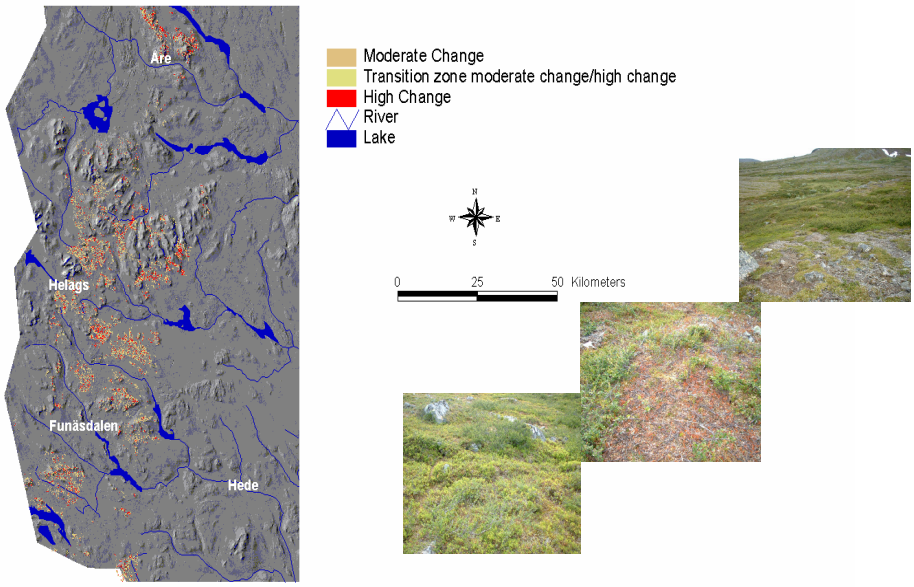
Tillämpning av satellitbaserad fjärranalys för regional övervakning av störningskänsliga fjällhedar.

Maj-Liz Nordberg, Joakim Evertson
Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi
Stockholms universitet
106 91 Stockholm
majliz.nordberg@natgeo.su.se



Inledning

Avsikten med föreliggande projekt är att anpassa och tillämpa metoder som gör det möjligt att använda *satellitbildsinformation* som källmaterial för praktisk miljöövervakning av fjällen och då främst av störningskänsliga risdominerade fjällhedar i den lågalpina zonen. Arbetet har skett i samarbete mellan Länsstyrelsens miljöövervakningsfunktion i Jämtland och projektet ”Vegetationsförändringar i fjällen” ett delprojekt inom RESE- projektet Vegetation and Biotope Monitoring.

Den regionala miljöövervakningen står idag inför uppgiften att följa upp de svenska miljömålen, t ex miljömålet ”en storslagen fjällmiljö” där de hittills använda metoderna inte på ett praktiskt och ekonomiskt plan kommer att vara tillräckliga. Som underlag för ett långsiktigt utnyttjande av den naturresurs som fjällvärlden utgör, behövs kunskaper om den påverkan på fjällmiljön som har skett under de senaste 10-15 åren. Satellittekniken erbjuder goda möjligheter att på *översiktlig nivå*, t ex genom användning av olika typer av vegetationsindex, kartlägga de områden som uppvisar förändringar/skador på vegetationstäcket, främst p g a fysisk påverkan. Metoden syftar till att göra det möjligt för handläggare att utnyttja satellitbilder som underlag utan att för den skull vara experter på den tekniska hanteringen av satellitdata. På *detaljerad nivå* är jämförande tolkning av IRF-flygbilder från olika år i skala 1:60 000 en tillförlitlig metod för att upptäcka förändringar med hög tolkningssäkerhet (Allard et al. 1998).

Bakgrund

Fjällens alpina ekosystem är genom sitt klimatiska läge extremt känsliga. Jordmåns-processerna är långsamma och skador på växttäcket gör marken mycket känslig för erosion. Erosionens storlek varierar med jordart och lutning. Vattenerosionen verkar intensivt i brant terräng, och vinderosionen kan bli stor, med höga vindhastigheter och inget lä. När växttäcket försvunnit, ligger jorden bar och denna eroderas successivt bort. Erosionen börjar i små fläckar men, de bara fläckarna av substrat blir allt större och flyter ihop till sammanhängande områden.

