

Oppdragsrapport
fra Skog og landskap

06/2014

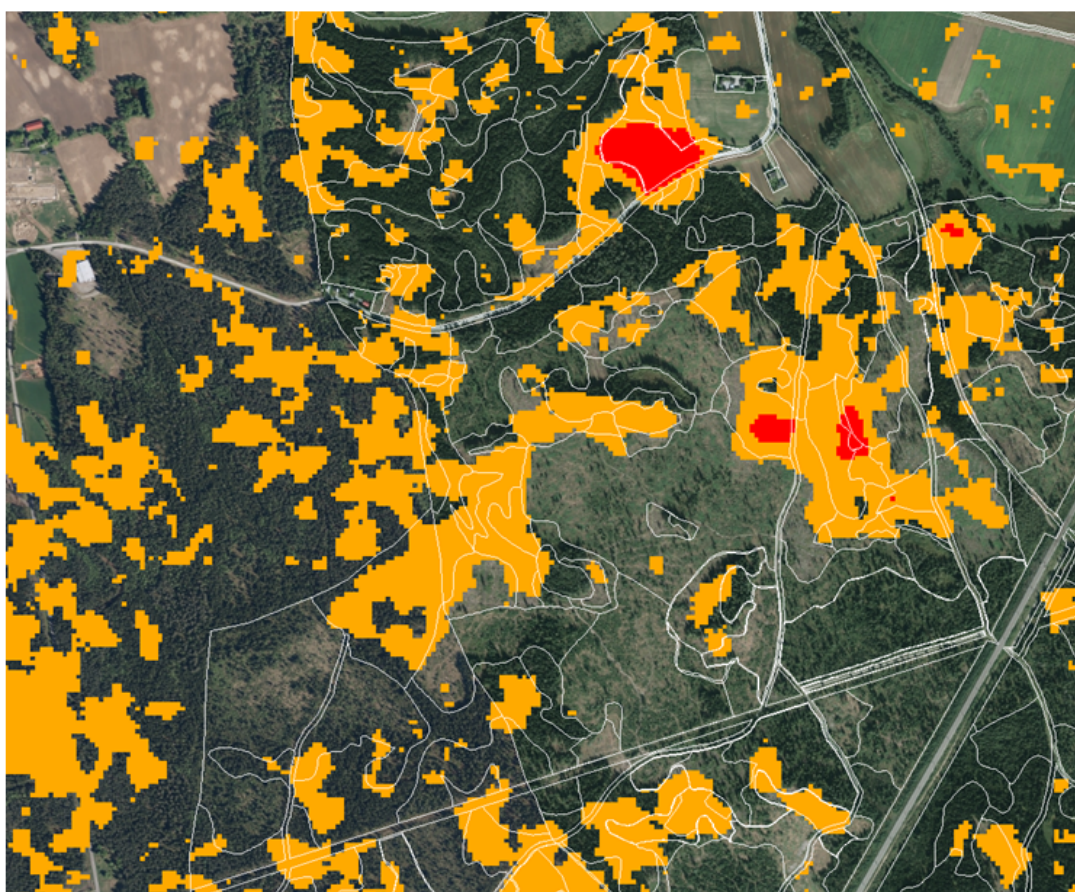


**skog +
landskap**

Norsk institutt for
skog og landskap

SATELLITTKARTLEGGING AV HOGST OG SKOGSKADER

Svein Solberg, Knut Bjørkelo, Arnt-Kristian Gjertsen, Johannes May,
Marek Pierzchala, Volkmar Timmermann, Halvor Solheim



Rapport til oppdragsgiver fra Skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås. Telefon 64 94 80 00

www.skogoglandskap.no

Tittel: Satellittkartlegging av hogst og skogskader	Nr. i serien: 06/2014	Dato godkjent av oppdragsgiver:
Forfatter: Svein Solberg, Knut Bjørkelo, Arnt-Kristian Gjertsen, Johannes May, Volkmar Timmermann, Halvor Solheim		Antall sider: 25 (IV)
Forfatterens kontaktinformasjon:		
Oppdragsgiver: Andel privat finansiering:	Prosjektnr. Skog og landskap / Kontraktsdato	Tilgjengelig: Lukket: Begrenset: Åpen:
Sammendrag: <p>Satellittdata har et potensial til å bidra til å dekke viktige kartleggings- og overvåkingsoppgaver i skog, særlig for deteksjon av skogskader og hogst. Formålet med prosjektet er å utvikle og demonstrere metoder for en operativ overvåkingstjeneste for stormskader og hogst. I tillegg skal det undersøkes om det er mulig å detektere og overvåke askeskuddsyke, som vil være særlig vanskelig. En test av mulighetene for dette er gjort på utvalgte tilfeller av hogst og stormskader i Norge, i tillegg til et område skadd av askeskuddsyken.</p> <p>Resultatene viste at</p> <ul style="list-style-type: none">• Stormskader i skog kan bare til en viss grad detekteres tilfredsstillende og innen rimelig tid (2 uker) med Landsat eller Sentinel-2. Det vil fungere i de tilfellene der<ul style="list-style-type: none">○ skadene er sterke, dvs tilnærmet alle trær er blåst ned, og○ skadeområdet dekker et areal av en viss størrelse (minimum 10 daa),○ skadene skjer utenfor mørketida om vinteren, og○ det ikke er vedvarende skydekke.• Snauhogst kan detekteres tilfredsstillende med Landsat eller Sentinel-2. For dette formålet trenger man ikke en rask deteksjon, og det er uproblematisk å vente til sky- og lysforhold er tilfredsstillende.• Stormskader og hogst kan detekteres tilfredsstillende med Tandem-X, dersom man har en høydemodell fra før stormen.• Askeskuddsyke kan ikke detekteres med satellitt, fordi skadene i begynnelsen ofte er svake, de utvikler seg langsomt og de varierer mye fra tre til tre.• Automatisk prosessering av satellittbilder, og direkte overføring av resultatene over Internett for visning i Skog og landskaps Kilden krever noe systemutvikling, men er ikke problematisk dersom det er basert på åpne verktøy (Open source).		
Ansvarlig signatur <p>Jeg innestår for at denne rapporten er i samsvar med oppdragsavtalen og Skog og landskaps kvalitetssystem for oppdragsrapporter.</p> <p>/s/ Adm.dir./Avdelingsdirektør</p>		

Oppdragsrapport
fra Skog og landskap

06/2014

SATELLITTKARTLEGGING AV HOGST OG SKOGSKADER

Svein Solberg, Knut Bjørkelo, Arnt-Kristian Gjertsen, Johannes May, Marek
Pierzchala, Volkmar Timmermann, Halvor Solheim

Omslagsfoto: Norge i bilder, Montasje: Svein Solberg, Skog og landskap.

Norsk institutt for skog og landskap, Pb. 115, NO-1431 Ås

FORORD

Norsk institutt for skog og landskap har valgt ut temaet satellittfjernmåling av hogst og skogskader som strategisk viktig. «forest disturbance» er et strategisk institutt-program (sip), som er gitt 2 års (2013-2014) finansiering med egne midler. Overvåking og forskning på skog og arealressurser er generelt høyt prioritert av instituttet. Regjeringen har nylig vedtatt at Norge skal delta i copernicus, som er en europeisk storsatsing på satellitt-fjernmåling av blant annet miljø- og naturressurser. Sentinel-1 er skutt opp i bane og leverer nå som den første av sentinel-satellittene data rutinemessig. I 2015 kommer sentinel-2, som er den mest aktuelle satellitten for skog og arealovervåking. I tillegg finnes en rekke andre satellitter som kan bidra i slik overvåking. Alt dette gjør det aktuelt for vårt institutt å vurdere å utvikle anvendelser av disse satellittene. Prosjektet avholder slutt møte hvor resultatene skal presenteres. Når det gjelder studien av tandem-x har det overlappet med en del av prosjektet «forestry use of sar imagery over norway (fusion)» finansiert av norsk romsenter i 2014 (jop.15.14.2).

SAMMENDRAG

Satellittdata har et potensial til å bidra til å dekke viktige kartleggings- og overvåkingsoppgaver i skog, særlig for deteksjon av skogskader og hogst. Formålet med prosjektet er å utvikle og demonstrere metoder for en operativ overvåkingstjeneste for stormskader og hogst. I tillegg skal det undersøkes om det er mulig å detektere og overvåke askeskuddsyke, som vil være særlig vanskelig. En test av mulighetene for dette er gjort på utvalgte tilfeller av hogst og stormskader i Norge, i tillegg til et område skadd av askeskuddsyken.

Resultatene viste at

- Stormskader i skog kan bare til en viss grad detekteres tilfredsstillende og innen rimelig tid (2 uker) med Landsat eller Sentinel-2. Det vil fungere i de tilfellene der
 - skadene er sterke, dvs tilnærmet alle trær er blåst ned, og
 - skadeområdet dekker et areal av en viss størrelse (minimum 10 daa),
 - skadene skjer utenfor mørketida om vinteren, og
 - det ikke er vedvarende skydekke.
- Snauhogst kan detekteres tilfredsstillende med Landsat eller Sentinel-2. For dette formålet trenger man ikke en rask deteksjon, og det er uproblematisk å vente til sky- og lysforhold er tilfredsstillende.
- Stormskader og hogst kan detekteres tilfredsstillende med Tandem-X, dersom man har en høydemodell fra før stormen.
- Askeskuddsyke kan ikke detekteres med satellitt, fordi skadene i begynnelsen ofte er svake, de utvikler seg langsomt og de varierer mye fra tre til tre.
- Automatisk prosessering av satellittbilder, og direkte overføring av resultatene over Internett for visning i Skog og landskaps Kilden krever noe systemutvikling, men er ikke problematisk dersom det er basert på åpne verktøy (Open source).

Nøkkelord: Fjernmåling, hogst, stormskader, storm

Key words: Remote sensing, logging, forest damage, storm

INNHold

Forord	ii
Sammendrag	iii
Innhold	iv
1. Innledning	1
2. Formål	2
3. Detection of logging and storm damage with Landsat	2
3.1. Innledning	2
3.2. Materials and methods	2
3.3. Results	4
3.4. Discussion	6
4. Deteksjon av hogst og stormskader med Tandem-X	8
4.1. Materiale og metoder	9
4.2. Resultater og diskusjon	9
5. Kan askeskuddsyke overvåkes med satellitt?	11
5.1. Innledning	11
5.2. Materiale og metoder	13
5.3. Resultater	16
6. Prosessering, dataflyt, web-løsning	20
6.1. Innledning	20
6.2. Materiale og metoder	20
6.3. Resultater	20
6.4. Diskusjon	20
7. Samlet vurdering	22
8. Machine Log file processing	24
9. Konklusjoner	24
Referanser	25

1 INNLEDNING

Satellittdata har et potensial til å bidra til å dekke viktige kartleggings- og overvåkingsoppgaver i skog, særlig for deteksjon av skogskader og hogst. Norsk institutt for skog og landskap har sentrale oppgaver innen dette området. Tilgangen på egnede satellittdata for skogovervåking er i ferd med å øke betydelig. ESA har startet med sin nye Sentinel-serie av overvåkingssatellitter, samt sitt Copernicus overvåkings-program. Sentinelene består av en serie ulike satellitter med stor kapasitet og forbedrede sensorer, med rutinemessig, hyppig og heldekkende dekning, og med kostnadsfrie data. Sentinel-1 og Sentinel-2 er aktuelle å bruke for skogformål, og de utfyller hverandre ved at de har forskjellige typer sensor, dvs. henholdsvis radar og optisk. Det kan være aktuelt å supplere disse med data fra andre satellitter. Det kan være satellitter hvor bildene har høyere oppløsning for å detektere skader på enkelttrær, for eksempel Geoeye, og ALOS-PALSAR, som er en radar med en annen bølgelengde enn Sentinel-1. For skoganvendelser generelt er også høydeinformasjon viktig for å kunne overvåke volum og biomasse, og endringer av disse ved hogst og stormskader. Høydeinformasjon kan man få på ulike måter, dvs. stereo-fotogrammetri fra optiske satellittbilder, stereo-radargrammetri fra radarbilder, og interferometri fra radarbilder. Den mest aktuelle satellittmisjonen som gir høydedata for skog i dag er Tandem-X, som benytter interferometri (Solberg, Astrup et al. 2013, Solberg, Næsset et al. 2014).

I en informasjonstjeneste om skogskader og hogst er det nødvendig å legge vekt på effektiv dataflyt og god tilgjengelighet for brukerne. Sentinelene, og andre aktuelle satellitter, vil i en slik tjeneste med hyppige og rutinemessige opptak generere store datamengder. Beregninger vil være tidkrevende. Overføringer av data bør derfor holdes på et minimum. Det betyr at dataene så langt som mulig lastes ned fra satellitt, lagres og prosesseres på samme sted. Informasjonen fra en slik tjeneste bør også være tilgjengelig på en egnet måte for brukerne. En mulig, automatisert tjeneste for skogskadedeteksjon, kan etterhvert utvides til å omfatte annen informasjon, som fenologi, treslag, nye veger, lokalisering av områder hvor det er aktuelt å utføre ungskogpleie eller annen behandling. I Sverige har man i mange år hatt heldekkende optiske satellittdata hovedsakelig fra SPOT for hele landet hver sommer, og hatt slike tjenester (Willén and Rosengren 2003).

