

Satellittbasert overvåkning av vekstsesongen på Svalbard

- status 2012



Av
Stein Rune Karlsen, Eirik Malnes og Kjell Arild Høgda

Tittel

Satellittbasert overvåkning av vekstsesongen på Svalbard, - status 2012

Forfatter(e)

Stein Rune Karlsen, Eirik Malnes og Kjell Arild Høgda

Oppdragsgiver Norsk Polarinstitutt		Oppdragsgivers Ref John Richard Hansen	
ISSN 1890-5226 ISBN 978-82-7492-275-4	Publikasjonsnr 2/2013	Publikasjonstype Rapport	Tilgjengelighet Åpen
Dato Juli 2013	Versjonsnr 1.0	Antall sider 26	
Emneord Svalbard, MODIS, NDVI, vekstsesong, snøkart.			
Noter			
Distribusjon MOSJ			
Rapportsensor		Faglig ansvarlig Kjell Arild Høgda	

Resymé

Denne rapporten omhandler satellittbasert overvåkning av vekstsesongen (fenologi) på Svalbard. MODIS-NDVI satellittdata er brukt til å kartlegge, start, slutt og lengden på vekstsesongen for årene 2000 til 2012. Kombinert optisk (MODIS) og mikrobølge (ASAR) satellittdata er brukt til å kartlegge siste og første dag med snø for åren 2005 til 2012.

1 FORORD

Denne rapporten omhandler satellittbasert overvåkning av vekstsesongen (fenologi) på Svalbard. Overvåkingen er et ledd i, og en utvidelse av, den pågående overvåking av miljøet på Svalbard i regi av *Miljøovervåkningssystemet for Svalbard og Jan Mayen* (MOSJ). Rapporten er ment som et tillegg til hovedproduktet - de digitale satellittbaserte datasett. Etableringen av satellittbasert overvåkning av vekstsesongen på Svalbard er gjort med tanke på langsiktig overvåkning av endringer vegetasjonen, og det er lagt opp til årlig virksomhet innen overvåkning av vekstsesongen. Northern Research Institute Tromsø (Norut Tromsø) utfører oppdraget for Norsk Polarinstitutt. Vi takker seniorrådgiver John Richard Hansen, Norsk Polarinstitutt, for god assistanse, og vi takker ansatte ved Norsk Polarinstitutt i Longyearbyen for feltobservasjoner av vekstsesongen hver sommer siden høsten 2009. I tillegg til finansiering fra MOSJ har Norut bidratt med egeninnsats.

Tromsø, juli 2013
Stein Rune Karlsen
(Prosjektledere)

Innhold

1	Forord.....	3
2	Innledning.....	5
3	Materiale og metoder	6
3.1	Studieområdet, kartdata, masker og felldata	6
3.2	MODIS data i kartlegging av vekstsesongen	7
3.3	ASAR og MODIS data i snøkartlegging.....	8
4	Resultat.....	10
4.1	Kartlegging av vekstsesongen for årene 2000-2012	10
4.1.1	Fenologiobservasjoner i Adventdalen og ved Gruve-7.....	10
4.1.2	Start på vekstsesongen	11
4.1.3	Slutten på vekstsesongen.....	15
4.1.4	Lengden på vekstsesongen	16
4.2	Kartlegging av siste og første dag med snø for årene 2005-2012.....	17
4.2.1	Våren - siste dag med snødekke	17
4.2.2	Høsten - først dag med snødekke	20
5	Diskusjon.....	22
5.1	Vekstsesongkart	22
5.2	Snøkart	23
6	Oppsummering og konklusjon	24
7	Referanser.....	25

2 INNLEDNING

I 2008 tok Norsk Polarinstitutt initiativ til en utvidet overvåking av vegetasjonen på Svalbard. Overvåkningen er et ledd i den pågående overvåking av miljøet på Svalbard i regi av *Miljøovervåkningssystemet for Svalbard og Jan Mayen* (MOSJ). Denne rapporten omhandler etablering av satellittbasert overvåking av vekstsesongen (fenologi) på Svalbard, og inngår i MOSJ.

En første indikasjon på endringer i vegetasjonen som følge av klimaendring er gjerne endringer i vekstsesongens lengde. Det være seg for eksempel endring i dato for blomstring på polarvier observert i felt, grønning/gulning av plantesamfunn sett fra digitale overvåkningskamera (Richardson et al. 2007), eller endringer over år i start/slutt på vekstsesongen observert fra satellitt (Karlsen et al. 2008). Siden artene reagerer fenologisk ulikt på endringer i klimaet, vil denne ulikheten på sikt føre til endringen i utbredelsesmønsteret og på mengdeforholdet blant artene i plantesamfunnene. På en lengre tidsskala vil denne endringen etter hvert kunne fanges opp av den vegetasjonsøkologiske overvåkingen av vegetasjonen, basert på fastruter, som sommeren 2009 ble etablert av NINA i regi av MOSJ (Aarrestad et al. 2009). I løpet av 2008-2009 ble det utarbeidet vegetasjonskart for hele Svalbard i regi av MOSJ (Johansen et al. 2009, 2012). Vegetasjonskartet er basert på Landsat TM satellittdata med 30m piksler, og på en ennå lengre tidsskala (>10 år) vil endringer i vekstsesongens lengde kunne oppdages som endringer i vegetasjonen sett med denne romlige oppløsning. Endringer i vekstsesongens lengde vil også på kort sikt ha betydning for svingninger i populasjonen av rein, polarrev, gås, etc. Og ikke minst er det viktig for tilbakekoplingen til klimasystemet. For eksempel vil tidlig snøsmelting føre til redusert refleksjon og økt absorpsjon av solinnstrålingen. Og tidligere start på vekstsesongen, med tidligere grønn vegetasjon, gjør at mengden solinnstråling som absorberes og konverteres til varme øker.

Denne rapporten omhandler to ulike satellittbaserte datasett: 1) Det brukes Terra MODIS data for perioden 2000 til 2012 for å kartlegge start og slutt på vekstsesongen, og 2) det brukes kombinert mikrobølge data (ASAR) og Terra MODIS data for perioden 2005 til 2012 (2005-2010 for ASAR) for å kartlegge siste dag om våren og første dag om høsten med snødekke.

Norut påbegynte arbeidet med MODIS basert snø og vekstsesongkart i 2008 (Karlsen et al. 2011). Siden den gang er det arbeid kontinuerlig med forbedret prosessering av MODIS data (Karlsen 2011, Karlsen et al. 2011, 2012, Karlsen & Høgda 2013), og resultatene innen vekstsesongkartlegging presentert i denne rapporten er basert på en helt ny prosessering av MODIS data for perioden 2000 til 2012. I tillegg er det nå brukt tre år med feltobservasjoner i Adventdalen som vekstsesongen er tolkes ut i fra, og i tillegg er to år til med snøkart nå prosessert.

3 MATERIALE OG METODER

3.1 STUDIEOMRÅDET, KARTDATA, MASKER OG FELTDATA



Figur 1. Studieområdet Svalbard. Viser områder med feltdata og masker som er brukt i analysen. Kartet viser også områder hvor gjennomsnitt skykorrigert NDVI, for perioden 4. juli til 3. august for årene 2000 til 2012, er over henholdsvis 0,2 og 0,4. Kartgrunnlaget forøvrig er fra S250 datasettet fra Norsk Polarinstitutt.

Studieområdet er hele Svalbard syd om 80°N (Figur 1), dette fordi de MODIS datasettene som er brukt ikke har data lengre nord. For å analysere datasettene og vekstsesongen/snøtidspunkt er det laget flere masker for Svalbard (Figur 1). Innenfor hvert område er piksler med høy sommer NDVI plukket ut og disse områdene er videre analysert.

Kartdata (S100, S250 og terrengmodell) fra Norsk Polarinstitutt er gitt til Norut for bruk i prosjektet. Fra denne kartdataen er det generert masker for bruk i prosesseringen av satellittdatasettene. I tillegg er et Landsat TM basert vegetasjonskart med 30m romlig oppløsning for hele Svalbard (Johansen et al. 2009, 2012) nyttig som referanse i arbeidet med tolkning av start/slutt på vekstsesongen.

For tolkning av start og slutt på vekstsesongen sett i MODIS satellittdata er det etablert til sammen åtte feltobservasjonsområder i Adventdalen og på fjellplatået ved Gruve 7. Da den romlige oppløsningen til MODIS data er på 250/500m og resultatene skal kunne ekstrapoleres til hele Svalbard er det lagt vekt på at feltobservasjonene skal finne den romlige variasjonen i start og slutt på vekstsesongen over større områder. Tradisjonelle fenologiobservasjoner på enkeltarter i et punkt har vist seg vanskelig å knytte opp mot satellittdata med 250m romlig oppløsning, og et eget opplegg er derfor brukt for å finne den lokale variasjonen og gjennomsnittet i start og slutt på vekstsesongen. Det er også lagt vekt på finne gode og enkel botanisk definisjon på start og slutt på vekstsesongen.

