

# **NDVI-trender vid Latnjajaure fältstation 1986-2021 baserade på analys av satellitdata**

**Förslag på placeringar av  
fältbaserade NDVI-mätningar**

**Emilia Stenbäck**

**Degree of Bachelor of Science  
with a major in Earth Sciences  
15 hec**

**Department of Earth Sciences  
University of Gothenburg  
2022 B-1170**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

# NDVI-trender vid Latnjajaure fältstation 1986-2021 baserade på analys av satellitdata

Förslag på placeringar av  
fältbaserade NDVI-mätningar

**Emilia Stenbäck**

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet  
miljövetenskap

ISSN 1400-3821

**B1170**  
**Bachelor of Science thesis**  
**Göteborg 2022**

---

**Mailing address**  
Geovetarcentrum  
S 405 30 Göteborg

**Address**  
Geovetarcentrum  
Guldhedsgatan 5A

**Telephone**  
031-786 19 56

Geovetarcentrum  
Göteborg University  
S-405 30 Göteborg  
SWEDEN

## Sammanfattning

Den globala medeltemperaturen uppvisar en ökande trend och klimatförändringarna påverkar både hav, land och atmosfär. Uppvärmningen sker i hög hastighet och den Arktiska regionen värms upp tre gånger så snabbt som det globala genomsnittet. Det förändrade klimatet skapar nya förutsättningar för ekosystemen med en spridning av arter till högre latituder, förlust av permafrost, förlängda vegetationsperioder och ändrade näringscykler. Över stora områden har det varmare klimatet orsakat en trend av Arctic greening, en ökning av vegetation. I andra områden har klimatförändringarna i stället bidragit till den motsatta trenden, Arctic browning; en process som kan bero på flera olika orsaker, inklusive en negativ förändring av vegetationens produktivitet eller vegetationsskador. Med fjärranalysbaserade metoder kan greening och browning undersökas genom att beräkna vegetationens produktivitet utifrån vegetationsindexet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Syftet med studien är att undersöka hur vegetationen runt Latnjajaure fältstation förändrats mellan åren 1986 och 2021 med målet att föreslå placeringar för fältbaserade NDVI-mätningar. Förändringar i vegetationen undersöktes med hjälp av NDVI baserat på satellitbilder tagna av Landsat-satelliter, där minst en bild per decennium analyserades. Undersökningen omfattar NDVI trender över studieområdet, inom olika vegetationstyper samt förhållandet mellan NDVI och höjd över havet.

Under den studerade tidsperioden visade resultatet på trender av både greening och browning utspritt över studieområdet. Analysen visade även en minskning av NDVI-värden mellan åren 1986 och 2021 inom vegetationstyperna frisk rished (-15,08 %), skarp rished (- 5,47 %) och tussock tundra (-12,06 %) samt en ökning inom vegetationstypen högörtäng (+2 %). Ett signifikant samband påvisades även mellan höjd över havet och förändringar i NDVI, där ökningarna främst skett på högre höjder och minskningar främst skett på lägre höjder. Ett förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar presenteras i rapporten, där förslagen bygger på de trender av greening och browning som framkommit i analysen.

## **Abstract**

The global mean temperature is rising, and climate change is affecting the oceans, the land, and the atmosphere. The warming is happening rapidly in northern latitudes and the Arctic region is warming at a rate three times the global average. A changing climate creates new conditions for the ecosystems, with a migration of species to higher latitudes, loss of permafrost, prolonged vegetation seasons and changes in the nutrient cycles. As a consequence of the warmer climate, large areas are showing a trend of Arctic greening, an increase in vegetation. In other areas however, the opposite trend is called Arctic browning, which has been observed as a decrease in vegetation productivity, or damaged vegetation. Greening and browning can be investigated with remote sensing by calculating NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and estimating the vegetation productivity over an area. The aim of this study is to analyze how the vegetation in the area surrounding Latnjajaure field station has changed between the years 1986 and 2021, with the goal of suggesting locations for field based NDVI-measurements. Changes in the vegetation is analyzed with NDVI based on satellite images acquired from Landsat-satellites. The study includes NDVI trends over the study area, within different vegetation types as well as the correlation between NDVI and elevation.

The results showed trends of both greening and browning distributed over the study area. A decrease of NDVI values between the years 1986 and 2021 within the vegetation categories mesic heath (-15,08 %), extremely dry heath (- 5,47 %) and tussock tundra (-12,06 %) was discovered, while an increase was found in tall mesic meadow (+2 %). A significant correlation was found between elevation and change in NDVI, where increases in NDVI mainly were found at higher elevations and decreases at lower elevations. A suggestion of potential placements of field based NDVI measurements is presented in the report, where the suggested locations are based on the trends of greening and browning detected in this analysis.

## Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	5
2. Studieområde .....	8
3. Metod .....	10
3.1 Data .....	10
3.1.1 Landsatprogrammet.....	10
3.1.2 Klimatdata .....	11
3.2 Bearbetning av data och analys .....	12
3.2.1 Bearbetning av satellitbilder .....	12
3.2.2 NDVI.....	14
3.2.3 Normalisering av data .....	14
3.2.4 Extraktion av data.....	16
3.2.5 Analys .....	17
4. Resultat.....	18
4.1 NDVI trender .....	18
4.2 NDVI-trender i förhållande till vegetationstyp.....	20
4.3 NDVI och elevation.....	21
4.4 Förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar .....	22
5. Diskussion.....	24
5.1 NDVI-Trender 1986–2021 .....	24
5.2 Alternativa datakällor för vidare analys .....	26
5.3 Placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar.....	26
6. Slutsats .....	27
7. Tackord .....	28
8. Referenser .....	29
Bilaga .....	32

## 1. Introduktion

Forskning har visat att mänskliga aktiviteter entydigt bidragit till en global uppvärmning som påverkat både hav, land och atmosfär (IPCC, 2021). Förändringarna har skett snabbt, vilket särskilt märks av i Arktis där uppvärmningen skett med 0,6°C per årtionde under de senaste 30 åren (Azevedo et al., 2021). Den snabba uppvärmningen väntas även fortsätta i framtiden och temperaturökningen i Arktis beräknas bli tre gånger så stor som den globala (AMAP, 2021). Regionen förväntas även få den högsta temperaturökningen under de kallaste dagarna, en ökning motsvarande tre gånger det globala genomsnittet (IPCC, 2021). Konsekvenser av klimatförändringarna i de arktiska ekosystemen inkluderar förändrade förutsättningar för olika typer av vegetation såväl som utsläpp av CO<sub>2</sub> och CH<sub>4</sub> till följd av tinande permafrost (Azevedo et al., 2021). Förändringar i de lokala artsammansättningarna tillsammans med en ökad utbredning av arter mot högre latituder kan dessutom leda till ändrade näringscykler. En förändring som redan observerats över den Arktiska tundran är en ökad biomassa och utbredning av buskar, ett skifte i vegetation som kan öka det globala albedot och därmed bidra till en ökad uppvärmning av atmosfären (Myers-Smith et al., 2011). Den förhöjda produktiviteten över den arktiska regionen benämns ofta som Arctic greening, en process som pågår parallellt med den motsatta trenden, Arctic browning. Då temperaturen ökar skapas torrare förhållanden och fler extrema väderhändelser. Inom vissa biom kan det leda till torka, bränder, frostsador och minskad produktivitet vilket kan orsaka ett förlopp av browning (Bjerke et al., 2017; National Academies of Sciences & Medicine, 2019).

Den globala uppvärmningen har även bidragit till en förlängd vegetationsperiod i Sverige. Vegetationsperioden är tiden då förhållanden för vegetation är gynnsamma, en period som det senaste seklet uppvisat en ökande trend. År 2021 beräknades vegetationsperioden i norra Norrland vara under snitt i 143,9 dagar jämfört med 136,5 dagar år 1986 (SMHI, 2022). Det finns ett nära samspel mellan vegetationsperiodens längd och vattenbalansen i ekosystemet. Växters transpiration avlägsnar vatten från marken och kyler den omgivande atmosfären (Gkatsopoulos, 2017). En förlängd vegetationsperiod tillsammans med en ökad mängd transpirerande biomassa leder till en högre andel avlägsnad fukt från marken och bidrar till att vattentillförseln från snösmältningen förbrukas snabbare (Sabater et al., 2020).

En plats i norra Sverige där det bedrivs vegetationsstudier i en subarktisk miljö är området runt sjön Latnjajaure i Kiruna kommun. Vid sjön ligger Latnjajaure fältstation, en forskningsstation som grundades år 1965 för limnologiska studier, men som sedan 1990 använts av Göteborgs Universitet för klimat- och vegetationsforskning (Hellmark, 2004). Forskningen som utförs vid

stationen är en del av det Internationella Tundra EXperimentet (ITEX), ett nätverk av forskning som utförs för att undersöka långtidseffekter av klimatförändringar på arktiska tundra-ekosystem. Genom att liknande experiment utförs på flera olika platser samtidigt skapas jämförbara resultat som gör det möjligt att studera effekterna av uppvärmda ekosystem runt om hela Arktis (GVSU, 2022).

Den förväntade effekten av klimatförändringarna på vegetationen runt Lantnjajaure har undersökts i olika experiment sedan 90-talet. År 1993 placerades *open top chambers* (OTC) ut för att undersöka effekten av ökade temperaturer. Resultaten har utvärderats flera gånger och visat på betydande förändringar i ekosystemen (Björk & Molau, 2007), förändringar som inkluderar en förväntad framtida expansion av buskar pådriven av ökade temperaturer och förlust av permafrost. Mellan 1995 och 2006 hade en åttafaldig ökning av vintergröna dvärgbuskar, specifikt lingon (*Vaccinium vitis-idaea*), observerats (Molau, 2010; Scharn et al., 2021a). Då studier påbörjades år 1990 fanns även kontinuerlig permafrost i området, men år 2003 kunde inte någon permafrost längre detekteras (Beylich et al., 2003).

Det finns ett stort intresse av att förstå hur de globala förändringarna kommer påverka arktiska ekosystem i framtiden och ett sätt att studera vegetationsförändringar är med fjärranalysbaserade metoder. Fjärranalys kan användas för att undersöka vegetationen över stora områden och vid svåråtkomliga platser. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) är ett vegetationsindex som ger en indikation på mängden fotosyntetiserande vegetation och biomassa i ett område. NDVI kan beräknas utifrån den spektrala reflektansen från jordytan där mängden reflekterad strålning i olika våglängder kan visa på ett områdes marktäckestyp. Då gröna växter genomför fotosyntes och klorofyllcellerna absorberar CO<sub>2</sub> absorberas även ljus i den röda våglängdsregionen (0,46–0,7 µm). Ljus i den nära infraröda våglängdsregionen (0,7–1,1 µm) reflekteras däremot bort i hög grad. NDVI definieras som förhållandet mellan de båda våglängdsregionerna enligt Ekv. 1:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (\text{Ekv. 1})$$

där *NIR* är den registrerade strålningen i den nära infraröda våglängdsregionen och *RED* är den registrerade strålningen i den röda våglängdsregionen. Det beskrivna förhållandet mellan reflekterad strålning i de två våglängdsregionerna kan därmed användas för att uppskatta mängden grön vegetation (Tucker et al., 1986). Indexet producerar värden mellan -1 och 1 där negativa värden beskriver icke vegeterade ytor så som vatten, snö eller konstgjorda föremål och värden mellan 0,2–1 beskriver olika mängder vegetation (USGS, 2018). En ökning av NDVI innebär en

ökad mängd frisk vegetation och om ökningen sker systematiskt över flera år kan den definieras som en trend av greening. En minskning av NDVI indikerar däremot torrare förhållanden med en minskad mängd grön biomassa, och om minskningen sker systematiskt över flera år kan den definieras som en trend av browning (Myers-Smith et al., 2020).