En operasjonell overvåking av hogst og skogskader har to hovedanvendelser i pågående overvåkingsoppdrag i skog i Norge. Overvåking av snauflater vil gi et forbedret grunnlag for utvalg av felt til den såkalte resultatkontrollen. Dette er en undersøkelse av snauflater noen år etter hogst for å se i hvilken grad skogeierne oppfyller kravet om å etablere foryngelse. Dette gjøres på et utvalg av snauflater, og dette utvalget bør være representativt for alle snauflater i Norge. Resultatene tyder på at dagens metode for å velge ut snauflater ikke gir helt representative resultater. Overvåking av skogskader med satellitt vil være et supplement til den skogskadeovervåkingen som hittil utelukkende har vært basert på observasjoner i felt. Skogskadeovervåkingen utføres i dag på Landsskogtakseringens flatenett (3x3 km), men ikke alle skadene vil kunne fanges opp i dette nettet, og heller ikke alle skadene som observeres blir rapportert inn til skogskadedatabasen ved instituttet. En ny skogskadedatabase, som i større grad skal ta vare på registreringer fra Landsskogtakseringen, er under utarbeidelse. Nyten av en skogskadeovervåking er å fange opp mulige effekter av klimaendring, iverksette mottiltak mot skadegjørere og smittsomme sykdommer, ivareta tømmerverdier etter skader, og informere skogbruket og allmenheten. Særlig er det en økende etterspørsel etter informasjon om skogskader pga. klimaendring (storm, tørke og insektskader på skog) og skogskader pga. spredning av nye skadegjørere (for eksempel almesyke, askeskuddsyke, trebukker og furuvednematode).

Deteksjon av hogst er også relevant for karbonlagring og CO₂ utslipp fra hogst i tropisk skog. Dersom REDD-initiativet skal la seg gjennomføre etter intensjonen må de tropiske

skoglandene utvikle overvåkingssystemer for biomasse og skogkarbon, og det er anerkjent i dag at dette i stor grad må være satellittdata (Lynch, Maslin et al. 2013). Det er derfor en betydelig etterspørsel etter kompetanse og metoder for dette.

2 FORMÅL

Formålet med prosjektet er å utvikle og demonstrere metoder for en operativ overvåkingstjeneste for stormskader og hogst. I tillegg skal det undersøkes om det er mulig å detektere og overvåke askeskuddsyke, som vil være særlig vanskelig.

3 DETECTION OF LOGGING AND STORM DAMAGE WITH LANDSAT

3.1. Innledning

Optical satellites like Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI operate in a moderately wide spectral and short temporal resolution and are freely available. With recording visible colors (RGB), near infrared and short wave infrared and their frequent providence of new, up-to-date data in a continuous 16-day interval for all seasons of the year they find large use in various applications for environmental monitoring and landcover classifications.

While much attention was given to forest disturbance monitoring like forest fires or insect defoliations with Landsat data, the distinct field of storm damage detection and a separation of clear cuts is poorly investigated (Cohen et al. 1998, Coppin and Bauer 1994, Hicke et al. 2012).

This research focuses on this gap, drawing attention to the use of Landsat data for storm damage detection in forests and further the detection of forest clear cut areas. In addition a semi-automated detection algorithm is developed, making it possible to monitor large areas with a minimal user input.

3.2. Materials and methods

The area under investigation is situated in southern Norway, within Fylke Akerhus, around Hurdal and concentrates on spruce and pine forests in that area. In December 2011 the storm 'Dagmar' affected several forest patches in this region, causing wind throws with different damage degrees. 'Dagmar' was primarily investigated with Landsat 7 ETM+.

A second study area in mid Norway was chosen in order to test Landsat 8, which was launched in 2013 and is the latest satellite from Landsat Continuity Data Mission (LDCM). It was used to analyze the storms 'Hilde' and 'Ivar' from November and December 2013.

The acquisition dates for Dagmar in the south were 12.10.2011 and 28.09.2012 and for Hilde in mid Norway 05.09.2013 and 17.09.2014. For both study areas satellite data with a one year interval was chosen in order to have similar conditions in plant phenology. We selected two Landsat data sets for each of the areas, i.e. one image before and one image after the storm. Landsat data from the autumn were chosen because we expected that the effect of ground vegetation would be at a minimum then. All our Landsat images fulfilled the requirement of being cloud free, which is a very crucial point for working with optical data. The Landsat satellites provide data in a 30 m spatial resolution.

One problem with the Landsat 7 data was the scan line corrector failure (SLC), i.e. stripes without data in the images (data gaps). This error increases towards the western and eastern edge of each Landsat-7 scene.

In order to compare, and carry out change detection of, the two Landsat images in a pair data, we paid much attention to an appropriate pre-processing. This included image normalization for haze reduction, image registration, atmospheric and topographic correction and the geographic projection to WGS 84 / UTM zone 32. To topographically correct the data, the digital elevation model 'DTED10' with 10 m resolution was applied.

To evaluate the logging and storm damage detection for Dagmar, a ground truth data set was created, including information about storm damage and harvest information assigned to forest stand outlines, derived from logging and forest operation data. Concerning the storm damage from Hilde, ground truth data were provided by the insurance company 'Skogbrand' in form of GPS points in the center of storm damages and information about size and severity of the damage. For both study areas a forest – non-forest polygon map from AR5 was used to mask forest areas for the analyses.

We tried 2 different vegetation indices, based on the idea that storm damage (i) reduces the intensity of the photosynthesis, (ii) reduces the amount of shadows, and (iii) reduces the internal turgor pressure in the cells of the conifer needles due to physiological drought in wind-thrown trees. Regarding the spectral resolution of Landsat, the highest response to cell structure is found in the near infrared band (NIR), but also the red band already contains information for vegetation. The short wave spectrum (SWIR and SWIR2) is commonly known to respond on different water contents (Elowitz & Mark, 2013), but has also shown a response on structural changes on the ground (Donoghue et al., 2005). To extract specific landcover information for vegetation, two vegetation indices were used and evaluated. The 'Normalized Difference Infrared Index (NDII)' (Hardisky et al. 1983), also known as 'Normalized Burn Ratio' (NBR), which extracts information from NIR and SWIR2 and the following ratio:

$$NDII = \frac{(NIR - SWIR2)}{(NIR + SWIR2)}$$

Since already in the red band vegetation information are contained, the second vegetation index called 'Specific Leaf Area Vegetation Index' (SLAVI) (Lymburner et al., 2000) employed information of red, NIR and SWIR2:

$$SLAVI = \frac{NIR}{(RED + SWIR2)}$$

From those vegetation indices a change detection was calculated. A change detection makes it possible to detect areas where no change has happened and areas with a generally positive or negative change. With regard to NDII or SLAVI, negative values in the change image represented an increase in vegetation (i.e. no disturbance) and positive values a decrease (disturbance) (see Figure 1). The equation for a change detection used is:

$$\Delta index = index_{before} - index_{after}$$

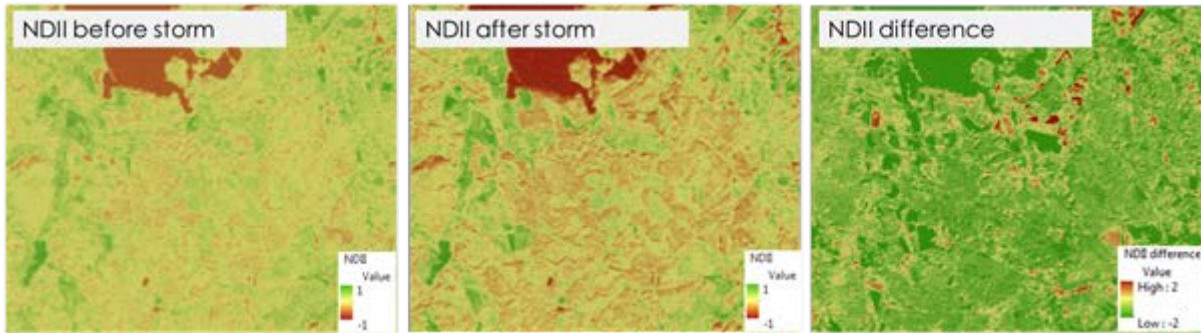


Figure 1 NDII before (left) and after (middle) and difference image (right) of the storm Dagmar in southern Norway.

Those change images were overlaid with storm damage- and logging data to extract certain Δ index values, representing thresholds for storm damages and clear cuts. To lower the impact of extreme values and false pixel, a 3 x 3 Gaussian Filter was applied to smooth the Δ index image. The pixel value extraction was mainly done by manually identifying low pixel values within damage or clear cut areas. These certain values were assigned in an automated python script, which was especially designed for the purpose of classifying the forest based Δ index value. The results of this process were continuously updated in a confusion matrix, until the best threshold result with highest correlation of Δ index classification and ground truth data (damage- and logging data) was reached (see the whole workflow in Figure 2).

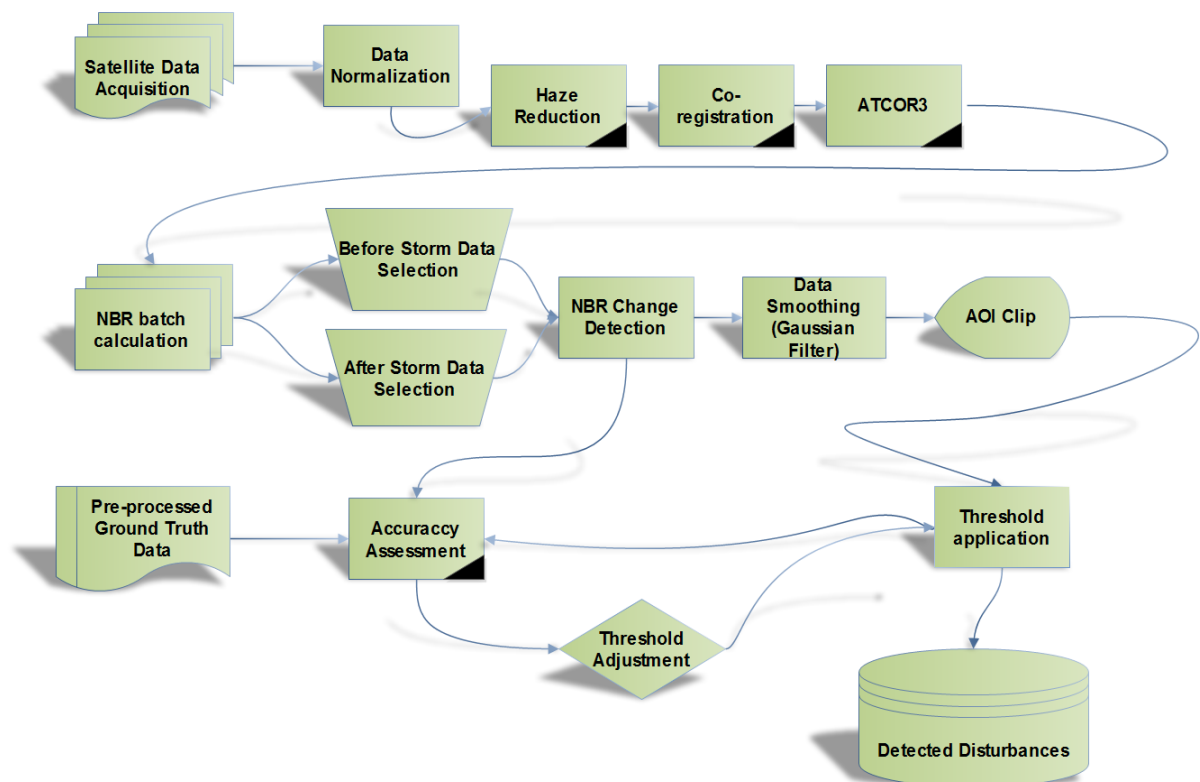


Figure 2 Workflow of Storm damage detection with Landsat

To ensure a general applicability of the derived thresholds, the second study area in mid Norway was used to apply and verify the same thresholds. The ground truthing in this case was based on GPS coordinates, which were recorded from Skogbrand and represented known storm areas.

3.3. Results

An empirical accuracy assessment was generated, merging ground truth information with detection results. By using a confusion matrix, producer's and user's accuracy as well as overall accuracy and Cohen's Kappa were calculated. For Δ NDII the highest accomplishment was an overall accuracy of ~83% and Kappa of 0.2 . The producer's accuracy for undisturbed forests was 88%, for disturbed forests 21% and for clear cuts 62%. The user's accuracy for undisturbed forests was 98%, for disturbed forests 14% and clear cuts 5%.

Table 1 Accuracy Assessment for dNDII and three disturbance classes

ACCURACY ASSESSMENT via confusion matrix

Overall Acc.	82.68
Kappa	0.20

		PREDICTED			Ground Truth
		No disturbance	Disturbance	Clear cut	
TRUTH	Classification				
	No disturbance	1188	112	13	1313
	Disturbance	74	34	12	120
	Clear cut	37	9	5	51
Total		1299	155	30	1484

Similar results were achieved when merging storm damage and clear cut categories and comparing them with not disturbed areas. As example the SLAVI results had an overall accuracy of ~88% in contradiction to a Kappa of 0.24 .

