

# **Vegetationsförändringar och permafrostförlust: två produkter av ett varmare klimat**

**Ebba Melin  
Simone Tijburg**

**Degree of Bachelor of Science  
with a major in Geography  
15 hec**

**Department of Economy and Society, Human Geography &  
Department of Earth Sciences  
University of Gothenburg  
2020 B-1106**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

# Vegetationsförändringar och permafrostförlust: två produkter av ett varmare klimat

**Ebba Melin  
Simone Tijburg**

ISSN 1400-3821

**B1106  
Bachelor of Science thesis  
Göteborg 2020**

---

**Mailing address**  
Geovetarcentrum  
S 405 30 Göteborg

**Address**  
Geovetarcentrum  
Guldhedsgatan 5A

**Telephone**  
031-786 19 56

Geovetarcentrum  
Göteborg University  
S-405 30 Göteborg  
SWEDEN

## Abstract

Following Bachelor Thesis aims to investigate shifts in vegetation in the area around Abisko, Kiruna municipality. This is done by a comparison between year 2006 and 2016, based on vegetation inventories from three different sites - Corrvosjávri, Goaivojávri, and Latnjajaure. The study builds upon the hypothesis that changes in vegetation is correlated with degradation of permafrost due to a warmer climate. Hence, a model of the development of permafrost in the Abisko area, including all three sites of the study, was made based upon temperature data. The model takes a longer time perspective into account, stretching over a century.

The results of the vegetation inventories reveal a change in the vegetation layer. The number of different species have increased, although the total number of species present have decreased, as well as the expansion of some species. One of the decreased species is *Eriophorum vaginatum* (tussock). However, new species were found at all sites, for instance *Vaccinium myrtillus* (blueberry) and *Solidago virgaurea* (goldenrod).

The permafrost modelling shows a decrease of the permafrost expansion, which is strongly linked to a rising temperature trend. Although, a direct correlation between degradation of permafrost and changes in vegetation cannot be noted. However, there is a link between a warmer climate and a change in vegetation.

Key words:

Climate change, permafrost degradation, vegetation changes

## Sammanfattning

Syftet med denna kandidatuppsats är att undersöka hur vegetation i området kring Abisko, beläget i Kiruna kommun, har förändrats mellan åren 2006 och 2016. Studien baseras på inventeringar av vegetation från tre olika lokaler - Corrvosjávri, Goaivojávri och Latnjajaure. Studien bygger på hypotesen att förändringar i vegetationstäcket korrelerar med degraderingen av permafrost, vilken skett till följd av ett varmare klimat. Här tas ett längre tidsperspektiv i beaktning vad gäller permafrostens utveckling. En modellering av permafrostens utbredning i studieområdet, vilken är baserad på antaganden utefter temperaturdata, som sträcker sig drygt 100 år tillbaka, har därför genomförts.

Vegetationsinventeringarna visar på förändring i vegetationstäcket. Antalet arter har blivit fler, trots att den totala förekomsten av arter minskat, liksom utbredningen av vissa arter. En art som minskat i utbredning är *Eriophorum vaginatum* (tuvull). Nyttillkomna arter har dock påträffats vid samtliga lokaler, såsom *Vaccinium myrtillus* (blåbär) och *Solidago virgaurea* (gullris).

Permafrostmodelleringen visar att permafrosten har minskat i utbredning i studieområdet, något som är kopplat till en ökad temperatur. En direkt korrelation mellan degradering av permafrost och förändringar i vegetationstäcket går dock inte att utläsa. Däremot finns en koppling mellan ett varmare klimat och förändringar i vegetationen.

Nyckelord:

Klimatförändringar, permafrostdegradering, vegetationsförändring

## **Förord**

År 2006 publicerades en masteruppsats vid Göteborgs universitets institution för biologi och miljövetenskap (tidigare institutionen för växt- och miljövetenskaper). Uppsatsen författades av masterstudenten Sofia Brinkman och var del av Molaus (2010) helikopter- och markinventeringar som en del i ett större forskningsprojekt. Projektet behandlar inventeringar av vegetation i norra Skanderna i området kring Abisko, Kiruna kommun. År 2016 samlade forskare från institutionen för geovetenskaper vid Göteborgs universitet in data från samma lokaler som de i Brinkmans masteruppsats. Med bakgrund i dessa två inventeringar kommer denna kandidatuppsats i geografi syfta till att göra en jämförande analys av vegetationen åren 2006/2016, då detta ännu inte genomförts. Insamlat material kommer bearbetas, analyseras och jämföras för att kunna studera eventuella förändringar i vegetationstäcket samt dess orsak till eventuell förändring. Denna kandidatuppsats bygger på hypotesen att förändringar i vegetationstäcket korrelerar med degraderingen av permafrost, vilken skett till följd av ett varmare klimat. Att studera förändringar i vegetation och potentiell degradering av permafrost är två sätt att analysera produkter av klimatförändringar. Som studenter i geografi är klimatförändringar något som varit centralt under våra år på geografiprogrammet. Detta examensarbete behandlar klimatförändringar ur ett naturgeografiskt perspektiv, vilket är ett av flera perspektiv när det kommer till ett varmare klimat.

## **Tack**

Vi vill tacka våra handledare Docent Robert G. Björk och Dr Mats Björkman som hjälpt oss under arbetets gång och bidragit med värdefull kunskap, starkt engagemang och nyfikenhet.

Tack också Dr David Rayner för rådgivning.

Vi vill även tacka kursansvarig professor Sofia Thorsson för god input samt våra kurskamrater för feedback vid seminarietillfällena.

# Innehållsförteckning

<b>1. INTRODUKTION</b>	<b>1</b>
1.1 Syfte	2
1.2 Frågeställningar	2
<b>2. TEORIANKNYTNING</b>	<b>3</b>
2.1 Tuvullstundra	3
2.2 Vegetationen och klimatet	3
2.3 Permafrost	5
<b>3. STUDIEOMRÅDE</b>	<b>8</b>
3.1 Vegetation	8
3.2 Klimat	8
<b>4. DATA OCH METODER</b>	<b>10</b>
4.1 Data	10
4.1.1 Vegetationsinventeringar	10
4.1.2 Klimatdata	10
4.2 Metoder	11
4.2.1 Analys av vegetationsförändringar	11
4.2.2 Modellering av permafrost	12
4.3 Felkällor	12
4.3.1 Källor och källkritik	13
<b>5. RESULTAT</b>	<b>14</b>
5.1 Vegetation	14
5.2 Klimat	17
5.3 Permafrost	20
<b>6. DISKUSSION</b>	<b>22</b>
6.1 Förändringar i vegetation	22
6.2 Permafrost	22
6.3 Metoddiskussion	24
6.4 Fortsatta studier	26
<b>7. SLUTSATS</b>	<b>28</b>
<b>8. REFERENSER</b>	<b>29</b>
<b>9. BILAGOR</b>	<b>34</b>

# 1. Introduktion

Vår planets klimat blir allt varmare, ett vedertaget, om än omdebatterat faktum. Forskningen är entydig och pekar i samma riktning – det blir varmare (IPCC, 2018). Det är en process med klimatförändringar som stundar såväl som tar plats i detta nu, klimatförändringar vars slutdestination varierar beroende på vilken instans, system eller process som studeras och diskuteras.

Beräkningar har genomförts på årsmedeltemperatur i Norrbottens län med hjälp av *Representative Concentration Pathways* (RCP) som behandlar framtida potentiella utvecklingsvägar för strålningsbalansen (Berglov et al, 2015). Med andra ord verkar RCP som ett slags mått för olika framtidsscenarioer med olika utfall, beroende på utvecklingen av strålningsbalansen. Oavsett vilket scenario som skulle kunna komma att inträffa beräknas alla bidra med en ökad medeltemperatur i Abisko och närliggande områden (Ibid). Ett varmare klimat kan komma att påverka vegetationen i Abiskoområdet, vilket i sin tur kan leda till förändringar i ekosystem (Brinkman, 2006; Molau 2010). Då en degradering av permafrost kan bidra till förändringar i vegetation påverkas områden där biotoper och vegetationstyper likt de i Abiskoområdet återfinns. Om förändring sker i Abiskoområdet kan det vara indikation att samma förändringsprocesser också sker på andra, likartade platser på planeten, något som småningom kan bidra till större konsekvenser för miljö och samhälle.

Det finns flera forskningsprojekt som behandlar förändringar i arktiska och subarktiska områden. En nyligen publicerad studie bekräftar hur varmare temperaturer förändrar strukturen och sammansättningen av tundraekosystem (Bjorkman et al, 2018). Tuvullstundrans existens är kopplad till permafrost (Molau, 2010). Tuvullstundran svarar bland annat på ett varmare klimat genom ett skifte i vegetationen till en förbuskning, en förbuskning som kan betraktas som evidens på ett varmare klimat och som en viktig faktor vad gäller sammansättningen av växtlighet i dessa omgivningar (Elmendorf et al, 2012). Fjällmiljöer i subarktiska Skandinavien är kända för att ha underliggande permafrost, dock är permafrostens egenskaper och rumsliga utbredning i norra Sverige dåligt undersökta (Ridefelt, Etzelmüller, Boelhouwers & Jonasson (2008). Temperaturerna ökar i svenska subarktiska och det förändrade klimatet bidrar till förändringar i växtligheten, bland annat en uppflyttning av trädgränsen. Hur subarktiska fjällmiljöer reagerar på klimatet är viktigt bland annat i det avseende då förändrade ekosystem dels innebär en lokal, mer direkt inverkan på de



människor som lever och vistas i denna fjällmiljö. Ur ett bredare perspektiv är det viktigt att förstå hur miljön kommer till att påverkas till följd av ett varmare klimat för att inte resten av jordens befolkning ska drabbas av skenande växthusgaskoncentrationer (Callaghan et al, 2010). Under de senaste decennierna har polar- och andra högt belägna regioner gått en uppvärmningstrend till mötes. Om den globala medeltemperaturökningen år 2100 hålls under 2°C skulle permafrost ändå försvinna över betydande areal (Biskaborn et al, 2019). Permafrostens tröskelvärde kan sägas ligga på 0°C och blir därmed känslig för temperaturer över nollgradigt (Callaghan et al, 2010).

### ***1.1 Syfte***

Syftet med denna studie är att undersöka hur vegetationen i Abisko i Kiruna kommun har förändrats mellan åren 2006 och 2016 samt studera utfallet av permafrostutveckling av en längre tidsperiod som sträcker sig mellan år 1913-2018. Studien baseras på inventeringar av vegetation från tre olika lokaler - Corrvosjávri, Goaivojávri och Latnjajaure. Det är främst lokalernas position vad gäller meter över havet som skiljer dem åt. Då arbetet behandlas utefter hypotesen att förändringar i vegetationstäcket korrelerar med degraderingen av permafrost genomförs även en modellering av permafrostens utbredning i arbetets studieområde.

### ***1.2 Frågeställningar***

- Hur har vegetationen i Corrvosjávri, Goaivojávri och Latnjajaure förändrats mellan åren 2006 och 2016 och vad beror en eventuell förändring på?
- Hur har förekomsten och utbredningen av permafrost förändrats i området under den aktuella perioden?
- Finns det något samband mellan förändringen av permafrost och förändring av vegetation i studieområdet?