Fjärranalysbaserade studier som genomförts i den arktiska regionen har visat på en stark korrelation mellan NDVI och mängden biomassa, vegetationstäckning över tundran, leaf area index (LAI; Reynolds et al., 2013) och basal area index (BAI; Andreu-Hayles et al., 2020). Det finns flera globalt täckande NDVI-tidsserier som möjliggjort storskaliga analyser av vegetationsförändringar över längre tidsperioder. Satelliten Terra MODIS har skapat dagliga NDVI data med en rumslig upplösning på 250 m × 250 m sedan år 2000 (Vickers et al., 2016), och satelliten NOAA AVHRR har skapat daglig data med en rumslig upplösning på 1,1 km × 1,1 km som möjliggör globala NDVI-analyser från år 1982 (NOAA, 2022). Studier av storskaliga NDVI-tidsserier har visat på en trend av global greening (Berner et al., 2020; Yang et al., 2019), men upplösningen på de satellitbilder studierna baserats på är ofta för grov för att dra slutsatser om vegetationsförändringar på lokal nivå. Trender som uppvisat en homogen ökning av NDVI över större ytor har vid studier med högre upplösning i stället visat på en stor heterogenitet över mindre ytor (Reynolds et al., 2013). Det är därmed av intresse att utföra lokala studier av NDVI med bättre upplösning i områden känsliga för klimatförändringar, och i områden med en heterogen mosaik av vegetation, för att mer noggrant kunna studera utvecklingen av vegetationen över tid.

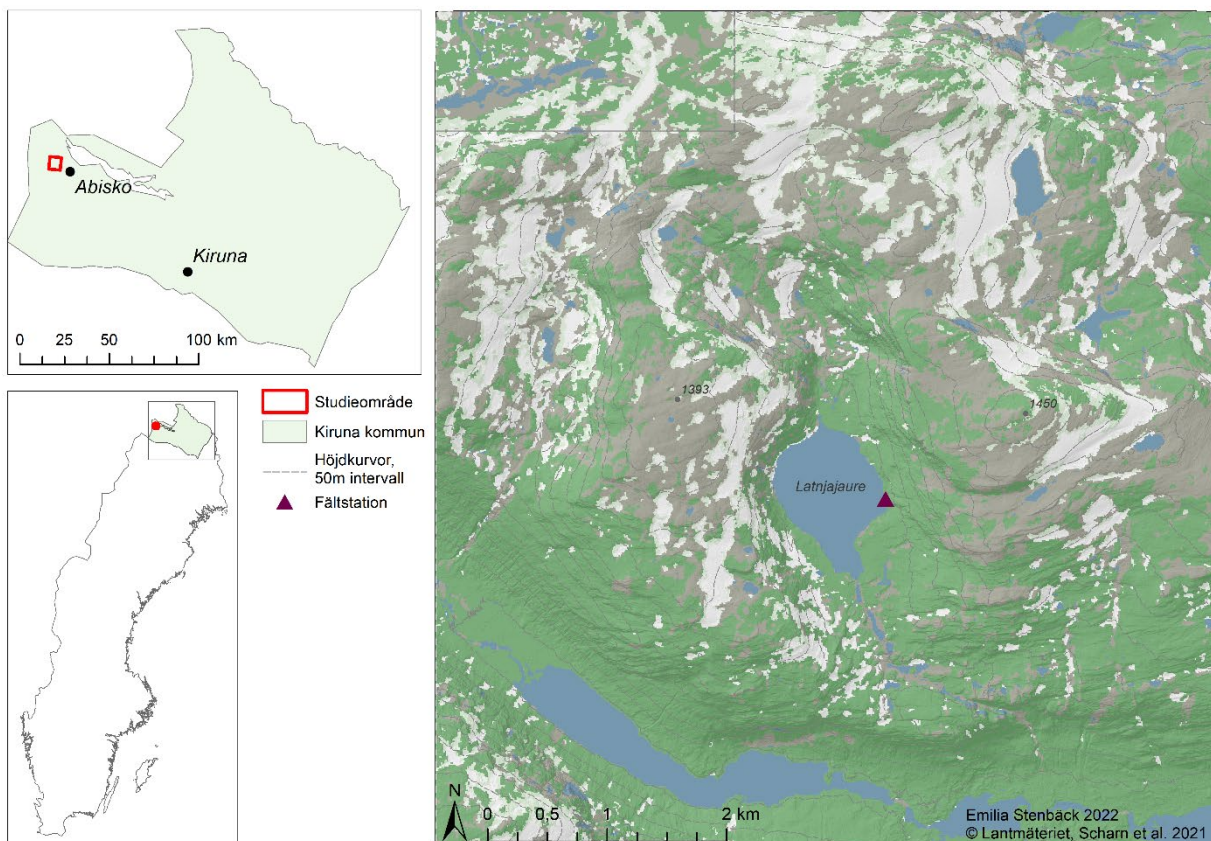
Syftet med följande arbete är att med hjälp av satellitbilder från Landsat analysera NDVI trender i området runt sjön Latnjajaure, från år 1986 fram tills år 2021. Detta för att undersöka om det skett förändringar i vegetationen som är intressanta att studera vidare genom fältbaserade NDVI mätningar över en längre period. Analysen utgår från NDVI-kartor beräknade från Landsat-data tillsammans med höjddata och vegetationskartor över studieområdet. De frågeställningar som undersöks är:

- I vilken utsträckning finns det områden vid Latnjajaure fältstation som uppvisat en positiv eller negativ NDVI-trend mellan åren 1986 och 2021?
- Om en förändring går att uttröna, hur stor är förändringen?
- Hur representeras eventuella NDVI-trender i olika vegetationstyper?
- Förekommer något samband mellan höjd över havet och förändringar i NDVI?



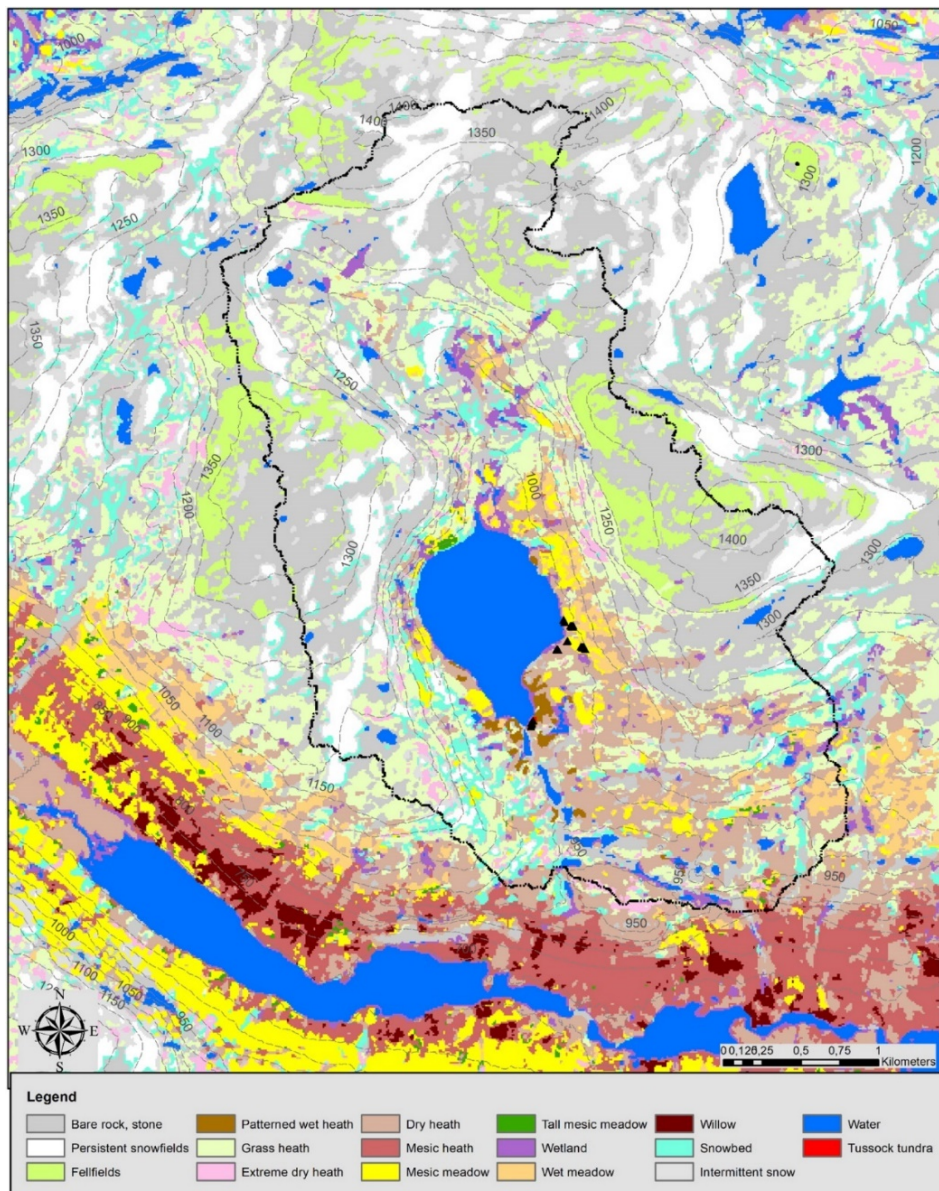
## 2. Studieområde

Latnjajaure fältstation är uppförd på den östra sidan av sjön Latnjajaure (Nordsamiska: Latnjajávri) i Latnjavagge avrinningsområde (Figur 1 och 2). Området är beläget i Kiruna kommun, 14 km väst om Abisko (68.35°N, 18.49°O). Latnjajaure ligger i en dal, 950 m ö.h. och är omgiven av bergsväggar som sträcker sig upp till 1450 m ö.h. Landskapet är representativt för en nordlig tundramiljö i höga bergsområden och klassificeras enligt Köppens klimatklassifikationssystem som ET, ett arktiskt tundraklimat där medeltemperaturen minst en månad överstiger 0 °C, men ingen månad överstiger 10 °C (Kottek et al., 2006). År 2021 rapporterades årsmedeltemperaturen vid fältstationen vara -1,7 °C, där den varmaste månaden är juli med en medeltemperatur på 8,6°C och den kallaste februari med en medeltemperatur på -9,7 °C (Scharm et al., 2021a). Det är en ökning jämfört med medeltemperaturen som mellan år 1993 och år 2001 rapporterades vara -2,3°C med en juli- och februari-temperatur på 8 °C respektive -10,1°C (Beylich et al., 2006). Årsmedelnederbörden beräknades år 2021 till 855 mm där ungefär 2/3 av nederbörden ligger kvar som snö mellan oktober och maj. Mängden nederbörd som faller i studieområdet är högre än i Abisko som vid västliga vindar försätts i regnskugga (Scharm et al., 2021a).



Figur 1. Karta över studieområdet.

Vegetationen i studieområdet består främst av olika typer av ängs- och hedlandskap med inslag av våtmarker och tussock tundra (Figur 2). Ängsvegetationen består av hög- och lågörtsängar samt fuktängar, vilka kan särskiljas utifrån olika fukthalter i marken. I områden med högre fukthalt finns en större andel blomm växter och gräs jämfört med torrare områden, medan det i de torrare områdena förekommer mer dvärgboskar så som exempelvis fjällsippa (*Dryas octopetala*). Hedlandskapet kan delas upp i skarp, torr och frisk rished. I rishedarna är vegetationen mer sparsam, med växter anpassade till näringsfattiga jordar, så som exempelvis kråkbär (*Empetrum nigrum*) och fjällgröna (*Diapensia lapponica*) (Scharn et al., 2021a). År 2003 dominerades vegetationen i de friska rishedarna av Husmossa (*Hylocomium splendens*), Kantljung (*Cassiope tetragona*), Styvstarr (*Carex bigelowii*), Fjällglim (*Silene acaulis*) och ormrot (*Polygonum viviparum*) (Jägerbrand et al., 2003).



Figur 2. Vegetationskarta över studieområdet (Scharn et al., 2021a). Den streckade linjen markerar Latnjavagge avrinningsområde.

### 3. Metod

#### 3.1 Data

##### 3.1.1 Landsatprogrammet

Landsatprogrammet är ett jordobservationsprogram som drivs av NASA tillsammans med United States Geological Survey (USGS) och består av en rad satelliter som sedan år 1972 kontinuerligt samlar in information om jordytan. Fram tills idag är Landsatprogrammet det program som skapat den längsta kontinuerliga serien av inhämtande satellitbilder över jorden (NASA, 2022c). Den långa perioden av insamlade data gör det möjligt att studera förändringar över flera decennier vilket skapar goda förutsättningar för vegetationsanalyser över tid. Under åren har upplösningen på satellitbilderna förbättrats, både spatialt och temporalt. Den spatiala upplösningen avgör pixelstorleken på den data som produceras, och den temporala upplösningen beskriver hur ofta samma yta på jorden avbildas. Den första satelliten, Landsat-1, producerade bilder med en pixelstorlek på 80 m × 80 m och hade en temporal upplösning på 18 dagar. År 1984 togs Landsat-4 i bruk, med en förbättrad spatial upplösning på 30 m × 30 m. Den temporala upplösningen förbättrades dessutom till 16 dagar vilket även behölls för senare Landsat-satelliter (USGS, 2022b).

