

# 803 Bruk av fjernmåling i palsmyrovervåking

NINA Rapport

Tom Rune Lauknes, Yngvar Larsen og Kjell-Arild Høgda, Norut  
Hans Tømmervik og Annika Hofgaard, NINA



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

### **NINA Temahefte**

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

### **NINA Fakta**

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

### **Annen publisering**

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

# Bruk av fjernmåling i palsmyroovervåking

Tom Rune Lauknes  
Yngvar Larsen  
Kjell-Arild Høgda  
Hans Tømmervik  
Annika Hofgaard



Lauknes, T.R., Larsen, Y., Høgda, K.A., Tømmervik, H. & Hofgaard, A. 2012. Bruk av fjernmåling i palsmyroovervåking. - NINA Rapport 803. 38 s.

Tromsø/Trondheim, februar 2012.

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2398-0

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Hans Tømmervik og Annika Hofgaard

KVALITETSSIKRET AV

Per Arild Aarrestad

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef Signe Nybø (sign.)

OPPDRAAGSGIVER(E)

Direktoratet for Naturforvaltning

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Else Løbersli

FORSIDEBILDE

Annika Hofgaard

NØKKEWORD

Troms, Bardu, palsmyr, permafrost, overvåking, fjernmåling

KEY WORDS

Troms, Bardu, palsa peatlands, permafrost, monitoring, remote sensing

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

##### **NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 73 80 14 01

##### **NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 22 60 04 24

##### **NINA Tromsø**

Framsenteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00  
Telefaks: 77 75 04 01

##### **NINA Lillehammer**

Fakkeltgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 61 22 22 15

[www.nina.no](http://www.nina.no)

## Sammendrag

Lauknes, T.R., Larsen, Y., Høgda, K.A., Tømmervik, H. & Hofgaard, A. 2012. Bruk av fjernmåling i palsmyrovervåking. – NINA Rapport 803. 38 s.

Et fjernmålingsbasert pilotstudium som bruker flybilder, satellittbilder med høy romlig oppløsning og syntetisk aperture radar data viser at slike data er anvendelige for å overvåke palsmyr i Nord-Norge. Bruk av fly- og satellittbilder med høy romlig oppløsning viste endringer i palsmyrene som for eksempel reduksjon i palsformasjoner og økt vannareal (tjern og pøler). Nye paller lot seg detektere, men disse kan lett bli forvekslet med myr dominert av starr (*Carex* spp.) og myrullarter (*Eriophorum* spp.). Vi trenger nye multispektrale opptak for bedre kartlegging av denne type pals.

En egnethetsstudie av radarinterferometri (InSAR) av syntetisk aperture radarbilder (SAR) viste at ALOS PALSAR (L-band) var bedre egnet enn ENVISAT ASAR (C-band) til å kartlegge bevegelser i palsmyra, men på grunn av et begrenset antall bilder til disposisjon kan det ikke trekkes endelige konklusjoner. Bruk av radarbasert interferometri (InSAR) er lovende og kan trolig brukes over større geografiske områder for å påvise hvordan palsmyrene endres. Vi foreslår et oppfølgende studium som omfatter C-, L- og X band InSAR, samt videre utvikling av metodikk der bruk av flybilder og optiske (multispektrale) satellittbilder inngår. Vi har i diskusjonen også behandlet andre overvåkingmuligheter som laserskanning og avansert sensorteknologi.

Tom Rune Lauknes, Norut, Postboks 6434, 9294 Tromsø (tom.rune.lauknes@norut.no)

Yngvar Larsen, Norut, Postboks 6434, 9294 Tromsø (yngvar.larsen@norut.no)

Kjell-Arild Høgda, Norut, Postboks 6434, 9294 Tromsø (kjell.arild.hoegda@norut.no)

Hans Tømmervik, NINA, Framsenteret, 9296 Tromsø (hans.tommervik@nina.no)

Annika Hofgaard, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim (annika.hofgaard@nina.no)

## Abstract

Lauknes, T.R., Larsen, Y., Høgda, K.A., Tømmervik, H. & Hofgaard, A. 2012. Use of remote sensing in monitoring of palsa peatlands. – NINA Rapport 803. 38 p.

A pilot study using remote sensing shows that application of aerial photographs, high-resolution satellite imagery and synthetic aperture radar imagery is useful in monitoring of palsa peatlands in northern Norway. Using high-resolution digital aerial photographs in combination with high-resolution satellite imagery (WorldView01) showed changes in different palsa formations (e.g. reduced area of palsas and increased number of water ponds). New palsas can be detected but they might be confused with ordinary lawn fens dominated with *Carex* and *Eriophorum* species, and here we need new multispectral imagery for better separation and detection of such formations. A feasibility study using Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) showed that ALOS PALSAR (L-band) was superior to ENVISAT ASAR (C-band) in detection movements/changes in the palsa peatlands. Due to limited number of radar scenes (both C and L band data) no final conclusions can be drawn. Use of satellite InSAR technology is promising and this kind of technology can be utilized over large areas, hence we propose further investigations using C- and L-band data together with high resolution (2 m x 2 m) X-band (TerraSAR-X) data in combination with digital aerial photography and multispectral satellite imagery. We have also discussed use of laser scanning (airborne) and other monitoring technology.

Tom Rune Lauknes, Norut, P.O. Box 6434, 9294 Tromsø (tom.rune.lauknes@norut.no)

Yngvar Larsen, Norut, P.O. Box 6434, 9294 Tromsø (yngvar.larsen@norut.no)

Kjell-Arild Høgda, Norut, P.O. Box 6434, 9294 Tromsø (kjell.arild.hoegda@norut.no)

Hans Tømmervik, NINA, FRAM – High North Research Centre on Climate and the Environment, NO-9296 Tromsø, (hans.tommervik@nina.no)

Annika Hofgaard, NINA, P.O Box 5685 Sluppen, 7485 Trondheim (annika.hofgaard@nina.no)

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>4</b>
<b>Innhold .....</b>	<b>5</b>
<b>Forord .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Metodikk .....</b>	<b>8</b>
2.1 Bruk av InSAR for palsmyroovervåking .....	8
2.2 Bruk av høyoppløselige fly- og satellittbilder .....	9
<b>3 Studieområde .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Data .....</b>	<b>12</b>
4.1 Flybilder .....	12
4.2 Satellittbilder .....	12
<b>5 Resultater .....</b>	<b>14</b>
5.1 Overvåking ved hjelp av flybilder .....	14
5.2 Overvåking ved hjelp av satellittbilder med høy oppløsning .....	18
5.3 Endringer i palsstrukturene i perioden 2004 - 2010 .....	21
5.4 Overvåking ved hjelp av InSAR .....	25
<b>6 Diskusjon .....</b>	<b>29</b>
6.1 Optiske fly- og satellittbildeopptak .....	29
6.2 SAR .....	29
6.3 Laserskanning - LIDAR .....	31
6.4 Nye digitale fotogrammetriske teknikker .....	31
6.5 Smarte sensorer .....	32
<b>7 Forslag til videre studier .....</b>	<b>33</b>
<b>8 Konklusjoner .....</b>	<b>34</b>
<b>9 Referanser .....</b>	<b>35</b>
<b>10 Vedlegg 1 .....</b>	<b>37</b>
Forklaringer av begreper .....	37

## Forord

En rekke palsmyrområder i Norge overvåkes med et omløp på fem år. Det har imidlertid kommet fram spørsmål om hvordan det står til i palsmyrområder som ikke overvåkes samtidig som det er interessant og eventuelt å forsterke den pågående overvåkingen både i tid og rom. En mulig metode er å bruke fjernmålingsteknologi. Denne rapporten evaluerer muligheten av å bruke radarinterferometri på Syntetisk Aperture Radardata (SAR) sammen med optiske fly- og satellittbilder for å overvåke endringer og eventuelt nedtiningshastighet i et palsmyrområde (Ostojeaggi) over tid. Området inngår i DN/NINAs palsmyrprosjekt.

Tromsø og Trondheim, februar 2012

Hans Tømmervik og Annika Hofgaard



# 1 Innledning

Palsmyrene overvåkes allerede i enkeltområder i Norge (Hofgaard 2004, 2005, Fronzek m.fl. 2009, Hofgaard & Wilmann 2010). Alle norske palsmyrområder kan imidlertid inngå i en overvåking ved hjelp av fjernmålingsmetodikk (Hofgaard 2003, Tømmervik 2009). Interferometrisk analyse av Syntetisk Aperture Radardata (InSAR) vil under visse forutsetninger kunne fortelle om setning av palsmyrene (Larsen m.fl. 2009, Lauknes m.fl. 2010), mens høyoppløselige fly- og satellittbilder kan gi visuell oversikt over utviklingen av palsmyrene og andre naturtyper over tid. En rekke studier både på landskapsnivå og på detaljert nivå har vist at slike opptak (Hofgaard 2004, Sannel & Brown 2010, Tømmervik m.fl. 2012) er egnet til overvåking av myrkomplekser.

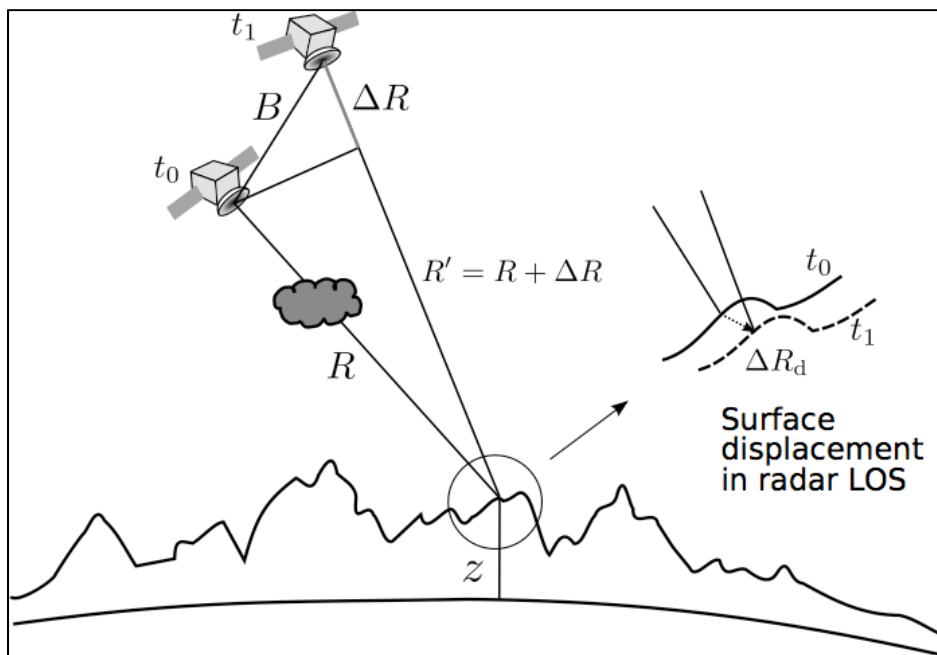
Målet med dette prosjektet er å prøve ut bruk av Syntetisk Aperture Radar (SAR) data for å oppdage og kvantifisere landskapsendringer knyttet til palsmyr. Nøyaktige målinger av bakkens forskyvning på grunn av tine- og fryseprosesser er ofte basert på tidskrevende bakkebaserte installasjoner, noe som også kun muliggjør målinger på noen utvalgte lokaliteter. Satellittbaserte metoder har vist seg å være nyttig til å kvantifisere samt validere bakkebaserte målinger. Avbildende Syntetisk Aperture Radar (SAR) er et sentralt instrument i stadig flere jordobservasjonssatellitter. På grunn av SAR-instrumentets insensitivitet til lys og meteorologiske forhold, er det et svært verdifullt instrument for studier av dynamiske prosesser i områder med sterkt skiftende værforhold.

## 2 Metodikk

Metodene som er brukt i rapporten omfatter bruk av tradisjonell flybildetolkning, bildebehandling og interferometri. I **Vedlegg 1** har vi presentert en del definisjoner av begreper som går igjen i rapporten.

### 2.1 Bruk av InSAR for palsmyrovervåking

I løpet av de siste tiårene, har metoden som kalles radar basert interferometri (InSAR) vist seg svært verdifull for deformasjonsmåling fra satellitt (Gabriel m.fl., 1989, Massonnet & Feigl, 1998). Denne teknikken baserer seg på å analysere faseforskjellen mellom to radarsignaler tatt fra omtrent samme geometri, men på forskjellig tidspunkt (**Figur 1**).



**Figur 1.** Illustrasjon av radarinterferometri-prinsippet.

Det samme området på bakken er avbildet av SAR-instrumentet ved to forskjellige tidspunkt  $t_0$  og  $t_1$ . Faseforskjellen mellom de to radarbildene, kalt interferometrisk fase, påvirkes av forskjellige faktorer:

- Deformasjon eller forflytning i radarens siktelinje
- Topografi
- Endringer i snø, vegetasjon og atmosfære

Ved å studere faseforskjellen to og to av bildene i en tidsserie, får vi svært høy følsomhet til eventuell bakkebevegelse  $\Delta R_d$  i radarens synsretning (line-of-sight = LOS) som funksjon av tid. Atmosfæriske forstyrrelser mellom to SAR bilder er illustrert i **Figur 1** med en sky i ett av SAR-opptakene.

