

Snödjupsfördelningens och snödensitetens påverkan på palsdegradationen i Vissatvuopmi, Saarikoski, Lappland



Boris Knezevic
Kaelan Kader

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
2019 B-1055

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Economy and Society, Human Geography &
Department of Earth Sciences
Geovetarcentrum/Earth Science Centre

Snödjupsfördelningens och snödensitetens påverkan på palsdegradationen i Vissatvuopmi, Saarikoski, Lappland

**Boris Knezevic
Kaelan Kader**

ISSN 1400-3821

**B1055
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2019**

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Sammanfattning

Palsar är kullar bestående utav permafrost och torv och/eller mineraljord som förekommer i områden med diskontinuerlig permafrost. Palsar har en naturlig livscykel men under de senaste decennierna i takt med den globala uppvärmningen har nedbrytningen av palsar accelererat, något som inte tycks hänga samman med den normala livscykeln. Förutom den globala uppvärmningen antas en rad lokala faktorer också påverka palsdegraderingen så som snödjup och snödensitet. Dock finns det få studier som undersökt detta närmare. Syftet med denna studie har därför varit att undersöka huruvida fördelningen av snödjup och snödensitet på och runt en pals påverkar palsdegradering.

Mätningar av snödjup och snödensitet genomfördes på två olika typer av palsar, d.v.s. kupolpals och flakpals i palsmyrkomplexet, Vissatvuopmi i norra Sverige. Även vinddata från närliggande metrologisk station användes för att studera hur vinden påverkar snödjupet och snödensiteten på och runt en pals.

Snödjupet och snödensiteten visar en god överensstämmelse med palsdegradationen, d.v.s. där snön är som djupast och har lägst densitet där har de gradationen varit som störst. Dock förekommer det även hög snödensitet på ett litet område som degraderats markant, detta tycks ha ett samband med vindriktning. I överlag förekommer hög snödensitet där ytorna är flacka och vindutsatta.

Sambandet mellan snödjup, snödensitet och palsdegradation bekräftar att det lokala faktorer som styr palsarnas degradering.

Nyckelord: Pals, global uppvärmning, snödjup, snödensitet, degradation

Abstract

Palsas are mounds of permafrost and or peat/mineralsoil that occurs in areas with discontinuos permafrost. Palsas has a natural development but in recent decades in step with the global warming, an increased degradation has occurred, something that does not seem to be related with the natural development of palsas. In addition to global warming, numerous local factors are assumed to have an impact on the formation of palsa such as snow depth and snow density. There are few studies that have analyzed this more closely. The purpose of this study has therefore been to research how the distribution of snow depth and snow density on and around a palsa have an impact on palsa degradation.

Measurements of snow depth and snow density was made on two different types of palsa, a dome palsa and a palsa plateu, located in a palsablog complex in Vissatvuopmi. Wind data from nearby metrological station was used to study how the wind affects the snow depth and snow density on and around a palsa.

The snow depth and snow density show a good conformation with the degradation of palsa, where the snow is deepest and has the lowest density, the degradation has occurred the most. Though, there is also a high snow density in a small area that has been significantly degraded, which seems to have a relation with wind direction. In general, high snow density occurs where the surfaces are flat and exposed to wind.

A clear relation can be seen between snow depth distribution, snow density distribution and palsa degradation, which points out, in addition to global warming, there are local factors that have an impact on degradation of palsa.

The relation between snow depth, snow density and palsa degradation confirms that local factors have an impact on palsa degradation.

Keywords: Palsa, global warming, snow depth, snow density, degradation

Förord

Projektet är en kandidatuppsats i geografi skriven vid Göteborgs universitet VT 2019. Palsar som viktiga klimatindikatorer fick oss att bli intresserade för att bidra med ytterligare forskning kring bakomliggande orsaker för dess utveckling och bevarande. Vi är mycket stolta över arbetet och hoppas att intresset om palsar ökar bland studenterna för en vidare forskning.

Ett stort tack till professor Sofia Thorsson och vår handledare docent Mats Olvmo vilka har bidragit med stöd och vägledningen under arbetets gång. Tack vill vi också rikta till doktor Alexander Walther som bidragit med hjälp för GIS-vägledning och docent Heather Reese för betydelsefullt material. Inte minst vill vi även tacka Geografiska Föreningen som bidragit med stipendium som underlättade fältarbetet.

Avslutningsvis tackar vi klassen för all feedback under kursens gång.

Boris Knezevic & Kaelan Kader

Göteborg 2019-05-29

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Abstract.....	2
Förord.....	3
1. Introduktion	6
1.2 Syfte	7
1.3 Frågeställningar.....	7
2. Kunskapsöversikt	8
2.1 Vad är en pals.....	8
2.2 Snöns betydelse för en pals	9
2.3 Palsar och klimatförändringar.....	11
3. Studieområde.....	12
3.1 Områdes klimat och vegetation.....	13
4. Metodik.....	14
4.1 Snödjupsmätningar	14
4.1.1 Kupolpals.....	14
4.1.2 Flakpals.....	15
4.2 Snödensitetsmätningar	16
4.3 Bearbetning av data	19
4.3.1 Insamling av ortofoton.....	19
4.3.2 Insamling av höjddata	19
4.3.3 Snödjupsmätningar och densitetsmätningar.....	19
4.3.4 Palsdegradation	20
4.3.5 Vindhastighet och vindriktning	20
5. Resultat	22
5.1 Snödjup	22
5.1.1 Kupolpals.....	22
5.1.2 Flakpals.....	25
5.2 Snödensitet	27
5.2.1 Kupolpals.....	27
5.2.2 Flakpals.....	29
5.3 Ekvivalent mängd vatten.....	30
5.3.1 Kupolpals.....	30
5.3.2 Flakpals.....	32
5.4 Vindklimat	33
5.4.1 Naimakka	33

5.4.2 Karesuando	34
5.5 Sambandet mellan vind, snödjup och snödensitet.....	35
5.6 Palsdegradering	36
5.6.1 Kupolpals.....	36
5.6.2 Flakpals.....	38
6. Diskussion	39
6.1 Vidare forskning	41
7. Slutsats	42
8. Referenser	43

1. Introduktion

Palsar är kullar bestående utav permafrost och torv och/eller mineraljord (Seppälä 2011). Palsar förekommer i områden med diskontinuerlig permafrost och har en naturlig livscykel där den naturligt växer till och kollapsar (Wramner 1967). Under de senaste decennierna har degraderingen av palsarna ökat markant, något som inte tycks hänga samman med den normala palslivscykeln (Borge et al., 2017). Palsdegradationen förväntas under de kommande seklen att öka till följd av ett varmare klimat i Arktis och subarktisk (Fronzek et al., 2006). Klimatförändringar anses vara det enskilt största hotet mot palsarna i Sverige och kan leda till att palsarna kan försvinna helt inom en relativt snar framtid (Naturvårdsverket 2011). Förutom global uppvärmning påverkas palsarnas utveckling och bevarande av en rad lokala faktorer så som vegetationen, torvens tjocklek och snödjup (Seppälä 2006, Fronzek 2006).

Palsmyrar kännetecknas av hög biologisk mångfald och förändringar av dessa miljöer utgör ett hot bland annat mot fågellivet (Wramner 2012). Palsmyrar är en av de naturtyper i de subarktiska områdena som bedöms ha en dålig bevarandestatus (Eide 2014). Palsmyrar i Sverige samt Finland har genom EU:s art- och habitatdirektiv därför blivit en prioriterad naturtyp inom unionen (Backe, 2014).

Klimatologiskt gynnas palsmyrar av en årsmedeltemperatur på ca $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ och årsnederbörd som understiger 450 mm och därmed ett tunt snötäcke. Palsarnas värde som unika och säregna naturfenomen har skapat ett stort intresse bland forskare och palsen ses därför vara av vetenskapligt intresse bl.a. som klimatindikatorer (Wramner 1973). I marken finns både koldioxid och metan som frigörs när permafrosten smälter. Den potentiella effekten av global uppvärmning är inte väl kvantifierad än (Solomon et al., 2007). Studier av smältande permafrost i den sporadiska och diskontinuerliga zonen kan hjälpa till att förstå och kvantifiera vilka möjliga framtida förändringar i växthusgasflöden som kan förväntas om större områden av frusen torv börjar tina (Karlsgård 2008).

Snö och torv är två viktiga parametrar som styr värmetransporten i palsmyren. Mycket ansamlad snö på palsen hindrar kylan från att tränga sig djupt ner i palsen vintertid, vilket innebär att ökad nederbörd i form av snö på vintern är ogynnsamt för palsen. Fördelningen av snön genom vinden över palsars yta är därmed ett viktigt element som påverkar palsen genom att vissa delar blir snöfria medan andra täcks av djup drivsnö. Ett tjockt snötäcke är viktigt även på det sättet att det bildas stora mängder smältvatten på dessa delar av palsen, vilket gör

att torven bibehålls blöt under våren och stora delar av sommaren. Torr torv har dålig värmeledningsförmåga och är på det sättet viktigt för att bevara den frusna kärnan under sommaren (Seppälä, 1990). Andra mer specifika faktorer har en effekt på palsen som t.ex. ökad nederbörd under sommaren och ändring på grundvattennivån (Seppälä 2011).

I en tidigare studie av ett palsområde i Vissatvuopmi palsmyr kunde inga slutsatser om snöns betydelse på palsdegradation dras på grund av otillräcklig datainsamling. En slutsats som gjordes i denna studie var att en förlängd och blötare sommarsäsong var en viktigare faktor för palsdegradering än ökad lufttemperatur (Mora & Thelin 2018). Få studier har gjorts på hur snödjupsfördelningen har för effekt på palsdegradering och det krävs mer detaljerade studier för att urskilja de bakomliggande faktorerna till upptining av palsar (Seppälä 2011).

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka snödjupet på och runt en pals och om det finns ett samband mellan snödjup, snödensitet och palsdegradation. Snödjupsmätningar och densitetsmätningar har genomförts på och runt två olika typer av palsar, nämligen kupolpals och flakpals i Vissatvuopmi, Saarikoski, Lappland under mars-april månad 2019.

1.3 Frågeställningar

- Hur ser snöfördelning ut på och runt en kupolpals och en flakpals?
- Hur varierar snödensiteten på och runt en kupolpals och en flakpals?
- Hur påverkar den generella vindriktningen snöfördelningen och snödensiteten?
- Finns det något samband mellan snöfördelning, snödensitet och palsdegradation?

2. Kunskapsöversikt

2.1 Vad är en pals?

Ordet pals har sitt ursprung från samiskan och finskan och betyder kullar som stigit upp från en myr med en frusen kärna inuti (Seppälä 2006). Idag definieras palsar som högar av torv med en frusen kärna uppbyggd av islinser i den underliggande mineraljorden, vilket har bidragit till en tjällyftning (Seppälä 2011). Palsarna i Sverige kan nå upp till 6–7 meter i höjd (Länssystemerelsen 2014). Figur 1 visar hur palsar ser ut från ett flygfoto.



Figur 1. A) Palsmyr med termokarstsjö, Tavvavuoma. Foto: Susanne Backe, Länsstyrelsen, Norrbotten. B) Palsmyrlandskap med termokarstsjö, Tavvavuoma, Foto: Christoffer Hjalmarsson.

Figure 1 A) A palsa bog with thermokarst pond, Tavvavuoma. Photo: Susanne Backe, Länsstyrelsen, Norrbotten. B) Palsalandscape with thermokarst ponds, Tavvavuoma. Photo: Christoffer Hjalmarsson.

En pals genomgår i de flesta fall ett cykliskt utvecklingsförlopp (Wramner 1973). Degraderingen så väl som nybildning av en pals är en process som pågår i en livscykel i omfattning av 100 år (Kohout et al., 2014). Nybildningen av en pals börjar när vinden omfördelar och frilägger myren från snö, vilket möjliggör att kylan kan tränga ner i den vattenmättade torven. En begränsad del av myren höjs genom att den frusna torven börjar flyta på den underliggande ofrusna vattenmättade torven. Permafrosten når senare mineraljorden vilket höjer palsen ytterligare, även känt som tjällyftning (Seppälä 2011). Vegetationen ändras i samband med palstillväxten och ersätts småningom med torrare vegetationstyper som har en bättre isoleringsförmåga och skyddar palsen till att tina under sommaren. Nederbörden under hösten blir en viktig faktor för ytterligare tillväxt av palsen, genom att torven mättas med vatten från nederbörden. Den mättade torven får en bättre värmeledningsförmåga vilket underlättar för kylan att penetrera och påbörjar frostbildning

under vintersäsong (Seppälä 2011). En tillväxt bidrar till en högre höjd vilket medför att vinden får en bättre effekt till att röja ut snön från palsens yta (Seppälä 2006).