## **2. Teorianknytning**

### ***2.1 Tuvullstundra***

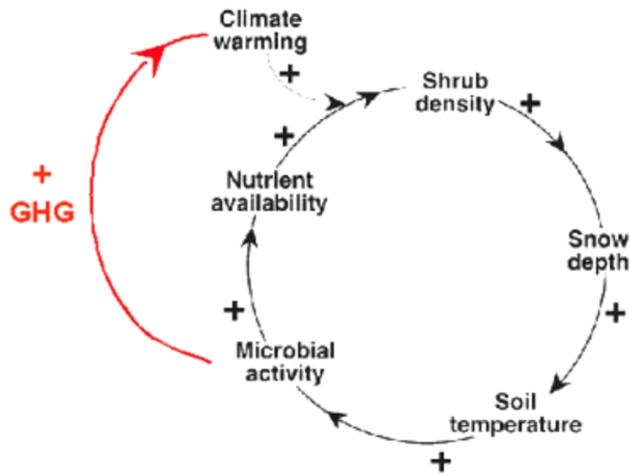
Tuvullstundran, vilken är den vegetationstyp som dominerar studieområdet, tros spela en viktig roll vad gäller kolinlagring. Denna vegetationstyp kan komma att omvandlas från kolsänka till kolkälla, detta då arktiska tundramarker lagrar en väsentlig del av planetens terrestriala kol (14 %) och har också varit normen under 10 000 år tillbaka i historien (Boelman, Stieglitz, Griffin & Shaveret, 2005). Denna typ av kolinlagring hotas av rådande klimatförändringar och kan komma att genomgå förändringar (Ibid). Tuvullstundran betraktas som en av de sköraste ekosystemen söder om Arktis (Molau, 2010) och tros respondera mycket snabbare på klimatförändringar än andra terrestriala ekosystem (Myers-Smith et al, 2015). Tuvullstundran svarar bland annat på ett varmare klimat genom ett skifte i vegetation till mer buskar. Denna förbuskning betraktas som bevis på vegetationens respons av klimatuppvärmningen i Arktis och ses som en viktig faktor när det kommer till sammansättningen av växtlighet i dessa omgivningar (Elmendorf et al, 2012).

### ***2.2 Vegetationen och klimatet***

Vegetationsperiod definieras som skillnaden mellan start- och sluttidpunkt, vilket innebär första respektive sista dagen på året i en fyradagarsperiod då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5°C (Berglov et al, 2015). Vegetationsperiodens längd under årsperioden 1961-1990 för hela Norrbottens län var i snitt 124 dagar (Ibid). De RCP:er som tagits fram för länet visar alla på en ökning i vegetationsperiodens längd och sett till de senaste 20 åren har vegetationsperioden tidigare lagts ungefär en vecka (Ibid). Vegetationstäckan och markegenskaper spelar en viktig roll i att skydda permafrost från degradering på grund av uppvärmning från atmosfären. Permafrost har genom historien klarat av geologiskt varmare perioder just på grund av sitt vegetationstäckan som ett skydd från ett varmare klimat (Blok et al, 2009). I tundraregioner influeras markfuktigheten av ett antal faktorer, däribland sommarregn, permafroststatus, markegenskaper och topografi samt distributionen av snö, dess varaktighet och smältning (Myers-Smith et al, 2015). Satellitdata visar också på ökad fotosyntetisk aktivitet och produktivitet i norra höga latituder och då särskilt i tundraområden (Ibid). Denna så kallade grönifiering tros kunna relateras till förändringar i temperatur (Ibid). I samband med detta kan trädgränsen komma att flyttas till högre latituder. Trädgränsen definieras, enligt Länsstyrelsen Jämtlands län, som den högsta höjden över havet där träd återfinns utifrån rådande klimat (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2015). Denna gräns är dock

dynamisk och påverkas av faktorer som lokalt klimat, laviner, markanvändning och insektsangrepp (Polarforskningssekretariatet, 2017). Cirka 40 % av Abiskoområdet är beläget över trädgränsen (EU Interact, 2017). Den ökade produktiviteten i Arktis som fjärranalyser uppvisar är något som inte enbart tar sig uttryck genom en ökning av växternas höjd, utan även i form av tillväxt när det kommer till förna och vintergröna växter (Elmendorf et al, 2012). Över trädgränsen är högre buskar den största vegetationstypen och kan komma att påverka biodiversitet, albedo, snötäcke, näring i marken och marktemperatur, vilket i sin tur påverkar omkringliggande vegetation (Vowles et al, 2017). Buskarna blir fler och större på tundran i norra Europa, Asien och Nordamerika. Förbuskning är en indikation på att klimatet förändras, men det kan också påskynda uppvärmningsprocessen. När det blir varmare växer buskarna snabbare. Vad beträffar området kring Abisko syns en tendens till fler och större buskar (Myers-Smith et al, 2015). Vegetationens höjd är relevant, när vegetation är så pass hög att den sticker upp ur snön under vintermånaderna påverkas albedot, varpå snön smälter undan tidigare i dessa områden än i områden med lågväxande vegetation. Detta innebär att de platser med högre vegetation värms upp tidigare på året. Högre vegetation fångar också upp snön mer än lägre vegetation, där snön lättare blåser bort. Att det sker en förbuskning av tundran har att göra med ett varmare klimat, men detta innebär tillika att vegetationen fångar upp mer snö, varpå marktemperaturen blir högre och således ökar också den mikrobiella aktiviteten under vintermånaderna (Polarisen, u. å.). En förhöjd mikrobiell aktivitet bidrar till ökad nedbrytning i marken, vilket i sin tur frigör mer näringsämnen och ökar växthusgaserna (Ibid). Växthusgaserna genererar sedan en positiv feedback på vegetationen och klimatet (Ibid). Figur 1 illustrerar detta förlopp och visar på komplexiteten i processen.

### The snow–shrub–soil–microbe feedback loop



Figur 1. “The snow–shrub–soil–microbe feedback loop” beskriver hur ökad vegetation påverkar faktorer som snödjup, marktemperatur, mikrobiell aktivitet, frigörande av näringsämnen och ökade växthusgasutsläpp som i sin tur påverkar utbredningen av vegetation. Källa: Sturm et al, 2005.

Figure 1. “The snow–shrub–soil–microbe feedback loop” describes the links between vegetation and factors such as snow depth, soil temperature, microbial activity, nutrient availability and greenhouse gas emissions, which in turn affect the propagation of vegetation. Source: Sturm et al, 2005.

## 2.3 Permafrost

Permafrost definieras som mark där tjälen inte tinar fullständigt under sommarhalvåret.

Permafrost råder när markmedeltemperaturen är 0°C eller lägre minst två år i följd

(International Permafrost Association, u. å.). En fjärdedel av den norra hemisfären och ca 17 % av jordens totala exponerade yta har underliggande permafrost (Biskaborn et al, 2019).

Sedan mitten på 1990-talet har en reducering av permafrostarealer globalt sett noterats (Brown, Hinkel & Nelson, 2000). Permafrosten är känslig vad gäller förändringar i klimatet, då ökningarna i luft- och marktemperatur bidrar till en degradering av permafrost. Inte minst bidrar permafrostens upptining till frigörandet av kol till atmosfären (Gisnas et al, 2016).

Faktorer såsom hydrologi, vegetation, organiskt material och dess kemiska sammansättning, pH och markens mikroklimat påverkas av permafrostförlust. Tillsammans reglerar dessa faktorer den mikrobiella aktiviteten som kan frigöra koldioxid och metan (McCalley et al, 2014) när frysta sediment tinar och släpps ut i atmosfären (Biskaborn et al, 2019). En ytterligare aspekt att lyfta fram vid permafrostförlust är den ökade sluttningsinstabiliteten hos berg, då material inte längre är fastfuset i marken i samma utsträckning (Gisnas et al, 2016). En snabb upptining av permafrost kan orsaka drastiska förändringar i landskapet, då den frusna marken fysiskt håller samman hela landskap. Infrastruktur kan komma att påverkas när

markens hållfasthet snabbt skiftar och vägar kan ge vika, något som också påverkar bostadshus i drabbade områden (Turetsky et al, 2019). En ökning i medellufttemperatur har dokumenterats i Arktis sedan 1980-talet - en temperaturökning som ackompanjeras av en degradering av permafrost (IPCC, 2007).

Under sommartid kan det översta markskiktet i permafrostområdena tina, det så kallade aktiva lagret. Hur tjockt detta markskikt är beror på platsens klimat och rådande termiska förhållanden i marken. På grund av att detta markskikt tinar och fryser om vartannat är det vanligt förekommande att marken i permafrostområden varierar i volym. Det aktiva lagret reagerar i regel väldigt snabbt på ett förändrat klimat. Mätningar världen över av permafrostens aktiva lager fastställer att tjockleken på detta markskikt har ökat och permafrosten degraderats (Polarisen, u. å.). Permafrost kan ha vissa ofrusna partier, så kallad diskontinuerlig permafrost. Detta sammanfaller med en årsmedeltemperatur på  $-1^{\circ}\text{C}$  (Ibid). Klimatdata från Abiskos forskningsstation uppvisar en ökande temperaturtrend över det senaste seklet. Permafrostens dynamik är relaterad till ett tröskelvärde på  $0^{\circ}\text{C}$ . Temperaturer över nollgradigt kan resultera i upptining och förlust av existerande sporadisk och diskontinuerlig permafrost på lågland, dock kan torvmarker, snötäcke och vegetation modifiera effekterna (Yang, Hanna, Callaghan & Jonasson, 2011). Permafrostens utbredning är således knuten till lufttemperaturen. En tumregel när det kommer till permafrost är att temperaturen i markytan normalt är cirka  $3,5^{\circ}\text{C}$  varmare än lufttemperaturen. Detta kan dock skilja sig avsevärt beroende på en rad olika lokala faktorer. (Polarisen, u. å.). De senaste åren har en ökande trend i marktemperaturen noterats i permafrostens övre och undre delar (Johansson et al, 2011).

Både vinter- och sommarförhållanden inverkar på permafrostens utbredning. På vintern handlar det mestadels om parametrar såsom snödjup och lufttemperatur, medans det under sommarmånaderna främst handlar om lufttemperaturen. Lufttemperaturen har visat sig i medel vara linjär med höjden över havet. Den potentiella solinstrålningen kan också ha inverkan på permafrosten, dock har detta visat sig vara av mindre betydelse i den skandinaviska fjällkedjan, utan där har höjden trätt fram som den mest väsentliga variabeln (Marklund, 2011) i Abiskoområdet. Dock kan en minskning av diskontinuerlig permafrost noteras från 1000 m.ö.h. i väst till 800 m.ö.h. i öst. Potentiell solinstrålning eller sluttningsriktning- och vinkel kan ha en ökande inverkan på östra delarna av Abiskoområdet,

med lägre permafrostnivåer på norr- och västsluttningar än sluttningar i syd- och östlig riktning (Ridefelt et al, 2008). Differensen i höjdmeter hos studiens olika lokaler kan betraktas som en tidslinje för hur ekosystem drabbas i takt med att permafrostens utbredningsområde minskar (Brinkman, 2006).

### 3. Studieområde

Studieområdet är beläget i Abisko, Kiruna kommun, i nordvästra Sverige nära den norska landsgränsen (Figur 2). Tre olika lokaler, belägna vid tre olika sjöar och sjösystem - Corrvosjávri, Goaivojávri och Latnjajaure (se Tabell 1) har valts ut för fallstudie. Lokalerna är belägna 10-20 km från varandra. Vad som främst skiljer lokalerna åt är dess höjd över havet (se Tabell 1). Samtliga tre lokaler har en historia av permafrost (Pesqueda, 2018).

