



NIKU Oppdragsrapport 76/2010

Flybåren hyperspektral skanning og flybåren magnetometer

Uttesting av nye fjernmålingsmetoder for
kulturminneforvaltning og -forskning.

Ole Risbøl
Anneli Nesbakken
Lars Gustavsen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
2	Bakgrunn.....	4
3	Hyperspektral skanning.....	6
3.1	Uttesting av hyperspektral skanning i Vestfold 2009.....	9
3.2	Oppsummering.....	14
4	Flybåren magnetometer.....	15
4.1	Uttesting av flymag i Elverum 2008-2009.....	15
4.2	Oppsummering.....	20
5	Avslutning.....	21
6	Kilder.....	22

1 Innledning

Formålet med arbeidet har vært å teste ut nye fjernmålingsmetoder til bruk i kulturminneforvaltning og -forskning som et videre arbeid i forhold til det NIKU har gjort med flybåren laserskanning (FLS) siden 2005. Gjennom et MOV/FoU-prosjekt finansiert av Riksantikvaren har vi undersøkt mulighetene for bruk av flybåren hyperspektral skanning og flybåren magnetometer for påvisning av arkeologiske kulturminner.

Uttesting av flybåren hyperspektral skanning gjøres i et samarbeid mellom NIKU og firmaet TerraTec, som er blant de ledende i Norge på innsamling og behandling av geografisk informasjon. TerraTec har igangsatt et utviklingsprosjekt med mål om å teste ut teknikken og komme fram til hensiktsmessige innsamlings- og prosesseringsrutiner. Hos TerraTec er en masterstudent tilknyttet prosjektet i tillegg til to av deres egne ansatte. De ønsker å samarbeide med NIKU for å utvikle databehandlingsrutiner tilpasset arkeologisk bruk. NIKU er svært interessert i å undersøke metodens potensial for funn av ikke-synlige kulturminner. Gjennom uttestingsprosjektet har vi fått anledning til å bruke den arkeologiske kunnskapen i NIKU i kombinasjon med den tekniske ekspertisen hos TerraTec til nyttig kunnskap for begge parter og på den måten framskaffet oss innblikk i hyperspektral skanning som metode.

Uttesting av flybåren magnetometer (flymag) gjøres i samarbeid med firmaet TGS Nopec som er et verdensomspennende selskap som driver med geofysisk kartlegging fra fly. Firmaet driver med storskala kartlegging av geologi som grunnlag for utnyttelse av olje- og gassressurser over hele verden. Selskapets norske avdeling har i de senere årene jobbet med å utvikle et ubemannet småfly (også kalt drone eller UAV = Unmanned Aerial Vehicle) med det formål å kunne fly nærmere bakken i forbindelse med selve datainnhenting og dermed få bedre oppløsning på dataene som viser forskjeller i de magnetiske forholdene på og under jordoverflaten. Siden 2007 har NIKU og TGS Nopec hatt et uformalisert samarbeid gående i forhold til å teste ut muligheten av å bruke flymag-opptak fra dronen til fjernmålingsbasert kartlegging av kulturminner som er sterkt magnetiske, i første omgang slagghauger på jernvinneanlegg. I likhet med samarbeidet med TerraTec om den hyperspektrale skanningen har vi fått anledning til å bruke vår arkeologiske kunnskap i kombinasjon med den tekniske ekspertisen hos TGS Nopec til gjensidig nytte for begge parter.

NIKU har fått økonomisk støtte fra Riksantikvaren til totalt fire ukers arbeid med dette. Prosjektet har omfattet arbeidsmøter med TGS Nopec og TerraTec, kunnskapsoppbygging om metodene, assistanse til analyser og tolkning samt utarbeidelse av denne rapport som sammenstiller resultatene/erfaringene fra samarbeidene. I denne rapporten vektlegges NIKUs del av prosjektet, og de felles resultatene. Arbeidet i NIKU ble ledet av Ole Risbøl med Lars Gustavsen og Anneli Nesbakken som prosjektdeltakere. Arbeidet er gjennomført i perioden 20. november 2009 til 31. mars 2010. NIKU vil gjerne takke Riksantikvaren, TerraTec og TGS Nopec for deres bidrag, og godt samarbeid.

2 Bakgrunn

NIKU har de senere årene arbeidet med ikke-destruktive metoder for søk etter og dokumentasjon av kulturminner både fra lufta og på bakken. Flybåren laserskanning (FLS) har vist seg som en nyttig metode for påvisning av kulturminner som er synlige over bakken (Risbøl 2009). NIKU har i det siste vært i dialog med kommersielle aktører som utvikler geofysiske og elektromagnetiske fjernmålingsmetoder som kan ha interesse for kulturminneforvaltning og -forskning. I denne rapporten skal det innledende arbeidet med to forskjellige teknologier presenteres: flybåren hyperspektral skanning og flybåren magnetometer.

Firmaet TerraTec har investert i utstyr og startet et utviklingsprosjekt som går på bruk av flybåren hyperspektral skanning som resulterer i en optisk avbildning av terrenget. I disse optiske opptakene ligger det mye informasjon; bl.a. har de et potensial i forhold til å finne ikke-synlige kulturminner. Et hyperspektralt opptak har langt større radiometrisk presisjon og rekkevidde enn tradisjonelle kameraer med 3(RGB) eller 4(+IR) kanaler. Det vil derfor være grunn til å tro at slike opptak vil egne seg godt til å finne vegetasjonsspor (cropmarks). NIKU har i oppstartsfasen bidratt med kunnskap om hvor det finnes lokaliteter med sikre vegetasjonsspor som blir brukt i uttestingen av skanningsutstyret. Vi har plukket ut tre områder i Vestfold som vi mener egner seg godt i et slikt prosjekt: Virik i Sandefjord kommune samt Lunde og Odberg i Larvik kommune. På Virik ble det gjort flyfoto-opptak på 70-tallet som viser et fjernet gravfelt samt diverse spor etter bosetning - bl.a. langhus. På Lunde er det observert vegetasjonsspor i form av overpløyde gravhauger og et felt med kokegroper. På Odberg er det også snakk om fjernete gravhauger, påvist på flyfoto og i multispektrale satellittdata. Satellittprosjektet, et norsk prosjekt initiert og ledet av Riksantikvaren, har som mål å utvikle kostnadseffektive metoder for kulturminnedetektering. I prosjektet arbeider Norsk Regnesentral med oppbygging av automatiserte metoder for søk etter ringformede strukturer, spor etter gravhauger, i multispektrale satellittdata. Satellittprosjektet fant flere ringformede strukturer på Odberg i data fra våren 2005. NIKU ønsker å følge opp arbeidet med de hyperspektrale dataene fra flyskanning, og er invitert inn i et fortsatt samarbeid med TerraTec som også har knyttet en masterstudent til seg på dette tema.

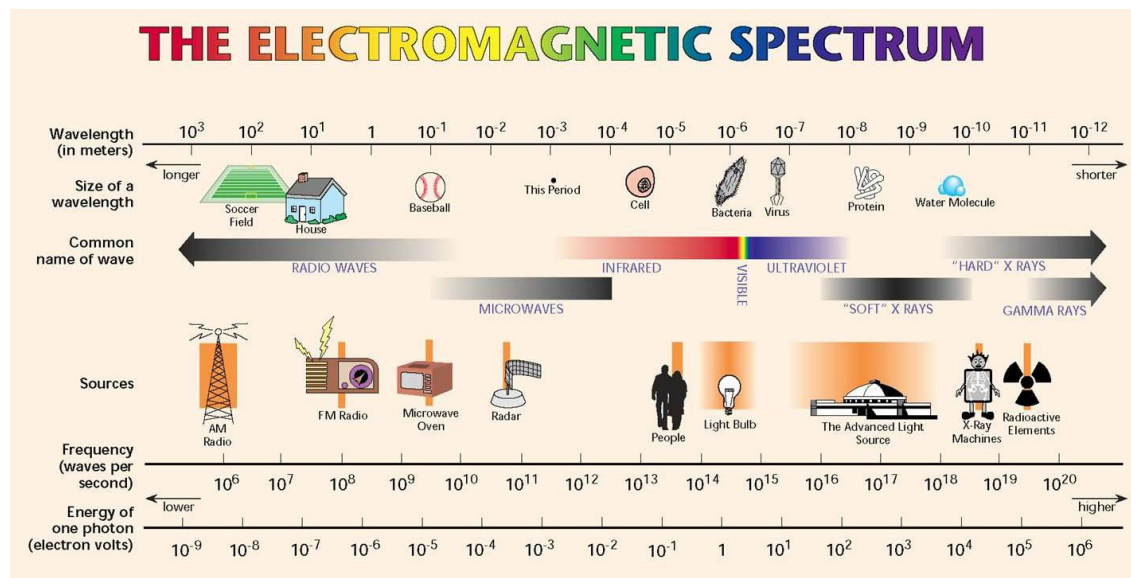
Flybåren magnetometer (flymag) er en metode som brukes til bl.a. geologisk kartlegging samt olje- og gassleting. Frem til nå har det mest vært brukt vanlige småfly til kartleggingen, noe som har gjort at man må holde en såpass stor flyhøyde at kartleggingen har vært relativt grov sett med våre øyne og sett i forhold til muligheten for å detektere mindre objekter/flater på bakken slik som vi er interessert i å kartlegge. Firmaet TGS Nopec har imidlertid utviklet et lite ubemannet fly (også kalt drone) som magnetometerutstyret er montert på. Formålet er bl.a. å kunne komme nærmere bakken og dermed opererer på et mer finskala nivå. I motsetning til laserskanning er dette en passiv metode (det sendes ikke stråler ned mot bakken) og nærhet til det som skal kartlegges er dermed en fordel akkurat som når en driver med geofysisk kartlegging på bakken. Flyet styres via et GPS-system med innprogrammert flyrute og TGS Nopec ser for seg at dette også vil kunne bli en kostnadseffektiv metode for geologisk kartlegging.