Många av de växtsamhällen som förekommer i fjällen är enkla ekosystem. Kännetecknande för enkla ekosystem är att varje vegetationslager endast innehåller ett fåtal arter, att de flesta av dem bara har låg täckningsgrad och att de är mycket lite påverkade av människan. De har låg motståndskraft mot tramp och bete, låg produktivitet, lång koloniseringstid och ett begränsat artantal som kan kolonisera ytor där växttäcket trampats sönder och lämnats med bar jord. Skadorna har inte bara betydelse för arterna som sådana, utan påverkar även ekosystemens funktion. Känsligheten i olika växtsamhällen varierar. Många undersök-ningar har visat på känsligheten för tramp i olika växtsamhällen. Speciellt känsliga tycks de torraste och de våtaste växtsamhällena vara. Renman (1989) har rangordnat de växtsamhällen, som karterats i de svenska vegetationskartorna över fjällen. Känsligast är våta kärr och blandmyrar, därefter följer skarpa och torra rishedar. Minst känsliga är ängs- och gräsmarker.

Inom fjällregionen är exempelvis ett småkulligt moränlandskap med torr/skarp rished känsligt för det slitage, som alla typer av ”störningar” obeaktat ursprung, t ex intensivt tramp av människor, terrängkörning eller renbete under vårvintern utgör på framförallt kullarnas krönpartier. Dessa har låg/mycket låg vegetationstäckning. Resultatet av sådana störningar visar sig som vegetationsblottor/erosionsskador. I vegetationsblottorna ligger humus och/eller mineraljorden bar och blottad. Vegetationsblottor på vindhedar och torra

rishedar kan därför användas som en tidig indikator på degradering i områden i den lågalpina fjällregionen.

Ett annat exempel är de lavdominerade hedarna. Dessa är antingen skarpa eller torra rishedar. Skador på lavsamhällen är allvarliga eftersom lav växer mycket långsamt. Lavarna är mycket sköra när de är torra och trampas därför lätt sönder. Kvar blir bara små fragment. Det kan gå 30 år eller mer innan laven når full höjd igen, förutsatt att störningen upphör. Eftersom lavarna inte har några rötter, som binder jorden, blir mark, som dominerats av lavar men där dessa har försvunnit, extra känslig för t.ex. vinderosion och ytavrinning. Förändringar av lavens täckningsgrad kan därför också anses vara en god indikator på att växtsamhället utsatts för slitage.

Parametrar för miljöövervakning bör ge en tydlig och signifikant signal om tillståndet och vara lätta att skilja från ovidkommande signaler. Indikatorerna ”förändring i lavtäckningsgrad” och ”andel vegetationsblottor (bar jord)” är båda väl synliga och mätbara i såväl satellitbilder som flygbilder. Lavar har karakteristiskt höga värden i de synliga våglängdsbanden och skiljer sig därmed från både risvegetationen och ängen. Detta innebär att de i infraröda färgbilder återges i en gulvit färgton till skillnad från risens rödbruna och ängens rosaröda. Detta gäller också för motsvarande färgkomposit framställd från digitala satellitregistreringar, men i sådana kan också de skilda mätvärdena analyseras. Den bara mineraljorden skiljer sig spektral på ett likartat sätt som lavarna från omgivande vegetationstäckta ytor.

Tolkning av IRF-flygbilder har visat att det finns goda indikatorer på förändring som kan identifieras med stor säkerhet. Förändringar kan också kartläggas med hjälp av satellitdata, men i en grövre skala. Med hjälp av äldre och aktuella satellitbilder i kombination med bakgrundsinformation från vegetationskartor, digitala höjdmodeller och andra källor kan områden med ett förändrat vegetationstäcke pekas ut. Detaljerad tolkning i flygbilder, bearbetning av högupplösande satellitdata eller fältstudier kan sedan koncentreras till dessa områden. Man bör observera att de nämnda metoderna inte ersätter utan kompletterar varandra. Idag saknas ett objektivt instrument för hur övervakningen av fjällområdena ska ske mot bakgrunden att allt inte kan övervakas och en pilotstudie i Jämtlands län skulle kunna ge vägledning för övriga län med fjällområden.

I de tidigare arbetena inom ”Vegetationsförändringar i fjällen”, ett delprojekt inom RESE projektet Vegetation and Biotope Monitoring, har basdata från flygbildstolkning samlats in samt kompletterats och validerats med fältdata (Ihse och Allard, 1995; Allard et al., 1998, Allard, 2001). Fjärranalysdata av olika upplösningsgrad, såväl geometriskt som spektralt har bearbetats och analyserats (Nordberg 1998; Nordberg och Allard, 2002). Tidigare kunskaper och resultat från delprojektet har hämtats från ett antal testytor, som kan betraktas som representativa, för att kunna ge en generell bild av metoden och fjärranalysdatas möjligheter att registrera dessa förändringar.

