

Satellitbaserad fjärranalys för miljöövervakning och miljömålsuppföljning – en studie av torra och skarpa rishedar i fjällen

Liselott Marklund, Margareta Franzon, Maj-Liz Nordberg, Wolter Arnberg och Tobias Karlsson.



Länsstyrelsen
Jämtlands län

Satellitbaserad fjärranalys för miljömålsuppföljning – en studie av torra och skarpa rishedar i fjällen

Liselott Marklund¹, Margareta Franzon², Maj-Liz Nordberg³, Wolter⁴, Arnberg och Tobias Karlsson⁵

SAMMANFATTNING	3
BAKGRUND.....	3
SYFTE.....	4
PROJEKTHISTORIK	5
METODBESKRIVNING	6
RESULTAT	17
DISKUSSION	26
SLUTSATSER	30
REFERENSER	32
BILAGA 1 – FÄLTMETODIK FÖR UTVÄRDERING AV SATELLITBASERAD FJÄRRANALYS FÖR REGIONAL MILJÖÖVERVAKNING – EN STUDIE AV TORRA OCH SKARPA RISHEDAR I FJÄLLEN.....	33
BILAGA 2 – OMRÅDESVIS REDOVISNING AV PROVYTOR.....	34
BILAGA 3 – KARTOR MED LÄNSVIS SAMMANSTÄLLNING AV FÖRÄNDRING.....	35

Omslagsfoto

Vy över frisk rished en vacker augustidag, Abisko, 2004.

Foto: Liselott Marklund

¹ Länsstyrelsen i Jämtlands län

² Länsstyrelsen i Jämtlands län

³ Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet

⁴ Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet

⁵ Länsstyrelsen i Jämtlands län

Sammanfattning

Under 2004 genomfördes ett samarbetsprojekt mellan länsstyrelserna i Jämtlands, Dalarnas, Västerbottens och Norrbottens län med finansiering från Länsstyrelserna, RUS (Regionalt uppföljningssystem), Naturvårdsverket och Rymdstyrelsen. Bakgrunden till projektet utgörs av ett användarprojekt inom RESE (Remote Sensing for the Environment).

Syftet med projektet var att utföra en förändringsstudie och göra en översiktlig bedömning av vegetationsförändringar i fjällerna med hjälp av en robust och kostnadseffektiv metod. Resultaten från studien kan svara mot uppföljningsbehovet och presentera en indikator för miljö kvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö, särskilt för uppföljning av delmålet - Skador på mark och vegetation orsakade av mänsklig verksamhet ska vara försumbara senast år 2010. I framtiden när tidserien utökats kan materialet även användas för uppföljning av miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan. Resultaten kan samtidigt också ge underlag för att svara på frågor om förändringar i fjällvegetationen och uppföljning av habitatet alpina och boreala hedar inom Natura 2000.

Projektet baseras på satellitdata från Landsat 5 och 7 samt fältdata. Under projektets gång har det genomförts en stor satsning på anpassning och utveckling av metodik samt validering av resultaten via en omfattande fältinventering.

Resultaten från projektet visar att huvuddelen av studieområdena är oförändrade, även om det finns indikationer på negativa vegetationsförändringar i vissa områden. Förbättrad vegetationsstatus har också noterats, men underlaget för dessa slutsatser är svaga. Resultaten bör ge en stark motivation för en utökad övervakning av områden som utpekats som negativ förändrade.

Dataunderlaget kan även användas för att undersöka om gynnsam bevarandestatus råder i Natura 2000-habitatet 4060 (alpina och boreala hedar). För att uppnå resursoptimering är det lämpligt att ta fram en gemensam indikator baserad på procentuell förändring av vegetationen. En förändring som ligger inom intervallet +/- 10 % ger signalen gynnsam bevarandestatus till Natura 2000 och, tills ytterligare information finns, en positiv uppföljningssignal till uppföljning av miljö kvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö med avseende på markslitage.

Ytterligare resultat av projektet är en ökad kännedom och kompetens hos Länsstyrelserna vad gäller fjärranalys. Förbättrade samarbets- och kommunikationskanaler mellan fjällänen har också upprättats.

Slutligen konstateras att projektet lagt en god grund för framtiden men för att säkra dataflödet för miljöövervakning och för miljömålsindikatorn bör studien upprepas inom ett intervall om 6-10 år, lämpligen år 2010 för att följa upp delmålet.

Bakgrund

Fjällerna utgör en fantastisk och vidträckt naturresurs som ofta tas för given. Regional och nationell miljöövervakning har hittills endast i begränsad utsträckning ägnat sig åt vegetationsförändringar i fjällerna och heltäckande information om tillståndet i fjällerna saknas. För att ta till vara och skydda fjällerna behövs därför mer information samlas in.

Med den utgångspunkten blir behovet av ytterligare underlagsdata än mer viktigt när man idag står inför såväl internationella krav på rapportering om areell utbredning av habitat inom det europeiska nätverket Natura2000, som uppföljning av nationella

miljömål. Riksdagen har i bred politisk enighet antagit de nationella miljö kvalitetsmålen och länsstyrelserna runt om i landet har till uppgift att formulera arbete och uppföljning av regionalt anpassade miljö kvalitetsmål. Satellitbaserad fjärranalys ger möjligheten att till förhållandevis låga kostnader få fram information över stora ytor, något som är nödvändigt då de svenska fjällen omfattar en stor och otillgänglig del av Sveriges yta.

Under 2002 genomfördes ett användarprojekt inom det MISTRA-stödda projektet RESE (Remote Sensing for the Environment) inom vilken en metod utvecklades för bedömning av förändringar i torr och skarp rished i Jämtlands och Härjedalsfjällen. Samtidigt bedömdes dess användbarhet som indikator på vegetationsförändringar i besläktade vegetationstyper, främst övriga rishedar. Resultaten var mycket intressanta och visade på områdesvis mycket stora förändringar av de undersökta vegetationstyperna. Projektet visade även att förändring i torr och skarp rished är lämpligt att använda som indikator i det regionala miljömålsarbetet i Jämtlands län (Nordberg och Evertson, 2003) eftersom de torra vegetationsklasserna hör till de mest känsliga (Renman, 1986) och tidigt signalerar förändringar i omgivningarna.

Utifrån resultaten och erfarenheterna från användarprojektet beslöt Länsstyrelsen i Jämtlands län tillsammans med länsstyrelserna i Norrbotten, Västerbotten och Dalarna sig för att genomföra en kartering av hela den svenska fjällkedjan baserad på metoderna som togs fram i RESE. Själva utförandet av studien skulle också ske inom länsstyrelsernas regi, men med stöd från forskningsexpertis inom såväl fjärranalys som statistik och botanik.

Syfte

Projektets syften är att:

- Genomföra en satellitbaserad metod för vegetationsförändringar i torr och skarp rished i hela fjällkedjan
- Ta fram ett bra underlag för miljöövervakningen och miljömålsuppföljning av förändringar i fjällen
- Genomföra ett avancerat fjärranalysprojekt inom länsstyrelseorganisationerna och på så sätt öka kunskaperna om användbarhet av fjärranalys inom länsstyrelserna

Vid genomförandet av förändringsstudien var målsättningen att utvärdera om metodiken från användarprojektet inom RESE är tillämpbar över hela fjällkedjan, om det utifrån resultaten går att avgöra var det förekommer förändringar, utvärdera problem och möjligheter samt vid behov utföra viss metodutveckling. Vidare mål är att resultaten ska bidra med värdefull information till regional och nationell miljöövervakning och ge underlag till en indikator för uppföljning av det nationella miljö kvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö samt fungera som metodtest för metodik föreslagen att användas för uppföljning av Natura 2000 habitatet 4060 (Fjällhedar och boreala heddar). Om möjligt är också målet att förstärka den fältmässiga delen av projektet genom en starkare anpassning till NILS (Nationell Inventering av Landskapet i Sverige).

För ta fram ett bra underlag för miljöövervakning och miljömålsuppföljning av förändringar i fjällkedjan är målet att genomföra en grundläggande dokumentation och ta fram ett informationsmaterial som gör det möjligt att upprepa metoden och möjliggöra jämförelser vid nästa uppföljningsomgång.

Projekthistorik

Länsstyrelsen Jämtlands län deltog under 2002 i ett användarprojekt inom RESE tillsammans med Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms Universitet (Nordberg och Evertson, 2003). I projektet utvecklades en metod för att kartlägga vegetationsförändringar inom torr och skarp rished med södra Jämtlands län som studieområde. Resultaten från användarprojektet pekade på att de direkt kunde användas som underlag till en indikator i arbetet med miljömålet Storslagen fjällmiljö för att följa vegetationsförändringar.

Under 2003 bestämde sig samtliga fjällän för att försöka implementera metoden över hela fjällkedjan och en gemensam ansökan skickades till RUS (Regionalt uppföljningssystem, länsstyrelse gemensam grupp för uppföljning av miljömålen), Naturvårdsverket samt Rymdstyrelsen. Dessutom har varje Länsstyrelserna bidragit med resurser i form av personal.

Till projektet har en referensgrupp varit knuten. I gruppen ingick FD Anna Allard, skoglig resurshållning och geomatik, SLU, Docent Wolter Arnberg, naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, Docent Jon Moen, Ekologi och geovetenskap, SLU, FD Maj-Liz Nordberg, naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet samt Professor Bo Ranneby, Biostokastikum, SLU. Inbjudna till referensgruppen var även Naturvårdsverket och Sametinget.

Huvudsökande i projektet har varit Länsstyrelsen i Jämtlands län som också varit den länsstyrelse där arbetet utförts. Projektledare har varit Margareta Franzon. Liselott Marklund har stått för bearbetning och utvärdering av satellit- och fältdata samt viss metodutveckling. Detta arbete utfördes i nära samarbete med Wolter Arnberg och Maj-Liz Nordberg. Tobias Karlsson har utarbetat fältmanual och fältprotokoll. I arbetet med fältmanual och protokoll har Maj-Liz Nordberg, Anna Allard samt Jon Moen deltagit. Kontakter togs även med representanter för NILS (Nationell inventering av landskapet i Sverige) samt länsstyrelsepersonal. Övriga länsstyrelser har främst varit aktiva i styrgruppen samt under fältinventeringen. I styrgruppen ingick Bengt Landström, Länsstyrelsen i Norrbotten, Eva Mikaelsson, Länsstyrelsen i Västerbotten samt Jemt-Anna Eriksson/Anita Lundmark/Lars Hedberg, Länsstyrelsen i Dalarna.

I fältinventeringen deltog följande personer:

Länsstyrelsen i Norrbotten:	Bengt Landström Ola Larsson Anna-Carin Mangi
Länsstyrelsen i Västerbotten:	Eva Mikaelsson Roger Wallin
Länsstyrelsen i Jämtland:	Margareta Franzon Liselott Marklund Tobias Karlsson Svante Strömvall Anders Olsson
Länsstyrelsen i Dalarna:	Sebastian Kirppu C-G Jönsson

Metodbeskrivning

Program, indata och arbetsmaterial

Mjukvaror

För bearbetning och analys av satellitdata inköptes mjukvarorna ENVI samt IDRISI Kilimanjaro. Därutöver användes även ArcInfo.

Satellitscener

Kriterier vid val av satellitscener var att dessa bör vara från samma tidpunkt på året, det vill säga inom intervallet 1 juli – 30 augusti, att de bör innehålla så lite moln som möjligt samt att de skall vara från 1984, 1994 och 2002. Scener över hela fjällkedjan som uppfyllde alla kriterier saknades för flera områden. Av de tillgängliga scenerna över respektive område valdes de bästa alternativen (tabell 1).

Scener från Landsat 5 TM och Landsat ETM+ scener inhandlades från Lantmäteriet i Kiruna. Dessa levererades ortokorrigerade i BIL-format med at-satellite-radiance ($W/m^2Sr^{-1}\mu m^{-1}$) och tillhörande metadata i DiMap-format. Scenerna behandlas och benämns i enlighet med en områdesvis uppdelning efter län, tabell 1.