Satellitten er ikke i stand til å gjenta sin bane helt nøyaktig, dermed vil de to satellittposisjonene være atskilt med en avstand (baseline  $B$ ), noe som gir følsomhet for høyden  $z$  til punktet på bakken. Ved å bruke en *a priori* tilgjengelig digital høyde modell (DEM), kan vi fjerne dette signalbidraget i InSAR-prosesseringen. I Norge er en slik høydemodell tilgjengelig fra Statens Kartverk. Etter å ha fjernet det topografiske bidraget står man igjen med det ønskede deformasjonssignalet (om det er tilstede), samt en signalkomponent som hovedsakelig skyldes endringer i atmosfære. I noen tilfeller er det for mye støy til at man greier å isolere deformasjonssignalet. Dette gjelder spesielt ved snødekke, høy variasjon i jordfuktighet eller tett vegetasjon. Teknikken vil altså ikke virke om vinteren, i våte myrer og i tett skog. For stor deformasjon, som utrasing eller kollaps av en pals, kan også føre til tap av signal.

Likevel vil det i Nord-Norge være store områder der man kan anvende teknikken, spesielt over skoggrensa. Et biprodukt av interferometrisk analyse er *koherens*, som er et mål på stabiliteten av den interferometriske fasen. Siden vi ønsker å måle svært saktevarierende deformasjonsfenomener, er vi interessert i høyest mulig fasestabilitet.

## 2.2 Bruk av høyoppløselige fly- og satellittbilder

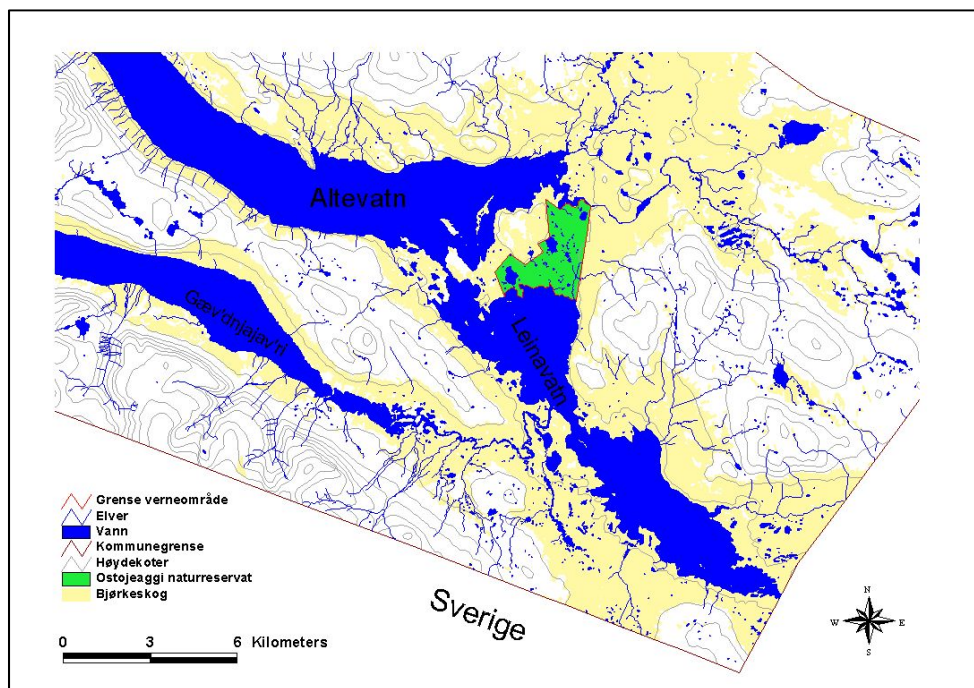
I denne rapporten er kvaliteten og egnetheten til digitale flybildeopptak, høyoppløselige optiske satellittbildeopptak og radarbasert interferometri benyttet for å detektere endringer i palsmyrområder. Palsmyrene i Ostojeaggi er brukt som testområde (se seksjon 3 for lokalitetsinformasjon). For dette området finnes både satellitt- og flybildeopptak som er tatt de senere år (WorldView-1 og flybilder fra 30. juli 2004 og sommeren 2011). I analysene inngår også bruk av ny digital terrengmodell og eldre flybilder. Dette for å vurdere egnetheten i å bruke slike bilder for å kartlegge endringer tilbake i tid. Analysene følger metodikk i Aguilar m.fl. (2007), Nichol m.fl. (2006), Sannel & Brown (2010) og Tømmervik m.fl. (2012). Analysene bygger også på erfaringer fra Taavvavuoma som ligger like i nærheten av Ostojeaggi, der Quickbirdbilder er blitt brukt for deteksjon av forandringer i palsmyr ([www.myrar.se](http://www.myrar.se)).

Kartoppretting av satellittopptak og flybilder ved hjelp av topografiske kart samt allerede opprettede satellittbilder er en naturlig del i prosjektet. Bildene ble benyttet visuelt for å påvise endringer i bildene (Tømmervik m.fl. 2012), digitalisere objekter (palsplataer, dammer etc.) i bilde-

ne, samt bruke prinsipal komponent analyse (ortogonal transformasjon) for å detektere/måle endringer fra et bilde til et annet bilde av samme område (Byrne m.fl. 1980). Vi vil digitalisere palser, palsplatåer, palsringer, bruddlinjer og bruddkanter samt beregne lengden av disse, og telle opp antall vannansamlinger (lagg, dammer og pøler) på bakgrunn av satellitt- og flybildene. Arealet av palser, palsplatåer samt palsringer vil bli beregnet, og variasjon i gråtonenivåer langs transekter vil bli analysert og presentert. Gråtonenivåene indikerer endringer i respons/reflektans i bildene som funksjon av endringer i landdekke (Tahvanainen 2011). Lave verdier indikerer vatn, bruddkanter, sprekker og ikke-vegeterte arealer, midlere verdier indikerer torvmyr, palser, mens høye verdier indikerer starrmyr.

### 3 Studieområde

Ostojeaggi, som inngår i DNS overvåking av palsmyr (Hofgaard 2004) er brukt som studie- og testområde i denne rapporten. I tillegg drar prosjektet nytte av erfaringer fra studier av palsmyrkomplekser i nærliggende områder i Sverige: Tavvavuoma (Karesuando) øst for Ostojeaggi og Stordalsmyra (Abisko) sør for Ostojeaggi, hvor det foregår studier av permafrost og palsmyrdynamikk.



**Figur 2.** Kartet viser naturreservatet Ostojeaggi sørøst i Bardu kommune, Troms fylke.

## 4 Data

### 4.1 Flybilder

Det finnes svart-hvitt flybilder for Ostojeaggi-området fra årene 1947, 1956 og 1986, men ingen av dem er i en skala som gjør det enkelt å analysere utviklingen i myrområdet i detalj (Hofgaard 2004). Bildene fra 1947 er i skalaen 1:40000 og kan kun brukes til å se storskala forandringer i området, for eksempel de mindre palsmyrområder øst for Ostojeaggi som forsvant ved oppdemningen av Altevatnet. Bildene fra 1956 er i skalaen 1:10000 og gir dermed et langt mer detaljert bilde av palsmyras strukturer. Bildene fra 1986 er i skalaen 1:15000 og gir en relativt god oversikt over dominerende palsmyrstrukturer som for eksempel frekvens og form av større vannsamlinger. Det begrensede antallet flybilder og skalaforskjellene gjør at grunnlaget for detaljerte tidsserieanalyser er svært begrenset. I 2004 ble det tatt en serie av fargeflybilder i forbindelse med arkeologisk utgravning i området (**Tabell 1**). Men bildene dekker bare deler av naturreservatet (område 1 og deler av område 2 som blir brukt i palsmyrovervåkingen) og de er ikke kartopprettet av Statens Kartverk. Vi har imidlertid fått og brukt disse bildene i analysen for perioden 2004 til 2010 for å sjekke ut forandringene i palsmyra i den perioden som overvåkingen har foregått. Det er også blitt tatt nye flybilder i farger og infrarødt over området i 2011 (**Tabell 1**), men disse bildene vil ikke være tilgjengelige før ut på våren/sommeren 2012 i følge Fylkeskartkontoret i Troms.

### 4.2 Satellittbilder

Landsatbilder finnes fra begynnelsen av 1970-tallet og utgjør dermed et 40-årig grunnlag for kontinuerlig overvåking av utviklingen. Disse bildene har imidlertid grov oppløsning (15 - 60 m) og gir bare en meget grov indikasjon på tilstedeværelse eller tidligere tilstedeværelse av større palsformasjoner som har gitt opphav til større dammer i myrområdene. SPOT-bilder finnes over området fra 1986 (20 m oppløsning) og fra 2009 med romlig oppløsning på 2,5 - 5 m. Disse bildene gir mulighet for å kartlegge de mer detaljerte strukturelle forholdene i palsmyrkomplekset, men prisen på bildene med høyest romlig oppløsning er meget høy. Strukturelle forandringer på en skala mer egnet for overvåkingsprogrammet kan skaffes via høyoppløselige satellittbilder (Quickbird), men disse medfører en meget stor kostnad. Se forøvrig "Appendix I" i Hofgaard (2003) for mer informasjon om muligheter med satellittbilder. For området finnes det et multispektralt Quickbird-2 bilde fra 2008 men det var forstyrret av skyer og skyskygger. Et bildeopptak fra oppfølgeren WorldView-2 hadde vært ønskelig men det viste seg umulig å få tatt et slikt bilde i inneværende sesong. Derimot finnes det et pankromatisk (svart-hvitt bilde synlig lys) tatt opp av WorldView-1 fra 29. juni 2010 som ble brukt i prosjektet (**Tabell 1**). Det

var delvis preget av skyskygger og slørskyer, men var brukbart for områdene 1 og 2 samt deler av område 3 som brukes i overvåkingen.

Ulike fly-, satellittbilder og kartdata er brukt i undersøkelsen (**Tabell 1**).

**Tabell 1.** Fly-, satellittbilde- og kartdata brukt i undersøkelsen. \*Flybildeopptak fra 2011 ikke ferdigstilt fra flybildeoperatør. \*\*QuickBird-2 opptak fra 2008 hadde for dårlig kvalitet.

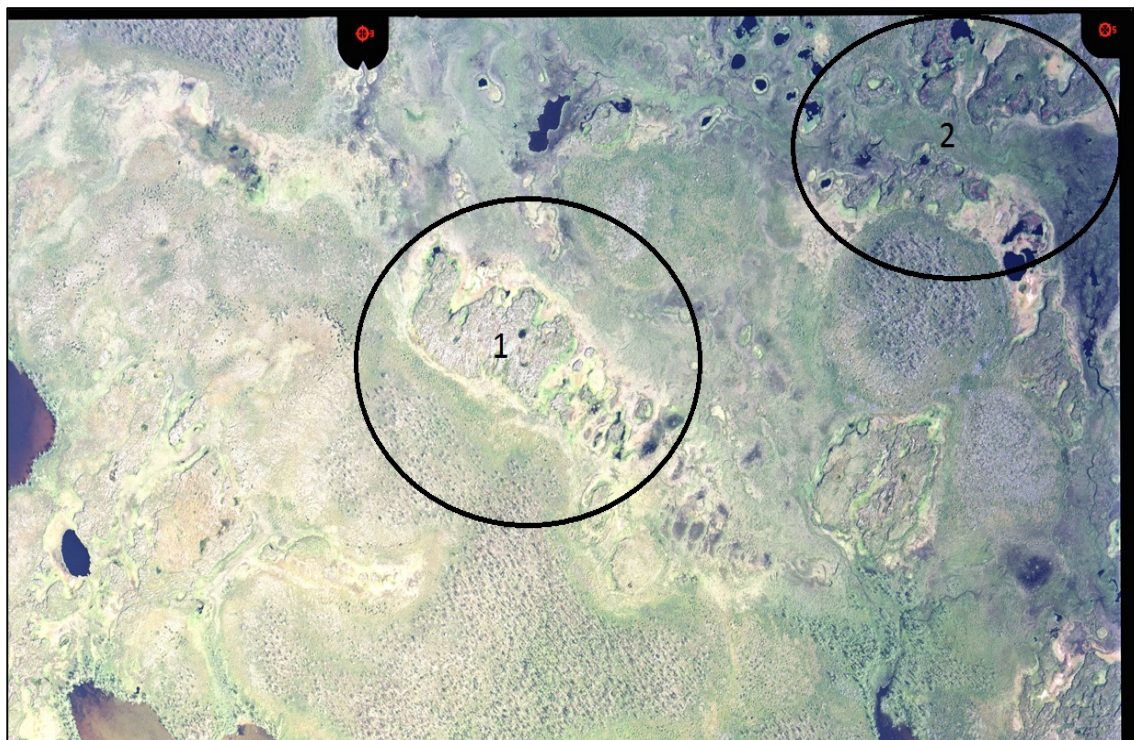
Sensor	Dato	Bånd	Romlig oppløsning
Topografiske kart	1986		1: 50.000
Flybildeopptak	juli-august 1986	BW	0,40 m
Flybildeopptak	2. august 2004	Farge	0,12 m
Flybildeopptak	juli-august 2011	Farge	0,40 m
QuickBird-2	24. august 2008	VNIR: 3	2,2 m
		SWIR: 1	2,2 m
		PAN	0,62 m
WorldView01	29. juni 2010	PAN	0,5 m
ALOS PALSAR	8 bilder	SAR	15 m x 3 m
	2. juli 2007 - 25. august 2010	L-bånd	InSAR: 15 m x 15 m
Envisat ASAR	20 bilder	SAR	20 m x 4 m
	3. oktober 2003 - 1. oktober 2010	C-bånd	InSAR: 20 m x 20 m



