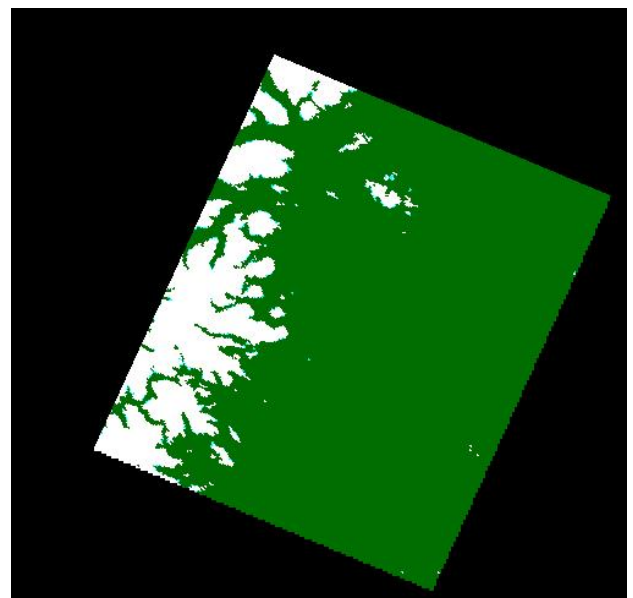
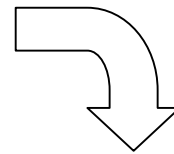
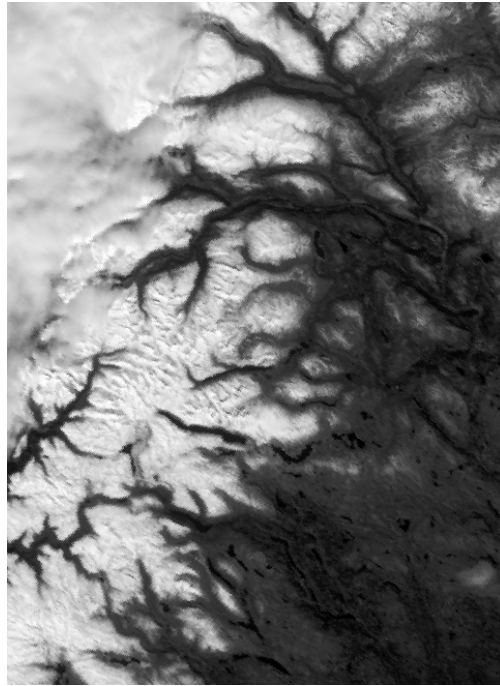


# Evaluering av MODIS snøprodukter



Notatnr  
Forfattere  
Dato

**SAMBA/26/04**  
**Hans Koren og Rune Solberg**  
**Oktober 2004**

## Forfatterne

Hans Koren, seniorforsker

Rune Solberg, sjefsforsker

## Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Informatikkbygningen ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistikk. Det jobbes med svært mange forskjellige problemstillinger slik som estimering av torskbestand, finansiell risiko, beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer og overvåking av klimaendringer. NR er også ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Problemstillinger kan være overvåke inntrengning i datasystemer, e-læring i skole og næringsliv, bruk av datateknologi i markedsanalyser samt anvendelser av multimedia på forskjellige plattformer. NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

<b>Tittel</b>	<b>Evaluering av MODIS snøprodukter</b>
<b>Forfattere</b>	<b>Hans Koren og Rune Solberg</b>
Dato	Oktober
År	2004
Publikasjonsnummer	SAMBA/26/04

## Sammendrag

Det har vært gjennomført en evaluering av satellittsensoren MODIS for bruk til overvåking av norske områder og interesser. Prosjektet har vært et samarbeid mellom Kongsberg Spacetec as (KSPT) og Kongsberg satellittstasjon as (KSAT), og brukerne met.no, Statkraft, NR, NERSC og NIVA.

NRs oppgave har vært validering av snøproduktene som ble levert fra KSPT, basert på MODIS-bilder tatt ned på KSAT. Opprinnelig var det meningen å vurdere kvaliteten ved å bruke Landsat-bilder med høyere oppløsning som referansedata. I mangel på brukbare Landsat-bilder (bare ett er benyttet) er valideringen også gjort ved sammenlikning av tilsvarende MODIS-produkter levert av NASA og NR.

Valideringen er i hovedsak utført ved å sammenlikne estimert snødekket areal i MODIS-produktet med det som finnes fra Landsat-bildet og produktene til NASA og NR.

Estimert snødekke er tilfredsstillende, men sammenlikning er gjort bare for ett bilde fra slutten av mai. Av erfaring vet vi at kvaliteten kan variere med snømengde og tid på året, så sammenlikninger med ytterligere referansedata hadde vært ønskelig.

Oppretting til polarstereografisk projeksjon er ikke utført tilfredsstillende og kvaliteten på skydeteksjonen er ikke den beste. I produktet benyttes også en vannmaske av dårlig kvalitet. Kvaliteten bør forbedres før produktet har full verdi for brukerne.

Emneord	fjernmåling, snøklassifisering, optiske sensorer, satellitter
Målgruppe	Hydrologer, meteorologer, klimaovervåkere m.fl.
Tilgjengelighet	Åpen
Prosjektnummer	613012
Satsningsfelt	Fjernmåling
Antall sider	29
© Copyright	Norsk Regnesentral



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Gjennomføring</b> .....	<b>3</b>
2.1	Input-data .....	3
2.1.1	MODIS-data fra KSPT .....	3
2.1.2	MODIS-data fra NASA .....	4
2.1.3	Landsat-data .....	5
2.2	Sammenlikning med NASAs produkter .....	5
2.3	Sammenlikning med Landsat-bilder .....	5
2.3.1	Oppretting av MODIS-bilder .....	6
2.3.2	Oppretting av Landsat-bildet .....	7
2.3.3	Snøklassifisering .....	8
2.3.4	Sammenlikning .....	10
2.4	Sammenlikning mellom NRs og NASAs snøkart.....	14
<b>3</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>14</b>
3.1	Snødekningsprodukt fra KSPT .....	14
3.2	Sammenlikning med NASAs produkter .....	15
3.3	Sammenlikning med Landsatbilder .....	18
3.4	Sammenlikning mellom NRs og NASAs snøkart.....	22
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>22</b>
4.1	Vurdering .....	22
4.2	Videre arbeid.....	23
	<b>Appendix</b> .....	<b>24</b>



# 1 Innledning

KSPT og KSAT har i samarbeid etablert et mottaks- og basisprosesseringsystem for MODIS ved stasjonen i Tromsø. Dette innebærer at man kan stille sanntidsdata og produkter tilgjengelig for forskningsmessig bruk og evaluering for operative tjenester. NR har i dette prosjektet fått i oppdrag å foreta en evaluering av produktene som viser snødekning.

Kvaliteten av produktene skulle vurderes med bruk av Landsat-bilder som referansedata. Mangel på brukbare Landsat-data har gjort at sammenlikning er gjort bare for ett bilde.

Det var også meningen å foreta sammenlikning med et ortofoto med 1 m oppløsning, basert på flyfoto fra 13. juni 2004, men ortofotoet ble ikke levert i tide til at vi fikk gjort denne sammenlikningen.

I mangel av høyoppløselige referansedata har vi sammenliknet produktene med de korresponderende produkter som leveres av NASA.

Sammen med NASA er det gjort en sammenlikning mellom snødekningsprodukter basert på MODIS-data utviklet hos NASA og NR. Rapport fra dette arbeidet er med som et vedlegg.

## 2 Gjennomføring

### 2.1 Input-data

I startfasen gjaldt det å få en oversikt over de data vi burde få tak i å bruke for sammenlikning. Det beste hadde vært å få sammenlikningsdata fordelt over det meste av snøsesongen fra mars til juli, slik at man kunne teste produktene for forskjellige snømengder. Ettersom snøtemperatur og fuktighet også varierer over sesongen, kunne det være interessant å undersøke om dette hadde innflytelse på kvaliteten av snøproduktene.

I starten hadde vi problemer med å finne Landsat-data, og for i det hele tatt å få gjort en sammenlikning, gjorde vi sammenlikninger med de tilsvarende snøproduktene fra NASA.

Etter hvert fant vi et par brukbare Landsat-bilder, men disse var fra slutten av mai, slik at vi ikke fikk gjort flere sammenlikninger med høyoppløselige data fordelt over hele smeltesesongen.

#### 2.1.1 MODIS-data fra KSPT

##### 2.1.1.1 Beskrivelse

Formatet og mengden av data som ble lagt ut på FTP har variert over perioden. Til å begynne med hadde vi problemer med å få lest dataene, men det har bedret seg etter hvert.

For vurdering har vi brukt produktet MOD10\_TER\_\* som viser snøfordeling med 500 m oppløsning i MODIS scan-projeksjon. Dette leveres i format EOS HDF som kan leses av vanlig bildebehandlingsverktøy som ENVI. Produktet skiller mellom snø og ikke-snø. Det er

ikke noe som angir antall prosent snødekning innenfor et piksel. I tillegg til bart land viser det andre objekter som hav, innsjø, islagt vann og skyer. Produktet finnes med to forskjellige skydekningsalgoritmer. Det er en ganske streng skymaske som er langt fra perfekt og stort sett viser litt for mye skyer, og en liberal maske som viser mindre skyer. Dette korresponderer med produktet MOD10\_L2 fra NASA. Forskjellen ligger i at KSPT leverer noe større bildeutsnitt enn NASA.

Vi har ikke sett på produktet MOD10CR\_TER\_\* som viser det samme med 5 km oppløsning.

Vi har også sett på snødata med 1 km oppløsning som finnes som bånd 6 i produkt for Sør- og Nord-Norge, som S\_NORGE\_1KM\_<tidspunktinfo>\_TERRA.H5. Vi har bare sett på data fra Sør-Norge. Dette formatet leses ikke direkte av ENVI. Vi har installert H5view som kan vise data, og har fått til et oppsett som gjør det mulig å eksportere bilder til ASCII-format som kan leses av ENVI. Dette produktet finnes i faste utsnitt i polar-stereografisk projeksjon. Dette kan lett transformeres til andre projeksjoner som for eksempel UTM, og dermed sammenliknes med andre produkter som finnes i denne projeksjonen, for eksempel produkter som vi har utviklet på NR. Man kan også sammenlikne med NASAs produkter som er rettet opp i en annen projeksjon.

Valget av parametere for den polar-stereografiske projeksjonen er litt spesiell. Som datum er vanligvis WGS84. benyttet, men KSPT har benyttet verdier for ellipsoide-radiene som avviker noe fra WGS84-verdiene. De er nesten i samsvar med WGS66, men ikke helt. Dette gjør at man ikke direkte kan bruke standard-verdier som ligger inne i programmer fra vanlige GIS-leverandører, men må justere parametere for å få et helt korrekt resultat ved overgang til annen projeksjon. For produkter med oppløsning på 1 km spiller det liten rolle om man sier at projeksjonen benytter WGS84. Man ser vel knapt forskjell i resultatet, men vi ser ingen grunn til å benytte annet datum enn WGS84.

Nå ble det ikke aktuelt å gjøre sammenlikninger med 1 km produktene fra KSPT fordi opprettingen fra MODIS scan-projeksjon ikke er tilfredsstillende. Se nærmere beskrivelse under 2.3.1.

#### **2.1.1.2 Valg av data**

Meningen var å finne et sett med MODIS-data fordelt over tidsrommet fra mars til juli for å få med størst mulig variasjon i snødekningen. For en test av snøprodukter ville vi konsentrere oss om dager med lite skyer. Vi laget en oversikt over brukbare dager, for å slippe å lese inn masse ubrukbare data. Da vi i slutten av mai skulle starte innlesing, var de fleste data fjernet fra FTP-serveren. I tillegg var data fra en periode med finvær i slutten av mai ikke lest ned. Vi bestilte data fra noen dager fra backup hos KSAT, men fikk ikke akkurat det vi ønsket. Senere har vi hatt problemer med kontakt over FTP. Dette har bidratt til at vi har sett på en begrenset datamengde, vesentlig fra siste halvdel av mai.

### **2.1.2 MODIS-data fra NASA**

Snøprodukter basert på MODIS-data ble hentet fra NASA over FTP. Det dreier seg om produktet MOD10\_L2 som korresponderer med KSPTs produkt MOD10\_TER, og MOD10A1 som viser snøfordeling rettet opp til en spesiell projeksjon i faste dekningsområder.



### 2.1.3 Landsat-data

Det var meningen å benytte et sett med Landsat ETM+-bilder som fasisitdata for evaluering av snødekning. I 2003 oppsto det feil på Scan Line Corrector i Landsat 7, og det har ikke vært levert brukbare ETM+ bilder i år. Av Landsat 5-bilder for vårsesongen 2004 fant vi bare to brukbare over Sør Norge. Det var et utmerket bilde fra 30/5, path 200, row 17 som dekker det meste av Jotunheimen og fjellene vestover, dvs. store snødekte områder. Dette hadde vært et førsteklasses utgangspunkt for å finne fasisit for snødekning. Uheldigvis hadde ikke KSPT MODIS-data for denne dagen og de nærmeste dagene før og etter. Det finnes MODIS-data for 27/5, som vi eventuelt kunne brukt som sammenlikning. Men på den tiden var det en periode med svært varmt vær og kraftig snøsmelting slik at det var stor forandring fra dag til dag. Dermed egnet ikke dette Landsat-bildet seg for sammenlikning.

