

Topografiska och tidsmässiga förklaringar av snödynamiken över palsa i Vissátvuopmi, Saarikoski



Calle Åquist Holm

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet
geovetenskap 2023, 180 hp
Grundnivå
B1280

Sammanfattning.....	3
Abstract.....	5
Förord	6
1 Inledning/introduktion.....	7
1.2 Syfte.....	8
1.3 Frågeställning	8
2 Teorianknytning/ kunskapsöversikt	9
2.1 Vad är en palsa?.....	9
2.2 Snöns inverkan på palsa	11
2.3 Palsa och klimatförändringar.....	11
3 Studieområde.....	12
3.1 Klimat och vegetation i området	15
4 Metod.....	15
4.1 Fältmätningar av snödjup	16
4.1.1 Kupolpalsa.....	16
4.1.2 Ryggpalsa	17
4.2 Bearbetning av fältdata.....	17
4.3 Drönare och bearbetning av Lidardata	17
4.4 Insamling av fjärranalysdata	17
4.5 Insamling och bearbetning av väderdata	18
5 Resultat	20
5.1 Snödjup.....	20
5.1.1 Kupolpalsa.....	21
5.1.2 Ryggpalsa	24
5.1.3 Snösmältningspunkt	29
6 Diskussion	35
6.1 Metoddiskussion.....	35
6.2 Resultatdiskussion	37
7 Slutsats.....	40
8 Referenser.....	41

Sammanfattning

Den globala uppvärmningen utgör ett starkt hot mot den känsliga miljön i subarktisk och hotar att förgöra unika landskap och leda till att den diskontinuerliga permafrosten töar bort. Palsar återfinns i den subarktiska zonen med diskontinuerlig permafrost bland annat i de nordligaste delarna av Skandinavien. Palsar är upphöjningar som består av ett yttre lager av torv med frusna islinser, mineraljord, permafrost och förblir frusna året om. Det finns olika typer av palsar och bland dessa finns typen ryggpalsa och kupolpalsa även kallad ridge och dome på engelska. Dessa frusna kullar av torv är nu skarpt hotade och kan vara på väg att försvinna helt. Det är därför av stor vikt att vi kartlägger och studerar dessa formationer.

Studiens syfte har varit att undersöka möjligheten att använda sig av satellitdata för att precisera snösmältnings dagar och kartlägga snödynamiken på och i anslutning till palsan. Uppsatsen har kombinerat olika metoder för att kunna ge svar på de frågeställningar som satts upp. Frågorna lyder som följande:

- Hur noggranna är manuell snödjups mätningar jämfört med drönar-baserad Lidar mätningar över palsan?
- Kan snödjupet förklaras av topografin?
- Vilken tid kan den första snösmältningen observeras via satellitbilder och finns det en trend av tidigare snösmältning?

Data har samlats in i fält i form av manuella snödjups mätningar. Drönar-baserad Lidar har använts för att göra en jämförelse mellan våra fysiska snödjups mätningar. Målet med detta har varit att kunna värdera hur noggranna våra fysiska mätningar av snödjups har varit i jämförelse med de mätningar som gjorts med drönar-baserad Lidar. Insamling och bearbetning av klimatdata, höjddata och satellitdata har genomförts och satts i relation till våra snödjups- och fältobservationer samt de observationer av snösmältnings-datum som tagits fram mellan åren 2017 till 2022.

Uppsatsens resultat har visat en generell trend av snödjups, på både rygg- och kupol-palsan har snö visat sig djupast på den nord-östra sidan vid branta sluttningar. Snö har även ansamlats i sänkor och sprickor medans topparna var vid fältarbetet 18:e till 21:e april 2023 relativt snöfria. Detta resultat ligger i linje med vad tidigare rapporter och studier har kunnat observera.

Den genomförda studien även kunnat visa på möjligheten att använda sig av Sentinel-2 satellitbilder för att identifiera snösmältning i området. Däremot har vi inte kunnat observera någon trend av

tidigare avsmältning i området. Detta öppnar upp möjligheter att använda längre tidsserier av satellitdata för att kunna skapa sig en större förståelse för hur och när snösmältningen sker och kunna observera huruvida vi har en trend av tidigare smältsäsong.

Nyckelord: ryggpals, kupolpals, snösäsong, Sentinel-2.

Abstract

Global warming is presenting a serious threat to the sensitive environment in the sub-arctic region and is threatening to change the unique landscape forever. If this trend continues the discontinuous permafrost is at high risk of thawing completely. Palsas are found in this sub-arctic region in northern Scandinavia in the zone of discontinuous permafrost. Palsas are made up of outer layer of peat with a frozen core of ice lenses and mineral soil. There are different kinds of palsas and they are classified by their morphology. This report will focus on two forms of palsas, dome and ridge formed palsas. Due to global warming these peat mounds are now at serious risk of disappearing all together.

The purpose of this study has been to observe snow dynamics on and around palsas by using satellite imagery to pin point snow melting. This report has combined different methods to be able to answer the research questions. Data was collected through field measurements of snow depths, drone based Lidar has been used to complement manual snow depths measurements. Elevation and weather data has been collected and processed to be compared with snow depths. The results has shown a general trend of snow depths on both ridge and dome palsas. They both show large and deep snow collecting on northeast side of the palsas steep slope and in cracks and crevices. The top of the palsas has remained mostly snow free, this result is in line with previous findings.

Using satellite imagery has proven to a viable method of identifying snow melt period. This study has been unable to determine any trend of earlier snow melt periods, this is due to the short time period used in this report. Using a longer time series would open up the possibilities to identify a trend of this sort.

Förord

Denna uppsats är ett kandidatarbete i geografi skrivet vårterminen 2013 vid Göteborgs Universitet. Palsa har fascinerat mig under hela min studietid och möjligheten till djupare förståelse för alla processer som påverkar och sker på palsan har varit en stark drivkraft. Min förhoppning är detta arbete kan ligga till grund för fler studenters kandidatarbeten och möjliggöra att fler får upp ögonen för dessa fantastiska formationer.

Jag vill passa på att tacka min huvudhandledare docent Heather Reese för vägledning och tillgång till stora mängder drönardata. Biträdande handledare PhD studenten Cas Renette för meningsfulla diskussioner och för all data som delats med oss.

Vidare vill jag även tacka de andra deltagarna från vår fältresa till Saarikoski, Bengt för spännande historier och eminent skoterkörning, Mauricio för många skratt under resan, vi vill även tacka Leif som huserade oss och alltid ställde upp med skoter när vi behövde hjälp.

1 Inledning/introduktion

Global uppvärmning hotar att sätta hela vår värld i gungning och skada sköra ekosystem (IPCC 2023). Områden med diskontinuerlig permafrost i subarktisk är skarpt hotade av den fortgående trenden av förhöjda medeltemperatur och ökad nederbörd, något som har kommit att påverka palsmyrar och töprocessen av permafrost (Åkerman & Johansson, 2008, Luotu et.al., 2004). Smältningen av permafrosten frigör organiskt kol i marken som under nedbrytning av mikroorganismer frigörs som atmosfäriskt CO_2 och CH_4 (Biskaborn & Noetzli & Matthes, 2019). Dessa avlägsna områden utgör ett hinder för att studera snödynamik då de långa tidsperioderna och avståndet gör det omöjligt att i fält göra dagliga observationer. Det är därför viktigt att undersöka olika typer av fjärranalys-metoder för att kunna observera snödynamiken, alltså snösmältningen och snödjup. Sentinel 2 erbjuder högupplösta satellitbilder med en god möjlighet att studera snösmältningen under längre tid. Töprocessen av permafrost är väldokumenterad och hotar även att förstärka den globala uppvärmningen genom en positiv feedback loop. Definitionen för permafrost är en marktemperatur som inte överskrider 0°C under året (Subcommittee, P. 1988).

I den subarktiska zonen i norra Sverige uppnås dessa förhållanden men med ytterst små marginaler och balanserar därför på en knivsegg. Dessa områden i svenska subarktis blir därför extra utsatta och känsliga för klimatförändringar och lämpa sig därför väldigt bra för att observera mindre förändringar i klimatet (Christensen et al 2004, Zuidhoff & Kolstrup 2000). I den subarktiska zonen i Europa hittas permafrostformationen palsa, detta är det Samiska ordet som beskriver de frusna kullar av is, torv och mineraljord (Seppälä 2006). De speciella förhållanden som krävs för uppkomsten av dessa formationer är bland annat en nederbördsmängd som inte får överskrida 450 mm per år (Seppälä, 2006). Temperaturförhållande är också avgörande då den årliga medeltemperaturen skall ligga mellan -3°C och -5°C (Seppälä, 2006). Geografiskt återfinns dessa formationer i de nordliga delarna av Sveriges fjällmiljö, i dalar med torv/myrmarker de består av upphöjda kullar med branta kanter mot ett annars flackt landskap. Palsan består av en frusen inre kärna av upphöjda islinser, mineraljord och ett yttre lager av torv (*Figur 1*). Denna torv har en viktig funktion då den fungerar som isolator och förhindrar smältning av den inre kärnan under de varmare sommarmånaderna (Seppälä, 1997). Det som får palsan att skjuta upp ur marken beror på en process som kallas "frost heave" (frosthävning) vilket är islinser som tillsammans får den överliggande torven att hävas uppåt. Isen varvas med torv och ju fler lager desto högre blir palsan (Seppälä, 2006).

I dagsläget finns det stora möjligheter att tillföra ny kunskap om hur snön är fördelad över palsaformationen och kopplingen mellan topografins påverkan på denna fördelning. Användandet av fjärranalys-metoder där satellitbilder tolkas för att avgöra och studera snösmältning har tidigare inte utforskats som metod. Vidare finns även goda möjligheter att förbättra kunskapsläget gällande hur ansamlingar med tjockare snötäcke kan mätas med noggrannare metoder som drönbaserad Lidar. Denna studien tar avstamp i dessa kunskapsluckor och försöker ge svar på dessa frågor.

1.2 Syfte

Rapportens syfte är att tillämpa fjärranalys-metoder för att få en tydligare bild av snödjupet samt snösmältningsdatum över två palsar i Vissatvuopmi palsmyr. Snödjupet mättes under den 18:e till 21:e april 2023, samma snösmältningsperiod mättes mellan 2017 till 2022. Rapporten försöker hitta möjliga förklaringar till snötäckets fördelning över palsan genom att studera topografi med hjälp av DTM och snödjupsmätningar. Rapporten ämnar även undersöka under vilken period snösmältningen sker för att fastställa huruvida det finns en trend av tidigare snösmältning, detta görs genom att besvara följande frågor.

1.3 Frågeställning

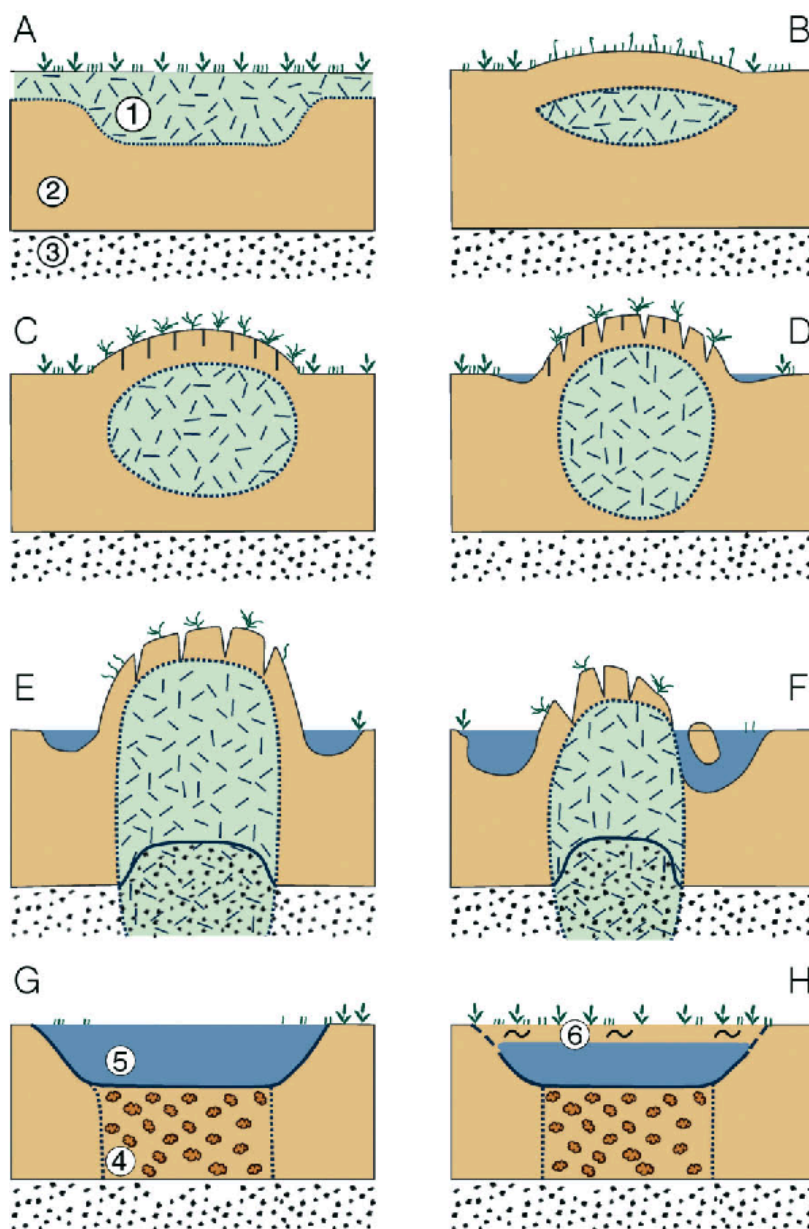
- Hur noggranna är manuella snödjups-mätningar jämfört med drönbaserade Lidar- mätningar över palsan?
- Kan snödjupet förklaras av topografi?
- Vilken tid kan den första snösmältning observeras via satellitbilder och finns det en trend av tidigare snösmältning?