## 5 Resultater

### 5.1 Overvåking ved hjelp av flybilder

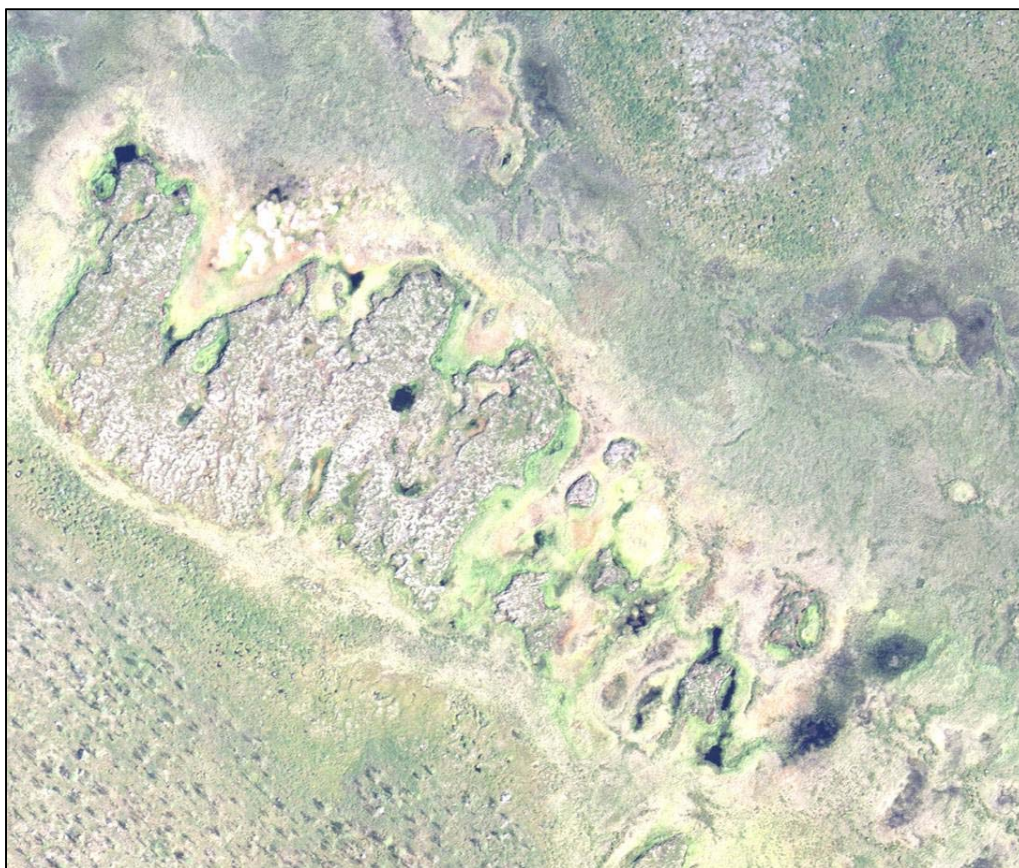
Et fargeflybilde fra 2. august 2004 med en romlig oppløsning på 12 cm (**Figur 3**) er brukt i analysene. Flyopptaket dekket bare deler av naturreservatet Ostojeaggi, slik at en full sammenligning med satellittbildeopptaket fra 2010 ikke kunne utføres, men to områder med detaljerte bakkeedata er inkludert (markert med sirkler i **Figur 3**).



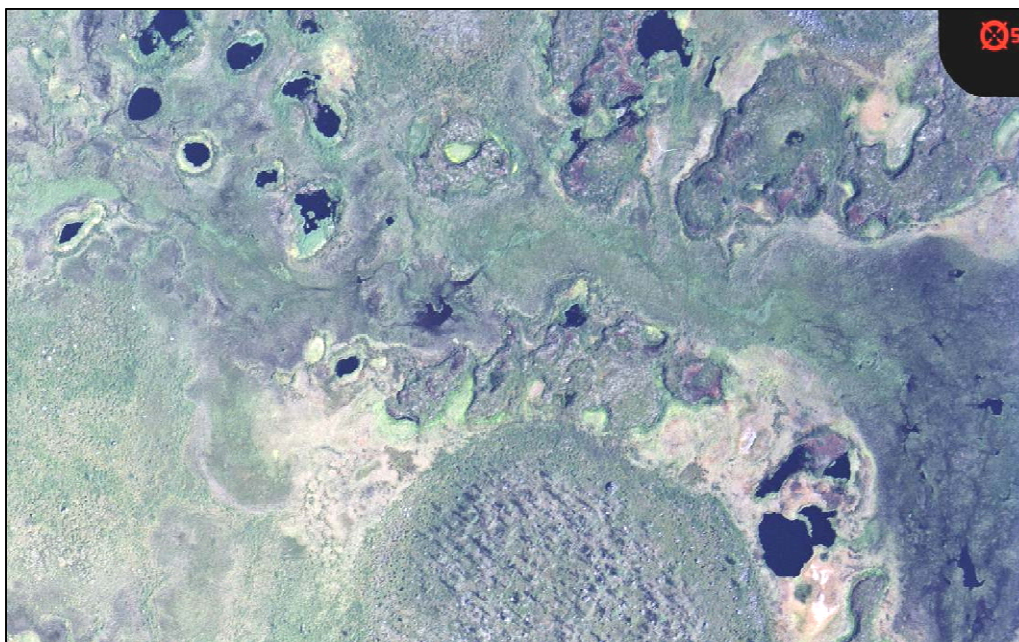
**Figur 3.** Flybilde fra 2. august 2004 over palsområdene 1 og 2 i Ostojeaggi. Bildet har en romlig oppløsning på 12 cm.

**Figur 4** og **5** viser detaljerte fargebilder over område 1 og 2 i Ostojeaggi. For område 2 viser flybildet at området er preget av bruddkanter, nakne og vegetasjonsløse områder i brunt hvor torva er blottlagt (**Figur 5** og **6**). I tillegg kommer lagg, pøler og dammer, samt palsenes tekstur i form av sprekker og små forsenkninger godt fram på bildene.





**Figur 4.** Flybilde fra 2. august 2004 over palsområde 1 i Ostojeaggi.



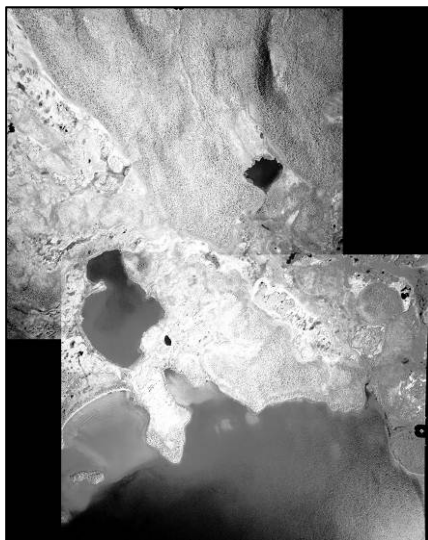
**Figur 5.** Flybilde fra 2. august 2004 over palsområde 2 i Ostojeaggi.



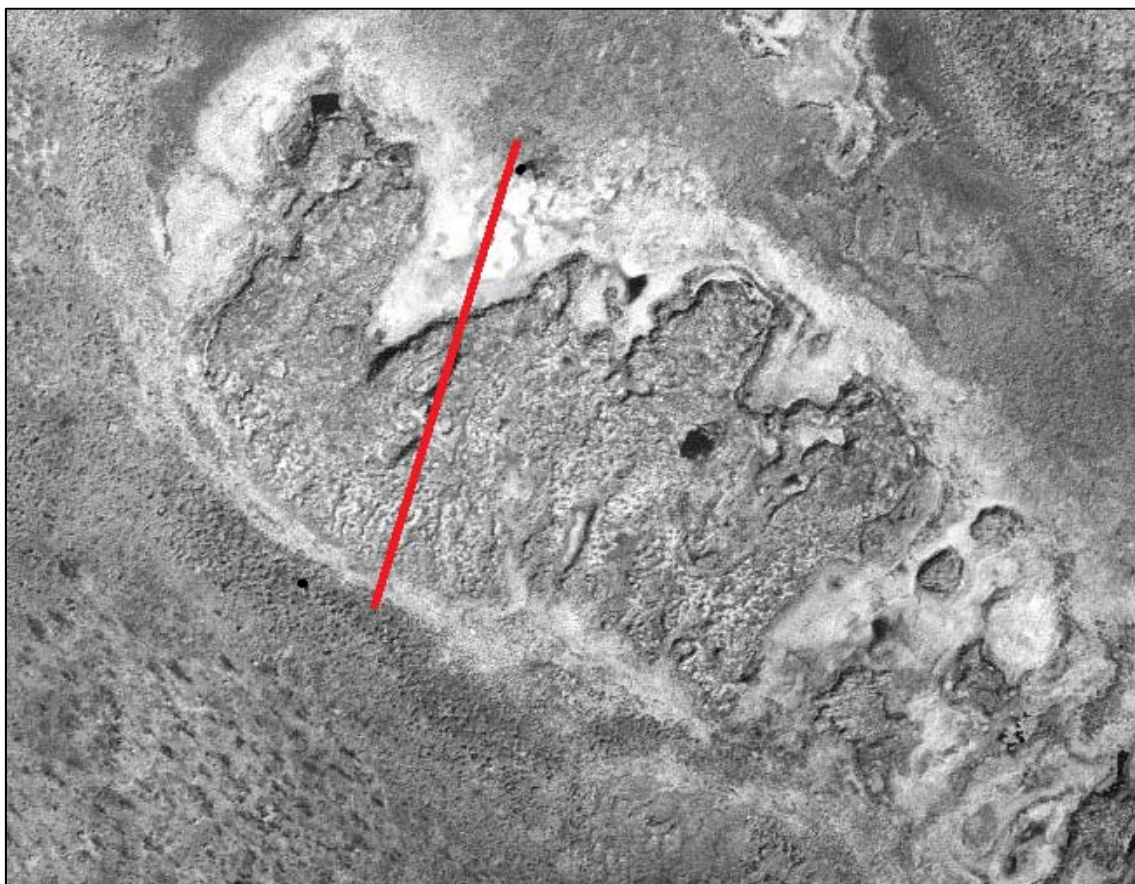


**Figur 6.** Detaljutsnitt basert på flybildet fra 2004 (område 2) som viser naken torv (brune områdene), bruddkanter, lagger, dammer og små pøler.

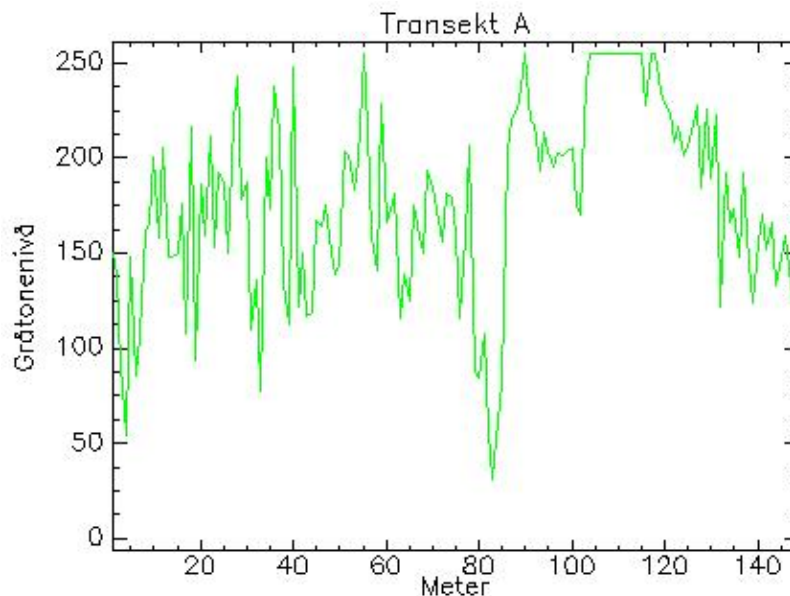
Flybildeopptaket over Ostojeaggi fra 2004 er ikke ortofotokorrigert fra Statens Kartverk. Vi måtte derfor korrigere dette opptaket slik at det kunne sammenlignes med satellittbildeopptaket fra WorldView-01. **Figur 7** viser en mosaikk av to flybilder over Ostojeaggi etter kartkorreksjonen, og **Figur 8** område 1 der transekt A (Hofgaard & Wilmann 2010) er tegnet inn. Vi presenterer variasjonen i gråtonenivåer i form av et profil langs med transekt A i område 1 basert på flybildeopptaket (**Figur 9**). Lave gråtoneverdier i dette profilet indikerer sprekker, naken torv, brottinger, vatn/pøler, mens midlere verdier indikerer vegeterte områder på palsplatået og høye verdier myrflater med starr- og myrullarter (torvull og duskull). De høyeste verdiene representerer nye palsområder med nylig død torvmose, og starr- og myrullarter.



