

Seminarieuppsatser nr 128

# Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker



Andreas Malmgren

---

2006  
Centrum för Geobiosfärvetenskap  
Naturgeografi och Ekosystemanalys  
Lunds Universitet  
Sölvegatan 12  
223 62 Lund





# **Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogskador och dess orsaker.**

**Andreas Malmgren**

---

---

**Examensarbete. 10p**  
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys  
Lunds Universitet  
Handledare: Lars Eklundh

---



## **Abstract**

One of the aims of this report is to evaluate three different methods for using satellite data in order to detect windthrows in forests. This research is made in the county Kronoberg in Southern Sweden. The area was hit hard by the severe storm Gudrun 8-9 January 2005. A second aim with this report is to investigate which variables, excluding wind speed, that have contributed to the spatial pattern of wind throws in the landscape. The variables investigated are elevation, slope aspect, three growth value, soil type and wind exposure.

The results of the detection show that differences in NDVI and land cover data is a good foundation when examining storm damages. When examining the spatial distribution the variable elevation showed a negative connection, probably regarding to the landscape structure, where the landscape becomes less fragmented with higher elevation. This could be connected to the examined variable wind exposure which shows that wind throws in open areas are larger and more frequent than wind throws in closed landscape areas are. Slope aspect showed that slopes against the wind were more exposed to storm damage than slopes away from the wind were. This might indicate that there has not been much turbulence. Three growth values showed no differences between damaged and undamaged areas. Soil type was hard to examine because of moraine being the totally dominating soil type. A factor that probably has been important is that the soil was not frozen during the storm making the trees less stable.



## Sammanfattning

Ett av syftena med denna uppsats är att undersöka tre olika metoder att använda satellitdata för detektering av stormskador i skog. Undersökningen är gjord i Kronobergs län som drabbades hårt av stormen Gudrun den 8 – 9 januari 2005. Ett andra syfte undersöktes vilka variabler, förutom vind, som påverkat den spatiala spridningen av stormskador. De variabler som undersökts är; Höjd över havet, sluttningsriktning, bonitet, jordart och vindexponering. Resultatet av detektering av stormskador visar att förändringar i NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) i samband med data om marktyp utgör en god grund för att detektera stormskador. Undersökningen visade på ett negativt samband mellan höjd över havet och stormskador genom att lägre höjer uppvisade större andel stormskadad skog. Detta negativa samband kan troligtvis kopplas samman med den undersökta variabeln vindexponering då de lägre liggande skogsbestånden troligen var mer exponerade för vinden eftersom landskapet uppvisade en större fragmentering i de lägre liggande områdena. Vindexponering är en viktig aspekt då skogsbestånd som gränsar till öppna ytor uppvisade större skador än skyddade områden. Sluttningsriktning visade sig spela en roll på så sätt att läsidor oftast var utsatta för betydligt mindre stormskador. Bonitetsmedelvärde mellan skadade och oskadade områden visade på en mycket liten skillnad. När det gäller jordart var denna svår att bedöma då morän är helt dominerande för skogsområdena. En långt viktigare aspekt för jordegenskaperna var det faktum att marken inte var frusen vid stormtillfället.





## **Förord**

En hel del personer har hjälpt mig med genomförandet av denna uppsats. Jag skulle vilja tacka Lars Eklundh för suverän handledning, idéer och satellitdata, Tomas Johansson, som delade arbetsbördan med mig genom detekteringsarbetet och fältkontrollerna av stormskadorna, Fredrik Lagergren för införskaffandet av bonitetsdata och Hasse Bengtsson på Skogstyrelsen i Växjö för flygbilder över området. Jag vill även tacka alla på institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys för den tiden som gått. Slutligen vill jag tacka min familj för allt stöd jag fått.

Andreas Malmgren



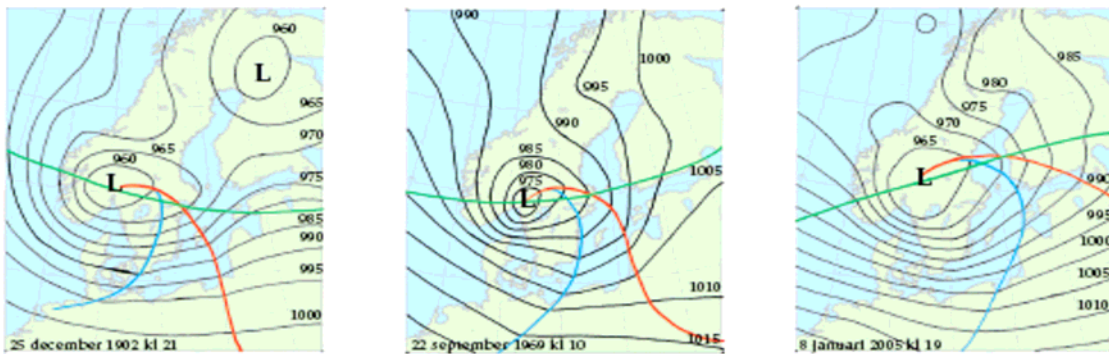
# Innehållsförteckning

Abstract	iii
Sammanfattning	v
Förord	vii
<b>1. Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Syfte	4
1.2 Avgränsning	4
1.3 Undersökningsområdet	5
<b>2. Material</b>	<b>6</b>
2.1 Data	6
<b>3. Detektering av stormskador</b>	<b>8</b>
3.1 Metod	8
3.1.1 Automatisk klassificering	8
3.1.2 Skillnadsanalys	8
3.1.3 NDVI	9
3.1.4 Noggrannhetsutvärdering	10
3.2 Resultat	11
3.2.1 Detektering	11
3.3 Diskussion	13
3.3.1 Felkällor i detekteringsarbetet	14
<b>4. Stormskadornas spatiala fördelning</b>	<b>15</b>
4.1 Metod	16
4.1.1 Höjd	16
4.1.2 Sluttningsriktning	17
4.1.3 Bonitet	18
4.1.4 Jord och Vindexponering	18
4.2 Resultat	19
4.2.1 Höjd	19
4.2.2 Sluttning	20
4.2.3 Bonitet	21
4.2.4 Jordart	22
4.2.5 Vindexponering	23
4.3 Diskussion	23
4.3.1 Höjd	23
4.3.2 Sluttning	24
4.3.3 Bonitet	24
4.3.4 Jordart	24
4.3.5 Vindexponering	25
<b>5. Slutsatser</b>	<b>26</b>
<b>6. Referenser</b>	<b>28</b>

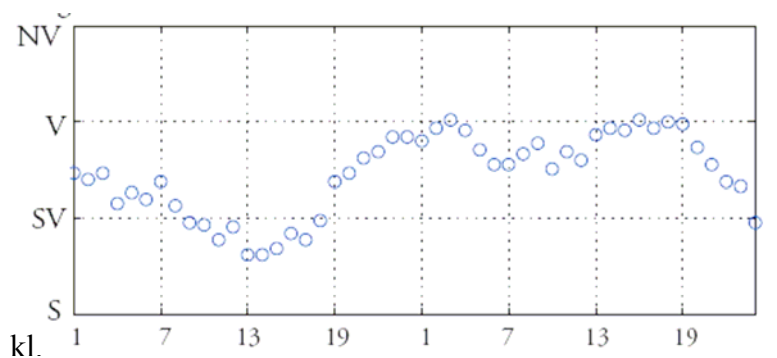


# 1. Introduktion

Natten mellan den 8:e och 9:e januari 2005 inträffade en av de värsta stormarna som Sverige upplevt i modern tid. Under en period av 24 timmar förstördes stora arealer skog i främst Småland (SMHI 2005). Enligt försiktiga beräkningar kom man fram till att ca 270 000 ha skog och 75 miljoner m<sup>3</sup> virke förstördes (Fridh 2006). Stormen nådde på vissa platser orkanstyrka och på många ställen saknas vinddata då mätstationerna blåste sönder. Stormen, benämnd Gudrun, kan jämföras med andra i tid närliggande stormar som de år 1969 och 1902. Som ses i figur 1a. var tryckgradienterna något större vid 2005 års storm än 1902 och dessutom var 2005 års storm större utbredningsmässigt än 1969 års storm (SMHI 2005). Den huvudsakliga vindriktningen under stormen presenteras i figur 1b.



Figur 1a Luftrycksgradienter för de olika stormarna.(SMHI 2005).



Figur 1b. Den huvudsakliga vindriktningen i Växjö under stormen 2005 (SMHI 2005).

För att snabbt kunna bilda sig en uppfattning om skadornas rumsliga utbredning har fjärranalytisk metod fördelar framför en traditionell markkartering som är mycket tid- och kostnadskrävande.