Rapporter om markslitage i de svenska fjällen har spritt oro under det senaste årtiondet och orsakerna har debatterats intensivt. Debatten har påtagligt ökat behovet att kunna dokumentera och följa fjällvegetationens förändringar. Det står också klart att även andra typer av miljöhot kan ha effekter på vegetationen och fjällens ekosystem som helhet, till exempel deposition av långväga transporterade luftföroreningar. Halterna av svavel och kväve i nederbörden är visserligen förhållandevis låga, men de stora nederbördsmängderna tillsammans med det tunna jordtäcket och den i vissa områden näringsfattiga jorden, innebär att risken för förändringar i vegetationstäcket är stor. Vidare kan det konstateras att fjällen torde vara det område i vårt land där effekterna av klimatförändringar på

vegetationen blir mest tydliga. En god dokumentation av utgångsläget inför framtiden är därmed ett måste. Sammantaget finns alltså en rad anledningar att noggrant dokumentera och följa förändringar i fjällvegetationen, vilket också har accentuerats i och med åliggandet från regeringen om att uppföljning av miljömålen och i detta fall särskilt miljömålet ”en storslagen fjällmiljö”. Till detta kommer att det idag ställs krav på övervakning av samtliga de Natura 2000-områden som avsätts. Detta kommer att innefatta även reservat och nationalparker i fjällen och innebära att man måste följa upp att de naturvärden som ligger till grund för områdesskyddet, finns kvar på lång sikt. I dagsläget saknas delvis relevanta övervakningsmetoder för fjällområden, vilket innebär att ett metodutvecklingsarbete återstår innan övervakningen kan tas i praktiskt bruk.

***Syftet med projektet är därför att*:**

- *Genom jämförelser över tiden på översiktlig nivå synliggöra förändringar i vegetationstäcket med hjälp av satellitdata, identifiera vilka geografiska områden det gäller samt att via dessa data ge ett grovt mått på förändringens omfattning och grad.*

Studieområde

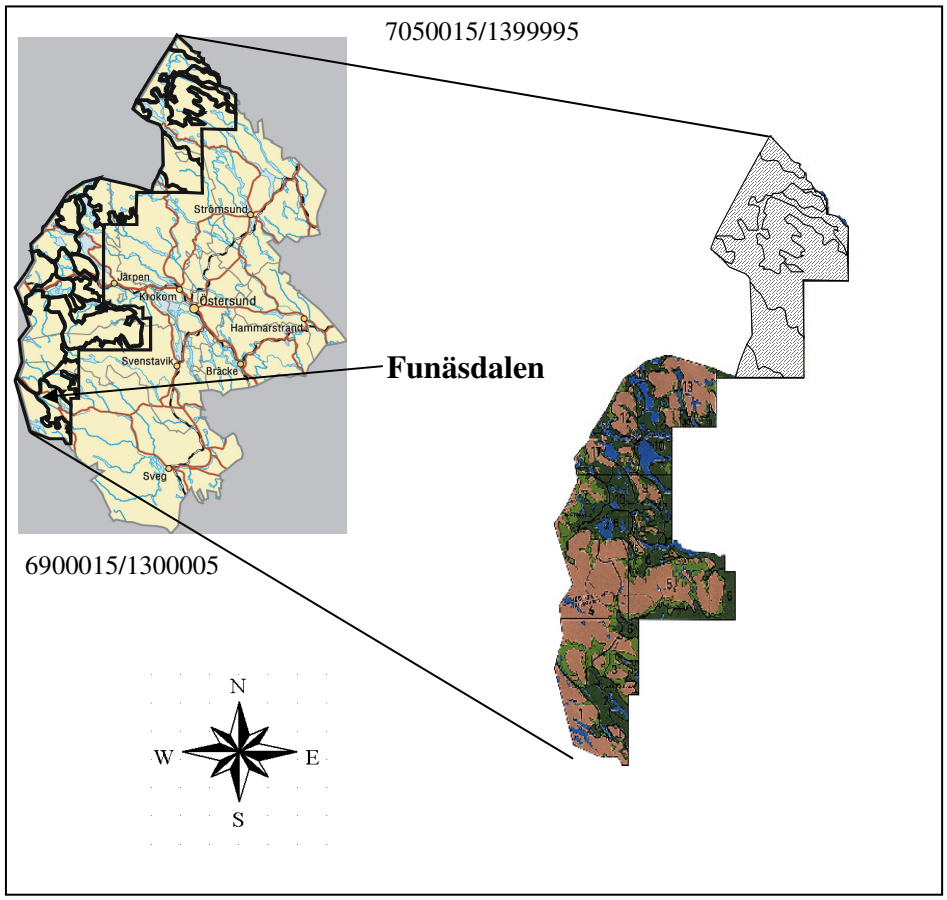
Det undersökta området är beläget i västra delen av Jämtlands län mellan latituderna 62^{o}N och 64^{o}N. Ytan omfattar ca. 2/3 av länets fjällområde och sträcker sig från Rogen i söder till Åreskutan i norr (fig. 1). I undersökningen ingår endast de torra- och skarpa rishedarna. Dessa är belägna i fjällens lågalpina zon. Dessa hedars utbredning har erhållits från de vegetationskartor som togs fram i början av 1980-talet och som byggde på tolkning i infraröda flygbilder i skala 1:60 000. Enligt Rafstedt (1984) kan Jämtlands-fjällen indelas i ett antal växtgeografiska områden. Dessa har i detta projekt bildat bas för jämförelse av förändringsgrad i fjällområdets olika delar (fig 1).