I följande studie analyserades satellitbilder insamlade av Landsat-5 och Landsat-8, satelliter som båda har en spatial upplösning på 30 m × 30 m. Data från Landsat-5 finns att tillgå från år 1984 till år 2013 då satelliten togs ur drift, medan data från Landsat-8 kan hämtas från år 2013 och framåt då den fortfarande är i bruk. Sensorerna som samlar in spektral information i de relevanta banden för analysen är Thematic Mapper (TM) för Landsat-5, vilken samlar in data i sju spektrala band med 8-bitars radiometrisk upplösning, och Operational Land Imager (OLI) för Landsat-8, vilken samlar in information i ytterligare två band (Tabell 1; USGS, 2022c), och med 16-bitars radiometrisk upplösning.

Tabell 1. Våglängdsbanden för Landsat-5 och Landsat-8 (NASA, 2022a, 2022b).

Landsat-5 (TM)		Landsat-8 (OLI)	
Band	Våglängd (µm)	Band	Våglängd (µm)
1 (Blue)	0,45–0,52	1 (Coastal/Aerosol)	0,435–0,451
2 (Green)	0,52–0,60	2 (Blue)	0,452–0,512
3 (Red)	0,63–0,69	3 (Green)	0,533–0,590
4 (NIR)	0,76–0,90	4 (Red)	0,636–0,673
5 (SWIR-1)	1,55–1,75	5 (NIR)	0,851–0,879
6 (Thermal)	10,41–12,5	6 (SWIR-1)	1,566–1,651
7 (SWIR-2)	2,08–2,35	7 (SWIR-2)	2,107–2,294
		8 (Pan)	0,503–0,676
		9 (Cirrus)	1,363–1,384

För att genomföra analysen krävdes bilder under sommarperioden då fotosyntesen är som högst, en period som normalt sett infaller under slutet av juli. Satelliternas banor är sådana att en ny bild tas på samma plats var 16:e dag, vilket medför att endast ett fåtal bilder per år var av intresse för analysen. För att en satellitbild skulle vara användbar behövde den dessutom vara molnfri, vilket ytterligare begränsade antalet bilder som fanns att tillgå. Med målet att finna en användbar bild per decennium söktes bilder upp och laddades ner med hjälp av USGS Earth Explorer (USGS, 2022a).

Sökningen efter satellitdata som uppfyllde de kriterier som var ställda resulterade i fem bilder, en från varje årtionde från 1980-talet fram tills 2020-talet (Tabell 2). Tiden mellan varje tagen bild är ungefär 10 år, förutom mellan bilderna tagna 2016 och 2021 där tidsskillnaden endast är 5 år. På grund av problem med att hitta en lämplig bild från 2010-talet, då endast en bild från 2017 var helt molnfri men representerade ett kallt år med ovanligt mycket snö, valdes i stället en bild från 2016 ut med ett fåtal moln. För att korrigera bort molnen hämtades även satellitdata från en bild tagen 2018 för att ersätta molntäckta områden i bilden från 2016. Eftersom 2018 var ett ovanligt varmt år valdes en bild tidigare under växtsäsongen. Kombinationen av de två bilderna från 2016 och 2018 skapade en sammansatt bild som hädanefter kommer refereras till som bilden från 2016.

Tabell 2. Datum för tagna satellitbilder samt vilken satellit bilderna togs med.

Satellit	Datum
Landsat-5	1986-07-20
Landsat-5	1995-07-29
Landsat-5	2006-07-28
Landsat-8	2016-07-22
Landsat-8	2021-07-27
<i>Landsat-8</i>	<i>2018-07-10<sup>a</sup></i>

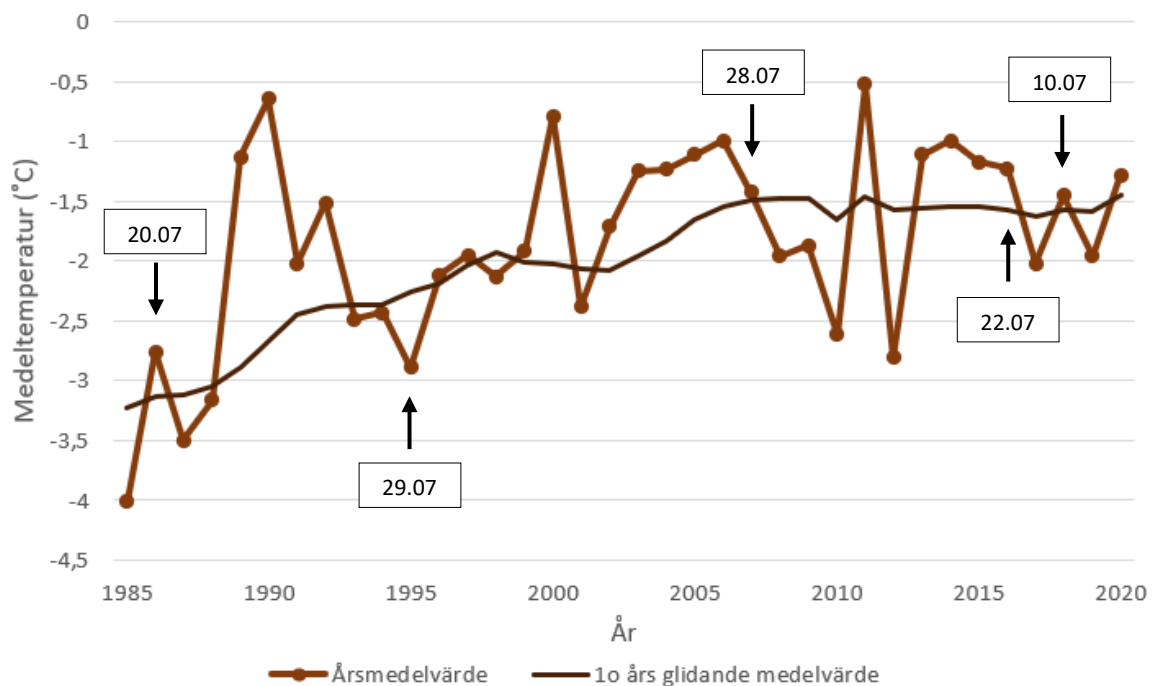
<sup>a</sup> data från satellitbilden tagen år 2018 användes enbart för att ersätta värden över molntäckta områden i satellitbilden tagen år 2016.

### 3.1.2 Klimatdata

Temperaturdata från Latnjajaure mellan år 1992 och 2021 från Scharn et al. (2021b) användes för att undersöka temperaturvariationer över studieperioden. Den uppmätta temperaturen kompletterades med modellerade data från år 1985 för att erhålla en tidsserie över hela tidsspannet. Den modellerade datan baseras på temperaturdata från Abisko och uppvisar en god överensstämmelse med uppmätta temperaturer under varma perioder, men en större avvikelse från uppmätta temperaturer vid kallare perioder. Datan användes för att studera temperaturtrender för att upptäcka om något år uppvisat särskilt kalla eller varma perioder som skulle kunna påverka starten på vegetationsperioden. Om ett år uppvisar avvikelser kan det

eventuellt vara ett olämpligt år att använda satellitbilder från på grund av missrepresentation av den generella utvecklingen av vegetationen.

Årsmedeltemperaturen för varje år tillsammans med ett 10-års glidande medelvärde presenteras i Figur 3. Det glidande medelvärdet påvisar en ökning av årsmedeltemperaturen under tidsperioden. Datum för de valda satellitbilderna är markerade i diagrammet, med undantag för bilden tagen år 2021 då temperaturdatan från 2021 var ofullständig.

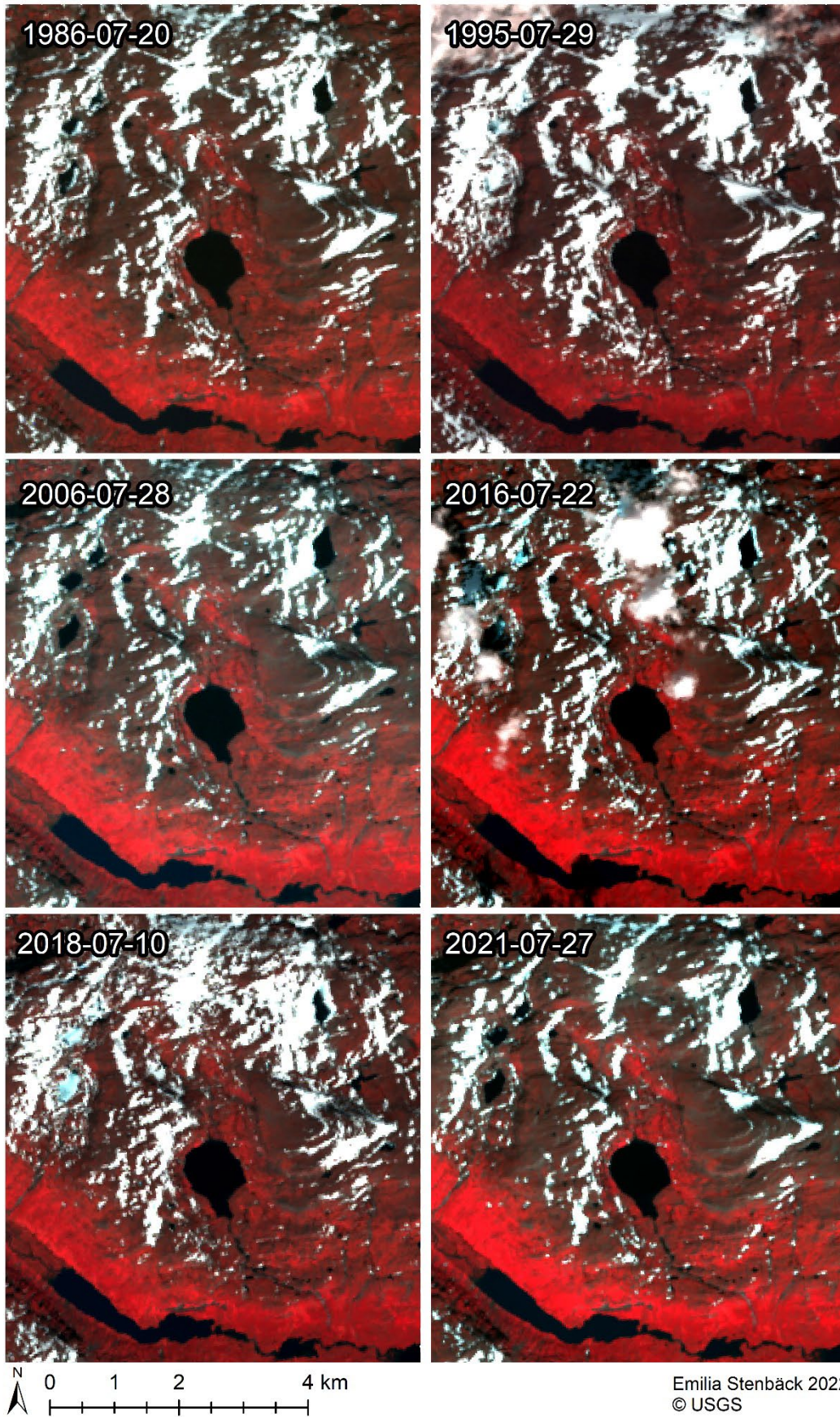


Figur 3. Årsmedeltemperatur för Latnjajaure fältstation mellan år 1985 och 2020 tillsammans med ett 10-års glidande medelvärde. Medeltemperaturen efter år 1992 är baserad på uppmätta data medan medeltemperaturen före år 1992 är baserad på modellerade data. I diagrammet finns datum för de analyserade satellitbilderna markerade.

## 3.2 Bearbetning av data och analys

### 3.2.1 Bearbetning av satellitbilder

Analysen genomfördes i programmet ArcMap (version 10.7.1). Datan som laddades ner för satellitbilderna levererade varje våglängdsband separat. Därför användes verktyget *composite bands* för att kombinera fyra band från varje dataprodukt till en enskild raster för varje år. De band som inkluderades var band 2 (Blue), 3 (Green), 4 (Red) och 5 (NIR) för Landsat-8 bilder och 1 (Blue), 2 (Green), 3 (Red) och 4 (NIR) för Landsat-5 bilder (NASA, 2022a, 2022b). Kombinationen av dessa band gav möjligheten att visualisera bilderna i olika bandkombinationer och samtidigt genomföra NDVI beräkningarna som baseras på de röda och nära infraröda våglängdsbanden. Samtliga analyserade satellitbilder presenteras i Figur 4 där de är visualiserade som infraröda falskfärgsbilder.