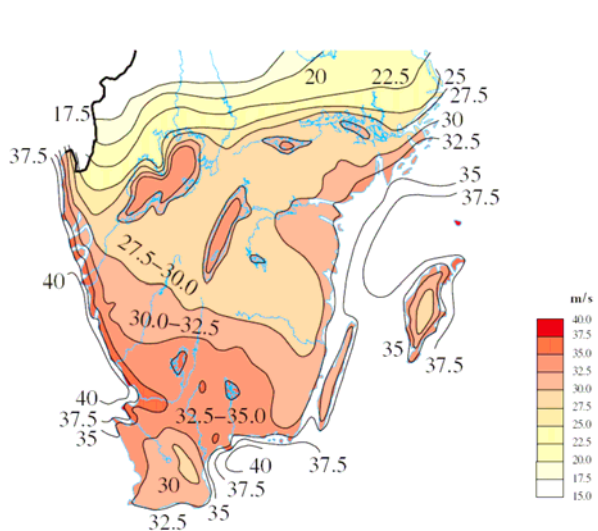
En metod som använts för att kunna kartera skogsskador är att med hjälp av luftburen radar/flygbilder kontrollera markytans egenskaper och därefter bestämma om det kan röra sig om ett stormfällt område (Fransson et. al 2002), (Jackson et al. 2000). Dessa metoder har

visat sig ge korrekta resultat men blir också dyra om större områden ska täckas in. Satellitdata är ett annat fjärranalytiskt tillvägagångssätt att klassificera markytan. Genom att studera den spektrala signaturen från varje pixel, kan man tillskriva varje signatur ett marktypsvärde (Schwarz *et. al* 2003). Metoden erbjuder dock svårigheter i ett mer heterogent område där det finns marktyper vars spektrala signaturer är lika men där marktypen i verklighet skiljer sig mycket åt. Ett exempel på detta kan vara ett stormfällt område som blivit röjt och därigenom liknar plöjd åkermark. Dessa två marktyper har en liknande spektral signal och kan därför vara mycket svåra att åtskilja.

Att mängden skog som förstördes var så stor jämfört med de tidigare stormtillfällena kan till viss del förklaras med att mängden planterad skog var större 2005 än vid de tidigare tillfällena. Andelen gran är större nu än tidigare och de enskilda träden var äldre och större 2005 än vid tidigare stormar. De utsattes därmed för mer vind (SMHI 2005).

För att minska risken för skador under kommande stormar och ge underlag till skogsnäringen för att lokalisera områden i riskzonen för stormskador, har modeller tagits fram över de variabler som spelar in vid stormfällning av skog. Många av dessa modeller bygger på att man samlat in data om det stormskadade området i fält. En sådan metod har nackdelen att man endast kan kontrollera ett litet område i taget samt att den är tids och kostnadskrävande då det ofta inte går att få tag på data över stormskador på annat än länsnivå (Nilsson *et. al* 2004). Genom att använda fjärranalys kan större områden täckas in samtidigt som man får en bild över skadornas omfattning och geografiska fördelning.

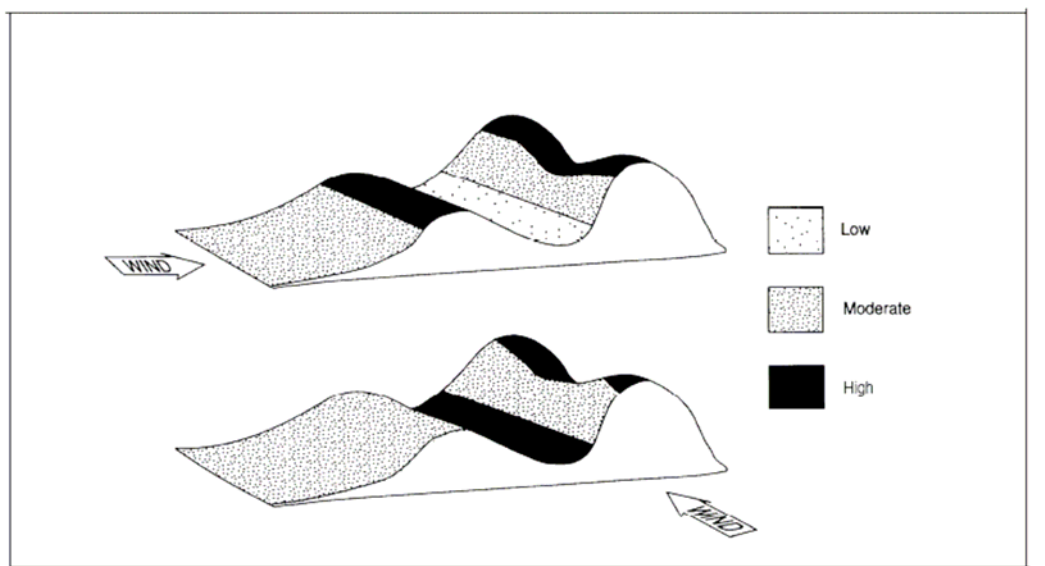
Maxvinden för stormtillfället 2005 var i södra Sverige relativt homogen enligt figur 2.



Figur 2. Maxvind för södra Sverige stormen 2005. (SMHI 2005).

Förutom skillnad i vindstyrka finns andra tänkbara förklaringar till huruvida en stormskada kommer att uppstå eller ej. Topografin är en av de variabler som har undersökts. Det har bland annat genom experiment visat sig att trädbestånd som växer på sluttningar är känsligare för vind än bestånd som växer på horisontal mark (Nicoll et al. 2005).

Sluttningarnas riktning i förhållande till vinden är även en variabel som har undersökts; i figur 3 illustreras hur vindens riktning påverkar vilken del av topografin som är mest känslig för en viss vindriktning.



Figur 3. Bilden visar vilka delar av topografin vilka löper störst risk för skogsskador vid olika vindriktningar (Stathers m.fl. 1994).

Att avgöra om topografin är en avgörande faktor för stormskadors uppkomst kan vara svårt att beräkna. Topografin påverkar andra delar av landskapet, t ex. kan markegenskaperna förändras med höjden. Sediment kan samlas i dalar och sänkor medan erosion kan föra bort samma material från högre belägna platser. Därmed ges växterna olika villkor att växa på olika höjder. Vindpåverkan är störst på högre höjder men samtidigt förändras markegenskaperna med topografin (Persson 1975). I de flesta modeller för att beräkna risker för skogsskador tas även hänsyn till jordartens sammansättning. Bland annat konstateras att våta jordar vid strandkanter och mossar utgör en risk för stormskador vid höga vindhastigheter (Persson 1975). Även jordartens djup och sammansättning är viktig för trädens rottillväxt (Rosengren & Stjernqvist 2004). Jordartens sammansättning spelar även roll för det enskilda trädets stabilitet (Coutts 1983). Finkorniga jordars, (kohesionsjordar), sammanhållning minskar med ökande vatteninnehåll och ger därmed en svagare förankring än

torrare jordar (*Tamm 1962 genom Persson 1975*). En annan variabel är vindexponering. Många stormskador uppkommer i gränzoner mellan öppen mark och skogspartier som är särskilt känsliga för starka vindar (*Alexander 1964*). Likaså pekar *Persson (1975)* på att övriga öppna ytor, som vägar, kan inverka på skadefrekvensen.

## 1.1 Syfte

Syftet med denna uppsats är uppdelat i två delar. I den första delen ska tre metoder för detektering av stormskador med hjälp av satellitdata från SPOT-satelliten testas. Detekteringsarbetet och fältkontrollerna har gjorts tillsammans med Tomas Johansson, student vid institutionen för Naturgeografi och ekosystemanalys. I den andra delen av syftet ska det undersökas, utifrån resultatet från detekteringen av stormskador, om det finns några samband mellan den spatiala fördelningen av stormskador och variablerna *höjd, sluttning, jordar, vindexponering* och *bonitet*.

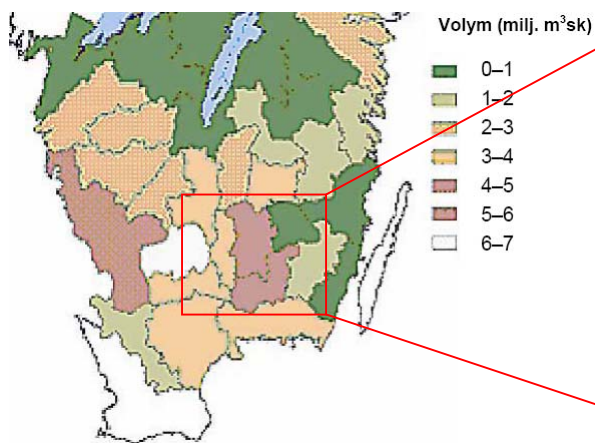
## 1.2 Avgränsning

Det finns flera variabler såsom hydrologiska förhållanden i marken, åldersklasser och täthet i skogen vilka inte undersöks i denna uppsats. Detta pga. svårighet att få tag i data då skadeområdena är alltför utspridda samt tidsaspekten.



### 1.3 Undersökningsområde

Området som har undersökts är begränsat till en del av Kronobergs Län. Området utgörs av en rektangel med koordinaterna 1423784, 6340643 i övre vänstra hörnet, 1476014,6326958 i övre högra hörnet, 1409666, 6289005 i nedre vänstra hörnet och 1463967, 6275570 i nedre högra hörnet (figur 4). Det är ett av de områden som drabbats hårdast av stormens framfart (figur 3). Vid fältkontroller har ett område strax norr om Växjö använts som underlag. Undersökningsområdet består till största delen av granskog, med inslag av tall och björk. I den sydvästra delen är jordbruksmark även en vanligt förekommande markanvändningstyp. Mot nordost övergår landskapet till att bli ett allt mer slutet skogslandskap med färre inslag av jordbruksmark. Den huvudsakliga jordarten är morän med små inslag av andra jordarter.



