



**Kandidatarbeten  
i Skogsvetenskap**  
Fakulteten för Skogsvetenskap

**2020:6**

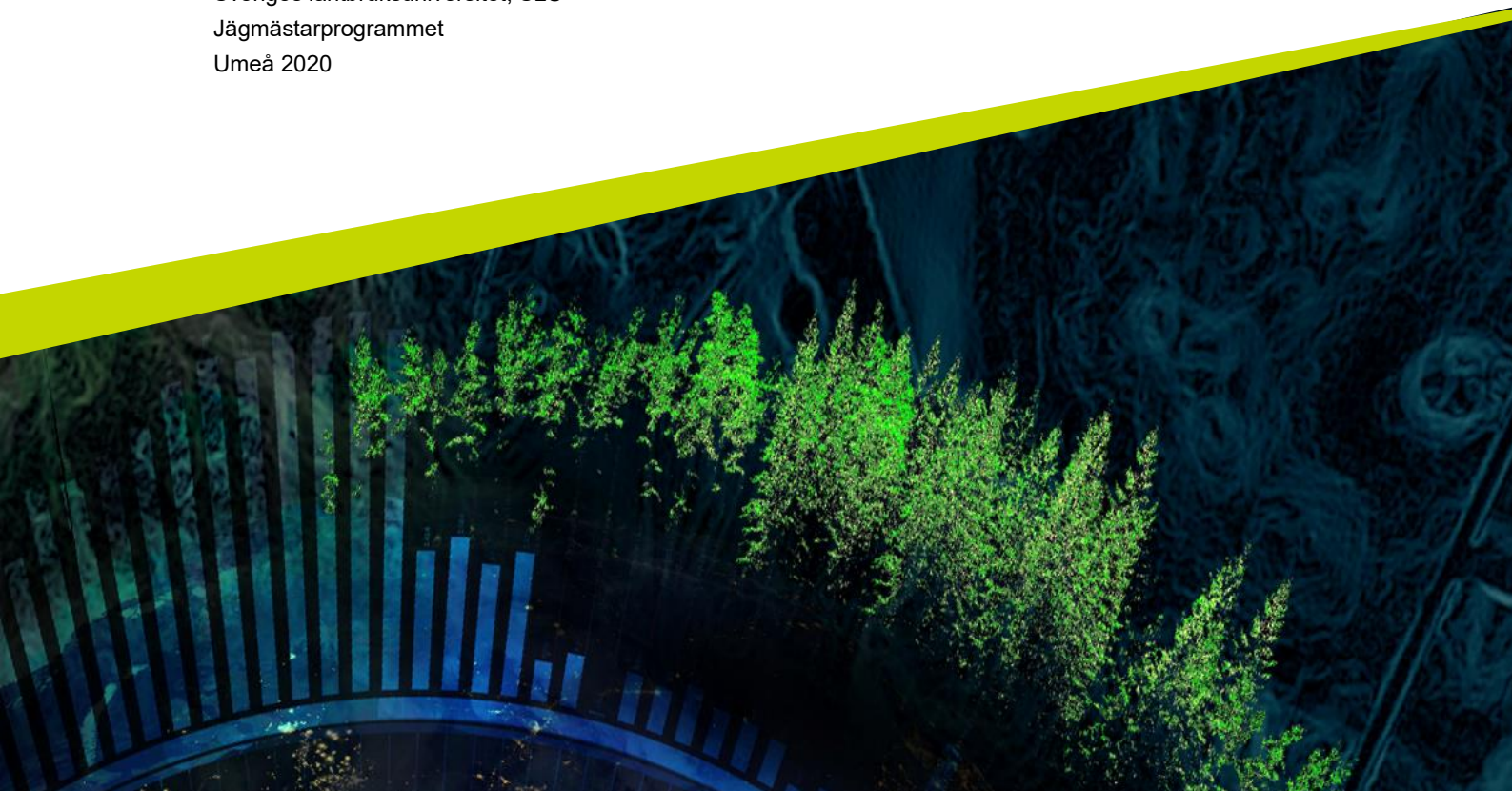
## Studie av glaciärer i Sarek nationalpark under 60 år med flygbilder som underlag

---

*Survey based on aerial photographs reviewing glaciers in Sarek national park  
over 60 years*

Albin Bjärhall

Självständigt kandidatarbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Jägmästarprogrammet  
Umeå 2020



# Studie av glaciärer i Sarek nationalpark under 60 år med flygbilder som underlag

*Survey based on aerial photographs reviewing glaciers in Sarek national park over 60 years*

Albin Bjärhall

Handledare: Jonas Bohlin, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skoglig resurshushållning

Examinator: Tommy Mörling, institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp  
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E  
Kurstitel: Kandidatarbete i skogsvetenskap  
Kurskod: EX911  
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet  
Kursansvarig inst.: Skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå  
Utgivningsår: 2020  
Omslagsbild:  
Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap  
Delnummer i serien: 6

Nyckelord: glaciärer, avsmältning, klimatförändring, flygbilder, ortofoton, 3D-modellering

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Skogsfakulteten  
Skogens ekologi och skötsel

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Mer information om publicering och arkivering går att hitta här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

## SAMMANFATTNING

De senaste årens ökade debatt kring pågående klimatförändringar har lett till att allt mer uppmärksamhet har riktats mot världens glaciärer och hur de påverkas av vår övergång mot ett varmare klimat. I denna studie används ortofoton samt en höjdmodell genererade av Lantmäteriets flygbilder från 1960-talet och framåt som grund för att undersöka hur ett urval av glaciärer i Sarek nationalpark har förändrats med hänsyn till area och volym under de senaste 60 åren.

Samtliga glaciärer som har observerats i studien har sett en reducerad areal under undersökningsperioden, med störst procentuell påverkan på de allra minsta glaciärerna. Ytterligare och mer omfattande studier skulle krävas för att kunna dra slutsatser om i vilket utsträckning avsmältningens förlopp faktiskt påverkas av glaciärernas storlek. Genom att använda dokumenterat material som har insamlats under ett långt tidsspann som analysunderlag belyser studien den kvalitativa utvecklingen av flygbilder som har skett under undersökningsperioden, samt de möjligheter som detta medför. Senare års högkvalitativa flygbilder kan ge upphov till mer omfattande och pålitliga resultat, men möjligheten att kunna använda även äldre dokumenterat material som analysunderlag har stor vikt i att det kan förlänga undersökningsperioden anmärkningsvärt.

*Nyckelord:* glaciärer, avsmältning, klimatförändring, flygbilder, ortofoton, 3D-modellering

## ABSTRACT

Last years' increased awareness regarding the climate change has led to more attention being directed toward the world's glaciers and the way they could potentially be affected by a global warming. In this survey, orthophotos and a three-dimensional model generated by aerial photographs provided by Lantmäteriet, the Swedish authority for mapping and land registration, have been used to study a selection of glaciers in Sarek national park. By using aerial photographs from as early as 1963, the study aims to track the areal and volumetric change of the examined glaciers over a time span of 60 years.