Tillvägagångssätt

För att ett system som bygger på satellitdata skall kunna användas måste resultaten av förändringsstudierna vara tillförlitliga. Felkällornas storlek och hur de ska kunna minimeras blir därför metodfrågor av stort vikt. Att skilja vegetationstäckets naturliga dynamik från verkliga förändringar måste också beaktas liksom valideringen av resultatet.
Förändringsstudier i satellitscener innebär att olika tillstånd av ett objekt identifieras genom observation av objektet vid olika tidpunkter. Detta innebär förmågan att kvantifiera tidseffekter genom att använda multitemporala data. De data som används i projektet redovisas i tabell 1.

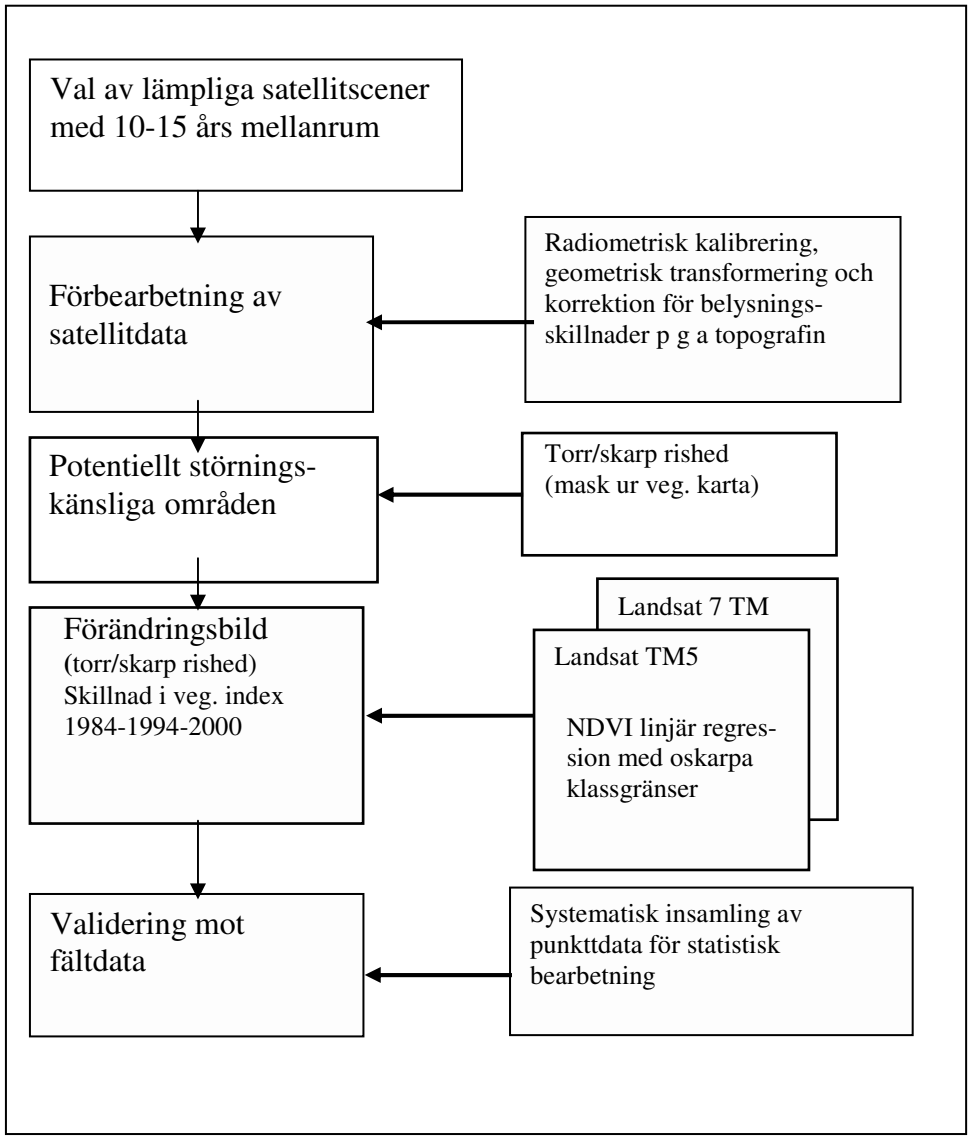
Tabell 1. Satellitdata använda i projektet.