Figur 3. Volym skadad skog (Skogsstyrelsen 2006)

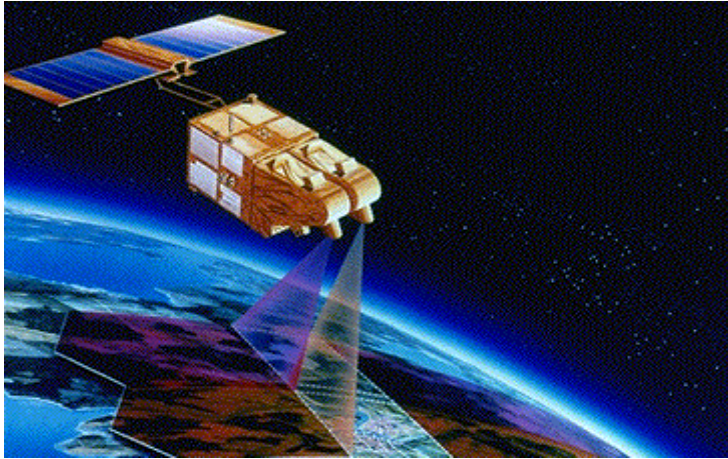


Figur 4. Kronobergs län. Kvadraten visar studieområdets ungefärliga utbredning

## 2. Material

### 2.1 Data

Två satellitscener har använts, en från den 8/9 2004 och en från 2/9 2005. Dessa kommer från den franska satelliten SPOT 5. SPOT 5 är en relativt ny satellit, uppskjuten maj 2002.



Figur 5. SPOT satelliten (*SPOT-image 2005*).

Satelliten flyger på 884 kilometers höjd vid ekvatorn och med en hastighet av 7,4 kilometer per sekund. Detta ger satelliten en orbital varvningstid på 101,4 minuter, och dess orbitala cykel för att återvända till samma område på jorden anges till 26 dygn. Satelliten är utrustad med 2 st sensorer för avläsning i olika spektrala band och skala (tabell. 1).

Tabell 1. Spotsatellitens olika spektrala band, deras upplösning och spektrala område (*SPOT-image 2005*).

Band	Upplösning	Spektralt område
2 st Pankromatiska	5 m	0,48 – 0,71 $\mu\text{m}$
Multispektral grön	10 m	0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$
Multispektral röd	10 m	0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$
Multispektral NIR	10 m	0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$
Kortvågigt infrarött	20 m	1,58 – 1,75 $\mu\text{m}$

Scenerna levereras i \*.BIL format och är färdigprojicerade till RT90. Scenernas utbredningsområde är i formen av en rektangel vilken har utbredningen 7640 rader \* 9090 kolumner för 2005 års scen samt 7580 rader \* 8540 kolumner för 2004 års motsvarighet. Scenernas geografiska placering är: path 057 row 234.

Vidare består materialet av tekniska hjälpmedel i form av datorer och bild- och data-behandlingsprogram. De program vilka använts är ArcGIS, ArcView, Idrisi, PSI Geomatica, Matlab, G-trans samt Excel. Vidare har även GPS använts i fält för kontroll av kartering.

Övriga data som använts är:

- Digitala höjddata ”Höjddata 8bit” i form av ett rasterskikt med upplösningen 50 \* 50m från Lantmäteriets digitala kartbibliotek.
- Bonitetsdata i form av riksskogstaxeringens punktnät. Nätet täcker hela Sverige och administreras av SLU. Formatet är tabelldata.
- Jordartskarta från SGU. Pappersformat. Kartblad Växjö SV Ae 119 5E, 2001.
- Flygbilder över delar av området upplösning 2 \* 2 m. Tillhandahållet av Skogstyrelsen i Växjö.

### 3. Detektering av stormskador

Detta kapitel behandlar tre metoder som använts för kartering av stormskadorna med hjälp av SPOT-data. Automatisk klassificering och differenser mellan de olika banden är vanliga metoder för att upptäcka skillnader av olika slag i satellitscener (*Axelsson m.fl. 1993*), medan skillnader i NDVI är en metod som helt används för att upptäcka skillnader i vegetation (*Campbell 2002*).

#### 3.1 Metod

För att kunna enkelt kartera stormfällena i bilderna utnyttjades avvikelser mellan de två scenerna. Även om man med blotta ögat i vissa fall kunde se att stora förändringar skett mellan de två satellitscenerna, så var områdena alltför små och alltför utspridda för att det skulle kunna vara tidsmässigt möjligt att digitalisera dessa för hand. Därför behövdes en automatisk klassificering av bilderna användas. Eftersom bilderna inte hade samma geografiska utbredning och inte hade lika många rader och kolumner var det nödvändigt att klippa ut det område i vilket de överlappar varandra. Detta gjordes genom att en mask skapas med samma upplösning som SPOT-scenerna. Därefter klipptes dessa scener utifrån masken.

##### 3.1.1 Automatisk klassificering

Metoden innebar att bilderna klassificerades automatiskt genom att olika träningsytor valdes ut och en Maximum Likelihood analys genomfördes. Maximum Likelihood fungerar på så sätt att ett antal områden som antas ha samma egenskaper, t ex skog, väljs ut i en bild. De utgör en träningsyta. Bland alla andra områden (celler) i bilden kontrolleras därefter automatiskt om de har värden liknade de värden som finns i de utvalda områdena (träningsytorna). Om så är fallet tillskrivs de då attributet ”skog” (*Axelsson m.fl. 1993*). Likadant gör man med de övriga klasserna. I bilden från 2005 ledde detta fram till att en ny rasterbild skapades med 4 olika klasser; *Skog*, *Vatten*, *Stormskador* och *Övrigt*. I klassen *Övrigt* ingår bl. a åkrar och tätorter, men även en del stormskador då den spektrala signaturen i *Övrigt* och *Stormskador* är mycket lika varandra. I bilden från 2004 skapades 3 stycken nya klasser *Skog*, *Vatten* och *Övrigt*. För att eliminera förväxlingen mellan *Övrigt* och *Stormskador* i 2005 års scen, och kunna extrahera de stormskadade områdena, överlagrades scenerna med varandra.

### 3.1.2 Skillnadsanalys

I detta fall delades satellitscenerna upp i de olika banden. Detta gjordes med både scenen från 2004 och 2005. Därefter subtraherades de tre första banden från varandra i de olika scenerna. Sedan adderades differenserna från subtraktionen med varandra, enligt följande schema: Band 1 2004 - Band 1 2005 = Differens Band 1, Band 2 2004 - Band 2 2005 = Differens Band 2, Band 3 2004 - Band 3 2005 = Differens Band 3. Differens Band 1 + Differens Band 2 + Differens Band 3 = Total Differens. De områden som uppvisar kraftiga differenser är de områden som utsatts för förändringar och därmed kan dessa vara stormskador.

### 3.1.3 NDVI

Denna metod byggdes på NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Detta beräknas enligt följande formel:

$$(NIR - RED) / (NIR + RED) = NDVI$$

(Campbell 2002)

NDVI beräknades för de två bilderna och därefter subtraherades 2004 från 2005.

$$NDVI_{2005} - NDVI_{2004} = \delta NDVI$$

Därefter definierades gränsvärden för vad som var förändring. Efter visuella kontroller på träningsytor i scenerna bestämdes gränsvärdena till 0,17 – 0,80. Inom dessa gränsvärden kunde en förändring sägas ha ägt rum som inte kunde härledas till naturliga variationer.

Förändring av jordbruksmark från odlat till icke odlat gav upphov till ett högt  $\delta NDVI$ . För att eliminera sådana områden reklassificerades dessa gränsvärden till 1 medan alla övriga värden gavs värde 0. Därefter multiplicerades denna bild med en marktäckedatabild som skapats av 2004 års satellitscen genom Maximum Likelihoodmetoden. I denna bild hade skogen fått värdet 1 medan alla andra områden klassats till 0. Detta gav ett rasterdataset med förändringar enbart för skogsklassen. Därefter filtrerades resultatet 2 gånger, först med ett 5 \* 5 medianfönster och därefter med ett 3 \* 3 medianfönster. Detta gjordes för att få ett jämnare resultat och eliminera de sista resterna av plottrighet i bilden (Eklundh 2003).

### **3.1.4 Noggrannhetsutvärdering**

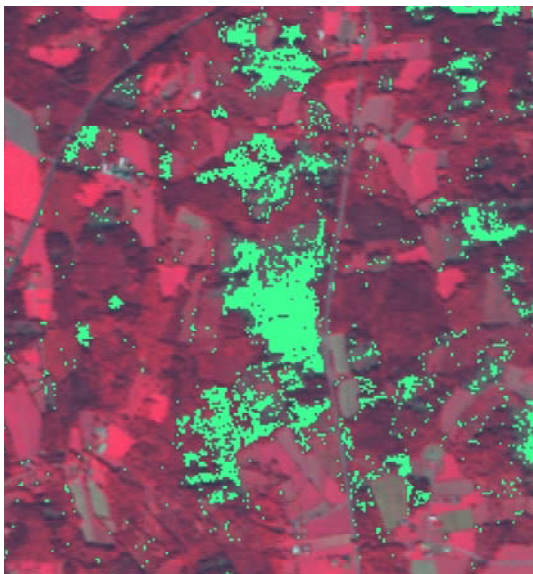
För att utvärdera resultatet gjordes två fältkontroller i vilka sammanlagt 85 punkter valdes ut och kontrollerades. Punkterna slumpades genom att ett program skrevs som genererade punkter över det utvalda området. Då området var alltför stort för att kunna kontrolleras i sin helhet valdes kvadrater ut där punkterna slumpades. Olika områden med täta punkter valdes ut för att försöka få hög noggrannhet och hög precision som möjligt. Kontrollkvadraterna var av två typer. Den större bestod av 5 st kvadrater på 1000 \* 1000 m. I fyra av dessa slumpades 10 punkter och i den femte 5 punkter. De mindre kvadraterna var 250 \* 250 m och i var och en av dessa slumpades 10 punkter. Kartnoggrannheten kontrollerades genom objektnoggrannhet och klassningsnoggrannhet samt genom ett statistiskt utvärderingsmått: kapp (*Eklundh 2003*).