2 Teorianknytning/ kunskapsöversikt

2.1 Vad är en palsa?

Palsa är det samiska ordet för att beskriva de kullar av torv med en inre frusen kärna som återfinnes i studieområdet. (Seppälä 2006). En palsa definieras som en kulle uppbyggd av ett yttre skal av torv med alternerande interna islinser, torv och mineraljord (se figur 2). Deras höjd, bredd och längd kan variera stort beroende på typ och ålder men generellt sett så är de i storleksordning 1 till 7 meter höga med en diameter runt eller under 100 meter (Everett, 1989b). Det är enbart under de förutsättningar som det subarktiska klimatet har som det finns möjlighet för en palsa att uppstå. En förutsättning för att en palsa skall kunna bildas är en marktemperatur som inte överskrider 0 grader under året. Detta är även definitionen av permafrost (Everett, 1989b). En palsas naturliga livscykel kan delas upp i 4 distinkta faser (Seppälä 2006), (se figur 1). Startskottet sker när en del av myrlandskapets isolerande snötäcke blåser bort och exponerar torven vilket resulterar i att marktemperaturen sänks och islinser bildas, detta steg kan benämnas som ett embryostadie. Det är i detta stadie som den första frosthävningen sker på grund av densitets skillnaden mellan den ny formade islinsen och den omgivande marken. Isen flyter helt enkelt på det vattnet som omger den i torven. Denna rörelse i vertikal riktning påverkar mängden vatten som finns i den yttre torven på den växande palsan och leder till en successiv uttorkning. Uttorkning har sedan påverkan på den vegetationen som kan växa där. I realitet innebär detta mindre och lägre vegetation på toppen av palsan än på den omkringliggande myrmarken.

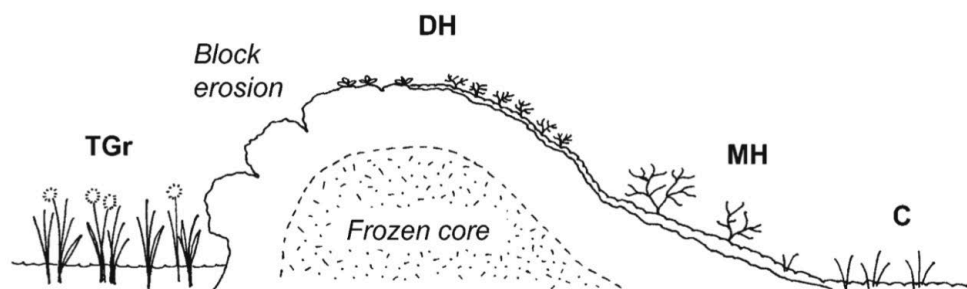
Med åren växer sig palsan högre och uttorkningen av torven fortsätter och detta steg kan betecknas som en mogen palsa (Zuidhoff, 2003) efter detta steg kan en successiv nedbrytning av de yttre torvlagren börja observeras. Torven börjar spricka upp i kanterna och den inre kärnan av is kan då exponeras. När detta sker går palsan in i en tredje nedbrytningsfas, den inre isen börjar töa och kanterna börjar falla samman. I detta stadie kan små thermokarstsjöar bildas i kanterna där torven spruckit upp (Zuidhoff 2003). I det sista steget av livscykeln ser vi en total kollaps av palsan, när de inre isskikten töar bort kan den inte längre bära sin egen vikt och sjunker ihop.



Figur 1. Palsans livscykel i flera steg där C är den första embryo fasen D är en ung palsa som börjar växa på höjden E är en äldre palsa som börjar spricka upp och F visar en palsa som börjar kollapsa. Källa: Seppälä 2006

Figure 1. Palsas lifecycle in several steps where C is the embryo phase D is a young that started to grow upwards E is a mature palsa showing cracks and F shows a palsa in its final stage starting to collapse. Source: Seppälä 2006

Palsa klassificeras utifrån sitt morfologiska utseende kupolpalsa eller engelskans dome palsa har en höjd mellan 0,5 till 7 meter. Kupolpalsan kan variera väldigt i längd och utbredning från mellan 10 meter till 150 meter (Seppälä 2006). Ryggpalsan karakteriseras av en långsmal form med en höjd upp emot 7 meter och kan i vissa fall bli så långa som 0,5 km (Seppälä 2006).



Figur 2. Visar vegetationen på en mogen palsa med tydlig blockerosion på sidan och en thermokarst-sjö. Källa: (Bosiö, m.fl., 2012).

Figure 2. Shows vegetation on top of a mature palsa with obvious signs of blockerosion on its side and a thermokarst-lake. Source (Bosiö, et.,al ., 2012).

2.2 Snöns inverkan på palsa

Snö har en generellt negativ inverkan på palsan. Detta beror på att snön har en isolerande egenskap som skyddar kylan från luften att tränga igenom snötäcket och nå ner i den underliggande marken (Zuidhoff & Kolstrup 2000). Detta kan innebära att snö som ansamlas på palsan kan påskynda dess nedbrytning och förhindra nybildning av inre islinser (Seppälä 2006).

Under snösmältningsperioderna runt april, maj och juni kan vatten från den smältande snön blötlägga den yttre torven på palsan. Detta resulterar i en värmetransport från ytan av palsan in mot kärnan vilket i sin tur kan bidra till degradering av palsen (Zuidhoff & Kolstrup, 2000). Det yttre lagret av torv har i torrt tillstånd en isolerande effekt (Seppälä, 1997) men får alltså motsatt effekt från hur det vanligen fungerar när den förblir blöt under en längre period.

2.3 Palsa och klimatförändringar

Det subarktiska klimatet är väldigt känsligt för klimatförändringar samma gäller för palsan och uppvärmningen i regionen sker 4 gånger så snabbt som den globala medeltakten (Rantanen et al., 2022). De stigande medeltemperaturerna under vinterhalvåret i kombination med ökad nederbörd i området har pekats ut av IPCC som problematiska (IPCC.2023). Dessa förhållanden har kunnat kopplas till en ökad takt av pals-degradering sedan början av 1960-talet (Zuidhoff & Kolstrup, 2002). Töandet av den diskontinuerliga permafrosten och degraderingen av palsmyrar innebär stora

potentiella utsläpp av koldioxid men även metangas. Metangas är en 25 gånger mer potent växthusgas än koldioxid (Sehuur & Abbott, 2011). Utsläppen från töande permafrost sker när tidigare fruset organiskt material börjar brytas ner av mikroorganismer i jorden. Om syre finns tillgängligt i marken kan stora mängder atmosfäriskt koldioxid (CO₂) emitteras från marken. Syrefria eller syrefattiga marker tenderar att få större utsläpp av metangas (CH₄). Denna mekanism leder till en destruktiv positiv feedback loop som i sin tur leder till ökad uppvärmning av atmosfären vilket då möjliggör att större områden av permafrost och palsmyrar börjar töa bort och frigöra organiskt material som omvandlas till koldioxid- och metan-utsläpp. Dessa processer kan leda till en total förlust av samtliga palsmyrs-områden i den subarktiska zonen i Skandinavien (Fronzek, 2013). Den ökande trenden av nederbörd och snödjup har pekats ut som en särskilt viktig faktor i nedbrytningen av palsa och ses som en av de starkast drivande faktorn i denna process (Seppälä, 2011).

2.4 Fjärranalys

Sentinel 2 B är en europeisk satellit från European space agency som sköts upp 23 mars 2017. Satelliten ingår i Copernicus programmet och insamlar högupplöst optisk data med en spatial upplösning på 10 till 60 meter (European space agency, 2023). Sentinel 2 används bland annat för att klassificera olika typer av landområden men har också många andra användningsområden som övervakning av jordbruksarealer och vattenkvalitets- bedömningar.

Dess omloppsbana täcker landområden, kustområden och medelhavet eller från 56 grader syd till 84 grader nord. Satelliten har en *revisiting time* var 10:e dag vilket innebär att den återkommer i exakt samma vinkel över ett område var 10:e dag. Sentinel 2 sensorer samlar in data i 13 olika band av synligt ljus, nära infraröd och kortvågig infraröd. Den datan som samlas in är gratis och fritt tillgänglig att användas.

3 Studieområde

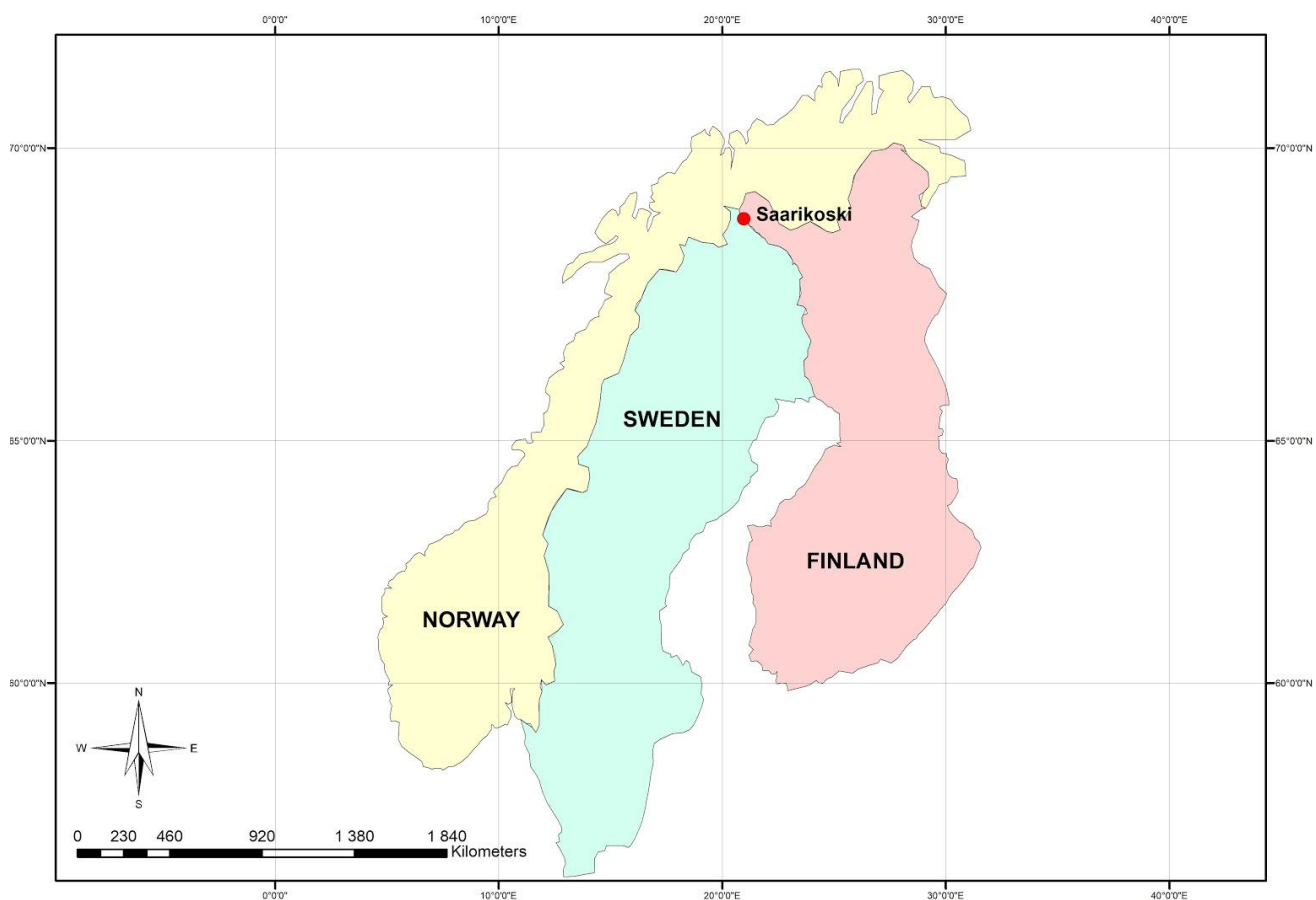
Vid den Svensk-Finska gränsen på den västra sidan av floden Könkämä i norra Sverige ligger Saarikoski, ett litet samhälle bestående av två hushåll cirka 35 kilometer från Kilpisjärvi. Palsmyrs området heter Vissátvuopmi och är Sveriges största sammanhängande palsmyr och utgör cirka 14 % av den totala palsmyrsarealen i Sverige (Olvmo et al., 2020). Det två palsar som studerats är av typen ryggpals och kupolpals och har ett avstånd på 1.1 kilometer från varandra. Ryggpalsan är belägen lite nordväst om byn Saarikoski och kupolpalsan är belägen sydväst om Saarikoski.

Området ligger inom ett palsmyrs område med diskontinuerlig permafrost vilket är den zon belägen mellan den kontinuerliga permafrosten och den södra gränsen för där permafrost inte längre kan bildas (Everett,1989b).

Diskontinuerlig permafrost innebär att inte hela marken är frusen utan den är uppdelad i områden med frusen mark och mark som har en temperatur som ligger över 0 grader.

