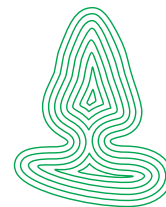


Oppdragsrapport  
fra Skog og landskap

02/2014



skog+  
landskap

NORSK INSTITUTT FOR  
SKOG OG LANDSKAP

---

## KARTLEGGING AV STORMSKADER PÅ SKOG MED NY TEKNOLOGI

---

Svein Solberg, Tor Peder Lohne

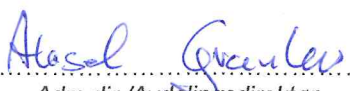




# Rapport til ekstern oppdragsgiver fra Skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås. Telefon 64 94 80 00

www.skogoglandskap.no

<b>Tittel:</b> Kartlegging av stormskader på skog med ny teknologi	<b>Nr. i serien:</b>	<b>Dato godkjent av oppdragsgiver:</b>
<b>Forfatter:</b> Svein Solberg, Tor Peder Lohne		<b>Antall sider:</b> 20
<b>Forfatterens kontaktinformasjon:</b> sos@skogoglandskap.no		
<b>Oppdragsgiver:</b> Skogbrand forsikring	<b>Prosjektnr. Skog og landskap / Kontraktsdato</b>  <b>347028</b>	<b>Tilgjengelig:</b> Lukket: Begrenset: Åpen: X
<b>Andel privat finansiering:</b>		
<b>Sammendrag:</b>  Skogbrand forsikring har uttrykt behov for å få oversikt over aktuell ny teknologi for å kartlegge skadeomfang i skog etter store stormkatastrofer. Vi gir en oversikt over de mest aktuelle fjernmålingsbaserte metodene og beskriver de forskjellige plattformenes og sensorenes egenskaper, samt forklarer de forskjellige teknikkene som benyttes. Videre gjør vi en vurdering av de forskjellige mulighetene opp imot tilgjengelighet og praktisk bruk, presisjon og nøyaktighet, nasjonal vs. regional bruk, kostnader pr daa, leverandører og samarbeidspartnere. I tillegg til fjernmåling, har vi beskrevet muligheten for å lage sannsynlighetsmodeller for å anslå berørte områder, basert på risikofaktorer som terreng- og jordbunnsforhold, skogvariable som treslag og trehøyde, og vindprognoser eller -observasjoner.  Avhengig av omfang av stormskader vil alle beskrevne fjernmålingsmetoder ha utfordringer med å skaffe full oversikt innen 2-4 dager. Vi foreslår derfor å lage en grov, overordnet kartlegging av skadeomfang etter 1-2 dager, basert på sannsynlighetsmodeller. Behovet for mer detaljert og lokal kartlegging etter 1-2 uker anbefales gjort med Sentinel-2 optiske satellittdata, subsidiært med en SAR-metode dersom det ikke er tilstrekkelige værforhold for optiske sensorer. Fly / helikopter / drone er et supplement som kan brukes til å sjekke ut enkeltområder, og kan spille en rolle for kalibrering og validering av metodene over.		
<b>Ansvarlig signatur</b> Jeg innestår for at denne rapporten er i samsvar med oppdragsavtalen og Skog og landskaps kvalitetssystem for oppdragsrapporter.   ..... Adm.dir./Avdelingsdirektør		



Oppdragsrapport  
fra Skog og landskap

02/2014

---

## KARTLEGGING AV STORMSKADER PÅ SKOG MED NY TEKNOLOGI

---

Svein Solberg, Tor Peder Lohne

Omslagsfoto: Stormfelling på Østlandet etter orkanen Dagmar vinteren 2011-2012. Nordvest i  
Brandbukampen, ca. 6 km nord for Brandbu sentrum.  
Foto: Anders Møyner Eid Hohle, Skog og landskap

---

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

---

## FORORD

Denne rapporten gir oversikt over, vurderer og anbefaler forskjellige opplegg for kartlegging av stormskader med ny teknologi.

Rapporten er utgitt av Norsk Institutt for Skog og Landskap på oppdrag fra Skogbrand forsikring.

## SAMMENDRAG

Skogbrand forsikring har uttrykt behov for å få oversikt over aktuell ny teknologi for å kartlegge skadeomfang i skog etter store stormkatastrofer. Vi gir en oversikt over de mest aktuelle fjernmålingsbaserte metodene og beskriver de forskjellige plattformenes og sensorenes egenskaper, samt forklarer de forskjellige teknikkene som benyttes. Videre gjør vi en vurdering av de forskjellige mulighetene opp imot tilgjengelighet og praktisk bruk, presisjon og nøyaktighet, nasjonal vs. regional bruk, kostnader pr daa, leverandører og samarbeidspartnere. I tillegg til fjernmåling, har vi beskrevet muligheten for å lage sannsynlighetsmodeller for å anslå berørte områder, basert på risikofaktorer som terreng- og jordbunnsforhold, skogvariable som treslag og trehøyde, og vindprognoser eller -observasjoner.

Avhengig av omfang av stormskader vil alle beskrevne fjernmålingsmetoder ha utfordringer med å skaffe full oversikt innen 2-4 dager. Vi foreslår derfor å lage en grov, overordnet kartlegging av skadeomfang etter 1-2 dager, basert på sannsynlighetsmodeller. Behovet for mer detaljert og lokal kartlegging etter 1-2 uker anbefales gjort med *Sentinel-2* optiske satellittdata, subsidært med en SAR-metode dersom det ikke er tilstrekkelige værforhold for optiske sensorer. Fly / helikopter / drone er et supplement som kan brukes til å sjekke ut enkeltområder, og kan spille en rolle for kalibrering og validering av metodene over.

### Nøkkelord:

Skogskader, fjernmåling av skogskader, geografiske informasjonssystemer, satellitter, fly, storm, stormskader

# INNHold

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
1. Innledning .....	1
2. Oversikt over metoder .....	1
2.1. Sannsynlighetsmodeller versus fjernmåling .....	1
2.2. Fjernmålingsplattformer .....	2
2.3. Fjernmålingssensorer (optisk, laserskanning og SAR) .....	3
2.4. Endringsdeteksjon versus post-storm deteksjon .....	4
2.5. 2D versus 3D data .....	4
3. Vurdering av operasjonelle alternativer.....	5
3.1. Alternativer .....	5
3.1.1. Alt.1. Modellert sannsynlighet .....	5
3.1.2. Alt.2. MODIS .....	6
3.1.3. Alt.3. Sentinel-2 .....	6
3.1.4. Alt.4. Høyoppløselige satellittbilder.....	7
3.1.5. Alt.5. Sentinel-1 .....	8
3.1.6. Alt.6. PALSAR .....	8
3.1.7. Alt.7. 3D SAR.....	8
3.1.8. Alt.8. Fly-obs .....	9
3.1.9. Alt.9. Fly 2D .....	10
3.1.10. Alt.10. Fly 3D .....	10
3.1.11. Alt.11. Drone.....	10
3.2. Løsninger som kan dekke beovene for rask kartlegging og estimering av omfang .....	11
3.2.1. 1. Status for tilgjengelighet og praktisk bruk.....	11
3.2.2. 2. Presisjon/nøyaktighet .....	12
3.2.3. 3. Nasjonal og regional bruk .....	12
3.2.4. 4. Kostnader per da .....	12
3.2.5. 5. Leverandører og samarbeidspartnere .....	12
4. Diskusjon .....	14
4.1. Grov, regional kartlegging etter 1-2 dager .....	14
4.2. Nøyaktig, lokal kartlegging etter 1-2 uker .....	14
4.3. Behov for nærmere undersøkelser .....	15
5. Konklusjon .....	16
6. Etterord .....	16
Litteratur .....	17





# 1. INNLEDNING

Fra Skogbrand forsikring har vi fått følgende kravspesifikasjon på kartleggingsmetoder med fjernmåling eller annen ny teknologi:

