartriktig, heltäckande flygbildsmosaik.

Proteininnehållet uppvisar enligt tidigare studier (Pettersson, et al., 2006) ett svagare samband med spektral data än skördedata. Detta visade sig också vara svårare att mäta i denna studie. Avsaknaden av information i NIR området var en klar nackdel vid analys av proteininnehåll. Proteininnehållet varierade inte heller särskilt mycket över fältet, vilket kanske krävs för att det ska kunna registreras från luften.

Värdefull information om variationer i grödans status samt ogrästryck kan samlas in, vilket tyder på en acceptabel bildkvalitet för att använda systemet vid precisionsjordbruk, även med en enkel standardkamera. Detta UAV-system utgör

ett verktyg för jordbrukstillämpningar lämplig för insamling av detaljerad rumslig och punktlig information, till en rimlig kostnad.

## Uppgradering

Vid tiden för rapportskrivning har planet nu utrustats med ett avancerat mini-autopilotssystem (MicroPilot 2128). Autopiloten möjliggör helt autonom flygning från start till landning. Flygplanet detekterar att det startats genom att känna av fartvinden i kombination med accelerationen i kastet och stiger upp till marschhöjd och börjar därefter navigera längs en förprogrammerad rutt. Driftstiden med NiMH-celler var tillräcklig för de relativt små objekten i denna studie men vore marginell för operationellt bruk. Nyare versionen av UAV-systemet använder därför Li-Po celler som ger en drifttid på upp till en timme.

Sensordata loggas kontinuerligt under flygningen vilket i sin tur gör det möjligt att beräkna noggranna orienteringsdata (position och altitud) för alla bilder vilket i sin tur kan effektivisera efterbearbetningen avsevärt. Det finns numera även en infraröd (NIR)-konverterad version av kameran som inte fanns tillgänglig vid tidpunkten för fältförsöken.

Med INS-baserad orienteringsdata och nyutvecklad mjukvara är det numera möjligt att automatisera hela den fotogrammetriska processen. Med automatiskt producerade mosaiker blir systemet betydligt mer användarvänligt eftersom den största flaskhalsen i projektet var just avsaknaden av lämplig programvara för automatisk framställning av kartriktiga bildmosaiker.

## Referenser

- Blyenburgh, P., 2007. Unmanned Aircraft Systems - The Global Perspective, UVS International, sid. 211.
- Börjesson, T. & Söderström, M. 2003. Prediction of protein content in cereals using canopy reflectance. Ur: Stafford, J. & Werner, A (eds.): Precision Agriculture. Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. sid. 89-94.
- Clevers, J.G.P.W., 1999. The use of imaging spectrometry for agricultural applications. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54: 299-304.
- Eisenbeiss, H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. In: International workshop on Processing and visualization using high-resolution imagery, 18-20 November, Pitsanulok, Thailand.
- Hagner, O., Joyce, S., Björk, J., Olsson, H., Mårtensson, Söderström, M., Börjesson, T., & Rydberg, A., 2006. Erfarenheter av mini-UAV användning (Experiences of using mini-UAV), Jord och skogsGIS seminarium, Jönköping, GI-Norden ([www.ginorden.org/arrangement/gikonferanser](http://www.ginorden.org/arrangement/gikonferanser)).
- Herwitz, S.R., Johnson, L.F., Dunagan, S.E., Higgins, R.G., Sullivan, D.V., Zheng, J., Lobitz, B.M., Leung, J.G., Gallmeyer, B.A., Aoyagi, M., Slye, R.E., & Brass, J.A., 2004. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. Computers and Electronics in Agriculture 44: 49-61.

- Hydro Agri, 2000. Precise: a sixth sense for agriculture. Hydro Agri, Upton, UK.
- Lowenberg-Deboer, 2004. Uninhabited Aerial Vehicles (UAVs) at the 2004 Top Farmer Crop Workshop. ([www.agecon.purdue.edu/topfarmer](http://www.agecon.purdue.edu/topfarmer)).
- Pettersson, C.G., Söderström, M., & Eckersten, H., 2006. Canopy reflectance, thermal stress, and soil electrical conductivity, as predictors for within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley. *Precision Agriculture*, 7 (5) 343-359.
- Reusch, S., 2003. Optimisation of oblique-view remote measurement of crop N-uptake under changing irradiance conditions. Ur: Stafford, J. & Werner, A (eds.). *Precision Agriculture. Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. sid. 573-578.
- Schnug, E, Panten, K & Haneklaus, S. 1998. Sampling and nutrient recommendations – the future. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal. Monticello, N.Y., Marcel Dekker Inc.* 1998. v. 29(11/14), 1456-1462.
- Sugiura, R, Fukagawa, T, Noguchi, N., Ishii, K., Shibata, Y., Toriyama, K, 2003. Field information system using an agricultural helicopter towards precision farming. *Advanced Intelligent Mechatronics*, 2, sid. 1073-1078.
- Vioix, J-B, Douzal, J-P, Assemat, L & Le Corre, V, Dessaint, F & Guillemin, J-P. 2001. Development of a combined spatial and spectral method for weed detection and localisation. Ur: Grenier G & Blackmore S (ed.): *ECPA 2001. Third European Conference on Precision Agriculture (vol. 2)*. agro Montpellier, sid. 605-610.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14 415-421.



## **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...**

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på [www.slu.se](http://www.slu.se)

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

*JTI-informerar*, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

*JTI-rapporter*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,  
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: [bestallning@jti.se](mailto:bestallning@jti.se)



**JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik**

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA

Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4

Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: [www.jti.se](http://www.jti.se)