**Figur 7.** Flybilder fra 2. august 2004 over Ostojeaggi-området etter kartoppretting.



**Figur 8.** Geometrisk opprettet flybilde (pankromatisk) over område 1 basert på flybilde fra 2. august 2004. Romlig oppløsning var opprinnelig 12 cm, men bildet er re-samplet til 50 cm for å få det til å passe med satellittopptaket (WorldView-01) fra 29. juni 2010. Linjen viser transekt A.



**Figur 9.** Variasjon i gråtonenivåer langs med transekt A i **Figur 8**.

## 5.2 Overvåking ved hjelp av satellittbilder med høy oppløsning

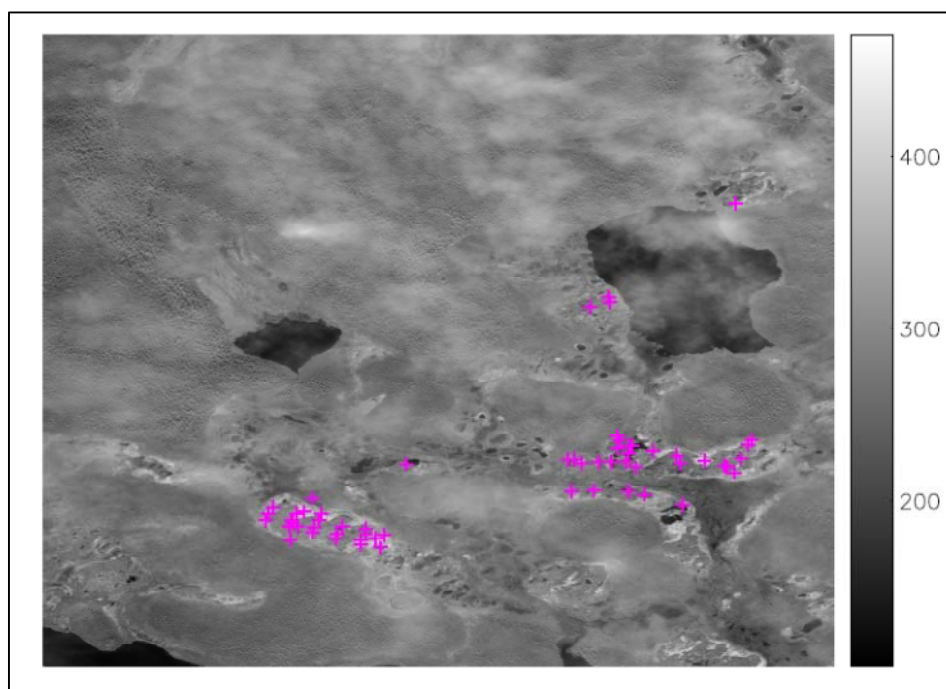
Et WorldView-02 opptak i 4 kanaler ble bestilt over området, men på grunn av skyer og gråvær lyktes det ikke å få noe opptak fra området. Et Quickbird-2 opptak fra 2008 (**Tabell 1**) var heller ikke egnet for videre analyser, men et pankromatisk (synlig lys: svart-hvit) WorldView-01 opptak fra 29. juni.2010 (**Figur 10**) ble brukt til formålet. Posisjonene for feltmålinger (Hofgaard & Wilmann 2010) er markert med lilla kryss i **Figur 11**. Gråtonenivåer som viser skift i struktur og arealdekke (for eksempel pals, lagg, vann etc.), er satt inn på en skala til høyre i figuren. Bildet er en god del forstyrret av slørskyer i øverste høyre hjørne.

Satellittbildeopptaket (**Figur 12**) egner seg bra til å detektere forandringer i palsene (form, bruddkanter/linjer, dammer, pøler, lagg, sammenrasning) i område 1. Et romlig profil (**Figur 13**) viser variasjonen i gråtonenivåer langs etter transekt A i område 1 basert på WorldView-01-opptaket (**Figur 12**). Her indikerer lave gråtoneverdier vatn, sprekker, naken torv og bruddkanter, mens midlere verdier indikerer vegeterte områder på palsene, og høye verdier viser myrflatter med starr- og myrullarter (torvull og duskull). De høyeste verdiene i profilet (**Figur 13**) representerer nye palsområder med nylig død torvmose, myrull- og starrarter. Ved å sammenligne profiler (**Figur 9** og **Figur 13**) og bilder fra år til år (**Figur 8** og **Figur 12**) kan en påvise årlige endringer i detalj (langs transekter) og i større romlig skala (bilder). På grunn av ulikheten i sensorer og radiometrisk oppløsning lar det seg ikke gjøre å foreta en direkte sammenligning mellom **Figur 9** og **Figur 13**.

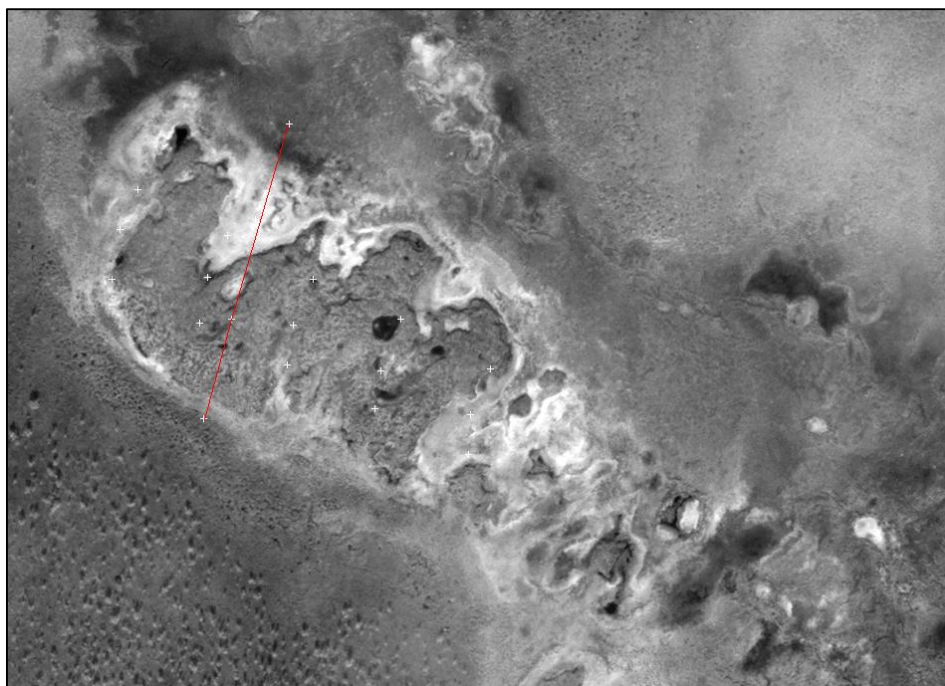




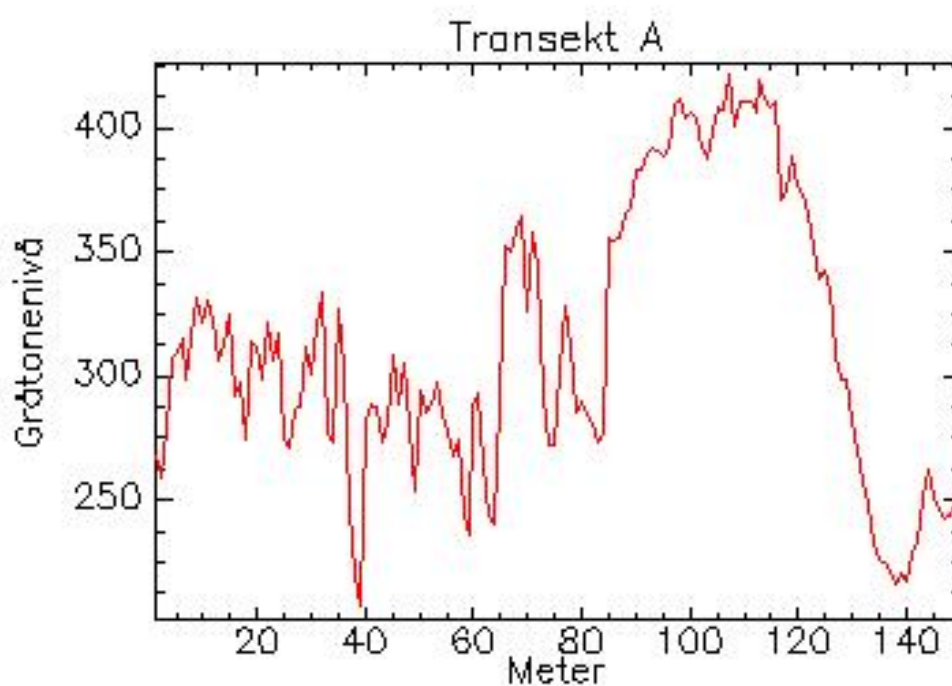
**Figur 10.** Pankromatisk (svart-hvitt) satellittbilde basert på WorldView-01 fra 29. juni 2010.



**Figur 11.** Utsnitt av det pankromatiske (svart-hvitt) fra 29. juni 2010 med posisjon for feltmålinger (Hofgaard & Wilmann 2010), markert med lilla kryss.



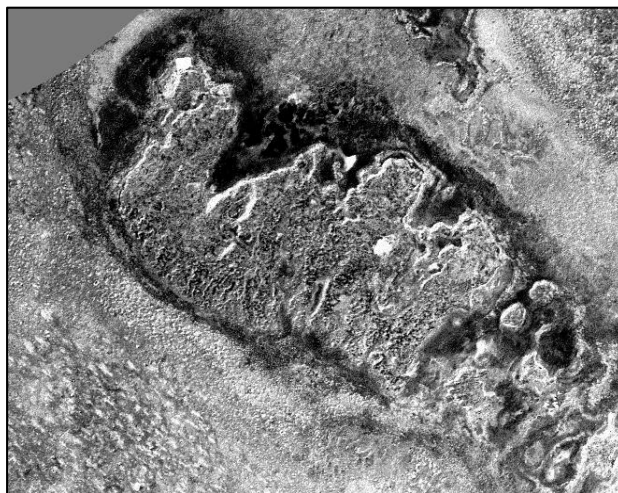
**Figur 12.** WorldView-01 bilde av område 1 fra 29. juni 2010 med transekt A innlagt med rødt. Romlig oppløsning er 50 centimeter.



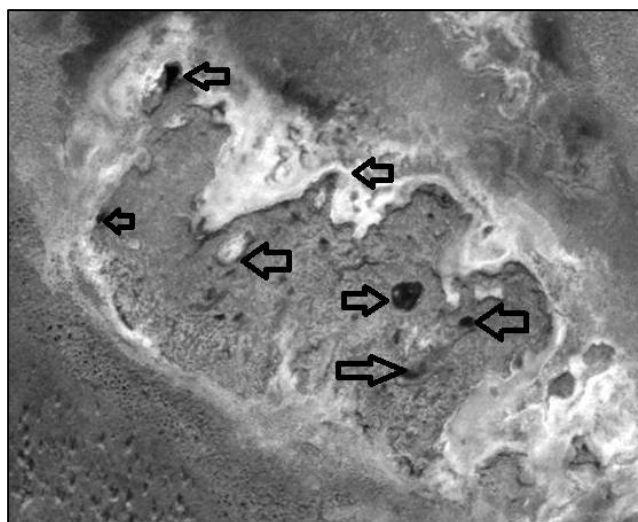
**Figur 13.** Variasjon i grøttonenivåer langs med transekt A i område basert på WorldView-01.

### 5.3 Endringer i palsstrukturene i perioden 2004 - 2010

En prinsipal komponent basert (PCA) endringsdeteksjon utført på fly- og satellittbildene viser forandringer i form av utstrekning/form av palser sprekker, naken torv og bruddkanter samt vannansamlinger som lagg (**Figur 14**). Denne metoden kan spesielt brukes framover i tid, men kan også brukes bakover i tid hvis man har gode kartriktige satellitt- og flybildeopptak tilgjengelig. Større forandringer i palsmyrkomplekset i område 1 i perioden 2004-2010 er markert i **Figur 15**.



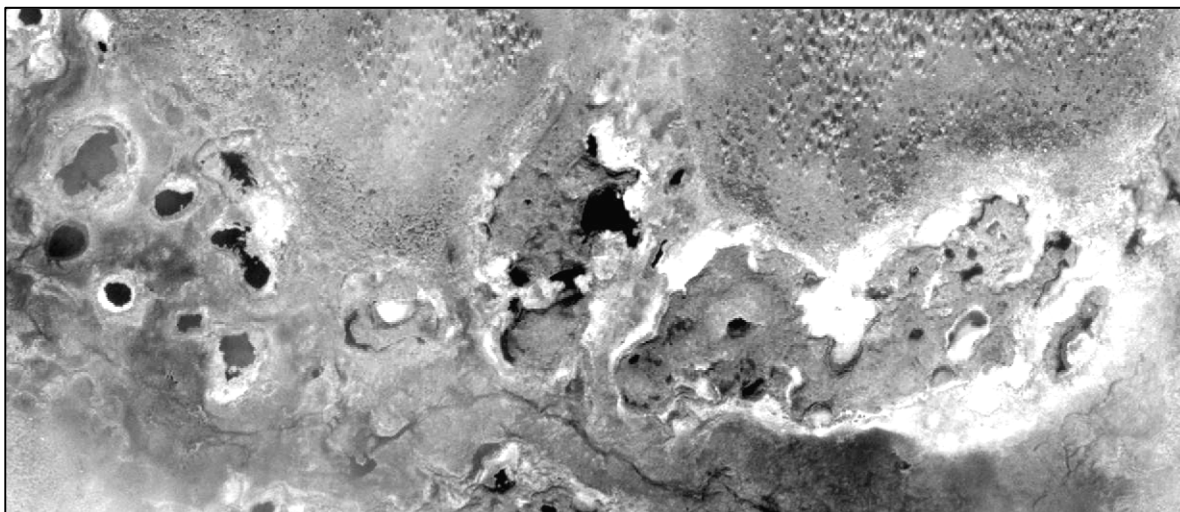
**Figur 14.** Endringsbilde ved hjelp av PCA-analyse av de pankromatiske bildene fra 2004 og 2010. De lyse og hvite områdene indikerer at forandringer har skjedd i bildet, som forandringer i pøler, bruddkanter, sprekker og naken torv.