#### 3.1 Vegetation

Vad beträffar vegetationen i studieområdet är den varierande, dock är arten *Eriophorum vaginatum* (tuvull) vanligt förekommande, samt flera arter ur starrsläktet. Vidare domineras området av torvmark och platsen karaktäriseras av palsar (ICOS Sweden, 2018a).

Dominansen av arter skiftar n

ågot från lokal till lokal, men överlag i samtliga av studieområdets lokaler dominerar flera arter av videsläktet, såsom *Salix glaucea* (ripvide), *Salex herbacea* (dvärgvide) och *Salix lanata* (ullvide). Också *Eriophorum angustifolium* (ängsull) förekommer hos samtliga lokaler (se Bilaga).

#### 3.2 Klimat

I Abisko är den årliga medeltemperaturen cirka 0°C m (EU Interact, 2017) och årsnederbörden låg runt 300 mm/år under större delarna av 1900-talet (Callaghan et al, 2010). Enligt Köppens klimatklassifikation är Abisko och dess omgivning klassat som fuktigt, subarktiskt klimat med kalla somrar och kalla vintrar (ICOS Sweden, 2018b). Såväl årsmedeltemperaturen som längden på växtsäsongen har ökat under de senaste årtiondena (EU Interact, 2017). Samtliga tre lokaler i denna studie har således ett liknande klimat, dock är det medeltemperaturen som främst skiljer lokalerna åt, då de återfinns på olika höjdmeter (se Tabell 1).

Hädanefter kommer Corrvosjávri benämnas som *Corrvo*, Goaivojávri som *Goaivo* och Latnjajaure som *Latnja*. Figur 2 visar en översiktsskarta över studieområdet.

Tabell 1. Lokalernas höjdmeter samt läge.

Table 1. Site altitude and position.

Lokal	Höjdmeter (m.ö.h.)	Koordinater
Latnja	981	68°21'12.0"N 18°29'18.0"E
Corvo	814	68°14'42.0"N 18°26'54.0"E
Goaivo	843	68°29'36.0"N 18°55'36.0"E



Figur 2. Översiktskarta studieområde.

Figure 2. Overview map of study area.



## **4. Data och metoder**

Studien bygger på vegetationsinventeringar från åren 2006 och 2016. En multivariat analys skapades över förändringen av vegetation mellan dessa år. I arbetet förekommer också en modellering över den potentiella permafrostutvecklingen i studieområdet.

### **4.1 Data**

Inledningsvis bearbetades tillgänglig vegetationsdata, en bearbetning bestående av en sammanställning av inventeringarna från de båda åren 2006/2016. Denna bearbetning var nödvändig för att dels kunna jämföra vegetationen mellan åren 2006/2016 och följaktligen se var störst respektive minst utveckling skett, men också för att förbereda inför den multivariata analysen. Den multivariata analysen ämnar identifiera mönster mellan olika lokaler och år samt vilka variabler som kan tänkas ligga till grund för analysens utfall.

#### **4.1.1 Vegetationsinventeringar**

Vegetationsinventeringar genomfördes under sommarmånaderna år 2006 och 2016. Dessa inventeringar skedde vid samma lokaler respektive år; Latnja, Corvo och Goivo.

Inventeringarna utfördes med hjälp av metoden punktramsanalys (Molau & Molgaard, 1996). Detta är en metod som baseras på punktinsamling av data för att kunna kartlägga vegetation inom en viss bit mark (plot). Metoden innebär att en ram placeras på marken och de vegetationstyper som återfinns, det vill säga de arter som ger träff, inom ramen dokumenteras. Det genomfördes 20 plots vid respektive lokal år 2006 och 2016. Då inventeringarna genomfördes vid samma plots och vid samma lokaler för både år 2006 och 2016 (år 2016 som en uppföljning av inventeringen år 2006) möjliggör detta en jämförelse av resultaten för inventeringarna år 2006/2016.

#### **4.1.2 Klimatdata**

För att kunna skapa en modellering över permafrostens potentiella utveckling var beräkningar tvungna att genomföras för att få fram årsmedeltemperaturen för respektive lokal. För detta användes en temperaturdataserie för Abisko mellan år 1913-2018. Denna temperaturserie tillhandahölls från Polarforskningssekretariatets forskningsstation i Abisko, varpå denna

temperaturserie kunde vara utgångspunkt när respektive lokalers temperaturer kalkylerades fram.

Beräkningarna för respektive lokal gjordes utefter tumregeln att lufttemperaturen sjunker med 0.63 grader per 100 meter (Bogren, Gustavsson & Loman, 2008), se Figur 3 för beräkning. Uträkningen utgår från Abisko på en belägring av 392 m.ö.h.

Efter detta kunde marktemperaturen räknas ut - och då med tumregeln att temperaturen i marken i regel är 3.5 grader varmare än lufttemperaturen (Polarisen, u. å.).

$$\begin{aligned}x \text{ höjdmeter} - 392\text{m} &= y \\y / 100 &= z \\z * 0.63 &= \text{temperaturskillnad}\end{aligned}$$

*Figur 3. Uträkning för att få fram lufttemperatur vid lokalerna.  
Figure 3. Calculation of air temperature at each site.*

## **4.2 Metoder**

### **4.2.1 Analys av vegetationsförändringar**

Vad beträffar analys av vegetationsförändringar har en multivariat analys genomförts.

Multivariat analys används då man har för avsikt att analysera flera variabler samtidigt och kan bland annat vara en metod för att skapa eller testa hypoteser (Miljostatistik.se, u. å.).

Genom att använda metoden Correspondence Analysis (CA) kan icke-linjär data bearbetas för att finna samband i multivariata dataset, i detta fall exempelvis vad gäller vilka data som är drivande i en förändringsprocess. Den multivariata analysen genomfördes tillsammans med uppsatsens handledare i ett mjukvaruprogram för bearbetning av multivariat statistisk data, Canoco 5.

Resultatet av den multivariata analysen har så kallade error bars med ett konfidensintervall på 85 % vilket motsvarar ett alfa på 0.05 i ett t-test (Payton, Greenstone & Schenker, 2003; Payton, Miller & Raun, 2000). Detta innebär att om konfidensintervallet (error bars) inte överlappar varandra så är resultaten signifikant skilda. Error bars är streck som uppvisar ett

konfidensintervall kring varje medelvärde i analysen, för att ge läsaren ett hum om huruvida det är troligt eller ej att medelvärdena är signifikant åtskilda (Sundell, 2013, 11 mars).

I arbetet förekommer också ett stapeldiagram över förbuskningen hos lokalerna för år 2006 och 2016 (Figur 5). Diagrammet togs fram för att se huruvida en förbuskning hade tagit plats eller ej mellan år 2006/2016 hos studiens lokaler.

#### **4.2.2 Modellering av permafrost**

Vidare genomfördes även en modellering över den potentiella utvecklingen av permafrost i studieområdet. Detta för att undersöka huruvida det går att utläsa en eventuell korrelation mellan förändringar i vegetation och förändrade permafrostförhållanden. Modelleringen genomfördes i GIS-programmet ArcGIS.

För att möjliggöra denna modellering togs en medeltemperatur för 10-årsintervaller fram för att enklare kunna hantera datan vid modellering i ArcGIS för att visualisera en potentiell utveckling av permafrost i området. Vid modelleringen av potentiell permafrost underskattades "permafrostvärdet", det vill säga när temperaturen mäter 0°C eller lägre (förutsättning för bildandet av permafrost). Detta för att inte få med interpoleringar med värden som överstiger 0°C. De områden på interpoleringen där temperaturen sträckte sig från under 0°C till över 0°C kalkylerades bort och visualiseras därför inte i modelleringen (se Figur 10). För att visualisera potentiella områden med permafrost i ArcGIS användes interpoleringsverktyget Inverse Distance Weighted (IDW). Med hjälp av den temperaturdata som kalkylerats fram tidigare för de tre lokalerna kunde interpoleringar genomföras för att ta fram var inom studieområdet samt vid vilka lokaler det potentiellt kan finnas permafrost alternativt när den beräknas försvunnit.

#### **4.3 Felkällor**

Felkällor är alltid att räkna med i all typ av datainsamling och analys. Fel kan inte undvikas, främst på grund av att de kan återkomma på många ställen under processen. Läsfel, avrundningsproblem, exempelvis att man inte är konsekvent i avrundningen när man har flera decimaler att arbeta med - eller att fel uppstår när förekomsten av arter antecknats ute i fält. Felkällor är svårundvikligt, dock får de inte vara så pass marginaliserade att de är svåra att upptäcka, korrigera och bidra till väsentlig skillnad i påföljande analys (Harris & Jarver,

2011). Då den data som brukats inte har samlats in av författarna till denna studie kan inget kring förhållandena vid tidpunkten för datainsamling av data diskuteras, exempelvis vad beträffar vädermässiga förhållanden. Den mänskliga faktorn är dock alltid en aspekt att ta hänsyn till. Vid anteckning av förekomst av arter inom varje plot kan vegetation ha missats eller misstagits för annan art. Vad beträffar avrundning har avrundningen genom arbetets gång varit kontinuerlig och antalet decimaler varit konstanta.

Då författarna till denna kandidatuppsats inte själva varit på plats vid studieområdets lokaler har således inga observationer varit möjliga att genomföra. Observationer kan bidra med djupare förståelse för studieområdet. Även om det självfallet hade varit önskvärt att besöka arbetets studieområde så har studien ändå avgränsats och utformats på ett sådant sätt där tidigare datainsamling är tillräcklig för att kunna jämföra variabler såsom år, medeltemperatur, vegetation etcetera.