The total area has been reduced for all examined glaciers during the observed period, and the glaciers that have undergone the largest percentage change have been the smallest of the dataset. For determining to what degree the glaciers' melting process is actually affected by their size, more extensive further studies are needed. By using documented material that has been collected throughout an extended time period for the analyses, the study highlights the progress, in regards of the quality of the aerial photographs, that has taken place throughout the period; as well as the increased possibilities this results in. More recent high-quality aerial photographs can yield more extensive and reliable results. However, the possibility to base analyses on older documented material as well plays an important role in that it can significantly extend the period of observation.

*Keywords:* glaciers, melting, climate change, aerial photos, orthophotos, 3D-modelling

## Förord

Detta kandidatarbete för Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå omfattandes 15 högskolepoäng skrevs under vårterminen 2020.

Stort tack till min handledare Jonas Bohlin. Tack dessutom till Wilmer för gott sifferstöd, och till Anders och Erik för trevligt sällskap i Ljungbergslaboratoriet till dess att universitetet stängde ...

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1. Bakgrund .....	8
1.2. Syfte.....	10
<b>2. Material och metoder</b> .....	<b>12</b>
2.1. Data .....	12
2.2. Databearbetning .....	13
2.2.1. Arealanalyser .....	13
2.2.2. Volymetriska analyser .....	14
<b>3. Resultat</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>19</b>
<b>5. Referenser</b> .....	<b>21</b>
<b>6. Bilagor</b> .....	<b>23</b>

# 1. INLEDNING

## 1.1. Bakgrund

En reduktion av Sveriges glaciala områden riskerar påverka både hydrologin i fjällnära miljöer, samt bidra till en ökad havsnivåhöjning och minskade sötvattensreserver (Dyurgerov 2002; Wilhelm *et al.* 2013; Zemp *et al.* 2019). För att undersöka och kartlägga förändringar av glaciala områden har glaciologin länge begagnat fjärranalys, främst i form av flygbilder, för att studera glaciärers area, och förändring i area över tid (Finsterwalder 1954; Reinhardt & Rentsch 1986; Gao & Liu 2001). Men i och med en rask teknisk utveckling inom området är idag de glaciologiska forskningsmöjligheterna med hjälp av fjärranalytiska metoder mycket mer omfattande.

För topografisk landskapskartering används idag allt oftare laserskanningstekniken *LiDAR* (*Light Detection And Ranging*) där laserpulser emitteras från ett instrument som är fäst på ett luftburet fordon såsom ett flygplan, helikopter eller, vilket blir allt vanligare, på drönare. Laserpulserna som avges reflekteras mot vegetation och markyta; dess reflektioner registreras sedan i en mottagare, och genom att mäta tidsfördröjningen av laserpulsernas olika reflektioner kan man få en god uppfattning av strukturen på både underliggande mark och vegetation (Olsson & Reese 2016; Svanberg 2020). Förutom en möjlighet att kunna skapa mer dynamiska och precisa markmodeller så tillåter även dagens högupplösta satellit- och flygbilder större detaljrikedom i studier av glaciärers ytstruktur och utbredningsområde (Sangewar 2012; Immerzeel *et al.* 2014; Williams *et al.* 2017). Eftersom även flygbilder idag kan samlas in med hjälp av drönare så har det blivit mindre resurskrävande och lättare att få tillgång till fjärranalytisk data. Inom glaciologin innebär denna utveckling att man idag kan registrera glaciärers egenskaper med mindre felmarginaler och göra mer kvalificerade slutledningar gällande hur glaciärer har förändrats, samt kan väntas fortsätta förändras med tiden och vilka konsekvenser detta skulle kunna få för omgivningen (Michlmayr *et al.* 2008; Dong *et al.* 2013). Då data med sådan detaljrikedom endast har kunnat samlas in sedan slutet av 1900-talet innebär det att glaciärers förändring endast kan



studeras under ett (relativt sett) kort tidsspänn med den typen av detaljnivå. För att förlänga den undersökta tidsperioden krävs ett sätt att inkorporera och använda sig även av tidigare insamlad data och dokumentation.

Flygbilder är i regel tagna med en kamera riktad mot marken, vilket innebär att de objekt som befinner sig rakt nedanför kameran kommer att projiceras med karriktiga proportioner, men alla objekt vid sidan om detta område kommer att bli dokumenterade från en vinkel. Idag kan man med hjälp av olika flygbilder och ytmodeller som kompenserar för denna förskjutning i bilderna skapa så kallade 'sanna ortofoton' (*true orthophotos*) som är en ortogonalprojektion av ett område där hela bildytan har samma skala. Även äldre flygbilder användas för att skapa ortofoton eller fotomosaiker, det vill säga sammanfogningar av olika flygbilders centrala delar, med eller utan en markmodell som kompenserar för objektens förskjutning från det optiska centrumet (Olsson & Reese 2016). Dessa ortofoton lämpar sig väl för att undersöka glaciärers area (Schneider *et al.* 2007; Anders A. Bjørk *et al.* 2012).

Tack vare stereofotogrammetri i äldre flygbilder kan tredimensionella modeller genereras, med hjälp av vilka man kan beräkna volymetriska förändringar. Stereofotogrammetri bygger på att det finns en överlappning när flygbilder över ett område samlas in, det vill säga att vissa delar av området är inkluderade på fler än en av bilderna och är därmed dokumenterat från olika vinklar (Olsson & Reese 2016). Tack vare objektens förskjutning i de olika bilderna kan man beräkna höjdvärden i terrängen och på så vis använda tillräckligt omfattande rutnät, även av äldre flygbilder, för att skapa tredimensionella landskapsmodeller (Fox & Nuttall 1997).

I Sverige har Lantmäteriet använt sig av flygbilder för att dokumentera stora delar av landet ända sedan slutet av 1920-talet. Dessa nationella dokumentationer tog tidigare flera år att utföra och finns därmed kategoriserade under referensår: det vill säga, alla flygbilder som togs runt 1960-talet finns samlade under referensåret 1960. En del av dessa historiska flygbilder finns idag tillgängliggjorda genom Lantmäteriets hemsida Geolex (Lantmäteriet 2020a).

Glaciärer i Sarek har tidigare studerats för att försöka uppskatta förändringar i utbredning och volymer bland annat över ett mycket längre tidsspänn, från slutet av 1800-talet till 2000-talet, med hjälp av indikatorer i landskapet snarare än dokumenterat material (Engqvist 2016). Andra glaciärer i norra Sverige har också studerats med hjälp av bland annat provtagning och äldre dokumenterat material för att beräkna massbalans och försöka utreda hur glaciärernas massa har förändrats över tiden (Holmlund 1998; Williams *et al.* 2016; Bonan *et al.* 2019).