For 23/5 var det et bra Landsat-bilde med path 199, row 17. Det dekker det meste av Jotunheimen og strøkene østover. Det er ikke så store snødekte områder i dette bildet som i det fra 30/5, men det gir et godt utgangspunkt for sammenlikning med MODIS-data. Dette bildet ble innkjøpt fra Eurimage.

## 2.2 Sammenlikning med NASAs produkter

På NR har vi lenge arbeidet med snøklassifisering av MODIS-bilder. Vi har brukt bilder både fra NASA og KSAT. Vi merket oss at resultatene ble forskjellige for bilder fra samme tidspunkt fra de to leverandørene. Derfor ville vi sammenlikne MOD10-produktene fra KSPT og NASA. Enkeltbildene fra KSPT dekker et større område enn NASAs, så vi kuttet KSPT-bildene til samme utsnitt som NASA-bildene og sammenliknet ved å subtrahere. Det er brukt de samme kodene for å presentere de forskjellige klassene hos begge leverandører. Dermed var det enkelt å se forskjeller og å lage statistikk over de forskjellene som fantes.

Sammenlikningen er gjort for produktet MOD10\_TER fra KSPT og MOD10\_L2 fra NASA. Dette er data i scan-projeksjon med 500 m oppløsning.. Det var også meningen å se på 1 km data som leveres i produktene S\_NORGE\_\* og N\_NORGE\_\* i polar stereografisk projeksjon med NASAs MOD10A-produkt som foreligger i faste utsnitt i en spesiell projeksjon. Det foreligger programmer for å transformere NASAs-bilder til andre projeksjoner. Det gikk med noe tid for å få installert de nødvendig verktøy for innlesing og projeksjonstransformasjoner.

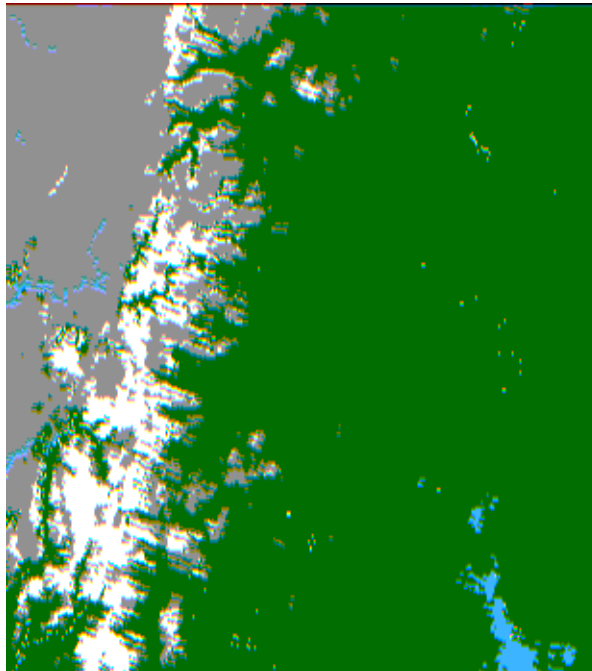
Hvorfor blir snøklassifiseringen forskjellig? Vi gjorde også en sammenlikning av de originale radiansbildene direkte. Ved å kutte til samme utsnitt og sammenlikne bånd for bånd ved subtraksjon, kan vi se at det er visse forskjeller.

## 2.3 Sammenlikning med Landsat-bilder

For å kunne sammenlikne snøfordelingen i MODIS-bilde og Landsat-bilde, må begge bilder rettes opp til samme projeksjon. Fordi vi på NR i andre prosjekter har laget en produksjonslinje for MODIS-produkter som opererer i UTM sone 33, WGS-84, har vi valgt å benytte den samme projeksjonen for sammenlikning her. Da kan vi også gjøre sammenlikning med NR's produkter.

### 2.3.1 Oppretting av MODIS-bilder

For å gjøre det raskt og enkelt tenkte vi å bruke MODIS 1 km-produktet og rette det opp fra polar stereografisk projeksjon til UTM. Det kan gjøres med et vanlig GIS-system. For et MODIS-bilde hvor det aktuelle området ligger noenlunde midt i opptaksområdet vil det ikke gi problemer. For 23/5 er det to MODIS-opptak som dekker Sør-Norge. Et kl. 1005 og et kl. 1140. I begge tilfelle ligger Sør-Norge ganske nær kanten av bildet. I MODIS-opptak vil man nær kantene få tydelige repetisjoner av data fordi scanlinjene overlapper. Hvis man ikke tar hensyn til det ved opprettingen til en kartprojeksjon, vil disse gjentakelsene vises også i det opprettede bildet. Dette er tilfellet i 1 km-produktene fra KSPT. For sammenlikning med andre data, blir det derfor umulig å bruke dette produktet, iallfall hvis man ser på områder som ligger nær bildekantene. Dette ser man tydelig i Figur 1, hvor vi ser et utsnitt av bånd 6 fra S\_NORGE\_1KM\_23\_MAY-2004\_11\_34\_28\_23564\_TERRA.H5. Repetisjonene viser seg som striper parallelt med scanlinjene i grenseområdet mellom snø og bart land. Sammenlikn med Figur 6, hvor opprettingen er gjort på en skikkelig måte.



**Figur 1** Utsnitt av 1km snø-produkt for Sør-Norge 23/5-2004 i Polar stereografisk projeksjon. Hvitt - snø, grønt - bart land, grått - skyer, blått - vann. Legg merke til repetisjon av data i grenseområdet mellom snø og bart land.

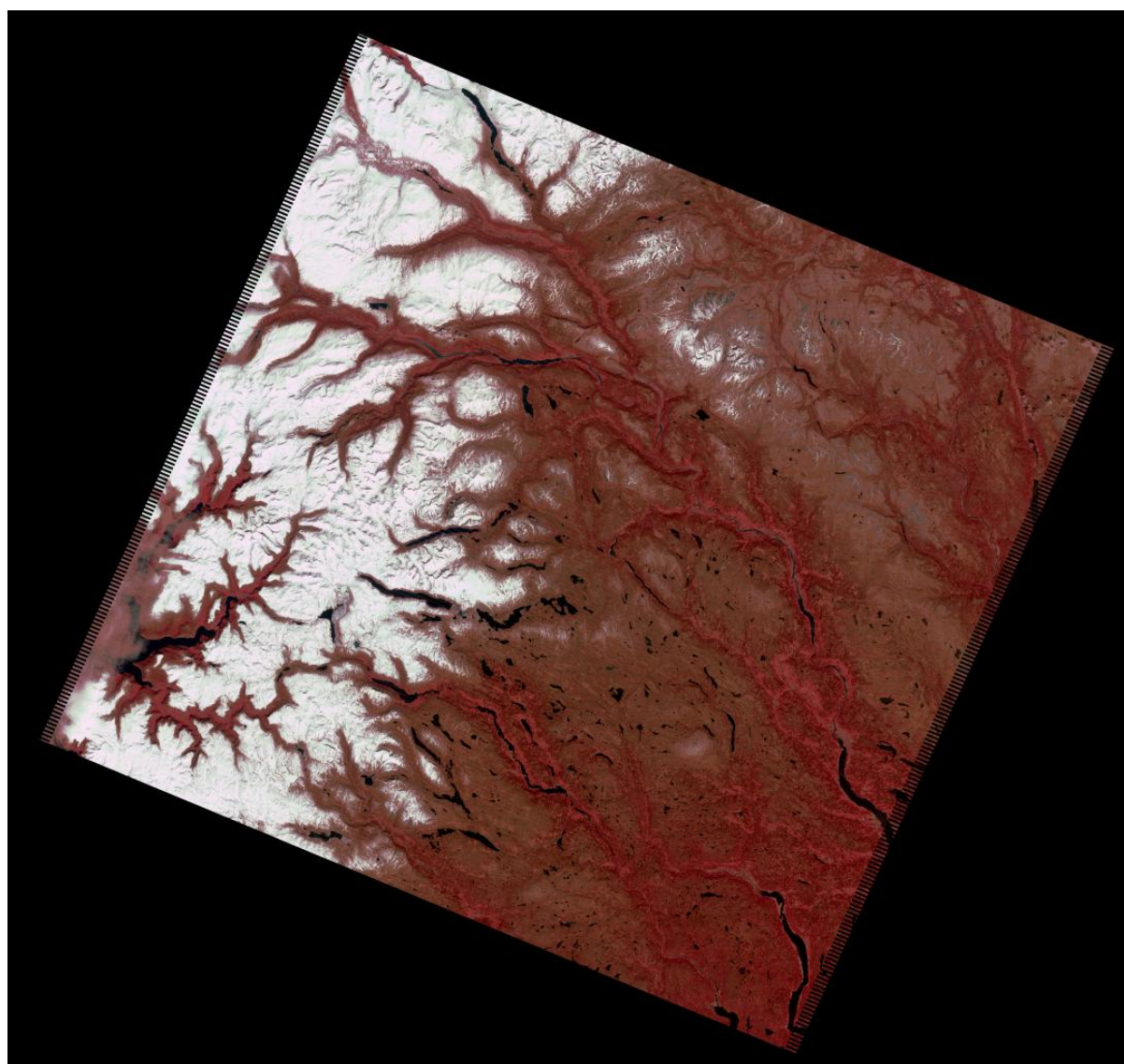
For 30/5 ligger Sør-Norge ganske midt i MODIS-bildet (fra NASA) og her ville repetisjonene trolig ikke synes, men for denne dagen har vi ikke noe KSPT-produkt.

Derfor måtte vi på en eller annen måte få rettet opp MODIS-bildet på en skikkelig måte. Det har i lengre tid på Internet eksistert et program for konvertering av NASA MODIS grid-data til andre projeksjoner. Nå er dette programmet utvidet til også å gjelde MODIS swath-data. Dette programmet måtte hentes og installeres og benyttes til oppretting av MOD10\_TER-data fra 23/5. Programmet trenger geolocation data-fil i tillegg til selve swath-filen. Vi fikk levert denne filen fra KSPT for det ene tidspunktet (kl. 1140) for 23/5. MOD10\_TER-bildet ble rettet opp for et utsnitt som dekket Landsatbildet. Det gikk tilsynelatende bra, men under sammenlikningen kunne det se ut som om det ikke var helt perfekt i koordinatangivelsene.

Noe annet som skjedde var at under opprettingen med nearest neighbour (NN) resampling dukket det opp blandingspiksler. Det tyder på at programmet ikke gir NN-resampling som angitt. I tillegg til de opprinnelige klassene: snø, bart land, hav, innsjø, islagt vann og skyer var det nå blandingspiksler av de fleste kombinasjoner. Det kompliserer sammenlikning litt.

### 2.3.2 Oppretting av Landsat-bildet

Opprettingen av Landsat-bildet er foretatt med ERDAS Imagine som har et eget oppsett for oppretting av Landsat-bilder med høydemodell. Som kartdata har vi benyttet en vannmaske i 1:50 000 for Sør-Norge.



Figur 2 Landsatbilde fra 23/5-2004, rettet opp til projeksjon UTM sone 33. RGB: bånd 4, 3 og 2.