#### **4.3.1 Källor och källkritik**

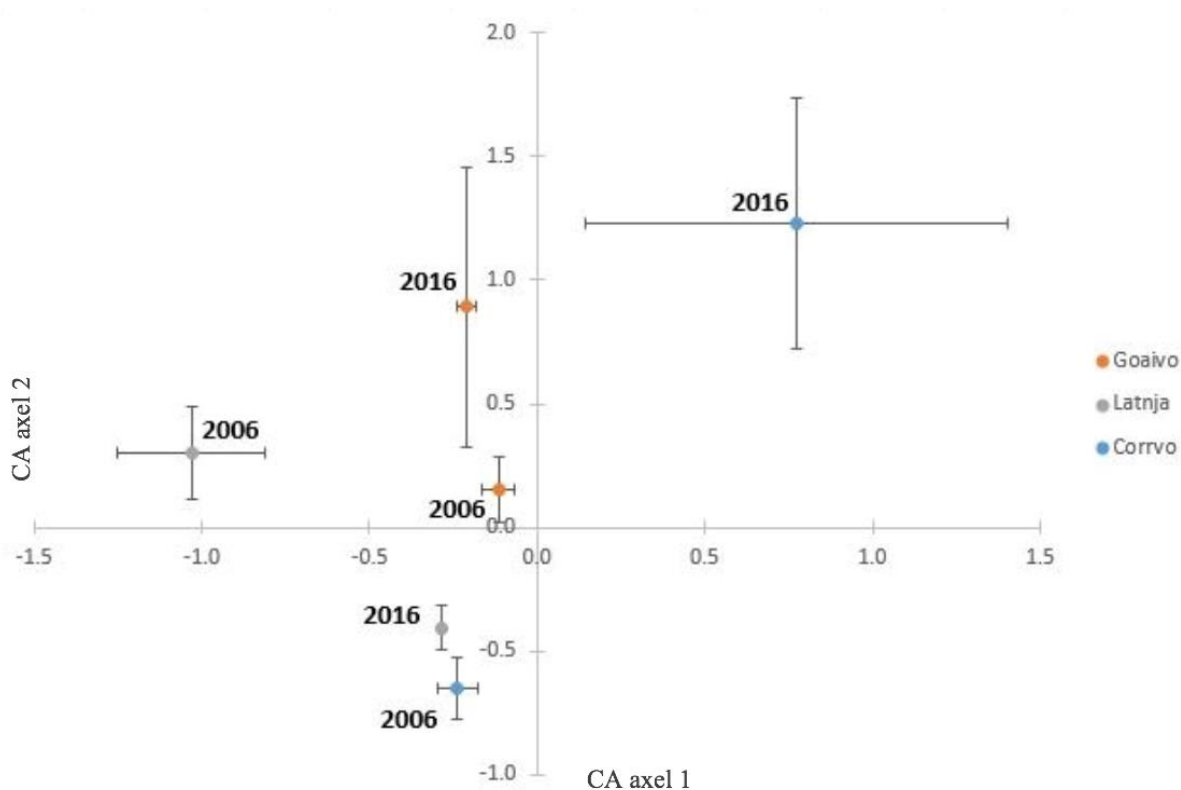
Vad beträffar de källor som ligger till grund för studien handlar det om data som institutionerna (institutionen för geovetenskap samt institutionen för biologi- och miljövetenskap) samlat in samt vetenskapliga artiklar kopplade till ämnet. Delvis är dessa artiklar också kopplade till undersökningar i studieområdet.

Källornas trovärdighet har bland annat kunnat stärkas då samma information återfunnits i flera artiklar och annan publikation. De uppsatser som används som källor anses trovärdiga då de är godkända och publicerade. Främst är det vetenskapliga artiklar som förekommer, men även källor från svenska myndigheter, såsom Naturvårdsverket har används.

## 5. Resultat

### 5.1 Vegetation

Resultatet av den multivariata analysen (Figur 4) visar förekomsten av arter, så kallade *träffar*, som noterats vid vegetationsinventeringarna. Resultatet visar att Corrvo har genomgått den största förändringen i förändrad vegetation, följt av Latnja och sedan Goaivo. En ökning eller minskning av en viss vegetationstyp genererar en större förändringsstorlek i analysen. Resultatet av den multivariata analysen (Figur 4) som presenteras i detta arbete representerar 16.7 % av den totala variationen av datasetet.



Figur 4. Multivariat analys. En ökning eller minskning av en viss vegetationstyp genererar en större förändringsstorlek i analysen.

Figure 4. Multivariate analysis. An increase or decrease of a certain vegetation type generates a wider gap between year/site.

Det totala antalet vegetationsträffar vid inventeringarna år 2006 och 2016 visar på en total minskning av vegetation (se Tabell 2). Störst förändring i antalet träffar uppvisas vid Latnja, följt av Goaivo och Corrvo. Vid Goaivo återfanns år 2006 sex stycken olika arter, 2016 återfanns 17 olika arter. Vid Latnja år 2006 påträffades 15 olika arter och 2016 14 olika arter. Dock handlar detta om arter som försvunnit efter år 2006, såsom *Petasites frigidus* (fjällskräp) och *Loiseleuria procumbens* (krypljung), varpå helt nya arter tillkommit vid 2016 års

inventering, såsom *Vaccinium myrtillus* (blåbär) och *Rubus chamaemorus* (hjortron). Corrvo påvisar störst förändring i antalet arter, med sina 17 olika arter år 2006 och 33 olika arter år 2016. Vid Goaivo har exempelvis *Equisetum arvense* (åkerfräken) minskat, medans arten har ökat vid Corrvo.

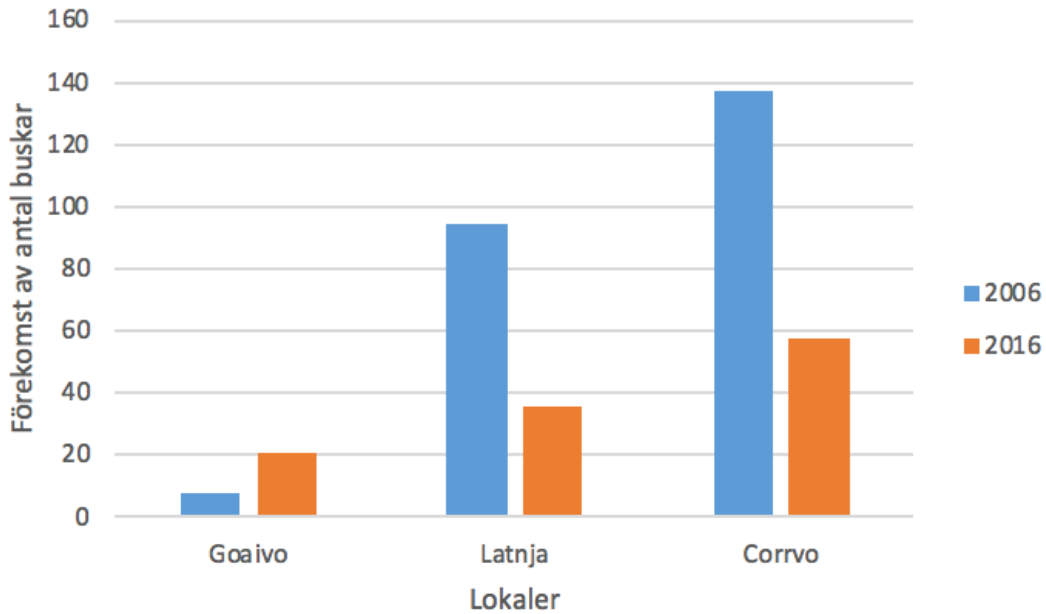
Enligt Tabell 2 uppvisar Corrvo på minst procentuell förändring vad gäller antal träffar av arter vid inventering. Dock är uppkomsten av nya arter störst vid denna lokal samt att några arter försvunnit sedan inventeringen 2006, vilket innebär att störst förändring i vegetation skett vid Corrvo.

Tabell 2. Förekomsten av arter (antalet träffar) vid inventeringar av vegetation år 2006 och 2016 samt procentuell förändring.

Table 2. Presence of species (number of hits) in vegetation inventories year 2006 and 2016 and change in percent.

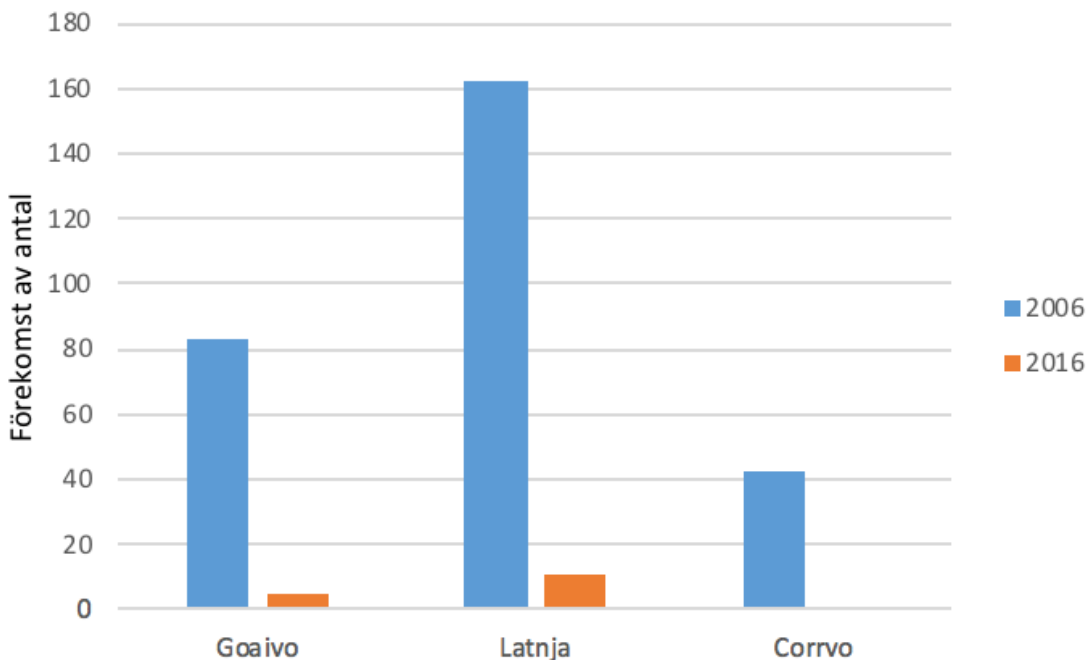
Lokal	2006	2016	Förändring (%)
Latnja	325	70	78.5
Corrvo	272	163	40.1
Goaivo	286	109	61.9

Inventeringarna 2016 visar på en minskning i antal träffar på buskar vid både Latnja och Corrvo där antalet träffar har mer än halverats, vid Goaivo noteras en ökning av buskar (se Figur 5).



Figur 5. Utveckling av buskarter vid lokalerna vid inventeringar år 2006 och 2016.  
 Figure 5. Development of bush species in inventories at sites year 2006 and 2016.

Inventeringarna visar på stor förändring av *Eriophorum vaginatum* vid alla tre lokaler. Mest påtaglig är utvecklingen vid Latnja där den varit vanligt förekommande vid 2006 inventering, men återfinns bara ett fåtal gånger 2016. Vid Corvo har den försvunnit helt (se Figur 6).



Figur 6. Utveckling av *Eriophorum vaginatum* vid lokalerna vid inventeringar år 2006 och 2016.  
 Figure 6. Development of *Eriophorum vaginatum* in inventories year 2006 and 2016 at sites.

## 5.2 Klimat

Majoriteten av tiden under denna 10 årsperiod (2006-2016) mellan inventeringarna har årsmedeltemperaturen vid markytan varit över 0°C med undantag för år 2010 samt 2012, då tjälen inte antas gått ur under sommaren (se Figur 7). Dock är detta inte en period på minst två år, vilket innebär att den frusna marken inte kan klassas som permafrost och uppfyller därmed inte definitionen för permafrost. Det var dessutom stor variation i medeltemperatur mellan 2010 och 2012, då 2011 uppvisar över 1°C vid alla tre lokaler.

År 2006 och 2016, åren för inventeringarna av vegetation, uppvisar snarlika marktemperaturer, år 2016 till och med runt en halv grad kallare än 2006. Däremot har medeltemperaturen 2013-2016 legat på en jämnare nivå över 0,5°C till skillnad från 2006-2009 då medeltemperaturen visar på en sjunkande trend (se Figur 7).



Figur 7. Årsmedeltemperatur mark (°C) vid respektive lokal år 2006-2016.