Med finansiell støtte fra Riksantikvaren har NIKU siden 2005 testet ut flyskanning som har vist seg å være anvendelig til å påvise, kartfeste og dokumentere mange kulturminnetyper som er synlige over bakken. En viktig utfordring som er avdekket gjennom vårt arbeid med FLS er å påvise slagghauger på jernvinneplasser fordi de har en utflytende form og en størrelse som gjør dem vanskeligere å detektere enn andre kulturminner med mer klar geometrisk form. Påvisning av anomalier skjer ved en visuell inspeksjon av digitale terrengmodeller generert på basis av disse dataene. Det vi har som en arbeidshypotese er at man ved å kombinere flyskanning og flymag i høyere grad vil kunne få med seg

jernvinneanleggene som finnes i rikt tall på det indre Østland og i Midt-Norge. Med vanlig bakkebasert magnetometer er det også mulig å påvise ikke-synlige kulturminner slik som ildsteder, tufter, kokegroper osv, men det er mer usikkert om de vil kunne fanges opp med flymag på grunn av at de har et lavere nanotesla-nivå (er mindre magnetiske enn slagghauger). I forbindelse med TGS Nopec sin utvikling av det ubemannete flyet har de testet det ut på Starmoen i Elverum. NIKU har vært i dialog med firmaet under uttestingsperioden og de har vist stor interesse for å bruke jernvinneanlegg i Elverum-traktene som en del av uttestingen. Vi har levert dem shape-filer som viser registrerte jernvinneanlegg nær flystripa og de har lagt opp rutene etter disse. Den siste flyvingen ble gjort i september og TGS jobber nå med å bearbeide dataene. TGS Nopec ønsker å dele dataene med NIKU og å samarbeide om tolkningen av disse.

3 Hyperspektral skanning

Hyperspektral skanning registrerer elektromagnetisk stråling. Elektromagnetisk stråling kan forklares som bølger med ulike bølgelengder. Gammastråling og røntgenstråling er i én ende av spekteret med sine svært korte bølgelengder mens vi i motsatt ende finner mikrobølger og radiobølger med lange bølgelengder (figur 1).

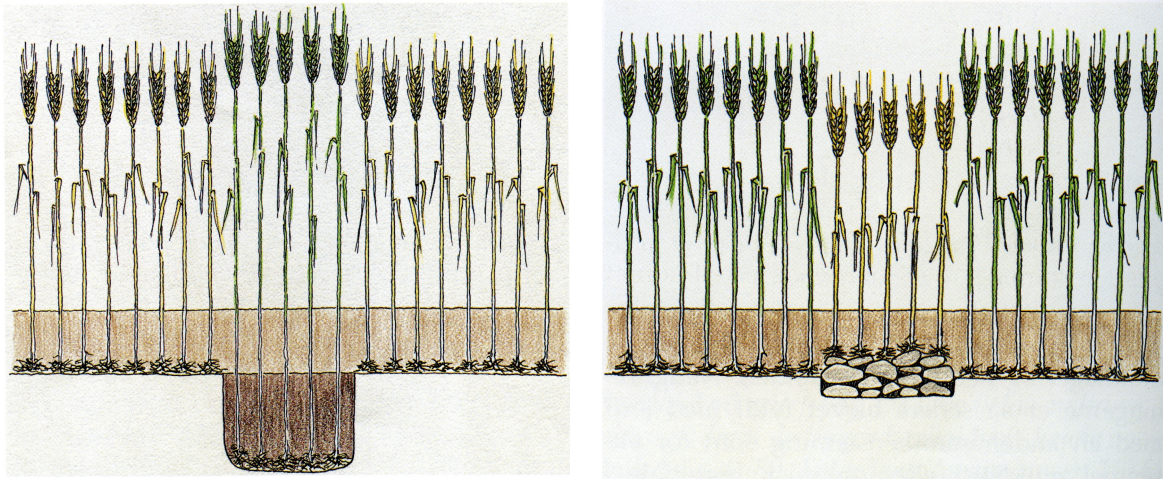


Figur 1 Elektromagnetisk spektrum. Det synlige lyset utgjør en svært liten del av spekteret, den spektrale bredden er ikke vist i riktige proporsjoner i modellen (www.fotonik.no, www.energifakta.no)

Den hyperspektrale skanneren brukt i vårt prosjekt måler kun en liten del av spekteret: det synlige lyset og nær-infrarød stråling. Det vil si bølgelengder fra ca. 0,4-2,5 μm (mikrometer) (Norsk elektro optikk 2009). Sollys som stråler mot bakken vil enten bli absorbert, reflektert, brutt eller spredt. For eksempel kan planter absorbere noen bølgelengder de har nytte av, mens de reflekterer mer av andre som er mindre nyttige. Klorofyllet i friske planter vil absorbere mye rødt men reflektere mye blått, gult og grønt. Vårt øye oppfatter dette som plantens grønnfarge. Når klorofyllet i planten endres vil det gi en annen absorpsjon og refleksjon. På denne måten kan måling av reflektert lys fra ulike bølgelengder fortelle noe om plantehelsen. Skannerene som er brukt i vårt prosjekt måler passiv, reflektert stråling; mengden solstråler som er reflektert fra vegetasjon eller annet på bakken. Bølgene registreres på mange adskilte smale bånd, slik at mengden stråling på hver bølgelengde kan skilles fra stråling med litt kortere eller lengre bølgelengder.

Infrarød stråling kan fange opp variasjoner i eksempelvis fuktighet, plantehelse og jordkjemi. Ved skanning av lengre bølgelengder innenfor det infrarøde spekteret kan også varmelagring og temperaturforskjeller måles.

Variasjoner i fuktighet på bakken og i plantehelsen kan vise til arkeologiske spor under bakken. For eksempel kan murer eller steinpakninger under bakken gi dårligere fuktighet og næringsgrunnlag, som igjen gir dårligere plantehelse på overflaten rett over disse sporene (figur 2). Tidligere tiders graver, kokegropen eller andre nedgravninger kan gi ekstra næring og fuktighet, og ekstra god plantehelse på overflaten.



Figur 2 Illustrasjon av hvordan arkeologiske spor under bakken kan gi vegetasjonsmerker (Eriksen og Olesen 2002)

På bar mark uten vegetasjon kan forskjeller mellom ulike mineraler i bakken vises gjennom forskjeller i de spektrale signaturene til ulike kjemiske stoff. Der de arkeologiske sporene har en annen kjemisk sammensetning enn områdene rundt, kan de identifiseres og vises ved hjelp av den hyperspektrale skanningen.

Ordinære flyfoto har vært tilgjengelige og brukt i arkeologien i flere tiår, spesielt i Storbritannia. I Norge har det vært tatt enkelte initiativ, for eksempel Per Haavaldsen (1976) og i de siste årene Lars Forseth i Nord-Trøndelag fylkeskommune (Aas og Grolid 2007), men i et langt mindre omfang enn det som er tilfellet i en rekke andre europeiske land. Også infrarøde flyfoto har vært tilgjengelige en stund og blitt brukt blant annet av faggrupper som arbeider med kartlegging av vegetasjon. De siste årene har flere miljøer utforsket multispektrale opptak fra satellitter som lett tilgjengelige og rimelige data for både synlig og infrarød stråling. Det har også blitt gjort enkelte studier med multispektrale skanninger fra fly. Multispektrale data registrerer elektromagnetisk stråling, men på færre og derfor bredere bånd enn tilfellet er med hyperspektral skanning. De multispektrale dataene er ofte registrert på 12 bånd, som dekker både synlig lys, nær-infrarødt og i en del tilfeller også de lengre bølgelengdene i området som kalles termal infrarødt. Hyperspektral skanning fra fly skiller seg fra multispektral skanning fra satellitter blant annet gjennom at den hyperspektrale tas opp på flere, men smalere bånd, ofte flere hundre. Selv om de multispektrale bildene fra satellitter får en stadig bedre oppløsning, er skanning fra fly vanligvis enda mer detaljert i og med at den gjøres nærmere bakken. I tillegg blir det vanligvis gjort laserskanninger samtidig med den hyperspektrale skanningen, noe som gjør at georefereringen blir enklere.