Figur 4. Satellitbilder tagna år 1986, 1995, 2006, 2016, 2018 och 2021. Bilderna är visualiserade i "false color IR" vilket ger områden med vegetation en klarröd färg.

Koordinatsystemen som bilderna tillhandahölls med var WGS 84 / UTM zone 34N, förutom bilden från 2018 som togs i en annan bana och därför tillhandahölls med koordinatsystemet WGS 84 / UTM zone 33N. En omprojektion genomfördes på bilden från 2018 till WGS 84 / UTM zone 34N för att erhålla alla bilder i ett och samma koordinatsystem. Efter projiceringen kvarstod en förskjutning av pixlarna i bilden 2018 jämfört med övriga bilder. Förskjutningen korrigerades med verktyget *shift* vilket justerade bilden så pixlarnas placeringar motsvarade pixlarna från övriga år.

Varje bild klipptes till studieområdet och de moln som täckte studieområdet år 2016 maskerades ut baserat på en visuell bedömning. Ett nytt vektorlager skapades där områden med moln fick värdet "1" och områden utan moln fick värdet "0". Med hjälp av *raster calculator* skapades en kombinerad bild där värden från 2018 ersatte områden i bilden från 2016 som täcktes av moln.

### 3.2.2 NDVI

För att analysera förändringar i vegetationen skapades NDVI kartor från satellitbilderna för varje år. Beräkningarna av NDVI genomfördes med hjälp av *raster calculator* enligt Ekv. 2:

$$NDVI = \text{float}(NIR - RED) / \text{float}(NIR + RED) \quad (\text{Ekv. 2})$$

Där *NIR* representerar det nära infraröda våglängdsbandet och *RED* representerar det röda våglängdsbandet i varje bild. *Float* applicerades på ekvationen för att skapa decimaltal.

### 3.2.3 Normalisering av data

Ett problem som kan uppstå vid jämförelser mellan satellitbilder tagna av Landsat-5 TM och Landsat-8 OLI är variationer i registrerad reflektans. Orsaker till förekomsten av variationer inkluderar sensorernas ålder, atmosfäriska variationer, olika radiometriska upplösningar och olika spektrala upplösningar. (Roy et al., 2016) Skillnader i de spektrala upplösningarna uppkommer eftersom våglängdsbanden i Landsat-8 är smalare jämfört med banden i Landsat-5 vilket kan leda till diskrepanser mellan beräkningar som utförs med data insamlad från de olika sensorerna. Vid beräkningar av NDVI används de band som registrerar rött och nära infrarött ljus; band som skiljer sig åt mellan de båda sensorerna (Tabell 1).

På grund av eventuella variationer mellan satellitbilderna normaliserades de beräknade NDVI värdena från varje år för att erhålla en så korrekt tidsanalys som möjligt. För att genomföra normaliseringen användes en linjär regression (Roy et al., 2016) där beräknat NDVI från varje år jämfördes mot beräknat NDVI från satellitbilden tagen 2021. Bilden från 2021 valdes som referens

på grund av att data från Landsat-8 är insamlad av en nyare sensor än data från Landsat-5. I tidsserien var två av satellitbilderna tagna med Landsat-8; bilderna från 2016 och 2021. På grund av att bilden från 2016 korrigerats för moln, valdes den bort till förmån för bilden från 2021.

Till den linjära regressionen valdes 21 punkter ut i områden som inte förväntas uppvisa stora förändringar över tid men som även representerar en spridning av olika NDVI-värden, se Tabell 3. Punkterna valdes genom att studera vegetationskartor, ortofoton samt de ej normaliserade NDVI kartorna.

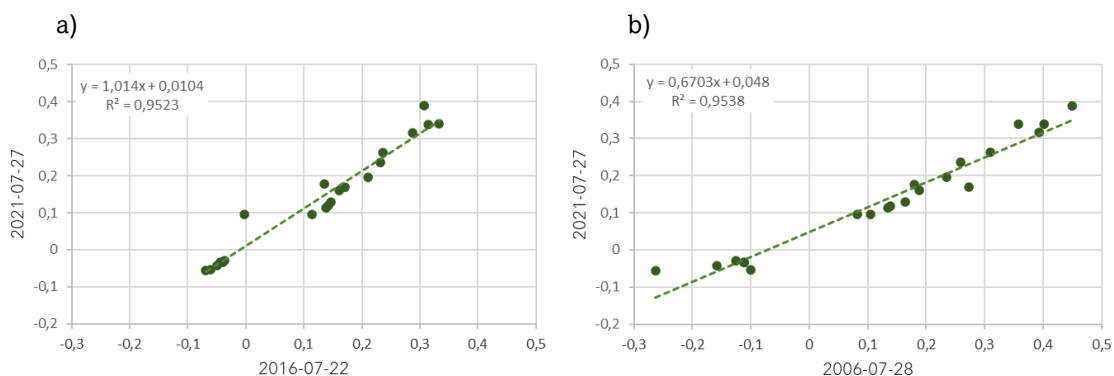
Tabell 3. Punkter använda för normalisering av NDVI-kartor

Antal punkter	Vegetationstyp
7	Blockmark
2	Gräshed
1	Skarp rished
2	Torr rished
2	Fuktäng
6	Vatten

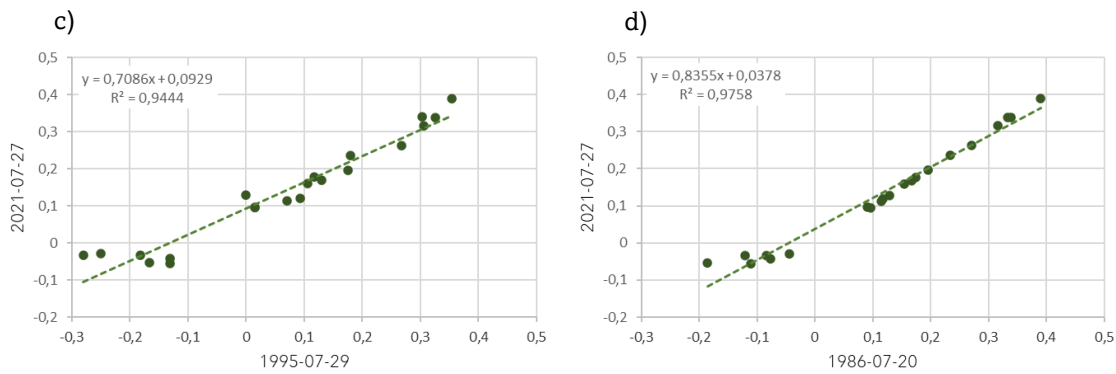
Värden i varje punkt extraherades från NDVI kartorna för 1986, 1995, 2006, 2016 och 2021. En linjär regression genomfördes där NDVI data från varje år plottades mot NDVI data från år 2021 enligt metoden som presenteras av Blinge (2021). Normaliseringen beräknades enligt Ekv. 3:

$$NDVI_{norm,x} = a * NDVI_x + b \quad (\text{Ekv. 3})$$

där  $a$  är lutningen från den linjära regressionen,  $b$  är skärningen genom y-axeln,  $NDVI_x$  är beräknat NDVI från år  $x$  och  $NDVI_{norm,x}$  är normaliserat NDVI för år  $x$ . Beräkningarna genomfördes med verktyget *Raster calculator* med baserat på parametrar presenterade i figur 5 a)-d).







Figur 5. Graferna a)-d) visar beräknade normaliserings-parametrar för varje år baserat på en linjär regression för varje set med punkter.

### 3.2.4 Extraktion av data

På grund av det heterogena landskapet i studieområdet finns det flera områden där vegetationen uppvisar stor variation över små ytor. För att undersöka hur NDVI-värden förändrats i förhållande till vegetation utfördes därför analysen utifrån ett dataset med punkter placerade i områden där vegetationen uppvisar homogenitet över en större yta. Punkterna är data framtagen för skapandet av vegetationskartan i Scharm et al. (2021a). Sammanlagt användes 96 punkter fördelade enligt Tabell 4. Värden från de normaliserade NDVI-kartorna samt vegetationstyp extraherades för varje punkt.

Tabell 4. Fördelning av studiepunkter över olika vegetationstyper.

<b>Vegetationstyp</b>	<b>Antal punkte</b>	<b>Vegetationstyp</b>	<b>Antal punkte</b>
	<b>r</b>		<b>r</b>
Blockmark	10	Högörtsäng	3
Beständiga snöfält	5	Våtmark	6
Våt hed	11	Fuktäng	5
Gråshed	9	Vide	3
Skarp rished	3	Snölega	6
Torr rished	8	Periodisk snö	4
Frisk rished	7	Vatten	3
Lågörtsäng	11	Tussock tundra	2

För att undersöka förhållandet mellan NDVI-förändringar och höjd över havet skapades ett nytt dataset med 1500 slumpmässigt genererade punkter över studieområdet. Punkter i områden med vatten, moln eller snö och is togs bort, varefter 986 punkter spridda över studieområdet kvarstod. Värden från de fem NDVI kartorna, vegetationskategori samt höjddata extraherades i punkterna.

### 3.2.5 Analys

För att upptäcka förändringar i NDVI över studieperioden skapades en skillnadskarta genom att subtrahera NDVI-kartan år 1986 från NDVI-kartan år 2021 med hjälp av *Raster calculator*. För att även inkludera resterande år i analysen och upptäcka trender över tid skapades en trendkarta med hjälp av verktyget *Curve fit*. *Curve fit* är ett verktyg till ArcMap där regressionsanalyser kan genomföras på pixel-nivå (USGS, 2017). En linjär regressionsanalys genomfördes på pixlarna från de fem NDVI-kartorna, varefter *Curve fit* skapade nya kartor med p-värden samt parametrar för den linjära regressionen. Parametrar för den linjära trenden extraherades i de pixlar som uppvisade ett p-värde  $<0,05$  och kategoriserades som negativa eller positiva.

Utöver den linjära regressionen som genomfördes med *Curve fit* utfördes alla statistiska analyser och beräkningar i Microsoft Excel. Baserat på punkterna med vegetationsdata samt NDVI-värden skapades två grafer; ett låddiagram över differensen mellan NDVI-värden från år 1986 och år 2021 för de olika vegetationstyperna, och ett diagram över medel-NDVI för varje vegetationstyp och år. En regressionsanalys utfördes på medel-NDVI för vardera vegetationstyp och år för att utröna om det skett någon signifikant förändring inom de olika kategorierna. För varje analys beräknades  $R^2$ - samt p-värden för att utvärdera modellens tillämplighet.

