

# Strukturmark på Juvflye (Jotunheimen) og Kvadehuksletta (Svalbard)

Sandra Skoglund Jacobsen



Masteroppgave  
Geomorfologi og geomatikk  
60 studiepoeng

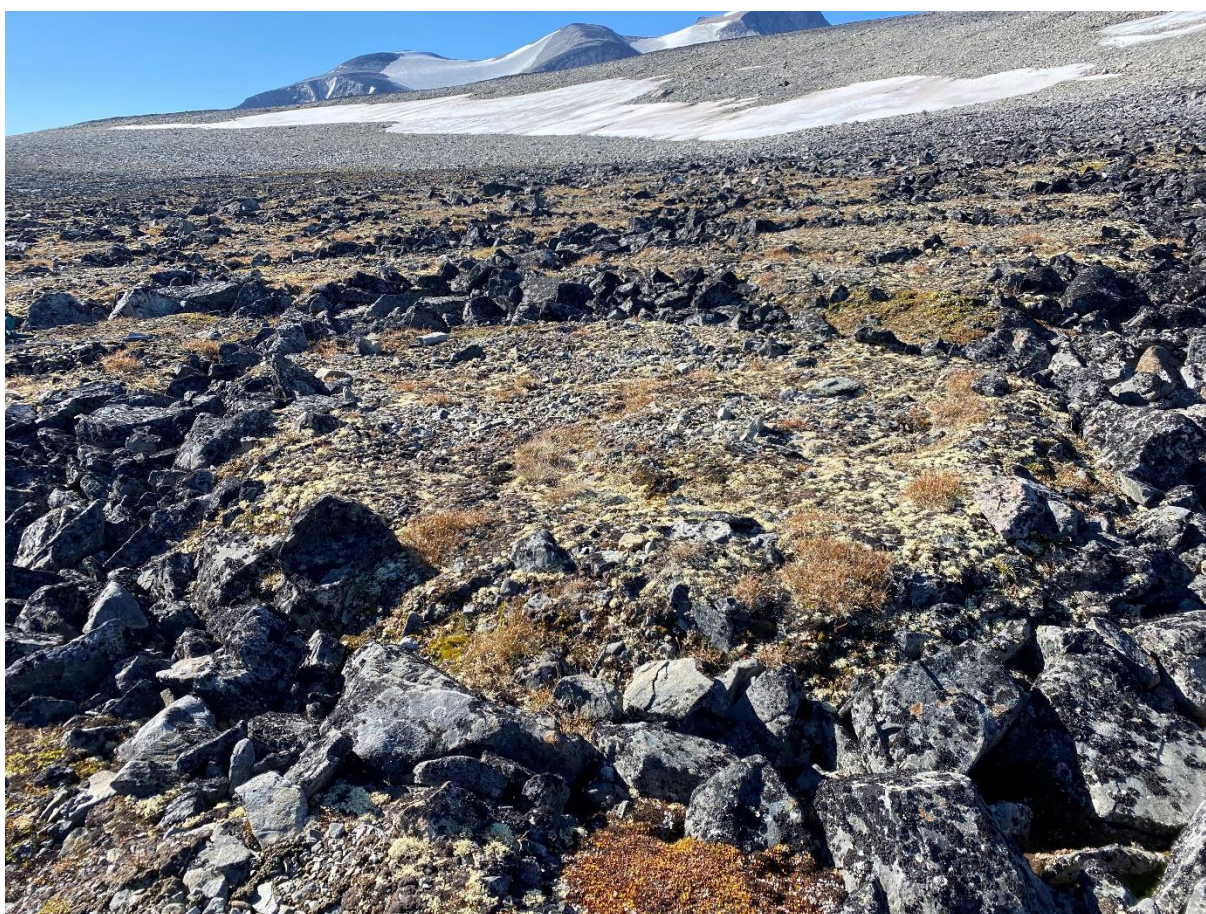
Institutt for geofag  
Det matematisk-naturvitenskaplige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

November/2023

# Strukturmark på Juvflye (Jotunheimen) og Kvadehuksletta (Svalbard)

Sandra Skoglund Jacobsen



Masteroppgave ved Institutt for geofag  
Det matematisk-naturvitenskaplige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

November/2023

© Sandra S. Jacobsen

2023

Strukturmark på Juvflye (Jotunheimen) og Kvadehuksletta (Svalbard)

Sandra S. Jacobsen

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

# Sammendrag

Strukturmark i form av sirkler, polygoner og striper har lenge vært et fascinerende forskningsområde, og denne masteroppgaven utforsker potensialet av nyere metoder som fjernanalyse for å analysere disse strukturene i tid og rom. Ved bruk av droneflyvning og laserskanning har sorterte polygoner og striper på Juvflye i Jotunheimen og sorterte sirkler på Kvadehuksletta på Svalbard blitt studert. Dataene er hovedsakelig ortofoto og DTM-er som har blitt analysert i ArcGIS Pro til å finne eventuelle forandringer i strukturene, samt å måle diameter og høyde. I tillegg ble det gjennomført et feltarbeid i august 2022, hvor feltobservasjoner ble notert ned og sedimentprøver tatt. Resultatene viser kun 32 observerbare forandringer i sirklene på Kvadehuksletta, til tross for at de fremdeles er aktive, noe som antyder at sirklene må være i en form for likevekt med hverandre. Aktiviteten vises også tydelig på flystripen på Kvadehuksletta hvor man ser at sirklene begynner å komme tilbake på det utjevnete området. Videre er sirklene W-formet i høydeprofil, mens polygonene er M-formet. Diameteren til polygonene på Juvflye er i gjennomsnitt 1,4 m større enn sirklene på Kvadehuksletta, og sedimentprøvene fra Juvflye viste en høy konsentrasjon av silt og sand, som er gunstig for frostheving. Oppgaven konkluderer med at fjernanalyse er en effektiv metode for å studere strukturmark, men feltarbeid gir en dypere forståelse av området, noe som gjør en kombinasjon av begge metodene ideell.

# Abstract

Patterned ground in the form of circles, polygons, and stripes has long been a fascinating area of research, and this master's thesis explores the potential of newer methods such as remote sensing to analyze these structures in both time and space. Using drone flights and laser scanning, sorted polygons and stripes on Juvflye in Jotunheimen and sorted circles on Kvadehuksletta in Svalbard have been studied. The data primarily consists of orthophotos and DTMs that have been analyzed in ArcGIS Pro to identify any changes in the structures, as well as to measure their diameter and height. Additionally, fieldwork was conducted in August 2022, where field observations were noted, and sediment samples were taken. The results show only 32 observable changes in the circles on Kvadehuksletta, despite them still being active, suggesting that the circles must be in some form of equilibrium with each other. The activity is also clearly visible on the airstrip on Kvadehuksletta, where it is observed that the circles are beginning to return to the leveled area. Furthermore, the circles have a W-shaped elevation profile, while the polygons are M-shaped. The diameter of the polygons on Juvflye is on average 1.4 m larger than the circles on Kvadehuksletta, and the sediment samples from Juvflye showed a high concentration of silt and sand, which is favorable for frost heave. The thesis concludes that remote sensing is an effective method for studying patterned ground, but fieldwork provides a deeper understanding of the area, making a combination of both methods ideal.

# Forord

Jeg vil gjerne takke min hovedveileder Andreas Max Kääb for god hjelp og veiledning med min masteroppgave. Takk for engasjementet og interessen du har vist for de sorterte strukturene. Det har hjulpet meg mye å se din nysgjerrighet for strukturene, spesielt i perioder hvor jeg har sittet fast og trodd at resultatene jeg har fått ikke har viste noe. Jeg vil også takke medveileder Livia Piermattei for hjelpen du ga i starten av dette arbeidet. Det var veldig nyttig å diskutere ideer om hva denne masteroppgaven kunne inneholde samt dele interessen vi har for disse strukturene.

Videre vil jeg takke Bernd Etzelmüller for ideene rundt hva jeg kunne gjøre i feltarbeidet på Juvflye og for GST-dataene du ga meg fra Juvflye.

Jeg vil også gi en stor takk til Trond Eiken for at du ble med meg ut i felt, spiste frokost med meg på morgenen og kjørte meg opp til Juvflye. Tusen takk for at du bar opp laserskanneren for å skanne ett av polygonene der og for hjelpen du ga meg med prosesseringen av dataen etterpå. Jeg vil også takke Simon Filhol for at du hjalp meg med å fly dronen på Juvflye og for at du bar den i terrenget.

Jeg vil også takke Mufak Said Naoroz for hjelpen du ga meg på sedimentlabben. Det var kjempespennende å analysere sedimentprøvene i labben og få et lite avbrekk fra pcen, spesielt fordi du virket engasjert i å vise meg hvordan jeg skulle gjøre det.

Takk til NVE og spesielt Liss Marie Andreassen for at jeg fikk tilgang på ortofoto og shapefiler med omkretsen av Juvfonne. Det var veldig interessant å undersøke området rundt isfonna, selv om det ikke ga like store resultater som jeg hadde håpet.

Og til slutt vil jeg gi en stor takk til familie og venner som har holdt ut mine gråtende og frustrerte samtaler. Stor takk til Anine Ødegård og Selma Aarvik for at dere har gitt meg et avbrekk fra skrivingen med både konserter og jentekvelder, og for at dere har støttet meg gjennom vanskelige tider. Og sist, men ikke minst en stor takk til mamma for at du tok deg tid til å lese igjennom hele masteren før jeg leverte.

Jeg håper leserne av denne masteroppgaven finner det like interessant som meg. Jeg mener alle burde vite litt om strukturmark siden det er et fantastisk fenomen!

God lesning!

Sandra S. Jacobsen





# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>1</b>
1.1	Strukturmark .....	1
1.2	Formål.....	3
1.3	Tekstopbygning .....	4
<b>2</b>	<b>Områdebeskrivelse .....</b>	<b>6</b>
2.1	Juvflye.....	6
	Juvfonne.....	7
2.2	Kvadehuksletta, Svalbard .....	12
<b>3</b>	<b>Teoretisk bakgrunn .....</b>	<b>14</b>
3.1	Sorterte steinsirkler .....	17
3.2	Sorterte polygoner og nett .....	20
3.3	Sorterte trinn og striper .....	22
<b>4</b>	<b>Innsamling av data og metoder .....</b>	<b>24</b>
4.1	Innsamling av data.....	24
4.1.1	Felt .....	28
4.1.2	Drone .....	30
	Innsamling av data .....	30
	Prosessering av dronedata.....	31
4.1.3	Laserskanning .....	32
	Innsamling av data .....	32
	Prosessering av LAS-data .....	33
4.1.4	Andre data.....	34
4.2	Analytiske metoder .....	35
4.2.1	Sedimentprøver .....	35
4.2.2	ArcGIS Pro .....	37
	Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard.....	37
	Diameter.....	37
	Mikrotopografi.....	39
	Juvfonne.....	40
<b>5</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>41</b>

5.1	Resultater fra Juvflye .....	41
5.1.1	Observasjoner fra felt.....	41
	Polygoner, Område 1 .....	41
	Polygoner, Område 2 .....	43
	Polygoner, Område 3 .....	44
	Striper.....	45
	Juvfonne.....	48
5.1.2	Sedimentprøver .....	49
5.2	Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard .....	51
	Flystripe på Kvadehuksletta .....	54
5.3	Mikrotopografi og diameter på Kvadehuksletta og Juvflye .....	56
5.3.1	Mikrotopografi.....	56
	Polygoner, Juvflye .....	57
	Høydeprofiler .....	58
5.3.2	Diameter.....	61
	Polygoner, Juvflye .....	61
	Striper, Juvflye.....	62
	Kvadehuksletta og Juvflye.....	63
<b>6</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>64</b>
6.1	Mikrotopografi på Kvadehuksletta og Juvflye .....	64
6.2	Diameter på Kvadehuksletta og Juvflye .....	66
6.3	Juvflye.....	67
6.3.1	Mikrotopografi på Juvflye .....	67
	Striper.....	68
6.3.2	Diameter på Juvflye .....	68
	Striper.....	69
6.3.3	Sedimentprøver på Juvflye .....	69
6.3.4	Juvfonne.....	70
6.4	Drone vs. laserskanner.....	72
6.5	Fjernanalyse vs. feltarbeid .....	73
6.6	Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard .....	74
<b>7</b>	<b>Konklusjon og videre arbeid .....</b>	<b>76</b>
7.1	Konklusjon.....	76

7.2 Videre arbeid .....	78
<b>Litteraturliste.....</b>	<b>81</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>84</b>
Vedlegg 1.....	84

# Liste over Figurer

- Figur 2.1. Kart over studieområdet på Juvflye. Ortofotoet over Juvflye er hentet fra norgebilder (2017-09-23) og oversiktskartet er fra ESRI World Imagery..... 7
- Figur 2.2. Bildet viser arealet til Juvfonne fra 2010-2020. Bildet er hentet fra (Andreassen et al., 2020)..... 8
- Figur 2.3. Gjennomsnittlig månedlig lufttemperatur på Juvflye (A) og Kvadehuksletta (B). Temperaturer over 0 °C er farget røde og temperaturer under 0 °C er farget blå. Data er hentet fra eKlima databasen av met.no..... 10
- Figur 2.4. Gjennomsnittlig daglig bakketemperatur for Juvflye (A) og Kvadehuksletta (B). Rød indikerer temperaturer over 0 °C og blå indikerer temperaturer under 0 °C. Data for Juvflye er gitt av Bernd Etzelmüller (Etzelmüller et al., 2020). Data for Kvadehuksletta er hentet fra PANGEA (Boike et al., 2017). ..... 11
- Figur 2.5. Kart over studieområdet på Kvadehuksletta, Svalbard. Kilde til bakgrunnsbilde: ESRI World Imagery..... 13
- Figur 3.1. En oversikt over hvordan sirkler, nett, polygoner, trinn og striper hører til innunder periglasielle landformer. Bildet av sirklene er tatt av Åge Mikael Strand. Resten av bildene er fra ortofoto brukt i denne oppgaven. .... 14
- Figur 3.2. A) Bakken fryser normalt på frysefronten. B) De grove steinene forflytter seg mot den grove kanten. Steinene på toppen faller ned eller forflyttes av det fine materialet. Steinene i bakken forflyttes normalt på frysefronten slik som finmaterialet rundt. C) Steinene forflytter seg bort fra områder som inneholder store mengder av steiner. Det jevnes mer ut. D) (Sett ovenfra) Finmaterialet vil presse på den grove kanten og skvise den utover. Figuren er hentet fra (Kessler og Werner, 2003)..... 18
- Figur 3.3. Illustrasjon på hvordan den konveksjonsliknende sirkulasjonen foregår i steinsirklene. Det fine materialet holder mer på vann og fryser og tiner lettere enn den grove kanten. Dette skaper en aktiv bevegelse oppover når det fryser og

bevegelse nedover når det tiner. I tillegg vil den aktive sirkulasjonen dra med seg den grove kanten og skape en sirkulasjon også der samtidig som steinene vil falle ned med gravitasjonen. Figuren er hentet fra (Hallet, 2013) og modifisert. ....	19
Figur 3.4. Illustrasjon av hvordan polygoner eller sirkler sakte kan gå over til trinn og deretter striper i hellende terreng. Figuren er hentet fra (Harris et al., 2017) .....	23
Figur 4.1. Oversikt over interesseområdene som ble vurdert før feltarbeidet på Juvflye. I felt ble områdene observert og vurdert for droneflyvning og skanning. Det ble tatt dronebilde av område 2,3 og 4 i tillegg til et laserskann i område 2. Kilde til bakgrunnsbilde: ortofoto (2017-09-32) hentet fra norgeibilder. ....	28
Figur 4.2. Oversiktskart over dronens flyområder. Det røde området viser den første flyvningen og det blå viser andre flyvning. Det gule punktet viser hvor dronen lettet og landet. Kilde til bakgrunnsbilde: ortofoto (2017-09-23) hentet fra norgeibilder. ....	30
Figur 4.3. Bildet til venstre: dronen som ble fløyet på Juvflye. Her er den på vei opp til å ta bilder av stripene i flyområde 2. Bildet til høyre: Kontrollen til dronen. Skjermen viser banen dronen fløy i og bildet den akkurat tok (nede i venstre hjørne).....	31
Figur 4.4. Oversiktskart over hvilket område som ble laserskannet. Det var hovedsakelig polygonet (rød dott) som ble skannet, men skanningen ble gjort i 360° og et større område kom med. De blå dottene viser de fire posisjonene skanneren ble satt opp. Kilde til oversiktskart: ortofoto (2017-09-23) hentet fra norgeibiler. Hovedbildet er selv tatt med drone i felt. ....	32
Figur 4.5. Bilde av oppsettet til laserskanneren med kameraet på toppen. I bakgrunnen er det mulig å se stolpene på skisenteret som ble brukt til å georeferere skanningene. Pinnen foran i bilder er en reflektor. ....	33
Figur 4.6. Venstre: De tre sedimentprøvene etter at de har blitt oppløst med destillert vann. Høyre: De tre sedimentprøvene i fryse-tørkeren etter å ha stått i fryseren i et par døgn.....	35
Figur 4.7. Venstre: Silene som ble brukt til å fordele kornstørrelsen til sedimentene. Høyre: Maskeviddene til silene.....	36

Figur 4.8. De tre områdene ortofoto 1 ble delt inn i. Bakgrunnsbildet er ortofotoet fra den første flyvningen på Juvflye. ....	38
Figur 5.1. Oversiktskart over område 1 av polygonene på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).....	42
Figur 5.2. Et eksempel på hvordan polygonene så ut i område 1. Det ble tatt feltprøver av polygonet i fokus. Den hvite stripen er 4,5 m. ....	42
Figur 5.3. Oversiktskart over område 2 av polygonene på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).....	43
Figur 5.4. Oversiktskart over område 3 av polygonene på Juvflye.. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01). ....	44
Figur 5.5. Eksempel på hvordan et av de mindre polygonene i område 3 så ut. På det forstørrede bildet kan man se noen få flekker av lav og litt mose. Den hvite streken er 2,3 m. Det ble tatt feltprøver av dette polygonet.....	45
Figur 5.6. Oversiktskart over området med striper på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).....	46
Figur 5.7. Et eksempel på hvordan stripene så ut på Juvflye. Dette er også stripene det ble tatt feltprøver av. Den hvite streken i bildene er 4 m. Bildet til venstre er tatt oppover helningen. Det er mulig å se at det er et lite trinn ned der stripene slutter fremst i bildet. Bildet til høyre er tatt nedover skråningen. ....	47
Figur 5.8. Det var tydelig at enkelte av stripene ble avrundet av en grov kant. Den hvite streken i bildet er ca. 4 meter. ....	47
Figur 5.9. Blokkhavet foran Juvfonne hvor det ser ut til å dukke opp nye polygoner. Juvfonne ligger til venstre i bildet til høyre. ....	48

- Figur 5.10. En kumulativ kornfordelingskurve av sedimentprøvene fra Juvflye. Legg merke til at polygonet fra område 3 og stripen stopper på 70 %. Dette fordi prøvene bare ble silt med en maskevidde på 16000 og mindre, og disse prøvene hadde korn som var større enn dette. .... 49
- Figur 5.11. En grov kornstørrelsesfordeling av sedimentprøvene. Her er hele prøven tatt med. .... 50
- Figur 5.12. En grov fordeling av sedimentprøvene, men her er grus utelatt. Dette er gjort for å vise en mer nøyaktig sammenheng mellom leire, silt og sand siden de ble analysert av granulometeret. .... 50
- Figur 5.13. Oversikt over hvor forandringene i steinsirkene mellom 1970 og 2021 ligger på Kvadehuksletta. Ortofotoet er fra 2011 og er prosessert av Luc Girod. .... 54
- Figur 5.14. Figuren viser tre ulike områder av flystripen på Kvadehuksletta. Pilene peker på områder hvor man ser at sirkene kommer tilbake. I bilde A og C ser man tydelige sirkler. I bilde B ser det ut til at stripen koker. Det kan tenkes at sirkene er på vei tilbake og at en sortering har begynt. .... 55
- Figur 5.15. Høyden til sirkler, polygoner og striper. Polygonene har en M-formet utseende, mens sirkene har en W-form. Stripene har en konveks bue-formasjon som heller i retningen av helningen. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket Bokstavene er lagt til for å illustrere formene. .... 57
- Figur 5.16. Høyden til polygonene på de tre ulike områdene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. M er lagt til for å illustrere formen til polygonenes mikrotopografi. .... 58
- Figur 5.17. Høydeprofiler av tre ulike sirkler og polygoner. A) Høydeprofilen til tre sirkler på Kvadehuksletta, Svalbard. B) Høydeprofil av tre polygoner på Juvflye beregnet ut fra DTM tatt med drone. C) Høydeprofil av tre polygoner på Juvflye beregnet ut fra LAS-fil tatt med Laserskanner. Blå farge i profilene viser det grove materialet og den rosa fargen viser det fine materialet. De gule strekene i bildene til høyre viser transektet hvor høydeprofilene har blitt beregnet. Øverste bildet viser sirkene på

Kvadehuksletta og bildet under viser polygonene på Juvflye. Pilene i plottet viser starten og slutten av den mikrotopografiske formen til sikler (W) og polygoner (M). .....	60
Figur 5.18. Boksplottet viser den gjennomsnittlige diameteren til polygonene på de tre ulike områdene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. ....	61
Figur 5.19. Boksplottet viser den gjennomsnittlige lengden og bredden til stripene på Juvflye. Legg merke til at y-aksen er logaritmisk med grunntall 2. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje i tillegg til at det er skrevet ned ved siden av boksene.....	62
Figur 5.20. Diameterne til de sorterte steinsirkelene på Kvadehuksletta og de sorterte polygonene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. ....	63
Figur 6.1. Oversikt over hvordan Juvfonne har trukket seg tilbake fra 2011 til 2022 og nye, mulige polygoner i et avgrenset område. De røde prikkene viser områder med sannsynlig påbegynnende polygoner. Legg merke til at målestokken er forskjellig. Bakgrunnsbildet på oversiktskartet er fra 2022. Alle ortofotoene er fra NVE, med unntak av ortofotoet fra 2022 som er fra Innlandet fylkekommune, det brearkeologiske sikringsprogrammet, Axel Hee Rømer. ....	71
Figur 7.1. Eksempel på hvordan steinsirkelene ser ut i Hemsedal. Foto: Åge Mikael Strand...	80
Figur 7.2. Nærbilde av en av sirkelene i Hemsedal. Foto: Åge Mikael Strand .....	80



# Liste over Tabeller

Tabell 2.1. Tabellen viser lufttemperaturen for vår (MAM), sommer (JJA), høst (SON) og vinter (JFD) for Juvflye og Ny-Ålesund. ....	8
Tabell 2.2. Tabellen viser utbredelsen av Juvfonne fra 1997 til 2019. Den ble først kartlagt årlig fra 2010. Tabellen er hentet fra (Andreassen et al., 2020).....	9
Tabell 4.1 A. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven. .	24
Tabell 4.1 B. Fortsettelse av Tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven .....	25
Tabell 4.1 C. Fortsettelse av tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven .....	26
Tabell 4.1 D. Fortsettelse av tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven .....	27
Tabell 5.1 A. En oversikt over de 7 ulike forandringstypene som ble oppdaget på Kvadehuksletta mellom 1970 og 2021. Før-og-etter-bildene viser et eksempel på hver forandringstype som er markert med en rød sirkel. ....	52
Tabell 5.1 B. Fortsettelse av Tabell 5.1. En oversikt over de 7 ulike forandringstypene som ble oppdaget på Kvadehuksletta mellom 1970 og 2021. Før-og-etter-bildene viser et eksempel på hver forandringstype som er markert med en rød sirkel.....	53
Tabell V. 1. En oversikt over alle forandringene på Kvadehuksletta, Svalbard. I tabellen er X- og Y- koordinatene oppgitt som meter i WGS 1984 UTM Zone 33N. I tillegg er type forandring lagt til som en egen kolonne.....	84



# 1 Innledning

## 1.1 Strukturmark

Sortert strukturmark har lenge fascinert forskere over hele verden med sine symmetriske former som sirkler, polygoner og striper. De oppstår på områder hvor det enten er sesongfrost eller permafrost i bakken, og de finnes både som mikroformer hvor diameteren er mindre enn 1 m og makroformer hvor diameteren er mellom 2- 50 m (Harris et al., 2017). Sorterte sirkler og polygoner finner man som regel på slette landskaper, mens striper ofte utvikler seg når terrenget er hellende. Det har lenge vært forsket på hvordan strukturene naturlig kan danne en sortering mellom fint og grovt materiale. I 1956 beskrev Washburn hele 19 hypoteser om hvordan denne sorteringen kunne skje, og i de følgende årene har flere av dem blitt testet ut (Harris et al., 2017). Det har både vært brukt fysiske feltmålinger og numeriske modeller til å forstå dannelsen av strukturmark bedre.

Hallet, Prestrud, Etzelmüller og Sollid er et lite utvalg av forskere som har studert de sorterte steinsirklene på Kvadehuksletta. Hallet og Prestrud har blant annet gjort undersøkelser på steinsirklenes bevegelse ved å sette ned plugger i bakken eller male noen av steinene og se hvor mye de har forflyttet seg i løpet av årene (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986). I tillegg har de målt sirklenes mikrotopografi og diameter. Etzelmüller og Sollid har blant annet undersøkt sedimentenes kornstørrelser og innhold (Etzelmüller, 1989; Etzelmüller og Sollid, 1991). Andre forskere, som Kessler og Werner, har fokusert mer på å lage numeriske modeller av strukturmark (Kessler et al., 2001; Kessler og Werner, 2003) og Yamagishi og Matsuoka har testet ut å lage steinsirkler i en fryse-tine-labb (Yamagishi og Matsuoka, 2015). I 2014 ble det for første gang brukt «Structure-from-motion», en fotogrammetrisk teknikk, til å kunne måle bevegelsene i en steinsirkel over flere år (Kääb et al., 2014), og metoden ga gode resultater.

På Juvflye har blant annet Ødegård kartlagt området geomorfologisk og også undersøkt strukturenes sammenheng med helningen i området (Ødegård et al., 1987; Ødegård et al., 1988). Andre forskere som Ballantyne, Matthews, Křížek, Uxa, Winkler, Chiasson og Allard har fokusert mer på dannelsen av polygoner. Ballantyne og Matthews (1983) undersøkte hvordan uttørkingssprekker kan utvikle seg til sorterte polygoner over tid, spesielt ved at

steiner og annet materiale fyller og utvider sprekke. Chiasson og Allard (2022) undersøkte derimot dannelsen av polygoner ved termiske kontraksjonssprekker i Nunavik og hvordan disse sprekke kan fylles med smeltevann som deretter fryser og danner iskiler. Křížek og Uxa (2013) undersøkte store sorterte polygoner på Krkonoše fjellene i Sentral-Europa og målte diameter og høyde til 62 polygoner der. Winkler et al. (2016) beregnet alderen til strukturmarken på Juvflye ved hjelp av Schmidt-hammer metoden.

Striper har fått mindre oppmerksomhet, men det er likevel gjort noe forskning på dem. Blant annet har Werner og Hallet (1993) utført en numerisk simulering av hvordan striper sorteres, Winkler et al. (2021) har datert stripene på Juvflye med Schmidt-hammer metoden og Groos et al. (2021) har undersøkt stripene på Sanetti-plataet i Etiopia, hvor de blant annet har målt lengde, bredde og høyde.

I dag har man mer eller mindre kommet frem til at sorteringen og dannelsen av strukturmark skyldes en konveksjonsliknende sirkulasjon i bakken som drives av fryse- og tine-prosesser (French, 2017; Hallet, 2013; Harris et al., 2017; Kessler og Werner, 2003; Käab et al., 2014). Likevel gjenstår det fortsatt ubesvarte spørsmål knyttet til disse strukturenes dannelse. Det er blant annet fremdeles uklart hva i fryse-tine-prosessen som forårsaker en sirkulasjon, hvorfor det i noen tilfeller blir polygoner og i andre tilfeller sirkler eller hvorfor de segregerte steinene (steiner som har forflyttet seg opp til overflaten) i noen tilfeller penetrerer dypt inn i det aktive laget. Det er derfor fremdeles behov for videre undersøkelser innen dette fagområdet, og bruk av nyere metoder og teknologi kan potensielt bidra til en enklere og mer effektiv forskning.

## 1.2 Formål

Hovedfokuset i denne masteroppgaven har vært å utforske potensialet av nyere metoder for å analysere variasjoner i strukturmark både i tid og rom. Mer spesifikt har fjernanalyse blitt brukt til å både kunne se på forskjellene mellom ulike strukturtyper på Juvflye i Jotunheimen og Kvadehuksletta på Svalbard (i rommet), men også hvordan strukturene har forandret seg over tid. Oppgaven har følgende fokusområder:

1. Nyere metoder som fotogrammetri og laserskanning har blitt tatt i bruk for å sammenlikne sorterte sirkler på Kvadehuksletta med sorterte polygoner og striper på Juvflye. I tillegg var formålet å sammenlikne de ulike metodene.
2. Ortofoto fra 1970, 2011 og 2021 over Kvadehuksletta har blitt undersøkt for å se om det har foregått noen forandringer i sirklens struktur gjennom flere år. Det samme ble testet for området rundt Juvfonne med ortofoto fra 2011 - 2022.
3. Det har blitt testet ut om fjernanalyse kan brukes til å måle diameter og mikrotopografi på både sirkler, polygoner og striper, samt å se på forskjeller mellom strukturtypene. En av de underliggende tankene har vært å teste ut hvordan fjernanalyse kan gjøre feltarbeidet mer effektivt ved at man kan undersøke flere strukturer på kortere tid i tillegg til at man kan få tilgang på områder hvor det er vanskelig å komme til eller ikke er lov til å ferdes. Man reduserer behovet for langvarige opphold i felt og unngår å påvirke strukturene ved å fly over dem, istedenfor å måtte gå over dem.
4. Mer tradisjonelle metoder som observasjoner i felt og sedimentprøvetaking har blitt benyttet for å belyse viktigheten av feltarbeid og det å faktisk observere områdene med egne øyne før man analyserer fjernanalysedata.

## 1.3 Tekstopppbygning

Masteroppgaven består av 7 kapitler i tillegg til et kapittel med vedlegg.

**Kapittel 1 (Innledning):** Dette kapitlet gir en kort introduksjon til temaet for masteroppgaven, strukturmark, samt en oversikt over tidligere arbeid med strukturmark og formålet med oppgaven.

**Kapittel 2 (Områdebeskrivelse):** Beskrivelsen tar for seg de to studieområdene Juvflye i Jotunheimen og Kvadehuksletta på Svalbard. Her blir klimadata som lufttemperatur, snødybde, bakketemperatur, fryse-tine-syklus, osv. presentert. I tillegg presenteres geologien i området og dets historie knyttet til den siste istiden.