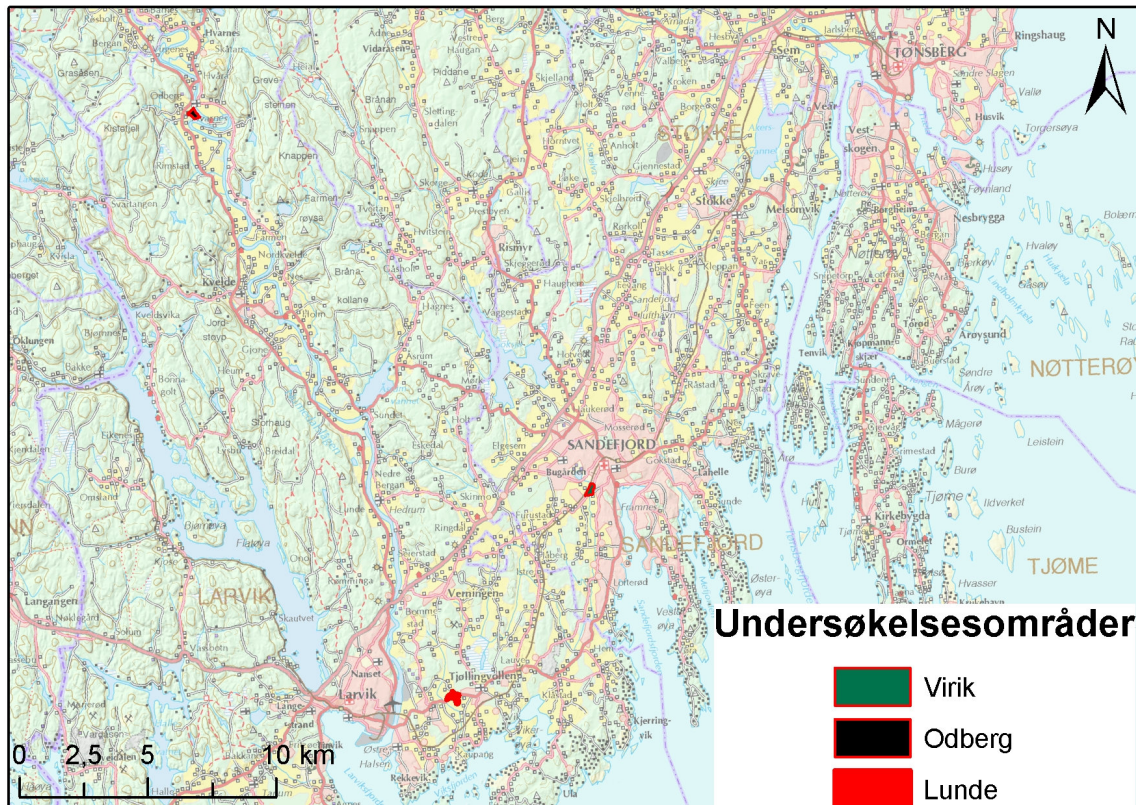
Multispektral skanning har blitt brukt i flere studier for påvisning av ikke-synlige kulturminner. Skanningene har gitt funn av for eksempel bygninger og murverk på Kreta i Hellas (Rowlands, Sarris og Bell 2006) og bygninger, en sisperne og en mulig veg i San Giovenale i Italia. I kystområder i Skottland ble det funnet innhegninger, dysser, fraflyttede gårder, jordegrensener og bygningsspor (Winterbottom og Dawson 2005) og på Sørvestlandet i Norge er det funnet kokegroper og mulige tufter og sannsynlige bygningsspor (Grøn 2008, Palmer et al. 2008). I satellittprosjektet er det funnet spor etter gravhauger i studieområdene (Trier et al 2008). Flere av studiene framhever at de spektrale dataene har gitt mange nye funn, også i områder som har vært intensivt undersøkt av arkeologer tidligere. Der det er gjort laserskanninger samtidig framheves gjerne kombinasjonen av laserdata for funn på overflaten, og hyperspektrale data for funn under bakken, som svært nyttige komplimentære verktøy (Bewley, Crutchley og Shell 2005, Rowlands, Sarris og Bell 2006). Generelt påpekes det at arkeologiske spor kan framtre på ulike måter og gjennom ulik prosessering, men at termale data og vegetasjonsindekser som Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) har vist seg å gi gode resultat (Forsberg et al. 2008, Winterbottom og Dawson 2005).

Sentrale utfordringer i prosesseringen og analysene er geokorrigering (Winterbottom og Dawson 2005) og grov pixeloppløsning (Bassani et al. 2008, Rowlands, Sarris og Bell 2008). Flere studier peker på at dataene blir best i ensartet vegetasjon, gjerne kulturmark, mens urbane områder og skog og naturmark er mer problematisk (Bassani et al. 2008, Grøn et al. 2008, Palmer et al. 2008, Winterbottom og Dawson 2005). Multispektrale data har også vært brukt til miljøovervåking, der de blant annet har vist slitasjeskader på kulturminner ved Stonehenge (Bewley, Crutchley og Shell 2005), og gjengroing ved kulturminner i Vesterålen i Nordland (Barlindhaug, Holm-Olsen og Tømmervik 2007)

Også de hyperspektrale dataene har gitt gode resultater i forhold til arkeologi. I et testområde i Skottland ble alle vegetasjonsmerker som tidligere er oppdaget gjennom undersøkelser av flybilder gjennom 25 år, påvist i ett enkelt hyperspektralt skann (Aqduş et al. 2008). Samtidig må det sies at forut for slike resultater ligger det en del prosessering av dataene, som kan være både arbeids- og tidkrevende. I og med at arkeologien er mangfoldig, med ulike funn som gir ulik fuktighet, vegetasjonspåvirkning og kjemi er det problematisk å kun lete etter veldig spesifikke spektrale signaturer eller gjennomføre helautomatisert prosessering (Aqduş et al. 2008, Bassani et al. 2008, Trier, Larsen og Solberg 2009, Winterbottom og Dawson 2005). Det en må lete etter, er kontrastene/anomalier mellom arkeologien og omgivelsene. Prinsippkomponentanalyse (PCA) er en prosess som leter opp de største variasjonen/kontrastene innenfor bildet, og lager et nytt bilde der komponentene med størst kontrast er framhevet. Denne har vært brukt i de fleste studiene (Aqduş et al. 2008, Coren et al. 2005, Traviglia 2006, Traviglia 2008). I tillegg har ulike indekser vist seg nyttige, blant annet vegetasjonsindekser, og jordindekser for områder uten vegetasjon (Coren et al. 2005, Traviglia 2006). Sentrale utfordringer i de hyperspektrale dataene er for det første nettopp mangfoldet i arkeologien, som gjør at det må søkes i mange ulike bånd på mange ulike måter, samtidig som det er vanskelig å finne gode nok kriterier for automatiserte søk. En annen sentral utfordring er å håndtere den store mengden data og informasjon som slike prosjekter medfører. Med hyperspektral skanning blir valg og framsortering av de beste og mest relevante båndene en stor og potensielt tidkrevende del av prosessen (Traviglia 2006, Traviglia 2008). Skanningstidspunkt har også blitt diskutert, i Aqduş (2008) studie fra Skottland blir det oppgitt at et skann fra september ble gjort for sent på året til å vise vegetasjonsspor, det ble derfor ikke arbeidet videre med. Traviglia (2006, 2008), som har arbeidet mye med prosessering av hyperspektrale data, minner videre om at identifisering av forskjellene mellom natur og kultur, og verifiseringen av funnene, er andre viktige deler av arbeidet med denne typen data. Samme problemstilling kjennes fra arbeidet med FLS. Hun oppsummerer, i likhet med de fleste andre studiene, med at denne typen skanninger kan påvise områder med potensial for funn av kulturminner og er nyttig for prioritering forut for nærmere undersøkelser (Emmolo et al. 2004, Forsberg et al. 2008, Traviglia 2006, Traviglia 2008).

3.1 Uttesting av hyperspektral skanning i Vestfold 2009

I prosjektet ble det valgt ut tre studieområder i Vestfold hvor vi har tilgang til eldre skråfoto fra fly som viser vegetasjonsmerker. De skannede områdene er Virik, Odberg og Lunde (figur 3). Dokumentasjonen gjennom skråfoto var ment å fungere som en relativ verifisering av eventuelle funn i de hyperspektrale dataene.



Figur 3 Undersøkesområder i Vestfold.