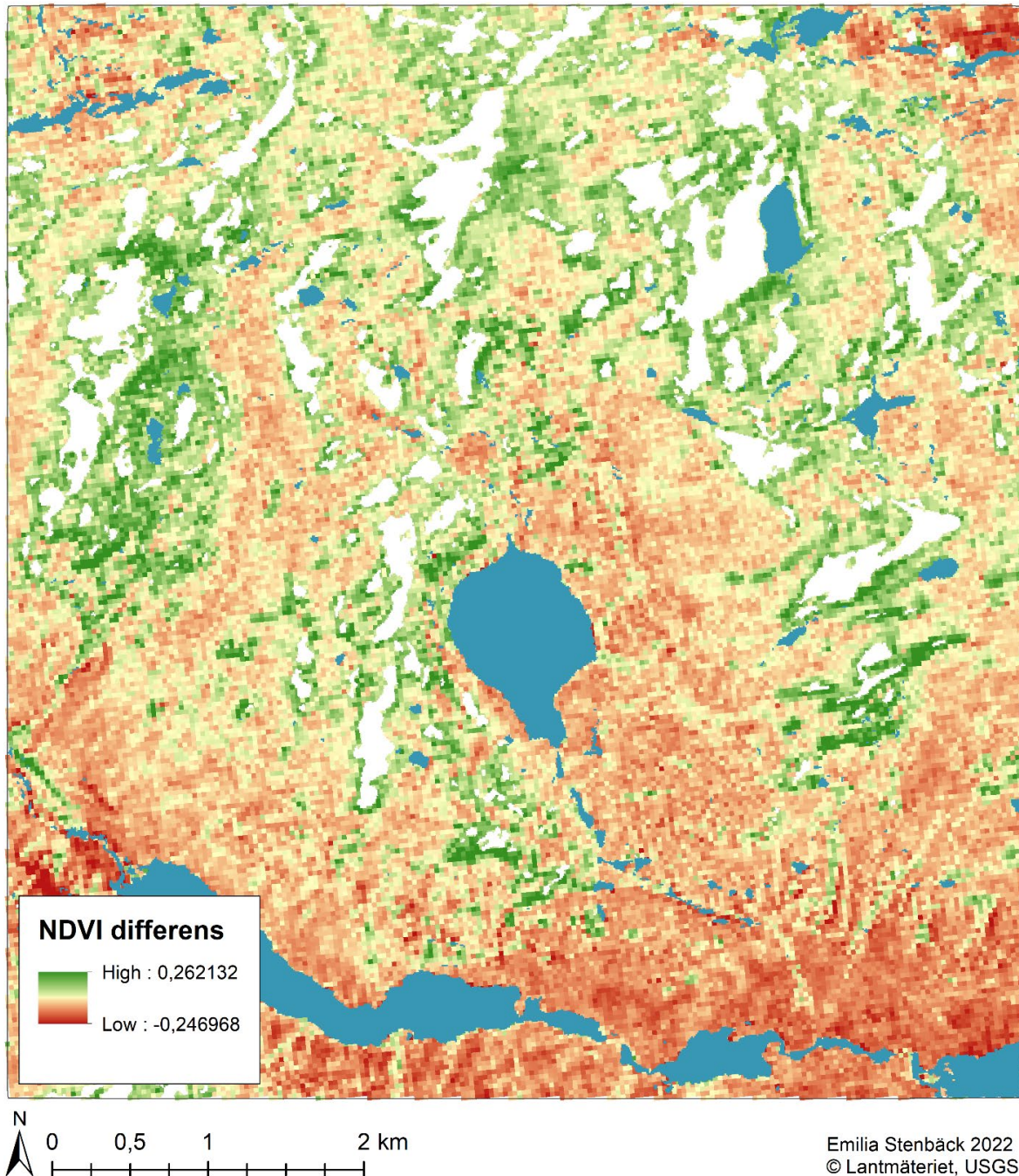
Utifrån de 986 punkterna med höjddata, NDVI och vegetationstyp beräknades en NDVI differens mellan år 1986 och 2021. En regressionsanalys utfördes mellan NDVI-differensen och höjden över havet i varje punkt och en graf skapades som illustrerar sambandet mellan höjden och förändringen. I grafen grupperades även punkterna utifrån olika kategorier av vegetationstyper: Blockmark; frisk rished; gräshed; lågörteräng och fuktäng; våtmark och våt hed; tussock tundra, torr rished, skarp rished och vide. Ett  $R^2$ - samt p-värde beräknades för den linjära regressionen.

Ett förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar skapades baserat på NDVI-trender, vegetationstyper, höjd över havet samt på de praktiska möjligheter som existerar gällande tidseffektivitet och att förflytta sig i området. Förslag på 22 olika platser för mätningar placerades ut, där varje föreslagen plats utgick från de pixlar med storleken  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  som arbetets analys baserats på. Pixlarna valdes så att de inkluderade minst tre platser av samma vegetationstyp, platser med både positiva, negativa och neutrala NDVI-trender samt platser på varierande höjd. Särskilt fokus lades även på områden där det skett en tydlig greening eller browning. I förslaget inkluderades dessutom sex områden i anslutning till platser där det genomförs vegetationsstudier inom ITEX. Punkter till varje föreslaget område skapades utifrån mittpunkten av varje pixel. Koordinater, information om höjd, vegetationstyp och lutning extraherades i varje punkt.

## 4. Resultat

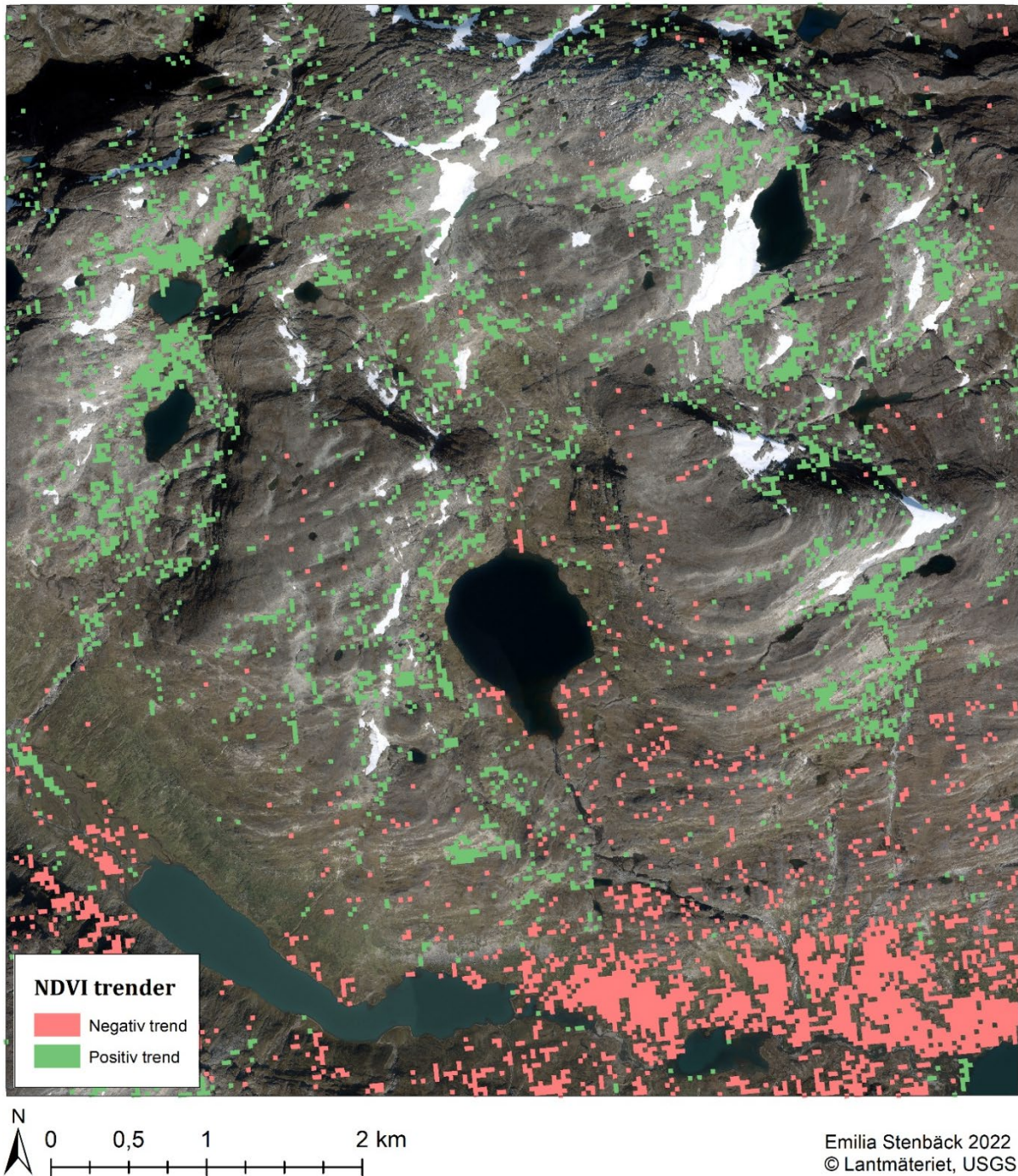
### 4.1 NDVI trender

Förändringarna av NDVI-värden mellan år 1986 och 2021 presenteras i Figur 6. Områden med vatten och snö har maskerats med blå respektive vita fält. Gröna områden visar på en ökning av NDVI från år 1986 till 2021 och röda områden visar på en minskning. De största minskningarna av NDVI-värden har skett i den södra delen av studieområdet, medan ökningar främst har skett i anslutning till snötäckta områden vid högre elevationer.



Figur 6. Skillnad i NDVI mellan år 1986 och år 2021. Positiva värden indikerar ökade NDVI-värden medan negativa värden indikerar minskade NDVI-värden.

En karta med NDVI-trender beräknade från alla fem satellitbilder mellan åren 1986–2021 presenteras i Figur 7. De pixlar i kartan där en signifikant trend uppvisats har markerats ut och kategoriserats som negativa eller positiva. De största sammanhängande områdena med pixlar som representerar negativa trender kan återfinnas i den södra delen av studieområdet, medan sammanhängande positiva kluster främst återfinns vid högre elevationer. I området strax nordost, öst och söder om Latnjajaure återfinns glesare utspridda pixlar bestående av blandade positiva och negativa trender.



Figur 7. NDVI trender baserade på satellitfoton tagna 1986, 1995, 2006, 2016 och 2021. Färgade pixlar indikerar signifikanta negativa eller positiva trender ( $p < 0,05$ ).

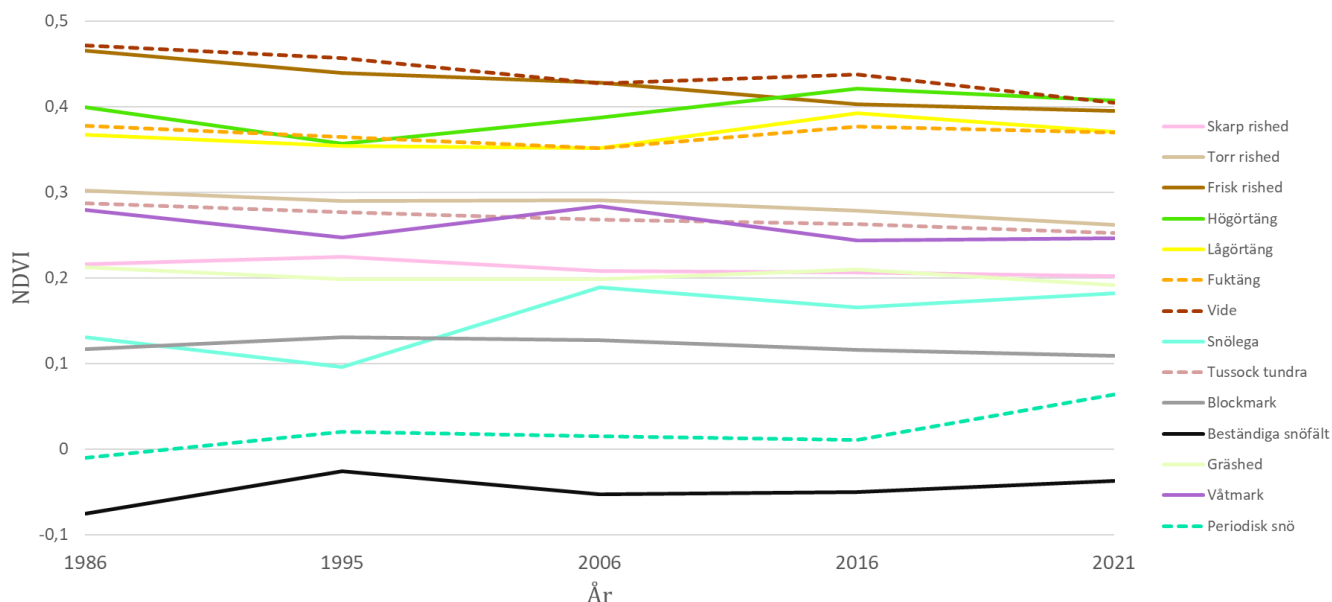
Trenderna i Figur 6 och Figur 7 sammanfattas i tabell 5. Antalet pixlar som uppvisar positiva, negativa eller neutrala förändringar eller trender mellan åren 1986–2021 presenteras som en andel av det totala antalet pixlar i kartan. I både differenskartan (Figur 6) och trendkartan (Figur 7) dominerar de pixlar som uppvisar positiva förändringar.

Tabell 5. Sammanfattning av de NDVI-trender som uppvisas i Figur 6 och Figur 7 baserat på andelen pixlar i varje karta som uppvisar positiva, negativa eller neutrala förändringar.