När den frusna palskärnan har nått siltlagret som befinner sig i palsmyrens grund, börjar den mogna fasen av palsutveckling. I detta mogna stadie kan palsarna bli upp till 7 m och utsätts därför enkelt för yttre påverkan som vinderosion och regnerosion vilket påbörjar degraderingen. Även sprickbildning och blockerosion vid sluttningar är vanliga faktorer för den naturliga nedbrytningen av palsar (Seppälä 2006). Palsen kollapsar så småningom och ersätts istället av en vattensamling, så kallade termokarstjöar eller palskar, omgivet av rester från nedbrytningen. Palskaret växer så småningom igen och ger förutsättningar för att en ny pals kan bildas. Vatten anses därför också vara en viktig faktor till den naturliga palstillväxten (Wramner 1967).

Palsar förekommer främst i större myrar och våtmarker, fria från täta skogar där vinden kan omfördela snön vintertid och skapa snöfria ytor. Det finns flera typer av palsar; kupolpals, flakpals, palsplåtå, åspals, strängpalsar och palskomplex. Kupolpals är den tydligaste formen av pals som enkelt kan kännas igen genom dess kupolliknande form och dess höga höjd. En flakpals känns igen av den plana ytan samt av långa ytan som kan sträcka sig till flera hundra meter. Flakpalsen är lägre i höjdd jämfört med kupolpals. Den vanligast förekommande höjden för de olika palsarna i Finland varierar från 0.5–10 meter och diametern på palsarna kan variera från 2–150 meter (Seppälä 2006, 2011).

Förutom torv är de klimatologiska och hydrologiska förhållanden viktiga för palsutvecklingen, nämligen markens egenskaper, hydrologin på platsen, lufttemperaturen, vind och nederbörd. Palsar kräver tillräckligt låga årliga vintertemperaturer som inte bör överstiga -0°C för att marken förblir fryst året runt. Låg årsnederbörd är viktig för palsarna, där mindre än 450 mm nederbörd är det optimala (Seppälä 2011, 2006). Det genomsnittliga årstemperaturen för palsarealerna i Sverige ligger mellan -2 och -3°C och vinternederbörden är mindre än 300 mm (Zuidhoff & Kolstrup 2000).

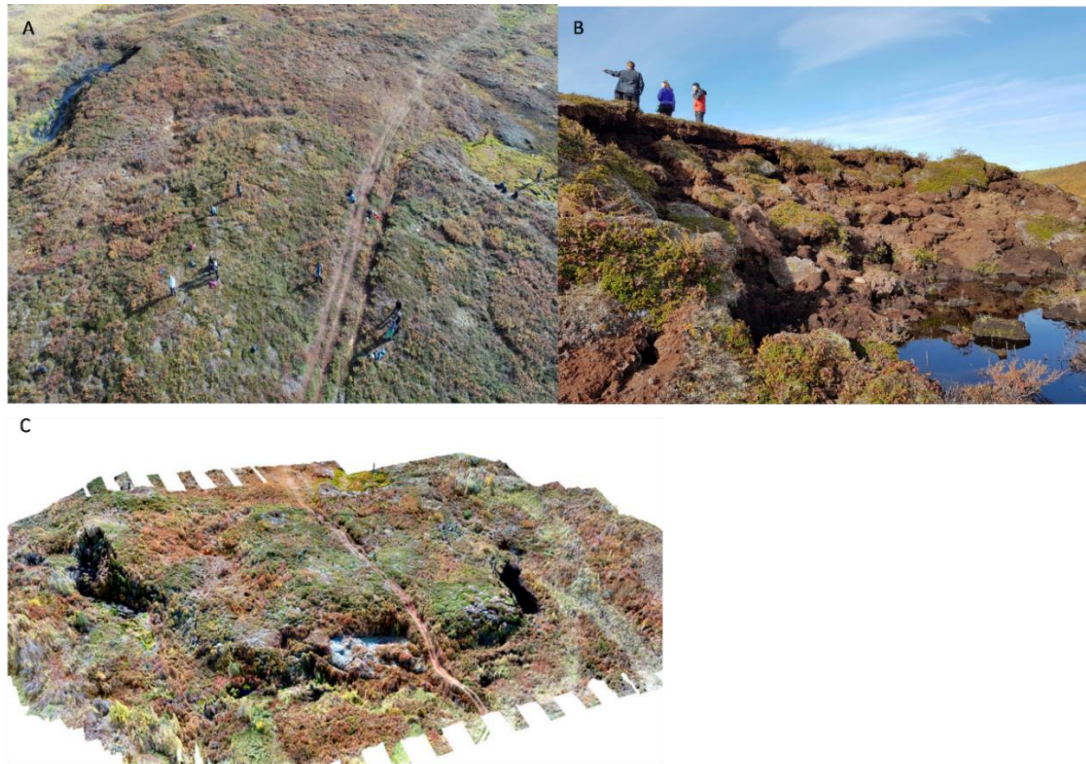
2.2 Snöns betydelse för en pals

På delar av palsen så som sluttningar och sänkor kan flera meter snö ansamlas (figur 2). När en pals har höjts tillräckligt över myren så att den bildar branta kanter ansamlas drivsnö längs dessa kanter (Seppälä 1994). På vintern hindrar det tjocka snölagret kylan att penetrera in i palsen och på ytan är palsen för det mesta fri från snö vilket skyddar palsen till att tina. Under

vår och sommarmånaderna (juni, juli och augusti) hindrar nederbörd tillsammans med smält snö torven från att torka upp och på så sätt kan den blöta torven leda mycket värme från palsytan ner i palsen, vilket ökar degraderingen på dessa delar av palsen. (Zuidhoff & Kolstrup 2000).

Längs med de branta kanterna på palsen eroderas stora delar av palsen bort genom s.k. blockerosion (Figur 2b) och termokarstsjöar bildas längs palsens kanter (Figur 1 och Figur 2). Islinserna och palskärnan utsätts för det omgivande vatten vilket påskyndar degraderingen (Zuidhoff & Kolstrup 2002). Vegetationen förändras längs med de degraderade ytorna på palsen och tillväxt av annan vegetation som t.ex. dvärgbuskar av typen *Betula nana* (dvärgbjörk) växer sig högre och mer utbredd på dessa ytor av palsen och möjliggör att mycket snö kan ansamlas på vintrarna (ibid, 2002).

Snödensiteten varierar beroende på lufttemperatur och tryck. Is har en lägre densitet än vatten som gör att det skapas en "Aerodynamisk lift" under vintern när isen fryser, vilket bidrar till att palsen växer (Knight 2009). SMHI nämner att nyfallen snö har en densitet av 30–100 kg/m³ vilket är lägre än t.ex. vindpackad nysnö som har en densitet på cirka 200 kg/m³ (SMHI, 2019). Snö med en låg densitet har en mycket bättre isoleringsförmåga än snö med hög densitet (Tabell 1994).



Figur 2 visar A) och C) bild ovanpå den studerade kupolpalsen med vegetation, sluttningar och sänkor i. B) Blockerosion på kupolpalsen med intilliggande palsrelaterat vatten i Vissátvuopmi, Foto: Heather Reese 2018, institutioner för geovetenskaper.

Figure 2 shows A) and C) A picture above the studied dome-shaped palsa with vegetation, slopes and sinks. B) shows block erosion on the dome-shaped palsa surrounded with water related to palsa. Photo: Heather Reese 2018, institution for geoscience.

2.3 Palsar och klimatförändringar

I takt med den globala uppvärmningen har livscykeln för palsarna förändrats och palsdegraderingen har ökat. Till följd av ökad nederbörd och lufttemperatur rubbas balansen för palscykeln, vilket resulterar i ökad degradering av palsarna och minskad nybildning av palsar. Klimatet är som varmare under 1900-talet än föregående lilla istid (Holmgren & Tjus, 1996; Jones et al., 2001). Sedan 1960-talet visar forskning att det finns en allmän tendens till en ökning av palsdegradation på de diskontinuerliga permafrostzonerna i norra Skandinavien, vilket anses vara relaterat till ökad genomsnittlig årstemperatur och snödjup (Zuidhoff & Kolstrup 2002). Tinandet av permafrosten i palsarna innebär utsläpp av koldioxid och metangas. Metangas är en kraftigare växthusgas än koldioxid på kort sikt (Naturvårdverket 2018).

En studie visar att en ökad medeltemperatur i framtiden kan leda till stora förluster av palsar redan i början av 2000-talet och att det finns risk för en total förlust av all palsaareal i Skandinavien fram tills 2100-talet (Fronzek 2013).

3. Studieområde

Studieområdet är beläget ca 1,7 km sydväst om Saarikoski, Norrbottens län, Sverige (Fig. 3). Saarikoski utgör ett litet ruralt område med ett fåtal hus och stugor längs med Könkämäälven som utgör gränsen mellan Sverige och Finland. Den studerade palsmyren ligger nordväst om sjön Vittankijävi och utgör en del av det större sammanhängande palsmyrkomplexet Vissätvuopmi. Könkämäälven med tillhörande myrkomplex är belägen ca 440 m.ö.h. Studieområdet är omringad av böljande berg och flacka sluttningar, där det närmast intilliggande berget är Vittangivaara (ca 500 m.ö.h) nordöst om sjön Vittankijävi. Det förekommer även flertals sjöar omkring studieområdet.

Studieområdet tillhör en av Sveriges största palsmyrkomplex som till huvuddelen består av flakpalsar och palsplatåer med enstaka kupolpalsar. Vissätvuopmi sträcker sig 12 km längs den finska gränsen och utgör 14 % av Sveriges totala palsareal. Majoriteten av Sveriges palsareal förekommer i det nordligaste delarna av Norrbotten, längs Könkämäälven och Torneälven (Naturvårdsverket 2015).



Figur 3. Översiktskarta över studieområdet i Saarikoski, Vissätvuopmi samt de studerade palsarna.

Figure 3. Overview map of the study area in Saarikoski, Vissátvuopmi, and the studied palsas.

3.1 Områdes klimat och vegetation

Enligt Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) karaktäriseras norra Sverige av polarklimat som består av tundra och glaciärer (SMHI, 2017a).

Årsmedeltemperaturen för 2018 (Naimakka) där de studerade palsarna befinner sig är -2.5°C och årsnederbörden för 2018 är ca 400 mm/år (SMHI, 2017b, 2017c).

Vegetationen i Vissátvuopmi består i stora drag av blandmyr bestående av torrt kärr och rismyr (von Sydow 1983). Längs med sluttningarna av Könkämäälvsdalen och berget Vittangivaara dominerar fjällbjörskogen och enstaka granträ i små skalor högre upp för sluttningarna. På de lägre delarna av Vittangivaara och Könkämäälvsdalen förekommer det mer rishedar, olika bär samt björkträäd (Flarup 2003).

4. Metodik

Mätningar av snödjup och snödensitet på och runt två olika typer av palsar, kupolpals och flakpals genomfördes mellan den 27 mars 2019 och den 3 april 2019.

4.1 Snödjupsmätningar

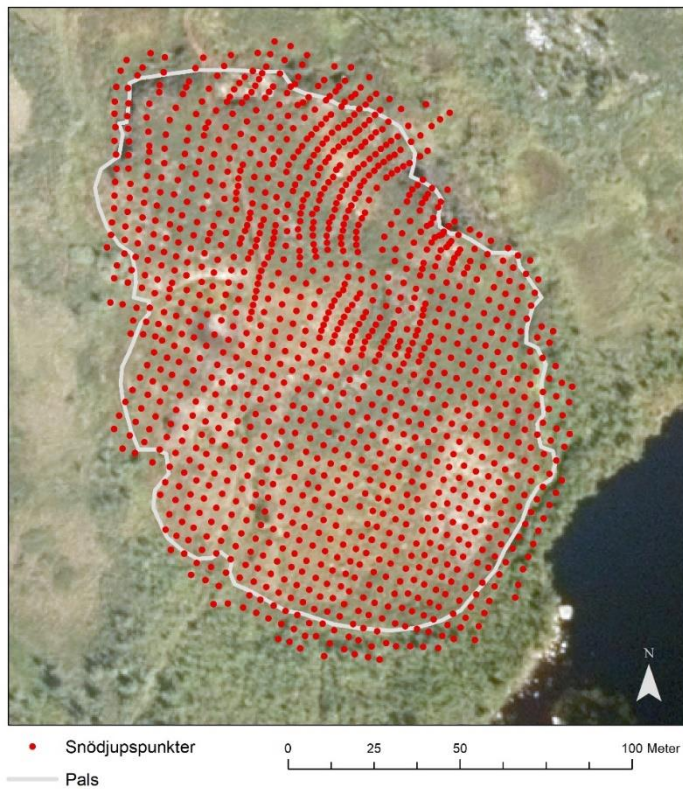
Snödjupsmätningarna genomfördes med hjälp av en lavinsond med en längd på cirka 2 meter och en precision på 5 cm. För att få en bättre precision än 5 cm användes en linjal där det behövdes. Med hjälp av Google Earth observerades hur stor palsen var och hur området omkring palsen såg ut innan fältarbetet för att vara förberedda på vart palsen börjar och slutar. Väl på plats kunde man tydligt se vart palsen börjar och slutar genom att se sluttningarna på palsen samt vegetationen runt omkring.