TerraTec gjennomførte skanning av alle de tre områdene 27. oktober 2009. Det ble flydd med et piper pa-31 fly. Spesifikasjoner for de tre skannerne som ble brukt:

VNIR-1600

Spekter: 400-1000 nm (synlig lys + noe infrarødt)

Pixelstørrelse: 0,5 m

Båndbredde: 3,7 nm

Antall spektrale bånd: 80

SWIR-i

Spekter: 900-1700nm (infrarødt)

Pixelstørrelse: 1,5 m

Båndbredde: 5nm

Antall spektrale bånd: 147

SWIR-m

Spekter: 1300-3500nm (infrarødt, men noe lengre bølger enn SWIR-i)

Pixelstørrelse: 1,5 m

Båndbredde: 5 nm

Antall spektrale bånd:239

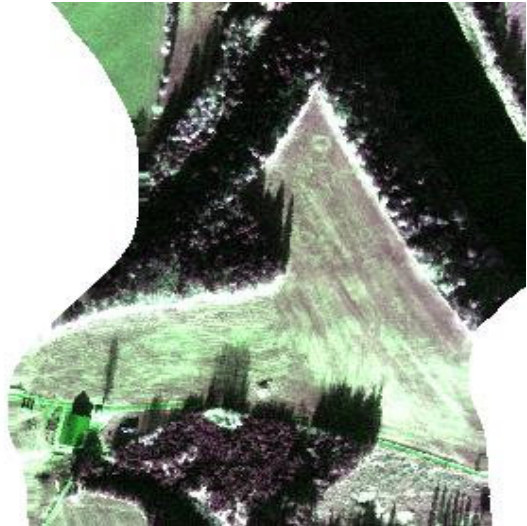
Samtidig med den hyperspektrale skanningen ble det gjort en laserskanning av området som blant annet gir grunnlag for nøyaktig stedfesting av de hyperspektrale opptakene. Etter georektifiseringen ble en del av båndene gjennomgått manuelt både av TerraTec og NIKU, med spesiell fokus på områdene med kjente vegetasjonsmerker. Ulike metoder ble utprøvd, blant annet et oppsett som spoler gjennom alle båndene fra hver sensor, der hvert bånd er synlig i ca 1 sekund. I tillegg ble det gjort forsøk med falsk-RGB-bilder satt sammen av tilfeldige bånd.

Det ble funnet anomalier i dataene som kan tolkes som mulige gravhauger, spesielt på Odberg (figur 5), funnene er ikke verifisert.



Gravfeltet sett fra luften, foto Thor Rikand Odberg

Figur 4. Eldre flyfoto av vegetasjonsspor etter gravfelt på Odberg. Gravfeltet er i dag utgravd. (Johansen et al 2003)



Figur 5. Odberg vist i hyperspektrale data: swir m, stripe 7, pseudokolor komposisjon (foreløpige resultater fra Meyer, TerraTec)

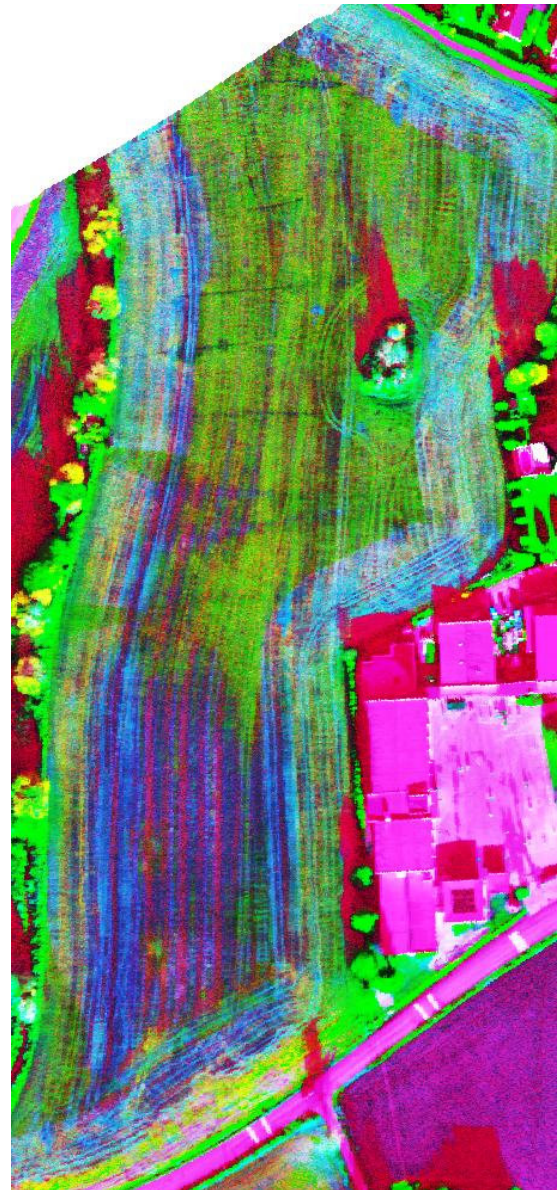
Gravfeltet som er synlig på flybildet fra Odberg er i dag delvis utgravd, i skogholtet øverst i bildet er det bevart noen gravhauger (figur 4). I 2003 var feltet i ferd med å bli pløyd opp og det ble bestemt av det skulle gjøres en arkeologisk undersøkelse. Området ble derfor flateavdekket i 2003-2005. Undersøkelsen avdekket mange gravhauger med fotgrøfter. I en av dem ble det oppdaget en skjelettgrav i pløyselaget, det var også gjenstandsfunn i flere av gravene. Fotgrøftene rundt alle de avdekte haugene viste tydelige spor etter ild. Etter utgravningen ble jorden igjen lagt over (Ekstrøm og Martens 2005). Dyrkingsjorden er dermed omrotet i det utgravde området, og strukturene på flybildet er ikke lenger synlige på overflaten. I multispektrale data fra 2005, undersøkt i satellittprosjektet, er det påvist ringstrukturer i området. Alle ringene ligger alle i nedre, søndre del av området (Trier, Larsen og Solberg 2008), den delen som nå er utgravd. Det er også gjort geofysiske undersøkelser med georadar og magnetomer på Odberg som ga funn av sannsynlig fotgrøft og steinpakning fra en gravhaug, men undersøkelsesområdet deres ligger ca 400 m nord for området vi har sett på (Trinks et al 2007).

Det hyperspektrale bildet (figur 5) viser kun infrarød stråling, fargesettingen er lagt på i etterkant for å vise variasjonen i infrarød stråling. Det interessante området i det hyperspektrale bildet er jorden ved siden av det utgravde feltet (bakerst i flybildet, øverst i det hyperspektrale bildet). Her framtrer flere tydelige ringer, eller "smultringer". Det er ennå ikke verifisert at dette er spor etter gravhauger. Runde eller buede former som dette kan ha andre årsaker, eksempelvis snuspor fra traktor. Beliggenheten så nært inntil et kjent gravfelt og de tilsynelatende ubrutte ringene, er indikasjoner på at dette mest sannsynlig er fotgrøfter etter fjernete gravhauger. For å være helt sikre vil det være nødvendig å foreta et mindre prøvestikk på stedet.

Også i andre datasett og områder ble det påvist anomalier. Disse er imidlertid enda mer uklare enn det som kom fram på Odberg, og er vurdert som usikre.



Figur 6. Flyfoto med vegetasjonsspor som viser gravfelt og hustuffer på Virik (Haavaldsen 1983)

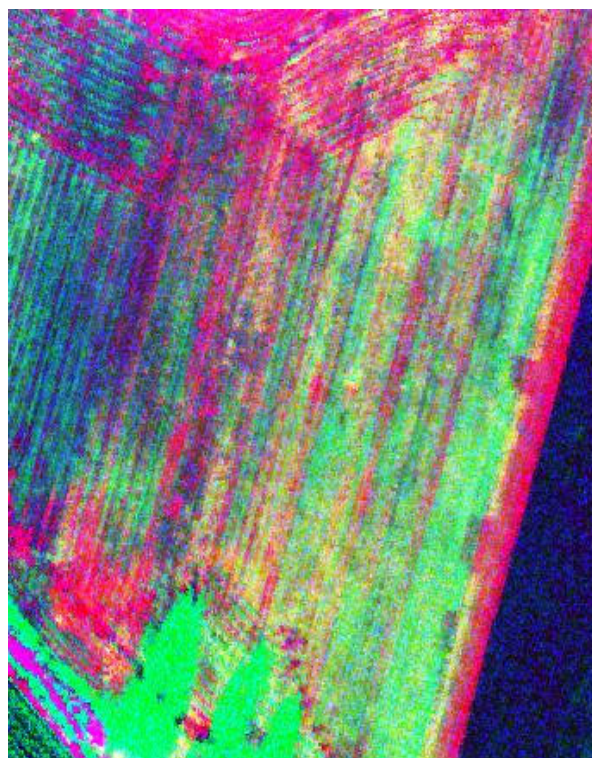


Figur 7. Virik vist i hyperspektrale data, VNIR, stripe 3, PC# 9,2, 1. Pseudokolor komposisjon (foreløpige resultater Meyer, TerraTec)

Figur 7 er viser et utsnitt fra Virik, der PCA er brukt, PC# 9, 2 og 1. I det gamle flyfotografiet (figur 6) fra samme sted fremtrer det flere ringer i nedre/fremre del av bildet. Med litt velvilje kan man se ringstrukturer i samme området i de framhevede kontrastene i det hyperspektrale bildet. Formen er diffus og tolkningen som arkeologi er usikker.