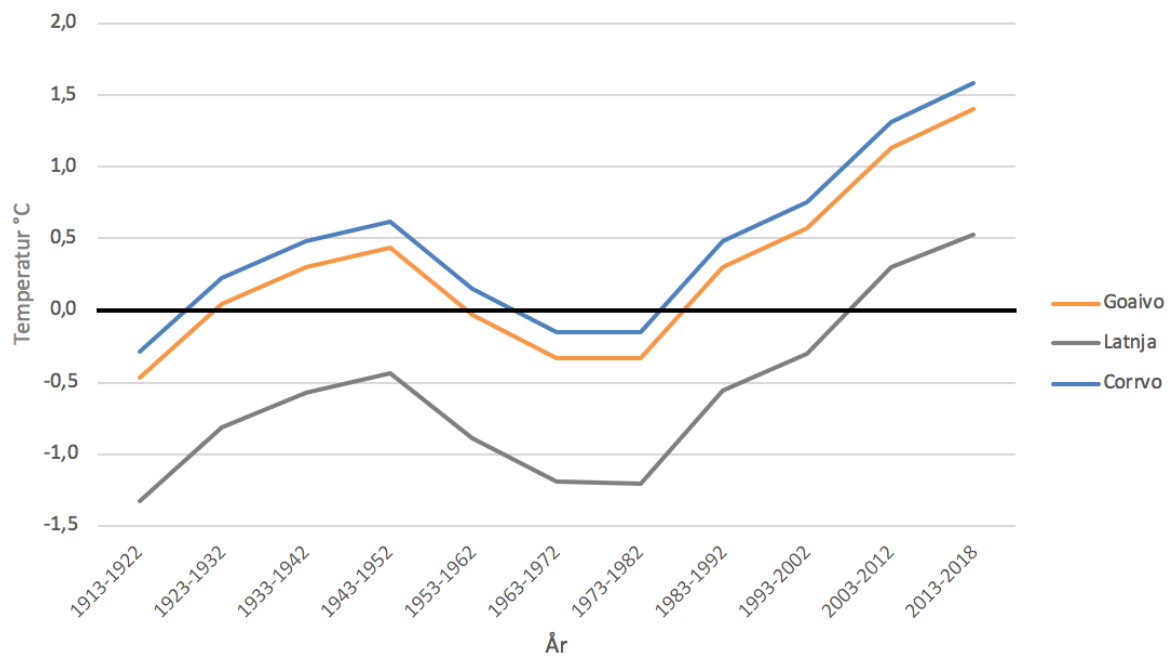
Figure 7. Annual average soil temperature (°C) at sites year 2006-2016.

Figur 8 illustrerar de tidsperioder då det potentiellt sett borde funnits permafrost vid studiens lokaler. Figur 9 presenterar den data som legat till grund för 10-års intervallerna i Figur 8. Med hjälp av denna uträkning går det att utläsa perioder då permafrost potentiellt borde funnits vid lokalerna. Denna beräkning kan således sedan ligga till grund för en modellering över permafrostutbredningen i området och när den beräknas försvunnit (se Figur 10 för

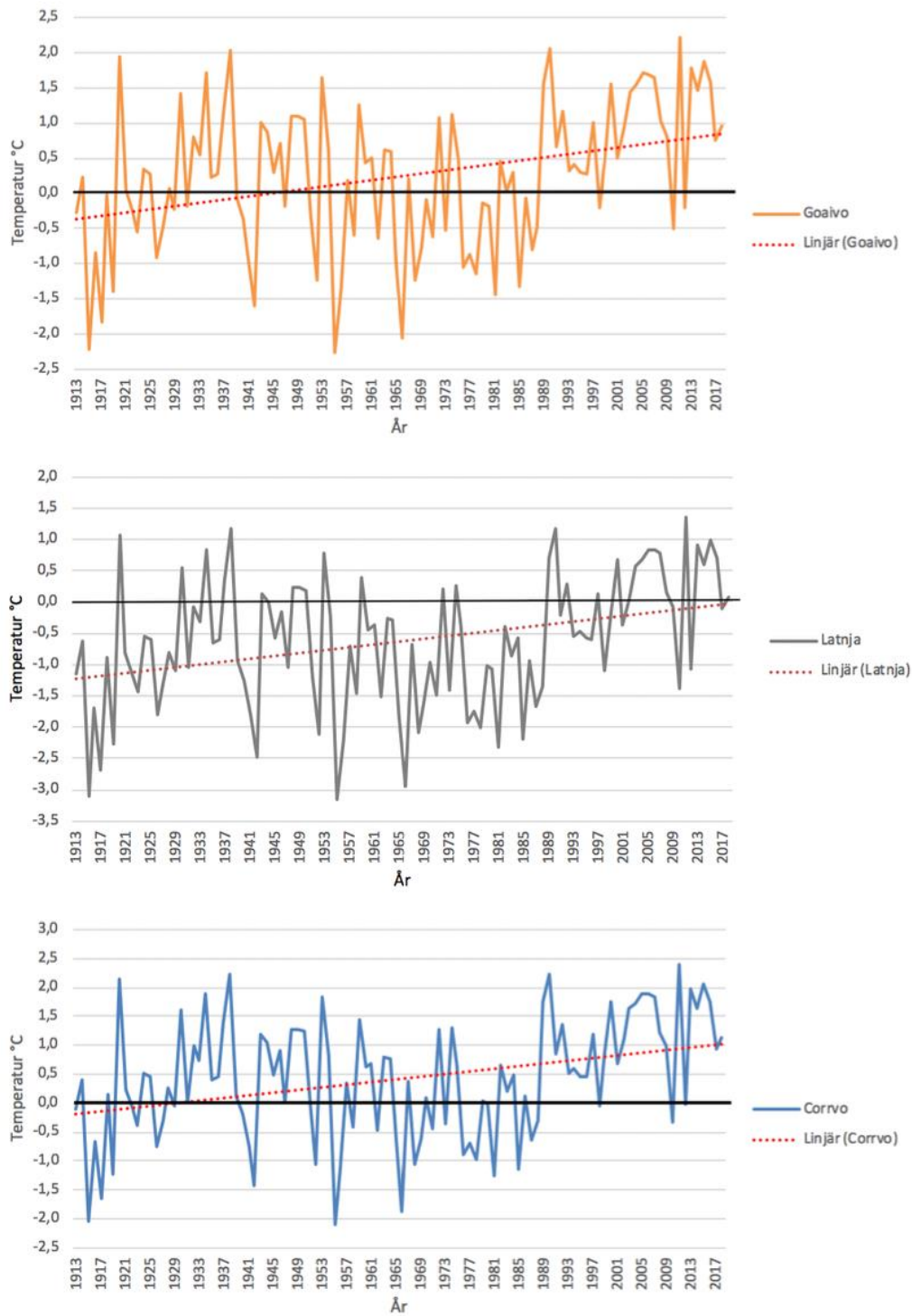


modellering). Figur 8 visar att mellan år 1980 och 1990 ökar medeltemperaturen stadigt, en trend som inte avvikts från fram till och med 2018. Permafrost återfanns vid Latnja fram till och med 1990-talet. Fram till och med 2018 har ingen permafrost återkommit till någon av lokalerna.

Figur 7 och Figur 9 visar årsmedeltemperaturer i markytan vid respektive lokal. Skillnaden är dock att Figur 9 uppvisar data från mer än ett sekel tillbaka, medans Figur 7 endast för ett decennium. Ju kortare tidsspänn som behandlas desto mer “väderkänsligt” blir resultatet. Desto längre tidsspänn som finns att analysera desto mer kan sägas om klimatet och eventuella förändringar. Kurvan plattas ut och kraftiga svängningar bakas in.



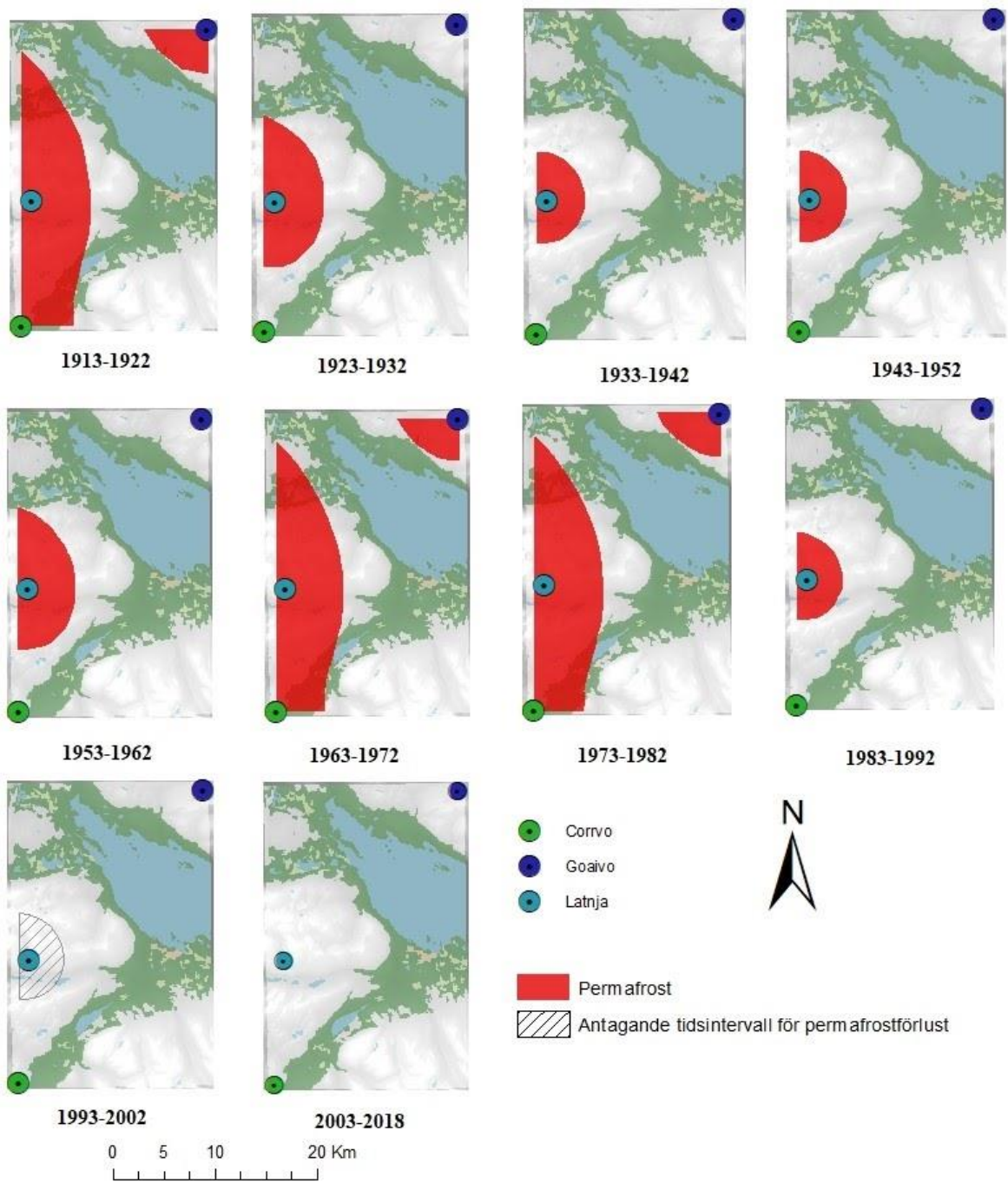
Figur 8. 10-års intervaller för årsmedeltemperatur mark °C vid respektive lokal mellan åren 1913-2018.  
 Figure 8. 10 year block averages for soil temperature °C at sites during year 1913-2018.



Figur 9. Årlig medeltemperatur mark (°C) vid lokalerna år 1913-2018  
 Figure 9. Annual mean temperature soil (°C) at sites year 1913-2018.