**Figur 15.** Satellittbildet (WorldWiew-01, 29. juni 2010) viser hvor det er påvist større forandringer i palsmyrkomplekset i område 1 i perioden 2004-2010.

Et satellittbilde fra 29. juni 2010 (WorldView-01) viser den nordlige delen av område 2 som preges av flere dammer, pøler og lagg i tillegg til bruddkanter (**Figur 16**). De lyse områdene i bildet viser myr dominert av myrull- og starrarter og noen av disse områdene representerer nye palsområder med nylig død torvmose dominert av myrull- og starrarter.

En kvantitativ sammenligning vedrørende forandringer i område 1 og 2 fra 2004 til 2010 viser at antall bruddkanter og bruddlinjer er stabilt, men at lengden på disse har økt (**Tabell 2**). I den sørlige delen av område 2 har struktur og form på palsene blitt endret, og antall pøler og dammer har økt (**Figur 17** og **Figur 18**). Palsteksturen kommer klart fram på disse bildene. Antall vannansamlinger i og i form av tjern, lagg, dammer og pøler var stabilt i område 1 i perioden 2004-2010 (**Tabell 3**). For område 2 påvises en liten økning i antall lagg og dammer mens antall mindre dammer har økt (**Tabell 3**). Digitaliseringer av palsplatåer, palser og palsringer på basis av bildet fra 2004 er lagt inn i **Figur 19**. Arealet av de fleste palsstrukturene (palsringer, palser og palsplatåer) har blitt redusert i perioden 2004-2010 (**Tabell 4**).

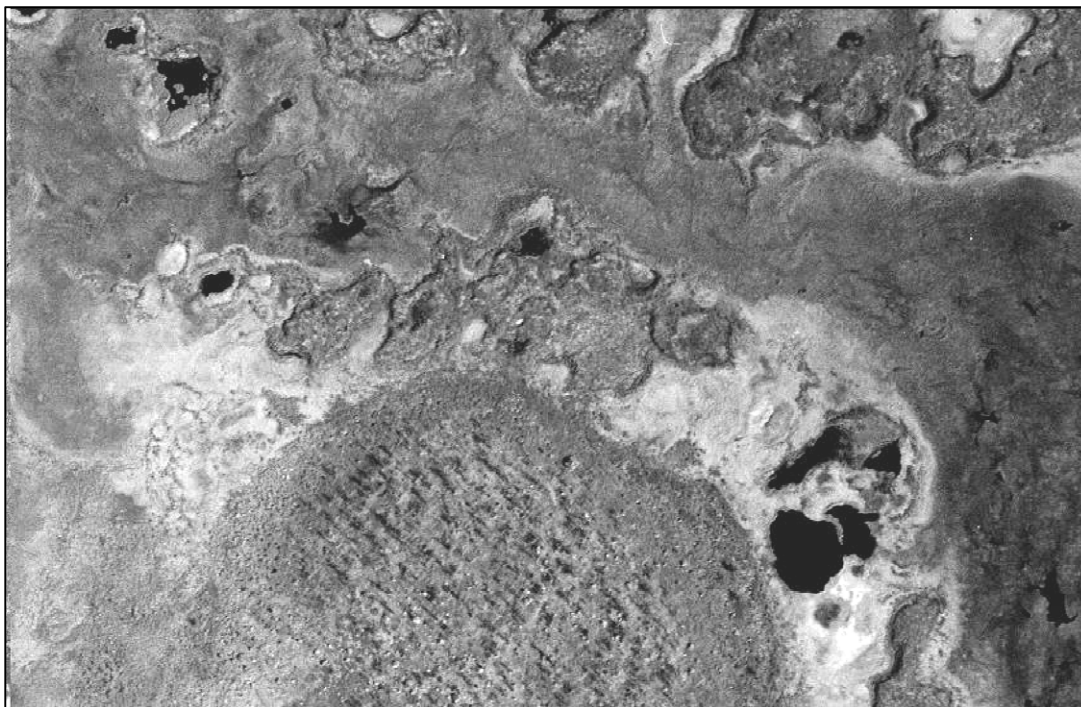


**Figur 16.** Pankromatisk bilde tatt av WorldView-01-satelliten over den nordlige delen av område 2 fra 29. juni 2010.

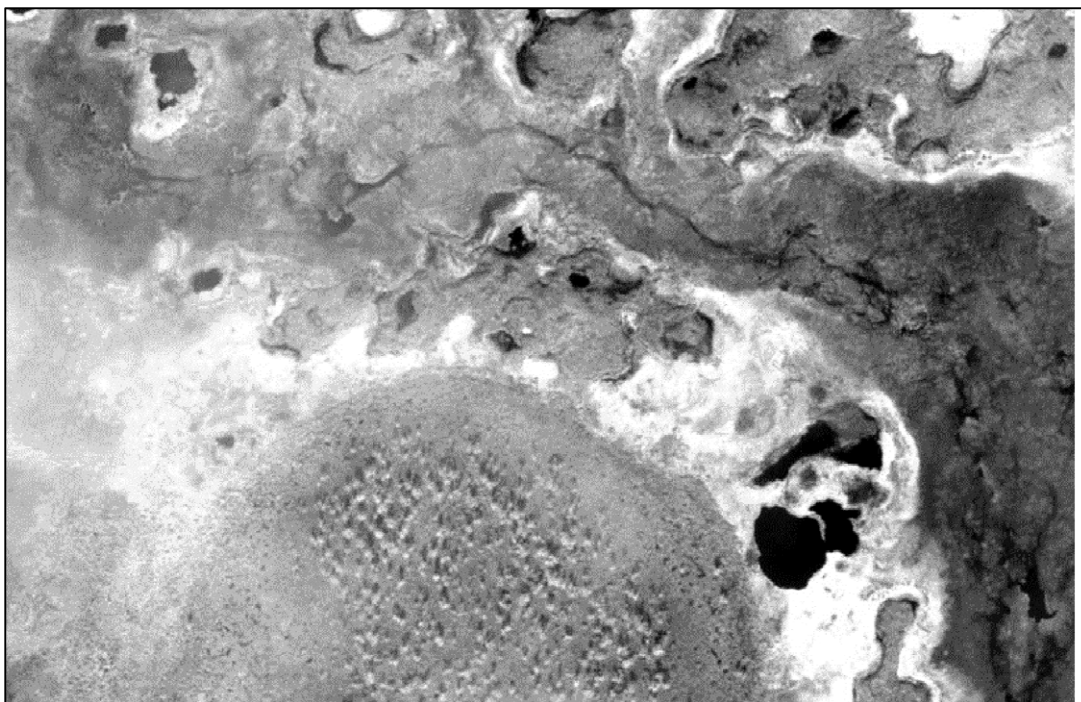
**Tabell 2.** Oversikt over forandringer i palsmyra i område 1 og 2 i form av antall bruddlinjer og lengden på disse.

Område nr.	Antall bruddkant og bruddlinjer (store lineære strukturer)		Lengde bruddkanter og bruddlinjer i meter	
	2004	2010	2004	2010
1	39	36	1037	1356
Endring 2004-2010	-	-3	-	319
2	18	18	480	644
Endring 2004-2010	-	-	-	164





**Figur 17.** Svart-hvitt flybilde tatt 02. august 2004 over sørlige deler av område 2.



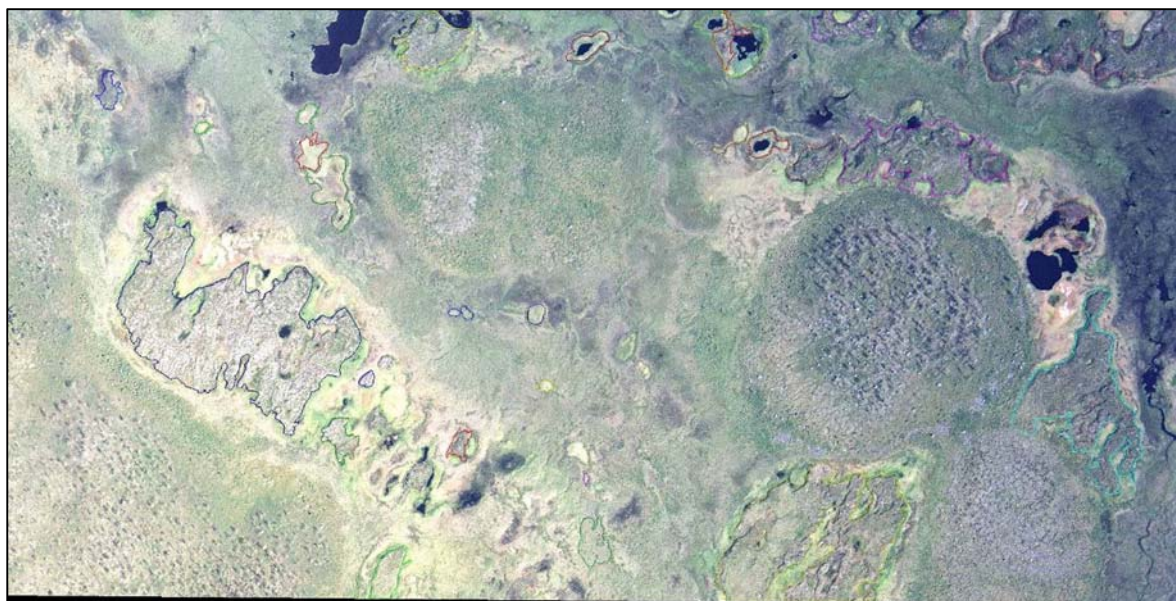
**Figur 18.** Pankromatisk (svart-hvitt) satellittbilde tatt 29. juni 2010 av WorldView-01-satellitten over sørlige deler av område 2.

**Tabell 3.** Oversikt over type vannansamlinger i form av lagg, dammer og mindre dammer i område 1 og 2.

<b>Område</b>	<b>Antall lagg</b>		<b>Antall dammer</b>		<b>Antall små dammer</b>	
	<b>2004</b>	<b>2010</b>	<b>2004</b>	<b>2010</b>	<b>2004</b>	<b>2010</b>
1	12	11	5	4	5	8
Endring 2004-2010	-	-1	-	-1	-	3
2 - nord	13	12	11	11	12	18
Endring 2004-2010	-	-1	0	0	-	6
2 - sør	5	8	5	7	5	3
Endring 2004-2010	-	3	-	2	5	-2

**Tabell 4.** Oversikt over forandringer (areal i m<sup>2</sup>) i palsstrukturer (palsringer, palser og palsplåtår) i perioden 2004 - 2010 for området som er presentert i **Figur 19**.