## 3.2 Resultat

### 3.2.1 Detektering

Metod 1 (automatisk klassificering) gav ett godkänt resultat i kartering av stormskador. Den visade sig dock ge en underskattning av stormskadorna även om de återfanns på rätt ställe (figur 6).

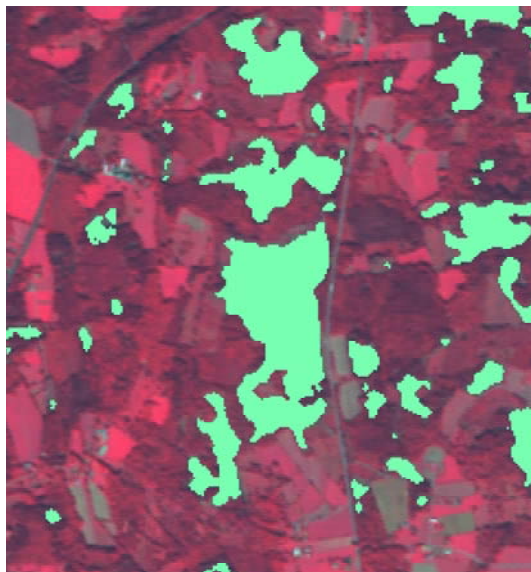
Metod 2 (differenser mellan banden) visade sig ha allvarliga brister genom att inkludera alltför stora delar av övrig mark såsom åker m.m. (figur 7). Den metod som gav bäst resultat var metod 3,  $\delta$ NDVI, (figur 8). Denna metod visade sig vara effektiv för att detektera de sökta förändringarna i skogen.



Figur 6 De gröna områdena i bilden visar stormskadad skog. Denna bild utgör resultatet av en automatisk klassificering av två SPOT-scener som därefter överlagrats. Bilden är ett utsnitt av SPOT-scenen.



Figur 7. De gröna områdena visar stormskador enligt metod 2, differenser mellan banden i SPOT-scenerna. Bilden är ett utsnitt av SPOT-scenen.



Figur 8. De gröna områdena visar stormskador. Resultatet är beräknat utifrån  $\delta$ NDVI och marktäckedata. Bilden är ett utsnitt av SPOT-scenen.

$\delta$ NDVI för de olika spot-scenerna låg i intervallet -0.51-0.84. Gränsvärden sattes vid 0,17-0.80. De stora negativa värdena kom i huvudsak från förändring i åkermark, men dessa togs bort med hjälp av tidigare klassificerad marktäckedata. Bilden filtrerades för att få bort enstaka områden, (celler), mitt i skadeområdena som inte kommit med i detekteringen.

För bestämning av de olika karteringsmetodernas noggrannhet beräknades statistik för de 85 kontrollpunkterna. Resultatet av denna kontroll framgår tabell 2.

Tabell 2a. Statistiskt resultat av karteringsnoggrannhet.

Metod	Klassningsnoggr.	Objektsnoggr.	kappa
Autom. klass.	92,5	59,5	0,755
Band diff.	82,2	86,0	0,686
$\delta$ NDVI + marktyp.	94,5	83,3	0,760

Samtliga klasser uppvisar en relativt hög noggrannhet. Metod 1 (automatisk klassificering) och 3 ( $\delta$ NDVI + marktyp) skiljer sig i klassnings- och objektsnoggrannhet men har liknande kappavärde. Vid en visuell bedömning ser man tydliga skillnader mellan de olika metoderna. Metod 2, (skillnadsanalys), avviker dock med ett sämre kappavärde än de övriga metoderna trots en hög klassnings- och objektsnoggrannhet. Metod 3 uppvisar de bästa statistiska resultaten tillsammans med det bästa visuella resultatet även utan filtrering och får därmed anses vara den bästa av de undersökta metoderna för detektering av stormskador.



### 3.3 Diskussion

De olika metoderna visar på tre olika sätt att få fram områden i vilka stormskador förekommer. Metod 1 i vilken en automatisk klassificering används skiljer sig från de två övriga som bygger på differenser i de olika banden mellan de två SPOT-scenerna. Att få fram de stormskadade områdena med hjälp av endast en SPOT-scen var inte möjligt. Det krävdes någon form av referensmaterial. Vid en automatisk klassificering genom Maximum likelihood gav metoden upphov till att ytor inkluderades som inte var skog t ex. åkermark och bebyggelse. Samma resultat uppnåddes även om träningsytorna gjordes större och noggrannare. Därför krävdes en överlagringsoperation med en referensbild för att kunna filtrera bort celler i rastret som inte utgjorde förändring i skog. De celler som filtrerades bort representerade ofta bebyggelse, vägar samt åkrar. Alla dessa typer hade en spektral signatur vilken var mycket lik stormskadornas signatur.

Vid en skillnadsanalys mellan de olika banden visade sig samma fenomen som tidigare; likheterna i spektral signal mellan de olika marktyperna var alltför stora för att en godkänd kartering skulle kunna låta sig genomföras. Det som i huvudsak ledde till fel var förändringar i åkermark. Även om SPOT-scenerna är från ungefär samma tidpunkt på året så är denna tidpunkt kritisk eftersom skörden infaller ungefär då. Åkrarna brukas inte heller varje år utan ligger i träda vissa år.

Liknande problem som vid de två tidigare metoderna uppstod delvis även med metod 3,  $\delta$ NDVI + marktäckedata. Vid beräkning av NDVI och differensen mellan de olika åren stod det klart att även i detta fall gav förändring i åkermark utslag i form av kraftig förändring av NDVI. Någon form av marktäckedata behövs för att kunna eliminera de områdena, främst åkermark, som inte är intressanta i analysen. I övrigt kan denna metod anses vara lyckad för att mäta förändringar i skog. Särskilt om man har tillgång till rikstäckande markdata med lika hög upplösning som det material man arbetar med.

Resultaten från noggrannhetsutvärderingen för metod 1 (automatisk klassificering) visar på en låg objektnoggrannhet. Detta innebär att för en slumpmässigt vald punkt i verkligheten är det en låg sannolikhet för denna att vara korrekt karterad. Det höga värdet för klassningsnoggrannhet innebär dock att sannolikheten, för att en slumpmässigt vald punkt i kartan är korrekt karterad, är hög. Detta är ett resultat av underkartering av stormskadorna i

metod 1 (automatisk klassificering). Orsaken till att ett högt kappavärde ändå erhållits beror på att övriga klasser därmed inte har lika många felkarteringar. Att metod 2 uppvisar en högre objektsnoggrannhet kan förklaras med att denna metod klassat större sammanhängande ytor som stormskador. Därmed kommer fler stormskador med i karteringen men i gengäld uppstår fler fel i andra klasser. Den tredje metoden  $\delta\text{NDVI} + \text{marktäckedata}$  uppvisar det jämnaste resultatet med en relativt hög klassnings- och objektsnoggrannhet och ett högt kappavärde.

Skadornas spatiala fördelning i studieområdet visar på en minskning av stormskadorna mot nordost.

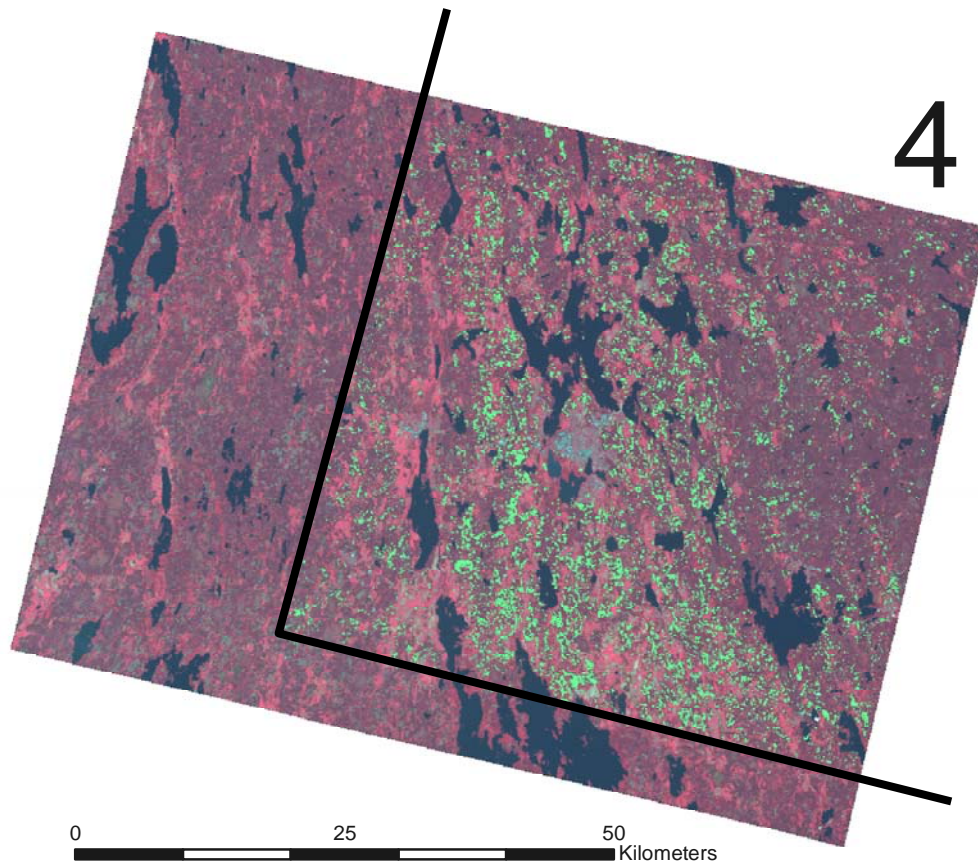
### **3.3.1 Felkällor i karteringsarbetet**