Figur 8 Områder med kjente kulturminner, vist på flyfoto fra Lunde. Området vist i figur 9 er omtrentlig avmerket med svart rute.



Figur 9 Kombinasjon av PC# 1, 2 og 3 (VNIR) fra Lunde (Foreløpige resultater fra Meyer, TerraTec)

Også skannene fra Lunde er gjennomgått. Her er det tidligere påvist vegetasjonsspor i form av overpløyde gravhauger og et felt med kokegroper. Bøndene i området har dessuten oppgitt at det dukker opp kull ved pløying (askeladden.ra.no). Det finnes flere bevarte gravfelt og andre minner i området. Registrerte kulturminneflater hentet fra kulturminnedatabasen Askeladden er vist i figur 8. Ved hjelp av prinsipalkomponentanalyser har Meyer fra TerraTec blant annet funnet en ring som kan tolkes som fotgrøften rundt en gravhaug (figur 9), men funnet og formen er diffuse og tolkningen som arkeologi er usikker.

Ved gjennomgang av dataene viste det seg snart at det var overraskende få funn i de hyperspektrale skannene fra de tre utvalgte fokusområdene. Årsaken er høyst sannsynlig valget av skanningstidspunkt. Sent på høsten er det vanligvis mye fuktighet i bakken. Siste dag med regn var tre dager før skanningen ble gjort. Mye fuktighet i og på bakken kan utjevne og kamuflere forskjeller som ville vært tydeliggjort i tørkeperioder, og er derfor trolig hovedårsaken til de overraskende få funnene. Traktorspor og pløyefurer i åkeren "stjeler" også en del av variasjonen i bildet, og kan kamuflere de variasjonene vi er ute etter. I tillegg er mye av vegetasjonen død eller skadet så sent på høsten. Det er dermed mindre variasjon i refleksjonen fra vegetasjonen, og mindre informasjon om de eventuelle arkeologiske strukturer under bakken som har påvirket planteveksten.

Til tross for de overraskende få funnene kan det likevel trekkes noen viktige konklusjoner fra dette foreløpige arbeidet:

- Skanningstidspunktet betyr mye. Tid på året og værforhold påvirker resultatene og må velges med omhu. Vår eller sommer med mye levende vegetasjon gir gode resultater og tørkeperioder er en fordel siden de tydeliggjør fuktforskjeller i bakken.
- Vegetasjonstype og –tilstand har stor betydning. Hyperspektrale data er mest nyttig i homogen vegetasjon, spesielt åkre. Skog er problematisk. En del arkeologiske funn

kan sees på grunn av variasjon mellom frisk og mindre frisk vegetasjon, det er mer problematisk å få øye på dette i variert vegetasjon.

- Sortering og utvalg av bånd er viktig. Datamengdene er store, og det er svært tidkrevende om alt skal undersøkes. Variasjoner i plantehelse, jordkjemi og fuktighet i bakken viser seg i ulike bånd, men kan alle fortelle noe om arkeologi under bakken. Det er derfor viktig å prioritere områder for undersøkelse, og utvikle rutiner og prosesser som får fram de viktigste båndene med mest mulig variert informasjon om kontraster.
- Kontraster i dataene er det sentrale for funn av arkeologi. Det finnes automatiske prosesser for leting etter den største kontrasten/variasjonen i båndene, spesielt prinsipalkomponentanalyse (PCA) er nyttig. I og med at de arkeologiske sporene kan framtre på mange ulike måter, er slike generelle prosesser som framhever alle typer kontraster mest relevante å bruke. Søk i spesifikke bånd gir mer begrenset informasjon.
- Mange faktorer påvirker dataene, for eksempel atmosfærisk stråling. Slik støy bør i størst mulig grad renses bort før videre analyse.
- Riktig programvare og kjennskap til bruken av programmene betyr en del. For å få fullt utbytte av dataene trenger arkeologen å ha en del kunnskap om hva de forteller noe om, og hvordan de er prosessert samtidig som den som prosesserer bør ha kunnskap om hvordan den arkeologiske informasjonen kan framtre.

3.2 Oppsummering

Basert på gjennomgang av resultater oppnådd i andre arkeologiske prosjekter og egne erfaringer med hyperspektral skanning, ser vi et stort potensial i bruken av spektrale data. Prosjektet som er gjennomført i Vestfold har til nå gitt få konkrete nye kulturminnefunn, men har bidratt med viktig kunnskap om prosessen og om hvilke faktorer som påvirker resultatene, slik at sannsynligheten for funn vil være langt bedre ved en ny skanning. Arkeologen kjenner arkeologien, men er ikke kjent med denne typen data, mens teknikeren kjenner dataene og prosesseringen, men har ikke den nødvendige erfaring med arkeologiske spor. Samarbeidsprosjekt som dette gir muligheter for utveksling og utvikling av ny kunnskap hos begge parter.

TerraTec har opparbeidet seg erfaringer med håndtering, prosessering og visning av dataene, og kommer til å jobbe videre med utvikling og uttesting rundt hyperspektral skanning i 2010 og 2011¹. TerraTec har som mål å ha etablert gode, delvis automatiserte prosesseringsrutiner i løpet av 2011. Disse prosesseringsrutinene må være tilpasset brukernes behov. TerraTec er derfor interessert i fortsatt samarbeid med NIKU for å etablere et best mulig produkt tilpasset arkeologisk bruk. TerraTec driver også videreutvikling av både opptaksprosedyrene sine og utstyret sitt, og fra 2010 vil det samtidig med hyperspektral og laserskanning også bli tatt tradisjonelle flyfoto. I og med at opptakene blir gjort samtidig kan det være interessant å se om både flyfotografiene og de hyperspektrale skannene gir kulturminnefunn, og om funnene i så fall er ulike eller overlappende.

Det vil være nyttig å jobbe videre med utvikling av prosesseringsrutiner tilpasset kulturminneforvaltningens behov. Det ville være svært interessant å arbeide med datasett tatt opp på et annet tidspunkt, for å se om det ga flere av de forventede funnene.

¹ Ingeborg Meyer, som jobber med en mastergrad om hyperspektral skanning og arkeologi i samarbeid med TerraTec, leverer oppgaven sin i juni 2010.

4 Flybåren magnetometer

Magnetometer er et instrument som måler styrken på jordens magnetfelt på det aktuelle stedet hvor målingen foretas. Siden den første magnetometer ble oppfunnet av den tyske vitenskapsmannen Gauss på 1830-tallet, har instrumentet blitt utviklet til et stadig mer komplisert og nøyaktig måleinstrument. I begynnelsen ble magnetometer utelukkende brukt på bakken, men under 2. verdenskrig ble målinger fra fly utviklet og tatt i bruk med tanke på påvisning av u-båter. Etter krigen ble flykartleggingen videreført med sivile formål fortrinnsvis til geologisk kartlegging av store landområder (Reeves 2005).

Magnetometer har lenge vært brukt i arkeologien til ikke-destruktiv påvisning og kartlegging av menneskeskapte strukturer i bakken som er magnetiske (Aspinall et al. 2008). Den magnetiske styrken over slike strukturer avviker fra områdene rundt og danner anomalier med utsagnskraft om tilstedeværelse, form og utbredelse av ikke-synlige kulturminner – forutsatt at disse er magnetiske. Murverk, produksjonsplasser, graver, kokegroper og stolpehull er eksempler på kulturminnetyper som lar seg påvise med bruk av magnetometer. Mens bruken av bakkebasert magnetometer-kartlegging lenge har vært anvendt innenfor arkeologien er det så vidt vi har kunnet bringe på det rene, ikke gjort forsøk med bruk av flybåren magnetometer til kartlegging av kulturminner. Dette skyldes sannsynligvis skalaen det tradisjonelt jobbes med ved bruk av flybåren magnetometer (flymag) hvor det innhentes data og produseres kart med en oppløsning som er for grov til å vise mindre strukturer. Jo kortere avstand det er mellom flyet og bakken, jo bedre oppløsning er det mulig å oppnå. Begrensninger i flyhøyden er derfor en avgjørende faktor i forhold til nøyaktigheten på dataene som samles inn. Ved å ta i bruk drone kan flyhøyden reduseres fra 100-150 meter til 50 meter, noe som øker sjansen for å kunne påvise mindre strukturer på bakken enn det som hittil har vært mulig fra lufta.