Profiler och snödjupspunkterna markerades ut på palsen med röda markeringsflaggor. Blåa markeringsflaggor användes för att markera ut vart palsen slutar. Detta underlättade arbetet för våra mätningar eftersom det även behövdes mätningar utanför palsen.

Varje snödjupsmätning noterades. Avståndet mellan punkterna var som regel 4 meter, men eftersom snödjupet kan variera på korta avstånd i sänkor och på sluttningar gjordes på dessa ställen mätningar var 2 meter. Lavinsond användes för att få en exakt marginal på avståndet mellan snödjupspunkterna. Med hjälp av en GPS (Trimble R10) som har en noggrannhet på 1 centimeter i x- och y-led kunde vi lagra punkter som sedan överfördes som shapefile till ArcGIS.

4.1.1 Kupolpals

Snödjupsmätningarna på kupolpalsen mättes i 34 profiler med en nord-sydlig riktning med sammanlagt 1221 snödjupspunkter (Fig 4). Avståndet mellan profilerna var 4 meter vilket har gett ett resultat på 4x4 meter över hela palsen.

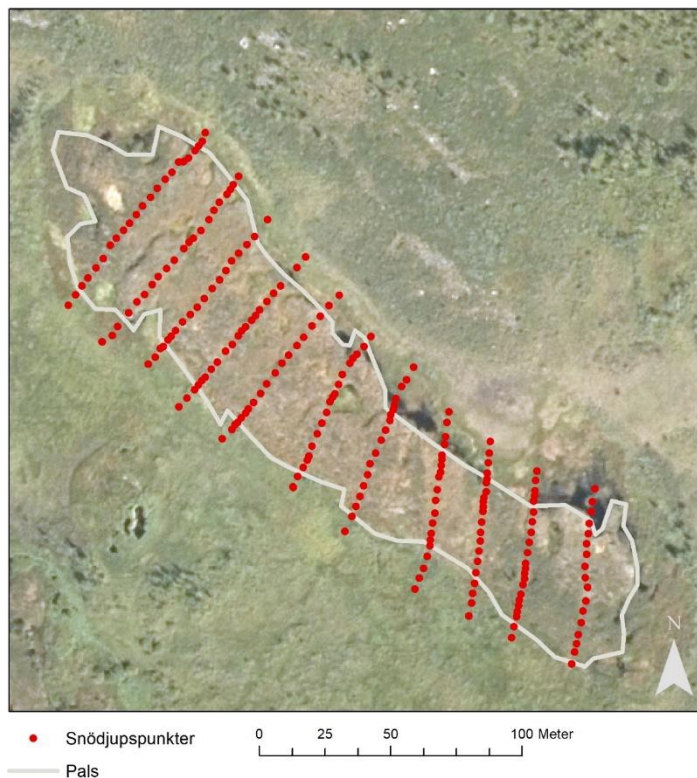


Figur 4. 1221 snödjupspunkter fördelade i 34 profiler över kupolpalsen.

Figure 4. 1221 snow depth points distributed in 34 profiles over the dome palsa.

4.1.2 Flakpals

Snödjupsmätningarna på flakpalsen mättes i 11 profiler även här i nord-sydlig riktning med sammanlagt 222 punkter. Avståndet mellan profilerna var 20 meter, vilket inte ger lika bra data som kupolpalsen. Brist på tid möjliggjorde inte flera mätningar över flakpalsen.



Figur 5. 222 snödjupspunkter fördelade i 11 profiler över flakpalsen.

Figure 5. 222 snow depth points distributed over the palsa plateau.

4.2 Snödensitetsmätningar

Syftet med snödensitetsmätningar var att se vart på palsen det ansamlas mest snö uttryckt i vattenekvivalenter och vad detta innebär för palsdegraderingen. Densitetsmätningarna gjordes längs samma profiler som snödjupsmätningarna men valdes utifrån intervallpunkter eftersom det inte krävdes täta punkter mellan varandra. Endast ytmätningar gjordes.

Instrumenten som användes för snödensitetsmätningarna var en cylinder och en digitalvåg (figur 8) med en precision på 0.1 gram. Cylinderns volym (V) beräknades med följande formel:

$$V = b \times h \quad (1)$$

där b är arean på cylindern och h är höjden på cylindern

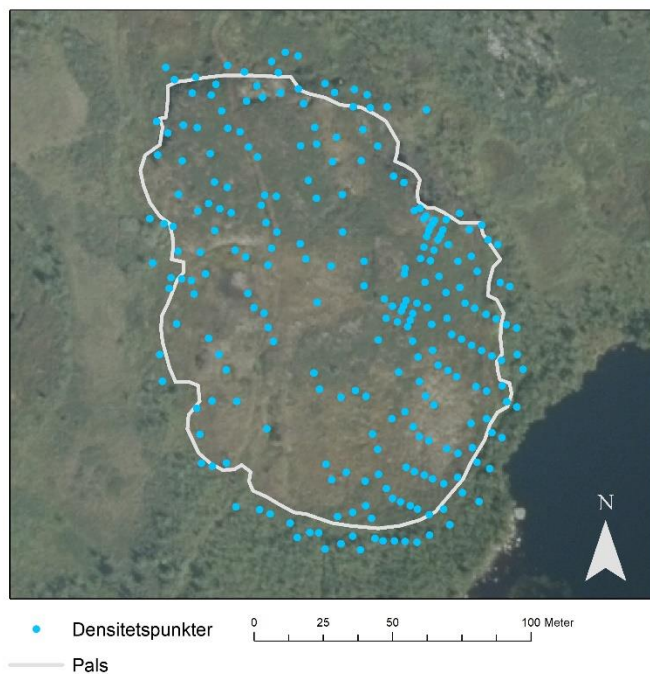
b beräknas på följande sätt

$$b = \pi r^2 \quad (2)$$

där r är radien på cylindern Snödensiteten (D) beräknades med följande formel:

$$D = M/V \quad (3)$$

där M är den uppmätta snömassan. Cylindern vägde 210 gram och subtraherades från beräkningarna för att få fram massan på snön. En platta användes också under beräkningen av snömassan för att få digitalvågen att ligga så platt som möjligt.



Figur 6. Snödensitetspunkter över kupalpalsen. Snödensitetspunkterna är mer glesare jämt varandra jämfört med snödjupspunkterna.

Figure 6. Snow density points over the dome palsa. The snow density points are more sparser compared to the snow depth points.



Figur 7. Snödensitetspunkter över flakpalsen. Punkterna lagrades utifrån vart snödjupsprofilerna låg med 20 meters mellanrum.

Figure 7. Snow density points over the palsa plateau. The points were chosen based on snow profiles with 20 meters intervall.



Figure 8. Cylindern och digitalvågen som användes ute på fält för att mäta snödensiteten.

Figur 8. The cylinder and digital wieight that was used at the field to measure the snow density.

4.3 Bearbetning av data

4.3.1 Insamling av ortofoto

Ortofoton beställdes från Lantmäteriet för åren 1960, 2010 och 2016. Ortofoton från 1960 och 2010 hade en upplösning på 0,5m, medan fotona från 2016 hade en upplösning på 2m. Ortofotot från 1960 var svartvit, medan ortofoton från 2010 och 2016 var i färg.

4.3.2 Insamling av höjddata

Höjddata samlades in i fälthjälp av en GPS (Trimble R10). GPS:en mäter höjden från spetsen av nedersta delen av stången med en noggrannhet på 1 cm i x- och y-led. Minst fem satelliter behöver kopplas för att GPS:en ska kunna få en "Real- Time Kinematic (RTK) position, vilket ger centimeter precision och utesluter felbedömningar.

I samband med snödjupsmätningarna mättes höjd och position med hjälp av GPS:en. Höjddatan överfördes som shapefile till ArcMAP. En interpolering gjordes utifrån de framtagna punkterna med verktyget "Kriging". Proceduren för den insamlade höjddata från GPS:en gjordes bara på kupolpalsen där punkterna ansågs ligga tillräckligt täta. Glesare GPS punkter skulle medföra en mer osäker höjddata, vilket var anledningen till att höjddata från flakpalsen ansågs vara icke relevant som höjddata.

Höjddata från 2010 har beställts från Lantmäteriet. Höjddata från 2018 är en vegetationshöjddata över norra halvan av kupolpalsen. Höjddatan erhöles av Heather Reese, vid institutionen för geovetenskaper.

4.3.3 Snödjupsmätningar och densitetsmätningar

Shapefilen som exporterades och fördes in i ArcGIS bestod bara utav koordinater och höjddata för våra punktmätningar. Verktyget "Join" användes för att få in de resterande värdena d.v.s. snödjup och snödensitet som skrevs i efterhand in i en Excel-fil. En interpolering gjordes för att framställa kartor som visar snödjupsfördelning, snödensitetsfördelning samt höjddata som motsvarar höjden för varje punktmätning på kupolpalsen. Interpoleringsmetoder som har använts är "Kriging" och "Inverse Distance Weight" (IDW). IDW uppskattar värden för okända punkter utifrån avstånd och värden till närliggande kända punkter. Ju längre avstånd det är mellan punkterna desto osäkrare värde visar det. "Kriging" ger en mer objektiv och en minimal varians av uppskattning. Punkterna på snödjupsmätningarna för kupolpalsen var så pass täta att en IDW användes för att få mer

preciserade värden. För att projiceringen ska visa korrekt användes koordinatsystemet SWEREF99_TM. För att få fram ekvivalent mängd vatten multiplicerades snödjups rastret med snödensitet rastret.

4.3.4 Palsdegradation

Kartorna för palsdegraderingen på en kupolpals mellan 2010–2018 och 2010–2019 framställdes genom verktyget ”Raster Calculator”. En differens gjordes mellan perioderna för att få fram degraderingen i såväl höjddled som sidled. Höjddata från 2018 användes för att den hade en noggrannare upplösning på pixlarna än höjddata från 2019. Höjddata från 2018 täckte dock endast den norra halvan av kupolpalsen, vilken innebar att höjddata från 2019 användes på den södra halvan.

Differenskartan (figur 23a) från 2010–2019 för den studerade kupolpalsen visade en palstillväxt på och runt om på vissa områden. Anledningen till att det har skett en tillväxt kan vara att höjddata från 2010 har en upplösning på 2x2 m och höjddata från 2019 en upplösning på 4x4 m. Differenskartan (figur 23b) mellan år 2010–2018 visar också palstillväxt, vilket beror på att höjddata från 2018 har vegetation på ytan som kan ha växt.

Palsdegraderingen för perioden mellan 1960–2010 för både kupol och flakpals begränsades till palsens utsträckning genom att observera ortofoton från 1960 och 2010. Palsarna identifierades genom att se dess omkringliggande omgivning som t.ex. vegetation vilket skiljer sig i förhållande till palsens vegetation. Sluttningar på palsarna underlättade också identifieringen av palsens utsträckning till en viss grad. Däremot går det inte att dra den exakta gränsen för palsarna för de olika åren, då det är svårt att observera genom ortofoton.

4.3.5 Vindhastighet och vindriktning

Vindhastighet och vindriktning beställdes från SMHI:s stationer i Naimakka och Karesuando för att närmare studera vindens effekt. Vindstatistiken visade ett medelvärde för varje timma. Vinddata för Naimakka omfattar åren 1995–2018 med endast vintersäsong (Okt-april) samt den aktuella vintersäsongen analyserades (Okt-feb, 2018). Vinddata från Karesuando för den aktuella vintersäsongen (Okt-feb 2018) användes för att kunna göra en jämförelse med Naimakkas.

Vindrosor för respektive station togs fram för att visa den generella vindriktningen och vindriktningar med vindhastigheter över 5m/s. Enligt SMHI är det vid vindhastigheter överstigande 5 m/s det förekommer snödrift.

Data för mars och april månad saknades i den aktuella vintersäsongen både för Naimakka och Karesuando, dock ansågs det att vara tillräckligt med månader för att ge ett bra resultat som visar vindriktningen. Naimakkas station ligger längs med Könkämäälvens dal och ytan norr om stationen är mer öppen än väst och öst på grund av den lokala topografin. Karesuandos station ligger mer som i en gryta med mer öppna ytor, d.v.s. påverkan av den lokala topografin är mindre här än vid Naimakkas mätstation.

Vi har valt att utgå från Naimakkas station då det den ligger närmast studieområdet. En jämförelse mellan stationerna visar att topografin styr vindriktningen vilket kan förklarar till att vindriktningen också kan se olika ut i studieområdet.