3.2 MODIS DATA I KARTLEGGING AV VEKSTSESONGEN

Det er brukt to ulike MODIS datasett i kartlegging av vekstsesongen, begge med 8-dagers tidsoppløsning: a) MOD09A1-produktet som viser reflektansverdien til 7 bånd med 500m romlig oppløsning, og b) MOD09Q1-produktet som viser reflektansverdien til bånd 1 og 2 (rødt og nærinfrarødt) med 250m romlig oppløsning.

Alle 8-dagers perioder for årene 2000 til 2012 for begge datasettene ble lastet ned og prosessert. For datasettet MOD09A1 med 7-bånd er det analysert spektralsignaturen gjennom vekstsesongen for alle bånd innen utvalgt områder (Figur 1). Basert på ulike kanalkombinasjoner er det prosessert ulike indekser. Fra MOD09Q1 datasettet med 250m piksler er det prosessert NDVI og EVI2. NDVI er basert på kombinasjonen av refleksjon i rødt (R) og nærinfrarødt (NIR), $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. EVI2 indeksen er også basert på rødt og nærinfrarødt, men hvor det røde bandet er 'strekt' for å forbedre dynamikken, og forenkle automatisk kurvetilpasning. Fra MOD09A1 er det kalkulert indeks basert på refleksjon i kortbølgeinfrarødt (SWIR) og rødt, hvor den røde kanalen er 'strekt' også her.

Ett hovedarbeid i prosessering av optisk data er å fjerne atmosfærisk støy (skyer). Med MODIS data følger det med kvalitetsinformasjon (QA og QA State verdier). Dessverre viser det seg at dersom en bruker all informasjon fra QA angående atmosfærisk støy blir det altfor lite data igjen, og det vil fortsatt inneholde flere feil. Det er derfor i tillegg utviklet fem egne skymasker basert på kanalkombinasjoner av de 7-MODIS band. Avhengig av hvilken type støy (skytype) og når i sesongen, vil en kombinasjon av ulike QA verdier og egne skymasker gi tilfredsstillende deteksjon av skydekke i de fleste tilfeller. Hver enkelt 8-dagers periode er så evaluert visuelt for støy, og det er valgt en kombinasjon av egen skymasker og MODIS QA/QA Stat verdier, og i noen tilfeller der ingen kombinasjoner av skymasker fungerer tilfredsstillende er det gjort en visuell maskering av støyområder. Avhengig av kombinasjonen av skymasker som brukes startes ett python skript i ArcGIS og generer en skymaske for den spesifikke 8-dagers perioden. I alt er det brukt 13 ulike kombinasjoner av skymasker (python-skript). Denne prosessen som inneholder en visuell vurdering av egnet skymaske-kombinasjon av hver 8-dagers periode er tidkrevende, men gjøres kun en gang.

Etter at det er generert en skymaske for hver 8-dagers periode, så interpoleres det verdier for de pikslene som mangler verdi på grunn av skyer. Det brukes da temporær informasjon, dvs.

gjennomsnitt fra 8-dagers periodene før og etter, eventuelt 13-års medianverdi for før/etter dersom en av periodene før/etter også er skydekt, og dersom det forekommer mer en tre etterfølgende 8-dagers perioder med skydekke, så brukes 13-års medianverdi for den spesifikke 8-dagers periode.

I siste del så glattes kurven ut for å jevne ut de interpolerte verdier, og det brukes da et Savitzky-Golay filter, hvor de interpolerte verdiene blir tillagt mindre betydning enn de skyfrie pikslene.

I kalkulasjon av start på vekstsesongen er det først beregnet gjennomsnitts NDVI verdier for årene 2000 til 2012 for perioden 4. juli til 3. august basert på den skykorrigerede data (fra nå av kalt sommer NDVI). Områder med sommer NDVI over henholdsvis 0,2 og 0,4 er vist i Figur 1. Hvert år, når NDVI verdien når en gitt terskel for sommer NDVI, blir definert som start på vekstsesongen. Terskelen er valgt ut etter utallige iterasjoner, hvor den terskelen som ga best resultat, dvs. best korrelasjon med felldata, er valgt.

Slutten på vekstsesongen er beregnet med to ulike indekser, hvor kun en er presentert i denne rapporten. For slutten av vekstsesongen er det først beregnet årlig gjennomsnitts EVI2 for perioden 20. juli til 12. august, og slutten er da satt til en terskel basert på denne årlige gjennomsnittsverdien, da dette gir godt samsvar med bakkeobservasjonene. Men denne metoden gir resultat som virker lite sannsynlig i noen deler av Svalbard. Det er derfor også brukt en indeks basert på kortbølgeinfrarødt (SWIR) i kombinasjon med rødt, da denne gir mer sannsynlige resultat i de områder, men dette produktet blir ikke presentert i rapporten. Begge metodene for å beregne slutten på vekstsesongen trenger noe dynamikk i vegetasjonen, så områder med sommer NDVI under 0,2 er maskert ut.

På de endelige produktene av start og slutt på vekstsesongen hvert år er det brukt ett 3x3 medianfilter for å forbedre det kartografiske uttrykket.

3.3 ASAR OG MODIS DATA I SNØKARTLEGGING

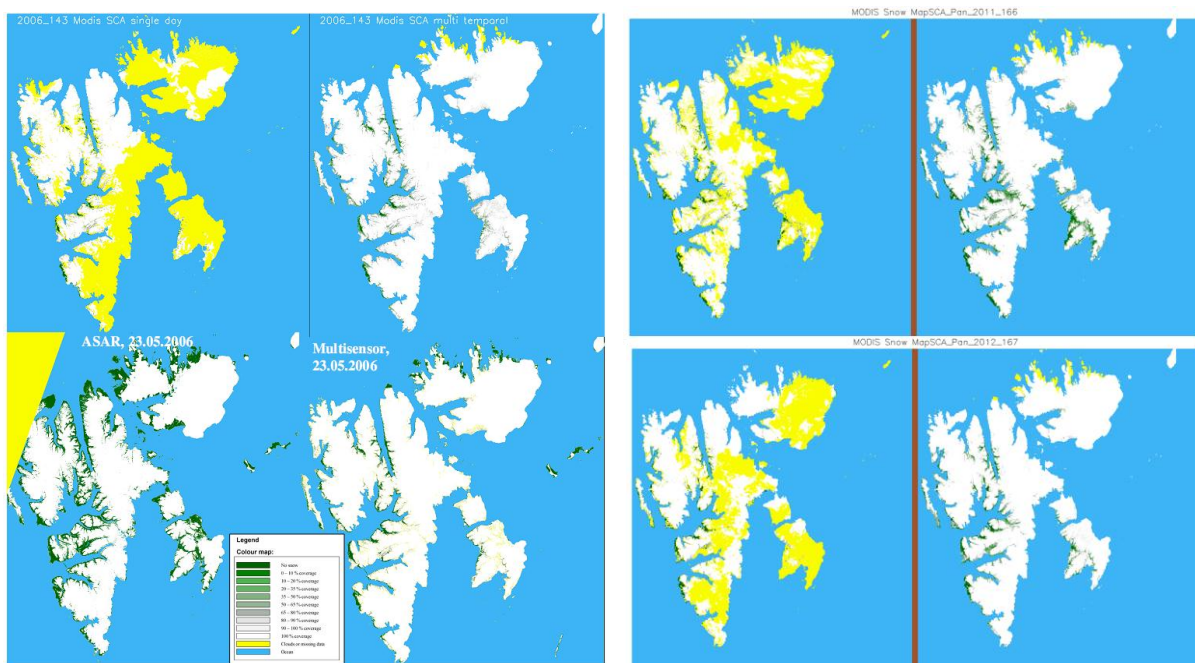
Norut har en tidsserie med Envisat ASAR wideswath data (100m oppløsning) fra Svalbard. Denne gir en god temporal dekning i tidsrommet fra 22. juni 2005 fram til april 2011 med opptil flere pass over Svalbard per uke i snitt. ESA mistet kontakt med Envisat i april 2012. Dette samt begrensede resurser til snødelen av prosjektet gjorde at en valgte å kun bruke MODIS i 2011 og 2012.

Norut har tilpasset vår snøprosesseringskjede for SAR som blir brukt til operasjonell snøkartlegging i Skandinavia til Svalbard. Algoritmen bak denne snøprosesseringslinjen er basert på arbeidet til Nagler & Rott (2000) der våt snø detekteres ved å sammenligne med referanse data som er funnet ved å midle vinterbilder. Deretter finnes tørr snø ved å bruke høydemodell samt å beregne middelhøyde for våt snø. Denne algoritmen fungerer tilfredsstillende i vårsesongen når det er tilstrekkelig mye våt snø, men får relativt store feil når det er for få piksel med våt snø. For Svalbard observerer vi at dette er et stort problem i mars til midten av juni i mange områder.

For å få fram en fornuftig tidsserie av snødekningskart ble det derfor besluttet å også benytte Terra MODIS 500m data fra NASA (MOD10A1 versjon 5 produktet) som gir daglig dekning tilbake til mars 2000 (dog ikke i mørketida ca. 15. oktober til 15. mars). Denne tidsserien er tilrettelagt ved å geokode alle datablokker som dekker Svalbard til WGS-84 UTM-sone 33N

med for et passende kartutsnitt i 500m oppløsning. Vi har også benyttet multi-temporal interpolasjon for å kunne levere skyfrie snødekningskart (beste estimat) for hele perioden.