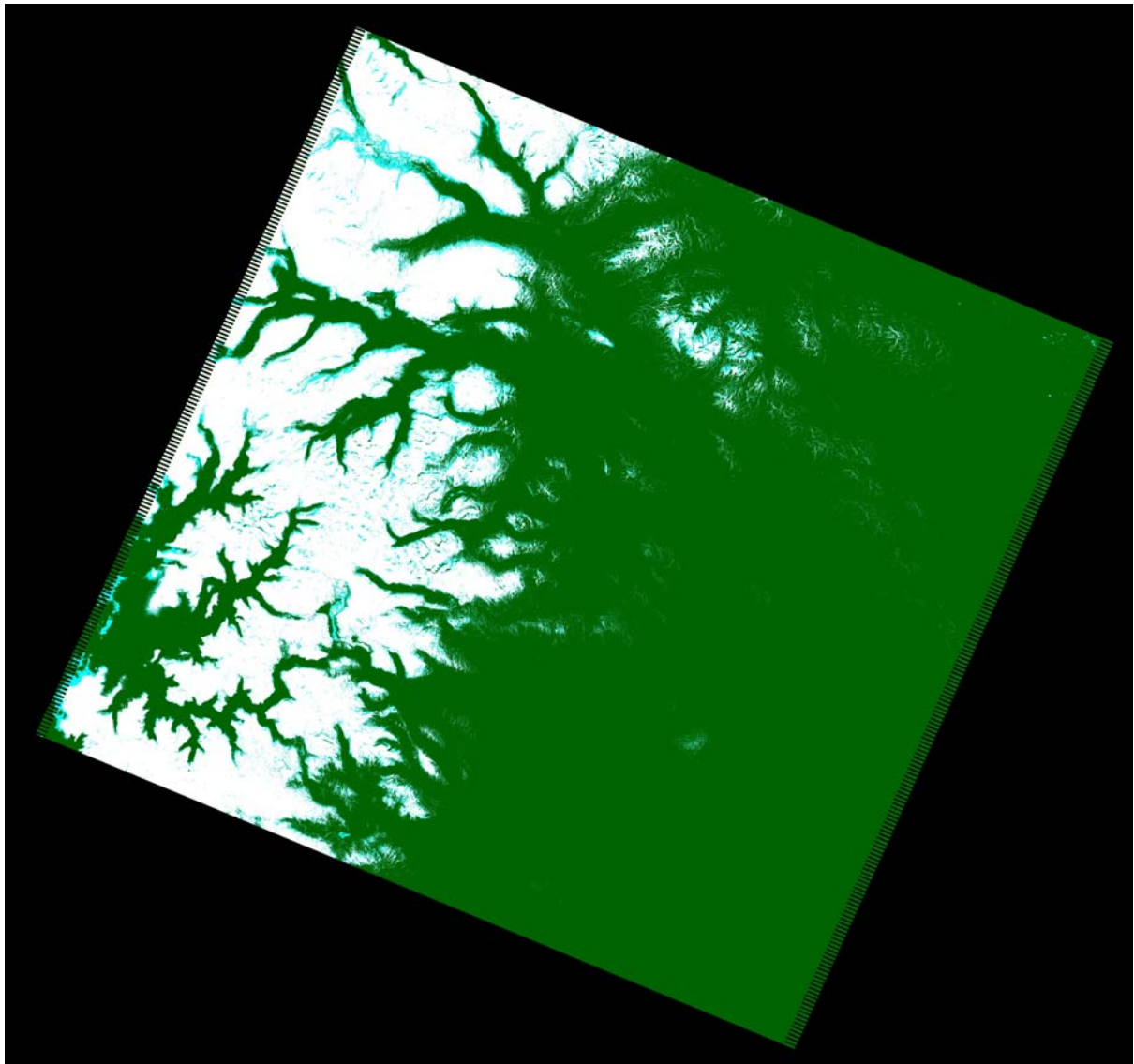
### 2.3.3 Snøklassifisering

Snøklassifiseringen av Landsat-bildet er foretatt som en ikke-styrt ISO-klustring i ERDAS Imagine. Det er benyttet 10 klasser. Etter enn visuell inspeksjon ble klassene slått sammen til tre:

Klasse 1: Bært land (klasse 1-6)

Klasse 2: Full snødekning (klasse 9 og 10)

Klasse 3: Delvis snødekning (klasse 7 og 8)



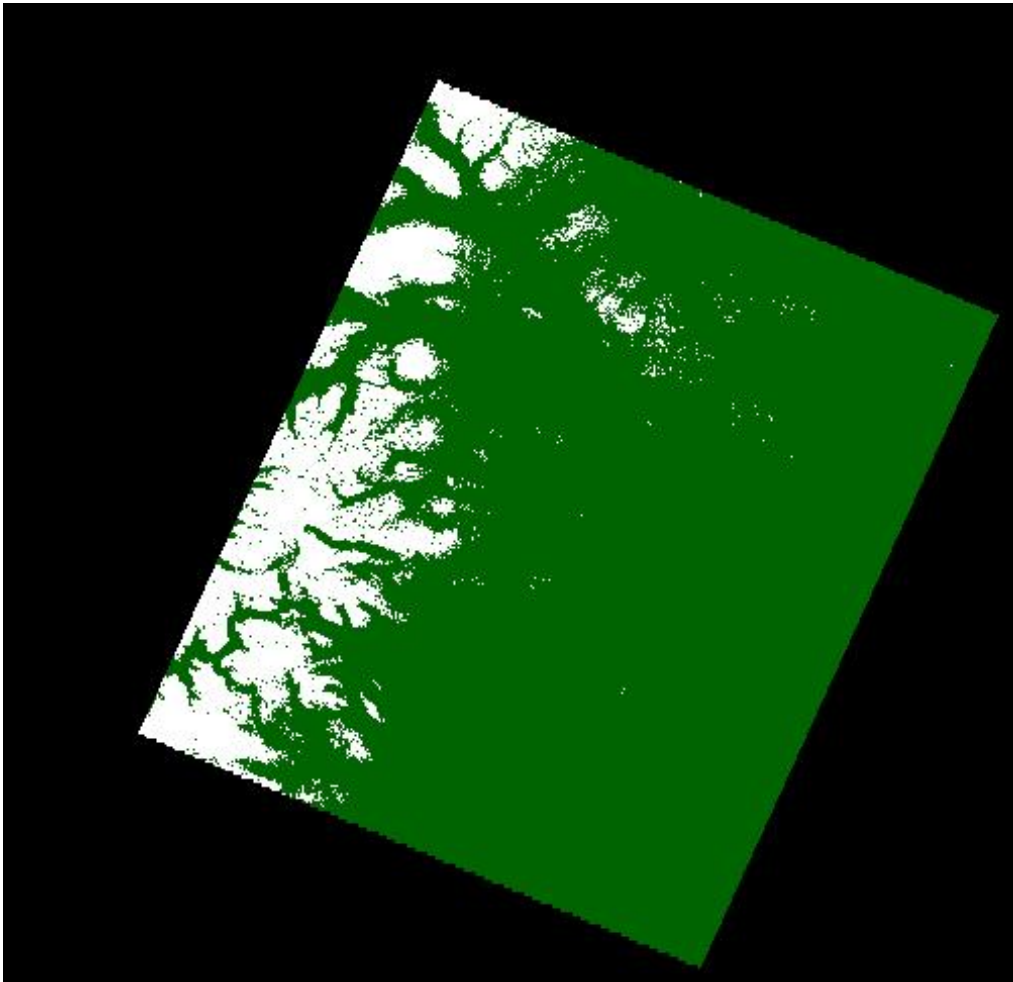
**Figur 3** Klassifisert snødekning i Landsat-bilde. Hvit - snø, cyan - delvis snø, grønt - bært land

Man må være klar over at dette er ikke noe perfekt estimat av snødekningen. Terrenget er fullt av bratte fjell. Det gir områder med kraftig helling både mot og fra sola, som igjen gir store variasjoner i reflektert lys fra snøområdene. I tillegg vil fjellene skape skyggeområder. Det kan derfor forekomme at områder med full snødekning er blitt klassifisert som delvis snø, og områder med delvis snø kan være klassifisert som bært land. Problemer med snø i

skog er det lite av i dette tilfellet fordi bildet er tatt i slutten av mai, og det er relativt lite snø igjen.

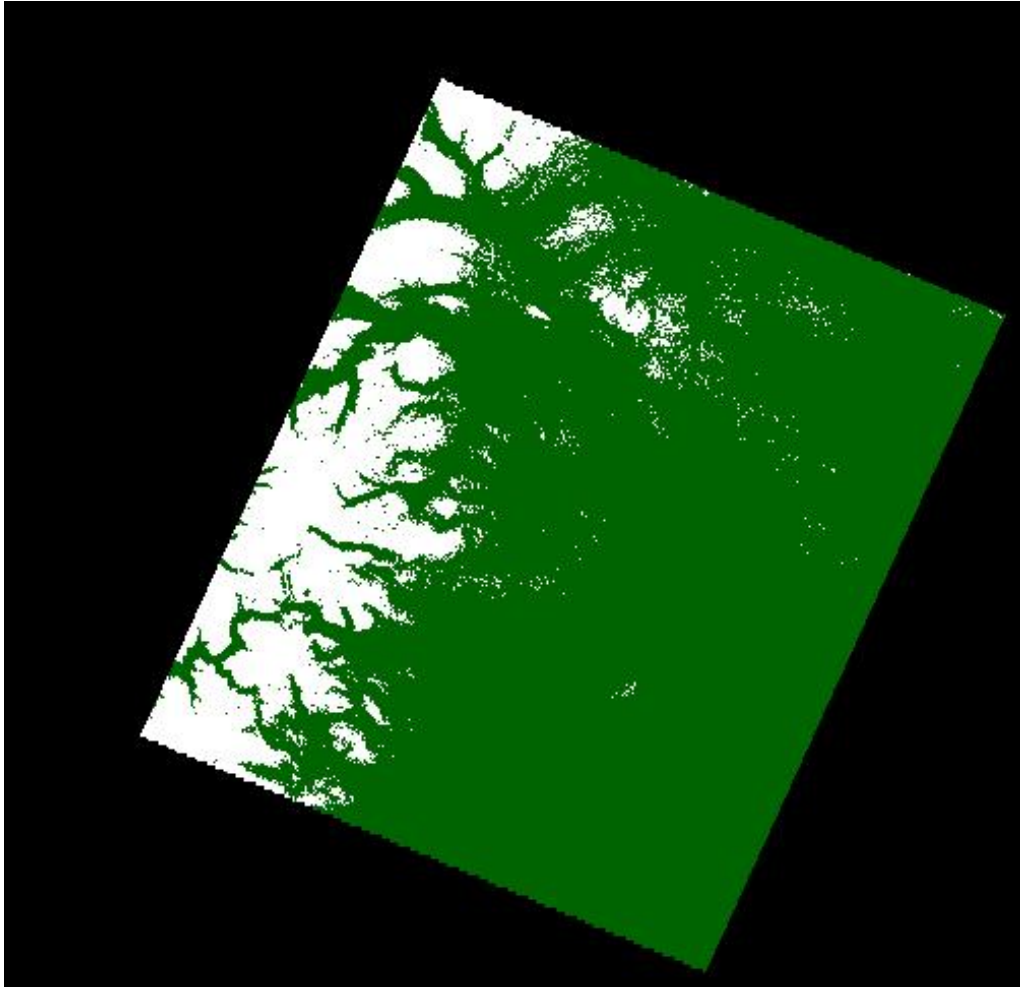
Helt i vest er det et område med skyer. Her er det meste blitt klassifisert som bart land, men det er trolig noe som er klassifisert som snø. Det har vi ikke brydd oss om i dette tilfellet, fordi vi har gjort sammenlikning bare i de områdene hvor det ikke er skyer på Landsat-bildet.

For å sammenlikne direkte med MODIS-produktet som viser snø/ikke-snø med 500 m oppløsning, ble det foretatt en nearest neighbour resampling fra 30 m til 500 m oppløsning og en sammenslåing av klassene til 2 produkter. Vi har et Snø-max hvor vi sier at piksler med delvis snødekning er snøpiksler, og et Snø-min hvor vi sier at piksler med delvis snødekning er ikke-snø (bart land). Hvis vi teller opp antall snøpiksler i begge tilfelle, vil vi ha en øvre og nedre grense for snødekt areal i området. For sammenlikning med MOD10-produktet er disse kuttet til et mindre utsnitt. Se Figur 4 og Figur 5.



**Figur 4 Snø-min.** Minimum snødekning i Landsatbildet, oppløsning 500m. Kuttet til område for sammenlikning med MOD10-produktet. Hvit – snø, grønn – alt annet.