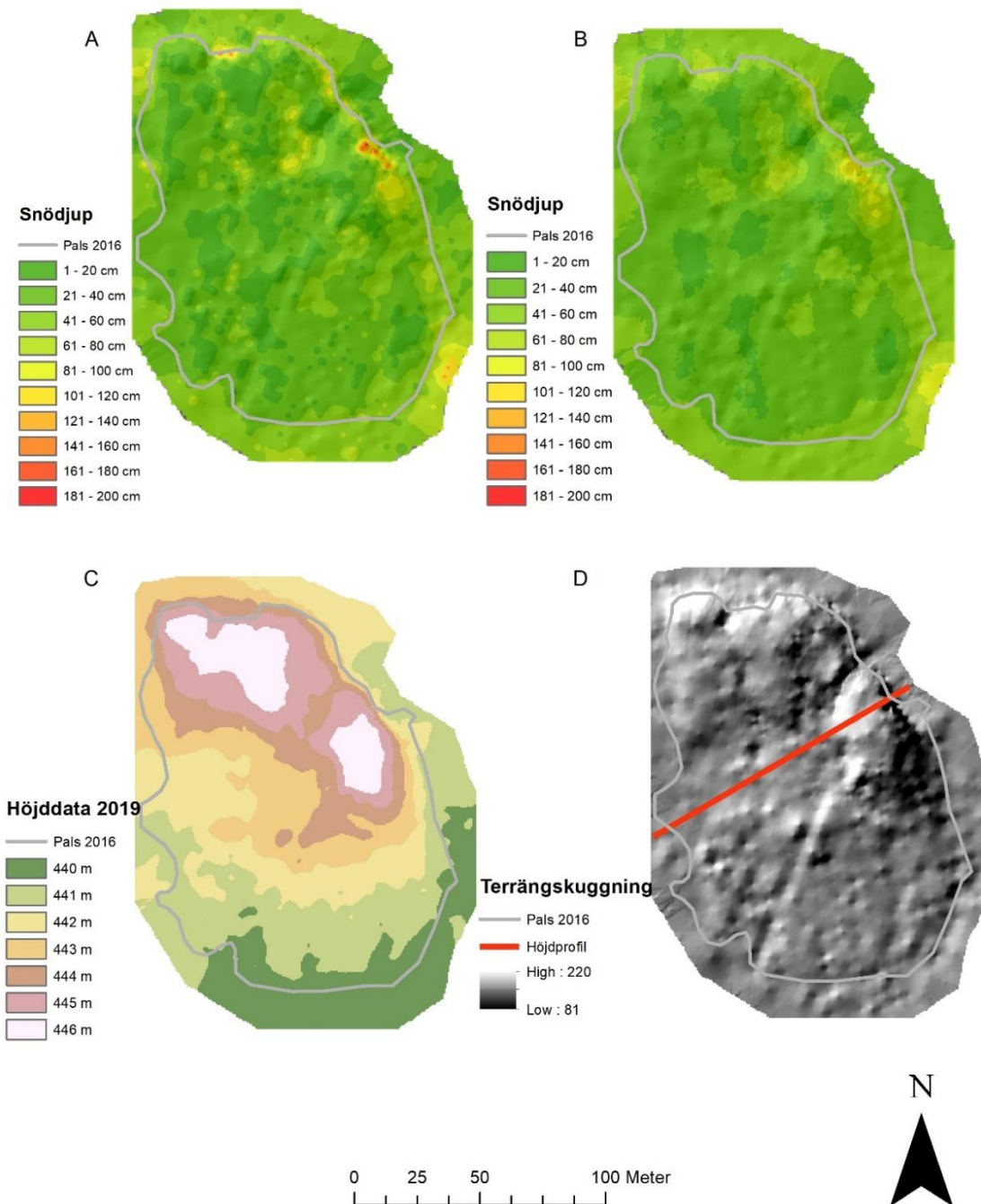
5. Resultat

5.1 Snödjup

5.1.1 Kupolpals

Figur 9 visar morfologi och snödjupet på och runt den studerade kupolpalsen. Palsens avgränsning år 2016 är markerad med en svart linje på kartorna. Av (figur 9C) framgår att palsen är asymmetrisk, d.v.s. palsen är som högst i den norra delen och stäcker sig NV-SO riktning. Terrängskuggningskartan (figur 9D) visar att palsens norra och nordöstra kanter är branta (med utglidning av torvblock) medan den södra delen är flack och tonar ut i den omgivande karrytan. En central flack sänka med öppning åt väster är också tydlig i dessa två kartor. Figur 9A och B visar snödjupet på och runt palsen interpolerat med IDW respektive Kriging. Kartorna visar i princip samma mönster men karta interpolerat med hjälp av IDW visar detaljerat vart snödjupet har varit som högst.

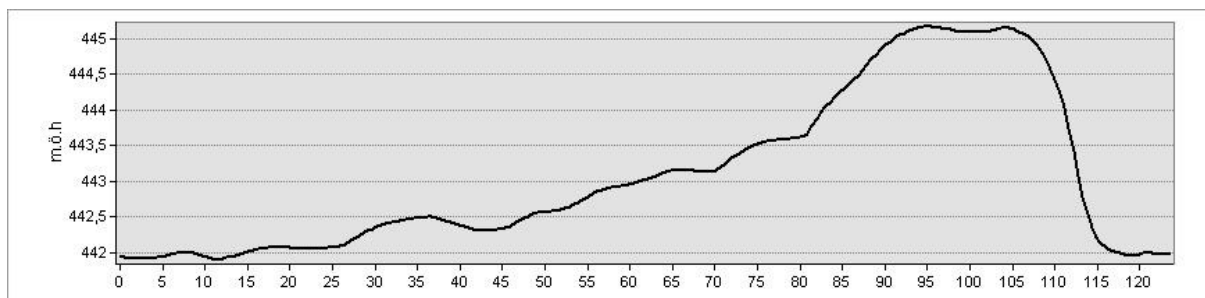
Det finns ett tydligt samband mellan snödjupet och palsens morfologi. Snölagret är som tunnast (1–20 cm) där palsen är som högst, d.v.s. de områden som är vindexponerade. Längs palsens norra och nordostliga sluttningar är snödjupet som störst (80 och 190 cm). Större och mindre sänkor är också täckta med ett något tjockare snölager (60 och 120 cm). Överlag varierar snödjupet på palsen mellan 21–40 cm. Snöfördelningen runt om är jämnt fördelat med ett rätt så tjockt snölager som är mellan 40–60 cm.



Figur 9. Karta som visar snödjupsfördelningen över en kupalpals där karta A) är en IDW och B) en Kriging samt en höjddata(C) och en terrängskuggningskarta med en höjdprofil(D).

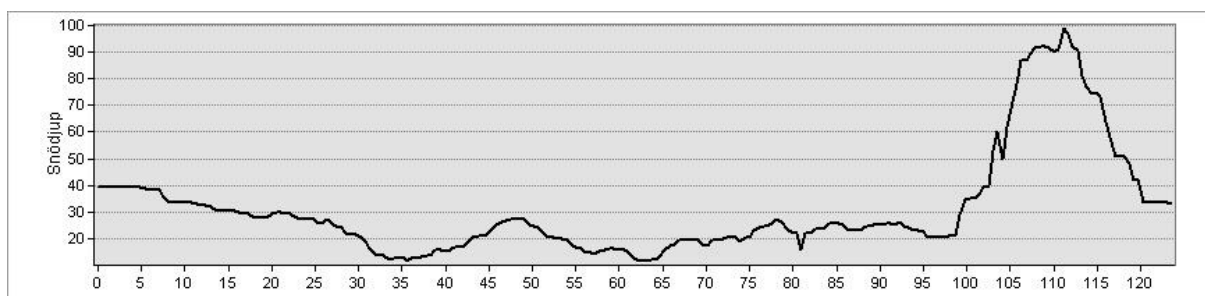
Figure 9. A map that shows snow depth Distribution over a dome palsa where map A) is an IDW, map B) is a Kriging, map C) an elevation map and D) a hillshade map with an elevation profile.

Figur 10 visar en höjdprofil över kupolpalsen (figur 9D). Profilen sträcker sig från den sydvästra delen av palsen till den nordostliga delen där snödjupet är som störst. Figur 11 illustrerar snödjupet för samma höjdprofil. Ett tydligt samband finns mellan höjd och snödjup. Där höjden ökar, minskar snödjupet och där höjden minskar ökar snödjupet. Detta är speciellt tydligt i den sydvästra och nordöstra delen av profilen.



Figur 10. En höjdprofil över kupolpalsen, från sydväst till nordöst.

Figure 10. An elevation profile over the dome palsa, from southwest to northeast.

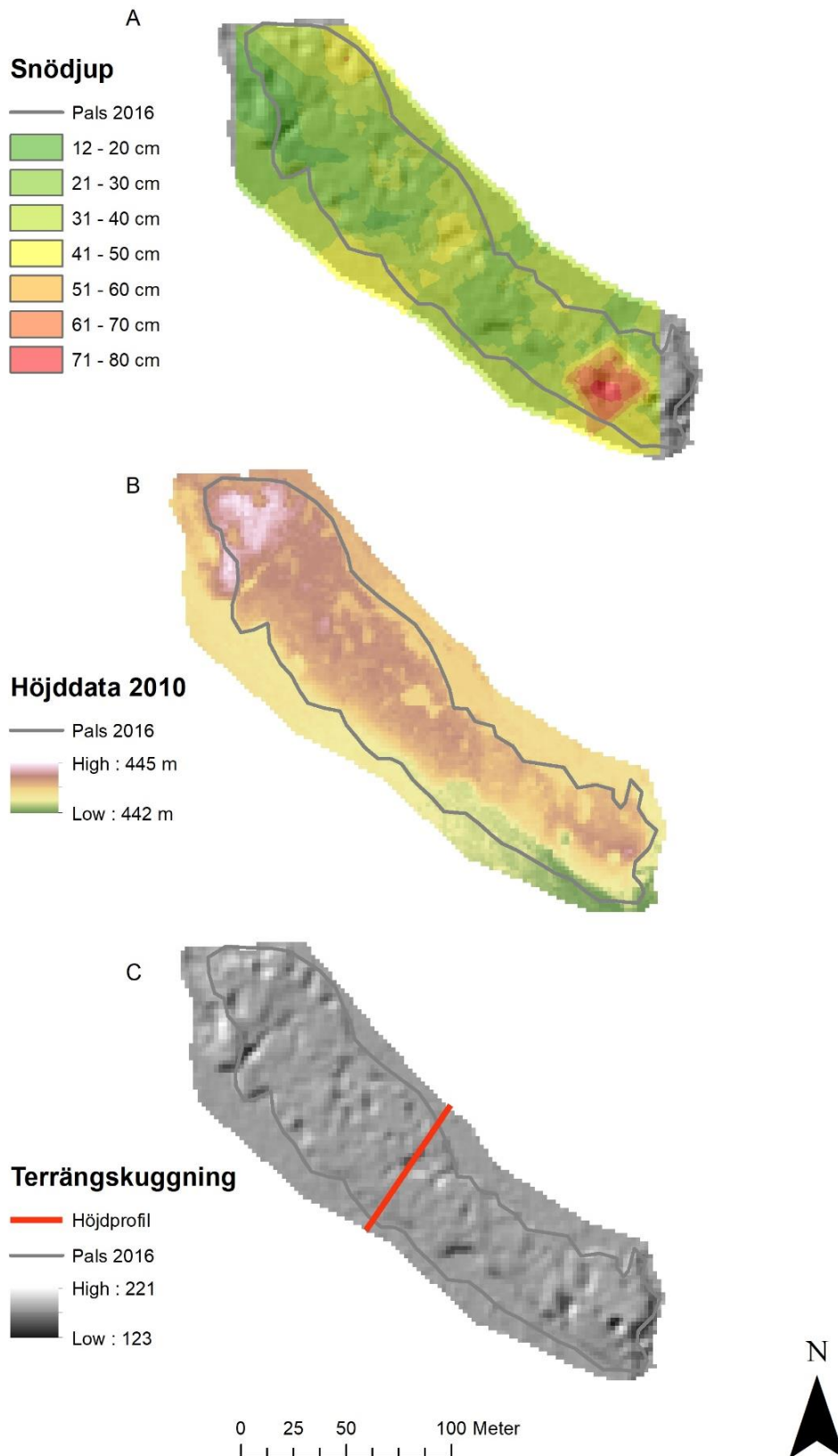


Figur 11. En figur som illustrerar snödjupet för den valda höjdprofilen på kupolpalsen.

Figure 11. A figure that illustrates the snow depth for the selected elevation profile over the dome palsa.