Table 2 Accuracy Assessment for dSLAVI and two disturbance classes

ACCURACY ASSESSMENT via confusion matrix

Overall	88.19
Kappa	0.24

		PREDICTED		Ground Truth
		No disturbance	Disturbance/ Clear cut	
TRUTH	Classification			
	No disturbance	1058	79	1137
	Disturbance/Clear cut	67	32	99
Total		1125	111	1236

The results for mid Norway were evaluated visually. In general, the correlation to the ground truth GPS coordinate points of storm damages appeared to be strong. However, the SLAVI index caused an over-classification of undamaged stands. In comparison, the NDII distinguished more clearly between damaged and undisturbed stands.

In order to run the detection as an automated batch process for larger areas, which would be feasible even for entire Norway, two Python scripts were developed. They can be run from any command line interpreter and the Python installation 2.7, including the libraries GDAL, NUMPY or SCIPY.

The first script runs either NDII or SLAVI as a batch process on normalized Landsat data. The second script requires the manual selection of a 'before-storm' and 'after-storm' index and the input of a vector forest map (shapefile in polygon format). The two indices are then automatically processed in a change detection, clipped for the forest map extent, smoothed with the Gaussian filter and classified using pre-assigned thresholds. As result a polygon shapefile is produced, containing information about the damage class (undisturbed, disturbed, clear cut) in the attribute table (see Figure 3).

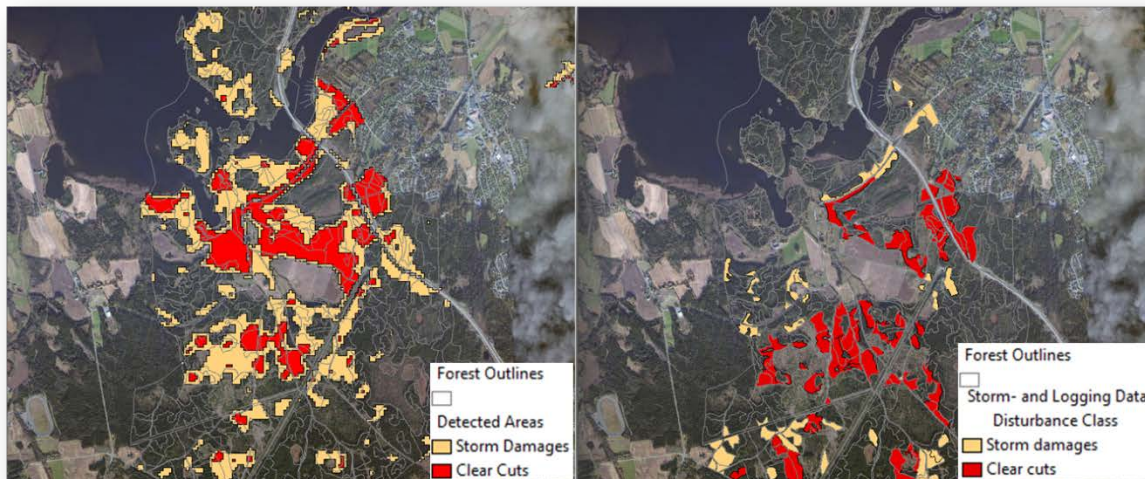


Figure 3 Comparison of Detected Disturbances (left) with Ground Truth Data (right) in southern Norway

3.4. Discussion

When working with optical satellite data one of the main problems is coverage. Especially when acquiring data during the autumn and winter period, the availability of cloud free or partly cloud-free data is low. A second problem occurring for data of those time periods is the low sun angle. In mid Norway no Landsat 8 image between October and February could be atmospherically corrected because of a sun zenith angle up to 87° . The most common software packages for atmospheric correction allow a sun zenith of maximal 70° . The main problem is darkness, which prevents this pre-processing step in a standardized way. This also limits the immediate forest monitoring feasibility soon after a winter storm event.

All Landsat 7 images were under influence of the missing data error (SLC), which caused lines without information in each Landsat 7 image. Those lines partly affected the study area and needed to be corrected. Since no cloud free data from other Landsat images nearby in time was found to fill these gaps, we used a "cross gap filling" approach: Where the first image had gaps, data from the second image were used to fill them, and the other way

around for the second image. This enabled us to work on the entire area of interest. However, this produced erroneous change data on roughly 25% to 40% of the area.

With a Kappa value of 0.2 the possibility of the detected damage or clear cut being such was less than random. Studies in comparable fields (Baumann et al. 2014, King et al. 2005) have shown higher Kappa values, up to 0.55 and overall accuracies of 77% for distinguishing non-disturbed from storm damaged forests.

Further an outdated forest dataset lowered the Kappa. Areas which should contain forests were agricultural fields with a frequently changing land surface. Those areas were misclassified as forest disturbance and became part of the accuracy assessment. Also the ground truth dataset, to which the detection result was referred to appeared not completely precise. Harvest operations recorded as clear-cuts were found to be clear-cuts with a large number of remaining trees to avoid frost damage in the next tree generation. Former clear-cuts were misclassified due to a changing ground vegetation, which couldn't be distinguished with the 30m resolution of Landsat. Considering those problems, the low Kappa is reasonable.

The GPS coordinates from Skogbrand were recorded and stored analogue and needed to be digitized manually. Three problems occurred during the digitizing process. 1) The co-ordinate system used was in some cases uncertain. 2) Not all records could be translated and digitized properly. 3) The GPS coordinates represented points rather than stands or areas, because they were recorded only for the purpose of re-finding storm damaged stands. It was uncertain whether the position of each GPS point was in the center of a damaged stand rather than on the edge of the forest or somewhere in on the road from where a damage would be visible. The verification based on that dataset thereby needs to be evaluated with care.

Altogether, the evaluation of the detection results for the Hilde storm could not be empirically based.

Applying a threshold on a ratio which varies between -2 and 2 (for the NDII change image) can be easily done. The over-classification of SLAVI is, however; a result of the index itself, since its equation is not limited in range. The lower threshold for damages could be easily assigned and showed a strong relationship to the GPS coordinates from the ground truthing. The upper limit for a damage threshold needs to be investigated further, to avoid over-classification of storm damage.

A previous investigation of storm damages around Nordfjord and Sognefjord based on Landsat, using the Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRVI) succeeded with an overall accuracy of 96% and a Kappa of 0.94 (May, 2014), which proofs that storm damage detection can be very accurate. The reason for the high accuracy in that study is that the storm damage was severe in the sense that the majority of the trees were blown over. In addition, the affected spruce stands made up distinct, rectangular stands with exposed forest edges within the dominating broadleaf and pine mixture stands in those areas.

In conclusion, the automated index calculation and change detection run as an automatic batch process served as a preparation for an operational disturbance monitoring service was feasible from a technical point of view. However evaluation of the accuracy of the detection is still a critical point. We cannot guarantee from these tests that we could provide storm damage detection data that would have a sufficient accuracy for all users based on Landsat data. Other studies have shown, that Landsat can be used to detect storm damages and clear cuts with moderate Kappa values (Baumann et al. 2014). Improvements in spatial and temporal resolution with the coming Sentinel-2 will offer the possibility to reduce the problem of cloud coverage, which causes long waiting times for acquiring useful satellite data. The

higher resolution and more frequent satellite data represents a major improvement of the data. Regarding this study, the application of Landsat data for detecting storm damages and clear cuts is feasible, however, with some limitations .

4 DETEKSJON AV HOGST OG STORMSKADER MED TANDEM-X

Det er behov for å kartlegge eller overvåke stormskader på skog og hogst. For stormskader er det et behov for raskt etter stormen å kartlegge skadene og estimere nedblåst kvantum. Dette er av hensyn til opprydding etter skadene, som er viktig for å redde tømmerverdiene samt unngå oppformering av barkbiller i tømmeret. Data om dette vil hjelpe til i vurderingen av behov for mannskaper og maskiner. I tillegg vil pressen ofte være svært interessert i slik informasjon raskt etter en storm. For hogst er behovet knyttet til foryngelseskontrollen. Skogeieren har etter skogloven plikt til å forynge snauflatene, og det foretas en løpende stikkprøvebasert kontroll av dette.

En satellitt-teknologi som er ny og lite brukt i skogbruket hittil er SAR, og særlig InSAR. SAR betyr Syntetisk Aperture Radar og er en bildedannende radar-sensor. Mens radar opprinnelig ble brukt til å detektere objekter og måle avstanden til dem, så er en bildedannende radar en mer avansert teknologi som gir en form for bilder med høy oppløsning, dvs ned til 1 m x 1 m eller bedre. InSAR (interferometrisk SAR) er en type SAR som gir høydedata ved hjelp av en form for stereo-opptak fra 2 satellitter. InSAR er en helt annen teknologi enn den som brukes ved fotogrammetri.

I dette prosjektet har vi testet ut ulike typer SAR, med hovedvekt på InSAR fra Tandem-X satellitt-misjonen. Tandem-X består av 2 satellitter som går tett sammen. De bytter på å sende ut radar-pulser mot jordoverflaten, mens begge mottar det samme ekkot. Fordi de to satellittene er plassert på ulike steder i rommet da de mottar ekkene så vil det være faseforskjeller mellom de to radarbildene. Faseforskjellene varierer med avstanden ned til jordoverflaten, og de kan derfor brukes til å beregne høyder på jordoverflaten. Disse høydene ligger høyt oppe under toppen av trekronene, fordi den bølgelengden som brukes i liten grad penetrerer den i trekronene. Disse høyde-verdiene kalles derfor en overflatemodell (Digital Surface Model, DSM). En slik DSM fra Tandem-X har en høy oppløsning til satellittdata å være, dvs 5 m x 5 m eller 10 m x 10 m avhengig av hvordan man prosesserer dataene.

Det er 2 anvendelser av InSAR for skogovervåking.

- 1) Dersom man har en god terrengmodell (Digital Terrain Modell, DTM) så kan man trekke den fra og få data for skoghøyder. Disse skoghøydene er da høyden fra terrenget og opp til senteret i radar-ekkoet, og i skog i Norge vil disse høydene typisk variere fra null, der det ikke er trær, og opp til maksimum 25 m. Disse skoghøydene er korrelert med volum og biomasse, og slike data er derfor egnet til å kartlegge skogressurser.
- 2) Dersom man er interessert i endringer i skog, slik som hogst eller stormskader, trekker man fra en DSM fra et tidligere tidspunkt, og får da høydeendringer, dvs endringer i skoghøyde. Det vanlige vil da være å ha gjentatte Tandem-X opptak,
- 3) Ved snauhogst vil man ha en nedgang i høyde på mange meter, typisk 10 m eller mer. Stormskader kan gi en like stor nedgang dersom skaden er total. Ofte vil stormskader ramme enkelttrær og grupper av trær, og da vil nedgangen bli mindre. Det samme gjelder for øvrig tynning, som vil gi en liten nedgang. Omvendt vil tilvekst i skog føre til økende høyder.

Formålet med å prøve ut Tandem-X data var her å bestemme hvor nøyaktig hogst og stormskader kan detekteres.

4.1. Materiale og metoder

Vi valgte ut 2 områder. Det ene var hos Fritzøe skoger i Vestfold, og det andre var hos Mathiesen Eidsvold Værk (MEV) i Akershus. Fra begge skogeierne fikk vi bestandsdata, dvs bestands-polygoner med tilhørende informasjon. Vi fikk også datofestede skogbrukstiltak som kunne knyttes til det enkelte bestand. Fra MEV fikk vi dette i form av såkalte track-log data fra hogstmaskin. Track-logene besto av stedfestede punkter med tilhørende dato og tid. Vi regnet disse track-log dataene om til bestandsdata, slik at hver hogst i et gitt bestand fikk en nøyaktig start- og sluttdato. Typisk pågikk hogstene i 1-3 dager per bestand. Vi brukte datoene til å velge ut hogster og stormskader som foregikk mellom InSAR data-opptakene.

Studieområdet hos Fritzøe skoger valgte vi ut for å teste om snauhogst kan detekteres, og om dette kan gjøres flere år etter hogsten. Vi testet hvor nøyaktig vi kunne detektere snauhogster foretatt i perioden februar 2000 til juni 2011. Årsaken til dette lange tidsrommet er at det finnes en InSAR overflatemodell som dekker nesten hele jordkloden fra februar 2000. dette er det såkalte SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) datasettet som ble generert med romfergen Endeavour. Å kunne detektere hogst i denne perioden demonstrerer i hvilken grad man kan detektere hogster flere år i etterkant. I tillegg er dette særlig relevant for deteksjon av avskoging i tropisk skog. Vi prosesserte her Tandem-X dataene mot overflatemodellen fra SRTM, hvilket betyr at en del av prosesseringen var å ekstrahere faseforskjeller, som tilsvarer høydeforskjeller, mellom SRTM og Tandem-X. Disse dataene hadde en oppløsning på 10 m x 10 m. Vi aggregerte høydeendringene opp til middelerverdier for hvert skogbestand.

Studieområdet hos MEV valgte vi ut fordi det der forekom både slutthogster og stormskader. Stormskadene var et resultat av stormen Dagmar den 26. desember 2011. Vi prosesserte her først et Tandem-X datasett fra 17. januar 2011 mot en terrengmodell, og genererte en Tandem-X DSM fra dette. Deretter prosesserte vi et annet Tandem-X datasett fra 10. mars 2012 mot den første DSMen. Differansen mellom disse representerte da høydeendringene i skog fra 17. januar 2011 til 10. mars 2012. Som for Fritzøe skogers område prosesserte vi dataene til 10 m x 10 m, og aggregerte dette opp til bestand.