4.1 Uttesting av flymag i Elverum 2008-2009

I forbindelse med uttesting og utvikling av FLS som har pågått i NIKU-regi siden 2005, ble det snart klart at noen kulturminnetyper var lettere å påvise enn andre. Kullgroper og andre kulturminnetyper som har en klar geometrisk form er lettere å fange opp på de digitale terrengmodeller, enn for eksempel slagghauger som går mer i ett med terrenget pga deres form. Gode erfaringer med bruk av bakkebasert magnetometer til påvisning og dokumentasjon av jernvinneanlegg i Gråfjellprosjektet (Risbøl og Smekalova 2001) gjorde at vi ønsket å se på muligheten for å kombinere magnetometer og fjernmåling. Dette førte igjen til et samarbeid med TGS Nopec som har lang erfaring med bruk av flymag fra vanlige småfly og som nevnt ovenfor, har satt i gang utviklingen av en drone med påmontert magnetometer (figur 10 og 11).

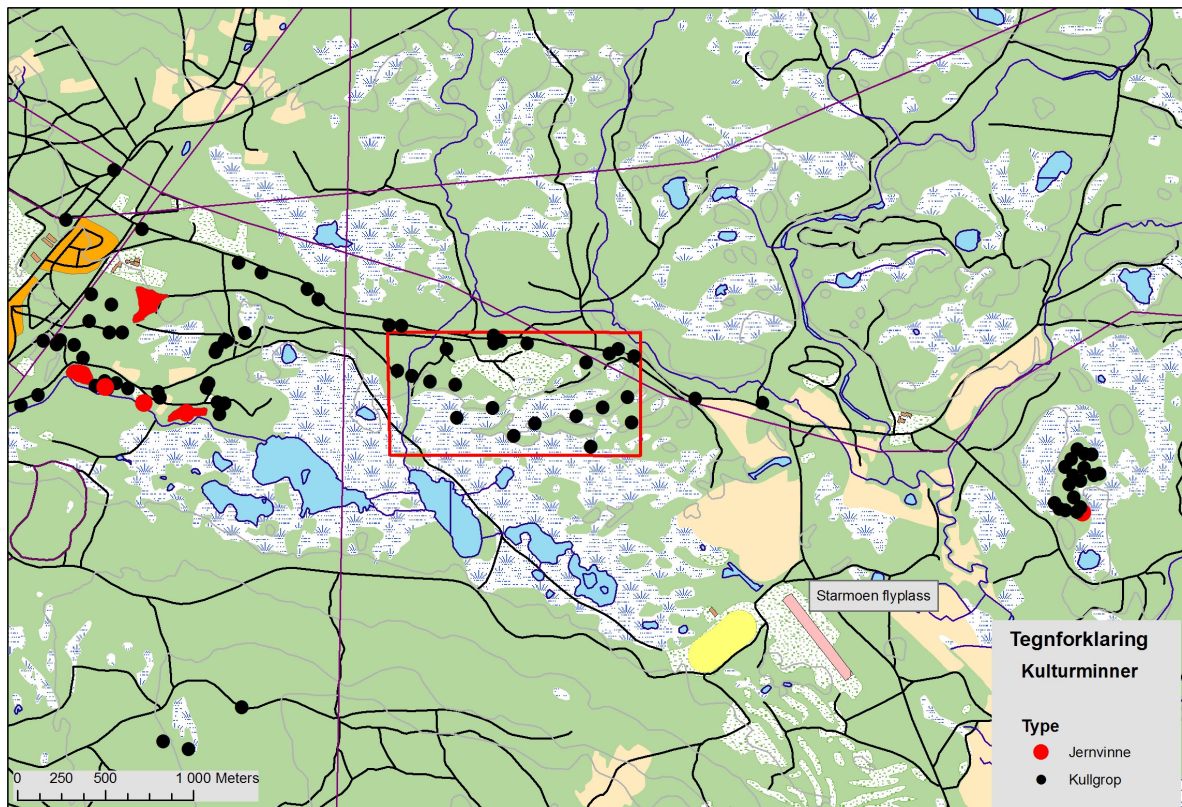


Figur 10 Det fjernstyrte ubemannede flyet som er utviklet av TGS Nopec. Slike fly kalles også UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eller drone. Foto: Ole Risbøl, NIKU



Figur 11 Magnetometersensoren montert på UAVen (den skråstilte sylindere) sammen med GPS-mottakeren (den runde hvite). Foto: Ole Risbøl, NIKU

Uttestingen av drona foregår fra Starmoen flyplass i Elverum, i et område hvor det finnes mange spor etter jernproduksjon i yngre vikingtid og tidlig middelalder (figur 12). Sporene finnes i form av kullgroper og slagghauger på jernutvinningsplassene. Som konkret testområde ble det valgt et rektangulært område på 1400 meter Ø-V og 700 meter N-S som er flydd over og kartlagt med drona en rekke ganger siden 2008. Innenfor testområdet finnes det 22 kullgroper som indikerer at det her er et stort potensial for å finne ett eller flere jernvinneanlegg. Lenger vest og nærmere Elverum sentrum finnes det noen meget store registrerte jernvinneanlegg som ville egne seg godt til å teste ut bruken av flymag, men disse ligger dessverre i et område med boligbebyggelse og kan av sikkerhetsmessige grunner ikke flys over. Uttestingen har derfor så langt utelukkende foregått i det førstnevnte testområdet.



Figur 12 Testområdet er markert som rød rektangel. Vest for testområdet ses jernvinneanlegg som måtte utgå som referansepunkter da de ligger i et område med boligbebyggelse. Øst for testområdet ses en samling kullgroper med et mulig jernvinneanlegg (rød prikk) som planlegges kartlagt med flymag sommeren 2010.

Ruta som drona følger er forhåndsdefinert og flyet følger automatisk den predefinerte flyruta som kan følges på pc-skjerm ved hjelp av GPS og satellitt (figur 13). Hvis noe skulle gå galt i forhold til den automatiserte flyvingen, er det mulig å ta over styringen og ta kontroll over UAVen med vanlig manuell fjernstyring.

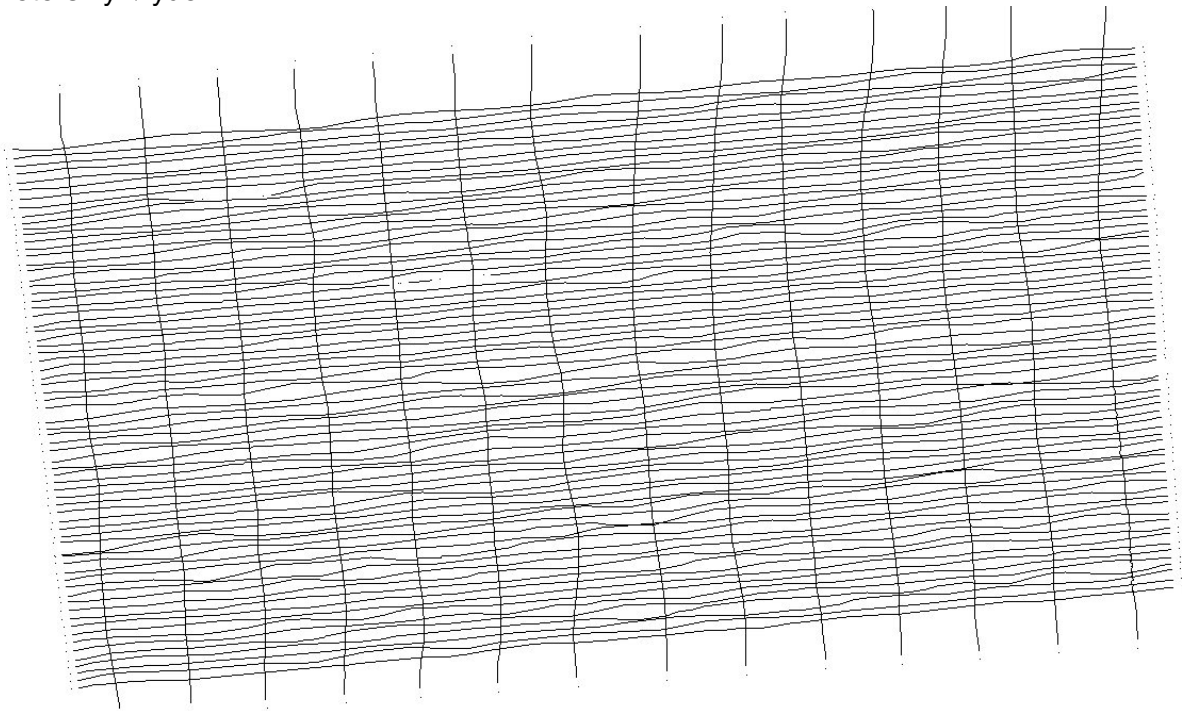


Figur 13 Dronas bevegelse følges på pc-skjerm i et telt ved flystripa. Foto: Ole Risbøl, NIKU.