5.1.2 Flakpals

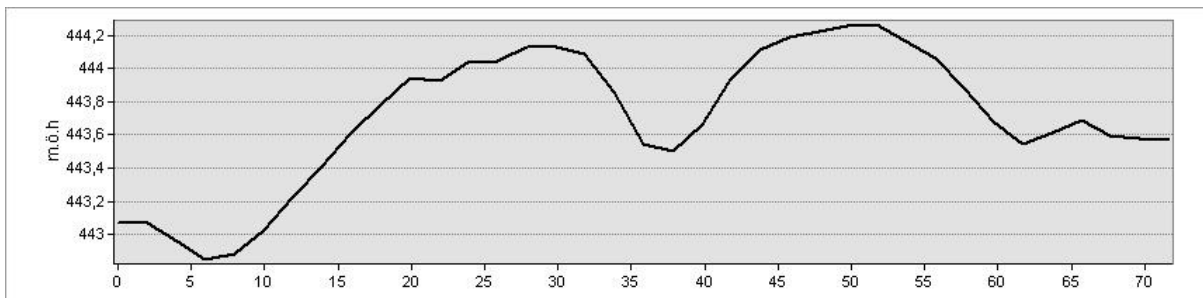
Figur 12 visar morfologi och snödjupsfördelningen på och runt den studerade flakpalsen. Palsen bildar en långsträckt platå i NV- SO riktning. En mindre upphöjning i den nordvästra delen framträder tydligt i höjdkartan (figur 12B). Av terrängskuggningskartan (figur 12C) framgår det tydligt att det finns ett stort antal mindre sänkor i platåytan och att platån till stor del begränsas av ca 1 m höga branta kanter. I likhet med kupolpalsen visar mätningarna på ett samband mellan höjd och snödjup där de minsta snödjupen hittas på palsens högsta delar. Störst snödjup är uppmät nedanför de sluttningar som avgränsar palsplatån samt i sänkor uppe på platån. Figuren visar även att medeldjupet runt flakpalsen ligger mellan 30–50 cm, vilket motsvarar det genomsnittliga snödjupet på kupolpalsen. Flakpalsens mer homogena topografi kan förklara varför snödjupet i överlag är mindre över flakpalsen.



Figur 12. Snödjupsfördelningen över en flakpals(A) samt en höjddata(B) och terrängskuggningskarta med en höjdprofil(C).

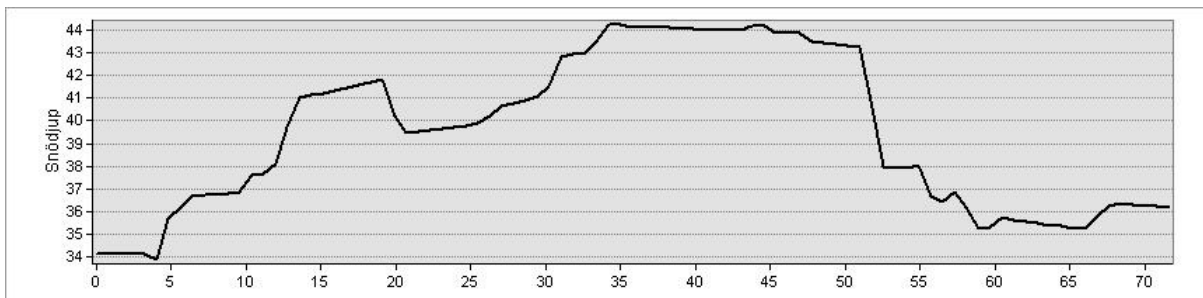
Figure 12. Snow depth distribution over a palsa plateau(A), elevation map(B) and a hillshade map with an elevation profile(C).

Figur 13 visar en höjdprofil över flakpalsen som sträcker sig mitt över palsen från den södra delen till norra delen (figur 12C). Figur 14 illustrerar snödjupet för samma höjdprofil. Ett samband kan dras mellan höjd och snödjup. Där höjdprofilen höjer sig minskar snödjupet. Där höjden ökar, minskar snödjupet och där höjden minskar ökar snödjupet dock med lite osäkrare data på grund av våra otäta snödjupsmätningar över flakpalsen. Höjdprofilen över flakpalsen visar en sänka. Där sänkan förekommer är snödjupet relativt stort.



Figur 13. En höjdprofil mitt över flakpalsen, från söder till norr.

Figur 13. An elevation profile right across the palsa plateau, from south to north.



Figur 14. En figur som illustrerar snödjupet för den valda höjdprofilen på flakpalsen.

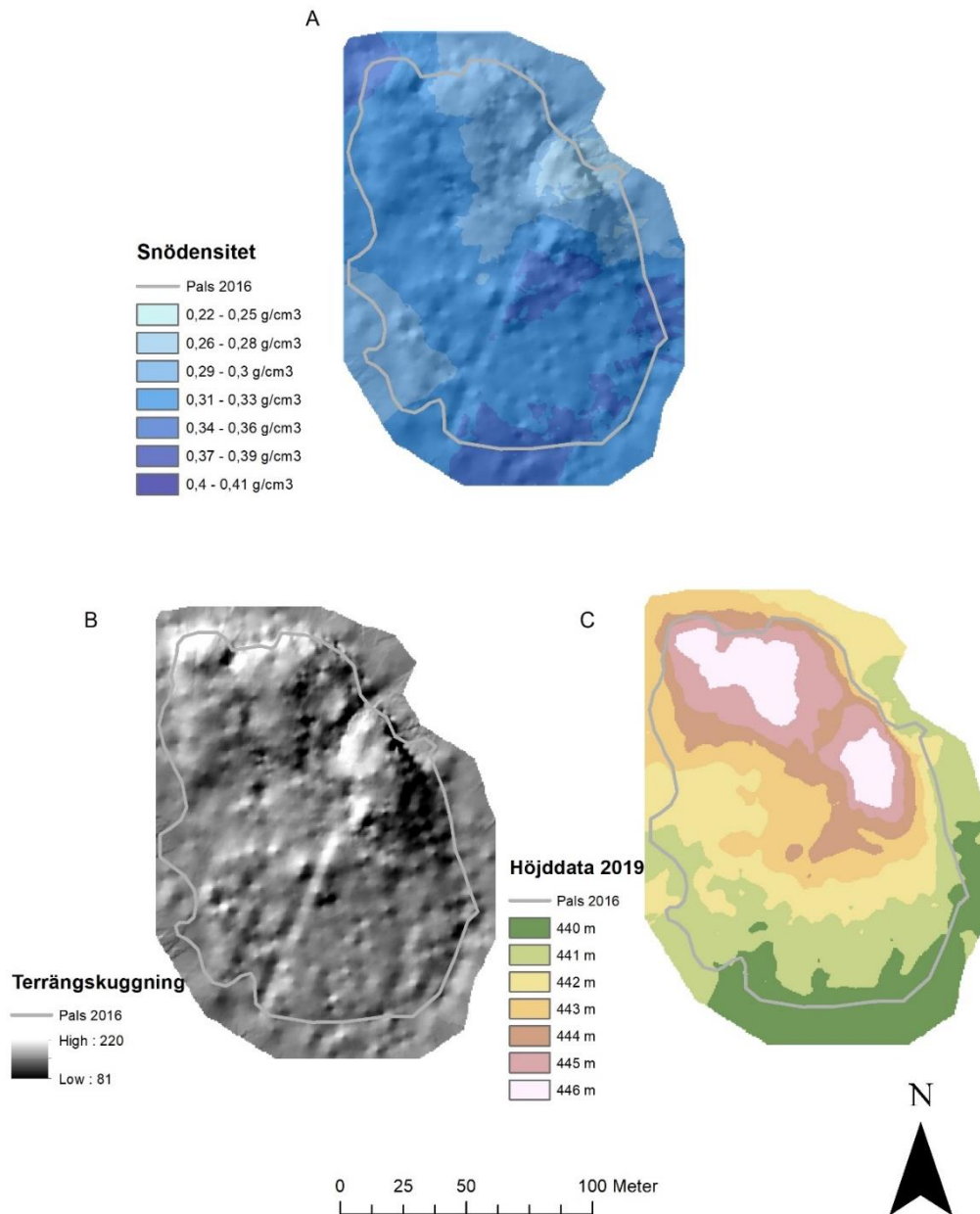
Figur 14. A figure that illustrates the snow depth for the selected elevation profile over the palsa plateau.

5.2 Snödensitet

5.2.1 Kupolpals

Figur 15A visar snödensiteten på och runt kupolpalsen. Ljusblå färg utgör de områden med låg snödensitet och mörkblå färg representerar områden med hög snödensitet. Det finns ett samband mellan snödjup och densitet. Där snödjupet är störst är snödensiteten lägst, d.v.s. på

den nordöstra delen av palsen. I områden utanför palsen är snödensiteten som högst på den nordvästra delen samt på vissa delar av den södra delen av palsen. I överlag har den södra halvan utav palsen en högre densitet än den norra vilket kan kopplas till snödjupsfördelningen då södra halvan har mindre snödjup än norra delen i överlag.



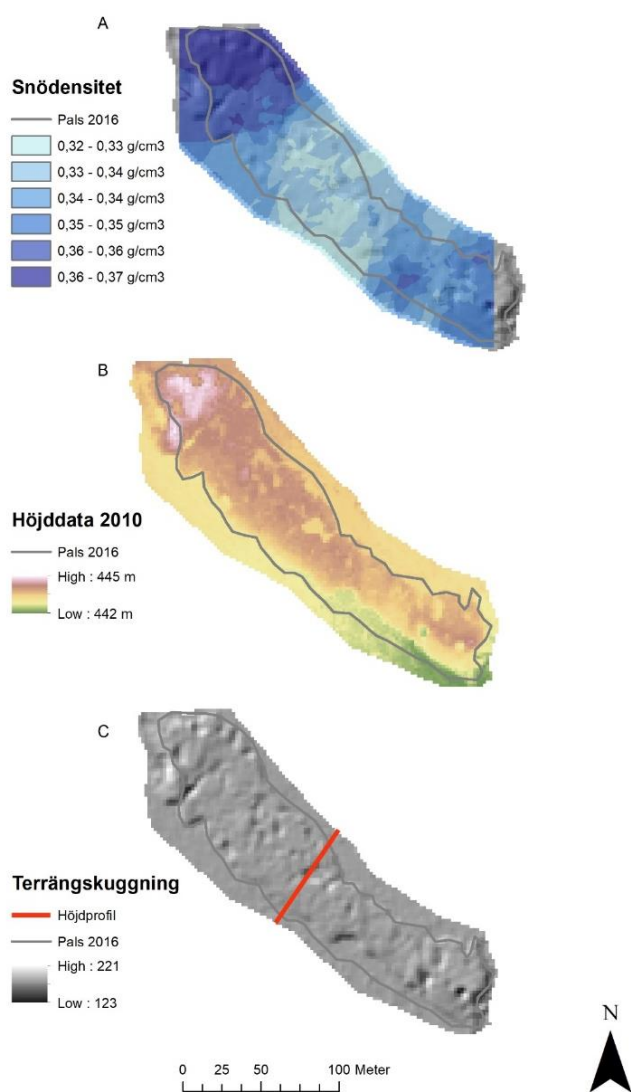
Figur 15. Snödensitetsfördelning (A), terrängskuggningskarta(B) och höjddata(C) över en kupolpals.

Figure 15. Snow density distribution (A), hillshade map (B) and an elevation map(C) over a dome palsa.

5.2.2 Flakpals

Figur 16A visar snödensiteten på och runt flakpalsen. Mätningarna visar att snödensiteten är högst där snödjupet är lägst. Även i sänkor uppe på palsen där snödjupet är större än genomsnittet är snödensiteten låg. På de delarna av flakpalsen där snödjupet är störst visar mätningarna att densiteten är relativt låg.

Ett samband kan därför dras mellan de två palstyperna, där det är tunnare snö är det relativt hög densitet och där det är djup snö är densiteten relativt låg. Något som också sticker ut på båda palsarna är att på vissa delar, speciellt utanför palsen på de nordvästra delarna av palsarna visar att snödensiteten är hög även om snödjupet är relativt stort.



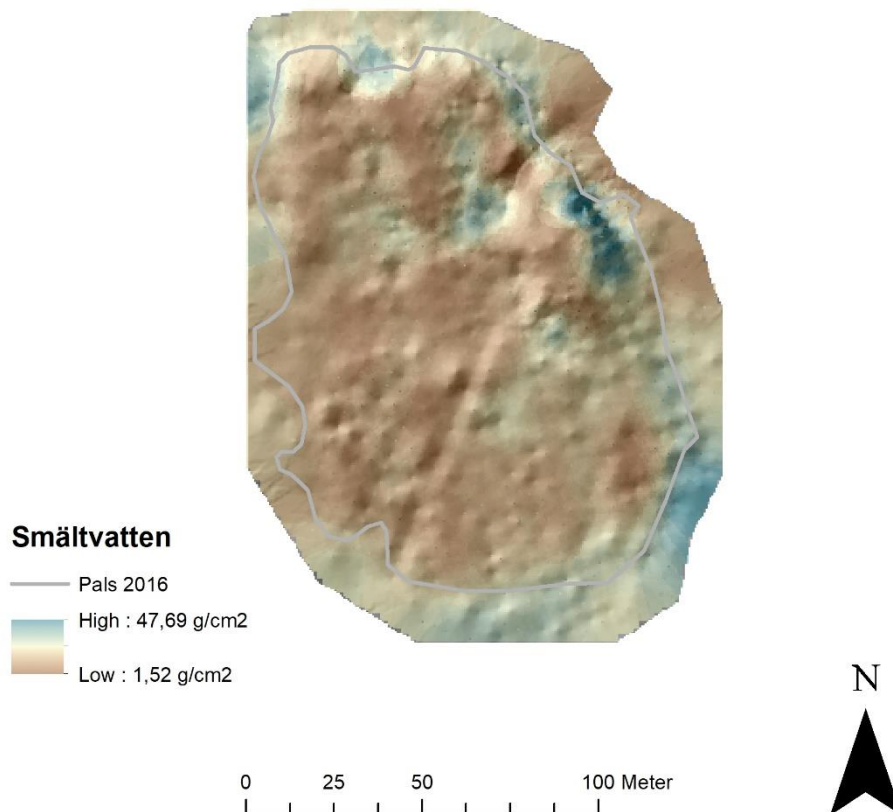
Figur 16. Snödensitetsfördelning (A), höjddata(B) och terrängskuggningskarta(C) över en flakpals.