4.2. Resultater og diskusjon

For området hos Fritzøe skoger oppnådde vi en rimelig god klassifisering med en total nøyaktighet (overall accuracy) på 96% på bestandsnivå. Av de snauhogde bestandene ble 67% riktig detektert, mens 98% av bestandene uten snauhogst ble klassifisert riktig. Vi mener dette er rimelig bra fordi overflatemodellen fra år 2000 var ganske grov, dvs med en romlig oppløsning på 15 m x 31 m. I tillegg dekket dette en periode på 11 år, og andre hogster samt tilvekst i skogen vil bidra til å tilsløre snauhogstene sett over så lang tid. Dessuten viste dataene klart at de utførte hogstene ikke falt helt sammen med bestandsgrensene. I noen tilfeller var bare deler av et bestand hogget, selv om hele bestandet var registrert som hogd av skogeier.

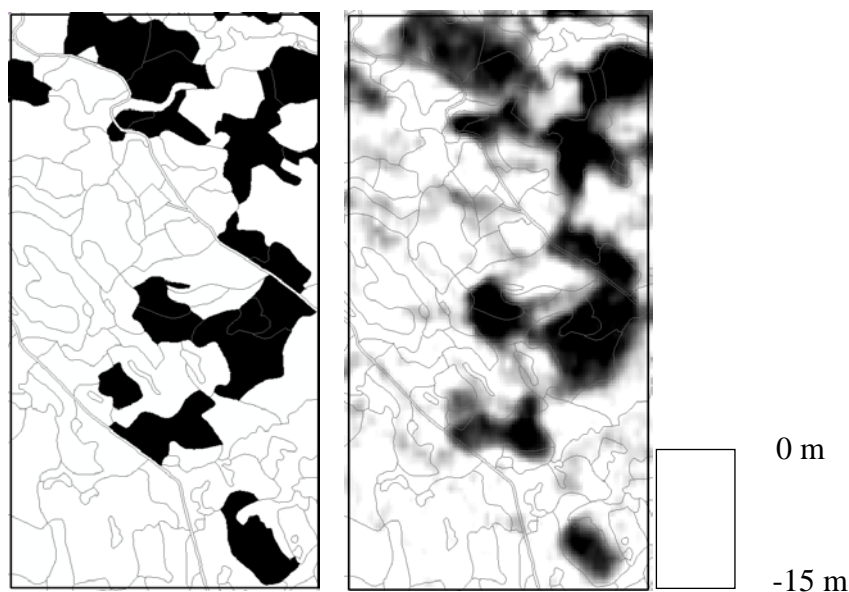


Fig. 3. Registrerte snauhogster for perioden 2000 – 2011 i en del av studieområdet hos Fritzøe skoger (venstre) og høydenedgang fra SRTM til Tandem-X (høyre).

Tabell 1. Resultater for hogstdeteksjon hos Fritzøe skoger i Vestfold.

		Bakkesannhet		User's accuracy
		Snauhogst	Ikke snauhogst	
Klassifisert	Snauhogst	5.4	1.7	76.1
	Ikke snauhogst	2.7	90.1	97.1
	Produser's accuracy	66.7	98.1	Overall accuracy
				95.5

Deteksjon er basert på høydeendring fra år 2000 md SRTM til 2011 med Tandem-X. Grenseverdien for å klassifisere bestand som hogd var en høydenedgang på minst 7 m. Det var 3181 bestand i analysen.

For området hos MEV oppnådde vi en total nøyaktighet på 88% for klassifisering til 3 klasser, dvs (1) ingen forstyrrelser, (2) stormskader og tynning, og (3) snauhogst. Vi beregnet en kappa-verdi på 0.48.

Bakkesannhet

Klassifisert

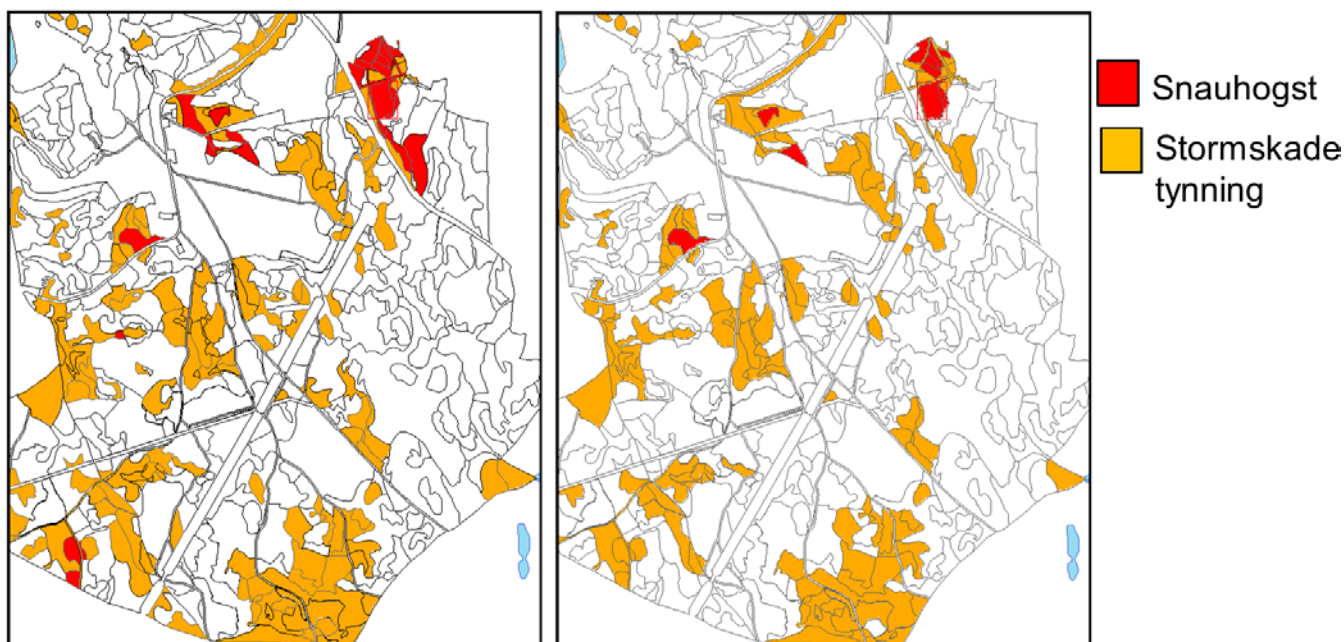


Fig .4. Studieområdet hos MEV med innlagte skogbestand. Til venstre bakkesannhet med innlagte stormskader og tynninger (oransje) og sluttavvirkning (rød). Til høyre de samme bestandene etter klassifisering med Tandem-X høydeendringer.

5 KAN ASKESKUDDSYKE OVERVÅKES MED SATELLITT?

5.1. Innledning

I prosjektet har vi av to grunner valgt å ta med askeskuddsyken. For det første er det en skadetype på skog som vi regnet med ville være svært vanskelig å detektere med satellittdata. Årsaken til det er at skadene utvikler seg langsomt over flere år, samt at skaden varierer mye fra tre til tre, slik at skadde trær kan stå mellom helt friske trær. Etterhvert som skadene utvikler seg på et tre vil nabotrær og undervegetasjon gradvis fylle det rommet som blir tilgjengelig i kronesjiktet. I tillegg valgte vi den ut fordi den er en alvorlig sykdom som sprer seg raskt.

Askeskuddsyken er en ny sykdom i Europa, og er en betydelig trussel mot vanlig ask (*Fraxinus excelsior*) over hele kontinentet. Sykdommen påfører asketrærne store skader, og angrepne trær dør etterhvert.

Det startet tidlig på 1990-tallet da det ble registrert en tiltagende askevisning i nordlige deler av Polen. Symptomene var skudd- og greinavdøying på vanlig ask som lett kunne forveksles med vår- og vinterskader. Askeskuddsyken ble påvist som årsaken, og den spredte seg snart over hele Polen og etter hvert til nabolandene. Litauen og Latvia ble særlig hardt rammet. Allerede i 2002 hadde over 30 000 ha skog blitt berørt i Litauen, tilsvarende 60 % av landets asketrær (Solheim et al. 2011). Fra Baltikum spredte askeskuddsyken seg raskt videre til andre europeiske land, og bare drøyt 20 år etter at sykdommen først ble oppdaget, forekommer den nå i de fleste europeiske land der vanlig ask har sin naturlige utbredelse.

Askeskuddsyke forårsaker nekroser på greiner og stamme, skuddvisning, skrantende krone og etter hvert dannelse av vannris. Små trær kan dø raskt etter å ha blitt angrepet, - ofte etter bare én sesong. Hos store, dominante asketrær utvikler sykdommen seg langsommere, og det kan ta flere år før disse trærne dør av sykdommen, eller blir såpas svekket at de dør av andre årsaker (som for eksempel råte). Årsaken til sykdommen er den lille begersoppen askeskuddbeger (*Hymenoscyphus fraxineus*). Fruktlegemene, som bare er noen få millimeter store, vokser på fjorårets askebladstengler på bakken og sprer seg gjennom sporer som infiserer bladene på asketrærne i løpet av veksts sesongen.

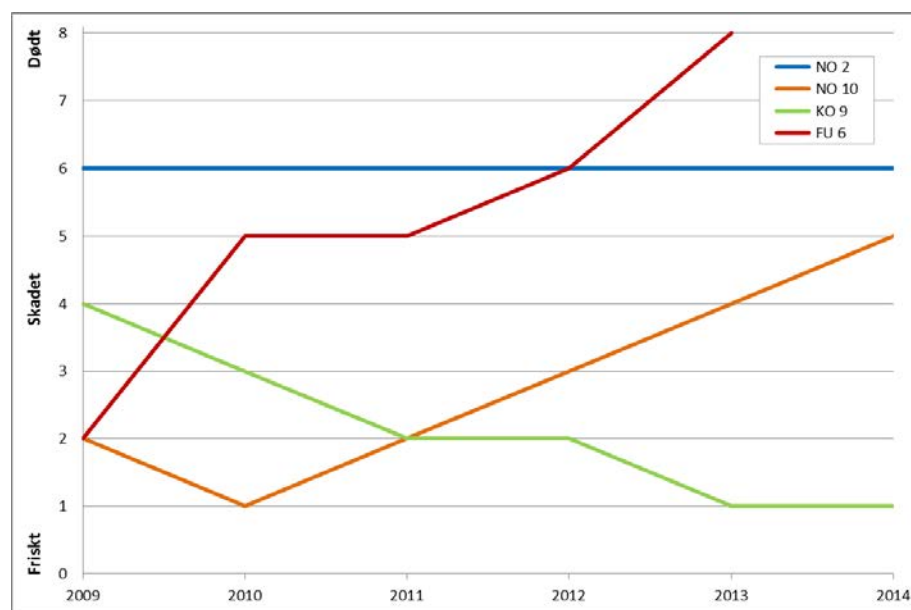
Askeskuddbeger stammer trolig fra Asia. Den er funnet på bladstilker til en asiatisk askeart, *Fraxinus mandshurica*, som vokser i de nordøstlige deler av Asia (Zhao et al. 2012, Zheng & Zhuang 2013). Soppen gjør ingen skade på de asiatiske asketrærne. Det antas at soppen ble innført til Polen med importerte prydrær av mandsjurisk ask fra Asia.

I Norge ble askeskuddsyken først oppdaget i 2008 og hadde da allerede spredt seg over store deler av Øst- og Sørlandet, og man antar derfor at sykdommen må ha vært til stede i Norge minst siden 2006. Siden 2008 har askeskuddsyken utvidet sitt utbredelsesområde i Norge med 30-100 km årlig. I 2009 ble den registrert i Eigersund i Rogaland, og i 2010 i Gjesdal kommune, i tillegg til en enkelt forekomst i Suldal nord i fylket. Allerede i 2011 ble symptomer på askeskuddsyken observert over store deler av Hordaland, og de nordligste funnene ble gjort i Sogndal kommune nord for Sognefjorden. Den raske spredningen i 2011 må skyldes egne introduksjoner flere steder i Hordaland (Solheim & Timmermann 2012). I løpet av 2012 og 2013 spredte sykdommen seg gjennom Sogn og Fjordane og inn i Møre og Romsdal (Sunnmøre). I 2014 ble askeskuddsyken registrert i kommunene Ørskog og Rauma, like sør for Molde.

For å kunne følge sykdomsutviklingen både på bestands- og enkeltrenivå, opprettet Skog og landskap flere overvåkingsflater i askebestand. Det ble etablert fire flater på Østlandet i 2009, én på Sørlandet i 2010 og tre på Vestlandet i 2012, hvor kronetilstanden registreres årlig på de samme trærne (Timmermann et al. 2013). Resultatene fra overvåkingen på de eldste flatene på Østlandet viser at det har vært en dramatisk utvikling for de små asketrærne på overvåkingsflatene. Mens 82 % av de små overvåkingstrærne var friske eller bare svakt skadde i 2009 og bare 7 % sterkt skadde, var 70 % enten døde eller sterkt skadde i 2014, og bare 19 % fortsatt friske eller svakt skadde. Utviklingen hos de store trærne foregår mye saktere, men også blant disse hadde andelen sterkt skadde trær økt fra 18 % i 2009 til 41 % i 2014 (inklusive flere døde trær).