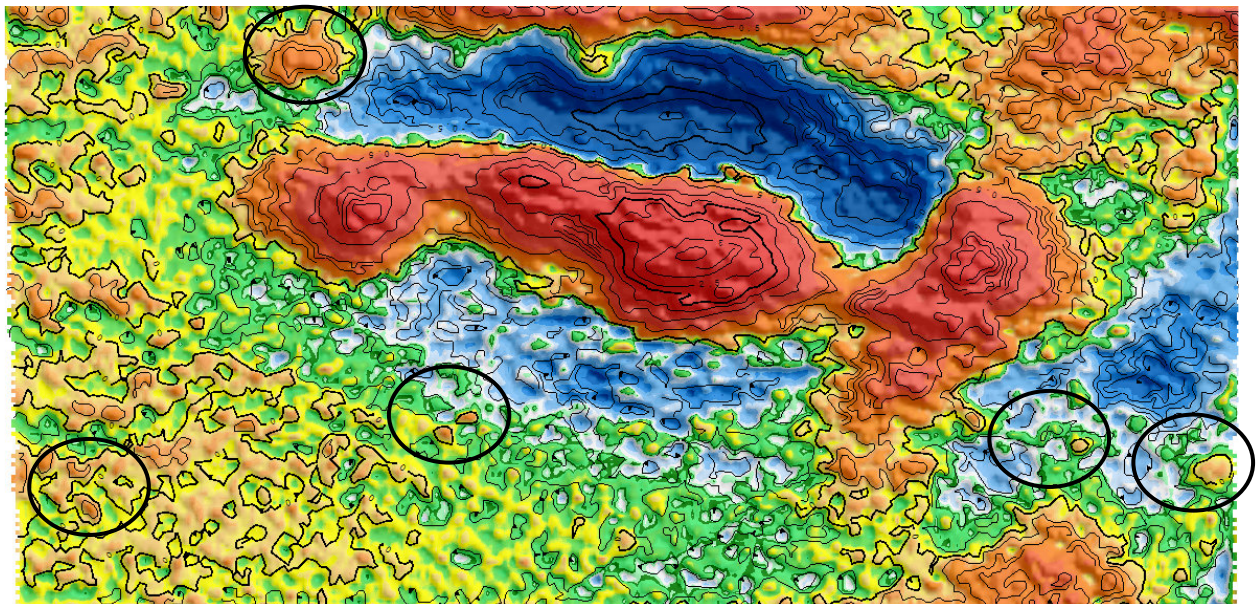
Ved kartleggingen holdt drona en høyde på 120 meter (kan gå ned på 50 m som nevnt ovenfor) og det ble fløyet 70 striper Ø-V med en innbyrdes avstand av 10 meter (figur 14). I tillegg ble det fløyet 14 kontrollstriper på tvers av hovedflyretningen. Ved bruk av vanlige småfly er flyhøyden normalt 100-150 meter og det kartlegges med 200 meter mellom stripene. Dataene hentet inn med drona gir derfor et mye mer detaljert bilde av de magnetiske forhold på/under bakken som det også fremgår av figur 15. Den store og meget kraftige anomali midt i kartet har sin forklaring i at det her finnes en søppelplass. De mest interessante anomaliene i forhold til potensielle kulturminner er å finne som mindre røde avtegnelser i området rundt. Disse måler mellom 10 og 40 meter i diameter og viser til mindre magnetiske strukturer på stedet. Hvorvidt det er snakk om moderne installasjoner, metallgjenstander eller lignende eller om det er spor etter slagghauger skal sjekkes i felt til våren/sommeren når det er snøfritt. Det knytter seg stor usikkerhet til om disse anomalier viser til slagghauger. For å ha referansemateriale i forhold til et sikkert jernvinneanlegg ønsker vi derfor å kartlegge noen slagghauger som finnes 1,5 km NNØ for rullebanen på Starmoen. Her har Hedmark fylkeskommune v/Kjetil Skare tolket en digital terrengmodell basert på laserskanningsdata og funnet en rekke kullgroper og det som sannsynligvis er to parallelle slagghauger. Denne tolkningen skal også verifiseres i felt til våren/sommeren, og viser tolkningen seg å være riktig vil dette jernvinneanlegget bli kartlagt med magnetometer fra lufta.

Flyhøyden er en av de mest usikre faktorer ved bruk av flymag til påvisning av arkeologi. Bli avstanden til objektet rett og slett for stor? Som en innledende øvelse til arbeidet med flymag og slagghauger ble det derfor gjort en teoretisk modellering av responsen fra et hypotetisk jernvinneanlegg hvor målene på slaggmengden ble satt til $10 \times 10 \times 1$ meter = 100 m^3 . Siden vi kjenner magnetismen til slagghauger av den typen som finnes i denne regionen gjennom kartlegging av slike med bakkebasert magnetometerkartlegging (Risbøl og Smeklalova 2001) var det mulig å gjøre beregninger som involverte styrken på magnetismen og flyhøyde som

de viktigste parametrene. Testen viste at det skal være mulig å påvise slike anlegg fra 100 meters flyhøyde.



Figur 14 Flyruta. Stripene viser god presisjon med lite overlapp mellom stripene. Det er 100 meter mellom de N-S-gående stripene. III.: TGS Nopec.



Figur 15 Kart som viser magnetismen i testområdet. Rød er områder med kraftigst magnetisme, mens blå farge viser områder med minst magnetisme. Det store røde område som dominerer bildet skyldes at det her ligger en søppelplass. De svarte ringene viser anomalier som må sjekkes i felt med tanke på slagghauger. Dette er en tentativ utvelgelse og en grundigere tolkning bør gjennomføres i samarbeid med geofysikere hos TGS Nopec frem mot sommeren. III.: TGS Nopec.

4.2 Oppsummering

Uttestingen av flymag i forhold til påvisning av slagghauger, er så langt gjort innenfor et uformalisert samarbeid mellom NIKU og TGS Nopec. De foreløpige resultater fra første testområde vil bli fulgt opp av en verifisering av resultatene i felt. Det er påvist anomalier som betegnes som usikre med hensyn til om det er indikasjoner på slagg, andre magnetiske objekter på bakken eller om det er støy i dataene. Uansett vil en befaring på stedet være viktig som et ledd i å bygge opp erfaring fra denne typen datainnhenting. Det er i tillegg planlagt å kartlegge et nytt testområde hvor det (etter all sannsynlighet) finnes et sikkert jernvinneanlegg. Holder dette stikk vil vi ha en viktig referansemåling som i beste fall gir oss mulighet for å jobbe med tolkning av nye flymagdata fra områder med jernvinneanlegg. Så langt er det for tidlig å konkludere at dette er en anvendelig metode i arkeologien – mer uttesting gjenstår, men de foreløpige praktiske og teoretiske testene virker lovende².

² Resultater fra den planlagte testingen sommeren 2010 vil bli gjort kjent i et kort resultatnotat som vil bli sendt RA og øvrige mottakere av denne rapporten.

5 Avslutning

Som det kommer frem under oppsummeringen for både hyperspektral skanning og flymag, er dette lovende teknikker. NIKU ønsker å være med å videreutvikle dem innenfor et samarbeid med miljøer som tilbyr disse tjenestene og som sitter inne med den tekniske kompetansen som må til i slike utviklingsprosjekter. NIKU har tatt i bruk FLS og er inne i en prosess med å videreutvikle denne teknikken som et anvendelig redskap til bruk innenfor kulturminnevernet i forhold til kartlegging, dokumentasjon og overvåking av kulturminner og – miljøer. Dette er et arbeid vi ønsker å fortsette med videre fremover. Vi ser på hyperspektral skanning og flymag som metoder egnet til å supplere bruken av FLS, men også som metoder som kan tas i selvstendig bruk. Dette krever kompetanseoppbygging i forhold til å lære seg disse redskapene å kjenne, i tillegg til videreutvikling til nyttige verktøy for kulturminneforskning og -forvaltning. Hyperspektral skanning fra fly har vært brukt i arkeologien flere steder i Europa i en stund med gode resultater til følge, mens flymag har et potensial, men bruken er helt på pionerstadiet. Vi tror at dette er fjernmålingsmetoder som kommer til å bidra til arkeologien i tiden som kommer og håper at denne begrensede uttesting har gitt et inntrykk av dette.