*Det er behov for raskest mulig å kartlegge samlet skadeomfang etter store stormkatastrofer. Det vil være behov for kartlegging i flere faser. Det første overblikket/anslaget bør komme etter 2-4 dager. Dette bør beskrive berørte regioner og grovt skadeomfang. Det neste anslaget bør komme etter 1-2 uker og inneholde vesentlig bedre presisjon på geografi og skadeomfang. Kartleggingen er viktig som grunnlag for planlegging og organisering av opprydningsarbeid etter stormen. Både myndigheter, skogaktører og Skogbrand vil ha behov for slike data raskt.*

1. *Beskrivelse av tilgjengelig teknologi som kan benyttes til formålet - satellitt, fly, helikopter, droner*
2. *Kort vurdering av de teknologiske mulighetene beskrevet over knyttet til:*
  - a. *Status for tilgjengelighet og praktisk bruk*
  - b. *Presisjon/nøyaktighet*
  - c. *Nasjonal og regional bruk*
  - d. *Kostnader pr daa*
  - e. *Leverandører og samarbeidspartnere*
3. *Behov for videre vurderinger som grunnlag for et oppfølgingsprosjekt.*

## 2. OVERSIKT OVER METODER

Det er mange egenskaper man må ta stilling til ved valg av metode. Vi gir her en oversikt over alternativer for ulike valg.

### 2.1. Sannsynlighetsmodeller versus fjernmåling

Denne studien har hovedfokus på fjernmåling. Vi tar imidlertid med et annet alternativ som også kommer i kategorien ny teknologi, - beregning av sannsynlighet for skader i et gitt område uten at man gjør registreringer. Vi tar det med her fordi det har en større mulighet for raskt å gi en grov oversikt på regional skala. En modell predikerer sannsynlighet for stormskader på skog ved hjelp av en del input-variable og en matematisk modell. Sannsynligheten for skader avhenger av vindretning og vindstyrke, og dette vil være to viktige, meteorologiske input-variable som kan tas enten fra et værvarsel eller fra værddata like etter en storm. I tillegg må modellen ha input-variable som sier noe om risikoen på voksestedet (terrengforhold, jordbunnsforhold) og, hvis mulig, skogvariable (treslag, trehøyde og andre variable).

Muligheten for å raskt generere sannsynlighet for skader ligger i at disse risikofaktorene for voksestedet og skogen er beregnet på forhånd slik at man så fort man har et datasett for vind fra et værvarsel eller etter en storm kan kjøre modellen og generere kart og estimert skadevolum. Det finnes modeller for utenlandske forhold for å beregne slik risiko. Mest kjent er den svenske WINDA-modellen (Blennow & Sallnäs 2004) og den skotske ForestGales-modellen (Quine & White 1993). Det arbeides nå med å utvikle en kombinasjon av disse to modellene, den såkalte Winda-Gales modellen (Blennow & Gardiner 2009). Før disse

modellene kan tas i bruk i Norge bør de testes og eventuelt tilpasses særegne norske forhold som tynt jorddekke og mye topografi.

Det er også trolig et potensiale for å kombinere sannsynlighetsmodeller og fjernmåling, dvs ved at en sannsynlighetsmodell kan bidra til å gjøre resultatene av en fjernmåling bedre. En enkel kombinasjon som vi kan tenke oss er at vi har et kart over granskog, eller over gammel granskog, som vi kan bruke som en maske på fjernmålingsdataene for å redusere mengden av feilklassifiseringer ('false alarms') fra fjernmåling. En mer avansert metode vil være å legge inn sannsynlighetsverdier (*a-priori*) inn i fjernmålingsberegningene basert på vinddata, topografi, løsmasser og skoglige forhold.

Etter orkanen Katrina i USA gjennomførte US Forest Service en test for å vurdere ulike alternativer for rask kartlegging (Fig. 1). Alternativ 1 var en enkel sannsynlighetsmodell for stormskader basert på kart for utbredelse av skogtyper og terrenghelling, samt vindstyrke under Katrina. Alternativ 2 var en semi-automatisk deteksjon av skader med satellittdata fra sensoren *MODIS*, og alternativ 3 var en manuell inntegning av skadeområder direkte fra cockpit i et fly på kartdata vist på en digitaliseringsskjerm, såkalt *Digital Aerial Sketch-Mapping (DASM)*.

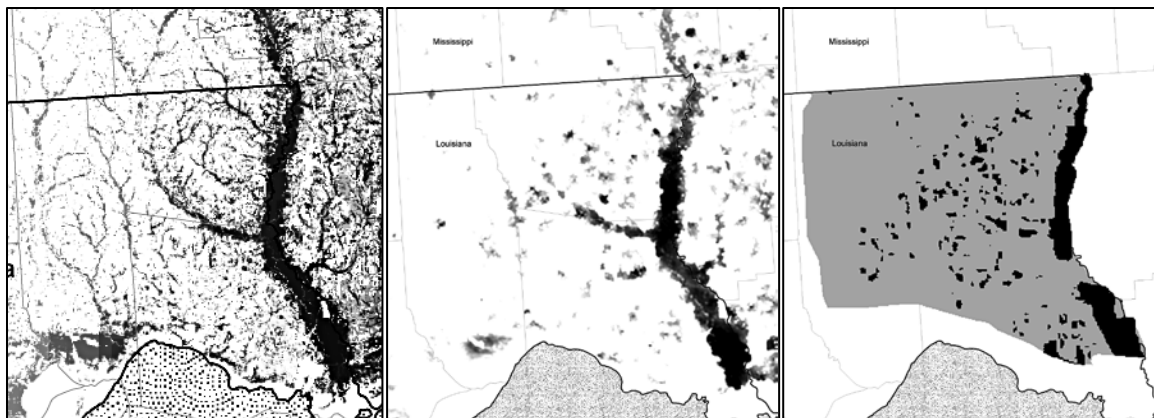


Fig. 1. Uprøving av metoder for rask kartlegging av skogskader etter orkanen Katrina 23.-30. august 2005, over den sørlige delen av orkanområdet i Louisiana, Mississippi og Alabama, USA. *Venstre*: Sannsynlighetskart for skogskader basert på kart for utbredelse av skogtyper, terrenghelling og vindstyrke under Katrina, dvs ingen observasjoner av skade. *Midten*: Skader kartlagt ved endringsdeteksjon med *MODIS* satellittdata. *Høyre*: Skader kartlagt av Forest Service Forest Health Protection med såkalt «aerial sketch-mapping», dvs observasjon og digitalisert kartfesting av skader direkte fra småfly (Nielsen 2005, Steiner m. fl. 2006). Det grå området er det som ble fløyet med småfly.

## 2.2. Fjernmålingsplattformer

Fjernmåling kan gjøres med ulike plattformer, og vi har 4 hovedtyper av plattform; satellitt, fly, helikopter og ubemannet fly (drone). Den viktigste forskjellen mellom disse er deres deknings-evne, hvor satellitter naturligvis har størst kapasitet og drone har lavest. Tilsvarende vil pixel-størrelse gjennomgående være størst i satellittdata og minst med droner. Det kan imidlertid nevnes at enkelte satellitter leverer svært høy oppløsning, dvs nesten det samme som man får med fly. For eksempel har *Geoeye* 0,43 m pixelstørrelse i svart-hvitt (pankromatisk). Dette styrer også i stor grad prisen per arealenhet, slik at satellittdata har lavest kostnad og drone høyest kostnad per arealenhet. I tillegg til dette kommer at en del satellittdata er gratis, - for eksempel hele *Sentinel*-serien, *Landsat* og *MODIS* (fra satellittene *Terra* og *Aqua*).