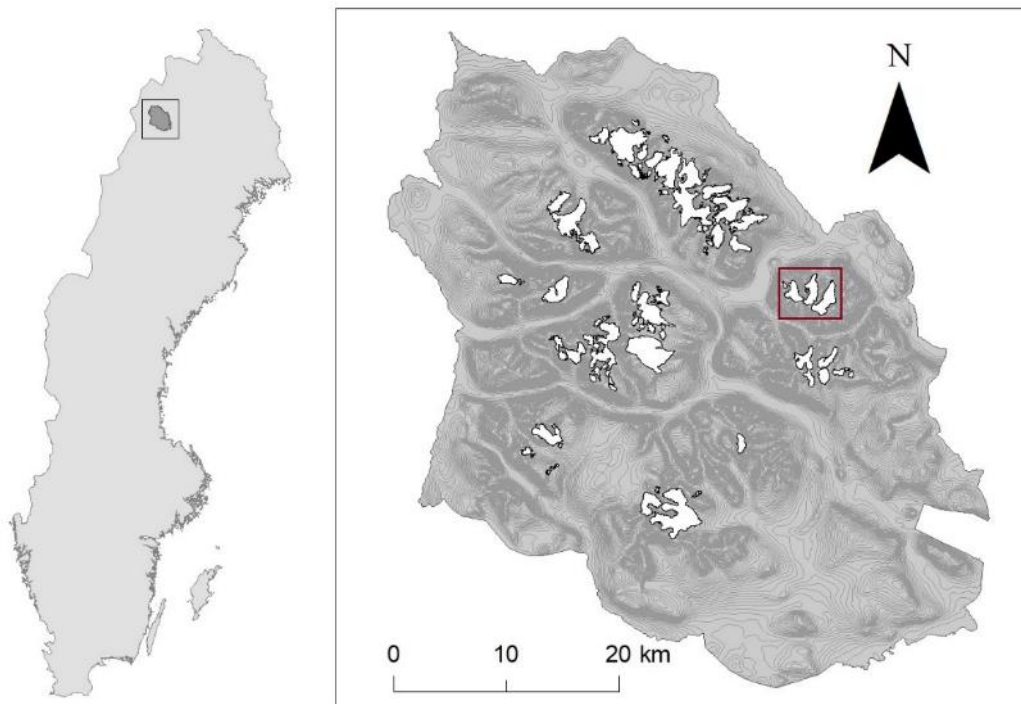
## 1.2. Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka hur area och volym har förändrats för olika glaciärer inom ett av Sveriges mest glaciärrika områden: Sarek nationalpark. Som underlag till dessa studier används ortofoton samt en markmodell, båda tillgängliga från Lantmäteriet, men även digitala flygbilder beställda från Lantmäteriet utifrån vilka ytterligare ett ortofoto och en markmodell har kunnat genereras. De tidigaste data som finns tillgänglig över Sarek nationalpark kommer från referensåret 1960, och genom att jämföra dessa data med de senaste data från 2018 kan Sareks glaciärers förändring följas under loppet av ungefär 60 år.

Målet är att med hjälp av redan tillgängliga ortofoton från 2018 och referensåret 1960 undersöka hur den totala arean av ett mer omfattande urval av glaciärer inom nationalparksområdet har förändrats under undersökningsperioden. Därutöver har fyra glaciärer i glaciärmassivet Ähpår valts ut (se Figur 1) för att med hjälp av flygbilder från 2008 kunna generera ett ortofoto och en markmodell som kan jämföras med de ortofoton och den markmodell från 2020 som redan finns tillgängliga. Detta möjliggör en mer omfattande undersökning över hur dessa fyra glaciärer har förändrats. Projektmålet kan därmed sammanfattas i två delmål:

- Att med hjälp två ortofoton tillgängliga från Lantmäteriet undersöka hur den totala arean av 43 stycken glaciärer i Sarek nationalpark har förändrats från 60-talet fram till 2018.
- Att för ett begränsat område innehållande fyra glaciärer använda digitala flygbilder från 2008 för att generera ett ortofoto och en markmodell med hjälp av vilka dessa fyra glaciärers förändring i utbredning och volym (sedan 2008) kan undersökas.

Förutom att de studerade glaciärerna förutspås ha genomgått en reträtt, är det tänkbart att den största procentuella reduktionen har skett på de mindre glaciärerna (Wang *et al.* 2011; Tennant *et al.* 2012; Chris R. Stokes *et al.* 2013). Dels kan mindre glaciärer förväntas ha större yta i förhållande till sin volym än större glaciärer, dessutom skulle mindre glaciärers ursprungliga storlek kunna vara ett resultat av att de ligger på platser där de redan är mer ansatta av smältning exempelvis till följd av platsens altitud, läge eller mikroklimat; i vilket fall ytterligare avsmältning kommer att påverka dessa glaciärer mest.



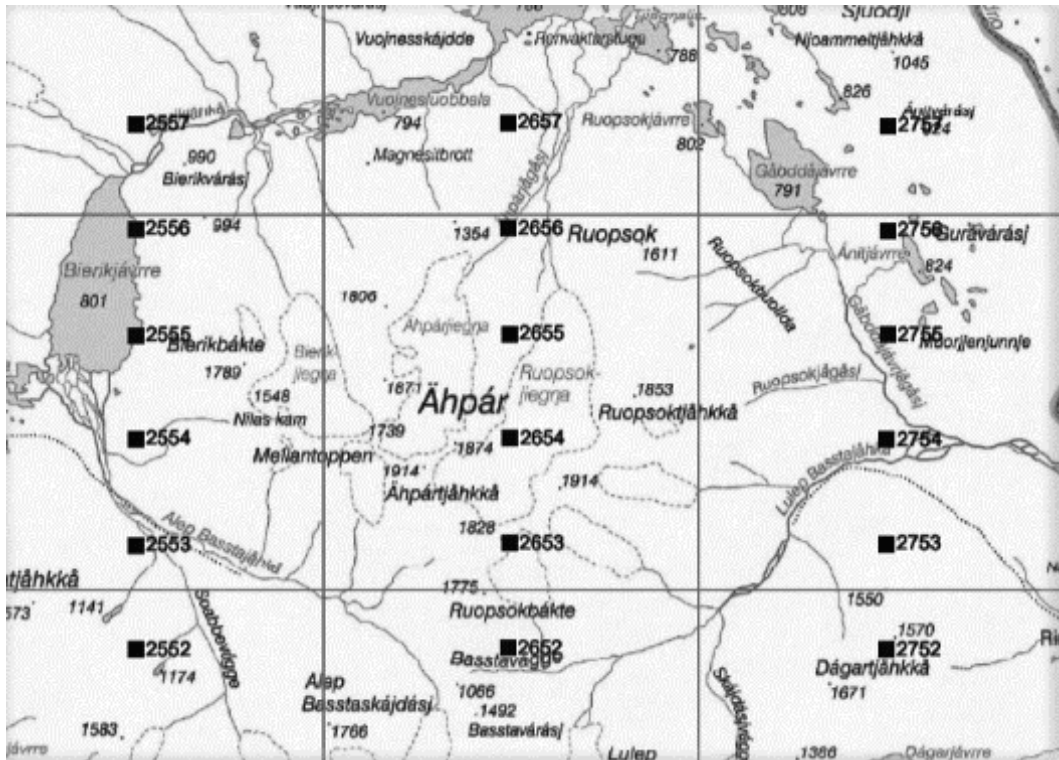
*Figur 1. Studerat urval av glaciärer i Sarek nationalpark. Rödmarkerad plats avser område för vilket flygbilder har använts för att generera ett ortofoto samt en tredimensionell modell.*