Sensor	Satellit	Registrering över samma område	Band	Spectral upplösning (µm)	Spatial upplösning (m)	Antal scener	Registrerings-datum
ETM+	Landsat 7	16 dagar	1	0.45 - 0.52	30	2	**2000:**
			2	0.52 – 0.60	30		Aug 26
			3	0.63 – 0.69	30		Sept 20
			4	0.76 – 0.90	30		
			5	1.55 – 1.75	30		
			6	10.4 – 12.5	60		
			7	2.08 – 2.35	30		
			8	0.50 – 0.90	15		
TM	Landsat 5	16 dagar	1	0.45 - 0.52	30	2	**1984:**
			2	0.52 – 0.60	30		Aug 22
			3	0.63 – 0.69	30		**1994:**
			4	0.76 – 0.90	30		Sept 03
			5	1.55 – 1.75	30		
			6	10.4 – 12.5	120		
			7	2.08 – 2.35	30		



Figur 1. Studieområdet. Växtgeografiska om råden enligt Rafstedt (1984) presenteras i figurens högra del. Det gråstreckade området inkluderas inte i projektet.

Projektets uppläggning illustreras som skiss till konceptuell modell i figur 2.



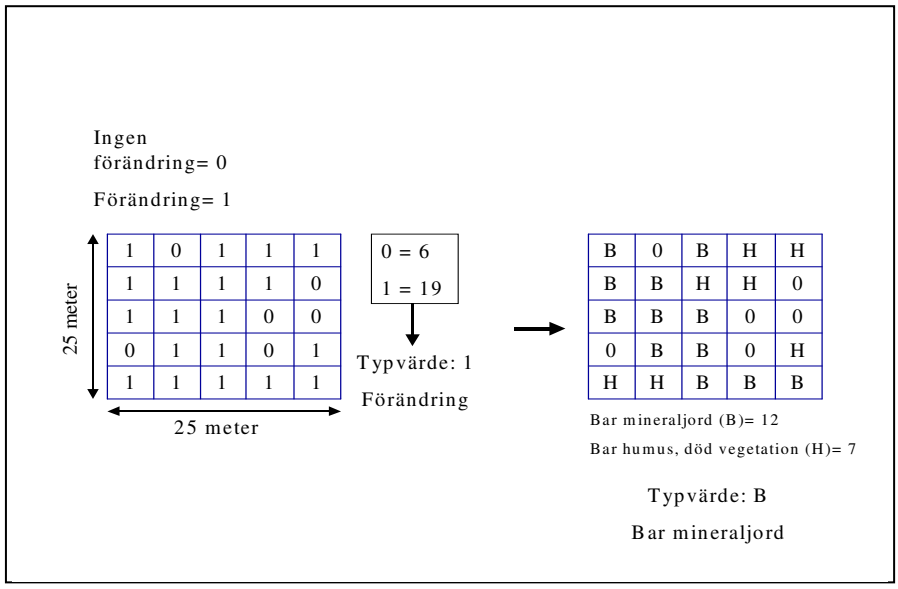
Figur 2. Konceptuell modell för att på översiktlig nivå identifiera förändringar i vegetations-täckning med hjälp av satellitdata.