### ***5.3 Permafrost***

Figur 10 visar en permafrostmodellering över studieområdet. Modelleringen visar att perioden 1973-1982 var senaste tidsintervallet då permafrost beräknas funnits hos alla tre lokaler samtidigt. Någon gång mellan 1983-1992 förväntas permafrosten ha försvunnit från Corrvo och Goaivo och har sedan dess inte återkommit. Vid Latnja beräknas permafrosten försvunnit sist. Detta beräknas ha inträffat någon gång mellan 1993-2002. Permafrosten uppvisar viss dynamik då den minskar markant mellan år 1923-1952 och först år 1963-1972 syns samma utbredning som första intervallet år 1913-1922. Under 1980-talet minskar permafrostutbredningen rejält och uppvisar en icke återkommande trend - och då även vid Latnja.



Figur 10. Permafrostmodellering vid respektive lokal.  
 Figure 10. Permafrost modelling at sites.

## 6. Diskussion

### 6.1 Förändringar i vegetation

Sett till den multivariata analysen (Figur 4) uppvisar samtliga tre lokaler tecken på förändring i vegetation vid inventeringarna under åren 2006 och 2016. Nya arter har tillkommit, förekomsten av vissa arter har ökat, andra har minskat och vissa arter har försvunnit helt. Vad som främst skiljer lokalerna åt är deras geografiska position, de är belägna på olika höjdmeter vilket påverkar mark- och lufttemperatur som i sin tur kan komma att påverka uppkomsten av vegetation.

Störst förändring i vegetation går att urskilja vid Corrvo där fler arter påträffades 2016, jämfört med 2006, såsom *Solidago virgaurea* (gullris) och *Salix lapponum* (lappvide). Vid Latnja går det att påvisa viss förändring, bland annat har *Eriophorum vaginatum* minskat drastiskt. Goaivo uppvisar minst förändring i vegetation av de tre lokalerna, även om det går att utläsa att en förändring ägt rum. Latnja år 2016 efterliknar Corrvo år 2006 och det går att utläsa att vegetationen drar i samma riktning. Enligt permafrostmodelleringen drog permafrosten sig undan i Corrvo 20-30 år tidigare än i Latnja, vilket indikerar ett framtidsscenario där Latnjas vegetation om ytterligare 10-15 år kan komma att efterlikna Corrvos som den var år 2016. Vad som tros driva förändringen i Corrvo och bidrar till att Corrvo 2016 utmärker sig i analysen tros vara *Salix lapponum*. Arten hittades inte vid inventeringarna år 2006, utan förekom endast 2016. Att störst förändring skett vid Corrvo kan kopplas till lokalens geografiska position. Corrvo är den lokal som är belägen längst söderut av de tre lokalerna, dessutom är Corrvo också lägst beläget över havet. Detta är faktorer knutna till temperatur och har möjligen varit bidragande orsaker till att Corrvo värmts upp fortast vilket kan ha påverkat vegetationsutvecklingen.

Nyttillkomna arter påträffades vid samtliga lokaler, trots att totala antalet träffar av vegetation minskat vid lokalerna. Detta tyder på en förändring i vegetationstäcket. Att det återfunnits nya arter vid samtliga lokaler vid 2016 års inventering skulle kunna kopplas till stigande medeltemperaturer då fler arter finner dessa lokaler lämpliga för fortplantning.

De förändringar i vegetationen som kunnat påvisas beror troligen på temperaturförändringar. Trots att temperaturserien visar att markmedeltemperaturen varit snarlik under 2006 och 2016 har vegetationen förändrats hos samtliga tre lokaler. Detta tros vara på grund av förlusten av

permafrost någon gång runt millennieskiftet och därefter har markmedeltemperaturen stigit stadigt med undantag för åren 2010 och 2012, då kallare temperaturer uppmätts. Då årsmedeltemperaturen visar på en fortsatt stigande trend efter 2016 kan det antas att vegetationen kommer fortsätta förändras och bidra till grönifiering i området.

I samband med ökade temperaturer kan trädgränsen komma att förflyttas till högre latituder än tidigare. Om trädgränsen flyttas uppåt kan detta också vara en faktor som kan komma att påverka vegetationsutvecklingen (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2015).

## 6.2 Permafrost

Enligt modelleringen (Figur 10) beräknas permafrosten legat kvar längst vid Latnja och försvunnit någon gång under mitten på 1990-talet. Resultatet i Figur 10 kan till viss del styrkas genom vad tidigare studier presenterar. År 1993 återfanns permafrost vid Latnja då fältbesök gjordes och kunde verifieras med grävning. År 2001 var ett forskningsteam från Uppsala universitet vid lokalen och då fann man inte någon antydning till permafrost. Brinkman fann inte vid inventeringarna år 2006 någon permafrost vid Latnja. Däremot återfann Brinkman permafrost vid Goaivo. Vid Corrvo hittades ingen permafrost (Molau, 2010). Att det år 2006 enligt Brinkman (2006) skulle funnits permafrost vid Goaivo är ett resultat som skiljer sig från vad denna studie kom fram till vid permafrostmodelleringen (se Figur 10). Att permafrosten låg längst vid Latnja kan vara förenligt med lokalens höjd, detta då Latnja är den högst belägna lokalen (m.ö.h.) i studieområdet. Vidare har lokalen uppvisat lägre medeltemperaturer i både luft och mark, vilket kan antas vara en drivande faktor i utvecklingen av lokalens vegetation. Goaivo är beläget längst norrut och visar på en mindre, men märkbar, förändring. Detta skulle kunna bero på Goaivos geografiska position och det skulle därav kunna utläsas ett samband mellan påvisad förändring i vegetation och latitud.

Fortsättningsvis finns fler faktorer som kan påverka vegetationsutvecklingen vid lokalerna. En av dessa skulle kunna vara höjden och kopplingen till permafrost. Permafrosten försvann sist vid Latnja, som är högst beläget av alla tre lokaler, vilket högst troligt har påverkat vegetationen vid denna lokal så till vida att vid 2006 års inventering återfanns *Eriophorum vaginatum* i stor mängd, ett decennium senare, 2016, var träffarna avsevärt färre. Tidigare studier har undersökt *Eriophorum vaginatum*s utveckling vid varmare klimat och konstaterat att arten kan komma att utkonkurreras av buskar och boreal skog (Souther, Fetcher, Fowler,

Shaver & McGraw, 2014). Samtidigt som tidigare studier även konstaterar att arten ökar vid varmare klimat (Johansson et al, 2013). Detta indikerar att det är fler aspekter än höjden över havet som påverkar utvecklingen av *Eriophorum vaginatum*. Johansson et al (2013) menar att framtida subarktiska landskap är beroende av ett komplext samspel mellan snötäcke, vegetation och permafrost för att klara av ett varmare klimat, något som kan tänkas mycket troligt.

Tidigare studier har kunnat uppvisa en förbuskning i Abiskoområdet såväl som i andra tundraområden (Elmendorf et al, 2012). Denna studie skiljer sig från det resultat som presenteras i detta arbete (se Figur 5) vad avser det faktum att en förbuskning endast går att påvisa i Goaivo och att en utbredd förbuskning hos studiens samtliga lokaler ej går att konstatera. Denna studie bekräftar däremot tidigare studier om ett varmare klimat och temperaturökningar samt att dessa bidrar till förändringar som påverkar tuvullstundran och dess komposition (Elmendorf et al, 2012; Biskaborn et al, 2019).

Vidare belyser denna studie och tillika kandidatexamensarbete naturens omfattande komplexitet och hur utdragna processer i naturen kan vara, inte minst vad gäller degradering av permafrost. Noterbara förändringar i till exempel vegetationstäckets kan skådas först “nu”, men likväl kan dessa förändringar vara effekter av en kedja händelser som sträcker sig årtionden tillbaka i historien, ett exempel som kan tyda på detta är att vid Latnjas vegetationsinventering år 2006 hade permafrosten varit försvunnen i cirka 10 år, sett till permafrostmodelleringen i denna studie. Eventuellt var marken då, år 2006, fortfarande tillräckligt kall och trivsamt för att *Eriophorum vaginatum* skulle kunna växa, vilket skulle kunna vara förklaring till de minskningar vi ser av arten år 2016. Vidare kan man också diskutera att det möjligen borde ta tid för arter att bli utkonkurrerade. En direkt koppling mellan ett varmare klimat och en förändring i vegetation går att utläsa, snarare än en direkt korrelation mellan degraderingen av permafrost och förändringar i vegetation.

### **6.3 Metoddiskussion**

Med hjälp av den multivariata analysen har en djupare och mer komplex förståelse för förändringar i vegetation hos studieområdets lokaler åskådliggjorts, framförallt då en multivariat analys innefattar fler dimensioner av ett dataset.

Då den temperaturdata som legat till grund för studien har bearbetats och räknats om med hjälp av tumregler är det viktigt att ha i åtanke att lokala avvikelser kan förekomma. För att få en mer korrekt bild av utbredningen av permafrost bör fler aspekter tas i beräkning såsom solinstrålning, nederbörd och geologiska egenskaper, dock är den mest avgörande faktorn i just detta fall höjden, något som tidigare studier på området understryker (Marklund, 2011; Ridefelt et al, 2008). Dock finns fler metoder vid modellering av permafrost, data bestående av bastemperatur av snötäcket skulle möjligen kunna generera ett mer pålitligt resultat vad gäller modellering av permafrost, något som Hällberg (2018) gjorde vid permafrostmodellering med data inhämtad från Tarfaladalen, cirka 50 kilometer söder om Abisko. Även Hällberg (2018) nämner att det är höjden (m.ö.h) som är den främsta avgörande parametern vid modellering av permafrost, vilket är den parameter som denna studie använder sig av.

Klimatet är ett dynamiskt, oberäkneligt och ickelinjärt system (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2015). Vid arbete med klimatdata krävs ett kritiskt förhållningssätt, då klimatdata är känsliga och komplexa data att arbeta med, med flera variabler att ta hänsyn till.

Temperaturserien i Figur 8 visar på en stadig ökning, även om den inte visar de senaste åren går det att koppla till degraderingen av permafrost vid lokalerna. Detta har påverkat vegetationen och kommer antagligen fortsätta att påverka.

Vad beträffar modelleringen av potentiell permafrost ska återigen nämnas att denna endast modellerats utifrån temperatur och höjd som variabler för vilka areal i studieområdet som troligtvis någon gång haft permafrost samt ungefär när denna försvunnit. Det är således en enkel modellering och bör läsas med viss reservation, exempelvis har aspekter såsom potentiell solinstrålning och geologiska egenskaper inte tagits med i beräkningarna. Det hade varit möjligt att bygga en modell i ArcGIS varpå önskade variabler kunde läggas in, något som dock inte gjordes i detta arbete, främst på grund av att detta inte rymdes inom tidsramarna för denna kandidatuppsats. Vidare har modelleringen baserats på en dataserie med lufttemperatur i Abisko. Denna har kalkylerats om till marktemperatur med hjälp av tumregeln att marktemperaturen vid ytan i regel är 3,5°C varmare än lufttemperaturen. Dessutom har tumregeln att lufttemperatur sjunker med 0,63°C per 100 höjdmeter tillämpats för att få fram ett temperaturvärde för respektive lokal. Återigen så är det en grov analys som gjorts över permafrostutvecklingen i studieområdet, vilken är baserad på antaganden och som



därför bör betraktas som ett komplement till studien, snarare än ett resultat. Modelleringen avses endast verka som modell för att uppbringa nya kunskapsluckor, frågeställningar och hypoteser. Yang et al (2011) menar på att metoden att modellera permafrost baserat på temperaturdata generellt applicerbar i andra liknande miljöer, något som stärker tillvägagångssättet för studiens permafrostmodellering. Även Ridefelt et al (2008) utgår från marktemperatur i sin studie av permafrost, också den från Abiskoregionen, dock inte från samma lokaler som i denna kandidatuppsats. Ridefelt et al (2008) använde sig av en längre dataserie över lufttemperaturen och konstaterar en uppåtgående temperaturtrend, liknande upptäckter har också rapporterats från lokaler i Island och Norge (Ibid).