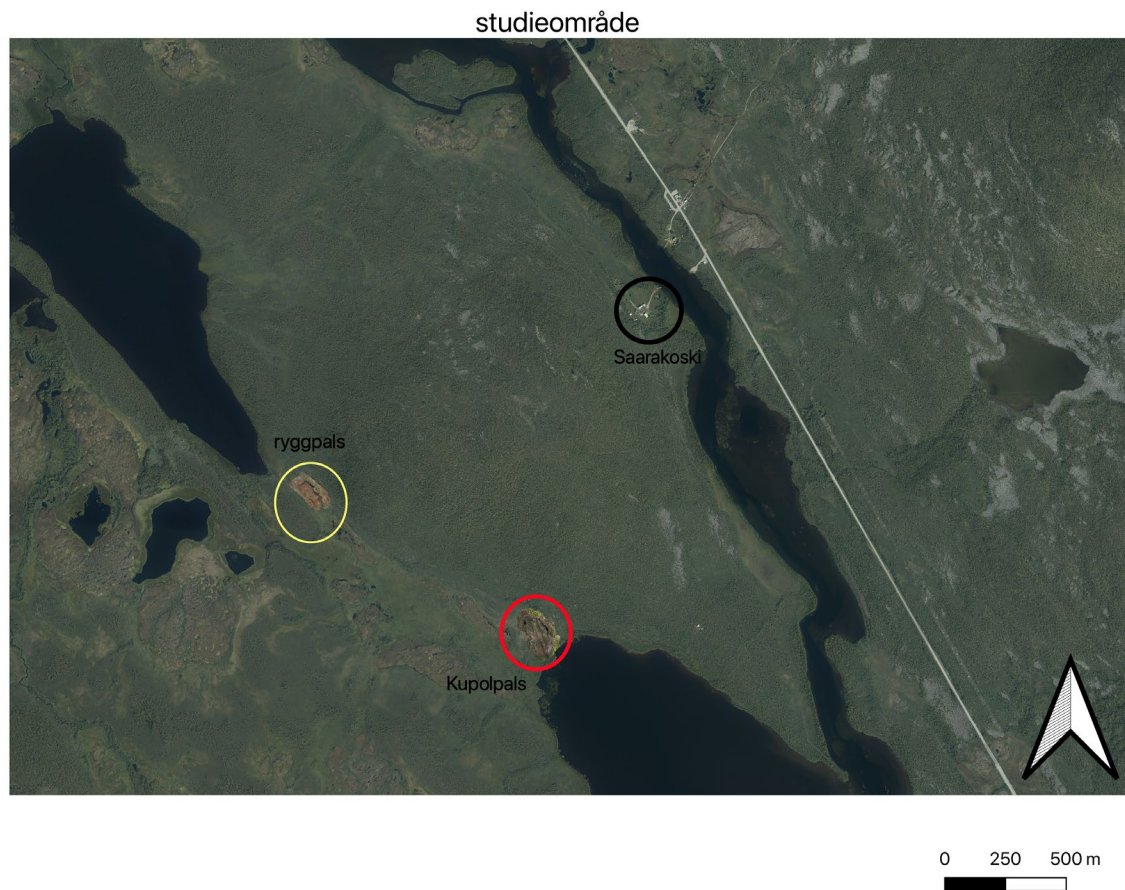
Områden med diskontinuerlig permafrost anses ha extremt låg tolerans även för mindre förändringar av klimatet (Pengerud, Johnsen, Cécillion & Rasse, 2013).

EU har pekat ut palsmyrs-områden som naturområden av stor betydelse i sitt habitatdirektiv men även gjort bedömningen att dessa områden är allvarligt hotade till följd av klimatförändringar.



Figur 3. Karta över studieområdet.

Figure 3. Map over the study area.



Figur 4. Visar studieområdet med ryggpalsen i den gula cirkel och kupolpalsen i den röda cirkeln och Saarikoski i den svarta cirkeln.

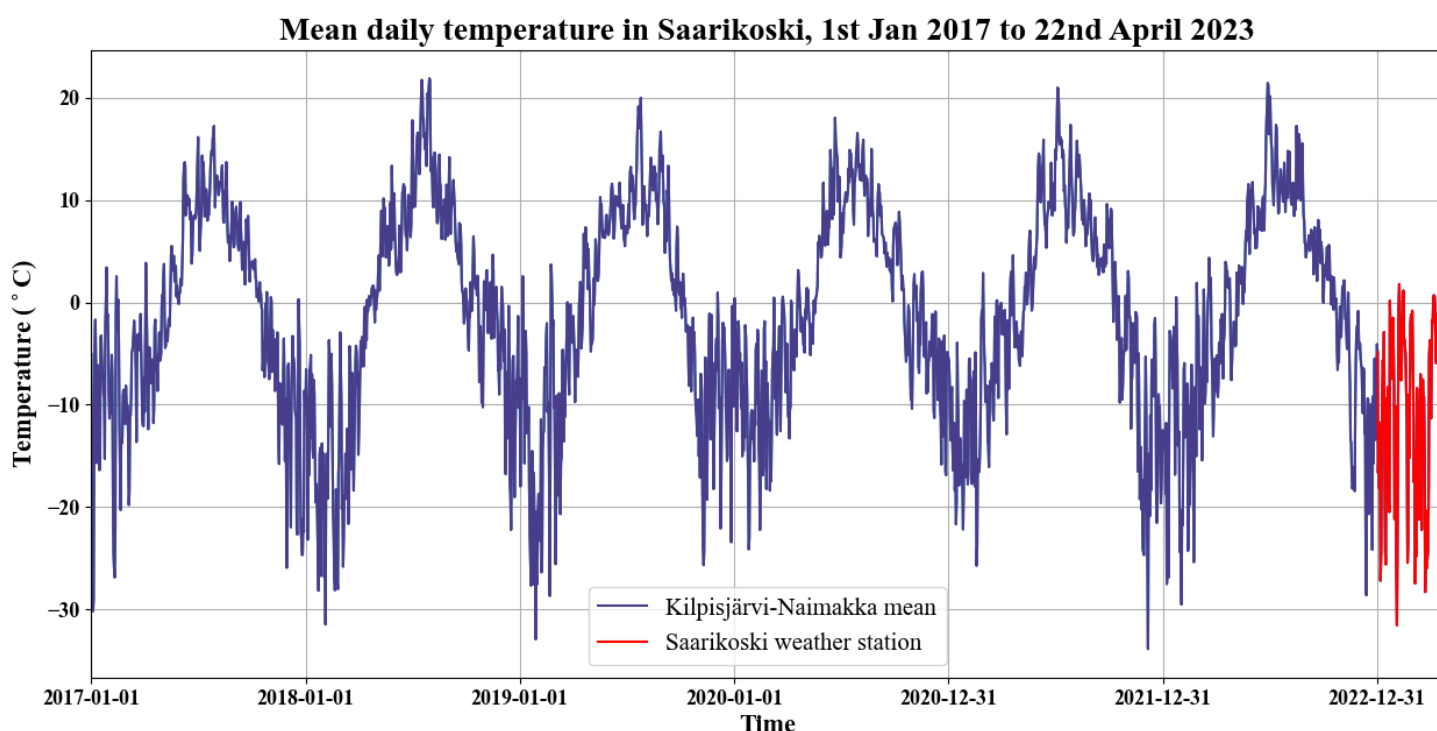
Figure 4. Shows a closeup of the study area with the bridge palsa in the yellow circle and the dome palsa within the red circle and Saarikoski within the black circle.

3.1 Klimat och vegetation i området

Saarikoski är beläget i den subarktiska zonen vilket karakteriseras av en årsmedeltemperaturer mellan -3 till -5 grader celsius och en årlig nederbördsmängd på 450 mm per år (Seppälä, 2006). Vegetationen består framförallt av lägre vegetationstyper såsom ris och buskar med en medelhöjd på cirka 20 centimeter. Den vanligaste vegetationen som återfinns på palsmyren är *Betula nana*, *Empetrum nigrum*, *Salix*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium myrtillus* och *Vaccinium vitis-idaea* (Flaruo 2003, Von Sydow 1983). En viss variation i höjd förekommer bland dessa vegetationstyper där *Betula nana* är den vegetation som kan växa sig störst.

I Figur 5 visas ett medelvärde för varje månad i vårt område för perioden januari 2017 till april 2023. Datan är tagen från 3 olika stationer Kilpisjärvi och Naimakka vars medelvärde representerar vårt studieområdes temperatur samt en väderstation utplacerad av Göteborgs Universitet i slutet av 2022.

4 Metod



Figur 5. Medel dygnstemperatur för åren 2017 till 2023 av Kilpisjärvi och Naimakka väderstation samt Göteborgs Universitets egna väderstation som syns i rött. Källa SMHI

Figure 5. Mean daily temperature between 2017 and 2023 at the Kilpisjärvi and Naimakka weather station as well as University of Gothenburgs own weather station shown in red. Source SMHI

Snödjupsmätningar sker på två olika typer av palsa, nämligen kupol/dome palsa och en ryggpalsa. Snödjupsmätningarna av domepalsan skedde den 18:e april 2023 och på ryggpalsan den 19:e april 2023

4.1 Fältmätningar av snödjup

Mätningarna av snödjup gjordes i regel med intervaller på cirka 10 meter, även start och slutpunkter hade ett avstånd på cirka 10 meter. Vissa mätningar skedde med tätare intervaller på platser som i fält bedömdes som mer intressanta då kraftig variation av snödjupet i synnerhet i sänkor och sluttningar observerades. Dessa områden som bedömdes kräva tätare mätningar baserades på den höjdmodell som matats in i appen QField och genom egna bedömningar och observationer i fält. Dessa mätningar har inte skett i några bestämda profiler utan har följt palsans naturliga former och syftat till att skapa en mer heltäckande snödjupsmätning. Mätningarna går att se i figur 7 och figur 11.

För att mäta snödjup har en vanlig skidstav med längden 150 cm använts som mätinstrument, denna stav har märkts upp med tejp var 10:e centimeter. Precisionen av mätningarna har säkerställs genom att mäta från närmaste upptejpade 10 centimeter till snöns kant. Detta har möjliggjort mätningar med större precision än de 10 centimeter som var upptejpade. Appen QField har använts för att logga både gps punkter för varje snödmätning och för de respektive snödjupen. QField använder sig av telefonens gps vilket ger den en precision på runt 3 meter. QField användes för att kunna identifiera palsans utbredning i fält. Genom att använda ett DTM lager från drönbaserad Lidar som en basemap av området. DTM lagret är insamlat under september 2022 över respektive palsa. Varje start och slutpunkt på mätningarna markerades ut i fält med kulörta flaggor och loggades i appen.

4.1.1 Kupolpalsa

Snödjupsmätningarna över kupolpalsan gjordes i 9 led med sammanlagt 83 stycken mätpunkter i nord-sydlig riktning. På grund av tidsbrist var mätningarna tvungna att avbrytas två tredjedelar in i arbetet. Det rådande väderförhållandena och den varma temperaturerna under veckan resulterade i kraftig snösmältning. Därför bedömdes det som olämpligt att fortsätta göra fler mätningar några dagar senare eftersom dessa mätningarna då skulle kunna ge ett missvisande resultat och bidra till potentiella felkällor och brus.

4.1.2 Ryggpalsa

Mätningarna av snödjup skedde i 14 led över ryggpalsan och resulterade i 91 mätpunkter.

Liknande intervall på 10 meter mellan start och slutpunkter gjordes som på kupolpalsan och intervallerna mellan mätpunkterna sattes till 10 meter.

Ryggpalsans branta kant på nord-östra sidan förhindrade oss från att göra mätningar i dessa områden och punkter togs istället ut nedanför sluttningen och så nära kanten av sluttningen som möjligt.

4.2 Bearbetning av fältdata

Gps-punkterna tillsammans med snödjupsmätningarna har matats in i QGIS för att skapa shapefiler och kartor över rygg- och kupol-palsan. Dessa jämförs senare med höjdprofiler över palsan för att finna samband mellan snödjup och topografin på och runt omkring båda palsarna. Höjdprofilerna skapas med hjälp av höjddata (DTM) från drönar flygningar gjorda under 2022.

4.3 Drönare och bearbetning av Lidardata

Projektet har använt sig av en drönare av typen DJI Matrice 300 som var utrustad med Yellowscan Mapper och Lidar. Drönaren har flugits på en höjd av 35 meter över båda palsar. Kupolpalsan flögs över den 18:e april och ryggpalsan den 19:e april. Datan har bearbetas av Cas Renette i programmet YellowScans Cloud Station för att skapa en DTM fil över snöbeklädd palsa. En liknande DTM fil över respektive palsa utan snö skapades 4 september 2022 med hjälp av samma utrustning och program.

4.4 Insamling av fjärranalysdata

Sentinel-2 är en europeisk satellit som ingår i Copernicus programmet och sköts av European space Agency. Satelliten skickades upp i omloppsbana 7 mars 2017 och samlar in högupplösta optiska bilder med en upplösning på 10 till 60 meter (European Space Agency, 2023). Satelliten bedömdes därför ha en tillräckligt god upplösning för att kunna användas för att observera snösmältningen. Satellitdata från Sentinel-2 har legat till grund för att fastslå datum för första snösmältning på ryggpalsan respektive kupolpalsan liksom för att bestämma datum då båda palsor

är helt snöfria. Sentinel 2 valdes ut dels för sin höga spatiala upplösning på 10 meter och även då dess data är gratis och tillgänglig för nedladdning.

Perioden 2017 till 2022 har studerats för att ta fram en graf över snösmältningsperioder för respektive palsa. Dagar med ett molntäcke över 50% har sorterats bort då det ansågs omöjligt att skilja mellan moln och snötäckt mark. En tabell med kategorier för första snösmältning och helt snöfritt på palsan för rygg- respektive kupol-palsan skapades för tidsperioden 2017 till 2022. Första snösmältningen har definierats som första dagen då barmark kan observeras och helt snöfritt då ingen snö kan observeras på toppen eller på kanterna av palsan. Datan fördes därefter in i Python för att skapa en graf över samtliga år. En diffkarta har skapats för båda palsar där drönbaserad Lidar har använts för att räkna ut differensen mellan en snöfri palsa och en snöklädd palsa. Datan för den snöfria palsen är insamlad september månad 2022 och den snöbekladda har insamlats under vårt fältarbete i april 2023. Detta har skapat två högupplösta kartor över området. Dessa kartor jämförs sedan med hjälp av en regressionsanalys och visualiseras med ett scatter plot där vi tar ut R-värden för respektive plats i ett försök att jämföra de manuella mätningarnas noggrannhet och brister i relation till Lidar mätningarna.