Tabell 1. Förteckning över de i studien ingående scenerna

Område	Satellit	Path	Row	Datum
Dalarna	Landsat 5	196	017	950627
	Landsat 7	197	017	000826
Södra Jämtland Väster	Landsat 5	197	016	940903
	Landsat 7	198	016	020823
Södra Jämtland Öster	Landsat 5	197	016	940903
	Landsat 7	196	016	990801
Norra Jämtland	Landsat 5	197	015	940903
	Landsat 7	198	015	020807
Västerbotten Väster	Landsat 5	197	014	940903
	Landsat 7	198	014	020807
Västerbotten Öster	Landsat 5	197	014	940903
	Landsat 7	196	014	020809
Södra Norrbotten Väster	Landsat 5	197	013	940903
	Landsat 7	198	013	020823
Södra Norrbotten Öster	Landsat 5	197	013	940903
	Landsat 7	196	013	020809
Norra Norrbotten	Landsat 5	197	012	940903
	Landsat 7	197	012	020731

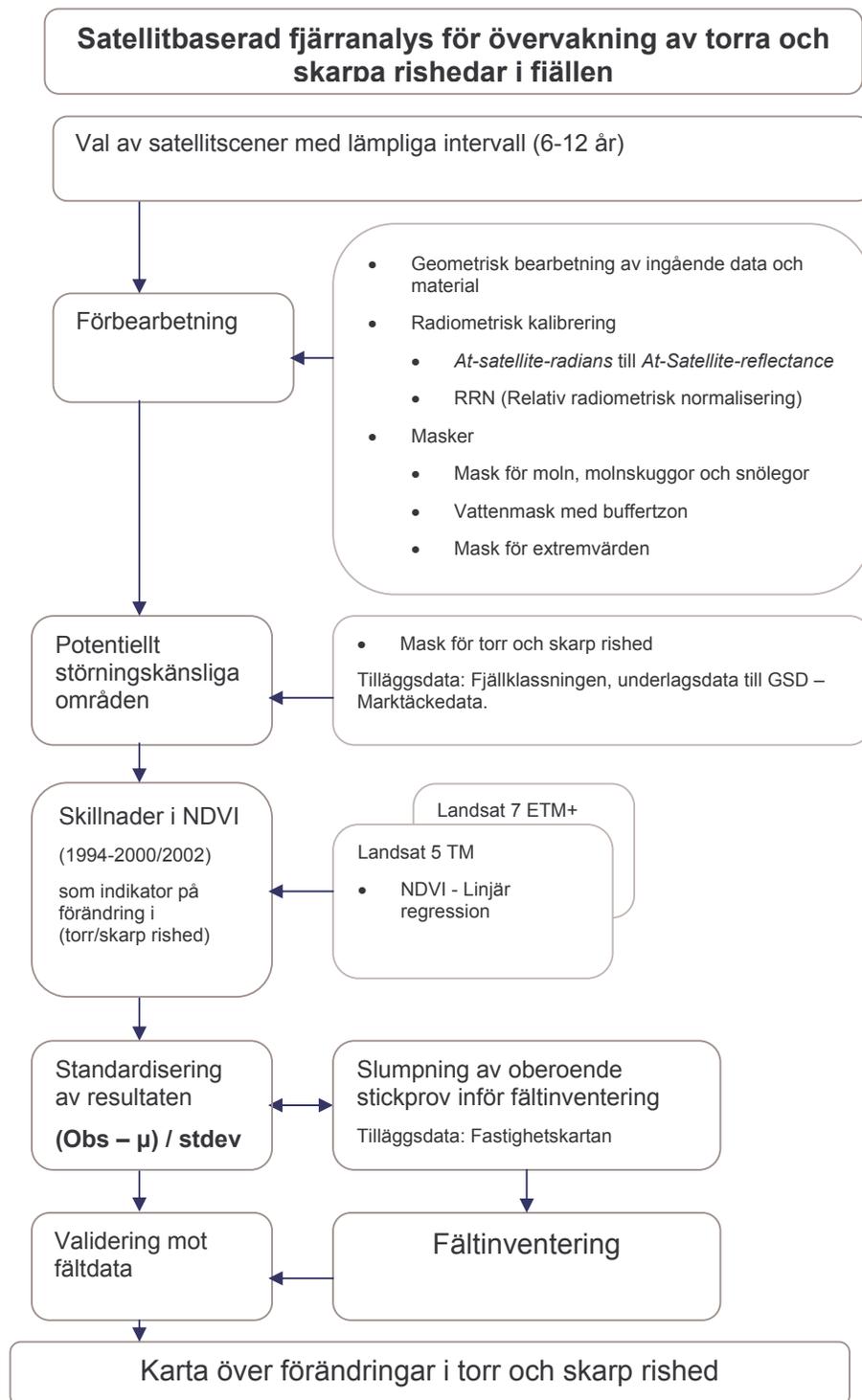
Satellitscener köptes också in för åren 1987/1988. Scenerna från 1987/1988 har dock på grund av bristande tid och resurser inte ingått i studien och inga resultat från dessa kommer att presenteras i denna rapport. Dessa scener kommer dock att analyseras efter detta projekt avslutats.

Övriga indata

- Fjällklassningen, skala 1:25 000
- Vägkartan, skala 1:100 000
- Fastighetskarta, skala 1: 10 000

Konceptuell modell

Metoden är utvecklad inom ett användarprojekt inom RESE (Nordberg och Evertson, 2003). Inom ramen för denna studie har dock viss metodutveckling skett. Den konceptuella modellen (Fig. 1) presenteras nedan.



Figur 1. Konceptuell modell över metoden

Geometrisk bearbetning

En förutsättning för att genomföra en förändringsanalys är att studien sker över exakt samma område. Eftersom scenerna levererades ortokorrigerade innefattar geometrisk bearbetning här genomgång och beräkning av gemensamma koordinater för de ingående scenerna och tilläggsdata.

At-satellite-reflectance

Scenerna inköpta från Lantmäteriet var radiometrisk kalibrerade och ortokorrigerade Level 2C-data. För studien krävdes dock en vidare radiometrisk kalibrering där *At-satellite-radiance* i ($\text{W}/\text{m}^2\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) räknades om till *At-satellite-reflectance* (enhetslös). Denna kalibrering utfördes bland annat för att korrigera olikheter i solinstrålning mellan tidpunkterna (Fig. 2a-d).

Parametrar för omräkning hämtades från Irish (2003) utfördes enligt formeln:

$$\pi L_{\lambda} d^2 / E_{\text{sun}\lambda} \cos\theta_s$$

där

$$\pi = 3.14159265$$

$$L_{\lambda} = \text{Radiance at-satellite } (\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1})$$

d = Earth-sun distance in astronomical units (se tabell)

$$E_{\text{sun}\lambda} = \text{Band specific mean solar irradiance } (\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}) \text{ (se tabell)}$$

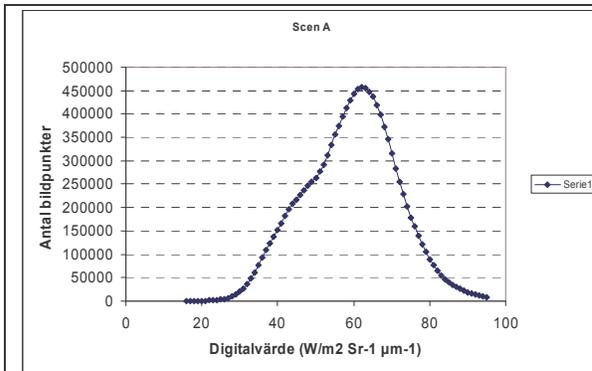
θ_s = Solar zenith angle in degrees

Relativ radiometrisk normalisering -RRN

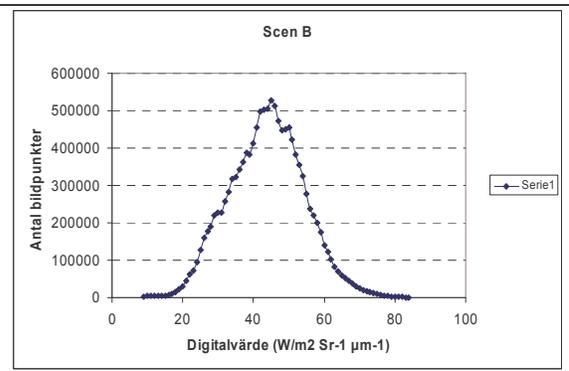
Relativ radiometrisk normalisering (RRN) utfördes områdesvis för band 3 och 4 mellan de båda scenerna från olika tidpunkter. Detta utfördes under mask vilken tog bort moln, molnskuggor och snölegor, extremvärden och vatten.

Utifrån studie av scenernas spektrala omfång valdes en referensscen (oberoende variabel). Exempel på detta visas i Fig. 2a-e. I exemplet har scen A (Fig. 2a) högre spektral omfång än scen B (Fig. 2b) med bildvärden i ($\text{W}/\text{m}^2\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$). Efter den radiometriska kalibreringen till *at-satellite-reflectance* utjämnas skillnaderna något (Fig. 2c-d).

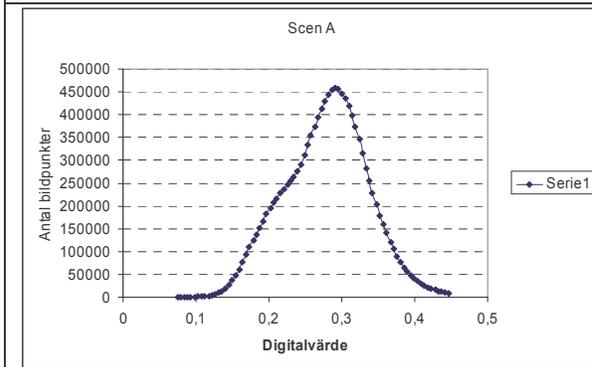
Scen A valdes som referensscen (oberoende variabel) mot vilket scen B (beroende variabel) normaliseras med hjälp av linjär regression. Den omräknade scen C (Fig. 2e) visar den oberoende variabeln skulle ha sett ut om det inte förekommit några andra förändringar än de som är beroende av sensors gain och offset. Scen C visar alltså hur scen B borde se ut.



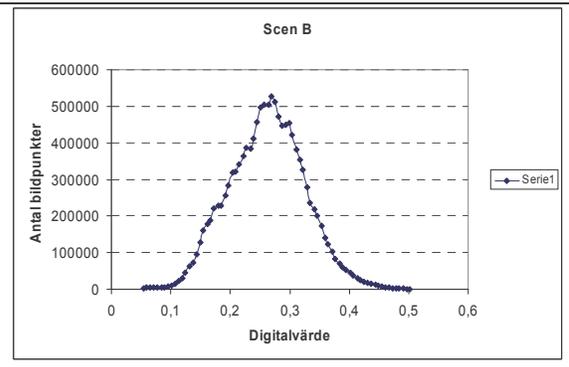
Figur 2a. Scen A med digitalvärden i At-satellite-radiance, $(W/m^2 Sr^{-1} \mu m^{-1})$.



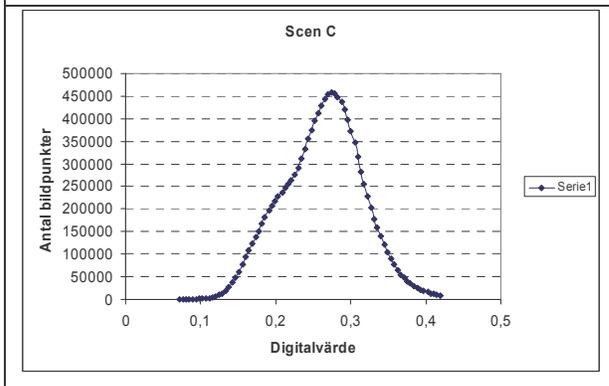
Figur 2b. Scen B med digitalvärden i At-satellite-radiance, $(W/m^2 Sr^{-1} \mu m^{-1})$.