Figure 16. Snow density distribution (A), elevation map (B) and a hillshade map (C) over a palsa plateau.

5.3 Ekvivalent mängd vatten

5.3.1 Kupolpals

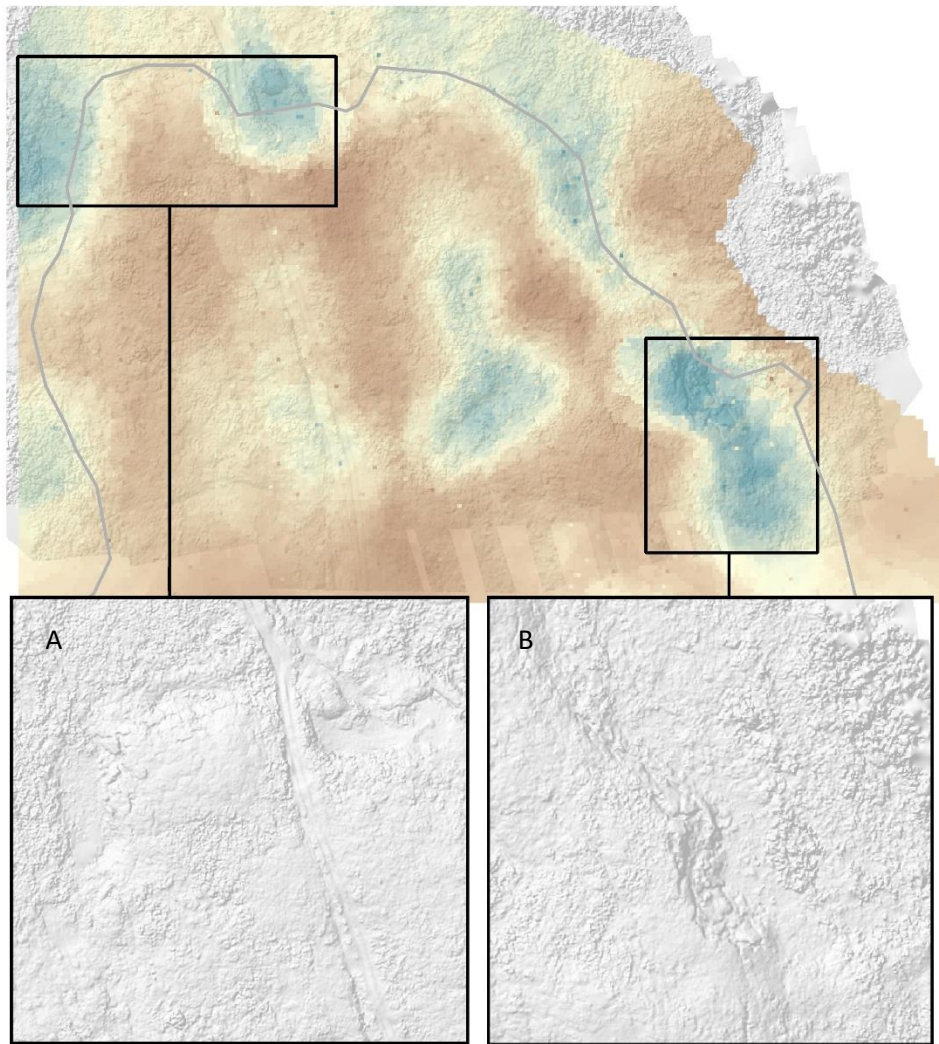
Figur 17 visar ett mått på ekvivalent mängd vatten i (g/cm^2) och hur det är fördelat över den studerade kupolpalsen. Där det är störst snödjup ansamlas det mycket smältvatten trots att snön har något lägre densitet i dessa områden (figur 15A). På områden där det förekommer som mest smältvatten är det 30 gånger mer vatten per ytenhet (g/cm^2) jämfört med de lägsta värdena.



Figur 17. Ekvivalent mängd vatten fördelat över en kupolpals.

Figur 17. Equivalent amount of water distributed over a dome palsa.

Figur 18 visar en detaljerad illustration över två intressanta områden på kupolpalsen som tydligt visar var stora mängder smältvatten ansamlas. I figur 18A visas två flacka sänkor vilka visar att det ansamlas mycket vatten i dessa områden. I figur 18B visas en karta över den nordöstra delen av palsen där kanterna är branta (med utglidning av torvblock) som också förhåller sig till vart det finns mycket ansamlat vatten.



Smältvatten

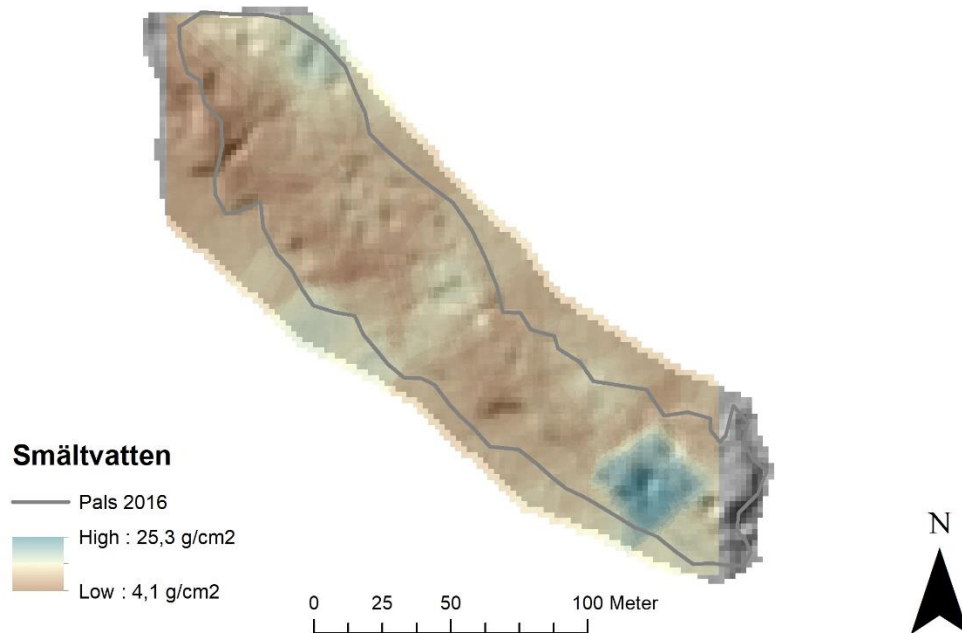


Figur 18. Närmare illustrering över två intressanta områden på kupolpalsen som visar vart stora mängder vatten ansamlas.

Figure 18. A closer illustration over two interesting areas on the dome palsa that shows there large amount of water is accumulated.

5.3.2 Flakpals

Figur 19 visar ett mått på ekvivalent mängd vatten fördelat över palsen i förhållande till palsens topografi. Figuren visar att där det förekommer sänkor och markerade sluttningar förekommer det mest ansamlat vatten. Som figur 12A visar på snödjupsfördelning kan man även här se ett tydligt samband mellan stort snödjup och vattenmängd.



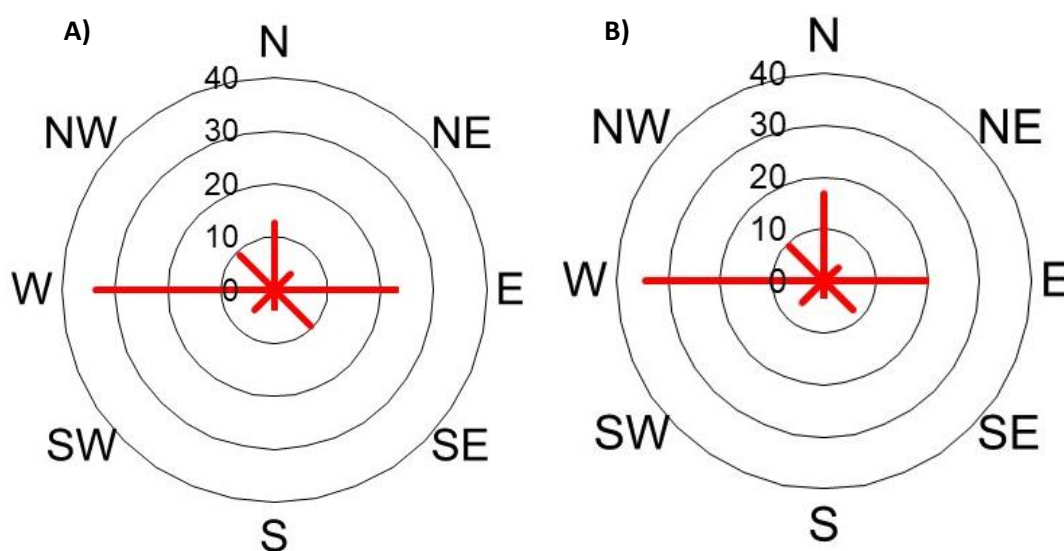
Figur 19. Ekvivalent mängd vatten fördelat över en flakpals.

Figur 19. Equivalent amount of water distributed over a palsa plateau.

5.4 Vindklimat

5.4.1 Naimakka

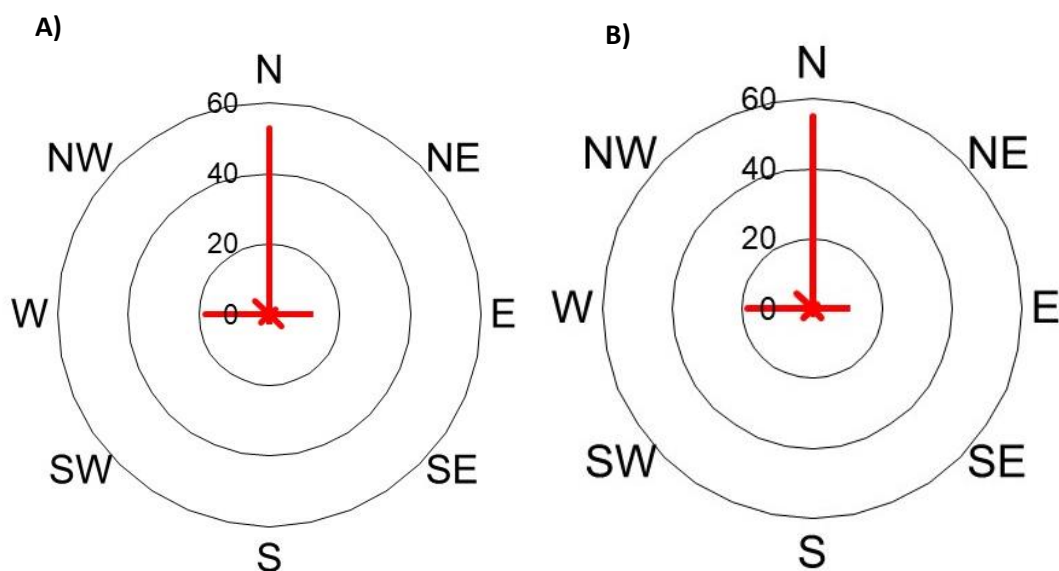
Figur 20 visar frekvens av olika vindriktningar i Naimakka (dekagrader) under vintersäsong (Okt-April) 1995–2017 (figur 20A) och vintersäsongen (Okt-Feb) 2018–2019 (figur 20B). De västliga vindarna är dominerande (34 %, figur 20A), (35 %, figur 20B) följt av östliga (22 %, figur 20A), (20 % figur 20B) och nordliga (13 %, figur 20A), (18 %, 20B) vindar. Nordöstliga, sydvästliga, nordvästliga och sydöstliga vindar förekommer mer sällan (0-10 %).



Figur 20. Vindros för Naimakka där A) visar frekvensen av olika vindriktningar under oktober-april 1995–2017 och B) frekvens av olika vindriktningar (oktober-februari) 2018-2019.

Figure 20. Wind rose for Naimakka where A) shows the frequency of different wind directions October-April 1995-2017 and B) frequency of different wind directions (October-February) 2018-2019.

Figur 21 visar frekvens av vindhastigheter över 5 m/s i dekagrader i förhållande till vindriktningen under vintersäsongen för perioderna mellan 1995–2017 (figur 21A) och 2018–2019 (figur 21B). Figurerna visar att vindhastigheter över 5 m/s förekommer främst (51 %, 21A), (55 %, 21A) i samband med nordliga vindarna följt av västliga (19 %, figur 21A), (20 %, 21B) och östliga vindar (12 %, figur 21A), (10 %, figur 21B).