<b>Type og område</b>	<b>Areal i m<sup>2</sup></b>		<b>Type og område</b>	<b>Areal i m<sup>2</sup></b>	
	<b>2004</b>	<b>2010</b>		<b>2004</b>	<b>2010</b>
Palsring_1_2004	244,5	205,5	Pals_1	113,0	88,5
Palsring_2_2004	86,3	75,0	Pals_2	107,5	85,5
Palsring_3_2004	197,0	188,0	Pals_3	629,8	544,3
Palsring_4_2004	420,0	362,8	Pals_4	170,5	74,5
Palsring_5_2004	1232,5	1103,8	Pals_5	472,5	202,8
Palsring_6_2004	50,3	37,0	Pals_6	278,8	73,0
Palsring_7_2004	74,8	64,3	Pals_7	831,8	1081,8
Palsring_8_2004	192,0	179,0	Pals_8	351,0	193,0
Palsring_9_2004	103,0	99,5	Pals_9	163,3	169,8
Palsring_10_2004	88,8	91,0	Pals_10	938,5	297,3
Palsring_11_2004	70,5	66,8	Pals_11	865,8	742,8
Palsring_12_2004	240,3	250,8	Pals_12	1252,5	1116,5
Palsring_13_2004	28,0	42,3	Pals_13	786,5	563,8
Palsring_14_2004	27,0	43,8	Pals_14	956,0	1868,3
Palsring_15_2004	96,8	139,3	Palsplåtå_1	16754,3	15054,3
Palsring_16_2004	247,8	266,3	Palsplåtå_2	1733,8	1598,8
Palsring_17_2004	1763,8	1763,8	Palsplåtå_3	11532,3	12794,0
Palsring_18_2004	444,0	445,5	Palsplåtå_4	6978,5	5951,8
Palsring_19_2004	493,5	493,8	Palsplåtå_5	5094,8	4446,5
Palsring_20_2004	317,0	317,0	Palsplåtå_6	6852,3	6589,8
<b>Totalt areal</b>	<b>6417,0</b>	<b>6234,8</b>		<b>56863,0</b>	<b>53536,5</b>



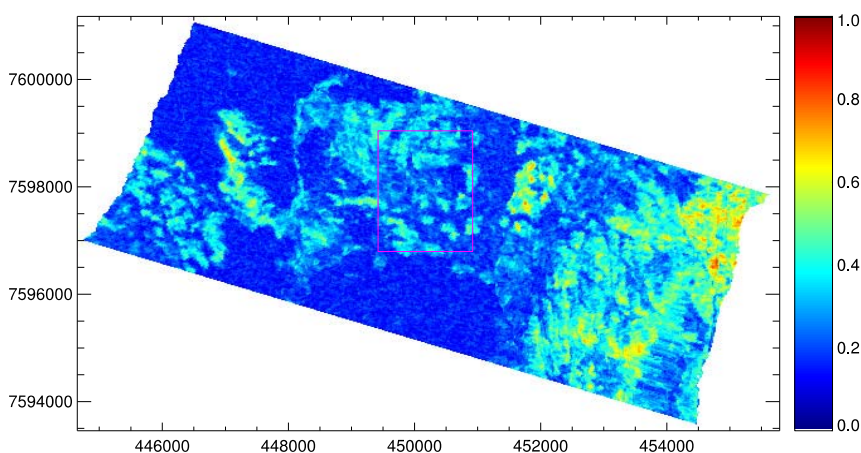
**Figur 19.** Korrigert flybilde fra 2004 med innlagte digitaliseringer av palsplatåer, palser og palsringer.

## 5.4 Overvåking ved hjelp av InSAR

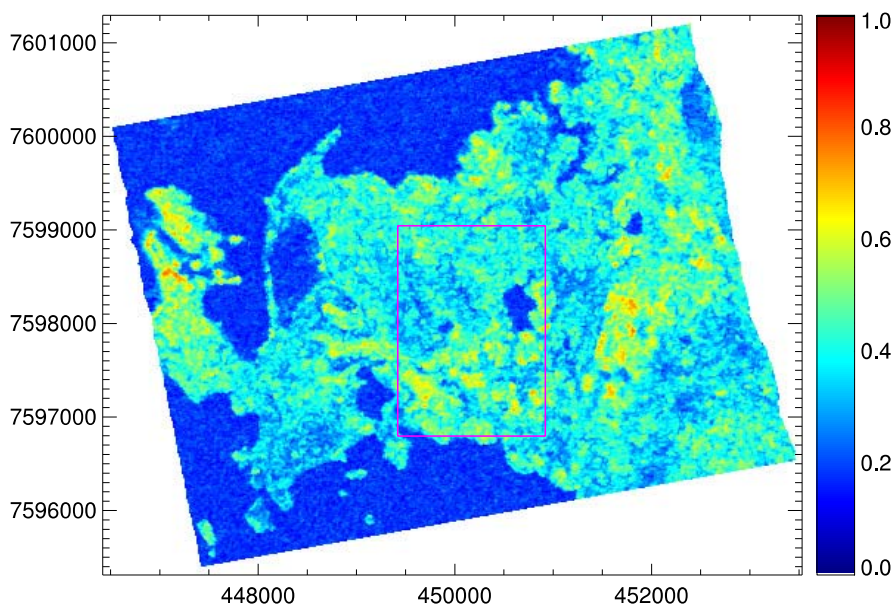
Vi har i denne studien basert oss på eksisterende arkivdata fra SAR-instrumentene Envisat ASAR og ALOS PALSAR, se **Tabell 1**. Disse tidsseriene har dessverre ikke tette nok opptak til å kunne studere deformasjonsfenomener gjennom en enkelt sommersesong, men vi kan likevel si noe om gjennomsnittlig deformasjon over flere år om signalkvaliteten er god nok. InSAR-teknikken er sensitiv for høy jordfuktighet. Siden myrområder stedvis kan være svært fuktige, har vi gjennomført en innledende analyse av signalkvalitet (koherens) i det aktuelle testområdet Ostojeaggi for de to dataseriene vi har benyttet i denne studien. Sensitiviteten for fuktighet er avhengig av SAR-instrumentets bølgelengde, som er forskjellig for de to tidsseriene: Envisat ASAR opererer i C-bånd (5.6 cm), mens ALOS PALSAR opererer i L-bånd (23.6 cm). En lengre bølgelengde er i utgangspunktet en fordel her, selv om sensitiviteten for måling av det ønskede deformasjonssignalet blir lavere. En annen faktor som påvirker signalkvalitet er tidsdifferansen mellom de to bildene som benyttes til hvert interferogram (kombinasjon mellom to SAR bilder). Endringer i vegetasjon og fuktighet i det aktuelle området mellom de to tidspunktene gir lavere signalkvalitet. Dette fenomenet kalles *temporal* (eller tidsmessig) *dekorrelasjon*.

Vi presenterer estimert gjennomsnittlig koherens midlet over alle interferogrampar (parvise kombinasjoner av data) for det aktuelle testområdet for henholdsvis Envisat ASAR og ALOS PALSAR (**Figur 20** og **21**). Det lille rektangelet angir et område der feltmålinger har blitt utført i

2004 og 2009. Generelt kan man si at for at signalet skal være bra nok, må koherensen være større enn omtrent 0,25 cm. Dermed ser vi at for ASAR-dataene er store områder dekorrelert, og vi kan ikke estimere deformasjon. For ALOS-dataene derimot, har mesteparten av området høy nok signalkvalitet for InSAR-basert deformasjonsanalyse. Signalkvaliteten er illustrert i **Figur 22** og **23**, som viser koherens for et enkelt interferogram-par fra henholdsvis ASAR og PALSAR. Legg merke til at ASAR-dataene er delvis dekorrelert (blå farge) i de fuktige myrområdene i løpet av de 35 dagene mellom opptakene. PALSAR-dataene derimot, har beholdt noe koherens selv over en periode på 2 år. Dette er grunnet lengre bølgelengde.

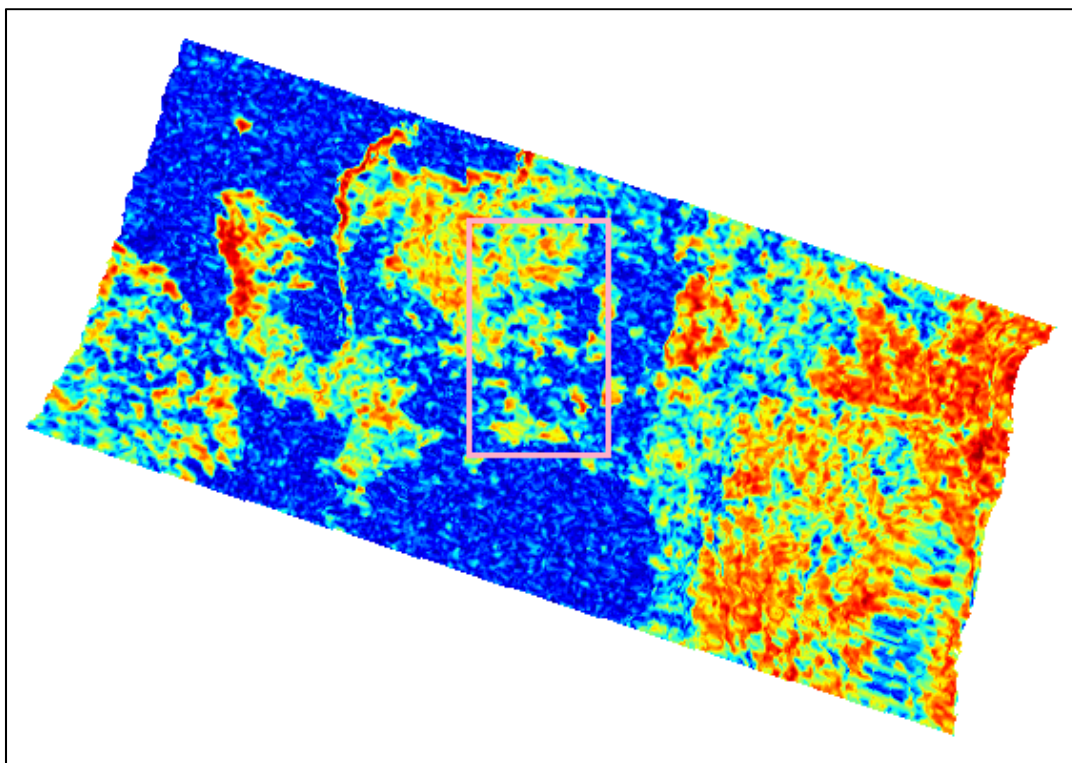


**Figur 20.** Gjennomsnittlig koherens basert på C-bånd SAR-data fra Envisat ASAR. Studieområde merket med lilla ramme. Aksene er koordinater i UTM sone 34.

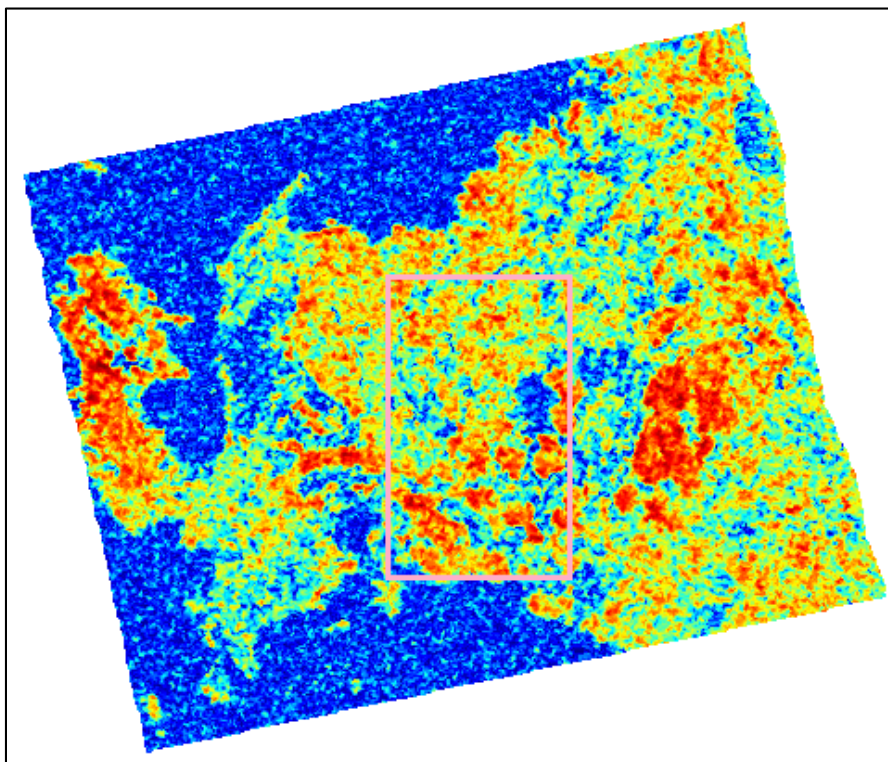


**Figur 21.** Gjennomsnittlig koherens basert på L-bånd SAR-data fra ALOS PALSAR. Studieområde merket med lilla ramme. Aksene er koordinater i UTM sone 34.



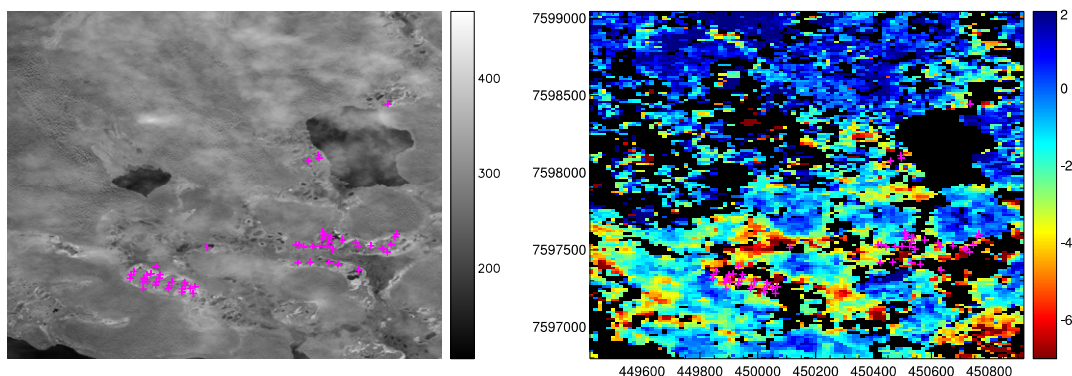


**Figur 22.** Koherens for et enkelt interferogram for ASAR-data fra 3. juli og 7. august 2009. Blå farge angir lav koherens, mens rød farge angir høy koherens.



**Figur 23.** Koherens for et enkelt interferogram for PALSAR-data fra 2. juli 2007 og 22. august 2009. Blå farge angir lav koherens, mens rød farge angir høy koherens.