4.5 Insamling och bearbetning av väderdata

Väderdata av dygnsmedeltemperatur har hämtats hem från väderstationerna Najmakka som har stationsnummer 191910 och är belägen på latitud 68,6763 longitud 21,5229. Stationen ligger 402,202 meter över havet och ligger geografiskt cirka 18 kilometer sydöst från studieområdet (Vackert väder 2023). Väderstationen i Kilpisjärvi ligger på longitud 20° 52.7219' och latitud 69° 00.7023 denna station är belägen 478 meter över havet och ligger ungefär 33 kilometer från studieområdet och tidsserien sträcker sig från 1 januari 2017 till 22 april 2023. (Vackert väder, 2023).

Eftersom dessa två väderstationer befinner sig på 18 kilometer respektive 33 kilometer nordväst från studieområdet beslutades att ta ett medelvärde mellan de två stationerna för att bäst representera temperaturen för vårt studieområde. För att säkerställa att detta medelvärde var representativt för området gjordes en jämförelse med väderdata som från en mindre station som nyligen placerats ut i Saarikoski av Göteborgs Universitet. I figur 5 sammanställs jämförelsen av de ihopslagna medelvärdena av Naimakka och Kilpisjärvi i relation till väderstationen i Saarikoski.

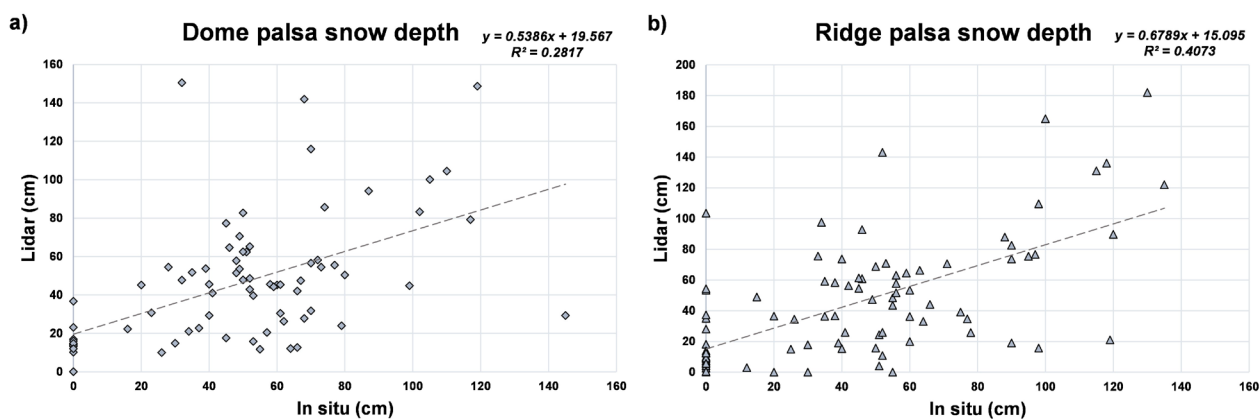
Väderdatan från Naimakka hade ett glapp i sin dataserie. Det datum som saknades var 2019- 05 -18 till och med 2019 06-18- med undantag för 2019-05-19 som hade ett värde.

Ett medelvärde togs fram för att kompensera för de datum som saknades i serien genom att ta ett medelvärde av datumen 10:e maj till 15:e maj plus 19:e maj. Det genererade medelvärdet sattes sedan in och fick representera den 18:e maj. Samma sak gjordes för samtliga andra datum som saknades med skillnaden att medelvärdet för den 20:e maj räknades ut med datan från 11:e maj till 15:e maj plus det värdet som räknats ut för 18:e och fortsatte sedan med en förskjutning på ett datum för varje genererat medelvärde.

5 Resultat

5.1 Snödjup

Resultatet av de fältbaserade kontra Lidarbaserade snödjupsmätningar kan ses i figur 6 och figur 7A och figur 11A. För att kunna göra en jämförelse mellan snödjupsmätningar gjorda i fält och de gjorda med Lidar har även en differenskartan inkluderats. De manuella mätningarna jämförs med de från Lidarn. R^2 -värdet från den regressionsanalys som genomförts av kupolpalsen är 0,2817. Med tanke på att de fysiska mätningar på kupolpalsen endast täcker två tredjedelar så tolkas detta som ett bra resultat. Jämförs R^2 värdet för ryggpalsen uppnås ett värde på 0,4073 vilket är ett starkare samband. Dock är inget av resultaten särskilt starka.

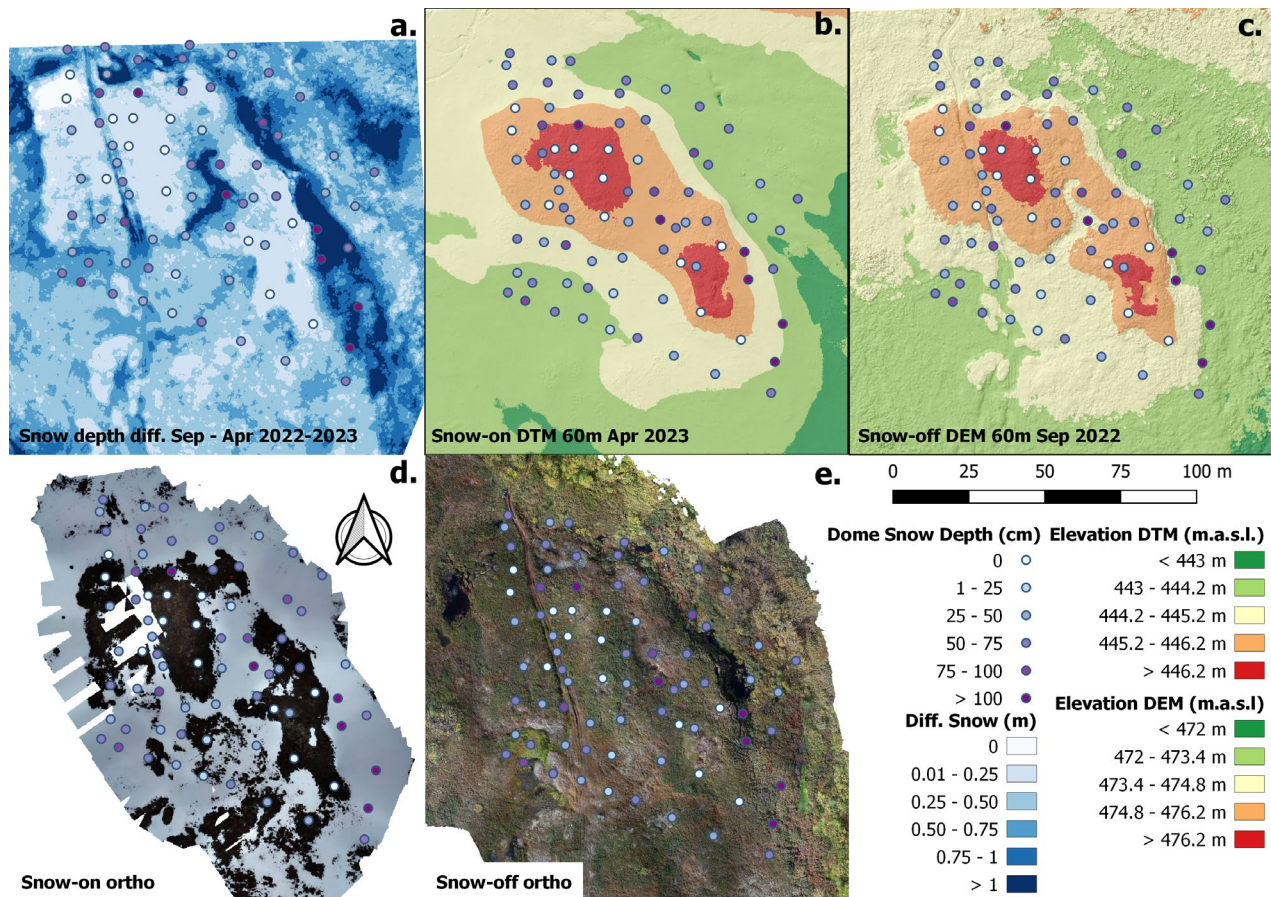


Figur 6. Regressionsanalys av Lidar snödjup och fysiska snödjups mätningar för respektive palsa

Figure 6. regression analysis of Lidar snow measurements and in field snow measurements for both palsas

5.1.1 Kupolpalsa

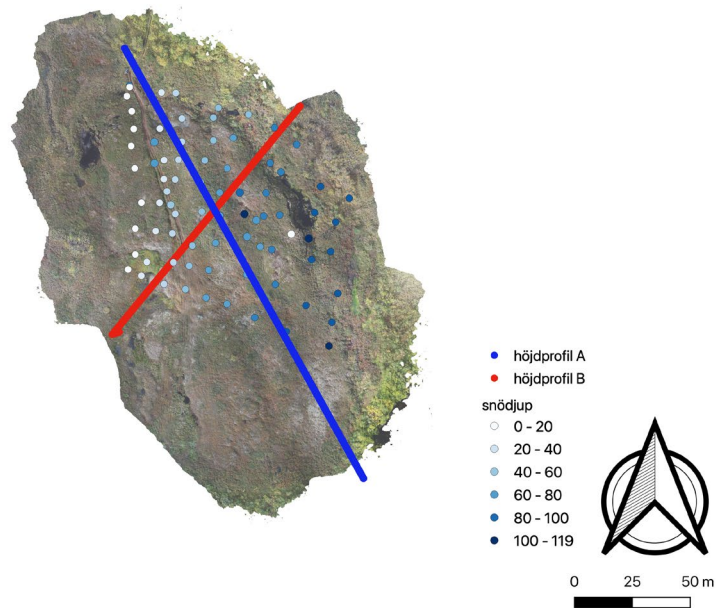
Snödjupet över kupolpalsan som uppmäts i fält samt höjddata över snötäckt palsa och ortofoto från 2023 och snöfri palsa samt ortofoto från 2022 visas i figur 7. Figuren innehåller även Lidar baserad snödjup vilket är en differens mellan snöfri palsan och en snötäckt palsa vilket ger en högupplöst karta över snödjup. Utifrån de utförda snödjupsmätningar och höjddata kan ett mönster ses av snödjups distribution. Tydligast kan detta observeras då toppen på palsan har ett avsevärt lägre snötäcke än resterande palsa har.



Figur 7: 7a visar differenskartan baserad på drönbaserad Lidar från september 2022 och april 2023. 7b och c är en DTM från 2023 respektive 2022 med våra manuella fältmätningar synliga. 7d och e är ortofoton där palsan syns med snö år 2023 och snöfri år 2022

Figure 7: 7a shows the differens map based on drone based Lidar from September 2022 and April 2023. 7b and c is a DTM from 2023 and 2022 with manual field measurements visible. 7d och e is a orthophoto of a snow-covered palsa in 2023 and a snowfree palsa in 2022.

höjdprofil kupol pals



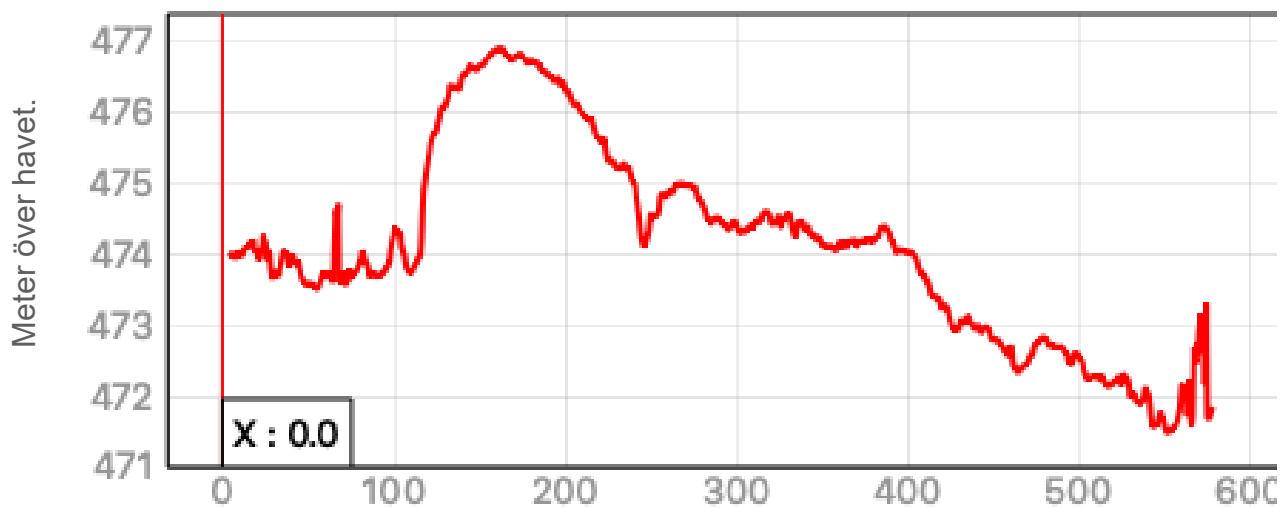
Figur 8. Höjdprofiler över kupol palsan, höjddata är en DTM från september 2022.

Figure 8. Elevation profile over the dome palsa, the data is a DTM from September 2022.



Figur 9. Höjdprofil B över kupol pals dragen från väster mot sydöst y axeln är höjd över havet och x axeln är palsans bredd

Figure 9. Elevation profile B over dome palsa, drawn from west to southeast the y axes is the height above sea level and x axes is the palsa's width.