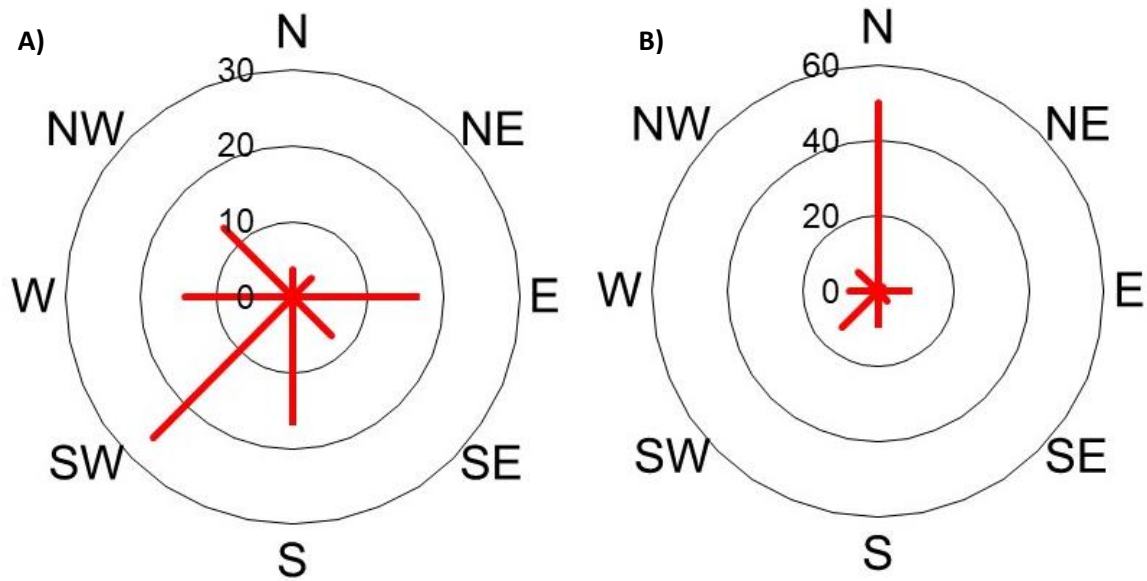


Figur 21. Vindros som visar frekvens av vindhastighet >5 m/s för olika vindriktningar (Naimakka) A) under oktober-april 1995–2017 och B) oktober-februari 2018–2019.

Figure 21. Wind rose that shows the frequency of wind speed > 5 m/s for different wind directions (Naimakka) A) during October-April 1995-2017 and B) October-February 2018-2019.

5.4.2 Karesuando

Vindriktning och vindhastighet från Karesuandos mätstation (vintersäsong 2018–2019) visar en avvikelse i jämförelse med vindriktningarna från Naimakka (vintersäsong 2018–2019). Karesuandos mätningar visar att det dominerade vinden kommer sydväst. Däremot finns det ett tydligt samband mellan vindhastigheter över 5m/s som visar någorlunda samma procentuella värden. Skillnaderna på vindriktningarna för Karesuando och Naimakka tyder på att topografin styr vindriktningen relativt mycket.



Figur 22. Vindros för Karesuando där A) visar frekvensen av olika vindriktningar oktober-april 2018–2019. B) visar frekvens av vindhastighet >5 m/s för olika vindriktningar Karesuando under oktober-april 2018-2019.

Figure 22. Wind rose for Karesuando where A) shows the frequency of different wind directions October-April 2018-2019 B) Shows the frequency of wind speed >5 m/s for different wind directions Karesuando during October-April 2018-2019.

5.5 Samband mellan vind, snödjup och snödensitet

Den generella vindriktningen på studieområdet är svårtolkad men slutsatsen kan dras av att de dominerande vindriktningarna över 5 m/s förekommer vid nordlig vind till följd av västliga och nordvästliga vindar.

Snödjupsfördelningen på och runt den studerade kupolpalsen visar ett samband med vindriktningarna. Där snön har ansamlats som mest tyder på att vinden fördelat snön i förhållande till de dominerade vindriktningarna beroende på palsens topografi där mest ansamlad snö föreligger längs de norra och nordostliga delarna av palsen. Ett samband kan även dras över den studerade flakpalsen som visar att de östliga delarna av palsen har en mer ansamlad snö i förhållande till de västra delarna av palsen, vilket tyder på att vindriktningarna domineras från norr och väst som har gjort att snön har ansamlats mer på den östra delen.

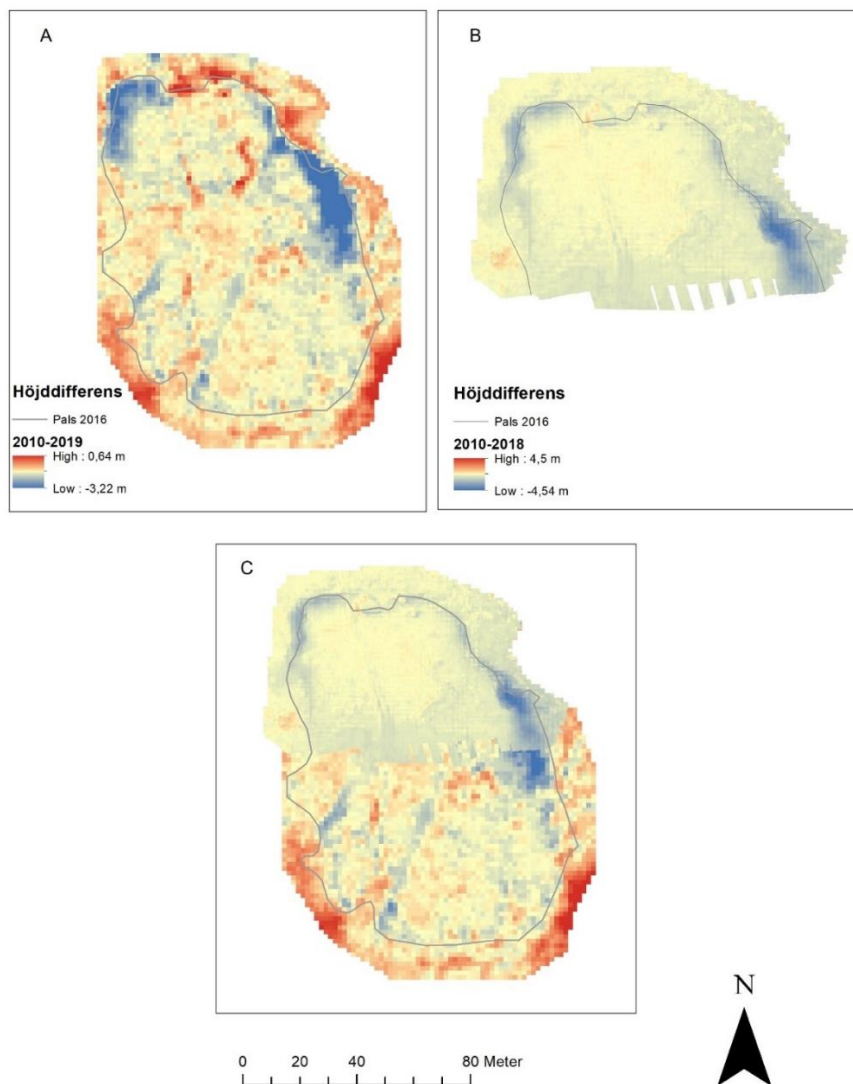
Vindens samband med snödensiteten på både flak och kupolpals kan ses. På flakpalsen är snödensiteten som högst i de nordvästra delarna av palsen. På kupolpalsen är den nordvästra och i överlag den sydligaste delen av palsen bestående av en hög snödensitet. Ett tydligt samband kan dras mellan vind, snödjup och snödensitet.

5.6 Palsdegradering

5.6.1 kupolpals

Figur 23 visar differensen på höjden mellan år 2010 och 2019 samt mellan år 2010–2018 vilket i sin tur även visar förändringar i palsens utbredning. Minusvärdena representerar minskning i höjd vilket motsvarar den blåa färgen. Plus värden representerar utökning i höjd vilket motsvarar den röda färgen.

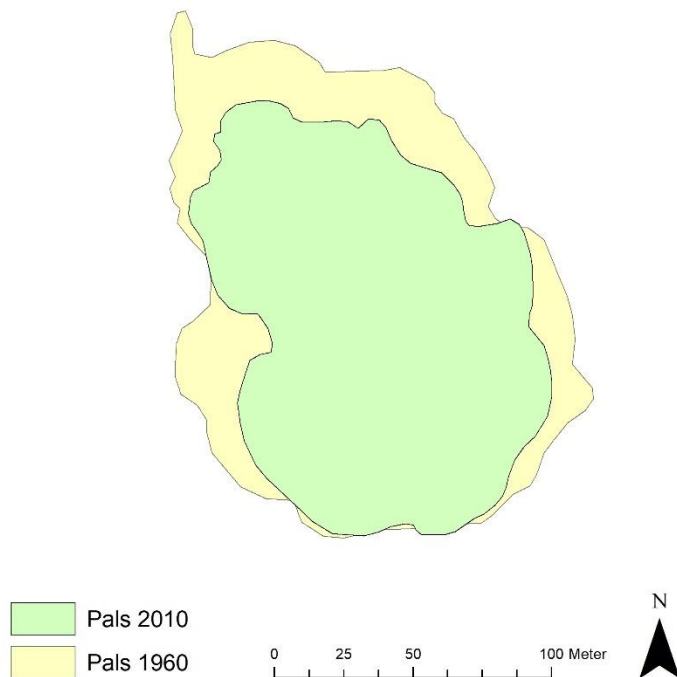
Figur 23 visar tydligt en minskning av palsens utbredning i den nordostliga delen av palsen samt i den nordvästliga sidan som indikerar på en lite mindre minskning än nordost. Där palsen har degraderats som mest har även snödjupet varit som högst och snödensiteten som lägst.



Figur 23. Palsdegraderingen i höjdlängd såväl som i sidled, där A) visar höjddifferens mellan åren 2010–2019, B) visar höjddifferens mellan åren 2010–2018 och karta C) visar höjddifferens med de båda åren.

Figure 23. Elevation difference in height and laterally, where A) shows elevation difference between the years 2010-2019, B) shows elevation difference between the years 2018-2019 and map C) shows elevation for both.

Figur 24 visar hur kupolpalsen har degraderats mellan åren 1960–2010. Figuren visar att palsen har degraderats som mest på nordligaste delarna. Palsen har också degraderats på de sydvästra och sydostliga delarna men inte lika markant. 1960 uppgick palsens totala yta till 20 037 m², vilket kan jämföras med 14 381 m² 2010. Detta motsvarar en minskning på 28 % av palsens totala area. I jämförelse med figur 23 går det att se ett samband med vart det har degraderats mest, nämligen på de nordligaste delarna. Något som också sticker ut är att degraderingen har ökat markant på de nordöstra delarna av palsen mellan år 2010–2019, medan Figur 24 visar att den nordvästra delen av palsen har degraderats mest mellan 1960 och 2010.

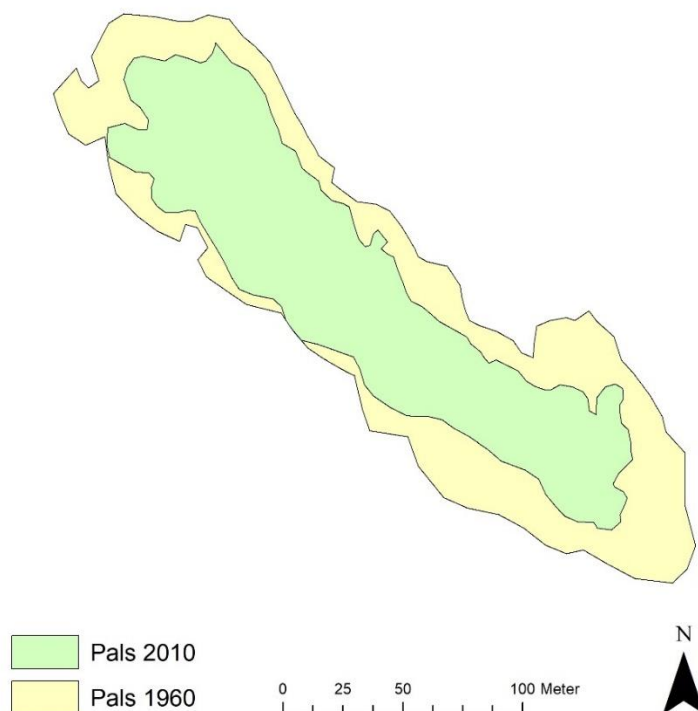


Figur 24. Förändringskarta över den studerade kupolpalsen mellan åren 1960–2010.

Figure 34. Map of the changes over the studied dome palsa between the years 1960 – 2010.