Små trær rammes hardere og drepes lettere av askeskuddsyken enn store trær fordi nekroser på stammen lett kan føre til at hele toppen eller endog hele treet dør, mens det hos et stort tre vil ta flere år å drepe kraftige greiner. Antakelig er også infeksjonspresset større for de små trærne som har sin bladmasse nærmere bakken, der sporespredningen fra fruktlegemene skjer, enn for de store, dominante trær. Dessuten er de minste trærne mer utsatt for konkurranse fra annen vegetasjon og vil lettere bukke under når de i tillegg er angrepet og svekket av askeskuddsyken. Det er store individuelle forskjeller mellom de store, dominante trærne på overvåkingsflatene. Noen er nesten helt friske, mens andre har svært lite bladverk igjen. Angrepne asketrær danner mye vannris for å kompensere for løvverket som er tapt gjennom sykdommen. Dette kan føre til en midlertidig økning i bladmasse. Angrepne trær, både små og store, svekkes og vil dermed være mer utsatt for råteangrep (av for eksempel honningsopp) og konkurranse, dermed kan det være flere faktorer i samspill som til slutt fører til at trærne dør (Timmermann et al. 2014). I ett og samme askebestand kan man altså finne både helt friske, sterkt skadde og døde trær om hverandre. De angrepne trærne vil heller ikke nødvendigvis stå i klynger, men er vanligvis spredt tilfeldigvis i bestandet.

Det er også store individuelle forskjeller i hvor raskt skadeutviklingen hos de store trærne skjer. Hos noen skjer utviklingen raskt og kronetilstanden forverrer seg vesentlig i løpet av få år (tre nr. NO 10 i Figur 1), eller i utgangspunktet friske trær dør etter noen år med angrep (tre nr. FU 6 i Figur 1), mens andre sterkt skadde trær kan holde seg uendret (dårlig) over mange år (tre nr. NO 2 i Figur 1). Det hender også at kronetilstanden hos enkelttrær forbedrer seg fra et år til et annet, enten pga. vannrisdannelse (som er et symptom på stress), eller fordi de observerte skadene i utgangspunktet skyldtes noe annet enn askeskuddsyke (som for eksempel tørke, tre nr. KO 9 i Figur 1). Felles for askeskuddsykens forløp hos de fleste store trærne er at kronetilstanden forverrer seg gradvis og at det som oftest skjer små endringer i bladmassen fra år til år.



Figur 1. Utviklingen i kronetilstand hos noen utvalgte, dominante enkelttrær på overvåkingsflatene 2009-2014. Skadene registreres i ni klasser der 0-1=friske trær, 2-6 trær med økende grad av skader og 7-8=døende/døde trær.

5.2. Materiale og metoder

Den gradvise forverringen i kronetilstanden som forårsakes av askeskuddsyken, og den kjensgjerning at skadde og døde trær ofte forekommer spredt i et bestand, gjør det potensielt vanskelig å overvåke utviklingen i sykdommen fra år til år med satellitter. I vårt eksperiment forsøkte vi derfor å simulere raske endringer i asketrærnes kronetilstand ved å drepe enkelte trær, og de raske endringene ville ha større mulighet for å kunne fanges opp av satellittene.

Forsøksområdet er et ca. 34 daa stort askebestand i Ås kommune (Askehagan, Norderås), eid av NMBU (Figur 2 a), som består av to delområder: Den nordre delen er en tett askeskog med store, dominante asketrær og innblanding av andre løvtreslag, rik undervegetasjon og frodig busk- og krattvegetasjon. Åpninger i kronetaket (lysninger i skogen) vil være vanskelige å oppdage på fly- eller satellittbilder pga. den tette undervegetasjonen (Figur 2 b). Den søndre delen er en beitemark med enkeltstående, dominante asketrær og noen få andre løvtrær. Kronetaket framstår likevel som nesten lukket på flybilder (Figur 2 c). Vegetasjonen på bakken består stort sett av gras. Terrenget heller svakt mot vest.



Figur 2 Askehagan på Norderås (a) med tett askeskog i den nordre delen (b) og beitemark i den søndre delen (c)

I forsøksområdet ble det valgt ut åtte grupper av store asketrær med seks forsøkstrær i hver gruppe, altså 48 trær i alt. Fire grupper ble plassert i den nordre delen (skog) og fire i den søndre delen (beitemark) av forsøksområdet. Hvert tre ble merket med nummerlapp, fotografert og koordinatfestet ved hjelp av differensiell GPS måling i 2013. Kronetilstanden på alle forsøkstrær ble bedømt i 2013 og 2014 og angitt i ni ulike skadeklasser (0-1 = friske trær, 2-6 trær med økende grad av skader og 7-8 = døende/døde trær). Kronetilstanden blant forsøkstrærne i 2013 varierte fra 1 (friskt) til 6 (sterkt skadd), og fra 1 til 3 (moderat skadd) blant trærne som seinere ble drept. Den 8. juli 2013 ble ett tre i hver av de åtte gruppene drept med Glyfosat-plugger for å simulere en rask endring i kronetilstanden hos enkelttrær.

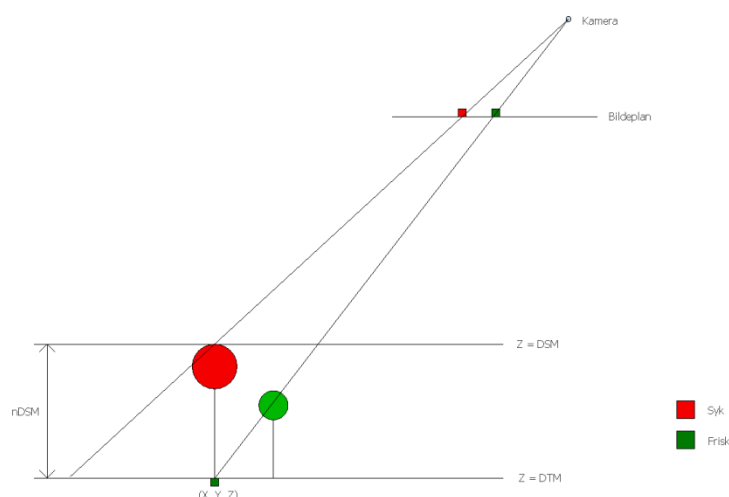
Det ble bestilt satellittopptak med WorldView-2 og GeoEye-1 i 2013 og 2014. Satellittene eies og driftes av det private selskapet DigitalGlobe og bestillingen ble gjort gjennom Kongsberg Satellite Services i Tromsø. Vi satt opptaksvinduet til mellom 20. juni og 20. juli begge år. I tabellen under vises data for opptakene. I 2013 ble opptakene gjort ca. 14 dager tidligere enn i 2014. Vi ser at opptakene ikke ble gjort med kamera pekende mot nadir (dvs. loddrett fra satellitten og ned mot bakken) men med en skrå vinkel på rundt 24 grader. Satellittene går i en polar bane og har en sporbredde på ca. 16 km. For å kunne gjøre opptak der kundene ønsker og til et gitt tidsrom, er det nødvendig å skråstille satellitten. Opptak blir gjort så snart skydekket er under en gitt terskelverdi, og hvor mye satellitten må skråstilles vil variere med hvilken bane den er i på opptakstidspunktet. I vårt tilfelle var satellitten et stykke øst for askebestandet, og satellitten har derfor sett mot øst. Asimutvinkelen er målt fra retning nord, og vi ser at opptakene er gjort med satellittene pekende fra nord-øst og øst.

Den geometriske oppløsningen er på ca. 1,80 m og målingene digitaliseres til 11 bit data, dvs. gråtoneverdier fra 0 til 2047.

Tabell 1 Satellittopptak over askebestandet

Satellitt	Dato	Tid	Sat. off-nadir	Sat. elevation	Sat. azimuth
GeoEye-1	24 jul 2014	10:39:43	23.8	63.8	27.2
WorldView-2	24 jul 2014	10:33:47	24.2	62.6	87.7
GeoEye-1	10 jul 2013		25.1		35.0
WorldView-2	06 jul 2013		22.2		78.7

Dataene ble levert i såkalt ortho-ready format, dvs. dataene har blitt resamplet til en geodetisk projeksjon hvor geodetisk høyde tilsvarer et gjennomsnitt for opptaksområdet. En geometrisk sensormodell (RPC-koeffisienter) fulgte med datasettene, og med modellen kan en ortorektifisere dataene med bruk av en valgt høydemodell. Valg av høydemodell er avgjørende siden opptakene er skråopptak som vil føre til en forskyvning av 3D objekter som rager over terrenget. Et tre på 20 m vil avbildes med trekrone forskyvnet i forhold til der stammen møter bakken. Det var viktig i forsøket å finne pikslene som representer trekronene til forsøkstrærne. Et 20 m høyt tre vil i et skråopptak med 25 grader få en forskyvning i bildeplanet på ca. 9 meter, dvs. mellom 4 og 5 piksler i et bilde med oppløsning på 2 meter. Vi valgte derfor å bruke en høydemodell basert på et laseropptak over området. En overflatemodell, DSM, ble generert fra førstereturene, og modellen ligger derfor høyt oppe i toppen av trekronene. Figuren under viser prinsippet for avbildning av trekronene og hvor viktig det er å bruke en DSM.



Figur 3 Perspektivisk avbildning av trær som viser hvilken feil man får ved å georeferere bildene med en terrengmodell i stedet for en overflatemodell. Hvis vi bruker terrengmodell ved georefereringen vil feil piksler bli knyttet til hver enkelt trekrone. I figuren har vi illustrert dette med 2 av våre forsøkstrær, hvor pikslene fra krona på det friske treet ville blitt knyttet til det syke treet.

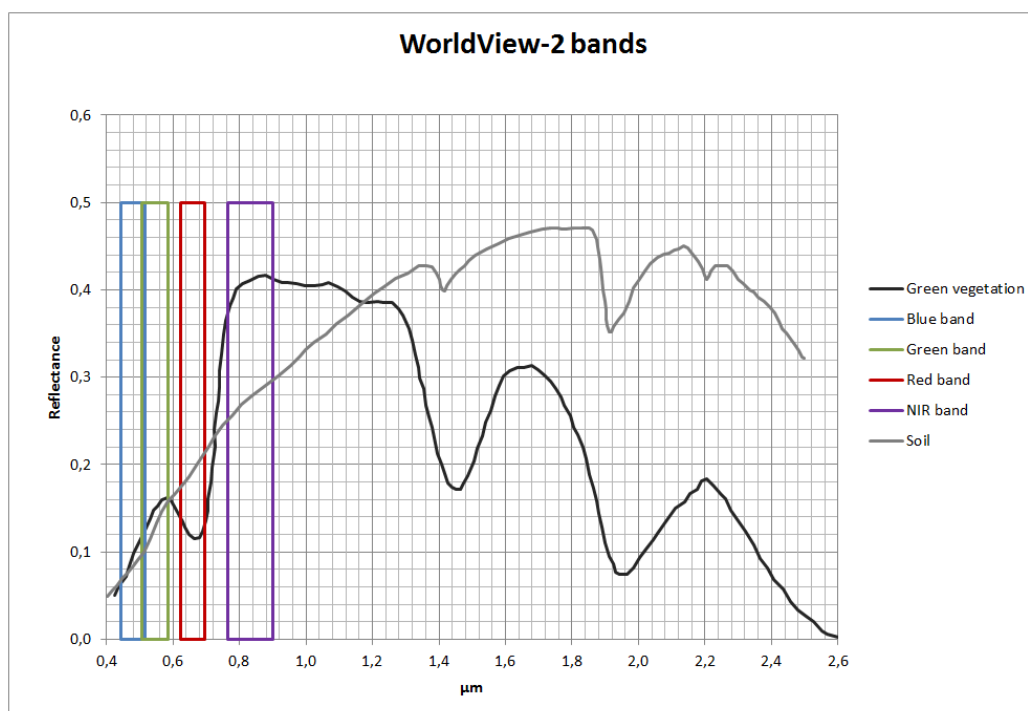
Atmosfæriske forhold varierer fra minutt til minutt og kan være svært forskjellige mellom to opptak fra ulike tidspunkter. For å kunne oppdage svake endringer i vegetasjonen, så må eksterne effekter som atmosfæriske forhold fjernes så langt som mulig. Vegetasjon reflekterer lite i det synlige spekteret, mellom 5 og 15 % av innkommende sollys, og mer i det nærinfrarøde, ca. 40 %. Vanndamp, partikler og aerosoler i atmosfæren kan i betydelig grad påvirke den reflekterte solstrålingen som går tilbake til satellitten. For at vi skal kunne sammenligne målingene fra 2013 og 2014 har vi derfor utført en korreksjon for atmosfæriske forhold og beregnet bakkereflektans for alle de fire kanalene. Dette ble utført på de ortorektifiserte (georefererte) datasettene.