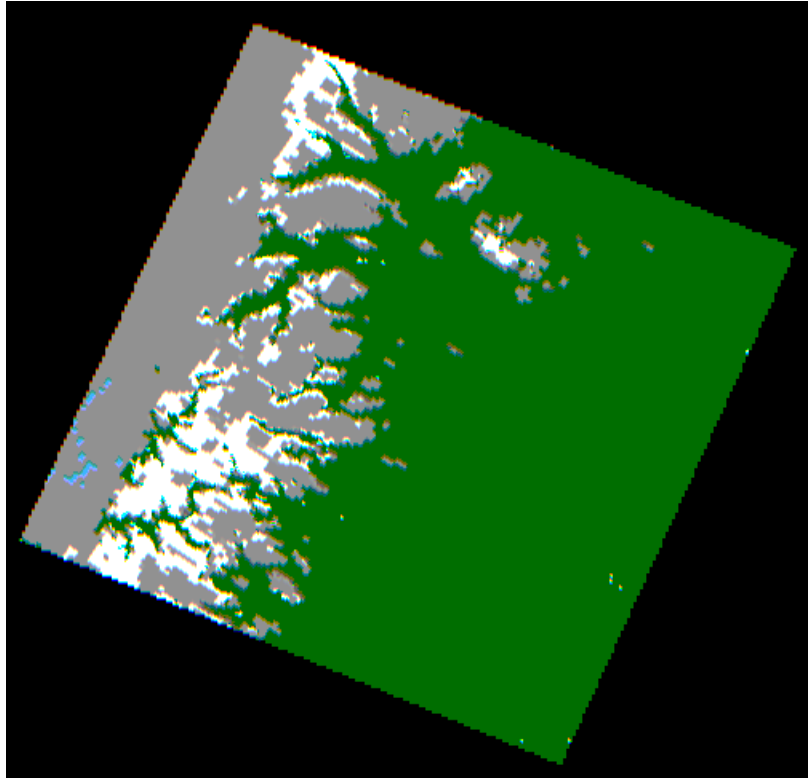




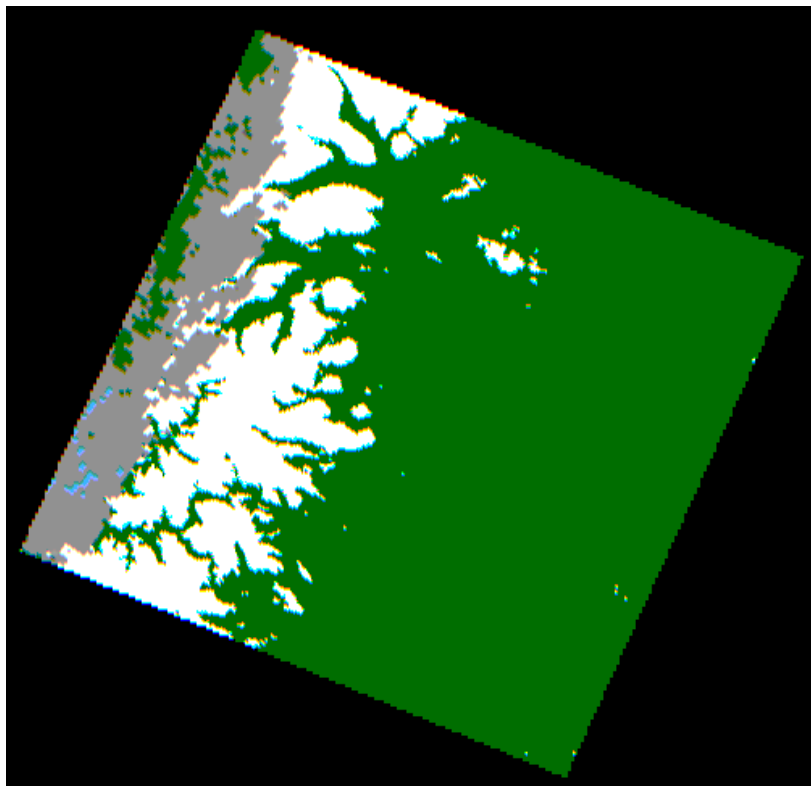
**Figur 5 Snø-max.** Maksimum snødekning i Landsatbildet, oppløsning 500 m. Kuttet til område for sammenlikning med MOD10-produktet. Hvitt- snø, grønt - alt annet.

### 2.3.4 Sammenlikning

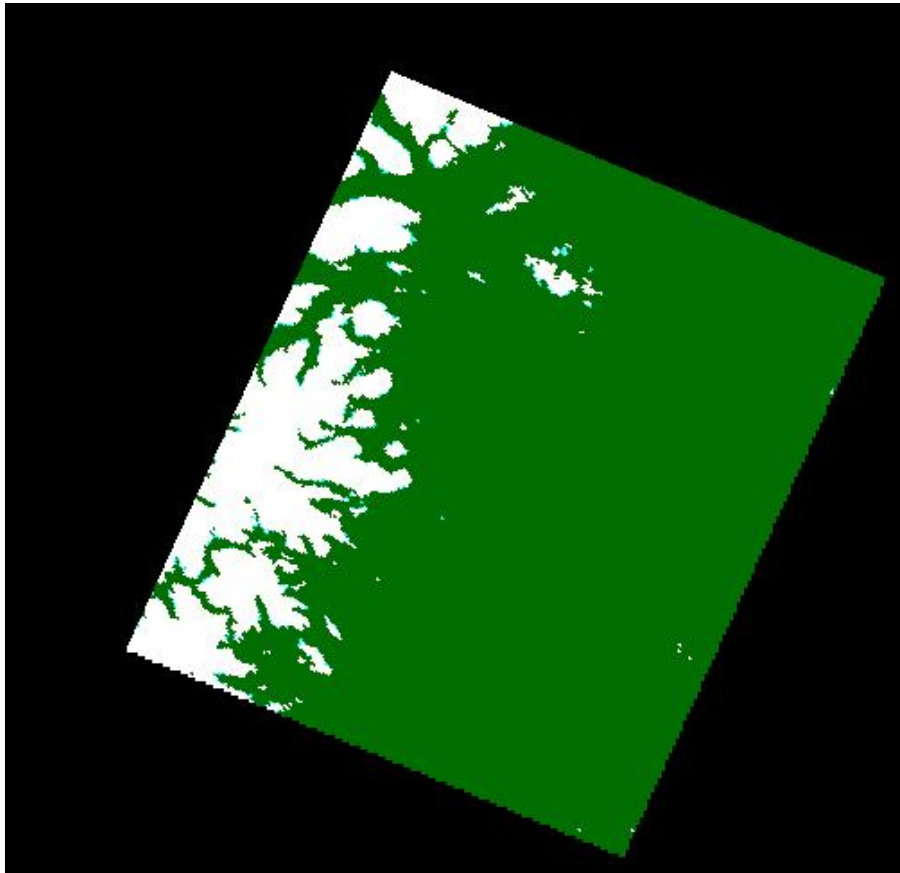
For å få en god sammenlikning mellom MODIS-produkt og Landsat-produkt for størst mulig område, laget vi en maske som dekker det området Landsat-bildet dekker. Litt ekstra problemer skaper det at Landsat-bildet er litt "frynsete" i kantene. MOD10-bildet blir masket ut med denne masken for begge bånd med snødekning. Som vi ser av bildene, Figur 6 og Figur 7, er det et bånd med skyer i vest. I tillegg ser vi at det er ganske stor forskjell på skyklassifiseringen i de to båndene. Den normale skyklassifikasjonen viser så mye skyer at det ikke har noen hensikt å gjøre sammenlikning med Landsat-bildet, som ikke viser skyer bortsett fra båndet i vest. All sammenlikning blir derfor gjort med bildet med liberal skyklassifisering. Her kan det se ut som om skymasken er litt for liberal. Det er detektert bart land midt i skybåndet. I følge Landsatbildet er det her snø. Landsat-bildet er tatt kl. 1018 GMT og viser lite skyer i vest. MODIS-opptaket er fra kl. 1140 GMT og skyene har trukket lengre østover. For å få en realistisk sammenlikning av snødeteksjon, har vi laget en ny maske hvor skybåndet i MODIS-bildet ikke er med, se Figur 4, Figur 5 og Figur 8.



Figur 6 Utsnitt av MOD10-produkt med standard skymaske. Hvit - snø, grønn - bart land og innsjøer, grått - skyer, blått – sjø.



Figur 7 Utsnitt av MOD-10-produkt med liberal skymaske. Hvit - snø, grønt - bart land og innsjøer, grått - skyer, blått – sjø.



**Figur 8** MOD10-produktet kuttet til utsnitt brukt til sammenlikning. Hvitt – snø, grønt – bart land og innsjøer.

Sammenlikningen er gjort med ENVI ved å subtrahere bildene Snø-max og Snø-min fra MOD10-bildet. For å forenkle litt har vi slått sammen klasser i MODIS-produktet. Dette vises i Tabell 1.

**Tabell 1** Klasser brukt for sammenlikning

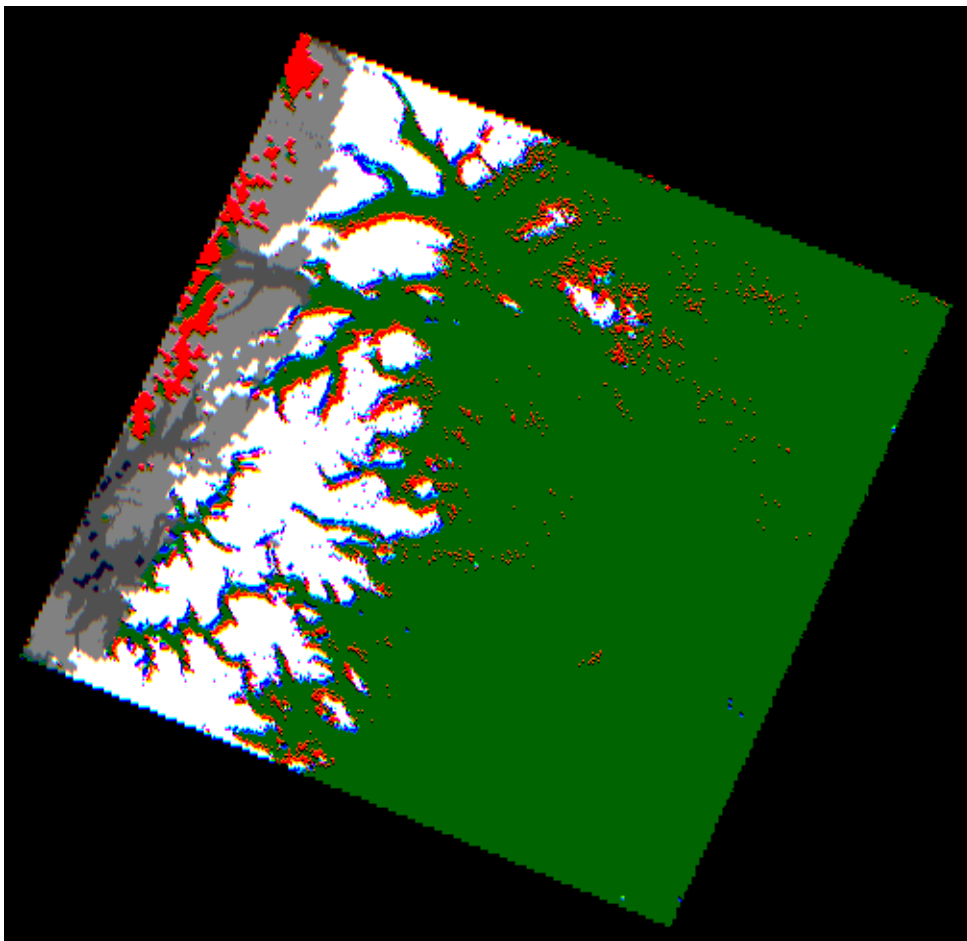
<b>Ny klasse</b>	<b>Originale klasser</b>
bart	bart, hav, innsjø + blanding av disse
snø	snø, islagt vann + blanding av disse
delvis snø	blanding av snø /islagt vann og bart/hav/innsjø
sky	sky + blanding av sky og andre

I resultatbildene har vi slått sammen differanseverdier slik at vi opererer med de klasser og farger som er oppgitt i Tabell 2.



Tabell 2 Klasser og fargekoder brukt i differansebilder.

Klasse	MOD10_TER	Landsat
Grønn	bart	bart
Rød	bart	snø
Blå	snø	bart
Hvit	snø	snø
Cyan	delvis snø	bart
Oransje	delvis snø	snø
Mørk grå	sky	bart
Lys grå	sky	snø



Figur 9 Differanse mellom MOD10-produkt og Snø-max for hele Landsat-utsnittet. Fargekode er forklart i Tabell 2.

I den første sammenlikningen, Figur 9, har vi brukt hele Landsat-utsnittet. Her ser vi at det blir galt blir å bruke hele utsnittet, fordi det i vest er skyer i MOD10-produktet, men ikke i Landsat-bildet. Her ser vi også at det i MOD10-produktet blir klassifisert områder med bart

land inne i skysystemet i vest, mens det i følge Landsat-bildet er snø. Det antyder at skyklassifiseringen ikke er streng nok, for det er høyst sannsynlig skyer her i MODIS-bildet.

I tillegg ser vi at det er tydelige tendenser til at det i vest- og nord-kanter av snøområder er områder hvor MOD10 ikke viser snø, mens Landsat gjør det. Likeledes ser vi at i øst- og sør-kanter av snøområder er det MOD10 som viser snø, mens Landsat ikke gjør det. Dette kunne tolkes slik at det er forskjeller på klassifiseringen i de to tilfellene ut fra hellingsvinkel i forhold til sola. Men den mest sannsynlige forklaringen er at de to bildene ikke er nøyaktig tilpasset geografisk. Landsat-bildet er nøyaktig opprettet med en nøyaktighet på under 30 m. MODIS-bildet benytter seg av geolocation-data som angir posisjon for hvert piksel i MODIS-bildet med 1 km oppløsning. I dette tilfellet ligger området vi ser på svært nær kanten i MODIS-bildet og pikslene er betydelig større enn 1 km. Det er forståelig hvis det i dette området blir en viss unøyaktighet i opprettingen. Hvis vi forskyver MOD10-bildet 500 m eller 1 km mot nord og vest, får vi i begge tilfelle bedre tilpasning. De resultatene vi presenterer er bygget på 1 km forskyvning i begge retninger. Dette gjøres ved å fjerne to rader og to kolonner oppe og til venstre i bildet. Forskyvningen er gjort etter at bildene er maskert ut. Det betyr at det synlige arealet i MODIS-bildet blir litt mindre enn på Landsat-bildet. Dette burde vært korrigert for, men det har det dessverre ikke blitt tid til.