Interferogrammer av denne typen er rådata for deformasjonsanalysen. En deformasjonsanalyse bruker en stabel av slike interferogrammer for å filtrere ut gjenværende uønsket signal, inkludert atmosfære, feil i satellittbanemålinger og feil i høydemodell. Analyse blir kun utført for piksler med tilstrekkelig høy gjennomsnittlig koherens. ASAR-tidsserien har ikke tilstrekkelig høy koherens i testområdet, så vi har ikke utført en full deformasjonsanalyse her. ALOS-tidsserien består kun av 8 bilder over en periode på 3 år. Dette er nært nedre grense av hvor mange bilder man trenger for å kunne isolere deformasjonssignalet. Det er også for lang tid mellom opptakene til å kunne studere sesongeffekter. Signalkvaliteten er derimot svært god, så vi har gjennomført en full analyse for denne tidsserien. Vi viser resultatet av analysen for testområdet (markert med lilla ramme i **Figur 21**) samt et høyoppløselig optisk satellittbilde fra samme område i **Figur 24**. De lilla kryssene i figuren markerer posisjon for feltmålinger. Et gjennomgående trekk i **Figur 24** er at det er tegn til innsynkning i palsområdene, samt at det ikke var noen endringer (ingen signal) i vatn, tjern og vannansamlinger (pøler og lagg) samt områder med krattskog. I tillegg er det ingen signal i randsonen av palsene. Dette skyldes sannsynligvis enten våt myr eller for store endringer av overflata, som utrasing eller oppbrekking i kanten av palsene fra bilde til bilde. Hadde dataopptakene vært gjort med større hyppighet eller med større romlig oppløsning, er det en mulighet for at endringer i form av innsynkning kunne ha blitt påvist.



**Figur 24.** Venstre panel: Pankromatisk satellittbilde med posisjon for feltmålinger markert med lilla kryss. Høyre panel: InSAR-basert estimat av gjennomsnittlig deformasjonshastighet i radarens sikteretning fra L-bånd SAR-data fra ALOS PALSAR i perioden 2007 - 2010. Enhet for fargeskalaen er mm/år. Negative tall (rødt og gult) betyr bevegelse bort fra satellitten, dvs. innsynkning. Usikkerheten i dette estimatet er rundt 2 mm/år.

## 6 Diskusjon

### 6.1 Optiske fly- og satellittbildeopptak

Denne pilotstudien har vist at det er mulig å detektere forandringer i ulike palstrukturer ved bruk av flybilder og satellittbilder med høy oppløsning. Flybildet som hadde en oppløsning på 12 cm ga et godt grunnlag for en endringsstudie selv om satellittbildet kun hadde en romlig oppløsning på 50 cm og her påviste vi reduksjoner i arealet av palser og palsringer, mens antall dammer og pøler enten var stabilt eller økte noe avhengig av område. Noe av dette kan være målefeil (spesielt for palsringer), men for noen av disse er det åpenbart at arealendringer har forekommet. Også nye palsområder med nylig død torvmose, myrull- og starrarter kunne detekteres, men her trengs det ytterligere analyser hvor multispektrale satellittdata brukes da disse områdene kan forveksles med områder med levende myrull- og starrarter. Det var uheldig at vi ikke fikk et skikkelig multispektralt satellittbilde fra sommeren 2011 og at flybilledekningen over Ostojeaggi var begrenset for år 2004. Vi forventer at de nye flybildene fra 2011 vil gi et godt grunnlag for videre overvåking selv om de kun er tatt opp med en romlig oppløsning på 40 cm.

### 6.2 SAR

Vi har i denne studien analysert tilgjengelig historiske SAR-data. Antall tilgjengelige SAR bilder er ikke optimalt, siden InSAR-teknikken er avhengig av hyppige opptak for å gi gode resultater. I tillegg fantes det ikke nok data fra et enkelt år til å kunne studere sesongutviklinga av deformasjonen. Likevel fikk vi lovende resultater ved bruk av L-bånd-data fra ALOS PALSAR.

For en mer omfattende studie vil man måtte planlegge dataopptak spesifikt for formålet. Man ønsker seg to typer data:

1. Data med lang bølgelengde for å studere langtidseffekter over flere år.
2. Data med ofte opptak i tid for å studere sesongeffekter, helst med høy romlig oppløsning.

Det eneste satellittinstrumentet som registrerte data av den første typen det siste tiåret, var PALSAR. Denne befant seg ombord på satellitten ALOS som dessverre sviktet i april 2011. Slike data har vi med hell benyttet i denne studien. Men inntil det eventuelt blir skutt opp et tilsvarende instrument, har vi ikke muligheten til å få tak i nye data. NASA planlegger et slikt radarinstrument (DESDynI) med oppskyting i 2017. Men finansieringa er usikker. Den japanske romfartsorganisasjonen JAXA, som eide ALOS, planlegger en oppfølger, ALOS-2, med planlagt oppskyting i 2013.

Når det gjelder data av den andre typen, finnes det for tiden hovedsakelig to muligheter. Den ene er RADARSAT-2, en kommersiell kanadisk satellitt med C-bånd-SAR. RADARSAT-2 kan gjøre høyoppløselige opptak med samme geometri hver 24. dag. En fordel med slike data er at Norsk Romsenter har tilgjengeliggjort kvoter for tilgang til slike data for offentlig forvaltning og forskning gjennom en nasjonal flerbruksavtale med Kanada.

En annen svært interessant mulighet på sikt er det planlagte operasjonelle satellittprogrammet Global Monitoring for Environment and Security (GMES), som er et felles program for ESA og EU. Den første satellitten i dette programmet er SAR-satellitten Sentinel-1a, med planlagt oppskyting høsten 2013. Denne satellitten vil operere i C-bånd, med opptak hver 12. dag og romlig oppløsning på ca 5 m x 20 m. Dette er en operasjonell satellitt som vil tilby full dekning av alle landmasser på jorda hver 12. dag. Det er planlagt fri tilgang til disse dataene, både for forskning og kommersielle formål. Fra 2015 er det planlagt oppskyting av en identisk satellitt Sentinel-1b i samme bane, men med tidsforskyvning slik at man vil oppnå dekning hver 6. dag.

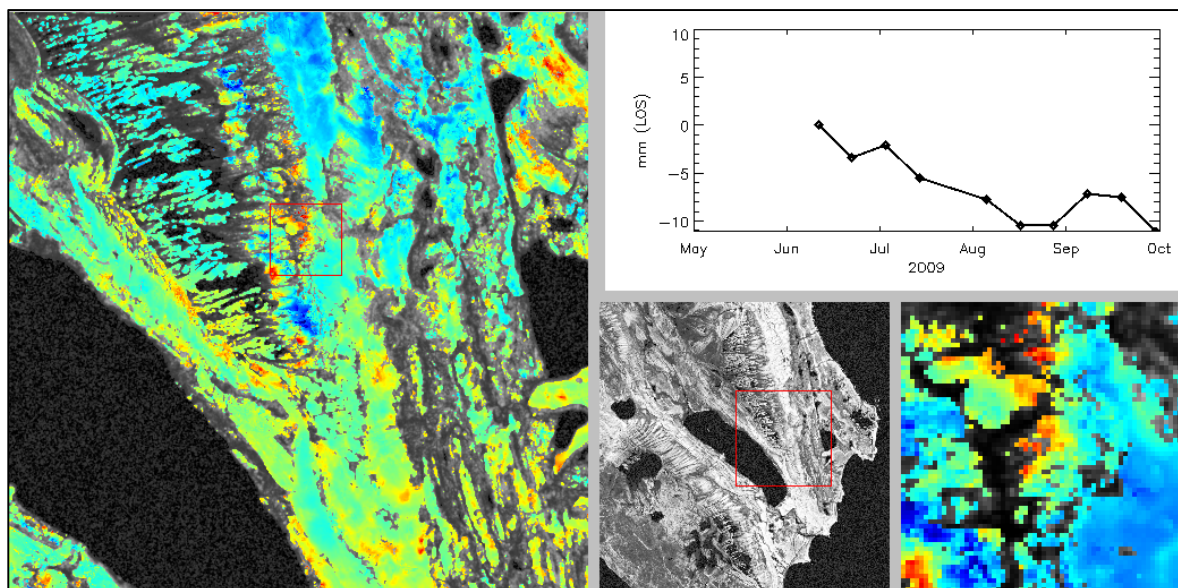
Opptak hver 24. dag er fortsatt litt sjeldent siden vi kun kan forvente å få 3-5 opptak i løpet av den snøfrie sesongen. En annen mulighet er den tyske kommersielle satellitten TerraSAR-X. Denne opererer i X-bånd (3.1 cm), med mulighet for opptak i samme geometri hver 11. dag. Så kort bølgelengde er i utgangspunktet ikke ønskelig. Men den svært høye oppløsninga både i tid (11 dager) og rom (2 meter) gjør at slike data likevel har vist seg meget velegnet for å studere sesongvariasjoner av deformasjon/innsykning og eventuelle nydannelser av tundra-elementer på Svalbard (Lauknes m.fl. 2011).

Vi viser vi en analyse av 10 TerraSAR-X-bilder fra Svalbard fra den snøfrie sesongen 2009 (Larsen m.fl. 2009). Målet med denne analysen var å studere permafrostrelaterte landskapsendringer som solifluksjon, termokarst, pingoer, endringer i steinbreer og liknende. Figuren illustrerer også at i tillegg til en gjennomsnittlig deformasjonshastighet, resulterer analysen i en deformasjonstidsserie for hver eneste punkt. Om denne tidsserien er tett nok, kan man studere effekter innenfor en sesong. Tidsserien som vises på figuren er fra et punkt som ligger på en solifluksjonslobe som sklir nedover fjellsida gjennom hele sommeren. I september det året var det en kort frostperiode som førte til en heving av overflata, som vi ser i figuren. Perioden ble fulgt av en mildværsperiode som førte til at overflaten senket seg igjen.

Selv om bruk av radarinterferometri (InSAR) ga begrensede resultater på grunn av havariet av den japanske satellitten ALOS PALSAR i april 2011, så har vi fått fram resultater som indikerer bevegelser i palsmyrene, mens det var stabile forhold på fastmark, skog og på myrflater (starrmyrer, torvmyrer og bløtmyrer). Denne teknikken kan brukes over større geografiske områder for å påvise hvor fort og omfattende endringene i palsmyrene er. Bruk av RADARSAT-2



med C-bånd-SAR sammen med TerraSAR-X-bilder kan brukes i en slik studie i på vente av at ALOS-2 PALSAR og Sentinel-1a blir skutt opp i 2013.



**Figur 25.** Deformasjonstidsserie fra et punkt ved Griegaksla nært Isfjord radio, Svalbard. Tids-serien er basert på 10 TerraSAR-X-bilder fra perioden juni - september 2009. Legg merke til "humpen" på rundt 5 mm mot slutten av grafen som tilsvarer en kjent fryse/tine-periode i midten av september 2009. En kontinuerlig insitu målestasjon ved dette punktet bekrefter nøyaktigheten av målinga.

### 6.3 Laserskanning - LIDAR

I Sverige jobber Naturvårdsverket med laserskanning for å overvåke den vertikale forandringene i palsmyr (Tavvavuoma i Kiruna kommune). De har fått fram data som viser områder med mer enn 20 cm vertikale forandringer i avgrensede palsplatåer over 2 år (Boresjö Bronge m.fl. 2010).

### 6.4 Nye digitale fotogrammetriske teknikker

Informasjon om vegetasjonshøyde er en av de viktigste variablene for å estimere skogattributter som tømmervolum og biomasse. Selv om data fra flybåren laserskanning (ALS) også kalt LIDAR (Donoghue & Watt 2006) brukes driftsmessig i skogplanlegging i Norge, utføres ikke-repetitiv innsamling av ALS-data for store områder. Derfor arbeider flere forskningsgrupper med å analysere bruken av andre datakilder for å hente informasjon om vegetasjonshøyde (Breidenbach & Astrup 2011). En svært lovende tilnærming er den fotogrammetriske avledning av vegetasjonshøyder fra overlappende digitale flyfoto, som Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) arbeider med. Her har man fått fram lovende resultater og de kan beregne trehøyder

med en feilprosent på ca 12 % (Johan Bohlin, SLU, personlig meddelelse), mens en i Tyskland har fått fram resultater med feilprosjenter på 4-12 % (Chen & Hay 2011, Straub 2011). Dette er fullt på høyde med de høydemålinger man har klart å få fram med laserskanning (LIDAR) både i Norge og Sverige (Johan Bohlin, SLU, personlig meddelelse). I Norge arbeider man med flere applikasjoner av metoden (Breidenbach & Astrup 2011). Digitale flyfoto er tatt opp over hele Norge og vil når metodikken er utviklet videre kunne brukes til kartlegge høydeforhold i palsmyrer. Problemet her er om og hvilken grad disse flybildene vil bli oppdatert, og her kan stereo-modeller basert på høyoppløselige satellittbilder (WorldView-2) være til hjelp (Breidenbach & Astrup 2011) samt radarbilder (spesielt TerraSAR-X).