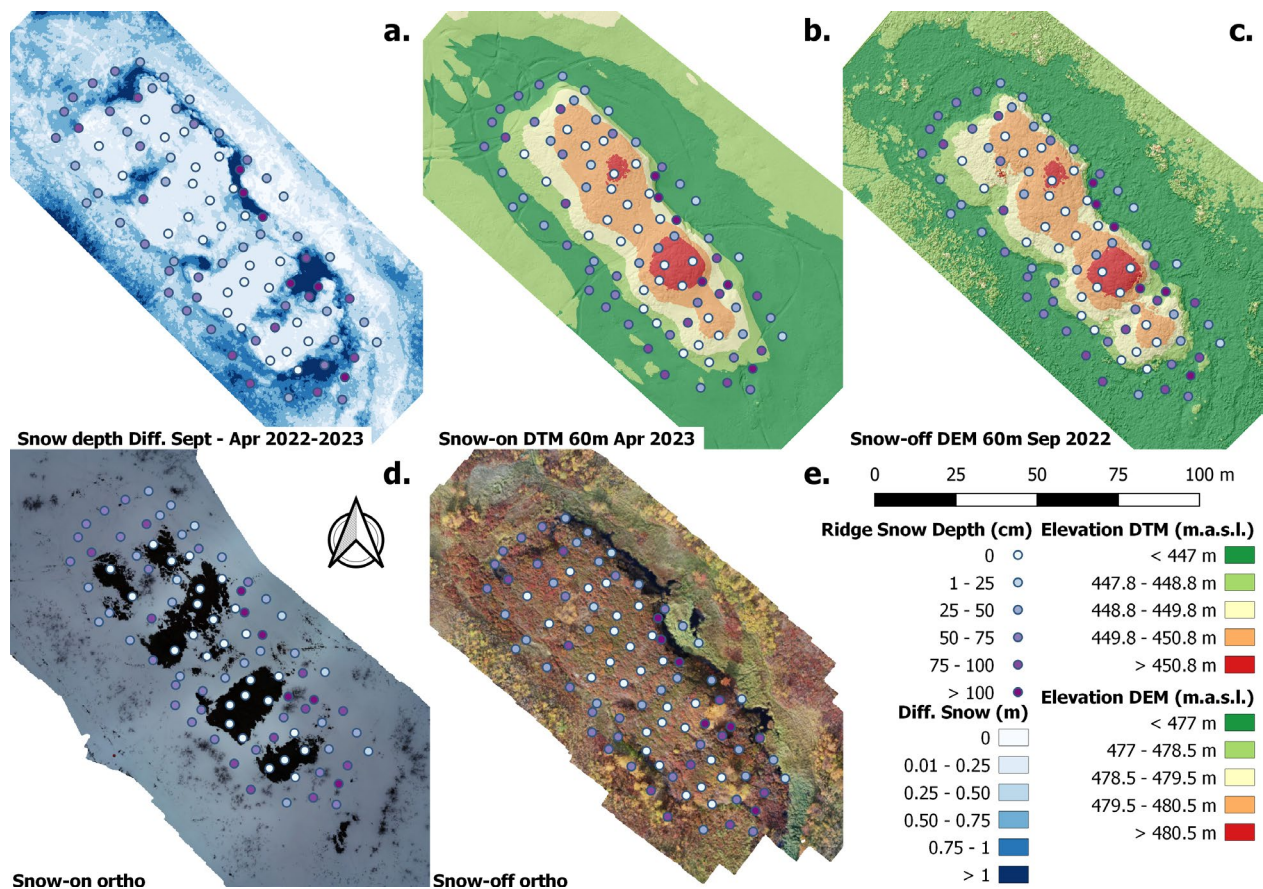
Figur 10. Höjdprofil A över kupolpals ritad från nord mot syd öst y axel är höjd över havet x axel är palsans längd

Figure 10. Elevation profile A over dome palsa drawn from north to southeast y axes is height above sea level and x axes is the palsa's length.

De högre värden som kan observeras som ändå ligger på palsans topp kan förklaras med sänkan som syns tydligt i figur 7A, de högre värdena ligger i en sänka som är belägen på toppen. Denna sänka har ackumulerat snö och förhindrat den från att transporteras bort. Sänkan går även att observera i figur 7C från 2022 där det observeras att sänkan är ordentligt djup och har samma höjd över havet som de yttersta kanterna på palsan. Höjdprofilernas dragning syns i figur 8. Höjdprofil B i figur 89 är dragen från nordöst till nordväst. På den nordvästra delen av profilen syns en sänka följt av en avsats. detta område visar ett tjockare lager av snö än de områden kring och runt toppen. Den typen av sänkor kan skapa stor variation av snödjup i ett område. Det mäktigaste ansamlingar av snö finns uppmätta på kupolpalsans nord-östra sida vilket även backas upp utav de Lidar baserade snömätningarna.

Den nordvästra delen av palsan visar betydligt tunnare snötäcke sett till fältmätningarna. Dessvärre täcks inte den yttersta kanten av några fysiska mätningar men figur 7A bekräftar ändå det resultatet, man ser tydligt skillnaden i mäktigheten av snölagret mellan nord-östra och nord-västra sidan. Den södra delen av palsan saknar nästan helt fysiska mätningar och täcks bara upp av Lidarmätningar. Men även denna visar inte i närheten av lika mäktiga snölager som nord- östra delen. Höjdprofil A i figur 10 visar hur den södra delen av palsans terräng skiljer sig från den norra delen. Den södra delen har en svagt lutning nedåt och saknar några branta kanter där snö kan ansamlas till skillnad från den norra delen som har en relativt brant sluttning som leder upp mot toppen.

5.1.2 Ryggpalsa



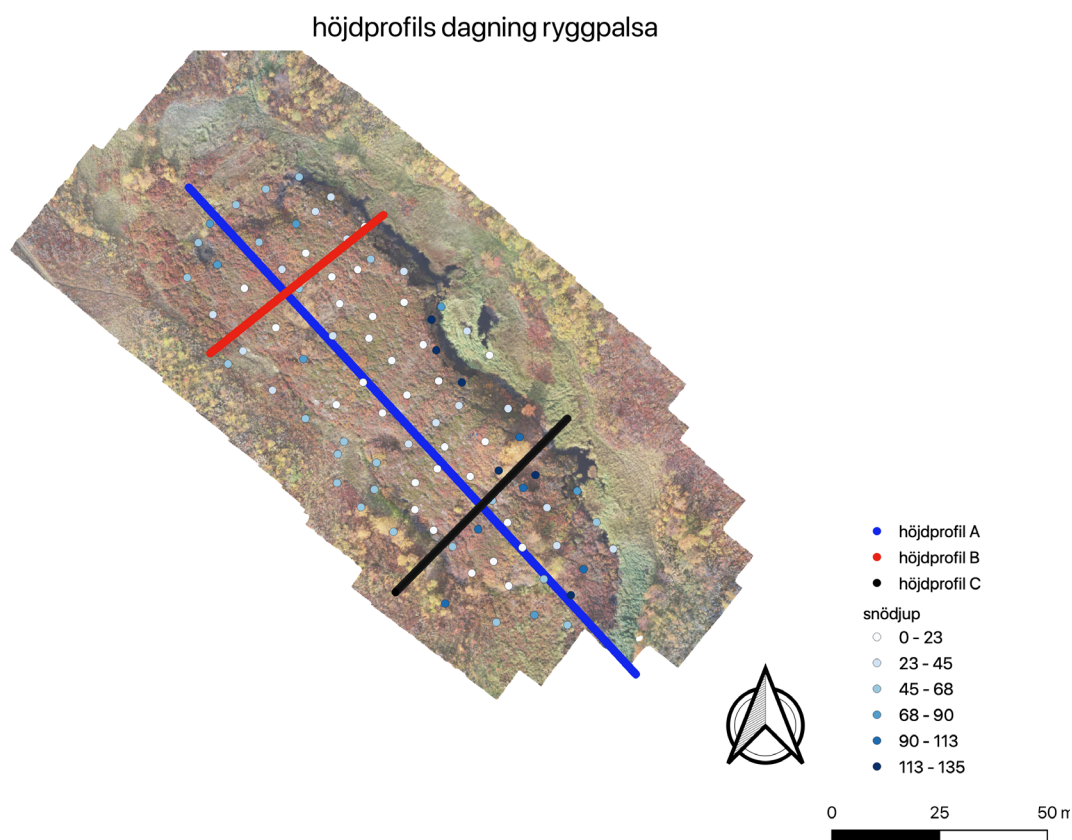
Figur 11. 11a visar differenskartan av drönbaserad Lidar från september 2022 och april 2023. 11b och c är DTM från 2023 respektive 2022 med våra manuella fältmätningar synliga. 11d och e är ortofoton där palsan syns snötäckt år 2023 och snöfri 2022.

Figure 11. 11a shows the difference map based on drone based Lidar from September 2022 and April 2023. 11b and c are DTM from 2023 and 2022 with manual field measurements visible. 11d and e are orthophotos of a snow-covered palsa in 2023 and a snow-free palsa in 2022.

Figur 11 visar fördelningen av snö på ryggpalsa, höjdmödel för snöfri och snöbeklädd palsa. Ett liknande mönster av snöfördelning som ses här kan även ses på kupolpalsan. Ett värde som sticker ut är på syd-östra delen av palsan. Studerar man figur 11 C och E kan man ana högre typer av vegetation i form av björkar i kombination med sänka i topografin.

Denna vegetation kan observeras i figur 15 som är tagen i sydvästlig riktning på ryggpalsen här syns även sänkan tydligt. Denna ansamling träd kan antas bidra till det stora snödjupet då snön fastnar och hålls kvar av grenar och stammar. Jämför man de snömätningarna som gjorts i fält med de värden som vi fått från Lidar mätningarna i figur 11 A observeras en viss variation där de värden

inte helt stämmer överens med de värden som mätts upp utav Lidar. Till viss del kan detta förklaras med den 3 meters precisionen som telefonens gps har.



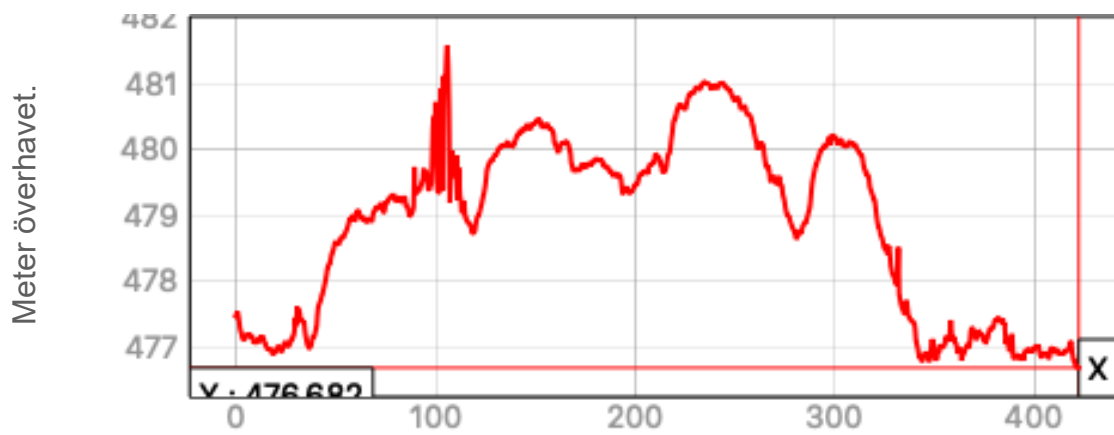
Figur 12 höjdprofils över rygg palsan, höjddata är en DTM från september 2022

Figure 12. Elevation profile over the ridge palsa, the data is a DTM from September 2022.

Detta kan medföra att de manuella mätvärden kan ha en viss förskjutning. Det demonstrerar även den stora variation i snödjup som finns över palsan. Höjdprofil A som är dragen i nord-västlig riktning över ryggpalsen visar två relativt djupa svackor i palsan, dessa två ligger ungefär på samma plats där höjdprofil B och C är dragna.

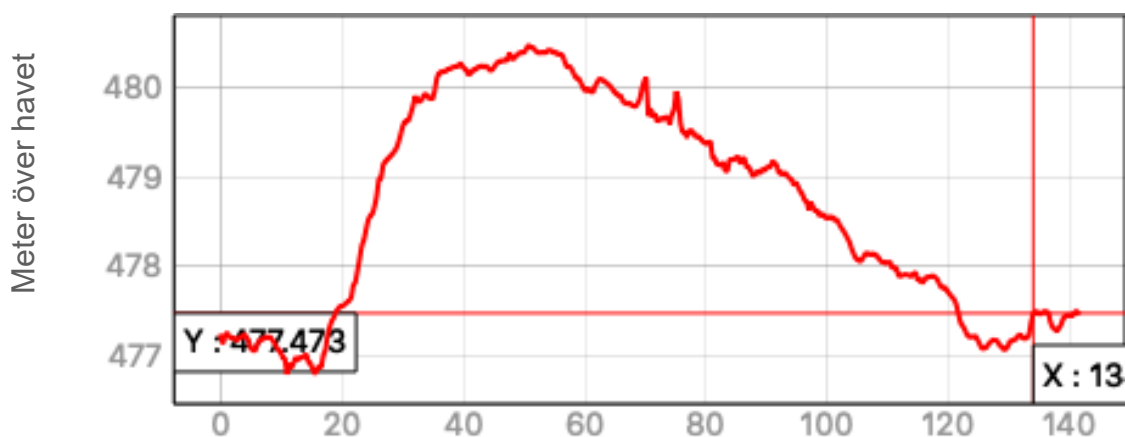
Där profil A korsar profil C har djup snö samlats vilket både visas av Lidar och de manuella mätningarna i fält. Däremot syns inga djupa snöpartier där A korsar B i fråga om de manuella snödjupsmätningar, detta syns däremot på Lidar mätningarna i figur 11 A. På den övre nord-västra delen av palsan finns en djupare ansamling snö vilket stämmer överens med teorin att snödjupet och topografin påverkar varandra. De branta kanterna som finns på den nord-östra sidan av palsen syns tydligt i höjdprofil B där syns stora och djupa ansamlingar av snö både från våra egna snödjupsmätningar men även från Lidar mätningarna.