## 2.4 Sammenlikning mellom NRs og NASAs snøkart

Det er utført en sammenlikning mellom MOD10\_L2 snøkart fra NASA og snøkart utviklet i SnowStar-systemet for Statkraft. Sammenlikning er gjort for fire datoer i smeltesesongen 2004 (12., 21. og 24. april og 1. mai). SnowStar-produktet har oppløsning på 250 m, så MOD10-produktet ble resamlet til 250 m før sammenlikning. For å få en best mulig sammenlikning av snøklassifiseringen, ble skymaskene for de to produktene slått sammen, og vannmasken for SnowStar ble benyttet. Den er mye mer nøyaktig enn den som benyttes av NASA.

SnowStar-produktet viser prosentvis snøfordeling. I denne sammenlikningen har man sammenliknet snøen i de binære kartene fra NASA med områdene med 100% snø i SnowStar-kartene.

## 3 Resultater

### 3.1 Snødekningsprodukt fra KSPT

Snødekningsproduktene forekommer i flere utgaver. MOD10-produktet forekommer med oppløsning på 500 m (MOD10\_TER\_\*) og 5 km (MOD10CR\_TER\_\*) i MODIS scan-projeksjon. De er i EOS HDF-format og kan studeres av vanlige GIS-verktøy. Produktene viser den interessante informasjonen på en grei og oversiktlig måte. Nærmere beskrivelse finnes i 2.1.1.1.

Med en oppløsning på 1 km finnes snødeknningen som et bånd i en HDF5-fil som også viser annen informasjon innenfor faste utsnitt som dekker Nord-Norge og Sør-Norge. Her er produktene rettet opp til polar stereografisk projeksjon. Det er ikke alle GIS-verktøy som leser og behandler HDF5-data uten videre. Dette vanskeliggjør tilgjengeligheten til dataene

noe. Men man kan kanskje vente at GIS-produsentene legger inn verktøy for behandling av HDF5-filer i sine produkter.

Opprettingen til polar-stereografisk projeksjon utføres ikke tilfredsstillende. I områder som ligger nær kantene på de scannede MODIS-bildene blir det repetisjon av data. Dette gjør produktene lite anvendbare. Se nærmere under 2.3.1.

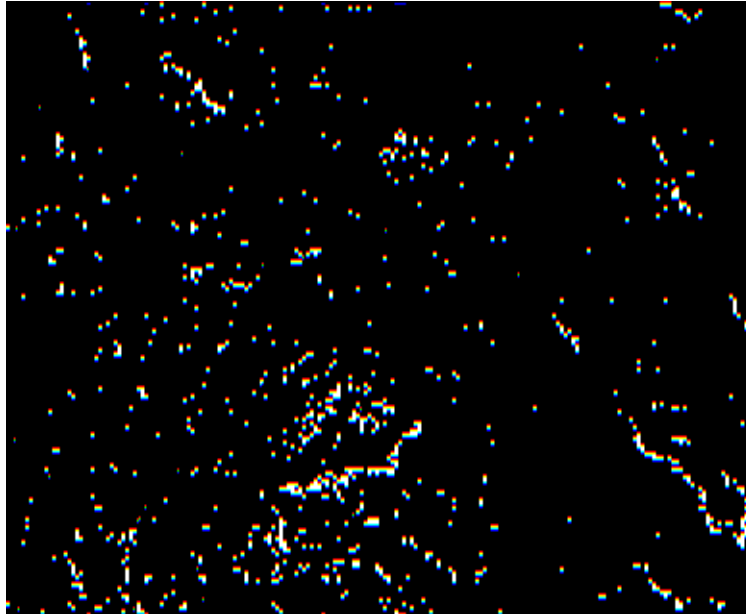
### 3.2 Sammenlikning med NASAs produkter

Sammenlikning av KSPTs MOD10-produkt mot NASAs MOD10\_L2-produkt er gjort ved ren subtraksjon av de to produktene. I Figur 10 er vist forskjellen mellom båndene med standard skymaske for 27/5-04. Angitt tidspunkt er 11:09:56 for KSPT-produktet og 11:15 for NASAs. Figuren viser et utsnitt over Østlandet og piksler som er klassifisert forskjellig i de to produktene er vist i hvitt. Vi ser at en del av forskjellene forekommer over innsjøer. Vi kan se konturene av Mjøsa nede til høyre og kan også finne igjen andre kjente sjøer.

Som mål på forskjellene kan vi telle opp antall piksler i de forskjellige klassene for de to produktene både for standard og liberal skymaske. Dette er vist i Tabell 3. Tallene gjelder for området som er dekket av NASA-bildet. I Tabell 4 er vist hvordan feilklassifiseringene er fordelt.

**Tabell 3 Antall piksler av hver klasse i snøproduktene fra KSPT og NASA for et felles utsnitt fra 27/5-04, samt differansen mellom KSPT- og NASA-produkter.**

Klasse	Standard skymaske			Liberal skymaske		
	KSPT	NASA	KSPT – NASA	KSPT	NASA	KSPT – NASA
bart land	782 841	785 601	-2 760	1 235 480	1 213 058	+22 422
innsjø	14 995	40 971	-25 976	22 574	65 255	-42 681
hav	8 068 652	7 996 220	+72 432	8 068 652	7 996 220	+72 432
skyer	1 994 076	2 034 860	-40 784	1 465 152	1 512 127	-46 975
islagt vann	1 237	3 245	-2 008	1 596	4 637	-3 041
snø	132 679	133 583	-904	201 026	203 183	-2 157



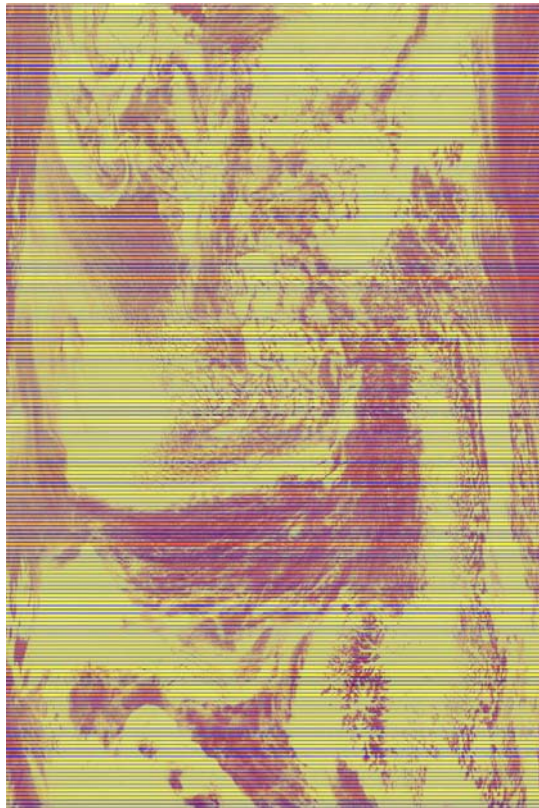
**Figur 10** Utsnitt av differansebilde mellom MOD10-produkt fra KSPT og NASA fra 27/5-04. Forskjellig klassifiserte piksler er vist i hvitt.

**Tabell 4** Antall forskjellig klassifiserte piksler i MOD10-produkt fra KSPT og NASA fra 27/5-04.

		KSPT					
		Bart	Innsjø	Hav	Skyer	Islagt vann	Snø
N A S A	Bart	-	815	23 107	12 456	3	376
	Innsjø	26 125	-	0	247	3	584
	Hav	1 310	0	-	2 424	0	118
	Skyer	5 105	145	50 204	-	11	1 555
	Islagt vann	22	6	0	61	-	2 001
	Snø	1 435	17	2 973	1 048	65	-

I alt består bildene som sammenliknes av 10 994 480 piksler. Av disse klassifiseres 10 862 264, dvs. 98.8 % likt i de to produktene. Forskjellene er således ikke store. Av tabell 1 fremgår det at det er en del forskjeller i klassifisering av hav og innsjøer. Det ser ut som om KSPT har en større havmaske, og NASA har en mer omfangsrik maske for innsjøer. Når det gjelder islagt vann blir det også klassifisert forholdsvis mye mer i NASA-produktet. Forskjell i vann-klassifiseringen kommer som nevnt tydelig fram i Figur 10. NASA har også noe større skymasker. Forskjellen er ca. 2% for standard og 3% for liberal skymaske. Ellers forekommer de fleste mulighetene for forskjellig klassifisering.

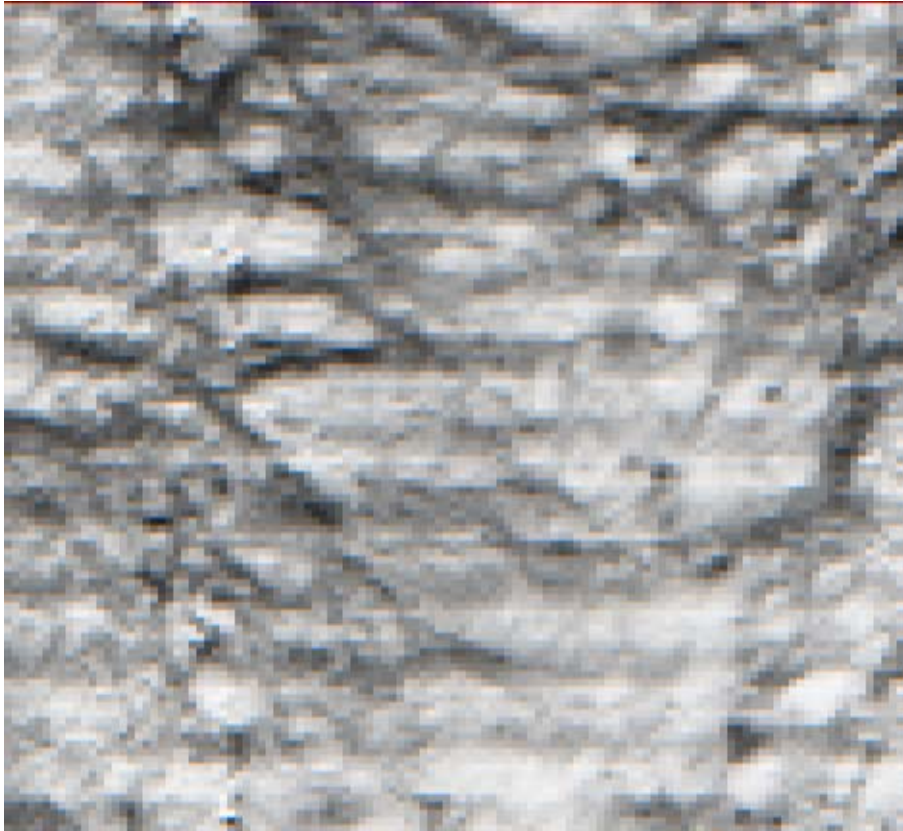
For å sjekke om grunnlagsdataene for snøklassifisering er forskjellig har vi sammenliknet direkte originaldataene. I Figur 11 vises differansen mellom radians-verdiene i bånd 1 mellom originaldata med 250 m oppløsning og i figur vises forskjellene i bånd 2. Høyere verdier for KSPT-data vises med gult til mørkt rødt for stigende forskjeller og høyere verdier for NASA vises fra lyst til mørkt blått. I bånd 1 er det trolig mest høyere verdier for KSPT og i bånd 2 for NASA. Dette kan ha med forskjellig kalibrering å gjøre. Det har vi ikke undersøkt. Men bildene forstyrres av markerte bånd. Som vi ser av Figur 13 kommer stripene fra KSPTs produkt. Vi har ikke sett på dette i detalj, men mener dette er noe som bør studeres nærmere.



**Figur 11** Differansebilde mellom MODIS input-data fra 27/5-04, bånd 1. KSPT - NASA.



**Figur 12** Differansebilde for MODIS input-data fra 27/5-04, bånd 2. KSPT - NASA.



Figur 13 Utsnitt av bånd 1 fra MODIS-bilde fra 27/5-04 før klassifisering.