Figur 2c. Scen A med digitalvärden i At-satellite-reflectance, (enhetslös¹).



Figur 2d. Scen B med digitalvärden i At-satellite-reflectance, (enhetslös¹).



Figur 2e. Scen C utgör resultatet efter RRN med linjär regression, det vill säga hur scen B borde se ut.

Generellt över hela fjällkedjan har scenerna från 940903 lägre spektralt omfång än scenerna från 2000/2002. Detta beror på att solhöjden är lägre i början på september än i juli/augusti, vilket medför att den mängd solljus som träffar marken blir lägre och att mindre energi reflekteras tillbaka. Det lägre spektrala omfånget för 940903 är framförallt märkbart i band 3, men är ses även i band 4, vilket påverkar NDVI-värdet som beräknas kvoten av $(Band\ 4 - Band\ 3 / Band\ 4 + Band\ 3)$.

Masker

I studien användes ett flertal masker för att utesluta områden som varierar från år till år av andra skäl än förändringar i vegetationen. Detta gäller bland annat för moln, molnskuggor, snölegor, stora vattendrag och sjöar. För att exkludera dessa områden vid den relativa radiometriska normaliseringen lades alla masker slutligen samman till en gemensam mask.

För att avgränsa populationen torr och skarp rished användes en separat mask för att ta bort alla andra vegetationstyper.

1. Alla scener med undantag av Dalarna innehöll genomgående moln, molnskuggor och snölegor för vilka masker skapades genom digitalisering.
2. Vid val av mask för den torra och skarpa risheden övervägdes två olika alternativ som underlagsdata
 - Att som i pilotstudien använda vegetationskartan över fjällen
 - Att använda så kallade fjällklassningen som utgör underlagsdata till GSD – Marktäckedata, vilken ingår i den europeiska karteringen CORINE Land Cover. Denna är även känd under enbart namnet CORINE

Båda produkterna har sina fördelar och nackdelar. Fjällklassningen är producerad med en väl dokumenterad metod och utgör således ett homogent material över hela fjällen. Materialet har en karteringsnoggrannhet på 67% för klassnivåerna (Rost och Ahlcrona, 2004). Landsat-scenerna som ingår i klassningen är dock från tidigt på året och där områden saknas på grund av moln så har stöddata från bland annat vegetationskartan över fjällen använts. Utvärderingen av klassningsnoggrannheten för norra Sverige hade endast utförts över Jämtlands län då den köptes in till projektet. Under våren 2005 kommer utvärderingen dock att utökas med data från Norrbotten.

Vegetationskartan över fjällen är i sin tur en gammal produkt, med förhållandevis dålig upplösning med minsta karteringsenhet mellan 250 x 250 m och 300 x 300 m (6-9 ha) och stora skillnader i generaliseringsgrad mellan de olika kartbladen. Några kontinuerliga tester av tolkningssäkerheten utfördes inte i samband med kartans framställande. Inledande tester visade dock på en tolkningssäkerhet på i genomsnitt 91% för huvudgrupper och på 82% för undergrupper (Ihse och Wastenson, 1975).

Vegetationskartan för fjällen täcker inte heller hela fjällområdet utan saknar vissa kartblad, bland annat i Västerbottens län.

Beslut fattades att använda fjällklassningen som mask för torr och skarp rished på basis av dess högre aktualitet samt att den är enhetlig producerad över hela fjällen.

3. Som mask för sjöar och vattendrag rasteriserades och omsamlades vektorskiktet från Vägkartan till 25 m. För att komma åt skillnader uppkomna genom fel i geometrisk registrering eller genom olikheter i vattennivåer skapades en buffertzona på 3 pixlar på vardera sidan (totalt 150 meter).

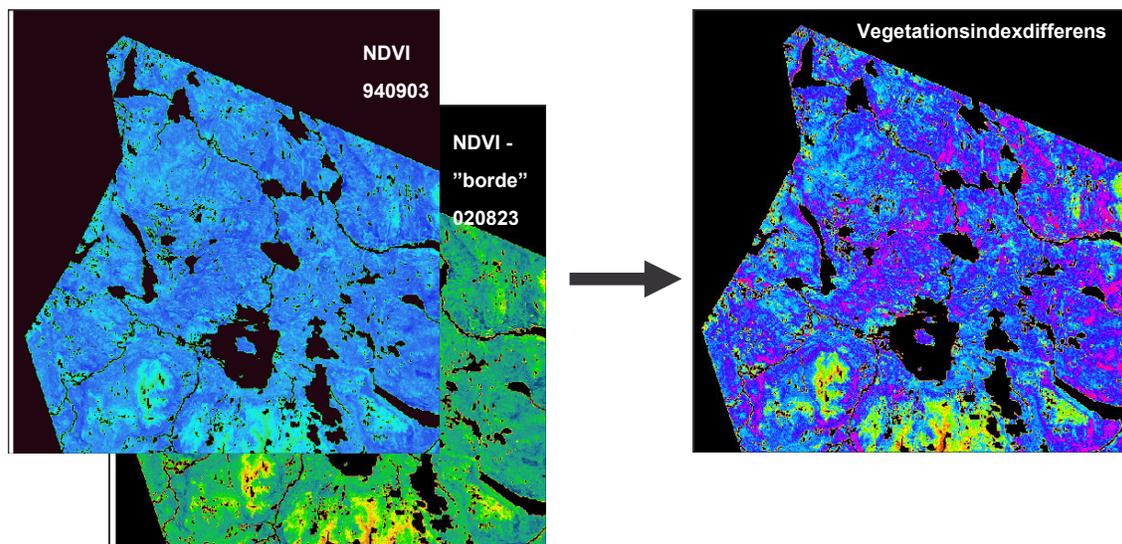
4. Svårigheter med att få tillgång till data för sjöar och vattendrag från Norge ledde till att alla scener måste klippas vid riksgränsen. Riksgränsen hämtades från fastighetskartan.
5. Utöver detta studerades scenernas histogram för band 3 och 4 för att identifiera låga respektive höga extremvärden. Dessa extremvärden identifierades i scenerna och de kunde genomgående lokaliseras till moln och vatten. Värden som ligger mindre än 0.01 % och högre än 99.9 % maskades bort.

Vegetationsindex (NDVI)

NDVI (normalised vegetation index) beräknas som kvoten av det nära infrarött våglängdsbandet (band 4) och det röda våglängdsbandet (band 3) och visar därigenom indirekt på mängden grön biomassa. NDVI-värden beräknades för alla scener och normaliserades sedan områdesvis mot varandra genom linjär regression. Detta utfördes bland annat för att minimera fenologiska skillnader som kan förekomma mellan scenerna. Här valdes genomgående scenerna från 940903 som referens (oberoende variabel) under antagandet att tillståndet 1994 var gott, dvs. utgör referenstillståndet, och att ingen förändring skett sedan dess.

Vegetationsindexdifferenser

Vegetationsindexdifferensen beräknades sedan genom att subtrahera NDVI för exempelvis 020807 från NDVI för 940903 (Fig. 3). Detta resulterar i negativa värden om NDVI har ökat 020807 och i positiva värden om NDVI har minskat.



Figur 3: Principiell skiss för beräkning av vegetationsindexdifferens.

Negativa värden kommer alltså att återspegla områden som fått mer vegetation och blivit "grönare" och positiva värden kommer att återspegla områden som har fått mindre vegetation och blivit "barare" mellan de två tidpunkterna.

Medelvärdesfiltrering

En medelvärdesfiltrering av vegetationsindexdifferensvärdena genomfördes för att utjämna skillnader uppkomna genom fel vid den geometriska transformationen och

ortokorrigeringen samt det inbyggda fel som finns i varje GPS. Medelvärdesfiltreringen genomfördes med ett 3X3-fönster.

Medelvärdesfiltreringen utfördes på ett resultat (vegetationsindexdifferensvärden) som innehöll bortmaskade områdena (moln, molnskuggor, snölegor, etc) vilka består av noll-värden. Nollorna i masken får stort inflytande vid maskgränsen där det då efter filtreringen kommer att skapas "falska" låga värden. Eftersom resultatet innan filtreringen visar vilket lägsta värde som kan tillåtas finns dock möjlighet att maska bort alla "falska" låga värden från resultatet efter filtrering. Rishedsmask som används för att definiera stickprovet, det vill säga den torra/skarpa risheden, utökas också med en med en pixel (25 meter) för att på så sätt utesluta dessa pixlar från den "osäkra" zonen runt masken. Detta medför att 18-30 % av informationen i det medelvärdesfiltrerade resultatet försvinner, men ökar säkerheten på resultatet. Detta innebar också att 14 % av de inventerade provytorna som hamnat i rätt habitat försvinner.

Standardisering av resultaten.

För att möjliggöra en oberoende jämförelse av resultaten mellan de olika områdena utfördes en standardisering av resultaten. . Det skedde på så sätt att medelvärdet subtraherades från bildvärdena/observationerna, i form av vegetationsindexdifferenser, och resultatet delades med standardavvikelsen enligt formeln: $(\text{Obs} - \mu) / \text{stdev}$. Detta utfördes områdesvis.

Efter standardiseringen får alla resultat medelvärdet 0 och standardavvikelsen 1. På så sätt minimeras regionala skillnader, skillnader i datum mellan satellitbilsregistreringar och andra olikheter mellan områdena.

Vid summering av fältdata för alla områden utjämnas också eventuella skillnader mellan olika inventerare.

Slumpning av områden och provytor

För att utvärdera studien och knyta vegetationsindexdifferenser mot verkligheten utfördes en fältinventering sommaren 2004.

Fältinventeringen genomfördes på provytor som tagits fram via oberoende slumpvisa stickprov. Fördelningen av de slumpvisa stickproven skedde i flera steg.

1. Oberoende indelning av fjällområden: Detta utfördes för Jämtlands och Norrbottens län på samma sätt som i användarprojektet inom RESE med hjälp av de växtgeografiska zoner beskrivna i Fjällens vegetation (Rafsted, 1984 och Anderson, Rafstedt, von Sydow, 1985). Indelningen används för att få en spridning av områden så att inte flera områden från samma växtgeografiska zon kommer med i fältinventeringen. För fjällen i Dalarna sker endast en indelning i fjällområde. Då växtgeografiska zoner saknas för Västerbotten utfördes även där endast en indelning efter fjällområden. Den enda konsekvensen av detta blir att det saknas möjlighet att från fältdata dra några slutsatser utifrån växtgeografiska förutsättningar i Västerbotten.
2. Slumpning av områden: De fjällområden som ska inventeras slumpas fram med utgångspunkten att varje satellitscen kräver ca 60 provytoppunkter för utvärdering. Dessa ska då vidare indelas i ett antal delområden med 12-15 provytor inom varje delområde vilket ger 4-5 delområden per scen.

3. Stratifiering av stickprov: Ekonomiska medel för att utföra hela fältinventeringen med stöd av helikoptertransport saknades. Därför utfördes en stratifiering av stickproven med kriterierna att provytorna inte fick ligga närmare än 2 km och inte längre än 12 km från väg. För att bevara stickprovets oberoende ligger dock alltid minst ett område per scen längre än 12 km från väg.
4. Med stöd av dessa kriterier skapades delområden inom de slumpade fjällområdena. Inom dessa slumpas 250-350 provytepunkter där varje punkt har ett vegetationsindexdifferensvärde. Dessa värden visualiseras som en lista från vilken 12-15 provytor slumpades intervallvis. Detta för att tillförsäkra att hela skalan, inklusive låga och höga, vegetationsindexdifferensvärden skulle utvärderas i fält. För att minimera risken för rumslig autokorrelation sattes kriteriet att punkterna inte fick ligga närmare varandra än 200-250 meter.