På den nord östra-delen av ryggpalsan finns de absolut största och djupaste ansamlingar av snö. Dessa ansamlingar av snö kan ses i figur 16 tagna under fältmätningar i syd västlig riktning, bilden är tagen ungefär i linje med höjdprofil B. Detta styrks både av fysiska mätningar i figur 11 E men även av Lidar mätningarna i figur 11A. På mitten av den östra sidan syns en inbuktning med över en meter djup snö. Dessa områden kring de branta sidorna på nord-östra sidan tycks genomgående visa på de mäktigaste snölagren. Samtliga mätningar stämmer bra överens med tidigare studiers observationer av snöfördelningen över palsan (Seppälä, 1994).



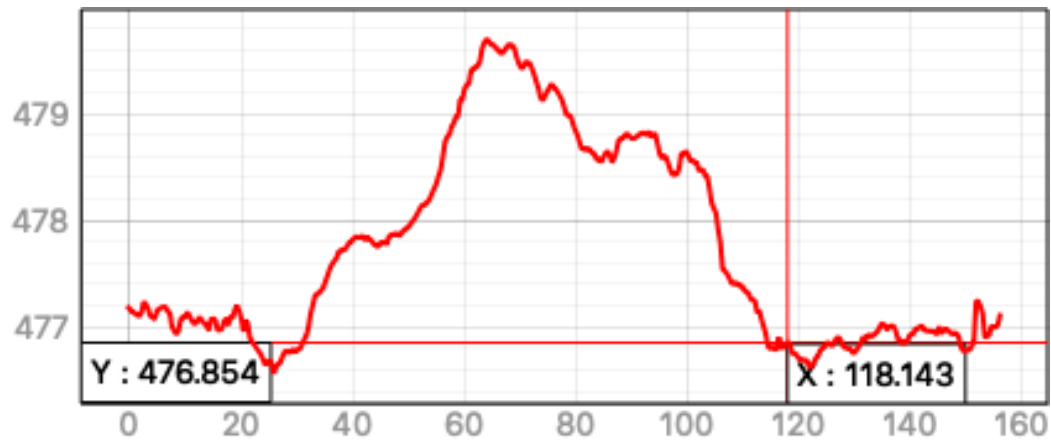
Figur 13. Höjdprofil A ryggpals Y axel är höjd över havet X axel är palsans längd. Ritad från nord öst mot syd väst

Figure 13. Elevation profile A of the ridge palsa Y axes is height above sea level X axes is the palsas length. Drawn from north east to south west.



Figur 14. Höjdprofil B ryggs palsa Y axel är höjd över havet X axeln är palsans längd. Sträckningen går från nord öst mot syd väst

Figure 14. Elevation profile B of the ridge palsa Y axes is height above sea level X axes is the palsas length. Drawn from north east to south west.



Figur 14. Höjdprofil C rygg pals Y axel är höjd över havet och X axel är palsans längd. Sträckningen går från nord öst mot syd väst

Figure 14. Elevation profile C of the ridge palsa Y axes is height above sea level X axes is the palsa's length. Drawn from north east to south west.



Figur 15. Tagen på ryggpalsan 19e april 2023 i sydvästlig riktning strax ovanför höjdprofil C. Fotograf Calle Åquist Holm

Figure 15. Taken on top of the ridge palsa on the 19th of April 2023 in a south west direction slightly above height profile. Photographer Calle Åquist Holm.



Figur 16. Snödjup på östsidan utav ryggpalsen taget 19e april 2023. Fotograf Calle Åquist Holm.

Figure 16. Snow-depth on the eastern side of the ridge palsa photo taken on the 19th of April 2023 . Photographer: Calle Åquist Holm.

5.1.3 Snösmältningspunkt

Här studeras ett urval av de bilder som legat till grund för de bedömningar som gjorts av snösmältning. Dessa har även varit grunden till figur 19. Figur 17 är tagen 20 april 2022 och här kan det observeras att det börjar smälta på kupolpalsan som befinner sig inom den röda ringen och ryggpalsan som finns inom den gula ringen.

Ryggpalsan har lite mindre snösmältning än kupolpalsan med båda visar tecken på barmark på topparna.



Figur 17. Satellit bild från Sentinel 2 från 20 april 2022 i den röda ringen syns kupol palsan och den gula ringen ryggpalsan. Denna bild visar att båda palsar har börjat visa tecken på snösmältning.

Figur 17. Satellite image from Sentinel 2 taken on the 20th of April 2022, the dome palsa is within the red circle and the ridge palsa in the yellow circle. Both palsas are showing signs of snowmelt.

Vid närmare observation av figur 18 som är tagen 10 maj 2019 syns tydligt att kupolpalsan som finns i den röda ringen och ryggpalsan som syns i den gula ringen är helt snöfria vid detta datum. Figur 18 är aningen suddig vilket beror på de slöjmoln som legat över området vid tidpunkten men

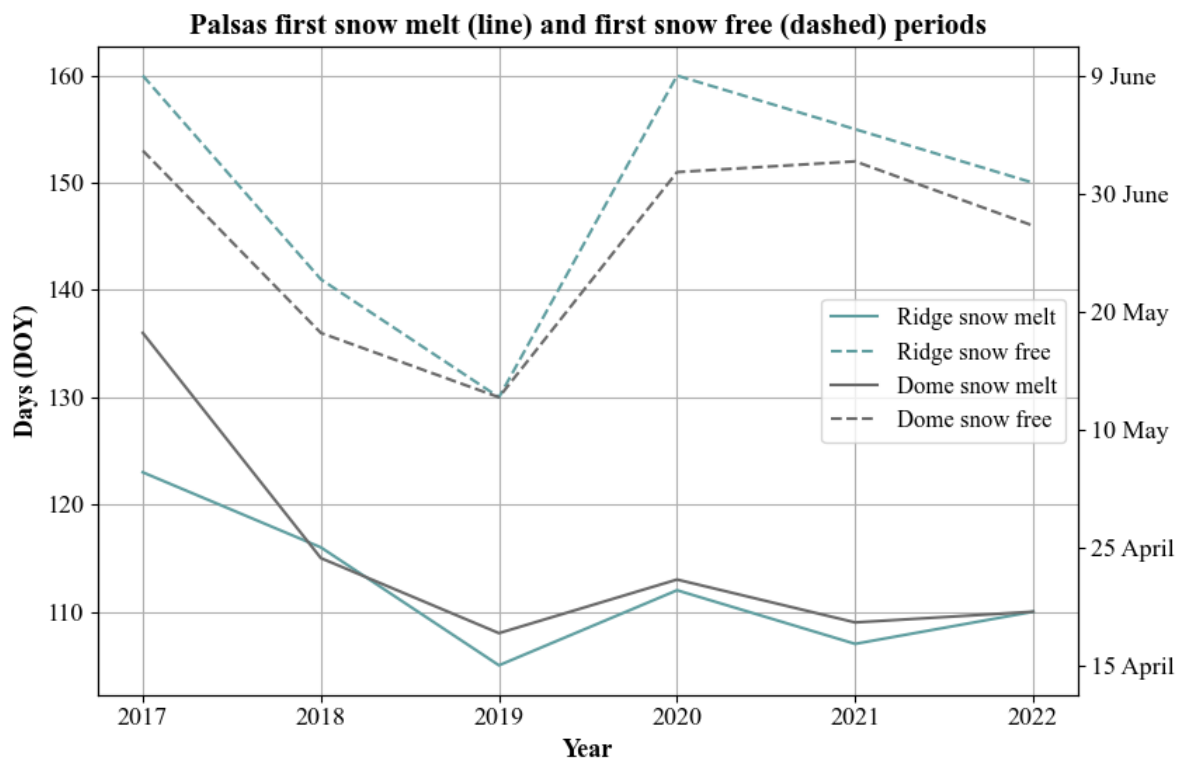


Figur 18. Sentinel 2 bild tagen över kupol och rygg palsan den 10:e maj 2019. Kupol palsan syns i den röda ringen och rygg palsan syns i den gula ringen. Båda platserna är tydligt helt snöfria.

Figure 18. Sentinel 2 image taken over the dome and ridge palsa on the 10th of May 2019. The dome palsa is visible within the red circle and the ridge palsa within the yellow circle. Both locations clearly visibly snow free.

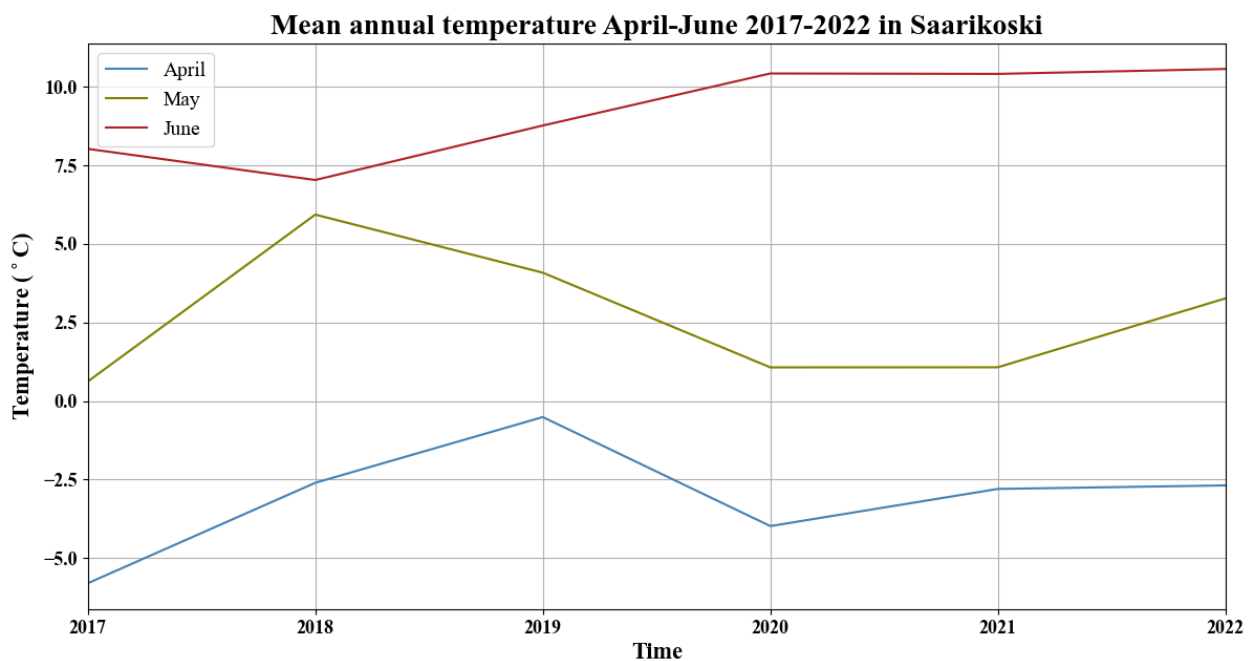
efter som det är en helt snöfri period har det fortfarande varit möjligt att göra observationer.

När det kommer till det första snösmältningsdatumet i figur 19 syns tydligt att ryggpalsans första snösmältning inträffar tidigare än kupolpalsans gör med undantag för år 2022 då den inträffar på samma datum. Den första snösmältningen sker generellt för båda palstyper, mellan mitten av april och slutet av maj. År 2019 syns en extremt tidig första smältdag för både ryggpalsan och kupolpalsan. Förklaringen till detta kan observeras i figur 20 som visar medeltemperatur över månaderna april, maj och juni mellan åren 2017 till 2022.



Figur 19. Diagram över första snösmältningen och första helt snöfria dag för respektive palsa mellan åren 2017 och 2022 datan är baserad på observationer av satellit bilder från Sentinel 2.

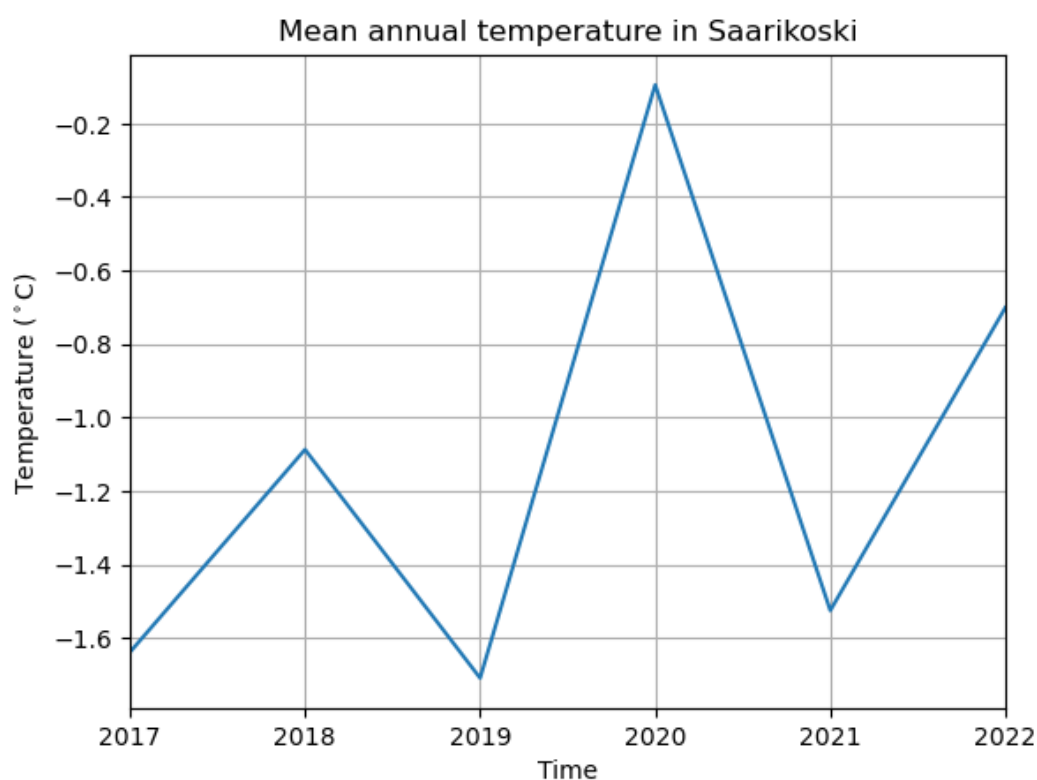
Figure 19. Diagram over the first snow melt and the first completely snow free day for both palsas between 2017 and 2022, the data is based on observations of satellite images from Sentinel 2.