Avslutningsvis kan det nevnes at NIKU fra og med 2010 deltar i to internasjonale forskningsprosjekter som er relevante i denne sammenhengen. Det dreier seg om *LBI for Archaeological Prospection & Virtual Archaeology*prosjektet og *ArchaeoLandscapes*prosjektet. LBI-prosjektet som er finansiert av stiftelsen Ludwig Boltzmann Institut i Wien, Østerrike, er 4-årig og skal jobbe med fjernmåling, geofysikk og virtuell arkeologi. Hovedinnsatsen fra NIKU er fokusert på de to første temaene. Hovedmålet er å utvikle faglig forsvarlige og kostnadseffektive metoder og teknikker til bruk i ikke-destruktiv arkeologi. Prosjektet skal jobbe med undersøkelsesområder i fem forskjellige europeiske land og omfatter blant annet FLS og hyperspektral skanning hva fjernmåling angår, mens den bakkebaserte kartleggingen vil basere seg på magnetometer og georadar. Det er ennå ikke bestemt konkret hvilke metoder som skal tas i bruk i hvilke land, men det er et ønske fra NIKUs side å kople det videre arbeid med flyskanning og hyperspektral skanning til LBI-prosjektet.

ArchaeoLandscapes er et 5-årig EU-prosjekt under Culture-programmet. Prosjektet skal arbeide med fjernmåling (flyfoto, FLS og satellitt) og har fokus på nettverksbygging, kompetanseoverføring og formidling. NIKU vil gjennom prosjektet både bidra med sine erfaringer samt supplere og bygge opp egen kompetanse i forhold til fjernmåling.

6 Kilder

- Aas, E. og S. Åshildsdatter Grolid 2007:
http://www.nrk.no/nyheter/distrikt/nrk_trondelag/1.2913141, datert 07.07.2007
- Aqduş, S.A, J. Drummond and W. S. Hanson 2008: Discovering Archaeological cropmarks: a hyperspectral approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B5.* s 361-365.
- Aspinall, A., C. Gaffney and A. Schmidt 2008: Magnetometry for Archaeologists. *Geophysical Methods for Archaeology.*
- Barlindhaug, S., I. M. Holm-Olsen og H. Tømmervik 2007: Monitoring Archaeological Sites in a Changing Landscape-using Multitemporal Satellite remote Sensing as an "early Warning"Method for Detecting Regrowth Processes. I: *Archaeological prospection 14*, ss 231-244.
- Bassani, C, R.M Cavalli, S. Pascucci, A. Pignatti 2008. Airborne hyperspectral remote sensing as a tool for detecting buried archaeological structures: preliminary results for land cover in different context. I: *Lasaponara, Rosa and Nicola Masini (ed): Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop CNR, Rome, September 30 – October 4.* s 75-78.
- Bewley, R. H., Crutchley, S. P. and Shell, C. A. 2005. New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity 79*, s 636-647.
- Challis, K. and Howard, A. J. 2006. A review of trends within archaeological remote sensing in alluvial environments. *Archaeological Prospection 13*, s 231-240.
- Coren, F., Visintini, D., Prearo, G. and Sterzai, P. 2005. Integrating lidar intensity measures and hyperspectral data for extracting of cultural heritage. In: *Workshop Italy-Canada for 3D Digital Imaging and Modeling: applications of heritage, industry, medicine and land.*
- Ekstrøm, H. og J. Martens 2005: Plogen sletter alle spor. Et dyrkingstruet gravfelt på Odberg i Lågendalen. I: *Nicolay – arkeologisk tidsskrift nr 9.*, s. 21-33. Oslo
- Emmolo, D., Franco, V., Lo Brutto, M., Orlando, P and Villa, B. 2004. Hyperspectral techniques and GIS for archaeological investigation. In: *Proceedings from the XXth ISPRS Congress, Vol. XXXV, Part B7, VII.* s 492-497
- Ericsson, E. et al 1992: Flygspaning efter historia. Flygarkeologins mål och metoder. med katalog över Esse Ericssons flygfotoarkiv. Institut för Kulturforskning.
- Eriksen, P. og L. Helles Olesen 2002: *Fortiden set fra himlen. Luftfotoarkæologi i Vestjylland.* Holstebro museum.
- Forsberg, Y. Backe, R. Holmgren, A. Lanorte, R. Lasaponara and N. Masini 2008. Airborne and satellite multispectral imagery at the Etruscan site of San Giovenale, Blera (Lazio) – Preliminary results. I: *Lasaponara, Rosa and Nicola Masini (ed): Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop CNR, Rome, September 30 – October 4.* s 225-228.
- Grøn, Ole, F.A. Stylegar, S. Palmer, S Aase, P. Orlando, K. Esbensen, S. Kucheryavski 2008. Practical use of multispectral images in general Norwegian Cultural Heritage Management and focused Viking Age Research. Experiences for South-Western Norway. I: *Lasaponara, Rosa and Nicola Masini (ed): Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop CNR, Rome, September 30 – October 4.* s 285-288.
- Haavaldsen, P. 1976: Arkeologi fra luften. I: *Nicolay – arkeologisk tidsskrift, nr 24*, Oslo.
- Haavaldsen, P. 1983: Virik, et gårdsanlegg fra eldre jernalder på Østlandet. I: *Nicolay – arkeologisk tidsskrift nr 41*, Oslo.
- Johansen, J.S., I.C. Rynning, A. Skullerud og J. Martens 2003: Et oppløyd gravfelt på Odberg i Lågendalen. I: *Nicolay nr 91*, s 46-58. Oslo.
- Meyer, I. 2010: Draft master thesis. Upublisert masteroppgave ved Universitetet i Oslo, ferdigstilles vår 2010.

- Norsk elektro optikk 2009: HySpex. High resolution, High Speed, Hyperspectral Cameras for Laboratory, Industrial and Airborne Applications. (Presentasjonsbrosjyre pr. juni 2009)
- Palmér, S., Grøn, O., Orlando, P. and Stylegar, F.-A. 2008. "Usynlige" kokegroper og satellitt-fjernmåling. *Viking. Norsk arkeologisk årbok*. Bind LXXI - 2008, ss193-202.
- Reeves, C. 2005: Aeromagnetic Surveys. Principle, Practice and Interpretation. Earthworks – global thinking in exploration geoscience. Geosoft.
- Risbøl, O. 2009: Fugleperspektiv på kulturminner. Bruk av flybåren laserskanning i arkeologien. I: *Viking LXXII 2009*, Norsk Arkeologisk Selskap. Oslo, s. 211-226.
- Risbøl, O. and T. Smekalova 2001: Archaeological Survey and non-visible Monuments. I: *Nicolay - arkeologisk tidsskrift* 85, s. 32-45. Oslo.
- Rowlands, A., Sarris, A. and Bell, J. 2006. Airborne multi sensor remote sensing of exposed and subsurface archaeological remains at Itanos and Roussolakkos, Crete. S. Campana and M. Forte (red.): *From space to place: 2nd international conference on remote sensing in archaeology (Proceedings of the 2nd international workshop, CNR, Rome, Italy, December 2-4, 2006)*. Oxford, Archaeopress, s 113-116.
- Traviglia, A. 2006. Archaeological usability of Hyperspectral images: successes and failures of image processing techniques. S. Campana and M. Forte (red.): *From space to place: 2nd international conference on remote sensing in archaeology (Proceedings of the 2nd international workshop, CNR, Rome, Italy, December 2-4, 2006)*. Oxford, Archaeopress, s 123-130.
- Traviglia A. 2008. The combinatorial explosion: defining procedures to reduce data redundancy and to validate the results of processed hyperspectral images. I: Lasaponara, Rosa and Nicola Masini (ed): *Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop CNR, Rome, September 30 – October 4*. s 85-89.
- Trier, Ø. D., S. Øyen Larsen and R. Solberg 2008: *Detection of circular patterns in high-resolution satellite images of agricultural land with CultSearcher*. Norsk regnesentral, SAMBA/16/08.
- Trier, Ø. D., S. Øyen Larsen and R. Solberg 2009: Automatic detection of Circular Structures in High-resolution Satellite Images of Agricultural Land. I : *Archaeological prospection* 16, s 1-15.
- Trinks, Immo, Pär Karlsson, Bengt Westergaard, Alois Eder-Hinterleitner, Lars-Inge Larsson 2007: Professional archaeological prospection, Odberg site 2. Powepointpresentasjon på: http://www.vfk.no/doc/kulturminnevern/geofysikk/Odberg_Site_2/web/Odberg_Site_2_files/frame.htm. Lest 13.04.2010.
- Winterbottom, S.J, og T. Dawson 2005. Airborne Multi-spectral Prospection for buried Archaeology in Mobile Sand Dominated Systems. *Archaeological Prospection* 12. s. 205-219.

Elektroniske kilder

<http://askeladden.ra.no/sok/index.jsp>

http://www.energifakta.no/documents/Miljo%20og%20velferd/EMF_spekter.htm

<http://www.fotonik.dtu.dk/Nyheder/Arkiv.aspx?guid={3150555B-1FC1-4076-A37A-7E96605C52C2}>

<http://www.geo.uio.no/geogr/geomatikk/prosjekt/fjernm.html>. Lest 15.03.2010.