NDVI-differens mellan år 1986 och 2021 (Figur 6)		NDVI-trender (Figur 7)	
NDVI-differens	Andel pixlar (%)	Trend	Andel pixlar (%)
Positiv	59,72	Positiv	7,53
Negativ	40,28	Negativ	4,81
		Neutral	87,66

#### 4.2 NDVI-trender i förhållande till vegetationstyp

Utvecklingen av NDVI för de olika vegetationstyperna under samtliga av de studerade åren presenteras i Figur 8. Värden över 0,2 indikerar ytor med vegetation och för dessa påvisar grafen en nedgång av *vide*, *frisk rished*, *torr rished*, *skarp rished* och *tussock tundra*. Varierande upp- och nedgångar eller inga förändringar kan observeras för *fuktäng*, *blockmark*, *gräshed*, *våtmark* och *snöleگا* medan en uppgång kan uttydas för *högörtäng* och *lågörtäng*. Notera att kategorierna *våtmark* och *snöleگا* naturligt uppvisar stora variationer från år till år.



Figur 8. NDVI-medelvärden per vegetationstyp för varje år. Värden över 0,2 indikerar punkter med vegetation (USGS, 2018).

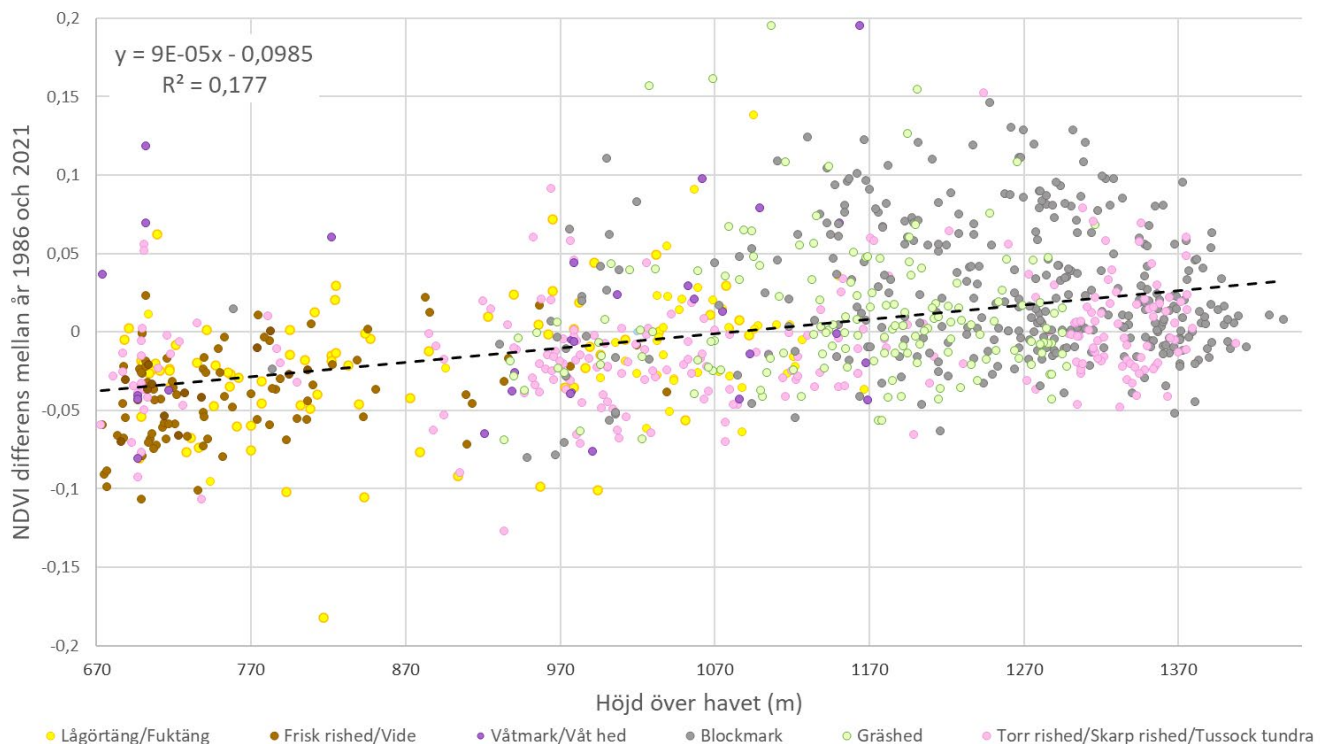
Resultatet av regressionsanalysen som genomfördes på de olika vegetationstyperna över samtliga år, baserat på de punkter som presenteras i Tabell 4, visar på signifikant negativa trender för *tussock tundra*, *frisk rished* och *skarp rished* medan en signifikant positiv trend endast påvisas för *högörtäng* (Tabell 6). Den tydligaste förändringen uppvisas för *frisk rished* med  $p < 0,05$  och  $R^2=0,96$ .

Tabell 6. Vegetationstyper som uppvisat en signifikant ökning eller minskning av NDVI mellan åren 1986 och 2021 baserat på en linjär regressionsanalys.

Vegetation	Förändring av NDVI (%)	R <sup>2</sup>	Lutning	p-värde
Tussock tundra	- 12,06	R <sup>2</sup> = 0,94208	-0,00088	p < 0,05
Frisk rished	- 15,08	R <sup>2</sup> = 0,96437	-0,00178	p < 0,05
Skarp rished	- 5,47	R <sup>2</sup> = 0,86665	-0,00079	p < 0,1
Högörtäng	+ 2,00	R <sup>2</sup> = 0,85341	0,00224	p < 0,1

### 4.3 NDVI och elevation

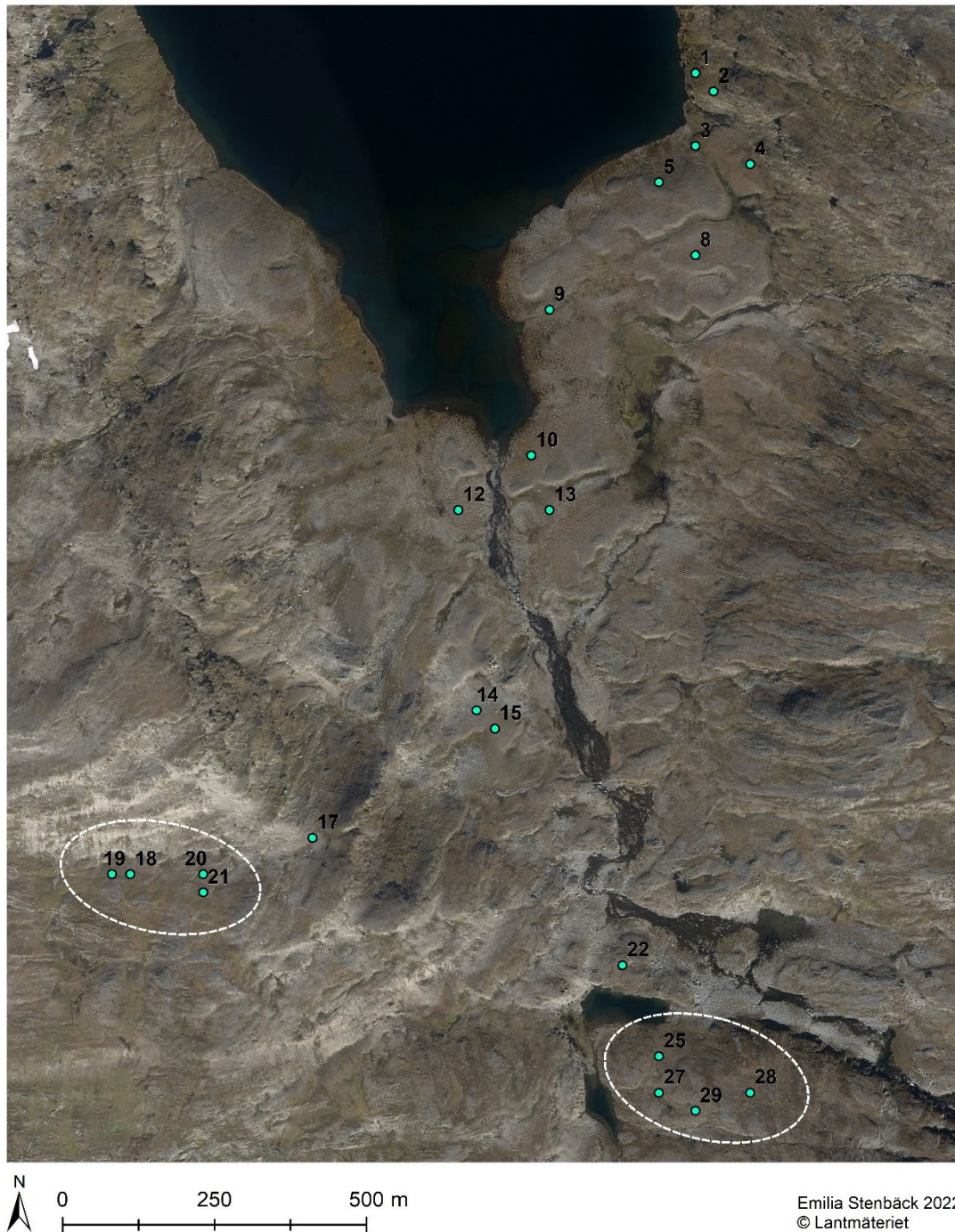
Förhållandet mellan höjd över havet och NDVI differens mellan år 1986 och år 2021 illustreras i Figur 8. En trendlinje, vars ekvation är utskriven i diagrammet, har anpassats till datapunkterna. En linjär regressionsanalys påvisade en positiv trend i förhållandet mellan höjd över havet och en ökning av NDVI ( $p < 0,05$ ). Minskningar i NDVI sker främst vid lägre elevation och ökning vid högre elevation. Olika kategorier av vegetationstyper har grupperats och illustreras med olika färger i grafen.



Figur 9. NDVI differens mellan år 1986 och år 2021 mot elevation. Positiva värden indikerar en ökning av NDVI medan negativa värden indikerar en minskning. En trendlinje har anpassats till punkterna och en regressionsanalys påvisar ett signifikant samband mellan förändring i NDVI och höjd över havet ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 Förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar

En karta innehållande förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar presenteras i Figur 10. Koordinater för varje punkt, information om vegetationstyp, lutning och elevation samt NDVI-trender på varje plats presenteras i Tabell 7. I tabellen presenteras även vilka punkter som är placerade i anslutning till områden där det genomförs forskning inom ITEX. De vegetationskategorier punkterna placerats i baseras på vegetationskartan i Figur 2.



Figur 10. Förslag på placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar. De inringade punkterna på södra delen av kartan visar två områden som är av särskilt intresse då många pixlar inom områdena visar på signifikanta förändringar.

Tabell 7. Tabellen presenterar koordinater, vegetationstyp, elevation, lutning och NDVI-trender för varje föreslagen placering av fältbaserade NDVI-mätningar. I tabellen går även att utläsa om placeringen skett i nära anslutning till ett område där det utförs forskning inom ITEX.

Punkt	NDVI-Trend	Lutning (°)	Höjd ö. h. (m)	Vegetation	ITEX	Latitud (DD)	Longitud (DD)
1		0	982	Torr rished	Ja	68,358506	18,495116
2		24,23	989	Lågårtäng	Ja	68,358248	18,495874
3	+	17,65	983	Torr rished	Ja	68,357430	18,495235
4		26,71	998	Torr rished	Ja	68,357194	18,497449
5		26,71	988	Torr rished	Ja	68,356871	18,493837
8	-	0	992	Torr rished		68,355818	18,495412
9	-	0	978	Våt hed		68,354924	18,489676
10		0	978	Tussock tundra	Ja	68,352762	18,489185
12		0	977	Våt hed		68,351912	18,486362
13	+	26,70	974	Våt hed		68,351967	18,490002
14	+	0	966	Torr rished		68,348966	18,487417
15		0	964	Skarp rished		68,348708	18,488175
17	+	25,51	1045	Gräshed		68,346985	18,481074
18	+	0	1081	Gräshed/Torr rished		68,346339	18,473856
19	+	0	1080	Gräshed/Torr rished		68,346327	18,473128
20		0	1076	Gräshed/Torr rished		68,346382	18,476767
21		9,04	1075	Gräshed/Torr rished		68,346113	18,476797
22	-	0	950	Skarp rished		68,345290	18,493655
25	-	9,04	953	Tussock tundra		68,343968	18,495258
27		26,70	956	Tussock tundra		68,343430	18,495318
28	-	24,22	964	Tussock tundra		68,343485	18,498956
29	-	9,04	963	Skarp rished		68,343183	18,496803



## 5. Diskussion

### 5.1 NDVI-Trender 1986–2021

Resultatet av analysen påvisar både ökande och minskade NDVI-värden mellan åren 1986 och 2021 utspridda över olika ytor i studieområdet. Ökande NDVI-värden är den dominerande trenden i både Figur 6 och Figur 7, vilket kan utläsas ur Tabell 5. Båda kartor uppvisar dock även stora områden med tydliga sammanhängande minskningar såväl som pixlar med ingen eller endast en liten förändring. Det finns svårigheter i att tolka NDVI-trender utan ytterligare fältstudier, men en negativ utveckling av NDVI kan tyda på torrare förhållanden eller övriga förändringar som skapat begränsningar för vegetationen och minskat produktiviteten. En förlängd vegetationssäsong år 2021 jämfört med år 1986, tillsammans med trenden av ökade temperaturer som går att observera i Figur 3, går i linje med utvecklingen mot torrare förhållanden vilket kan leda till att vissa områden uppvisar minskande NDVI-värden. De ökade temperaturerna gör även att snö och snölegor smälter snabbare. Eftersom smältvatten från snölegor agerar vattentillförsel för vissa typer vegetation, leder snabbare smältande snölegor till en kortare tid av vattentillförsel. Det innebär en förändring av ekosystemets vattenbalans och ett skifte mot torrare förhållanden.