Figur 20. Månads medel temperatur för april, maj och juni mellan 2017 till 2022 för studieområdet. Datan är hämtad från Naimakka och Kilpisjärvis väderstation och bearbetade i Python.

Figure 20. Monthly mean annual temperature for April May and June between 2017 and 2022 for our study site. Data is collected from Naimakka and Kilpisjärvis weather station and processed in Python.

Rapportens resultat har visat att år 2019 har den högsta månads medeltemperaturen av samtliga år i tidsserien. Året 2019 visar dessutom den tidigaste totala snösmältningen i tidsserien. Redan runt den 10:e maj är båda områdena helt fria från snö. Maj 2019 är förvisso inte den varmaste maj sett till medeltemperatur i tidsserien utan kommer in som näst varmast. Men kopplas detta till den extremt varma maj samma år är resultatet inte så förvånande. 2020 observeras en relativt kall medeltemperatur för både april och maj månad och en ganska varm månadsmedel-temperatur för juni vilket resulterat i ganska sent datum för helt snöfri ryggpalsa. Vid studier av år 2019 och 2020 års medeltemperatur i figur 21 upptäcks att 2019 har den lägsta medel-årstemperaturen av de studerade åren medan 2020 har den klart högsta medel-årstemperaturen. Detta skulle antyda att medel-årstemperaturen inte har en avgörande roll för varken första snösmältningen eller första helt snöfria dagen. Snarare är en varmare vår i synnerhet vad gäller april månad avgörande för när snösmältningen sker på båda palsarna.

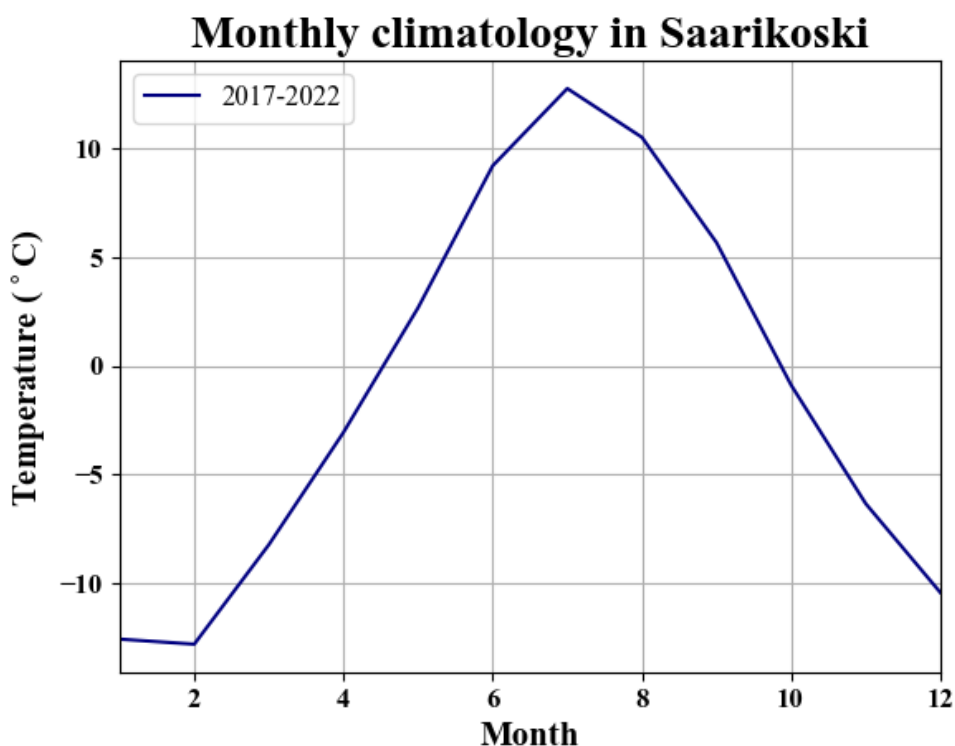


Figur 21. Årsmedel temperatur 2017 till 2022 datan är hämtad från Naimakka och Kilpisjärvis väderstation och bearbetad i Python.

Figure 21. Mean annual temperature between 2017 and 2022. Data is collected from Naimakka and Kilpisjärvis weather station and processed in Python.

Vidare kan det även observeras att just månads medeltemperaturen för april 2019 ligger över den vanliga månads medeltemperaturen för april månad när det jämförs med övriga april månader mellan 2017 till 2022.

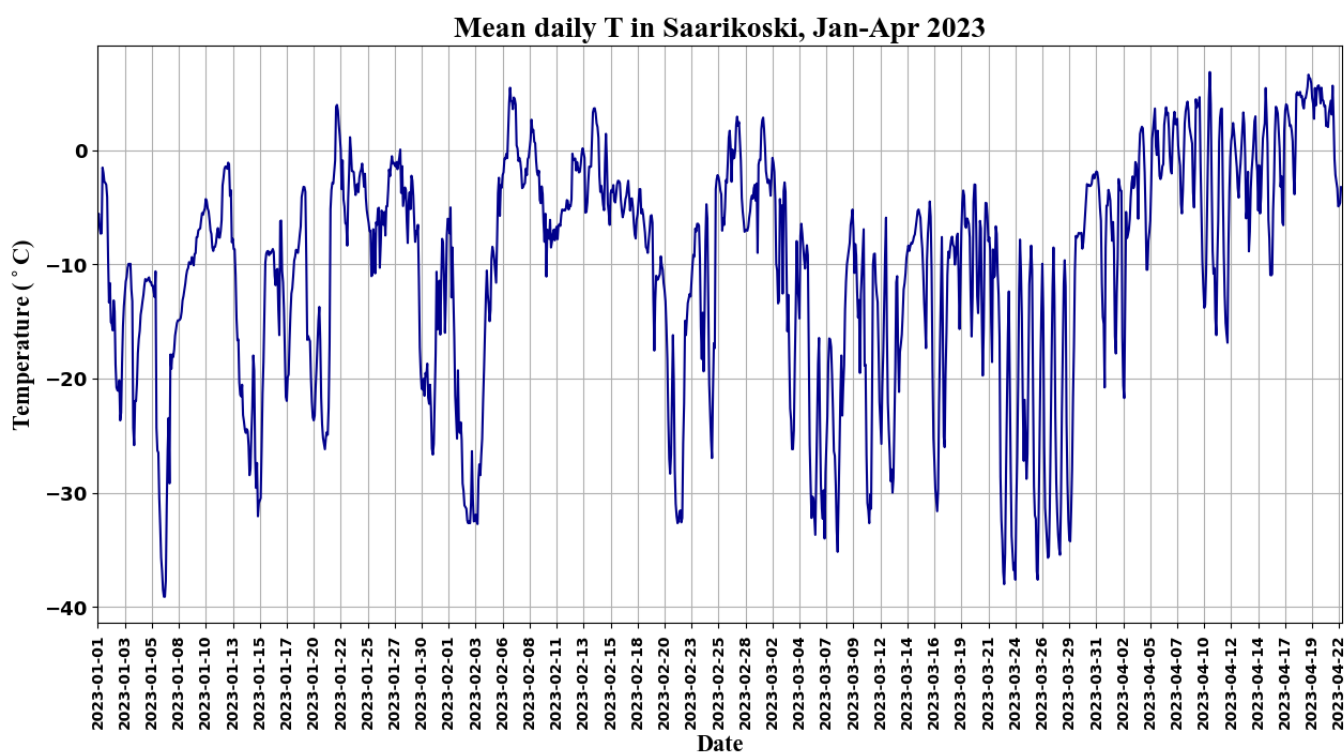
Figur 22 som visar månads-medelvärden för alla 12 månader mellan åren 2017 till 2022 syns ett genomsnittligt månadsvärde för april som bör ligga runt - 4 grader Celsius medan april 2019 ligger på ett månadsmedel temperatur på -1 grader Celsius. Detta tyder på att den tidiga avsmältningen av snön 2019 beror på en extremt varm april sett till övriga år. Tidsserien är dock för kort för att kunna identifiera huruvida det finns någon trend av varmare vårmånader. Det är därför även svårt att kunna identifiera någon trend av tidigare smältperioder, resultatet visar istället en naturlig variabilitet i smältsäsonger.



Figur 22. Månads klimograf över studieperiod för perioden 2017 till 2022. Väderdata är hämtad från Naimakka och Kilpisjärvi väderstation och bearbetad i Python.

Figure 22. Monthly climatology in Saarikoski between 2017 and 2022. Data is collected from Naimakka and Kilpisjärvis weather station and processed in Python.

Figur 5 visar medeldygns temperatur mellan åren 2017 och 2022 det är inte heller här möjligt att se någon trend som skulle antyda till en varmare vårtemperaturer som skulle kunna indikera att en tidigare snösmältning kan ske. Figur 23 är en sammanställning av dygnsmedeltemperatur för månaderna januari till april. Vad som kan observeras här är en definitiv trend runt 29 mars där



Figur 23. Dygnsmedeltemperatur i Saarikoski mellan januari till april 2023. Data SMHI.

Figure 23. Daily mean temperature in Saarikoski between January to April 2023. Data SMHI

temperaturen stadigt pekar uppåt. Dygnsmedeltemperaturen stiger över 0 grader under flera dagar och kan betraktas som ovanligt för denna tid på året.

,

6 Diskussion

6.1 Metoddiskussion

När valet föll på att använda sig av appen QField var detta av ett par anledningar.

Dels var det möjligt att lägga in en terrängskuggning från Lidardata över respektive palsa vilket underlättade navigering och identifiering av palsens utbredning i fält. Något som annars var en utmaning att identifiera då de snötäckta landskapet näst intill omöjliggjorde all form av identifiering av dess utbredning. Lärdom drogs av ett tidigare arbete gjort av Sally Mora och Malin Thelin år 2018 där det gjorts snödjupsmätningar som hamnat för långt åt nord-öst och där man missat delar av palsan(Mora & Thelin, 2018).

Möjligheten att kunna följa ens egen position i Qfield appen var också en avgörande anledning till att just denna metod valdes. Lagringen av både gps punkter och snödjup skedde i appen vilket senare kom att underlätta överföringen från QField till Qgis och underlätta bearbetningen av snödjupsdatan. Med denna kunskap offrades precision till fördel för lätthanterlig data och bättre möjlighet att navigera i fält. Möjligheten att använda sig av en gps med bättre precision hade kunnat förbättra den inhämtade datan men inte nödvändigtvis förändrat rapportens resultat. Men med detta sagt så vilar valet av QField appen på det syfte och de frågeställningar som rapporten ställt. Varken syftet eller frågeställningarna krävde ett datamaterial av snödjup med en väldigt hög precision.

Tidigare kandidatarbete skriven utav Boris Knezevic och Kaelan Kader våren 2019 har gjort extremt många mätningar på kupolpalsen på bekostnad av väldigt få mätningar på ryggpalsen (Knezevic, & Kader, 2019). Med den tidsram som projektet hade att jobba utifrån var det inte möjligt att göra tätare och noggrannare snödjupsmätningar än det som har gjorts i denna rapport utan att offra kvalitet på mätningarna på någon av de palsar som studerats. Rapportens resultat visar dock att den valda metod av manuell snödjupsmätning i fält har varit bristfällig i jämförelse med de som är möjligt att göra med Lidar teknik. De tekniska framsteg som görs inom både drönar teknik och Lidar banar väg åt nya mer avancerade metoder som kan synliggöra mycket fler faktorer som påverkar snödjup.

Väderdatan från Naimaka hade ett större glapp i serien år 2019 mellan 05-18 och 06-18 med undantag för 05-19 som hade en registrerad temperatur. Valet att generera egen data för de datum som saknades gjordes då det ansågs att det saknade datumen skulle ha för stor påverkan på de månads medelvärden som tagits fram för åren 2017 till 2022. Det finns alltid ett etiskt och

trovärdighets dilemma när man väljer att ändra eller manipulera den datan som finns. För att överbygga detta försöker rapporten att vara så transparent som möjligt med vad som har gjorts och varför. Bedömningen är att metoden som använts för att generera data varit tillräckligt bra för att skapa trovärdiga värden för perioden. Detta har medfört att resultatet ligger mer i linje med det faktiska temperaturmässiga förhållanden som rått under tidpunkten. Därmed har genererandet av väderdata faktiskt givit en mer rättvis bild av verkligheten än den bild som skulle presenterats om inte nya värden hade genererats.

Sentinel-2 som användes för att bestämma de datum där de respektive palsor var snöfria eller när första snösmältningen påbörjades har en bra upplösning och bra revisiting cykel.