**Kapittel 3 (Teoretisk bakgrunn):** Her blir sammenhengen mellom periglasielle landformer og strukturmark presentert sammen med teorien bak hvordan bakken fryser og hvordan korn kan sorteres. Videre i kapitlet blir sirkler, polygoner og striper beskrevet hver for seg med hvilke drivkrefter som former dem, hvordan de sorteres, hvor store de kan bli og hvor de oppstår.

**Kapittel 4 (Innsamling av data og metoder):** I dette kapitlet blir det først presentert en tabell med alle dataene som har blitt brukt i denne masteroppgaven. Deretter følger det en beskrivelse av hvordan disse dataene har blitt hentet inn, som for eksempel ved å fly drone eller ta sedimentprøver. Til slutt kommer det et delkapittel hvor de analytiske metodene blir beskrevet, altså en beskrivelse av hvordan den innsamlede dataen har blitt analysert for å finne kornstørrelsesfordeling, forandringer gjennom tid, diameter og mikrotopografi.

**Kapittel 5 (Resultater):** Aller først er det en beskrivelse av observasjonene som ble gjort i feltarbeidet på Juvflye samt bilder fra området. Deretter blir resultatene av sedimentprøvene presentert etterfulgt av et delkapittel med forandringene som ble oppdaget på Kvadehuksletta gjennom 50 år. Til slutt blir resultatene av mikrotopografien og diametermålinger på Juvflye og Kvadehuksletta presentert.

**Kapittel 6 (Diskusjon):** I dette kapitlet blir resultatene diskutert og knyttet til tidligere arbeid og teorier. I tillegg vil noen hypoteser og usikkerheter ved målingene legges frem.

**Kapittel 7 (Konklusjon og videre arbeid):** Først blir det oppsummert kort hva som var formålet med oppgaven og hvilke metoder som har blitt brukt. Deretter blir hovedpunktene fra resultat og diskusjonskapittelet trukket frem etterfulgt av forslag til et videre arbeid.

**Vedlegg:** Vedlegg 1 inneholder en tabell med koordinater til sirklene på Kvadehuksletta hvor det ble funnet forandringer gjennom en 50-årsperiode.

## 2 Områdebeskrivelse

Denne masteroppgaven fokuserer på to studieområder der strukturmark dominerer landskapet: Juvflye i Jotunheimen og Kvadehuksletta på Svalbard.

### 2.1 Juvflye

Juvflye ligger nær Galdhøpiggen i den nordlige delen av Jotunheimen (Figur 2.1). Området er en preglasial paleisk overflate (Nesje og Whillans, 1994; Winkler et al., 2016), hvor store deler er dekket av blokker. Plataået har en høyde mellom 1850 moh. og 1950 moh. og er hovedsakelig flatt, med svake helninger enkelte steder (Winkler et al., 2016). Rundt plataået er det dype daler og høye fjell.

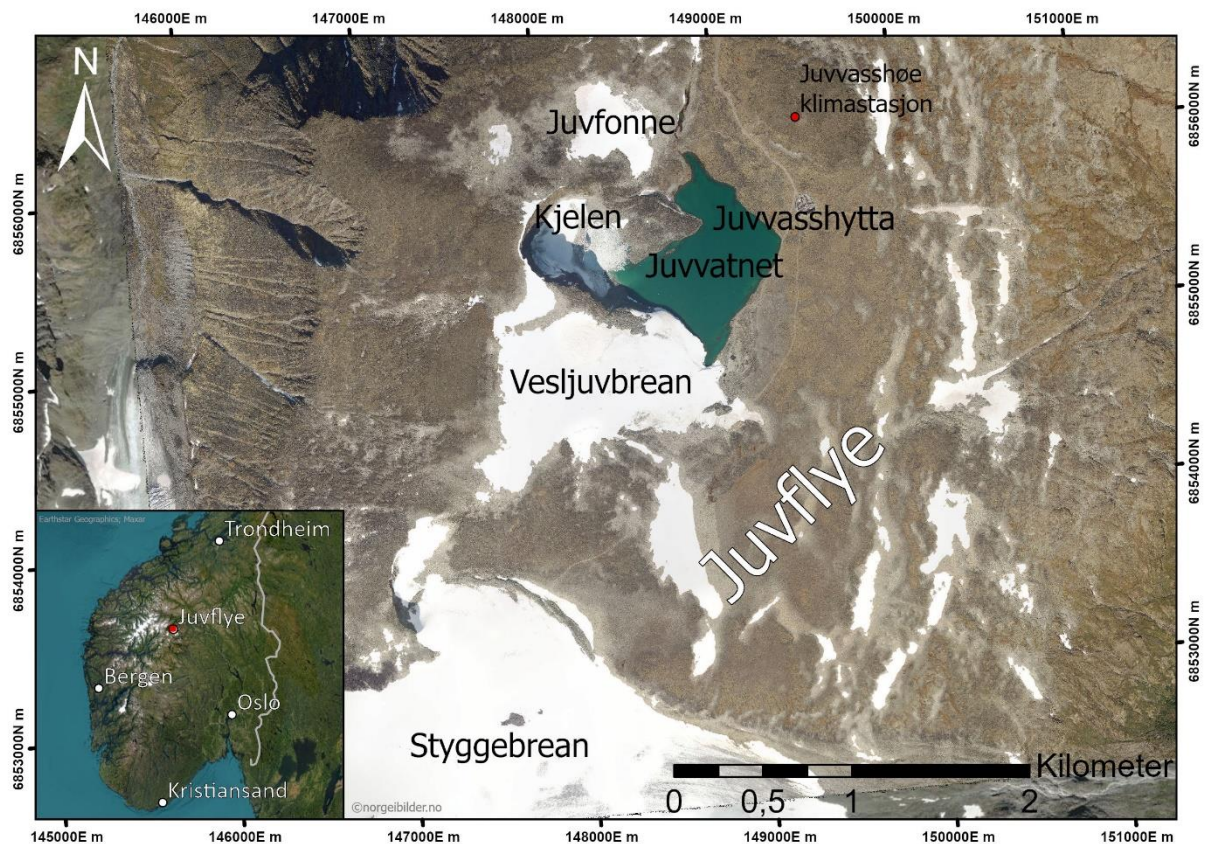
Under den siste istiden, Weichsel, lå Jotunheimen under senteret av den skandinaviske iskappen. Dette medførte mest sannsynlig en sen avsmeltning av området (Winkler et al., 2016), og det ble trolig isfritt i tidlig Holocen, for omtrent 9700 år siden (Winkler et al., 2021). Det kvartærgeologiske kartet etter Ødegård et al. (1987) viser at Juvflye hovedsakelig er dekket av morenemateriale, som i stor grad består av bergarten pyroksen-granulittgneis (Winkler et al., 2016). Dette morenematerialet inneholder også blokker av andre litologier som peridotitt. Steinsirkelene og polygonene i dette materialet dateres til å være mellom 6910 og 8240 år gamle basert på undersøkelser av Winkler et al. (2016).

I 1999 ble det satt opp en målestasjon på Juvvasshøe, 1894 moh. og omtrent 2 km fra studieområdet (Figur 2.1). Den gjennomsnittlige årlige lufttemperaturen er målt til  $-3,4$  °C (2000-2022; Figur 0.2), og varierer fra  $-9,5$  °C om vinteren til  $4,2$  °C om sommeren (Tabell 2.1; eKlima database av met.no). Snødybden i området når i gjennomsnitt 75 cm, men sterk vind gjør at det blir lite snødekke på Juvflye (Ødegård et al., 1992). Årlig nedbør er estimert til 800-1000 mm for Galdhøpiggen-området som inkluderer Juvflye (Isaksen et al., 2011). Den gjennomsnittlige daglige bakketemperaturen er  $-2,6$  °C (1999-2022; Figur 0.3; Beregnet fra data gitt av Bernd Etzelmüller, 2023; Etzelmüller et al., 2020).

På Juvflye finnes det fjellpermafrost som er estimert til å være 380 m tykk (Isaksen et al., 2001). Det aktive laget er målt til å være mellom 1,5 m og 2,5 m (Harris et al., 2009; Ødegård et al., 1988). En fryse-tine-syklus varer omtrent 1 år, med tining i slutten av mai til midten av september (Beregnet fra data gitt av Bernd Etzelmüller, 2023). Gjennomsnittlig varer en



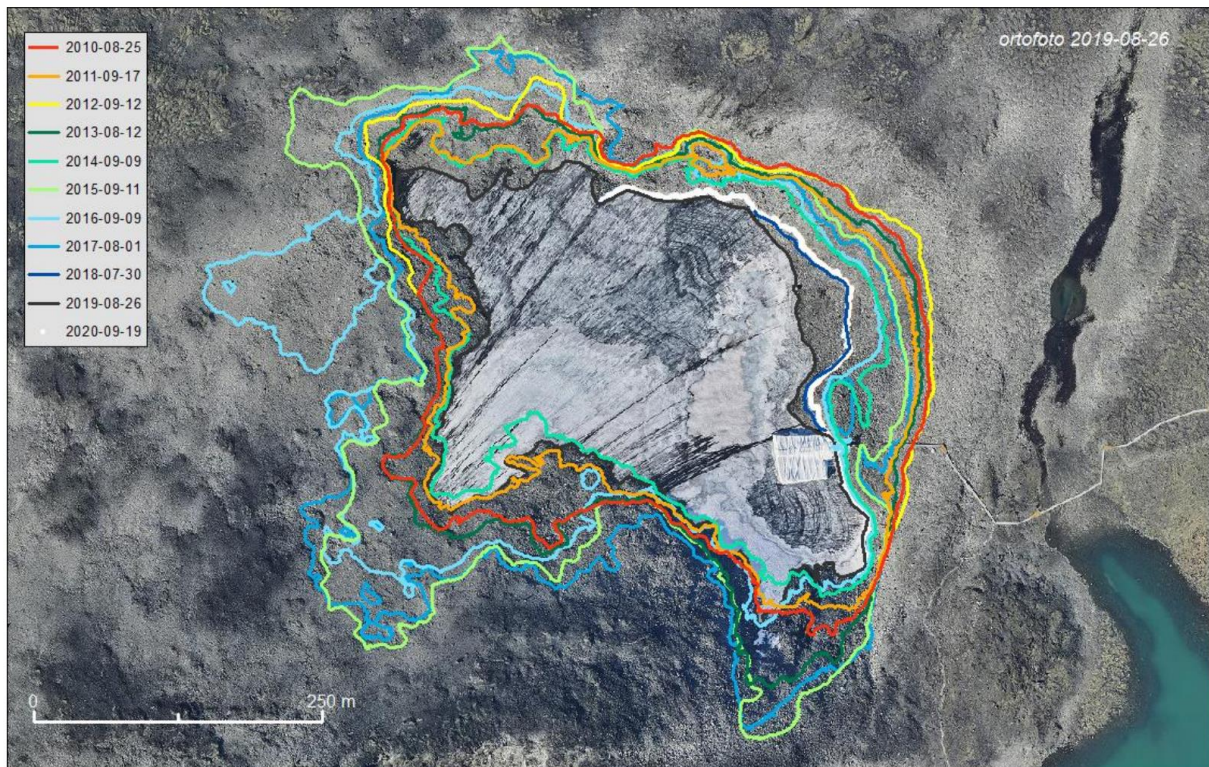
tineperiode i 112 dager og en fryseperiode i 253 dager. Det finnes likevel variasjoner fra år til år og noen kortere perioder på 1-7 dager mellom fryse-tine-periodene (Figur 0.3).



Figur 2.1. Kart over studieområdet på Juvflye. Ortofotoet over Juvflye er hentet fra norgebilder (2017-09-23) og oversiktskartet er fra ESRI World Imagery.

## 1. Juvfonne

På Juvflye finner man også isbreer som Vesljuvbreen, Styggbreen og Kjelbreen. Juvfonne er en isfonna som ligger 1 km fra Juvasshytta. Basert på karbondateringer har man funnet ut at Juvfonne må være ca. 7600 år gammel, som er den eldste isen datert på Norges fastland (Ødegård et al., 2017). Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har gjennomført årlige målinger av isfonna siden 2010 og dataene viser at arealet varierer fra år til år Figur 2.2 (Andreassen et al., 2020). Det er også gjort noen målinger før denne tiden, basert på satellittbilder. I 2010 hadde den et areal på 0,149 km<sup>2</sup> (Tabell 0.2) og i 2021 hadde den et areal på 0,100 km<sup>2</sup> (basert på shapefil gitt av NVE).



Figur 2.2. Bildet viser arealet til Juvfonne fra 2010-2020. Bildet er hentet fra (Andreassen et al., 2020).

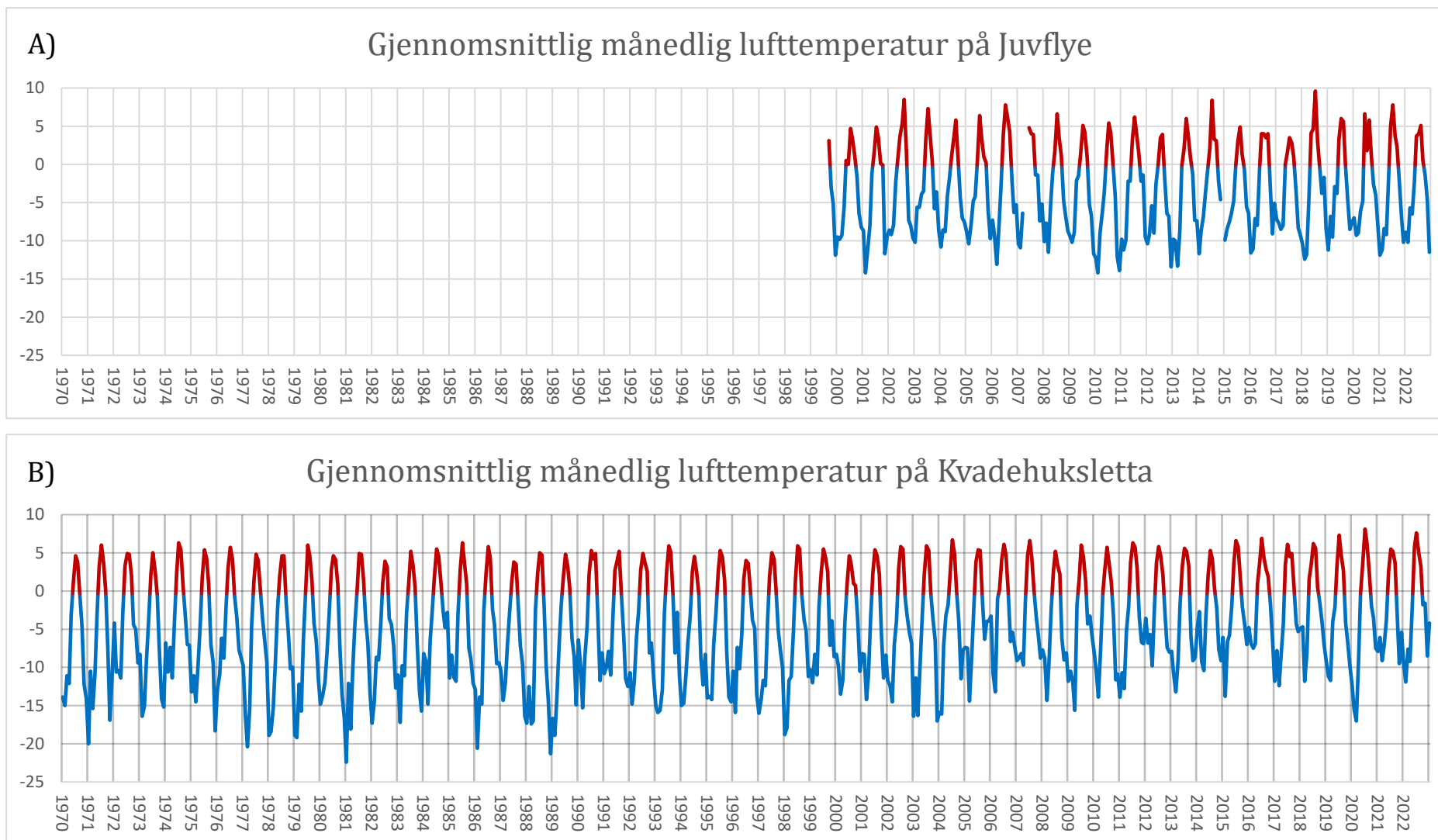
Tabell 2.1. Tabellen viser lufttemperaturen for vår (MAM), sommer (JJA), høst (SON) og vinter (JFD) for Juvflye og Ny-Ålesund.

### Den gjennomsnittlige lufttemperaturen for hver sesong

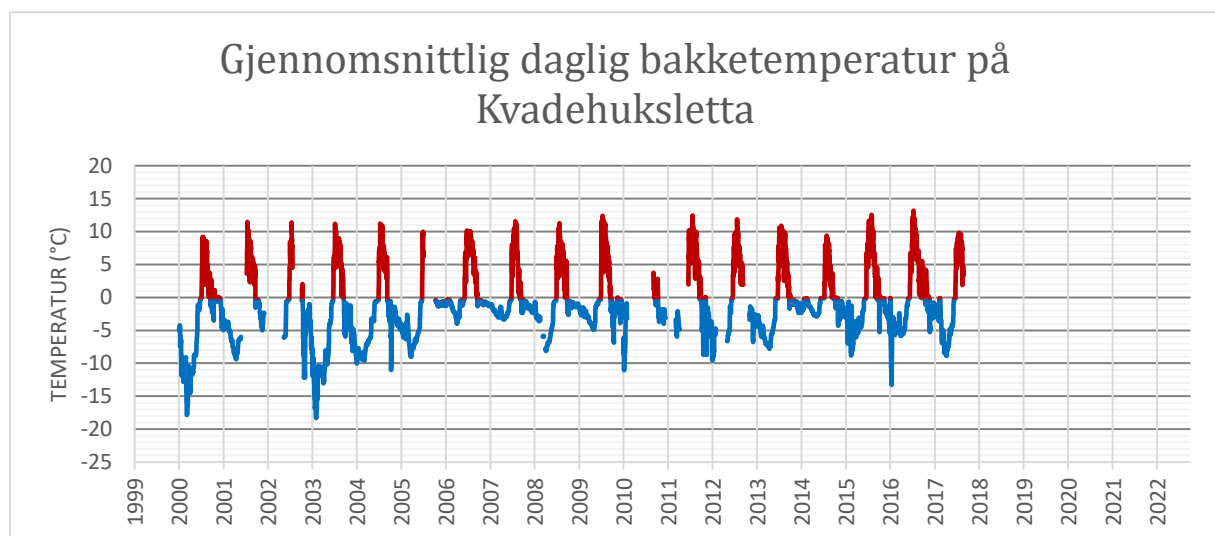
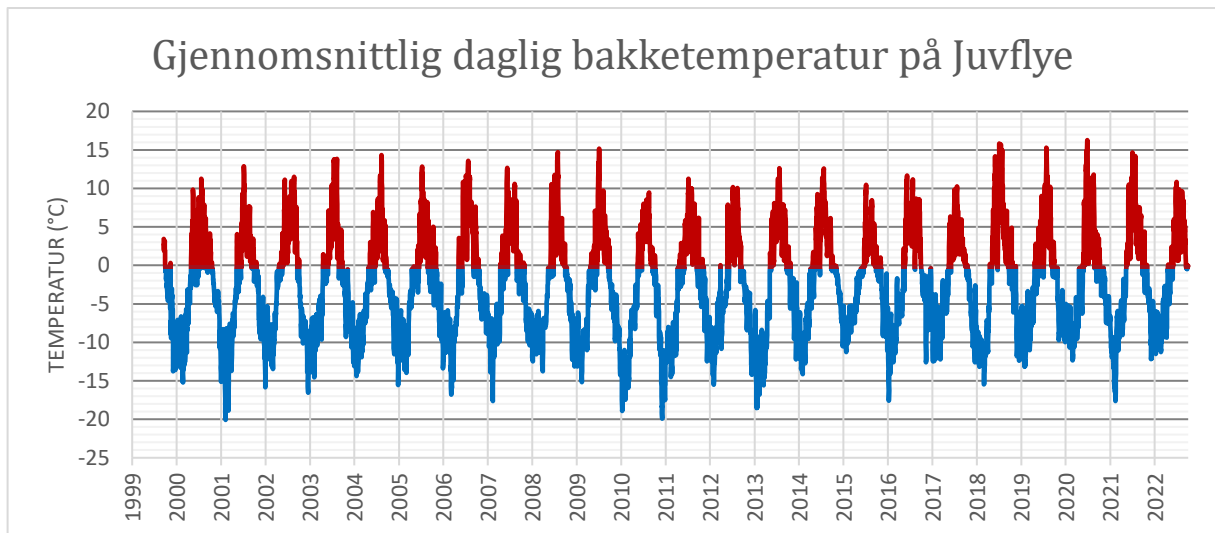
	<i>Juvflye</i>	<i>Ny-Ålesund</i>
<i>Vår</i>	-5,6	-8,2
<i>Sommer</i>	4,2	4,2
<i>Høst</i>	-2,7	-3,9
<i>Vinter</i>	-9,5	-11,3

Tabell 2.2. Tabellen viser utbredelsen av Juvfonne fra 1997 til 2019. Den ble først kartlagt årlig fra 2010. Tabellen er hentet fra (Andreassen et al., 2020)

År	Dato	Areal (km <sup>2</sup> )	Kilde
1997	15.08.1997	0.208	Landsat
2003	09.08.2003	0.150	Landsat
2004	12.08.2004	0.187	Map
2010	25.08.2010	0.149	GNSS
2011	02.08.2011	0.150	GNSS
2011	17.09.2011	0.127	Ortofoto
2012	12.09.2012	0.160	GNSS*
2013	12.08.2013	0.151	GNSS
2014	09.09.2014	0.101	GNSS
2015	11.09.2015	0.186	GNSS
2016	13.09.2016	0.162	GNSS
2017	01.08.2017	0.183	GNSS*
2019	26.08.2019	0.086	Ortofoto



Figur 2.3. Gjennomsnittlig månedlig lufttemperatur på Juvflye (A) og Kvadehuksletta (B). Temperaturer over 0 °C er farget røde og temperaturer under 0 °C er farget blå. Data er hentet fra eKlima databasen av met.no.



Figur 2.4. Gjennomsnittlig daglig bakketemperatur for Juvflye (A) og Kvadehuksletta (B). Rød indikerer temperaturer over 0 °C og blå indikerer temperaturer under 0 °C. Data for Juvflye er gitt av Bernd Etzelmüller (Etzelmüller et al., 2020). Data for Kvadehuksletta er hentet fra PANGEA (Boike et al., 2017).

## 2.2 Kvadehuksletta, Svalbard

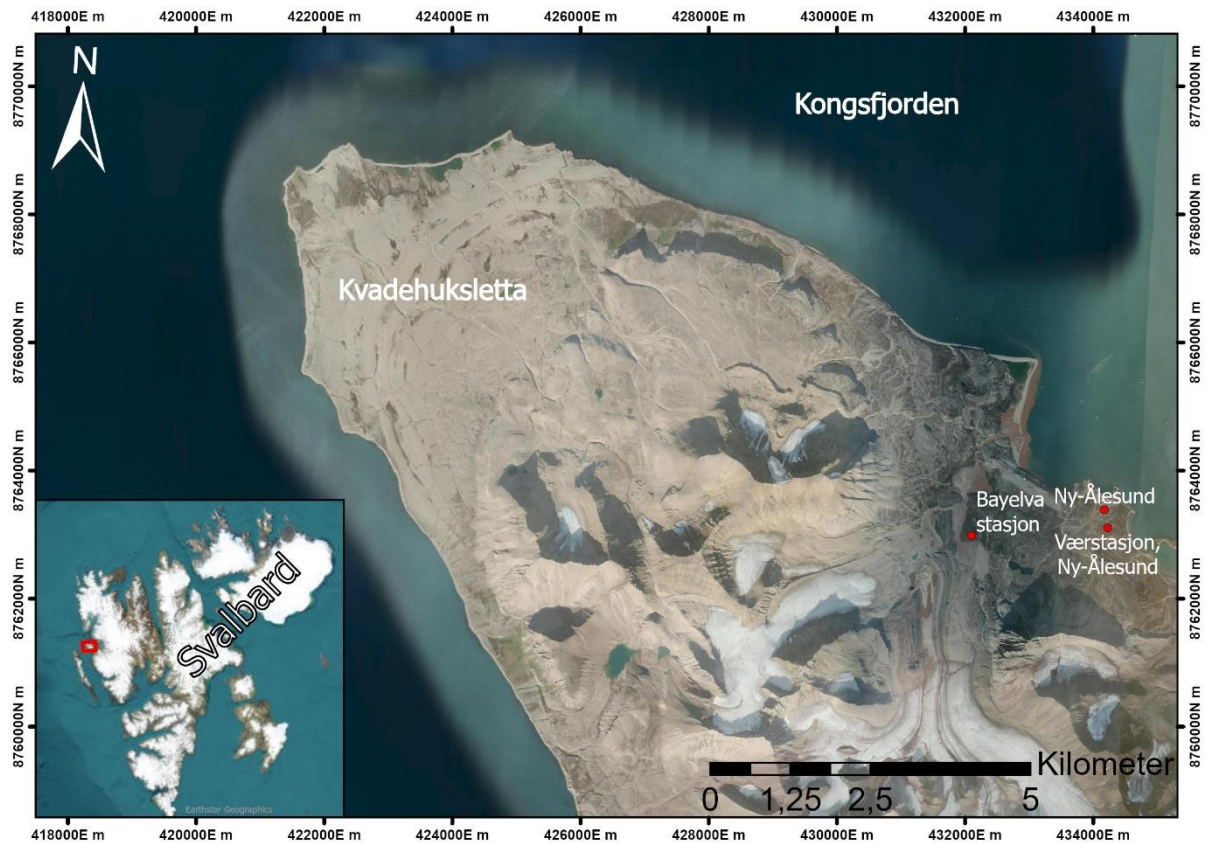
Kvadehuksletta er en strandflate som ligger på den nordvestlige enden av Brøggerhalvøya, på Svalbards største øy, Spitsbergen (Figur 2.5). Dette studieområdet dekker rundt 20 km<sup>2</sup> og varierer med en høyde fra 37 moh. ved kystlinjen til 200 moh. innover land. Det er kjent for å ha noen av verdens mest spektakulære sorterte sirkler og har blitt studert av en rekke forskere (Etzelmüller og Sollid, 1991; Hallet, 2013; Hallet et al., 1988; Kääb et al., 2014). Disse sirklene befinner seg på en høyde mellom 37 moh. og 90 moh. På et tidspunkt før 1970 ble det laget en 400 m lang flystripe på Kvadehuksletta hvor bakken ble jevnet ut med en bulldoser. Bilder etter 1990 viser at stripen ble forlenget til 900 m.

Studieområdet er dekket av både marine og glasifluviale sedimenter (Norsk Polarinstitutt, 2014) som i hovedsak består av grovt rundet grus (Etzelmüller, 1989). Grunnfjellet i området er dominert av dolomitt og gjennom forvitring og eluviering, har en finkornet siltjord blitt dannet. Denne massen er godt egnet til frostprosesser og forenkler dannelsen av sirkler (Etzelmüller og Sollid, 1991; Kääb et al., 2014).

Den meteorologiske værstasjonen ved Ny-Ålesund ligger omtrent 10 km unna Kvadehuksletta (Figur 2.5) og viser en gjennomsnittlig årlig lufttemperatur på -4,8 °C for perioden 1970-2021 (Figur 0.2; eKlima database av met.no). Temperaturen hadde en gjennomsnittlig variasjon fra -11,3 °C om vinteren til 4,2 °C om sommeren (Tabell 2.1). Gjennomsnittlig årlig nedbør i denne perioden var 437 mm. Snødybdemålinger antyder at det tykkeste snølaget oppstår i mars/april, med en gjennomsnittlig dybde på inntil 41 cm. Snøen legger seg typisk i november og ligger frem til mai/juni. Som Etzelmüller og Sollid (1991) poengterer, ligger Ny-Ålesund i en dal, så faktiske målinger for Kvadehuksletta kan avvike noe, med potensielt litt lavere temperaturer og mer nedbør.

På Kvadehuksletta er det kontinuerlig permafrost som strekker seg til en dybde på omtrent 100 m (Boike et al., 2018), mens det aktive laget varierer mellom 0,6 m og 1,5 m (Hallet og Prestrud, 1986; Motrøen et al., 2005). Den daglige gjennomsnittlige bakketemperaturer er -1,3 °C. Bakken begynner vanligvis å tine mot slutten av juni og begynner å fryse igjen ved slutten av september (Figur 0.3). Dette betyr at tineperioden varer i ca. 93 dager, mens fryseperioden strekker seg over omtrent 272 dager (data fra PANGAEA for perioden 2000-2017; Boike et al., 2018; Boike et al., 2017). Selv om en fryse-tine-syklus i Ny-Ålesund tar et helt år, forekommer det små årlige variasjoner, akkurat som på Juvflye, men i en mindre grad.

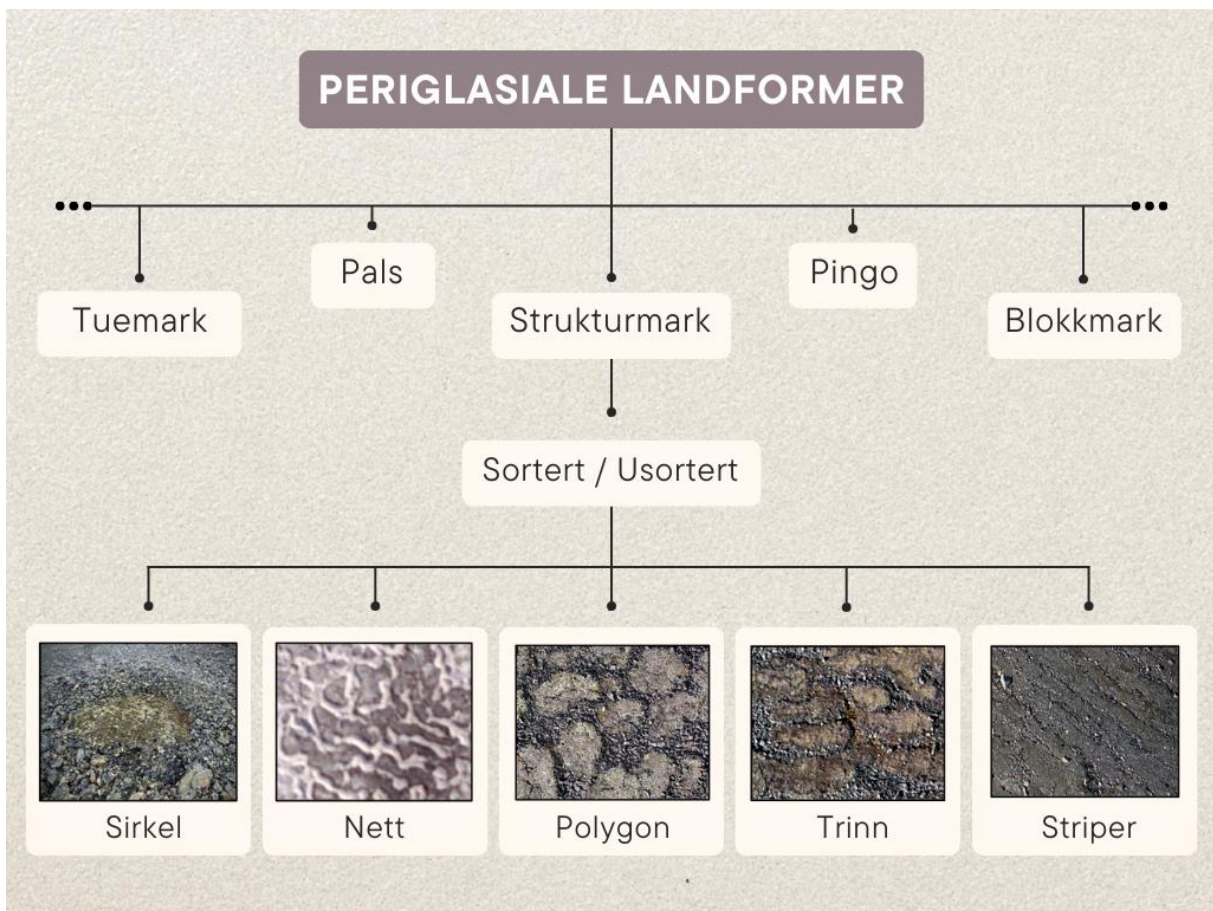
Det er uenighet om nøyaktig når Kvadehuksletta ble isfri. Noen teorier antyder at enkelte områder langs vestkysten av Svalbard, inkludert Kvadehuksletta, kan ha vært isfrie i sen Weichsel. Andre mener det først ble isfritt i Holocen (Dhindaw, 2017; Humlum et al., 2003).



Figur 2.5. Kart over studieområdet på Kvadehuksletta, Svalbard. Kilde til bakgrunnsbilde: ESRI World Imagery.

### 3 Teoretisk bakgrunn

Periglasiale landformer beskriver landformer som oppstår der klimaet er kaldt og frostprosesser dominerer. Dette er områder hvor det kan være alt fra kontinuerlig permafrost til sesongbasert frost i bakken. Ifølge French (2017) finner man periglasiale forhold der den årlige gjennomsnittlige lufttemperaturen er under 3°C. Noen periglasiale landformer er blant annet tuemark, palser, strukturmark, pingoer og blokkmark (Figur 3.1).



Figur 3.1. En oversikt over hvordan sirkler, nett, polygoner, trinn og striper hører til innunder periglasiale landformer. Bildet av sirklene er tatt av Åge Mikael Strand. Resten av bildene er fra ortofoto brukt i denne oppgaven.



I de periglasiøle områdene gjennomgår bakken flere sykluser med frysing og tining, og dette fører til frosthevning hvor bakken ekspanderer og løfter seg opp. Det er hovedsakelig to grunner til frosthevning (Hallet, 2013). Den primære grunnen er nålis som dannes nær overflaten. Nålis krever at lufttemperaturen er under 0 grader og at bakketemperaturer er over frysetemperatur. I tillegg må sedimentene være grove nok til at vannet lett kan strømme gjennom dem, men fine nok til at formasjonen av nålis blir forbeholdt i bakken. En blanding av sand og silt er den kornstørrelsen som har disse kriteriene og som egner seg godt til frosthevning (Warburton, 2013; Yamagishi og Matsuoka, 2015). Vann vil strømme oppover til frysefronten på grunn av kapillærkreftene og når vannet kommer i kontakt med den kalde luften, vil det fryse og danne små nålelignende isformasjoner. Nålis vil kunne vokse seg større ved tilførsel av vann og kan så dra med seg noe av den omkringliggende løsmassen oppover når den vokser, samtidig som den dytter sedimentene som ligger over den opp. På denne måten vil jorda heves.

Den sekundære grunnen til frosthevning ifølge Hallet (2013) er islinser som dannes i bakken. På grunn av vannets termodynamiske egenskaper, vil det vandre fra omkringliggende områder til frysefronten. Der vil det fryse til små islinser som vokser seg større ved tilførsel av mer vann. Islinser vil dermed presse mer på jorda rundt og vil kunne heve bakken oppover. Dannelsen av islinser skjer parallelt med overflaten, mens nålis vokser vertikalt.

Løsmassene i bakken består av ulike kornstørrelser og de vil bevege seg mot overflaten i forskjellig tempo gjennom flere fryse-tine-sykluser. Store steiner vil nå overflaten raskere enn mindre steiner (Hallet, 2013). Dersom frysefronten senkes ned til steinens overflate, vil bakken dra med seg steinen oppover. Dette vil skape et tomrom der steinen var, og omkringliggende sedimenter vil tette igjen hullet ved at bakken ekspanderer når den fryses. Når bakken så tiner vil sedimenter falle ned i hullet og vil forhindre at steinen faller tilbake til den opprinnelige plassen. Denne prosessen kalles «frost-pull» og er en av teoriene bak forflytning av steiner oppover (French, 2017; Washburn, 1979). Den andre teorien kalles «frost-push» og baserer seg på at det dannes islinser rundt undersiden av steinene som så dytter dem oppover. Når bakken tiner vil sedimentene rundt tette igjen hullet under steinen slik som i «frost-pull» teorien (French, 2017). Når disse prosessene foregår over flere 10-1000 år (Hallet, 2013), vil det sakte, men sikkert skje en sortering av bakken. Dette kan danne mange ulike mønstre på overflaten, kalt sortert strukturmark. De samme mønstrene finnes også som usortert, men da er det mer en variasjon av vegetasjonen eller sprekker som skaper mønstrene og ikke en sortering av kornstørrelse (Washburn, 1979).

I 1956 publiserte Washburn et forslag om 5 klassifiseringer av strukturmark hvor hver av dem kunne deles inn i usortert og sortert. Figur 3.1 viser hvordan periglasiale landformer og de fem klassene henger sammen. Washburn delte inn strukturene i:

Sirkler: usortert og sortert

Polygoner: usortert og sortert

Nett: usortert og sortert

Trinn: usortert og sortert

Striper: usortert og sortert

Strukturmarken kan i tillegg til formen inndeles etter størrelse (Harris et al., 2017).

Mikroformer beskriver de strukturene som har en diameter mindre enn 1m, og makroformene beskriver de som har en diameter på mellom 2-50 m. Strukturene blir styrt av kornstørrelsen i den grove kanten. Dersom de er store, vil strukturene også få en større diameter (Washburn, 1979).

I dag har klassene som Washburn foreslo i 1956, sklidd litt mer ut, og man snakker ofte bare om sirkler, polygoner og striper. Grunnen til dette er at fokuset i forskningen har gått over til hva som er drivkraften bak strukturene, noe det fremdeles diskuteres om. I 1956 foreslo Washburn 19 ulike hypoteser. I dag har forskningen hovedsakelig blitt enige om at det må være en konveksjonsliknende sirkulasjon i bakken som drives av fryse- og tineprosesser (French, 2017; Hallet, 2013; Kessler og Werner, 2003; Kääh et al., 2014). Nøyaktig hva som forårsaker denne sirkulasjonen er ikke kjent, men noen teorier nevner at det kan være differensiell frosthevning (Hallet, 2013), tetthets forskjeller i vann ved 0 °C og 4°C (French, 2017) eller forskjeller i bulkdensiteten i jorden under tining (Hallet, 2013).

Rune Ødegård skrev i 1986 hovedoppgave om «periglasiale former og permafrost ved Juvvasshytta i Jotunheimen» hvor han blant annet kartla området. Han brukte klassifiseringen etter Washburn, (1956), men slo sammen polygoner og nett. I denne masteroppgaven blir det hovedsakelig snakket om sirkler, polygoner og striper hvor polygoner og nett er slått sammen. Det samme er trinn og striper. I tillegg vil fokuset kun være på makroformer av sortert strukturmark siden det er det som finnes på Juvflye (Ødegård, 1986; Ødegård et al., 1988) og på Kvadehuksletta på Svalbard.

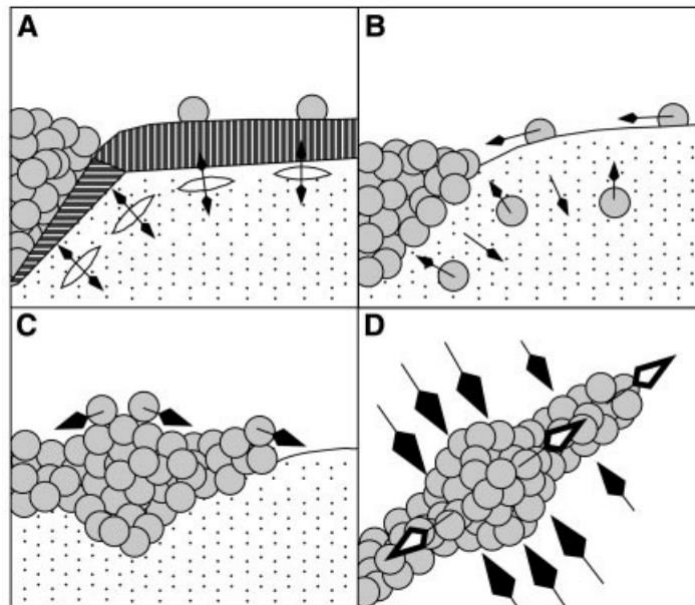
### 3.1 Sorterte steinsirkler

Sorted circles are patterned ground whose mesh is dominantly circular and has a sorted appearance commonly due to a border of stones surrounding finer material.

- Washburn (1979, s.129)

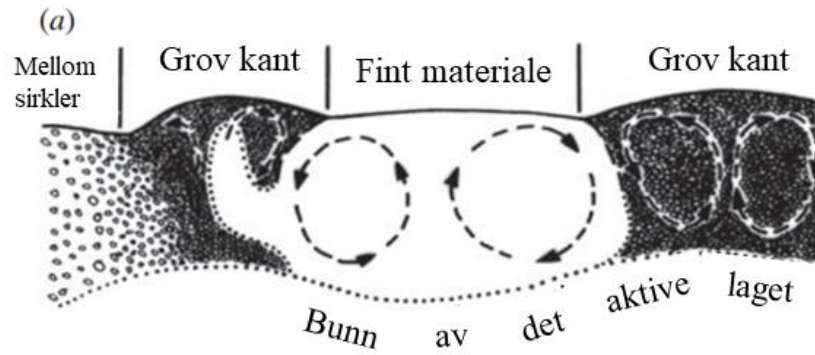
Som Washburn beskrev i 1979 kjennetegnes sorterte steinsirkler ved at de har en sirkulær form med en kant av grovt materiale og et senter med finmateriale. De fineste eksemplarene av sorterte steinsirkler finnes på Svalbard og det har blitt utført flere undersøkelser der (Etzelmüller, 1989; Etzelmüller og Sollid, 1991; Hallet, 2013; Hallet et al., 1988; Käab et al., 2014). Sirklene oppstår på flat bakke, og de har som regel en diameter mellom 3–4 m, inkludert den grove kanten som ofte er mellom 0.5–1 m bred (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986). Diameteren til det fine materialet varierer mellom 2–3 m. Det har en konveks form og er 50-100 mm høyere enn finmaterialet som ligger på grensa til det grove. Høyden på den grove kanten varierer mellom noen få mm til 0.5 m avhengig av området sirklene befinner seg på.

I Kessler og Werner (2003) blir det beskrevet at det fine materialet blir sortert sammen med det fine og at det grove materialet blir sortert med det grove (Figur 3.2). Når frysefronten beveger seg fra overflaten og ned, vil den forflytte seg raskere der det er store steiner enn der det er fint materiale. Dette på grunn av at det fine materialet inneholder vann som må fryses, mens det bare er luft der de større steinene befinner seg. Bakken hever seg normalt på frysefronten og fryseforskjellen mellom fint og grovt vil gjøre at bakken vil utvide seg mer til siden der det er grovt enn rett opp. Steiner som havner på toppen av det fine materialet vil forflytte seg til den grove kanten ved at de faller med tyngdekraften eller blir forflyttet av finmaterialet. Når bakken fryser vil den som nevnt utvide seg og det fine materialet vil skape et press på det grove. Dersom det blir nok steiner på et sted, vil de forflytte seg parallelt med presset fra det fine materialet.



Figur 3.2. A) Bakken fryser normalt på frysefronten. B) De grove steinene forflytter seg mot den grove kanten. Steinene på toppen faller ned eller forflyttes av det fine materialet. Steinene i bakken forflyttes normalt på frysefronten slik som finmaterialet rundt. C) Steinene forflytter seg bort fra områder som inneholder store mengder av steiner. Det jevnes mer ut. D) (Sett ovenfra) Finmaterialet vil presse på den grove kanten og skvise den utover. Figuren er hentet fra (Kessler og Werner, 2003)

Undersøkelser som har blitt gjort med plugger, malte steiner og andre måleinstrumenter, har vist at det fine materialet har en forflytning fra senter og utover mot kantene (Hallet, 2013). Den grove kanten beveger seg i motsatt retning, altså innover mot senter. En nyere metode, med hjelp fra «structure-from-motion», ble utført av Käab (2014) og viste en mer helhetlig forflytning av materialet. Det var tydelig at det fine materialet forflyttet seg fra et senter, som ikke nødvendigvis var i midten av sirkelen, og ut mot grensa til det grove. Sirklene har en horisontal bevegelse på 1-3 cm hvert år (Hallet, 2013; Käab et al., 2014). Forflytningen til løsmassene viser at det må være en konveksjonsliknende sirkulasjon bakken som drives av frysing og tining, og det vil ta 500 år før en sirkel er stabil (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986). I denne teorien er det det fine materialet som er aktivt og det grove materialet rundt som er passivt. Når det fine materialet fryser og tiner får det en utoverroterende sirkulasjon som vist i Figur 3.3. Den passive, grove kanten blir så dratt med ned i bakken, som i en subduksjonssone, av det aktive senteret. Dette skaper sirkulasjon i både det fine og det grove materialet.



Figur 3.3. Illustrasjon på hvordan den konveksjonsliknende sirkulasjonen foregår i steinsirklene. Det fine materialet holder mer på vann og fryser og tiner lettere enn den grove kanten. Dette skaper en aktiv bevegelse oppover når det fryser og bevegelse nedover når det tiner. I tillegg vil den aktive sirkulasjonen dra med seg den grove kanten og skape en sirkulasjon også der samtidig som steinene vil falle ned med gravitasjonen. Figuren er hentet fra (Hallet, 2013) og modifisert.

## 3.2 Sorterte polygoner og nett

Sorted polygons are patterned ground whose mesh is dominantly polygonal and has a sorted appearance due to a border of stones surrounding finer material... Nets are patterned ground whose mesh is neither dominantly circular nor polygonal.

- Washburn (1979, s.141-142; s.146)

Sorterte polygoner kan på mange måter likne på sorterte steinsirkler, men det som skiller dem fra hverandre er at polygonene har flere kanter. Nett blir i dag beskrevet på litt forskjellige måter. Washburn (1979) beskrev dem opprinnelig som former som ikke var dominant sirkulære eller polygonale, men i dag er det en litt mer uklar beskrivelse. Noen beskriver dem blant annet som flere polygoner eller sirkler som henger sammen som et slags nettverk (French, 2017). Polygoner og nett oppstår der terrenget er flatt, slik som sorterte sirkler. Křížek og Uxa (2013) undersøkte store sorterte polygoner på Krkonoše-fjellene i Sentral-Europa. De fant ut at polygonene hadde en gjennomsnittlig diameter på 1,94 m og en gjennomsnittlig høyde på 21,5 cm. Høyden ble målt fra det laveste punktet i det grove materialet til finmaterialets høyeste senter. I Washburn (1979) blir det beskrevet at de største polygonene kan få en diameter opptil 10 m eller mer. Det blir også nevnt at diameteren til polygonene vil avhenge av kornstørrelsen på den grove kanten. Hvis den består av store blokker, vil polygonene ha en større diameter enn om den består av små steiner.

Som med de sorterte sirklene, er det fremdeles ikke helt klart hvordan sorterte polygoner oppstår. Det man nå tror er at det er den samme prosessen som foregår i både sirklene og polygonene, nemlig en differensiell frostheving, men man har funnet bevis på at mange polygoner kan starte med et sprekkesystem (Ballantyne og Matthews, 1983; Chiasson og Allard, 2022; Harris et al., 2017; Hjort, 2006; Washburn, 1979). Det finnes tre ulike teorier om hvordan sprekke blir til: (1) ved sesongbasert frostsprengning, (2) ved utvidelsessprekker og (3) ved uttørkingssprekker. Ballantyne og Matthew (1983) undersøkte de sorterte polygonene ved Storbreen i Jotunheimen (hovedsakelig micropolygoner). De konkluderte med at polygonene i det området var blitt dannet av uttørkingssprekker. Ved dannelse av uttørkingssprekker, begynner først bakken å sprekke opp når den tørker inn.

Disse sprekkene vokser seg så større og større ved en sortering av fint og grovt materiale. Det fine materialet beveger seg inn mot senter, mens det grovere materialet beveger seg på overflaten ut mot sprekkene. De grovere kornene faller ned i sprekkene. Når jorda så blir mettet på vann, vil den utvide seg og sprekkene vil bli lukket igjen. Men siden de når har blitt fylt med steiner, forhindrer det sprekkantene i å møtes helt. Isteden fører det til en kompresjon og deformasjon av bakken rundt. Når jorda så tørker på nytt, vil sprekkene bli enda bredere og sannsynligvis dypere.

I Harris et al. (2017) blir det nevnt at de grove steinene i de sorterte sirklene på Plateau Mountain i Alberta, penetrerer 2,5 m ned i det aktive laget. I tillegg har sirklene et lineært nettverk som kan bli opptil 90 cm dypt. Dette blir forklart med at det kan ha blitt dannet iskiler i sprekkene langs den grove kanten som senere har smeltet og etterlatt seg en fordypning i bakken. Iskiler oppstår når det dannes sprekker i permafrosten på grunn av termisk sammentrekning av bakken (Black, 1976; Warburton, 2013). Sprekkene er vertikale og fylles igjen av vann som fryser til is. Deretter vil de vokse seg større gjennom flere år og kan danne et sprekkesystem som kalles «Ice-wedge polygons» eller iskile polygoner. Når sprekkene vokser, vil de presse det fine materialet sammen og oppover.

### 3.3 Sorterte trinn og striper

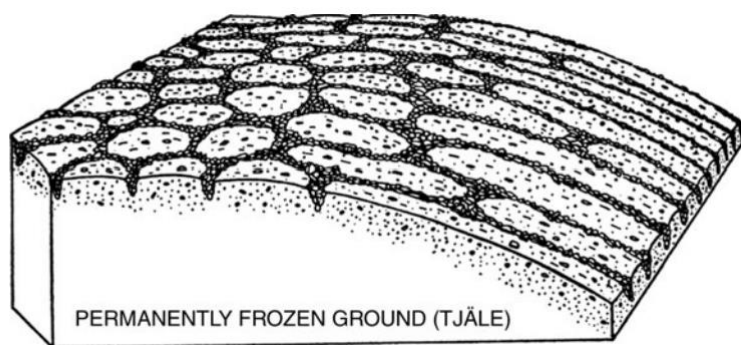
Steps are patterned ground with a step-like form and downslope border of vegetation or stones embanking an area of relatively bare ground upslope... Sorted stripes are patterned ground with a striped pattern and a sorted appearance due to parallel lines of stones and intervening stripes of finer material oriented down the steepest available slope.

- Washburn (1979, s.147; s.153)

Som med nett har trinn blitt mer og mer utelatt fra litteraturen i nyere tid, men de ble opprinnelig beskrevet som en overgangsfase mellom sirkler, polygoner og nett og striper (Washburn, 1979). Sorterte trinn og striper finnes i de områdene hvor det er litt helning og kjennetegnes av at de har den lengste aksens langsmed helningen. Det som skiller dem, er at trinnene har en grov kant på tvers av helningsretningen som deler dem opp. I tillegg vil et tverrsnitt av dem vise at de har et trappeliknende utseende. Polygoner og sirkler dannes som regel på flate områder og går sakte over til striper nærmere helninger (Figur 3.4; Harris et al., 2017). Sorterte striper følger hele helningen og blir ikke delt opp på tvers. Som navnet tilsier, har de et stripete mønster som veksler mellom fint og grovt materiale. Bredden på det fine materialet er som regel flere ganger større enn bredden på det grove.

Det har ikke blitt forsket like mye på striper, men det antas at de har den samme konveksjonsliknende sirkulasjonen som sirklene og polygonene. Det eneste er at de har gravitasjon som en ekstra faktor, og det antas derfor at det fine materialet i stripene skrur seg nedover skråningene og etterlater seg større steiner på kantene (Harris et al., 2017; Groos et al., 2021). En undersøkelse som ble gjort på Sanetti Plateau i Etiopia (Groos et al., 2021) viste at stripene der hadde en bredde mellom 5-15 m og at bredden ofte var 10-20 ganger større enn den gjennomsnittlige kornstørrelsen. De kunne bli opp til 1000 m lange og den grove kanten var renneformet og 2 m dyp. Disse funnene stemmer overens med Werner og Hallets numeriske modell som forteller at stripene kan bli alt fra cm til flere meter store og at bredden avhenger av steinens diameter (Werner og Hallet, 1993).





*Figur 3.4. Illustrasjon av hvordan polygoner eller sirkler sakte kan gå over til trinn og deretter striper i hellende terreng. Figuren er hentet fra (Harris et al., 2017)*

## 4 Innsamling av data og metoder

Dette kapittelet er delt inn i to delkapitler; 1) Innsamling av data og 2) Analytiske metoder. I det første delkapittelet presenteres først en oversiktstabell over all data som har blitt analysert i oppgaven, etterfulgt av en beskrivelse av datainnsamlingsprosessen. Det andre delkapittelet fokuserer på de analytiske metodene som har blitt benyttet for å oppnå resultatene.

### 4.1 Innsamling av data

Tabell 4.1 A-D viser en oversikt over hvilke data som ble analysert i denne masteroppgaven.

Tabell 4.1 A. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven.

Data	Dato	Innsamlings metode	Oppløsning Ortofoto	Oppløsning DTM	Notat
Ortofoto og DTM Kvadehukssletta, Svalbard	22.08.1970	Fly (NPI)	0,2	0,4	Prosessert av Luc Girod
Ortofoto Kvadehukssletta, Svalbard	2011	Fly (NPI)	0,2	-	Prosessert av Luc Girod
Ortofoto og DTM Kvadehukssletta, Svalbard	2021	Fly, SIOS	0,2	0,4	Prosessert av Luc Girod
Ortofoto og DTM 3 steinsirkler på Svalbard	05.08.2007	Kamera fra stige. Canon EOS 10D	0,002	0,002	Prosessert av Luc Girod
Ortofoto og DTM 3 steinsirkler på Svalbard	14.08.2010	Kamera fra stige. Canon EOS 10D	0,002	0,002	Prosessert av Luc Girod
Ortofoto og DTM Juvflye	01.09.2022	Drone	0,03	0,06	Drone ble fløyet av Simon Filhol. Prossesert av Sandra S. Jacobsen
Ortofoto og DTM Juvflye	01.09.2022	Drone	0,03	0,06	Drone ble fløyet av Simon Filhol. Prossesert av Sandra S. Jacobsen

Tabell 4.1 B. Fortsettelse av Tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven

Data	Dato	Innsamlings metode	Oppløsning Ortofoto	Oppløsning DTM	Notat
<b>LAS-fil av et polygon på Juvflye</b>	01.09.2022	Laserskann	-	-	7 852 744 LAS punkter. Samlet inn av Trond Eiken. Prossesert av Sandra S. Jacobsen
<b>Sedimentprøve fra felt</b>	31.08.2022	Gravde et 30 cm hull i midten av polygonet. Tok en håndfull sedimenter og la dem i en pose.	-	-	Ble silt og analysert etter kornstørrelse med hjelp fra Mufak Said Naoroz.
<b>Sedimentprøve fra felt</b>	31.08.2022	Gravde et 30 cm hull i midten av polygonet. Tok en håndfull sedimenter og la dem i en pose.	-	-	Ble silt og analysert etter kornstørrelse med hjelp fra Mufak Said Naoroz.
<b>Sedimentprøve fra felt</b>	31.08.2022	Gravde et 30 cm hull i midten av polygonet. Tok en håndfull sedimenter og la dem i en pose.	-	-	Ble silt og analysert etter kornstørrelse med hjelp fra Mufak Said Naoroz.
<b>Daglig bakketemperatur på Juvvasshøe</b>	17.09.1999 - 03.10.2022	Målestasjon på Juvvasshøe	-	-	Dataen er gitt av Bernd Eitzelmüller, (Eitzelmüller et al., 2020)
<b>Daglig bakketemperatur på Juvvasshøe</b>	17.09.1999 - 03.10.2022	Målestasjon på Juvvasshøe	-	-	Dataen er gitt av Bernd Eitzelmüller, (Eitzelmüller et al., 2020)

Tabell 4.1 C. Fortsettelse av tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven

Data	Dato	Innsamlings metode	Oppløsning Ortofoto	Oppløsning DTM	Notat
Bakketemperatur på Bayelva stasjon for hver time, Svalbard	2000 - 2017	Målestasjon på Bayelva	-	-	Hentet fra PANGEA (Boike et al., 2017)
Månedlig lufttemperatur på Juvvasshøe	1999 - 2022	Målestasjon på Juvvasshøe	-	-	Hentet fra eKlima databasen av met.no
Månedlig lufttemperatur og nedbør på Ny-Ålesund	1970 - 2022	Målestasjon på Ny-Ålesund	-	-	Hentet fra eKlima databasen av met.no
Ortofoto Juvfonne	17.09.2011		0,2	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	11.09.2015	Drone	0,06	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	13.09.2016	Drone	0,06	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	01.08.2017	Drone	0,04	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	26.08.2019	Drone	0,2	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	2021	Drone	0,02	-	Gitt av NVE
Ortofoto Juvfonne	23.08.2022		0,03	-	Gitt av NVE. Kredit: Innlandet fylkeskommune, det brearkeologiske sikringsprogrammet, Axel Hee Rømer
Ortofoto Juvflye	23.09.2017	Fly	0,25	-	Hentet fra Norge i bilder.
Shapefile av omkretsen til Juvfonne	2021		-	-	Gitt av NVE
Shapefile av omkretsen til Juvfonne	2019	Innsamling fra ortofoto	-	-	Gitt av NVE

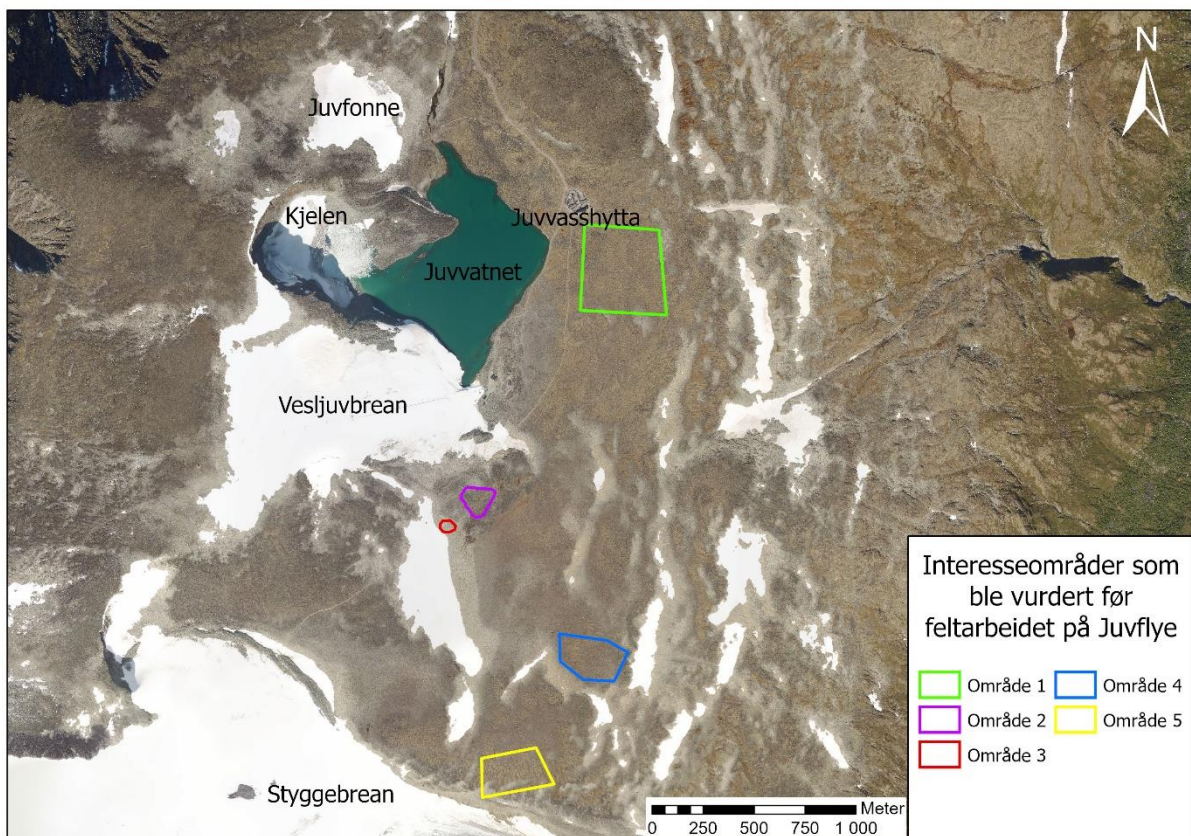
Tabell 4.1 D. Fortsettelse av tabell 4.1. En oversikt over hvilke data som har blitt analysert i denne masteroppgaven

Data	Dato	Innsamlings metode	Oppløsning Ortofoto	Oppløsning DTM	Notat
<b>Shapefile av omkretsen til Juvfonne</b>	2014	Innmåling til fots	-	-	Gitt av NVE
<b>Shapefile av omkretsen til Juvfonne</b>	2017	Innsamling fra ortofoto	-	-	Gitt av NVE
<b>Sedimentprøve fra felt</b>	31.08.2022	Gravde et 30 cm hull i midten av polygonet. Tok en håndfull sedimenter og la dem i en pose.	-	-	Ble silt og analysert etter kornstørrelse med hjelp fra Mufak Said Naoroz.
<b>Månedlig snødybde på Ny-Ålesund</b>	2009 - 2021	Målestasjon på Ny-Ålesund	-	-	Hentet fra eKlima databasen av met.no
<b>Månedlig snødybde på Juvvasshøe</b>	2012 - 2022	Målestasjon på Juvvasshøe	-	-	Hentet fra eKlima databasen av met.no

### 4.1.1 Felt

I løpet av sommeren 2022, ble det planlagt en ekskursjon til Juvflye for å bli nærmere kjent med studieområdet og strukturmarken som befinner seg der. Som et forarbeid ble ortofoto av Juvflye fra norgebilder.no brukt til å planlegge hvilke områder som kunne være interessante å undersøke i feltet. I tillegg ble det kvartærgeologiske kartet fra Ødegård et al. (1987) over Juvflye undersøkt for å se hvordan han kartla området. Ut fra dette ble 5 interesseområder markert som vist i Figur 4.1.:

- Område 1: lå nærme Juvvasshytta.
- Område 2: lå i nærheten av Vesljubrean og så ut til å ha tydelige polygoner.
- Område 3: lå i nærheten av en snø eller isfonn.
- Område 4: lå i et hellende terreng og inneholdt striper.
- Område 5: lå i et hellende terreng hvor stripene så ut til å være lenger og litt svingete.



*Figur 4.1. Oversikt over interesseområdene som ble vurdert før feltarbeidet på Juvflye. I felt ble områdene observert og vurdert for droneflyvning og skanning. Det ble tatt dronebilde av område 2,3 og 4 i tillegg til et laserskann i område 2. Kilde til bakgrunnsbilde: ortofoto (2017-09-32) hentet fra norgebilder.*

Totalt to dager ble brukt i felt på Juvflye, 31. august og 1. september 2022. Den første dagen gikk med til å undersøke de 5 ulike interesseområdene nærmere og bestemme hvilke områder dronen skulle fly og laserskannen tas fra.

I tillegg ble 2 polygoner og 1 stripe nærmere undersøkt. Først ble det tatt tre stikkprøver i midten av formene med en stikkspade for å måle dybden på det aktive laget. Planen var å gjøre dette med flere polygoner og striper for å kunne konkludere med hva som var dybden på det aktive laget, men det ble for kort tid til å måle flere strukturer enn 3. I tillegg er det mulig at stikkspaden traff større steiner og ikke permafrosten, samt at stikkspaden var for kort i noen av områdene. Derfor er ikke disse resultatene tatt med i resultatkapittelet.

Etter stikkprøvene ble det tatt sedimentprøver av de tre strukturene. Prøvene ble tatt ved å grave et 30 cm dypt hull i midten av strukturene og så ta ut en håndfull mengde med sedimenter som ble lagt i zip-posser.

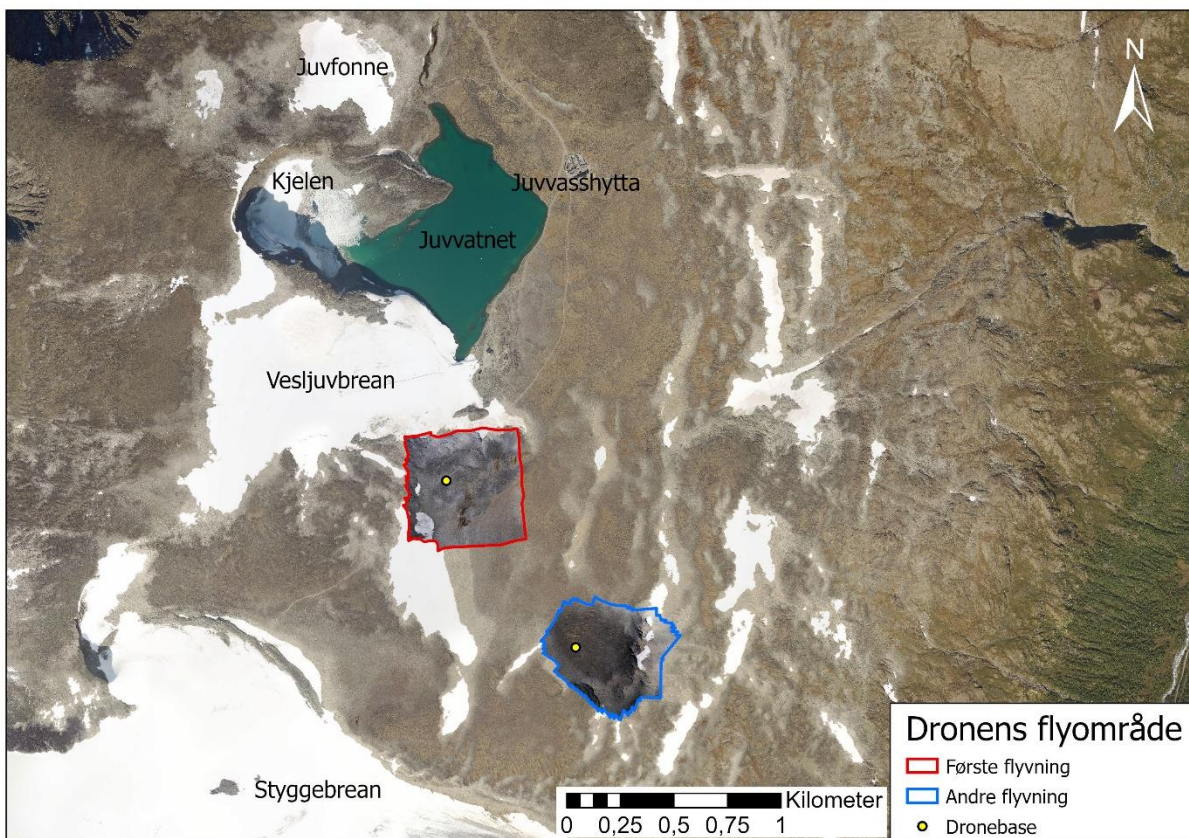
Til å måle koordinatene til polygonene og stripen, ble en håndholdt GPS (Garmin GPSmap 62SC) brukt. I tillegg ble strukturene beskrevet og andre observasjoner notert i feltboka, samtidig som det ble tatt flere bilder av strukturene med et iPhonekamera.

Dag nummer to gikk til å fly dronen over tre av interesseområdene og laserskanne ett av polygonene. I tillegg ble det tatt noen bilder av området rundt fronten av Juvfonne samtidig som området ble beskrevet i feltboka. Juvfonne har trukket seg tilbake de siste årene og området var derfor interessant for å se om det eventuelt hadde dukket opp ny strukturmark. Det ble ikke tatt noen målinger på stedet.

## 4.1.2 Drone

### *Innsamling av data*

Til å ta dronebildene, fikk jeg hjelp av Simon Filhol. Opprinnelig var planen å ta dronebilder av de 5 interesseområdene, men laderen til dronen var ikke tilgjengelig og det var kun nok strøm til å ta bilder av tre av områdene. Interesseområde 2 og 3 ble tatt i samme ortofoto (området i rødt, Figur 4.2) og flyvning nr. 2 ble gjort i interesseområde 4 (området i blått, Figur 4.2).



*Figur 4.2. Oversiktskart over dronens flyområder. Det røde området viser den første flyvningen og det blå viser andre flyvning. Det gule punktet viser hvor dronen lettet og landet. Kilde til bakgrunnsbilde: ortofoto (2017-09-23) hentet fra norgebilder.*

Dronen som ble fløyet var en DJI PHANTOM 4 RTK (Figur 4.3). Den fløy med 70 % tversgående krysspør (cross-track) og 80 % langsgående spor (along-track) og fløy i et firkantet frekvensmønster. Områdene den skulle fly over ble tegnet opp og lagt inn på dronens fjernkontroll dagen før. Dronen fløy med en høyde på 134 m og hadde en eksponeringstid på 1/1000 sek, største blenderåpning på 2.97 og en brennvidde på 9 mm. For å få mest mulig nøyaktige posisjoner, ble det satt opp en basestasjon ved Galdhøpiggen sommerskisenter.





*Figur 4.3. Bildet til venstre: dronen som ble fløyet på Juvflye. Her er den på vei opp til å ta bilder av stripene i flyområde 2. Bildet til høyre: Kontrollen til dronen. Skjermen viser banen dronen fløy i og bildet den akkurat tok (nede i venstre hjørne).*

### **Prosessering av dronedata**

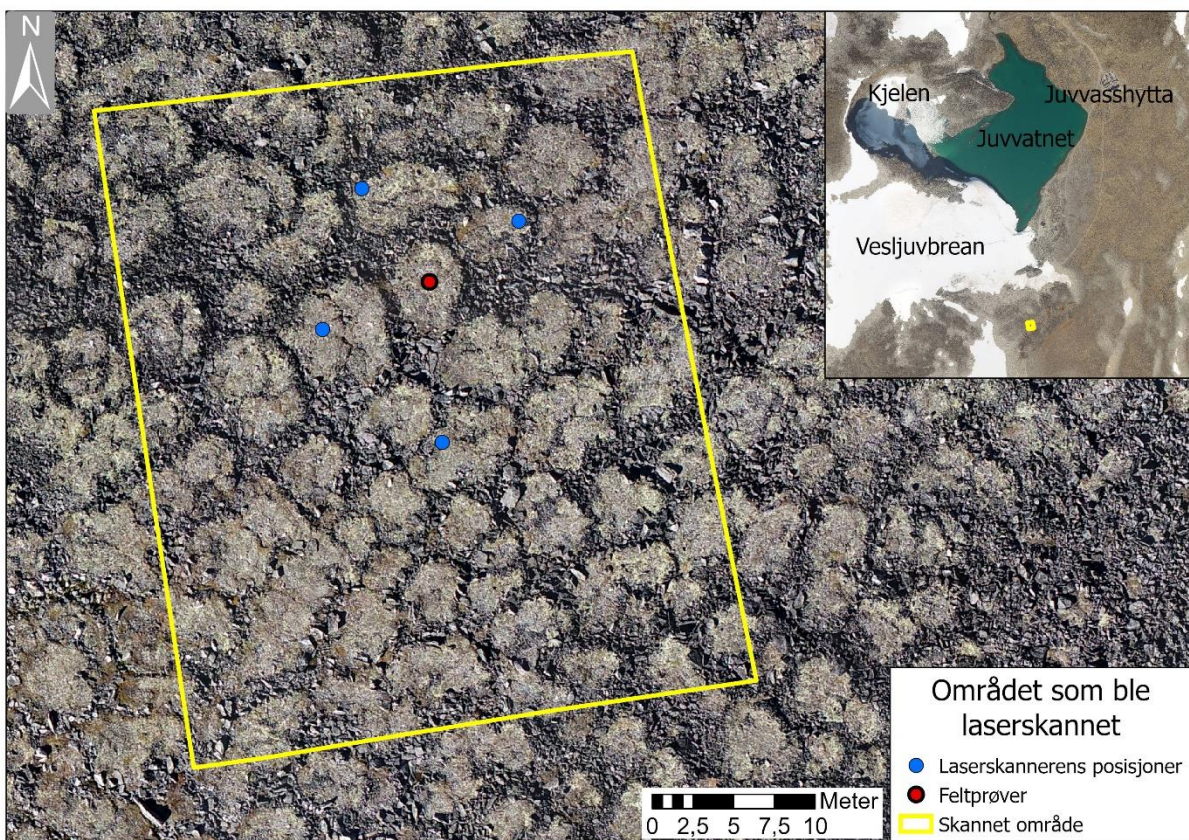
Sammen med dronebildene, ble det laget en Rinex-fil med posisjonene til dronen. Ved hjelp av programvaren RTK-Lib, ble disse konvertert til en observasjonsfil med de korrekte posisjonene fra basestasjonen som ble satt opp. Denne prosessen ble utført av Trond Eiken og ble videre brukt i prosesseringen av dronebildene.

Dronebildene ble satt sammen til en 3D-modell ved bruk av «Structure from motion»-teknologien som går ut på å estimere en tredimensjonal struktur ut fra et sett med todimensjonale bilder (Ullman, 1979). I dette tilfellet ble programvaren Agisoft Metashape brukt til å prosessere dronebildene. Først ble det lagd en punktsky og ut fra den, ble det både produsert en digital terrengmodell (DTM) og et ortofoto med en oppløsning på rundt 6 cm.

### 4.1.3 Laserskanning

#### *Innsamling av data*

Laserskannen ble utført av Trond Eiken og ble hovedsakelig tatt av det ene polygonet det ble tatt prøver av (rødt punkt, Figur 4.4). Laserskanneren som ble brukt var en Riegl VZ-1000 (Figur 4.5). Den ble plassert på 4 forskjellige steder rundt polygonet som vist i Figur 4.4 og skannet 360° rundt i hver plassering. I tillegg var et Nikon D800E kamera med et 14mm objektiv plassert på toppen av skanneren. Det tok fire bilder i fem forskjellige synsretninger fra hver posisjon. Dette ble gjort for å kunne legge farge på punktene.



*Figur 4.4. Oversiktskart over hvilket område som ble laserskannet. Det var hovedsakelig polygonet (rødt dott) som ble skannet, men skanningen ble gjort i 360° og et større område kom med. De blå dottene viser de fire posisjonene skanneren ble satt opp. Kilde til oversiktskart: ortofoto (2017-09-23) hentet fra norgeibiler. Hovedbildet er selv tatt med drone i felt.*



*Figur 4.5. Bilde av oppsettet til laserskanneren med kameraet på toppen. I bakgrunnen er det mulig å se stolpene på skisenteret som ble brukt til å georeferere skanningene. Pinnen foran i bildet er en reflektor.*

### **Prosessering av LAS-data**

Til å prosessere LAS-dataene ble programvaren RISCAN PRO brukt. Til sammen var det 4 filer med skanninger fra området. Disse ble importert inn i programmet og deretter georeferert etter et kjent punkt i skannet. I dette tilfellet ble stolpene på heisen i skisenteret brukt som et kjent punkt. I skanningene som ble gjort av området, kunne man enkelte steder se noen mennesker som sto og satt rundt. Dette ble til en viss grad filtrert bort, men noen deler var ikke mulig å fjerne uten å ta med deler av bakken. Derfor er noen kroppsdeler blitt værende. Til slutt ble skanningsområdet kortet ned til området som er markert i Figur 4.4 og antall punkter redusert til 7 852 744 punkter, slik at filen ikke skulle bli for stor å jobbe med. Videre ble den nye filen lagt inn i ArcGIS Pro hvor ulike målinger ble gjort.

#### 4.1.4 Andre data

I tillegg til dataene som ble samlet inn i felt, ble det brukt andre dataer i denne masteroppgaven.

For undersøkelser på Svalbard, ble det brukt 3 ortofotoer fra Kvadehuksletta. Et fra hvert av årene 1970, 2011 og 2021, hvor alle har en oppløsning på 20 cm. En DTM fra 1970 og en fra 2021 ble også testet ut, men oppløsningen på 40 cm var for dårlig til å gi noen resultater. I tillegg ble det brukt to ortofoto og DTM-er fra 2007 og 2010 av tre steinsirkler, som er beskrevet i Kääb et al. (2014). Disse hadde en oppløsning på 2 mm og var tatt med kamera fra en stige.

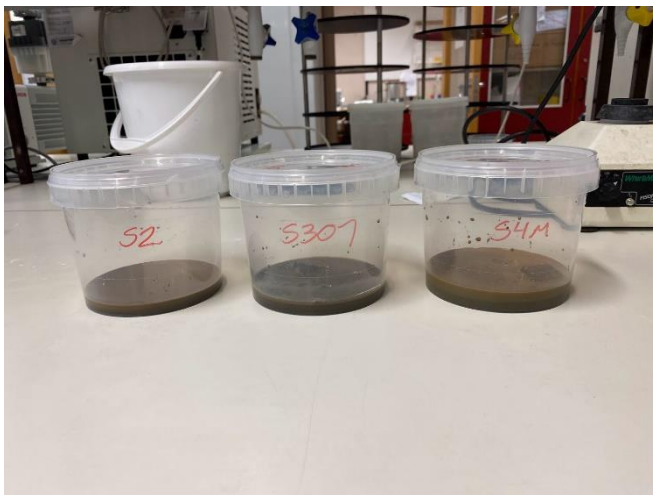
På Juvflye ble et ortofoto fra 2017 brukt som et oversiktsbilde. Dette ble hentet fra norgebilder. Av Juvfonne ble dronebilder fra 2011, 2015, 2016, 2019, 2021 (gitt av NVE) og 2022 (Innlandet fylkekommune, det brearkeologiske sikringsprogrammet, Axel Hee Rømer), undersøkt. De hadde ulik oppløsning som vist i Tabell 4.1 A-D. I tillegg til bildene ble «shapefiles» av omkretsen til Juvfonne fra 2014, 2017, 2019 og 2021 (gitt av NVE) undersøkt.

Dataene fra Juvvasshøe (lufttemperatur, snødybde og bakketemperatur), Ny-Ålesund (Lufttemperatur, nedbør og snødybde) og målingene fra Bayelva (Bakketemperatur) ble lastet ned og analysert i Excel. Gjennomsnittlig årlig lufttemperatur, snødybde, nedbør og bakketemperatur ble beregnet i tillegg til gjennomsnittlig lufttemperatur for vår, sommer, høst og vinter og antall dager for fryse-tine-sykluser. For fryse-tine-syklusene ble alle bakketemperaturene kategorisert i over 0 °C eller 0 °C og lavere. Deretter ble alle dager over 7 sammenhengende tine- eller fryse-dager regnet som en periode. Disse klima-dataene er vist i kapittel 2 Områdebeskrivelse.

## 4.2 Analytiske metoder

### 4.2.1 Sedimentprøver

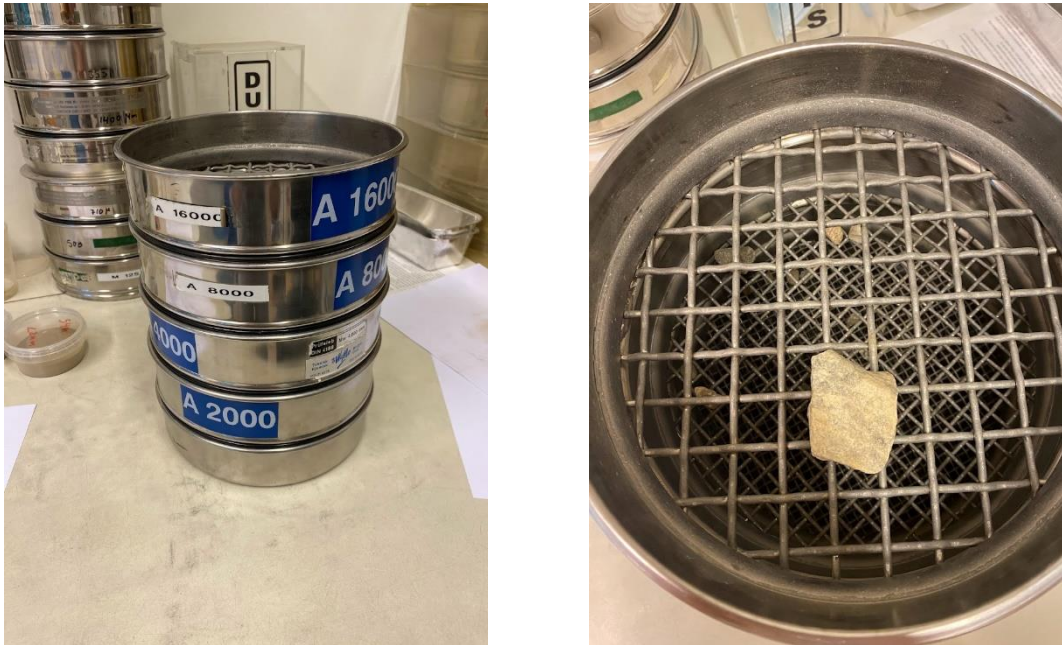
Etter feltarbeidet, ble sedimentprøvenes kornstørrelse analysert med hjelp fra Mufak Said Naoroz. Dette ble gjort på sedimentlabben ved Institutt for geofag på Universitetet i Oslo. Prøvene ble først lagt i hvert sitt beger og deretter tilsatt destillert vann for å løse opp prøvene (Figur 4.6). Det ble brukt destillert vann for å unngå ekstra partikler i vannet. For å løse opp sedimentprøvene helt, ble det brukt en glasspinne til å røre rundt i begrene. Deretter ble prøvene plassert i fryseren hvor de sto i noen dager til alt var fryst.



*Figur 4.6. Venstre: De tre sedimentprøvene etter at de har blitt oppløst med destillert vann. Høyre: De tre sedimentprøvene i fryse-tørkeren etter å ha stått i fryseren i et par døgn.*

Etter dette, ble sedimentprøvene plassert i en fryse-tørker hvor de sto i over et døgn (Figur 4.6). Maskinen gjør isen direkte om til gass, sublimasjon. På den måten vil ikke sedimentene bli sementert sammen, og man unngår å måtte løse de opp med en glasspinne og risikere å ødelegge kornene. Maskinen var en Christ Alpha 1-4 LD plus. Temperaturen ble satt til -55 og vakuemet til 0.040 mbar.

Da fryse-tørkingen var ferdig, ble prøvene silt for hånd. Det ble brukt 4 ulike siler (Figur 4.7): en med maskevidde på 16000  $\mu\text{m}$ , en med 8000  $\mu\text{m}$ , en med 4000  $\mu\text{m}$  og en med 2000  $\mu\text{m}$ . Det fineste materialet som var mindre enn 2 mm ble så analysert i en lasergranulometer. Instrumentet var en Beckman Coulter LS13 320 som bruker laserstråler til å analysere kornstørrelsene. Strålene treffer partiklene og brytes med en bestemt vinkel som avhenger av partiklenes størrelse. Partikkelstørrelsene vil så gi et bestemt mønster (diffractogram).



*Figur 4.7. Venstre: Silene som ble brukt til å fordele kornstørrelsen til sedimentene. Høyre: Maskeviddene til silene.*

Rundt 0,25 g av de fineste sedimentene ble tatt ut og lagt i et lite beger som deretter ble tilsatt natriumpyrofosfat. Begeret ble så satt i et vannbad hvor det ble behandlet med ultralyd i noen minutter for å løse opp sedimentene så mye som mulig. Lasergranulometeret trenger mellom 8-12 % oppløst materiale for å kunne analysere prøvene. Etter vannbadet ble innholdet i begeret helt oppi prøvebeholderen i granulometeret og deretter målt av laseren. Resultatet ble vist som en graf på datamaskinen, som var koblet opp til instrumentet, og ble så lagret i Excel sammen med resultatene fra silingen.

## 4.2.2 ArcGIS Pro

For å analysere ortofotoene og DTM-ene fra Svalbard og Juvflye, ble programvaren ArcGIS Pro brukt. Analysene som ble gjort var å se på forandringer mellom år og måle diameter og mikrotopografisk høyde samt å lage profiler av utvalgte strukturer. Alle målingene ble til slutt samlet i ulike Excel-ark hvor gjennomsnitt, standardfeil og standardavvik ble beregnet for høyde og diameter. Disse statistiske målene ble valgt for å gi en oversikt over sentraltendens og variabilitet til målingene, samt å vurdere usikkerhet. Videre i dette kapitlet vil det bli nærmere forklart hvordan målingene ble utført og hvilke verktøy som ble brukt.

### ***Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard***

Ortofotoene av Kvadehuksletta ble sammenlignet for å se om sirklene på sletta hadde forandret seg på 51 år. Først ble området delt inn i ruter på 150 m x 150 m som til sammen ble 994 ruter. Deretter ble hver rute grovt kategorisert ut fra om de inneholdt sirkler, samtidig som det ble notert ned om sirklene var synlige eller ikke på ortofotoene fra 1970, 2011 og 2021.

På runde nummer 2, ble en og en rute undersøkt nærmere for å finne eventuelle forandringer mellom de ulike årene. De tre ortofotoene ble slått av og på i innholdspanelet (Contents pane) for å vise bildene før og etter. Forandringene som ble oppdaget ble ringet rundt på en shapefile. I tillegg ble det tegnet et punkt midt i sirkelen på en annen shapefile for å finne koordinatene til området. Forandringene ble beskrevet i egenskapstabellen (attribute table) til rutenettet.

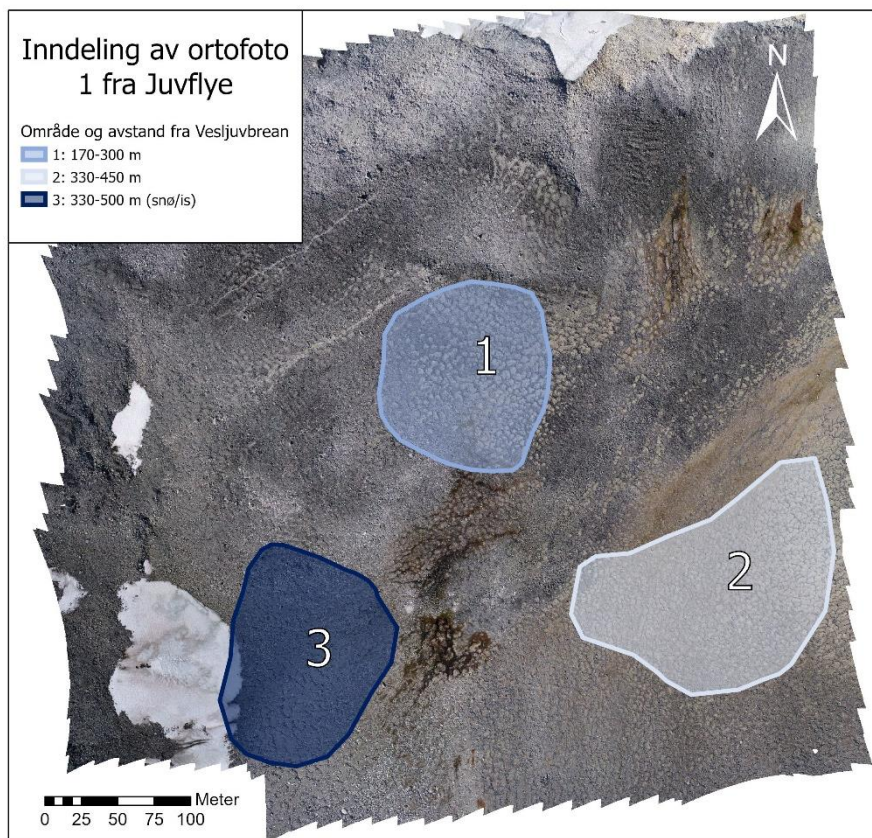
### ***Diameter***

Det ble målt diameter av finmaterialet til strukturene og av hele strukturen både på Svalbard og på Juvflye. Diameterne ble tegnet inn i en ny shapefile, som så ble målt med målingsverktøyet og deretter skrevet inn i egenskapstabellen til shapefilen.

På Svalbard ble ortofotoet fra 2021 brukt til å måle diameteren til 20 tilfeldige sirkler. På Juvflye ble ortofoto og mikrotopografilag (beskrevet i kapitlet Mikrotopografi) fra droneområdene fra felt, brukt til å finne diameterne til polygonene og stripene. Ortofotoet fra den første droneflyvningen (Figur 4.2) som ble tatt nærmest Vesljuvbreen, ble delt inn i 3 områder (Figur 4.8), mens hele det andre ortofotoet var et eget område (Figur 4.2). Det ble tatt to målinger av 10 tilfeldige polygoner og striper i hvert område for å få et bredere resultat av

strukturene, siden polygonene ikke nødvendigvis har den samme bredden rundt hele. Stripene ble målt langsmed helningen (lengde) og på tvers av helningen (bredde). Det var ikke lett å se hvor polygonene og stripene startet og sluttet, og diameterne til hele polygonet og lengden til stripene er derfor omtrentlig. Det fine materialet på polygonene og bredden til stripene var lettere å se.

Alle diametermålingene ble til slutt samlet i et Excel-ark hvor gjennomsnitt, standardavvik og standardfeil ble beregnet for hvert område og for alle polygonene sammen.



*Figur 4.8. De tre områdene ortofoto 1 ble delt inn i. Bakgrunnsbildet er ortofotoet fra den første flyvningen på Juvflye.*



## **Mikrotopografi**

To metoder ble brukt til å måle høyden på det fine materialet, den grovere kanten og overgangen mellom fint og grovt på Svalbard og Juvflye. Først ble den underliggende helningen til områdene filtrert bort ved hjelp av verktøyene *Focal Statistics* og *Raster Calculator*. *Focal Statistics* filtrerte ut de lave frekvensene i DTMen og gjorde det om til en ny raster med den underliggende helningen i området. Deretter ble *Rasterkalkulatoren* brukt til å ta de originale DTMen og trekke fra rasteren med den lave frekvensen for å få en ny raster med mikrotopografien til områdene. Videre målinger av høyden ble utført på forskjellige måter på Svalbard og Juvflye. Begge tok utgangspunkt i rasterfilen som inneholdt den beregnede mikrotopografien. Resultatene hadde blitt like uansett hvilken metode man valgte, men metoden for Juvflye var raskere.

På Svalbard ble ortofotoet og DTMen fra 2010 av de tre steinsirkene på Kvadehukssletta brukt til å finne mikrotopografien. DTMen fra hele sletta hadde for liten oppløsning til å få et godt resultat av høyden til steinsirkene og dermed ble de tre sirkene brukt isteden. For å måle høyden til sirkene ble verktøyet *Elevation Profile* brukt. Det ga høydeprofil av linjene som ble tegnet opp nord-sør og vest-øst på sirkene i kartet. I tillegg ble et høydeprofil med alle de 3 sirkene lagret.

Høyden på Juvflye ble målt ved å først lage en shapefile som inneholdt informasjon om høyde og deretter tegne opp 5 punkter langs linjene til diameterne; to punkter i det grove, et i senter og to i overgangen fra fint til grovt. Videre ble høyden til punktene beregnet ved hjelp av verktøyet *Extract Multi Values to Points*. Deretter ble punktene som ble tegnet opp lengst til venstre i polygonet slått sammen til en høyde og punktene lengst til høyre. For stripene ble punktene på toppen og i bunnen av helningen slått sammen og punktene på hver side av bredden. Ortofotoet og DTMen fra dronen ble brukt til disse målingene. Høyden ble målt på de samme polygonee og stripene som det ble målt diameterne av. Også for høyden ble det gjort 2 målinger for hver struktur.

I tillegg til de punktvis høydemålingene, ble det laget et høydeprofil av tre av polygonene i område 1 på Juvflye. Dette ble gjort på samme måte som på Svalbard, ved hjelp av verktøyet *Elevation Profile*. Alle polygonene lå innenfor området som ble laserskannet (Figur 4.4) og et av dem var det det ble tatt prøver av i felt. Det ble derfor i tillegg laget et høydeprofil med målinger fra skannet. LAS-filen ble først konvertert til en rasterfil ved hjelp av verktøyet *LAS Dataset to Raster* før høydeprofilen ble kalkulert med *Elevation Profile*.

Til slutt ble høydene fra Kvadehuksletta og Juvflye samlet i et Excel-ark. Deretter ble det regnet ut gjennomsnitt, standardavvik og standardfeil for polygonene og sirklene. Høydene fra Juvflye ble delt inn etter område, men det ble også beregnet et felles gjennomsnitt, standardfeil og standardavvik for alle polygonene.

### **Juvfonna**

Observasjonene fra felt gjorde det interessant å undersøke hvordan området så ut for flere år siden. NVE har fulgt med på tilbaketrekningen av isfonna og har jevnlig tatt dronebilder og målinger av den. Bilder fra 2011, 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 og 2022 ble nærmere undersøkt i ArcGIS og mulige strukturer ble markert på en ny shapefile. I tillegg ble omriss av fonna gjennom årene lagt inn eller tegnet opp. For å finne forandringer rundt fonna, ble det forsøkt å bruke et «Image Mathcing»-program. Ideen var å først oppdage eventuelle påbegynnende nye strukturer og så måle hvor mye de hadde vokst i løpet av en 10 års periode. Programvaren *Correlation Image Analysis Software* (CIAS) ble testet til dette av Andreas Max Kääb, men dessverre hadde dronebildene for dårlig oppløsning og var for dårlig georeferert til en så presis oppgave på cm-nivå.

# 5 Resultater

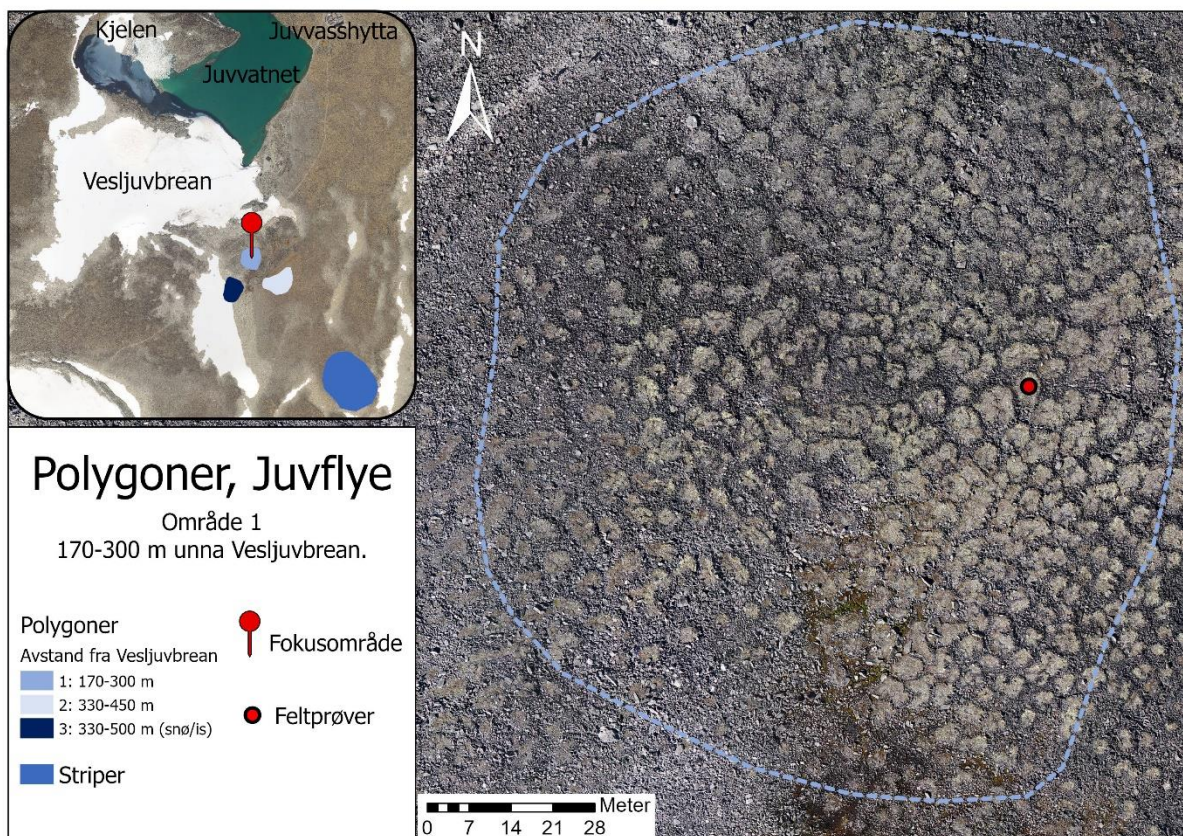
## 5.1 Resultater fra Juvflye

### 5.1.1 Observasjoner fra felt

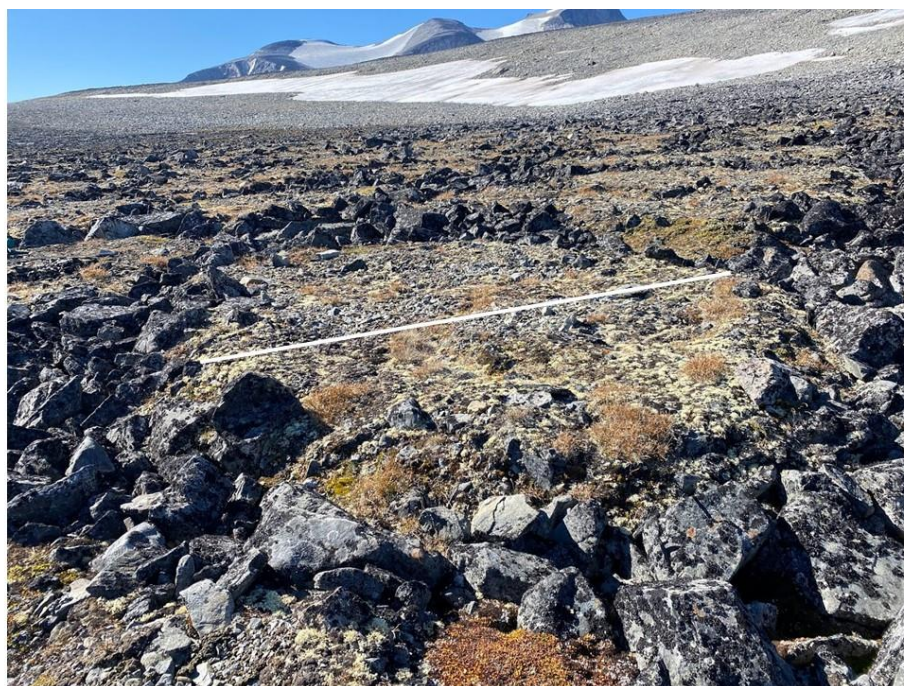
På Juvflye kunne områdene som ble undersøkt i felt, grovt deles inn i 5 områder. 3 av dem var områder med polygoner med ulik avstand fra Vesljuvbreen, et område hadde striper og det siste var et område rundt Juvfonne. Videre i dette delkapittelet blir hvert område beskrevet ut fra observasjonene fra feltarbeidet:

#### *Polygoner, Område 1*

Område 1 lå 170-300 m unna Vesljuvbreen og var området som lå nærmest breen (Figur 5.1). Området hadde ingen merkbar helning og inneholdt mange store polygoner. Finmaterialet var høyere enn grovmaterialet rundt og sentrene kunne minne om vannliljeblader på et vann. På overflaten av sentrene lå det steiner på størrelse med en knyttneve. Rundt sentrene så det ut til å være dype og brede sprekker som var fylt med blokker på 0,2 m-1 m (Figur 5.2). I midten av polygonene var det mye vegetasjon, som mose, lav og diverse strå/gress. Blokkene i den grove kanten var dekket med lav. Mengden vegetasjon på polygonene, tyder på at de var lite aktive.



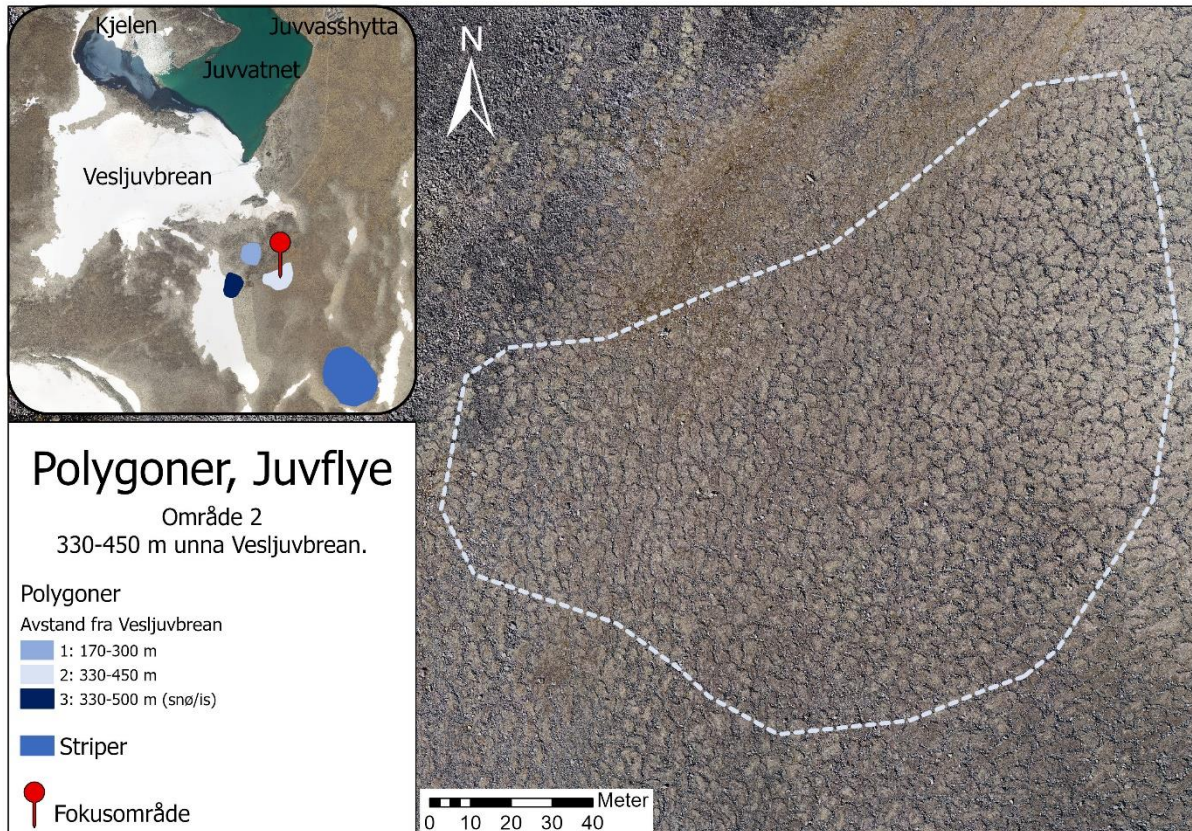
Figur 5.1. Oversiktskart over område 1 av polygonene på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).



Figur 5.2. Et eksempel på hvordan polygonene så ut i område 1. Det ble tatt feltprøver av polygonet i fokus. Den hvite stripen er 4,5 m.

## Polygoner, Område 2

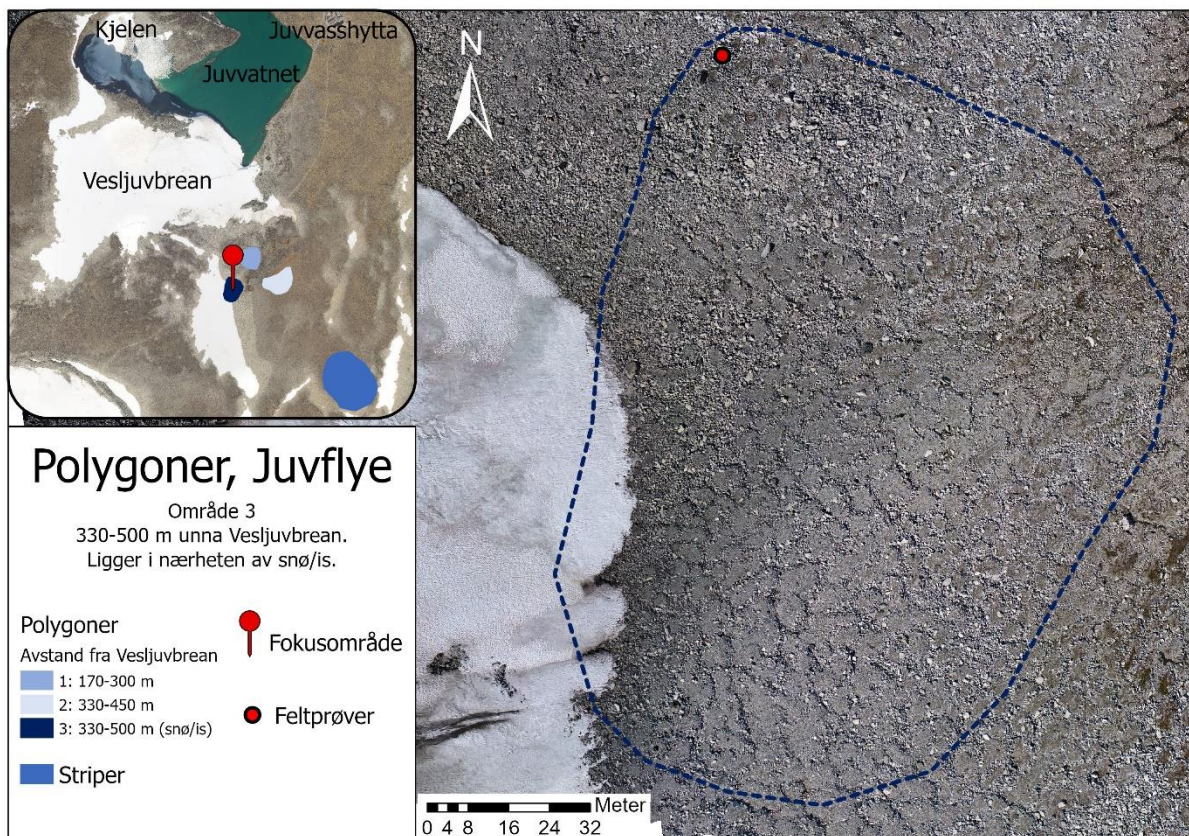
Område 2 (Figur 5.3) lå 330-450 m unna Vesljuvbrean og lignet på område 1. Også her var det ingen merkbar helning, og polygonene var dekket med vegetasjon som i område 1. Det var derimot et inntrykk av at den grove kanten var smalere i dette området og at polygonene lå tettere sammen enn i område 1.



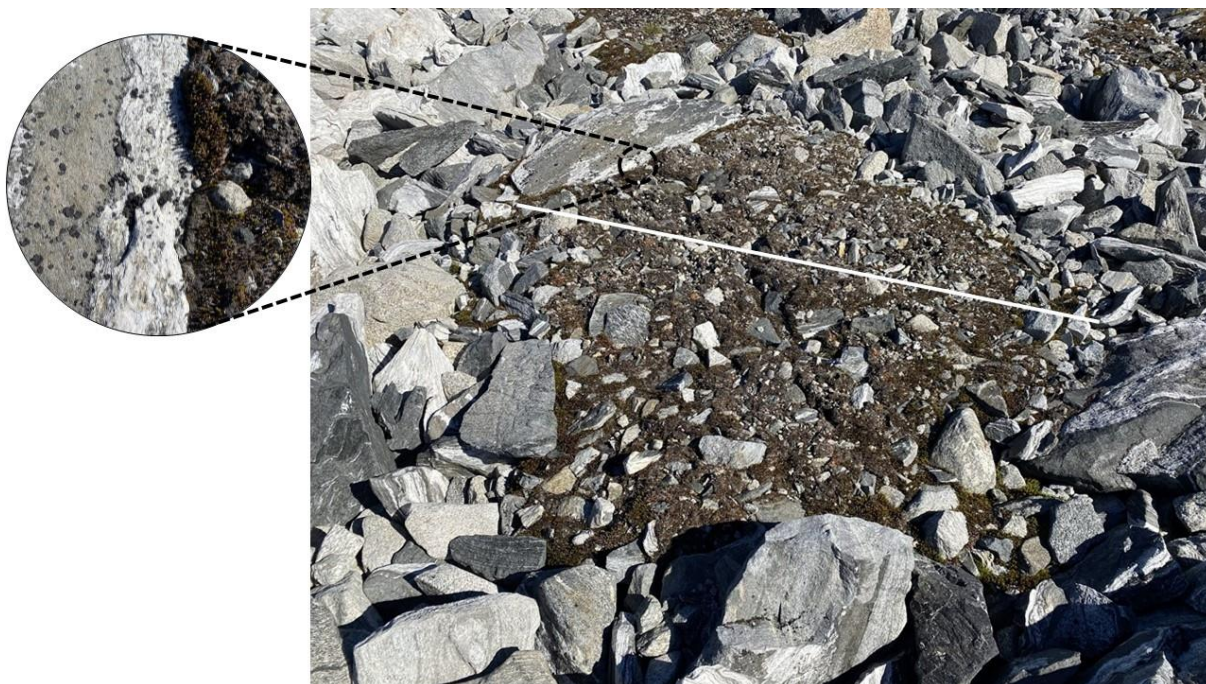
Figur 5.3. Oversiktskart over område 2 av polygonene på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).

### **Polygoner, Område 3**

Område 3 (Figur 5.4) lå 330-500 m unna Vesljuvbrean og lå i nærheten av en snø- eller isfonn. I dette området var det litt helning, og polygonene var mindre enn i område 1 og 2. Rundt der feltprøven ble tatt, så det ut til at sedimentene nokså nylig hadde begynt å sortere seg. Området så litt ut som en blokkmark med noen flekker av fine sedimenter. Inntrykket her var at den grove kanten var høyere enn finmaterialet i midten. Polygonene i dette området var altså motsatt av polygonene i område 1 og 2 hvor finmaterialet var høyest. I område 3 lå polygonene trappevis nedover helningen. I tillegg var det lite vegetasjon å se (Figur 5.5). Den grove kanten hadde noen få flekker med lav, mens det i det fine materialet vokste mose. I senteret var det også større steiner på overflaten og totalt sett ga observasjonene et inntrykk av at polygonene fremdeles var litt aktive her.



Figur 5.4. Oversiktskart over område 3 av polygonene på Juvflye.. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).

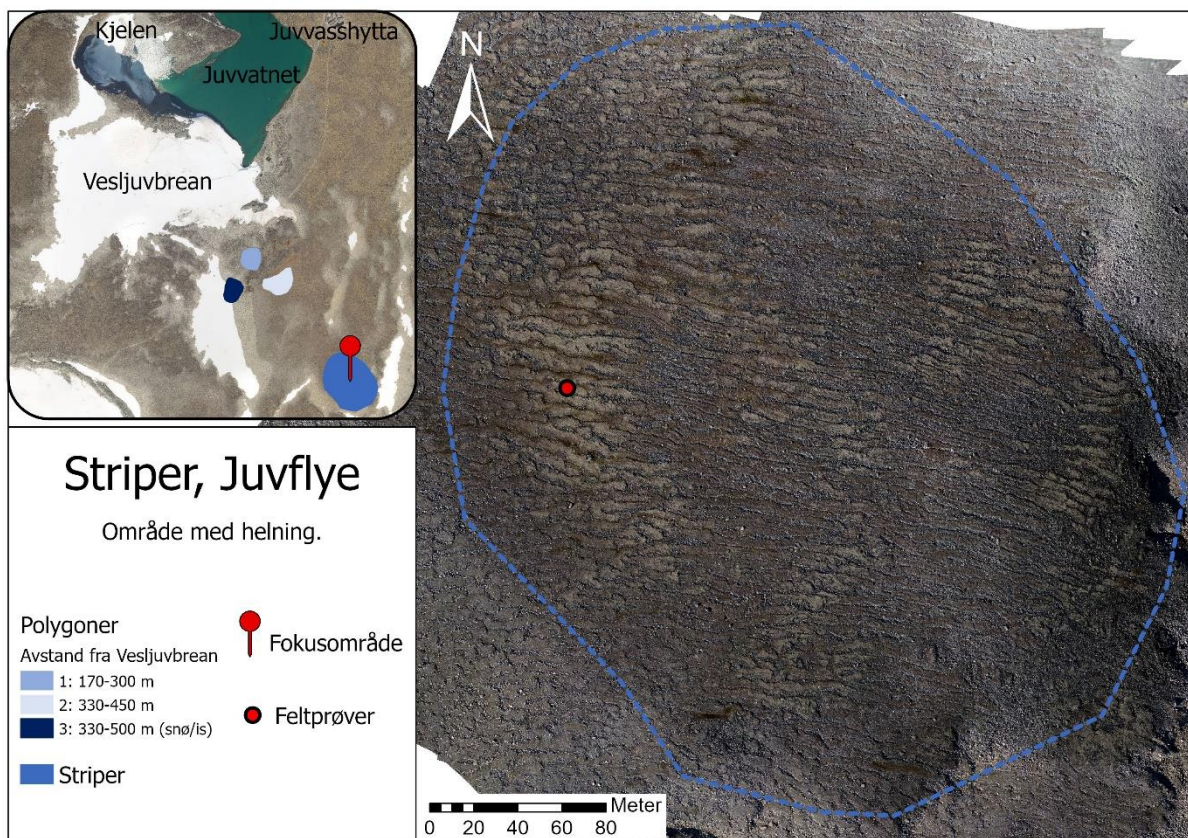


*Figur 5.5. Eksempel på hvordan et av de mindre polygonene i område 3 så ut. På det forstørrede bildet kan man se noen få flekker av lav og litt mose. Den hvite streken er 2,3 m. Det ble tatt feltprøver av dette polygonet.*

### **Striper**

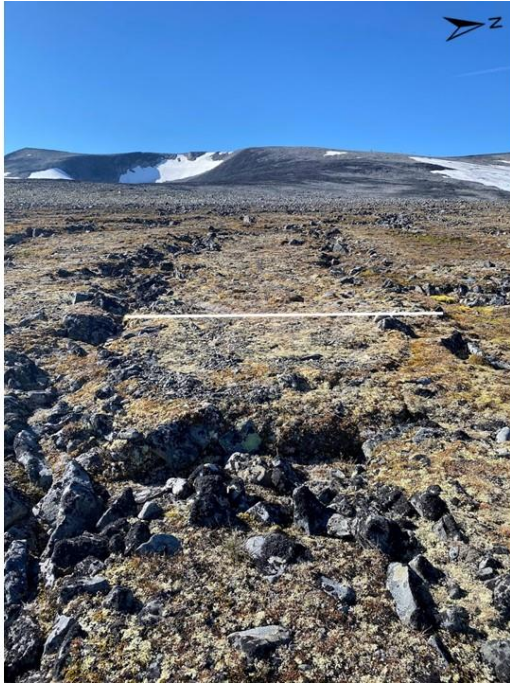
I nærheten av helningene på Juvflye, kunne man se en forandring i strukturene. Polygonene ble mer og mer langstrakte i retningen med helningene og utviklet seg til trinn og striper. I området markert i Figur 5.6, var helningen omtrent  $5-14^\circ$ . Stripene hadde varierende lengder, men inntrykket var at de var omtrent like brede. Det er mulig at noen av dem kunne beskrives som trinn etter Washburns (1979) kategorisering, siden noen av dem så ut til å være høyere lengst ned i skråningen og lavere på starten av strukturen (Figur 5.7). I denne oppgaven blir uansett alle de langstrakte strukturene beskrevet som striper.

Stripene som ble undersøkt i feltområdet, kunne minne om lange polygoner med et senter av fint materiale med en grov kant rundt. De hadde uregelmessige linjer nedover skråningen i tillegg til at de hadde en start og en slutt som var avrundet med blokker (Figur 5.8). Sentrene var dekket med vegetasjon som mose, lav, gress og andre planter. I tillegg lå det noen større steiner på overflaten, men de var ikke like lette å se på grunn av vegetasjonen. Blokkene i den grove kanten lå i dype forsenkninger og var dekket med ulike typer lav og mose. Noen steder var de så gjengrodde av mose at de nesten gikk i ett med sentrene i midten og nabostripene.



*Figur 5.6. Oversiktskart over området med striper på Juvflye. Oversiktskartet er hentet fra Norgebilder (2017-09-23) og nærbildet av polygonene er tatt selv med drone i felt (2022-09-01).*





*Figur 5.7. Et eksempel på hvordan stripene så ut på Juvflye. Dette er også stripen det ble tatt feltprøver av. Den hvite streken i bildene er 4 m. Bildet til venstre er tatt oppover helningen. Det er mulig å se at det er et lite trinn ned der stripen slutter fremst i bildet. Bildet til høyre er tatt nedover skråningen.*



*Figur 5.8. Det var tydelig at enkelte av stripene ble avrundet av en grov kant. Den hvite streken i bildet er ca. 4 meter.*

## **Juvfonne**

Ved foten av Juvfonne lå det et blokkhav av steiner, og noen steder dukket det opp flekker av fint materiale med en diameter på rundt 1-1.5 m (Figur 5.9). I dette området var det tydelig at blokkene rundt var høyere enn finmaterialet. Det var ingen vegetasjon på blokkene i det grove materialet, men litt mose i det fine.



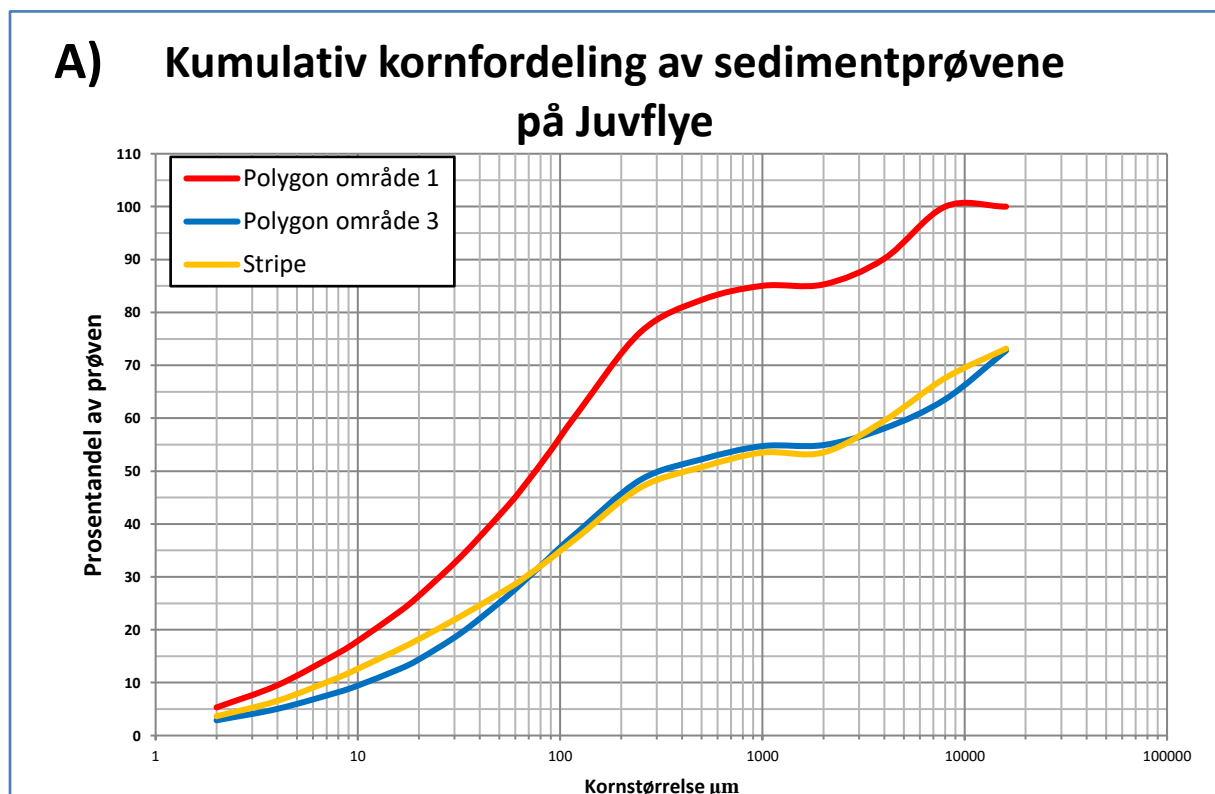
*Figur 5.9. Blokkhavet foran Juvfonne hvor det ser ut til å dukke opp nye polygoner. Juvfonne ligger til venstre i bildet til høyre.*

## 5.1.2 Sedimentprøver

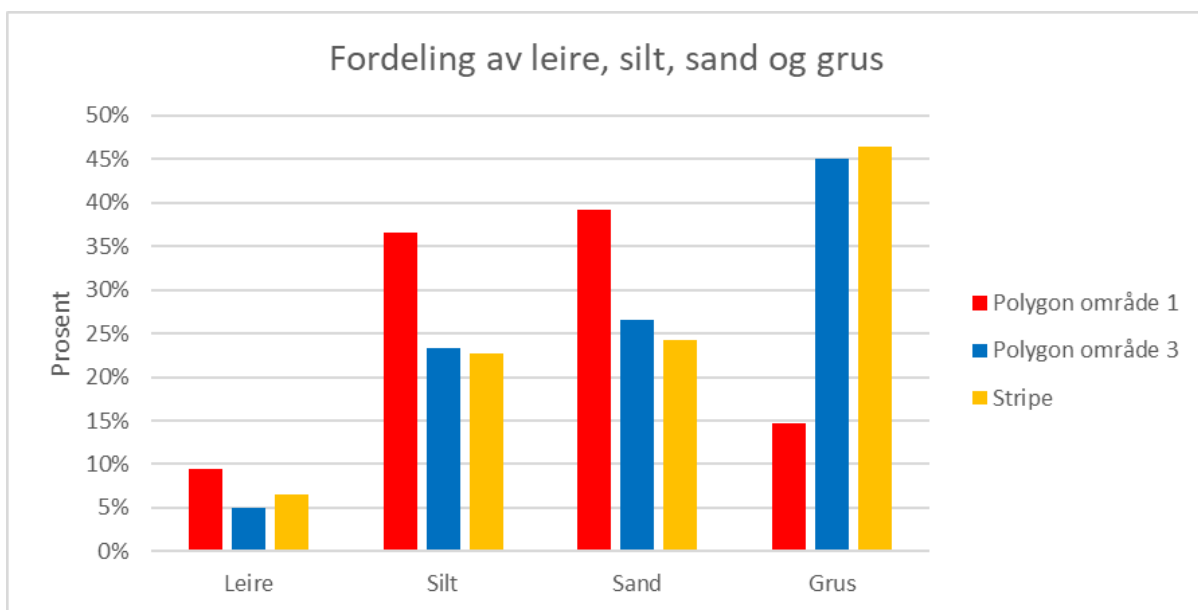
Resultatene av kornfordelingsanalysene fra Juvflye, som omfatter to polygoner og en stripe, tyder på minimale forskjeller mellom kornfordelingene. Den kumulative kurven, vist i Figur 5.10, fremstiller den prosentvise kornfordelingen av prøvene basert på den totale vekten.

Diagrammet i Figur 5.11 viser en grovere fordeling av prøvene og er inndelt i leire, silt, sand og grus. Både den kumulative kurven og diagrammet tyder på at det er mest sand og silt i polygonet i område 1, mens de to andre prøvene inneholdt prosentvis mest grus. I alle prøvene var det minst leire.

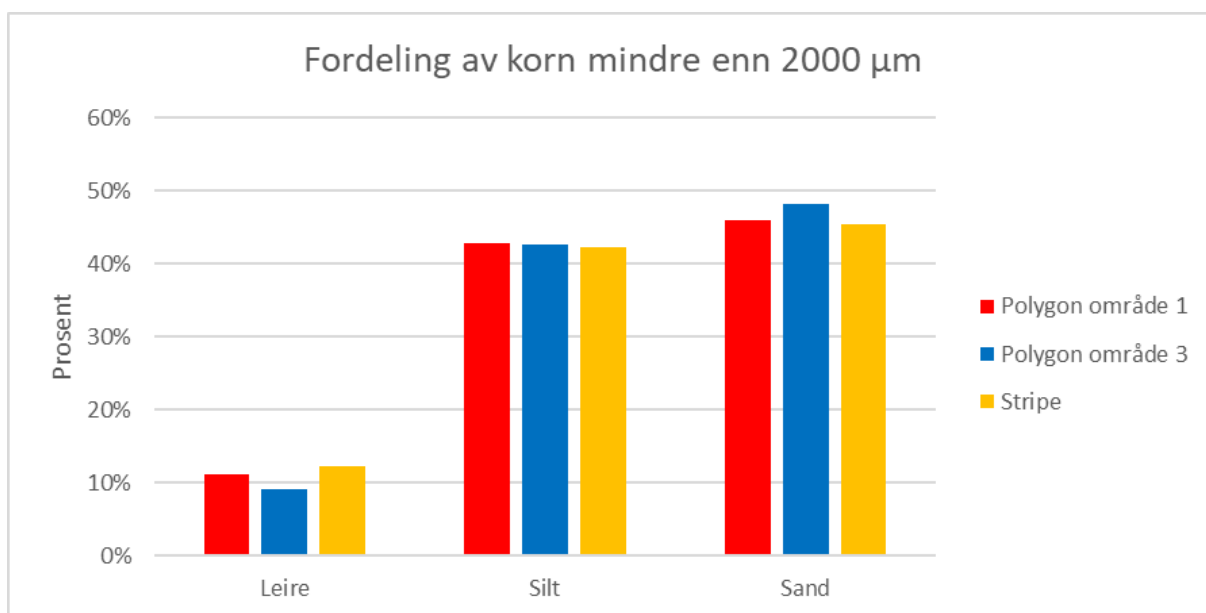
De to siste prøvene inneholdt større steiner, i motsetning til prøven fra område 1. På grunn av dette ble det laget et plott som kun fokuserer på kornstørrelser under 2000  $\mu\text{m}$  (Figur 5.12). Dette gjør prøvene mer sammenlignbare, spesielt siden større steiner også ble observert i område 1, men ikke tatt med i prøvetagningen, og at kornene mindre enn 2000  $\mu\text{m}$  ble analysert med lasergranulometer. Figur 5.12, som representerer kornfordelingen av leire, silt og sand, tyder på at det er minimale forskjeller mellom område 1 og stripen. Område 3 har derimot et større innhold av sand og et mindre innhold av leire sammenlignet med de andre.



Figur 5.10. En kumulativ kornfordelingskurve av sedimentprøvene fra Juvflye. Legg merke til at polygonet fra område 3 og stripen stopper på 70 %. Dette fordi prøvene bare ble silt med en maskevidde på 16000 og mindre, og disse prøvene hadde korn som var større enn dette.



Figur 5.11. En grov kornstørrelsesfordeling av sedimentprøvene. Her er hele prøven tatt med.



Figur 5.12. En grov fordeling av sedimentprøvene, men her er grus utelatt. Dette er gjort for å vise en mer nøyaktig sammenheng mellom leire, silt og sand siden de ble analysert av granulometeret.

## 5.2 Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard





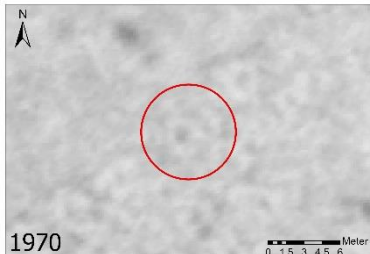

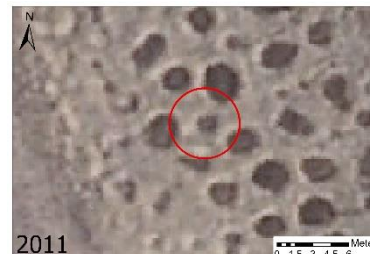
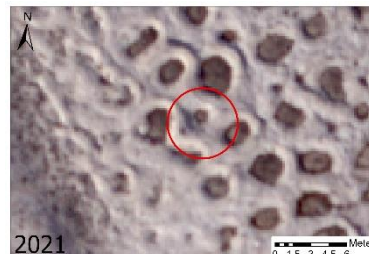
Undersøkelsene på Kvadehuksletta på Svalbard viste at de sorterte steinsirklene har holdt seg overraskende stabile over en periode på 50 år. Totalt ble det registrert 32 forandringer, som kunne klassifiseres i 7 grupper, som vist i Tabell 5.1 A og B. De nøyaktige koordinatene til forandringene er vedlagt i Vedlegg 1. Til sammenlikning var det 994 ruter på 150x150 m som ble undersøkt. Det er derfor tydelig at sirklene har holdt seg nokså stabile de siste 50 årene.

Forandringene som ble oppdaget, var spredt utover hele sletta (Figur 5.13) og den hyppigste var at sirklene hadde fått en større diameter. Noen områder viste isolerte sirkler, mens i andre tilfeller hadde sirklene vokst så mye at de dannet et nettverk av komplekse former, istedenfor å opprettholde sin opprinnelige form.

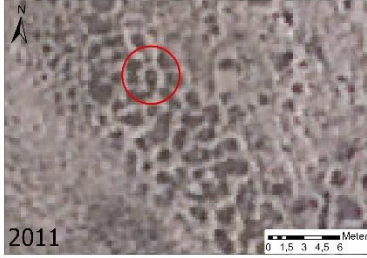

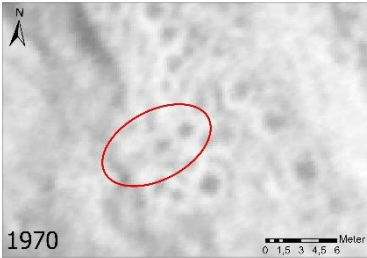
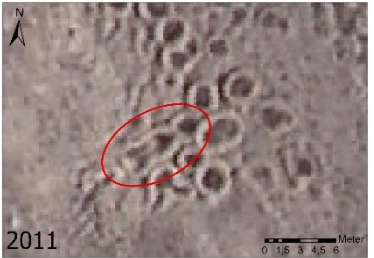
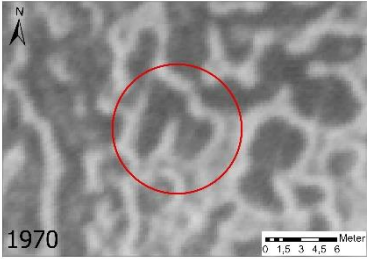

De syv gruppene av forandringer, som er illustrert i Tabell 5.1 A og B. Eksempler på de 7 ulike forandringstypene som ble oppdaget på Kvadehuksletta mellom 1970 og 2021. De røde sirklene markerer hvor forandringene har skjedd mellom før og etterbildene., inkluderer:

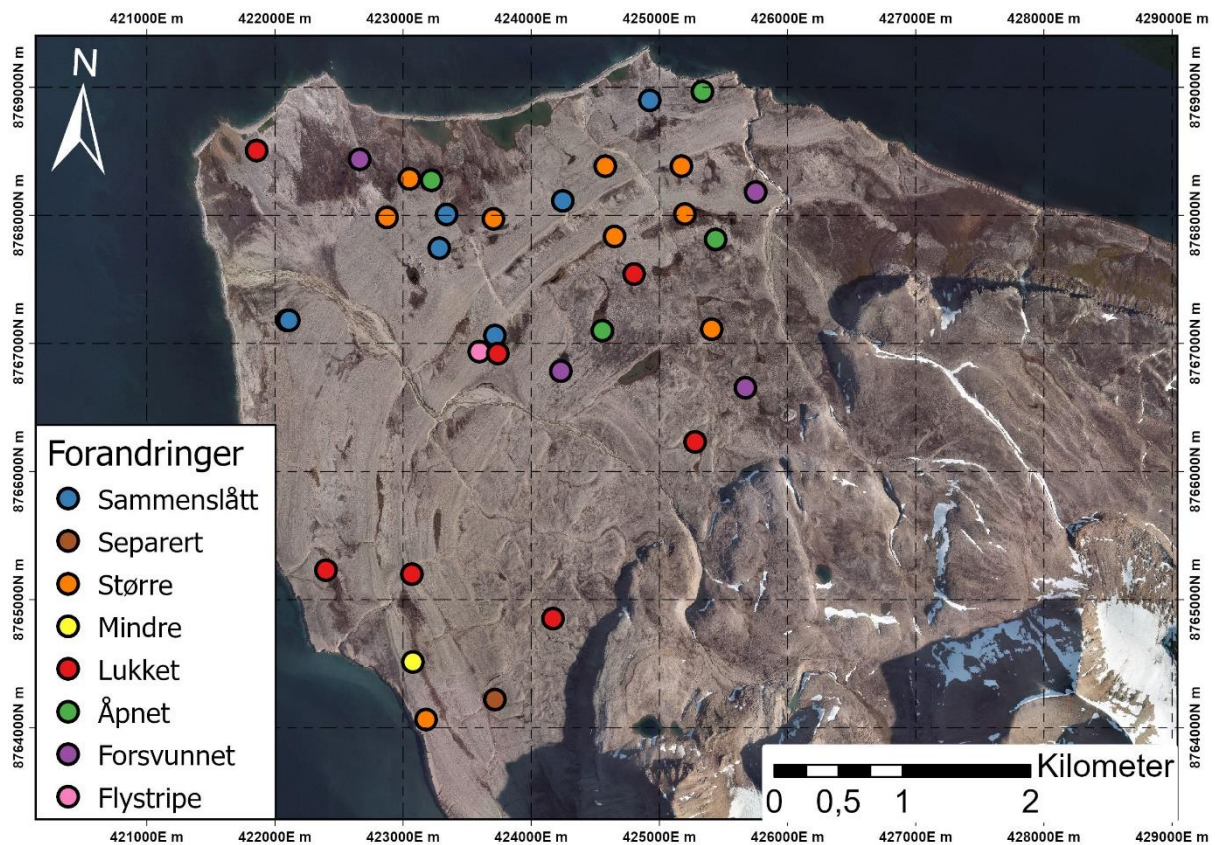
1. Sammenslåing: dette referer til tilfeller hvor to eller flere sirkler har slått seg sammen til en enkelt, større sirkel.
2. Separasjon: dette beskriver hendelser der en enkel sirkel har delt seg for å danne flere mindre sirkler.
3. Større: dette omfatter sirkler som har vist en økning i diameter over tid.
4. Mindre: dette beskriver sirkler som har redusert sin diameter gjennom årene.
5. Lukkes: dette refererer til sirkler som tidligere var delvis åpne, men som har blitt lukket til en hel sirkel over tid. Dette kan minne om *separasjon*, men gjelder ofte områder med nettverk hvor det ikke dannes flere sirkler når de lukker seg.
6. Åpnes: dette beskriver sirkler som har gått fra å være hel, til å åpne opp deler av den grove kanten, slik at den ikke er helt rund lenger. Prosessen kan likne på *sammenslåing*, men i dette tilfellet blir det ikke nødvendigvis en større sirkel. Den forandret isteden form.
7. Forsvinner: dette omfatter tilfeller hvor den grove sorteringen, eller kanten i en sirkel, ofte i et nettverk, blir mindre tydelig eller forsvinner helt.

Tabell 5.1 A. En oversikt over de 7 ulike forandringstypene som ble oppdaget på Kvadehuksletta mellom 1970 og 2021. Før-og-etter-bildene viser et eksempel på hver forandringstype som er markert med en rød sirkel.

<b>Gruppe</b>	<b>Antall Forandringer</b>	<b>Før</b>	<b>Etter</b>
<b><u>Sammenslåing:</u></b> <i>To sirkler blir til en</i>	6		
<b><u>Separasjon:</u></b> <i>En sirkel blir til to</i>	1		
<b><u>Større:</u></b> <i>En sirkel får en større diameter</i>	9		
<b><u>Mindre:</u></b> <i>En sirkel får en mindre</i>	1		

Tabell 5.1 B. Fortsettelse av Tabell 5.1. En oversikt over de 7 ulike forandringstypene som ble oppdaget på Kvadehuksletta mellom 1970 og 2021. Før-og-etter-bildene viser et eksempel på hver forandringstype som er markert med en rød sirkel.

<b>Gruppe</b>	<b>Antall Forandringer</b>	<b>Før</b>	<b>Etter</b>
<p><b>Lukkes:</b> En halvsirkel blir til en hel sirkel</p>	7		
<p><b>Åpnes:</b> En hel sirkel blir til en halvsirkel</p>	4		
<p><b>Forsvinner:</b> Deler av det grove materialet har blitt borte</p>	4		

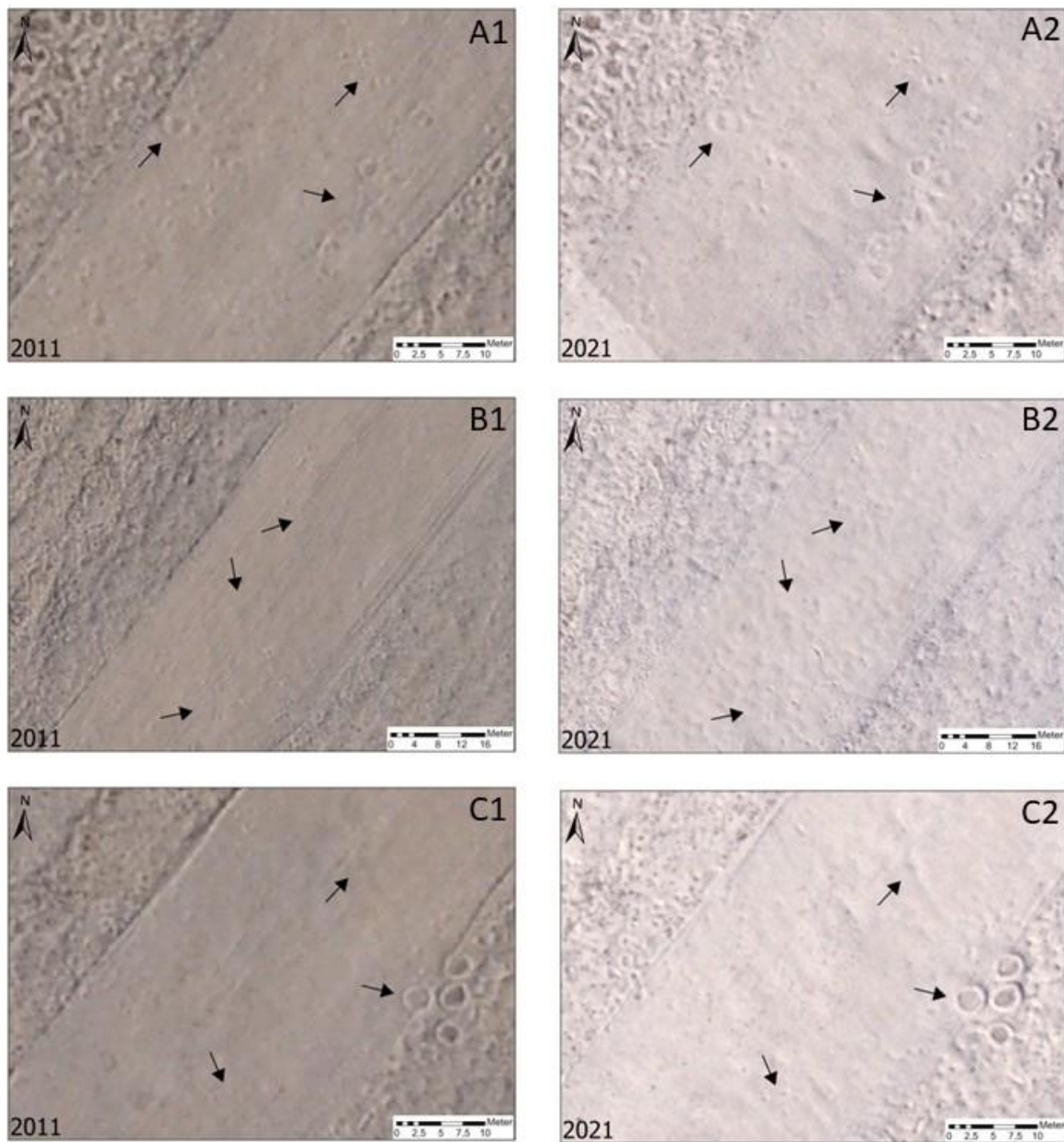


Figur 5.13. Oversikt over hvor forandringene i steinsirkelene mellom 1970 og 2021 ligger på Kvadehuksletta. Ortofotoet er fra 2011 og er prosessert av Luc Girod.

## Flystripe på Kvadehuksletta

I tillegg til de 32 forandringene som ble funnet på Kvadehuksletta, eksisterer det en 900 m lang stripe der overflaten ble jevnet ut for flere år siden. Her har det vokst frem nye steinsirkler over nokså kort tid. Det som er fascinerende, er at de vokser frem på akkurat samme sted som de en gang var (Figur 5.14). Selv om ikke alle sirkelene har vokst helt tilbake så langt, er det likevel mulig å se noen tydelige sirkler på stripen som i Figur 5.14 A og C. I Figur 5.14 B ser flystripen ut til å koke, noe som kan tyde på at sirkelene er på vei tilbake og at en ny sortering har begynt.





Figur 5.14. Figuren viser tre ulike områder av flystripen på Kvadehuksletta. Pilene peker på områder hvor man ser at sirklene kommer tilbake. I bilde A og C ser man tydelige sirklene. I bilde B ser det ut til at stripen koker. Det kan tenkes at sirklene er på vei tilbake og at en sortering har begynt.

## 5.3 Mikrotopografi og diameter på Kvadehuksletta og Juvflye

Resultatene i dette kapitlet viser høyden og diameteren til strukturene på Svalbard og på Juvflye. Målingene ble utført på tre ulike strukturtyper; sirkler, polygoner og striper. Resultatene består i hovedsak av et gjennomsnitt, standardfeil og et standardavvik av målingene, i tillegg til et høydeprofil av tre utvalgte sirkler og polygoner. Standardfeilen er hovedsakelig vektlagt i dette kapitlet siden den viser signifikante forskjeller i populasjonen, men standardavviket er tatt med for å vise hvor stor variasjon det kan være mellom hver strukturtype og lokalitet.

### 5.3.1 Mikrotopografi

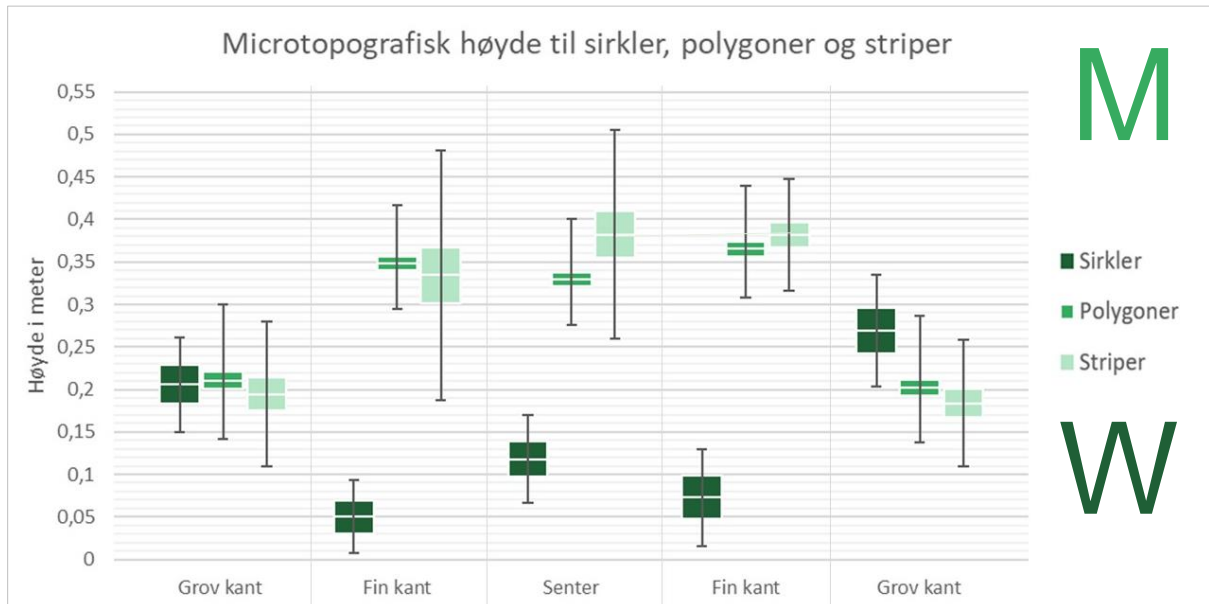
Høydemålingene av de tre ulike strukturtypene; sirkel, polygon og striper, viste at de hadde en ulik høydefordeling som vist i boksplottet (Figur 5.15).

På Svalbard viste målingene en W-formasjon for sirklene. Den grove ytterkanten av sirklene viste seg å være den høyeste delen, mens sentrum var omtrent halvparten så lav. Overgangen mellom det grove og det fine materialet ble identifisert som det laveste punktet på sirklene. Polygonene på Juvflye var derimot M-formede. Den grove ytterkanten var den laveste delen, mens senteret var markant høyere. Det høyeste punktet var overgangen mellom fint og grovt materiale. Forskjellene mellom sirkler og polygoner understreker en variasjon mellom topografien på Juvflye og Svalbard og mellom strukturtypene.

Resultatene av stripene på Juvflye viste en konveks bue-formasjon der den grove kanten var signifikant lavere enn det fine materialet. Overgangen mellom de to materialene hadde en liten høydeforskjell. På toppen av helningen var høydeforskjellen omtrent 33 cm og i bunnen av helningen var den 38 cm. Dette ga stripene den konvekse bue-formasjonen som kan sees i Figur 5.15.

Standardfeilen som er vist med boksen i Figur 5.15, ga indikasjoner på signifikante forskjeller mellom noen av målingene, som høydeforskjellen mellom den grove ytterkanten og det fine senteret innen hver strukturtype. I tillegg var det signifikante forskjeller mellom de ulike strukturenes høyde i senter. Mellom finmaterialet på Svalbard og Juvflye var det en forskjell

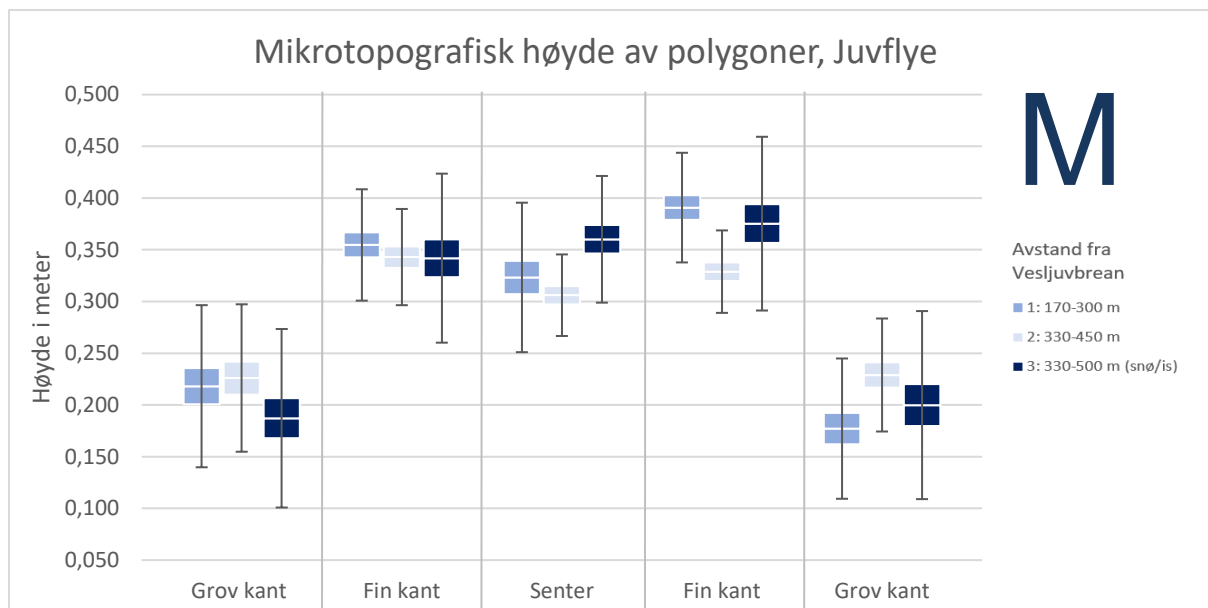
på opptil 30 cm. Standardavviket indikerer derimot at det er store variasjoner innenfor hver strukturtype.



Figur 5.15. Høyden til sirkler, polygoner og striper. Polygonene har en M-formet utseende, mens sirklene har en W-form. Stripene har en konveks bue-formasjon som heller i retningen av helningen. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. Bokstavene er lagt til for å illustrere formene.

### **Polygoner, Juvflye**

Mellom de tre polygonområdene på Juvflye, var det små forskjeller. Standardavviket som er vist med feillinjene i Figur 5.16, indikerer betydelig variasjon innenfor hvert enkelt område. Standardfeilen, som vist med boksen i Figur 5.16, viser derimot noen signifikante forskjeller. Spesielt skiller område 3 seg ut ved at den har en lavere grov ytterkant sammenlignet med område 2, i tillegg til at senteret for område 3 er betydelig høyere enn sentrene i de to andre områdene. Område 1 og 2 har den karakteristiske M-formen i høydefordelingen, mens område 3 viser likheter med stripenes konvekse bue-form.



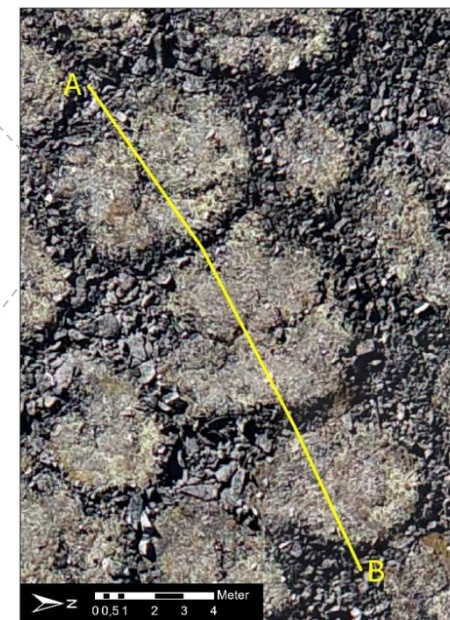
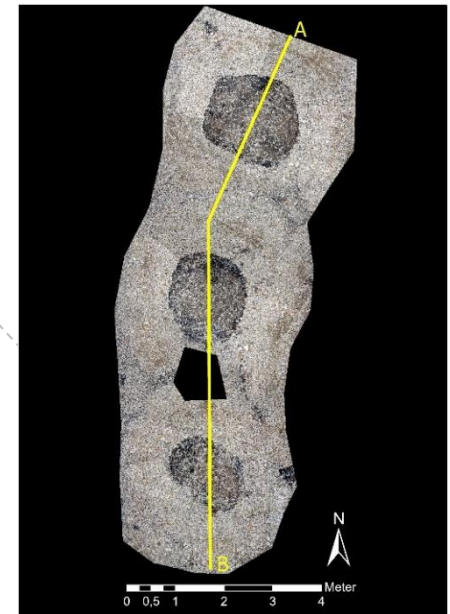
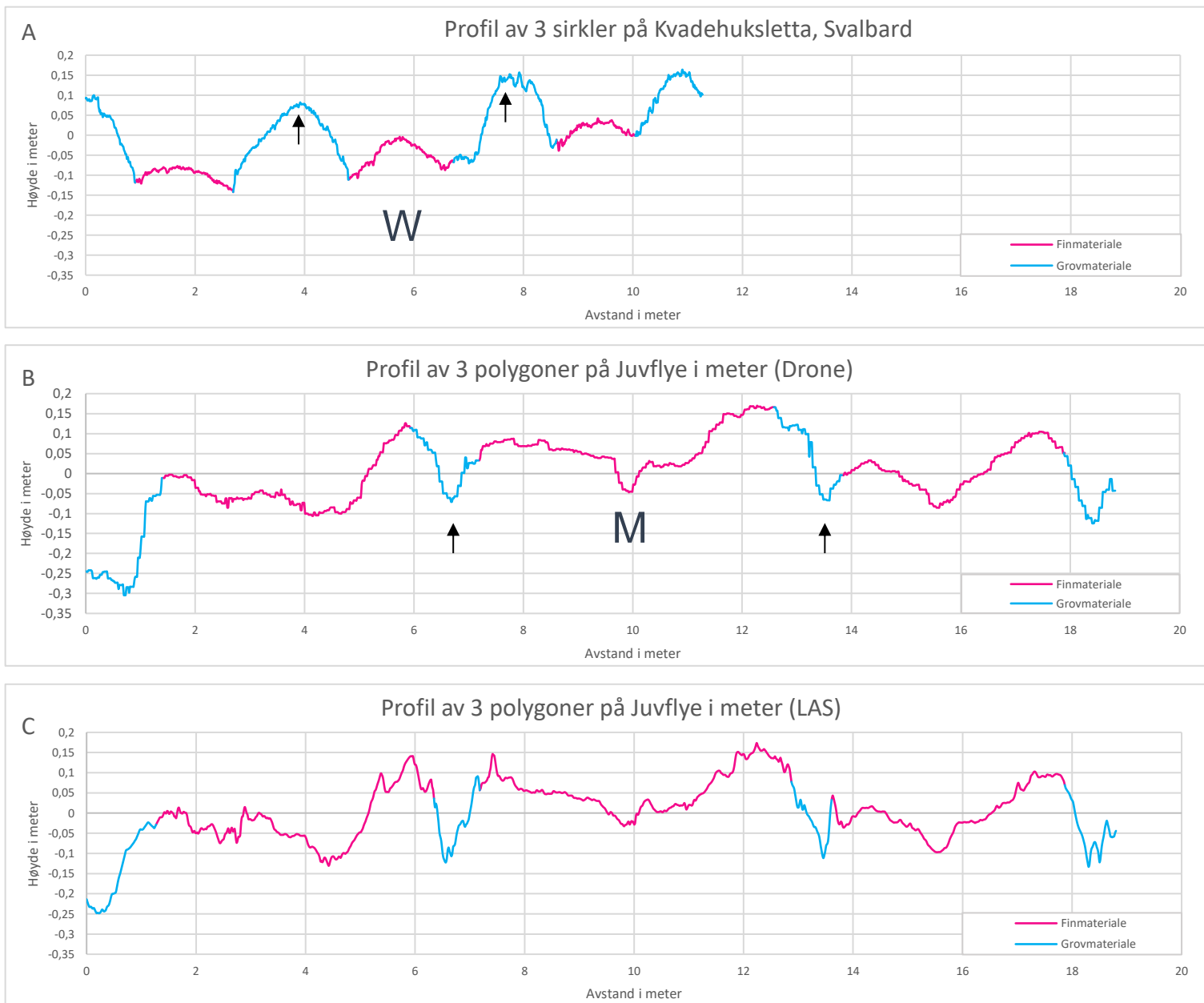
Figur 5.16. Høyden til polygonene på de tre ulike områdene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. M er lagt til for å illustrere formen til polygonenes mikrotopografi.

### Høydeprofiler

Høydeprofilene av de tre polygonene på Juvflye viser større områder med finmateriale enn med grovt materiale. Den grove kanten strekker seg omtrent 1 m i bredden, mens det fine materialet har en bredde på rundt 5 m. Figur 5.17 B og C illustrerer tydelig M-formasjonen i polygonenes høydeprofiler. Det grove materialet (blått) ligger lavt, mens det fine (rosa) er noe forhøyet med en liten forsenkning i midten. Mellom det laveste og det høyeste punktet i det grove materialet, er høydeforskjell 19 cm for både dronen og laserskanneren. Når det gjelder det fine materialet, varierer høyden med 20 cm fra det høyeste punktet på skillet mellom fint og grovt og det laveste punktet i midten ved bruk av dronen, og med 22 cm ved bruk av laserskanning. Den venstre siden (sørvest på kartet) av polygonenes profil hadde en høydeforskjell på omtrent 8 cm fra overgangen fra fint til grovt, i forhold til den høyre siden (nordøst på kartet). Den høyre siden var høyest. Dette gjaldt både for målingene med drone og laser, men det var større variasjoner med laser. For det venstre polygonet i LAS-profilen var høydeforskjellen mellom overgangen fra fint til grovt på venstre og høyre side omtrent 14 cm, mens polygonet i midten hadde en høydeforskjell på bare 3 cm. Fra skillet mellom fint og grovt og til det laveste punktet i det grove materialet, var gjennomsnittlig høydeforskjell 19 cm for dronemålinger og 24,5 cm for laserskanning.

Sammenlignet med høydeprofilene av polygonene på Juvflye, viste profilene av sirklene på Svalbard små forskjeller i bredden mellom det fine og grove materialet. Den grove kanten var omtrent 2 m bredt, mens det fine området var 1,7 m bredt. I tillegg til dette kan man tydelig se W-formen til sirklene i profilet i Figur 5.17 A. Den grove kanten er høyest, mens det fine materialet i midten ligger lavere. Finmaterialet har også en forhøyning i midten, og det laveste punktet er grensen mellom fint og grovt. Høydeforskjellen i det grove materialet er 20 cm fra det laveste punktet i overgangen fra fint til grovt til det høyeste punktet av det grove. Det fine materialet varierer med 7 cm i høyden mellom overgangen fra fint til grovt og det høyeste punktet i midten.

Det ble observert små forskjeller i høydemålingene utført av dronen og laserskanningen. Laserskannet viste høyder fra 1922,8-1924,8 moh., mens dronen målte høyder fra 1921,5 – 1923,46 moh. Profilet av laserskanningen viser en mer taggete profil enn dronemålingene, som er jevnere.

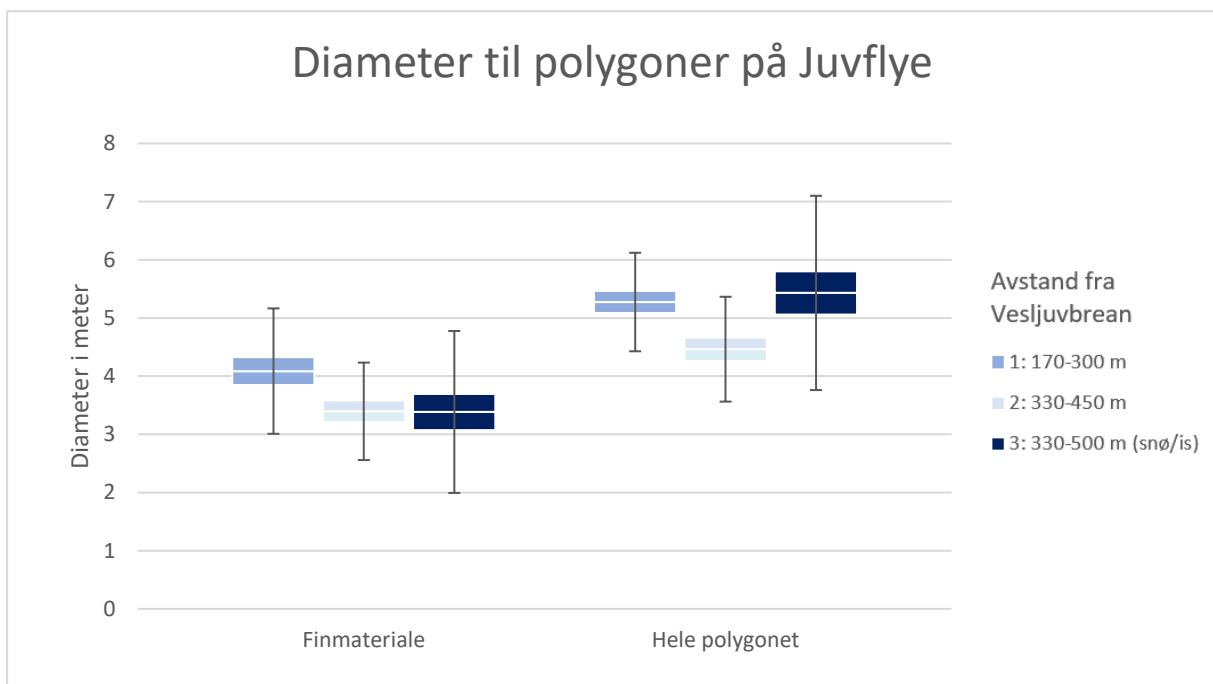


Figur 5.17. Høydeprofiler av tre ulike sirkler og polygoner. A) Høydeprofilen til tre sirkler på Kvadehuksletta, Svalbard. B) Høydeprofil av tre polygoner på Juvflye beregnet ut fra DTM tatt med drone. C) Høydeprofil av tre polygoner på Juvflye beregnet ut fra LAS-fil tatt med Laserskanner. Blå farge i profilene viser det grove materialet og den rosa fargen viser det fine materialet. De gule strekene i bildene til høyre viser transektet hvor høydeprofilene har blitt beregnet. Øverste bildet viser sirklene på Kvadehuksletta og bildet under viser polygonene på Juvflye. Pilene i plottet viser starten og slutten av den mikrotopografiske formen til sirkler (W) og polygoner (M).

## 5.3.2 Diameter

### *Polygoner, Juvflye*

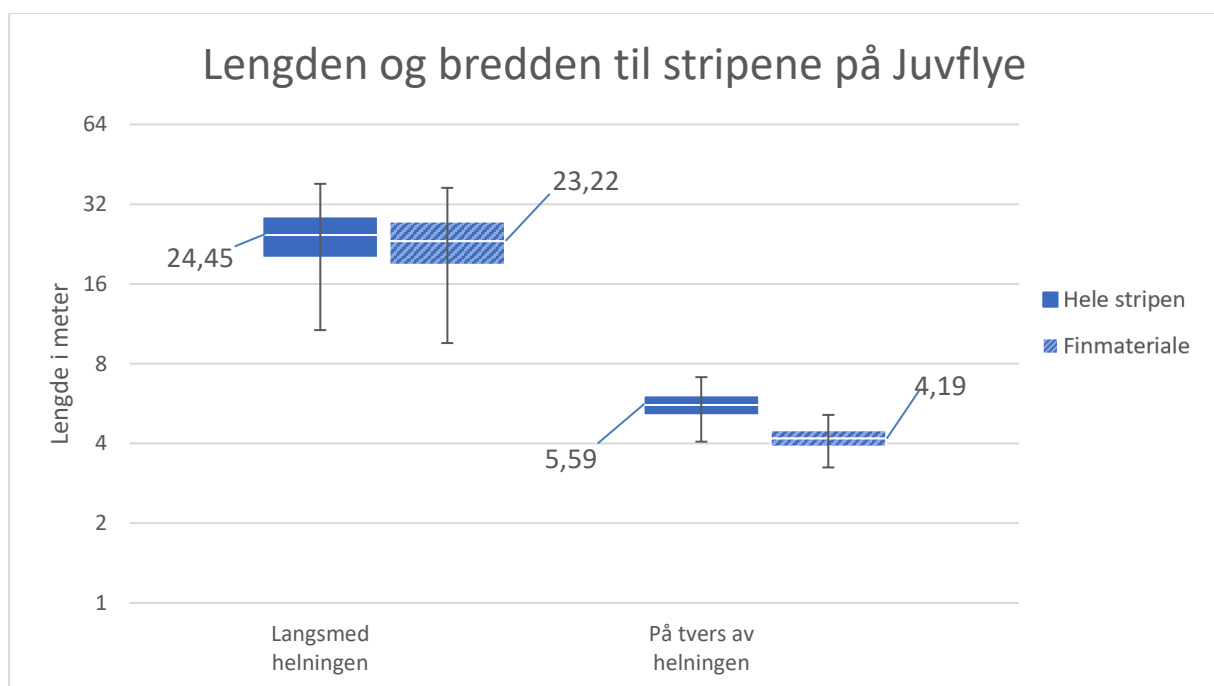
Det var små forskjeller i diametermålingene for de tre områdene på Juvflye basert på standardavviket, som vist i Figur 5.18. Det var derimot noen forskjeller basert på standardfeilen. Område 1 utmerket seg med den største diameteren for finmaterialet og viste en signifikant større gjennomsnittsverdi på 4,09 m. Diametermålingene for polygonene i område 2 viste en gjennomsnittlig diameter på 4,46 m for hele polygonet, som var signifikant mindre enn de andre. Område 3 skilte seg ut med det største gjennomsnittet for hele polygonet, målt til 5,43 m, og samtidig det minste området for finmaterialet med en diameter på 3,38 m.



*Figur 5.18. Boksplottet viser den gjennomsnittlige diameteren til polygonene på de tre ulike områdene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket.*

## Striper, Juvflye

Det var stor forskjell mellom stripenes lengde og bredde på Juvflye (Figur 5.19). Lengden var omtrent 24,5 m og signifikant lengre enn bredden på 5,6 m. Det var derimot ingen signifikant forskjell på lengden og bredden mellom hele stripen og det fine materialet. Som standardfeilen og standardavviket viser i Figur 5.19, var det større variasjon på lengden til stripene enn bredden.

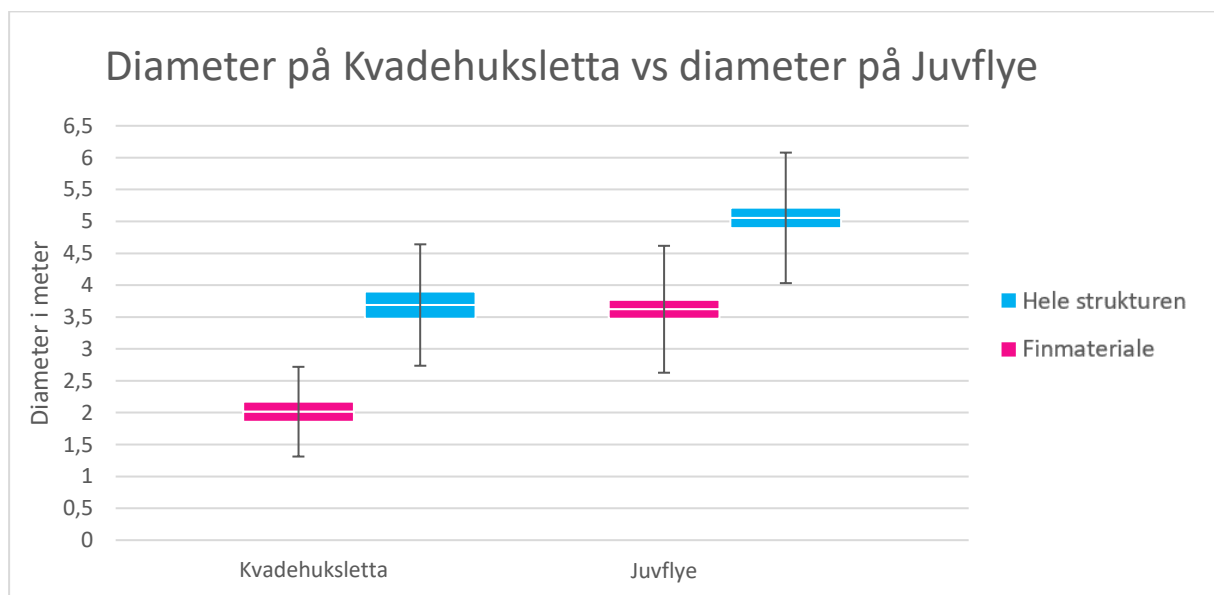


Figur 5.19. Bokplottet viser den gjennomsnittlige lengden og bredden til stripene på Juvflye. Legg merke til at y-aksen er logaritmisk med grunntall 2. Boksen viser standardfeilen og feillinjene viser standardavviket. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje i tillegg til at det er skrevet ned ved siden av boksene.



## Kvadehuksletta og Juvflye

Det var bemerkelsesverdige forskjeller mellom diameterne til polygonene på Juvflye og sirklene på Kvadehuksletta (Figur 5.20). De sirkulære strukturene på Svalbard var betydelig mindre enn de polygonale strukturene på Juvflye. Den gjennomsnittlige diameteren for hele sirkelen var 3,69 m og for finmaterialet var diameteren 2,02 m. For polygonene var den gjennomsnittlige diameteren for hele polygonet 5,06 m og finmaterialet var 3,62 m. Standardfeilen til målingene viste at det var en signifikant forskjell mellom polygoner og sirkler og mellom hele strukturen og finmaterialet. Standardavviket viser derimot at det er stor variasjon i målingene.



Figur 5.20. Diameterne til de sorterte steinsirklene på Kvadehuksletta og de sorterte polygonene på Juvflye. Gjennomsnittet er vist som en hvit linje.

## 6 Diskusjon

I denne masteroppgaven har en rekke målinger og undersøkelser blitt utført, som inkluderer:

- Måling av diameter (Kvadehuksletta og Juvflye)
- Måling av høyde (Kvadehuksletta og Juvflye)
- Datainnsamling med ulike metoder for fjernanalyse, som drone og laser (Juvflye)
- Sedimentprøver (Juvflye)
- Detaljerte observasjoner fra feltarbeid (Juvflye)
- Undersøkelser av forandringer over en periode på 50 år (Kvadehuksletta)

Selv om disse undersøkelsene gir verdifull informasjon, er det vesentlig å påpeke begrensningene til datasettet. På grunn av det lille utvalget av strukturer for hver metode, kan resultatene gi en skjev representasjon av virkeligheten. Likevel gir resultatene et innblikk i hvordan område og forhold kan påvirke de ulike strukturene. Dette vil bli diskutert og utforsket i dette kapitlet.

### 6.1 Mikrotopografi på Kvadehuksletta og Juvflye

En av de mer iøynefallende forskjellene mellom de sorterte steinsirkene på Kvadehuksletta og de sorterte polygonene på Juvflye er høydeprofilen som illustrert i Figur 5.15 og Figur 5.17. På Juvflye har polygonene en M-formet profil, der den grove kanten er lavere enn senteret. I kontrast har steinsirkene på Kvadehuksletta en W-formet profil, der den grove kanten er høyest og senteret lavere. Basert på disse observasjonene, kan det tenkes at ulike mekanismer har vært involvert i dannelsen av strukturene. På Juvflye, varierer bakketemperaturen mer (Figur 0.3) og det kan være flere fryse-tine-dager her enn på Svalbard. En hypotese kan være at termisk sammentrekning ved frysing har skapt sprekkesystemer i bakken (Black, 1976; Warburton, 2013). I disse sprekkene kan det ha vokst

iskiler, noe som har resultert i et polygonmønster. Iskilene kan deretter ha smeltet bort og etterlatt seg forsenkninger som det grove materialet kan ha falt ned i (Harris et al., 2017). Et alternativ til iskiler er at steiner og større blokker kan ha falt ned i disse sprekkene, noe som har bidratt til å utvide dem (Ballantyne og Matthews, 1983). I begge tilfeller ville det fine materialet blitt presset sammen til en forhøyning, mens de større blokkene ville ha falt ned i sprekkene. Det er også mulig at frosthevning i det fine materialet har bidratt til å flytte de større blokkene mot kantene, og dermed til sorteringen av materialet.

På Kvadehuksletta er forholdene annerledes. Her er det aktive laget mindre enn på Juvflye og bakketemperaturen varierer mindre (Figur 0.3), noe som gjør sprekkedannelse mindre sannsynlig. Mindre variasjoner i temperaturen kan føre til sjeldnere sammentrekning av bakken. Det kan derfor tenkes at dannelsen av sirkulære istedenfor blir drevet av frosthevning og en konveksjonslignende sirkulasjon (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986; Kessler og Werner, 2003; Warburton, 2013).

I Winkler et al. (2021) blir det beskrevet at en langsom tilbaketrekning av breer fremmer dannelsen av strukturmark på grunn av kaldere og våtere forhold. Dette kan være relevant for Juvflye hvor isen forsvant i tidlig Holocen for omtrent 9700 år siden. Basert på dateringene fra Winkler et al. (2016), som indikerer at polygonene må være mellom 6910 og 8240 år gamle, tyder det på at strukturene ble dannet relativt raskt etter avsmeltingen. Det kan derfor tenkes at det kan ha vært såpass store vannmengder og kaldt nok til at det kan ha bidratt til en sortering av de store blokkene. En annen mulighet er at bakken tørket ut etter avsmeltingen og at det kan ha ført til sprekker i bakken. Disse sprekkene kan senere ha utviklet seg til polygoner og striper slik vi ser på Juvflye i dag. Dette er i tråd med funnene Balantyne og Mathews (1983) gjorde etter å ha undersøkt morenematerialet foran en bre.

Når det gjelder kornstørrelse, varierer denne på Juvflye fra 0,2 m til 1 m, mens den på Svalbard ligger mellom 1 cm og 10 cm. Det kan derfor tenkes at det grove materialet på Juvflye har et større porerom og at blokkene er så store at det er vanskelig å flytte på dem. Dersom en ser for seg at materialet har blitt sortert vertikalt med de fine kornene nederst, kan en mulig forklaring på sorteringen på Juvflye være at det fine materialet jobber seg opp gjennom porerommene mellom blokkene ved hjelp av tine-fryse-prosesser. Til slutt blir det så store konsentrasjoner av fint materiale mellom porene at det kan skyve blokkene til side. Blokkene vil videre forflytte seg nedover når det fine materialet vokser seg oppover. Siden blokkene er såpass store, kan en mulighet være at det ikke foregår en sirkulær sortering

mellom det groveste og fineste materialet på Juvflye, i motsetning til Kvadehuksletta hvor det grove materialet består av små nok kornstørrelser til at det fine materialet lett kan flytte på dem. I tillegg er det mulig at tyngdekraften spiller en rolle i høydeprofilene til sirklene og polygonene ved at de større blokkene på Juvflye sannsynligvis synker dypere ned i jorden ved tining enn det steinene på Kvadehuksletta gjør.

## 6.2 Diameter på Kvadehuksletta og Juvflye

Et av de sentrale spørsmålene som har dukket opp under arbeidet med denne masteroppgaven, har vært hvorfor det er så store forskjeller i diameter mellom strukturene på Juvflye og Kvadehuksletta. Figur 5.20 viser at diameteren på Kvadehuksletta er gjennomsnittlig 3,69 m, mens polygonene på Juvflye har en diameter på 5,06 m. Først og fremst er det viktig å merke seg at disse strukturene ikke er like og at de dermed kan ha forskjellig drivkraft som kan føre til en ulikhet i størrelse. Tidligere forskning (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986) indikerer at diameteren til sirklene vanligvis ligger mellom 3-4 m. Dette samsvarer med målingene som ble utført med fjernanalyse i denne oppgaven, noe som styrker fjernanalysens pålitelighet og presisjon i studier av strukturmark.

Dybden av det aktive laget ser ut til å spille en rolle i strukturenes størrelse (Hallet, 2013; Warburton, 2013). Større aktivt lag vil gi større strukturer. På Juvflye er det aktive laget mellom 1,5 og 2,5m, mens det på Kvadehuksletta varierer mellom 0,6 og 1,5 m. En annen interessant observasjon er forskjellen i fryse-tine-prosessen på de to studieområdene. Juvflye har en lengre tineperiode, noe som kan gi mer tid for endringer i strukturene og dermed større diameter. Dette kan forklare hvorfor polygonene på Juvflye er større enn sirklene på Kvadehuksletta.

Kornstørrelsen ser ut til å ha en betydelig innvirkning på polygonenes størrelse. På Juvflye ble det observert blokker på 0,2 m- 1 m og basert på en tabell i Washburn (1979; s.142), kan dette gi en diameter på 2-5 m, noe som stemmer med den gjennomsnittlige diameteren på Juvflye som var 5,06 m. Imidlertid er det ingen klar teori som forklarer hvordan kornstørrelse henger sammen med diameteren til sirklene, men mest sannsynlig vil kornstørrelsen ha en påvirkning på sirklens diameter også. Hvis man følger den samme logikken med polygonene som

forklart for tabellen i Washburn (1979; s.142), skulle steinene på Kvadehuksletta gitt en diameter på 20-50 cm. Dette stemmer ikke med resultatet som viser et gjennomsnitt på 3,69 m.

Det er også interessant å nevne påstanden til Ødegård et al. (1988) om at det muligens er for lite finmateriale i grenseområdene mellom fint og grovt materiale i polygonene til at de fremdeles kan være aktive. Dette støttes av observasjoner av vegetasjon på blokkene og i det fine senteret, noe som kan indikere at polygonene har kommet til et likevektstadium. Hvis man går ut ifra at polygonene drives av den samme konveksjonslignende sirkulasjonen som de sorterte steinsirklene, kan det tenkes at det er nødvendig med betydelige mengder finmateriale for å flytte på de større blokkene. Som teorien sier, er det det fine materialet som er aktivt og det grove materialet som er passivt (Hallet, 2013; Hallet og Prestrud, 1986). Dette reiser så spørsmål om hvorfor polygonene er større enn sirklene. Intuitivt kan man tenke at det ville vært lettere å flytte på mindre korn, og at sirklene på Kvadehuksletta derfor burde vært større. En mulig forklaring kan være at finmaterialet lettere kommer til syne i områder med mindre kornstørrelse, og at strukturene derfor dukker opp hyppigere. Dette kan føre til at sirklene står tettere sammen og begrenser hverandres vekstpotensial, frem til de eventuelt smelter sammen. I kontrast til dette, vil det i områder med større kornstørrelser, som på Juvflye, være vanskeligere å flytte på massene, noe som kan resultere i færre, men større strukturer. Det er altså fremdeles en usikkerheter rundt forståelsen av hvordan kornstørrelse henger sammen med strukturenes størrelse, og dette burde vært undersøkt mer.

## **6.3 Juvflye**

### **6.3.1 Mikrotopografi på Juvflye**

Det ble ikke observert betydelige høydeforskjeller mellom de tre områdene på Juvflye. Dette kan skyldes at områdene ligger for nærme hverandre, eller at antallet målinger var for lavt. Likevel antyder dataene at nærhet til is, snø og bre, og dermed tilgang på vann, kan påvirke høydeforskjellene mellom de grove og fine områdene. Område 1 og 3, som ligger nærmere Vesljuvbreen og is- eller snøfonna, viser større høydeforskjeller enn område 2. Det er også mulig det hellende terrenget i område 1 og 3 kan ha påvirket polygonenes høydeprofil. For

eksempel ser det ut til at polygonene i område 3 har seget litt nedover skråningen, og de har et liknende høydeprofil som stripene.

### **Striper**

Stripenes konvekse, buede form skyldes solifluksjon som er en prosess der jorden sakte siger nedover en skråning. Litteraturen antyder at striper utvikler seg fra polygoner og sirkler, som illustrert i Figur 3.4 (Harris et al., 2017). Når disse strukturene dannes på en skråning, blir de mer langstrakte og går under betegnelsen «trinn». De beholder en grov kant i fronten, lengst ned i skråningen, noe som hindrer det fine materialet i å skli videre nedover. Dette fører til en opphopning av fint materiale på den ene siden, mens det blir mindre på den andre. Dette kan forklare hvorfor høyden i det fine materialet er lik både i midten og bunnen av helningen, men lavere på toppen. Med tanke på at striper utvikler seg fra polygoner og sirkler, kan det tenkes at de har den samme bredden. Dette stemmer imidlertid ikke på Juvflye. Det fine materialet til stripene var omtrent 0,5 m bredere enn polygonenes finmateriale.

I forhold til det fine materialet i stripene, så de større blokkene ut til å ligge i forsenkninger. Dette samsvarer med observasjoner gjort av Gross et al. (2021) på Sanetti Plateau i Etiopia, der den grove kanten var formet som en renne og var 2 m dyp. Nøyaktig hvor dyp rennene var på Juvflye, er ikke sikkert, men man kunne se at den grove kanten var dypere enn det fine materialet.

### **6.3.2 Diameter på Juvflye**

Målingene av polygonenes diameter indikerer at område 3, som ligger lengst unna Vesljuvbreen og nær snø- eller isfonn, hadde det minste senteret, men den største totale diameteren. Teoretisk sett begynner materialet som en heterogen blanding før det sorteres vertikalt, med det grovere materialet over det finere. Det fine materialet holder lettere på vann, noe som fremmer veksten av islinser og dermed fryse- og tineprosesser. En mulig forklaring på at område 3 har det minste finmaterialet, men den største totale diameteren, kan være at polygonene der er yngre enn i de andre områdene. I tillegg var det mindre vegetasjon i område 3, noe som kan tyde på at det fremdeles er aktivitet her, i motsetning til det andre områdene hvor det var mye vegetasjon. Det er mulig at det «nylig» har begynt en sortering i område 3 og at det fine materialet fremdeles ligger under det grove. Dette kan også forklare

hvorfor det ser ut til å være større avstander mellom sentrene i område 3, noe som kan indikere at det grove materialet i 1 og 2 muligens er mer konsentrert nedover i bakken enn spredt utover på overflaten.

### **Striper**

Stripene på Juvflye ble kun observert der det var hellende terreng og ut fra en numerisk modell som Werner og Hallet (1993) genererte, fant de ut at stripenes bredde blir 10 – 20 ganger større enn den gjennomsnittlige kornstørrelsen. Selv om en nøyaktig gjennomsnittlig størrelse av de store steinene ikke ble målt, antyder observasjonene fra Juvflye at steinene har en diameter mellom 0,2 til 1 m. Dersom man går ut ifra at gjennomsnittet var 0,5 m, vil det si at bredden til stripene er 11 ganger større enn steinene, noe som samsvarer med funnene til Werner og Hallet (1993).

Det er også viktig å påpeke at de innsamlede målingene av den grove kanten ikke nødvendigvis gir et representativt bilde av virkeligheten. Som nevnt i metodekapittelet, (*Diameter*) var det utfordrende å bestemme de eksakte grensene for de grove områdene. Dersom data skulle vært samlet inn på nytt, ville det ideelle vært å måle den grove og fine delen separat slik at man kunne sett på forskjellen i bredde. I denne oppgaven ble bare den ene halvdel av den grove kanten målt, fra skillet mellom det fine og grove materialet til omtrent midtpunktet av den grove delen.

### **6.3.3 Sedimentprøver på Juvflye**

Det ble kun tatt 3 sedimentprøver fra feltarbeidet på Juvflye, noe som begrenser muligheten for å trekke solide konklusjoner. Imidlertid indikerer funnene i denne studien at det fine materialet i både polygonene og stripene hovedsakelig består av silt og sand. Som litteraturen antyder, er en blanding av sand og silt godt egnet for frostheving (Yamagishi og Matsuoka, 2015), siden det er grovt nok til at vannet lett kan strømme gjennom det og fint nok til å danne islenser. Dette kan være med på å forklare hvordan polygonene har oppstått i området, nemlig fordi kornblandingen var et godt grunnlag for frostheving.

For å få et mer representativt resultat, burde det vært tatt flere sedimentprøver fra forskjellige polygoner og striper. I tillegg kunne man undersøkt nærmere om det var noen forskjeller mellom de ulike områdene som ble undersøkt, samt hvordan kornstørrelsen var rundt

Juvfonne. Basert på kornfordelingsanalysen av de to polygonene og den ene stripen (Figur 5.12), ser det ut til at område 3 hadde litt mindre leire og litt mer sand enn de to andre strukturene. En mulig forklaring på dette kan være at område 3 lå nærmere en is- eller snøfonn i et litt hellende terreng og at leira kan ha blitt vasket bort av smeltevannet. Men siden bare en prøve ble tatt i dette området, er det fullt mulig at det kun var en forskjell mellom akkurat de strukturene som ble undersøkt og på bakgrunn av beliggenheten. Likevel ville det vært interessant å undersøke om beliggenheten til snø- og isfonner eller breer kan ha en påvirkning på kornfordelingen til strukturmark.

Blokkene i den grove kanten på polygonene og stripene burde også vært undersøkt og målt nærmere for å få en større forståelse av hele strukturens kornfordeling. Det var mest fokus på det fine materialet under feltarbeidet, siden det var lettest å legge merke til der det stakk opp av alt det grove.