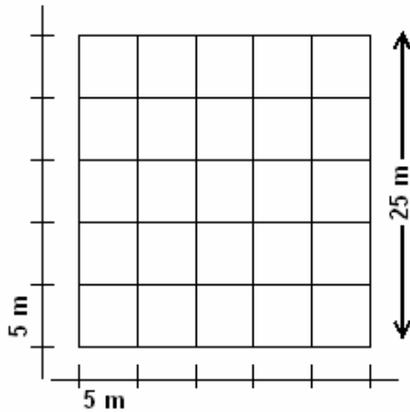
Fältinventering

Fältinventeringen grundar sig på den metodik som utvecklats i användarprojektet inom RESE år 2002 (Nordberg och Evertson, 2003). Metodiken från användarprojektet har utvecklats och utökats med ambitionen att förbättra dataunderlaget vid bedömning av vegetationens status och därigenom bidra med värdefull information till miljömålsuppföljning samt nationell och regional miljöövervakning. En rad parametrar har därför lagts till i manualen och fältprotokollet i ett försök att ge en allmän beskrivning av förhållandena i respektive provyta, se bilaga 1. Detta möjliggör också kontroll av angiven naturtyp och kan bidra till allmän kunskap om rishedens tillstånd. Dessa utökningar av pilotstudien grundar sig till stor del på referensgruppens muntliga synpunkter.

Det primära syftet med fältinventeringen var att verifiera resultaten av satellitbildsstudien genom systematisk datainsamling i provytor. Skillnaderna i vegetationsindex mellan de olika åren kan på så sätt knytas till verkligheten och möjliggör utvärdering av resultaten. Därtill registreras data som ger en allmän beskrivning av provytorna.

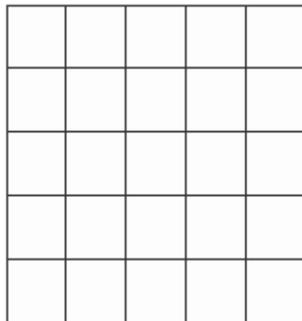
Fältstudien har också ett vidare syfte att kunna bidra med information till allmän terrester miljöövervakning och bidra till ökad kunskap om tillstånden i den torra och skarpa risheden, och därmed indirekt fjällens status. När det gäller fältinventering i fjällen utgör tidsåtgången vid transport mellan områdena och mellan provytorna den största kostnaden. Att utöka fältinventeringen med ett antal parametrar som ökar tidsåtgången per provyta från ca 15 minuter till 25-30 minuter blir alltså ett kostnadseffektivt sätt att samla in mer information.

Grunden till utvärdering av förändringsstudien ligger i en bedömning av vegetationen inom en yta på 25m². Storleken på provytan motsvarar upplösningen i satellitbilderna och förändringsresultatet. Ytan indelas vidare i 25 st 5X5-meters rutor. I varje 5X5-meters ruta utförs en individuell bedömning av vegetationens status och en vegetationsbedömning i två steg, Fig. 4a-b.



1. Frisk vegetation
2. Störd/Skadad vegetation

Figur 4a. I varje 5X5 m ruta utförs en bedömning av vegetationens status. Om > 50 % av rutan består av frisk vegetation sätts en 0 och om > 50 % av rutan består av störd/skadad vegetation sätts en 1.



1. Störd/skadad vegetation
2. Störd/skadad vegetation med inslag av blottad humus
3. Störd/skadad vegetation med inslag av blottad humus och blottat substrat
4. Blottad humus, enstaka substrat kan förekomma
5. Blottat substrat

Figur. 4b. För varje 5X5 m ruta som bedömts som störd/skadad vegetation med beteckningen 1 utförs en vidare bedömning enligt de angivna beteckningarna efter dominerande (> 50%) förekomst.

Störd/skadad vegetation avser markyta som tidigare haft levande vegetation och nu helt eller delvis inte har det. Blottad humus förutsätter tidigare vegetation och bart substrat som kan antas ha haft vegetation tidigare, räknas därför också som 1 (störd/skadad vegetation).

Naturligt bar mark, t.ex. hållar eller naturligt bara stenar, ska inte räknas med vid bedömning av fördelningen frisk vegetation - skadad/störd vegetation för 5X5-meters rutan. Bedömning med 50 % -gräns görs för den resterande delen av rutan sedan naturligt bar mark räknats bort. Om en 5*5m-ruta helt och hållet består av naturligt bar mark ska den klassas till 0 frisk vegetation eftersom den inte uppvisar någon förändring i vegetation. Om en bar ruta omges av störd/skadad vegetation kan det mycket väl vara fråga om blottad humus eller bart substrat som tidigare haft vegetationstäckning och då ska ytan klassas till 1 (störd/skadad vegetation) enligt ovan.

För att ge inventerarna så likartade referensramar som möjligt inför fältinventeringen hölls två kalibreringsdagar i Jämtlandsfjällen. Den ena dagen tillbringades på Anåfjället, som domineras av sur näringsfattig berggrund, och den andra dagen på Bunnerfjällen som ligger på basisk näringsrik mark. Maj-Liz Nordberg från Stockholms universitet deltog för att delge sina erfarenheter från fältinventeringar från användarprojektet inom RESE sommaren 2002.

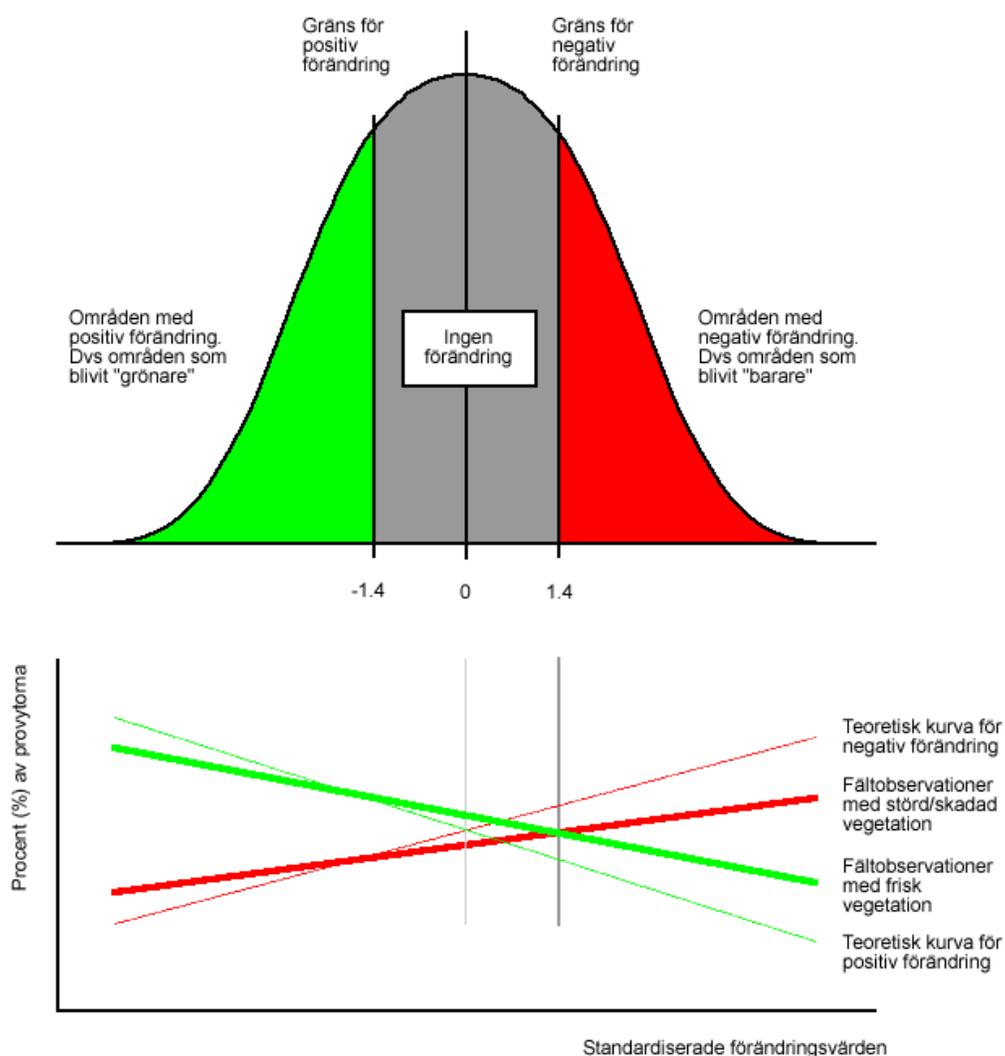
I augusti 2004 genomfördes fältinventering för hela fjällkedjan med 6 arbetslag (12 personer) i enlighet med den fältmanual som utarbetats.

Utvärdering mot fältdata

För att utvärdera vegetationsindexdifferenserna (förändringsvärdena) mot fältdata sammanställdes fältprotokollen områdesvis. Antalet 0:or (frisk vegetation) och 1:or (störd/skadad vegetation) inom provytorna summerades. Provytorna grupperades efter beräknad vegetationsindexdifferens. Genom att plotta förhållandet mellan vegetationsindexdifferens mot antal 1:or resp. 0:or kan två trendlinjer dras. Skärningspunkten mellan dessa trendlinjer representerar övergång från frisk vegetation till störd/skadad vegetation (Fig. 5).

Övrig information från fältinventeringen saknar relevans för denna utvärdering och kommer därför inte att beröras ytterligare.

Provytor med låg andel frisk vegetation och/eller hög andel bar humus/substrat och typvärdet 1 bör korrespondera mot höga vegetationsindexdifferensvärden. Gränsen för en negativ förändring bör dras där andelen skadad/störd vegetation börjar dominera över den friska vegetationen (Fig. 5).



Figur 5. Sambandet mellan vegetationsindexdifferens (standardiserat förändringsvärde) för hela studieområdet och samtliga fältobservationer samt hur fältobservationerna använts för att avgöra gränsen mellan ingen förändring och negativ förändring och därmed klassindelningen i kartan.

Man kan förvänta sig att det i intervallet runt 0 inte har skett någon förändring (grå zon). Man kan också förvänta sig att det har skett en negativ förändring (röd zon) vid höga positiva förändringsvärden eftersom vegetationsindexdifferensen beräknades genom att subtrahera NDVI för exempelvis 2002 från NDVI för 1994. Negativa värden återger där att NDVI har ökat och positiva värden att NDVI har minskat. Således kan också en positiv förändring (grön zon) förväntas vid höga negativa förändringsvärden.

Teoretiskt bör skärningspunkten mellan positiva förändringar (negativa förändringsvärden) och negativa förändringar (positiva förändringsvärden) ligga vid 0. Fältdata ger dock vid handen att gränsen för skadad/störd vegetation ligger vid ett högre värde. Avvikelsen från noll ger oss en storleksordning på osäkerheten i bestämningen av en förändring. Denna osäkerhet kan betraktas som ett mätfel orsakad av felfortplantning av fel från bearbetningen och slumpvisa fel i mätningen. Vi kan därför anta att ett lika stort fel finns på den negativa förändringssidan. Fältdata stöder detta antagande då andelen "skadade" provytor minskar vid värden < -1.4 med få undantag. Antalet provytor som ligger till grund för detta är dock få.

I verkligheten kommer dock gränsen mellan ingen förändring och negativ respektive positiv förändring inte att vara skarp utan det finns en övergångszon som är mer eller mindre förändrad i båda riktningar.

När studien upprepats och resultat finns för fler än två tidpunkter ges dock en möjlighet att dra en faktisk gräns för var positiv förändring har ägt rum.

Resultat

Resultaten som presenteras nedan baserade på en studie av Landsat-scener från 1994/1995 och 1999/2002 samt den fältinventering som utfördes för att utvärdera satellitbilsresultaten.

Först redovisas resultaten av fältinventeringen och hur de använts för att dra en gräns för förändring. Slutligen presenteras en sammanställning av förändring inom studieområdet och förslag på en indikator för uppföljning av miljö kvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö.

Fältinventering

Här presenteras delar av resultaten från den fältinventering som utfördes sommaren 2004. Endast resultat relevanta för utvärdering av förändringsstudien redovisas nedan. Enskilda delområden och provytor, inklusive koordinater, typvärden med mera återfinns i bilaga 2.