Under analysens gång har data med olika upplösning använt. Datamaterialets upplösning innebär alltid ett problem; På en yta av  $100\text{m}^2$  finns det plats för många träd och därför kan noggrannheten, speciellt vid kantzoner, bli nedsatt. Det går inte att få en bättre noggrannhet än vad datamaterialets upplösning ger. En cell med 10 meters upplösning med attributet skog, behöver inte nödvändigtvis bestå till 100 procent av skog utan bara en så stor del att den spektrala signaturen får ett värde som passar in på skog. Därmed kan kantzoner inte karteras exakt utan har ett inneboende fel som inte går att frångå pga. materialets upplösning.

Fel i data fortplantar sig för varje operation som görs. Det borde innebära att de många steg som krävts för att få fram ett godtagbart resultat ger upphov till fel. Tekniska hjälpmedel som GPS vilka använts vid fältkontroller av data har sina begränsningar. Detta ger naturligtvis upphov till fel i noggrannheten. Ännu en aspekt är stormskadorna i sig. De är inte säkert att de är stormskador utan kan vara normala hyggesområden.

## 4. Stormskadornas spatiala fördelning

Den stora delen av stormskadorna är fördelade till den sydvästra delen av undersökningsområdet (figur 9). Det södra och mest utsatta områdena utgörs till stor del av åkermark med skogspartier insprängda emellan åkrarna.



Figur 9. I området markerat av den svarta linjen visas undersökningsområdet och stormskadornas utbredning. De gröna områdena utgör stormskador mot en bakgrund av en satellitscen.

Mot nordost övergår landskapet till att bli ett alltmer särpräglat skogslandskap och de öppna ytorna utgör undantagen i landskapsbilden. Den sydvästra halvan av undersökningsområdet står för 60,8 % av de totala stormskadorna i området.

För att undersöka om fler geografiska variabler, utöver vinden, påverkat stormskadornas spatiala fördelning testades följande variabler mot resultatet av metod 3 ( $\delta$ NDVI); *Höjd*, *Sluttningsriktning*, *Bonitet*, *Jordart* och *Vindexponering*.

## 4.1 Metod

### 4.1.1 Höjd

Höjddata delades in i olika kategorier efter höjd över havet. Samtliga områden över ett visst värde valdes ut enligt följande princip :

$$\text{HÖJD175} = [\text{HÖJD}] > 175,$$

vilket gav ett värde på 1 för alla celler över 175 meters höjd och 0 för de övriga. På detta sätt skapades nya raster med 25 meters intervall mellan 150 och 250 meter. Därefter beräknades arealen av varje höjdklass i förhållande till hela områdets area. För att kunna se samband mellan stormskadorna och höjd över havet beräknades arealen stormfälld skog för var och en av de olika höjdsnitten enligt följande princip:

$$\text{STORM175METER} = [\text{HÖJD175}] * [\text{STORMSKADOR}] \text{ (figur. 10)}$$

Resultatet blev ett nytt rasterskikt med värdet 1 för celler från STORMSKADOR på en höjd av minst 175 meter över havet, och värdet 0 för övriga celler. Därefter beräknades andelen celler i de nya skikten i förhållande till rasterskiktet med samtlig stormfälld skog.

1	1	0	0	0
1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	0
1	1	1	0	0

\*

0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0
1	1	1	0	0

=

0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
1	1	1	0	0

Figur 10. visar den principen för överlagring av rasterdataset. Varje cell multipliceras med sin motsvarighet i den andra bilden och ett nytt raster skapas av de nya värdena.

### 4.1.2 Sluttningsriktning

Sluttningar riktade mot den dominerande vindriktningen anses vara speciellt utsatta för vinden (*Strathers et. al 1994*). Även läsluttningar kan vara utsatta för kraftig vind i form av turbulens, s.k. eddies (*Allen & Brown 2001*) För att få fram de sluttningar som vetter mot den under stormen dominerande vindriktningen samt deras läsidor filtrerades höjddata. Två filterkärnor konstruerades vilka var 7 \* 7 pixlar stora och med värden enligt figurerna 11 a-b.

0	4	4	4	4	4	4
-4	0	4	4	4	4	4
-4	-4	0	4	4	4	4
-4	-4	-4	0	4	4	4
-4	-4	-4	-4	0	4	4
-4	-4	-4	-4	-4	0	4
-4	-4	-4	-4	-4	-4	0

Figur 11a. Fönster för att förstärka sluttningar mot sydväst

0	-4	-4	-4	-4	-4	-4
4	0	-4	-4	-4	-4	-4
4	4	0	-4	-4	-4	-4
4	4	4	0	-4	-4	-4
4	4	4	4	0	-4	-4
4	4	4	4	4	0	-4
4	4	4	4	4	4	0

Figur 11b. Fönster för att förstärka sluttningar mot nordost

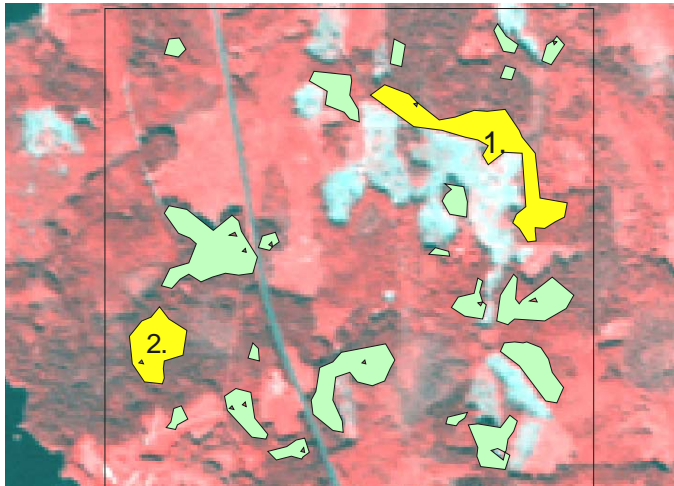
Vid filtreringen förstärktes sluttningar riktade mot stormens vindriktning. Bilden klassificerades därefter till ett boolskt format i vilket samtliga sluttningar mot sydväst fick värde 1 och övrigt värde 0. När detta skett kontrollerades hur stor andel av stormskadorna som låg inom område med en sydvästsluttning genom överlagringsmetoder.

### 4.1.3 Bonitet

Samband mellan bonitet och stormskador kontrollerades genom att undersöka medelvärdet av boniteten i de områden där stormskador förekom med de områden som saknade stormskador. Detta genomfördes genom att riksskogstaxeringens punktnät interpolerades till rasterformat genom en avståndsviktad medelvärdesinterpolation (*Eklundh 2003*) med parametrarna: vikt 2 och antal punkter 20. Därefter extraherades ett medelvärde för de stormskadade områden och likaså för oskadade områden.

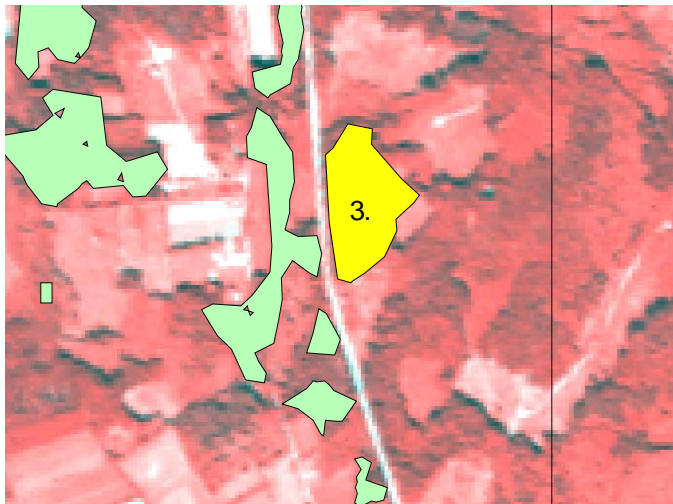
#### 4.1.4 Jord och Vindexponering

Både jordart och vindexponering analyserades med hjälp av visuell tolkning. De olika dataskikten lästes in i ett GIS-program. Då jordartsdata endast var tillgängligt i form av



Figur 12a. Området märkt med 1 ger ett exempel på ett område där stormskadan tydligt skett i anslutning till en kantzon, medan 2 är helt omsluten av skyddande skog. Bilden är ett utsnitt av SPOT-scenen.

stormskador till landskapsstruktur konstruerades kvadrater på 1500 \* 1500 m. Dessa placerades ut över ett utvalt område. I varje sådan kvadrat filterades de ytor (stormskador) vilka var under 1000 m<sup>2</sup> i storlek bort. Därefter kontrollerades varje yta (stormskada) och



Figur 12b. 3. ger ett exempel på ett stormfällt område i nära anslutning till en väg. Bilden är ett utsnitt av SPOT-scenen.

papperskarta över ett litet område skannades denna in. Därefter georefererades den till att passa in på övriga data. Eftersom området var litet och dataformatet annorlunda uppskattades stormskadornas utbredning i förhållande till olika jordar endast visuellt utan någon statistisk analys. Vid vindexponering kontrollerades om öppna ytor som åkrar, sjöar, kalhyggen och vägar hade någon inverkan på stormskadorna (Persson 1975). För att kunna härleda

tillfördes ett attribut huruvida de låg exponerades för vind eller i en skyddad zon såsom inne i ett skogsområde enligt figur 12a-b. Därefter beräknades area och antalet ytor för de olika exponeringsattributen.