## 2. MATERIAL OCH METODER

### 2.1. Data

För de areala undersökningarna har två ortofoton som finns tillgängliga genom SLU:s karttjänst *GET* (*Geodata Extraction Tool*) använts: Ett ortofoto i färg framställt av flygbilder från 2018 fotograferade från mellan 2500 meters och 7400 meters höjd, med en upplösning på 0,25 meter. Dessutom ett historiskt svart-vitt ortofoto framställt från inskannade flygbilder från referensåret 1960, fotograferat framför allt från 4600 meters höjd över havet, med en upplösning på 0,5 meter. Tack vare den lista över plats- och namngivna glaciärer i Sverige som finns på Stockholm Universitets Bolin Centre for Climate Research (Bolin Centre for Climate Research 2020) kunde 43 stycken glaciärer identifieras inom Sareks nationalparksgränser; dessa glaciärer har utgjort det urval på vilket den areala förändringen har undersökts.

För det mer begränsade området runt glaciärmassivet Ähpár, där även volymförändring undersöktes, beställdes 18 flygbilder från Lantmäteriet (se Figur 2). Dessa flygbilder i färg fotograferades mellan 6400 meters och 6600 meters höjd över havet år 2008. För att undersöka volymförändringen av de fyra glaciärerna i Ähpár jämfördes den markmodell som genererades av flygbilderna med Lantmäteriets rikstäckande höjddata-modell (Lantmäteriet 2020b) med två meters upplösning som är skapad utifrån mark- och vattenpunkter i laserdata.



Figur 2. Karta över de 18 flygbilder från Lantmäteriet (markerade med en fyrkant) som har använts till modellering (bildkälla: Lantmäteriet).

## 2.2. Databearbetning

### 2.2.1. Arealanalyser

De två av Lantmäteriets ortofoton som användes till areala analyser importerades i programvaran ArcMap Pro. Ett av ortofotona användes som underlag, och genom att följa den uppfattade konturen av de 43 utvalda glaciärerna skapades polygoner med areor som motsvarade den av en glaciär. Samma process upprepades för att skapa ytterligare en uppsättning polygoner för samma glaciärer men med det andra ortofotot, och därmed glaciärernas konturer vid ett annat årtionde, som underlag. I ortofotot från 2018 hade vissa glaciärer fragmenterats och bestod således av fler än ett område. I dessa fall skapades en polygon för varje område, och summan av polygonernas area betecknades som glaciärens totala area. Den areala förändringen beräknades slutligen genom att subtrahera glaciärernas area baserat på ortofotot från referensår 1960, med den från 2018 (se Figur 3).

*RMSE* (Root Mean Squared Error), *pRMSE* (percentage RMSE) och  $R^2$  för prediktering av glaciärernas avsmältningstakt beräknades enligt en log-linjär modell för sambandet mellan glaciärernas procentuella reducering och naturliga logaritmen ( $\ln$ ) för den ursprungliga arean (Bilaga 1). *RMSE* (Tabell 1) beräknades

enligt följande formel, där  $\hat{y}_i$  motsvarar förutspådda värden för procentuell areaförlust,  $y_i$  är uppmätta värden, och  $n$  är antal undersökta glaciärer:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

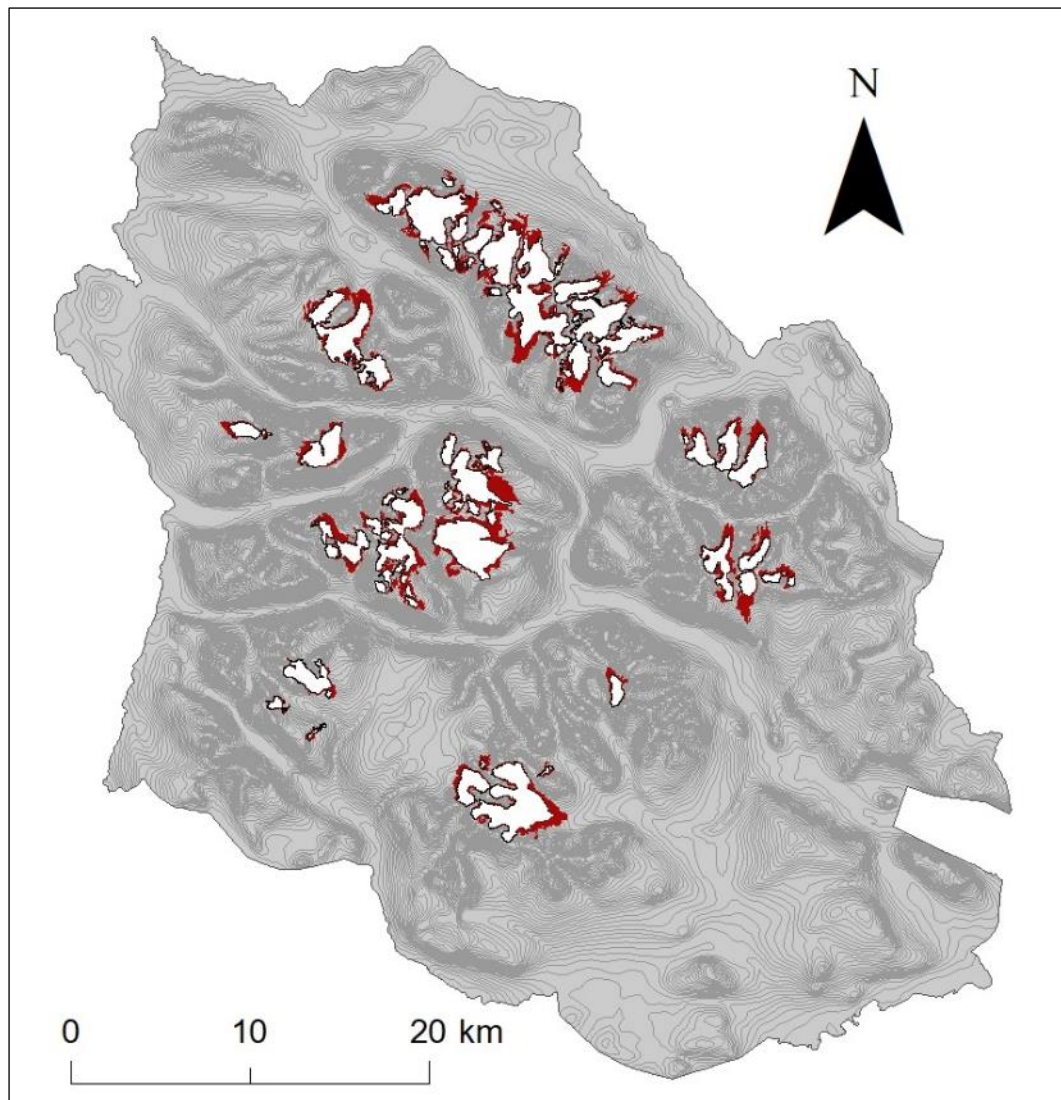
### 2.2.2. Volymetriska analyser

För att undersöka de volymetriska förändringarna sedan år 2008 för de fyra glaciärerna i glaciärmassivet Ähpár skapades först en tredimensionell modell baserad på flygbilderna från 2008. Denna modell kunde sedan jämföras med den uppdaterade terrängmodellen som finns tillgänglig från Lantmäteriet. För att skapa den tredimensionella modellen användes programvaran *Agisoft Metashape*.

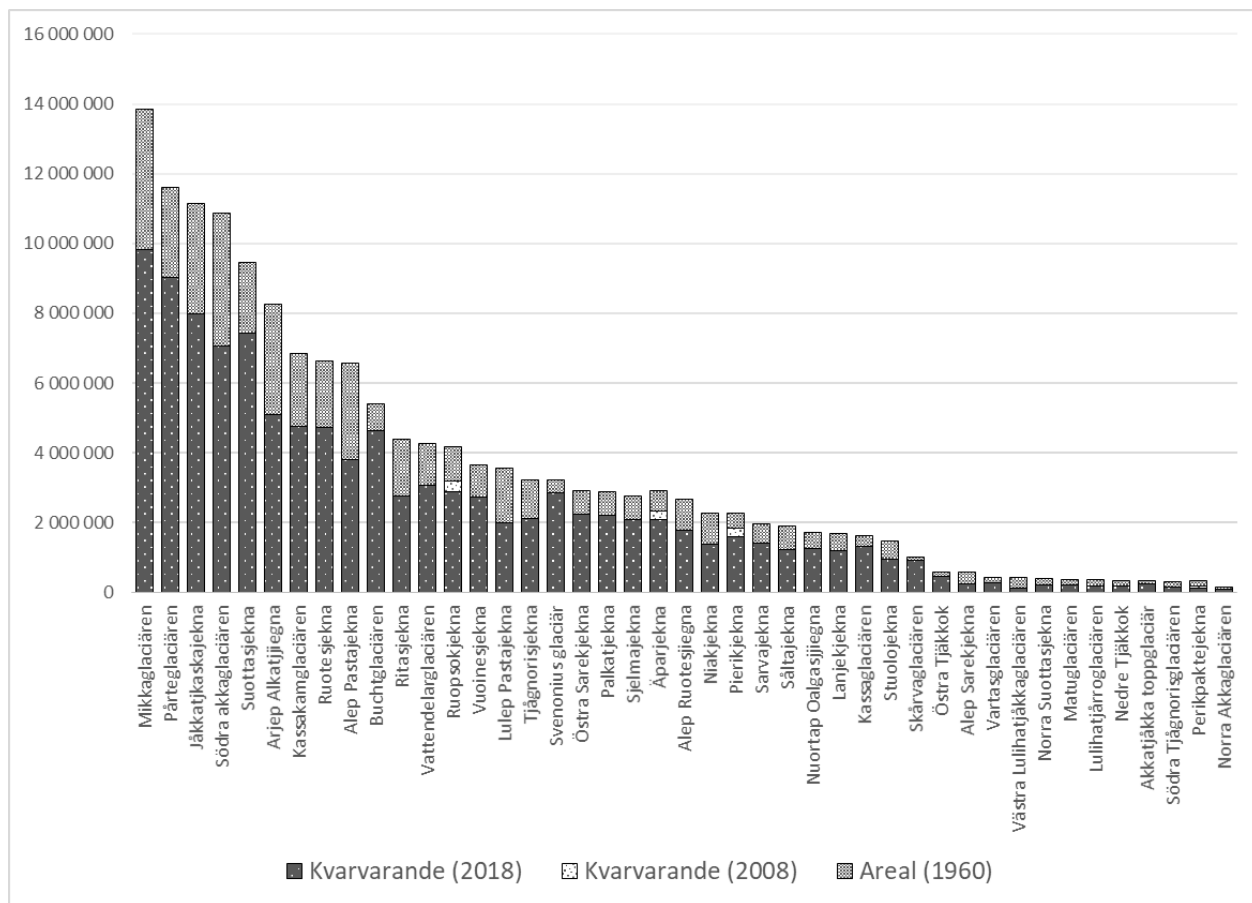
I programvaran *Agisoft* sammanlänkas först flygbilderna och placeras rätt i förhållande till varandra baserat på vilken position och vinkel som bilderna har tagits. Detta sker genom att olika punkter som är inkluderade på mer än en av bilderna lokaliseras och paras ihop med varandra. Därefter kan ytterligare punkter mellan de redan ihopparade punkterna extrapoleras för att skapa ett mer heltäckande, tätt punktmoln över området. Utifrån detta punktmoln skapades sedan först ett triangulärt nät, och sedan en mer dynamisk textur över området. En tredimensionell modell över området i form av en *DEM (Digital Elevation Model)* kunde slutligen genereras utifrån texturen.

För att undersöka den volymetriska förändringen på de fyra glaciärerna skapades först en polygon i *ArcMap* som markerade den maximala utbredningen för var och en av glaciärerna. Därefter subtraherades volymen genererad för år 2008 inom respektive glaciärs polygon från samma polygons volym i Lantmäteriets uppdaterade höjdmodell. Differensen mellan de två polygonerna, det vill säga den volymetriska diskrepansen inom glaciärernas utbredningsområde, motsvarar således den glaciala volym som har försvunnit under tidsintervallet. I resultatredovisningen av de volymetriska analyserna (Tabell 2) redovisas även värden som motsvarar glaciärernas volymreducering dividerat med deras ursprungliga utbredning för att ge en uppfattning om hur stor volymförlusten har varit. Detta värde motsvarar med andra ord tjockleken av istäcket med vilket glaciärens volym skulle ha reducerats ifall avsmältningen hade varit homogen över hela glaciärens yta.

### 3. RESULTAT



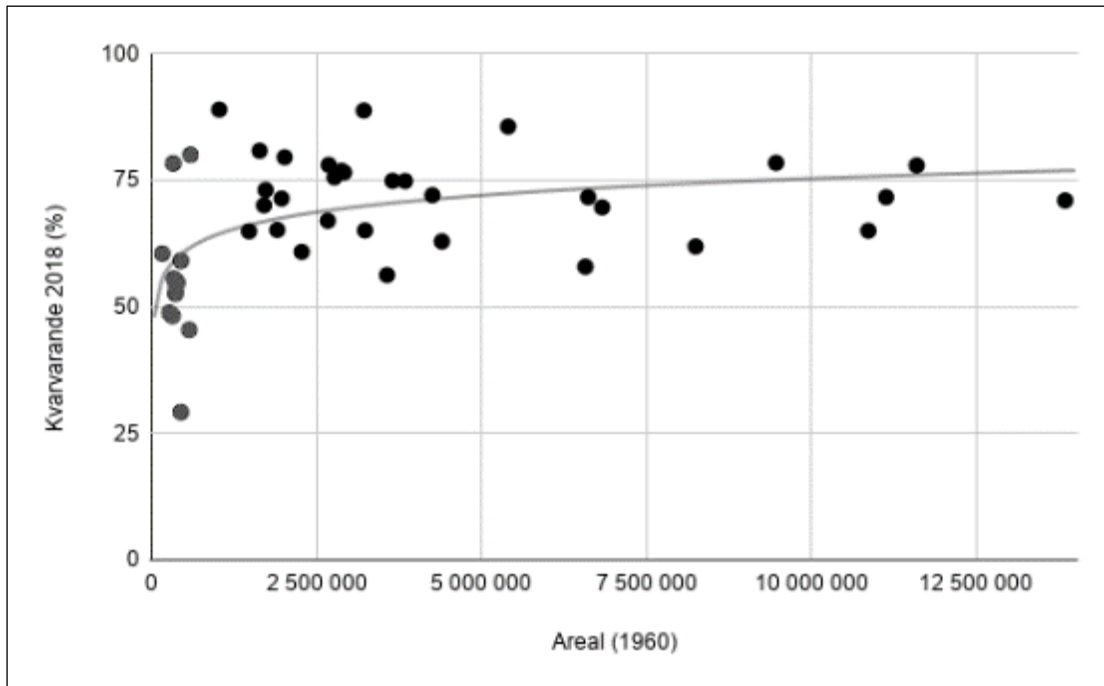
*Figur 3. Karta över studerade glaciärer i Sarek nationalpark med areal reducering från 1960 till 2018 rödmarkerad.*



Figur 4. Stapeldiagram med glaciärernas areala förändring genom åren.

Resultaten visar en kontinuerlig reträtt av samtliga glaciärsers utbredning (Figur 4). De flesta glaciärernas totala areal har reducerats mellan 20 och 50 %, bortsett från de allra minsta glaciärerna som hade en något förhöjd procentuell minskning (Figur 5). Den genomsnittliga procentuella areala förlusten för alla glaciärer under hela tidsspannet uppgick till 33 %. För de tolv glaciärer vilkas ursprungliga areal understeg 1 000 000 m<sup>2</sup> var den genomsnittliga reduktionen 44 %.



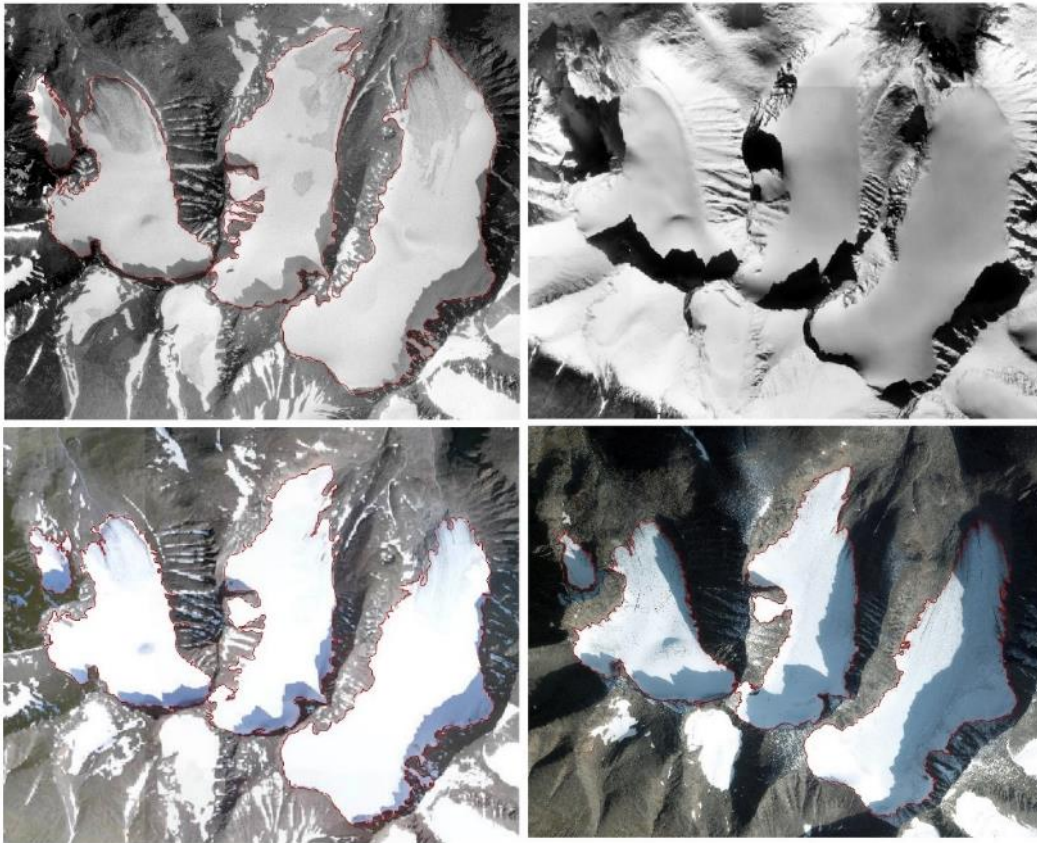


Figur 5. Graf över glaciärernas procentuella areala reducering i förhållande till ursprungsareal. Glaciärer vilkas totala area år 1960 understeg 1 000 000 m<sup>2</sup> är gråmarkerade.

Regressionsanalysen för prediktering av glaciärernas avsmältningstakt resulterade i ett värde av pRMSE på 16,4 % och ett R<sup>2</sup>-värde på 0,22 (Tabell 1).

Tabell 1. Sammanfattade resultat från studiens regressions- och areala analys

<b>Areala analyser (1960–2018)</b>	
Total area 1960	150 883 813 m <sup>2</sup>
Total area 2018	106 875 682 m <sup>2</sup>
Genomsnittlig reducering	33 %
Genomsnittlig reducering (glaciärer <1 000 000 m <sup>2</sup> )	44 %
RMSE	11,07
pRMSE	16,4 %
R <sup>2</sup>	0,22



Figur 6. Jämförelsebilder över Ähpár vid fyra olika tillfällen: 1960 (ö.v.), 1995 (ö.h.), 2008 (n.v.) och 2018 (n.h.). Polygonerna utritade i ArcMap är rödmarkerade i bilderna. Glaciärerna (från vänster) är: Perikpaktejekna, Pierikjekna, Äparjekna och Ruopsokjekna.

De volymetriska analyserna visar en kraftigare reducering av de två större glaciärerna i glaciärmassivet Ähpár än av de två mindre, i förhållande till deras ursprungliga utbredning (Tabell 2).

Tabell 2. Sammanfattade resultat från volymetriska analyser i glaciärmassivet Ähpár

<b>Volymetriska analyser (2008–2020)</b>	Area 2008 (m <sup>2</sup> )	Differens (m <sup>3</sup> )	Volym/Area (m)
Perikpaktejekna	193 678	2 129 006	11
Pierikjekna	1 845 905	25 611 613	14
Äparjekna	1 322 797	56 516 967	24
Ruopsokjekna	3 198 663	106 875 682	33
<b>Totalt</b>	<b>7 561 043</b>	<b>191 133 268</b>	<b>25</b>

## 4. DISKUSSION

Resultaten från de areala analyserna visar en påtagligt förminskad total area för alla glaciärer. Dessa resultat kan jämföras med Williams *et al.* (2016) studie i vilken man fann att Kårsaglaciären, drygt 100 kilometer norr om Sarek nationalpark, hade genomgått en areaförlust motsvarande 65 % (från 1,98 till 0,89 km<sup>2</sup>) mellan åren 1956 och 2010. Samt med resultaten från Engqvist (2016) kandidatarbete i vilket två glaciärmassiv i Sarek uppskattas ha förlorat 33,21 (*Sarekjåkkå*) respektive 41,43 (*Ähpár*) % av sin area sedan slutet av 1800-talet.

Resultaten indikerar att mindre glaciärer skulle kunna påverkas hårdare av avsmältningen än större glaciärer, men visar även en stor spridning, samt vissa motstridigheter. Det förhållandevis höga värdet på RMSE och låga värdet på R<sup>2</sup> tyder på att det finns ytterligare faktorer som har en stor inverkan på glaciärers avsmältningstakt. Dessutom är en av de glaciärer som har haft minst areaförlust också en av studiens minsta glaciärer. För att med säkerhet kunna utröna i vilken utsträckning avsmältningen faktiskt påverkas av den ursprungliga storleken krävs mer omfattande studier med ett större urval av glaciärer, samt ett hänsynstagande till andra potentiella bidragande faktorer såsom altitud, glaciala volymens form, mikroklimat och ablationsriktning. Ifall glaciärers storlek *de facto* har en betydande påverkan på deras avsmältningstakt så finns risken att, allt eftersom våra glaciärer fortsätter att krympa och större glaciärer fragmenteras till flera mindre volymer, den generella avsmältningen får en allt större påverkan och ökar avsmältningstakten på våra glaciala områden.

En av de stora svårigheterna i studien gällande uppskattningen av den areala utsträckning var att försöka urskilja och uppskatta glaciärernas ytterlinjer samt att försöka skapa polygoner som följde dessa linjer. I ortofotona som generades av de senare dataseten underlättades detta betydligt av det faktum att flygbilderna var skarpare samt i färg, vilket gjorde det lättare att identifiera olika typer av underlag i bilderna och skilja dem från varandra. Dessutom var bilderna i dessa dataset insamlade i mitten av sommaren vilket innebär att det låg minimalt med nysnö på marken, och att all snö- och ismassa på bilderna således tillhörde glaciärerna. Flygbilderna från 1960-talet å andra sidan var dels svartvita, men var även insamlade tidigare eller senare på säsongen, vilket innebar att det fanns en större

mängd snö på dessa bilder som inte tillhörde glaciärerna. I vissa fall var det svårt att urskilja vilka av dessa vita områden som tillhörde en glaciär och vad som var nysnö. Denna svårighet skulle kunna leda till en överskattning av glaciärernas storlek på 1960-talet vilket i sin tur innebär en överskattning av den totala areala förändringen i studiens resultatdel. Ett ortofoto över glaciärmassivet Ähpår från 1995 (Figur 6) undersöktes i samband med studien, men på grund av den stora mängden snö runt glaciärerna samt de mörka skuggorna var det inte möjligt att identifiera glaciärernas kantlinjer för att använda ortofotot som del av studien.

Undersökningen av volymförändring vittnar, till skillnad från de areala analyserna, om att de större glaciärerna har förlorat mer ismassa (i förhållande till sin area) än de mindre. Detta belyser framförallt svårigheten i att generera exakta modeller av glaciärer utifrån flygbilder, snarare än motbevisar de areala analyserna. Trots en hög upplösning på bilderna så erbjuder glaciärernas vita yta små möjligheter för programvaran att matcha punkter på glaciärerna mellan olika bilder. Ett stort antal sammankopplade punkter mellan bilderna, välfördelade över hela ytan, är en förutsättning för att kunna skapa en precis modell. När dessa modeller jämförs med en modell som är generad utifrån en annan metod (laserskanning) finns risk för en stor diskrepans modellerna emellan (Salach *et al.* 2018). Denna felmarginal riskerar förstöras i de större glaciärerna som har större vita områden och är därmed svårare att modellera.

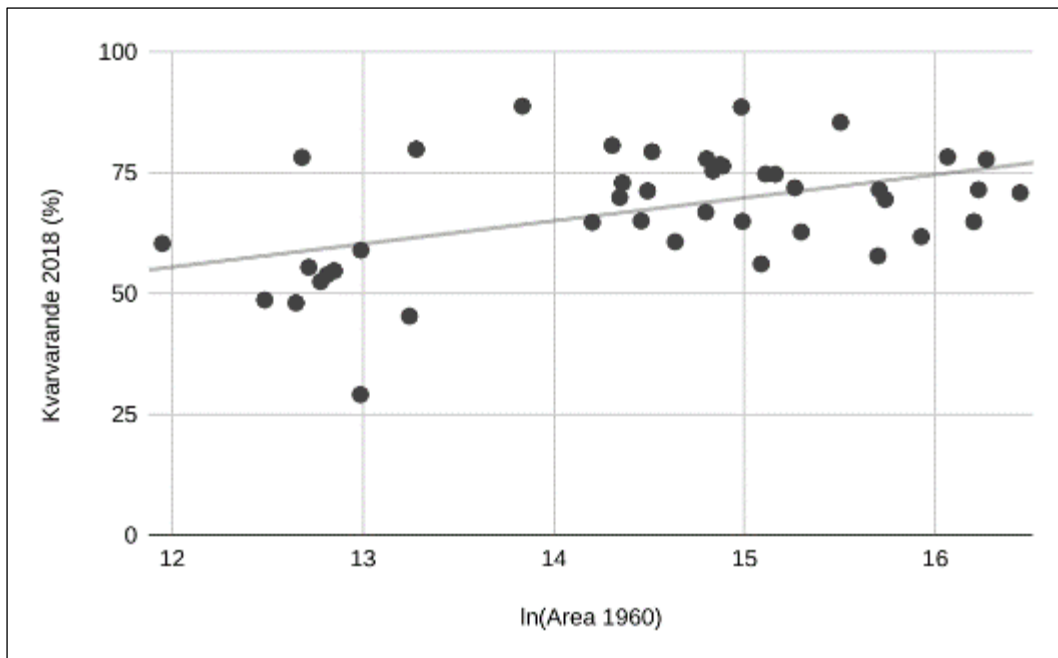
Generellt kan slutsatsen dras att mer tillförlitlighet kan tillräknas de analyser som är grundade i senare inhämtad data eftersom dessa data erbjuds i högre omfattning samt håller en högre kvalitetsnivå, vilket i sin tur tillåter mer omfattande analyser och mindre felkällor på resultaten som genereras. Däremot är möjligheten att kunna inkorporera även äldre dataset i studier, vilken erbjuds av dagens teknik, oerhört betydelsefull i och med att den kan förlänga en studies undersökningsperiod markant och därmed bidra till att ge en bättre helhetsbild. För att öka förståelsen kring hur de svenska glaciärernas avsmältningstakt är korrelerad och påverkas av deras storlek krävs mer omfattande studier innefattandes fler klimataspekter. Detta skulle leda till mer kvalificerade slutledningar kring hur förändringen av Sveriges glaciala områden kan komma att se ut även framöver.

## 5. REFERENSER

- Anders A. Bjørk, Kurt H. Kjær, Niels J. Korsgaard, Shfaqat A. Khan, Kristian K. Kjeldsen, Camilla S. Andresen, Jason E. Box, Nicolaj K. Larsen & Svend Funder (2012). An aerial view of 80 years of climate-related glacier fluctuations in southeast Greenland. *Nature Geoscience*, vol. 5 (6), pp. 427–432 Nature Publishing Group.
- Bolin Centre for Climate Research (2020). Svenska Glaciärer: Table of glaciers. Stockholms Universitet. Tillgänglig: <https://bolin.su.se/data/svenskaglaciärer/table.php> [2020-04-01].
- Bonan, D.B., Christian, J.E. & Christianson, K. (2019). Influence of North Atlantic climate variability on glacier mass balance in Norway, Sweden and Svalbard. *Journal of Glaciology*, vol. 65 (252), pp. 580–594
- Dong, P., Wang, C. & Ding, J. (2013). Estimating glacier volume loss using remotely sensed images, digital elevation data, and GIS modelling. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 34 (24), pp. 8881–8892 Taylor & Francis.
- Dyrgerov, Mark (2002). Glacier mass balance and regime: data of measurement and analysis. *Occasional paper no. 55 (2002)*. Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado.
- Engqvist, L. (2016). *Volymändringar i Sareks och Kebnekaises glaciärer sedan lilla istiden*. Available at: <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:903560/FULLTEXT01.pdf> [2020-03-11]
- Finsterwalder, R. (1954). Photogrammetry and Glacier Research with Special Reference to Glacier Retreat in the Eastern Alps. *Journal of Glaciology*, vol. 2 (15), pp. 306–315
- Fox, A.J. & Nuttall, A.M. (1997). Photogrammetry as A Research Tool for Glaciology. *Photogrammetric Record*, vol. 15 (89), pp. 725–737 Blackwell Publishing Ltd.
- Gao, J. & Liu, Y. (2001). Applications of remote sensing, GIS and GPS in glaciology: a review. *Progress in Physical Geography*, vol. 25 (4), pp. 520–540 Sage Publications.
- Holmlund, P. (1998). Glacier Mass Balance and Ice-Core Records from Northern Sweden. *Ambio*, vol. 27 (4), pp. 266–269 [Springer, Royal Swedish Academy of Sciences].
- Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P.D.A., Shea, J.M., Shrestha, A.B., Pellicciotti, F., Bierkens, M.F.P. & de Jong, S.M. (2014). High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing of Environment*, vol. 150, pp. 93–103
- Lantmäteriet (2020a). Geolex: Bilder: Flygbild. Tillgänglig: [geolex.etjanster.lantmateriet.se/#](http://geolex.etjanster.lantmateriet.se/#) [2020-04-06]
- Lantmäteriet (2020b). GET: Select data: Högddata, grid 2+ Tillgänglig: [zeus.slu.se/get/?drop=get](http://zeus.slu.se/get/?drop=get) [2020-03-07]
- Michlmayr, G., Lehning, M., Koboltschnig, G., Holzmann, H., Zappa, M., Mott, R. & Schöner, W. (2008). Application of the Alpine 3D model for glacier mass

- balance and glacier runoff studies at Goldbergkees, Austria. *Hydrological Processes*, vol. 22 (19), pp. 3941–3949 John Wiley & Sons, Ltd.
- Olsson, H., Reese, H. (2016). Skogsskötselserien, Skoglig Fjärranalys. Ljungbergskompendium. SLU. Tillgänglig: [www.rslab.se/wp-content/uploads/2019/03/skoglig\\_fjarranalys\\_v1\\_0\\_161211.pdf](http://www.rslab.se/wp-content/uploads/2019/03/skoglig_fjarranalys_v1_0_161211.pdf) [2020-04-01]
- Reinhardt, W. & Rentsch, H. (1986). Determination of Changes in Volume and Elevation of Glaciers using Digital Elevation Models for the Vernagtferner, Ötztal Alps, Austria. *Annals of Glaciology*, vol. 8, pp. 151–155 Cambridge University Press.
- Salach, A., Bakula, K., Pilarska, M., Ostrowski, W., Górski, K., Kurczynski, Z. (2018). Accuracy Assessment of Point Clouds from LiDAR and Dense Image Matching Acquired Using the UAV Platform for DTM Creation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 7. 32. 10.3390/ijgi7090342.
- Sangewar, C.V. (2012). Remote sensing applications to study Indian glaciers. *Geocarto International*, vol. 27 (3), pp. 197–206
- Schneider, C., Schnirch, M., Acuña, C., Casassa, G. & Kilian, R. (2007). Glacier inventory of the Gran Campo Nevado Ice Cap in the Southern Andes and glacier changes observed during recent decades. *Global and Planetary Change*, vol. 59 (1), pp. 87–100 Elsevier BV.
- Stokes, Chris & Shahgedanova, M. & Evans, Ian & Popovnin, Victor. (2013). Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains, south-eastern Siberia. *Global and Planetary Change*, vol. 101, pp. 82–96 Elsevier BV.
- Svanberg, S. (2020). Lidar: *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/lidar> [2020-04-01]
- Tennant, C., Menounos, B., Wheate, R. & Clague J.J. (2012). Area change of glaciers in the Canadian Rocky Mountains, 1919 to 2006. *The Cryosphere*, 6, 1541–1552, <https://doi.org/10.5194/tc-6-1541-2012>. 2012.
- Wang, P., Li, Z. & Gao, W. (2011). Rapid shrinking of glaciers in the Middle Qilian Mountain region of Northwest China during the last -50 years. *J. Earth Sci.:* 22, 539–548 (2011).
- Wilhelm, L., Singer, G., Fasching, C., Battin, T.J., Besemer, K. (2013). Microbial biodiversity in glacier-fed streams. *The ISME Journal* (7), pp. 1651–1660. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.44>.
- Williams, C.N., Carrivick, J.L., Evans, A.J. & Rippin, D.M. (2016). Quantifying uncertainty in using multiple datasets to determine spatiotemporal ice mass loss over 101 years at kårsaglaciären, sub-arctic sweden. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, vol. 98 (1), pp. 61–79 Taylor & Francis.
- Williams, R.D., Tooth, S. & Gibson, M. (2017). The sky is the limit: reconstructing physical geography from an aerial perspective. *Journal of Geography in Higher Education*, vol. 41 (1), pp. 134–146 Routledge.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., Barandun, M., Machguth, H., Nussbaumer, S.U., Gärtner-Roer, I., Thomson, L., Paul, F., Maussion, F., Kutuzov, S., Cogley, J.G. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature* 568, 382–386. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>.

## Bilagor



Bilaga 1. Graf av log-linjär modell som användes för uträkning av RMSE vid prediktering av procentuell areaförlust utifrån naturliga logaritmen av ursprunglig area.