Vid utvärderingen tas endast hänsyn till de inventerade fältprovytor som ligger i rätt habitat. Fältinventeringen ger dock en viss möjlighet att utvärdera den mask som använts för att definiera populationen torr och skarp rished. I tabell 2 presenteras de områdesvisa resultaten översiktligt. Andelen provytor som hamnat i rätt habitat (torr och skarp rished) varierar mellan som lägst 64 % i norra Jämtland och som mest 93 % i Västra Västerbotten.

Tabell 2. Områdesvis redovisning av antalet inventerade områden, antalet inventerade provytor i fält i rätt habitat och antalet provytor i rätt habitat av totala antalet inventerade provytor.

Område	Antal områden	Antal provytor inventerade i fält*	Provytor i rätt habitat (%)
Dalarna	5	47 (56)	84
Södra Jämtland Väster	7	73 (84)	88
Södra Jämtland Öster	5	50 (54)	69
Norra Jämtland	5	35 (51)	64
Västerbotten Väster	8	68 (73)	93
Västerbotten Öster	7	49 (58)	84
Södra Norrbotten Väster	3**	10**	-
Södra Norrbotten Öster	8	43 (55)	78
Norra Norrbotten	4	35 (48)	73

* Provytor i rätt habitat. Inom parentes det totala antalet inventerade provytor.

** Överlappande provytor från Södra Norrbotten Öster.

Nämnas bör att det vid fältinventeringens början saknades data för Södra Norrbotten Väster och detta område därför inte har några "egna" provytor. Resultatet från Södra Norrbotten Väster kan dock efter standardisering utvärderas tillsammans med de övriga områdena.

De översiktliga resultat kan ge en något felaktig bild eftersom andelen provytor i rätt habitat har varit nästan 100% i enskilda delområden och statistiken dras ner av att det förekommit områden som nästan inte har haft en enda provyta i rätt habitat. Exempel på detta är ett delområde i närheten av Abisko där det var gräshed i alla provytor. Övriga vegetationstyper som förekommit inom masken och som naturligt angränsar till den torra och skarpa risheden är våt rished, frisk rished, våtmarker och fjällbjörkskog.

I tabell 3 redovisas det högsta (max) vegetationsindexdifferensvärdet för varje område, det högsta värde som inventerats i fält samt hur många procent (%) av varje område som ligger över maxvärdet som inventerats i fält och som fältinventeringen missat att fånga upp.

Den procentuella andelen värden som ej har inventerats i fält varierar stort mellan områdena. För till exempel Dalarna saknas fältinventeringar för alla värden > 1.2. Dessutom har fältinventeringen missat fånga upp 7.6 % av alla vegetationsindexdifferensvärden, det vill säga just i den del som en eventuell förändring skulle ligga. Standardiseringen av data har dock gett möjligheten att använda inventerade värden från andra områden och därigenom utföra en oberoende utvärdering av alla resultat.

Tabell 3. Områdesvis redovisning av vilket maximalt vegetationsindexdifferensvärde som inventerats i fält samt andel i procent av det undersöka området som ligger över det maxvärdet inventerat i fält.

Område	Max-värde	Maxvärde inventerat i fält	Andel (%) som fältinventering missat
Dalarna	3.9	1.2	7.6
Södra Jämtland Väster	6.1	1.7	6.7
Södra Jämtland Öster	6.7	1.9	3.6
Norra Jämtland	6.0	1.8	3.4
Västerbotten Väster	7.1	1.8	4.2
Västerbotten Öster	7.8	2.3	2.2
Södra Norrbotten Väster*	8.9*	0.9*	16.8*
Södra Norrbotten Öster	8.9	1.8	4.1
Norra Norrbotten	6.9	2.0	3.0

* Saknar egna provytor. Provytorna som redovisas kommer från överlappande provytor från Södra Norrbotten Öster.

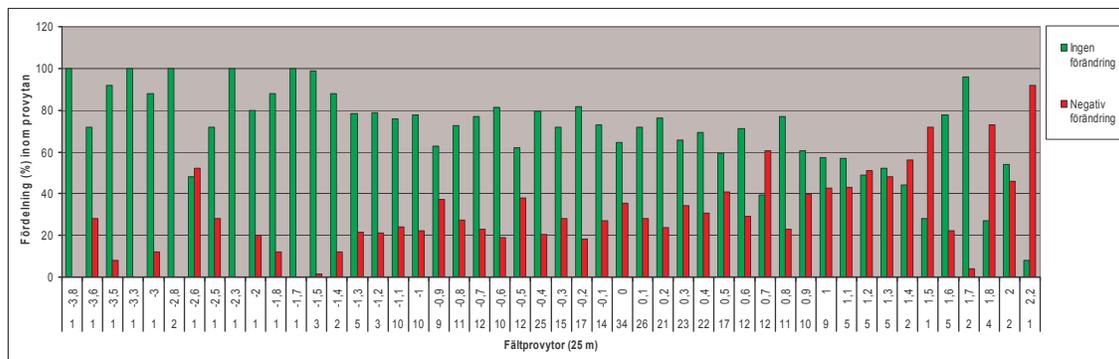
Gräns för förändring

Studien har utförts med Landsat-scener från två tidpunkter 1994/1995 och 1999/2002 där resultaten utvärderats genom fältinventering. I fältinventeringen noteras vegetationens status vid inventeringstillfället som 0 (frisk vegetation) och 1 (störd/skadad vegetation) vilket redovisas med ett typvärde för provytan. I teorin bör provytor med låg andel frisk vegetation och/eller hög andel bar humus/substrat ha typvärdet 1 och ett högt vegetationsindexdifferensvärde (förändringsvärde). Med utgångspunkt från detta blir det möjligt att dra en gräns för negativ förändring. Hur detta utförts redovisas i figur 6.

På grund av att beräkningen av NDVI-differens görs per satellitscen kommer resultaten att skilja sig åt något. Denna skillnad kan reduceras med standardisering av hela materialet. Standardiseringen av resultaten och summeringen av provytor mot förändringsintervall medför också att eventuella skillnader mellan inventerare utjämnas. För förändringsintervall med ett högt antal provytor kan resultaten anses vara mycket tillförlitliga. Där det endast förekommer ett fåtal observationer och osäkerheten i materialet ökar och enskilda provytor kan få stort utslag.

Resultat (Fig. 6) redovisas i diagramform med den procentuella fördelningen av 0:or och 1:or plottade mot förändringsvärdet och antalet provytor (25m²). Detta utgör grunden för avgränsning mellan områden med ingen förändring och förändring, se figur 5 (sida 16-17).

Inom förändringsintervallet (Fig. 6) 0.1 finns totalt 26 provytor inventerade, varav 76.4 % inte uppvisar någon förändring och 28.2 % uppvisar negativ förändring. På liknande sätt visar förändringsintervallet 1.8 att 27 % inte uppvisar någon förändring och 73 % negativ förändring, baserat på 4 observationer.



Figur 6. Procentuella fördelning av 1:or och 0:or från 5X5-meters rutorna (Y-axel) plottad mot förändringsvärdena indelade i 0.1-intervall (övre värden på X-axeln) och antalet provtytor på 25m² (undre värden på X-axeln) inom förändringsintervallet.

Studie av histogrammet (Fig. 6) visar att vid negativa förändringsvärden dominerar de gröna staplarna (ingen förändring) men det förekommer vissa röda uppstickare (negativ förändring). Vid de höga positiva förändringsvärdena noteras samma fenomen där de röda staplarna dominerar men avbryts av inblandning av de gröna staplarna. En brytpunkt för de röda staplarna förekommer vid 0.9 med en uppgående trend i intervallet mellan 0.9 till 2.2. De gröna staplarna visar en uppåtgående trend med en brytpunkt vid värden < 0.4-0.6.

I intervallet mellan -1.3 -0.6 (Fig. 6) är förhållandet mellan gröna och röda staplar ungefär lika stort och materialet saknar tydlig trend, vilket bland annat kan vara utslag av mätfel som tidigare nämnts (sida 16-17). Detta stöder också antagandet om att det finns ett osäkerhetsintervall inom materialet.

Utifrån fältdata drar vi således slutsatsen att gränsen för negativ förändring ligger vid förändringsvärdet 1.4, dvs det värde där antalet förändrade ytor överstiger antalet icke förändrade (Fig. 6). Analysen av fältdata visar också att gränsen för förändring ligger högre än det teoretiska gränsvärdet vid 0. Avvikelsen från noll utgör osäkerheten i bestämningen av förändringen. Denna osäkerhet kan antas vara lika stor på sidan för positiv förändring, vilket ger en möjlighet att i kartan även avgränsa områden som blivit grönare. Denna gräns blir dock endast teoretisk.

Genom osäkerheten i materialet som orsakas av få observationer vid höga negativa och positiva förändringsvärden bör helst fler provtytor inom dessa intervall inventeras för att möjliggöra en närmare bestämning av gränserna för negativa, och därigenom positiva, förändringar. Då resultaten kommer att utgöra grunden för vidare arbete inom länsstyrelsen verksamhet dras ändå gränsen vid ± 1.4 trots det något osäkra underlaget från fältdata.

Sammanställning av förändring inom studieområdet

Majoriteten av den torra och skarpa risheden i fjällen kan utifrån resultaten (tabell 4) konstateras vara oförändrade. Förändringen ligger inom intervallet ± 10 % ger och ger möjlighet att dra slutsatsen att förhållandet i övriga vegetationstyper i fjällen bör vara relativt gott. Resultaten ger dock en fingervisning om att vi har områden i fjällen som behöver en förstärkt övervakning.

Hela undersökningsområdet omfattar totalt 50 975 ha (tabell 4). I genomsnitt uppvisar 43795 ha (85.9 %) ingen förändring med en fördelning på 2785 ha (5.5 %)

med positiv förändring och 4934 ha (8.6 %) med negativ förändring. Teoretiskt bör förändringarna vara normalfördelade och den positiva och den negativa förändringen vara ungefär lika stor, se sida 13-15 (Fig. 6) men i genomsnitt dominerar alltså den negativa förändringen något.

En bättre bild ges om de enskilda områden, benämnda efter länstillhörighet, studeras var för sig. Dalarna avviker något från de övriga områdena genom att det har den högsta andelen oförändrade områden (88.4 %) samtidigt som den positiva förändringen dominerar (6.7 %). Den negativa förändringen är här också lägst med sina 4.9 %.

Tabell 4. Områdesvis redovisning av andelen, (%) värden som uppvisar förändring vid förändringsgränsen ± 1.4 .

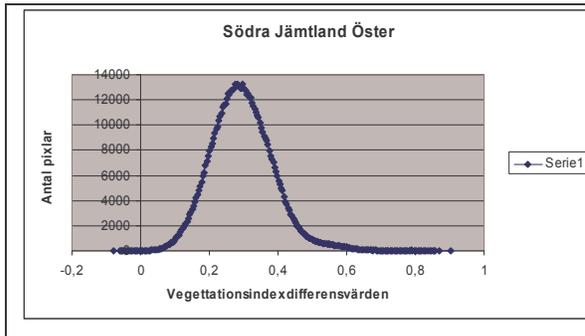
Område	Total areal	Ingen förändring		Positiv förändring		Negativ förändring	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Dalarna	2513	2221	88.4	168	6.7	124	4.9
Södra Jämtland Väster	7126	6076	85.3	333	4.7	716	10.1
Södra Jämtland Öster	1841	1578	85.7	123	6.7	139	7.6
Norra Jämtland	3759	3205	85.3	237	6.3	317	8.4
Västerbotten Väster	8552	7388	86.4	345	4.0	819	9.6
Västerbotten Öster	4900	4230	86.3	223	4.5	448	9.1
Södra Norrbotten Väster	4615	3999	86.7	251	5.4	364	7.9
Södra Norrbotten Öster	10068	8700	86.4	603	6.0	765	7.6
Norra Norrbotten	7601	6397	84.2	502	6.6	702	9.2
Totalt	50975	43975	85.9	2785	5.5	4394	8.6

Största differens mellan negativ och positiv förändring finns i Södra Jämtland Väster där andelen negativ förändring är 716 ha (10.1 %) och positiv förändring är 333 ha (4.7 %).