MODIS tidsserien benyttes i lag med ASAR tidsserien for å generere daglige multisensor snøkart over Svalbard. Dessverre sluttet ASAR sensoren på ENVISAT satellitten å virke i 2012, og det er derfor ikke brukt ASAR data for de to siste årene (2011-2012), men kun MODIS data. I kontrakten med NPI var det spesifisert at snøkartene skulle ha 100m romlig oppløsning basert på SAR oppløsning. MODIS bildene, som i utgangspunktet har 500m oppløsning resamples for å kunne mikses med SAR. Siden en ikke har både SAR og optisk hver dag, vil den reelle oppløsningen være en blanding av 100m og 500m oppløsning. Når det bare er MODIS data synes bildene å ha en grovere romlig oppløsning. Til gjengjeld er SAR bildene en binær klassifisering av snø/ikke-snø, og dette gir skarpere kontraster enn MODIS som har en glidende skala fra 0 % til 100 % snøfraksjon per piksel. I Figur 2b (4 kart til høyre) vises snøkart ved kun bruk av MODIS slik tilfellet er for 2011 og 2012 sesongen. Disse kartene er prosessert på samme måte som for de multisensoriske kartene, men uten bruk av SAR.



Figur 2. a) 4 kart til venstre: Snøkart fra henholdsvis MODIS, MODIS multitemporalt, ASAR og kombinert SAR og MODIS bilde for 23.mai 2006. SAR viser åpenbart for store områder uten snødekke mens MODIS har store områder som er skydekket. Ved å avstemme SAR og MODIS får en harmonisert snødekningsfraksjon. Noen områder på Nord-Austlandet og Kong Karls land (som er utmasket i Modis-produktet) framkommer ved hjelp av SAR med en lav snøfraksjon. b) 4 kart til høyre: Snøkart basert på kun MODIS for 14. juni 2011 og 16. juni 2012. kartene viser en dags produktet til venstre og multi-temporalt kart til høyre.

Tidsserien med snøkart fra Svalbard dekker årene 2005-2012. Mørketid med resulterende mangel på dekning fra optisk sensor og manglende sensitivitet i SAR-data for tørr snø finner vi det kun hensiktsmessig å levere data i perioden 11. mars til 17. oktober. Enkeltdags produktene med snøkart leveres som geotif-bilder.

4 RESULTAT

4.1 KARTLEGGING AV VEKSTSESONGEN FOR ÅRENE 2000-2012

4.1.1 Fenologiobservasjoner i Adventdalen og ved Gruve-7

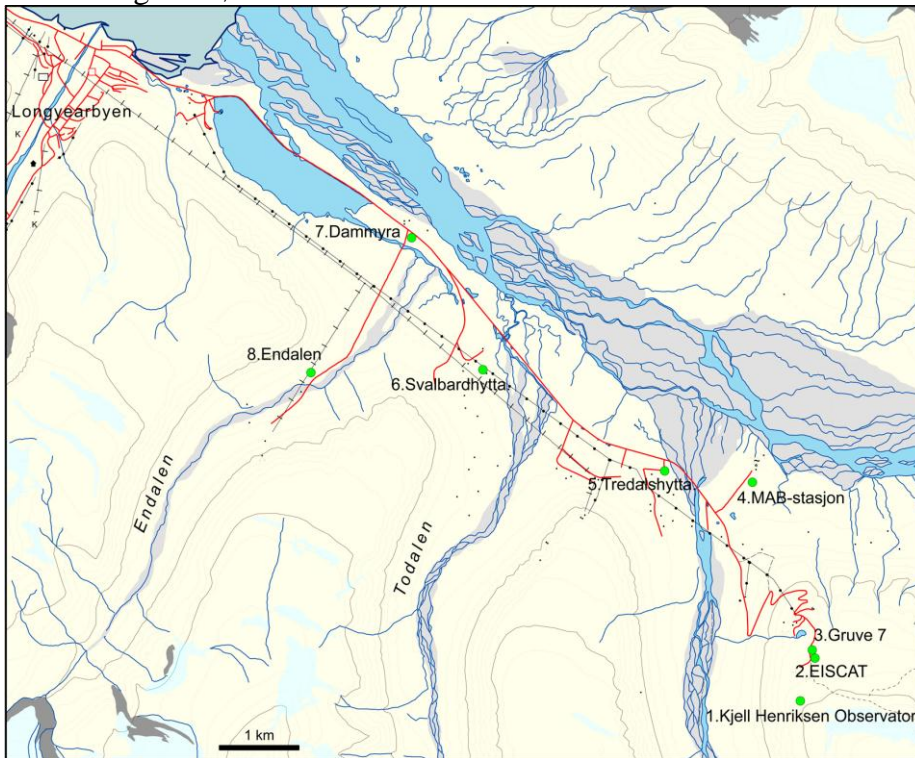
Områder for observasjoner av vekstsesongen ble lokalisert sommeren 2008, med oppstart sensommeren 2009, og med mindre justeringer sommeren 2010. Området dekker Adventdalen og plataet ved Gruve-7 øst om Longyearbyen (Figur 3). De åtte observasjonspunktene er ment å fange opp den romlige variasjonen i vekstsesongen innenfor ca. 15 kvadratkilometer, inklusiv en betydelig høydegradient. Ansatte ved Norsk Polarinstittutt, Longyearbyen, gjør de ukentlige feltobservasjonene. Det er laget en feltmanual, med Excel-skjema, beskrivelse, kart og bilder av artene det skal observeres på for å forenkle registreringen. Fra sommeren 2012 ble observasjonene supplert med foto, og fra sesongen 2013 tas kun foto. Målet med observasjonene er til bruk i tolkning av MODIS satellittdata og data fra den fremtidige Sentinel-2 sensoren. Et opplegg hvor registreringene har verdi utenom bruk i tolkning av satellittdata er ikke målet, da det vil kreve fagkunnskap og langt mer tid/midler til de som observerer.



Bilde 1. Polarvier (*Salix polaris*) i blomst.

Start på vekstsesongen blir definert som start på generell blomstring hos polarvier. Feltobservasjonene indikerer at polarvier blomster omkring tre dager før gjennomsnittlig blomstring hos alle de tretten arter det registreres blomstring på. En kan selvsagt ikke observere blomstringen fra MODIS satellittdata, men blomstringen på polarvier representerer den generelle grønningen godt, og polarvier er vanlig forekommende i de fleste habitat på hele Svalbard og er derfor en god indikator. Feltobservasjonene for perioden 2010-2012 viser at, som forventet, har observasjonspunktene 5. Tredalshytta, 6. Svalbardhytta og 8. Endalen (Figur 3) tidligst start på vekstsesongen. Slutt på vekstsesongen er definert som klassen 40-60% gule blader på polarvier, da det antas at denne fenofasen godt representerer den generelle avslutningen på vekstsesongen. I tillegg er det beregnet en fenologisk indeks for både start og slutt på vekstsesongen. Indeksene er basert på gjennomsnittsdato for blomstring av alle arter om våren og gjennomsnittsdato for gulning for alle registrerte arter om høsten. Indeksen viser

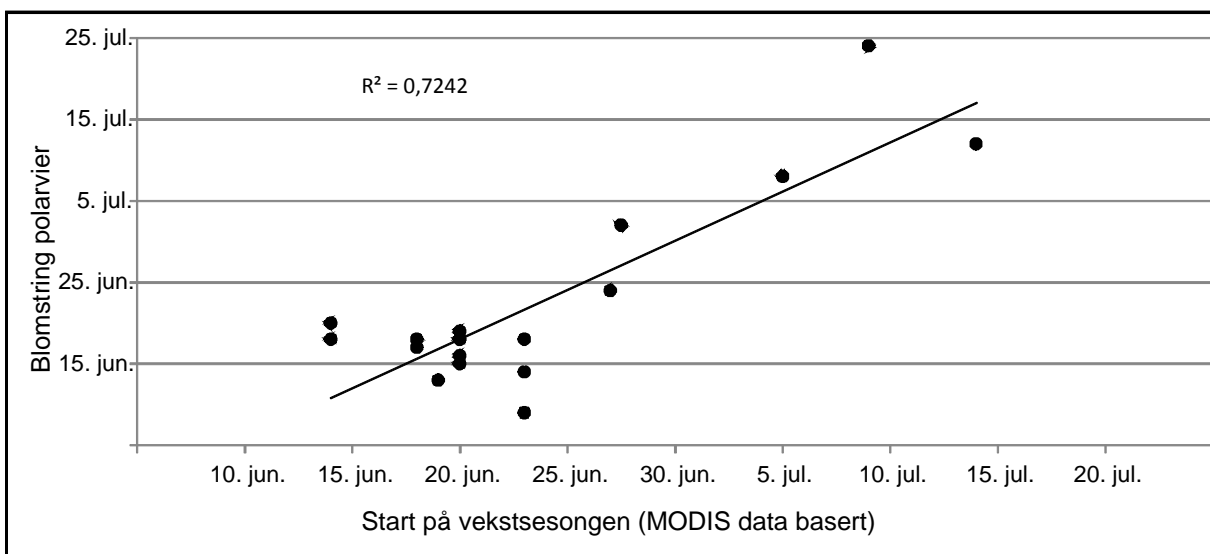
omkring 7 dager senere start på sesongen enn det blomstring av polarvier gjør om våren, og samme dag om høsten.