Satellitter har også den fordel at de kan levere gjentatte opptak regelmessig. Disse gjentakene har ofte samme geometri, det vil si samme tidspunkt på dagen, samme høyde og samme opptaksvinkel. Sentinel-2 kan nevnes her. Den vil passere ekvator i samme bane hver 10. dag, og på grunn av mer og mer overlapp mellom banene når vi går nordover vil vi få nye opptak hver 3. – 5. dag i Norge. Når *Sentinel-2b* sendes opp, blir det 2 like satellitter og dobbelt så hyppige opptak. Vi kan benytte mye av den samme teknologien på alle disse plattformene. For eksempel kan alle benyttes til å gjøre optiske opptak (vanlig eller mer avanserte kameraer basert på reflektert sollys) og laserskanning, og alle benytter ofte GPS for å posisjonere opptakene. Men en del kombinasjoner er mindre aktuelle. Det er for eksempel sjelden mulig og mindre interessant å benytte en SAR-sensor på fly, helikopter og drone, selv om det finnes eksempler på dette (*CARABAS* langbølget SAR). Et annet eksempel er at det er generelt vanskelig å få noe meningsfylt ut av en satellittbasert laserskanner, selv om det finnes planer i dag som kan gjøre dette mulig om noen år (*Destiny misjonen*, NASA). Den store fordel med fly, helikopter og drone er stor fleksibilitet og stor detaljrikdom i bildene (små pixler).

### 2.3. Fjernmålingssensorer (optisk, laserskanning og SAR)

Vi har 2 hovedkategorier med sensorer; passive og aktive sensorer. En passiv sensor sender ikke selv ut elektromagnetisk stråling, men er vanligvis basert på reflektert sollys, og et eksempel er et vanlig kamera. Slike sensorer kalles gjerne optiske sensorer, og har dominert innen fjernmåling i flere tiår. Satellitter som *Landsat* og *SPOT* har optiske sensorer, og i samme kategori kommer flybilder.

Den andre hovedkategorien er aktive sensorer, og inkluderer laserskanning og SAR. Dette er sensorer som sender ut pulser av elektromagnetisk stråling og samler informasjon ved å registrere ekkoene som kommer tilbake. Laserskanning er basert på korte bølgelengder (nærinfrarødt lys, ca 1000 nm), og er typisk flybårent og genererer punktskyer. Hvert punkt er et ekko og har en typisk størrelse på 20 cm i diameter. Dette gir svært detaljert informasjon om terreng og skogstruktur. Laserskanning og kan gjøre opptak når det er mørkt, men kan ikke se gjennom skyer.

SAR (Syntetisk Aperture RADAR) er en bildedannende RADAR, som vanligvis er satellittbasert. Bølgelengden er mye lengre enn med optisk og laser (fra 3 cm og oppover til flere meter), og dette har den store fordel at det går gjennom skydekket. SAR har derfor den store fordel at man kan få opptak når det er overskyet og i mørke.

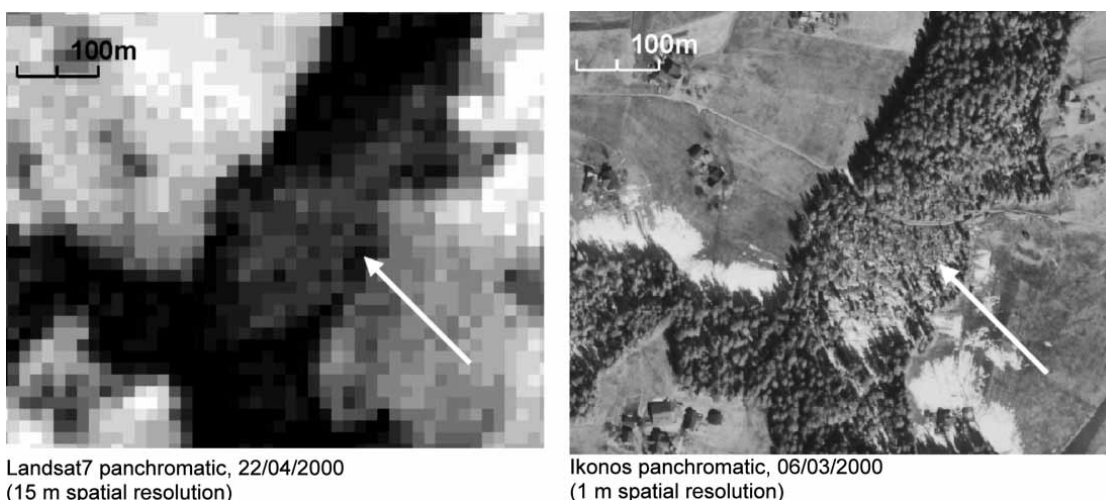


Fig. 2. Betydningen av oppløsning. (Schwarz, Steinmeier et al. 2003)

## **2.4. Endringsdeteksjon versus post-storm deteksjon**

Endringsdeteksjon vil si å ha et datasett før stormen og et datasett etter, og så detektere skadene ved hjelp av den beregnede endringen. Med satellittdata er det vanlig å detektere stormskader og andre hendelser ved endringsdeteksjon, fordi satellittdata gir gjentatte opptak. Det er imidlertid mulig å også detektere stormskader etter en storm, såkalt 'post-storm' deteksjon. Dette er da vanligvis nødvendig med data fra fly, helikopter og drone.

## **2.5. Automatisk versus manuell deteksjon**

Deteksjon av stormskader i fjernmålingsdata kan gjøres automatisk eller manuelt. Ved automatisk deteksjon kjører man beregninger på dataene. Ved hjelp av grenseverdier, eller på andre måter, kan man skille ut stormskader i dataene. Ved manuell deteksjon observerer man stormskadene direkte i bildene og tegner skadeområdene inn på kart manuelt. Vanligvis må man da se de enkelte vindfallene, og dette krever derfor høyoppløselige data fra fly, helikopter eller drone. Imidlertid lar dette seg gjøre også i høyoppløselige satellittdata.

## **2.6. 2D versus 3D data**

Stormskader kan detekteres enten i 2D eller i 3D. Med 3D deteksjon ser man skadene som en nedgang i høyde fra et tidspunkt før stormen. En overflatemodell må da være tilgjengelig fra før stormen, slik at stormskader detekteres som en nedgang i overflatehøyde, dvs en form for endringsdeteksjon (Honkavaara et al. 2013). Man må altså ha en overflatemodell fra før stormen, og det finnes ulike alternativer for dette, som flybåren laserskanning, fotogrammetri med flybilder og 3D SAR med satellittdata.

Alle disse alternativene er mulig for Norge: Store deler av det produktive skogarealet er flydd med laserskanning, og det er nå sannsynlig at det blir satt i gang en nasjonal laserskanning av skogarealene i Norge. Det foreligger også ideer om å lage overflatemodeller med fotogrammetri basert på omløpsfotograferingen, som skjer fylkesvis hvert 5. år. På kort sikt kan det være en mulighet for at det blir anskaffet en nasjonal overflatemodell fra satellittmisjonen *TanDEM-X*, som vil være tilgjengelig i 2014.

Uten 3D data må stormskadene detekteres ved at man; enten ser vindfallene (manuell deteksjon), ved at de stormskadde områdene får en annen lyshet, en annen farge eller lavere fotosynteseaktivitet (lavere "grønnhet"). Eller at dataene på andre måter påvirkes av en annen struktur i skogen etter stormskadene. Den store fordelen med 3D data er at volum kan estimeres mer nøyaktig enn med 2D.

### 3. VURDERING AV OPERASJONELLE ALTERNATIVER

#### 3.1. Alternativer

Vi har valgt ut 11 alternativer for vurdering, og i Tabell 1 er en oversikt med plattform, sensor og deteksjonsmetode angitt.