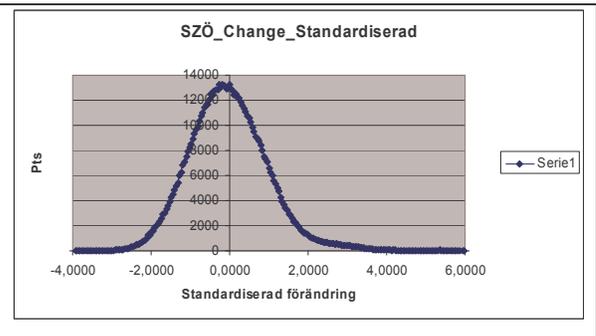
För varje område finns en också fullständig dokumentation om hur de ingående scenerna analyserats samt figurer över fördelningen av bildvärden. Detta inkluderar fördelningen av bildvärden i band 3 och band 4 före och efter relativ radiometrisk normalisering, NDVI-värden och normaliserade NDVI-värden, NDVI-differenser och NDVI-differenser efter standardisering samt provtyper. Denna dokumentation gör det möjligt att gå tillbaka i materialet och studera likheter och skillnader mellan studieområdena och är viktig för fortsatta analyser.

I exemplet nedan redovisas en del av dokumentationen för Södra Jämtland Öster, där vegetationsindexdifferensvärdena (Fig. 7a) efter standardiseringen (Fig. 7b) har

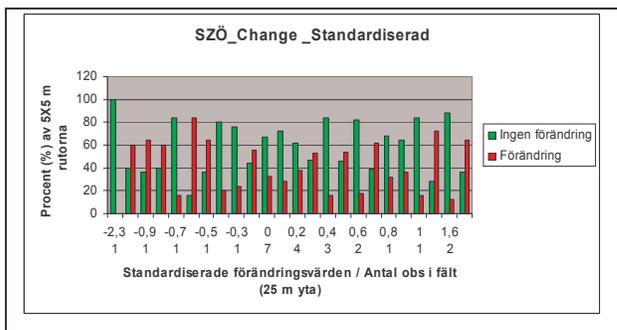
förskjutits cirka 0.25 enheter åt vänster. Resultatet från fältinventeringen (Fig. 7c) redovisas på samma sätt som i den gemensamma utvärderingen, se figur 6 (sida 18).



Figur 7a. Vegetationsindexdifferensvärden.

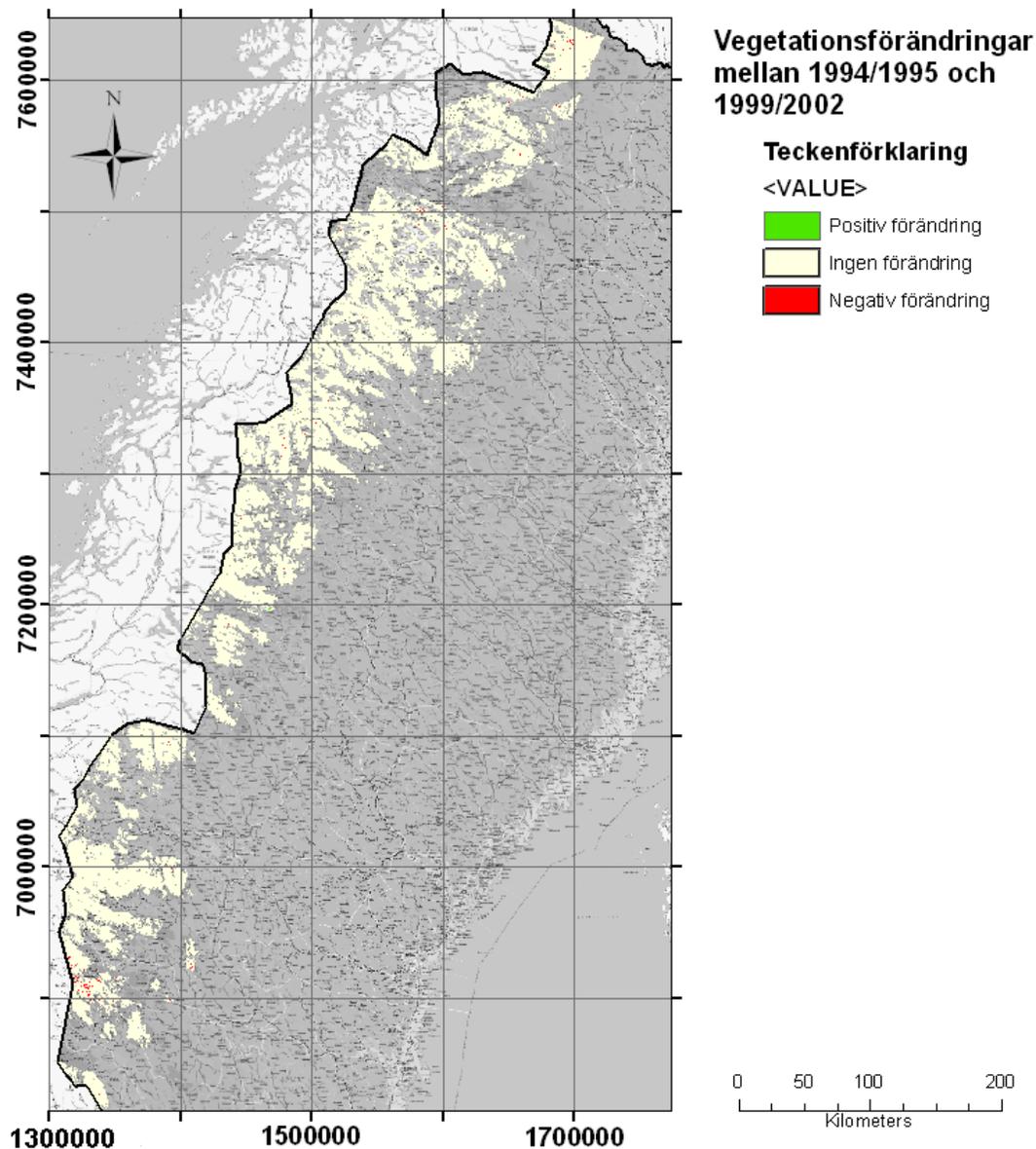


Figur 7b. Resultat av förändringsstudien efter standardisering av vegetationsindexdifferensvärden.



Figur 7c. Procentuella fördelning av 1:or och 0:or från 5X5-meters rutorna (Y-axel) plottad mot förändringsvärdena indelade i 0.1-intervall (övre värden på X-axeln) och antalet provtytor på 25m² (undre värden på X-axeln) inom förändringsintervallet.

Resultaten presenteras också i form av kartor. En översiktskarta (Fig. 7) över hela studieområdet visar förändringar där gränsen för förändring utifrån fältdata dragits vid ± 1.4 .



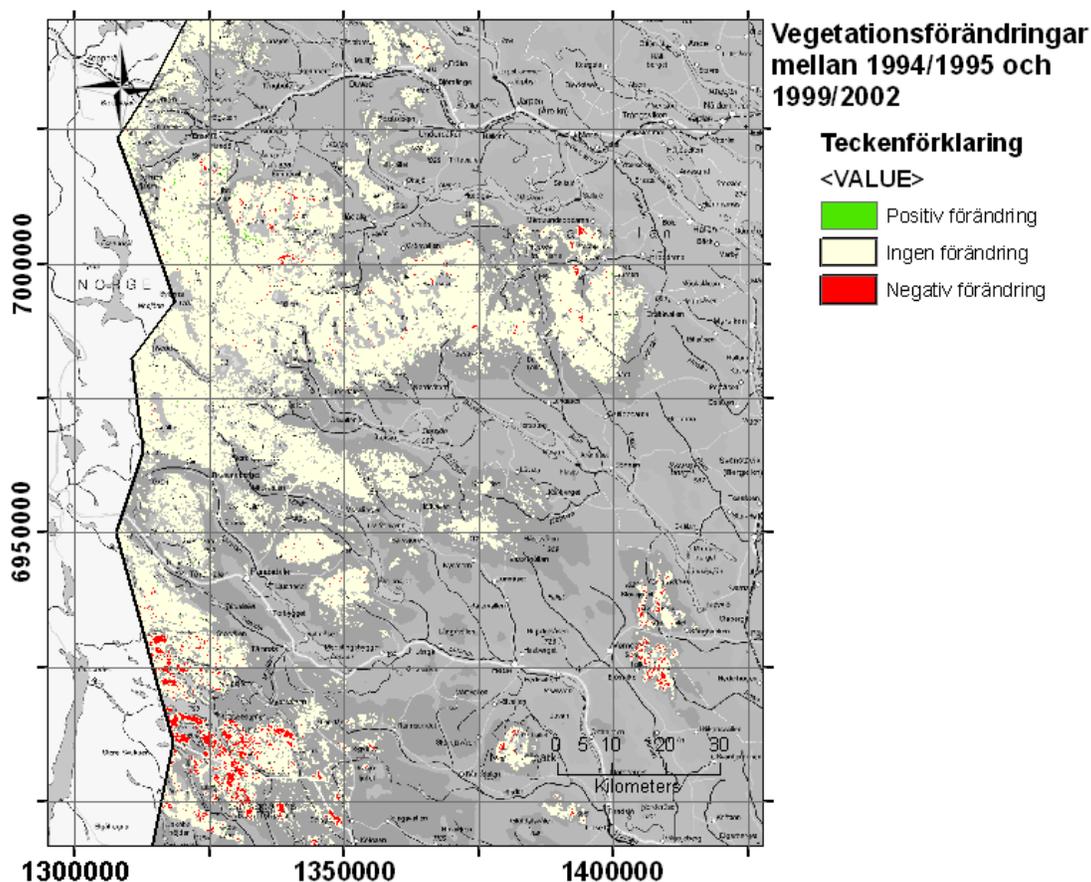
Figur. 8. Resultaten av studien med vegetationsförändring i hela studieområdet. Områden som inte är förändrade (ljusgult) dominerar. De negativa förändringarna (rött) förekommer endast på ett fåtal ställen liksom de teoretiska positiva förändringar (grönt).

Denna översikt (Fig. 8) visar tydligt att det utifrån dessa resultat inte ha skett några större förändringar mellan åren 1994/1995 och 1999/2002. Detta stärker den allmänna uppfattningen att det inte har hänt särskilt mycket på den korta tidsperioden mellan scenerna. Förändringarna som håller sig inom intervallet $\pm 10\%$ (tabell 4) ger signalen att tillståndet i fjällen måste betraktas som gott.