#### ***6.4 Fortsatta studier***

I ljuset av permafrostens känsliga natur gentemot klimatuppvärmning bör de förändringar i landskapet som kan associeras med upptiningen av permafrost samt dess distribution, egenskaper och förändring i norra Skandinavien vidare efterforskas (Ridefelt et al, 2008). Fortsättningsvis är det inte enbart lokala faktorer som påverkar utvecklingen i studieområdet, när man har för avsikt att arbeta med klimat och klimatförändringar så ska komplexiteten i klimatdata inte underskattas. Flera faktorer spelar in och förändringar på andra platser kan ha påverkat utvecklingen vid lokalerna, till exempel säger denna studie inte något om varför permafrosten försvann när den gjorde, utan bara vid vilken tidpunkt den antas försvunnit.

Inte heller tas renbete i beaktning (Volwes et al, 2017), något som skulle kunna ha viss bidragande orsak till varför resultatet inte påvisar en förbuskning i samtliga av studiens lokaler.

Avslutningsvis så kommer här tre förslag på nya kunskapsluckor att presenteras, samt hur de kan fyllas; först och främst hade det varit intressant att göra en uppföljning efter ytterligare 10 år, det vill säga år 2026, för nytt fältbesök och inventering av vegetation. Hur, eller har, vegetationen förändrats mellan år 2016 och 2026 samt 2006 och 2026?

En andra frågeställning som uppdragats under arbetets gång är varför endast en av studiens tre lokaler uppvisar en förbuskning - och inte samtliga. Med bakgrund i förbuskning av tundraregioner till följd av ett varmare klimat - varför sticker just detta studieområde ut och går "mot strömmen"? Detta hade kunnat undersökas genom en fallstudie för att finna reda på

vilka parametrar som bidrar till att en förbuskning inte tagit plats i området såsom det tidigare påvisats i likartade regioner.

En tredje undersökningsmöjlighet är att utnyttja det optiska instrumentet LiDAR för att kunna mer detaljrikt modellera potentiell uppkomst av högre vegetation (förbuskning). Detta förslagsvis i kombination med en mer fördjupad modellering av permafrost, Ridefelt et al (2008) föreslår exempelvis framtida modelleringar kompletterade med mer extensiva, direkta permafrostobservationer genom exempelvis geofysiska närmanden och borrhålstekniker,

## 7. Slutsatser

Vad denna studie kan fastslå är att vegetationen har förändrats vid Corrvo, Latnja och Goaivo. Nya arter har tillkommit såsom *Vaccinium myrtillus* och *Solidago virgaurea*. Vissa arter har minskat, såsom *Eriophorum vaginatum*, samtidigt som vissa arter har försvunnit helt, som *Loiseleuria procumbens*. Vissa arter har minskat vid en lokal, medans det tillkommit fler vid en annan. Vid Goaivo har exempelvis *Equisetum arvense* minskat, medans arten har ökat vid Corrvo.

Det har skett en temperaturökning i studieområdet, en trend som pågått i decennier. Ett varmare klimat tros ha bidragit till minskningen av *Eriophorum vaginatum* samt bidragit till uppkomsten av nya arter. En koppling mellan ett varmare klimat och en förändring i vegetation går att utläsa, snarare än en direkt korrelation mellan degraderingen av permafrost och förändringar i vegetationstäcket. Dock har upptiningen av permafrost i området skett långsamt och över tid, i takt med varmare temperaturer, varpå en minskning av *Eriophorum vaginatum* indirekt kan vara respons på degraderingen av permafrost. En förbuskning noteras vid Goaivo, dock inte vid Latnja och Corrvo, ett resultat som var oväntat.

Vidare belyser denna studie naturens omfattande komplexitet, att flera fenomen är sammanfogande och att processer i naturen kan vara utdragna. Noterbara förändringar i till exempel vegetationstäcket kan skådas först “nu”, men likväl kan dessa förändringar vara effekter av en kedja händelser som sträcker sig årtionden tillbaka i historien, i detta fall exempelvis vad gäller degraderingen av permafrost.

## 8. Referenser

Berglov, G., Asp, M., Berggreen-Clausen, S., Bjorck, E., Axén Martensson, J., Nylén [...] Sjøkvist, E. (2015). *Framtidsklimat i Norrbottens län - enligt RCP-scenarier*. 32(2015). SMHI Klimatologi.

Biskaborn, B. K., Smith, S. L., Noetzli, J., Matthes, H., Vieira, G., Streletskiy, D. A. [...] Lantuit, H. (2019). Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communications*. 10(264). doi: 10.1038/s41467-018-08240-4

Bjorkman, A., Myers-Smith, I., Elmendorf, S., Normand, S., Rüger, N., Beck, P. [...] Weiher, E. (2018). Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature*. 562(2018). doi: 10.1038/s41586-018-0563-7

Blok, D., Heijmans, M. M. P. D., Schaepman-Strub, G., Kononov, A. V., Maximov, T. C. & Berendse, F. (2009). Shrub expansion may reduce summer permafrost thaw in Siberian tundra. *Global Change Biology*. 2010(16). s. 1296-1305. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02110.x

Boelman, N.T., Stieglitz, M., Griffin, K.L. & Shaver, G.R. (2005) *Inter-annual variability of NDVI in response to long-term warming and fertilization in wet sedge and tussock tundra*. *Oecologia* 143: 588-597

Bogren, J., Gustavsson, T. & Loman G. (2008). *Klimat och väder*. Lund: Studentlitteratur.

Brinkman, S. (2006). *Tussock Tundra in the Northern Scandes*. (Masteruppsats). Göteborg: Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs universitet.

Brown, J., Hinkel, K. M. & Nelson, F. E. (2000). The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Data Collection, Management, and Dissemination Strategies. *Polar Geography*. (24)3.

Callagahn, T. V., Bergholm, F., Christensen, T. R., Jonasson, C., Kokfelt, U. & Johansson, M. (2010). A new climate era in the sub-Arctic: Accelerating climate changes and multiple impacts. *Geophysical Research Letters*. 37(2010). doi: 10.1029/2009GL042064

Elmendorf, S. C., Henry, R. D., Hollister, R. D., Bjork, R. G., Boulanger-Lapointe, N., Cooper, E. J., [...] Wipf, S. (2012). Plot-based evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming. *Nature Climate Change*. 2(2012). doi: 10.1038/NCLIMATE1465

EU Interact (2017). *Abisko Scientific Research Station*. Hämtad 2020-04-16 från <https://eu-interact.org/field-sites/abisko-scientific-resarch-station/>

Gisnas, K., Etzelmüller, B., Lusanna, C., Hjort, J., Sannel, B., Isaksen, K. [...] Åkerman, J. (2016). Permafrost Map for Norway, Sweden and Finland. *Permafrost and Periglacial Processes*. 28(2017). s. 359-378. doi: 10.1002/ppp.1922

Hallberg, P. (2018). *Permafrost Modelling and Climate Change Simulations in Northern Sweden*. (Kandidatuppsats). Uppsala: Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet.

Harris, R. & Jarver, C. (2011). Data, statistics and geography. I: Harris & Jarver (Red.). *Statistics for Geography and Environmental Science*. s. 1-16. New York: Routledge Taylor & Francis Group.

ICOS Sweden (2018a). *Geology and Soil*. Hämtad 2020-04-26 från [https://www.icos-sweden.se/station\\_stordalen.html](https://www.icos-sweden.se/station_stordalen.html)

ICOS Sweden (2018b). *Climate*. Hämtad 2020-04-16 från [https://www.icos-sweden.se/station\\_stordalen.html](https://www.icos-sweden.se/station_stordalen.html)

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press. Hämtad 2020-06-09 från [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf)

IPCC (2018). *Special report: Global Warming of 1.5°C*. Hämtad 2020-06-09 från <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>

International Permafrost Association (u. å.). *What is permafrost?* Hämtad 2020-05-18 från <https://ipa.arcticportal.org/publications/occasional-publications/what-is-permafrost>

Johansson, M., Akerman, J., Keuper, F., Christensen, T. R., Lantuit, H. & Callaghan, T. V. (2011). Past and Present Permafrost Temperatures in the Abisko Area: Redrilling of Boreholes. *AMBIO*. 40(2011). s. 558-565. doi: 10.1007/s13280-011-0163-3

Johansson, M., Callaghan, T.V., Bosio, J., Akerman, J., Jackowicz-Korczynski, M. & Christensen, T.R. (2013). Rapid responses of permafrost and vegetation to experimentally increased snow cover in sub-arctic Sweden. *Environmental Research Letters*. 8(3). Hämtad 2020-06-10 från <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/035025/meta>

Länsstyrelsen Jämtlands Län (2015). *Trädgräns i fjällen*. Hämtad 2020-04-16 från <https://www.lansstyrelsen.se/jamtland/tjanster/publikationer/2015/tradgrans-i-fjallen.html>

Marklund, P. (2011). *Alpin permafrost i Kebnekaisefjällen: Modellering med logistisk regression och BTS-data*. (Kandidatuppsats). Uppsala: Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

McCalley, C. K., Woodcroft, B. J., Hodgkins, S. B., Wehr, R. A., Kim, E. H, Mondav, R. [...] Saleska, S. R. (2014). Methane dynamics regulated by microbial community response to permafrost thaw. *Nature*. 514(2014). s. 478-481. doi: 10.1038/nature13798

Miljostatistik.se (u. å.). *Att analysera flera variabler samtidigt - en introduktion till multivariata metoder*. Hämtad 2020-04-13 från <http://www.miljostatistik.se/multivariat.html>

Molau, U. (2010). Long-term impacts of observed and induced climate change on tussock tundra near its southern limit in northern Sweden. *Plant Ecology & Diversity*. 3(1). s. 29-24. doi: 10.1080/17550874.2010.487548

Molau, U. & Molgaard, P. (1996). *ITEX Manual*. Andra upplagan. Köpenhamn: Danish Polar Center.

Myers-Smith, I. H., Elmendorf S. C., Beck, P. S. A., Wilmking, M., Hallinger, M., Blok, D. [...] Vellend, M. (2015). Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome. *Nature climate change*. vol 5. doi: 10.1038/NCLIMATE2697

Payton, M. E., Greenstone, M. H., & Schenker N (2003). Overlapping confidence intervals or standard error intervals: What do they mean in terms of statistical significance? *Journal of Insect Science*. 3(34) s. 6.

Payton, M. E., Miller A. E. & Raun W. R (2000). Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31(2000). s. 547-551.

Pesqueda, A. (2018). *Effects of soil environmental factors on methanogenic and methanotrophic diversity in regions of permafrost loss during the summer*. (Masteruppsats). Institutionen för biologi- och miljövetenskap, Göteborgs universitet.