## 4.2 Resultat

### 4.2.1 Höjd

Högre höjd innebär ofta en högre vindhastighet och med detta en större risk för stormskador (*Persson 1975*). Hela studieområdet ligger relativt högt över havet med en medelhöjd på 188 meter. Maxhöjden inom studieområdet är 302 meter och lägsta punkt är 17 meter. Andelen skog som skadats på de olika höjder och höjdintervaller framgår av tabell 3a och 3b.

Tabell 3a. Andel skador på olika höjdintervall.

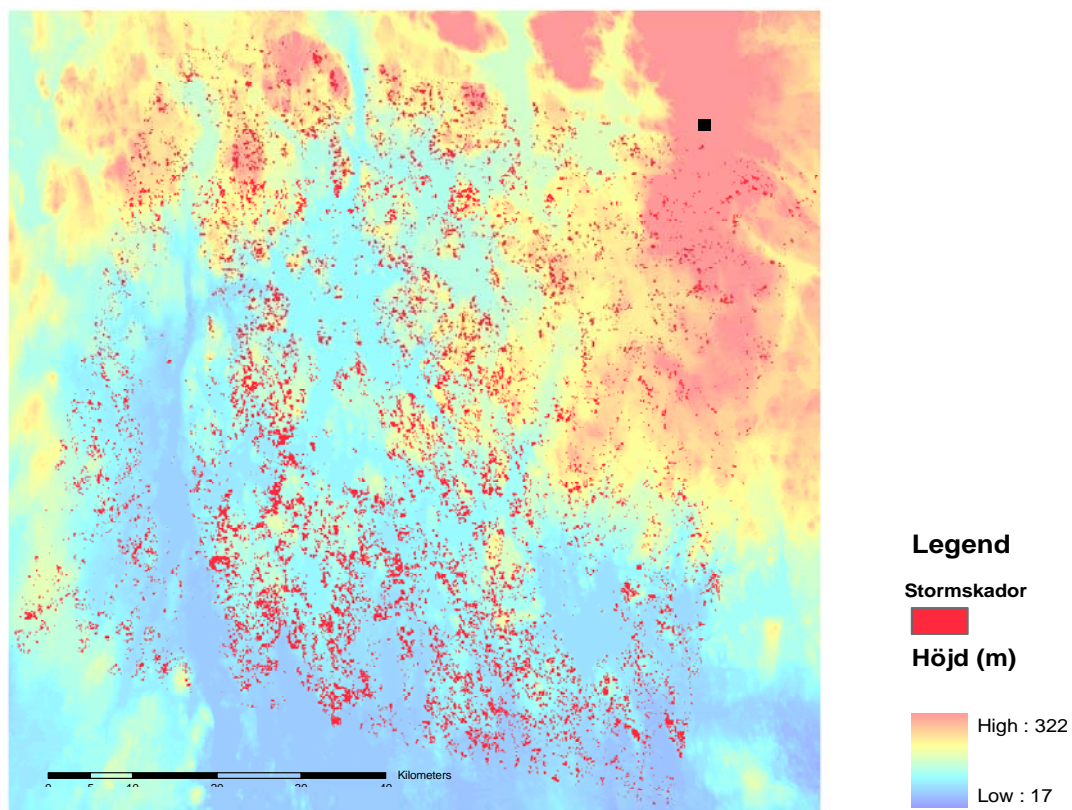
Höjd intervall (m)	Andel skadad skog (%)
>250	8,0
225 – 250	9,6
200 – 225	12,5
175 – 200	18,6
150 – 175	22,6

Tabell 3b. Andel skador på olika höjder samt höjdens andel av studieområdet.

Höjd över (m)	Andel skador(%)	Areal av studieområdet (%)
>250	3,3	5,4
>225	10,5	15,0
>200	24,1	30,2
>175	54,7	52,2
>150	88,0	85,0

Det framgår av tabellerna att lägre höjder har en högre andel stormskador på skogen. Den del av skogen som finns på höjdintervallet 150 – 175 meter uppvisar en nästan 3 ggr så stor skadefrekvens som den andel av skogen som befinner sig över 250 meter. Vid intervallet >175 meter överstiger skadorna till och med sin proportion av areal i förhållande till studieområdet.

Höjddatamodellen visar en trend mot högre höjd i nordost och minskande andel stormskador (figur 13).



Figur 13. DEM och stormskador för undersökningsområdet.

#### 4.2.2 Sluttning

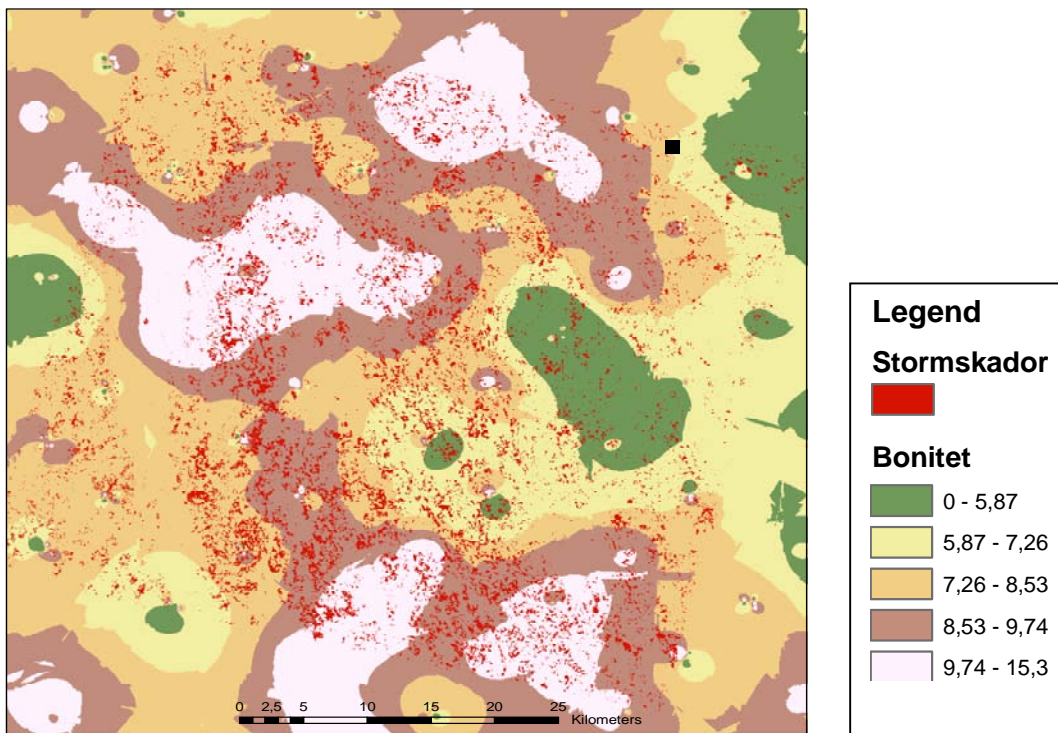
Vid en överlagring mellan stormskador och sydvästsluttningar kunde ett tydligt resultat ses: Ca 49,5 % av alla stormskador hade inträffat på en yta som vetter mot sydväst. För sluttningar som vetter mot nordost var motsvarande siffra endast 5,6 %. Övriga ytor dvs. flacka partier både på höjder och i lågt liggande partier utgör resterande 44,9 %.



### 4.2.3 Bonitet

Vid beräkning av medelvärde av bonitet inom och utanför stormdrabbat område extraherades följande värden: område drabbat av stormskada hade en medelvärdessbonitet på  $8,56 \pm 1,48$  std  $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$ . För oskadat område erhöles medelvärdet  $8,29 \pm 1,62$  std  $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$ . Detta ger en differens på  $0,27 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ . Då differensen är mycket liten i jämförelse med standardavvikelseerna kan de två medelvärdena inte skiljas åt statistiskt.