Det finns ett flertal metoder för att upptäcka förändringar i satellitbilder baserade på multitemporala fjärranalysdata (Evertson, 2002). Den multitemporala förändringsanalysen som använts för att i satellitdata identifiera förändringar bygger på så kallad "change detection"-teknik. Denna förutsätter att satellitregistreringar från skilda år mycket noggrant kan anpassas till varandra såväl geometriskt som vad gäller skillnader i atmosfär och belysning samt olika sensorers prestanda (Singh 1989).
För jämförelse mellan satellitregistreringarna från 1984, 1994 och år 2000 har i detta projekt linjär regression mellan s. k. NDVI-bilder använts. NDVI *(normalized difference vegetation indices*) är ett vegetationsindex som har stark koppling till mängden grön biomassa. NDVI definieras matematiskt som:

NDVI=[NIR-R]/[NIR+R]

där R och NIR är reflektansvärden för det röda respektive det infraröda våglängdsbanden. NDVI-värdet ligger mellan –1,0 och +1,0, där ett högre positivt värde representerar tätare och friskare vegetation (Karnieli et al., 1996).

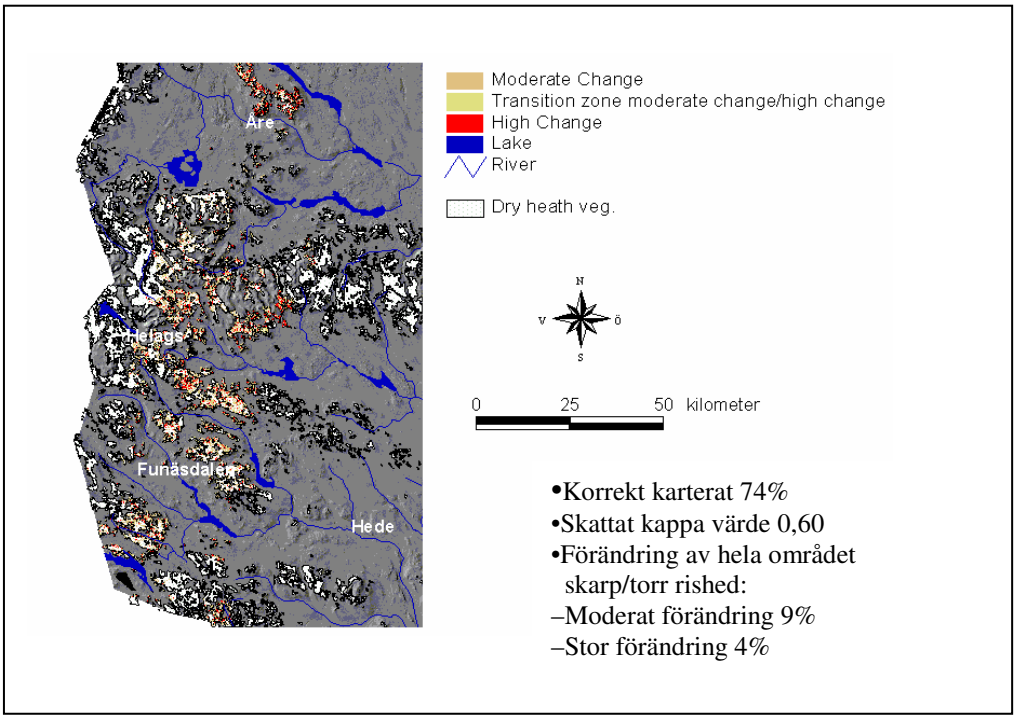
Inom ett statistiskt urval av de områden som uppvisar varierande grad av indexskillnader insamlades fältdata för validering av resultatet. Fältarbetet utfördes i juli 2002 och omfattade 148 ytor. Den fältmetod som användes för bedömning skadeklasser redovisas i figur 3. Med hjälp av regression med oskarpa klassgränser har därefter vegetationsindexskillnaderna knutits till fältbedömda, rangordnade skadeklasser.



Figur 3. Metod för bedömning av skadeklasser i fält

Resultat

Med användandet av en rak skillnadsbild mellan NDVI-bilder följt av tröskling erhölls en förändringsbild med endast klasserna förändring/ingen förändring. Värdet för korrekt karterat (overall accuracy) är i detta fall 86% med ett κ-värde på 0.87. Genom användandet av linjär regression mellan NDVI-bilder följt av oskarp tröskling (NDVI linier regression and fuzzy thresholds) kan tre skadeklasser urskiljas. För detta andra steg är säkerheten korrekt klassat 74% och κ-värdet 0,60.
Den rumsliga fördelningen av förändrade områden, 1984-2000, indelade i skadeklasser redovisas i figure 4. Förändringarnas omfattning i hektar fördelade på växtgeografiska områden redovisas i tabell 2. De skadeklasser som varit möjliga att dektektera på denna översiktliga nivå grupperas i klasserna ”stor”, ”moderat” och ”ingen förändring”. Statistisk analys (Students T-test) visar att klasserna tillhör tre olika populationer på 99% signifikansnivå (Evertson, 2002). En uppdelning i fem klasser är inte möjlig med tillfredställande signifikansnivå.