Begränsningar har funnits på grund av molntäcket där det maximala acceptabla molntäcke satts till 50%. Detta har begränsat mängden satellitbilder som varit tillgängliga att analysera. Molntäcket har varit ett genomgående problem för att genomföra analysen vilket kan medfört att datumen för både första snösmältning och helt snöfri kan ha en viss förskjutning på ett par dagar. Just molntäcket är en återkommande problematik när det kommer till kartläggning av både stora och småskaliga snötäcken (Bousbaa et al., 2022) men användandet av mer än en satellit har möjligheten att öka chansen till molnfria data serier och som andra studier som använt sig av både Sentinel 2 och Landsat har visat goda möjligheter att täcka upp för de dagar med högt molntäcke. Det krävs däremot fler studier på området för att få skapa en mer välfungerande metod för att kombinera två eller fler satelliter (Bousbaa et al. 2022).

Uppsatsens val att enbart fokusera på just Sentinel 2 har varit tidsmässigt nödvändigt men precis som Bousbaa (2022) är den här typen av högupplösta spatiala satellit data nödvändig för att kartlägga områden som det studieområde som undersökts under denna rapport. De hävdar på samma sätt som denna uppsatsen att användandet av fler satelliter har en positiv effekt på resultatet och kan överbygga molntäckes problematiken, dock har denna uppsats använt sig av jämförelse med väderdata för att kunna identifiera snösmältningen. Och har på så vis ändå lyckats på ett tillfredställande vis säkerställa identifieringen utav de dagar som snösmältningen sker på och besvarat de frågor som ställts.

Bedömningarna har försökt göras så konsekventa som möjligt och en diskussion för varje valt datum har skett tillsammans med annan geovetare student vars kandidatuppsats behandlat liknande data. Trots detta så är bedömningarna subjektiva vilket är svårt att undvika. Beslut har därför tagits att inkludera satellitbilder för att kunna demonstrera hur våra bedömningar sett ut. Denna studie har lyckats visa möjligheten att använda sig av fjärranalys metoder för att studera snödynamik.

Problematiken med subjektiva bedömningar kvarstår dock men skulle kunna överbyggas till stor del genom mer rigorösa ramverk för definitioner av första snösmältning och första snöfria dag.

6.2 Resultatdiskussion

I resultatet av de fysiska snömätningar jämfört med de gjorda med Lidar syns bristerna tydligt. Ryggpalsan R^2 värde är det bästa men trots det kan enbart runt 40% av variationen i Y förklaras av variationen i Y . En större noggrannhet i mätningarna skulle kunnat ge ett tydligare och mer nyanserat resultat. Att uppnå en högre noggrannhet och upplösning i fält genom fysiska mätningar bedöms som oerhört svårt och tidskrävande och avkastningen väldigt låg.

Användandet av Lidar data från september 2022 skulle kunna vara ytterligare en orsak till den svaga korelation som syns mellan fysiska och Lidar mätningar då de aktiva lagret inte frusit och därmed inte resulterat i en höjning av palsan. När marken fryser sker frosthävning något som denna studien inte tagit hänsyn vilket kan resulterat i överskattade snödjupsvärden från Lidar. (Zuidhoff, 2003).

Tidsperioden 2017 till 2022 har valts helt utifrån den data som funnits tillgänglig. Detta har dock förhindrat uppsatsen från att få något tydligt resultat på frågan om det finns någon trend av tidigare snösmältning. Däremot syns i figur 19 att mars månad 2023 ser ut att vara väldigt varm det är oerhört tydligt att det är ett startskott den 29 mars. Detta skulle kunna indikera att vi kan komma få en varmare vår än vanligt. Som observerat är en varmare maj och april avgörande för hur snabbt snön faktiskt smälter undan. Med den vetskapen skulle detta kunna tyda på att 2023 blir en upprepning av den tidiga avsmältning som observerades 2019.

Att göra närmare studier som även sträcker sig till mars månad för att upptäcka denna, för säsongen, onormalt varma temperaturer skulle kunna hjälpa framtida studier att avgöra om snösmältning sker tidigare eller om abnormalt varma vårmånader blir vanligare. Det hade varit möjligt att utöka tidsserien för väderdatan men eftersom det saknats högupplöst satellitdata för att täcka upp för åren innan Sentinel 2 blev aktiv var det inte möjligt att koppla väderdatan utan att kunna visuellt konstatera att smältning faktiskt påbörjats. Framtida studier skulle kunna bygga en model för att kunna förutse när smältning börjar och när snön är helt bortsmält. Förslagsvis skulle den komma fram till ett scenario där ”temperaturer över en viss grad i x antal dagar sker smältning av snö” och temperaturer under x antal dagar upphör snösmältningen.

En sådan modell kan dock ta både lång tid att ta fram och vara svår att programmera för att få ett tillförlitligt resultat och skulle då snarare kunna rymmas i ett större arbete än i en kandidatuppsats. Redan nu finns det studier som börjat experimentera med denna typ av modeller där Sentinel 2 kombinerats med fältobservationer och väderdata för att generera modeller av snötäcke (Hofmeister et al., 2022). Dessa modeller har varit mycket mer avancerade än det som denna rapport använt som i regel enbart gjort jämförelser och lättare statistiska analyser. Trots detta kan rapporten lyfta intressanta observationer av temperaturmässiga förhållanden kopplat till snösmältning och varmare vårtemperaturer. Skapandet av mer avancerade modeller skulle i detta fall kunna användas för att ytterligare styrka resultatet som denna rapport lyfter fram.

Vidare kandidatuppsatser bör fokusera på att fortsätta kartläggningen av snösmältning med hjälp av Sentinel 2 och även utforska andra möjliga satelliter för denna kartläggning.

Tidigare studier har visat möjligheterna med att kombinera mer än en satellit för att kartlägga snötäcket (Bousbaa et al., 2022). Jämförs dessa med våra resultat och metodval finns stor utvecklingspotential kombinationen av flera optiska satelliter kan underlätta identifieringsprocessen. Däremot ska inte uppsatsens resultat underskattas då resultatet av snösmältning kombinerats med väderdatan för att fastställa smältningsprocessen.

Tidigare studier som använt sig av Sentinel 2 i kombination med fältmätningar för att kartera snötäcke har givit goda resultat (Gascoin et al., 2019) även om studiens syfte skiljer sig från denna uppsats har noggrannheten av snöobservationer med Sentinel 2 klart fastställts. Detta styrker denna rapportens resultat från satellit observationerna. Författarna lyfter dock möjlig underskattning utav snötäcket och framför skuggor från moln och vegetation som möjliga förklaringar till detta. Denna rapport är inte förskonade från dessa felkällor däremot har det unika studieområdet mycket låga vegetations typer och skulle därför inte kasta några längre skuggor som kan tolkas som barmark. De underlag som uppsatsen använts har haft ett högt molntäcke på 50% som då skulle kunna leda till feltolkningar något som har diskuterats tidigare. Med de lärdomar som (Gascoin et al., 2019) har visat kan vårt resultats eventuella underskattningar ändå betraktas som marginell. Den eventuella underskattningen som förekommer har försökt överbyggas genom att studera kringliggande dagar av tillgängliga Sentinel 2 bilder vilket har ökat trovärdigheten i studiens resultat vad gäller snösmältningen och i det även de samband som observerats mellan varma april och maj månader och avsmältning. Vidare framhäver därför denna rapport just detta resultat som det av största värde och trovärdighet

Det finns oerhört få studier gjorda som undersökt användandet av de fjärranalys metoder som behandlats i denna rapport för att studera snösmältning vilket gör det svårt att jämföra med andra resultat. Däremot finns några studier som använt Sentinel 2 för att studera hydrologiska förhållanden i alpina områden. Författarna hävdar att deras metoder går att applicera i mycket större skala för forskning i alpina och fjäll miljöer. Precis som de metoder som denna studien lutar sig mot förespråkar författarna en liknande metod där fjärranalys i form av Sentinel 2 kombineras med fältstudier (Carlson et al., 2020). Detta visar resultaten från denna rapport där det syns en stor skillnad mellan fältmätningarna och lidarmätningar av snödjup och den problematik som finns att förlita sig helt på enbart en av metoderna. Styrkan i både denna och ovannämnda uppsats är just kombinationen av dessa metoder.

7 Slutsats

Rapportens snödjupsmätningar har visat att snön ansamlas i sprickor, gropar och sänkor men även runt och på de branta sluttningarna på nord östra sidorna av palsan. På kupolpalsan har de största ansamlingarna snö varit lokaliserade runt den östra till nordöstra delarna. Ryggpalsan visar liknande trend av snödjup och vi återfinner det mäktigaste djupen på just nord östra sidan.

Den första snösmältningen på ryggpalsan sker mellan april och maj Kupolpalsen första snösmältningen sker mellan april och maj och den är helt snöfri mellan maj och juni

En generell trend av tidigare snösmältningen på rygg palsan jämfört med snösmältningen på kupolpalsen har observerats ryggpalsen tar däremot längre tid på sig att bli helt snöfri jämfört med kupol palsen. Rapporten har med hjälp av Sentinel 2 och väderdata kunnat påvisa att varma temperaturer under april och maj månader har en avsevärt större påverkan på snösmältningen och framför allt på de datum då rygg och kupol-palsan är helt snöfria än väldigt varma temperaturer under juni månad tycks ha. Detta ska ses som uppsatsens största upptäckt och bör sättas i ett globalt kontext av klimatförändringar och varmare vårtemperaturer i den subarktiska zonen.

Uppsatsen har inte lyckats observera någon trend av tidigare snösmältning i området på grund av den allt för begränsade tids perioden som uppsatsen har behandlat.

De fjärranalysmetoder som använts är väl lämpade för att undersöka snödynamiken och identifiera snösmältning. Sentinel 2 har kunnat användas för att identifiera första snösmältningen och den första snöfria dagen. Användandet av drönar baserad Lidar för att mäta snödjup har visat sig vara en lämplig metod för att framställa högupplösta snödjupskartor. Däremot kvarstår arbete kring att kunna fastställa djupet och modellera kring den frosthävningen som sker när palsan fryser under vintern för att producera mer trovärdiga snödjupskartor.

8 Referenser

Bousbaa, M., Htitiou, A., Boudhar, A., Eljabiri, Y., Elyoussfi, H., Bouamri, H., ... & Chehbouni, A. (2022). High-Resolution Monitoring of the Snow Cover on the Moroccan Atlas through the Spatio-Temporal Fusion of Landsat and Sentinel-2 Images. *Remote Sensing*, 14(22), 5814.

Carlson, B. Z., Hébert, M., Van Reeth, C., Bison, M., Laigle, I., & Delestrade, A. (2020). Monitoring the Seasonal hydrology of alpine wetlands in response to snow cover dynamics and summer climate: a novel approach with sentinel-2. *Remote Sensing*, 12(12), 1959.

Everett, K. (1989b). Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms. *Arctic and Alpine Research*, 21(2), 213. <https://doi.org/10.2307/1551636>

European space agency (2023) sentinel - 2 Mission Guide hämtad 2023-05-19
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>

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

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

Gascoin, S., Grizonnet, M., Bouchet, M., Salgues, G., & Hagolle, O. (2019). Theia Snow collection: High-resolution operational snow cover maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data. *Earth System Science Data*, 11(2), 493-514.

Hofmeister, F., Arias-Rodriguez, L. F., Premier, V., Marin, C., Notarnicola, C., Disse, M., & Chiogna, G. (2022). Intercomparison of Sentinel-2 and modelled snow cover maps in a high-elevation Alpine catchment. *Journal of Hydrology X*, 15, 100123.

Knezevic., B & Kader. K. (2019) Snödjupsfördelningens och snödensitetens påverkan på pasdegradationen i Vissatvuopmi Saarikoski, Lappland (kandidatuppsats) Göteborgs universitet institutionen för geovetenskap

Luoto, M., Fronzek, S., & Zuidhoff, F. S. (2004). Spatial modelling of palsa mires in relation to climate in northern Europe. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29(11), 1373-1387.

Mora., S & Thelin. M. (2018) Nederbördens, temperaturens och snödjups påverkan på palsdegradationen i Vittankivuoma, Saarikoski, Lappland (kandidatuppsats) Göteborgs universitet institutionen för geovetenskap

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 (Vissatvuopmi), 1955–2016. *Sci Rep* 10, 8937. doi: 10.1038/s41598-020-65719-1

Pengerud, Annelene, Lauric Cécillon, Line Kristin Johnsen, Daniel P. Rasse, and Line Tau Strand. "Permafrost Distribution Drives Soil Organic Matter Stability in a Subarctic Palsa Peatland." *Ecosystems (New York)* 16.6 (2013): 934-47. Web.

Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. *et al.* The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

.
Seppälä, M. (2006). Palsa mires in Finland. *The finnish environment*, 23, 155-162.

Seppälä, M. (1997). Introduction to the periglacial environment in Finland. *BULLETIN-GEOLOGICAL SOCIETY OF FINLAND*, 69, 73-86.

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

Schuur, E. a. G., & Zhang, T. (2011). High risk of permafrost thaw. *Nature*, 480(7375), 32–33.
<https://doi.org/10.1038/480032a>

Vackert väder (2023) Väderstation Kilpisjarvi. Hämtad 2023-04-03 från
<https://www.vackertvader.se/vaderstation/kilpisjarvi>

Vackert väder (2023) Väderstation Naimakka. Hämtad 2023-04-03 från
<https://www.vackertvader.se/vaderstation/naimakka-a>

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

Zuidhoff, Frieda S., and Else Kolstrup. "Palsa Development and Associated Vegetation in Northern Sweden." *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37.1 (2005): 49-60. Web

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. S. (2003). *Palsa growth and decay in Northern Sweden: climatic and environmental controls* (Doctoral dissertation, Acta Universitatis Upsaliensis).

Åkerman, H. J., & Johansson, M. (2008). Thawing permafrost and thicker active layers in sub - arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19(3), 279-292.