Tabell. 1. Utvalgte alternativer for vurdering

Alt.	Betegnelse	Plattform	Sensor	Deteksjonsmetode
1	Modellert sannsynlighet	---	---	Kombinere met-data og risikokart
2	Modis	Satellitt	Optisk	Automatisk endringsdeteksjon
3	Sentinel-2	Satellitt	Optisk	-«-
4	Høyoppl. satellittbilder	Satellitt	Optisk	Manuell post-storm deteksjon
5	Sentinel-1	Satellitt	SAR	Automatisk endringsdeteksjon
6	PALSAR	Satellitt	SAR	-«-
7	3D SAR	Satellitt	SAR	-«-
8	Fly obs	Fly / helikopter	Visuelt	Observasjon fra fly
9	Fly 2D	Fly / helikopter	Optisk	Manuell post-storm deteksjon
10	Fly3D	Fly / helikopter	Laser / optisk	Automatisk endringsdeteksjon
11	Drone	Drone	Optisk	Manuell post-storm deteksjon

##### 3.1.1. ALT. 1. MODELLERT SANNSYNLIGHET:

I dette alternativet må risikoen estimeres ved å kombinere vinddata med risikokart. Vi kan tenke oss at hele Norge ble delt inn i et raster, for eksempel 100 m x 100 m, og at hver celle i dette rasteret fikk en estimert sannsynlighet for stormskader. Hver celle må da ha både vinddata og data for risiko knyttet til voksestedet som sådan og eventuelt også treslag og stående volum. De mest kjente eksisterende modeller for å lage risikokart for stormskader er den svenske *WINDA*-modellen (Blennow & Sallnäs 2004) og den skotske *ForestGales*-modellen (Quine & White 1993). Det arbeides nå med å utvikle en kombinasjon av disse to modellene, den såkalte *Winda-Gales* modellen (Blennow & Gardiner 2009).



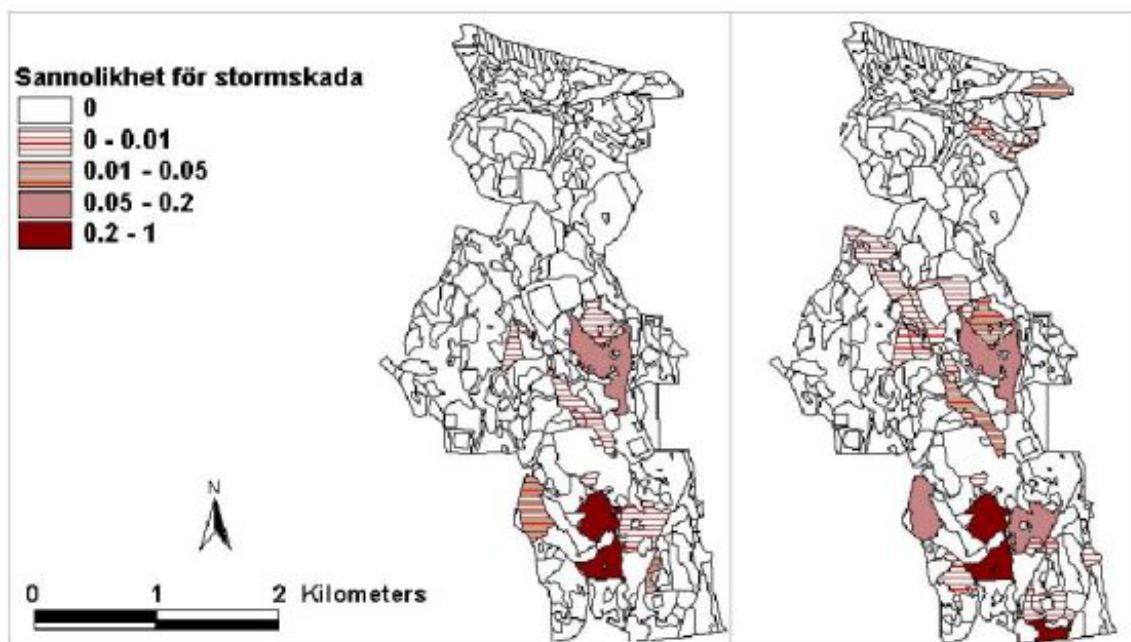


Fig. 3. Kart som viser modellert risiko for stormskader basert på WINDA ved stormen Gudrun i Sverige (venstre) og faktisk stormskade (høyre). (Kilde: Prof. Ola Sallnäs, SLU.)

### 3.1.2. ALT. 2. MODIS:

*MODIS* er en optisk sensor som sitter på to *NASA* satellitter, - *Aqua* og *Terra*. De to kanalene rød og nærinfrarød, som er avgjørende for vegetasjonsovervåking, har 250 m x 250 m oppløsning. Opptak skjer regelmessig og systematisk over hele jorda, og vi får opptak hver dag eller annenhver dag. Alle data ligger i åpne databaser på internett. *MODIS* har vist seg egnet til å detektere omfattende skader, som skadene etter orkanen Katrina, men også noe mindre skader som furubarvepsangrepene i Åsnes i 2005 (Eklundh m. fl. 2009). De to båndene rød og nærinfrarød er imidlertid vanskeligere å bruke til å detektere skader om vinteren i Norge.

### 3.1.3. ALT. 3. SENTINEL-2:

Sentinel-2 er en satellittmisjon som er spesialdesignet for overvåking av natur og naturressurser på landjorda, det vil si at den er spesielt godt egnet for fenomener som stormskader på skog. Den har en optisk sensor med mange kanaler (synlig lys, nærinfrarød og kortbølget infrarød), og 10 m x 10 m oppløsning for de fleste av dem. Den eies og driftes av den europeiske romfartsorganisasjonen *ESA*, og skal skytes opp i bane i 2015. Vi kan regne med å få data regelmessig fra 2016. Den vil gjøre regelmessige og heldekkende opptak over Norge, med en frekvens på fra 5 dager i sør til 4 i nord. Seinere skal det skytes opp en til *Sentinel-2b*, og det vil gi dobbelt så mye data. Den egner seg svært godt for å gjøre hyppig endringsdeteksjon. Under er et eksempel som illustrerer potensialet for å detektere stormskader med endringsdeteksjon med optiske data (Fig. 4).

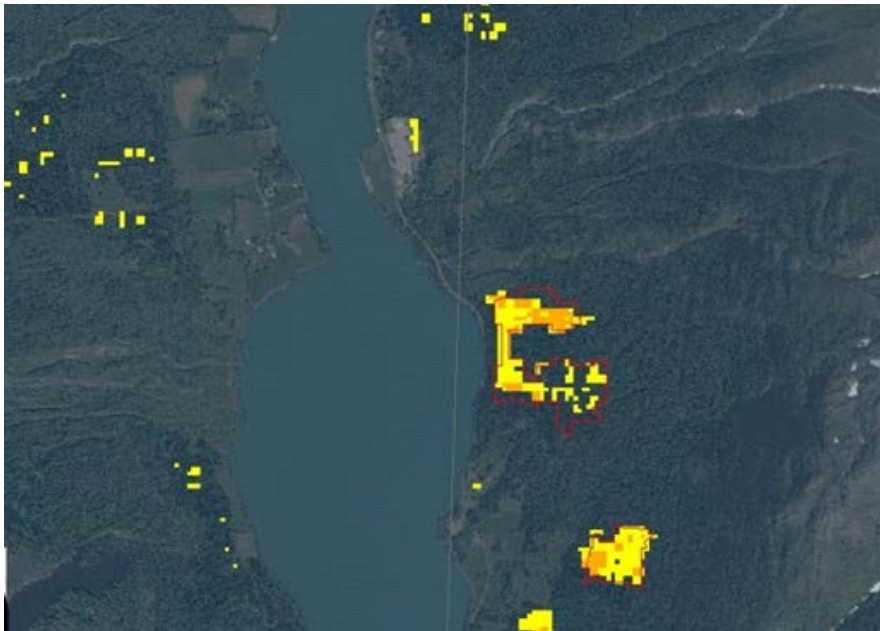


Fig. 4. Fra utprøving av stormskadedeteksjon etter Dagmar, i Stryn, Sogn og Fjordane, med Landsat. Røde polygoner er angitte skadefelt fra Torkel Hofset, FMLA Sogn og Fjordane, mens gule og oransje pixler er klassifiserte skadeområder. (Kilde: masteroppgave-arbeid til Johannes May, Eberswalde universitetet, 2014.)