Figur 4. Rumslig fördelning av förändrande rishedar av skarp alternativt torr typ under perioden 1984-2000, inom studieområdet i södra delen av Jämtlands-fjällen.

Slutsatser

1. Linjär regression med oskarpa klassgränser rekommenderas som metod när det gäller att upptäcka och gradera förändringar i vegetationstäcket med satellitdata.
2. Tre förändringsklasser är möjliga att klassificera med satellitteknik inom den skarpa och torra risheden i den lågalpina zonen.
3. Förändringar i vegetationstäckning ger en signal i satellitdata som överstiger den signal som fenologiska skillnader ger om datum för sattelitregistreringar valts inom samma period av vegetationssägongen.
4. Död vegetation och fläckar med bart substrat kan användas som en indikator på en störning i torra områden i den lågalpina regionen.

Tabell 2. Förändringarnas omfattning under perioden 1984-1994, 1994-2000 och 1984-2000 i hektar fördelade på växtgeografiska områden. Arealsiffran för varje delområde anger arealen skarp/torr-rished inom respektive område.

Växtgeografiskt område		Förändring 1984 – 1994 Hektar	%	Förändring 1994 –2000 Hektar	%	Förändring 1984 – 2000 Hektar	%
Rogenområdet med Röd-, Rut- och Lillfjällen (26705 ha skarp/torr rished)	Totalt Moderat Stor	248 135 113	0,9 0,5 0,4	4826 3796 1030	18,1 14,5 3,6	5074 3931 1143	19.0 15.0 4.0
Lossen-Messlingen (7597 ha)	Totalt Moderat Stor	38 22 16	0,5 0,3 0,2	2317 1889 428	30,5 24,7 5,8	2355 1911 444	31.0 25.0 6.0
Anåfjället-Flatrutet (14527 ha)	Totalt Moderat Stor	158 91 67	1,1 0,6 0,5	5798 4684 1114	39,9 32,4 7,5	5956 4775 1181	41.0 33.0 8.0
Skarvarna-Helags-, Sylarna-Härjångsfjällen-Snasahögarna (71382 ha)	Total Moderat Stor	643 298 345	0,9 0,4 0,5	11492 9056 2436	16,1 12,6 3,5	12135 9354 2781	17.0 13.0 4.0
Oviksfjällen-Anarisfjällen (5136 ha)	Totalt Moderat Stor	368 236 132	0,8 0,5 0,3	5282 3810 1472	10,2 7,5 2,7	5650 4046 1604	11.0 8.0 3.0
Lunndörrsfjällen-Oviksfjällen 8232 ha)	Totalt Moderat Stor	86 46 40	1,1 0,6 0,5	1725 1194 531	20,9 14,4 6,5	1811 1240 571	22.0 15.0 7.0
Storlien-Middagsfjället (10560 ha)	Totalt Moderat Stor	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
Ånnsjösänkan (750 ha)	Totalt Moderat Stor	2,5 1,5 1,0	0,03 0,02 0,01	27,5 23,5 4,0	4,0 3,0 1,0	30 25 5	4.0 3.0 1.0
Åreskutan-Mullfjället-, Renfjället-, Välliste (6050 ha)	Totalt Moderat Stor	10 7 3	0,09 0,04 0,05	232 187 45	3,9 3,0 0,9	242 194 48	4.0 3.0 1.0
Välliste och Ljungdalen (740 ha)	Totalt Moderat Stor	0,4 0,3 0,1	0,04 0,03 0,01	36,6 24,7 11,9	5,0 3,0 2,0	37 25 12	5.0 3.0 2.0
Kodalshöjden-Skäckerfjällen 146 ha)	Totalt Moderat Stor	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0

Acknowledgments

Projektet har till största delen finansierats av det MISTRA finansierade projektet RESE (Remote Sensing for the Environment). Ett stort tack riktas till Ingemar Näslund och Margareta Franzon vid Länstyrelsen i Jämtlands län, avdelningen för miljö och fiske samt till Thomas Hedvall som var med vid projektets start men nu arbetar på SwedPower AB. Ett varmt tack riktas också till Göran Alm, Margareta Franzon, Thomas Hedvall, Liselott Marklund, Johan Reispass och Svante Strömvall som alla deltog i fältarbetet sommaren 2002.

Referenser

Allard, A. 2001. Vegetation Changes in Mountainous Areas – A Detailed Study by Aerial Photo-based Remote Sensing and Spectral Radiometry, [Licentiate thesis], Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, 88p.

