



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGÅVE

Kartlegging og identifisering av supraglasiale sediment, på Storbrean i Jotunheimen, og effekten sedimenta har på kartlegging med Planet satellittbilete

Supraglacial sediments on Storbrean, Jotunheimen, and their effect on glacier mapping using Planet satellite imagery

Astrid Alme

Geologi og geofare

Fakultet for ingeniør og naturfag

Rettleiar: Thorben Dunse

04.06.2021

Eg stadfestar at arbeidet er sjølvstendig utarbeida, og at referansar/kjeldetilvisingar til alle kjelder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Samandrag

Brekartlegging gjev oss verdifull informasjon om tidlegare og mogleg framtidige endringar i breane sin massebalanse. Sedimentdekte brear er krevjande å kartlegge, då sedimenta gjer det vanskeleg å skilje sedimentdekt bre frå omgjevnadane. Supraglasiale sediment påverkar massebalansen til breen, eit tynt lag aukar ablasjon medan eit tjukt lag verkar konserverande.

Oppgåva fokuserer på Storbreen, i Jotunheimen. Storbreen har ein lang tidserie av massebalansemålingar og lengdeendringar utført av NVE. Det er utført manuell kartlegging og klassifisering av supraglasiale sediment med DGNSS i ablasjonsområdet hausten 2020, i tillegg til å kartlegge frontposisjon. Desse resultata er samanlikna med kartlegging og klassifisering av breen frå satellittbilete frå Planet. QGIS og Semi automatic classification plugin (SCP) er nytta.

Resultata viser at tjukke sediment gjer det vanskeleg å kartlegge breareal, medan tynne ikkje dekkande sediment ikkje påverkar kartlegginga i stor grad. På satellittbileta kan ein ikkje sjå tjukna på sedimenta, berre skilje mellom dekkande og ikkje dekkande sediment. Storbreen har liten utstrekning av tjukke supraglasiale sediment, 1,21% av ablasjonsområdet fordelt på fire midtmorenar og ei steinur, dette gjer at breen er mogleg å kartlegge ved hjelp av satellittbilete.

Satellittane frå Planet inneheld også eit termisk band, som ikkje er nytta i denne oppgåva, vidare anbefaling er derfor å studere effekten av å nytte dette bandet i automatisk kartlegging.

Abstract

Glacier mapping provide us with valuable information about glacier mass balance. Sediment covered glaciers can be difficult to map, sediments causes problems in detecting differences in sediment covered glaciers and sediments surrounding the glacier. Supraglacial sediments influence the mass balance, a thin sediment cover increase the ablation while a thick cover conserve the ice beneath.

This report focuses on the glacier Storbrean in Jotunheimen. Storbrean got long series of mass balance and length changes measured by the NVE. Manual mapping and classification of supraglacial sediments and mapping the position of the glacier front in the field were done with an DGNS in autumn 2020. The results form the field mapping are compared to mapping and classification of the glacier from Planet satellite imagery. QGIS and Semi automatic classification plugin (SCP) are used.

The results shows that a thick sediment cover causes problems mapping glacier area, while a thin layer of sediment does not impact the mapping significantly. It is impossible to classify the sediment thickness from the satellite images, it is only possible to detect if the sediments are completely covering the glacier surface or not. Only a small amount of the ablation area on Storbrean is covered with a thick layer of sediments, 1,21 % distributed over four medial moraines and a talus, this makes it possible to map the glacier from satellite imagery.

Planet satellites include a thermal band which can be used in automatic mapping of glacier area, this band are not used in this report. Future research may study the effect of using this thermal band in mapping debris covered glaciers.

Innholdsliste

SAMANDRAG	I
ABSTRACT	II
FIGURLISTE	IV
TABELLISTE	IV
1. INNLEIING	1
1.1. PROBLEMSTILLINGAR.....	3
2. FELTLOKALITET	3
3. TEORI	6
3.1. SEDIMENTDEKTE BREAR	6
3.2. AKKUMULASJON/ABLASJON	7
3.3. SUPRAGLASIALE SEDIMENT	8
3.4. ALBEDO.....	9
4. METODE	9
4.1. DIFFERENSIAL GNSS.....	9
4.2. MANUELL KARTLEGGING.....	10
4.3. VAL AV SATELLITTBILETE	12
4.4. MANUELL KARTLEGGING AV SUPRAGLASIALE SEDIMENT UT FRÅ SATELLITTBILETA	14
4.5. SEMI AUTOMATIC CLASSIFICATION PLUGIN.....	14
5. RESULTAT	15
5.1. UTBREIING AV SUPRAGLASIALE SEDIMENT	15
5.1.1. <i>Midtmorene 1</i>	17
5.1.2. <i>Midtmorene 2,3 og 4</i>	21
5.1.3. <i>Fine sediment</i>	21
5.1.4. <i>Steinur</i>	23
5.1.5. <i>Spreidde steinar</i>	24
5.1.6. <i>Sedimentdekt areal</i>	24
5.1.7. <i>Kartlagt utbreiing av supraglasiale sediment frå satellittbileta</i>	26
5.2. FRONTENDRINGAR	28
5.3. BREAREAL UT FRÅ PLANET SATELLITTBILETE	30
5.4. SAMANLIKNING AV MANUELL OG AUTOMATISK KARTLEGGING AV BREFRONTEN.	31
5.5. SAMANLIKNING AV AUTOMATISK KARTLEGGING MED NVE	32
6. DISKUSJON	35
6.1. FORDELING AV SUPRAGLASIALE SEDIMENT	35
6.1.1. <i>Frå kartlegging i felt</i>	35
6.1.2. <i>Frå satellittbilete</i>	37
6.2. SUPRAGLASIALE SEDIMENT SIN PÅVERKNAD PÅ MASSEBALANSE.....	38
6.3. FRONTENDRING	39
6.4. EFFEKTEN SUPRAGLASIALE SEIDIMENT HAR PÅ KARTLEGGING AV BREAREAL FRÅ SATELLITTBILETE	40
6.5. EFFEKTEN AV LÅGARE OPPLØYSING PÅ SATELLITTBILETA	41
6.6. FEILKJELDER	43
6.7. ALTERNATIVE METODAR	45
7. KONKLUSJON	45
8. REFERANSAR	48

Figurliste

FIGUR 1: OVERSIKTSKART SOM VISER FELTLOKALITETEN..	4
FIGUR 2: MASSEBALANSEMÅLINGAR PÅ STORBREAN 1949-2019 GJORT AV NVE..	5
FIGUR 3: SKISSE AV KORLEIS MÅLINGANE AV MIDTMORENE 1 VART GJORT..	11
FIGUR 4: TJUKNA PÅ MIDTMORENE 1 VART MÅLT VED Å GRAVE HOL NED TIL ISOVERFLATA..	12
FIGUR 5: ULIKE ROI VIST SOM SVARTE POLYGON I QGIS..	15
FIGUR 6: KART OVER ULIKE SUPRAGLASIALE SEDIMENT KARTLAGT I FELT ..	16
FIGUR 7: NEDRE DEL AV MIDTMORENE 1 ..	17
FIGUR 8: GJENNOMSNIITSDJUPN MED STANDARDAVVIK FOR KVART PROFIL I MIDTMORENE 1 ..	19
FIGUR 9: VARIASJON I DJUPN I PROFIL 1 VED MIDTMORENE 1 ..	19
FIGUR 10: ØVRE DEL AV MIDTMORENE 1 ..	20
FIGUR 11: BLOKK PÅ ISPLATÅ, 60CM HØG, 110CM LANG OG 80CM BREI ..	20
FIGUR 12: MIDTMORENE 3 ..	21
FIGUR 13: FINE SEDIMENT ..	22
FIGUR 14: STEINUR SETT OVANFRÅ OG NED MOT BREFRONTEN (MOT NORD) ..	23
FIGUR 15: OMRÅDET KARTLAGT SOM SPREIDDE STEINAR ..	24
FIGUR 16: SAMANLIKNING AV KARTLEGGING AV SUPRAGLASIALE SEDIMENT I FELT OG MANUELL KARTLEGGING UT FRÅ SATELLITTBILETA.	27
FIGUR 17: FRONTDRING FRÅ 2017 TIL 2020 ..	29
FIGUR 18: SAMANLIKNING AV AUTOMATISK KARTLEGGING MED OG UTAN TERSKELVERDI ..	30
FIGUR 19: AREAL KARTLAGT SOM BRE UT I FRÅ AUTOMATISK KARTLEGGING ..	31
FIGUR 20: BREFRONTEN HAUSTEN 2020. BLÅ LINJE VISER AUTOMATISK KARLEGGING UT FRÅ PLANET SINE SATELLITTBILETE, RAUD LIJE ER MÅLINGAR GJORT I FELT MED DGPS.	32
FIGUR 21: SAMANLIKNING AV BREAREAL FRÅ NVE SI KARTLEGGING I 2003 I GRØNT, OG KARLEGGINGA MI FRÅ 2020 I BLÅTT.	33
FIGUR 22: SAMANLIKNING AV BREFRONT 2003 OG 2020 ..	34