Figur 3. Lokalteter i Adventdalen for fenologiobservasjoner til bruk i tolkning av MODIS satellittdata og data fra den fremtidige Sentinel-2 sensoren. Observasjonspunktene representerer områder med noenlunde enhetlig vegetasjonstype. Kartgrunnlaget er fra S100 datasettet fra Norsk Polarinstittutt.

4.1.2 Start på vekstsesongen

Figur 4 viser samsvaret mellom start på vekstsesongen sett i MODIS satellittdata og bakkeobservasjoner av blomstring på polarvier i Adventdalen og ved Gruve 7. Dato for MODIS basert måling av start er basert på større polygon rundt observasjonspunktet som viser enhetlig vegetasjon.



Figur 4. Samsvar mellom bakkeobservasjoner for generell blomstring på polarvier i de åtte ulike deler av Adventdalen, og start på vekstsesongen målt med MODIS satellittdata.

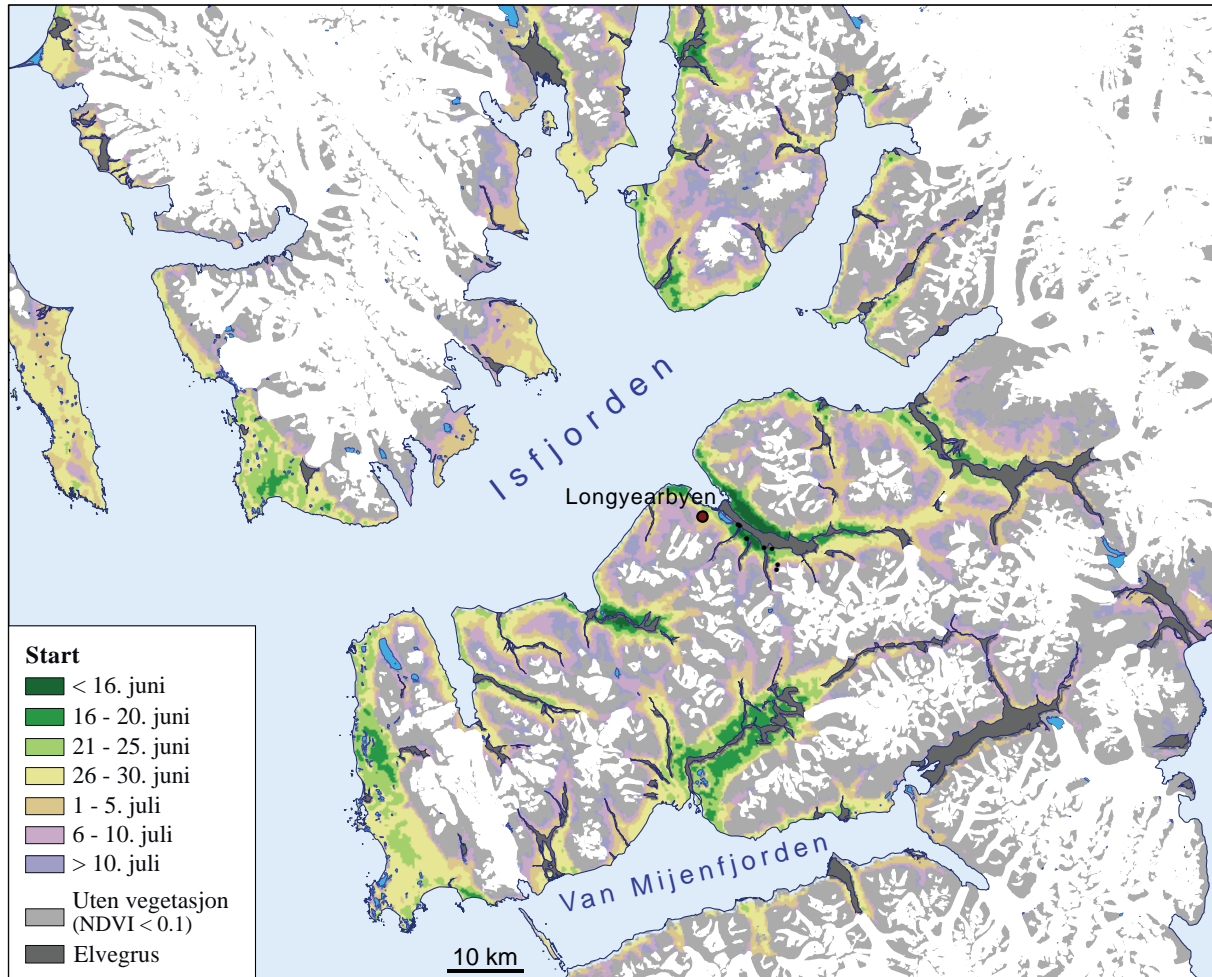
Generelt er det svært godt samsvar ($r^2 = 0,72$, $n = 18$), og i gjennomsnitt er satellittbasert start på vekstsesongen kun 1,4 dager senere en observert i felt. Men noen avvik forekommer. Størst avvik er det mellom bakke- og satellitt observasjoner i lokalitet 7. Dammyra. Der indikerer MODIS en til to uker tidligere start enn hva blomstring på polarvier indikerer. Samsvaret med fenologiindeksen er noe lavere.



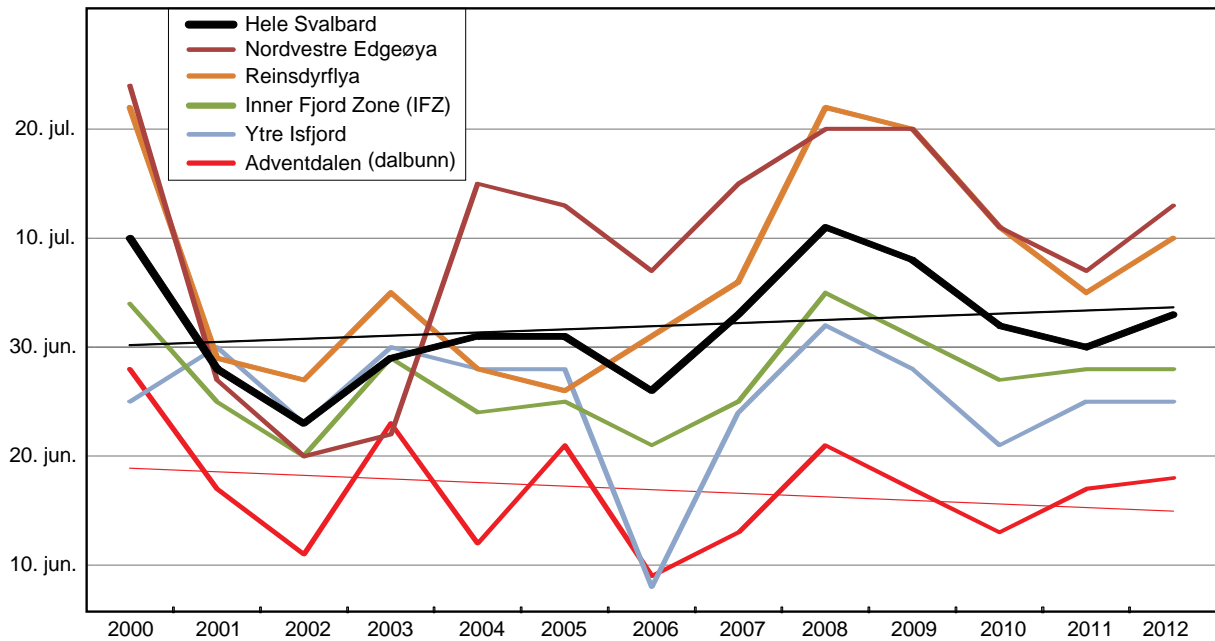
Figur 5. Starten på vekstsesongen på Svalbard basert på MODIS-NDVI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.

Kartleggingen av starten på vekstsesongen viser at Adventdalen har tidligst gjennomsnittlig start for årene 2000-2012 (Figur 5 og Figur 6), tett fulgt av Reindalen og Colesdalen. Kun 2,3 % (196 km²) av de vegeterte områder syd om 80°N har start på vekstsesongen i gjennomsnitt før 20. juni. Omkring 24,3 % (2054 km²) av de vegeterte areal har start på sesongen mellom 20. og 30. juni. Denne kategorien finner vi i hovedsak langs dalførene på Nordenskiöld Land,

flekkvis langs vest-sørvest kysten av Spitsbergen og ellers flekkvis ved Wijdefjorden. Hele 73,4 % av det vegeterte areal har start på sesongen etter 1. juli. Antar vi at områdene nord om 80°N har sen start på sesongen og inkluderer de ikke vegeterte områder (dvs. sommer NDVI < 0,1) så har kun 9,7 % av de isfrie områder på Svalbard start på vekstsesongen før 1. juli, i gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.



Figur 6. Starten på vekstsesongen for sentrale deler av Svalbard basert på MODIS-NDVI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.