### 3.3 Sammenlikning med Landsatbilder

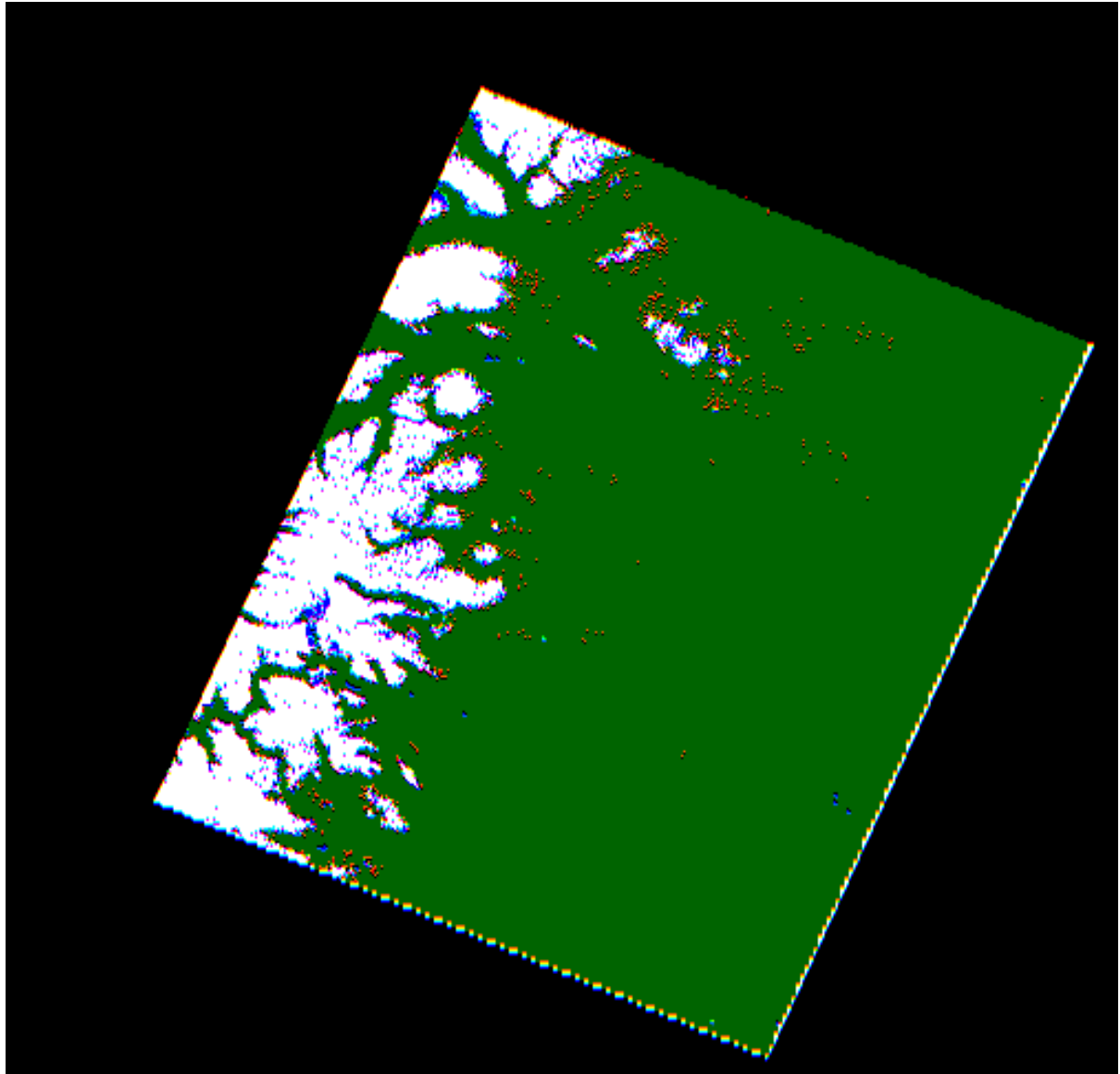
I Figur 14 og Figur 15 vises differansen mellom MOD10-produktet og bildene Snø-min og Snø-max som viser hhv. minimum og maksimum snødekning estimert fra Landsatbildet. MOD10-bildet er forskjøvet 1 km mot nord og vest i forhold til de koordinater som ble angitt for oppretting til UTM33. Her ser vi at de utpregete forskjellene i øst/sør og vest/nord som vi så i Figur 9 for det meste er borte, men ikke helt. Forskyvningen på 1 km gjør sannsynligvis ikke tilpasningen fullkommen, men det er trolig ganske nær det riktige.

Vi ser at i Figur 14 er det ganske mange blå piksler, dvs. piksler hvor Snø-min sier ikke-snø og MOD10 sier snø. Dette gjelder både i kantene av og inne i større snøfelt. Dette er i stor grad områder hvor Landsat-bildet viser delvis snødekning. Det gjelder der hvor disse pikslene er hvite i Figur 15. Imidlertid er det flere områder som er blå i begge figurene. Her er det altså klassifisert snø i MOD10-produktet hvor det er klassifisert bar mark i Landsat-bildet. Man skulle hatt mer ressurser til å studere disse områdene.

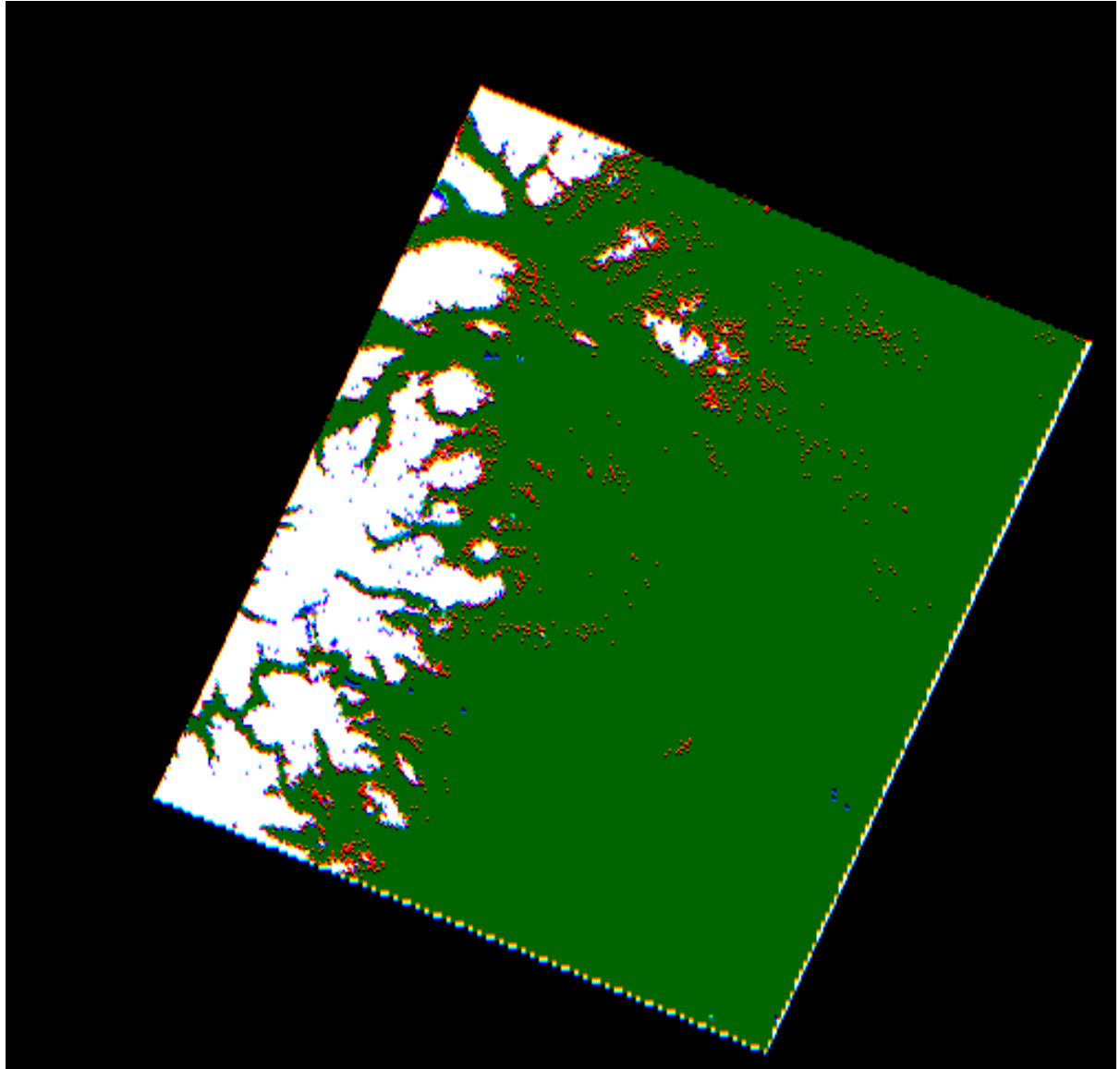
Likeledes er det flere områder hvor det finnes røde piksler i Figur 14. Dette er piksler hvor MOD10 ikke angir snø, selv om Landsatbildet angir full snødekning. Her skal man være litt forsiktig med å si at det er galt, fordi ved resampling av Landsatbildet fra oppløsning på 30 til 500 m, blir det en del piksler som blir klassifisert som snø, selv om det kanskje ikke er så stor andel av området som er dekket av snø. Dette vil særlig gjelde i mindre områder, som vi ser bl. a. oppe til høyre i begge figurene. I Figur 15 er det naturlig nok flere slike områder, men det er da piksler som bare er delvis dekket av snø og dermed er det mer tvilsomt om disse



burde vært klassifisert som snø i MOD10-produktet. Her skulle man også hatt mer ressurser til å gjøre litt grundige studier, og gått mer detaljert til verks.

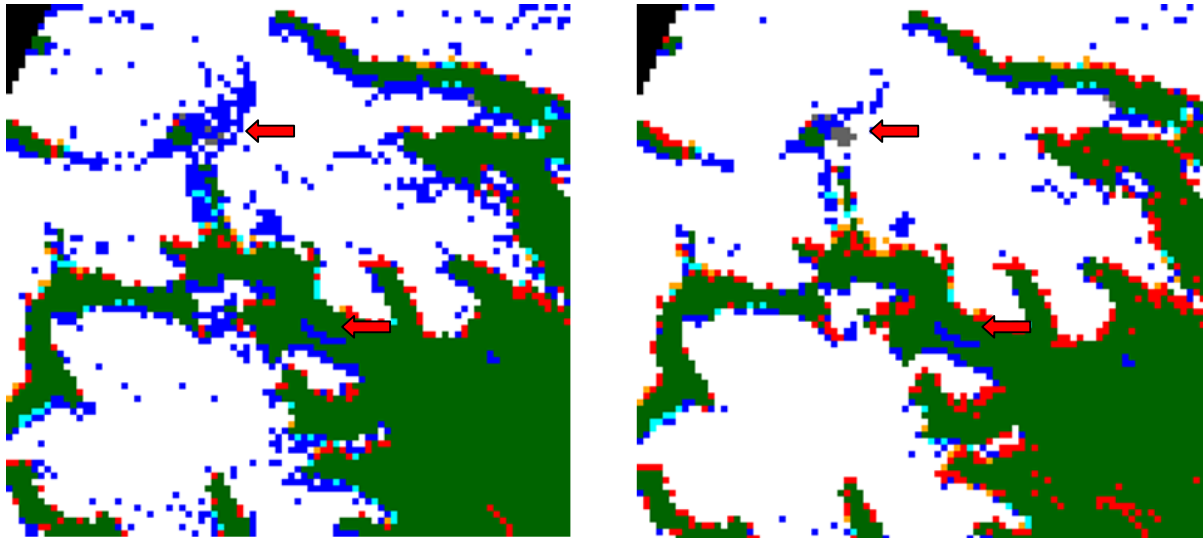


**Figur 14** Differanse MOD10 - Snø-min. Fargebruk forklart i Tabell 2.



**Figur 15** Differanse MOD10 - Snø-max. Fargebruk forklart i Tabell 2.





Figur 16 Utsnitt av differansebilder for MOD10-produkt mot Snø-min til venstre (fra Figur 14) og Snø-max til høyre (fra Figur 15). Tyn og Vangsmjøsi er angitt med røde piler

I Figur 16 ser vi antydning til feilklassifisering. Alle de blå pikslene i bildet til venstre viser stort sett piksler med delvis snødekning. Bl. annet har vi Tyn oppe til venstre som er delvis isdekket. Dette virker plausibelt. Midt i bildene ligger en blå flekk ute i det grønne området. Her ligger Vangsmjøsi og den er helt isfri. Hvorfor det her er estimert snø er ikke godt å si.

Tabell 5 viser hvor mange piksler som er likt og forskjellig klassifisert i MOD10-produktet sammenliknet med Snø-min og Snø-max. Dette kan gi et mål for kvaliteten av MOD10-produktet.

Tabell 5 Antall like og ulike klassifiserte piksler for differansebildene i Figur 14 og Figur 15.

MOD10	Landsat	Snø-min	Snø-max
bart	bart	86 669	84 936
bart	snø	1 235	2 968
snø	bart	2 669	956
snø	snø	15 171	16 884
delvis snø	bart	315	191
delvis snø	snø	210	334

I og med at vi ikke vet nøyaktig hvor godt de to bildene er tilpasset geografisk, kan man ikke angi eksakt hvor gal eller riktig klassifiseringen er overalt. Det er kanskje vel så bra å sammenlikne de totale arealer med klassifisert snø som å sammenlikne piksel for piksel. I Tabell 6 vises arealet av bart land, snø og delvis snødekning for Landsat-bildet med original oppløsning og resamlet til 500 m, og for MODIS snøprodukt. Man vil se at det totale klassifiserte arealet er litt mindre for MOD10-bildet. Dette skyldes forskyvningen som er gjort etter maskeringen. Forskjellen er 198.25 km<sup>2</sup> som utgjør ca 0.7% av det totale klassifiserte arealet.