Tabelliste

TABELL 1:FRONTDRING 2003-2020 MÅLT AV NVE ..	6
TABELL 2 : INNSAMLTA DATA FRÅ FELT ..	10
TABELL 3: OVERSIKT OVER SATELLITTBILETA SOM ER NYTTA I OPPGÅVA ..	13
TABELL 4: KORNSTØRRELSESKALA FRÅ NGU ..	17
TABELL 5: BREIDDE, GJENNOMSNIITSDJUPN OG STANDARDAVVIK FOR KVART PROFIL I MIDTMORENE 1 ..	18
TABELL 6: AREAL MED SUPRAGLASIALE SEDIMENT.	25
TABELL 7: AREAL MED SUPRAGLASIALE SEDIMENT KARTLAGT MANUELLT UT FRÅ SATELLITTBILETE 04.09.2020 ..	28
TABELL 8: AVSTANDSMÅLINGAR MELLOM FRONTPOSISJON FRÅ NVE 2003 OG AUTOMATISK KARLEGGING 2020 ..	35

1. Innleiing

Fjellbrear er ein av dei viktigaste kjeldene til ferskvatn i verda. Brear står for om lag 69% av ferskvatnreservoara i verda (Nesje et al., 2021). Fjellbreane reagera også raskt på klimaendingar og er derfor ein ypparleg indikator på klimaendringane. Over heile verda har brear trekt seg tilbake i ulik grad dei siste åra, og dermed vore eit tydeleg teikn på global oppvarming (Shukla et al., 2010, s. 1378). Mellom 1966 og 2009/2011 har brear i Jotunheimen minka med 9% i lengde (Andreassen et al., 2020, s. 320)

Den globale oppvarminga fører til store massetap frå breane, noko som påverkar havnivåstigning. Den totale smeltinga frå fjellbreane og iskappene til saman, mellom 2003 og 2009, stod for $29 \pm 13\%$ av den observerte havnivåstigninga (Leigh et al., 2019, s. 873). Det er derfor viktig å kartlegge breane, både med tanke på framtidig ferskvassforsyning og havnivåstigning. Breane påverkar menneske i heile verda.

Isbrear eroderer landskapet sakte ved skuring og abrasjon, og indirekte ved å gjere fjellsidene over isbreen så bratte at dei blir ustabile. Dette fører ofte til seinsprang frå dei bratte fjellsidene og ned på breen. Fjellsidene går tilbake til ein stabil gradient etter isbreen sin tilbaketrekking. Bratte fjellsider i alpine områder heng derfor ofte saman med brear med supraglasiale sediment (Anderson & Anderson, 2016, s. 1105).

Tjukna på supraglasiale sedimentdekker påverkar ablasjonen. Brear med eit sedimentdekke tjukkare enn eit par centimeter kan vere fleire titals prosent lengre enn brear utan sedimentdekke i same klima. Tjukke sedimentlag fører ofte til mindre ablasjon, uavhengig av klimaforandringar (Anderson & Anderson, 2016, s. 1118). Eit tynt sedimentdekke derimot vil føre til auka ablasjon samanlikna med ein bre utan sediment, sidan sedimentdekka overflater absorberer meir kortbølgestråling på grunn av lågare albedo (Nicholson & Benn, 2013, s. 490)

Nøyaktige kart over breane er nødvendig for kalkulering av massebalanse og frontalendingar på breane (Andreassen et al., 2020, s. 313). Den tradisjonelle metoden å

måle endringar på breen er målingar i felt av akkumulasjon og ablasjon for massebalanseåret, i tillegg til årlege frontmålingar.

Opp gjennom åra har det vorte gjennomført fleire ulike forsøk på å kartlegge utbreiinga av brear automatisk, utan feltarbeid, ved hjelp av ulike metodar. Ein av desse metodane er satellittgeodesi, å bruke høgoppløyslege satellittbilete. Geodesi er vitskapen om jorda si form, rørsle, tyngdefelt og endringar i desse storleikane. Satellittgeodesi har revolusjonert måten me kan observere jorda si overflate og tyngdefelt. Ein kan analysere kva som er bre ved hjelp av fargen på pikslane i fargebilete, eller temperaturen på overflata frå termiske bilete frå satellittane. Dei siste 30-40 åra har satellittbileta utvikla seg mykje, og det har revolusjonert moglegheita til å kartlegge brear automatisk. Det redusera behovet for feltarbeid. Og nylege forbetringar i oppløysinga til satellittbileta har gjort det mogleg å kartlegge med satellittbilete heilt ned i 0,25 m oppløysing (Leigh et al., 2019, s. 873).

Satellittbilete kan vere nyttig for å validere og kalibrere målingar gjort i felt, men også til å kartlegge brear som ikkje er blitt kartlagt manuelt (Andreassen et al., 2020, s. 313). Ein kan også gå gjennom arkiv med flyfoto og topografiske kart og kartlegge endringar på breane bakover i tid. Gjennomgang av massebalanse målingar bakover i tid oppdaga avvik mellom geodetiske og tradisjonelle metodar for nokon brear. Det resulterte i justeringar av fleire av dei tradisjonelle målingsdataa (Andreassen et al., 2020, s. 314).

Ei mogleg svakheit ved å nytte automatisk kartlegging er brear som er dekkja med supraglasiale sediment. Breoverflata kan då få ein farge som liknar eller er tilnærma identisk med sedimenta og bergoverflatene rundt breen. Dette kan skape problem for den automatiske gjenkjenninga av breen, og breen kan bli feilaktig kategorisert som sediment. (Shukla et al., 2010, s. 1378-1379).

Denne oppgåva samanliknar automatisk og manuell kartlegging av Storbreen i Jotunheimen. Det er utført manuell kartlegging av breen og sedimenta, desse dataa er samanlikna med automatisk kartlegging av breen.

1.1. Problemstillingar

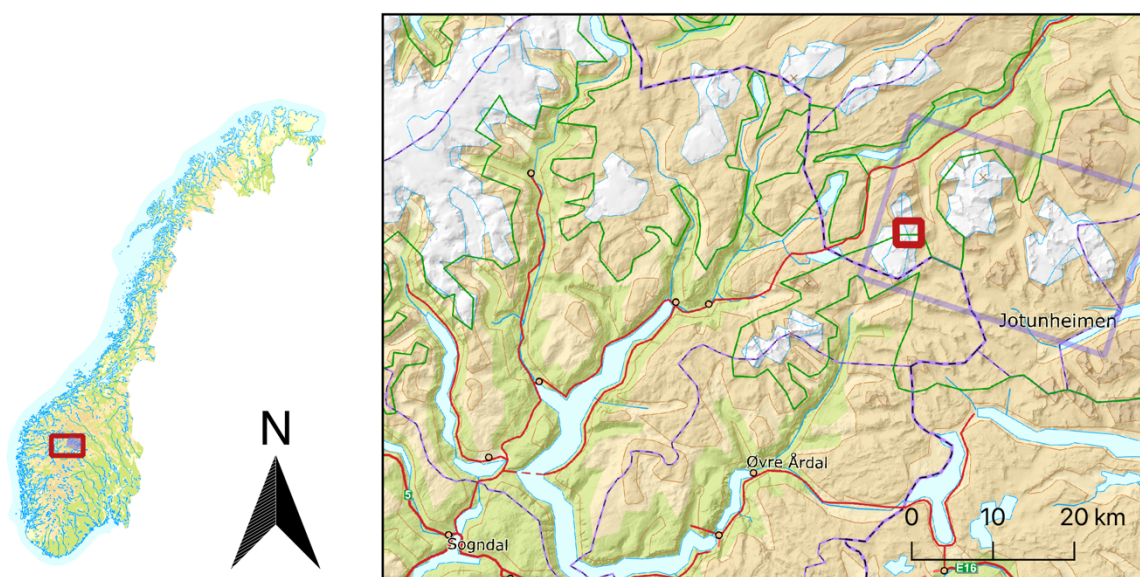
Oppgåva si overordna problemstilling er å kartlegge Storbreen og supraglasiale sediment på breen. Oppgåva er delt i tre deler.

1. I kva omfang er Storbreen dekkja av supraglasiale sediment?
 - a. Kartlegging i felt, tjukn og fordeling av dei supraglasiale sedimenta.
 - b. Samanlikning med manuell kartlegging frå Planet satellittbilete.
2. Korleis påverkar supraglasiale sediment automatisk kartlegging av Storbreen frå Planet satellittbilete?
3. Korleis påverkar supraglasiale sediment ablasjon på Storbreen?

2. Feltlokalitet

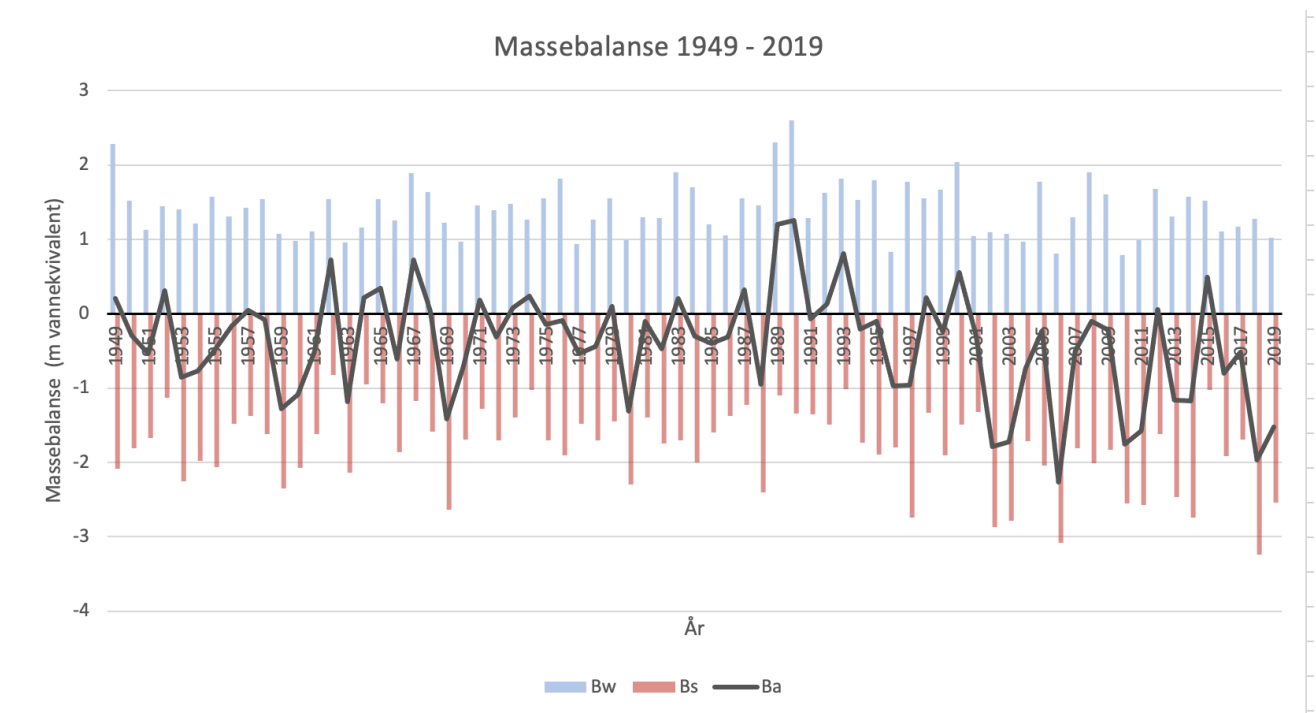
Storbreen (61°36'N, 8°8'E) er ein middels stor austvendt dalbre i Leirdalen i Jotunheimen (Figur 1). Breen ligg på 1429 m.o.h. - 2091 m.o.h. (kart frå 2019) i eit alpint landskap. Noko av ablasjonsområdet til breen er dekkja av supraglasiale sediment. Målingar av frontposisjonen til breen starta allereie i 1902, og fram til 2020 hadde fronten trekt seg tilbake 1219 meter (NVE, 2020b). Storbreen har den nest lengste serien av samanhengande massebalansemålingar i verda, massebalansen har vorte kartlagt årleg sidan 1949 (NVE, 2020b).

I September 2001 vart det satt opp ein automatisk vêrstasjon, på den nedre delen av breen, som måler stråling, lufttrykk, fuktigheit, vind, temperatur og overflatehøgde. Dataa frå stasjonen vert nytta til å studere breen sin meteorologi og berekningar av massebalanse (NVE, 2020b). NVE har derfor mykje data frå breen.



Figur 1: Oversiktskart som viser feltlokaliteten. Storbreen er markert med raudt omriss. Sjølve feltarbeidet vart utført i det sedimentdekte ablasjonsområdet.

NVE har målt massebalansen på Storbreen til å vere negativ frå 2001 (Figur 2). Unntak er i 2015 og 2016, då den vart målt til 0,49 og 0,06 m vatnekvivalent. Desse to åra auka breen i volum. I 2019 målte NVE ein årleg negativ massebalanse på -1,52 m vatnekvivalent, breen smelta 1,52 m i vassdjupn totalt fordelt over heile overflata (NVE,2020b). Vinteren 2020 fekk Storbreen meir snø enn vanleg, medan snø- og issmeltinga gjennom sommaren var om lag som gjennomsnittet i perioden 2000-2019. Det førte til at breen var omtrent i balanse i 2020 (NVE,2020a).



Figur 2: Massebalansemålingar på Storbreen 1949-2019 gjort av NVE. Vist med årleg massebalanse i grått, vinterbalanse i blått og sommarbalanse i raudt.

Målingar gjort av frontposisjon til Storbreen viser ein tilbaketrekning dei siste åra. Alle år etter 2003 har breen trekt seg tilbake (Tabell 1). Kumulativ tilbaketrekning frå 2003 til 2020 er totalt 140 m. Dette er målingar gjort frå eit fast punkt og til næraste stad på brefronten. Den største årlege frontendinga sidan 2003 er målt i 2018, med ein årleg tilbaketrekning på 28 meter (NVE, 2020b).

Tabell 1: Frontending 2003-2020 målt av NVE

År	Lengdeending (m)	Kumulativ lengdeending (m)
2004	-5	-5
2006	-16	-21
2007	-1	-22
2008	-7	-29
2009	-5	-34
2010	-14	-48
2011	-5	-53
2013	-17	-70
2014	-13	-83
2016	-12	-95
2017	-6	-101
2018	-28	-129
2019	-4	-133
2020	-7	-140

Feltarbeidet utført i samband med denne oppgåva er gjort på den sedimentdekte delen av ablasjonsområdet til Storbreen, på brefronten til nordaust.

3. Teori

3.1. Sedimentdekte brear

I denne oppgåva er sedimentdekte brear referert til som brear som er fullstendig eller delvis dekket av supraglasiale sediment. Dette inkluderer også brear der delar av breen er dekket av sediment. Sedimenttjukkelsen kan variere på breen. Sedimentdekte brear finn ein ofte i høgtliggende fjellområder. I Noreg er det mange små brear med eit tynt sedimentdekk (Leigh et al., 2019, s. 874).

Sedimenttjukna aukar nedover breen innanfor det sedimentdekte området på breen. Likevel er gjennomsnittleg sedimenttjukn nedover breen eit dårleg utgangspunkt til å berekne sedimenttjukna i eit punkt, då tjukna kan variere mykje innanfor små område (Nicholson & Benn, 2013, s. 500). Det krev derfor mange prøvar frå heile den sedimentdekte breen, for å ha eit godt datagrunnlag på tjukna til dei supraglasiale sedimenta (Nicholson & Mertes, 2017, s. 989).

Manuell kartlegging av tjukna til supraglasiale sediment er berre praktisk mogleg dersom sedimenttjukna er under 0,7 m. Det er ein tidkrevjande metode å grave mange hol, derfor har ofte manuelle kartleggingar av tjukkelsen av sedimenta vorte få. Dei siste åra har det vorte forska på å bruke overflatetemperaturar samla inn ved hjelp av satellittar. Då har ein overført dei kjente djupnene til kjente overflatetemperaturar, og deretter nytta temperaturane over breen til å estimere/ekstrapolere tjukna (Nicholson & Mertes, 2017, s. 989).

3.2. Akkumulasjon/Ablasjon

Vinterakkumulasjon i Noreg er hovudsakleg eit resultat av nedbør i form av snø og omfordeling av snø ved hjelp av vind, men også snøskred ned på breen frå bratte fjellsider bidreg til vinterakkumulasjonen. (Andreassen et al., 2012, s. 19).

Ablasjon er meir samansett, det er prosessar der snø og is vert fjerna frå breen. Dette inkludera smelting, fordamping, vinderosjon og kalving. Mengda av ablasjon avheng av den totale energien som er tilgjengeleg for smelting (Andreassen et al., 2012, s. 19).

Energibalansen på breoverflata er summen av innkomande og reflektert kortbølggestråling (solstrålar) og langbølggestråling, i tillegg til latent (tilført ved kondensasjon) og sensibel (tilført ved konveksjon) varme. Vist i formelen under, der M er overflateablasjon, SW er kortbølggestråling, LW er langbølggestråling, QH er sensibel varme, QE er latent varme, QR er varme tilført ved nedbør og QT er varmetransport breen ved varmeleiing (Benn & Evans, 2010, s. 40).

$$SW + LW + QH + QE + QR - QT = M$$

Innverknaden dei ulike komponentane har på ablasjon varierer. Varme tilført ved nedbør og varmetransport i breen ved varmeleiing er vist å ha liten innverknad på norske brear (Andreassen et al., 2012, s. 19). Analysar av målingar frå den automatiske vêrstasjonen på Storbreen viser at variasjon i temperatur og refleksjon av kortbølggestråling, overflatealbedo, kan skildre største delen av den årlege variasjonen i smelting (Andreassen et al., 2012, s. 19).

3.3. Supraglasiale sediment

Supraglasiale sediment påverkar ablasjon til breen. Tjukna til dei supraglasiale sedimenta avgjer om dei har ein isolerande effekt og senkar ablasjon, eller om dei aukar ablasjonen samanlikna med ein bre utan sediment (Anderson & Anderson, 2016, s. 1105). Smelting på brear med eit sedimentdekke mindre enn 0,5 m tjukt er mest påverka av tjukkelsen på sedimenta (Nicholson & Benn, 2013, s. 499).

Sediment er ikkje tilfeldig plassert på, i eller under breen, dei førekjem ofte i lange band. Plasseringa til sedimenta reflektera strøymingslinjene til breen og posisjonen til sedimentkjelda. I akkumulasjonsområdet er isrørsla nedover/innover i breen slik at stein som fell ned på overflata forsvinn inn i breen. Medan det i ablasjonsområdet er ein vertikal komponent der djupare lag av isen vert transportert oppover mot overflata og samlast der. Samansetninga av sediment avheng av sedimentkjelda. Til dømes vil sediment som kjem frå steinsprang ned på breen ofte bestå av grove kantete klastar medan sediment som vert transportert basalt vert meir runda (Benn & Evans, 2010, s. 345).

Midtmorenar er supraglasiale sediment i lange band. Dei opptrer i ablasjonsområdet til breen og gjev eit bilete på rørsla til både isen og sedimenta. Sedimenta på overflata av breen er vanlegvis mykje meir konsentrert og lateralt utstrakt enn sedimenta i breen, midtmorenar kan derfor gi eit intrykk av at breen fraktar meir sediment enn den faktisk gjer. (Benn & Evans, 2010, s. 346).

Ei klassifisering av midtmorenar av Eyles og Rogerson frå 1978 baserar seg på forholdet mellom sedimentkjelda og morfologien (forma) til morenen (Benn & Evans, 2010, s. 347). Dei deler midtmorenane inn i tre hovudtypar. Den fyrste kjem av at englasiale sediment vert smelta ut (AD), den andre avheng av skred ned på breen si overflate (AT). Den tredje er Ice stream interaction (ISI), som kjem av at strøymingane i isen samlar sedimenta på ein stad. (Benn & Evans, 2010, s. 347).

Steinblokker er ofte tjukke, og dei hindrar ablasjon på isen under dei, men dei dekkar berre eit lite område av isen. Det er vanleg at steinblokker vert ståande oppå små isplatå, sidan isen rundt smeltar raskare enn isen som er beskytta av blokka. Etterkvart sklir blokka av

platået og platået smeltar raskt vekk, mogleg raskt nok til at det komepenserar for den tidlegare forseinkinga i smelting (Reid et al., 2012, s. 7)

3.4. Albedo

Albedo er evna eit materiale har til å reflektere lys. Dersom eit materiale har låg evne til å reflektere lys har det ein låg albedo, ein stor del av energien i lyset vert absorbert. Lyse overflater som snø og is har ein høg albedo, dei reflekterer tilbake mykje av sollyset som treff dei. Medan mørke overflater har ein låg albedo (Myhre, 2021).

Overflatealbedo på ein sedimentdekt bre er hovudsakleg påverka av litologien i området (Nicholson & Benn, 2013, s. 499). Bergartar som inneheld mykje mørke mineral slik som pyroksen og amfibol vil ha ein låg albedo. Medan bergartar som inneheld lyse mineral, til dømes kvarts og plagioklas, vil ha ein høgare albedo. Om sedimenta er våte eller tørre vil også påverke albedoen, då våte sediment som oftast er mørkare og har lågare albedo. Dersom ein skal måle albedo til sedimenta bør ein derfor alltid måle både tørre og våte sediment (Nicholson & Benn, 2013, s. 500). Ein sedimentdekt bre vil ha ein lågare albedo enn ein bre som ikkje er sedimentdekt, då sedimenta absorberer meir av solstrålane enn ei rein isoverflate.

4. Metode

4.1. Differensial GNSS

Differential Global Navigation Satellite System (DGNSS) er ei vidareutvikling av GNSS (Global Navigation Satellite System). Med GNSS kan ein ha ei nøyaktigheit på fem til 10 meter, medan ein kan oppnå ein høgare posisjonsnøyaktigheit med DGNSS. (Forssell & Kjerstad, 2021)

RTK (Real Time Kinematic) er ein variant av differensial posisjonsfastsetjing, den fastset ein posisjon i forhold til ein mottakar (base) som er oppstilt i eit punkt med kjend posisjon, basen genererer korreksjonar til avstandsmålingane. Metoden gjev ein nøyaktig posisjon, med ein nøyaktigheit på 1cm i grunnriss og 2 cm i høgd (Mæhlum, 2020).

Ein variant av RTK er nettverks-RTK. Den nyttar eit nettverk av basestasjonar over eit større område til å kalkulere korreksjonsdata. Ein koplar seg innpå nettverket ved hjelp av internett eller mobildekning. Kontinuerlege korreksjonsdata som er gyldige for roveren sin posisjon vert berekna av eit kontrollcenter, til dømes ved hjelp av virtuelle basetenester (Mæhlum, 2020). I Noreg tilbyr Kartverket tenesta CPOS som kan gi brukaren ein posisjonsnøyaktigheit på nokon få centimeter (Mæhlum, 2020).

4.2. Manuell kartlegging

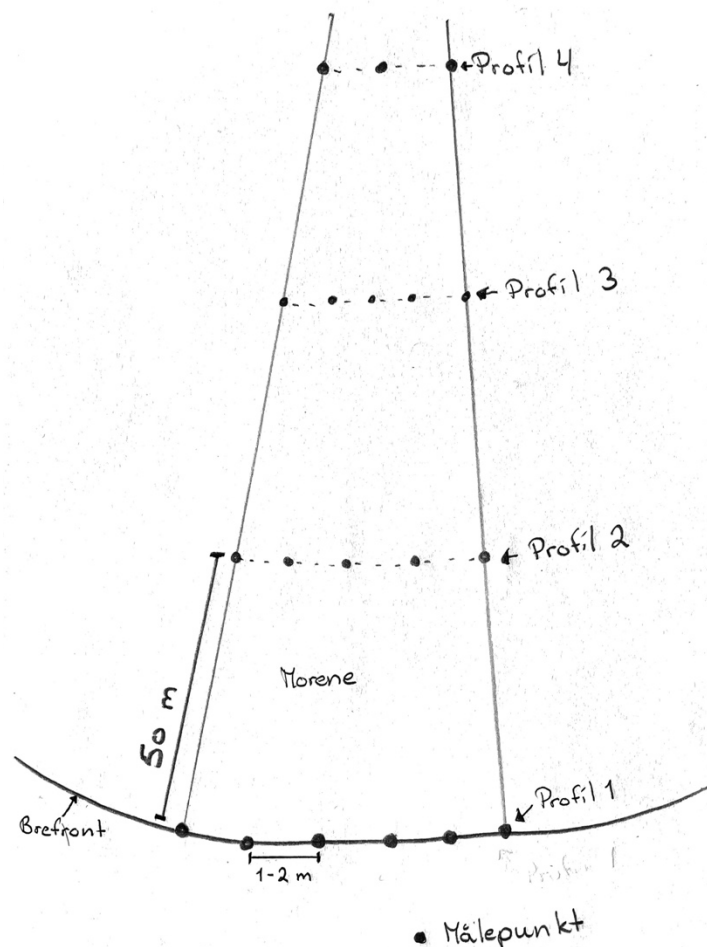
Det vart utført ei manuell kartlegging av supraglasiale sediment i ablasjonsområdet til Storbreen hausten 2020. Kartlegginga i felt vart fordelt over totalt tre dagar. 2020 var prega av mykje snø i fjellet, det gjorde at tidsvindauga for å kartlegge sedimenta på breen var lite. Dagane i felt var i slutten av august og byrjinga av september. Sjå Tabell 2 for ei oversikt over kva som vart kartlagt når. På feltdagen i august var delar av ablasjonsområdet til breen dekkja av eit tynt lag med nysnø.

Tabell 2 : Innsamla data frå felt

18.08.2020	01.09.2020	02.09.2020
Brefront kartlagt med DGNSS.	Midtmorene 1 kartlagt med DGNSS.	Kartlagt område med fine sediment.
Midtmorene 1 kartlagt med DGNSS	Grov profilar på tvers over midtmorene 1, ca. 50 m mellom kvart profil - Loggført morenetjukn og sedimenttype.	Kartlagt midtmorene 2, 3, 4 - Utstrekning og sedimentstørrelse og tjukn. Grov nokon få profilar
		Kartlagt område med spreidde steinar.
		Kartlagt steinur på breen

Brefronten vart kartlagt den 18.08.2020. Det vart nytta ein differensial GNSS med CPOS til å gå langs fronten med kontinuerlege målingar kvart 10. sekund.

Resten av kartlegginga vart gjort to etterfølgande dagar i september. Desse dagane var det betre forhold til å kartlegge dei supraglasiale sedimenta, då ablasjonsområdet til breen ikkje var dekkja av snø. Sedimenttjukna i midtmorene 1 vart kartlagt ved å grave hol ned til breen i tverrprofilar slik som vist i Figur 3. HOLA vart grave med ein liten spade, eller baksida på ei isøks. Sedimenta vart forsiktig grave bort ned til breoverflata, tjukkelsen målt med ein meterstokk (Figur 4) og punktet loggført med differensial GNSS. For å unngå variasjon i metode og subjektiv vurdering vart gravinga og målinga utført av same person. Det vart til saman 68 hol i midtmorene 1. Resten av dei supraglasiale sedimenta på Storbreen vart kartlagt ved å ta kontinuerlege målingar rundt område med liknande supraglasiale sediment. Dei vart ikkje kartlagt like grundig som sedimenta i midtmorene 1, sidan denne kartlegginga var svært tidkrevjande.



Figur 3: Skisse av korleis målingane av midtmorene 1 vart gjort. Tal punkt og profil avvik, men viser avstand og oppsett. Målepunkta er markerte som sirkular.



Figur 4: Tjukna på midtmorene 1 vart målt ved å grave hol ned til isoverflata. Tjukna vart målt med ein meterstokk.

4.3. Val av satellittbilete

Det er ulike satellittbileter tilgjengeleg, Sentinel og Landsat er opne gratis løysingar med ein oppløysing ned i 10 m. NVE nyttar Sentinel, tidlegare Landsat.

I denne oppgåva er det nytta satellittbilete frå PlanetScope satellittar.

Planet Labs Inc leverar satellittbilete med ca. 3 meter oppløysing frå PlanetScope satellittar, det vil seie at kvar av pikslane på eit bilete er 3 x 3 meter i verkelegheita. PlanetScope gjev ei kontinuerleg stripe av enkeltbilete (scenes). Bileta kjem frå omlag 130 satellittar, og dekker jordoverlata ca. 81,5 breiddegrader sør og nord for ekvator kvar dag (Planet Labs Inc ,2020, s. 13).

PlanetScope satellittbileta har tre ulike prosesseringsnivå når ein lastar dei ned, «Basic Scenes», «Ortho Scenes» og «Ortho Tile». I denne oppgåva er det «Ortho Scenes» som er nytta. Bileta er prosessert for biletvinkel, og radiometri og sensor korrigert, i tillegg er dei også plassert i ein kartografisk projeksjon. Bileta er ikkje georeferert kvar for seg, men vert

registert i lag med satellittbilete frå Landsat. Nøyaktigheita til posisjonen er oppgitt å vere mindre enn 10 meter (RMSE) for bileta (Planet Labs Inc ,2020, s. 22). Unøyaktigheita kjem av at Landsat satellittane har ei oppløysing på 15 meter.

Satellittbilete frå PlanetScope satellittar vart nytta i den automatiske kartlegginga av breen, bileta vart òg samanlikna den manuelle kartlegginga av breen. Sidan breane og området rundt er dekkja av snø store delar av året, er det bilete frå seinsommar og tidleg haust som må nyttast til å klassifisere brear. Resten av året gjer snøen det umogleg å skilje snødekt bre frå dei snødekte områda rundt breen. Det er ynskjeleg med minst mogleg snødekte områder, for å få ein god kartlegging. Det må også vere tilnærma skyfritt, for at satellittane skal få gode bilete. Derfor vart det søkt etter bilete om hausten med eit skydekke på maks 10%. Det var også ynskjeleg med eit bilete frå 2020 som samsvara mest mogleg med datoane i felt, for å kunne gjere ein samanlikning av satellittbilete og kartlegginga i felt. Satellittbileta som vart vald ut er presentert i Tabell 3 under. Det vart lagt vekt på at bileta skulle vere frå den same tida på året, for å få ei realistisk samanlikning.

Tabell 3: Oversikt over satellittbileta som er nytta i oppgåva

Dato	Satellitttype	Band	Satellittnamn
04.09.2020	PlanetScope	4	105c
29.08.2019	PlanetScope	4	106a
31.08.2018	PlanetScope	4	0f4e
29.08.2017	PlanetScope	4	103d

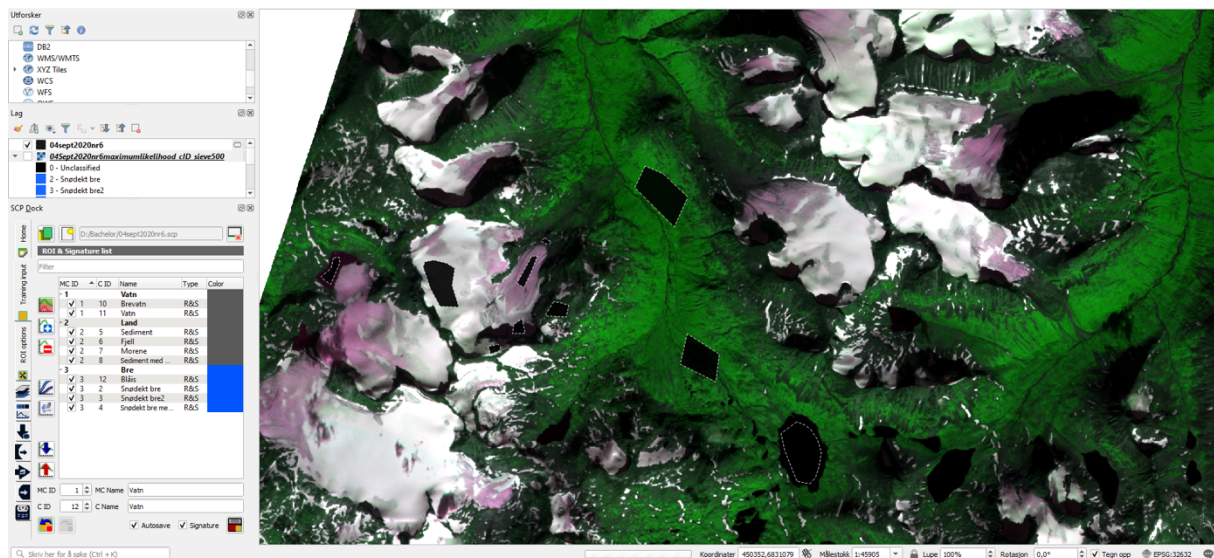
4.4. Manuell kartlegging av supraglasiale sediment ut frå satellittbileta

Ut i frå det nedlasta satellittbiletet frå 04. september 2020 vart det gjort ei manuell kartlegging av sedimentdekt bre i QGIS. Det vart gjort ved å teikne polygon der ein observerte supraglasiale sediment på bileta. Det var vanskeleg å skilje mellom ulike sedimenttypar, det einaste ein kan sjå er om sedimentlaget er dekkande eller ikkje, ein ser ikkje tjukna på sedimentlaget.

4.5. Semi automatic classification plugin

Automatisk kartlegging av breen vart gjort ved hjelp av *Semi automatic classification plugin* (SCP) i QGIS 3.10. SCP identifiserer ulike materiale på jordoverflata ut i frå korleis dei reflekterer dei ulike delane av sollyset (Dick & Birkeland, 2020). Satellittbileta vart lasta ned som tif filer frå Planet.inc og lagt inn QGIS gjennom SCP.

SCP fungerer slik at ein teiknar polygon, ROI (region of interest), for å trene programmet til å kople dei ulike refleksjonane til bestemte overflater. I denne oppgåva er fokuset med den automatiske kartlegginga å kjenne att brear, og det har derfor vorte lagt vekt på å skilje breoverflata frå andre overflater. Det er ikkje vektlagt kor godt algoritmen skil til dømes vatn frå sediment. Det vart teikna polygon over breen og området rundt, slik som vist i Figur 5. For at heile breen skal verte kartlagt som bre er det viktig å teikne ROI både på snødekt-, sedimentdekt- og skyggelagt bre. Erfaringane som vart gjort er at det også er viktig å teikne ROI på alle andre ulike overflater, for å fortelje programmet at desse overflatene ikkje er bre. Fleire ROI gjer det enklare for algoritmen å gjere ein korrekt klassifisering. Det vart teikna inn fleire små ROI i akkumulasjon og ablasjonsområdet, for å få eit mest mogleg representativt utgangspunkt.



Figur 5: Ulike ROI vist som svarte polygon i QGIS.

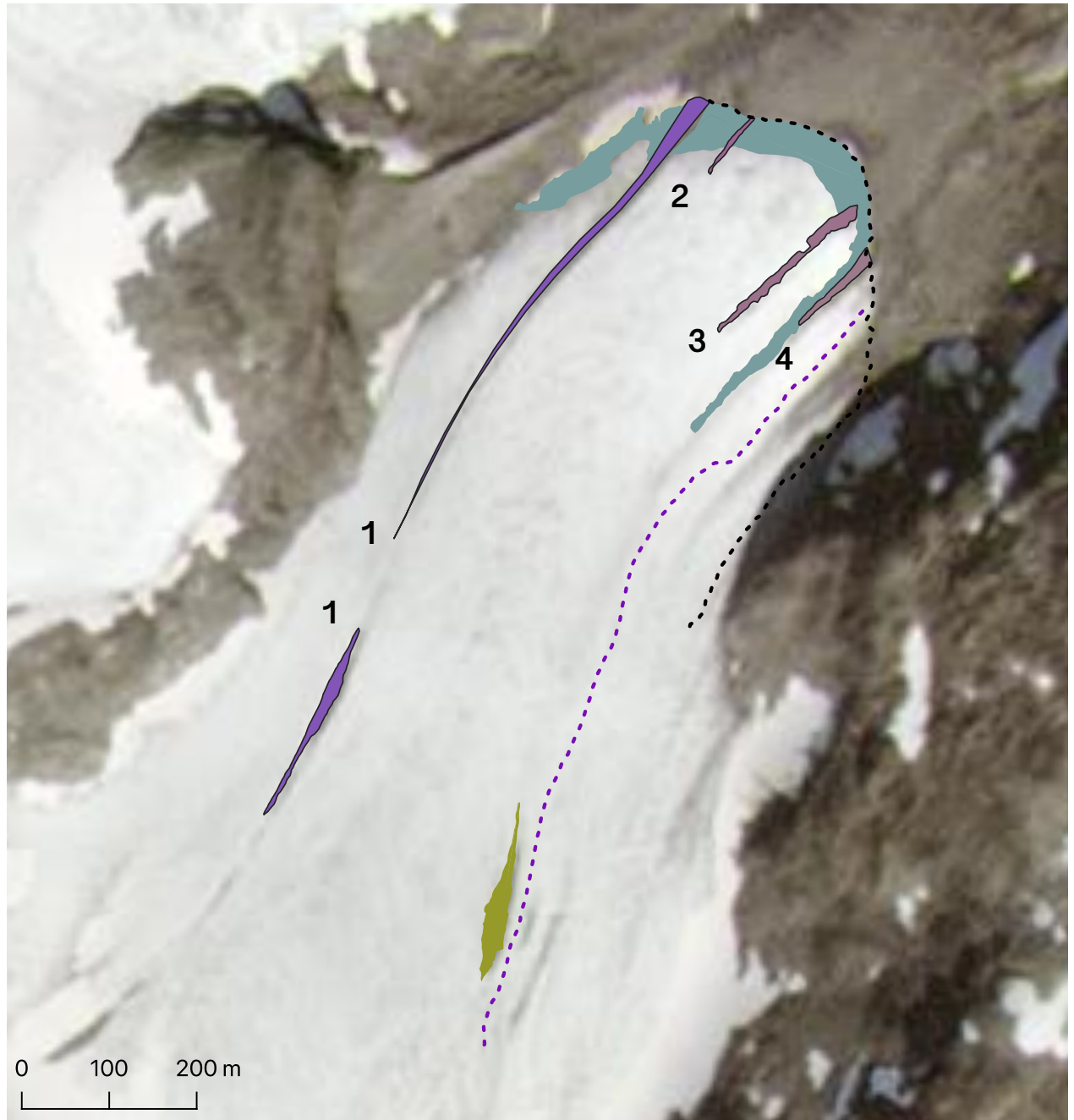
Ulike grenseverdier og algoritmar vart prøvd ut, for å få eit resultat med minst mogleg feilkartlegging. Algoritmen som viste å gi det beste resultatet er «*Maximum Likelihood*», den kalkulerer sannsynet for at ein piksel høyrer til ein bestemt gruppe ut i frå Bayes sitt teorem (Long & Singh, 2013, s. 5232). Det vart ikkje lagt inn noko eigendefinerte grenseverdier utover det, då algoritmen fungerte bra automatisk.









For å minimere feil, og fjerne enkeltpikslar som var feilkategorisert, vart resultatet prosessert i «*classification sieve*». Der vart «*size threshold*» satt til 500 og «*pixel connection*» til 8. Dette gjorde at dei minste snøfennene ikkje vart klassifisert som bre, og at andre små feilklassifiserte område vart fjerna.

5. Resultat

5.1. Utbreiing av supraglasiale sediment

Under den manuelle kartlegginga i felt vart det kartlagt fire midtmorenar, eit tynt lag med fine sediment på nedre del av breen, ei steinur og eit område med spreidde steinar (Figur 6). Felles for alle dei supraglasiale sedimenta er at dei har ei angulær form, og er hovudsakleg mørke bergartar.



- | | | |
|--|---|--|
|  Midtmorene 1 |  Midtmorene 4 |  Brefront 2020 |
|  Midtmorene 2 |  Steinur |  Spreidde steinar til høgre |
|  Midtmorene 3 |  Fine sediment | |

Figur 6: Kart over ulike supraglasiale sediment kartlagt i felt. Store svarte tal viser kva nummer dei ulike midtmorenane er gitt.

5.1.1. Midtmorene 1

Den tydeligaste midtmorenen, midtmorene 1, ligg lengst mot nordvest på breen. Den har ei tydelig konveks form (Figur 7) og strekkjer seg 600m i luftlinje oppover breen. Breidda varierer frå 25 meter ved brefronten til gradvis ingenting oppover breen. Morenen er delt i to delar, med ein øvre og ein nedre del. Mellom dei to delane er sedimentlaget ikkje dekkande. Morenen består av sediment med ulik kornstørrelse, frå silt/leire og opp til blokkstørrelse (Tabell 4). Den vanlegaste kornstørrelsen er opp til og med stein. Øvre del av midtmorenen består hovudsakleg av sediment med mindre kornstørrelse, med berre nokon få fragment større enn stein.



Figur 7: Nedre del av midtmorene 1. Gul meterstokk i biletet er 1 m. Personen på biletet er 1,84m høg.

Tabell 4: Kornstørrelseskala frå NGU

Kornstørrelse	Diameter (mm)
Leir	< 0,002
Silt	0,002 – 0,063
Sand	0,063 – 2,0
Grus	2,0 – 64
Stein	64 - 256
Blokk	> 256

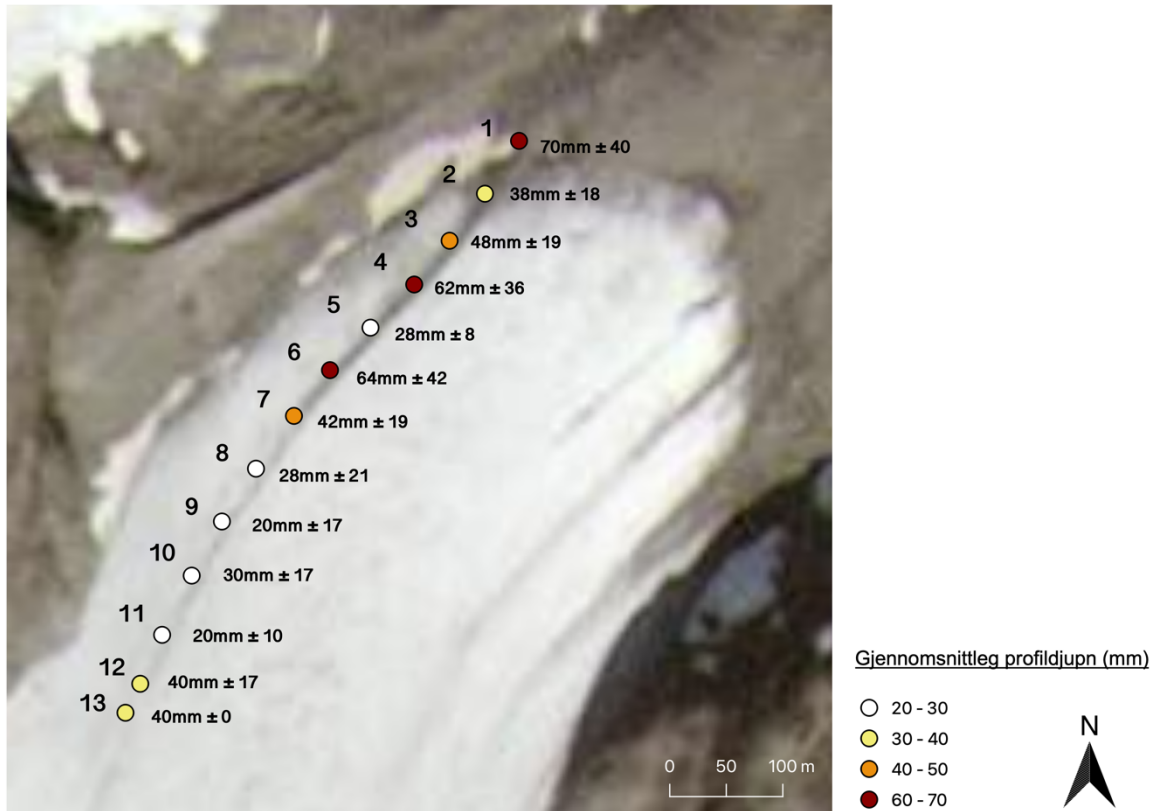
(NGU, u.å.)

Tabell 5 og Figur 8 viser korleis sedimenttjukna og breidda variera i profila i nedre del av midtmorene 1. Breidda er 25 m nedst, og minkar oppover. Den smalnar inn til ca. 8 meter allereie ved profil 3, 103 meter frå fronten, og er stabil heilt til profil 7 som ligg 310 m frå brefronten. Frå profil 9 til 12 er breidda stabil på 1,2 - 2,5 m.

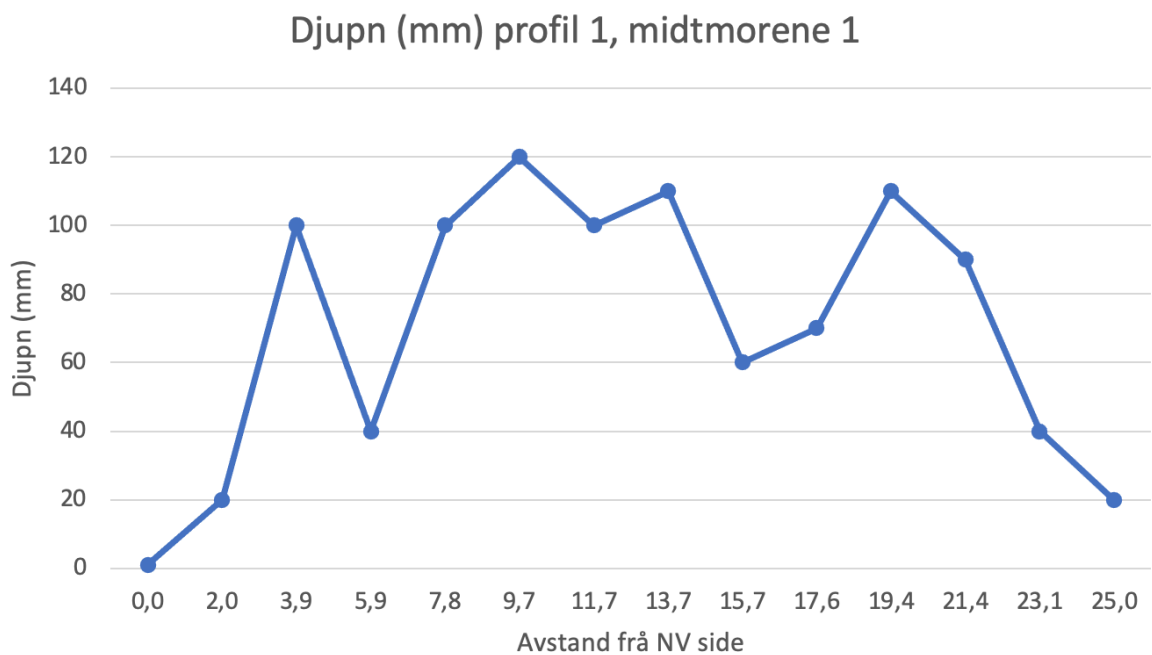
Tabell 5: Breidde, gjennomsnittsdjupn og standardavvik for kvart profil i midtmorene 1

Profilnummer	Tal målingar	Breidde (m)	Gjennomsnittsdjupn (mm)	Standardavvik djupn (mm)
1	14	25,0	70	40
2	9	16,4	38	18
3	5	8,6	48	19
4	5	8,2	62	36
5	5	8,6	28	8
6	5	7,8	64	42
7	6	5,6	42	19
8	4	3,7	28	21
9	3	1,3	20	17
10	3	2,3	30	17
11	3	2,5	20	10
12	3	1,2	40	17
13	1	0	40	0

Gjennomsnittsdjupna i kvart profil minkar i hovudsak oppover breen, men ein ser av Tabell 5 og Figur 8 at det er nokon avvik. Dei fleste avvika i gjennomsnittsdjupn har stort standardavvik, og det høge gjennomsnittet kjem då gjerne av ei høg måling. Likevel vert morenen tydeleg tjukkare ved profil 12 og 13, heilt i øvste delen av nedste del av midtmorene 1. Tverrprofila av midtmorenen viser at morenen er typisk djupast omtrent ved midten og tynnast langs sidene, men det er store variasjonar (Figur 9). Den konvekse forma til morenen samsvarar derfor ikkje med målingane gjort av djupna ned til breen.



Figur 8: Gjennomsnittsdjupn med standardavvik for kvart profil i midtmorene 1. Kvart profil er markert med eit punkt der fargen avheng av gjennomsnittleg djupn. Tala til venstre for punktet er profilnummer, og tala til høgre er gjennomsnittleg profildjupn med standardavvik.



Figur 9: Variasjon i djupn i profil 1 ved midtmorene 1. Punkta viser målingane som er gjort, linja er trekt gjennom punkta for å få eit betre bilete av korleis djupna varierer.