Figur 7. Start på vekstsesongen for ulike delområder på Svalbard. Delområdene er definert i Figur 1. For IFZ og Ytre Isfjord er det beregnet for piksler med sommer NDVI over 0,4, og for Reinsdyrflya, nordøstre Edgeøya og for hele Svalbard for piksler med sommer NDVI over 0,2. Figuren viser også lineær trend for hele Svalbard og for Adventdalen.

Figur 7 viser starten på vekstsesongen for ulike delområder på Svalbard (delområdene er definert i Figur 1). Figuren viser at for hele Svalbard (områder med sommer NDVI > 0,2) er gjennomsnittlig start på vekstsesongen 1. juli, og at det er en svak lineær trend mot litt senere start på vekstsesongen for årene 2000 til 2012. Tidligst var året 2002 med start 23. juni etterfulgt av år 2006 med start 26. juni. Senest var årene 2000 (10. juli) og 2008 (11. juli). Figuren viser også variasjoner i start på vekstsesongen for de ulike delområder. Dalbunnen av Adventdalen har tidligst start, med 16. juni i gjennomsnitt, og en trend mot litt tidligere start. Slettene ved inngangen til Isfjorden (områder Ytre Isfjorden) hadde svært tidlig start år 2006 (8. juni) og var det eneste delområdet som ikke hadde veldig sen start år 2000. For de øvrige årene er det kun små forskjeller mellom Ytre Isfjord og indre fjordsone (IFZ). Nordøstre del av Edgeøya har generelt sen start på vekstsesongen (gjennomsnitt 9. juli) bortsett fra årene 2002 og 2003 som var tidlig. Reinsdyrflya har også generelt sen start (gjennomsnitt 7. juli).

4.1.3 Slutt på vekstsesongen



Figur 8. Slutt på vekstsesongen på Svalbard basert på MODIS-NDVI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.

Slutt på vekstsesongen er kalkulert fra to ulike indekser, her presenteres den metoden som ga best samsvar med bakkeobservasjoner – metoden basert på EVI2 indeksen. Samsvaret mellom MODIS målt slutt på vekstsesongen fra EVI2 og feltobservasjoner av kategorien 40-60% gule blader på polarvier er $r^2 = 0,27$ ($n=19$), og satellittbasert slutt viser i gjennomsnitt 6 dager senere slutt enn feltobservasjonene. Da er ikke feltobservasjonene i fjellet (stasjon 1-3) tatt med på grunn av for lite vegetasjon, og ikke observasjonspunkt Endalen, på grunn av noe skyggeeffekt fra lav solvinkel på høsten. Dette er noe dårligere enn for start på sesongen, men fortsatt signifikant samsvar. Samsvaret med en fenologiindeks ga noe dårligere korrelasjon. Ser vi på det regionale mønsteret (Figur 8 og Figur 9), ses noen mulige feil. Kartene indikerer

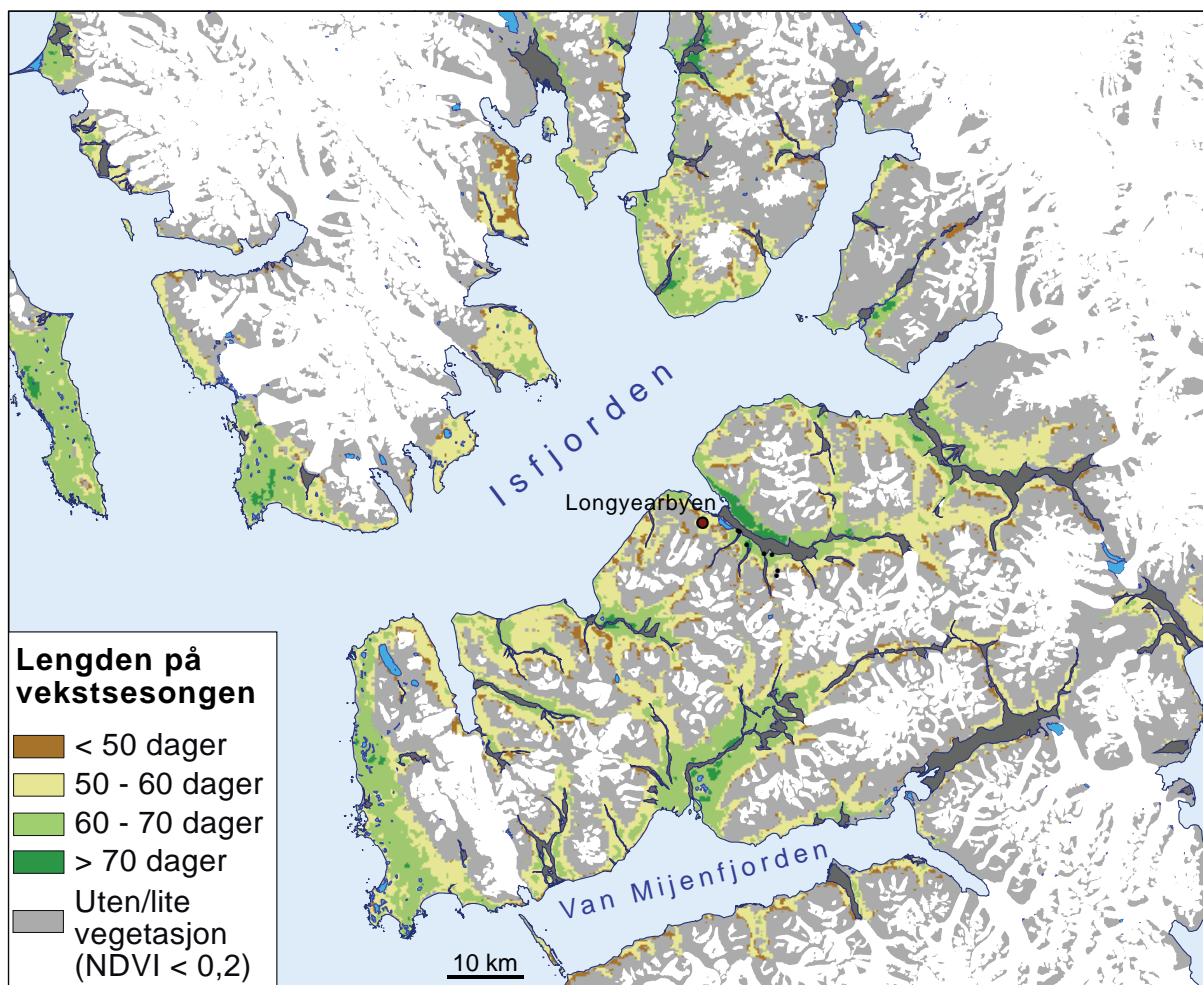
at nordøstlige Edgeøya og noen øvrige områder som sørlige Forlandet har sen slutt på vekstsesongen, noe som neppe er riktig, og det samme gjelder noen høyereliggende områder. En annen utgave hvor data fra kortbølgeinfrarødt bandet er inkludert, ga langt mer realistiske verdier i høyereliggende områder, i områder som Forlandet og Edgeøya, men noe dårligere samsvar (altfor sent) med feltobservasjoner i Adventdalen.



Figur 9. Slutt på vekstsesongen for sentrale deler av Svalbard basert på MODIS-NDVI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.

4.1.4 Lengden på vekstsesongen

Gjennomsnittlig lengde på vekstsesongen årene 2000 til 2012 er vist for de sentrale deler av Svalbard i Figur 10, hvor lengden er definert som perioden fra blomstring til ca 50% gule blader på polarvier.



Figur 10. Lengden på vekstsesongen for sentrale deler av Svalbard basert på MODIS-NDVI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2012.

For de vegeterte områder syd om 80°N er lengden på vekstsesongen kortere en 50 dager i 15,4 % av arealet. Da er kun område med sommer NDVI over 0,20 tatt med. Vekstsesongen har en lengde på 50 til 60 dager i hele 57,3 % av arealet (2836 km²). Over 60 dager i 27,3% av arealet, og da hovedsakelig i de sentrale dalfører på Nordenskiöld Land, på Forlandet og Lågnesflya (Figur 10).