#### 3.1.4. ALT. 4. HØYOPPLØSELIGE SATELLITTBILDER:

Det finnes flere kommersielle satellitter med høyoppløselige bilder, som *Geoeye*, *WorldView*, *Spot* og *Pleiades*. Disse har flere fargekanaler (multispektralt), men har også en svart-hvitt kanal (pankromatisk) med pixelstørrelse ned mot flybilder. Dette gjør at man kan se liggende trær, også om vinteren ved dårlige lysforhold, og kan manuelt tegne inn og digitalisere skadeområdene på kart. Det norske firmaet *TerraNor* (Nils-Erik Jørgensen) tilbyr slik kartlegging nå, og har demonstrert det for skogeiere i Sverige etter stormene Hilde og Ivar (Fig. 5). Pris på slike høyoppløselige satellittdata er 2300 \$ eller 1700 EUR + mva for 1 scene på 100 km<sup>2</sup>, dvs 0,15 kr/daa.

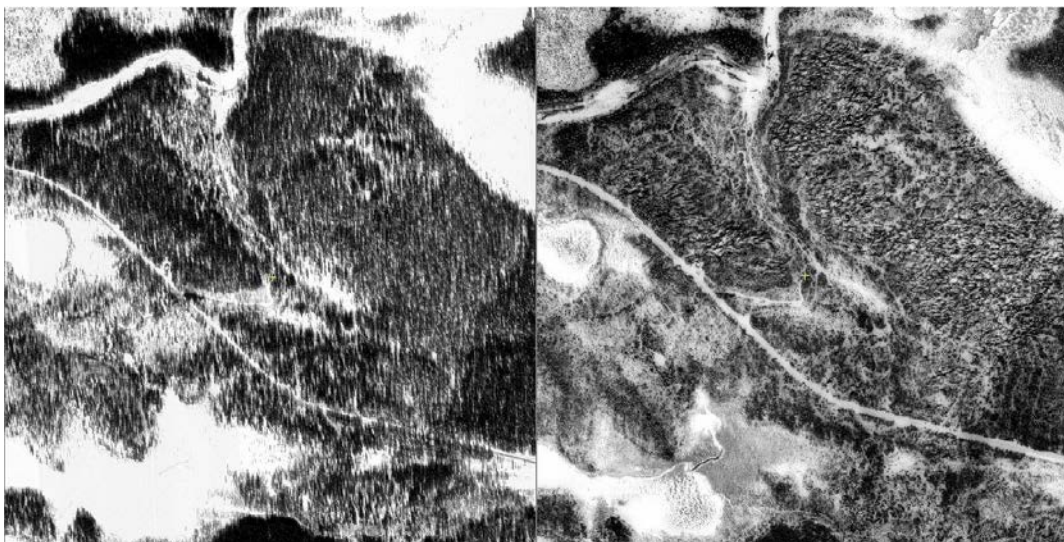


Fig. 5. Stormskader etter Hilde i Sverige. Uskadd skog før stormen (venstre) og nedblåst skog etterpå (høyre) er tydelig å se. Svart-hvitt bilde med 0,4 m oppløsning fra Geoeye. Kilde: TerraNor (Nils Erik Jørgensen).

#### 3.1.5. ALT. 5. SENTINEL-1:

Dette er en ny SAR satellitt som skal skytes opp i 2014. Den er ikke designet for slike anvendelser som stormskader. Over land vil den gå i en opptaksmodus som heter Interferometric Wide Swath Mode, som har rektangulære pixler på 5 m (øst-vest) x 20 m (nord-sør). Bølgelengden er C-bånd (5 cm), som er for kort for skoganvendelser når man bruker intensiteten (tilbakespredningen). Den vil ha dual-pol (2 polariseringer; kryss-polarisering og ko-polarisering), men det er tvilsomt om dette vil være til nytte. Det er en viss sjanse for at den kan gi skogrelatert informasjon, ved å utnytte radargrammetri (stereo), koherens (likhet mellom påfølgende opptak) eller rett og slett ved gjennomsnittsberegning av det store antallet opptak man får per år. Det er altså behov for å drive forskning og grunnleggende utprøving av denne når den er oppe i bane.

#### 3.1.6. ALT. 6. PALSAR:

Dette er en SAR sensor på den japanske satellitten ALOS, som eies og driftes av den japanske romfartsorganisasjonen JAXA. Den har lengre bølgelengde (L-bånd, om 20 cm), noe som gjør den noe bedre egnet til skogformål. I Sverige har man utviklet en operasjonell metode for å detektere nye snauflater på nasjonal skala hvert år ved å bruke PALSAR data med ett års forskjell (endringsdeteksjon). Prinsippet er at tilbakespredningen er høyere i skog enn på snauflater. Det er mulig at man kan detektere stormskader på en liknende måte, men det må eventuelt testes. Det som er av publiserte studier på dette, samt våre egne erfaringer, tilsier at den kan ha et potensiale. Men det er usikkert. Pris beregnet fra JAXA / PALSAR *product price list*, for *finebeam, single polarization*, som 20 000 Yen + mva for 1 scene på 20-98 km x 70 km (= ca 3500 km<sup>2</sup>), som tilsvarer 0,004 kr/daa i dagens kurs.

#### 3.1.7. ALT. 7. 3D SAR:

Prinsippet her er å detektere stormskader som et fall i overflatehøyde, basert på 3D prosessering av SAR-data. Det mest aktuelle her er å benytte X-bånd SAR fra satellitt-misjonene TerraSAR-X eller Cosmo-SkyMed. Man trenger da en overflatehøyde før stormen, og denne må da oppdateres med jevne mellomrom for å kunne fungere som en referanse, fordi stormskader vil forveksles med hogst. Kanskje vil det være tilstrekkelig å oppdatere den hvert 5. år. En god referanse til å begynne med vil være en nasjonal overflatemodell fra



*TanDEM-X*, som vi være klar i 2014. Nye overflatemodeller etter storm måtte da genereres ved at man bestilte parvise opptak med disse satellittene og kjørte radargrammetri.

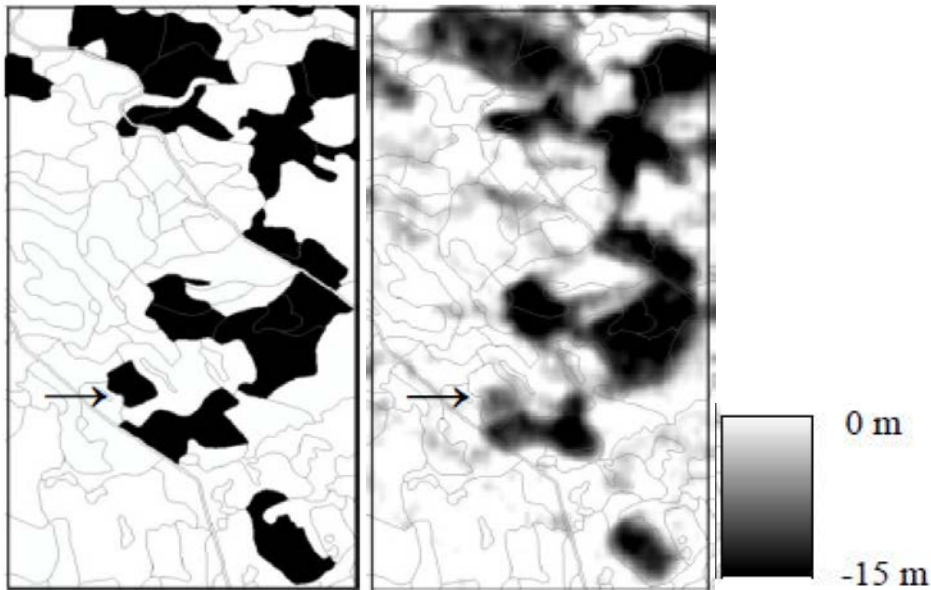


Fig. 6. Endringsdeteksjon basert på 3D SAR, i dette tilfelle for deteksjon av slutthogster. Hogst i årene 2000 – 2011 er detektert som en nedgang i overflatehøyde (Solberg et al. 2013).