5.6.2 Flakpals

Figur 25 visar hur flakpalsen har degraderats mellan åren 1960–2010. Palsen har degraderats främst i de sydöstra och nordvästra delarna. 1960 var palsarean 21 905 m², vilket kan jämföras med 12 937 m² 2016. Detta motsvarar en minskning på 41 %. Den kraftiga degradationen på palsens sydostliga delar motsvarar områden där snödjupet är som störst och snödensiteten som lägst (figur 12A, 16A). Snödjupet på den sydostliga delen av palsen tycks ha ett samband med palsens topografi då det förekommer sluttningar samt sänkor.



Figur 45. Förändringskarta över den studerade flakpalsen mellan åren 1960–2010.

Figure 55. Map of the changes over the studied palsa plateau between the years 1960 – 2010.

6. Diskussion

Mätningarna visar att snödjupet i hög grad varierar på och runt de båda studerade palsarna. Snödjupet varierar något mer på kupolpalsen än på flakpalsen (figur 9A och 12A), vilket kan förklaras av dess form. Snödjupet är som störst i små och stora sänkor, samt på delarna där det är branta kanter. Snödjupet är som lägst på palsarnas högsta delar. Under fältarbetet kunde man se detta mönster genom att det förekom kalblåsta partier på de högsta topparna samt toppen av små kullar på lägre nivåer, vilket är ställen där vinden eroderar bort snö. När en pals har höjts tillräckligt över myren så att den bildar branta kanter ansamlas drivande snö längs dessa kanter (Seppälä 1994). Samma mönster kan ses på den studerade kupolpalsen. Snön ansamlas som mest på de norra och nordöstra delarna där det förekommer branta kanter (figur 2C). Flakpalsen varierar mindre i höjd jämfört med kupolpalsen vilket förklarar till varför fördelningen av snön är mindre varierande.

Ser man hur snödensiteten (figur 15A) är fördelat över palsarna i förhållande till snödjupsfördelningen (figur 9A) går det att dra samband. På de studerade palsarna förekommer det hög snödensitet på de delar där snödjupet är relativt tunt och på de delar där det förekommer tjockt snölager är det relativt lägre snödensitet. Det kan dock förekomma områden på palsen där hög densitet förekommer även i områden där det är tjockt snölager, vilket säger oss att det finns andra faktorer än bara snödjupet som påverkar snödensiteten. Detta kan man se längs med den nordvästliga delen av kupolpalsen där snödjupet är relativt tjockt med en högre densitet än andra områden.

Mängden vatten fördelat över palsarna visar att det ansamlas som mest vatten runt om de branta kanterna där det är störst snödjup och lägst snödensitet. Över den studerade kupolpalsen är det ca 30 gånger så mycket vatten/ytenhet (g/cm^2) i områden med de högsta värdena jämfört med de lägsta värdena (figur 17). Snödensiteten (figur 15A) är väldigt låg där det förekommer mest ansamlat vatten och hög snödensitet kan ses på områden där minst vattenmängd förekommer. Mätningarna för densitet gjordes bara på ytan. Där det förekommer låg densitet kan det även förekomma hög densitet men längre ner i djupet där snön är mer packad. SMHI nämner att snön är mer packad längre ner i djupet på snön (SMHI 2019). Ekvivalent mängd vatten kan därför vara ännu högre än vad resultatet visar på områden som har störst snödjup.

Vinden flyttar nysnö till läsidor där snödjupet kan vara mycket stort (Fjällsäkerhetsrådet). Ett samband kan därför dras mellan vindriktning och snödjupsfördelning om man kollar hur snön

är fördelad över palsarna. Snön har ansamlats på de delarna av palsen där det är som brantast, rättare sagt läsidan.

Områden på palsen med hög snödensitet är till största del belägna på lovartsidan sett till de dominerade vindriktningarna vintertid, d.v.s. främst på den västra delen av kupolpalsen och flakpalsen. SMHI nämner att nyfallen snö har en densitet av 30–100 kg/m³ vilket är lägre än t.ex. vindpackad nysnö som har en densitet på cirka 200 kg/m³ (SMHI, 2019). Nyfallen snö ansamlas mest på de nordöstra delarna av palsen orsakat av vindens effekt. Ett tydligt samband kan ses där vinden har en dominerande verkan på hur snödensiteten är fördelat över de studerade palsarna.

Ett tydligt samband kan ses mellan snödjup, snödensitet och palsdegradation över de två studerade palsarna. Områden med störst snödjup över kupolpalsen och flakpalsen förekommer där det har skett mest degradering av palsarna. Kupolpalsen har degraderats främst på palsens nordöstra kanter samt på palsens norra del. Flakpalsen har degraderats mest på östra delen där snödjupet också varit som störst. I figur 23 som visar degraderingen mellan år 2010–2019 för kupolpalsen förstärker sambandet mellan snödjup och palsdegradering eftersom där vi uppmätte snödjupet som störst (190cm) har degraderingen varit som mest. Permafrost bildas mycket lättare ju tunnare snön är och ju djupare snön är desto svårare blir det för tjälen att tränga djupt ner beroende på snöns isoleringsförmåga (Seppälä 1990). Den initiala bildningen såväl som degraderingen har med att palsen växer på höjden och då ansamlas snö runt sluttningarna där det bildas mycket smältvatten under våren. Vatten leder värme bättre än luft. Den blöta torven som resultat av snösmältningen runt sluttningarna gör att permafrosten tinar runt omkring.

Snö med en låg densitet har en mycket bättre isoleringsförmåga än snö med hög densitet (Tabell 1994). Där snödensiteten har varit som relativt lägst har även palsen degraderats som mest. Förutom snöns isolerande förmåga så utgör även smält snö en effekt på värmeledningsförmågan. Nederbörd tillsammans med smält snö hindrar torven från att torka upp och på så sätt leder torven mer värme, vilket bidrar till ökad degradering. Torr torv har en bättre isoleringsförmåga. (Zuidhoff & Kolstrup 2000). Figur 17 visar mängd smält snö fördelat över kupolpalsen vilket även här kan dras ett samband med degraderingen. Där det förekommer mest ansamlat smält snö, sker det mest degradering.

Många faktorer har en påverkan på palsarnas utveckling och bevarande som t.ex. vegetationen, torvens tjocklek och snödjup (Seppälä 2006). De senaste undersökningarna

visar att global uppvärmning samspelar med en rad lokala faktorer. Utifrån analyserna går det tydligt att se samband mellan snödjup, snödensitet och palsdegradation men det är svårt att tolka om att det är de enda orsakerna då palsarna har degraderats på delar där snödjupet har varit relativt lägre än andra områdena.

6.1 Vidare forskning

För vidare forskning skulle det vara intressant att göra snödjupsmätningar på andra typer av palsar för att säkerställa sambandet mellan snödjup och palsdegradation.

Vidare skulle det vara intressant att göra noggrannare snödensitetsmätningar på de delar där snödjupet är som störst då snön består utav olika lager. Vilken effekt solinstrålningen har på snödensiteten hade också varit intressant samt att studera vindriktningen och vindstyrka i själva studieområdet.

Att göra ett nästan likadant arbete om cirka 10 år hade också varit intressant för att jämföra skillnaden på hur det ser ut idag och inom en snar framtid.

7. Slutsats

Resultatet av snödjupsmätningar visar att snödjupet är som störst i små och stora sänkor samt på delarna där det är branta kanter. För den studerade kupolpalsen förekommer det på norra och nordöstra delarna och för flakpalsen på de östra delarna. Snödjupet runt de båda palsarna är i genomsnitt 30–50 cm.

Snödensitetsmätningarna visar att lägst snödensitet förekommer mest på de nordöstra delarna av kupolpalsen där snödjupet är som störst och i överlag består den östra delen av kupolpalsen av en relativt lägre snödensitet. Snödensiteten är som lägst på de östra delarna av flakpalsen. Snödensiteten är generellt sett lägre runt om palsarna än vad det är uppe på palsen.

De dominerande vindriktningarna vintertid (nord och väst) visar ett relativt tydligt samband med snödjupets och snödensitetens fördelning runt palsarna. Störst snödjup förekommer på läsidor och hög snödensitet förekommer på lovartsidan sett till de dominerande vindriktningarna.

Det finns ett samband mellan snödjup, snödensitet och palsdegradation, d.v.s. där snödjupet är som störst och snödensiteten som lägst har det skett en markant degradering av palsarna. Hög snödensitet förekommer också på vissa degraderingsområden och ett samband med hur mängden vatten är fördelat på och runt om palsarna har också en påverkan på degradationen.

8. Referenser

Backe, S. 2014. Kartering av Sveriges palsmyrar. Länsstyrelsen i Norrbotten, rapportserie nr 4/2014.

Borge, A. F., Westermann, S., Solheim, I., & Etzelmüller, B. (2016). Strong degradation of palsas and peat plateaus in northern Norway during the last 60 years.

Eide, W. (red.) 2014: Arter och naturtyper i habitatdirektivet – bevarandestatus i Sverige 2013. Art Databanken, Sveriges lantbruksuniversitet.

Flarup, M. (2003). Erosionsskador på vegetation I SV Saarikoski, Nordligaste – orsaker och förändringar över tiden.

Fjällsäkerhetsrådet, Naturvårdsverket. Hämtad 2019-05-03 från:

<https://www.fjallsakerhetsradet.se/vader-och-prognoser/fakta-om-laviner/>

Fronzek, S., Luoto, M., & Carter, T. R. (2006). Potential effect of climate change on the distribution of palsa mires in subarctic Fennoscandia. *Climate Research*, 32, 1-12.

Fronzek, S. 2013. Climate change and the future distribution of palsa mires: ensemble modelling, probabilities and uncertainties. *Monographs of the Boreal Environmental Research*.

Holmgren B, Tjus M (1996) Summer air temperatures and tree line dynamics at Abisko. *Ecological Bulletin*, 45, 159–169.

Jones PD, Osborn TJ, Briffa KR (2001) The evolution of climate over the last millennium. *Paleoclimate review. Science*, 292, 662–667.

Karlgård, J. 2008: Degrading palsa mires in northern Europe: changing vegetation in an altering climate and its potential impact on greenhouse gas fluxes. Lund University, Geobiosphere Science Centre, Seminar series nr 154.

King, L. and Seppälä, M. (1987): Permafrost Thickness and Distribution in Finnish Lapland - Results of Geoelectrical Soundings, *Polarforschung*, Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research & German Society of Polar Research, 57 (3), pp. 127-147 .

Mora, S., Thelin, M. (2018). Nederbördens, temperaturens och snödjupets påverkan på palsdegradationen i Vittankivuoma, Saarikoski, Lappland. Institutionen för Geovetenskaper, Göteborgs universitet.

Naturvårdsverket (2015). Skog och Mark- Om tillståndet i svensk landmiljö. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket (2018). Andra växthusgaser. Hämtad 2019-04-25 från:
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Darfor-blir-det-varmare/Andra-vaxthusgaser/>

SMHI. (2017a) Jordens klimattyper. SMHI. Hämtad 2019-05-19 från
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/jordens-huvudklimattyper-1.640>.

SMHI. (2017b). Årsmedeltemperatur. Hämtad 2019-05-20 från:
<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?par=tmpYr&month=13>

SMHI. (2017c). Nederbörd. Hämtad 2019-05-20 från:
<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?par=nbYr&month=13>

SMHI. (2019). Snöns densitet, vatteninnehåll och tynd. Hämtad 2019-05-22 från:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vikten-pa-sno-1.10378>

Seppälä, M. (1994). Snow depth controls palsa growth. *Permafrost and Periglacial Processes*, 5(4), 283–288

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

Seppälä, M. (2011) Synthesis of studies of palsa formation underlining the importance of local environmental and physical characteristics. *Quaternary Research*, 75, 366-370

S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press (2007).

Tabell, Lisa (1994). Tjäle i torvjord. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
Avdelningsmeddelande / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap,
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik ; 94:1
[Rapport]

Kohout, T., Bučko, M., Rasmus, K., Leppäranta, M., Matero, I. (2014). Non-Invasive Geophysical Investigation and Thermodynamic Analysis of a Palsa in Lapland, Northwest Finland. *Permafrost and Periglacial Processes*, 25, 45–52

Von Sydow, U. 1983 Naturgeografiska institutionen Stockholms universitet, Statens naturvårdsverk.

Wramner, P. 1967: Studier av palsmyrar i Laivadalen Lappland. Meddelanden från Göteborgs universitets geografiska institution nr 86.

Wramner, P. 1973: Palsmyrar i Taavavuoma, Lappland. Göteborgs universitet, GUNI Rapport 3.

Wramner, P., Backe, S., Wester, K., Hedvall, T., Gunnarsson, U., Alsam, S. & Eide, W. 2012: Förslag till övervakningsprogram för Sveriges palsmyrar. Länsstyrelsen i Norrbottens län, Länsstyrelsens rapportserie nr 16/2012.

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.

Zuidhoff, F. 2002: Recent decay of a single palsa in relation to weather conditions between 1996 and 2000 in Laivadalen, northern Sweden. *Geografiska Annaler* 84 A (2): 103-111.