4.2 KARTLEGGING AV SISTE OG FØRSTE DAG MED SNØ FOR ÅRENE 2005-2012

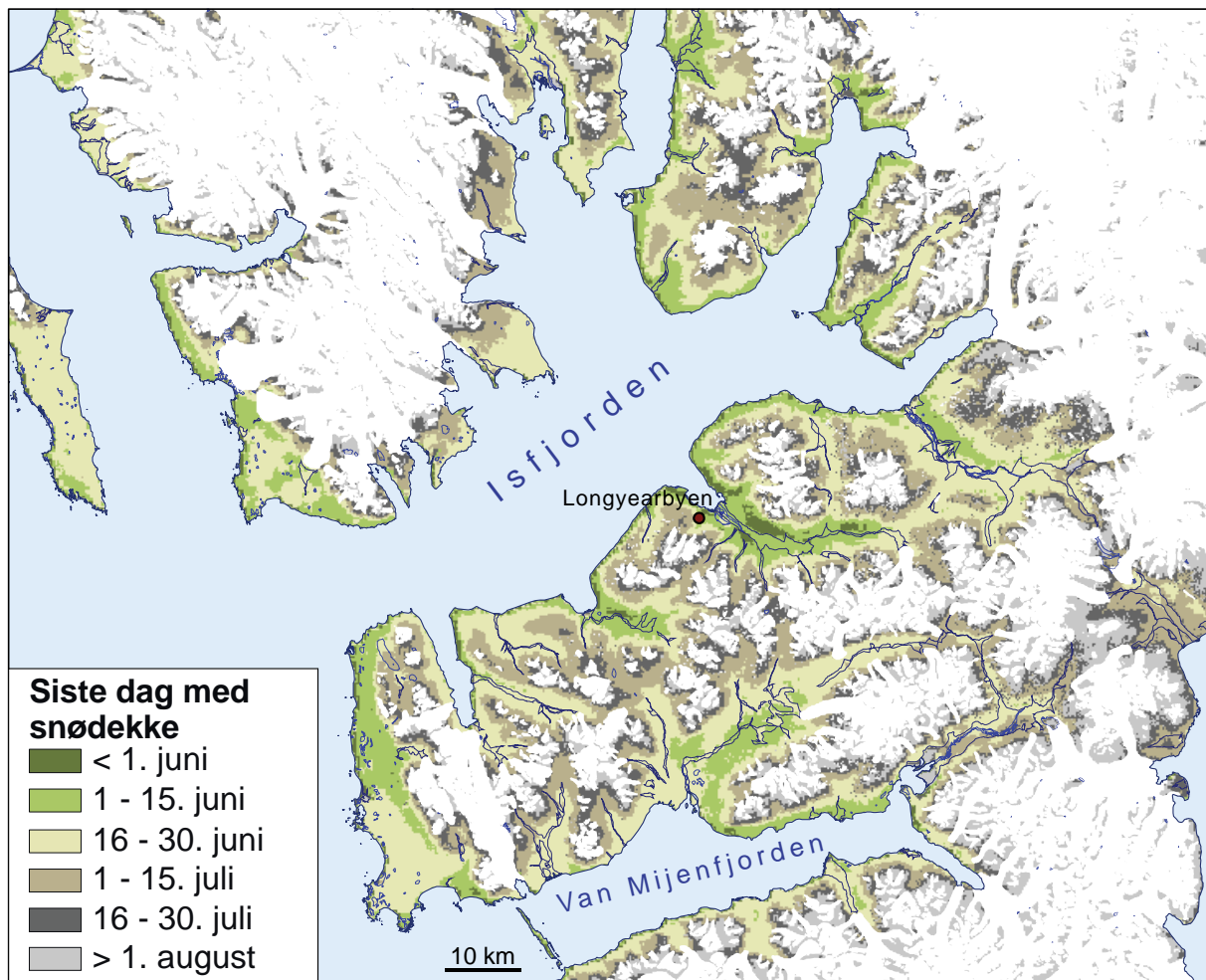
4.2.1 Våren - siste dag med snødekke

De åtte sesongene med snøkart for perioden 2005 til 2012 har blitt brukt til å finne første og siste dag med snø. Vi har anvendt definisjoner av første og siste dag med snø basert på met.no's metodikk (Dyrddal & Vikhamar-Schuler 2009). Første snøfrie dag defineres som første dag med 5 etterfølgende dager med snøfraksjon under 30 %. På samme måte er første dag med snødekke definert som første dag med 5 etterfølgende dager der snødekket er over 30 %.



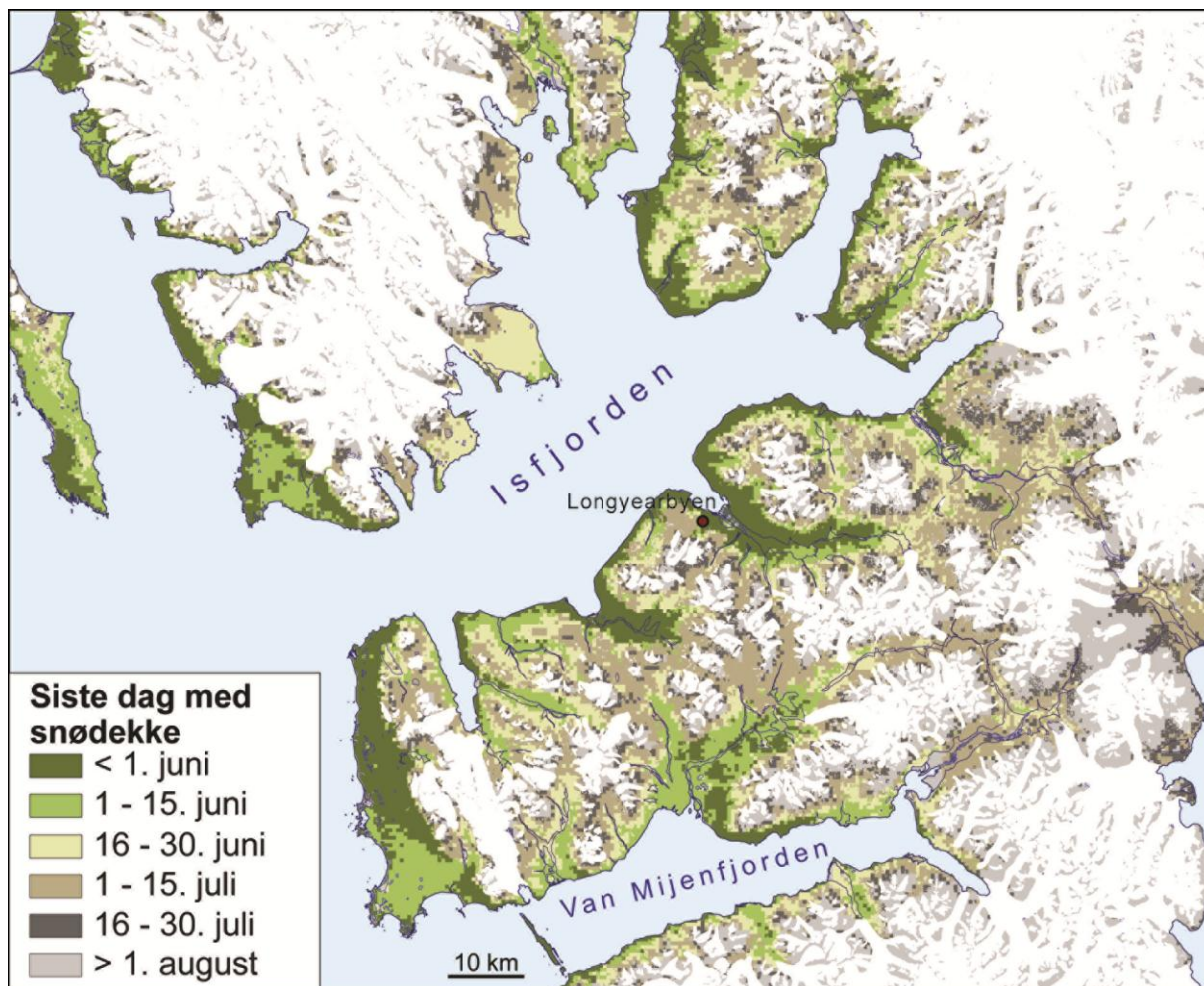
Figur 11. Siste dag med snø på Svalbard basert på ASAR og MODIS data. Gjennomsnitt for årene 2005 til 2012.

Figur 11 viser siste dag med snødekke på Svalbard, ett gjennomsnitt for årene 2005 til 2012. Området nord om 80°N og noen østlige områder (Kong Karls Land, Hopen, Tusenøyane og Sørkappøya) ble ikke kartlagt på grunn av mangel på data. De resterende isfrie områder er da på 21 288 km². Av dette arealet så er det snøbart før 1. juni i 531 km² (2,5 %) i gjennomsnitt for årene 2005 til 2012. Disse tidlige snøbare områdene forekommer nært havet flere steder og noen flekker i Adventdalen (Figur 12). Omkring 27 % av arealet smelter fram i juni måned og 39 % i juli måned. Hele 32 % havner i kategorien etter 1. august og indikerer at store områder ikke blir snøbare hvert år. Denne kategorien dominerer nord og øst på Svalbard og i de høyereliggende områder over hele Svalbard som ikke alt er dekt av isbre som definert i S250 kartmaska.



Figur 12. Siste dag med snø for sentrale deler av Svalbard basert på ASAR og MODIS data. Gjennomsnitt for årene 2005 til 2012.

Dato for når det er snøbart varierer mye fra år til år. Tidligst var det i år 2006 (Figur 13). det året var hele 11 % av kartlagt isfritt område snøbart før 1. juni og ytterligere 23 % i løpet av juni måned. År 2005 var ikke noe areal snøbart før 1. juni og de øvrige år 3-4 %.



Figur 13. Siste dag med snø våren 2006. Sentrale deler av Svalbard basert på ASAR og MODIS data.

