Brekartlegging med drone

Liss M. Andreassen og Jessica De Marco

44
2018

RAPPORT

Rapport nr 44-2018
Brekartlegging med drone

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Liss M. Andreassen og Jessica De Marco

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 20
Forsidefoto: Nigardsbreen, 22. juni 2017. Bilde tatt med drone. Foto: NVE
ISBN 978-82-410-1697-4
ISSN 1501-2832

Sammendrag: I denne rapporten gis en oversikt over kartlegginger av breer foretatt med drone i perioden 2016-2017. Kartlegging ble foretatt på Juvfonne, Storbreen og Nigardsbreen.

Emneord: drone, fonn, bre, kartlegging, ortofoto, digital terrengmodell

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no

April 2018

Brekartlegging med drone

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
2018

Innhold

Forord **4**
Sammendrag **5**
Summary **5**
Forkortelser **6**
1 Innledning **7**
1.1 Bakgrunn 7
1.2 Om denne rapporten 7
2 Studiebreer **8**
2.1 Juvfonne 8
2.2 Storbreen 8
2.3 Nigardsbreen 9
3 Data og metode **10**
3.1 Programvare 10
3.2 Grunnlagsdata 10
3.3 Kartlegging med eBee 10
3.4 Konstruere punktsky og ortofoto 18
4 Resultater & diskusjon **20**
4.1 Juvfonne 20
4.1.1 Punktsky og ortofoto 2016 20
4.1.2 Punktsky og ortofoto 2017 23
4.1.3 Sammenligning av Juvfonne 2016 og 2017 25
4.2 Storbreen 2017 25
4.3 Nigardsbreen 2017 28
5 Diskusjon **31**
5.1 Bruk av kontrollpunkter 31
5.2 Sammenligning med andre kartleggingsmetoder 32
6 Konklusjon og videre arbeid **35**
7 Referanser **36**

Forord

Dette oppsummerer arbeid i prosjektet “80119 - Breovervåking med drone” som fikk støtte av NVEs FoU-midler i 2016 og 2017. Rapporten er skrevet av Liss M. Andreassen med bidrag fra Jessica De Marco. Jessica De Marco gjorde det meste av prosessering av dronedata. Liss M. Andreassen og Jessica De Marco analyserte dataene og lagde figurer og tabeller.

Arbeidet har involvert flere personer. Kartleggingen i 2016 på Juvfonne ble utført av Liss M. Andreassen og Simon J. Oldani. I 2017 ble kartleggingene på Nigardsbreen, Storbreen og Juvfonne utført av Liss M. Andreassen, Jessica De Marco og Simon J. Oldani. Solveig Havstad Winsvold, Paul Weber og Marit Andresen bidro i felt. Bjarne Kjøllmoen utførte prosessering av GNSS-data.

I tillegg til ovennevnte personer vil vi takke Walter Immerzeel og Philip Kraaijenbrink fra Universitetet i Utrecht, Nederland, og Philip Joerg fra Universitetet i Zürich, Sveits, for gode råd og deling av erfaringer fra bruk av drone i brekartlegging.

Oslo, april 2018

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Rune V. Engeset
seksjonssjef

Sammendrag

I denne rapporten gis en oversikt over kartlegginger av breer foretatt med drone i perioden 2016-2017. Kartleggingene ble foretatt på en isfonn (Juvfonne) og to breer (Storbreen og Nigardsbreen). Kontrollpunkter ble brukt ved kartleggingen. Kartlegging med drone kan gi ortofoto og digital høydemodell med en nøyaktighet innenfor ±0,2 m under optimale forhold. Nøyaktigheten avhenger av flere faktorer som antall kontrollpunkt, flyforhold og oppløsning av grunnlagsdata. Kartlegging med drone kan brukes til dokumentasjon av tilstand som posisjon av brefront, sprekker og snølinjer, og til bestemmelse av endringer. Bruk av drone er godt egnet til å kartlegge små breer og fonner og til mindre deler av større breer.

Summary

In this report, we summarize work carried out to explore the suitability of using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to map glaciers and ice patches in Norway. Investigations have been carried out at three ice masses: the ice patch Juvfonne and the glaciers Storbreen and Nigardsbreen.

Results revealed that a mapping accuracy of ±0.2 m is achievable for small ice patches such as Juvfonne. However, the accuracy depends on number of control points, surveying conditions and resolution of reference data. UAV surveys can be used for documentation of glacier terminus extents, crevasses and snow lines, and for change assessments. Using UAV surveys are suitable for mapping small glaciers and ice patches or parts of larger glaciers.

Forkortelser

Forkortelser på norsk og engelsk brukt i rapporten.

DTM	digital terrengmodell
GIS	geografisk informasjonssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sampling Distance
KP	Kontrollpunkt
LIDAR	LIght Detection And Ranging
LKP	LIDAR kontrollpunkt
mfl.	med flere
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
RMSE	Root Mean Square Error
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
SfM	Structure-from-Motion
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
WMS	Web Map Service

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Norske breer utgjør ca. 0,7 % av det totale arealet i (fastlands) Norge (Andreassen og Winsvold, 2012). NVE måler massebalanse på 14 breer og frontposisjon på rundt 35 breer (tall for 2016: Kjøllmoen mfl., 2017). Regelmessig kartlegging av breene er viktig for å kunne måle endring av breer og ha et godt datagrunnlag for beregninger.

En drone er et fjernstyrt/selvstyrt luftfartøy, på engelsk brukes forkortelsene UAV (Unmanned Aerial Vehicle) og RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). Det finnes både militære og sivile droner, og de opererer i luften, på bakken, på havet og under vann. I de senere årene har droner blitt tatt i bruk på en rekke områder. Droner brukes til filming og fotografering av media og privatpersoner. Droner er også brukt i kartlegging for å lage ortofoto og høydemodeller (Grøtli mfl., 2014). I dag kan man kjøpe ferdige kartleggingsdroner med tilhørende programvare.

Droner kan brukes til å en rekke glasiologiske formål (Bhardwaj mfl., 2016). Ved repeterte kartlegginger kan man studere endringer av frontposisjon, kartlegge forskyvning av bresprekker og dermed bestemme overflatehastighet. Man kan se på utvikling av bresjøer og måle endringer i overflatehøyde (f.eks. Immerzeel mfl., 2014; Ryan mfl., 2015; Kraaijenbrink mfl., 2016). Kartlegging med drone kan derfor være et alternativ til, eller supplement til annen brekartlegging, i alle fall på mindre breer eller deler av breer.

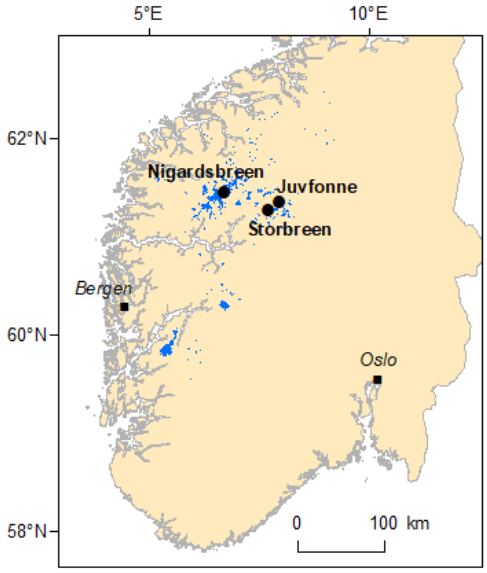
1.2 Om denne rapporten

I denne rapporten har vi undersøkt potensialet for bruk av drone til brekartlegging som et alternativ til, eller supplement til tradisjonelle målinger. I dette prosjektet ble det innkjøpt en kartleggingsdrone i 2016. I 2016 og 2017 ble det foretatt tre kampanjer på Juvfonne og to kampanjer på deler av Storbreen. I tillegg ble det også gjort en testflyging i frontområdet av Nigardsbreen i 2017. Hovedfokus i rapporten er på resultatene fra Juvfonne, men resultatene fra Storbreen og Nigardsbreen omtales også.

Målet med rapporten er å oppsummere erfaringene med å samle inn data med drone, gi en beskrivelse av fremgangsmåten som er brukt og resultater som er oppnådd. Vi gjør også en vurdering av fordeler og ulemper med drone kontra andre kartleggingsmetoder.

2 Studiebreer

Undersøkelsene er foretatt på tre lokaliteter i Sør-Norge: Juvfonne, Storbreen og Nigardsbreen (Fig. 1) som alle er del av NVEs nettverk av regelmessige målinger (Kjøllmoen mfl., 2017).



Figur 1. Kart som viser plassering av Nigardsbreen, Storbreen og Juvfonne i Sør-Norge. Breer er markert i blått.

2.1 Juvfonne

Juvfonne (tidligere er navnet Juvfonna også brukt på kart) er en liten isfonn like ved Galdhøpiggen i Jotunheimen. Juvfonne ble kartlagt med laserskanning i 2011 og hadde da et areal på 0,127 km^2 og en høydeutbredelse fra 1841 til 1986 moh. (Andreassen, 2017). NVE startet målinger på breen i 2010 som en del av 'Mimisbrunnr/Klimapark 2469'. De årlige målingene omfatter måling av frontposisjon, utbredelse av fonna, massebalanse på stake og sonderinger av snødyp. Ved Juvfonne er det gjort en rekke arkeologiske funn (Nesje mfl., 2011). Radiokarbondateringer av isen viser at det er den eldste isen som hittil er datert i Norge (Ødegård mfl., 2017).

Figur 2. Juvfonne i Jotunheimen, 13. september 2016. Foto: Liss M. Andreassen.

2.2 Storbreen

Storbreen (skrives nå som Storbrean med –an endelse på offisielle kart) er en dalbre i Leirdalen i Jotunheimen. Breen ble kartlagt med laserskanning i 2009 og hadde da et

areal på 5,4 km² og en høydeutbredelse fra 1390 til 2080 moh. (Andreassen mfl., 2016). Målinger av breens frontposisjon ble startet i 1900. Årlige massebalansemålinger har vært utført siden 1949.

Figur 3. Storbreen i Jotunheimen, 12. september 2016. Foto: Liss M. Andreassen.

2.3 Nigardsbreen

Nigardsbreen er en brearm av Jostedalsbreen i Jostedalen i Sogn og Fjordane. Breen ble sist kartlagt med laserskanning i 2013 og hadde da et areal på 46,6 km^2 og en høydeutbredelse fra 330 til 1952 moh. (Kjøllmoen mfl., 2017). Frontposisjonmålinger har blitt utført siden 1899, og massebalansemålinger har blitt gjort siden 1962. Nigardsbreen utgjør ca. 10 % av Jostedalsbreen, som er den største breen på Norges og Europas fastland.

Figur 4. Nigardsbreen i Jostedalen, 3. september 2015. Foto: Hallgeir Elvehøy.

3 Data og metode

3.1 Programvare

Flere ulike typer programvare ble brukt i dette prosjektet:

- eMotion v 3.2.4 og 3.3.1 (samt tidligere versjoner) ©senseFly ble brukt til å lage flyplan for kartlegging med dronen eBee og til å operere dronen under flyging. (https://www.sensefly.com/software/emotion-3.html
- Pix4Dmapper (v 3.2.23 og 3.3.24) ©Pix4D (https://pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/#) ble brukt til å generere høydemodeller og ortofoto.
- ArcGIS v 10.5.1 ©1999-2017 ESRI inc. ble brukt til å analysere data og lage kartfigurer. (http://www.esri.com)
- CloudCompare v 2.9.beta ble brukt til å sammenligne punktskyer fra to forskjellige tidspunkt eller produsert med ulike oppsett. Dette programmet er fritt tilgjengelig (såkalt 'open source', http://www.danielgm.net/cc/)

3.2 Grunnlagsdata

Grunnlagsdata for breene var laserskanningsdata og flyfoto av breene. Fra disse dataene ble det laget digitale terrengmodeller (DTM) og georefererte flybilder, såkalte ortofoto.

Juvfonne ble kartlagt med laserskanning og flyfoto den 17. september 2011. COWI A/S, på oppdrag fra NVE, foretok laserskanning og dataprosessering. Området ble skannet med høy oppløsning, 5 punkt per m^2 med en absolutt nøyaktighet bedre enn 0,1 m i overflatehøyde (Ødegård mfl., 2017).

Storbreen ble kartlagt med laserskanning og flyfoto i 2009 av Blom Geomatics. Breen ble kartlagt med laserskanning med en oppløsning på 0,3 punkt per m^2 den 17. oktober og ble flyfotografert den 14. september (Andreassen mfl., 2016). Nøyaktigheten av kartleggingen er anslått til ±0,2 m i høyde.

Nigardsbreen ble kartlagt med laserskanning og ortofoto både i 2009 og i 2013 (Kjøllmoen, 2016). Vi brukte data fra 2013. Kartleggingen ble utført av Terratec AS den 10. september. Det ble tatt flyfoto av breen, og breen ble skannet med en oppløsning på 1 punkt per m^2. Forventet absolutt nøyaktighet var ±0,1 m i høyde og ±0,3 m i grunnriss.

3.3 Kartlegging med eBee

Til kartleggingen ble det brukt en kartleggingsdrone av type eBee (fig. 5). Det er en lett drone som veier 700 gram. Den har et vingespenn på 96 cm og drives av en elektrisk motor på 160 watt. Den bruker oppladbare batterier. Dronen er utstyrt med et 18,2 megapixler Sony Cyper-shot med 10X optisk zoom. Den kan under ideelle forhold fly i

ca. 45 min og dekke opp til 12 km^2 på en flyging (https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/). Bildeoppløsning kan komme ned til 1,5 cm per pixel. Nøyaktighet med kontrollpunkt kan være 3-5 cm, uten kontrollpunkt 1-5 m. Dronen kan ikke brukes i regnvær eller med vind over 12 m/s. I planleggingsverktøyet eMotion kan man planlegge rute og bestemme innstillinger for bildeoverlapp og bildeoppløsning (https://www.sensefly.com/software/emotion/). Dette verktøyet brukes også under flyging for å igangsette og overvåke flygingen. Underveis kan man endre flyplan og landingssted, og lande eller avbryte landing.