Områden i anslutning till snö visar däremot på en trend av högre NDVI. Den ökande trenden sammanfaller med en minskning av snötäcket från år 1986 till år 2021 och ökningarna sker främst över ytor som blivit snöfria. Även detta överensstämmer med trendanalysen i Figur 7. Vissa av de områden som uppvisat positiva NDVI-förändringar kan även ha gått från att inte vara vegeterade till att bli bevuxna med mindre mängder vegetation. Även ytor som inte visat en direkt skillnad i snötäckning, men befinner sig i anslutning till områdena med minskande snö, uppvisar ökande NDVI-värden. Det kan bero på en ökad vattentillförsel från den smälta snön, som gör områden blötare och därmed skapar förutsättningar för en ökad vegetation. Den beskrivna fördelningen av NDVI-trender över studieområdet bekräftas även av den korrelation mellan höjd över havet och NDVI-differenser som presenteras i Figur 9, där det tydligt går att utläsa en ökning av NDVI vid högre höjder. Blockmark är en kategori som uppvisar en ökning vid högre elevation, vilket skulle kunna bero på att sparsamma mängder vegetation uppkommit i de områdena, men det kan även bero på en stor spektral variation. För att ta reda på orsaken till ökningen krävs vidare fältstudier.

Den tydliga minskningen i den södra delen av studieområdet är ett särskilt stort sammanhängande område som sticker ut, med en vegetation som enligt Figur 2 domineras av bland annat torr och frisk rished. Frisk rished är även en av de vegetationstyper som enligt Tabell 6 uppvisat en signifikant minskning av NDVI i studieområdet. Figur 7 visar dessutom att området inte bara uppvisat en nedgång år 2021 jämfört med år 1986, utan även visar på en signifikant nedåtgående

trend under hela studieperioden. Den stora samlingen sammanhängande pixlar gör dessutom resultatet trovärdigt och mindre sannolikt att endast vara brus, vilket kan vara fallet med enstaka separata pixlar. Stora delar av det berörda området ligger utan direkt anslutning till snölegor och med större avstånd till smältvatten än övriga områden, vilket kan vara en hypotes för att förklara skillnaden i NDVI-trender jämfört med det övriga studieområdet. Övriga signifikant negativa pixlar är i högre grad ensamt utspridda, vilket gör det svårare att avgöra om de är en del av en större trend eller om de endast representerar brus, men det finns trots det mindre samlingar sammanhängande pixlar öst och sydost om Latnjajaure. Eftersom varje pixel dessutom är 30 m × 30 m, och fjällvegetationen i hög utsträckning är heterogen, innebär flera sammanhängande negativa pixlar att förändring behövt registreras över ett relativt stort område för att skapa en signifikant trend.

De förändringar i vegetationen som uppvisade signifikanta trender var tussock tundra, frisk rished, skarp rished och högörtsäng. Förändringar i tussock tundran har tidigare observerats vid Latnjajaure, med förlust av permafrost som en stor bidragande orsak. Förlusten av permafrost skapar varmare, mer dränerade jordar som möjliggör etablering av nya arter som till exempel buskar (Molau, 2010). I svenska bergsregioner har det även observerats minskningar av lavar och mossor medan det skett en ökning av vissa typer av gräs, dvärgbuskar såväl som en ökning av den totala vegeterade ytan (Hedenås et al., 2016). En expansion av buskar föreslås även i fler studier vara ett framtida scenario om förändringarna i vegetationen fortsätter ske i samma riktning (Scharn et al., 2021a).

Spridningen av positiva och negativa trender över studieområdet bekräftar även behovet av att genomföra analyser av greening och browning över mindre områden med högre spatial upplösning, då förändringar i de arktiska ekosystemen är komplexa och vegetationen kan bete sig olika på olika platser. Satellitbaserade studier har under lång tid påvisat en allmän trend av greening över Arktis (Berner et al., 2020), men perioder där det uppvisats en storskalig trend av browning har även upptäckts (Phoenix & Bjerke, 2016). Det finns även en stor komplexitet i fjärranalysbaserade analyser av vegetationsförändringar, och det finns flera utmaningar kvar gällande att förstå de begränsningar och processer som är involverade i greening och browning (Myers-Smith et al., 2020). Medan flera studier har påvisat en ökande vegetation över den arktiska tundran (Goetz et al., 2005; Jia et al., 2003), har andra analyser som genomförts över samma område med olika dataset påvisat motstridiga resultat (Alcaraz-Segura et al., 2010). Den spridda fördelningen av greening och browning över studieområdet runt Latnjajaure fältstation är därmed

att förvänta då den representerar komplexiteten involverad i de vegetationsförändringar som sker över arktiska områden.

## **5.2 Alternativa datakällor för vidare analys**

Trots att de två NDVI-kartorna från år 1986 och år 2021 är normaliserade och baserade på satellitbilder från samma period under året, representerar de endast ögonblicksbilder över de förhållanden som rådde vid de två tidpunkter bilderna togs. Därmed kan det finnas flera faktorer som påverkar resultatet. En tidigare start på vegetationssäsongen 2021 kan ha förändrat tidpunkten för det maximala NDVI värdet under sommarperioden och därmed skapat mindre väl jämförbara bilder. Samma problem uppkommer med trendanalysen över hela tidsperioden. Bilderna kan missrepresentera NDVI maxima och ge ett missvisande resultat, eller representera ett av någon orsak avvikande år och därmed inte ge en korrekt trend över hela tidsperioden. För en bättre jämförelse behövs flera bilder från samma period för att avgöra vid vilken tidpunkt NDVI är som högst, men det är i praktiken svårt på grund av den låga tidsupplösningen som går att erhålla av Landsat-data samt problematik med moln. Det finns dock dagliga satellitbilder tagna med MODIS tillgängliga från år 1990. Den spatiala upplösningen är  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ , vilket är grovt för analyser av små områden, men den dagliga NDVI-datan kan ge en indikation på när under säsongen ett NDVI maximum uppnåtts. För att genomföra en bättre trendanalys över hela tidsperioden vore det även fördelaktigt att öka antalet bilder från en till flera bilder per årtionde för att skapa fler datapunkter att basera analysen på.

På grund av vegetationens heterogenitet kan förändringar skett inom olika vegetationstyper som inte upptäcks i en fjärranalysbaserad studie där upplösningen på satellitbilderna är  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ . En mer noggrann analys kan genomföras med satellitbilder insamlade av exempelvis Sentinel-2 som kan erhållas med en upplösning på  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  och som tar bilder på samma område i Sverige var 2-3:e dag. Data från Sentinel-2 finns dock endast att tillgå från 2015 vilket gör att analyser längre bakåt i tiden inte är möjliga (ESA, 2022). Vegetationskartan som använts för att tilldela punkter vegetationsklasser är dessutom skapad utifrån Sentinel-2 satellitdata från åren 2018, 2019 & 2020 och kan därmed missrepresentera hur vegetationen var spridd över landskapet 35 år tidigare. De punkter som använts kan ändå tolkas som representativa för förändringarna på platsen där de är utplacerade under de studerade åren.

## **5.3 Placeringar av fältbaserade NDVI-mätningar**

Mätplatserna i Figur 10 är förslag på platser där det kan vara av intresse att utföra fältbaserade NDVI-mätningar över en längre tid för att undersöka hur vegetationen förändras till följd av de

klimatförändringar som sker. Punkterna representerar olika vegetationstyper samt olika NDVI-trender och bör därmed möjliggöra framtida analyser av både greening och browning. Två specifikt intressanta områden, där det uppvisats en tydlig trend av greening och browning, är de två områden som ringats in i Figur 10, och där punkterna 18,19,20 och 21 respektive 25, 27, 28 och 29 placerats.

De begränsningar som finns i förslaget grundas i att analysen enbart varit fjärranalysbaserad. Vegetationen i området är i hög grad heterogen och kan inte korrekt representeras av pixlar med storleken 30 m × 30 m. Med avseende på de NDVI-trender som analyserats kunde inte heller förslag på placeringar av mätplatser genomföras med större noggrannhet än den spatiala upplösningen på analysen. Då koordinater för punkter därmed skapades utifrån pixlar med storleken 30 m × 30 m bör de ses som representativa för ett större område och inte endast för en punkt. Om en placering väljs ut som intressant för fältbaserade NDVI-mätningar bör därmed flera mätningar genomföras på platsen utifrån vilka statistiska analyser kan genomföras. En ytterligare begränsning består i svårigheter att uppskatta framkomligheten till olika placeringar då det existerar stora höjdskillnader i terrängen. Ett försök att begränsa problemet genomfördes genom att lutningen beräknades i varje punkt för att säkerställa att inget förslag placerades på en brant yta, men för att välja ut slutliga placeringar för fältbaserade NDVI-mätningar krävs sannolikt även en fältbaserad granskning av förslagen.

## 6. Slutsats

Analysen av fem satellitbilder mellan åren 1986 och år 2021 visar att det har skett både greening och browning i området runt Latnjajaure fältstation. Den dominerande trenden är greening och det finns en signifikant ökande NDVI-trend över 7,53 % av studieområdet. De två mest framträdande förändringarna uppvisas dels i den södra delen av studieområdet, där det finns ett stort sammanhängande område med minskande NDVI-värden, dels vid högre höjder i anslutning till snötäckta områden där det i stället skett en tydlig ökning av NDVI-värden. Av de studerade vegetationstyperna i området har signifikanta minskningar skett inom frisk rished (-15,08%), tussock tundra (-12,06%) och skarp rished (-5,47%), medan en ökning skett inom vegetationstypen högörtäng (+2,0%). En signifikant korrelation existerar mellan förändringar i NDVI och höjd över havet, där öknings främst skett vid högre elevationer. De förändringar som sker i vegetationen inom studieområdet är ett resultat av komplexa samspel mellan flera olika faktorer. Fältbaserade NDVI-mätningar kan bidra till att bättre förstå hur förändringarna sker på en lokal nivå genom att möjliggöra analyser av NDVI på specifika platser samtidigt som vegetationen kan observeras.

## **7. Tackord**

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Heather Reese som bistått med både stöd och hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka Mats Björkman för hjälpen med värdefull information och data från studieområdet och mina kurskamrater som bidragit med konstruktiv kritik under hela skrivprocessen. Till sist vill jag rikta ett tack till Elsa Nilsson som varit ett stort stöd under hela våren. Tack!