Allard, A., Ihse, M., & Nordberg, M-L., 1998. Vegetationsförändringar i fjällen -Metodstudier i norra fjällen med hjälp av IRF-flygbilder och satellitbilder, Naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet, Forskningsrapport nr 109, 64 s. Också publicerad som Rapport från Världsnaturfonden WWF nr. 5:98, 64 s.

Evertson, J., 2002. Change detection in mountainous dry-heath vegetation. An assessment of satellite imagery methods in Jämtland County, Examensarbete i naturgeografi vid Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, nr 35, 61 s.

Ihse, M., & Allard, A., 1995; Vegetationsförändringar i renbetesfjäll. Metodstudier i södra fjällen med hjälp av flygbilder i IR-färg. Rapport från Världsnaturfonden WWF nr. 2:95, 47s

Karnieli, A., Shachak, M., Tsoar, H., Zaady, E., Kaufman, Y., Danin, A., and Porter, W. 1996. The Effect of Microphytes on the Spectral Reflectance of Vegetation in Semiarid Regions. Remote Sensing of Environment, 57, 88-96.

Nordberg, M-L., 1998. “Vegetation and biomass changes in mountainous areas in Sweden using satellite and airborne imaging scanner data”, In *Proceedings from 27th international Symposium on Remote Sensing of Environment*, Tromsö, pp. 431-435.

Nordberg, M-L., and Allard, A. 2002. A Remote Sensing Methodology for Monitoring Lichen Cover. Canadian Journal of Remote Sensing, 28, 262-274.

Rafstedt, T. 1984. Vegetation of the Swedish mountain area, Jämtlands county. A survey on the basis of vegetation mapping and assessment of the natural values. Stockholm, Sweden: Department of Physical Geography, Stockholm University, and National Swedish Environmental Protection Board, 144 p. (In Swedish.)

Renman, G. 1989; Barmarkskörning på fjällen. Statens Naturvårdsverk rapport nr 3598.

Singh, A. 1989. Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. International Journal of Remote Sensing, 10, 989-1003.

Länsstyrelsen
Jämtlands län

Miljöövervakning
Ingemar Näslund

2003-02-10

RESE-projektet
Att Ulf von Sydow

Tillämpning av satellitbaserad fjärranalys för regional övervakning av störningskänsliga fjällhedar

Länsstyrelsen i Jämtlands har deltagit i ett utvecklingsprojekt där syftet varit att ta fram ett verktyg för övervakning av vegetationsförändringar i fjällen. Projektet har finansierats av RESE och genomförts i samarbete med Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi vid Stockholms universitet (Maj-Liz Nordberg och Joakim Evertsson). Analyserna har slutförts och resultaten avrapporterats till Länsstyrelsen. Redovisningen genomfördes i form av ett seminarium där resultaten presenterades för de tjänstemän vid Länsstyrelsen i Jämtland som ansvarar för fjällfrågor samt för representanter för de övriga fjällänsstyrelserna (W, AC och BD län).

Projektet har varit framgångsrikt och syftet har uppnåtts. Budget och tidsramar har hållits och dokumentation av utfört arbete liksom avrapportering håller hög kvalitet. Resultaten visar på förhållandevis stora förändringar av hedvegetationen i länets södra fjällområden. Diskussioner förs för närvarande inom länsstyrelsen, med deltagande av miljömåls-, rennärings- och naturvårdsfunktionerna, om orsakssammanhangen och konsekvenser för framtida förvaltning. Länsstyrelsens bedömning är att arbetet har gett ny, viktig information och att metodiken och de framtagna resultaten mycket väl kan fungera som indikator för målet ”Storslagen fjällmiljö”.

Ett ytterligare resultat av projektet är att fjällänen nu skisserar en gemensam fortsättning. Avsikten är att på motsvarande sätt kartlägga övriga fjällområden i landet. Det kan bland anat leda till att diskussionen om orsaker till de registrerade förändringarna utvecklas, samtidigt som metodik och resultat ges indikatorstatus på nationell nivå. Under vintern kommer därför länsstyrelserna i fjällänen att göra gemensamma ansträngningar i syfte att ordna finansiering för ett sådant kartläggnings- och utvecklingsarbete.

Ingemar Näslund

Postadress 831 86 Östersund | *Besöksadress* Köpmangatan 21 | *Telefon* 063-14 60 00 *Telefax* 063-14 60 30 | *Hemsida* www.z.lst.se | *E-post* ingemar.naslund@z.lst.se