Istedenfor å sammenligne verdier fra enkeltbånd fra 2013 og 2014, beregnet vi to vegetasjonsindekser basert på den nærinfrarøde og røde kanalen:

- $NDVI = (NIR - Rød) / (NIR + Rød)$
- $WDRVI = (\alpha \times NIR - Rød) / (\alpha \times NIR + Rød)$

Vi vil her gi en kort innføring i hvordan disse vegetasjonsindeksene virker. I figuren under ser vi kanalene til WorldView-2 sammen med typiske spektrale reflektanskurver for grønn vegetasjon og bar jord. Satellitten har fire kanaler i bildene, hvor hver kanal representerer et spektralt bånd med bølgelengder. Disse båndene tilsvarer lys med fargene blå, grønn og rød, samt nærinfrarød. Vi har tatt disse reflektanskurvene fra alment tilgjengelige biblioteker for slike data. Vi ser at vegetasjonsindeksene basert på kanalene Rød og NIR vil gi en høy verdi for grønn vegetasjon og tilsvarende lav verdi for bar jord. Ved å dividere differansen med summen får vi normalisert verdiene, slik en bedre kan sammenligne verdien over hele bildet og mellom ulike bilder. WDRVI bruker en skalar α som skal ha en verdi mellom 0 og 1. Vi har brukt verdien 0,2, og det fører til at indeksen får større følsomhet for små endringer. Vi har brukt følgende variabler for å teste om satellittbildene kan brukes til å detektere askeskuddsyke:

- $NDVI_{2014} - NDVI_{2013}$
- $WDRVI_{2014} - WDRVI_{2013}$

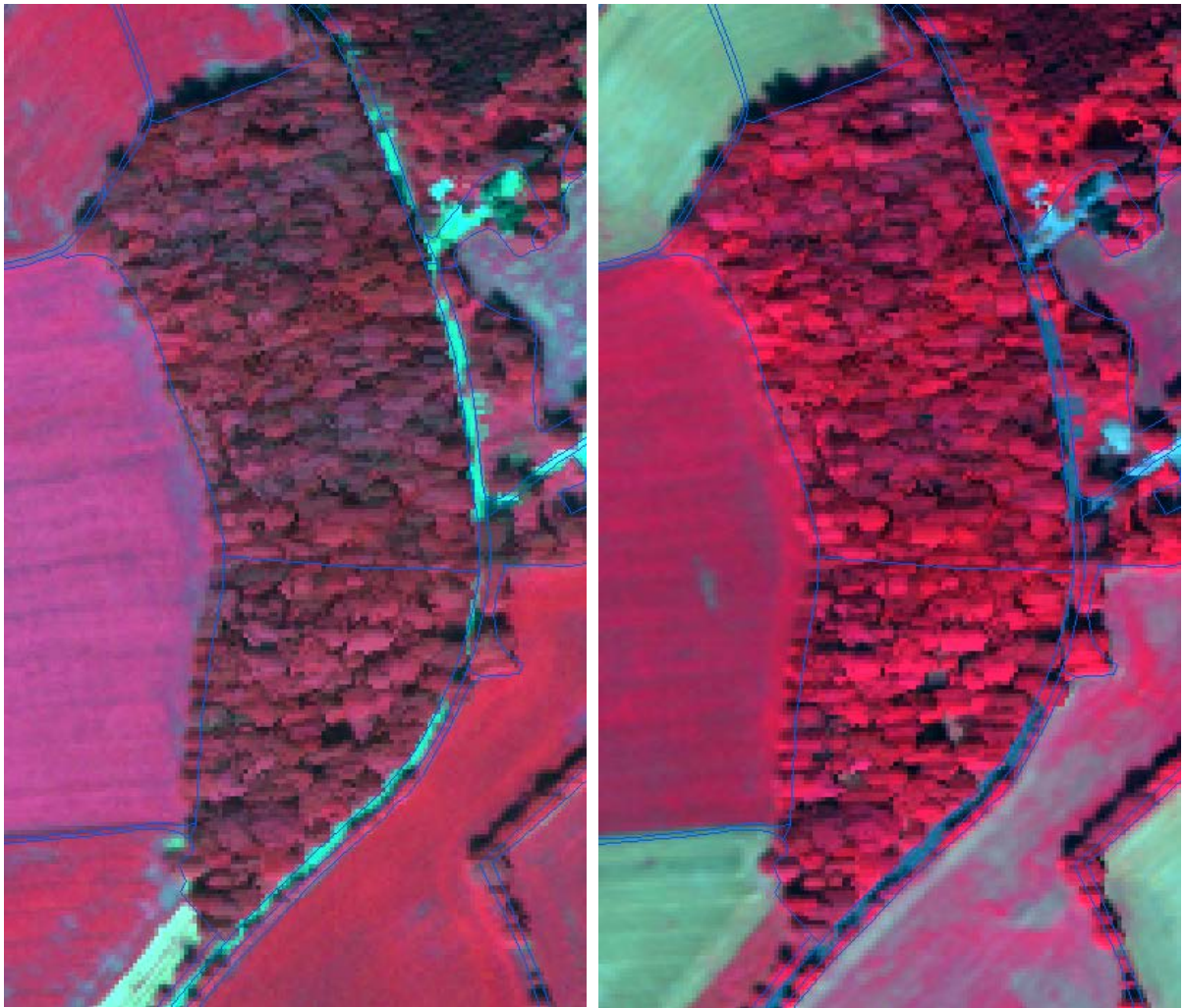


Figur 4 De fire kanalene til WorldView-2 og spektralsignaturene til grønn vegetasjon og bar jord.

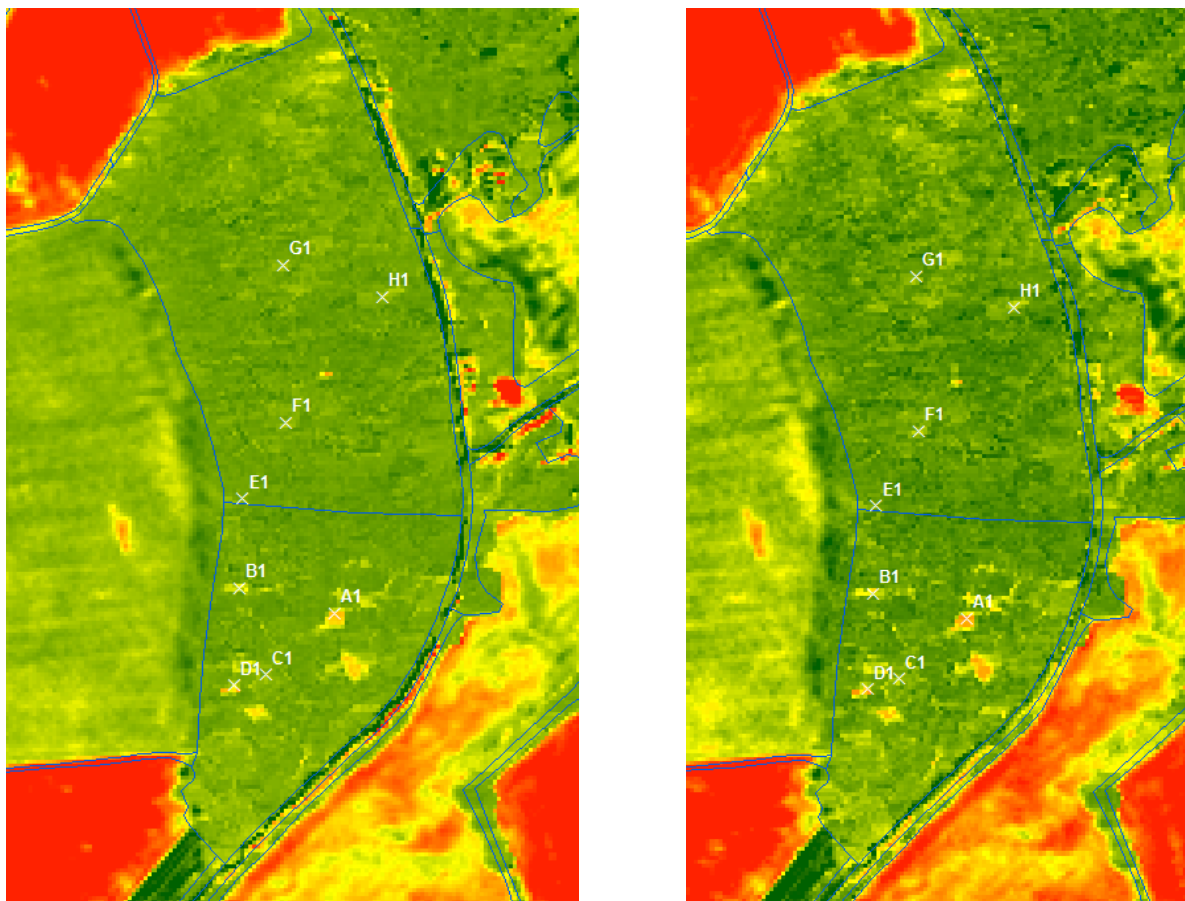
5.3. Resultater

I bildet under ser vi opptak fra WorldView-2 fra 2013 og 2014 over askebestandet. Figurgrenser fra AR5 er lagt over for å vise grensen mellom skogdelen og beitedelen, som ligger nederst i sør. Med det blotte øyet er det ikke mulig å se endringer på enkelttrær. Men vi ser at vegetasjonen rundt har endret seg. Jordene har en annen farge. Dette skyldes en varm og tørr sommer i 2014 og tidlig innhøsting av korn. I tillegg ser vi i

beitedelen i noen få lysåpninger bunnvegetasjonen, som har en annen fargetone i 2014 enn i 2013.

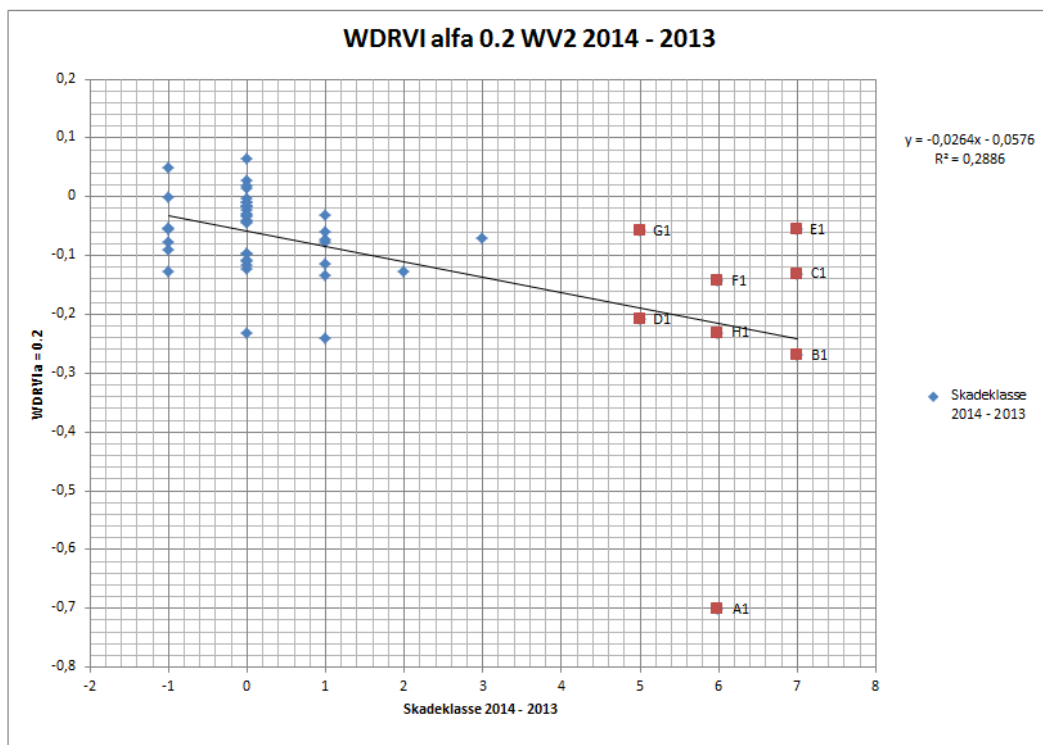


Figur. WorldView-2 fra 2013 og 2014.