**Tabell 6 Arealer av klassifisert snødekt areal fra Landsat-bilde og MODIS-produkt**

	Landsat 30 m		Landsat 500 m		MOD10 500 m	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
<b>Total</b>	26782.75	100	26782.75	100	26584.50	100
<b>Bart</b>	21784.39	81.19	21713.75	81.07	21987.25	82.71
<b>Snø</b>	4146.15	15.45	4173.75	15.58	4466.00	16.80
<b>Delvis snø</b>	900.60	3.36	895.25	3.34	131.25	0.49
<b>Max snø</b>	5046.75	18.81	5069.0	18.93	4597.25	17.29
<b>Trolig snø</b>	4596.45	17.13	4621.38	17.25	4531.63	17.09

Vi ser at ved resampling fra 30 til 500 m av Landsat-bildet øker snøarealet noe. Det vil si at at bildene Snø-max og Snø-min som er brukt som sammenlikning med MOD10-bildet, viser litt for mye snø. MOD10-produktet viser i utgangspunktet ikke delvis snødekning. Men ved oppretting til UTM oppstår det blandingspiksler. I tabellen er arealet av 'Delvis snø' addert til 'Snø' for å gi 'Max snø'. Det tilsvarer dannelsen av bildet Snø-max hvor klassene med delvis snø ble inkludert i full snødekning. Egentlig burde arealet for delvis snø gitt et mindre tillegg (for eksempel 50%) for å gi full snødekning. Dette er vist i rubrikken 'Trolig snø'.

Disse tallene viser at det klassifiserte snøarealet for MOD10 (4531.63 km<sup>2</sup>) er temmelig nær det estimerte snøarealet for Landsat-bildet med 30 m oppløsning( 4596.45 km<sup>2</sup>) når man benytter kriteriene for 'Trolig snø'. Forskjellen er ca 65 km<sup>2</sup>, men her må man også ta hensyn til den lille forskjellen i utsnittet. Ser man snødekning i prosent av arealet er det kun en forskjell på 0.04% (17.09 mot 17.13). Det er et meget bra resultat.

Ser vi litt grovere på det, sier usikkerheten i snøklassifikasjonen i Landsat-bildet, at snødekningen ligger et sted mellom 4146.15 og 5046.75 km<sup>2</sup>. For MOD10-produktet ligger snødekningen mellom 4460.0 og 4597.25 km<sup>2</sup>. Disse tallene ligger godt innenfor grensene.

### 3.4 Sammenlikning mellom NRs og NASAs snøkart

Den største forskjellen mellom snøkartene fra NR og NASA ligger i skyklassifiseringen. Stort sett viser produktene fra NR færre skyer. Dermed blir det gjerne klassifisert et større areal med snø. Eksempelvis viser SnowStar-kartet 24.7% snødekt areal for 12. april, mens NASA-kartet viser 19.2%. Når skymaskene er slått sammen og SnowStars vannmaske er benyttet får vi 15.62% snødekt areal i SnowStar-kartet mot 17.75% hos NASA.

For de andre datoene er det er alltid mest snø i SnowStar-produktet, også etter justeringen av maskene, men forskjellen blir mindre etter justering. Nærmere detaljer finnes i vedlegg, 'Comparison of MODIS and SnowStar Snow Maps in Scandinavia.'

## 4 Konklusjon

### 4.1 Vurdering

1. Vi har funnet at det er visse forskjeller mellom produktene i scan-projeksjon fra KSPT og NASA. Dette kan skyldes forskjeller i algoritmene og vannmasker, men ser

også ut til at det er forskjeller i inputdata til algoritmene. Dette bør undersøkes nærmere

2. Sammenliknet med Landsat-data gir snødekningsproduktet brukbare resultater. Dette gjelder produktet i scan-projeksjon med oppløsning på 500 m. Men sammenlikning er bare gjort for ett bilde i slutten av mai. På den tiden er det stort sett snø bare i høyfjellet. Det hadde vært ønskelig å gjøre sammenlikninger for data tidligere på året hvor det også er snø i skogsområder. Problemet er å finne høyoppløselige data å sammenlikne med. Vi har ikke gjort utførlige sammenlikning med skymaskene, men i det eksemplet vi har sett på virker det som om standard-skymasken viser alt for mye skyer, mens den liberale viser for lite skyer. Dette kan endre seg fra bilde til bilde.
3. For produktene med oppløsning på 1 km, som finnes i polar stereografisk projeksjon er opprettingsalgoritmen for dårlig. Det viser seg som repetisjoner av data i områder som ligger nær kantene av inputbildet. For områder nær midten av inputbildet, vil man ikke merke disse feilene, men opprettingen må forbedres hvis det skal være noe nytte i produktet. Som en nødløsning kan man maskere ut de områdene hvor repetisjonene gjør seg gjeldende.
4. I rapporten om sammenlikning mellom NRs og NASAs snøkart konkluderes det med at SnowStar-produktet gir et bedre resultat enn MODIS-produktet, og at dette i alt vesentlig skyldes bedre sky- og vann-maske. I tillegg til bedre oppløsning viser SnowStar-produktet også prosentvis snøfordeling og gir da et bedre bilde av den totale snømengden.

## 4.2 Videre arbeid

Det er ønskelig å foreta evaluering av produktene for flere perioder av året. Problemet er brukbare Landsat-bilder som referansedata med høy oppløsning. Ortofoto som viser snødekning med 1 m oppløsning kan benyttes som meget nøyaktig fasit for snødekning i et mindre område. NR har nå ortofoto over området Valdresflya/Heimdalen fra 13. juni 2004. Videre evaluering kan også gjøres ved sammenlikning av andre produkter. NR har utviklet egne algoritmer for snødekning og skyklassifikasjon fra MODIS-bilder. Disse har blitt sammenliknet med NASAs produkter som vist i denne rapporten. Sammenlikning med NRs produkter kan gjøres for flere tidspunkter gjennom året.

# Appendix

## Comparison of MODIS and *SnowStar* Snow Maps in Scandinavia

DOROTHY K. HALL<sup>1</sup>, RUNE SOLBERG<sup>2</sup>, KIMBERLY A. CASEY<sup>3</sup>, AND JAN-GUNNAR WINTHER<sup>4</sup>

### ABSTRACT

In this study, we look at the melt season in the spring of 2004 in the southern part of the Fenoscandia region, which includes Finland, Sweden and Norway, to determine the relative accuracy of the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) snow maps as compared to the maps which employ a modified *SnowStar* algorithm. *SnowStar* is an operational snow-mapping system developed in Norway for mapping snow in Scandinavia. The *SnowStar* maps use 250-m MODIS data as input and a cloud mask which is tuned to the Fenoscandia region. Snow maps from MODIS produce global, daily maps using an automated algorithm which is not tuned to any particular land cover or set of cloud conditions. For the four dates studied, the preliminary assessment is that the regionally-tuned cloud mask of the *SnowStar* maps accounts for most of the difference in amount of snow mapped between map products.

### INTRODUCTION

Algorithms have been developed using data from Earth Observing System (EOS) sensors to create geophysical products that are needed for modeling and monitoring studies. The Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors on the Terra and Aqua satellites provide global-scale geophysical products such as land cover, albedo, snow and sea ice cover. The algorithms are designed to be automated and many of the resulting products have been validated (see Justice and Townshend, 2002).

The MODIS global snow-map products (<http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov>) are available at different spatial resolutions to serve different user groups (Hall et al. 2002) and are archived and distributed through the National Snow and Ice Data Center (NSIDC) (Scharfen et al. 2000). The *SnowStar* map products may be produced in an automated or semi-automated mode using Advanced Very High Frequency Radiometer (AVHRR) data. A new version of the algorithm utilizes 250-m resolution MODIS data.

Validation of new snow maps can be accomplished by comparing snow maps with operational maps and with point measurements (i.e., from meteorological station data). Intercomparison of snow maps can be problematic because it is often difficult to determine which map is more accurate, nevertheless it provides a great deal of information on the viability and limitations of different mapping techniques.

The MODIS daily snow maps compare well with existing NOAA daily or near-daily snow maps such as the NOAA National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS) and NOAA National

---

<sup>1</sup>Oceans and Ice Branch, Code 971; NASA/Goddard Space Flight Center; Greenbelt, MD 20771

<sup>2</sup>Norwegian Computing Centre; P.O. Box 114, Blindern, N-0314 Oslo, Norway

<sup>3</sup>Science Systems and Applications, Inc.; Lanham, MD 20706

<sup>4</sup>Norwegian Polar Institute; N-9296 Tromsø, Norway

Operational Hydrologic Remote Sensing Center (NOHRSC) maps, however most of these studies have been done in North America (see, for example, Bittner et al., 2002; Klein and Barnett, 2003; Maurer et al., 2003; Simic et al., 2003) which may or may not be representative of the rest of the world.

Both the *SnowStar* maps and MODIS products provide fractional (sub-pixel) snow cover, and it is anticipated that interesting comparisons will be made comparing sub-pixel snow classes between the products in future work. However, in this paper, binary snow-map products from MODIS at 500-m resolution, are compared with the 100% snow category of snow maps produced using *SnowStar* algorithms, derived from 250-m Level 1B resolution data, are compared digitally.

## BACKGROUND

***MODIS snow-map products.*** The MODIS snow maps provide daily, global coverage. Swath and daily products are available at 500-m resolution, while the climate-modeling grid (CMG) products are provided at 0.05° resolution (~5.6-km resolution at the Equator). Fractional snow cover is currently available in the CMG products, and in the future, it will be provided in the 500-m products based on an algorithm developed by Salomonson and Appel (2004). Details about the MODIS snow products may be found in the Snow Products User Guide (Riggs et al., 2003) and elsewhere (see Hall et al., 2002).

A land/water mask is used by algorithms to determine if a pixel is land or ocean for processing in the algorithms. Processing within the algorithms is based on the 1-km resolution United States Geological Survey (USGS) global land/water mask stored in the MODIS geolocation product (Wolfe et al. 2002). The algorithms that generate products used as input in the snow and sea ice algorithms also use that land/water mask. However, a new land/water mask, developed at Boston University, will be implemented in the future and will be available with the MODIS snow maps in Collection 5, with reprocessing tentatively set to begin in early 2005.

A challenging problem in snow detection is the discrimination of snow from clouds (Ackerman et al. 1998 and Riggs and Hall, this volume). The “cloud-conservative” algorithm used with the MODIS snow map products decreases the errors of commission, globally, but because it tends to map some snow as clouds, and thus often underestimates the amount of snow cover.

***SnowStar-derived maps from MODIS.*** An operational snow-cover monitoring system using satellite imagery is run by the Norwegian Energy Corporation (Statkraft) for the monitoring of snow resources in the snowmelt season (April-July). The system can be run in both an automated and a semi-automated mode and is based on the use of NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data (Solberg and Andersen, 1994). The classification algorithm is based on an empirical reflectance-to-snow-cover model (Andersen, 1982), and presents snow cover as snow-cover fraction. The model is calibrated by providing two points of a linear function, corresponding to maximum and minimum reflectance for 0-100% snow cover. The calibration is usually done automatically using calibration areas. The algorithm was integrated by the Norwegian Computing Center (NR) into a snow-cover monitoring system called *SnowSat*, which was run operationally by Statkraft since the beginning of the 1990s.

The approach was improved and implemented by NR in a new system called *SnowStar* run by Statkraft and later also implemented in a snow algorithm experiment environment, *SnowLab*, run by NR. There are two versions of the algorithm currently, one for NOAA AVHRR data and another for Terra MODIS data. The MODIS version generates 250 m snow maps based on MODIS band 1.

A particular problem for practical use of the snow algorithm has been cloud detection. NR has experimented with several approaches, and the current best cloud detection algorithm is based on K Nearest Neighbor (KNN) classification of MODIS data. In a KNN classifier a pixel is assigned the class which is dominating among the K nearest classified pixel vectors in the corresponding feature space generated from the training data. A KNN classifier is an asymptotically optimum (maximum likelihood) classifier as the size of the reference set increases.

The classifier has been trained based on a set of partially-cloudy images acquired through a melt season. Reference vectors are extracted using a manually-controlled spectral-distance based region-growing procedure. The procedure enables an accurate positioning of the spectral transition between different classes by utilizing the

operator's ability to interpret both the pixel context and the pixel color. The pixel "color" in this case is the RGB image obtained through a transform of each pixel vector. A tool is developed to ease the manual labeling of scenes, a procedure which typically takes a couple of hours. The final reference set size is reduced to a manageable size using standard vector-quantization (K-Means). In our initial reference set we used the following classes: cloud, land, ocean and snow/ice. A total of 500 representation vectors was used for each class. The method is still under development and has not yet been published.

## METHODOLOGY

The MODIS snow maps, and the modified *SnowStar* maps were compared for four different dates in the melt season of 2004 (April 12, 21, 24 and May 1) in the Fenoscandia region. Because the *SnowStar* maps employ the 250-m resolution MODIS Level 1B data, are tuned specifically to the region, and the cloud mask is manually prepared, we are considering the *SnowStar* maps to be closer to the actual snow conditions than are the MODIS snow-map products.

In order to compare the extent of snow mapped on the *SnowStar* and MOD10\_L2 snow maps, the MOD10\_L2 product was resized from 500-m to 250-m resolution (to match the resolution of the *SnowStar* product). Additionally, the cloud mapped on each product was combined to form a single cloud mask for each data pair, and the inland water mapped on the MOD10\_L2 maps was overlaid on the *SnowStar* map.

## RESULTS

A comparison of the *SnowStar* and MODIS maps for 12 April 2004 is shown in Figure 1. The *SnowStar* map shows that 24.7% of the scene is snow covered, while the MODIS map shows that 19.2% of the scene is snow covered. If we employ the same cloud mask on both maps (cloud masks from both the MODIS map product and from the *SnowStar* map) and inland water from the MODIS product, using the *SnowStar* land/water mask on both maps, the *SnowStar* map shows somewhat less snow as compared to the MODIS map product - 15.62% of the scene is snow covered while the MODIS product shows that 17.75% of the scene is snow covered (Figure 2). Figure 3 shows the results for each of the four dates studied. Results for the four dates using the overlays on both the *SnowStar* maps and MODIS map products are summarized in Figure 4. These preliminary results show that the amount of snow mapped is similar when the cloud mask, land/water mask and inland water mask are the same on both maps.

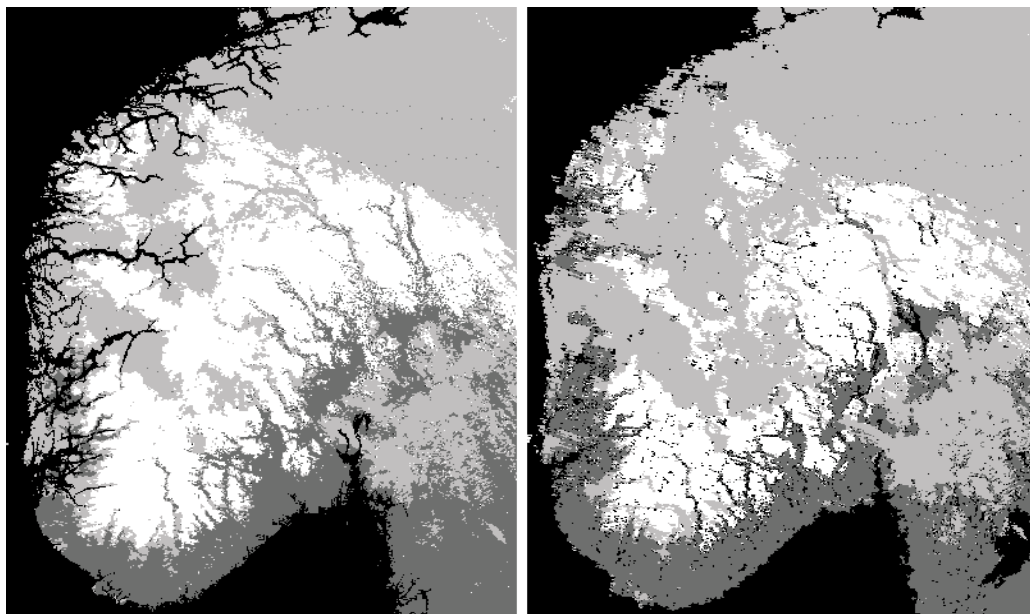


Figure 1. Comparison of *SnowStar* and MODIS snow maps - April 12, 2004 - (*SnowStar* on left, MOD10\_L2 on right). Note the difference in the cloud masks.

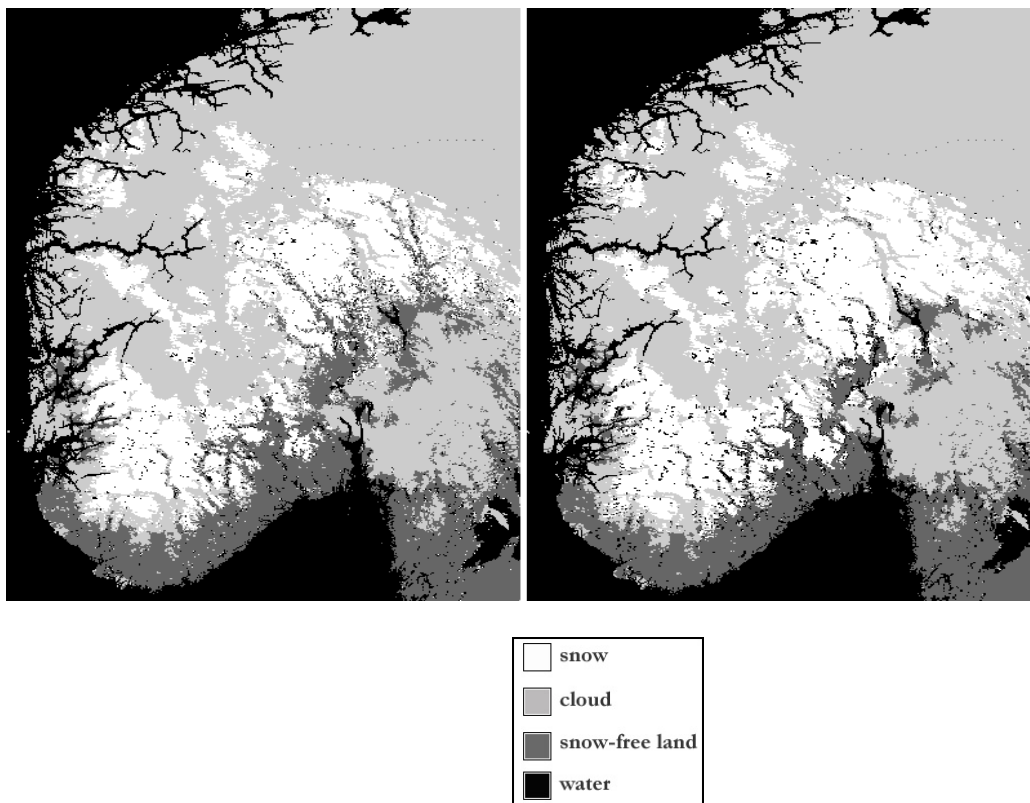


Figure 2. Comparison of *SnowStar* and MODIS snow maps - April 12, 2004 - (*SnowStar* on left, MOD10\_L2 on right). The MODIS cloud mask is overlain on the *SnowStar* map, and the *SnowStar* coastline is overlain on the MODIS map.

Based on this preliminary data and the very small sample shown herein, the improvement in the “raw” maps, relative to the MODIS product, seems to come mainly from the regionally-tuned cloud mask and land/water boundary of the *SnowStar* maps. While the MODIS 500-m resolution, daily snow-map products provide a product for use in global models, they tend to underestimate actual snow cover due mainly to the conservative nature of the cloud mask, thus errors of commission are minimized.

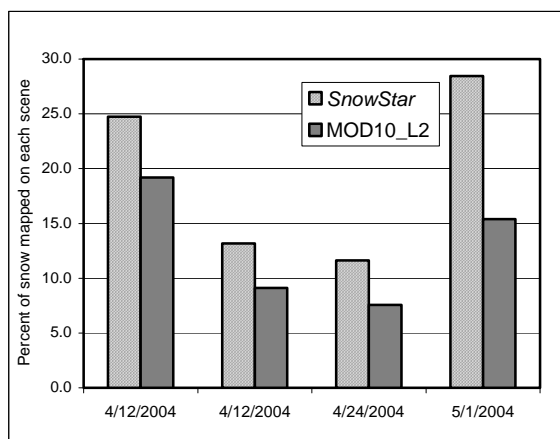


Figure 3. Percent of snow mapped using the snow maps as they are produced.

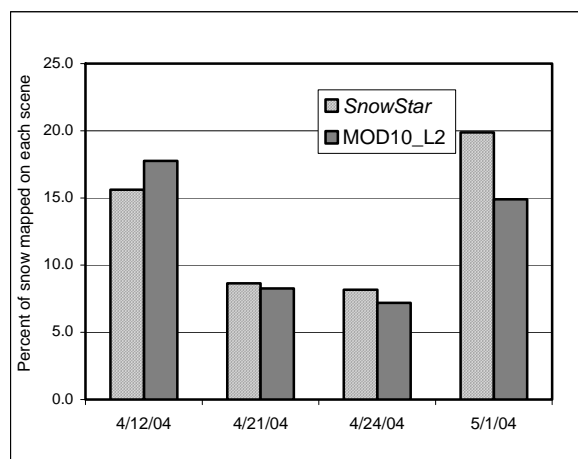


Figure 4. Percent of snow mapped using the MODIS cloud mask, and the *SnowStar* coastline on both maps.

## DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Algorithms designed for use globally, such as those developed to map snow and clouds using MODIS products, have limitations when using them at the local and regional scales. For example the cloud-conservative nature of the MODIS cloud mask (Ackerman et al., 1998) that is used with the MODIS snow products, may permit less actual snow to be mapped, but is useful for decreasing the errors of commission in global snow mapping. Also, the land/water mask, developed for global application, is not as detailed as is possible to develop for a local area, such as the land/water mask used with the *SnowStar* maps. This lack of detail in the current land/water mask contributes to errors in snow mapping, at least in Version 4 of the MODIS snow maps, though an improved land/water mask, developed at Boston University, will be implemented in the next MODIS reprocessing, known as Collection 5 (also Version 5).

## REFERENCES

- Ackerman, S.A., K.I. Strabala, P.W.P. Menzel, R.A. Frey, C.C. Moeller and L.E. Gumley, 1998: Discriminating clear sky from clouds with MODIS, *Journal of Geophysical Research* 103(D24):32,141-32,157.
- Andersen, T., 1982: Operational snow-mapping by satellites, Hydrological Aspects of Alpine and High-Mountain Areas, *Proceedings from Exeter Symposium*, July 1982, IAHS Publication no. 138.
- Bitner D., T. Carroll, D. Cline and P. Romanov, 2002: An assessment of the differences between three satellite snow cover mapping techniques, *Hydrological Processes* 16:3723-3733.
- Hall D.K., G.A. Riggs and V.V. Salomonson, N.E. DiGirolamo and K.J. Bayr, 2002: MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment* 83:181-194.
- Justice, C.O. and J.R.G. Townshend, 2002: The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of land surface monitoring, *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2):Special Issue:1-351.
- Klein, A. and A.C. Barnett, 2003: Validation of daily MODIS snow maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-2001 snow year, *Remote Sensing of Environment* 86:162-176.
- Mauer, E.P., J.D. Rhoads, R.O. Dubayah and D.P. Lettenmaier, 2003: Evaluation of the snow-covered area data product from MODIS, *Hydrological Processes* 17:59-71.
- Ramsay, B., 1998: The interactive multisensor snow and ice mapping system, *Hydrological Processes*, 12:1537-1546.
- Riggs, G.A., D.K. Hall and V.V. Salomonson, 2003: *MODIS Snow Products User Guide*, <http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/sugkc2.html>.
- Riggs, G.A. and D.K. Hall, this volume: Snow mapping with the MODIS Aqua instrument, *Proceedings of the 61<sup>st</sup> Eastern Snow Conference*, 9-11 June 2004, Portland, ME.
- Robinson, D.A., 1999: Northern Hemisphere snow cover during the satellite era. *Proceedings of the 5th Conference Polar Meteorology and Oceanography*, Dallas, TX, American Meteorological Society, Boston, MA, pp. 255-260.
- Salomonson, V.V. and I.L. Appel, 2004: Estimating the fractional snow covering using the normalized difference snow index, *Remote Sensing of Environment*, 89:351-360.



- Scharfen, G.R., D.K. Hall, S.J.S. Khalsa, J.D. Wolfe, M.C. Marquis, G.A. Riggs and B. McLean, 2000: Accessing the MODIS snow and ice products at the NSIDC DAAC, *Proceedings of IGARSS'00*, 23-28 July 2000, Honolulu, HI, pp. 2059-2061.
- Simic, A., R. Fernandes, R. Brown, P. Romanov and W. Park, 2004: Validation of VEGETATION, MODIS, and GOES+SSM/I snow cover products over Canada based on surface snow depth observations, *Hydrological Processes*, 18(6):1089-1104.
- Solberg, R. and T. Anderson, 1994: An automatic system for operational snow-cover monitoring in the Norwegian mountain regions, *Proceedings of IGARSS'94*, Pasadena, CA, pp. 2084-2086.
- Vikhamer, D. and R. Solberg, 2002: Subpixel mapping of snow cover in forests by optical remote sensing, *Remote Sensing of Environment* 83:97-111.
- Wolfe, R.E., D.P. Roy and E. Vermote, 1998: MODIS land data storage, gridding, and compositing methodology: level 2 grid, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36(4):1324-1338.
- Wolfe, R., M. Nishihama, A. Fleig, J. Kuyper, D. Roy, J. Storey and F. Patt, 2002: Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science, *Remote Sensing of Environment* 83:31-49.