4.2.2 Høsten - først dag med snødekke

Figur 14 viser første dag med snødekke på Svalbard, ett gjennomsnitt for årene 2005 til 2012. Området nord om 80°N og noen østlige områder (Kong Karls Land, Hopen, Tusenøyane og Sørkappøya) ble ikke kartlagt på grunn av mangel på data. De resterende isfrie områder er da på 21 288 km². Av dette arealet så er omkring 42% dekt av snø allerede før 1. september i gjennomsnitt for årene 2005 til 2012, men nesten alt av dette arealet er i høyden innimellom isbreene og store flater av de ikke isdekte områdene på Nordaustlandet.

Det er store variasjoner fra år til år i når snøen dekker de isfrie områder om høsten. I 2005 kom snøen tidlig og dekte hele Svalbard, bortsett fra noen mindre områder på nordsiden av Isfjorden og Agardhbukta, alt før 20. september. Høsten 2010 derimot var det snøbart over det mest av lavlandet på vestlige deler av Svalbard helt fram til slutten av september og stedvis til tidlig oktober.



Figur 14. Første dag med snø om høsten på Svalbard basert på ASAR og MODIS data. Gjennomsnitt for årene 2005 til 2012.

5 DISKUSJON

5.1 VEKSTSESONGKART

Kartleggingen av vekstsesongen på Svalbard representerer et banebrytende arbeid da det er første gang noen har kartlagt vekstsesongen ved hjelp av satellittdata så langt nord. Denne rapporten er en videreføring av en rapport med data for perioden 2000-2010 (Karlsen et al. 2011), men det er nå lagt til de to siste årene og hele tidsserien er nå prosessert på nytt. Denne nye prosesseringen representerer langt bedre fjerning av støy, interpolering og kurvetilpassning enn tidligere. Tidligere ble noe av støyen fjernet ved å bygge inn kunnskapsbaserte regler for å luke ut urealistiske verdier, men dette ble ikke nødvendig etter den nye prosesseringen. Nå er også kartene tolket ut i fra feltobservasjoner gjort i Adventdalen og ved Gruve 7. Sett i forhold til det tidligere produktet er nå starten på sesongen justert til noen dager tidligere og slutten litt senere. Områdene med sommer NDVI under 0,1 ble maskert ut som ikke vegeterte områder i kartlegging av starten på sesongen, og områder med sommer NDVI under 0,2 i kartlegging av slutten på sesongen. De områder har for lav variasjon i NDVI for å kunne kartlegges, men slike tilnærmet vegetasjonsfrie områder er også av mindre biologisk betydning da det knapt er vegetasjon der.

Kartet som visert start på vekstsesongen viser svært godt samsvar med feltobservasjoner av blomstring på polarvier, og det viser at den nye metoden med observasjoner i felt av vekstsesongen spredt ut over større område og over flere vegetasjonstyper virker godt for validering av satellittdata. Metoden avslørte også at start på vekstsesongen målt fra satellittdata viser tidligere start for området Dammyra enn blomstring på polarvier. Det området er karakterisert av høy andel moser, og at det trolig er fenologien til mosene en måler, og kan skyldes at mosene er på det grønneste rett etter snøsmelt, men feltobservasjoner trengs for å bekrefte dette.

Ser vi på variasjonen og trenden i start på vekstsesongen så viser det store variasjoner fra år til år og relativt store forskjeller for ulike deler av Svalbard. Totalt sett for hele Svalbard er det en svak trend mot litt senere start på sesongen for perioden 2000-2012. Dette er noe overraskende da temperaturen om våren har økt noe i samme tidsperiode. Det kan skyldes at snømengden er økt noe de siste årene, noe som kan utsette starten på vekstsesongen (Cooper et al. 2011), men dette vil bli nærmere analysert høsten 2013/vinteren 2014. Ellers er det noe ulike trender for de ulike delene av Svalbard, hvor Adventdalen har en trend mot tidligere start på vekstsesongen.

Slutten av vekstsesongen er generelt svært vanskelig å kartlegge. Det er gjort omfattende studier av spektralsignaturen for de fleste områder og vegetasjonstyper på Svalbard for å komme fram til beste metode. Det ble funnet ut at kombinasjon av refleksjon i det røde band i kombinasjon med kortbølgeinfrarødt (SWIR) gir det mest realistiske romlige mønsteret for slutt på sesongen for deler av Svalbard, spesielt i områder som Edgeøya og Reinsdyrflya. Årsaken er trolig at kortbølgeinfrarødt kan gi noe informasjon om plantens vanninnhold. Men denne 'Red-SWIR'-basert metoden viste derimot dårlig samsvar med feltobservasjoner i Adventdalen, og generelt mye senere slutt enn det feltobservasjoner tilsier. Vi har derfor i denne rapporten presentert kart som viser slutt på sesongen basert på EVI2 indeksen, da denne viste signifikant samsvar med feltobservasjoner av gulning av blader på polarvier i Adventdalen. Ulempen med dette EVI2 baserte produktet, som viser godt samsvar med feltobservasjoner, er at det indikerer urealistisk sen slutt på vekstsesongen i områder som Edgeøya og Reinsdyrflya, og en del øvrige områder. Trolig er fellesnevnerne for de områdene

med avvik at de er dominert av moser. Ett forsøk med å kombinere de to metodene ga ikke tilfredsstillende resultat. En bør derfor prioritere å skaffe mer feltobservasjonsdata fra mosedominerte områder. Dette kan gjøres med automatiske kamera, og en bør gå systematisk til verks med kameraovervåking i både mosetundra typer (*Tomentymnum nitens* og *Orthothecium chryseon* typer), i mosedominerte myr typer (*Messia triqueta* og *Catoscopium nigretum* typer), og eventuelt for mosedominert sump (*Warnstorfia tundrae* type). Dette vil gi forbedre tolkningen av kartet som viser både start og slutt på vekstsesongen.

Oppsummert så mener vi det romlige mønsteret, spesielt for starten på vekstsesongen, er riktig på en regional Svalbard-skala, men at en ikke bør bruke kartene for å finne start/slutt i vekstsesongene på en enkeltpiksel (lokal) skala. Trenger en informasjon om start/slutt i vekstsesongen for et lite område må det brukes automatiske kamera eller feltobservasjoner.

Endringer over tid i start på vekstsesongen vil på sikt påvirke det meste av plante og dyreliv på Svalbard. Arbeidet presentert, er det først detaljerte studiet av fenologi i regional skala i Arktis, og representerer ett til nå manglende fagområde i studier av effekter av klimaendring i Arktis. Følgelig er heller ikke fenologi i regional skala av terrestriske økosystem inkludert i oversiktsrapporten er om klimaendring i Arktis (f.eks. Koç et al. 2009, Loeng et al. 2010, Thostrup & Rasmussen 2009).

5.2 SNØKART

Det har blitt utarbeidet snødekningskart for Svalbard for perioden 2005-2012 basert på fusjonerte MODIS og ASAR data. Kartene har 100m (500m resamplet til 100m for 2011 og 2012) romlig oppløsning og gir daglig dekning i den lyse delen av året (ca. 15. mars til 15. oktober). Videre har vi lagd årlige kart for første snøfrie dag og første dag med snø samt et gjennomsnittskart for første og siste dag med snø for perioden 2005-2012. Prosjektomfanget har ikke tillatt store ressurser til kvalitetssikring, usikkerhets estimering og validering. Metodene for deteksjon av snø med optisk og SAR har vært evaluert i en rekke andre prosjekter slik at det ikke bør være alt for store feil, men det kan være særegenheter for eksempel med klimaet på Svalbard som gjør at skyer og snø ikke skiller så godt som de burde vært i MODIS snøproduktet. Videre kan det også være år med mye skydekke om våren eller i snølegginga som kan ha forårsaket unøyaktigheter i interpolasjonsrutinene som brukes for å fjerne skyer i enkeltdagsproduktene. Kartene for første og siste snødag er imidlertid inspisert manuelt uten å finne systematiske feil.

Vi valgte en terskel på 30 % snødekke igjen i pikselen som definisjon på første snøfrie dag. Dette fordi sluttproduktene mest er basert på MODIS data med 500m piksler, og på grunn av topografien over det meste av Svalbard vil det ofte ligge noen snøflekker igjen i landskapet til langt utpå sommeren innenfor 500 x 500 meter ruter. Terskelen er basert på skjønn og en høyere terskel vil naturlig nok gi noe tidligere dato for snøfritt. Validering mot bakke data eller mot høyoppløselig satellitt data gjenstår for å finne ut om det er en hensiktsmessig definisjon på for siste/første dag med snø på Svalbard.

En naturlig forlengelse av dette arbeidet vil være å forlenge tidsserien av snødekningskart. Åtte sesonger med snødata er for lite til å kunne gi sikkerhet om klimatologiske parametere som første og siste snødag. Det ligger godt til rette for å kunne utvide tidsserien ytterligere ved å ta i bruk kart resten av årene fra MODIS (2000-2005), hvorav 2002-2005 også kan dekkes med SAR data fra Envisat ASAR. I tillegg har Norut lastet ned Radarsat-2 data

tilnærmet daglig for perioden 2012 til nå. Disse dataene kan settes sammen til et multisensor/multitemporalt snødekningskart for Svalbard for perioden 2000-2013.