## 8. Referenser

- Alcaraz-Segura, D., Chuvieco, E., Epstein, H. E., Kasischke, E. S., & Trishchenko, A. (2010). Debating the greening vs. browning of the North American boreal forest: differences between satellite datasets. *Global Change Biology*, *16*(2), 760-770.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01956.x>
- AMAP. (2021). Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-makers. *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*.  
<https://www.amap.no/documents/doc/arctic-climate-change-update-2021-key-trends-and-impacts.-summary-for-policy-makers/3508>
- Andreu-Hayles, L., Gaglioti, B. V., Berner, L. T., Levesque, M., Anchukaitis, K. J., Goetz, S. J., & D'Arrigo, R. (2020). A narrow window of summer temperatures associated with shrub growth in Arctic Alaska. *Environ. Res. Lett.*(15). <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab897f>
- Azevedo, O., Parker, T. C., Siewert, M. B., & Subke, J.-A. (2021). Predicting Soil Respiration from Plant Productivity (NDVI) in a Sub-Arctic Tundra Ecosystem. *Remote Sensing*, *13*(13), 2571.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/13/2571>
- Berner, L. T., Massey, R., Jantz, P., Forbes, B. C., Macias-Fauria, M., Myers-Smith, I., Kumpula, T., Gauthier, G., Andreu-Hayles, L., Gaglioti, B. V., Burns, P., Zetterberg, P., D'Arrigo, R., & Goetz, S. J. (2020, 2020/09/22). Summer warming explains widespread but not uniform greening in the Arctic tundra biome. *Nature Communications*, *11*(1), 4621.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-18479-5>
- Beylich, A. A., Sandberg, O., Molau, U., & Wache, S. (2006). Intensity and spatio-temporal variability of fluvial sediment transfers in an Arctic-oceanic periglacial environment in northernmost Swedish Lapland (Latnjavagge catchment)  
*Geomorphology*, *80*(1-2), 114-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.014>
- Bjerke, J. W., Treharne, R., Vikhamar-Schuler, D., Karlsen, S. R., Ravolainen, V., Bokhorst, S., Phoenix, G. K., Bochenek, Z., & Tømmervik, H. (2017, 2017/12/01/). Understanding the drivers of extensive plant damage in boreal and Arctic ecosystems: Insights from field surveys in the aftermath of damage. *Science of The Total Environment*, *599-600*, 1965-1976.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.050>
- ESA. (2022). *Sentinel-2*. European Space Agency.  
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- Gkatsopoulos, P. (2017, 2017/01/01/). A Methodology for Calculating Cooling from Vegetation Evapotranspiration for Use in Urban Space Microclimate Simulations. *Procedia Environmental Sciences*, *38*, 477-484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.139>
- Goetz, S. J., Bunn, A. G., Fiske, G. J., & Houghton, R. A. (2005). Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(38), 13521-13525.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0506179102>
- Hedenås, H., Christensen, P., & Svensson, J. (2016, 2016/07/07). Changes in vegetation cover and composition in the Swedish mountain region. *Environmental Monitoring and Assessment*, *188*(8), 452. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5457-2>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

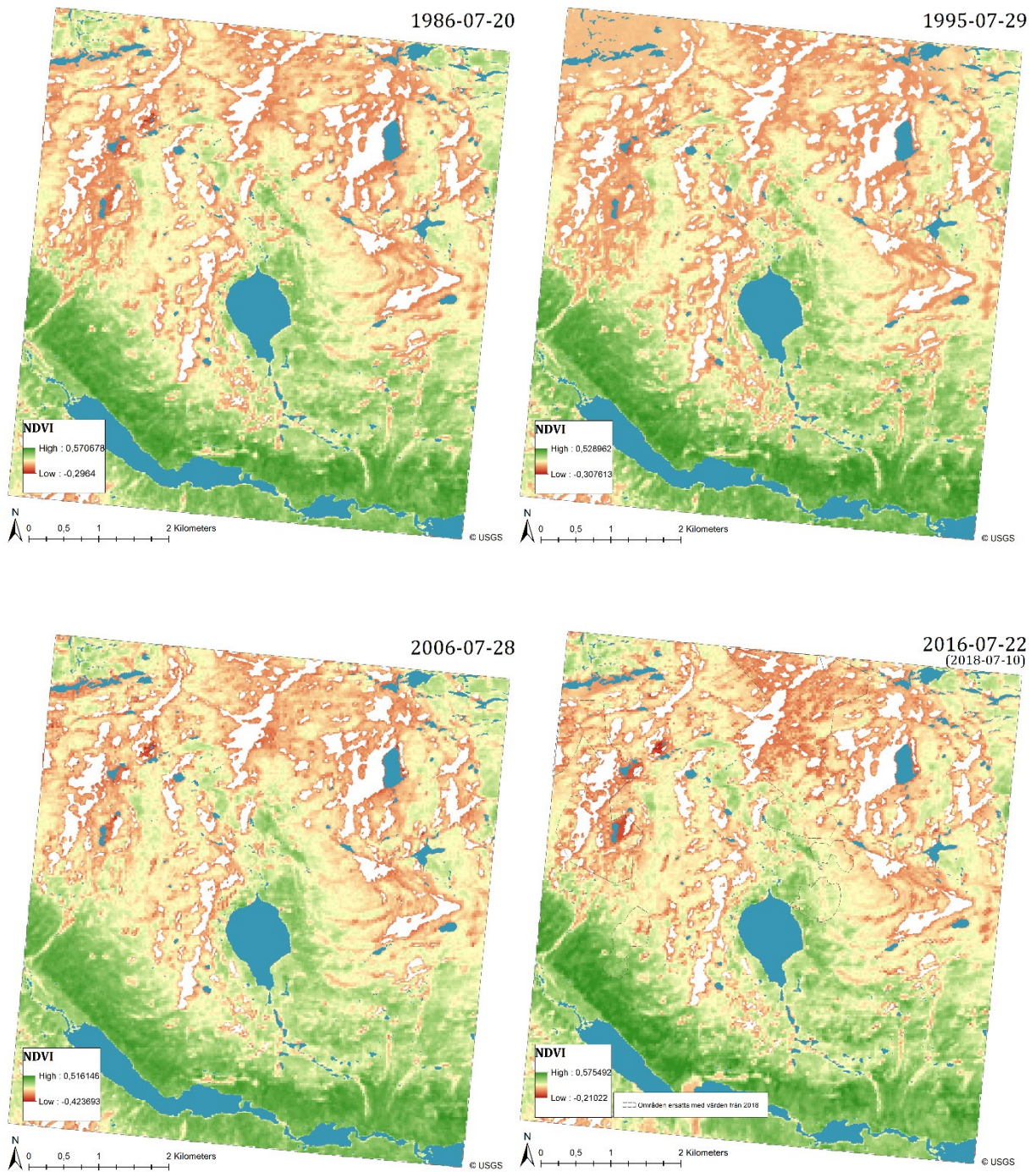
- Jia, G. J., Epstein, H. E., & Walker, D. A. (2003). Greening of arctic Alaska, 1981–2001. *Geophysical Research Letters*, 30(20). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2003GL018268>
- Jägerbrand, A. K., Molau, U., & Alatalo, J. M. (2003, 2003/09/01). Responses of bryophytes to simulated environmental change at Latnjajaure, northern Sweden. *Journal of Bryology*, 25(3), 163-168. <https://doi.org/10.1179/037366803235001634>
- Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Molau, U. (2010, 2010/08/06). Long-term impacts of observed and induced climate change on tussock tundra near its southern limit in northern Sweden. *Plant Ecology & Diversity*, 3(1), 29-34. <https://doi.org/10.1080/17550874.2010.487548>
- Myers-Smith, I. H., Forbes, B. C., Wilmling, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K. D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Lévesque, E., Boudreau, S., Ropars, P., Hermanutz, L., Trant, A., Collier, L. S., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S. A., Schmidt, N. M., Schaepman-Strub, G., Wipf, S., Rixen, C., Ménard, C. B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H. E., & Hik, D. S. (2011, 2011/12/01). Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 6(4), 045509. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045509>
- Myers-Smith, I. H., Kerby, J. T., Phoenix, G. K., Bjerke, J. W., Epstein, H. E., Assmann, J. J., John, C., Andreu-Hayles, L., Angers-Blondin, S., Beck, P. S. A., Berner, L. T., Bhatt, U. S., Bjorkman, A. D., Blok, D., Bryn, A., Christiansen, C. T., Cornelissen, J. H. C., Cunliffe, A. M., Elmendorf, S. C., Forbes, B. C., Goetz, S. J., Hollister, R. D., de Jong, R., Loranty, M. M., Macias-Fauria, M., Maseyk, K., Normand, S., Olofsson, J., Parker, T. C., Parmentier, F.-J. W., Post, E., Schaepman-Strub, G., Stordal, F., Sullivan, P. F., Thomas, H. J. D., Tømmervik, H., Treharne, R., Tweedie, C. E., Walker, D. A., Wilmling, M., & Wipf, S. (2020, 2020/02/01). Complexity revealed in the greening of the Arctic. *Nature Climate Change*, 10(2), 106-117. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0688-1>
- NASA. (2022a). *Thematic Mapper*. NASA Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/thematic-mapper/>
- NASA. (2022b). *Landsat 8 bands*. NASA Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/landsat-8-bands/>
- NASA. (2022c). *About NASA Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>
- National Academies of Sciences, E., & Medicine. (2019). *Understanding Northern Latitude Vegetation Greening and Browning: Proceedings of a Workshop*. The National Academies Press. <https://doi.org/doi:10.17226/25423>
- NOAA. (2022). *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*. <https://www.avl.class.noaa.gov/saa/products/search?datatype=AVHRR>
- Phoenix, G. K., & Bjerke, J. W. (2016). Arctic browning: extreme events and trends reversing arctic greening. *Global Change Biology*, 22(9), 2960-2962. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.13261>
- Raynolds, M. K., Walker, D. A., Verbyla, D., & Munger, C. A. (2013). Patterns of Change within a Tundra Landscape: 22-year Landsat NDVI Trends in an Area of the Northern Foothills of the Brooks Range, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 45(2), 249-260. <http://www.jstor.org.ezproxy.ub.gu.se/stable/24551716>

- Roy, D., Kovalskyy, V., Zhang, H., Vermote, E., Yan, L., Kumar, S., & Egorov, A. (2016). Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sensing of Environment*, *185*, 57-70.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>
- Sabater, A. M., Ward, H. C., Hill, T. C., Gornall, J. L., Wade, T. J., Evans, J. G., Prieto-Blanco, A., Disney, M., Phoenix, G. K., Williams, M., Huntley, B., Baxter, R., Mencuccini, M., & Poyatos, R. (2020). Transpiration from subarctic deciduous woodlands: Environmental controls and contribution to ecosystem evapotranspiration. *Ecohydrology*, *13*(3), e2190.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eco.2190>
- Scharn, R., Brachmann, C. G., Patchett, A., Reese, H., Bjorkman, A. D., Alatalo, J. M., Björk, R. G., Jägerbrand, A. K., Molau, U., & Björkman, M. P. (2021a). Vegetation responses to 26 years of warming at Latnjajaure Field Station, northern Sweden. *Arctic Science*, 1-20.  
<https://doi.org/10.1139/as-2020-0042>
- Scharn, R., Little, C. J., Bacon, C. D., Alatalo, J. M., Antonelli, A., Björkman, M. P., Molau, U., Nilsson, R. H., & Björk, R. G. (2021b, 2021/05/24). Decreased soil moisture due to warming drives phylogenetic diversity and community transitions in the tundra. *Environmental Research Letters*, *16*(6), 064031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfe8a>
- SMHI. (2022). *Klimatindikator - vegetationsperiodens längd*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-vegetationsperiodens-langd-1.7887>
- Tucker, C. J., Fung, I. Y., Keeling, C. D., & Gammon, R. H. (1986, 1986/01/01). Relationship between atmospheric CO<sub>2</sub> variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature*, *319*(6050), 195-199. <https://doi.org/10.1038/319195a0>
- USGS. (2017). *Curve Fit: A Pixel Level Raster Regression Tool*. Upper Midwest Environmental Sciences Center. <https://www.usgs.gov/centers/upper-midwest-environmental-sciences-center/science/curve-fit-pixel-level-raster-regression>
- USGS. (2018). *NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology*. <https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology>
- USGS. (2022a). *EarthExplorer*. U.S. Department of the Interior. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2022b). *Landsat Satellite Missions*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-1>
- USGS. (2022c). *What are the band designations for the Landsat satellites?* United States government. <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- Vickers, H., Høgda, K. A., Solbø, S., Karlsen, S. R., Tømmervik, H., Aanes, R., & Hansen, B. B. (2016, 2016/10/01). Changes in greening in the high Arctic: insights from a 30 year AVHRR max NDVI dataset for Svalbard. *Environmental Research Letters*, *11*(10), 105004.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/105004>
- Yang, Y., Wang, S., Bai, X., Tan, Q., Li, Q., Wu, L., Tian, S., Hu, Z., Li, C., & Deng, Y. (2019). Factors Affecting Long-Term Trends in Global NDVI. *Forests*, *10*(5).  
<https://doi.org/10.3390/f10050372>



# Bilaga 1

## NDVI-kartor över åren 1986, 1995, 2006, 2016 och 2021



2021-07-27