### 3.1.8. ALT. 8. FLY-OBS:

Vi tenker her på å observere skader direkte fra fly. Dette har lang tradisjon i Norge, og har vært brukt for å detektere barkbilleangrep, generelt sunnhetstilstand og kronefarge, ulike sopp- og insektangrep og stormskader. Dette er altså ikke fjernmåling og ikke ny teknologi, men vi mener at det hører hjemme i denne sammenhengen. En videreutvikling av metoden er gjort av *US Forest Service*, og kalles «*Aerial sketch-mapping*» eller «*Digital Aerial sketch-mapping*» (*DASM*). Observatøren har da en tablet-PC eller Ipad eller liknende som viser flybilder for det området man flyr over, og viser flyets posisjon i bildene fortløpende. Observatøren ser ut av vinduet og tegner inn / digitaliserer skadeområder direkte på skjermen. Dette egner seg naturligvis best for skader som opptrer samlet som avgrensede områder, og kan være vanskelig hvis stormskader opptrer som spredte trær og grupper av trær. Man er avhengig av skyfritt vær.



Fig. 7. Fra *US Forest Service*'s «*Digital Aerial Sketch-Mapping*» (*DASM*).

### 3.1.9. ALT. 9. FLY 2D:

Tradisjonelle flybilder kan brukes til å detektere stormskader. Mest aktuelt da er sannsynligvis manuell gjenkjenning av skadeområder på samme måte som med *DASM* og høyoppløselige satellittbilder. Kanskje kan man også gjøre automatisk endringsdeteksjon, ved å bruke de nyste bildene fra Norge i bilder som referanse. Det er flere faktorer som påvirker kostnaden på flyoppdrag, blant annet;

- Størrelse på prosjekt
- Avstand fra flybasen
- Opptakstidspunkt (lite tidsvindu fordyrer prosjekt)
- Skydekke
- Tilgjengelighet (ledige fly = lavere pris)
- Værforhold
- Høydeforskjeller i området
- Nærhet til annen flytrafikk
- Oppløsning (pixelstørrelse)
- Nøyaktighet på sluttprodukt

### 3.1.10. ALT. 10. FLY 3D:

Med flybåren laserskanning eller fotogrammetri på flybilder kan man generere en overflatemodell, og detektere stormskader som en nedgang i høyde, på samme måte som med 3D SAR. Man er avhengig av å ha en overflatemodell fra før stormen som referanse. Det er da aktuelt å hente fram det nyeste som måtte være tatt opp med laser eller flybilder, og så prosessere dette til en overflatemodell. Man er avhengig av skyfritt og nedbørfritt, - eller man kan klare å gjøre laserskann med høyt skydekke. For laserskanning er det stort sett de samme faktorene som påvirker prisen, som for optiske flybilder. Likevel kan vi generelt regne med en kostnad for laserskanning som er 2-3 ganger høyere enn for optiske flybilder.

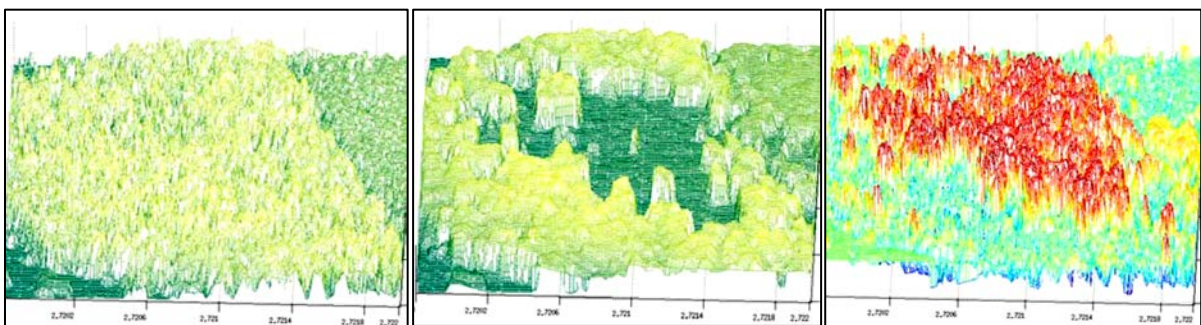


Fig. 8. Stormskader detektert etter Dagmar i Finland ved hjelp av endringsdeteksjon med 3D flydata, dvs overflatemodeller fra laseskanning før stormen (venstre), fra fotogrammetri med flybilder etter stormen (midten), og forskjellen mellom dem hvor rød farge indikerer skog som blåst ned (høyre). (Honkavaara et al. 2013)

### 3.1.11. ALT. 11.DRONE:

Droner, i hvert fall dagens kommersielle systemer, kan ikke brukes til kartlegge stormskader på regionalt nivå, da rekkevidden begrenses av (i) flytid pr batteriladning og (ii) regelverk som (for det meste) forbyr flyging utenfor synsrekkevidde av operatøren. Imidlertid går utviklingen raskt, så man bør følge med på hva som skjer fremover. Forbedringer i teknologi



og tilpasninger av regelverk kan endre forutsetningene for dette i overskuelig fremtid. Fordelen til droner ligger i fleksibiliteten, altså at de kan mobiliseres raskt. Kombinert med den høye oppløsningen vil de derfor kunne brukes til å fly mindre områder, fra enkeltbestand til eiendom, for eksempel for å taksere skogskader direkte eller for å generere testområder som kan benyttes til kalibrering av satellittdata.

### 3.2. Løsninger som kan dekke behovene for rask kartlegging og estimering av omfang

Vi har angitt hvilke alternativer som kan dekke de to behovene. Behovet for en regional oversikt etter 1-2 dager er svært vanskelig å dekke. Vi kan kun se to muligheter her. Det ene er å ikke bruke fjernmåling, men i stedet predikere omfang av skader ved hjelp av vinddata og en risikomodell. Det andre alternativet er å bruke *MODIS*, som gjør opptak hver dag eller annenhver dag, men man er da avhengig av at det er skyfrie værforhold. Man måtte da få etablert en spesialavtale med *NASA*, slik at man kunne få data overført hver dag. Det vil antakelig kunne la seg ordne. Problemet med *MODIS* er imidlertid de svært store pixlene på 250 m x 250 m. Det betyr at den kun vil fungere ved mer katastrofepregede skader hvor skogen ligger flat over svært store områder.

Behovet for å detektere skader etter 1-2 uker er innenfor rekkevidde for mange alternativer, selv om også det er krevende å klare. Sentinel-1 og 2 er egnet her ved å ha rutinemessige opptak hver 5-6 dag, slik at man alltid vil kunne gjøre endringsdeteksjon. Data fra høyoppløselige satellitter, fra *PALSAR* og for 3D SAR kan fåes i løpet av noen få dager etter bestilling. Fly / helikopter kan mobiliseres i løpet av få dager. Generelt for alle metoder basert på optiske data, laserskanning eller visuell observasjon fra fly er at vedvarende skydekke kan gjøre det umulig å få opptak innen 1-2 uker.