Polarforskningssekretariatet (2017). *Skog- och trädgräns*. Hämtad 2020-04-16 från <https://polar.se/forskning-i-abisko/abiskoogat-med-fokus-pa-klimat/skogs-och-tradgrans/>

Polarisen (u. å.). *Fördjupning permafrost*. Hämtad 2020-05-08 från <https://polarisen.se/klimat/land/permafrost/fordjupning-permafrost/>

Ridefelt, H., Eitzelmüller, B., Boelhouwers, J. & Jonasson, C. (2008). Statistic-empirical modelling of mountain permafrost distribution in the Abisko region, sub-Arctic northern Sweden. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*. 62(2008). s. 278-289. doi: 10.1080/00291950802517890

Souther, S., Fetcher, N., Fowler, Z., Shaver, G.R. & McGraw, J. B. (2014). Ecotypic differentiation in photosynthesis and growth of *Eriophorum vaginatum* along a latitudinal gradient in the Arctic tundra. *Botany*. 92(8). s. 551-561. doi: 10.1139/cjb-2013-0320

Sundell, A. (2013, 11 mars). Guide: Stapeldiagram med error bars. [Blogginlägg]. Hämtad 2020-05-18 från <https://spssakuten.com/2013/03/11/guide-stapeldiagram-med-error-bars/>

Turetsky, M. R., Abbott, B. W., Jones, M. C., Anthony, K. W., Olefeldt, D., Schuur, E. A. G. [...] Sannel, A. B. K. (2019). Permafrost collapse is accelerating carbon release. *Nature*. 569(2019). doi: 10.1038/d41586-019-01313-4

Volwes, T., Gunnarsson, B., Molau, U., Hickler, T., Klemmedtsson, L. & Björk, R. G. (2017). Expansion of deciduous tall shrubs but not evergreen dwarf shrubs inhibited by reindeer in Scandes mountain range. *Journal of Ecology*. 105(2017). s. 1547-1561. doi: 10.1111/1365-2745.12753.

Yang, Z., Hanna, E., Callaghan, T. V. & Jonasson, C. (2011). How can meteorological observations and microclimate simulations improve understanding of 1913-2010 climate change around Abisko, Swedish Lapland? *Meteorological Applications*. 19(2012). s. 454-463.



## 9. Bilagor

Vetenskapligt namn	Svenska	Corrvosjávri 2006	Corrvosjávri 2016
<i>Antennaria alpina</i>	Fjällkattfot	7	0
<i>Astragalus spatulatus</i>	Spatulatus	0	6
<i>Bartsia alpina</i>	Svarthö	0	0
<i>Betula nana</i>	Dvärgbjörk	1	0
<i>Bistorta vivipara</i>	Ormrot	0	0
<i>Carex bigelowii</i>	Styvstarr	36	4
<i>Carex lachenalii</i>	Ripstarr	0	2
<i>Carex nigra</i>	Hundstarr	0	3
<i>Carex spicata</i>	Piggstarr	0	1
<i>Carex vaginata</i>	Slidstarr	0	0
<i>Cassiope hypnoides</i>	Mossjung	2	0
<i>Cassiope tetragona</i>	Kantjung	0	0
<i>Empetrum nigrum</i>	Kråkbär	0	0
<i>Epilobium anagallidifolium</i>	Dvärgdunört	0	2
<i>Equisetum arvense</i>	Åkerfräken	0	1
<i>Equisetum variegatum</i>	Smalfräken	3	7
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Ängsull	26	3
<i>Eriophorum vaginatum</i>	Tuvull	42	0
<i>Euphrasia wettsteinii</i>	Fjällögontröst	0	2
<i>Festuca vivipara</i>	Grodsvingel	0	1
<i>Gnaphalium supinum</i>	Fjällnoppa	0	2
<i>Harrimanella hypnoides</i>	Mossjung	3	0
<i>Juncus biglumis</i>	Polartåg	0	0
<i>Loiseleuria procumbens</i>	Krypljung	0	0
<i>Luzula multiflora</i>	Ängsfryle	1	0
<i>Pedicularis lapponica</i>	Lappspira	0	2
<i>Petasites frigidus</i>	Fjällskräp	3	2
<i>Phyllodoce caerulea</i>	Lappljung	0	0
<i>Pinguicula vulgaris</i>	Tätört	0	1
<i>Poa arctica</i>	Polargröe	0	0
<i>Ranunculus acris</i>	Smörblomma	4	11
<i>Rubus chamaemorus</i>	Hjortron	0	0
<i>Salix glauca</i>	Ripvide	26	0
<i>Salix herbacea</i>	Dvärgvide	80	15
<i>Salix lanata</i>	Ullvide	23	11
<i>Salix lapponum</i>	Lappvide	0	17
<i>Salix phylicifolia</i>	Grönvide	1	0
<i>Salix polaris</i>	Polarvide	3	11
<i>Salix reticulata</i>	Nätvide	0	1
<i>Solidago virgaurea</i>	Gullris	0	7
<i>Tarax</i>	Maskros	1	0
<i>Taraxacum crocodes</i>	Jämtlandsmaskros	0	6
<i>Tofieldia pusilla</i>	Björnbrodd	0	1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blåbär	0	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Lingon	0	0
<i>Veronica alpina</i>	Fjällveronika	0	1
<i>Viola biflora</i>	Fjällviol	2	7

Vetenskapligt namn	Svenska	Latnjajaure 2006	Latnjajaure 2016
<i>Antennaria alpina</i>	Fjällkattfot	1	0
<i>Astragalus spatulatus</i>	Spatulatus	0	0
<i>Bartsia alpina</i>	Svarthö	0	2
<i>Betula nana</i>	Dvärgbjörk	0	6
<i>Bistorta vivipara</i>	Ormrot	0	1
<i>Carex bigelowii</i>	Styvstarr	50	9
<i>Carex lachenalii</i>	Ripstarr	0	0
<i>Carex nigra</i>	Hundstarr	0	0
<i>Carex spicata</i>	Piggstarr	0	0
<i>Carex vaginata</i>	Slidstarr	0	1
<i>Cassiope hypnoides</i>	Mossljung	1	0
<i>Cassiope tetragona</i>	Kantljung	1	0
<i>Empetrum nigrum</i>	Kråkbär	2	2
<i>Epilobium anagallidfolium</i>	Dvärgdunört	0	0
<i>Equisetum arvense</i>	Åkerfräken	0	0
<i>Equisetum variegatum</i>	Smalfräken	1	0
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Ängsull	5	1
<i>Eriophorum vaginatum</i>	Tuvull	162	11
<i>Euphrasia wettsteinii</i>	Fjällögontröst	0	0
<i>Festuca vivipara</i>	Groddsvingel	0	0
<i>Gnaphalium supinum</i>	Fjällnoppa	0	0
<i>Harrimanella hypnoides</i>	Mossljung	0	0
<i>Juncus biglumis</i>	Polartåg	0	0
<i>Loiseleuria procumbens</i>	Krypljung	2	0
<i>Luzula multiflora</i>	Ängsfryle	0	0
<i>Pedicularis lapponica</i>	Lappspira	0	0
<i>Petasites frigidus</i>	Fjällskräp	2	0
<i>Phyllodoce caerulea</i>	Lappljung	9	32
<i>Pinguicula vulgaris</i>	Tätört	0	0
<i>Poa arctica</i>	Polargröe	0	0
<i>Ranunculus acris</i>	Smörblomma	10	6
<i>Rubus chamaemorus</i>	Hjortron	0	2
<i>Salix glauca</i>	Ripvide	1	0
<i>Salix herbacea</i>	Dvärgvide	34	7
<i>Salix lanata</i>	Ullvide	0	0
<i>Salix lapponum</i>	Lappvide	0	0
<i>Salix phylicifolia</i>	Grönvide	0	0
<i>Salix polaris</i>	Polarvide	0	0
<i>Salix reticulata</i>	Nätvide	0	0
<i>Solidago virgaurea</i>	Gullris	0	0
<i>Tarax</i>	Maskros	0	0
<i>Taraxacum crocodes</i>	Jämtlandsmaskros	0	0
<i>Tofieldia pusilla</i>	Björnbrodd	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blåbär	0	0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Lingon	21	11
<i>Veronica alpina</i>	Fjällveronika	0	0
<i>Viola biflora</i>	Fjällviol	0	0

Vetenskapligt namn	Svenska	Goaivojávri 2006	Goaivojávri 2016
<i>Antennaria alpina</i>	Fjällkattfot	0	0
<i>Astragalus spatulatus</i>	Spatulatus	0	0
<i>Bartsia alpina</i>	Svarthö	0	0
<i>Betula nana</i>	Dvärgbjörk	0	1
<i>Bistorta vivipara</i>	Ormrot	0	0
<i>Carex bigelowii</i>	Styvstarr	131	7
<i>Carex lachenalii</i>	Ripstarr	0	2
<i>Carex nigra</i>	Hundstarr	0	2
<i>Carex spicata</i>	Piggstarr	0	0
<i>Carex vaginata</i>	Slidstarr	0	0
<i>Cassiope hypnoides</i>	Mossljung	0	0
<i>Cassiope tetragona</i>	Kantljung	0	1
<i>Empetrum nigrum</i>	Kråkbär	0	0
<i>Epilobium anagallidifolium</i>	Dvärgdunört	0	0
<i>Equisetum arvense</i>	Åkerfräken	0	0
<i>Equisetum variegatum</i>	Smalfräken	33	24
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Ängsull	11	15
<i>Eriophorum vaginatum</i>	Tuvull	83	5
<i>Euphrasia wettsteinii</i>	Fjällögontröst	0	0
<i>Festuca vivipara</i>	Groddsvingel	0	0
<i>Gnaphalium supinum</i>	Fjällnoppa	0	0
<i>Harrimanella hypnoides</i>	Mossljung	0	11
<i>Juncus biglumis</i>	Polartåg	0	18
<i>Loiseleuria procumbens</i>	Krypljung	0	0
<i>Luzula multiflora</i>	Ängsfryle	0	0
<i>Pedicularis lapponica</i>	Lappspira	0	0
<i>Petasites frigidus</i>	Fjällskräp	0	0
<i>Phyllodoce caerulea</i>	Lappljung	0	2
<i>Pinguicula vulgaris</i>	Tätört	0	0
<i>Poa arctica</i>	Polargröe	0	2
<i>Ranunculus acris</i>	Smörblomma	0	2
<i>Rubus chamaemorus</i>	Hjortron	0	0
<i>Salix glauca</i>	Ripvide	0	0
<i>Salix herbacea</i>	Dvärgvide	8	16
<i>Salix lanata</i>	Ullvide	0	0
<i>Salix lapponum</i>	Lappvide	0	0
<i>Salix phylicifolia</i>	Grönvide	0	0
<i>Salix polaris</i>	Polarvide	0	2
<i>Salix reticulata</i>	Nätvide	0	0
<i>Solidago virgaurea</i>	Gullris	0	0
<i>Tarax</i>	Maskros	0	0
<i>Taraxacum crocodes</i>	Jämtlandsmaskros	0	0
<i>Tofieldia pusilla</i>	Björnbrodd	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blåbär	0	0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Lingon	0	0
<i>Veronica alpina</i>	Fjällveronika	0	0
<i>Viola biflora</i>	Fjällviol	0	0