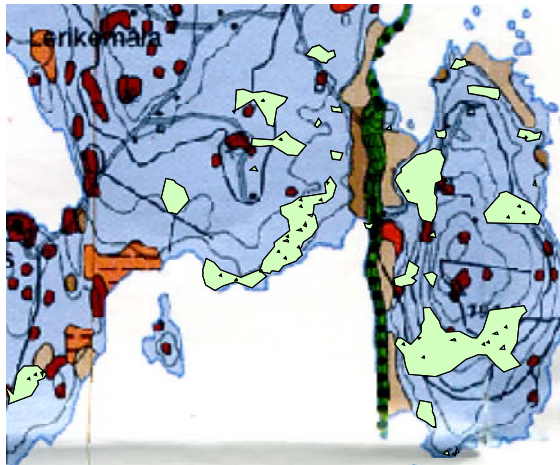
Det finns en trend vilken ger en ökad bonitet mot syd. Stormskadorna återfinns primärt i sydväst med ett avtagande mot den nordliga delen av undersökningsområdet (figur 14).



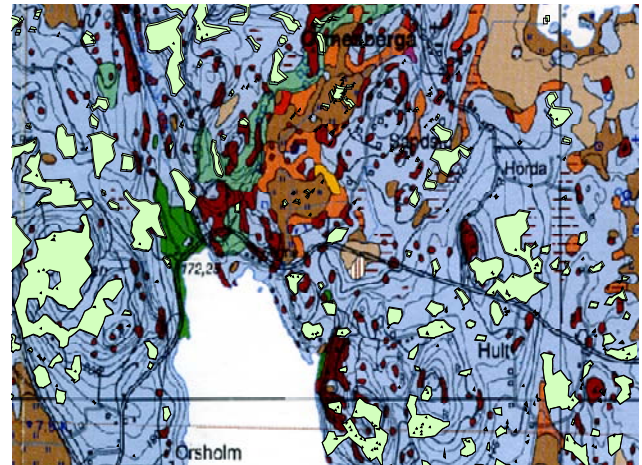
Figur 14. Bonitetsdata samt stormskador för undersökningsområdet.

#### 4.2.4 Jordart

Den jordart i området, som är mest drabbad av stormskador är morän. Stormskadorna sprider sig sällan in på andra jordar och i många fall upphör skadan vid övergång till annan jordart (figur 15a). Övriga jordar är näst intill opåverkade även i förhållande till sin ringa utbredning i jämförelse med moränen (figur 15b). Det förekommer skog på ickemorän men pga. det ringa datamaterialet är det inte möjligt att göra någon statistisk analys på jordart. Istället får en visuell bedömning ligga till grund för resultatet.



Figur 15a. De ljusgröna områdena visar stormskador mot en bakgrund från jordartskartan. De ljusblå områdena utgör morän, de övriga färgerna utgör andra jordarter. Bilden utgör en del av undersökningsområdet



Figur 15b Visar stormskadornas utbredning mot en bakgrund av jordartskartan. Det framgår att moränen, (ljusblått), är mer utsatt än övriga jordarter. Bilden utgör en del av undersökningsområdet

I de fall stormskador förekommer på andra jordar är det ofta i samband med en övergång från en morän. Då någon statistisk analys inte gjorts utan endast en överskådlig visuell analys är gjord blir det svårt att extrahera fler resultat ur denna variabel.

Jordarna var dock våta och inte frusna vid tidpunkten för stormen. Därmed saknade skogsbestånden under stormtillfället den extra stadga som den frusna jorden ger (SMHI 2005).

## 4.2.5 Vindexponering

Vid beräkning av arealer och ytor för stormskadade områden som varit olika exponerade för vinden, (dvs. öppna för exposition, inneslutna i skog eller gränsande till väg), erhöles följande resultat enligt tabell 4.

Tabell 4. Skadornas utbredning i förhållande till olika exponering.

Typ	Väg	Skogsomsluten	Öppen terräng	Totalt
Antal	5	56	59	120
Areal	9,45 ha	77,76 ha	175,17 ha	262,38 ha
Areal%	3,6	29,6	66,8	100

Resultaten visar på att stormskadorna som inträffar i anslutning öppen terräng är mer än 2 ggr så stora som de som inträffar inne i ett skogsområde. Antalet ytor som uppvisar stormskador skiljer sig dock inte nämnvärt. Vid en visuell tolkning av stormskadorna utmärker sig vägarna inte mycket. Det förekommer skador vid vägar men de är inte överrepresenterade i förhållande till skador i andra områden. I de fall skador förekommer vid vägar är de lika ofta lokaliserade på den västra sidan av vägen som på den östra och därmed skulle vägens skärning i skogen inte vara det som påverkar skadans uppkomst.

## 4.3 Diskussion

### 4.3.1 Höjd

Ett samband mellan lägre höjd och ökande stormskador kunde upptäckas, vilket är ologiskt då högre höjd ofta innebär högre vindhastigheter och ökad risk för exponering (*Persson 1975*). Det ska dock sägas att områdets topografiska profil är sådant att höjden ökar mot nordost och minskar mot sydväst medan stormskadorna minskar mot nordost och ökar mot sydväst. Områdets sydvästra del står för 60,8 % av alla stormskador i området. Dessa geografiska trender gör att de observerade sambanden inte nödvändigtvis tyder på ett orsakssammanhang mellan höjd och skadefrekvens. Skadornas geografiska fördelning sammanfaller med dominerande vindriktning. Utan data på vindhastigheter i området är det svårt att utesluta att skadornas fördelning är kopplande till vindriktningen. Det negativa sambandet med höjd är då ett resultat av att vindriktningen sammanföll med landskapets topografi. Vidare så kan även nämnas att de högsta höjderna i många fall kanske inte är så lämpliga för skog då marktäcket kan vara för tunt för att kunna bära någon kraftigare skog.

Därmed finns mindre skog som kan skadas i en storm. Faktum kvarstår dock, i denna undersökning var är det de lägre höjderna som har större andel skadad skog än de högre höjderna.

#### **4.3.2 Sluttning**

Analysen av sluttningarnas påverkan på andelen stormskador visade upp ett resultat som kan vara värt att notera; Om det förekommit turbulens på läsidorna (*Allen & Brown 2001*) har den inte varit så kraftig att den orsakat några omfattande skador. Att endast 5,6 % av stormskadorna återfinns på en nordost sluttning torde tyda på att det finns ett samband mellan sluttningsriktning och vindriktning. Fördelningen mellan sydvästsluttningar och de flacka partierna var i stort sett densamma vilket kan betyda att vinden inte rört sig endast i en riktning utan i flera olika riktningar och därmed givit upphov till mer komplexa spatiala mönster bland stormskadorna.

#### **4.3.3 Bonitet**

Det finns ett spatialt mönster som visar på en minskad bonitet mot nordost. Likaså förekommer en minskning av stormskadorna mot nordost. Skillnaden i medelvärde mellan de områden som påverkats av stormen och de som är opåverkade är dock så liten att det statistiskt inte går att skilja de olika värdena åt. Detta borde innebära att det inte finns något samband mellan bonitet och stormskador. En fråga man dock kan ställa sig är om det skulle ge ett annorlunda resultat om man ändrade undersökningsområdets storlek och jämförde t ex de enskilda stormskadornas storlek, (area), i förhållande till boniteten. Ökad bonitet innebär ofta en ökning av de enskilda trädens storlek. Genom detta faktum utsätts ett skogsbestånd som växer på en näringsrikare mark för större vindmassor (*Person 1975*).

#### **4.3.4 Jordart**

Eftersom jordartsdata endast fanns tillgängligt i en mycket begränsad mängd kunde ingen statistisk analys genomföras. Istället har en visuell bedömning gjorts med uppskattningar av stormskadornas utbredning på de olika jordarna. Den stora andelen stormskador som inträffat på jordarten morän kan förmodligen förklaras med att detta är den huvudsakliga jordarten i området. Vid en visuell kontroll konstaterades att de övriga jordarna som isälvsediment och andra finkornigare jordar i huvudsak används som jordbruksmark. Detta är den troliga förklaringen till varför vissa stormskador ser ut att upphöra vid övergången från morän till annan jordart. Påpekandet av *Tamm (Persson 1975)* att fuktiga kohesionsjordar (finkorniga

jordar) skulle utgöra en nedsättning av förankringsmöjligheterna för trädens rötter stämmer säkerligen, frågan är bara om man ska räkna moränen i undersökningsområdet som en kohesionsjord då den är relativt storblockig.

Den viktigaste aspekten när det gäller jordar bör vara det faktum att marken inte var frusen vid stormtillfället (*SMHI 2005*). Detta ledde till att extra hållfasthet gick förlorad. Många aspekter på jordart är inte utforskade i denna uppsats. Exempelvis är kornstorlek och markhydrologiska variabler viktiga då de spelar stor roll för rotutvecklingen. Även jordens djup kan vara viktigt för trädens stabilitet (*Eli & Ruel 2005*). I dessa faktorer kan man troligen finna fler och mer uttömmande svar.

#### **4.3.5 Vindexponering**

Skogsbestånd som är mer exponerade för vind uppvisar större skador än de som ligger mer skyddat. De skador som i vindriktningen gränsar mot hyggen, åkrar och övriga öppna ytor är mer än 2 ggr så stora som de skador som skett inne i bestånd där vindexponeringen inte är lika stor. Det ter sig som en självklarhet att de områden vinden träffar först bör vara de som åsamkas störst skada. Anmärkningsvärt är dock att antalet skador var i stort sett detsamma mellan skogsomslutna skadeområden och de som låg mer exponerade för vinden. När det gäller arean på de olika formerna av skador var dock skillnaderna betydande. Vid analysen var det ett problem att få med skador vid vägar. Större vägar som är synliga på satellitscenerna är sällsynta i området. Detta kan förklara varför skador vid vägar utgör en så liten del av materialet. *Persson (1975)* visar på att många skador uppkommer just vid vägkanter. I denna undersökning kunde något sådant samband inte upptäckas. Vid visuell tolkning av materialet kunde konstateras att stormskador förekommer vid vägar men är inte överrepresenterade. Likaså förekommer skador på både båda sidor om vägarna. Detta kan vara en indikation på att det inte är vägens skärning genom skogen som orsakar skadan utan någon annan variabel.