Tabell 2. Oversikt over hvilke alternativer som kan dekke behovet for henholdsvis et første overblikket/anslaget etter 2-4 dager og et neste anslag etter 1-2 uker og inneholde vesentlig bedre presisjon på geografi og skadeomfang

Alt.	Betegnelse	Regionalt 2-4 dager	Lokalt 1-2 uker	Kommentar
1	Modellert sannsynlighet	X		Kan også gjøres før storm med værvarsel
2	Modis	X		Betingelser spesialleveranse av data daglig
3	Sentinel-2		X	Rutinemessige opptak ca hver 5. dag
4	Høyoppl. satellittbilder		X	Må bestilles
5	Sentinel-1		X	Rutinemessige opptak ca hver 6. dag
6	PALSAR		X	Må bestilles
7	3D SAR		X	Må bestilles
8	Fly obs		X	
9	Fly 2D		X	
10	Fly 3D		X	
11	Drone			I utvalgte områder og som bakkesannhet

#### Ytterligere vurderingskriterier

Vi har følgende kriterier gitt fra *Skogbrand* som skal vurderes:

#### 3.2.1. 1. STATUS FOR TILGJENGELIGHET OG PRAKTISK BRUK:

Blant satellittdataene har vi et hovedskille mellom de som gjør rutinemessige og heldekkende opptak (*MODIS*, *Sentinel-2*, *Sentinel-1* og *PALSAR*) og de kommersielle satellittene hvor man må bestille opptak (alternativene 4 og 7). Videre er det slik i dag at Sentinelene ennå ikke er klare til å levere data. De er ikke skutt opp i bane, men planen er at *Sentinel-1* skal skytes opp 28. mars 2014, og *Sentinel-2* i 2015. Etter oppskyting må de

kalibreres og testes. Det kan oppstå tekniske problemer, og vi kan ikke være helt sikre på at Sentinelene vil være operative som planlagt, selv om sannsynligheten er høy. Videre gjelder at for Sentinel-1 må det gjøres forskning og utviklingsarbeid for å teste om den kan være av nytte her. Viktig for tilgjengelighet er også begrensningen med skyer for alle optiske sensorer, og også problemer med korte dager og lite lys vinterstid (*MODIS*, *Sentinel-2*, høyoppløselige satellittbilder, og flybilder). Flybåren laserskanning har også begrensninger med nedbør og ved lavt skydekke. SAR-sensorer (*Sentinel-1*, *PALSAR* og 3D SAR) har ingen begrensninger pga skyer og mørketid. Vi har også langsiktige problemstillinger knyttet til satellittenes levetid, men *MODIS* og Sentinelene er sikret lang levetid og oppfølgere, og for øvrig er det en trend nå med stadig økende antall satellitter, og stadig ny og forbedret teknologi, så dette problemet er relativt beskjedent.

#### 3.2.2. 2. PRESISJON/NØYAKTIGHET:

Vi kan dele dette i to problemstillinger, - nøyaktighet på kartlegging av skader og nøyaktighet på estimering av nedblåst volum. For kartlegging av skader vil romlig oppløsning (pixelstørrelse) være det viktigste, sammen med mulighetene for endringsdeteksjon. Droner og opptak / observasjon fra fly har høyest potensiale for nøyaktig stedfesting med pixelstørrelser fra 5 – 20 cm. Høyoppløselige satellitter har en oppløsning ned til 0,4 m i svart-hvitt. De andre alternativene med satellittdata har en oppløsning på omkring 10 m (*Sentinel-1*, *Sentinel-2*, 3D SAR), på omkring 50 m (*PALSAR*) eller 250 m (*MODIS*). For estimering av nedblåst volum så kan det gjøres enten ved å koble skadearealet til et eksisterende kart med stående volum, eller ved å estimere det direkte fra nedgang i overflatehøyde med 3D data (laserskanning, fotogrammetri eller 3D SAR). 3D data vil her gi mest nøyaktige data. Et generelt problem med endringsdeteksjon er at stormskader kan forveksles med hogst og andre skader, særlig hvis referansedataene er tatt opp en stund før stormen.

#### 3.2.3. 3. NASJONAL OG REGIONAL BRUK:

Hurtig dekning nasjonalt kan oppnås med *MODIS*, *PALSAR* og Sentinelene. 3D SAR kan gi også dekning nasjonalt, men vil trenge noe mer tid, anslagsvis 2 uker. Regional dekning i løpet av 2 uker vil også kreve satellittdata. Fly og droner egner seg til områder på størrelse med fylker og mindre.

#### 3.2.4. 4. KOSTNADER PR DA:

Det vil være ulike kostnadstyper knyttet til et system for kartlegging. For det første vil det være en investering i form av forskning og utvikling for å etablere et system. Det vil så være løpende kostnader knyttet til eventuelt kjøp av data, prosessering av data og det å gjøre dataene tilgjengelig for brukerne. For satellittdataene er det mulig å langt på veg automatisere dette, og særlig for Sentinelene som i tillegg er gratis vil man da kunne komme langt ned i løpende kostnad. For en modellbasert metode vil også kostnadene kunne bli lave ved at det er gratis meteorologiske data og en mer eller mindre automatisert prosessering. Vi har i tabell 3 kun tatt med kostnader til datakjøp. Det er svært vanskelig å anslå kostnadene for kartlegging med bruk av fly, helikopter og droner, da det er mange faktorer som påvirker disse.

#### 3.2.5. 5. LEVERANDØRER OG SAMARBEIDSPARTNERE:

Satellittdata vil generelt kunne leveres av Kongsberg Satellite Services i Tromsø, med sin nedlesingsstasjon Svalsat på Svalbard. *MODIS* satellittdata kan lastes ned fra Internett. For flybåren laserskanning og flybilder har vi to store leverandører i Norge av slike tjenester, Blom geomatics og Terratec. For droner finnes det flere private firmaer.

Tabell 3. Andre vurderingskriterier i kortform

Alt.	Betegnelse	Tilgjengelighet og praktisk bruk	Presisjon / nøyaktighet	Nasjonal og regional bruk	Kostnader pr da	Leverandører og samarbeidspartnere
1	Modellert sannsynlighet	Modell må utvikles, nødvendige data er tilgjengelige	Usikkert, kan gi yttergrenser for skader, men kanskje mer	Regional bruk	Kun engangs-investering i modell	Trenger input fra met.no, enten direkte fra databasen api.met.no eller etter avtale
2	Modis	Data tilgjengelig fra Internett	Trolig for dårlig oppløsning for de fleste stormer i Norge	Regional bruk ved svært sterke skader	0	Ingen
3	Sentinel-2	Hyppige data ca hver 5 dag, avhengig av vellykket oppskyting	Trolig svært bra	Nasjonal og regional	0, eller kanskje en liten kostnad for preprosessering ved KSAT	KSAT
4	Høyoppl. satellittbilder	Egnet for mindre områder	Bra	Regional og lokal	0,15 kr/daa <sup>1</sup>	KSAT
5	Sentinel-1	Forskning må gjøres, usikkert om den kan brukes	Ukjent	Nasjonal og regional	0	KSAT
6	PALSAR	Egnet	Bra	Regional	0,004 kr/daa <sup>2</sup>	
7	3D SAR	Egnet, men vil fortsatt trenge noe utprøving	Bra	Regional		Kommersielle data fra Airbus Defence and Space. Forskningsdata fra det tyske romsenteret (DLR)
8	Fly obs	Avhengig av skyfritt vær	Ukjent	Regional	Noe usikkert	Operatører av fly og helikoptere
9	Fly 2D	Avhengig av skyfritt vær	Svært bra	Regional og lokal	Usikkert, men mer kostbart enn flyobs	Blom og Terratec
10	Fly 3D	Avhengig av skyfritt vær	Svært bra	Regional og lokal	Usikkert, men laser 2-3 ganger tilsvarende flyging med optisk	Blom og Terratec
11	Drone	Kan fly under skydekke. Kun aktuelt med små arealer	Svært bra	Lokal	250-1000 kr	Diverse aktører

## 4. DISKUSJON

### 4.1. Grov, regional kartlegging etter 1-2 dager

Det anbefales å dekke behovet for en grov, regional kartlegging etter 1-2 dager med en risikomodell for stormskader basert på input fra (i) meteorologiske data for den aktuelle stormen, og (ii) et generelt risikokart for stormskader i Norge. I motsenting til mye fjernmålingsdata vil dette være en rask og robust metode (uavhengig av skyforhold) som kan dekke store områder og regioner på kort tid. For å få etablert en slik metode, er det nødvendig å først utvikle et kart med risiko for stormskader. Et slikt kart kan baseres på topografiske forhold som kan beregnes fra en høydemodell som *DTED10*, på jordbunnsforhold som *NGUs* løsmassekart, og på utbredelse av skog fra *AR50*, og utbredelse av treslagene fra *SATSKOG*. Eksisterende modeller som *WINDA* og *ForestGales* kan trolig brukes, men må kalibreres for norske forhold.