Figur 5. Dronen eBee ble brukt i kartleggingen. Bildet er fra Storbreen 2. august 2017. Foto: Solveig H. Winsvold.

Kartlegging med drone ble gjort ved flere lokaliteter (tab.1). Flest kartlegginger ble gjort ved Juvfonne: én gang i 2016 og tre ganger i 2017 (tab. 1). I tillegg ble det gjort testkartlegging av nedre del av bretunga på Nigardsbreen den 22. juni 2017, og på Storbreen den 2. august og 26. september 2017. Detaljer ved de ulike kartleggingene er nevnt under.

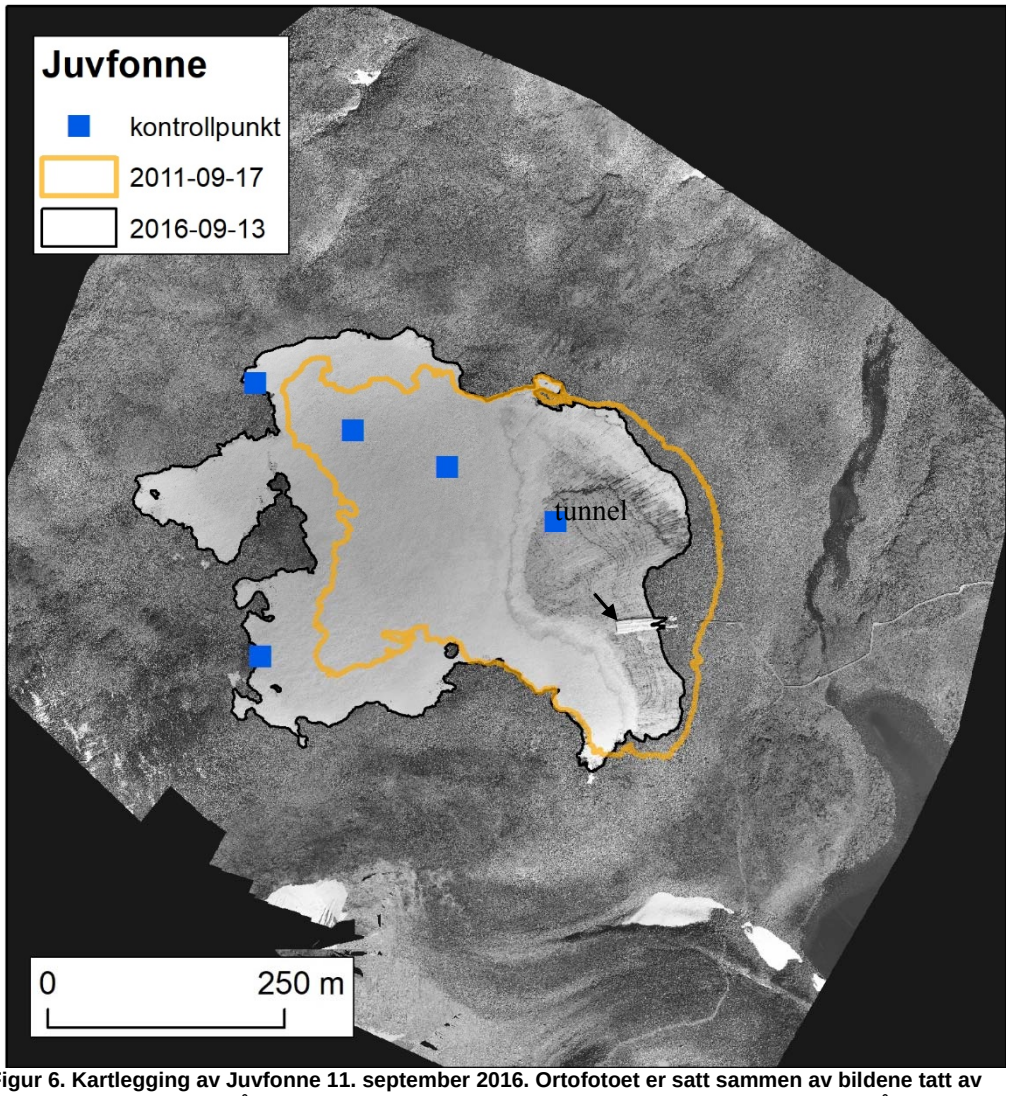
Tabell 1. Oversikt over kartlegging med drone foretatt i 2016 og 2017. Antall kontrollpunkt er punkt som ble markert med duker på snø og is og i terrenget. I tillegg kan komme naturlige punkt samt punkt hentet fra laserskanning.

Sted	År	Dato	Kontroll-punkt (KP)	Merknad
Juvfonne	2016	13. september	5	Hele fonna
	2017	1. august	7	Hele fonna
	2017	18. september	ja	Avbrutt pga. vær
	2017	25. september	8	Delvis kartlegging, mørkt
Storbreen	2017	2. august	9	Kun del av en front
	2017	26. september	5	Nedre deler av frontene
Nigardsbreen	2017	22. juni	7	Kun front

2016-09-11 Juvfonne

Det ble tatt 208 bilder som totalt dekket et areal på 0,856 km^2 (Fig. 6). Fem kontrollpunkt ble markert på Juvfonne. Disse fem kontrollpunktene ble posisjonsbestemt med GNSS.

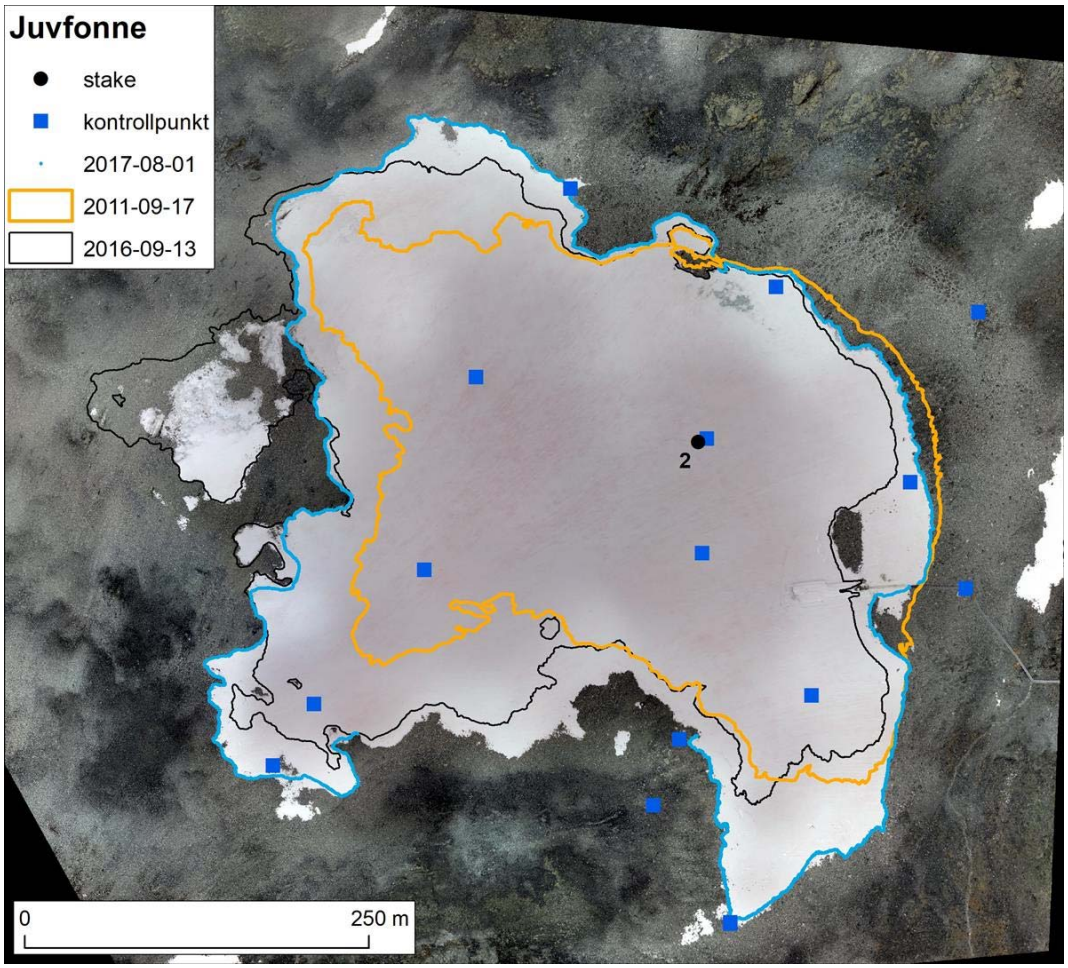
Breomkretsen ble også kartlagt med GNSS. Det var sol og svært varmt på kartleggingstidspunktet.



Figur 6. Kartlegging av Juvfonne 11. september 2016. Ortofotoet er satt sammen av bildene tatt av dronen. Brekanten ble målt inn med GNSS samme dag. Fem kontrollpunkt ble markert på breen. Brekanten fra 2011 er digitalisert fra ortofoto fra bilder tatt 17. september 2011. Taket på tunnelen i Juvfonne kan ses i bildet.

2017-08-01 Juvfonne

Været var vekslende, men kartlegging med eBee ble gjennomført innimellom litt yr og tåke og skyer. Hele fonna var snødekket bortsett fra et lite parti i nordvest (fig. 7). Det var ca. 90 cm gjenværende snø igjen i posisjon 2 ved kartleggingen. Totalt 15 kontrollpunkter (7 plastduker og 8 naturlige punkter) ble målt inn med GNSS (fig. 7-8).
I tillegg ble større deler av omkretsen målt inn med GNSS.

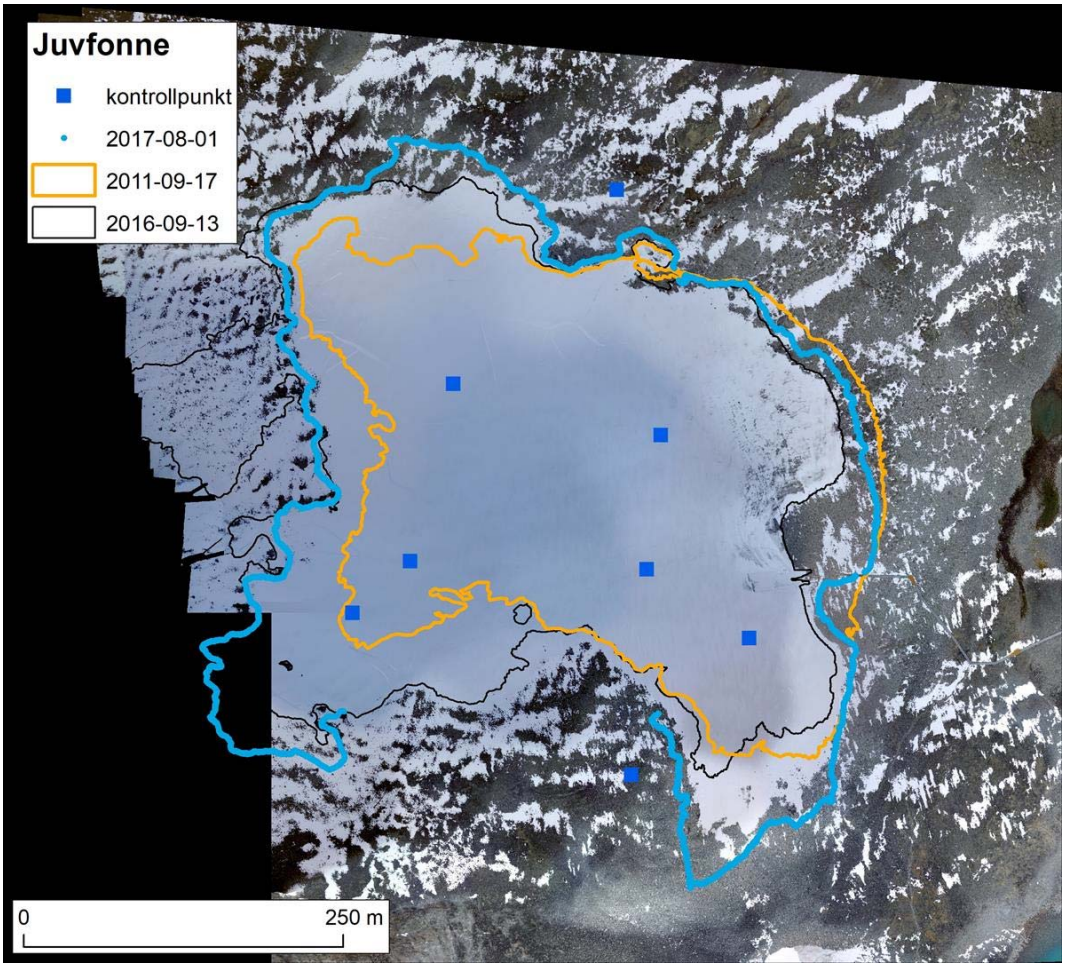


Figur 7. Kartlegging av Juvfonne 1. august 2017. Ortofotoet er satt sammen av bildene tatt av dronen. Det meste av breomkretsen ble målt inn med GNSS samme dag. En rekke kontrollpunkt ble markert på og rundt fonne. Posisjon av stake 2 og brekanten fra 2011 og 2016 er også vist.

Figur 8. Bruk av kontrollpunkt er viktig for å få god nøyaktighet i prosessert ortofoto og høydemodell. Til venstre vises et enkeltbilde fra kartleggingen med eBee hvor kontrollpunktet er synlig (se rød sirkel). Til høyre vises ulike kontrollpunkt brukt i kartleggingen 1. august 2017: sort plastsekk på snø og is (grillspyd i tre presset ned i snøen ble brukt til å feste duken), blå plastsekk på fjell (steiner brukt til å forankre) og noen naturlige målepunkt som større stein ble også brukt. Foto: Liss M. Andreassen.

2017-09-18 Juvfonne
Det ble forsøkt å kartlegge fonna med eBee innimellom yr og tåke/skyer, men oppdraget måtte avbrytes pga. været. Det ble målt inn en del kontrollpunkter (plastduker og naturlige punkter) samt nedre kant av omkretsen med GNSS.

2017-09-25 Juvfonne
Hele fonna var dekket av et tynt lag nysnø og is var synlig i nedre deler under nysnøen. Det meste av fonna ble kartlagt med eBee, men pga. sterk vind kunne ikke hele den planlagte kartleggingen gjennomføres. Det var også stedvis et tynt skydekke som kan ses på ortofotoet (fig. 9). Det ble målt inn 10 kontrollpunkter (plastduker) på og utenfor fonna, samt overflatehøyde på fonna med GNSS. Kartleggingen ble gjennomført på ettermiddagen etter at sola var gått ned, noe som medførte ugunstige lysforhold (fig. 10).

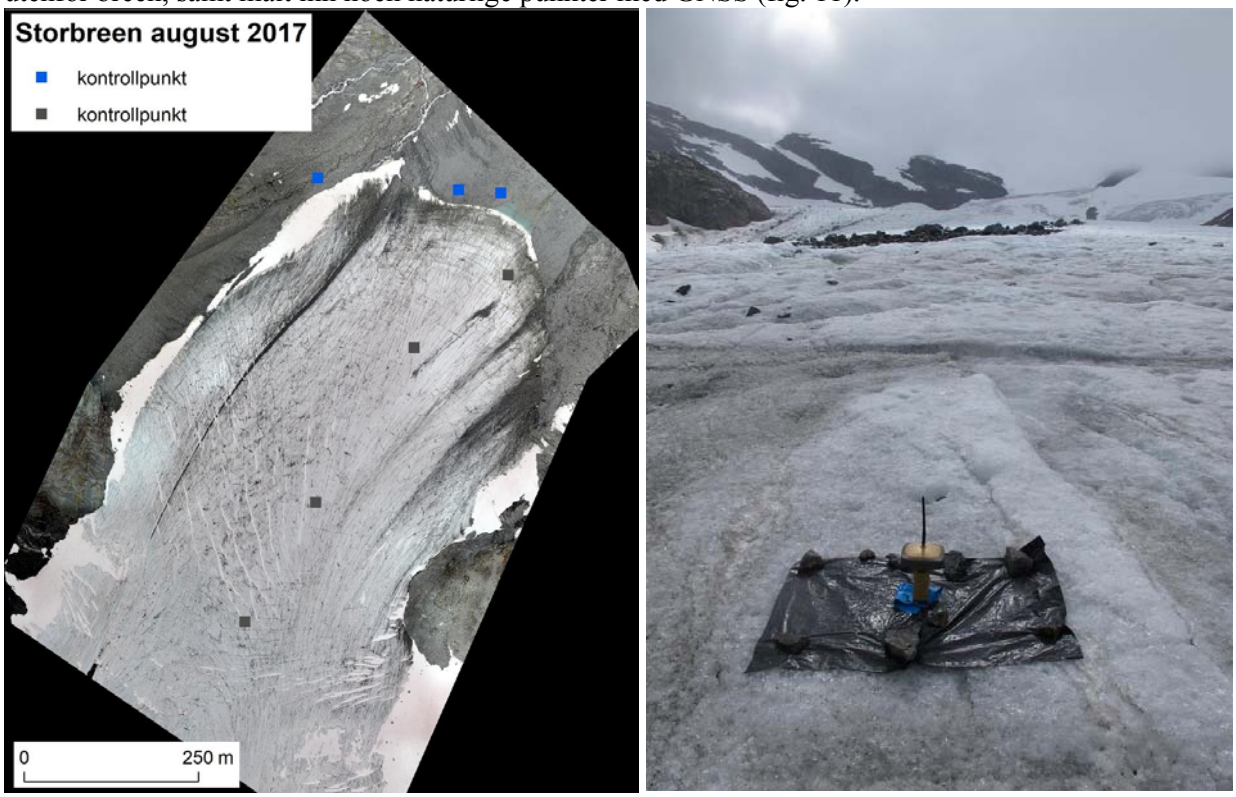


Figur 9. Kartlegging av Juvfonne 25. september 2017. Ortofotoet er satt sammen av bildene tatt av dronen. Kontrollpunkt ble markert på og utenfor Juvfonne. Brekanten fra 2011 og 2016 og kartleggingen 1. august 2017 er også vist.

Figur 10. Bæring av kasse med eBee til Juvfonne 25. september 2017 med stake gjennom bærehåndtaket. Sola var gått ned da kartleggingen ble gjennomført i 5-tiden på ettermiddagen, og det ble for sent på denne tiden av året. Foto: Liss M. Andreassen.

2017-08-02 Storbreen

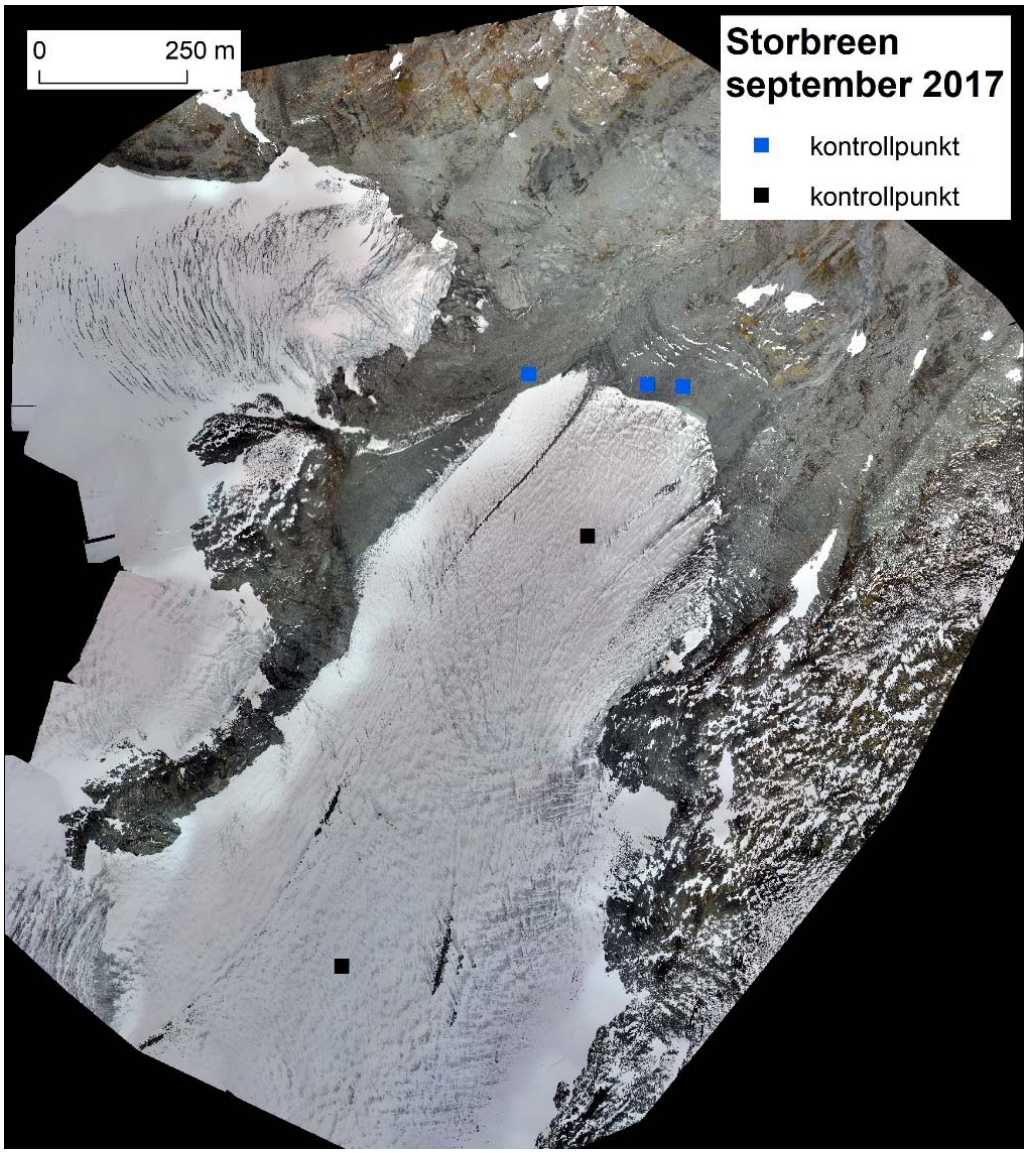
Storbreens sydlige bretunge ble kartlagt med eBee. Det ble lagt ut duker på breen og utenfor breen, samt målt inn noen naturlige punkter med GNSS (fig. 11).



Figur 11. Kartlegging ble gjort av den sydlige bretungen på Storbreen den 2. august. Til venstre ortofoto av det kartlagte området med innmålte kontrollpunkt. Til høyre vises innmåling med GNSS (gul mottager i midten) av et kontrollpunkt på breen (sort duk). Utenfor breen ble det brukt blå duker og naturlige punkt. Foto: Liss M. Andreassen.

2017-09-26 Storbreen

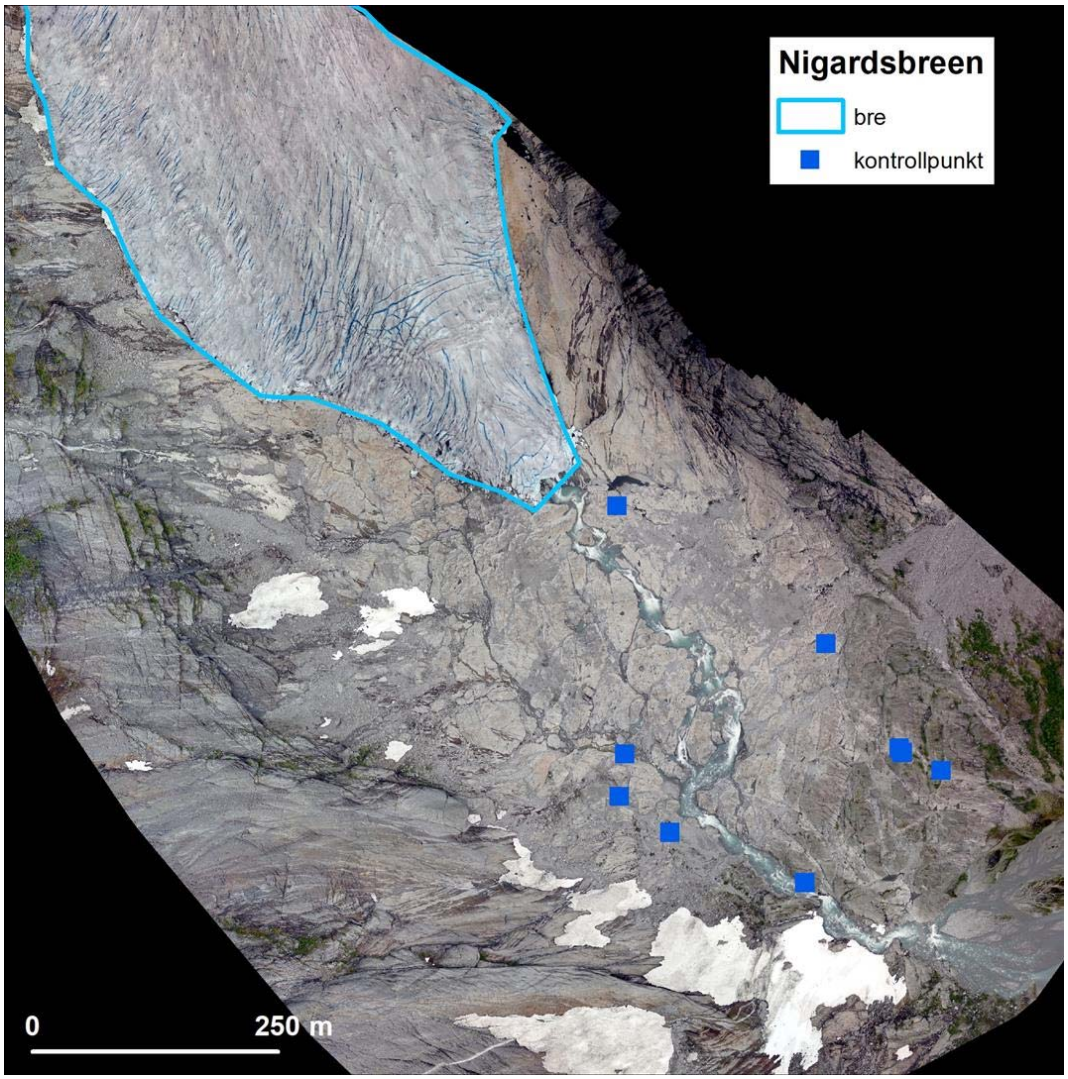
De nederste deler av Storbreens sydlige og nordlige tunge ble kartlagt med drone. Flere markører ble lagt ut på og utenfor breen, og målt inn med GNSS (fig. 12). Den sydlige brekanten ble delvis målt inn med GNSS. Det var planlagt å kartlegge hele breen, men værforholdene med mye vind og tidvis lavt skydekke, tillot dessverre ikke kartlegging på øvre del.



Figur 12. Kartlegging av Storbreen 26. september 2017. Ortofotoet er satt sammen av bildene tatt av dronen. Fem kontrollpunkt ble brukt på og utenfor breen.

2017-06-22 Nigardsbreen

Deler av bretunga på Nigardsbreen ble kartlagt 22. juni 2017. Totalt 211 bilder ble tatt av den sydøstlige delen. Bildene dekker brerandssonen og brefronten og ca. 700 m av den nederste delen av bretunga (fig. 13). Et område på ca. 1 km^2 ble kartlagt, hvorav ca. 0,2 km^2 av dette var bre. Ingen markører ble lagt ut på breen pga. tidsnød, men det ble lagt ut fire duker som kontrollpunkter i brerandsonen. Disse ble posisjonsbestemt med GNSS. Nigardsbreens front er bratt og oppsprukket og mer krevende å bevege seg sikkert på enn Juvfonne og Storbreen. Vi valgte derfor et område i brerandsonen til å sette i gang og lande dronen.



Figur 13. Ortofoto som viser kartlagt område på og ved Nigardsbreen 22. juni 2017. Turkis polygon viser den nedre delen av Nigardsbreen som ble kartlagt.

3.4 Konstruere punktsky og ortofoto

Bildene tatt med dronen eBee ble brukt til å konstruere ortofoto og punktsky. I databehandlingen brukes teknikken kalt 'Structure from motion' (SfM), som bruker overlappende bilder av samme objekt til å lage ortofoto og generere punktsky. Deretter kan digital terrengmodell (DTM) som rutenettsmodell i ønsket oppløsning (for eksempel 1 x 1 m eller 5 x 5 m) avledes. Kontrollpunkt ble brukt til å georeferere punktskyen og estimere feil i georefereringen.

For å undersøke hvilken behandling av dataene som var mest hensiktsmessig i henhold til tidsbruk og datakvalitet, ble flere alternative måter å konstruere punktskyer og høydemodeller undersøkt. For å gjøre dette ble datasettet over Juvfonne 13. september 2016 benyttet.

Følgende trinn ble gjort for å lage datasett fra hver kartlegging:

1. Konstruere ortofoto og punktsky
2. Sjekke punktsky i CloudCompare
3. Eventuelt justere punktsky med matrisemodell fra LIDAR punktsky
4. Lage digital terrengmodell (DTM) fra punktsky
5. Sammenligne DTM med LIDAR data.

Bildene ble hentet inn i Pix4D og brukt til å produsere ortofoto og punktsky. For kartleggingen av Juvfonne 13. september 2016 ble det testet flere måter å georeferere bildene på. I kapittel 4 vises resultatene fra fire ulike tester:

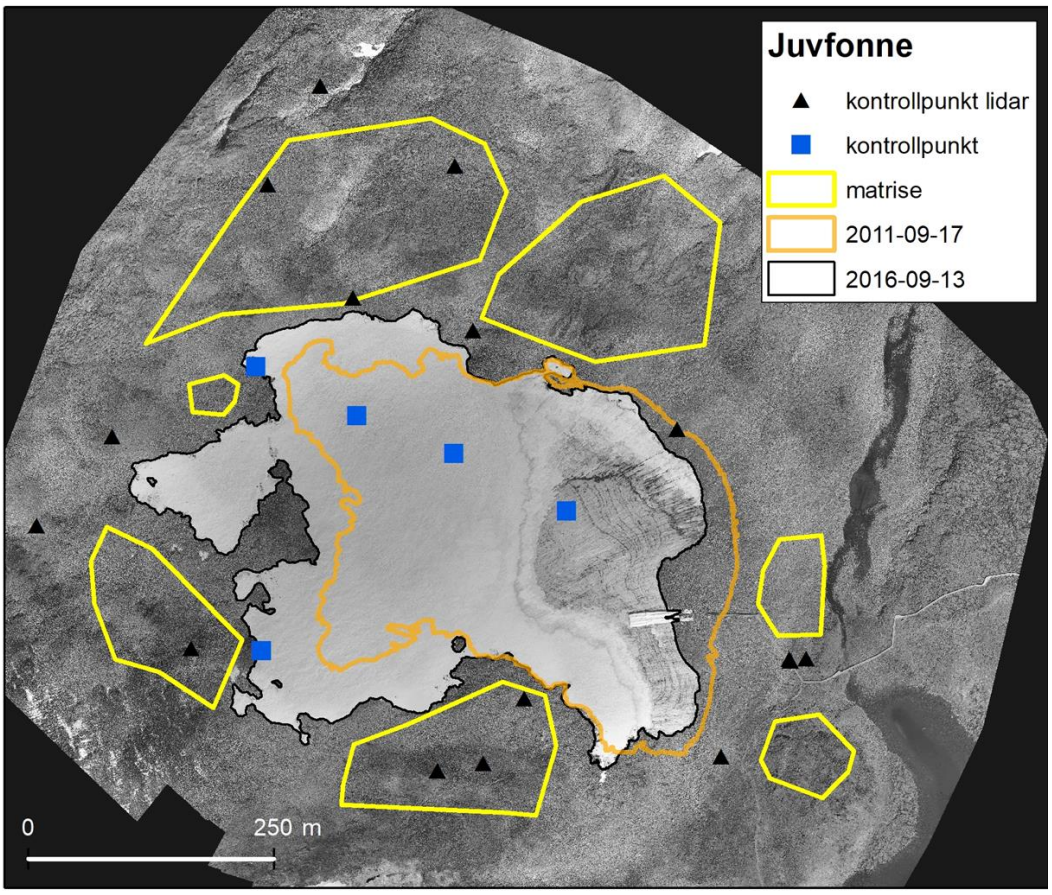
Test 1: 5 kontrollpunkt på breen

Test 2: 5 kontrollpunkt på breen + 15 kontrollpunkt fra LIDAR punktsky 2011

Test 3: 5 kontrollpunkt på breen + matrise beregnet over stabile områder fra LIDAR punktsky 2011

Test 4: 5 kontrollpunkt på breen + 15 kontrollpunkt fra LIDAR punktsky 2011+ matrise beregnet over stabile områder fra LIDAR punktsky 2011

For test 1 ble kontrollpunktene på breen brukt, for test 2 ble det i tillegg til de fem kontrollpunktene brukt 15 kontrollpunkt hentet fra punktskyen til laserskanningen i 2011. For test 3 og 4 ble også en matrise beregnet ved å velge ut stabile områder som er antatt å være uendret i tid, ved å sammenligne ortofoto i 2011 og 2016 med en skyggemodell ('hillshade') fra terrengmodellene fra 2011 og 2016 (fig. 14). Matrisen ble beregnet ved å sammenligne punktskyene fra 2011 og 2016 i de utvalgte områdene. Algoritmen Iterative Closest Point (Gruen og Akca, 2005) ble brukt i CloudCompare, og denne forskyver punktskyen i flere steg til den samsvarer med referansepunktskyen. På denne måten blir punktskyen fra drone samregistrert til punktskyen som man ønsker å sammenligne med.



Figur 14. Ulike kontrollpunkt og områder for å beregne matrise for å konstruere høydedata av Juvfonne for kartleggingen 13. september 2016. Ortofotoet er satt sammen av bildene tatt av dronen. Kontrollpunkt ble markert og målt inn med GNSS på og utenfor Juvfonne, og det ble også tatt ut kontrollpunkt fra punktskyen fra laserskanning i 2011. Brekanten fra 2011 og 2016 er også vist.

Etter at punktskyen var generert ble den sjekket i programmet CloudCompare. Tydelige avvik ble filtrert vekk manuelt. Punktskyen ble så generert til en digital terrengmodell (DTM) med 1 m oppløsning.

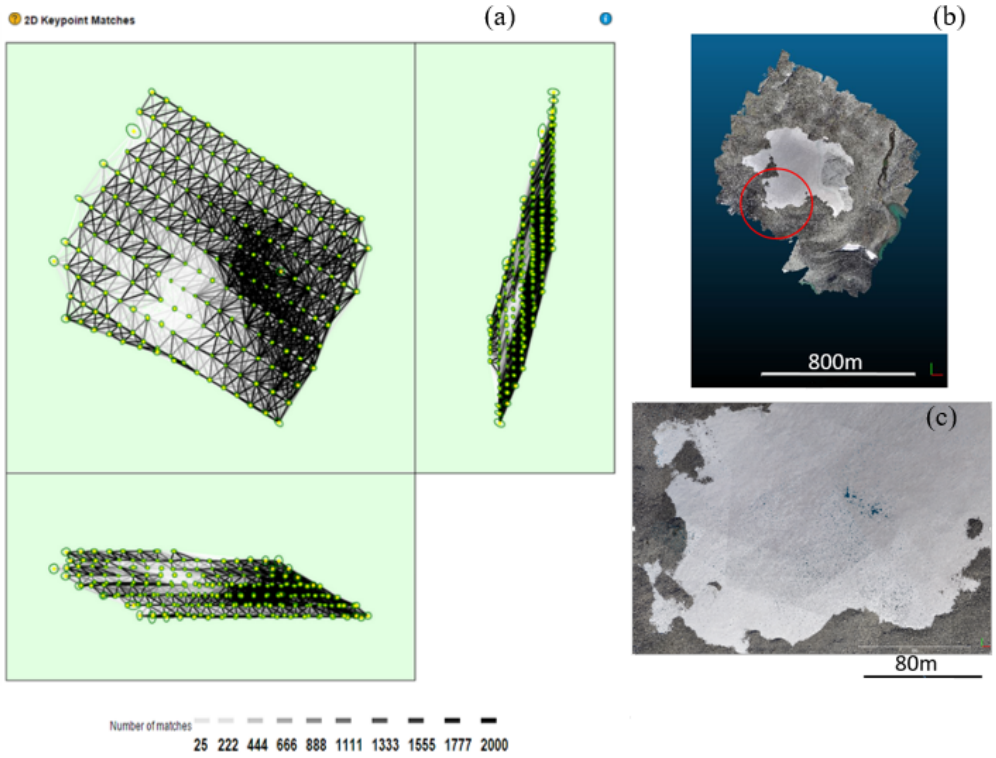
Hver ny DTM ble sammenlignet med referanse DTM. For Juvfonne 2016 ble det brukt 6500 punkt (hvert punkt minst 1 m fra hverandre) utenfor fonna som var snøfrie og med helning mindre enn 30 grader. Middel av høydeforskjell, standardavvik og Root Mean Square Error (RMSE) (rot-middel-kvadrat feil) ble beregnet for hver DTM produsert fra dronekartleggingene.

4 Resultater & diskusjon

4.1 Juvfonne

4.1.1 Punktsky og ortofoto 2016

Bildematchingen for kartleggingen den 13. september 2016 viser antall koblinger mellom hvert bilde (fig. 15). Det er færre koblinger over selve Juvfonne, og spesielt i det søvestlige bratte hjørnet. Dette skyldes antagelig dårlig kontrast pga. lys snøflate. Er det for få koblinger mellom bildene kan det resultere i hull i punktskyen. Det var noen små hull i det sørvestlige hjørnet (fig. 15b-c), og det største hadde en maksimum diameter på 7 m. Siden hullene er nokså små får det ikke så stor innvirkning på resultatet. Det er også færre koblinger i utkanten av modellen, noe som er naturlig da det er mindre overlapp i de ytterste områdene som er kartlagt.



Figur 15. (a) Illustrasjon av beregnede bildeposisjoner med linker mellom matchende bilder for kartleggingen 13. september 2016 (a). Jo mørkere bildet er jo flere matchende punkt mellom hvert bilde. Jo lysere jo svakere matching av bildene, og det kan være nødvendig med manuell tilknytning eller flere bilder. Grønne ellipser viser usikkerhet i posisjonering av kameraposisjon når bildene settes sammen i billedbehandlingen. Figuren er tatt ut fra Pix4D-programmet ved prosesseringen. (b) Punktskyen fra 2016 har noen små hull i datasettet i området markert i rødt. (c) Forstørrelse av området med hull, disse vises som blå hull.

En sammenligning av punktskyen laget med fem kontrollpunkt, og fem kontrollpunkt + 15 LIDAR kontrollpunkt for 13. september 2016, er vist i tabell 2. Gjennomsnittlig punktavstand i punktskyen er ca. 4 cm og gjennomsnittlig antall punkt per m^2 er 23, altså en høy punkttetthet. Noen små områder har ingen punkt per m^2. Dette er i områder med lav kontrast (se fig. 15). Resultatet av georeferingen av punktskyen viser at RMSE er høyere for test 2 hvor også punkter fra LIDAR punktskyen brukes, enn for test 1 med kun

fem kontrollpunkt. Punkter på kontrollflater lagt ut i felt er både lettere å identifisere i bilder og måle inn nøyaktig med GNSS, enn punkter identifisert i en LIDAR punktsky.

Tabell 2. Sammenligning av punktskyen laget med test 1 (fem kontrollpunkt (KP)) og test 2 (fem kontrollpunkt + 15 LIDAR kontrollpunkt (LKP)) for 13. september 2016.

	Test 1: 5KP	**Test 2: 5KP + 15 LKP**
Middel GSD (ground sampling distance) (cm)	4	4
Areal dekket (km^2)	0,855	0,856
Georereferering middel RMSE (m)	0,083	0,22
Antall punkt	31 656 000	31 650 761
Minimum antall punkt (p/m^2)	0	0
Maksimum antall punkt (p/m^2)	97	98
Middel antall punkt (p/m^2)	23	23

Som nevnt i kapittel 3.5. ble fire ulike kombinasjoner av punktskyer med kontrollpunkt og bruk av matrise testet ut. Totalt 6500 tilfeldige punkt utenfor Juvfonne som ikke var dekket av snø og is i noen av kartleggingene, og hvor helningen av terrenget var mindre enn 30 grader ble sammenlignet (tab. 3).

Tabell 3. Sammenligning av ulike punktskyer fra kartleggingen 13. september 2016, med laserdata fra 2011. Totalt 6500 punkt ble sammenlignet.

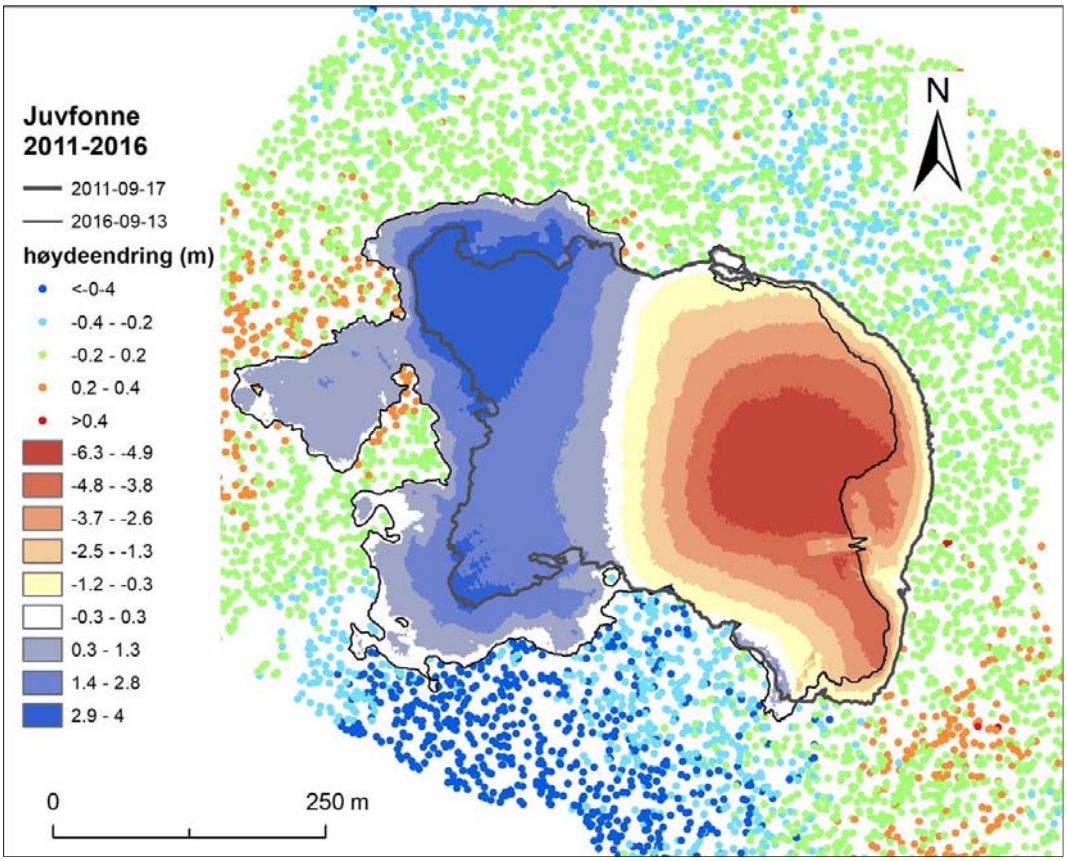
	Test 1: 5KP	**Test 2: 5KP + 15 LKP**	**Test 3: 5 KP + matrise**	**Test 4: 5 KP + 15 LKP + matrise**
Middel (m)	-0,23	0,09	-0,30	-0,07
Standardavvik (m)	0,54	0,21	0,23	0,20
RMSE (m)	0,59	0,23	0,38	0,21

Den minste forskjellen (–0,07 m) ble funnet ved å bruke både matrise og kontrollpunkt fra laser (test 4). Ved å bruke kontrollpunkt fra laser (test 2) ble forskjellen 0,09 m. Begge testene er innenfor 10 cm og må sies å være en svært god nøyaktighet. Det høyeste standardavviket og RMSE ble funnet for test 1 hvor fem kontrollpunkt på breen ble brukt, men ingen bruk av matrise eller kontrollpunkt fra laserskyen. Så selv om georefereringen av selve punktskyen ga mindre RMSE ved bruk av kun fem kontrollpunkt (tab. 2), gir sammenligningen bedre resultat ved å legge til kontrollpunkt fra laser (tab. 3). Både

standardavvik og RMSE går ned, fra henholdsvis 0,54 til 0,21 og 0,59 til 0,23 m. Forskjellen mellom standardavvik og RMSE er liten, noe som er vanlig ved store utvalg.

Denne testen viser at man bør supplere med kontrollpunkt fra laserskanning om en har en god referansemodell. Det er også viktig å ha punkt utenfor fonna. En referansemodell kan også brukes til å justere punktskyen for best mulig resultat, som vist for test 4, men det er ikke nødvendig om man kan hente kontrollpunkt i laserskyen, som for test 2. Hvilken løsning man velger vil avhenge av det ønskede resultat og hvilke referansedata man har tilgjengelig.

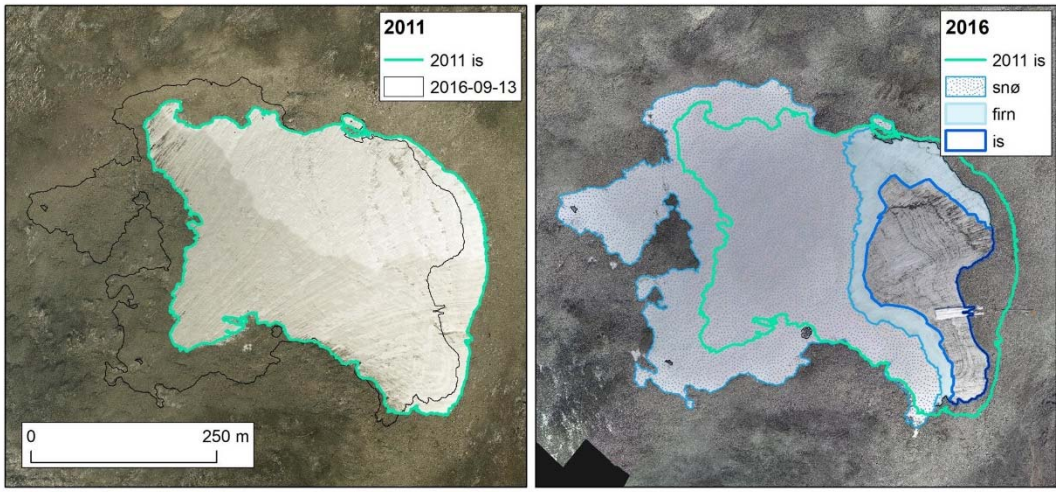
For test to (fem kontrollpunkt fra duker og 15 utenfor hentet fra LIDAR-data 2011) ser vi at høydeforskjellene er innenfor ±0,2 m for det meste av området utenfor Juvfonne, med unntak av området i syd (fig. 16). Her er området nokså bratt.



Figur 16. Sammenligning av høydedata fra 2011 og 2016. Totalt 6500 punkt ble brukt til å beregne forskjell mellom kartleggingen fra drone 13. september 2016 og kartleggingen fra laserskanning 17. september 2011. I denne sammenligningen er terrengmodell fra 2016 laget fra fem kontrollpunkt utenfor breen og 15 kontrollpunkt fra laserskanning (test 2).

Ser man kun på selve Juvfonne, er endringen av fonna innenfor kartlagt område −0,55 m ±0,2 m (fig. 16). Fonna har økt noe i de øvre deler, blant annet er det gjenværende snø fra 2015 og 2016 i dette området. Fonna har minket i de nedre delene, over 6 m minking på det meste. Man kan også se at området ved tunellen har minket noe mindre, antagelig pga. at det er lagt hvit duk over tunellen i senere år for å beskytte mot smelting. For å regne om endring i høyde til massebalanse, må man konvertere endring til vannekvivalenter. Ved en slik omregning kan man enten bruke en fast konverteringsfaktor, eller prøve å kvantifisere ulike konverteringsfaktorer for områder av

snø, is og firn fordi disse områdene vil ha ulik tetthet. Til det siste vil ortofoto fra begge kartleggingene (fig. 17), og kunnskap om massebalansehistorikken til Juvfonne både før kartleggingen i 2011 og i perioden mellom kartleggingene i 2011 og 2016 være nyttig. Fra ortofotoet i 2016 kan man klassifisere ulike overflatesoner av snø, firn og is (fig. 17).

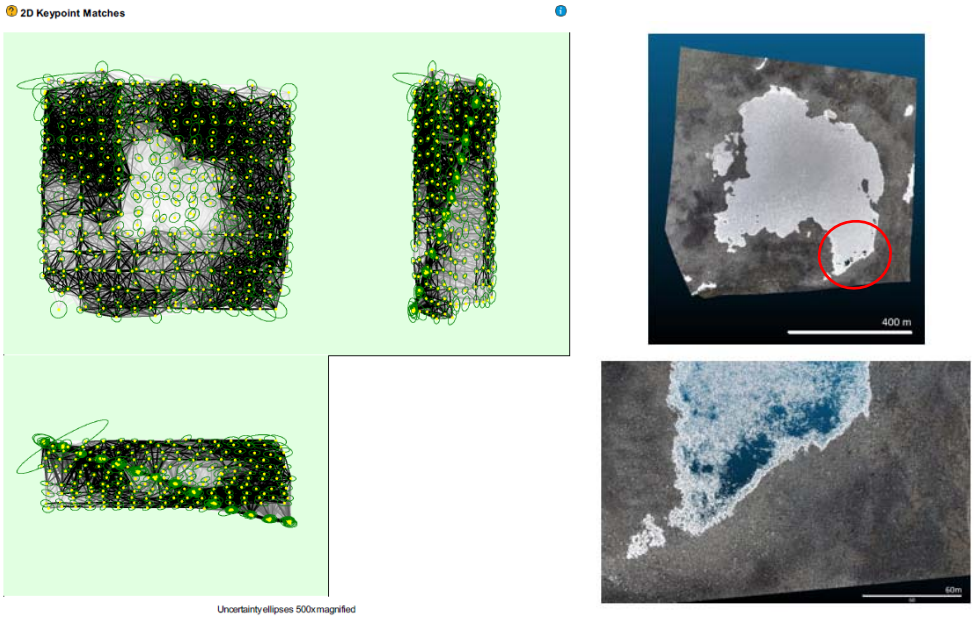


Figur 17. Ortofoto av Juvfonne 17. september 2011 og 13. september 2016 viser soner av snø, firn og is på kartleggingstidspunktet. I 2011 var hele overflaten is (litt tynt snødekke på fonna gjør at dette ikke kommer så godt frem). I 2016 var det soner av is, firn og snø. Juvfonne har smeltet tilbake i de nedre deler ved tunnelen (til høyre i bildene), men økt ubredelsen i de øvre deler pga. gjenværende snø i 2015 og 2016.

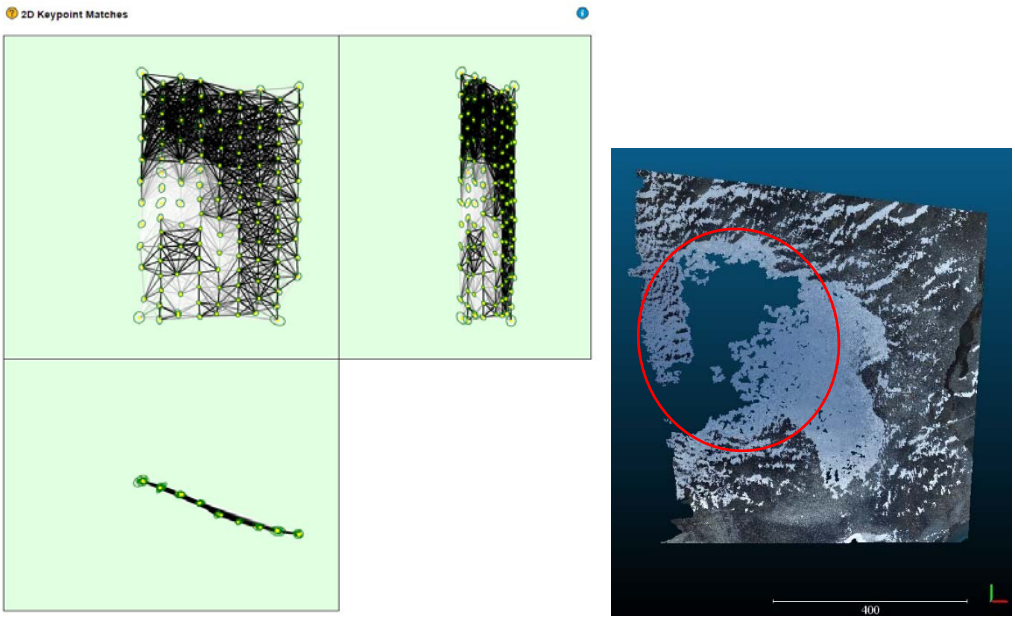
4.1.2 Punktsky og ortofoto 2017

Tilsvarende som for 2016 ble det laget punktsky og ortofoto over Juvfonne fra kartleggingen 1. august og 25. september 2017. Kartleggingen fra 1. august viste seg mest nøyaktig, mens punktskyen fra 25. september ikke ble komplett. Det var noen hull i punktskyen fra kartleggingen i august (fig. 18), og til dels store hull i kartleggingen fra september (fig. 19). Både nokså sterk vind og flyging tidlig kveld den 25. september gjorde at bildeopptakene ikke ble optimale. Det er interessant å sammenligne kartleggingen fra 2016 med den fra 2017 for å se på differenser innen et massebalanseår. Til dette brukte vi data fra kartleggingene den 13. september 2017 og 1. august 2017. For å sammenligne et massebalanseår fra høst til høst ville det vært mer ideelt å bruke kartleggingen i september 2017, men siden den ikke var komplett og hadde en del støy valgte vi å bruke kartleggingen fra 1. august 2017.

Punktskyen fra 1. august 2017 ble konvertert til en DTM med 1 m oppløsning. Dette ble sammenlignet med laserdata for 2011. Totalt 4729 punkt i is- og snøfritt terreng ga en høydedifferanse på 0,12 m, et standardavvik på 0,17 m og en RMSE på 0,21 m.



Figur 18. Til venstre: Illustrasjon av beregnede bildeposisjoner med linker mellom matchende bilder for kartleggingen 1. august 2017. Se figur 15 for forklaring. Til høyre over: Rød sirkel viser et område med større hull (vist i mørkeblå farge) i modellen. Til høyre under: Forstørrelse av området med hull. Dette området ligger i et bratt område av fonna i syd.

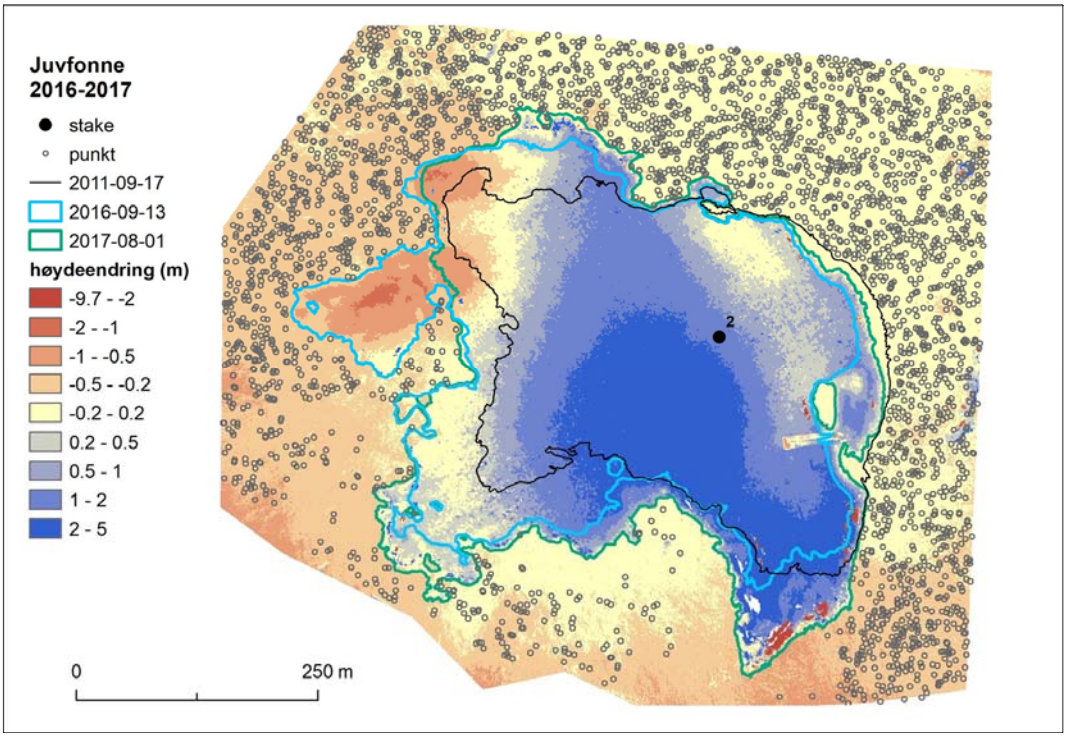


Figur 19. Til venstre: Illustrasjon av beregnede bildeposisjoner med linker mellom matchende bilder for kartleggingen 25. september 2017. Se figur 15 for forklaring av figuren. Til høyre: Rød sirkel viser et område med store hull (vist i mørkeblå farge) i modellen laget for Juvfonne.

4.1.3 Sammenligning av Juvfonne 2016 og 2017

Høydeendring mellom 1. august 2017 og 13. september 2016 ble beregnet ved å subtrahere DTM2016 fra DTM2017 (fig. 20). For å teste nøyaktigheten av kartleggingen ble høydeendring sammenlignet i 3143 punkt utenfor fonna. Disse punktene er utenfor breomkretsen i 2016 og 2017 og er i terreng med helning under 20 grader. Gjennomsnittet for disse punktene er –0,15 m og med et standardavvik på 0,18 m. Mesteparten av området utenfor fonna har høydeendring innenfor 0,20 m, mens i utkanten av kartleggingsområdet i vest og syd er det større forskjeller. Dette kan skyldes unøyaktigheter i en eller begge punktskyer generert fra kartleggingene.

Ser man på selve Juvfonne, viser sammenligningen mellom 2016 og 2017 signifikante høydeendringer innenfor brekanten fra 2017, her er det en økning på 1,13 m i denne perioden på et knapt år. At fonna har lagt på seg i perioden stemmer også overens med massebalansemålingene. Det var 90 cm gjenværende snø ved stake 2 på målingene 1. august. Det var målt over fire meter snø ved dette punktet i mai 2017. Det var den største snømengden som er målt på Juvfonne i dette punktet siden målingene startet i 2010.



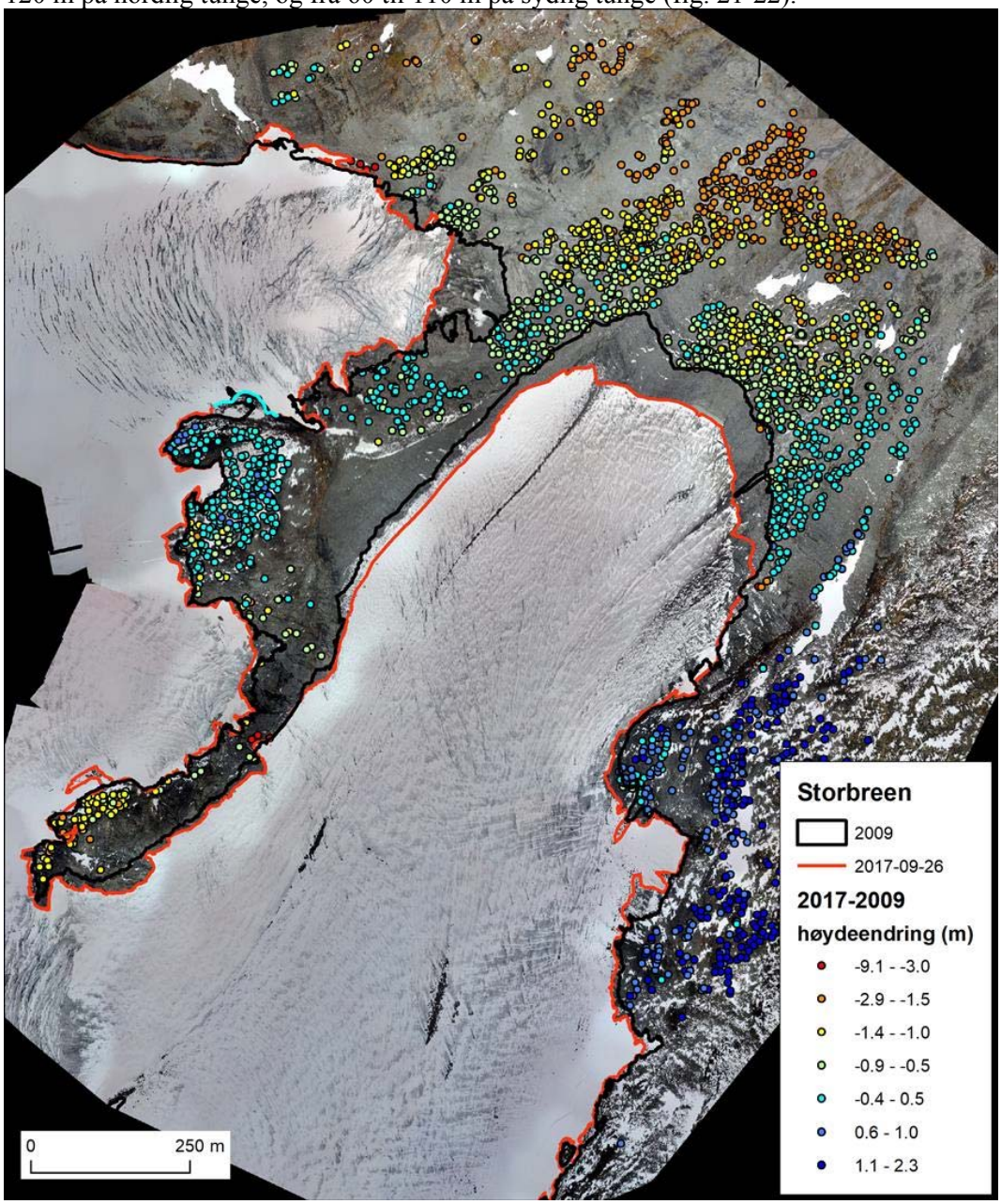
Figur 20. Sammenligning av høydedata fra drone 13. september 2016 og 1. august 2017. Totalt 3143 punkt med helning under 20 grader ble brukt til å beregne høydeendring mellom kartleggingene for å gi et mål på nøyaktighet.

4.2 Storbreen 2017

Punktskyen og terrengmodellen fra kartleggingen 26. september 2017 for Storbreen dekker begge brefrontene, og gir mulighet til å studere endring i disse områdene. Sammenligning av punktskyen fra 2017 med laserdata fra 2009 gir en RMSE på 1.13 m og standardavvik på 0,98 m. Gjennomsnittlig høydeforskjell mellom terrengmodellene er –0,57 m, dvs. at høydemodellen fra 2009 ligger høyere enn høydemodellen fra 2017 (fig. 21). Lasermodellen fra 2009 ble ikke brukt i georefereringen av data fra 2017, dette

kunne ha gitt et bedre resultat. Storbreen var snødekket under laserskanningen 14. oktober 2009. SeNorge.no simulerer 0,3 m snø ved fronten på denne datoen, men det er vanskelig å si eksakt hvor mye snø det faktisk var ved kartleggingen. Halvparten av forskjellen kan skyldes nysnø på kartleggingstidspunktet i 2009, og er dermed ikke en reell feil.

Sammenligning av terrengmodellene viser markant minking av brefrontene i 8-års perioden mellom oktober 2009 og september 2017 (fig. 22). I gjennomsnitt har breen minket –9.1 m i det kartlagte området. Begge bretungene har smeltet tilbake, fra 90 til 120 m på nordlig tunge, og fra 60 til 110 m på sydlig tunge (fig. 21-22).



Figur 21. Ortofoto av Storbreen 26. september 2017 med høydeendring mellom 26. september 2017 og 14. oktober 2009 for punkter utenfor breen. Brekanten i 2009 og 26. september 2017 er også vist er også markert.

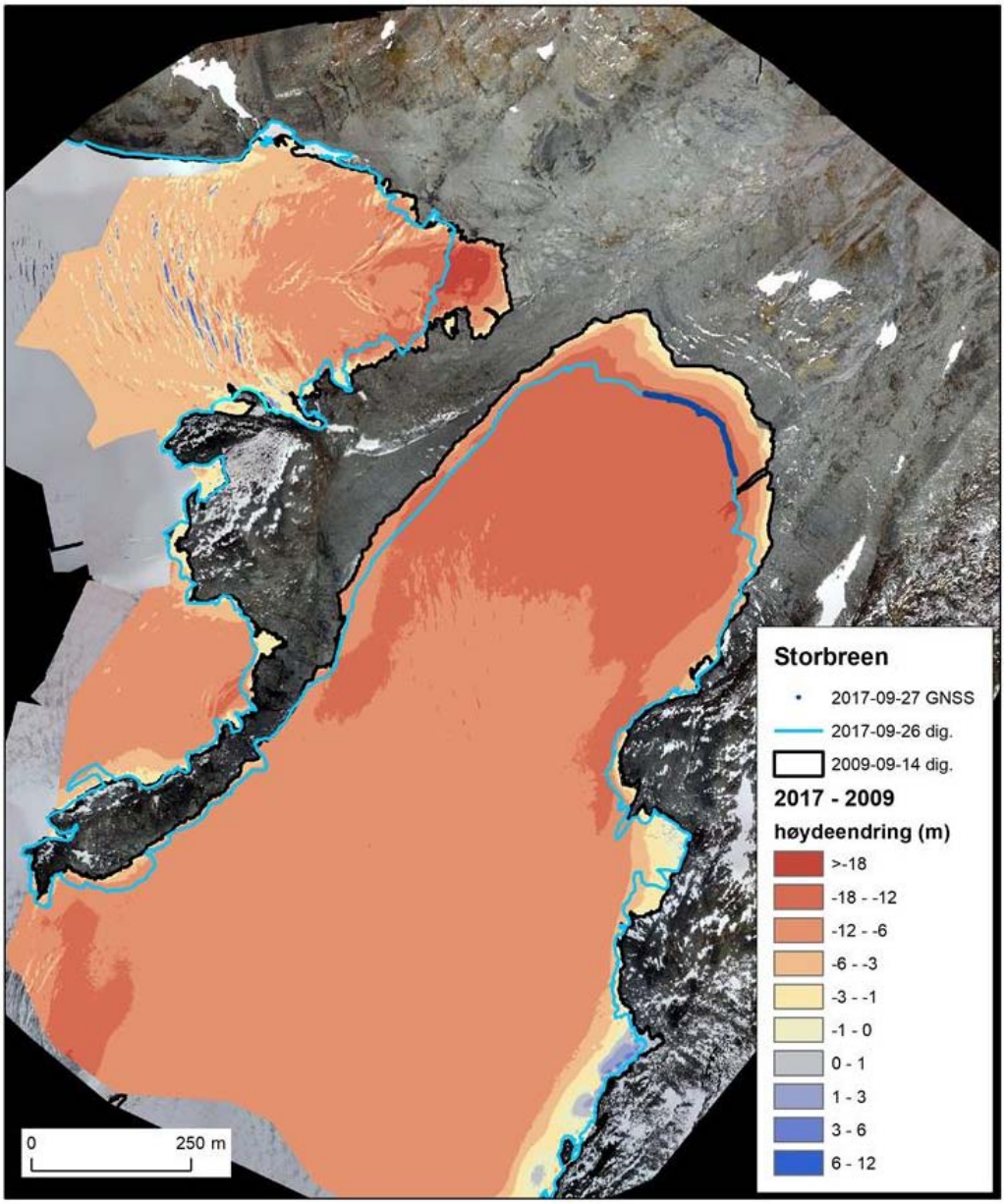
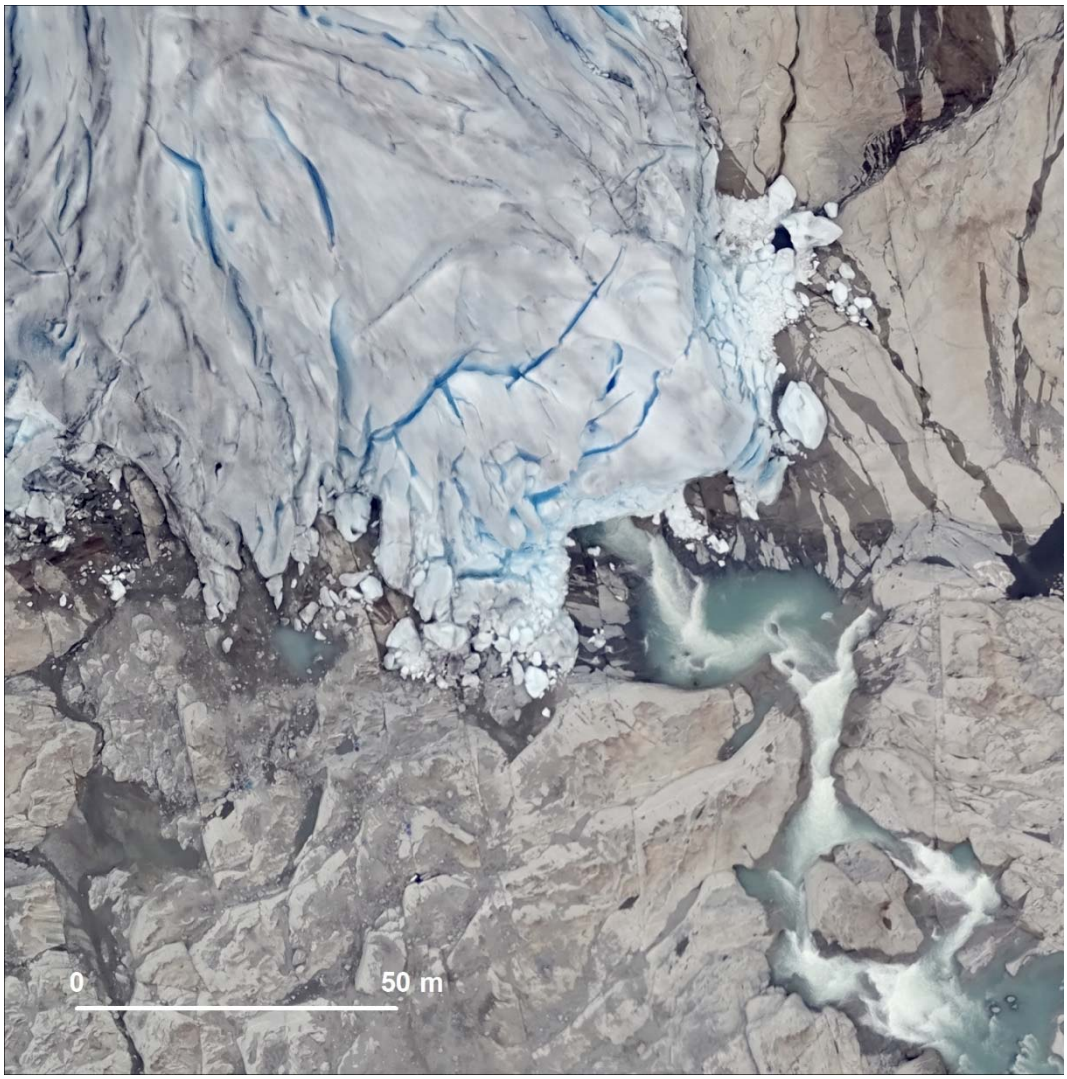


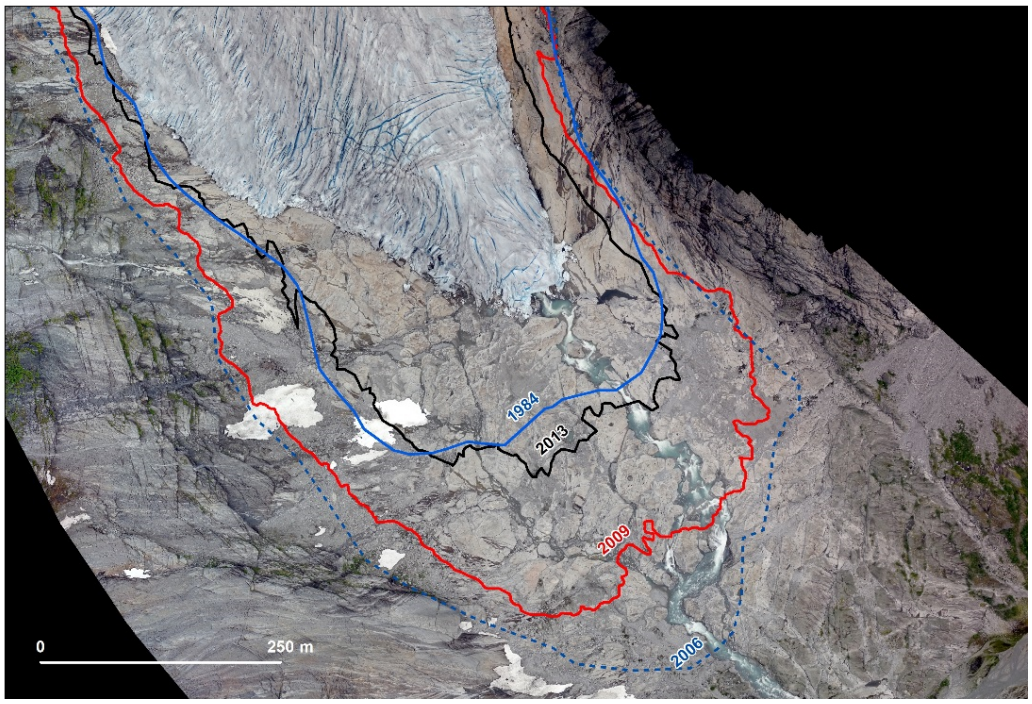
Fig. 22. Ortofoto av Storbreen 26. september 2017 med høydeforskjeller mellom 26. september 2017 og 14. oktober 2009 for breen. Brekanten digitalisert fra ortofoto 17. september 2009 og 26. september 2017 er også vist sammen med enkeltpunkt langs sydlig front målt inn med GNSS den 27. september 2017.

4.3 Nigardsbreen 2017

Bildene fra kartleggingen den 22. juni viser potensialet av kartlegging med drone til å kartlegge og dokumentere endringer av brefronter. Nigardsbreens front er bratt og rasfarlig og har også en breport hvor breelva kommer ut som kan rase sammen (fig. 23). Med drone kan man kartlegge brekanten uten å måtte utsette personell for rasfare ved å bevege seg foran eller i kanten av breen.



Figur 23. Del av ortofoto som viser den rasfarlige fronten til Nigardsbreen. Legg merke til løse ismasser som har falt ned fra breen på begge sider av elva. Mange detaljer er synlige i bildet. Se også figur 24.



Figur 24. Ortofoto av Nigardsbreen sammen med frontutbredelse fra kart i 1984, 2006, 2009 og 2013. Breen har hatt et framstøt på 1990-tallet, men er nå mindre enn den var i 1984 før det siste fremstøtet. Brefronten fra 2006 er kartlagt fra et Landsat satellittbilde (Andreassen & Winsvold, 2012). De øvrige utbredelsene er hentet fra ulike kartlegginger av breen (se Kjøllmoen (2016) for detaljer).

Både enkeltbilder og ortofotoet av Nigardsbreen kan brukes til å dokumentere endringer av brefronten, både fra sesong til sesong og gjennom en sesong (Fig. 24). Fra ortofotoet ble det generert flere punktskyer som deretter ble konvertert til 5m DTM. Tre ulike tilnærminger ble brukt:

- Punktsky laget fra 7 kontrollpunkt (KP)
- Punktsky laget fra 7 kontrollpunkt (KP) og ytterligere 14 LIDAR kontrollpunkt (LKP) fra 2013
- Punktsky laget fra 7 kontrollpunkt (KP) og matrise fra LIDAR2013

Laserdatasettet fra 2013 ble brukt til å lage en 5 m DTM som ble sammenlignet med høydemodellene fra drone. Basert på 246 snøfrie punkt utenfor breen med helning mindre enn 30 grader ble forskjell mellom LIDAR DTM 2013 og drone DTM 2017 analysert (tab. 4):

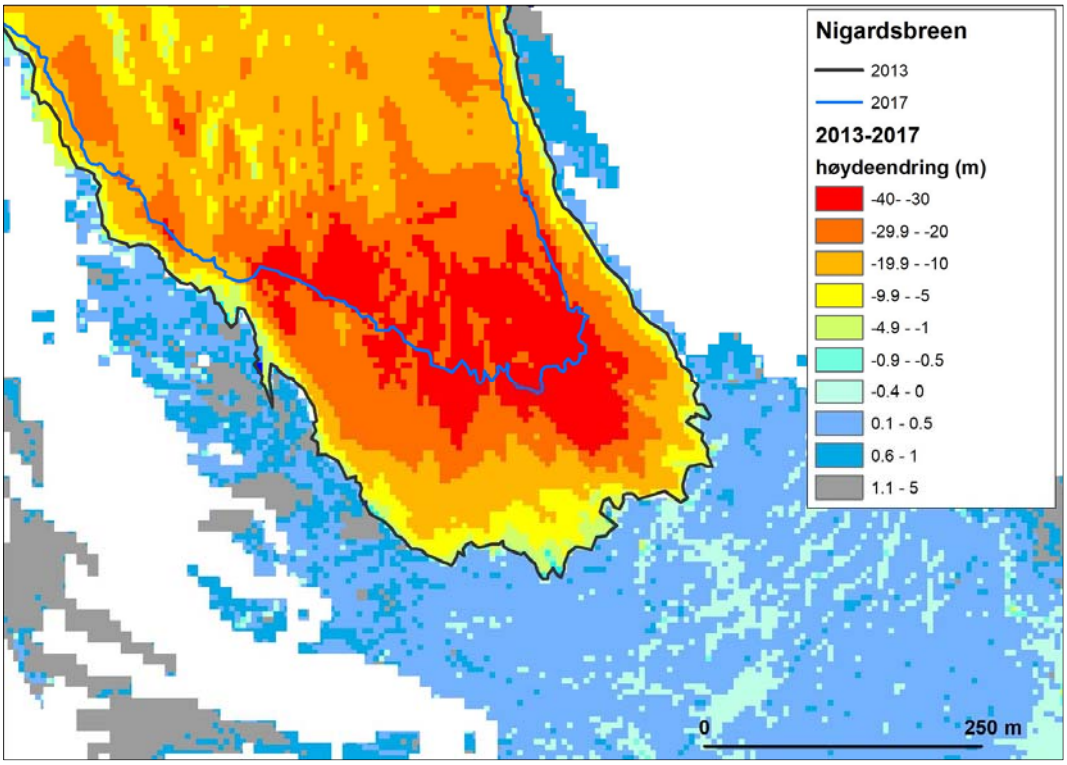
Tabell 4. Sammenligning av høydedifferanse mellom DTM2013 fra laser og DTM2017 fra drone i bre- og snøfritt terreng med helning lavere enn 30 grader.

DTM	Middel-verdi (m)	Standard-avvik (m)	Kommentar
Punktsky 7 KP	0,96	1,71	
Punktsky 7 KP + 14 LKP	0,22	1,13	Punkt fra LIDAR2013
Punktsky 7 KP + matrise	0,24	0,57	Matrise LIDAR2013

De beste resultatene var fra punktsky med 14 LKP og med matrise, hvor høydeforskjellen utenfor breen er innenfor 0,24(0,22) ± 0,57 (1,13) m. Middelfeilen er nær den samme, men standardavviket større med bruk av LKP i stedet for tilpasning til matrise. DTM fra 2017 ligger altså litt høyere enn DTM fra 2013 for det meste av brerandsonen (fig. 25). I de sentrale delene av fronten har breen smeltet tilbake 120-190 m, og mer på sidene. Et areal på 0,08 km^2 har smeltet bort i denne perioden på knappe fire år. Den gjennomsnittlige høydeendringen av breen var i det kartlagte området –16,7 m ± 1,0 m.

Selv om det ikke ble gjort kontrollmålinger på selve breen, viser resultatene at man med en droneflyging som det tok et par timer å gjennomføre i felt, kan kartlegge brefrontendringer og måle signifikante høydeendringer. Metoden er ikke så godt egnet til å kartlegge hele breen. Det vil kreve en rekke forflytninger for å dekke en så stor bre som Nigardsbreen, og transportmiddel som helikopter vil være nødvendig.

En ulempe ved bruk av kontrollpunkter på breen er at de først må markeres og måles inn, så må droneflyging gjennomføres, og så må markørene hentes inn igjen for å unngå forsøpling. Markører i nedbrytbart materiale kan være et tidsbesparende alternativ.



Figur 25. Sammenligning av høydemodell laget fra dronedata 22. juni 2017 (modellen som er brukt er med 7 kontrollpunkt og matrise) med laserdata fra 10. oktober 2013. Brekant fra 2013 og 2017 er også vist. Områder utenfor breen med helning større enn 30 grader er maskert ut og vist som hvitt.

5 Diskusjon

5.1 Bruk av kontrollpunkter

Bruk av kontrollpunkter er viktig for nøyaktig kartlegging, men man kan lage ortofoto og punktskyer også uten kontrollpunkt. Gode kontrollpunkt øker den absolutte nøyaktigheten av en kartlegging. Kontrollpunkt kan måles i felt (man kan bruke duker eller naturlige punkter som kan ses i flybildet), man kan hente ut punkter fra allerede eksisterende data som LIDAR-punktskyer brukt i dette prosjektet eller man kan hente punkter fra digitale karttjenester (såkalte WMS – Web Map Service) som topografiske kart eller ortofoto (norgeibilder.no).

I tilfeller hvor hovedmålet er å få et ortofoto av en ismasse eller en hendelse (ras, flom), eller kartlegge posisjon av en brefront, kan man fotografere med dronen uten å legge ut markeringspunkt, dette vil spare tid i felt og i etterarbeidet, men vil gi mindre nøyaktig høydemodell.

For å få god nøyaktighet av ortofoto og høydemodell bør man bruke minimum fem kontrollpunkt godt fordelt i området som ønskes kartlagt. Hvor mange kontrollpunkt man bruker vil være en avveining mellom tid i felt og ønsket nøyaktighet. Ved repetert kartlegging kan man måle inn naturlige kontrollpunkt som er synlig i bildet, disse kan brukes om igjen, uten å måtte legges ut, fjernes og måles inn hver gang. I tillegg kan man måle inne ekstra punkt som man kun bruker til å kontrollere resultatet og som ikke brukes i dataprosesseringen. Å utvide måletiden av kontrollpunkt med GNSS fra 5 til 10 minutter ble anbefalt av Blinken (leverandør av GNSS-mottagerne) for å øke nøyaktigheten i kontrollpunktene.

For Juvfonne ga det best resultater med kontrollpunkter lagt ut i felt og punkter hentet fra LIDAR. Her var punkttettheten fra LIDAR meget god (5 punkt/m^2). For breer med punkttetthet på 0,3 punkt/m^2 blir forventet nøyaktighet lavere ved bruk av punkt fra LIDAR.

Under kartleggingen i august 2017, ble runde, fargede plastskiver (røde eller blå) plassert i midten av plastsekkene brukt som markører (fig. 26). Disse hadde en diameter på 10 cm og ble passert der koordinaten av kontrollpunkt ble målt med GNSS. Ved en flyhøyde på ca. 120 m over bakken var alle markørene synlige og det ble lettere å identifisere de ulike markørene i Pix4D-analysen. Dette medførte lavere feil i posisjon av kontrollpunkt under dataprosessering i Pix4D.

Figur 26. Farget plastskive i midten av markør ble testet ut i felt.

Vind gjør at markører kan blåse vekk. Det er viktig å sikre dem med stein rundt kanten. Å bruke miljøvennlig, nedbrytbar plast er å anbefale for å unngå forsøpling. Det tar tid å hente inn markører etter endt flyging. Andre teknikker som miljøvennlige sprayer eller farget materiale kan uttestes. Vi gjorde et forsøk med rød saft i snø på Storbreen, men pga. været ble det ikke flyging.

5.2 Sammenligning med andre kartleggingsmetoder

I denne rapporten har vi testet ut kartlegging med drone på breområder og en isfonn. Det er både fordeler og ulemper med drone som kartleggingsmetode sammenlignet med andre måleteknikker (tab. 5).

Siden 2008 har laserskanning vært foretrukken kartleggingsmetode av norske breer pga. høy nøyaktighet, også i snødekte områder hvor tradisjonelle flybilder kan ha dårlig kontrast og dermed dårligere nøyaktighet. I perioden 2008-2013 ble nær 1/3 av Norges breareal kartlagt med laserskanning. Det er anbefalt at breer med årlige massebalanse-målinger kartlegges nøyaktig hvert tiår (Zemp mfl., 2013). Laserskanning vil nok fortsatt være foretrukken metode for en slik tiårig kartlegging av våre massebalansebreer fordi man kan dekke store områder med god nøyaktighet innen 0,2 m i høyde. En slik nøyaktighet kan ikke forventes for drone annet enn ved kartlegging av små objekter som Juvfonne.

I nyere tid har høyoppløselige satellitter som Pleiades blitt benyttet til å kartlegge breer og breendringer (Berthier mfl., 2014), og også i Norge er bilder brukt for å kartlegge endringer av Engabreen (fig. 27). Fordelen med høyoppløselige satellittbilder er at disse kan dekke store områder uten feltarbeid. Man får også ortofoto av satellittbildet. Prisen er gunstig sammenlignet med andre metoder. Kostnadene har gått ned og ligger nå på ca. 3.6 euro/km² av stereodata. Ulempen er at i områder med lav kontrast kan nøyaktigheten bli mindre god, slik som for flybilder og at satellitten ikke 'ser' gjennom skyer. Oppløsningen av ortofoto er 0,5 m og forventet høydenøyaktighet kan være så god som 0,5 m. Sammenlignet med drone er metoden tidsbesparende.

Figur 27. Pleiades satellittbilde over Vestre Svartisen den 16. august 2016. Bildene er brukt til å kartlegge endringer av Engabreen (se breutløperen øverst i midten), se Kjøllmoen mfl. (2017). Foto: PLEIADES© CNES, 2016, distribution Airbus DS.

Flyfoto fra drone kan brukes til både å produsere et ortofoto og en punktsky av høydedata. Man kan enkelt endre flyplan og kartleggingsområde underveis. Kostnader ved kartlegging er lave sammenlignet med bestilling av flyfotografering og laserskanning. Man er også mer fleksibel og mindre avhengig av ekstern oppdragsgiver. Hvis man skal dekke et mindre område kan man enkelt planlegge en flying i planleggingsverktøyet på forhånd, i felt kan man dekke et område på et par km^2 på en times flyging. Tidsbruken går opp om man skal legge ut og samle inn markeringer av kontrollpunkt og måle inn disse i felt.

Ved å bruke drone kan man redusere risikoen for en feltarbeider, for eksempel ved at man kan måle inn områder med farlige sprekker fra drone fra et trygt sted i nærheten i stedet for å måle inn til fots/med motorisert transport.

Drone gir mulighet for årlig fotodokumentasjon fra lufta, for eksempel snølinjer, sprekker og frontposisjon. Dette kan gi gode tidsserier som supplement til andre målemetoder. Dronen er også godt egnet til å kartlegge hendelser som man ikke kan planlegge på forhånd. Det er en fordel å kunne kartlegge selv uavhengig av andre aktører.

Utfordringer som kan vanskeliggjøre droneflyging er vær (vind, regn og lavt skydekke) og underlaget hvor dronen skal lande (fig. 28).

Figur 28.

Øverste bilde: Breer og isfonner ligger høyt og kan ofte være innhyllet i skyer. Bildet viser lavt skydekke på Juvfonne.

Nederste bilde: Området foran Nigardsbreen består av blankskurt fjell, større stein og litt løsmasser.

Foto: Liss M. Andreassen og Hallgeir Elvehøy.

Tabell 5. Fordeler og ulemper med ulike kartleggingsmetoder som er aktuelt til brekartlegging.

Kartleggingsmetode	Fordeler	Ulemper
Laserskanning (LIDAR)	Svært nøyaktig Godt egnet for store, flate områder	Kostbar, ikke ortofoto (må bestilles i tillegg) Oppdrag kan bli gjennomført utenom tidsvindu
Flyfotografering	Medium kostnad Ortofoto + punktsky God oppløsning ortofoto	Ingen data under skyer Nysnø eller mye snø gir lav kontrast Krevende å prosessere data selv
Høyoppløselig satellitt	Relativt lav kostnad Ortofoto + punktsky	Ingen data under skyer Nysnø eller mye snø gir lav kontrast Krevende å prosessere data selv
Drone	Uavhengig av andre aktører Kostand avtar per bruk Kartlegge hendelser på kort varsel God oppløsning ortofoto	Krever erfaring i prosessering av data Kostbar i anskaffelse Sensitiv for vær: skyer, regn, vind Krever feltarbeid
Posisjonsmålinger i felt	Måle inn enkeltpunkter helt nøyaktig Måle inn profiler og brekanter	Personell kan bli utsatt for ras og andre farer Dekker kun små områder (punkter, profiler), ingen bilder

6 Konklusjon og videre arbeid

Resultatene fra Juvfonne, Storbreen og Nigardsbreen viser at droner er godt egnet til å kartlegge og dokumentere endringer av brefronter og mindre områder. Med drone kan man kartlegge brekanten uten å måtte utsette personell for rasfare ved å bevege seg foran eller i kanten av breen. Ortofoto kan brukes i et GIS til å lage illustrasjoner sammen med andre kartdata. En nøyaktighet i høyde på ±0,2 m kan oppnås for små objekter som Juvfonne (0,15 km^2) ved bruk av kontrollpunkt og gode referansedatasett.

Kartlegging av større breer kan være mer krevende. Det vil medføre flere forflytninger siden dronen må ses. Det kreves mulighet for å få ladet batterier til drone og bærbar pc, og vil også utgjøre store datamengder ved prosessering av dataene. Resultater fra dette arbeidet viser at en nøyaktighet på ±0,5-1,0 m er realistisk å forvente for breer som Storbreen og Nigardsbreen.

Bruk av drone og fotogrammetrisk programvare til analyse av bildene kan brukes til kartlegging av hendelser, for eksempel isras, jøkulhlaup, og andre skred- og flomhendelser. Ortofoto kan brukes både til fotodokumentasjon av hendelsen og til endringsanalyse sammen med andre data eller senere kartlegginger. Kostnaden per kartlegging i timer og kroner blir lavere jo flere ganger man kartlegger og produserer data, når man først har investert i utstyr og programvare. Drone gir mulighet til årlige kartlegginger og dermed rikere data. Kartlegging med drone er dermed et godt supplement til andre kartleggingsmetoder og til tradisjonelt feltarbeid.

Under prosessering av data fra Juvfonne var det noen områder som hadde dårlig bildekorrelasjon, antagelig skyldtes dette dårlig kontrast pga. solhøyde, kameravinkel og terrengets helning. I slike tilfeller kan det være nyttig å ha en ekstra flyging slik at man får supplerende opptak vinkelrett på hverandre. Det vil øke flytid og batteritid, men vil øke antall bilder og gi økt mulighet for bedre stereomatching.

7 Referanser

Andreassen, L. M. 2017. 8. Juvfonne i Kjøllmoen m.fl. 2017. Glaciological Investigations in Norway 2016. NVE Rapport 76-2017, 45-47. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Andreassen, L.M., H. Elvehøy, B. Kjøllmoen & R. V. Engeset. 2016. Reanalysis of long-term series of glaciological and geodetic mass balance for 10 Norwegian glaciers. The Cryosphere, 10, 535-552, doi:10.5194/tc-10-535-2016.

Andreassen, L. M., S. H. Winsvold (eds.), F. Paul & J. E. Hausberg. 2012. Inventory of Norwegian glaciers. NVE Rapport 38-2012, Norges vassdrags- og energidirektorat.

Berthier, E., C. Vincent, E. Magnússon, Á. Þ. Gunnlaugsson, P. Pitte, E. Le. Meur, M. Masiokas, L. Ruiz, F. Pálsson, L. M. C. Belart & P. Wagnon. 2014. Glacier topography and elevation changes derived from Pléiades sub-meter stereo images. The Cryosphere, 8, 2275-2291, doi:10.5194/tc-8-2275-2014.

Bhardwaj, A., L. Sam, Akanksha, F. J. Martín-Torres & R. Kumar. 2016. UAVs as Remote Sensing Platform in Glaciology: Present Applications and Future Prospects. Remote Sensing of Environment, 175, 196–204. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.029.

Gruen, A. & D. Akca. 2005. Least Squares 3D Surface Matching. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 59 (3), 151-174.

Grøtli, E. I., A. A. Transeth, A. Gylland, P. Risholm & I. Soon Brøther Bergh. 2014. Naturfareprosjektet: Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi. NVE Rapport 87-2014. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Immerzeel, W. W., P. D. A. Kraaijenbrink, J. M. Shea, A. B. Shrestha, F. Pellicciotti, M. F. P. Bierkens & S. M. de Jong. 2014. High-Resolution Monitoring of Himalayan Glacier Dynamics Using Unmanned Aerial Vehicles. Remote Sensing of Environment, 150 (2014), 93–103. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.025.

Kjøllmoen, B. 2016. Reanalysing a glacier mass balance measurement series – Nigardsbreen 1962–2013. NVE Rapport 30-2016. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Kjøllmoen, B. (Ed.), L. M. Andreassen, H. Elvehøy, M. Jackson & K. Melvold. 2017. Glaciological investigations in Norway in 2016. NVE Report 76-2017. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Kraaijenbrink, P. D. A., J. M. Shea, F. Pellicciotti, S. M. de Jong & W. W. Immerzeel. 2016. Object-based analysis of unmanned aerial vehicle imagery to map and characterise surface features on a debris-covered glacier. Remote Sensing of Environment, 186, 581-595 https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.013.

Nesje, A., L. H. Pilø, E. Finstad, B. Solli, V. Wangen, R. S. Ødegård, K. Isaksen, E. N. Støren, D. I. Bakke & L. M. Andreassen. 2011. The climatic significance of artefacts related to prehistoric reindeer hunting exposed at melting ice patches in southern Norway. The Holocene, 22(4), 485-496, doi: 10.1177/0959683611425552

Ryan, J. C., A. L. Hubbard, J. E. Box, J. Todd, P. Christoffersen, J. R. Carr, T. O. Holt & N. Snooke. 2015. UAV photogrammetry and structure from motion to assess calving dynamics at Store Glacier, a large outlet draining the Greenland ice sheet, The Cryosphere, 9, 1-11, https://doi.org/10.5194/tc-9-1-2015.

Ødegård, R. S., A. Nesje, K. Isaksen, L. M. Andreassen, T. Eiken, M. Schwikowski & C. Uglietti. 2017. Climate change threatens archaeologically significant ice patches: insights into their age, internal structure, mass balance and climate sensitivity. The Cryosphere, 11, 17-32, doi:10.5194/tc-11-17-2017.

Zemp , M., E. Thibert, M. Huss, D. Stumm, C. Rolstad Denby, C. Nuth, S. U. Nussbaumer, G. Moholdt, A. Mercer, C. Mayer, P. C. Joerg, P. Jansson, B. Hynek, A. Fischer, H. Escher-Vetter, H. Elvehøy & L. M. Andreassen. 2013. Uncertainties and re-analysis of glacier mass balance measurements. The Cryosphere, 7, 1227-1245, doi:10.5194/tc-7-1227-2013.

Andre kilder brukt:

https://no.wikipedia.org/wiki/Drone (dato besøkt: 20.12.2017)
https://snl.no/drone (dato besøkt: 20.12.2017)
https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560239 (dato besøkt: 11.04.2018)

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no