Översiktskartan ger dock inte speciellt mycket information för den regionala övervakningen utan kräver kartor med regional upplösning och länsvis

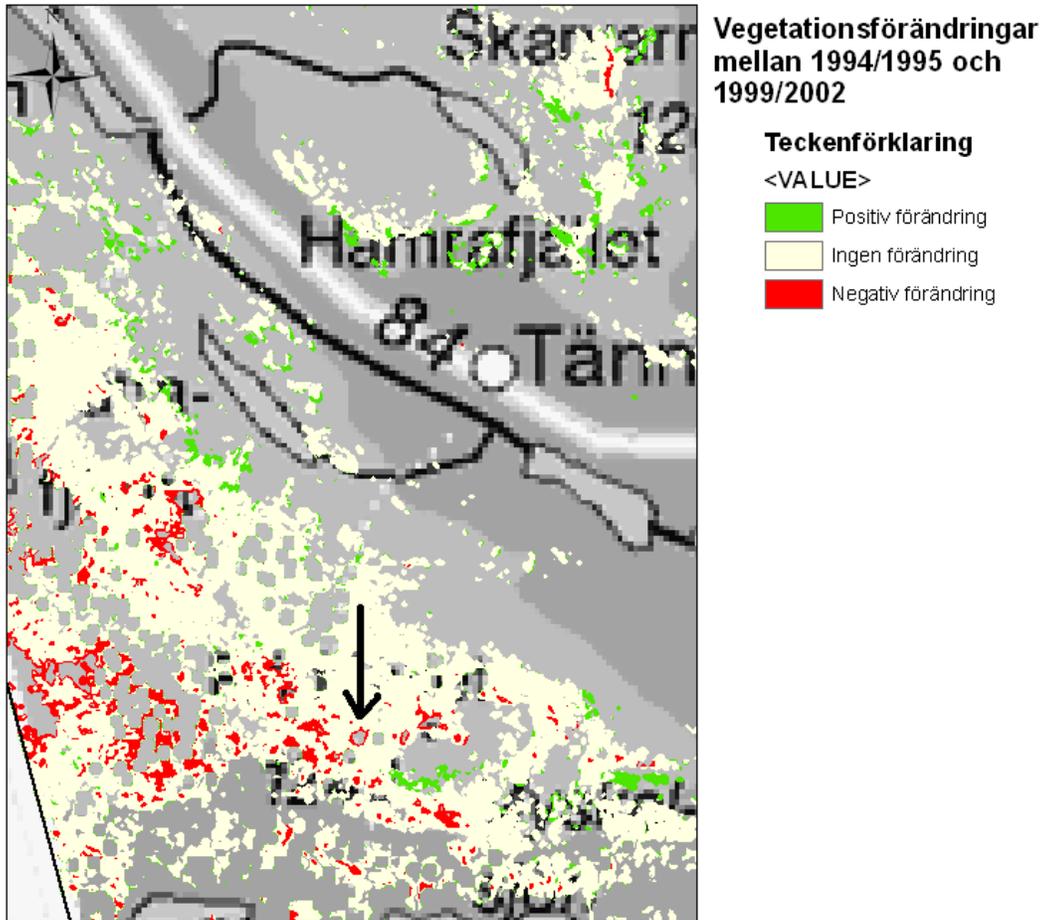
sammanställning av förändring. Kartor över vegetationsförändring i enskilda områdena redovisas länvis i bilaga 3.

Den regionala kartan över södra Jämtland (Fig. 9) visar stora områden med negativ förändring i södra Härjedalen. Denna karta beskrivs inte närmare här med dessa områden är naturligtvis klart intressanta och kommer att bli ytterst aktuella att besöka vid en till exempel en riktad fältinventering.



Figur 9. Karta med sammanställning av vegetationsförändring i södra Jämtland.

Resultaten kan också studeras ur ett lokalt perspektiv (Fig 10). Det kan då noteras att en del av förändringarna, både positiva och negativa, är lokaliserade till gränsen mellan rished och mask. Trots försöken att kompensera för osäkerheter vid maskgränsen kvarstår alltså en del av dessa. För att utföra en vidare studie av var förändringarna förekommer bör ytterligare ansträngning att eliminera dessa osäkerheter göras.



Figur 9. Vegetationsförändring i ett lokalt perspektiv, exempel från södra Jämtland. Bilden visar att en del av förändringarna (svart pil) är lokaliserad till gränsen mellan rished och mask. Resultaten vid maskgränsen bör därför tolkas med stor försiktighet.

Förslag på miljömålsindikator

Baserat på erfarenheterna från denna studie föreslås att resultatet används som indikator för delmålet - Skador på mark och vegetation orsakad av mänsklig verksamhet ska vara försumbar senast år 2010. Indikatorn som föreslås benämns - Andel förändrad fjällhed med det fullständiga namnet - Förändring av andel biomassa inom torr och skarp rished.

Indikatorn beskriver hur andelen biomassa i torr och skarp rished på nationell nivå har förändrat sig mellan två årtal, i detta fall mellan 1994/1995 och 1999/2002. För redovisning av årtal för enskilda områden på regional nivå se sida 6 (Tabell 1). Studien kommer att utökas med resultat från 1987/1988 under våren 2005 samt kvalitetssäkras.

Resultaten baserar sig på jämförelser av vegetationsindex vilket har räknats fram ur satellitbilder med en upplösning på 25 meter. Vegetationsindex ger ett indirekt mått på biomassan och jämförelser av detta mellan två årtal kan då berätta om andelen biomassa ökat eller minskat mellan de två åren. Resultaten har utvärderats mot fältdata.

Resultat kan presenteras i form av kartor (Fig. 8-10) eller i diagramform som procent, eller areal förändrad fjällhed/biomassa. Om andelen förändrad fjällhed är låg ger det också en stark antydning om att förändringen i andra vegetationstyper också är låg.

Teckenförklaringen (Fig 8-10) anger klasserna positiv förändring, ingen förändring och negativ förändring. Positiv förändring (grön i kartan) motsvarar då områden som fått en ökad andel biomassa och negativ förändring (röd i kartan) områden som fått en minskad andel biomassa.

När vegetationsindex beräknats för 1987/1988 blir det möjligt att jämföra dem vegetationsindex med 1994/1995. Dessa blir då i sin tur möjliga att jämföra med resultatet från 1994/1995 och 1999/2002. Om andelen förändrad biomassa (positiv och negativ) inte varierar mellan 1987/1988 -1994/1995 och 1994/1995 – 1999/2002 kan förändringen anses vara försumbar.

Eftersom materialet som redovisats här innehåller vissa osäkerheter behöver indikatorn kvalitetssäkras ytterligare innan den kan betraktas som färdig. Vidare behöver studien också utföras och utvärderas för 1987/1988. Studien behöver utökas och utvärderas med de satellitbilder som finns för 1987/1988. Dessutom behöver man göra ytterligare fältinventering.

Diskussion

Länsstyrelserna har lyckats i sin förutsättning att genomföra en förändringsstudie över hela fjällkedjan. För att helt säkert kunna uttala sig om resultaten krävs det dock ytterligare fältinsamlingar och vidare bearbetningar. Då resultaten kommer att användas inom förvaltning och utgöra en grund för vidare arbete inom Länsstyrelsernas verksamhet har gränsen för förändring satts vid ± 1.4 trots det något osäkra underlaget från fältdata.

Denna osäkerhet i materialet kan främst sägas bero på det låga antalet provytor vid höga negativa och positiva förändringsvärden. Genom att fjällområden och delområden slumpats fram är det inte säkert att det förekommer höga respektive låga förändringsvärden inom dem, vilket gör att stickprovet inte fångar upp dessa. För en säkrare bedömning av gränsen för negativ förändring krävs fler provytor inom de intervall där en förändring kan förväntas. Resultaten utgör dock ett utmärkt material för vidare stratifiering av stickprovet fält. En viss variation i tolkning av provytorna vid fältinventeringen bidrar också till osäkerheten. För att minimera osäkerheter vid tolkning bör därför ytterligare kalibrering ske av fältpersonalen, alternativt färre inventerar ingå i inventeringen.

Resultaten av studien visar att det i enskilda områden av fjällkedjan förekommer förändringar inom vegetationsklassen torr och skarp rished. Naturen är inte statisk och förväntningarna var därför att förändringar i viss mån skulle förekomma. Detta projekt har endast syftat till att undersöka förekomst av vegetationsförändringar och har inte varit inriktat på att identifiera orsaker till eventuella förekomster av förändringar.

Redan under användarprojektet förekom indikationer på områdesvisa förändringar av vegetationstäcket. Dessa indikationer gav upphov till många diskussioner om orsakerna till dessa förändringar. Att avgränsa de viktigaste mekanismerna och utreda orsakerna om vad som orsakar förändringar kräver dock ett omfattande vidare arbete. Vi kan till exempel med säkerhet konstatera att det under det senaste århundradet skett en uppvärmning av jordens medeltemperatur. Att detta skulle få

inverkan på de känsliga miljöerna i fjällen ter sig logiskt. Då vi i dagsläget står inför ytterligare förändringar i klimatet kan detta projekts material utgöra en värdefull grund för framtida förändringsstudier. Listan över ytterligare tänkbara förändringsfaktorer kan göras dessutom göras lång. Det är inget enkelt uppdrag att identifiera orsakerna till en förändring, särskilt inte i områden som fjällen där underlagsinformationen har låg upplösning och datatillgången är dålig.

För miljömålsuppföljning betyder denna osäkerhet i materialet att indikatorn behöver kvalitetssäkras. För att kvalitetssäkra dataunderlaget och indikatorn krävs framförallt riktade fältinventeringar mot områden som uppvisar förändring. Detta för att som tidigare nämnts bättre fastlägga var gränsen för förändring ligger. Vidare bör osäkerheterna runt maskgränsen utredas vidare.

Resultaten av studien ger dock en indikator med upplösning på nationell, regional och lokal nivå och blir en viktig byggsten i det regionala uppföljningssystemet. Genom att dataunderlaget är väl dokumenterat och enhetligt kan resultaten också användas inom den regionala miljöövervakningen och inom uppföljning av tillståndet inom Natura2000-habitatet Alpina och boreala hedar. Genom sitt breda användningsområde så finns således starka intressen att denna uppföljningsmetodik ska bli återkommande.

Skillnader mellan denna studie och studien utförd i användarprojektet

För att underlätta jämförelser med resultaten från användareprojektet inom RESE kan följande skillnader i metodik förklaras:

- I användarprojektet användes vegetationskartan över fjällen som underlag för torr och skarp rished. I denna studie valdes fjällklassningen som utgör underlagsdata till SMD Pixel. Skillnader mellan dessa har redovisats vid motivering i val av underlag.
- I användarprojektet inköptes rådata från Lantmäteriet varvid geometrisk korrektion, ortokorrektion, och relativ radiometrisk normalisering utfördes inom projektet. Konstanter för beräkning av omfånget på den spektrala radianansen och den bandspecifika atmosfäriska solinstrålningen ($W/m^2Sr^{-1}\mu m^{-1}$) hämtades där från Irish, 2000. I denna studie inköptes radiometrisk kalibrerade och ortokorrigerade, Level 2C-scener. Parametrar för omräkning från *At-satellite-radiance* i ($W/m^2Sr^{-1}\mu m^{-1}$) till *At-satellite-reflectance* (enhetslös) hämtades från Irish, 2003.

För band 3 och 4 redovisas följande olikheter:

	Användarprojekt inom RESE, 2002	Detta projekt, 2004
Landsat 5		
Band 3	1557	1554*
Band 4	1047	1036*
Landsat 7		
Band 3	1555	1551
Band 4	1047	1044

*Chance Spectrum CHKUR

- Fjällhedprojektets ortokorrigerade scener levererades som heltal i motsats till användarprojektets flyttal hos rådata.
- I användarprojektet användes ingen mask för sjöar och vattendrag. Artefakter uppkomna genom olikheter i vattenstånd etc. lokaliserades manuellt i satellitscenerna. I fjällhedsprojektet användes en mask för sjöar och vattendrag från väggkartan med ett buffertzona på totalt 6 pixlar (150 meter). Det kunde då noteras i att förekomsten av artefakter vid mycket höga eller låga förändringsvärden (NDVI differenser) uteblev.
- I denna studie studerades histogrammen för band 3 och 4 individuellt för respektive scen och område. Värden som i ackumulerade procent ligger mindre än 0.01 och högre än 99.9 maskades bort. Värdena studerades i satellitbilderna och kunde lokaliseras som tillhörande moln, molnskuggor, snölegor och vatten. Dessa värden fick då i motsats till i användarprojektet ingå i masken.

Felkällor

En av de största felkällorna ligger i att scenerna från Lantmäteriet levererades som binära bilder i heltal. Vid avrundningen från flyttal (float) till heltal (byte) uppstår en osäkerhet på ± 0.5 . Vid varje operation, som omräkning till at-satellite-reflectance, linjär regression vid relativ radiometrisk normalisering, beräkning av NDVI och differensberäkning med mera, får man en felfortplantning som i slutet kan uppgå till flera procentenheter vilket också kan ses i resultatet. Detta bör tänkas på när satellitscener levereras för nästa uppföljningsomgång.