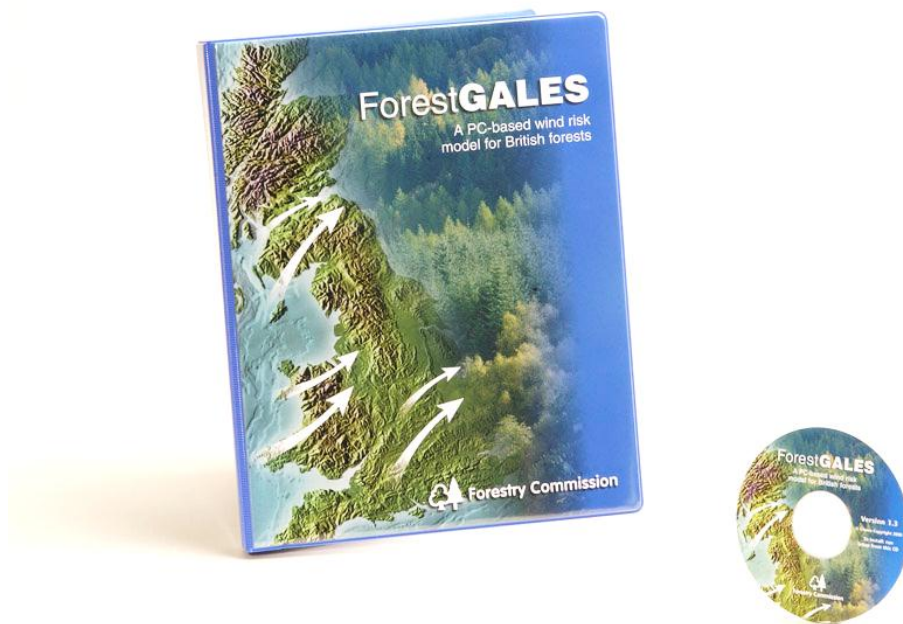


Fig. 9. ForestGales-modellen er et operasjonelt verktøy for skogbruket i Storbritannia.

Det vil være vanskelig å få gode satellittdata regionalt etter så kort tid som 1-2 dager. Det kan være skyer. I tillegg vil nedlasting av data til bakkestasjon, preprosessering og videre prosessering for å finne stormskader ta noe tid. Disse satellittdataene har også lav romlig oppløsning, dvs 250 m, og det vil være vanskelig å detektere stormskader, så sant disse ikke dekker store områder. Med Norges heterogene skoglige forhold, med mosaikker av små bestand, er det lite sannsynlig at MODIS vil fungere bra. Men det kan testes ut på eksisterende stormskader bakover i tid til år 2000.

### 4.2. Nøyaktig, lokal kartlegging etter 1-2 uker

Behovet for mer detaljert og lokal kartlegging etter 1-2 uker anbefales gjort med *Sentinel-2* optiske satellittdata fra 2016, som vil ha omkring 5 dagers gjentak-frekvens over Norge, og

fra 2017 bare omkring 2,5 dagers frekvens. Landsat-8 vil være en reserveløsning før *Sentinel-2* er i bane. En SAR metode, basert på 3D SAR, *Sentinel-1* eller PALSAR kan være en reserveløsning i skyet vær eller mørketid. Kanskje kan disse SAR-metodene ha et større potensiale, og det bør vurderes nærmere.

#### **4.3. Behov for nærmere undersøkelser**

Det er behov for å undersøke nærmere mulighetene for å etablere en sannsynlighetsmodellering for stormskader. Mulighetene for en dataoverføring fra met.no synes å være gode, men dette kan sjekkes opp nærmere. Først og fremst må det imidlertid testes hvor nøyaktig man kan predikere stormskader på denne måten, ved å benytte eksisterende data fra tidligere stormer. Dette er et typisk forsknings- og utviklingsprosjekt. Finansiering kan kanskje oppnås fra forskningsråd eller tilsvarende.

Ved siden av dette er det behov for å teste ut ulike SAR-baserte metoder nærmere. Særlig er dette viktig fordi slike metoder vil fungere fint i den mørke årstida da det gjerne blåser mest, og også ved skyet vær.

Utprøving av *Sentinel-2* er også nødvendig, selv om dette kan baseres langt på vei fra tidligere studier og erfaringer med optiske satellittdata gjennom flere tiår.



## 5. KONKLUSJON

Det anbefales et opplegg med følgende metoder:

1. Det anbefales å dekke behovet for en grov, regional kartlegging etter 1-2 dager med en sannsynlighetsberegning ved å kombinere meteorologiske data med grunnleggende kart for stormrisiko. En robust metode uavhengig av skyforhold.
2. Behovet for mer detaljert og lokal kartlegging etter 1-2 uker anbefales gjort med *Sentinel-2* optiske satellittdata fra 2016, som vil ha omkring 5 dagers gjentaks-frekvens over Norge, og fra 2017 bare omkring 2,5 dagers frekvens. En SAR metode, 3D SAR, *Sentinel-1* eller *PALSAR* kan være en reserveløsning i skyet vær eller mørketid.
3. Fly / helikopter / drone er et supplement som kan brukes til å sjekke ut enkeltområder, og kan spille en rolle for kalibrering og validering av metodene over.

## 6. ETTERORD

Vi vil takke Johannes Breidenbach ved seksjon for landsskogtakseringen ved Skog og landskap for gjennomlesing og kommentarer til rapporten.

## LITTERATUR

Blennow, K. and O. Sallnas (2004). "WINDA - a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape." Ecological Modelling **175**(1): 87-99.

Fransson, J. E. S., F. Walter, K. Blennow, A. Gustavsson and L. M. H. Ulander (2002). "Detection of storm-damaged forested areas using airborne CARABAS-II VHSAR image data." Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing **40**(10): 2170-2175.

Honkavaara, E.; Litkey, P.; Nurminen, K. Automatic Storm Damage Detection in Forests Using High-Altitude Photogrammetric Imagery. *Remote Sens.* **2013**, *5*, 1405-1424.

Schwarz, M., C. Steinmeier, F. Holec, O. Stebler and H. Wagner (2003). "Detection of windthrow in mountainous regions with different remote sensing data and classification methods." Scandinavian Journal of Forest Research **18**(6): 525-536.

Soja, M. J. (2012). Modelling and retrieval of forest parameters from synthetic aperture radar data. . degree of licentiate of technology, Chalmers university of technology.

Steiner, C.A.; Bruce, W.W.; Johnson, C.W.; Petty, S.D. 2006. Results of aerial surveys of forested lands damaged by Hurricanes Katrina and Rita in southeast and southwest parishes, Louisiana. Poster presentation at the Forest Health Monitoring Program work group workshop; 2006 January-February; Charleston, SC.