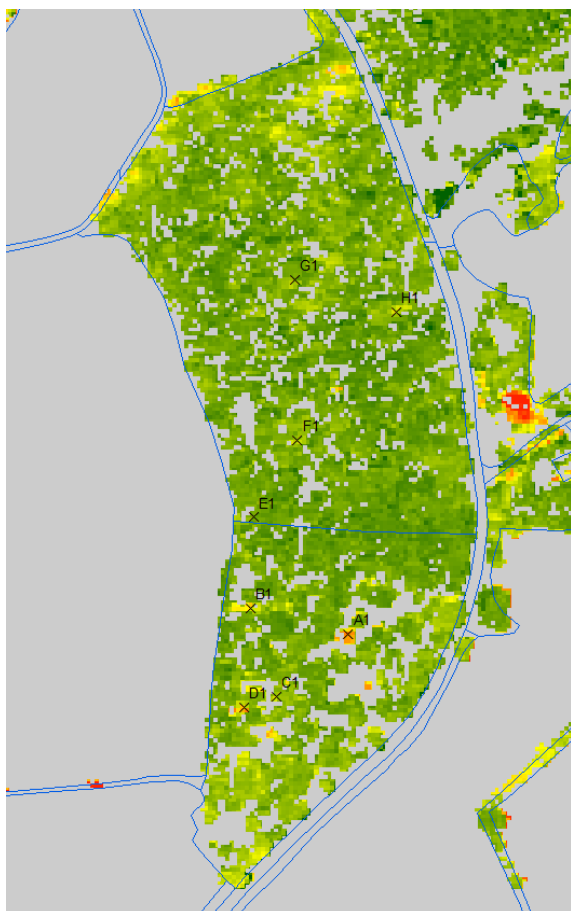


Figur. $NDVI_{2014} - NDVI_{2013}$ og $WDRVI_{2014} - WDRVI_{2013}$

Nedenfor vises et plott med data for alle de 48 forsøkstrærne, hvor endring i vegetasjonsindeks er plottet mot endring i skadeklasse registrert i felt. Trærne som har blitt drept med glyfosat er vist i rødt. De har hatt en sterkt endret skadeomfang fra 2013 til 2014 og en betydelig nedgang i vegetasjonsindeks kunne ventes for dem. Dette ble imidlertid i liten grad tilfelle, noe som betyr at vi i liten grad kunne detektere disse radikale skadene med de høyoppløselige satellittdataene vi brukte i dette forsøket. Vi ser at med unntak av treet A1, skiller ikke de andre syv glyfosat-trærne seg vesentlig fra resten av forsøkstrærne. Nedgangen i vegetasjonsindeks var liten, til tross for at disse trærne ble drept og i 2014 ikke hadde noen blader. Det er en tendens til at trærne beitedelen hadde større nedgang i indeksen enn trærne i skogdelen. Forklaringen på forskjellen mellom beitedelen og skogdelen er trolig virkningen fra bunnvegetasjonen. I 2014 var det varmt og tørt og gresset ble brunsvidd. Dette har trolig medvirket til at glyfosat-trærne på beitedelen fikk en større nedgang i indeksen enn glyfosat-trærne i skogdelen. Med andre ord, de tydeligste forskjellene vi har oppdaget skyldes endring i bunnvegetasjonen og ikke i trekronene. Forsøket viser at vi ikke kan oppdage endringer i enkelttrær forårsaket av askeskuddsyke. Figuren viser resultatet for WDRVI, men resultatet for NDVI var likedan.



Figur. Alle 48 forsøkstrærne og glyfosat-trærne markert i rødt. Kun A1 skiller seg klart ut, trolig fordi bunnvegetasjonen skinner tydelig igjennom og var grønn og frodig i 2013 og gulsvidd i 2014.



Figur. Bildet viser WDRVI_2014 – WDRVI_2013 for trærne i forsøksområdet. Dette er gjort ved å maskere bort pixler som hadde en høyde lavere enn 5 m over bakken, hvor pixelenes høyde ble tatt fra overflatemodellen laget med laserskanning. Grønne toner viser liten eller ingen endring, mens gule og røde toner viser negativ endring. Grå toner er områder som representerer bakken.

6 PROSESSERING, DATAFLYT, WEB-LØSNING

6.1. Innledning

Vi ønsker at klassifisering av satellittbilder og lagring av skogskade-informasjon kan gjøres automatisk i et datasenter, hvor de aktuelle satellittbildene allerede er lastet ned og lagret, med algoritmer og rutiner utviklet av oss. Dette vil gi resultater kort tid etter opptaket og reduserer behovet for overføring av store mengder satellittdata.

6.2. Materiale og metoder

Den viktigste forutsetning for å få til dette er at satellittbildene blir pre-prosessert til en standardisert form (jf. utredning om Nasjonalt satellittdatasenter) som grunnlag for automatisk klassifisering av endringer. Videre vil klassifiserings-rutiner basert på åpen programvare være enkle å installere og kjøre i et slikt datasenter, og det påløper heller ikke kostnader til spesifikk programvare. I tillegg må overføring av data være basert på standard grensesnitt som passer i alle GIS-verktøy.

I testprosjektet er forutsetninga om pre-prosesserte bilder ikke innfridd, så vi har gjort klassifisering internt på et bildepar og overført resultatbildet til KSAT. I tillegg har vi lagd enkle rutiner for å trekke ut vektordata (polygoner) med ulike skade-klasser og lagre disse i en database. Rutinene er deretter installert og kjørt hos KSAT og resultatet er gjort tilgjengelig som WMS- og WFS-tjenester (standardiserte formater for overføring av kartdata over Internett).

Vi har integrert WMS-tjenesten i en testversjon av Skog og landskaps Internett-side for visning av kartdata, dvs Kilden. WFS-tjenesten er brukt til å laste ned vektordata og legge dem inn i database hos Skog og landskap.

6.3. Resultater

Vi har demonstrert at det er enkelt å kjøre beregningsrutinene for satellittbildene eksternt, dvs. i dette tilfellet hos KSAT i Tromsø. Vi kan fra Skog og landskap vise resultatene i form av nye data på våre Internettsider. Denne dataflyten fungerer. Når vi har overført vektordataene til våre databaser kan de bearbeides og brukes til ulike formål.

6.4. Diskusjon

For å lage en operativ tjeneste er viktigste forutsetning at utvalgelse og standardisering av satellittbilder kan gjøres effektivt (helst automatisk umiddelbart etter nedlasting til bakkestasjon). Uten dette vil det være krevende å utvikle automatiske rutiner for deteksjon og klassifisering av ulike typer endringer i bilder med ulike lys- og topografiske forhold.

Den videre databehandling vil være basert på kjente metoder, men krever en gjennomtenkt systemutvikling. Overføring av dataobjekter med klassifiserte hogstområder og skadeområder til skogskadedatabasen eller lister med hogstflater til foryngelseskontroll er mulige anvendelser.

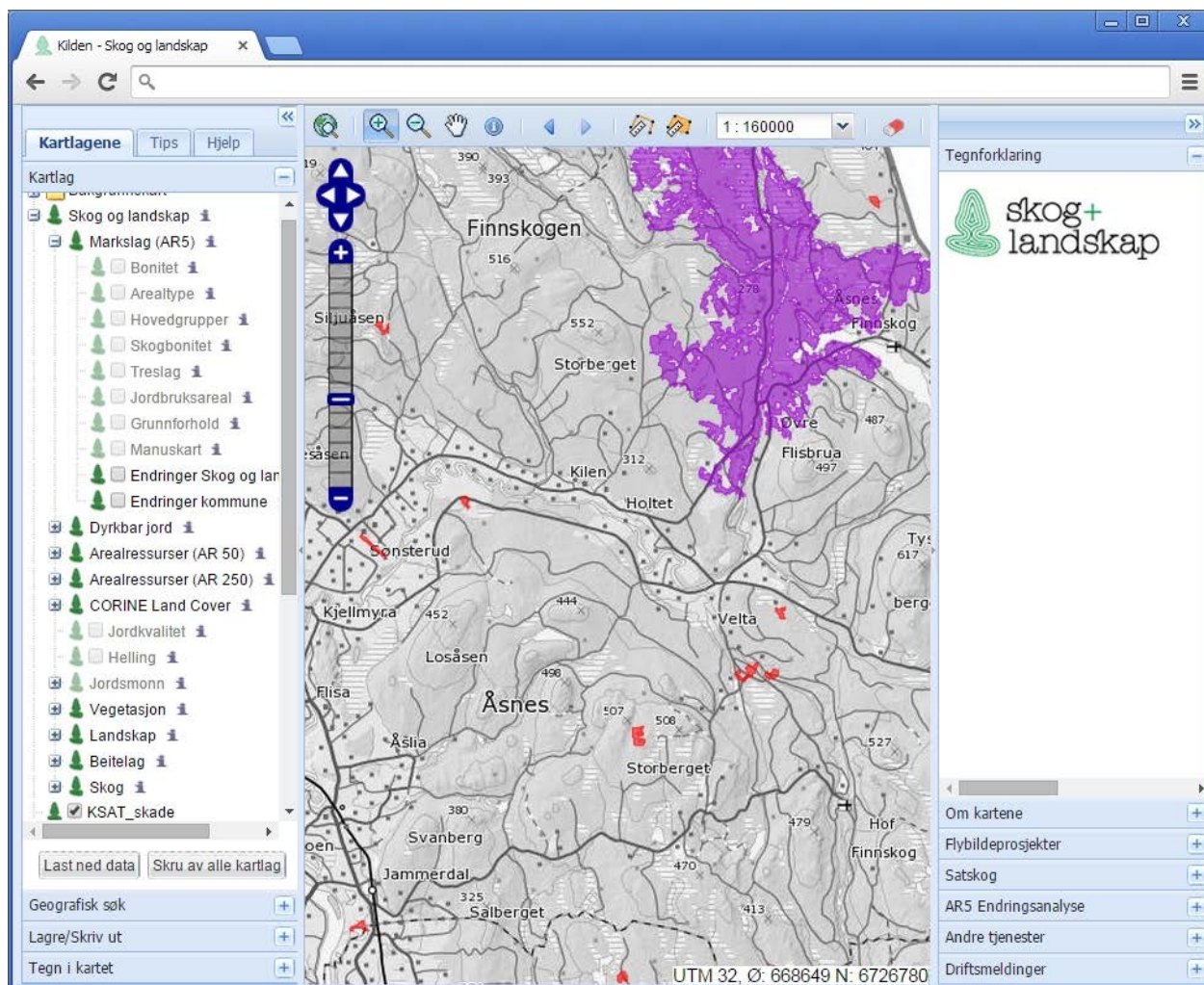


Fig. 7. WMS fra KSAT integrert i Kilden.

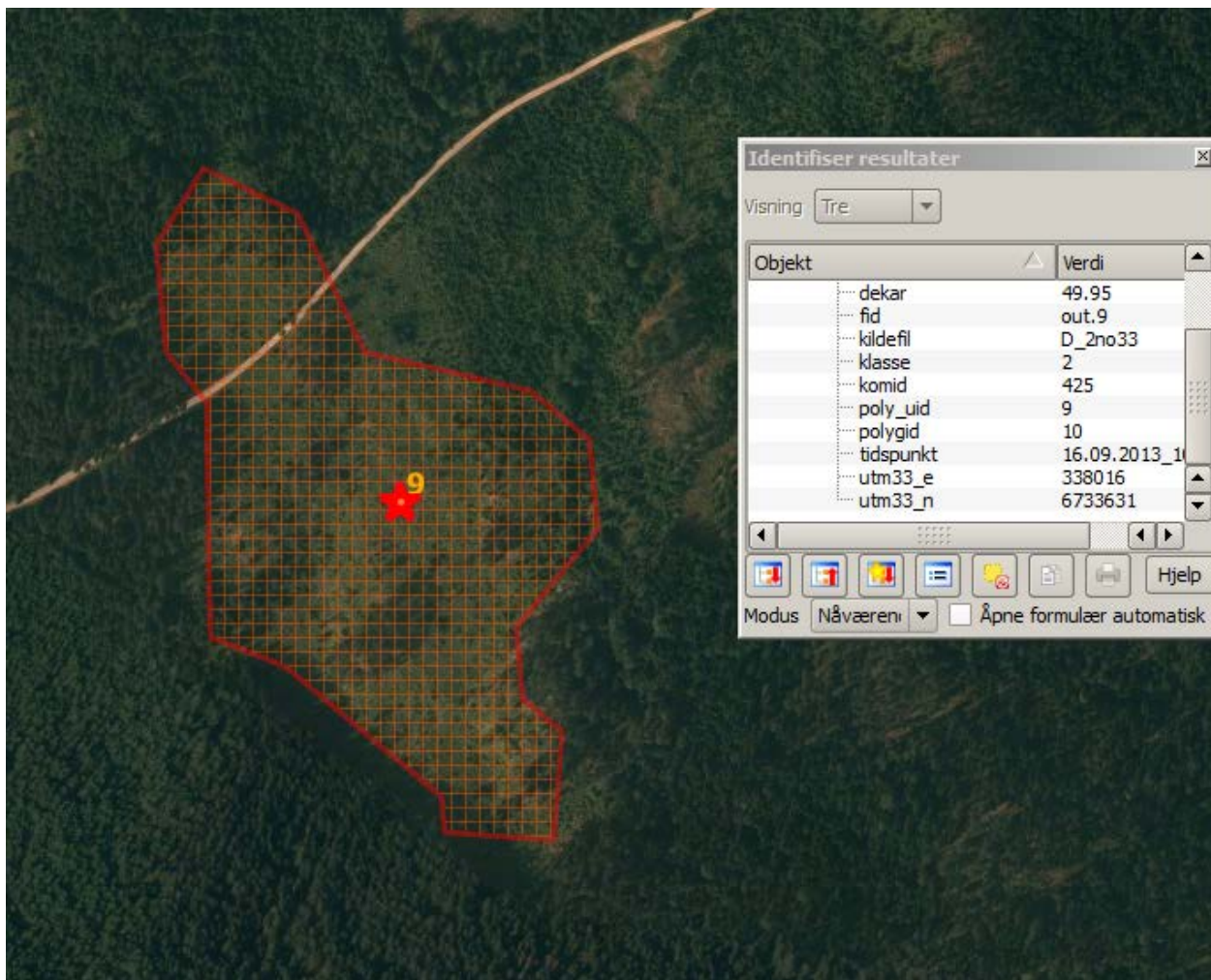


Fig. 8. Areal klassifisert som hogstflate. Flybilde fra juli 2013 i bakgrunnen.