## **6.5 Smarte sensorer**

Bruk av små radiosensorer og radarsensorer som kan overvåke temperaturforhold, fuktighet og bevegelser (Gray m.fl. 2011) kan settes ut for å overvåke både horisontale og vertikale endringer i palsmyrene via mobillink eller satellittlink. Metodikken er allerede delvis i bruk for å overvåke områder som er utsatt for jordskred og steinras (Gray m.fl. 2011). Den ustabile fjellskrenten ved Nordnes i Lyngen (Troms) overvåkes blant annet med et bakkebasert GNSS/GPS nettverk (Osmundsen m.fl. 2009, Lauknes m.fl. 2010), og man kan kanskje i framtiden se for seg at noen palsmyrer får installert slike systemer som kan gi oss informasjon om når det foregår større endringer i palsene og når de eventuelt kollapser.

## 7 Forslag til videre studier

Vi foreslår et nytt studium som bruker RADARSAT-2 i kombinasjon med TerraSAR-X for å overvåke i detalj hvordan palsmyrene forandrer seg både vertikalt og horisontalt i både Ostojeaggi hvor denne pilotstudien er utført og Goatheluoppal i Vest-Finnmark som er Norges største palsmyrområde. Vi vil derfor søke det tyske fjernmålingssenteret (DLR) om tilgang til forskningsdata til redusert pris fra TerraSAR-X-satellittene gjennom sesongen for flere år framover, samtidig som vi søker om tilgang til data fra RADARSAT-2. RADARSAT-2 kan dessuten bestilles over et større område for å dekke flere palsmyrområder.

Dette studiet kan kombineres med utnyttelse av det nye flybildeopptaket (romlig oppløsning 40 cm) som ble foretatt sommeren 2011 over Ostojeaggi, samt innkjøp av multispektrale satellittbildeopptak over studieområdene for å kunne foreta en detaljert vegetasjonskartlegging over området, samt forbedret deteksjon av ulike palstrukturer. Et multispektralt opptak vil koste 10-15 tusen kroner (WorldView02) avhengig av områdets størrelse og antall kanaler. Uttesting av en digital høydemodell på basis av flybildet foreslås utført i samarbeid med SLU-Umeå.

## 8 Konklusjoner

Denne pilotstudien har vist at det er mulig å detektere forandringer i ulike palstrukturer ved bruk av flybilder og optiske (pankromatiske) satellittbilder med høy oppløsning. Vi påviste reduksjoner i arealet av palser og palsringer, mens antall dammer og pøler enten var stabilt eller økte noe avhengig av delområde. Også nye palser lot seg detektere, men her trengs det ytterligere analyser da disse områdene kan forveksles med vanlige starr- og torvullmyrer. En egnethetsstudie av radarinterferometri (InSAR) av satellittradarbilder (syntetisk aperture radar - SAR) med ulike bølgelengder (C-bånd og L-bånd) viste at lengre bølgelengder (L-bånd) er best egnet til å kartlegge bevegelser i palsmyra. Selv om bruk av radarinterferometri (InSAR) ga begrensede resultater, så har vi fått fram resultater som indikerer bevegelser i palsmyrene mens det var stabile forhold på fastmark med stabile forhold på fastmark, skog og på myrflater (starrmyr, torvmyr og bløtmyr). Denne teknikken kan brukes over større geografiske områder for å påvise hvordan palsmyrene endres, og fra og med den snøfrie sesongen 2014 kan trolig de planlagte satellittene ALOS-2 og Sentinel-1a brukes i en slik overvåking. Vi foreslår en oppfølgende studie der SAR-bilder fra RADARSAT-2 i C-bånd og TerraSAR-X i X-bånd inngår, sammen med høyoppløselige optiske flybilder og multispektrale satellittbilder.

## 9 Referanser

- Aguilar, M.A., Aguilar, F.J., Carvajal, F. & Agüera, F. 2007. Comparison of two commercial solutions for generating DSMS from Quickbird stereo imagery. Proceedings of the 2007 Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society (RSPSoc2007). Including ISPRS workshops on digital cameras, high resolution data and ocean colour Newcastle upon Tyne, 11 - 14 September 2007. 6s.
- Breidenbach, J. & Astrup, R. (red.) 2011. Creation of digital elevation models from aerial images for forest monitoring purposes. Proceedings, 9. June 2011, Ås, Norway. - Rapport fra Skog og landskap 16/11: iv, 11 s. + appendix.
- Boresjö Bronge, L., Hedvall, T., Wester, K., Backe, S., Gunnarsson, U. & Abenius, J. 2010. A pilot study - Monitoring of palsa mires in Sweden. Proceedings. "Monitoring of palsa mires – Seminar in Sigtuna, 27-28 October 2010". www.myrar.se.
- Byrne, G.F., Crapper, P.F. & Mayo, K.K. 1980. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal data. - Remote Sensing of Environment 10: 175-184.
- Chen, G. & Hay, G.J. 2011. A Support Vector Regression Approach to Estimate Forest Biophysical Parameters at the Object Level Using Airborne Lidar Transects and QuickBird Data. – Photogrammetric engineering and remote sensing 77: 733-741.
- Donoghue, D.N.M. & Watt, P.J. 2006. Using LiDAR to compare forest height estimates from IKONOS and Landsat ETM+ data in Sitka spruce plantation forests. – International Journal of Remote Sensing 27: 2161-2175.
- Fronzek, S., Johansson, M., Christensen, T.R., Carter, T.R., Friborg, T. & Luoto, M. (red.) 2009. Climate change impacts on sub-arctic palsa mires and greenhouse gas feedbacks. Proceedings of the PALSALARM symposium, Abisko, Sweden, 28-30 October 2008. – Reports of Finnish Environment Institute 3. 74s.
- Gabriel, A.K., Goldstein, R.M., & Zebker, H.A. 1989. Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. – Journal of Geophysical Research 94(B7): 9183–9191.
- Gray, A.J.G.; Sadler, J., Kit, O., Kyzirakos, K., Karpathiotakis, M., Calbimonte, J.-P., Page, K., García-Castro, R., Frazer, A., Galpin, I., Fernandes, A.A.A., Paton, N.W., Corcho, O., Koubarakis, M., Roure, D.D., Martinez, K., Gómez-Pérez, A. A. 2011. Semantic Sensor Web for Environmental Decision Support Applications. – Sensors 11: 8855-8887.
- Hofgaard, A. 2003. Effects of climate change on the distribution and development of palsa peatlands: background and suggestions for a national monitoring project. – NINA Project Report 21. 32s.
- Hofgaard, A. 2004. Etablering av overvåkingsprosjekt på palsmyrer. – NINA Oppdragsmelding 84. 32s.
- Hofgaard, A. 2005. Overvåking av palsmyr. Førstegangsundersøkelse i Ostojegg, Troms, 2004. – NINA Rapport 42. 29s.
- Hofgaard, A. & Wilmann, B. 2010. Overvåking av palsmyr. Første 5-årsundersøkelse i Ostojegg, Troms, 2009 – NINA Rapport 586. 42s.

- Larsen, Y., Lauknes, T.R., Malnes, E. & Christiansen, H. 2009. High-resolution InSAR analysis of RADARSAT-2 Ultra-Fine mode and TerraSAR-X data for measuring fine-scale landscape changes due to permafrost activity. – 6th International Workshop on SAR Interferometry (FRINGE 2009), ESA ESRIN, Frascati, Italy, Nov 30–Dec 4, 2009.
- Lauknes, T.R., Piyush Shanker, A., Dehls, J.F., Zebker, H.A., Henderson, I.H.C. & Larsen, Y. 2010. Detailed rockslide mapping in northern Norway with small baseline and persistent scatterer interferometric SAR time series methods. – *Remote Sensing of Environment* 114: 2097–2109.
- Lauknes, T.R., Larsen, Y. & Christiansen, H.H. 2011. Displacement of periglacial landforms on Svalbard observed with high-resolution RADARSAT-2 and TerraSAR-X InSAR time series. – 7th International Workshop on SAR Interferometry (FRINGE 2011), ESA ESRIN, Frascati, Italy, Sep 19–23, 2011.
- Massonnet, D. & Feigl, K.L. 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. – *Reviews of Geophysics* 36: 441-500.
- Nichol, J.E., Shaker, A. & Wong, M.S. 2006. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. – *Geomorphology* 76: 68– 75.
- Osmundsen, P.T., Henderson, I., Lauknes, T.R., Larsen, Y., Redfield, T.F. & Dehls, J.F. 2009. Active normal fault control on landscape and rock-slope failure in northern Norway. – *Geology* 37: 135–138.
- Sannel, B.K. & Brown, I.A. 2010. High-resolution remote sensing identification of thermokarst lake dynamics in a subarctic peat plateau complex. – *Canadian Journal of Remote Sensing* 36, Special Issue: Supplement 1: 26-40.
- Straub, C. 2011. Derivation for digital surface models from aerial images in Bavaria. I Breidenbach, J. & Astrup, R. (red.). Creation of digital elevation models from aerial images for forest monitoring purposes. Proceedings, 9. June 2011, Ås, Norway. – Rapport fra Skog og Landskap 16/11: iv, 11 s. + appendix.
- Tahvanainen, T. 2011. Abrupt ombrotrophication of a boreal aapa mire triggered by hydrological disturbance in the catchment. – *Journal of Ecology* 99: 404-415.
- Tømmervik, H. 2009. Application of remote sensing in detection and monitoring of palsa mires. I Fronzek, S., Johansson, M., Christensen, T.R., Carter, T.R., Friborg, T. & Luoto, M. (red.) Climate change impacts on sub-arctic palsa mires and greenhouse gas feedbacks. Proceedings of the PALSALARM symposium Abisko, Sweden 28–30 October 2008. – Reports of Finnish Environment Institute 3-2009, s. 17-19. Finnish Environmental Institute, Helsinki.
- Tømmervik, H., Johansen, B. Høgda, K.A. & Strann, K.B. 2012. High-resolution satellite imagery for detection of tracks and vegetation damage caused by all-terrain vehicles (ATVs) in Northern Norway. – *Land Degradation & Development* 23: 43-52.

## 10 Vedlegg 1

### Forklaringer av begreper

Følgende begreper er forklart ut fra definisjoner blant annet i «Cruisehåndbok for Svalbard» (<http://cruise-handbook.npolar.no/no/svalbard/geological-development.htm>), Nasjonal digital læringsarena ([www.ndla.no](http://www.ndla.no)) og Hofgaard (2004).

**Bruddkant** er en erosjonskant i palser. Bruddkanten består ofte av torvblokker.

**Interferometri** er teknikken for å bestemme egenskapene til to eller flere bølger ved å studere mønsteret for interferens skapt av deres superposisjon.

**Koherens** er et mål på stabiliteten av den interferometriske fasen.

**Lagg** er en vannansamling rundt eller langs palskanter, eventuelt til dels dekket av torvmoser, starr og ulike myrullarter (torvull, duskul, snøull etc.).

**Laserskanning** er en metode for innsamling av høydedata hvor grunnprinsippet er avstands-måling fra fly eller helikopter ved bruk av laserpulser. Mens laserpulsene skytes mot bakken, sveiper laserstrålen frem og tilbake på tvers av flyretningen og registrerer punkter under og på siden av flyet. Ved treff på halvgjennomtrengelige eller oppstikkende objekter (f.eks. trær) vil det ofte bli returnert to pulser: én fra toppen av objektet og én fra bakken under eller ved siden av objektet. De sistnevnte punktene kan brukes til å lage en overflatemodell som sammen med en terrengmodell kan benyttes til å beregne høyde og masse på trær/vegetasjon. Laserpunktene kan klassifiseres i lag av typen bygninger, broer, vann, vegetasjon, kraftledninger osv.

**Pals** er en permafrostårsaket torvdekket haug som hever sig over den omgivende myroverflaten. Palsenes høyde varierer fra mindre enn en meter till flere meters høyde og kan dekke mange hundre kvadratmeter. Palser dannes i områder med lite nedbør og lav gjennomsnittlig årstemperatur. I Norge finnes palsmyrer hovedsakelig i indre strøk av Troms og Finnmark og i Dovre området.

**Pingoer** er issvuller som oppstår i permafrosten i mange dalfører i arktiske og høyalpine områder i tilknytning til vannkilder. De ser ut som grushauger, noen ganger med en vannansamling på toppen eller med en periodisk aktiv vannkilde. De er innvendig dominerte av is.

**Syntetisk apertur-radar (SAR)** er en aktiv radar som spesielt brukes ved fjernmåling fra fly og satellitter. SAR gir bilder av jordoverflaten med meget høy oppløsning; fra en satellitt typisk ned til 1 m og fra fly typisk ned til 10 cm. Et radarbildes romlige oppløsning er bl.a. avhengig av størrelsen på radarens antenne. I forhold til optiske overvåkningsinstrumenter har SAR-teknikken den fordel at den også gir bilder om natten når jordoverflaten ikke er solbelyst og i overskyet vær ettersom radarbølgene trenger gjennom skyer.

**Steinbreer** er masser av stein, grus og sand som stammer fra forvitringen av fjellsider. De er fylt med vann som er frosset hele året. Disse breene siger sakte nedover skrentene i mange av Svalbards daler og kystområder og kan kjennes igjen ved sine typiske bøye landformer.

**Termokarst** er systemer av kanaler i permafrosten, hvor vannet kan sirkulere. Der vaskes det gjerne bort løsmasse, slik at det oppstår hulrom og søkk på overflaten hvor det danner seg vannansamlinger (tjønner, pøler).







*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2398-0

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger