

Palsdegradering i Arbuvuopmi mellan 1959 - 2016

- Inverkan av meteorologiska drivkrafter

**Johanna Rasmussen
Maryam Absuge**

**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
2021 B-1145**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

Palsdegradering i Arbuvuopmi mellan 1959 - 2016

- Inverkan av meteorologiska drivkrafter

**Johanna Rasmussen
Maryam Absuge**

ISSN 1400-3821

**B1145
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2021**

Sammanfattning

En pals är en känslig klimatmätare som består av både torv och permafrost. Palsar förekommer främst inom regioner med sporadisk permafrost. I dagsläget degraderas palsarna i stor omfattning och är således inte stabila. Degraderingen kan förklaras av de pågående klimatförändringarna som sker globalt runt om i världen. När en pals degraderas släpps höga mängder av lustgas (NO₂), metan (CH₄) samt koldioxid (CO₂) i atmosfären. Tidigare forskning indikerar även på att palsar kan komma att försvinna inom en snar framtid. Syftet med studien var att undersöka hur palsarna i Arbuvuopmi har förändrats i utbredning under perioden 1959-2016 med hjälp av ortofoton och flygbilder, samt om det finns en korrelation mellan förändring av palsyta och lufttemperatur och nederbörd. Arbuvuopmi är ett intressant område att studera eftersom det inte tidigare har gjorts liknande studier i området. I Arbuvuopmi förekommer det pals, och eftersom pals är en viktig naturtyp att bevara är den därmed väsentlig att undersöka.

Resultatet tyder på att den sammanlagda förlusten av palsyta i Arbuvuopmi är drygt -190 000 m² under perioden 1959-2016, vilket motsvarar en minskning på cirka -18% och en genomsnittlig årlig förändring på -0.35% år⁻¹. Degraderingshastigheten har varierat under de undersökta perioderna från studiens början (1959) till dess slut (2016). Förlusten av palsyta är lägre i Arbuvuopmi än i två liknande studier som genomförs i Vissátvuopmi (Olvmo m.fl., 2020) och Tavvavuoma (Shmárina & Hedlund, 2020). Under den senaste perioden (2010-2016) har den högsta genomsnittliga årliga förändringshastigheten blivit uppmätt, vilket är -0.52% år⁻¹. I studieområdet har årsmedeltemperaturen ökat med 0.6 °C under perioden 1959-2016, årsnederbörden har i området ökat med 113 mm under samma period. Jämviktsvärdet för årsnederbörd har beräknats vara 375 mm medan jämviktsvärdet för årsmedeltemperatur ligger på -8.3 °C. Ju högre årsnederbörd och årsmedeltemperatur, desto mer ogynnsamma är förhållandena för palsarna att kunna bibehålla- eller öka sin massa (Seppälä, 2011). Sambandet mellan den genomsnittliga årliga förändringshastigheten av pals och klimatindikatorerna lufttemperatur och nederbörd är inte signifikant i studieområdet. Det finns dock underlag i form av tidigare studier gjorda av Shmárina och Hedlund (2020) samt Olvmo m.fl. (2020) där ett samband mellan den genomsnittliga årliga förändringshastigheten av pals och klimatindikatorer redovisas.

Nyckelord: Arbuvuopmi, palsdegradering, klimatförändringar, subarktisk, permafrost.

Abstract

A palsa is a sensitive climate meter that consists of both peat and permafrost. Palsa occurs mainly in regions with sporadic permafrost. At present, the palsa is degraded to a large extent and is thus not stable. The degradation can be explained by the ongoing climate change that is taking place globally around the world. When a palsa is degraded, high amounts of nitrous oxide (NO₂), methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) are released into the atmosphere. Previous research also indicates that palsa may disappear in the near future. The purpose of the study was to investigate how the palsa in Arbuvuopmi have changed in distribution during the period 1959-2016 with the help of orthophotos and aerial photos and whether there is a correlation between changes in palsa surface and air temperature and precipitation. Arbuvuopmi is an interesting area to study because no similar studies have been done in the area before. In Arbuvuopmi, palsa occurs, and since palsa is an important habitat type to preserve, it is therefore important to investigate.

The results indicate that the total loss of palsa area in Arbuvuopmi is just over -190 000 m² during the period 1959-2016, which corresponds to a decrease of about -18% and an average annual change of -0.35% year⁻¹. The rate of degradation has varied during the periods examined from the beginning of the study (1959) to its end (2016). The loss of the palsa surface is lower in Arbuvuopmi than in two similar studies conducted in Vissátvuopmi (Olvmo m.fl., 2020) and Tavvavuoma (Shmárina & Hedlund, 2020). During the most recent period (2010-2016), the highest average annual rate of change has been measured, which is -0.52% år⁻¹. In the study area, the annual average temperature has increased by 0.6 ° C during the period 1959-2016, the annual precipitation in the area has increased by 113 mm during the same period. The equilibrium value for annual precipitation has been calculated to be 375 mm, while the equilibrium value for annual average temperature is -8.3 ° C. The higher the annual precipitation and annual average temperature, the more unfavorable the conditions for the palsa to be able to maintain or increase their mass (Seppälä, 2011). The relationship between the average annual rate of change of palsa and the climate indicators air temperature and precipitation is not significant in the study area. However, there is evidence in the form of previous studies made by Shmárina and Hedlund (2020) and Olvmo m.fl. (2020) where a relationship between the average annual rate of change of palsa and climate indicators is reported.

Keywords: Arbuvuopmi, palsa degradation, climate change, subarctic, permafrost.

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare och universitetslektor Mats Olvmo som med kunskap och drivande intresse om pals stöttat oss under denna studie. Vi vill även tacka vår biträdande handledare Professor Sofia Thorsson som hjälpt oss att förstå hur en statistisk analys av klimatdata genomförs och gett oss ovärderlig feedback under delinlämningarna. Ett stort tack till våra kurskamrater som gett oss värdefull feedback vid varje seminarium och tack för tre härliga år tillsammans.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte och frågeställningar	6
2. Kunskapsöversikt	7
2.1 Vad är en pals och hur bildas den	7
2.2 Nedbrytning av pals	10
3. Studieområde	12
4. Data och metoder	16
4.1 Data	16
4.1.1 Ortofoton & flygbilder	16
4.1.2 Klimatdata från Karesuando	17
4.2 Metoder	17
4.2.1 Identifiering och tolkning av ortofoton och flygbilder	17
4.2.1.1 Nyare ortofoton (2010 & 2016)	18
4.2.1.2 Äldre ortofoton och flygbilder (1959, 1963, 1983 & 1994)	18
4.2.1.3 Visualisering av vegetationsområden	19
4.2.2 Kartering av pals och databearbetning	21
4.2.3 Statistisk analys av förlusten av palsareal	21
4.2.4 Statistisk analys av klimatdata	21
4.2.5 Metoddiskussion	23
5. Resultat	24
5.1 Palsareal och årlig förändringshastighet	24
5.2 Nederbörd och temperatur	28
5.3 Korrelation mellan palsnedbrytning och klimatologiska variabler	29
5.4 Jämförelse av förändringar i palsyta och förändringshastighet mellan Arbuvuopmi, Vissátvuopmi & Tavvavuoma	31
6. Diskussion	33
7. Slutsatser	37
8. Referenser	38
9. Bilagor	42

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

En pals kännetecknas av torvkullar som består av en konstant nedfryst kärna av både is samt torv, där mineraljord även kan förekomma (Wrammer 1973). En pals brukar vanligtvis definieras utifrån dess morfologi såsom kupolformad pals och vidsträckta palsplatåer (Seppälä, 2006). Ett palsmyrområde består främst av utbredda palsflak där flera av palsarna består av lavar i bottenlagret (Rafstedt m.fl., 1985). Backe (2014) skriver att en pals främst består av permafrost och är därmed en essentiell klimatmätare. Författaren förklarar att palsmyrar är en naturtyp som enligt EU klassificeras som väsentlig att observera. Enligt naturvårdsverket är palsmyrar dessutom ett unikt område i den norrländska landskapet (Backe S, 2014). Seppälä (2011) förklarar att både palsnedbrytning samt tillväxt påverkas av tid samt olika lokala faktorer såsom hydrologi, lufttemperatur, litologi, sommarnederbörd, torvens skyddande egenskap samt djupet på snötäcket. Wrammer (1973) skriver att en pals uppkommer vanligtvis när en liten del av myrens yttersta skikt lyfts upp (tjällyftning) som i sin tur resulterar i att torvens översta skikt blir torr. Därefter kan ett tunt snötäcke formas genom snödrift och en tjällyftning i torven resulterar i att palsen höjer sig över myrens översta skikt. Några andra viktiga faktorer som krävs för att en pals ska bildas är markens fuktighetstillstånd (Wrammer 1973), låg sommarnederbörd, en varaktig lufttemperatur under 0 °C med en genomsnittlig årlig lufttemperatur som inte är högre än 0 °C (Seppälä, 2011). Han förklarar att palsar kan degraderas på olika sätt på grund av lokala förhållanden såsom vind, snö samt vatten. Barcan (2010) skriver att palsar kan brytas ner på grund av sprickbildning, lateral erosion eller utplattning.

Tidigare forskning indikerar på att nedbrytning av pals har ökat markant de senaste årtionden, särskilt i närheten av den södra kanten av permafrosten i såväl Nordamerika samt baltiska skölden (Zuidhoff & Kolstrup, 2000). Enligt Leifeld och Menichetti (2018) degraderas i nuläget ungefär 10% av alla torvmarker runt om i världen, vilket innebär att torvmarkens egenskap att kunna agera som en varaktig kolsänka minskar. I studien skriven av Olvmo m.fl. (2020) menar författarna att klimatförändringarna i Norden har resulterat i ett flertal negativa effekter på naturen. Palsmyrar är en biotop som särskilt påverkats av dessa klimatförändringar. Tidigare studier visar att palsmyrarna inom kort tid kan komma att försvinna (Zuidhoff & Kolstrup, 2000). Ökade utsläpp av växthusgaserna lustgas (NO₂) och

metan (CH₄) uppstår när permafrost börjar smälta, vilket i sin tur resulterar i att palsmyrar blir blötare och slutligen degraderas (Olvmo m.fl., 2020). En annan faktor som kan förklara att palsarna smälter är positiva årsmedeltemperaturer (Barcan, 2010). Nederbördsrika somrar kan leda till att palsens nedfrysta kärna börjar smälta. Palsens aktiva lager är väldigt sårbar mot klimatförändringar, speciellt lufttemperatur (Seppälä, 2011). Palsar är som tidigare nämnt en viktig naturtyp, det är således av betydelse och aktuellt att undersöka hur palsarnas utbredning samt utsträckning påverkas av de pågående klimatförändringarna.

Studierna i Vissátvuopmi (Olvmo m.fl., 2020) och Tavvavuoma (Shmárina & Hedlund, 2020) har visat lateral minskning av pals i båda områdena mellan de undersökta årtalen: 1955-2016 för Vissátvuopmi och 1963-2016 för Tavvavuoma. Båda studierna har kommit fram till att det finns ett samband (korrelation) mellan förändringshastighet av pals och klimatindikatorer (temperatur och nederbörd), men dess signifikans varierar mellan klimatvariablerna. Det är av intresse att jämföra de två tidigare studierna gjorda i Vissátvuopmi och Tavvavuoma med Arbuvuopmi för att jämföra om det finns olika lokala faktorer som påverkar förändringshastigheten av pals i studieområdet kontra de två andra områdena.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att undersöka förändringar i palsutbredningen i Arbuvuopmi mellan årtalen 1959-2016 genom kartering av ortofoton och flygbilder samt analysera om det finns en korrelation mellan förändringshastighet av pals och lufttemperatur samt nederbörd genom en klimatdataanalys. Studien syftar även till att undersöka om det finns skillnader mellan Arbuvuopmi, Vissátvuopmi och Tavvavuoma avseende förändringstrender och vilka lokala faktorer som kan ge upphov till dessa skillnader.

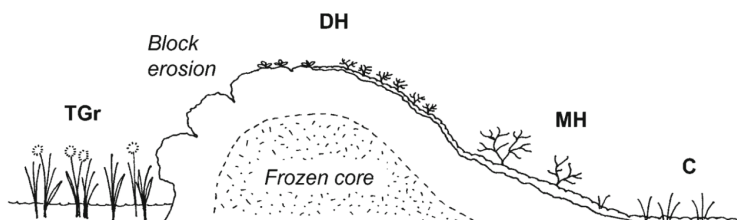
Mot bakgrund av syftet ska följande frågeställningar besvaras;

- Hur stor del av ytan av palsarna i Arbuvuopmi har förändrats i utbredningen mellan de valda årtalen: 1959, 1963, 1983, 1994, 2010 och 2016, samt hur stor är den sammanlagda förändringen mellan åren 1959 och 2016?
- Hur har klimatet i form av lufttemperatur och nederbörd påverkat degraderingen av palsmyrarna i Arbuvuopmi?
- Hur skiljer sig förändringen i Arbuvuopmi mot palsmyrarna i Vissátvuopmi och Tavvavuoma från varandra?

2. Kunskapsöversikt

2.1 Vad är en pals och hur bildas den

I en studie gjord av Wrammer (1973) beskrivs en pals som en utbredd upphöjning i myrmark med torv i det yttersta skiktet eller en kulle som består av mineraljord och/eller permafrost (permanent frusen torv), som har formats till följd av tjällyftning. En tjällyftning resulterar i att en liten del av myrens yta upphöjs och det yttersta lagret av torven blir torrare (Seppälä, 1986). Palsar förekommer främst inom regioner med sporadisk permafrost i norra Skandinavien (Olvmo, m.fl., 2020). Sonesson m.fl. (2002) nämner att torvmark främst förekommer i arktiska och subarktiska områden med permafrost. Seppälä (2006) belyser att palsar kännetecknas utifrån deras morfologi såsom longitudinell gående åsform, långsträckt strängform, kupolformad och vidsträckta palsplataer, palsflak samt palssammansättningar med flera sänkor och tjärn (som ursprungligen var termokarst). Seppälä (2006) skriver att en palsflak vanligtvis kan identifieras av dess avlånga samt utjämnade yta som kan bli upp till 6 m hög och 0.5 km lång. En kupolpals är en palstyp som snabbt går att identifiera, tack vare dess kupolform samt höga höjd. Kupolpalsens diameter kan variera från 10 m till 150 m och höjden kan varieras från 0.5 m upp till 7 m. En pals består vanligtvis av antingen siltkärnor eller torvkärnor. Siltkärniga palsar består av antingen nedfryst silt eller en siltig morän med tunna islinser nedanför ett tunt skikt av torv som skyddar den nedkylda kärnan. Torvkärniga palsar omfattas av en konstant nedkyld torvkärna i anslutning till små iskristaller som fyller porerna samt segregerad is. Seppälä (1988) konstaterar att torvformationen avstannar när en pals hummock (kull) stiger över myrytan. Han skriver att lavar, Ericales buskar samt Byrales mossor skapar torvytan på en äldre pals. Nedanför den torra ytan förekommer den ursprungliga myrtroven som skapas av vitmossa (*Sphagnum*), *Carex* samt *Eriophorum*. Några förekommande palsvegetationstyper (figur 1) är våt och torr hummock (kull) vegetation.



Figur 1 : Grundläggande vegetationstyperna som är kännetecknande för palsmyrar. Långa graminider (halvgräs och gräslänkande växter), torr hummock (kull) vegetation (DH), matta (carpet) vegetation och våt hummock vegetation (MH). Källa: (Bosiö, m.fl., 2012).

Figure 2: Basic vegetation types that are characteristic of palsa bogs. Long graminoids (half-grass and grass-like plants), dry hummock vegetation (DH), carpet vegetation and wet hummock vegetation (MH). Source: (Bosiö et.al., 2012).

Seppälä (2011) skriver att palsar främst förekommer under omständigheter av låg sommarnederbörd, tunt snötäcke samt långvarig lufttemperatur under 0 °C tillsammans med en genomsnittlig årlig lufttemperatur som inte är högre än 0 °C samt en naturlig tillväxt av permafrost. Palsar kräver vanligtvis ett så kallat ”termiskt krav” med en lufttemperatur under 0 °C som varar längre än 200 till 210 dagar om året. Äldre iakttagelser indikerar på flera utvecklingsfaser av formationen av palsa menar Barcan (2010). Det avgörande tillståndet för bildandet av permafrost är temperaturen på markytan, som kan aktiveras av snön (Seppälä, 2011).

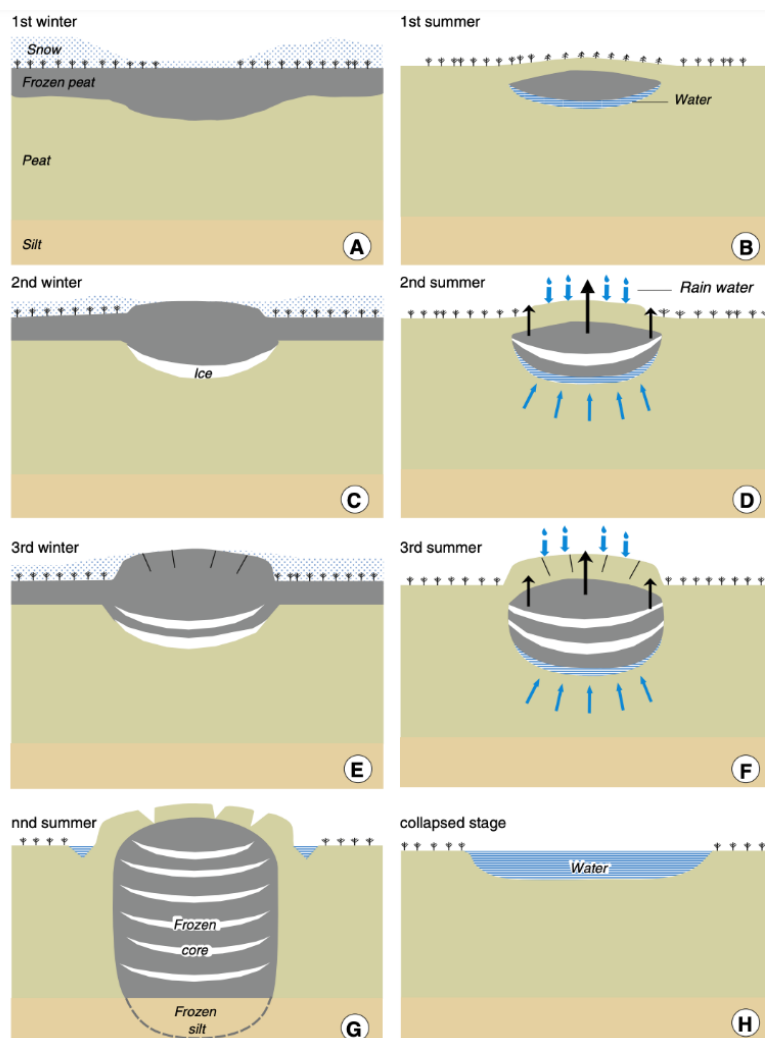
Barcan (2010) skriver att en palsa vanligtvis uppkommer när snötäcket är lagom tunt för vinterkylan att pressa sig djupt ner i marken för att motverka att sommarvärmens kan tina snötäcket, vilket leder till att myrens yta ökar. Under vinterperioden, efter att palsarna har bildats på sommaren, tränger frosten djupare ner i palsen. Palsen förblir därmed stabil i upp till sju år (Seppälä 2011). Efter palsen trängt ner i kärnan ökar bildningsfasen i hastighet och en ”puckel”/utväxt kan expandera sig, vilket beror på både nedkylning av is segregation samt porvatten (figur 2) (Barcan 2010).

Seppälä (1986) skriver att en palsa undergår i flera fall en periodisk (cykliskt) tillväxtprocess (till följd av tjällyftning). När en tjällyftning skett, resulterar det i att torven får en bättre isolerings egenskap, vilket vidgar potentialen för tjälen att kvarstå under sommarperioden. Upphöjningen av myrens yta ger grund till att ett tunnare snötäcke kan bildas under nästkommande vinter. En så kallad ”perenn” tjäle kan därefter bildas samt växa mot djupet. Wrammer (1973) menar att en välutvecklad palsa kan uppstå när tjälen sträcker sig ner till finkornig mineraljord som finns under torven. Markens fuktighetstillstånd är även viktig för palsbildningen, detta eftersom tjällyftning medför bättre åtkomst till vatten.

Lokala faktorer såsom topografi ger upphov till lokal rörelse samt snöbyar, där starka vindar under vintern flyttar på snön som sedan formar nya omständigheter för palsbildning. Palsar är i allmänhet väldigt stabila vilket kan förklaras av att den frysta ”kärnan” i en torvkulle skyddas av ett tjockt torvlager (figur 2). I höga höjder över havet är torven oftast tunn och

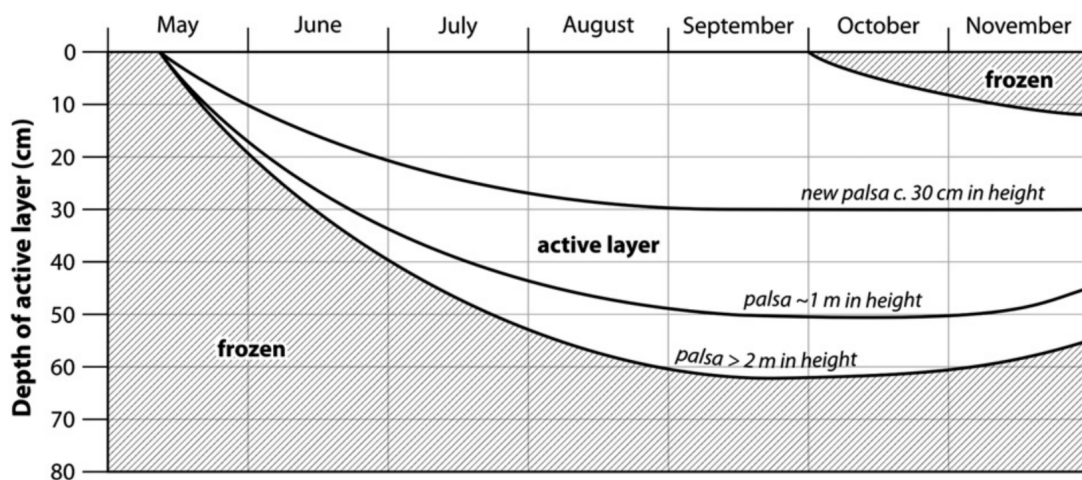
kan därmed inte bevara den frysta kärnan från att smälta på sommaren (figur 2). Lägre höjder över havet karakteriseras däremot av våtare samt tjockare torvlager tillsammans med vattenmättade termokarst sänkor (Seppälä, 2011 & Barcan 2020).

I studien gjord av Seppälä (2011) skriver författaren att vatten bör finnas i närliggande område för att en palsbildning ska kunna uppstå. Vatten förekommer oftast i form av bäckar som korsar palsmyrarna där dess funktion är att föra med sig vatten samt bibehålla myrtorven fuktig samt våt. Författaren menar att palsens motståndskraft samt formation av den nedkylda kärnan är främst mottaglig för torvens fysikaliska förmåga. När torven är nedkyld och blöt är värmeledningskapaciteten hög, detta leder till att torven minskar i storlek och börjar smälta och torka. Värmeledningskapaciteten har dessutom en inverkan på bildningen av det aktiva lagret, som har en komplex reaktion på klimatavvikelser (figur 3).



Figur 2: Bildningen av palsens nedkylda kärna med islager. Källa: Seppälä (2011).

Figure 2: Development of the frozen/frigid core of the palsa with ice layers. Source: Seppälä (2011).



Figur 3: Allmänna utvecklingen av tre olika palsar i Lapland, Finland (Seppälä, 2011).

Figure 3: General development of three different palsas in Lapland, Finland (Seppälä, 2011).

2.2 Nedbrytning av pals

Olvmo m.fl. (2020) framhåller att det finns olika sätt som kan orsaka nedbrytning av pals, såsom vertikal och lateral nedbrytning. Wrammer (1967 & 1973) påstår att det vanligaste nedbrytningsförloppet av pals är en lateral erosion, det vill säga en blockerosion av palsslutningar i anslutning till en fuktig myr eller öppet vatten. Vatten bidrar till att palsens nedkylda kärnan tinas, palsen förlorar därmed sitt skyddande torvlager och blir mer mottaglig för nedbrytning (Seppälä, 2011). Olvmo m. fl. (2020) påvisar att en vertikal nedbrytning av en pals uppstår när permafrosten blir tunn. Barcan (2010) redogör att palsar kan degraderas genom exempelvis utplattning eller sprickbildning.

Barcan (2010) skriver att när palsytan växer blir vinderosionen kraftfull, vilket leder till att torvytan på palsen successivt torkas ut. När torven torkas ut är palsytan oberoende från snöns skyddande egenskap, vilket resulterar i att en nedbrytningsfas inleds. Nedbrytningsfasen leder till att torvblock bryts samman och palsytan blir mindre i området genom lokala faktorer, såsom erosion som orsakas av regnet. Seppälä (2011) menar att kraftiga stormar kan under vintern leda till att torven vid palsytan slipas ner (figur 2). Wrammer (1967 & 1973) nämner att en pals degraderas när tjälen slutar växa ner i tjäleets material, vilket ger upphov till en ”mogen”/färdig utvecklingsfas, som kan kvarstå under en längre tid. Något som är vanligt inträffande, speciellt under de senaste årtionden, är att palsens översta yta kollapsar som sker

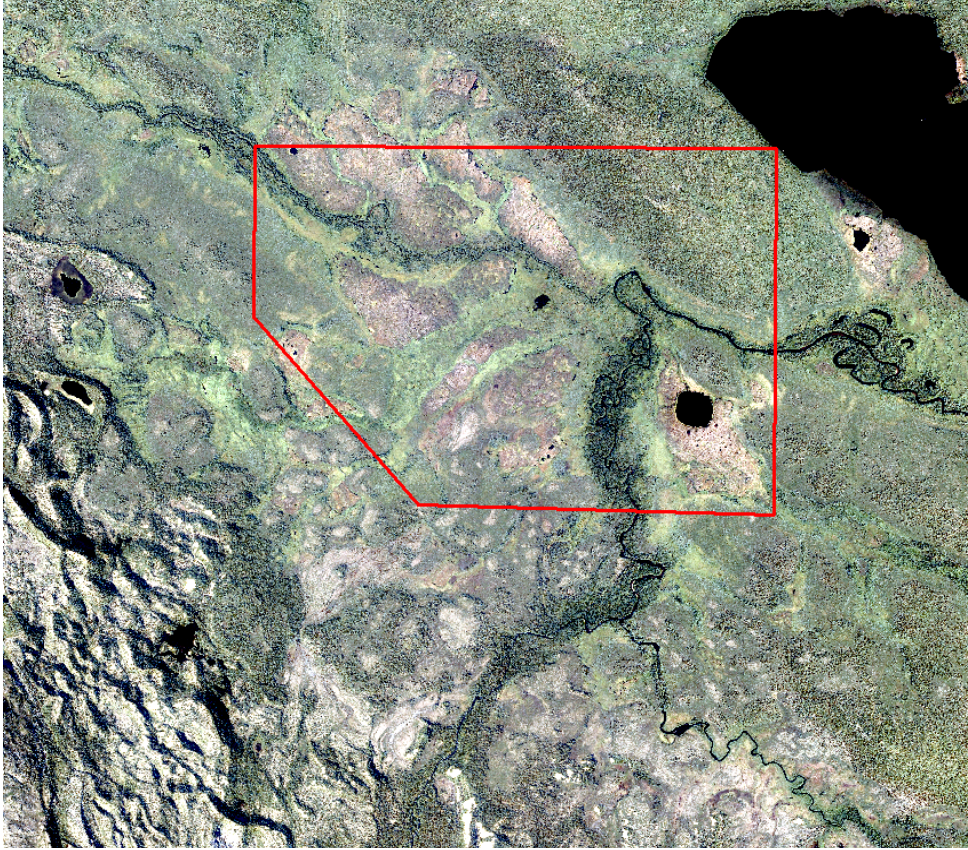
på grund av att den nedkylda kärnan smälter. Han menar således att nedbrytningen påbörjas till följd av bildningen av en liten sjö och/eller vinderosion som är omsluten av otjälade palsmaterial. Det otjälade palsmaterialet kan så småningom växa igen och det resulterar i att myrytan växer på nytt och en ny pals kan uppstå.

Positiva årsmedeltemperaturer resulterar i att palsar kan smälta. Orsaken till att pals smälter vid positiva årsmedeltemperaturer är att både våta och fuktiga väderförhållanden under sommaren har en benägenhet att smälta palsens nedkylda kärna, oberoende av sommarvärmens (Barcan 2010, Seppälä, 2011). Utifrån studien av Olvmo m.fl. (2020) är den generella utvecklingsriktningen av palsmyrar i nuläget degradering som enligt Wrammer (1973) beror på att pals är väldigt mottaglig för klimatförändringar. Seppälä (2011) skriver att det framförallt är det aktiva lagret i en pals som är extra känsligt mot klimatförändringar (särskilt lufttemperatur) som enligt Barcan (2010) gett upphov till att det aktiva lagret av pals har förändrats under de senaste 70 till 80 åren. Fronzek m.fl. (2006) nämner att det finns flera forskningar som tyder på att subarktiska palsmyrar i både Nordamerika och Europa bryts ned i nuläget. Degraderingen kan förklaras av klimatförändringarna under 1900-talet, som är den främsta bakomliggande faktorn till att pals försvinner. Liebner och Svenning (2013) konstaterar att den pågående nedbrytningen och bildningen av palsar i nuläget inte är i sin normala stabilitet, eftersom permafrosten smälter mycket snabbare än ny pals hinner bildas. Redan för ungefär tio år sedan skedde klimatförändringar inom vissa regioner i norra Skandinavien som har haft en inverkan på palsområdenas areala minskning med ungefär två tredjedelar (ibid, 2013).

Malmer m.fl. (2005) skriver att det finns tydliga korrelationer mellan olika torvmarkstyper och variation i klimatförhållanden i en global skala. De väsentliga klimatvariablerna för effektiviteten i torvmarker, som finns i norr, är växtsäsongens längd och fuktighet. Enligt Gunnarsson m.fl. (2002) ses myrekosystem, speciellt myrar, främst som en stabil struktur som har en långsam utveckling i växtligheten. Vegetationen på myrar, som är orörda av odling och dränering, berörs av mänskliga förändringar i miljön. Watling m.fl. (2012) menar att den sannolika feedbacken från växthusgaser som frigges från upptinad torvmark (som uppkommer till följd av klimatförändringarna i högre breddgrader) är alarmerande. De menar att permafrostens funktioner således är väldigt mottagliga för skiftande miljöer och olika klimattillstånd. Sonesson m.fl. (2002) skriver att regionala förhållanden har en inverkan på både nedbrytningen och uppkomsten av vegetationens biomassa samt följaktligen torv.

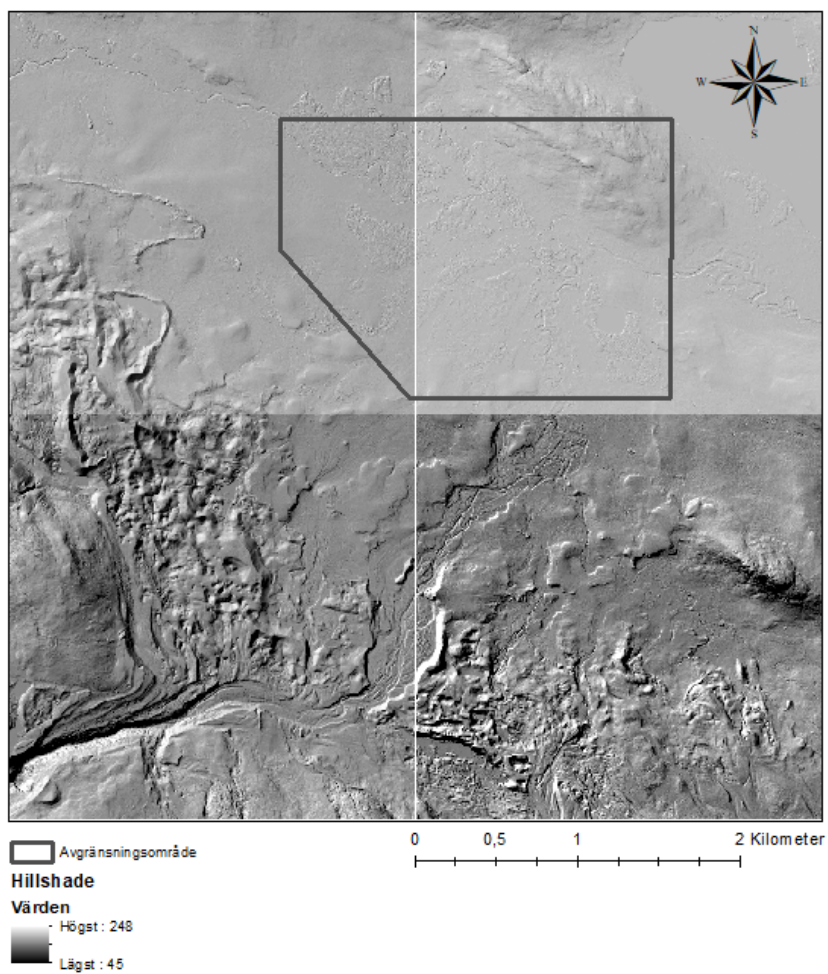
3. Studieområde

Studiens geografiska avgränsningsområde är Arbuvuopmi (68° 50' 18" N, 21° 2' 20" E) (figur 4 och figur 5), som ligger i Kiruna kommun, Norrbottens län (figur 6). Arbuvuopmi består av ett stort myrkomplex med flera välutvecklade palsar och är beläget i Könkämäälvens dalgång (Andersson m.fl., 1985), studieområdet ligger belägen på 470 meter över havet (Lantmäteriet, 2015). Studieområdets gränser valdes med ortofotona och flygbilderna i åtanke för att i största mån få med palsarna i en och samma bild. Anledningen till att studieområdets gränser ser annorlunda ut vid det sydvästra hörnet beror på att flygbilderna från 1983 inte visade området utanför gränsen. Studieområdets palsmyrar räknas som ett botaniskt värdefullt område i Norrbottensfjällen. Området i Arbuvuopmi domineras av låga palsplataer och påminner om den närbelägna palsmyren Vissátvuopmi, som Olvmo m.fl. (2020) gjort en liknande studie på. I studieområdet finns även ett stort antal termokarst- dammar samt -sjöar. Omgivande moränmark präglas av buskvegetation i form av fjällbjörk. Arbuvuopmi präglas av ett subarktiskt klimat (Köppen klimatklassificeringstypen *dfc*), vilket karaktäriseras av korta svala somrar samt mycket kalla vintrar. De kyligaste månaderna är i snitt under 0 °C och varar mellan november till mars, månaderna oktober och april hamnar ofta under fryspunkten. Några tydliga nederbördsavvikelser mellan årstiderna uppstår inte i denna klimatzon (Ebrahimabadi m.fl., 2016).



Figur 4: Ortofoto över Arbuvuopmi med studieområdet inkluderat inom den röda inramningen. Datakälla: Ortofotot, 1m färg © Lantmäteriet (2016); Flygfoto Lantmäteriet, 2016.

Figure 4: Orthophoto over Arbuvuopmi with the study area included in the red frame. Datasource: Orthophoto, 1m colour © Lantmäteriet (2016); Aerial photograph Lantmäteriet, 2016.



Figur 5: Höjdmmodell med rutnät 2+ som visar hillshade över Arbuvuopmi. Datakälla: Lantmäteriet (2019).

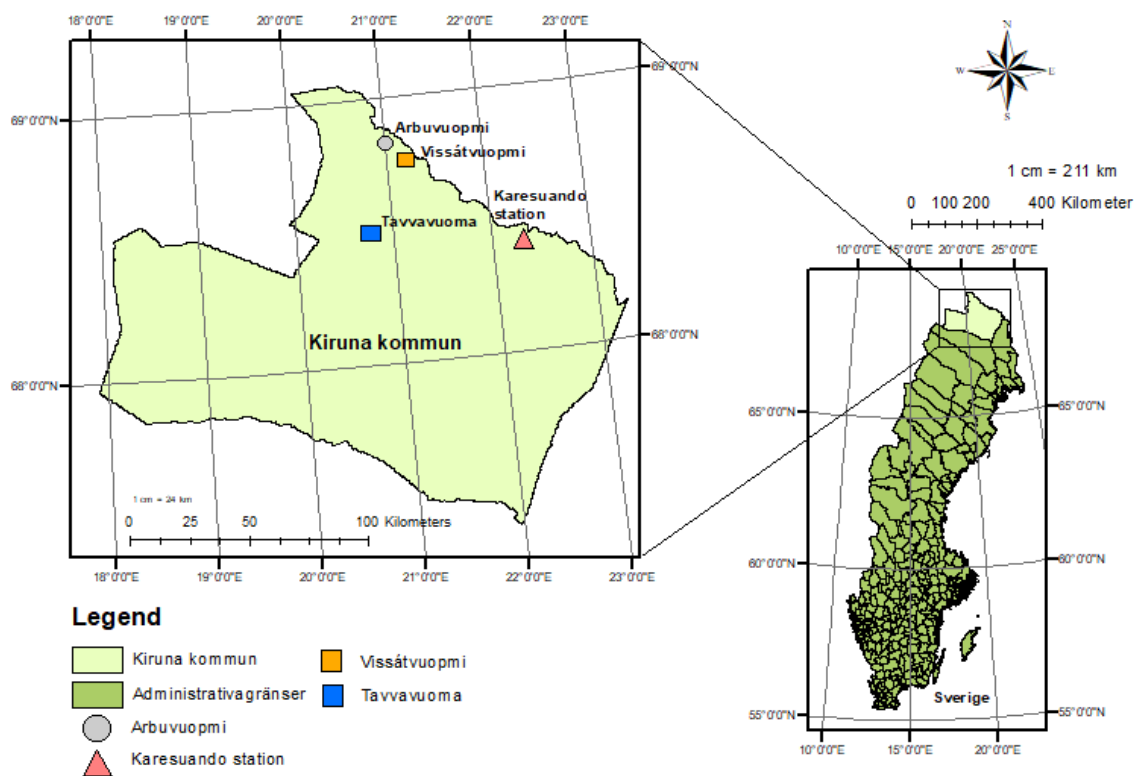
Hillshade av Johanna Rasmussen och Maryam Absuge med ESRI ArcMap

(<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

Figure 5: Elevation model with grid 2+ that shows hillshade over Arbuvuopmi. Datasource: Lantmäteriet

(2019). Hillshade made by Johanna Rasmussen and Maryam Absuge using ESRI ArcMap

(<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.



Figur 6: Administrativa gränserna över Sverige, studiens geografiska avgränsningsområde tillsammans med studieområdet. Datakälla: DIVA-GIS (u.d.). Karta av Johanna Rasmussen och Maryam Absuge med ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

Figure 6: The administrative boundaries over Sweden, the study's geographical delimitation area together with the study area. Data source: DIVA-GIS (u.d.). Map by Johanna Rasmussen and Maryam Absuge using ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

4. Data och metoder

4.1 Data

4.1.1 Ortofoton & flygbilder

Ortofoton för åren 1963, 1994, 2010 och 2016 samt flygbilder för åren 1959 och 1983 användes för karteringen av pals. En beskrivning av de använda ortofotorna och flygbilderna ges i tabell 1. Ortofoton och flygbilder för alla år är hämtade från Lantmäteriet. Ortofotorna och flygbilderna från åren 1959 till 2016 var registrerade under sommaren (juni, juli & augusti). De äldre ortofotorna och flygbilderna (1959-1994) har en svartvit färgskala (pankromatisk) medan ortofotorna från år 2010 har en digital infraröd-färg och ortofotot från 2016 har en digital RGB (röd, grön och blå) färgskala. Flygbilden från 1959 samt ortofotorna från 1963 och 1994 har en skala på 1: 30 000 medan flygbilden från 1983 har en skala på 1: 15 000.

Tabell 1: Ortofotonas och flygbildernas registreringsdatum, geografiska täckning (area), källa, bildskala, geografisk data Sverige och filmtyp. Datakälla: Lantmäteriet (2015).

Table 1: The orthophotos' and the aerial photos' registration date, cover (area), source, image scale, geographical data Sweden (GSD) and film type. Data source: Lantmäteriet (2015).

Registreringsdatum	Källa	Bildskala	Pixelstorlek	Filmtyp
1959 Juli 20	Lantmäteriet	1:30 000	0.68	Pankromatisk (S/V)
1963 Augusti 1	Lantmäteriet	1: 30 000	0.49	Pankromatisk (S/V)
1983 Juni 28	Lantmäteriet	1: 15 000	0.61	Pankromatisk (S/V)
1994 Juli 28	Lantmäteriet	1: 30 000	0.99	Pankromatisk (S/V)
2010 Augusti 18	Lantmäteriet	N/A	0.5	Digital IR-färg
2016 Augusti 18	Lantmäteriet	N/A	0.5	Digital RGB

4.1.2 Klimatdata från Karesuando

Klimatdata hämtades ner i form av månadsmedelvärde för årsmedeltemperatur och årsnederbörd mellan oktober 1958 och september 2016 via SMHI:s hemsida från Karesuando (stationsnummer 192830) och Karesuando A (stationsnummer 192840). Det har skett en sammanslagning av data över båda stationerna efter att Karesuando station togs ur drift 2012, efter att ha varit i drift sedan 1878. Karesuando A station sattes i drift 2008 och de två stationerna fungerar numera som en och samma station (SMHI, u.d.). De båda stationerna kommer i fortsättningen benämnas som en och samma station, alltså Karesuando. Karesuando station ligger belägen 330 meter över havet (ibid, u.d.). Enligt Olvmo m.fl. (2020) ligger Arbuvuopmi på en platt och bred dalbotten. Studieområdet ligger 140 meter högre än Karesuando klimatstation.

4.2 Metoder

Karteringen började med ortofotot från 2016 och fortsatte därefter successivt bakåt för varje år som skulle karteras till och med sista bilden 1959. Tillvägagångssättet med att arbeta bakåt för varje foto användes eftersom ortofotot 2016 bestod av en RGB färgskala och palsar särskiljde sig tydligt från dess kringliggande kärr, även ortofotot från 2010 med ett lager av en infraröd färgskala och ett lager med en RGB färgskala visade palsområden tydligt. Ortofotorna och flygbilderna från och med 1994 och bakåt var i en svartvit färgskala vilket gjorde det lämpligt att först börja med 2016 och därefter fortsätta med 2010. Karteringarna har genomförts av oss två författare gemensamt för att underlätta tolkningen av ortofotorna, flygbilderna och karteringen av palsyta. Minskning av felaktiga värden av palsyta som kan uppstå om karteringen genomförs av två personer separat var även i åtanke vid valet att kartera palsyta tillsammans.

4.2.1 Identifiering och tolkning av ortofoton och flygbilder

Innan karteringen av ortofotorna och flygbilderna kunde påbörjas identifierades och tolkades de olika vegetationsområdena. Utifrån ortofotorna och flygbilderna kunde pals identifieras i tre olika färger beroende på vilket årtal ortofotot hade. Färgen på pals var ljusbrun eller beige på RGB bilden från 2016 medan färgen på pals var turkos på färg/infraröda bilden från 2010. På de två äldre ortofotorna från 1994 och 1963 samt flygbilderna från 1983 och 1959

identifierades palsarna av en grå färgskala. Kärr kunde identifieras med olika färg beroende på årtal på bilden. Termokarstsjöarna var oftast ovalformade där även små vattendrag kunde tolkas på ortofotot. Termokarstsjöarna och vattendragen hade en distinkt mörkgrå eller svart färg på ortofotot.

4.2.1.1 Nyare ortofoton (2010 & 2016)

På ortofotot från år 2016 identifierades vegetationen med mörkbruna eller mörkgröna upphöjningar som en pals. På ortofotot från 2010 identifierades palsarna utifrån dess gröna färg. Palsarna kunde urskiljas från resterande vegetation eftersom upphöjningarna oftast kunde ses som en liten ö på ortofotot med tydliga skuggor och konturer. Resterande vegetation som inte räknas som en pals, såsom kärr, var oftast platta och hade ljusare färger vilket var lätta att urskilja på ortofotot från 2016 samt 2010.

Ortofotot från 2010 bestod av infraröda färger och ett RGB (röd, grön och blå) lager, bilden hade även bra upplösning som gjorde det enkelt att tolka ortofotot. Palsar identifierades utifrån deras gröna färg och tydliga konturer samt upphöjningar som tydligt separerade palsarna från resterande vegetation i studieområdet. Moränen som oftast fanns tillsammans med buskar i form av träd kunde tydas i ortofotot genom dess röda färg på kartan.

4.2.1.2 Äldre ortofoton och flygbilder (1959, 1963, 1983 & 1994)

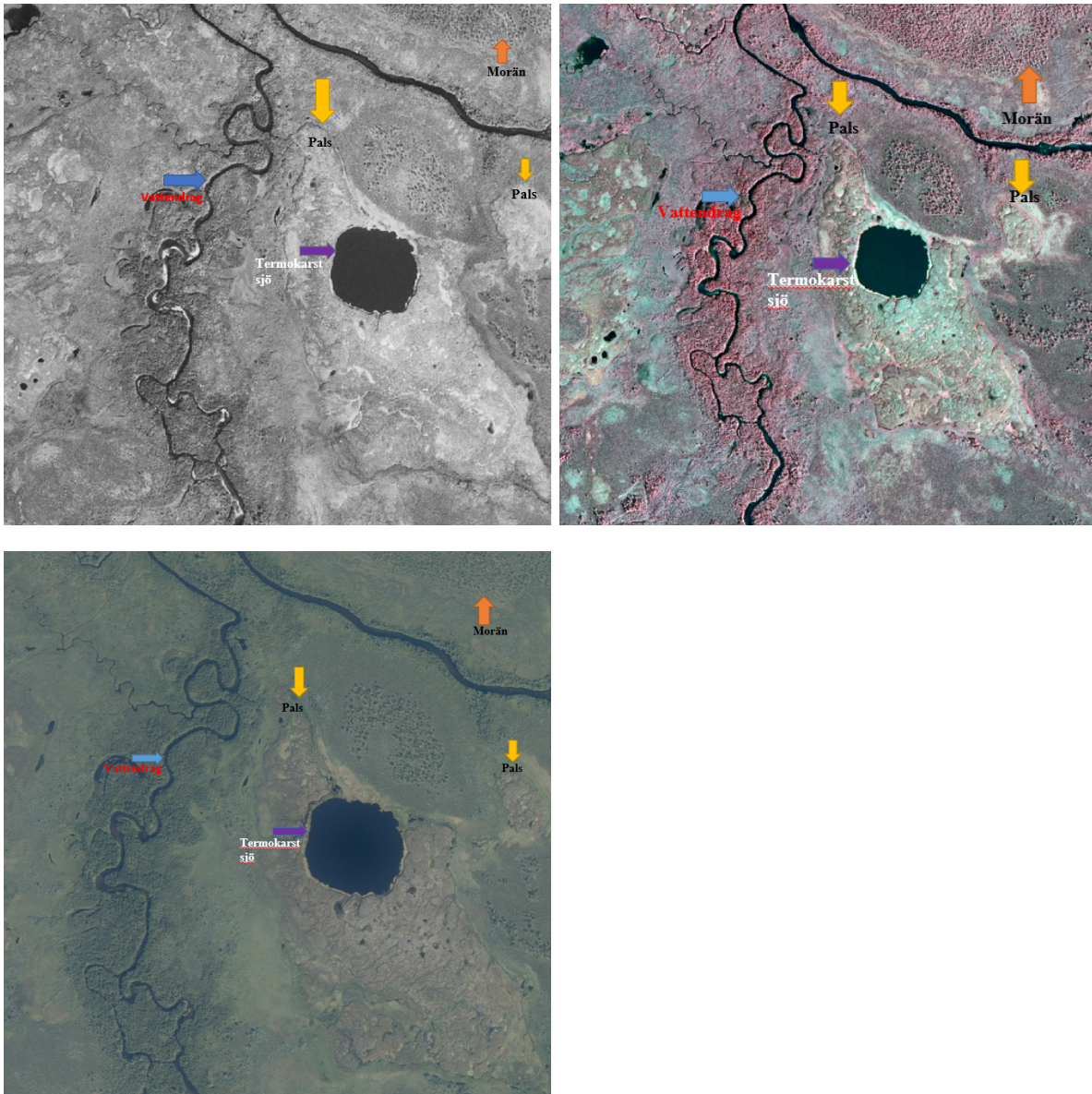
Ortofoto från åren 1994 och 1963 samt flygbilder från åren 1983 och 1959 bestod av diverse gråskalor. Eftersom ortofotorna och flygbilderna hade olika gråskalor kunde det i vissa fall vara svårt att tolka och identifiera vegetation på ortofotot, där det exempelvis kunde vara svårt att urskilja samt identifiera vad som klassificeras som en pals. Eftersom palsar oftast är upphöjda fanns det därmed tydliga skuggningar/konturer där mörka linjer kunde tydas vilket förenklade identifieringen vart palsen slutar och kärren börjar. Beroende på ortofotornas och flygbildernas pixelstorlek kunde det vara svårt ibland att identifiera tydliga konturer samt skuggor på bilderna. Större pixelstorlek resulterade i att det ibland kunde uppstå problem med att särskilja kärr från pals, samt granska vart palsen exempelvis slutar och vart kärren börjar växa. Gråskalan kunde även i vissa fall resultera i att det blev svårt att identifiera palsarna från resterande vegetation. Trots att de äldre kartorna hade en svartvit färgskala kunde nyanserna variera vilket gjorde det svårt att tolka viss typ av vegetation beroende på vilket årtal som karterades. I vissa fall hade kärren en mörkare nyans som på flygbilden från 1983

där palsarna i stället hade en ljusare nyans, detta medförde att det var viktigt att noggrant granska vegetationens struktur samt form för att kunna urskilja och identifiera vegetationen i området.

Pixelstorleken på ortofotot från 1994 var störst (tabell 1) vilket kan ha varit en bidragande orsak till att det var svårare att urskilja och identifiera var gränsen mellan pals och kärr var i området. Gråskalan användes som en utgångspunkt för att kunna identifiera och urskilja vegetationen i studieområdet, eftersom tydliga konturer och skuggor var svåra att tyda på grund av pixelstorleken på fotot. Ortofotot från 1994 bestod även av mycket gråskalor som tolkades som övrig vegetation såsom kärr, termokarst, morän, buskar i form av fjällbjörkskog. Morän kunde urskiljas på de äldre kartorna genom dess prickiga strukturer på ortofotot som bestod av vegetation såsom Fjällbjörkskog och troligtvis buskar som har en mörkgrå färg. Kärr kunde även identifieras utifrån dess ljusa kontrast som även gjorde det enklare att urskilja kärren från palsvegetationen.

4.2.1.3 Visualisering av vegetationsområden

För att visualisera delar av studieområdet valdes tre stycken olika bilder (figur 7) där alla hade olika färgskalor. Bilderna var det svartvita ortofotot från 1963, det infraröda ortofotot från 2010 och ortofotot i RGB från 2016. Genom att visualisera olika områden på bilderna med hjälp av textboxar och pilar i olika färger kan det bidra med att hjälpa läsaren få en övergripelig förståelse kring vad bilderna innehåller (pals, kärr, termokarstsjöar, vattendrag och morän).



Figur 7: Bilderna ovan visar ett svartvitt ortofoto från 1963, ett infrarött/färg ortofoto från 2010 och ett RGB ortofoto från 2016 där viktiga områden har blivit tydliggjorda för att underlätta för läsaren. Datakälla: Ortofotot, 1m färg © Lantmäteriet (2016); Flygfoto Lantmäteriet, 2016, 2010 & 1963.

Figure 7: The images above symbolize a black and white aerial image from 1963, an infrared aerial image from 2010 and an RGB aerial image from 2016 where important areas have been clarified to make it easier for the reader. Data source: Orthophoto, 1m colour © Lantmäteriet (2016); Aerial photograph Lantmäteriet, 2016, 2010 & 1963.

4.2.2 Kartering av pals och databearbetning

Flygbilderna från 1959 och 1983 var inskannade flygbilder som inte var georefererade. Innan processen med att kartera de två årtalens palsar kunde börja, georefererades bilderna med hjälp av bilder från närliggande år. Resterande årtal var georefererade vid nedladdning och behövde således inte någon bearbetning innan karteringen kunde påbörjas. Med hjälp av verktyget Editor i Arcmap programmet version 10.7.1 ritades polygoner runt palsarna efter gemensam tolkning av författarna. Varje årtal karterades för sig själv. Vid svårigheter att urskilja palsens gränser gjordes en gemensam bedömning innan karteringen fortsatte. Jämförelser mellan de olika årtalen skedde under arbetets gång för att säkerställa att ingen pals missades och för att upptäcka om det tillkommit ny pals eller om äldre pals degraderats.

Nästa steg i arbetsprocessen var att ta reda på palsarnas sammanlagda area för varje årtal. För att framställa den sammanlagda arean användes Attribut table där ett fält lades till och funktionen Calculate Geometry genomfördes. Processen upprepas för varje enskilt årtal. Resultatet för varje årtal fördes därefter in i Excel och en summering gjordes för årtalen för att slutligen visualiseras i ett histogram.

4.2.3 Statistisk analys av förlusten av palsareal

Den genomsnittliga årliga förlusten av palsarnas yta (ÅMFH) mellan två olika årtal (% år⁻¹) beräknades enligt Olvmo m.fl. (2020) enligt följande ekvation.

$$\text{ÅMFH} = \left(\left(\frac{A_{\text{start}}}{A_{\text{stopp}}} \right)^{\frac{1}{Y_{\text{start}} - Y_{\text{stopp}}} - 1} \right) \times 100 \quad (1).$$

A_start är palsytan vid startåret och A_stopp är palsytan som finns kvar i slutet av perioden. Y_start är startåret och Y_stopp är sista året inom perioden som ska beräknas. Fem stycken olika värden blev genererade mellan olika tidsperioder: 1959-1963, 1963-1983, 1983-1994, 1994-2010 och slutligen 2010-2016.

4.2.4 Statistisk analys av klimatdata

Genom att använda månadsmedelvärden går det att beräkna årsmedeltemperaturen och årsnederbörden över Arbuvoopmi. Under analysen kommer månadsvärden för temperatur och

nederbörd att utgå från det hydrologiska året som startar i oktober och slutar i september. Det hydrologiska året (oktober-september) används eftersom det mellan brytpunkten finns mindre snö och vatten lagrat i snömagasin, vilket leder till en förenkling av beräkningen av vattenbalansen (SMHI, 2018a).

Månadsvärdena för nederbörd behöver inte korrigeras innan årsberäkningen kunde genomföras eftersom de antogs gälla för Arbuvuopmi. Temperaturvärdena korrigerades (tabell 2) innan de kunde appliceras på studieområdet för att värdena skulle stämma överens med klimatet i Arbuvuopmi. Det beror på att det är höjdskillnader mellan Karesuando station och Arbuvuopmi. Efter korrigeringsvärdena blivit framtagna applicerades de på månadsvärdena innan årsmedelvärdet kunde framställas. För att ta fram ett årsmedelvärde för exempelvis 1959 har medelvärden för varje månad mellan oktober 1958 till och med september 1959 använts. Detta tillvägagångssätt har upprepats för varje år mellan 1959 till 2016 som är tidsspännet mellan arbetets första och sista ortofoto och flygbild.

Tabell 2: Temperaturkorrektion från Karesuando (330 meter över havet) till Arbuvuopmi (470 meter över havet).

Table 2: Temperature correction from Karesuando (330 meters above sea level) to Arbuvuopmi (470 meters above sea level).

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.2	0.0	-0.9	-1.5	-2.1	-2.3	-2.1	-1.7	-1.2	-0.6	-0.5	-0.2

Vidare gjordes beräkningar i Excel för att ta fram jämviktsvärden för nederbörd och temperatur. Olvmo m.fl. (2020) skriver att jämviktsvärden innebär att förändringshastighet av pals är lika med noll, alltså är det ett värde som klimatvariablerna (nederbörd och temperatur) får, när nedbrytning och tillväxt av pals är i balans. Jämviktsvärdet skapas när regressionslinjen (i detta fall förändringshastighet av pals) skär x-axeln och när $y = 0$.

En korrelationsanalys gjordes utifrån regressionslinjen i Excel för att undersöka sambandet av genomsnittlig årlig förändringshastighet av pals samt klimatvariablerna (nederbörd och temperatur) under studiens fem perioder. Jämviktsvärdena för studiens klimatvariabler användes i analysen. För att skapa en uppfattning av hur stor korrelation det finns mellan förändringshastighet och nederbörd respektive temperatur beräknades en

determinationskoefficient (r^2 -värdet). Ju högre värde av koefficienten (längre från noll), desto starkare korrelation (samband) finns det mellan förändringshastighet och klimatvariabler.

Avslutningsvis togs p-värdet fram i SPSS genom ett T-test för att undersöka den statistiska signifikansen av sambandet mellan förändringshastighet och nederbörd samt förändringshastighet och temperatur. T-testet gjordes med antagandet av ojämlika avvikelser. Om p-värdet är <0.05 kan antagandet göras att det finns en signifikans mellan förändringshastighet av pals och aktuell klimatvariabel (x-variabel och y-variabel), är värdet >0.05 antas det inte finnas en signifikans mellan sambandet. För största signifikans ska p-värdet vara såpass nära noll som möjligt.

4.2.5 Metoddiskussion

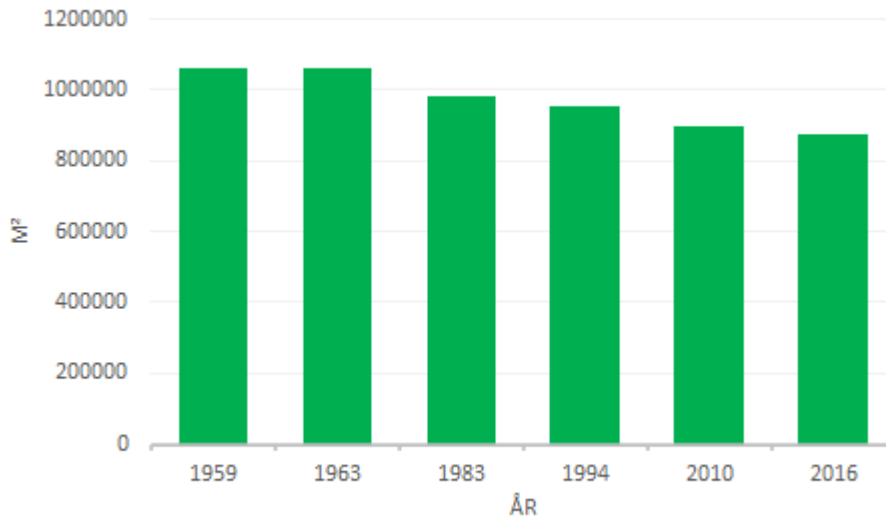
Årtalen som ingår i studien är valda för att kunna jämföra förändringshastighet av pals och klimatindikatorer (temperatur och nederbörd) med studien i Vissátvuopmi av Olvmo m.fl. (2020) och Tavvavuoma skriven av Shmárina och Hedlund (2020). Under karteringen av pals delades inte palsarna in i olika palstyper (ryggpals, kupolpals eller palsplatå), detta var ett medvetet val på grund av att studien inte syftar till att undersöka palstyper i Arbuvuopmi. Valet av glidande 30-årsmedelvärde för nederbörd och temperatur gjordes för att kunna jämföra studiens resultat med resultatet i Vissátvuopmi (Olvmo m.fl., 2020) och Tavvavuoma (Shmárina & Hedlund, 2020). Resultatet hade kunnat sett annorlunda ut om klimatindikatorerna (nederbörd och temperatur) hade utgått från sommar- och vinter värden istället för årsmedelvärden. En svårighet som uppkom under genomförandet av karteringen av pals var att det inte alltid fanns en tydlig skuggning som symboliserade palsens kant. När det skedde var vi tvungna att använda oss utav kartornas färgskala för att tyda vart palsen skiljer sig från kringliggande kärr. En ytterligare svårighet som uppkom var att ortofotorna och flygbilderna som vi karterade hade tre olika färgskalor (från svartvitt till infrarött till RGB), eftersom det inte fanns en enhetlig färgskala över de sex valda årtalen fanns det risk att feltolkning av gränserna mellan pals och kärr skett på grund av olika färger på ortofotorna och flygbilderna. Feltolkningar kan ha lett till en överskattning eller underskattning av palsarnas polygoner vilket i sin tur kan påverka resultatet.

5. Resultat

Nedan presenteras resultatet av karteringen av palsyta i Arbuvuopmi för sex årtal mellan 1959-2016. Vidare presenteras resultatet av klimatanalysen med årsmedeltemperatur och årsnederbörd. Därefter presenteras korrelationen mellan förändringshastighet av pals och genomsnittlig årlig temperatur samt genomsnittlig årlig nederbörd. Slutligen redovisas jämförelsen av förändringar i den totala palsytan och förändringshastighet av pals i Arbuvuopmi med snarlika studier över Vissátvuopmi och Tavvavuoma.

5.1 Palsareal och årlig förändringshastighet

Resultatet av karteringen av studieområdets palsyta visar en stadig minskning av palsareal mellan de undersökta årtalen (figur 8). Den totala genomsnittliga årliga förändringshastigheten (ÅMFH) (tabell 3) mellan den övergripande perioden i studien (1959-2016) är -0.35 \% år^{-1} . Den sammanlagda minskningen av palsyta mellan 1959 (1 062 112 m²) och 2016 (871 922 m²) är $-190 190 \text{ m}^2$ vilket är en total minskning på -18% . Den största minskningen av palsareal skedde mellan 1963 och 1983 vilket visade $-77 795 \text{ m}^2$, vilket beror på att denna perioden är längst bland de som undersöktes. Perioden 1963-1983 och perioden 1994-2010 har en likadan genomsnittlig årlig förändringshastighet på -0.38 \% år^{-1} . Perioden med lägst minskning av palsareal och årlig förändringshastighet är perioden 1959-1963, där den sammanlagda minskningen är -1359 m^2 , som motsvarar en genomsnittlig minskning på $-0.03\% \text{ år}^{-1}$. Perioden 1959-1963 var perioden med lägst årlig förändringshastighet. Den högsta årliga förändringen skedde mellan åren 2010 och 2016 (-0.52 \% år^{-1}) där palsarealen minskat med $-27 621 \text{ m}^2$.



Figur 8: Sammanlagda palsaarea inom avgränsningsområdet i Arbuvuopmi för åren 1959-2016.

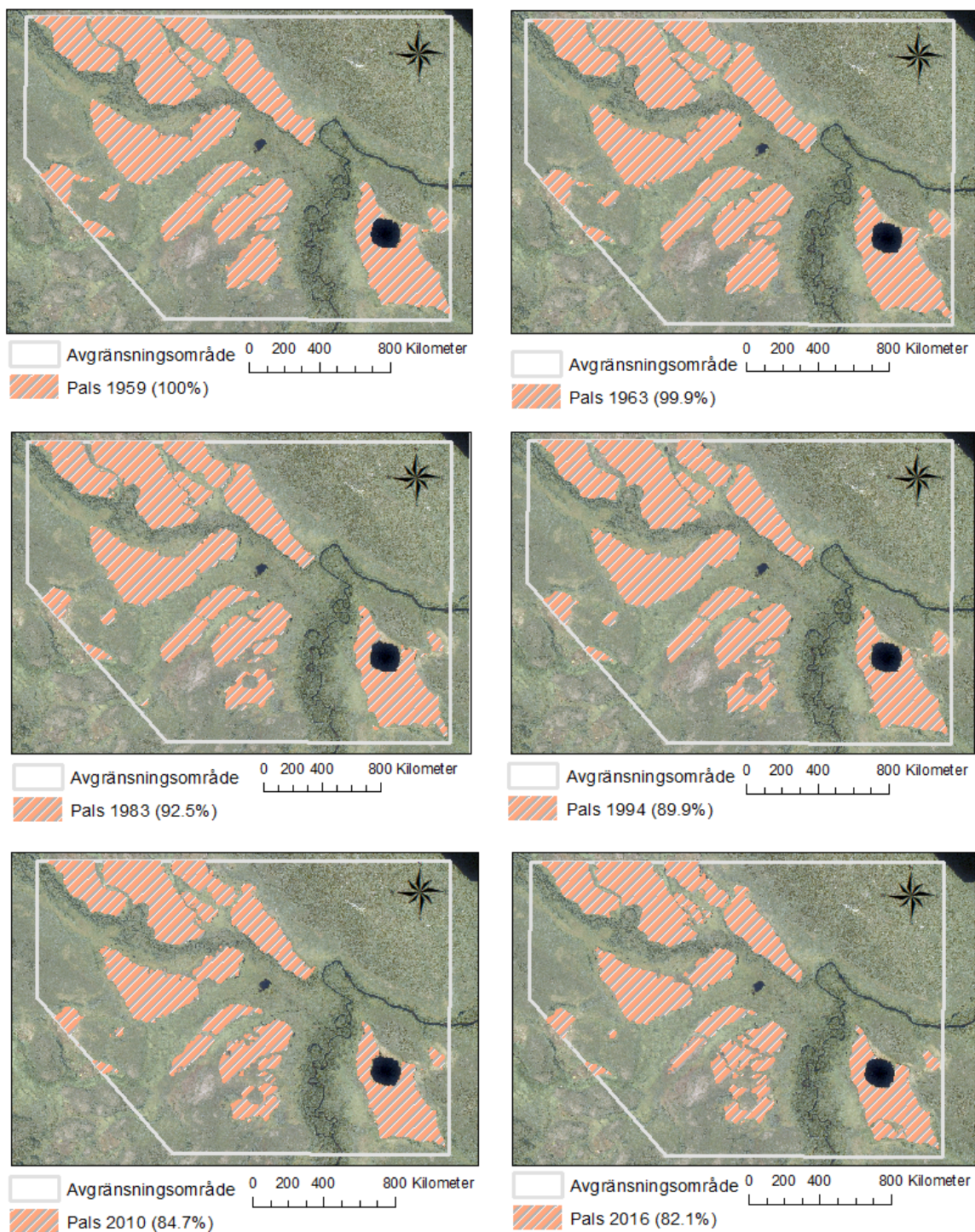
Figure 8: Total palsa area within the delimitation area in Arbuvuopmi for the years 1959-2016.

Tabell 3: Årtal som har studerats i Arbuvuopmi och områdets sammanlagda palsaarea (m²), palsarnas förändring procentuellt i areal samt den procentuella minskningen mellan olika årtal.

Table 3: Years that have been studied in Arbuvuopmi and the area's total palsa area (m²), the palsa's change in percentage (m²) and the percentage decrease between different years.

Årtal	Pals area (m2)	Period	Areal förändring (m2)	Å M F H (%år-1)
1959	1062112	1959-1963	-1359	-0.03
1963	1060753	1963-1983	-77795	-0.38
1983	982958	1983-1994	-27638	-0.26
1994	955320	1994-2010	-55777	-0.38
2010	899543	2010-2016	-27621	-0.52
2016	871922			
Total förändring (m2)			-190190	Geomsnittlig förändring per år (%år-1)
Total förändring (%)			-18	-0.35

Resultaten av karteringen av följande årtal 1959, 1963, 1983, 1994, 2010 och 2016 tydliggjorde att det har skett en förlust av palsyta under samtliga årtal inom hela studieområdet (figur 9). Tillväxt av palsyta har inte förekommit under några av de karterade årtalen.

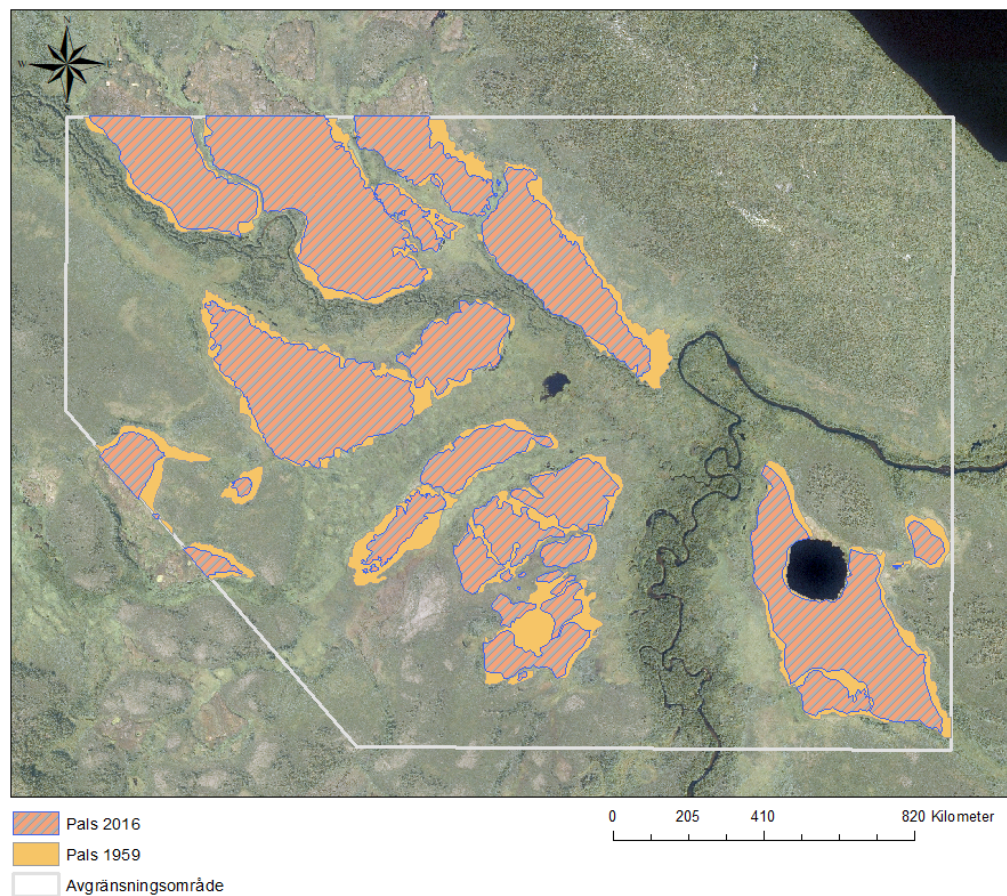


Figur 9: Palsarnas yta för varje enskilt årtal mellan 1959-2016 inom studieområdet i Arbuvuopmi. Den procentuella förändringen av palsyta har beräknats utifrån år 1959 som referensår. Bakgrunden till varje årtal illustreras av ett ortofoto från 2016. Datakälla: Ortofotot, 1m färg © Lantmäteriet (2016); Flygfoto Lantmäteriet, 2016. Karta av Johanna Rasmussen och Maryam Absuge med ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

Figure 9: Area of the palsa for each individual year between 1959-2016 within the study area in Arbuvuopmi, Sweden. The percentage change in the palsa area is calculated with the year 1959 as the reference year. The

background to each year is illustrated by an orthophoto from 2016. Data source: Orthophoto, 1m colour © Lantmäteriet (2016); Aerial photograph Lantmäteriet, 2016. Map by Johanna Rasmussen and Maryam Absuge using ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

Förlusten av palsyta är speciellt tydlig i mitten av studieområdets sydligaste del där det från början var en större sammanhängande pals år 1959 som vid 2016 har degraderats och brutits upp i flera mindre palsar (figur 10).

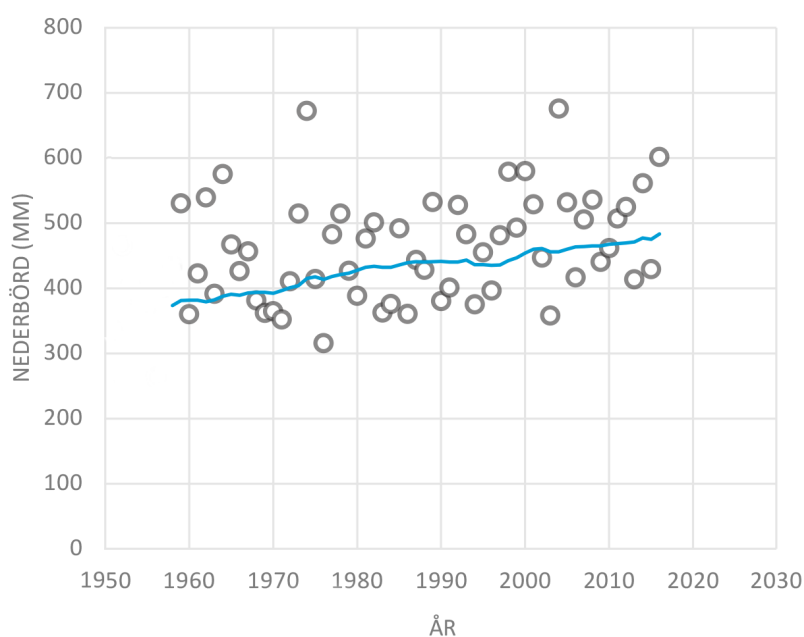


Figur 10: Palsarnas maximala utbredning under 1959 och palsarnas minimala utbredning under 2016 i studieområdet i Arbuvuopmi. Bakgrunden består av ett ortofoto från 2016 över Arbuvuopmi. Datakälla: Ortofotot, 1m färg © Lantmäteriet (2016); Flygfoto Lantmäteriet, 2016. Karta av Johanna Rasmussen och Maryam Absuge med ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

Figure 10: Maximum distribution of the palsa in 1959 and the minimum distribution of the palsa in 2016 in the study area in Arbuvuopmi. The background consists of an orthophoto from 2016 of Arbuvuopmi, Sweden. Data source: Orthophoto, 1m colour © Lantmäteriet (2016); Aerial photograph Lantmäteriet, 2016. Map by Johanna Rasmussen and Maryam Absuge using ESRI ArcMap (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>) Version 10.7.1.

5.2 Nederbörd och temperatur

Mellan perioden 1959-2016 har årsnederbörden varierat mellan 315 mm som lägst till 676 mm som mest (figur 11). Det glidande 30 års medelvärdet indikerar på en successiv ökning från 1959 till och med 2016 med en period under 1990-talet vars data tyder på en minskning av årsnederbörd innan mängden återigen ökar. I genomsnitt har årsnederbörden ökat med ungefär 113 mm under studiens period.



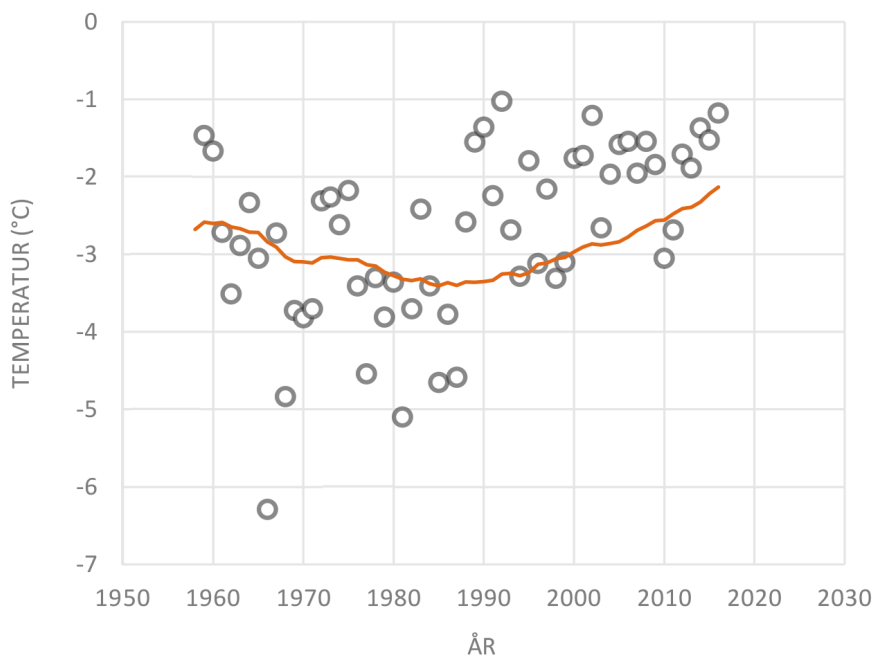
Figur 11: Glidande 30 års medelvärde för genomsnittlig årlig nederbörd i Arbuvuopmi mellan 1959-2016.

Punkterna visar årsnederbörd för varje enskilt år. Datakälla: SMHI (u.d.).

Figure 11: Moving 30-year average for average annual rainfall in Arbuvuopmi, Sweden between 1959-2016.

The points symbolize annual precipitation for each individual year. Data source: SMHI (n.d.).

Årsmedeltemperaturen har, mellan perioden 1959-2016, varierat mellan $-6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ som lägst till $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ som högst (figur 12). Det glidande 30 års medelvärdet för temperatur har, till skillnad från nederbörd, inte successivt ökat mellan perioden 1959-2016. Mellan 1959 till mitten av 1980-talet visar det glidande medelvärdet en nedåtgående trend gällande årsmedeltemperatur med kyligare medeltemperatur med undantag för en kort period under 1970-talet då det glidande medelvärdet planar ut. Efter mitten av 1980-talet ökar det glidande medelvärdet successivt med en kort period under början av 2000-talet där klimatdatan indikerar på en utplaning. Under studiens period har medeltemperaturen ökat med cirka $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

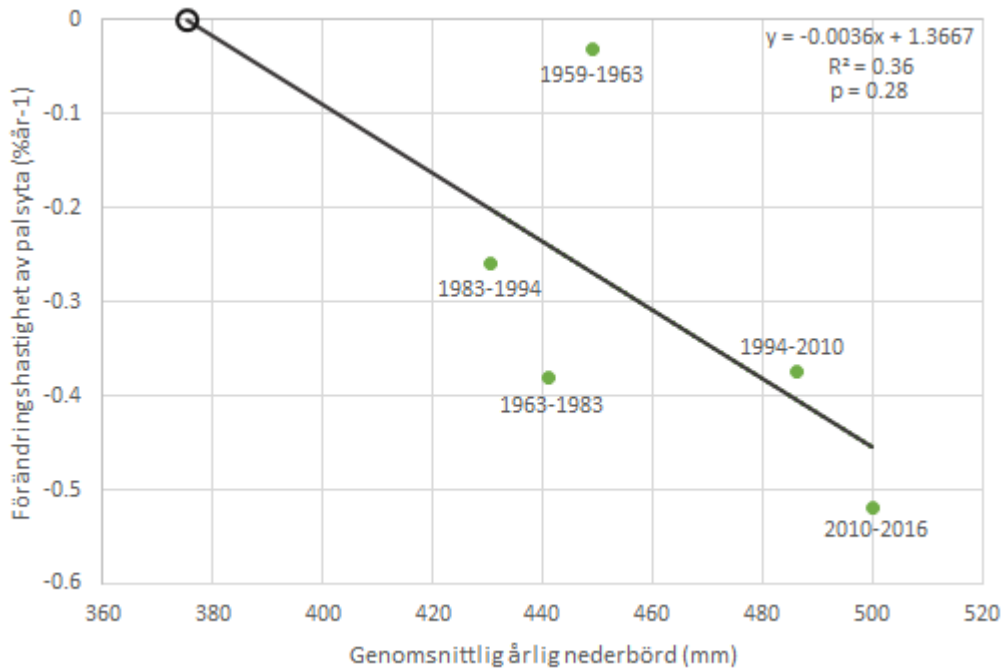


Figur 12: Glidande 30 års medelvärde för genomsnittlig årlig temperatur i Arbuvuopmi mellan årtalen 1959-2016. Punkterna visar årsmedeltemperatur för varje enskilt år. Datakälla: SMHI (u.d.).

Figure 12: Moving 30-year average for the average annual temperature in Arbuvuopmi between the years 1959-2016. The points symbolize the annual average temperature for each individual year. Data source: SMHI (n.d.).

5.3 Korrelation mellan palsnedbrytning och klimatologiska variabler

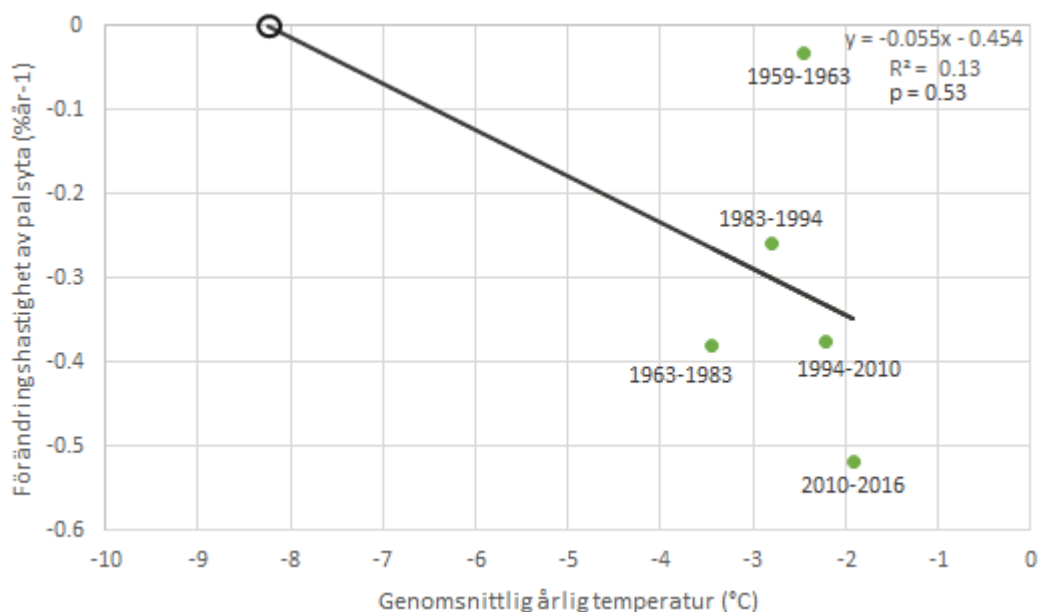
Förhållandet mellan förändringshastighet av pals och genomsnittlig årlig nederbörd visas i figur 13, där en större mängd nederbörd indikerar på en högre förändringshastighet av pals. $R^2 = 0.36$, vilket innebär att 36% av variationen i förändringshastighet kan förklaras av den genomsnittliga årliga nederbördsmängden. Eftersom $p = 0.28$ och därmed >0.05 kan sambandet mellan förändringshastigheten av pals och den genomsnittliga årliga nederbördsmängden ses som icke signifikant. Jämviktsvärdet för den genomsnittliga årliga nederbörden beräknas vara 375 mm i studieområdet, vilket innebär att det är mängden nederbörd som kan falla medan palsarna fortfarande är i balans.



Figur 13: Sambandet mellan förändringshastighet av pals och genomsnittlig årlig nederbörd i studieområdet Arbuvuopmi mellan perioden 1959-2016. Den svarta cirkeln symboliserar jämviktspunkten vilket är 375 mm. Data med nederbörd är inhämtad från SMHI.

Figure 13: The relationship between the rate of change of pals and the average annual precipitation in the study area Arbuvuopmi, Sweden between the period 1959-2016. The black circle symbolizes the equilibrium point which is 375 mm. Precipitation data is obtained from SMHI.

Förhållandet mellan förändringshastighet av pals och genomsnittlig årlig temperatur visualiseras i figur 14 som visar att förändringshastigheten av pals är större desto högre genomsnittlig årsmedeltemperatur. $R^2 = 0.13$, vilket visar att ungefär 13% av förändringshastigheten av palsyta kan förklaras av den genomsnittliga årliga medeltemperaturen. Sambandet mellan förändringshastighet och årsmedeltemperatur kan antas inte vara signifikant eftersom $p = 0.53$ vilket är >0.05 . I studieområdet har jämviktsvärdet för den genomsnittliga årliga temperaturen där palsarna är i balans beräknats till $-8.3\text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 14: Sambandet mellan förändringshastighet av palsa och genomsnittlig årlig temperatur i studieområdet Arbuvuopmi mellan perioden 1959-2016. Den svarta cirkeln symboliserar jämviktspunkten vilket är $-8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Data med temperatur är inhämtad från SMHI.

Figure 14: The relationship between the rate of change of palsa and the average annual temperature in the study area Arbuvuopmi between the period 1959-2016. The black circle symbolizes the equilibrium point which is $-8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Data with temperature is obtained from SMHI.

5.4 Jämförelse av förändringar i palsyta och förändringshastighet mellan Arbuvuopmi, Vissátvuopmi & Tavvavuoma

Den största totala förändringen av palsa procentuellt (tabell 4) har skett i Tavvavuoma som visar en total minskning på -57% (1963-2010) och en genomsnittlig årlig förändring på $-1.60\% \text{ år}^{-1}$ (Shmárina & Hedlund, 2020). Vissátvuopmi ryggpals (1955-2016) har en total förändring på -54% medan den genomsnittliga årliga förändringen var $-1.25\% \text{ år}^{-1}$.

Vissátvuopmi palsplåtå (1955-2016) har en total förändring med -30% och dess genomsnittliga årliga förändring i området var $-0.58\% \text{ år}^{-1}$. Den totala förändringen inom området Vissátvuopmi kupolpals (1955-2016) var -35% med en genomsnittlig årlig förändring av $-0.70\% \text{ år}^{-1}$ (Olvmo m.fl., 2020). Arbuvuopmi har haft den lägsta totala förändringen av palsa med en minskning på -18% och en genomsnittlig årlig förändring på $-0.35\% \text{ år}^{-1}$. Gemensamt för Arbuvuopmi, Tavvavuoma och Vissátvuopmi ryggpals är att de alla tre har den högsta genomsnittliga årliga förändringen under perioden 2010-2016. För Vissátvuopmi kupolpals är förändringen som högst under perioden 1955-1963. När det

kommer till Vissátvuopmi palsplatå, vilket är det största området med palsyta av områdena i Vissátvuopmi, sker den högsta genomsnittliga årliga förändringen under perioden 1994-2010.

Tabell 4: Tabellen illustrerar palsarnas startyta, förändringshastighet av pals per år (% år⁻¹), genomsnittliga förändringshastighet (% år⁻¹) samt total förändring mellan karterade perioder inom tre olika studieområden. N/A innebär avsaknad av data vilket beror på att mätningar gjordes mellan olika perioder. Data över Vissátvuopmi är hämtad från Olvmo, m.fl. (2020), data över Tavvavuoma är hämtad från Shmárina & Hedlund (2020).

Table 4: The table illustrates the palsas starting area, rate of change of pals per year (% year⁻¹), average rate of change (% year⁻¹) and total change between mapped periods within three different study areas. N/A means lack of data, which is due to measurements being made between different periods. Data on Vissátvuopmi is obtained from Olvmo, m.fl. (2020), data on Tavvavuoma is obtained from Shmárina & Hedlund (2020).

	Arbuvuopmi (1959-2016)	Vissátvuopmi, palsplatå (1955-2016)	Vissátvuopmi, kupolpals (1955-2016)	Vissátvuopmi, ryggpals (1955-2016)	Tavvavuoma (1963-2016)
Startyta (m²)	1062112	695054	22783	8495	318000
Period	Årlig förändring (%år-1)				
1955-1963	N/A	-0.60	-1.29	-1.04	N/A
1959-1963	-0.03	N/A	N/A	N/A	N/A
1963-1983	-0.38	-0.29	N/A	N/A	N/A
1963-1994	N/A	N/A	-0.31	-0.81	-0.80
1983-1994	-0.26	-0.51	N/A	N/A	N/A
1994-2010	-0.38	-0.88	-1.15	-1.67	-2.20
2010-2016	-0.52	-0.83	-0.76	-2.62	-4.10
	Genomsnittlig årlig förändring (%år-1)				
	-0.35	-0.58	-0.70	-1.25	-1.60
	Total förändring (%)				
	-18	-30	-35	-54	-57

6. Diskussion

Kartläggningen av palsarnas utbredning inom studieområdet i Arbuvuopmi under perioden 1959-2016 tyder på att det finns en pågående minskning av palsyta. Resultatet visar att den totala förändringen av palsarnas yta mellan studiens tidsperioder är -18% och den genomsnittliga årliga förändringen mellan samma period är -0.35% år^{-1} . Fronzek, Luoto och Carter (2006) skriver att flera forskningar pekar på att palsmyrar i både Europa och Nordamerika degraderas i nuläget. Degraderingen beror på klimatförändringar som enligt Liebner och Svenning (2013) resulterar i att både bildningen samt nedbrytningen av pals blir i obalans och ostabil. En ostabil pals medför att permafrosten smälter snabbare än vad ny pals hinner växa. Degraderingen av palsar orsakas vanligtvis av både vind och vatten vilket beskrivs av Wrammer (1973). Studieområdet i Arbuvuopmi är belägen på högre breddgrader (figur 6), jämfört med Tavvavuoma och Vissátvuopmi. Eftersom studiens avgränsningsområde är lokaliserad högre upp än de andra två områdena kan även höjden vara en bidragande faktor till Arbuvuopmis låga förändringshastighet av pals. Enligt SMHI (2021) kan skillnad i höjd resultera i att klimatet i ett område kan skilja sig åt drastiskt, även inom närliggande områden.

Under karteringen av palsarna i Arbuvuopmi (figur 9) observerades det att palsarna under år 2010 och 2016 var mindre kompakta och mer uppbrutna jämfört med resterande perioder. Under perioden 1959-1963 skedde den minsta förändringen av palsyta, vilket var -0.03% år^{-1} . En bidragande faktor till att studiens årliga förändringshastighet var låg under perioden 1959-1963, och som därmed särskiljde sig från resten av perioderna (i Arbuvuopmi), var att perioden endast bestod av fyra år. I studien utförd av Olvmo m.fl. (2020) för liknande period (1955-1963) indikerar resultatet på att den årliga förändringshastigheten är -0.60% år^{-1} (palsplåtå) -1.29% år^{-1} (kupolpals) och -1.04% år^{-1} (ryggpals). Till skillnad från Arbuvuopmi har Vissátvuopmi en högre årlig förändringshastighet. Studien för Tavvavuoma börjar 1963 och har därmed ingen data (årlig förändringshastighet) under perioden som Arbuvuopmi och Vissátvuopmi. En jämförelse mellan de tre områdena under perioden 1959-1963 kunde därför inte utföras.

Förändringen av pals i Arbuvuopmi jämfört med Vissátvuopmi och Tavvavuoma skiljer sig en del åt (tabell 4). Resultatet av studien visar en låg årlig genomsnittlig förändringshastighet i Arbuvuopmi jämfört med Vissátvuopmi och Tavvavuoma. För Arbuvuopmi är den

genomsnittliga årliga förändringen av pals $-0.35\% \text{ år}^{-1}$, jämfört med Tavvavuoma som har en genomsnittlig årlig förändring på $-1.60\% \text{ år}^{-1}$ och Vissátvuopmi vars palsplatås förändring är $-0.58\% \text{ år}^{-1}$, kupolpals $-0.70\% \text{ år}^{-1}$ och ryggpals $-1.25\% \text{ år}^{-1}$. Även den totala förändringen skiljer sig åt en del mellan områdena. Tavvavuoma har den högsta procentuella totala förändringen av pals (-57%) medan Arbuvuopmi har den lägsta procentuella totala förändringen av pals på -18% vilket bland annat kan förklaras av palsarnas storlek. Palsarna inom studieområdet i Arbuvuopmi med referensår 2016 är relativt stora med en medelareal på $21\,291 \text{ m}^2$, medan palsarna med referensår 2016 i Vissátvuopmi och Tavvavuoma har en medelareal på 9404 m^2 respektive 1191 m^2 . Shmárina och Hedlunds (2020) kartering av pals i Tavvavuoma med 2016 som referensår (bilaga 1) visar att studieområdets palsar i regel är mer uppbrutna och små till yta i jämförelse med studieområdet i Arbuvuopmi. Den större medelarealen på pals i Arbuvuopmi kan medföra att palsarna i det området inte degraderar lika snabbt som de med mindre medelareal. Den accelererande förändringshastigheten av palsyta under perioden 2010-2016 (för alla tre områden) förklaras av Mamet m.fl. (2017) genom att nedbrytning av palsar kan tydliggöra permafrostens tillstånd. Nedbrytningen sker framförallt i områden där lufttemperaturen har stigit markant under de senaste årtionden. Palsområdenas utbredning har minskat, permafrosttemperaturen har stigit och det aktiva lagret har urholkats drastiskt sedan 1940-talet (ibid, 2017). Vissátvuopmi och Tavvavuoma har båda haft en relativt hög förändringshastighet av pals som har ökat signifikant sedan mitten av 1950-talet respektive början av 1960-talet fram till 2016. Medan Arbuvuopmi har haft en relativt låg förändringshastighet genom åren sedan slutet av 1950-talet fram till 2010 som därefter har ökat fram till 2016. Längs med den norra gränsen av studieområdet i Arbuvuopmi skär studieområdet några palsar i mitten (figur 4). Om avgränsningsområdet istället hade börjat ovanför palsarna skulle det kunna påverka resultatet av denna studie, men eftersom även palsarna norr om studieområdets gränser är stora (vilket kan observeras på bilderna studien utgått från) skulle resultatet med stor sannolikhet visa liknande resultat som denna studie har kommit fram till.

I en studie utförd av Hurtig och Gustafsson (2020) i Vissátvuopmi går det att observera att de större palsarna är lokaliserade i mitten av studieområdet medan de mindre solitära palsplatåerna är belägna nära branta bergssidor. Arbuvuopmi ligger i en dalgång vilket troligtvis kan bidra till den långsamma degraderingshastigheten av pals i studieområdet, detta eftersom palskomplexet är lokaliserad längre från branta bergssidor. I och med att studieområdet är belägen i en dalgång kan det medföra att området delvis är skyddat från

sydvästliga vindar (figur 5). Inom studieområdet finns det få vattenområden och få termokarstsjöar, som i stor mängd enligt Seppälä (2011), har en tendens att smälta palsens nedfrysta kärna vilket aktiverar degraderingsprocessen. I ortofotot över studieområdet (figur 4) uppmärksammades enbart en medelstor termokarstsjö och ett relativt brett vattendrag som mynnar ut längs med studieområdets östra- och sydöstra del. Det gick även att observera små vattendrag i studieområdets norra- och nordvästra del. Eftersom det inte förekom många sjöar och vattendrag i studieområdet kan det delvis förklara varför palsarna i området inte degraderas avsevärt.

Resultatet av klimatdataanalysen tyder på att korrelationen (sambandet) mellan den genomsnittliga årliga förändringshastigheten av pals och genomsnittliga årliga nederbörden respektive genomsnittliga årliga temperaturen inte är signifikant, eftersom p-värdet för både temperatur och nederbörd var >0.05 . I studien utförd av Shmárina och Hedlund (2020) var korrelationen mellan förändring av palsyta och genomsnittlig årlig nederbörd i Tavvavuoma signifikant med ett p-värde <0.05 . Korrelation mellan förändring av palsyta och genomsnittlig årlig temperatur beräknades inte vara signifikant eftersom p-värdet var >0.05 . Studien utförd av Olvmo m.fl. (2020) avseende Vissátvuopmi visar att korrelationen mellan palsyta och genomsnittlig årlig temperatur och nederbörd var signifikant med ett p-värde <0.05 . Arbuvuopmi och Tavvavuoma har inte en signifikans mellan förändring av palsyta och genomsnittlig årlig temperatur medan värdena för Vissátvuopmi är signifikanta. Jämviktsvärdet för temperatur var liknande mellan Tavvavuoma och Vissátvuopmi med -3.9° C respektive -4° C men trots det var Vissátvuopmis förändring av palsyta och genomsnittlig årlig temperatur signifikant medan det inte var signifikant för Tavvavuoma.

Borge m.fl. (2016) har genomfört en liknande studie som denna men vid andra palsområden där förändringshastigheten av pals varit betydligt högre än i Arbuvuopmi och Vissátvuopmi. Tavvavuoma hade en liknande förändringshastighet som palsområdena Borge m.fl (2016) undersökte. Palsområdena som ingått i studien gjord av Borge m.fl. (2016) är små till yta vilket kan observeras på figurerna i studien (bilaga 2). Den mindre storleken på pals kan förklara den höga förändringshastigheten. Seppälä (2011) skriver att en pals är en stabil vegetationstyp eftersom palsens nedfrysta kärna är skyddad av torv som är en värmeisolator. Det värmeisolerande skiktet bidrar till att sommartemperaturer enbart har en påverkan på palsens översta skikt (upptiningslagret). Den värmeisolerande faktorn kan förklara varför stora palsar kan vara stabila och mindre mottagliga från lokala miljöfaktorer såsom

klimatförändringar, medan mindre palsar är mer ostabila och därmed mer mottagliga för lokala förändringar. Stora palsar har generellt en större yta som skyddas av torv jämfört med en mindre pals.

Denna studie bidrar med konkret fakta för att öka förståelsen om inverkan av meteorologiska drivkrafter som bidrar till palsdegradering, samtidigt som resultatet visar att storleken på palsarna spelar roll i hur snabbt pals degraderar. Inför framtida studier är ett förslag att fortsättningsvis undersöka varför palsar i Arbuvuopmi har en såpass låg förändringshastighet jämfört med andra palsområden såsom Tavvavuoma och Vissátvuopmi. Bland annat skulle en fältstudie till Arbuvuopmi kunna genomföras för att få tydligare inblick över områdets geomorfologi och dess förutsättningar. Studierna kan jämföra andra klimatfaktorer än vad denna studie gjort såsom att jämföra vindförhållanden mellan platserna och snödjup. Det skulle även vara intressant att kartera den mängd termokarstsjöar som finns inom vardera område för att undersöka dess påverkan på palsdegradering samt att studera andra lokala förhållanden i området. Fortsättningsstudien kan även ta reda på om det finns en specifik typ av pals (exempelvis ryggpals, kupolpals och palsplatå) som är mer benägna att degradera inom studieområdet i både Arbuvuopmi och Tavvavuoma.

7. Slutsatser

Studiens syfte har varit att undersöka förändringar i palsutbredning mellan årtalen 1959-2016 i Arbuvuopmi samt att undersöka om det finns ett samband mellan förändringshastighet av pals och klimatindikatorer (nederbörd och lufttemperatur). Studien har även undersökt om det finns skillnader mellan Arbuvuopmi, Tavvavuoma och Vissátvuopmi gällande förändringstrender och vilka lokala faktorer som har kunnat förklara dessa skillnader.

Resultatet visar att nedbrytningen av pals i Arbuvuopmi har pågått sedan åtminstone slutet av 1950-talet där förändringshastigheten ökat under största delen av perioden 1959-2016.

Mellan 1983-1994 avviker förändringshastigheten från hela periodens ökning, vilket kan bero på att nederbörden under den perioden är lägst. Den ökande förändringshastigheten under största delen av perioden beror på förändringar i klimatet med varmare årsmedeltemperatur och en högre årsnederbörd. Ökad förändringshastighet i relation till varmare årsmedeltemperatur och högre årsnederbörd går även att observera i studierna i Tavvavuoma och Vissátvuopmi. I enlighet med tidigare studier om pals och klimatförändringar, såsom studierna som genomfördes i Tavvavuoma och Vissátvuopmi, kan slutsatsen dras att nedbrytningshastigheten av pals förmodligen kommer öka ytterligare under kommande år. Resultatet av den totala procentuella förändringen och den årliga genomsnittliga förändringshastigheten av pals i Arbuvuopmi är lägre än i Tavvavuoma och Vissátvuopmi, vilket kan bero på Arbuvuopmis större palsar. Palsarna är större och är därför inte lika känsliga för förändringar i temperatur och nederbörd. Studieområdet är beläget högre upp i Sverige än Tavvavuoma och Vissátvuopmi, vilket också kan vara en faktor till att palsarna inte degraderat i lika hög hastighet som i de två andra områdena. Palsar är generellt mycket hotade och påverkade av klimatfaktorer, såsom nederbörd och temperatur. Klimatfaktorena kan ha en starkare påverkan på förändring av pals i studieområdet i framtiden, än vad resultaten visade i studien. Ett varmare klimat riskerar att medföra att pals i framtiden kommer försvinna i snabbare takt än i dagsläget om inte tillräckliga åtgärder implementeras för att förhindra det.

8. Referenser

Backe S, 2014. *Kartering av Sveriges palsmyrar*. Länsstyrelsens rapportserie nr 4/2014, 72 pp.

Barcan, V. (2010). Stability of palsa at the southern margin of its distribution on the Kola Peninsula. *Polar Science*, 4(3), 489-495. doi: 10.1016/j.polar.2010.07.002

Borge, A., Westermann, S., Solheim, I., & Etzel Müller, B. (2017). Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere*, 11(1), 1-16. doi: 10.5194/tc-2016-12, 2016.

Bosiö, J., Johansson, M., Callaghan, T., Johansen, V., & Christensen, B. (2012). Future vegetation changes in thawing subarctic mires and implications for greenhouse gas exchange—a regional assessment. *Climatic Change*, 115(2), 379-398. doi: 10.1007/s10584-012-0445-1

DIVA-GIS. (u.d.). *Download data by country*. Hämtad 2021-04-19 från; <https://www.diva-gis.org/gdata>

Ebrahimabadi, Saeed, Charlotta Johansson, Agatino Rizzo, & Kristina Nilsson. "Microclimate Assessment Method for Urban Design – A Case Study in Subarctic Climate." *Urban Design International* 23.2 (2018): 116-31. doi: 10.1057/udi.2015.26

Fronzek, S., Luoto, M., & Carter, T. (2006). Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32(1), 1-12. Retrieved April 24, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/24869284>. doi: 10.3354/cr032001

Gunnarsson, U., Malmer, N. & Rydin, H. (2002). Dynamics or constancy in Sphagnum dominated mire ecosystems? A 40-year study. – *Ecography* 25: 685–704. doi: 10.1034/j.1600-0587.2002.250605.x

Hurtig, I, M., & Gustafsson, E. (2020). *Palsar i Vissátvuopmi: Kartering och klassificering utifrån DEM-raster*. [Kandidatuppsats i geografi, Göteborgs universitet]. Gothenburg University Publications Electronic Archive. <http://hdl.handle.net/2077/65583>

Lantmäteriet. (2015). *GSD- Ground elevation Model grid 2+*. Hämtad 2021-04-19; från <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/hojdmodell-nedladdning/>

Lantmäteriet. (2016). *GSD-Orthophoto*. Hämtad 2021-04-19; från <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/ortofoto/>.

Lantmäteriet. (2019). *Höjddata, grid 2+*. Hämtad 2021-06-02; från <https://zeus.slu.se/get/?drop=get>

Leifeld, J., & Menichetti, L. (2018). The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nat Commun*, 9(1), 1071. doi: 10.1038/s41467-018-03406-6

Liebner, S., & Svenning, M. M. (2013). Environmental transcription of mmoX by methane-oxidizing Proteobacteria in a subarctic Palsa Peatland. *Applied and environmental microbiology*, 79(2), 701–706. doi: 10.1128/AEM.02292-12

Malmer, N., Johansson, T., Olsrud, M., & Christensen, T. (2005). Vegetation, climatic changes and net carbon sequestration in a North-Scandinavian subarctic mire over 30 years. *Global Change Biology*, 11(11), 1895-1909. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01042.x

Mamet, S., Chun, K., Kershaw, G., Loranty, M., & Peter Kershaw, G. (2017). Recent Increases in Permafrost Thaw Rates and Areal Loss of Palsas in the Western Northwest Territories, Canada: Non-linear Palsa Degradation. *Permafrost and Periglacial Processes*, 28(4), 619-633. doi: 10.1002/ppp.1951

Olvmo, M., Holmer, B., Thorsson, S., Reese, H. & Lindberg, F. (2020). Sub-arctic palsa degradation and the role of climatic drivers in the largest coherent palsa mire complex in Sweden (Vissátvuopmi), 1955–2016. *Sci Rep* 10, 8937. doi: 10.1038/s41598-020-65719-1

Rafstedt, T., Andersson, L. & Von Sydow, U. (1985). *Fjällens vegetation*. Norrbottens län.

Seppälä, M. (1988) Palsas and related forms. – In: Clark, M.J. (ed.): *Advances in periglacial geomorphology*: 247-278, John Wiley, Chichester. doi:10.1002/ppp.3430040220

Seppälä, M. (2006). Palsa mires in Finland. *In Finland - land of mires*. Helsinki: Finnish Environment Institute. doi: 10.2307/521114

Seppälä, M. (2011). Synthesis of studies of palsa formation underlining the importance of local environmental and physical characteristics. *Quaternary Research*, 75(2), 366-370. doi: 10.1016/j.yqres.2010.09.007

Shmárina, M., & Hedlund, L. (2020). *Inverkan av meteorologiska drivkrafter på degradationen av palsar i ett av Sveriges palstättaste områden (Tavvavuoma), 1963- 2016*. [Kandidatuppsats i Geografi, Göteborgs Universitet]. (Opublicerad).

Sonesson, M., Carlsson, B. Å., Callaghan, T. V., Halling, S., Björn, L. O., Bertgren, M. and Johanson, U. (2002). Growth of two peat-forming mosses in subarctic mires: species interactions and effects of simulated climate change. – *Oikos* 99 (1): 151–160. doi: 1600-0706.2002.990115.x

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). (2018a). *Det hydrologiska året*. Hämtad 2021-04-19 från; <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/det-hydrologiska-aret-1.280>

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). (2018b). *Hur beräknas medeltemperatur?* Hämtad 2021-04-19 från; <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-beraknas-medeltemperatur-1.3923>

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). (u.d.). *Ladda ner meteorologiska observationer*. Hämtad 2021-04-12 från;
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airTemperatureMeanMonth,stations=all,stationid=192840>

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). (2021). *Naturliga faktorer som påverkar klimatet*. Hämtad 2021-05-10 från;
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatpaverkan/naturliga-faktorer-som-paverkar-klimatet-1.3831>.

Watling, J., Romañach, S., Bucklin, D., Speroterra, C., Brandt, L., Pearlstine, L., & Mazzotti, F. (2012). Do bioclimate variables improve performance of climate envelope models? *Ecological Modelling*, 246(C), 79-85. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.07.018

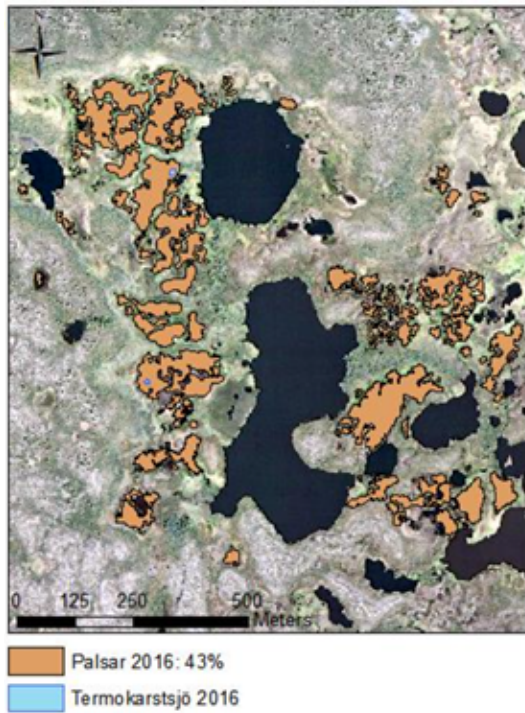
Wrammer, P (1967): *Studier av palsmyrar i Laivadalen, Lappland*. Teknik och Natur.

Wrammer, P (1973). *Palsmyrar i Taavavuoma, Lappland*. Göteborgs universitet, GUNI rapport 3.

Zuidhoff, F., & Kolstrup, E. (2000). Changes in palsa distribution in relation to climate change in Laivadalen, northern Sweden, especially 1960–1997. *Permafrost and Periglacial Processes*, 11(1), 55-69. doi: 10.1002/(SICI)1099-1530(200001/03)11:1<55::AID-PPP338>3.0.CO;2-T

9. Bilagor

Bilaga 1: Shmárina, M., & Hedlund, L. (2020). *Inverkan av meteorologiska drivkrafter på degradationen av palsar i ett av Sveriges palstättaste områden (Tavvavuoma), 1963- 2016*. Kandidatuppsats i Geografi vid Göteborgs Universitet. (Opublicerad).



Bilaga 2: Borge, A., Westermann, S., Solheim, I., & Etzelmüller, B. (2017). Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years. *The Cryosphere*, 11(1), 1-16. doi: 10.5194/tc-2016-12, 2016.