7 SAMLET VURDERING

Samlet sett har prosjektet vist at satellittdata har et potensial for kartlegging av skogskader og hogst. Samtidig har prosjektet vist at det er noen begrensninger ved bruk av satellittdata. For det første er mørketid en begrensning ved bruk av optiske data, som Landsat og Sentinel-2. dette vil særlig være tilfelle vinterstid, og særlig i Midt- og Nord-Norge pga lav sol og kort dag, og på Vestlandet og andre steder med mye topografi (skyggeeffekter i dalsider). Stormskader på skog opptrer ofte vinterstid, og problemene med lite lys kan derfor være en betydelig begrensning for deteksjon av slike skader med slike satellittdata. I de store skogstrøkene på Østlandet vil dette problemet være mindre, ettersom det er mer sollys her vinterstid, og fordi terrenget jevnt over er jevnere. For det andre er optiske data verdiløse der det er skyet vær, og vi har ofte et betydelig skydekke i Norge, og særlig i de nevnte delene av landet. Sentinel-2 vil gi hyppige data, og dette vil redusere skyproblemet vesentlig sammenliknet med Landsat. Snødekket vil også variere gjennom vinteren, og endringsdeteksjon må være basert på bilder tatt med like snøforhold, dvs. at de samme områdene er dekket av snø i begge bildene i et bildepar. Sentinel-2 vil også ha høyere oppløsning enn Landsat, og dette vil gjøre deteksjon av stormskader mer nøyaktig. Alt i alt vil Sentinel-2 derfor ha et betydelig potensial for stormskade-kartlegging, men i en del tilfeller vil

man måtte vente i flere uker eller i verste fall opptil 3 måneder før man får data av tilfredsstillende kvalitet.

For en årlig kartlegging av nye snauflater tyder resultatene på at Sentinel-2 vil være svært velegnet for dette formålet. Man er da ikke avhengig av rask kartlegging slik som ved skogskader. Dette gjør at man kan velge data tatt opp om sommeren og de mest skyfrie opptakene. Dersom Sentinel-2 dataene blir pre-prosessert slik at man får piksler som ligger likt justert fra bilde til bilde, så kan man også lage kompositt-bilder ved hjelp av skyfrie piksler fra mange bilder. Hovedproblemet med dette er at dagens snauflater ofte har en god del gjenstående trær, og dette vil bidra til å forstyrre klassifikasjonen. Det er flere alternative indekser som kan benyttes til snauflatedeteksjon.

Skogskader som askeskuddsyken kan vanskelig, eller overhode ikke, detekteres med satellittdata. Dette var ikke overraskende. Vi hadde likevel regnet med at mulighetene skulle være noe bedre enn det vi oppnådde i dette prosjektet. Vi benyttet her de best tilgjengelige satellittdata, dvs. høyoppløselige data, og vi prosesserte dataene på best mulig måte ved nøyaktig kalibrering og nøyaktig georeferering (ortorektifisering) ved å bruke en overflatemodell generert med laserskanning. Vi simulerte også en rask skadeutvikling ved å drepe en del trær. Til tross for dette var det tilnærmet umulig å detektere skader. Hovedårsaken synes å være at skadene opptrer som moderate, og at undervegetasjonen i stor grad maskerer bort utglisningen i trekronene sett ovenfra.

Radardata med 3D informasjon er en alternativ teknologi til konvensjonelle typer optiske data som fra Landsat. Vi har her brukt data fra Tandem-X, dvs såkalt interferometrisk SAR (InSAR). Dette er på alle måter en helt komplementær metode sammenliknet med optiske data, og på mange måter også en overlegen teknologi. Resultatene viser at hogst og stormskader kan detekteres tilfredsstillende ut fra høydeendringer, dvs. som høydenedgang. En nedgang i høyde er helt komplementært til en endring i spektrale egenskaper i optiske data. Man har da ikke problemer med at undervegetasjon sees gjennom, og mellom, trekronene, og forstyrrer tolkningen av endringer i tre-sjiktet. Det samme gjelder langt på veg snøforhold, som vil ha liten betydning. To andre fordeler gjør også metoden komplementær og fordelaktig. Radar ser gjennom skydekket, og den er basert på egen-utsendte radarpulser i stedet for reflektert sollys. Dermed vil metoden fungere i all slags vær og uansett årstid over hele landet. For deteksjon av stormskader og hogst er det to tilleggsfordeler ved bruk av Tandem-X eller liknende 3D SAR data. Man kan også bruke dataene til å kartlegge risiko for stormskader, og sannsynlig utbredelse av stormskader i forbindelse med en gitt storm. Årsaken til det er at slik risiko er langt på veg styrt av topografi, trehøyde og plassering av skogkanter i terrenget. All denne informasjonen kan man få fra Tandem-X data. Den andre tilleggsfordelen er at den registrerte høydenedgangen i Tandem-X dataene kan regnes om til estimert volum nedblåst skog, eller estimert volum avvirket skog. Denne metoden har også sine begrensninger. For det første ser disse sensorene på skrå ned mot jordoverflaten, og det skaper feil og manglende data i bratt terreng, pga. geometriske problemer og radarskygge. Dette vil ikke utgjøre store deler av skogarealet i Norge, men særlig på Vestlandet vil det stedvis være et betydelig problem. En annen begrensning er at man må ha et utgangspunkt å sammenlikne mot, dvs. man må ha en overflatemodell tatt opp før stormen inntraff eller hogstene ble utført. Dette betyr at for en operasjonell anvendelse av InSAR eller andre typer 3D SAR, så ville det være nødvendig å dekke skogarealet i Norge med jevne mellomrom, som for eksempel hvert år, eller hvert 3. – 5. år, for å ha en relativt ny overflatemodell å sammenlikne mot. Problemet her er at Tandem-X ikke dekker hele landarealet i verden på en systematisk og regelmessig måte. Opptak må bestilles, og de er kommersielle, slik at det påløper en kostnad. Det ville derfor være en fordel om man hadde andre anvendelser av heldekkende Tandem-X data for skogbruket, slik at kostnadene kunne dekkes av andre produkter basert på disse dataene. Det mest nærliggende her er å benytte Tandem-X for skogressurs-kartlegging med jevne mellomrom, inkludert oppdatering av skogbruksplaner. I tillegg kan dataene ha verdi for andre brukere av topografi- og skogdata,

som forsvaret, kartverket og vegvesenet. Det er også en ulempe med teknologi som Tandem-X at framtida er usikker. per idag har Tandem-X en levetid til 2017, men dette kan enkelt utvides til 2020. Det er også flere likende satellittmisjoner på idé- eller planleggingsstadiet, inkludert en slags tandem-misjon med Sentinel-1, med SAOCOM og en mulig Tandem-L misjon. Disse misjonene vil være enda mer velegnet enn Tandem-X, fordi de enten vil være kostnadsfrie og gjøre rutineopptak, eller fordi de bruker en lengre bølgelengde som egner seg bedre for volum og biomasse estimering i skog.

8 MACHINE LOG FILE PROCESSING

Log files from the machine contain point geometry with their spatial position together with attributed production and machine data. This information is used to classify the stand polygons by assigning the logical attribute that determines whether a forest operation was executed or not. Also information on operation beginning and ending time is assigned.

Model builder is used to process two input layers, which is stand polygon and machine log points. Points have an attributed value SOG (speed over ground) that describes the machine motion in m/s. We use this information to remove all the points that have the value above the threshold which by default is 1. By this, we remove all the points that account for machine fast motion which means that it was relocating or transporting but not operating. The remaining points have now assigned stand attributes by their spatial location. Points need to have an area assigned since the machine is operating within a range of boom. Therefore point buffering is applied with a default value of 4 meters radius and then the resulting buffers are dissolved using previously added unique stand ID. This process creates an area of machine operation coverage, and by dissolving buffers we remove significant point overlaps, i.e. when machine is standing in place and adding new log point. In the end, every point has the area of stand on which it is as well as the area of harvested stand area. Proportion of these two values gives the percent value of harvest in the stand.

Further outlier removal is based on a threshold value of a fraction. Every point holds date information. Therefore we can calculate how many days are used for harvesting in each stand by verifying the abundance of the points holding the same dates. Fraction of points with a certain date is a filtering value for outliers. If a point holds a date which fraction is below a predefined value than it is removed as being insignificant. Those might be points that were not filtered out by SOG value, points from adjacent stands (since the GPS accuracy is low) or points from adjacent road. After this stage, points are summarized by stand ID, max and min date is assigned, and a logical classification attribute is assigned based on classification threshold. Percent value of harvest in the stand is an explicit classification field. Those features are joined into existing stand polygons, and used for further analysis.

9 KONLUSJONER

1. Stormskader i skog kan bare til en viss grad detekteres tilfredsstillende og innen rimelig tid (2 uker) med Landsat eller Sentinel-2. Det vil fungere i de tilfellene der
 - a. skadene er sterke, dvs tilnærmet alle trær er blåst ned, og
 - b. skadeområdet dekker et areal av en viss størrelse (minimum 10 daa),
 - c. skadene skjer utenfor mørketida om vinteren, og
 - d. det ikke er vedvarende skydekke.

2. Snauhogst kan detekteres tilfredsstillende med Landsat eller Sentinel-2. For dette formålet trenger man ikke en rask deteksjon, og det er uproblematisk å vente til sky- og lysforhold er tilfredsstillende.
3. Stormskader og hogst kan detekteres tilfredsstillende med Tandem-X, dersom man har en høydemodell fra før stormen.
4. Askeskuddsyke kan ikke detekteres med satellitt, fordi skadene i begynnelsen ofte er svake, de utvikler seg langsomt og de varierer mye fra tre til tre.
5. Automatisk prosessering av satellittbilder, og direkte overføring av resultatene over Internett for visning i Skog og landskaps Kilden krever noe systemutvikling, men er ikke problematisk dersom det er basert på åpne verktøy (Open source).

REFERANSER

manuelt innlagt:

- Solheim, H., Timmermann, V., Børja, I. & Hietala, A.M. 2011. En liten sekksporesopp, *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, truer aska i Europa. *Agarica* 30: 81-88.
- Solheim, H. & Timmermann, V. 2012. Askeskuddsjuke erobrer Vestlandet. *Park & Anlegg* 11(9): 18-19.
- Timmermann, V., Solheim, H., Clarke, N., Aas, W. & Andreassen, K. 2013. Skogens helsetilstand i Norge. Resultater fra skogskadeovervåkingen i 2012. Rapport fra Skog og landskap 12/13: 32 s.
- Timmermann, V., Andreassen K., Clarke N. Nordbakken J.F., Røsberg I., Solheim H., Aas W. 2014. Skogens helsetilstand i Norge - resultater fra skogskadeovervåkingen i 2013. Rapport fra Skog og landskap 13/14: V, 43 s.
- Zhao, Y.-J., Hosoya, T., Baral, H.-O., Hosaka, K. & Kakishima, M. 2012. *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, the correct name for *Lambertella albida* reported from Japan. *Mycotaxon* 122: 25-41.
- Zheng H.-D & Zhuang, W.-Y. 2013. *Hymenoscyphus albidoides* sp. nov. and *H. pseudoalbidus* from China. *Mycological Progress* DOI 10.1007/s11557-013-0945-z.
- Baumann, M., M. Ozdogan, P.T. Wolter, A. Krylov. N. Vladimirova and V.C. Radeloff, 2013. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote Sensing of Environment* 143 (2014) 171 – 179, Elsevier, p. 171.
- Cohen, W.B., Fiorella, M., Gray, J., Helmer, E. and Anderson K., 1998. An efficient and accurate method for mapping forest clear cuts in the Pacific Northwest using Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, 293 – 300.
- Coppin, P. R. and Bauer, M. E., 1994. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest-cover change features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 918 – 927.
- Donoghue, D.N.M., Watt, P.J., McManus, K.B., 2005. Remote Sensing of Growth Dynamics of Sitka Spruce Plantation Forests in Upland Britain. *Proceedings of ForestSat 2005 in Borås*, National Board of Forestry, p. 77.
- Elowitz, Mark R., 2013 What is Imaging Spectroscopy (Hyperspectral Imaging)?, from www.markelowitz.com/Hyperspectral.html

Hardisky, M.A., V. Klemas and R.M. Smart, 1983. The influences of soil salinity, growth form, and leaf moisture on spectral reflectance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, pp. 77 – 83.

Hicke, J. A., Allen, C. D., Desai, A.R., Dietze, M. C., Hall, R. J., Hogg, E. H., et al., 2012. Effects of biotic disturbances on forest carbon cycling in the United States and Canada. *Global Change Biology*, 18, 7 – 34.

King, D.J., Olthof, I., Pellikka, P.K.E., Seed, E.D. and Butson, C., 2005. Modelling and Mapping Damage to Forests from an Ice Storm Using Remote Sensing and Environmental Data. *Natural Hazards*, 35, Springer, 321 – 342.

Lymburner, L., Beggs, P.J., Jacobson, C.R., 2000. Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp. 183 – 191.

May, J., 2014. Semi-automatic Storm Damage Detection in Western Norway's Spruce Forests Using Landsat 7 and Comparing Natural Indices in a Change Detection. *HNEE & SGGW*, p. 61.

lagt inn med endnote:

Lynch, J., et al. (2013). "Choose satellites to monitor deforestation." *Nature* **496**(7445): 293-294.

Solberg, S., et al. (2013). "Monitoring spruce volume and biomass with InSAR data from TanDEM-X." *Remote Sensing of Environment* **139**: 60-67.

Solberg, S., et al. (2014). "Forest biomass change estimated from height change in interferometric SAR height models." *Carbon Balance and Management* **9**(5).

Willén, E. and M. Rosengren (2003). Satellitdata för skoglig planering. Rapport inom RESE – Remote sensing of the environment. Stockholm, Metria.