Scenerna har valts så att tidpunkten för registreringarna ska vara ungefär densamma i hela fjällkedjan. Detta för att minimera små variationer av naturliga skäl mellan scenerna. Svårigheterna med att få tillgång till molnfria scener från ungefär samma tidpunkt leder dock till att det kan förekomma små fenologiska variationer. Risheden är generellt fenologiskt stabil över växtsäsongen och har därför ansetts som en god indikator på förändringar i fjällvegetationen. En annan viktigare faktor är solhöjden som är lägre i början på september än i juli/augusti vilket leder till att mindre solljus träffar marken och att mindre energi reflekteras tillbaka. Effekterna kan bland annat ses i det spektrala omfånget för scenerna från 1994 är lägre än i scenerna från 2000/2002. Detta är märkbart framförallt i band 3, men är även tydligt i band 4.

Maskerna med moln, molnskuggor och snölegor utgör naturligtvis en annan felkälla då ingen molnmask någonsin kommer att vara perfekt. De största svårigheterna vid molnmaskningen låg i att identifiera och maska bort oskarpa molnslöjor och de diffusa skuggor dessa ger upphov till. Avsaknaden av stora artefakter tyder dock på att molnmasken fungerat tillfredsställande.

Den sista av de stora felkällorna ligger i den mask som har använts för att avgränsa populationen torr/skarp rished. Masken är en kartprodukt vilket per definition alltid utgör en generalisering av verkligheten. Förutom fel beroende på felaktig klassning av vegetationstyper, görs vid produktionen en sammanslagning av små, mosaikartade områden till större enheter. Det får till följd att områden mindre än ett givet gränsvärde, som inte utgör den avsedda studiepopulationen kommer att ingå i studien och bidra med felaktigheter.

Fältinventeringarna har utförts av totalt 12 personer. Det är välkänt att resultaten av fältinventering är personberoende och att en bedömning påverkas av vem som gör

den, vilket är ett fenomen som noteras även i denna studie. De finns skillnader i resultat och det är därför viktigt att utbilda inventerare och skriva tydliga manualer så att eventuella tolkningsvariationerna kan minimeras. Vidare förekom också vissa skillnader mellan GPS:erna där skillnader upp till 50 meter noterades vid enstaka tillfällen.

Erfarenheter

Att driva ett fjärranalysprojekt inom Länsstyrelsen

Att driva ett fjärranalysprojekt inom en Länsstyrelse ställer stora krav på datasystem, lagring och back-up. För att säkra lagring och återkomst av rådata för satellitscener samt alla filer och resultat och behöver en strategi för detta utarbetas. Givetvis kommer varje länsstyrelse att ansvara för länets data och satellitscener. På förslag bör dock en länsstyrelse bli ansvarig för lagring och back-up av hela projektet.

Vad gäller de kompetensmässiga behoven visar erfarenheter från detta projekt att det vore önskvärt med två personer med fjärranalyserfarenhet inom länsstyrelserna för att långsiktigt säkerställa tillgång till fjärranalyskompetens. Dessa personer behöver dock inte sitta på samma länsstyrelse.

En positiv följdverkning av projektet har varit utvecklandet av samarbetskanaler mellan fjällänen, till exempel inneburit regelbundna möten, telefonkonferenser och gemensamt fältarbete. Dessa förbättrade kommunikationskanaler har varit oerhört viktiga även för arbete med andra frågor och har stärkt länsstyrelsernas möjlighet till samordning av verksamhet i fjällen, något som också åligger fjällänen i och med uppdraget med Regionala Miljö- och Hushållnings Programmet för fjällen (RMHP).

Slutligen har länsstyrelsernas personal fått ovärderliga kunskaper om det faktiska tillståndet i den svenska fjällkedjan. Många personer har varit ute i fält och diskussionerna har varit och är många och långa. Samarbetet mellan miljömålshandläggare och naturbevakare har också utvecklats vilket är värdefullt då naturbevakarna sitter på mycket värdefull erfarenhet som annars kan var svår att förmedla.

Erfarenheter från fältinventeringen

En stor tillgång för projektet är den breda sammansättning av olika kompetenser som varit engagerade. Genom ytterligare samverkan och därmed större insikt i varandras discipliner, är det möjligt att resultaten kunnat bli bättre och säkrare, men det skulle också kräva mer tid. För momentet med bedömning av vegetationstäckets status vid fältinventeringen kan man t.ex. fundera över om metodiken kan förbättras för att bättre spegla vad som registreras i satellitsensorerna. Till exempel bör man uppmärksamma hur resultaten för lavdominerad rished skiljer sig från övriga rishedar. När lavtäckets minskar och försvinner ökar nämligen reflektionen över dessa områden, vilket kan ge en falsk bild av förbättring. Vid fältinventeringen har dessutom bedömningen av fragmenterad lav varierat där den både bedömts som frisk och skadad/störd av olika inventerare. Vidare bör metodiken för bedömning av områden med inslag av hållar och stenar ses över så att alla inventerare gör samma bedömning. Inslag av håll och sten medför en sänkning av NDVI-värdet men orsakar i sig ingen variation. Vid kalibreringsdagarna var det tydligt att en kalibrering av fältpersonal var helt nödvändig. Vidare har det varit positivt att några inventerare varit delaktiga i fältarbetet i flera län. Därtill har inventeringslagens sammansättning växlat

så att "alla jobbat med alla" vilket bidragit till förbättrad samsyn gällande bedömningsgrunder.

Slutsatser

Projektet Satellitbaserad fjärranalys för regional miljöövervakning – en studie över torra och skarpa rishedar i de svenska fjällen har inneburit att en Länsstyrelseorganisation framgångsrikt genomfört ett avancerat fjärranalysprojekt från start till slut. Det visar att Länsstyrelserna inte enbart är användare av resultat från satellitbildsbaserad fjärranalys, utan även tänkbara framtida genomförare av ytterligare projekt. I dagsläget är det dock ingen länsstyrelse som regelbundet kan genomföra ett liknande projekt enbart baserat på ordinarie personal. Erfarenheterna från projektet visar dock att det skulle vara fullt möjligt för ett antal länsstyrelser att samordna sina resurser så att en länsstyrelse utför uppdrag för flera andra län. Det skulle även ge möjlighet till en förstärkning på resurssidan.

Länsstyrelserna har genom studien fått ett bra informationsunderlag med en god dokumentation av projektet. Metoden har utvärderats och utvecklats och visar trots en del problem att det finns stora möjligheter med denna typ av förändringsstudie.

Trots att resultaten från studien behöver kvalitetssäkras ytterligare finns för första gången heltäckande förändringsdata för alla vegetationstyper ovan trädgränsen för hela fjällkedjan. Resultaten har endast utvärderats för vegetationstypen torr och skarp rished men underlaget finns och kan eventuellt användas för att utvärdera förändringsresultaten för andra vegetationstyper i framtiden. Materialet utgör således en viktig grund för vidare arbete. Att genomföra uppföljningar av projektet i framtiden kan visa sig bli oerhört intressant, framför allt för att befästa lokala rapporter om förändringar i vegetationssammansättning.

Dataunderlaget och resultaten från studien kan användas för uppföljning av tillståndet i torra och skarpa rishedar i fjället och därigenom ge en indikation på tillståndet i andra vegetationstyper. Data som beskriver förändringar i torr och skarp rished kan levereras med upplösning på länsnivå (Fig.9) samt på kommunal nivå.

För miljö kvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö betyder detta att resultaten fungerar som indikator för delmål - Skador på mark och vegetation ska vara försumbar. Den föreslagna indikatorn kallas Förändring av andel biomassa inom torr och skarp rished och går under beteckningen Andel förändrad fjällhed. Dataunderlagen och resultaten kan också i kombination med annan information användas som en indikator för alla regionaliserade delmål som förutsätter att vi kan övervaka tillståndet i fjällvegetationen.

Resultaten bör dock i denna omgång betraktas med viss försiktighet innan vidare utvärdering och närmare bestämning av gränsen förändring så att indikatorn kvalitetssäkras.

När studien utökats med satellitdata från 1987/1988 börjar vi få något som börjar likna en tidsserie och resultatens användbarhet som indikator ökar.

Framtida användning av projektresultat

Under februari 2005 genomför länsstyrelserna en förändringsstudie och klassning av satellitscener från 1987/1988. Resultaten kommer att bli mycket intressanta dels för en jämförelse med resultaten från användarprojektet inom RESE, men framför allt för att undersöka om områden där fältstudien men inte satellitresultaten indikerat

förändring kan vara resultaten av en förändring som inträffade före 1994. Eftersom möjligheter att uttala sig om vegetationens status vid tidigare tillfällen saknas i fält går det utifrån fältdata inte att dra någon faktisk gräns för var det skett en positiv förändring. När scenerna från 1987/1988 analyserats så det finns resultat från fler än två tillfällen ges dock en bättre möjlighet att avgränsa områden med positiv förändring. Möjligheten ökar med ökad tidsserie.

Länsstyrelserna har också för avsikt att genomföra en ny riktad fältinventering mot områden som uppvisar förändring med koncentration mot områden med negativ förändring. Hur detta ska finansieras är dock inte utrett.

De befintliga resultaten blir även högintressanta vid arbetet med att följa effekterna av de klimatförändringar vi i dag är säkra på kommer att ske. Tänkbart är även att bättre validerade resultat från studien kan komma att användas för förvaltning av naturresurser.

Stort intresse finns också för att gå vidare med geografiska analys av resultatet där man analysera var i terrängen förändringarna förekommer. Man kan förvänta sig att finna de största förändringarna i utsatta lägen, till exempel vid vindutsatta områden med hög lutning och lite solinstrålning.

Givna användningsområden är förutom nationell uppföljning av miljökvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö, den regionala uppföljningen av de regionaliserade målen för Storslagen fjällmiljö samt eventuellt även Begränsad klimatpåverkan. Det senare målet har dessutom ett längre tidsperspektiv, vilket gör att upprepade studier kan ge mycket intressant information om vad som sker med vegetationssammansättningen då klimatet ändras. Då krävs visserligen förändringar av metodik i fält, något som också kan ses som framtida användning av resultaten.

Slutligen bör materialet vara lämpligt att använda som indikator i arbetet med uppföljning av habitatet 4060 i det europeiska nätverket Natura 2000. Så länge resultaten indikerar förändring som ligger inom 10% från basåret kan Sverige rapportera att gynnsam bevarandestatus råder i habitatet.

Referenser

- Anderson, L., Rafsted, T., von Sydow, U. 1985. Fjällens vegetation – Norrbottens län, Naturvårdsverket
- Chander, C., Markham, B., 2003. Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges
- Ihse, M. & Wastenson, L. 1975. Flygbildstolkning av fjällvegetation - en metodstudie för översiktlig kartering. Statens Naturvårdsverk, PM 596.
- Irish, R., 2003. Landsat 7 – Science data Users Handbook
- Nordberg, M-L., Evertson, J. 2003. Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at a regional scale using multitemporal Landsat TM data. *Ambio* 32(8):502-9.
- Rafstedt, T. 1984. Fjällens vegetation – Jämtlands län, Naturvårdsverket
- Rost, T, Ahlcrona, E. 2004. Tematisk noggrannhet i Svenska Marktäckedata. SCMD-0020, version 1.0, Lantmäteriet.
- Renman, G. 1989, Barmarkskörning på fjällen, Statens Naturvårdsverk, rapport nr 3598, Stockholm

Bilaga 1 – Fältmetodik för utvärdering av satellitbaserad fjärranalys för regional miljöövervakning – en studie av torra och skarpa rishedar i fjällen.

Se separat bilaga, **Bilaga 1.pdf**

Bilaga 2 – Områdesvis redovisning av provytor

Se separat bilaga, **Bilaga2.pdf**

Bilaga 3 – Kartor med länsvis sammanställning av förändring

Se separat bilaga, **Bilaga3.pdf**