Skadornas komplexitet innebär även detta ett problem. Bara för att en skada ser ut att ha utgått från t ex en åker, innebär det inte nödvändigtvis att så är fallet. Skadan kan ha genererats på ett annorlunda sätt, genom turbulenta vindar eller vindar som genom topografin påverkats att avvika från den dominerande vindriktningen. *Alexander (1964)* påpekar dock att just gränzoner utgör ett stort problem och att det är oftast utifrån dessa som stormskadorna uppkommer.

## 5. Slutsatser

När det gäller kartering av skogsskador kan det sägas att en automatisk klassificering kan ge ett statistiskt gott resultat, men innebära en dålig noggrannhet i kantzoner, och att det behövs någon form av marktäckedata för att kunna få fram bra resultat. Skillnader i NDVI är en bra metod för att upptäcka skillnader i vegetationen, dock behövs även här referensmaterial i form av marktäckedata. Genom skillnader i NDVI och referensmaterial som marktäckedata kan man härleda förändringar som skett i skogen. Ett problem är dock att man inte kan säga om förändringen skett genom en antropogen påverkan, dvs. avverkning, eller pga. stormen.

Skadorna är huvudsakligen förlagda till den sydvästra delen av undersökningsområdet. En möjlig förklaring till detta är att landskapet blir mer slutet i nordost och vinden inte får samma fart som i sydväst där det finns fler öppna ytor.

Det finns inga samband mellan ökande höjd över havet och ökande andel stormskador som angetts av Persson (1975). Däremot pekar statistiken på en ökning av andelen stormskador och lägre höjd. Andelen skadad skog i intervallet 150 – 200 meter ligger på 22,6% medan det högsta intervallet 225 – 250 endast uppvisar 9,6 %. Landskapets topografiska trend visar på en höjning som sammanfaller med vindriktningen under stormen. Detta kan göra det svårt att dra några direkta slutsatser berörande det negativa sambandet mellan höjd och stormskador. En möjlig förklaring till fördelningen av stormskadorna kan vara att landskapet är mer fragmenterat på lägre höjder och ett mer homogent skogslandskap på högre höjder. Detta kan leda till att vindarna får mer fart på de lägre höjderna och skogsbestånden är mer exponerade för vinden.

Sluttningar mot vindriktningen och flacka partier i landskapet är mer utsatta för stormskador än vad läsluttningar är. En mycket liten del av stormskadorna återfinns på läsluttningar. Detta skulle kunna indikera att turbulensen i vindarna inte var alltför stor.

Genom att jämföra bonitetens medelvärde för skadade och oskadade områden kan man ej finna några samband mellan skadad och oskadad skog. Den skillnad som fanns var statistiskt sett så liten att områdena ej går att skilja åt. Vid en visuell analys kan man dock se att boniteten minskar med en nordostlig gradient, likaså gör stormskadorna.

De flesta skador har uppkommit på jordarten morän. Denna jordart är dock överrepresenterad i området. Övriga jordar används i stor utsträckning som jordbruksmark. På grund av detta är det här inte möjligt att dra några slutsatser om jordartens relation till stormskadorna. Den troligtvis viktigaste aspekten när det gäller jordar är förmodligen att marken inte var frusen vid stormtillfället. Detta minskade jordens hållfasthet och bidrog säkert till omfattningen på skadorna.

Hyggeskanter och områden gränsande mot öppna ytor är mer utsatta för stormskador än skyddade ytor är. Vägar utgör i denna undersökning inte ett element i landskapet som gett upphov till några större störningar om man ser till den totala fördelningen av stormskador. Stormskador förekommer även inne i skogsbestånd men då är skadorna i regel mindre till sin utbredning.

Slutligen ska påpekas att det som slutligen avgör om en stormskada ska uppstå är vindhastigheten och hur länge den håller i sig (*Persson 1975*). Övriga variabler kan ha bidragande effekter, men utan vind - ingen stormskada.

## 6. Referenser

- Alexander, R.R. 1964. *Minimizing windfall around clear cuttings in spruce-fir forests*. *For. Sci.* 10(2):130-42.
- Allen, T. Brown, A.R. 2001. *Large-Eddy Simulation of Turbulent Separated Flow over Rough Hills*. *Boundary-Layer Meteorology* 102: 177–198
- Axelsson, H. Börjars, E. Minell, H. Nilsson, B. Pettersson, B. Renander, B. 1993. *Flygbildsteknik och Fjärranalys. Nämnden för Skoglig Fjärranalys*. Skogstyrelsen Stockholm, ISBN 91-884-62-04-8. 430pp
- Campbell, J.B. 2002. *Introduction to Remote Sensing, Third Edition*. Taylor and Francis, London. ISBN 0-415-28294-2. 621pp
- Coutts, M.P. 1983. *Root architecture and tree stability*. *Plant and Soil* 71 :1 71-1 88.
- Eklundh, L 2003. *Geografisk informationsbehandling - metoder och tillämpningar*. Formas, Stockholm, ISBN 91-540-5904-6, 351pp
- Elie, J.G. Ruel, J.C. 2005. *Windthrow hazard modelling in boreal forests of black spruce and jack pine*. *Can. J. For. Res.* 35: 2655–2663
- Fransson J. Walter, F. Blennow, K. Gustavsson, A. 2002. *Detection of Storm-Damaged Forested Areas Using Airborne CARABAS-II VHF SAR Image Data*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 10.
- Fridh, M 2006. *Stormen 2005 – En skoglig analys*. Skogstyrelsen, Meddelande 1.
- Jackson, R. Giles M. Foodya, G.M. Quineb C.P. 2000. *Characterising wind thrown gaps from fine spatial resolution remotely sensed data*. *Forest Ecology and Management*. Volume 135, Issues 1-3, Pages 253-260
- Nicoll, B.C. Achim, A. Mochan, S. Gardiner, B.A. 2005. *Does steep terrain influence tree stability? A field investigation*. *Canadian Journal of Forest Science*. 35: 2360–2367
- Nilsson, C. Stjernquist, I. Barring, L. Schlyter, P. Jönsson, A.M. Samuelsson, H. 2004. *Recorded storm damage in Swedish forests 1901–2000* *Forest Ecology and Management*, 199, 165–173
- Persson, P. 1975. *Stormskador på skog – Uppkomstbetingelser och inverkan på skogliga åtgärder*. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och uppsatser Nr 36. Stockholm 294pp.
- Rosengren, U. & Stjernquist, I. 2004. *Gå på djupet – om rotdjup och rotproduktion i olika skogstyper*. SUFOR, Lund. ISBN 91-576-6617-2, 57p
- Schwarz, M. Steinmeier, C. Holecz, F. Stebler, O. Wagner, H. 2003 *Detection of Windthrow in Mountainous Regions with Different Remote Sensing Data and Classification Methods*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18, 535-536
- SMHI, 2005. *Januaristormen*, Faktablad 25 november 2005
- Strathers, R.J. Rollerson, T.P. Mitchell S.J. 1994. *Windthrow Handbook for British Columbia Forests*. Canadian Ministry of Forests Research Program. Working paper 9401
- Tamm, O. 1962. *Skoglig marklära*. Skogshögskolans kompendiekommitté. Citerad genom Persson, P. 1975. *Stormskador på skog – Uppkomstbetingelser och inverkan på skogliga åtgärder*. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och uppsatser Nr 36. Stockholm 294pp.



## **Internetkällor**

### **Skogstyrelsen SVO**

<http://www.skogsstyrelsen.se/minskog/templates/Page.asp?id=17053> 060504

### **SPOT-images**

[http://www.spotimage.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p229\\_3a1cd2cb59b76fc75e20286a6abb7efesatSpot\\_E.pdf](http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p229_3a1cd2cb59b76fc75e20286a6abb7efesatSpot_E.pdf) 060504

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serie startade 1985.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.  
Report series started 1985.

79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
81. Lalloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
82. Almqvist, J., Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka.  
Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study.  
Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
86. Håkansson, J., Kjörling, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärlväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärlväxter i Göteborgs artdatabank, ADA.
90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
93. Göthe, A., (2002): Översvämningskartering av Vombs ängar.
94. Lööv, A., (2002): Igenväxning av Köphultsjö – bakomliggande orsaker och processer.
95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
96. Hedberg, M., Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.
98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other

- trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.
100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
  101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
  102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
  103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
  104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
  105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
  106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
  107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
  108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
  109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
  110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
  111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
  112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
  113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO<sub>2</sub> fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
  114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
  115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
  116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
  117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
  118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration affect vegetation productivity?
  119. Tolleback, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
  120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogsområden i södra Sverige.
  121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
  122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
  123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
  124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer I sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
  125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tåguller i Skåne – befolkningens exponering.

126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.