### 6.3.4 Juvfonne

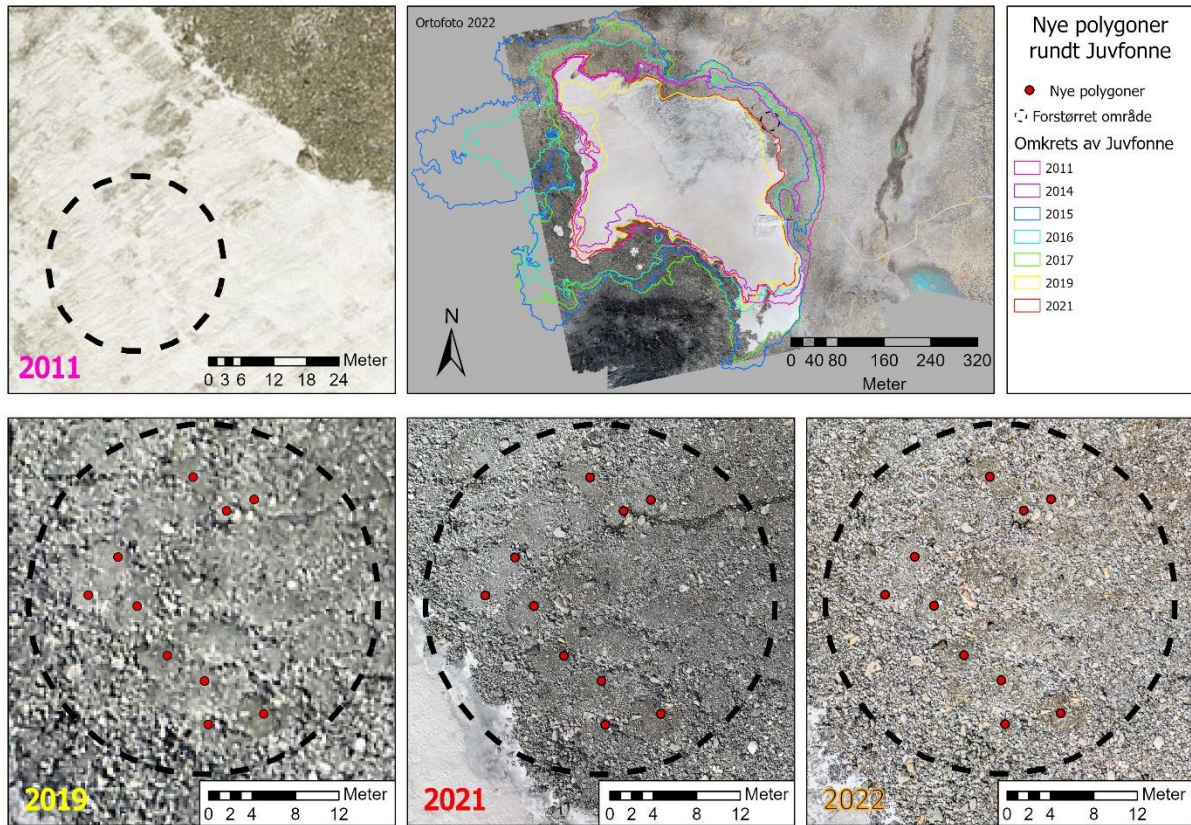
Selv om resultatene fra de tre polygonområdene på Juvflye ikke viste noen markante forskjeller vedrørende is- eller snønære områder, er en mulig teori at polygonene blir dannet eller bevart under is- eller snølag. Figur 6.1 viser et område rundt Juvfonne hvor man muligens kan se begynnelsen på polygonenes sortering. Området som er markert med en stiplet sirkel har vært dekket med is helt frem til 2019 og viser tegn til sortering allerede i det første isfrie året (Figur 6.1). Figur 2.2 viser endringer i Juvfannes areal fra 2010 til 2020, og indikerer at området var delvis isdekket i både 2018 og 2020.

Juvfonne hadde flere områder hvor det muligens var nye polygoner til stede. Det ble testet om det var mulig å se en forandring i disse, men dessverre var ortofotoene for dårlig georeferert til å identifisere så små endringer. Oppløsningen på ortofotoene var gode, men siden løsmassene er i bevegelse, ble det vanskelig å georeferere bildene på nytt. I tillegg var tidsintervallet mellom bildene sannsynligvis for kort til å fange opp betydelige endringer. Om 10-20 år hadde det vært interessant å gjøre et nytt forsøk og se om polygonene er i forandring eller eventuelt valgt ut noen få polygoner for årlig overvåking.

To viktige spørsmål har oppstått ved denne observasjonen: Kan materialet sorteres selv når det er dekket av en isfonn, som i tilfellet med Juvfonne? Eller er det mulig at disse



polygonene ble dannet for lenge siden og har vært i en slags "dvale" til isen trakk seg tilbake?  
 En videre forskning på disse spørsmålene ville vært svært interessant.



*Figur 6.1. Oversikt over hvordan Juvfonne har trukket seg tilbake fra 2011 til 2022 og nye, mulige polygoner i et avgrenset område. De røde prikkene viser områder med sannsynlig påbegynnende polygoner. Legg merke til at målestokken er forskjellig. Bakgrunnsbildet på oversiktskartet er fra 2022. Alle ortofotoene er fra NVE, med unntak av ortofotoet fra 2022 som er fra Innlandet fylkekommune, det brearkeologiske sikringsprogrammet, Axel Hee Rømer.*

## 6.4 Drone vs. laserskanner

I masteroppgaven ble både drone og laserskanning benyttet for datainnsamling. Resultatene fra Figur 5.17 viser at det er visse forskjeller mellom de to metodene. Dronens profil fremstår med en jevnere overflate, mens laserskannerens resultat har et mer taggete utseende. Dette taggete utseendet kan skyldes fra laserskannerens evne til å fange opp mer detaljerte trekk ved nærliggende objekter, som for eksempel spissheten av enkelte steiner, grunnet den korte avstanden mellom laseren og objektene.

En av grunnene til dronens jevnere profil kan være den større avstanden mellom dronen og overflaten den skanner. Mens laserskanneren gir tette datapunkter med høy detaljrikdom nær skanneren, blir punktene mer spredte jo lengre unna objektene er, noe som reduserer detaljnivået. Dronen, derimot, gir et jevnere detaljnivå over et større område, selv om det kanskje ikke matcher laserskannerens detaljgrad grunnet den økte avstanden fra bakken.

En annen grunn til at dronen har en jevnere profil, kan være at den ser ovenfra, mens laserskanneren ser fra siden. Skanneren vil miste mye informasjon på motsatt side av dens posisjon på grunn av blokker eller liknende som sperrer for det som ligger bak. Laserstrålene vil altså ikke treffe det som ligger bakenfor blokkene. I slike tilfeller er det lurt å tenke på om det er nødvendig med flere skann i ulike posisjoner. Som med en økning av dronens overlapp-prosent vil flere skann øke detaljnivået. I denne studien ble det tatt 4 skann rundt et enkelt polygon, noe som ga en detaljrik modell av hele strukturen. Hvis det derimot kun hadde blitt utført ett enkelt skann, er det sannsynlig at dronens data ville ha vært mer detaljert på grunn av dens oversiktswinkel. Ulempen med å ta flere skann er imidlertid at det tar lengre tid og at det krever mer lagringsplass. Det samme gjelder for en større overlapp-prosent ved dronefotografering.

I felt, særlig i utfordrende terreng som Juvflye, er dronen lettere å manøvrere med sin vekt på omtrent 2 kg, i motsetning til laserskannerens 10 kg. Dronen gir også et bredere oversiktsbilde ved å samle data fra luften, mens laserskanneren er begrenset til sitt umiddelbare område og etterlater hull der den står. Til tross for laserskannerens potensielle detaljrikdom, virker dronen mer hensiktsmessig for undersøkelser av strukturmark takket være dens mobilitet, evne til å dekke store områder og de jevne resultatene den gir. Hvis man derimot ønsker å

studere den indre prosessen i hver sirkel, vil laserskanneren være et bedre valg på grunn av dens evne til å fange opp finere detaljer og gi en høyere oppløsning av punktskyen nær skanningspunktet.

## 6.5 Fjernanalyse vs. feltarbeid

I denne masteroppgaven ble det både benyttet feltarbeid og fjernanalyse. Som avsnittet over poengterer, er fjernanalyse en god måte å analysere større områder på uten å måtte tilbringe flere dager i felt. Likevel er det viktig å trekke frem at fjernanalyse alene ikke nødvendigvis gir det beste resultatet. Ved å observere studieområdet med egne øyne, vil man få en dypere forståelse av området, noe som ikke kan oppnås gjennom en skjerm. I denne masteroppgaven har jeg jobbet med både data fra Juvflye, som jeg samlet inn selv, og data fra Kvadehuksletta som jeg fikk tildelt. Personlig synes jeg det har vært mye lettere å jobbe med data fra Juvflye, siden dette er et sted jeg har fått en tilknytning til etter å ha vært der i feltarbeid, i motsetning til Kvadehuksletta som jeg kun har sett på ortofoto. Bare det å ha vært på Juvflye i to dager og virkelig fått opplevd polygonenes og stripenes dimensjoner, har hjulpet mye med forståelsen av strukturmark og ideene bak.

Men fjernanalyse er et veldig nyttig verktøy når man ønsker å studere større områder. Det ble ikke tid til å se alle strukturene som ble fotografert av dronen med egne øyne, men gjennom ortofotoene ble det mulig å undersøke et mye større område. I tillegg ble det mye lettere å få en god oversikt over hvordan polygonene lå i forhold til hverandre og hvor stripene begynte å ta form. Det er også nyttig å påpeke at man ved hjelp av fjernanalyse lettere kan undersøke områder hvor det er vanskelig å komme til, som i bratte fjellskrenter eller områder hvor det ikke er lov til å ferdes.

Et annet godt argument for hvorfor fjernanalyse er nyttig i sammenheng med strukturmark er at det minimerer risikoen for å forstyrre eller ødelegge strukturene. Strukturmark bruker flere 10-år på å utvikle seg og forandringene skjer på cm-nivå. Det er derfor veldig viktig å unngå menneskelig påvirkning på disse strukturene, spesielt hvis målet er å overvåke endringer over tid. Ved å benytte fjernanalysemetoder som droneflyvning, kan man samle inn detaljerte data uten å fysisk trække på eller forstyrre landskapet.

## 6.6 Forandringer på Kvadehuksletta, Svalbard

Dette er første gang forandringer i steinsirklene over en 50-årsperiode har blitt analysert og det vil være verdifullt å fortsette denne typen overvåkning med for eksempel et 10-årsintervall. I tillegg ville det vært nyttig å utvide studien til andre områder som på Juvflye ved Juvfonne. Selv om det var få forandringer på Kvadehuksletta, er det likevel bemerkelsesverdig at de er så stabile når det fremdeles er en horisontal forflytning i sirklene slik både Hallet (2013) og Kääh et al. (2014) oppdaget. Dette tyder på at sirklene i på Kvadehuksletta må være i balanse med hverandre, og ifølge Hallet (2013) må dette ha tatt minst 500 år. En mulig forklaring er at sirklene har vokst seg så store at de støter mot hverandre og at de derfor ikke har plass til å utvikle seg mer siden begge sirklene jobber mot hverandre.

De få forandringene som ble observert var overraskende tydelige. Det ville derfor vært interessant å undersøke disse områdene videre og prøvd å finne årsaken til hvorfor de forandret seg på den måten. Er det noe spesielt her som kan ha påvirket sirklene i motsetning til der det ikke har vært noen forandringer? Eksempler på faktorer kan være tilgang på vann, kornstørrelse, de andre sirklene, det aktive laget, etc.

På flystripene ser det ut som at det småkoker på overflaten og dette tyder på at sirklene fremdeles er veldig aktive. Sirklene kommer nokså fort tilbake etter utjevningen, noe som kan bety at selve drivkraften til strukturen ligger i dypet av det aktive laget slik som beskrevet i Harris et al. (2017) og ikke på overflaten. På flystripene vokser sirklene seg større og større og det er ingenting som hindrer dem i å gro siden det ikke er noen andre sirklene der som kan jobbe mot dem.

Det er også verdt å nevne at forandringene som ble oppdaget ikke nødvendigvis var forandringer i strukturene, men heller forandringer mellom ortofotoene. Bildet fra 1970 hadde kun ett bånd og var fremvist i en gråskala, noe som gjorde det vanskeligere å se strukturene ordentlig siden det kun inneholdt informasjon om lysintensiteten. De andre ortofotoene hadde de tre båndene rød, grønn og blå og var fremvist i farger. Dette gjorde det mye lettere å se de individuelle sirklene tydelig, siden det ble en forandring i fargen og ikke bare lysstyrken. Det er derfor også mulig at det er enda flere forandringer på Kvadehuksletta mellom 1970 - 2021 enn det som ble oppdaget, siden sirklene rett og slett var vanskelige å se i ortofotoet fra 1970.

Lysstyrken i ortofotoene påvirket også oppfattelsen av sirklene. Ortofotoet fra 2011 var mye mørkere enn ortofotoet fra 2021. Det var derfor lettere å skille sirklene fra hverandre i bildet fra 2011 enn i det lyse bildet fra 2021. Det kan altså hende at enkelte detaljer forsvant i 2021-ortofotoet og dermed ble oppfattet som en forandring. I tillegg hadde bildet fra 2021 noen hull hvor det ikke var tatt noen bilder.

# 7 Konklusjon og videre arbeid

## 7.1 Konklusjon

Målet med denne masteroppgaven var å utforske potensialet av nyere metoder for å analysere variasjoner i strukturmark i tid og rom. Ved hjelp av både droneflyvning og laserskanner ble det hentet inn data fra Juvflye som videre ble brukt til å analysere sorterte polygoner og stripers diameter og mikrotopografi. Denne analysen ble også utført på ortofoto og DTM-er fra Kvadehuksletta på Svalbard, i tillegg til at det ble forsøkt å finne forandringer i sirklens struktur fra 1970 – 2021. Det ble også forsøkt å finne forandringer fra 2011-2022 i sedimentene rundt Juvfonne på Juvflye. På Juvflye ble det i tillegg tatt sedimentprøver av to polygoner og en stripe. Resultatene i denne masteroppgaven gir grunnlag for følgende konklusjoner:

1. Bruk av fjernanalyse er en effektiv måte å undersøke ulike strukturmarktyper på, i tid og rom. Ved hjelp av ortofoto blir det enklere å måle både mikrotopografi og diameter til strukturene uten å måtte vandre flere dager i felt. Ortofoto gjør det også lettere å kunne sammenlikne større områder, som Juvflye og Kvadehuksletta, men også et enkelt område over en lengre tidsperiode, slik det ble gjort på Kvadehuksletta.
2. En kombinasjon av både feltobservasjoner og fjernanalyse er muligens den beste kombinasjonen ved undersøkelser som i denne masteroppgaven. Feltobservasjoner gir en dypere forståelse av området som ikke kan oppnås ved fjernanalyse alene.
3. Det er tydelige høydeforskjeller mellom polygonene på Juvflye og sirklene på Kvadehuksletta. De har et omvendt høydeprofil av hverandre, hvor sirklene er W-formet og polygonene er M-formet.
4. Det er en tydelig forskjell i diameteren til polygonene på Juvflye og sirklene på Kvadehuksletta. Polygonene er gjennomsnittlig 1,4 m større enn sirklene.
5. Stripenes lengde på Juvflye er nesten 20 m lengre enn bredden, og de ble kun observert i hellende terreng. I tillegg tyder mikrotopografien på at det samler seg opp mer sedimenter i enden som strekker seg lengst ned i skråningen og at det sannsynligvis foregår solifluksjon der.

6. Sedimentprøvene på Juvflye bestod hovedsakelig av silt og sand som er en god miks for dannelsen av strukturmark, siden islinser lett oppstår i denne blandingen og forårsaker frosthevning.
7. Det er få forandringer i de sorterte steinsirklenes form etter 50 år på Kvadehuksletta, til tross for at det er dokumentert at det fremdeles foregår en aktivitet i deres senter. Dette tyder på at sirklene må være i likevekt med hverandre.
8. Flystripen på Kvadehuksletta viser tegn til at sirklene kommer nokså fort tilbake. Dette kan muligens indikere at drivkraften til sirklene ligger dypere i bakken.
9. Ortofoto og DTM fra drone fungerer godt til en enkel analyse av strukturmark ved at den lett kan flys over ønsket område og få en god oppløsning. Laserskanning kan gi en bedre nøyaktighet, hvis man for eksempel ønsker å se på forflytningen av steiner. Ulempen med terrestrisk laserskanning, som i denne masteroppgaven, er at man må utføre flere skann for å få med alle detaljene rundt det ønskede området, i tillegg til at den er mye tyngre enn en drone.
10. Det er ikke store forskjeller mellom de tre ulike områdene med polygoner på Juvflye.

## 7.2 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med denne masteroppgaven har det dukket opp flere mulige nye oppgaver og hypoteser. Det ville vært interessant å undersøke dette nærmere for å bedre kunne forstå strukturene på Juvflye, men også forskjellene mellom dem og Kvadehuksletta. Følgende er en liste med mulig forskningsarbeid:

2. I området rundt Juvfonne finnes det små polygoner/sirkler av fint materiale som dukker opp blant de større blokkene (Figur 5.9). Ved et videre arbeid hadde det vært interessant å overvåke dem årlig og sett om det var noen forandring i dem. Blir de større, høyere eller er det i det hele tatt noe aktivitet i dem? For å undersøke dette kunne man sett på området rundt Juvfonne og brukt fotogrammetrisk «structure-from-motion» basert på terrestriske bilder slik det ble gjort i Kääb et al. (2014).
3. Som vist har Juvfonne trukket seg tilbake i løpet av kort tid og nye områder har blitt isfrie. Med isens tilbaketrekning har strukturmark kommet til syne og spørsmål som dukker opp er; har de vært der hele tiden og bare gått i dvale når isen har ligget over, eller har de blitt formet under isen? Blir de dannet rett etter at isen forsvinner? Et forslag til hvordan dette kan undersøkes er å bruke dronebilder med høy oppløsning og fokusere på et lite område med polygoner så nær isfonna som mulig og gjerne på et område hvor isen varierer en del i utbredelse. Deretter kan man undersøke hvordan tildekning og tilbaketrekning av isen påvirker dannelsen av strukturmark. Vokser de selv om de er tildekket? En annen mulighet er å se på et større område og undersøke om det dukker opp strukturer med en gang isen trekker seg tilbake eller om de dannes rett etterpå.
4. Et annet arbeid som ville vært interessant er å lage høydeprofiler på strukturene rundt Juvfonne slik det ble gjort med de andre polygonene på Juvflye og sett om de har den samme M-formen som resten av polygonene der oppe. Siden det ikke er noen tydelige forsenkninger i området rundt Juvfonne kan det tenkes at de strukturene der ikke har blitt dannet av iskiler. Og hvis det er slik at det har en W-form, hva gjør at de er motsatt av resten av polygonene på Juvflye?



5. Selv om det var få forskjeller mellom de tre polygonområdene på Juvflye, var det likevel en liten forskjell. Dersom det hadde vært bedre tid til undersøkelser i felt, ville det vært interessant å måle dybden til det aktive laget på de ulike områdene og sett om det hadde noen sammenheng med polygonenes diameter og høyde. I tillegg ville det vært interessant å se om dybden av det aktive laget og kornfordelingen i senter eventuelt blir påvirket av avstanden til bre eller fonn. For å måle det aktive laget kunne man for eksempel brukt en stikkspade og til kornfordelingsanalysen kunne man tatt sedimentprøver av for eksempel 10-20 ulike strukturer i hvert studieområde som blir nevnt i denne oppgaven. I tillegg ville det vært nyttig og sett litt mer på kornfordelingen i den grove kanten for å få et større innblikk av hvor stor kornfordelingen er i hele strukturen.
6. Som resultatene i denne masteroppgaven viser, hadde polygonene på Juvflye en M-formet mikrotopografi, mens sirklene på Kvadehuksletta var W-formet. Ved en videre undersøkelse ville det vært interessant å forske mer på hva denne forskjellen kommer av. I tillegg ville det vært nyttig å undersøke videre om polygonene på Juvflye er dannet av iskiler og om forskjellen kommer av det.
7. Siden DTM-ene over hele Kvadehuksletta var for grove til å måle mikrotopografien, ville det vært lurt å ta nye bilder av området med en høyere oppløsning. Deretter kunne man valgt ut et større utvalg av steinsirklener og målt høyden på dem for å sjekke om alle har W-form eller om det finnes variasjoner der. Ved å ta et større utvalg av sirklener vil resultatene bli mer representative.
8. Siden de få forandringene på Kvadehuksletta var overraskende tydelige, ville det vært interessant å dra ut i felt og undersøkt de nærmere. Er det noe spesielt i disse områdene som kan ha påvirket sirklene i motsetning til der det ikke har vært noen forandringer? For eksempel tilgang på vann, kornstørrelse, de andre sirklene, det aktive laget, etc.
9. Gjennom en artikkel som ble publisert på Titan.uio.no (<https://www.titan.uio.no/blogg/mnkom-studentene/2022/en-mystisk-steingate-som-ingen-helt-vet-svaret-pa.html>), ble jeg informert av en leser om at det finnes sorterte steinsirklener i Hemsedal i nærheten av Nibbi. Bildene jeg ble tilsendt (Figur 7.1 og Figur 7.2) viser sirklener på en størrelse mellom 2-3 m hvor det ser ut til at den grove

kanten på sirkelen er høyere enn senter. Det hadde vært interessant å undersøke disse nærmere ved et videre arbeid og sett om de fremdeles er aktive. Er det grove materialet her mindre enn blokkene på Juvflye? Hva slags høydeprofil har de: M eller W?



*Figur 7.1. Eksempel på hvordan steinsirklene ser ut i Hemsedal. Foto: Åge Mikael Strand*



*Figur 7.2. Nærbilde av en av sirkelene i Hemsedal. Foto: Åge Mikael Strand*

# Litteraturliste

- Andreassen, L.M. mfl. (2020) *FonnSat - Fønner, arkeologi og satellittdata* (NVE-Rapport. nr.41/2020). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020\\_41.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2020/rapport2020_41.pdf) (Hentet: 31.10.2022)
- Ballantyne, C.K. og Matthews, J.A. (1983) Desiccation Cracking and Sorted Polygon Development, Jotunheimen, Norway. *Arctic and Alpine Research*, 15(3), s. 339-349. doi: 10.2307/1550830
- Black, R.F. (1976) Periglacial Features Indicative of Permafrost: Ice and Soil Wedges. *Quaternary Research*, 6(1), s. 3-26. doi: 10.1016/0033-5894(76)90037-5
- Boike, J. mfl. (2018) A 20-year record (1998–2017) of permafrost, active layer and meteorological conditions at a high Arctic permafrost research site (Bayelva, Spitsbergen). *Earth System Science Data*, 10(1), s. 355-390. doi: 10.5194/essd-10-355-2018
- Boike, J. mfl. (2017) Measurements in soil and air at Bayelva Station. PANGAEA, doi: 10.1594/PANGAEA.880120
- Chiasson, A. og Allard, M. (2022) Thermal contraction crack polygons in Nunavik (northern Quebec): Distribution and development of polygonal patterned ground. *Permafrost and Periglacial Processes*, 33(3), s. 195-213. doi: 10.1002/ppp.2150
- Dhindaw, M.-C. (2017) Permafrost in Svalbard: An Audit of Examination History, Climatic Foundation and Designing Difficulties. *International Journal of Geology*, 2(1), s. 4-15. doi: 10.26789/IJG.2017.01.002
- Etzelmüller, B. (1989) *Finkornet materiale, dets dannelse og betydning for frostprosesser på Kvadehuksletta, Svalbard*. Hovedoppgave. Universitetet i Oslo.
- Etzelmüller, B. mfl. (2020) Twenty years of European mountain permafrost dynamics-the PACE legacy. *Environmental Research Letters*, 15(10). doi: 10.1088/1748-9326/abae9d
- Etzelmüller, B. og Sollid, J.L. (1991) The role of weathering and pedological processes for the development of sorted circles on Kvadehuksletta, Svalbard - a short report. *Polar Research*, 9(2), s. 181-191. doi: 10.3402/polar.v9i2.6790
- French, H.M. (2017) *The Periglacial Environment*. 4. utg. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Groos, A.R. mfl. (2021) The enigma of relict large sorted stone stripes in the tropical Ethiopian Highlands. *Earth Surface Dynamics*, 9(2), s. 145-166. doi: 10.5194/esurf-9-145-2021
- Hallet, B. (2013) Stone circles: form and soil kinematics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 371(2004). doi: 10.1098/rsta.2012.0357

- Hallet, B. mfl. (1988). Surface Soil Displacements in Sorted Circles, Western Spitsbergen I: Senneset, K., red. *5th International Conference on Permafrost, Trondheim, Norway* (2-5. August 1988), Tapir Publisher, vol.1, s. 770-775.
- Hallet, B. og Prestrud, S. (1986) Dynamics of Periglacial Sorted Circles in Western Spitsbergen. *Quaternary Research*, 26(1), s. 81-99. doi: 10.1016/0033-5894(86)90085-2
- Harris, C. mfl. (2009) Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. *Earth-Science Reviews*, 92(3-4), s. 117-171. doi: 10.1016/j.earscirev.2008.12.002
- Harris, S.A., Brouchkov, A. og Guodong, C. (2017) *Geocryology: Characteristics and Use of Frozen Ground and Permafrost Landforms*. Boca Raton, Florida: CRC press.
- Hjort, J. (2006) *Environmental Factors Affecting the Occurrence of Periglacial Landforms in Finnish Lapland: A Numerical Approach*. Doktorgradsavhandling. Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Humlum, O., Instanes, A. og Sollid, J.L. (2003) Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research*, 22(2), s. 191-215. doi: 10.3402/polar.v22i2.6455
- Isaksen, K. mfl. (2001) Three deep Alpine-permafrost boreholes in Svalbard and Scandinavia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12(1), s. 13-25. doi: 10.1002/ppp.380
- Isaksen, K. mfl. (2011) Degrading Mountain Permafrost in Southern Norway: Spatial and Temporal Variability of Mean Ground Temperatures, 1999-2009. *Permafrost and Periglacial Processes*, 22(4), s. 361-377. doi: 10.1002/ppp.728
- Kessler, M.A. mfl. (2001) A model for sorted circles as self-organized patterns. *Journal of Geophysical Research*, 106(B7), s. 13287-13306. doi: 10.1029/2001JB000279
- Kessler, M.A. og Werner, B.T. (2003) Self-Organization of Sorted Patterned Ground. *Science*, 299(5605), s. 380-383. doi: 10.1126/science.1077309
- Křížek, M. og Uxa, T. (2013) Morphology, Sorting and Microclimates of Relict Sorted Polygons, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Permafrost and periglacial processes*, 24(4), s. 313-321. doi: 10.1002/ppp.1789
- Kääb, A., Girod, L. og Berthling, I. (2014) Surface kinematics of periglacial sorted circles using structure-from-motion technology. *The Cryosphere*, 8(3), s. 1041-1056. doi: 10.5194/tc-8-1041-2014
- Motrøen, T., Eide, H. og Nordahl, K. (2005) *Sorterte steinsirkler på Kvadehuksletta, Svalbard*. (Høgskolen i Hedmark-Rapport. nr. 9-2005). Elverum: Høgskolen i Hedmark. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/133740> (Hentet: 19.09.2023)
- Nesje, A. og Whillans, I.M. (1994) Erosion of Sognefjord, Norway. *Geomorphology*, 9(1), s. 33-45. doi: 10.1016/0169-555X(94)90029-9

- Norsk Polarinstitutt (2014) *Svalbardkartet, Geokart*. Tilgjengelig fra: <https://geokart.npolar.no/Html5Viewer/index.html?viewer=Svalbardkartet> (Hentet: 13. september 2023)
- Ullman, S. (1979) The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 203(1153), s. 405-426. doi: 10.1098/rspb.1979.0006
- Warburton, J. (2013) 8.19 Patterned Ground and Polygons. i: Shroder, J.F. (red.) *Treatise on Geomorphology*. San Diego: Academic Press, s. 298-312.
- Washburn, A.L. (1979) *Geocryology : A survey of periglacial processes and environments*. 2. utg. London: Edward Arnold.
- Werner, B.T. og Hallet, B. (1993) Numerical simulation of self-organized stone stripes. *Nature*, 361(6408), s. 142-145. doi: 10.1038/361142a0
- Winkler, S., Donner, A. og Tintrup gen. Suntrup, A. (2021) Periglacial Landforms in Jotunheimen, Central Southern Norway, and Their Altitudinal Distribution. i: Beylich, A.A. (red.) *Landscapes and Landforms of Norway*. Cham: Springer, s. 169-202.
- Winkler, S. mfl. (2016) Schmidt-hammer exposure ages from periglacial patterned ground (sorted circles) in jotunheimen, norway, and their interpretative problems. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 98(3), s. 265-285. doi: 10.1111/geoa.12134
- Yamagishi, C. og Matsuoka, N. (2015) Laboratory frost sorting by needle ice: a pilot experiment on the effects of stone size and extent of surface stone cover. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(4), s. 502-511. doi: 10.1002/esp.3653
- Ødegård, R. (1986) *Periglasiale former og permafrost ved Juvvasshytta i Jotunheimen*. Hovedoppgave. Universitetet i Oslo.
- Ødegård, R.S., Liestøl, O. og Sollid, J.L. (1987) *Juvflya – Kvartærgeologi og geomorfologi*, 1:10000. Oslo: Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo.
- Ødegård, R.S., Liestøl, O. og Sollid, J.L. (1988). Periglacial forms related to terrain parameters in Jotunheimen, southern Norway. I: Senneset, K., red. *5th International Conference on Permafrost, Trondheim, Norway (2-5. August 1988)*, Tapir Publisher, vil.3, s. 59-61.
- Ødegård, R.S. mfl. (2017) Climate change threatens archaeologically significant ice patches: Insights into their age, internal structure, mass balance and climate sensitivity. *The Cryosphere*, 11(1), s. 17-32. doi: 10.5194/tc-11-17-2017
- Ødegård, R.S., Sollid, J.L. og Liestøl, O. (1992) Ground temperature measurements in mountain permafrost, Jotunheimen, southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3(3), s. 231-234. doi: 10.1002/ppp.3430030310

# Vedlegg

## Vedlegg 1

Tabell V. 1. En oversikt over alle forandringene på Kvadehuksletta, Svalbard. I tabellen er X- og Y-koordinatene oppgitt som meter i WGS 1984 UTM Zone 33N. I tillegg er type forandring lagt til som en egen kolonne.

<b>OID_</b>	<b>Id</b>	<b>X_koord</b>	<b>Y_koord</b>	<b>Type</b>
0	1	423068,33812	8765197,83228	Closed
1	2	422093,43731	8767181,35931	Merged
2	2	422107,35086	8767179,41141	Merged
3	10	423592,82393	8766935,40727	Runway
4	3	425334,64565	8768965,38378	Opened
5	2	424926,19046	8768898,83678	Merged
6	1	421857,61598	8768505,99194	Closed
7	4	422661,60759	8768436,24537	Disappeared
8	5	424576,65495	8768383,83377	Larger
9	5	425170,29204	8768385,05396	Larger
10	5	423049,58579	8768285,43888	Larger
11	3	423219,55995	8768275,21017	Opened
12	2	424248,05564	8768113,78815	Merged
13	4	425749,63111	8768180,44349	Disappeared
14	5	422872,80759	8767985,91534	Larger
15	2	423337,70129	8768005,89589	Merged
16	5	423706,14626	8767972,11724	Larger
17	5	425199,90221	8768010,95222	Larger
18	2	423282,17909	8767744,63250	Merged
19	5	424651,99324	8767833,99379	Larger
20	3	425438,06996	8767811,20030	Opened
21	1	424803,70567	8767541,65121	Closed
22	2	423716,49698	8767063,33034	Merged
23	3	424553,97391	8767098,29539	Opened
24	5	425407,19360	8767109,89002	Larger
25	1	423740,47955	8766922,42601	Closed
26	4	424230,03825	8766785,23397	Disappeared
27	4	425670,44429	8766653,63194	Disappeared
28	1	425277,30813	8766231,27832	Closed
29	1	422397,36501	8765230,82136	Closed
30	1	424168,46652	8764850,35459	Closed
31	6	423075,87557	8764514,51102	Smaller
32	7	423716,43947	8764220,24217	Separated
33	5	423180,01579	8764062,79743	Larger