6 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

I regi av *Miljøovervåkningssystemet for Svalbard og Jan Mayen* (MOSJ) er vekstsesongen på Svalbard overvåket med to ulike satellittdatasett. Det er brukt MODIS data for perioden 2000 til 2012 for å kartlegge start og slutt på vekstsesongen. Det er brukt kombinert mikrobølge data (ASAR) og MODIS data for perioden 2005 til 2012 for å kartlegge siste dag om våren og første dag om høsten med snødekke.

MODIS datasettet som er brukt i kartlegging av vekstsesongen for årene 2000 til 2012 er omfattende prosessert for fjerning av støy, med 13 ulike skyalgoritmer, interpolasjonstekniker for støyutsatte områder og kurvetilpasning. For start på vekstsesongen er samsvaret mellom MODIS data og bakkeobservasjoner av blomstring på polarvier i Adventdalen området svært høyt ($r^2=0,72$). Kartleggingen av starten på vekstsesongen viser at Adventdalen har tidligst gjennomsnittlig start for årene 2000-2012, tett fulgt av Reindalen og Colesdalen. Kun 2,3 % (196 km²) av de vegeterte områder syd om 80°N har start på vekstsesongen i gjennomsnitt før 20. juni. Omkring 24,3 % (2054 km²) av de vegeterte areal har start på sesongen mellom 20. og 30. juni. Denne kategorien finner vi i hovedsak langs dalførene på Nordenskiöld Land, flekkvis langs vest-sørvest kysten av Spitsbergen og ellers flekkvis ved Wijdefjorden. Hele 73,4 % av det vegeterte areal har start på sesongen etter 1. juli. Overvåkingen viser også store forskjeller fra år til år i start på vekstsesongen, hvor år 2000 og dels år 2008 og 2009 hadde sen start. Den lineære trenden for perioden viser en svak trend mot litt senere start på sesongen for Svalbard sett under ett, men med regionale forskjeller, hvor dalbunnen av Adventdalen har trend mot noe tidligere start. Årsaken til at vekstsesongen ikke direkte følger temperaturøkningen på våren kan være at nedbør i form av snø har økt og dermed utsatt sesongstarten, men dette det er planlagt nærmere analysert. Slutten på vekstsesongen er mer vanskelig å kartlegge med satellittdata. Det er i rapporten presentert en ny metode (fra EVI2 indeksen) som gir signifikant samsvar med bakkeobservasjoner av gulning av blader på polarvier. Det regionale mønsteret til denne metoden indikerer derimot at metoden viser for sen slutt i det som trolig er mosedominerte områder. For lengden på vekstsesongen så er den over 60 dager i 27,3% av de vegeterte områder syd om 80°N. Det er ønskelig å dreie feltobservasjonene som gjøres av vekstsesongen til mer mosedominerte områder får å skaffe mer informasjon og sesongdynamikken der.

Kombinert ASAR og MODIS data for perioden 2005 til 2012 med daglig tidsoppløsning og 100m/500m romlig oppløsning er brukt for å kartlegge siste dag om våren og første dag om høsten med snødekke. Første snøfrie dag om våren defineres som første dag med 5 etterfølgende dager med snøfraksjon under 30 %. På samme måte er første dag om høsten med snødekke definert som første dag med 5 etterfølgende dager der snødekket er over 30 %. Validering mot bakkeobservasjoner eller mot høyoppløselig satellittdata gjenstår for å finne ut om det er en hensiktsmessig definisjon på for siste/første dag med snø på Svalbard. Området nord om 80°N og noen mindre østlige områder (Kong Karls Land, Hopen, Tusenøyen og Sørkappøya) ble ikke kartlagt på grunn av mangel på data. De resterende isfrie områder er da på 21 288 km². Av dette arealet så er det snøbart før 1. juni i 531 km² (2,5 %), i gjennomsnitt for årene 2005 til 2012. Disse tidlige snøbare områdene forekommer nært havet flere steder og som noen flekker i Adventdalen. Omkring 27 % av arealet smelter fram i juni måned og 39 % i juli måned. Hele 32 % havner i kategorien etter 1. august og indikerer at store områder ikke blir snøbare hvert år. Denne kategorien dominerer nord og øst på Svalbard og i de høyere liggende

områder over hele Svalbard. Angående første dag med snødekke om høsten på Svalbard så er 42% av de isfrie kartlagte områder dekt av snø allerede før 1. september i gjennomsnitt for årene 2005 til 2012, men nesten alt av dette arealet er i høyden innimellom isbreene og store flater av de ikke isdekte områdene på Nordaustlandet.

Endringer fra år til år i start og slutt på vekstsesongen er en god bio-indikator på endringer i klimaet. Det er også en første indikasjon på endringer i vegetasjonsdekket, det påvirker tilbakekoplingen til klimasystemet og har betydning for svingninger i populasjonen av de fleste fugler og dyr. Spesielt gjelder det arktiske forhold hvor vekstsesongen er veldig kort. Vekstsesongkartlegging basert på MODIS data, er det først detaljerte studiet av fenologi i regional skala i Arktis, og representerer ett til nå manglende fagområde i studier av effekter av klimaendring i Arktis. Til sammen utgjør de to datasett brukt i prosjektet et godt bilde av vekstsesongen på regional skala på Svalbard de siste tretten år. Det er lagt opp til en årlig kartlegging, supplert med feltobservasjoner, i regi av *Miljøovervåkningssystemet for Svalbard og Jan Mayen (MOSJ)*.

7 REFERANSER

- Aarrestad, P. A., Bakkestuen, V., Hassel, K., Stabbetorp, O.E. & Wilmann, B. 2010. Etablering av overvåkningsfelt for markvegetasjon i Endalen, Svalbard 2009 - NINA Report 579. 28 pp. + vedlegg.
- Cooper, E. J., S. Dullinger & P. Semenchuk. 2011. Late snowmelt delays plant development and results in lower reproductive success in the High Arctic. *Plant Science*. 180:157-167.
- Dyrddal A.V. & D. Vikhamar-Schuler. 2009. Analysis of long-term snow series at selected stations in Norway. Met.no report, 05/2009.
- Johansen, B., Tømmervik, H. & Karlsen, S.R. 2009. Vegetasjonskart over Svalbard basert på Satellittdata. Dokumentasjon av metoder og vegetasjonsbeskrivelser. NINA Rapport 456. 54 s.
- Johansen, B., S.R. Karlsen & H. Tømmervik 2012. Vegetation mapping of Svalbard utilizing Landsat TM/ETM+ data. *Polar Record*. 48:47-63.
- Jönsson, P. & Eklundh, L. 2002. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 40, 1824-1832.
- Karlsen, S.R., A. Tolvanen, E. Kubin, J. Poikolainen, K.A. Høgda, B. Johansen, F. S. Danks, P. Aspholm, F. E. Wielgolaski & O. Makarova. 2008. MODIS-NDVI based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* 10: 253-266.
- Karlsen, S.R. 2011. MODIS-based mapping of the growing season on Svalbard, Arctic Norway. Poster presentation. PhenoAlp Workshop. 12-14 October 2011, Torgnon, Aosta-Valley, Italy.
- Karlsen, S. R., E. Malnes, & K. A. Høgda. 2011. Satellittbasert overvåkning av vekstsesongen på Svalbard, - status 2010. Norut Rapport 5/2011. 30 s.
- Karlsen, S.R., A.Tolvanen, K.A. Høgda, L. Eklundh, N. Polikarpova, O. Makarova, B. U. Hansen & B. Johansen. 2012. Use of MODIS data to analyse spectral properties of land cover types for improved mapping of the growing season in Northern Fennoscandia. Abstract in the 12th International Circumpolar Remote Sensing Symposium. May 14-18, 2012, Levi, Finland. Page 68.
- Karlsen, S.R., A. Tolvanen, K.A. Høgda & B. Johansen. 2013. Use of MODIS data to characterize the growing season and to measure plant biomass in northern Fennoscandia. Abstract in the 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Earth Observations and Global Environment. 22-26 April 2013, Beijing, China.

Karlsen, S.R & K.A. Høgda. 2013. MODIS-based mapping of the growing season on Svalbard. Abstract in the 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Earth Observations and Global Environment. 22-26 April 2013, Beijing, China.

Koç, N., Njåstad. B., Armstrong, R., Corell, R.W., Jensen, D.D., Leslie, K.R., Rivera, A., Tandong, Y. & Winther J-G (eds) 2009. Melting snow and ice: a call for action. Centre for Ice, Climate and Ecosystems, Norwegian Polar Institute.

Loeng, H., G. Ottersen, M-A. Svenning & A. Stien. 2010. Effekter på økosystemer og biologisk mangfold. Klimaendringer i norsk Arktis. – NorACIA delutredning 3. Norsk Polarinstitutt. Rapportserie nr. 133. 51. sider.

Nagler T. & H. Rott. 2000. Retrieval of wet snow by means of multitemporal SAR data. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 38, pp. 754-765, 2000.

Richardson, A.D., J.P. Jenkins, B.H. Braswell, D.Y. Hollinger, S.V. Ollinger, and M.-L. Smith. 2007. Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia*, 152: 323-334.

Thostrup, L. & R. O. Ole Rasmussen. 2009. Climate Change - and the North Atlantic. NORA and Nordregio Report. 129 pp.