Den øvre delen av midtmorene 1 er tydeleg smalare enn den nedre delen, og er ikkje meir enn 1 m på det breiaste (Figur 10). Den består hovudsakleg av sediment med mindre kornstørrelse enn den nedre delen, med berre nokon få fragment større enn stein.



Figur 10: Øvre del av midtmorene 1. Gul meterstokk er 1m, breidda på morenen er 1 m. Personen på biletet er 184cm høg.

Midtmorene 1 har ein tydeleg ytre avgrensing mot nordvest og søraust, slik ein kan sjå på Figur 7. Det ligg likevel nokon enkeltblokker utanfor morenen. Ved nokon av desse blokkene ser ein tydeleg at breen har smelta rundt, då dei står på platå (Figur 11)



Figur 11: Blokk på isplatå, 60cm høg, 110cm lang og 80cm brei. Gul meterstokk er ein meter lang. Blokka er lokalisert på den nordvestlege sida av midtmorene 1.

5.1.2. Midtmorene 2,3 og 4

Søraust for midtmorene 1 er det tre mindre midtmorenar. Dei har ikkje same utstrekning, tydelege grenser og utforming som midtmorene 1. Kornstørrelsen varierer også her frå blokk til silt/leire, men med lågare del av dei fine fragmenta (Figur 12).



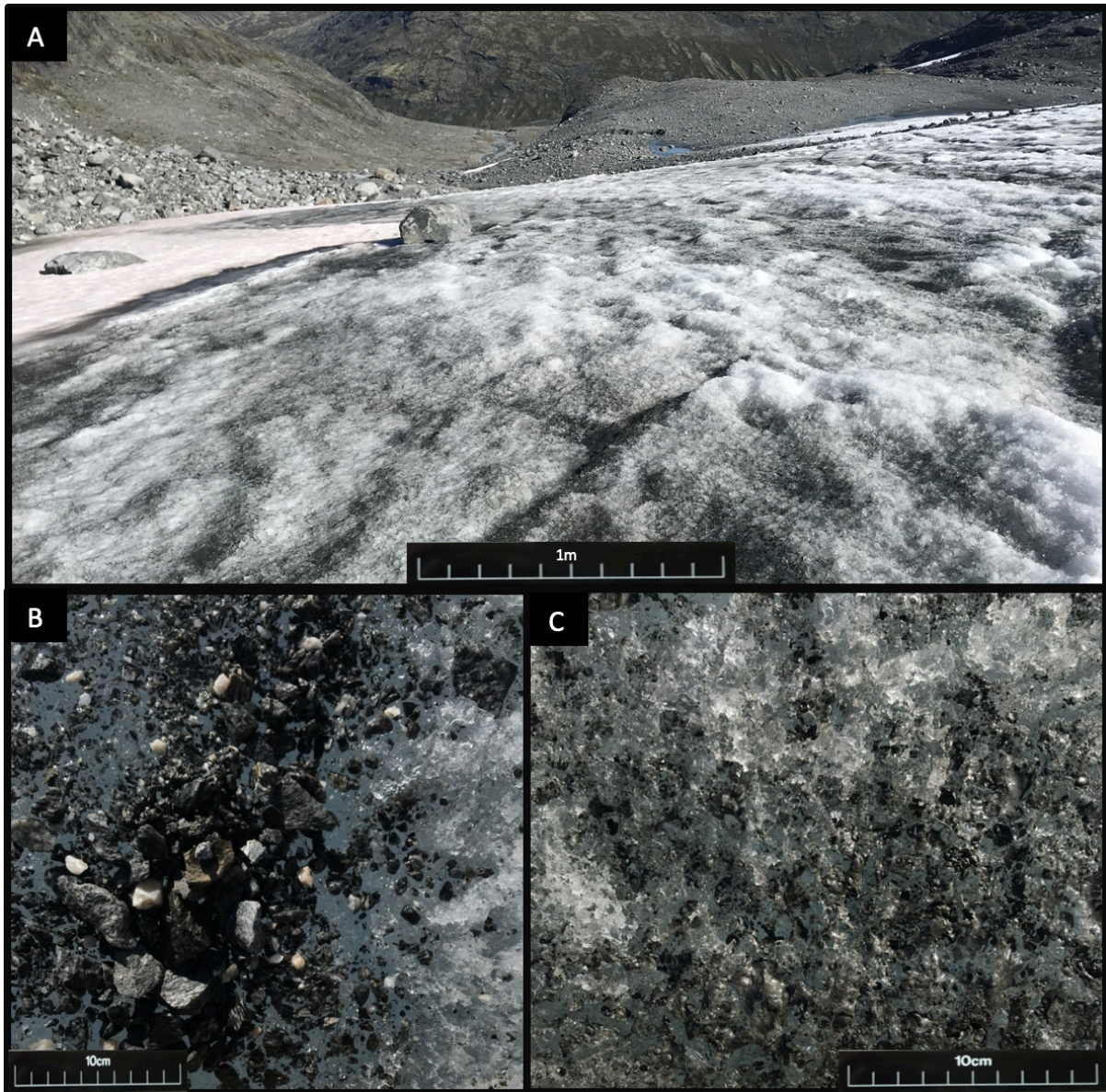
Figur 12: Midtmorene 3. Gul meterstokk er ein meter, personen er 184 cm høg. Avgrensinga av morenen er ikkje like tydeleg som midtmorene 1.

5.1.3. Fine sediment

Den delen av brefronten som ikkje er dekkja av morene er dekkja av eit tynt lag med fine sediment (Figur 13). Sedimenta varierer i kornstørrelse, opp til 5 cm. Supraglasialt smeltevattn gjer at dei finaste sedimenta somme stadar er vaska bort, og at sedimentdekket varierer i tjukn og kornstørrelse. Sedimenta er smelta ned i isoverflata i varierende grad. Spesielt sediment med kornstørrelse grus er tydelig nedsmelta, og isoverflata er over korna (Figur 13 C).

Områda som er kartlagt som fine sediment i Figur 6 inneheld også nokre større blokker. Spesielt områda nordvest for midtmorene 1, der er det fleire blokker langs den nordvestlege kanten av breen. Ein ser også av Figur 6 over at dei fine sedimenta har ei U form. Der dei går

lengre oppover breen langs brekanten på nordvestlege sida og langs midtmorene 4 på den søraustlege sida.



Figur 13: A: Oversiktsbilete av noko av området kartlagt som fine sediment nordvest for midtmorene 1. I tillegg til dei fine sedimenta er det nokon spreidde blokker. B: Oppsamling av sediment som er større enn den typiske kornstørrelsen. Dei største kornstørrelsane har ikkje smelta ned i isoverflata. C: Typisk kornstørrelse og sedimentdekke for området kartlagt som fine sediment. Sedimenta har smelta ned i isoverflata.

5.1.4. Steinur

Storbreen har ikkje berre sediment langs fronten og oppover i midtmorenane. Det vart kartlagt ei supraglasial steinur 1 km frå fronten av breen (Figur 6). Den er lokalisert i ablasjonsområdet eit stykke under eit brattare parti av bre og fjell. Steinura er ikkje synleg frå fronten av breen, då den ligg nede i eit søkk.

Kornstørrelsen på fragmenta i steinura er større enn dei som er kartlagt andre stadar på morenen. Størrelsen varierer også her frå blokk til silt. Typisk kornstørrelse er blokk, den største er omtrent 7 m lang, 6 m brei og 3 m høg. Kornforma er svært angulær, og nokon av blokkene ligg stabla oppå kvarandre. Ura har ei tydelig konveks form, og er breiast på midten og smalnar ut i ein spiss oppover og nedover breen (Figur 14). Den har tydeleg avgrensa kantar med nokon enkeltblokker utanfor.

Blokkene i og rundt steinura ligg ikkje på isplatå slik som fleire av blokkene nærare brefronten gjer. Rundt steinura er det nokon få fine sediment, men det er eit meir tydeleg skilje mellom sediment/steinura og bre enn ved fronten.



Figur 14: Steinur sett ovanfrå og ned mot brefronten (mot Nord). Ein ser tydeleg at den er spiss oppover og breiare på midten.

5.1.5. Spreidde steinar

Søraust for den lilla stipla linja på Figur 6 er det kartlagt spreidde steinar og blokker i ulike størrelsar (Figur 15). Det er varierende avstand mellom desse, men dei er generelt meir spreidd oppover breen. Nedst kan nokon av fragmenta sjå ut til å danne ein liten midtmorene saman med finare sediment. Dette er ikkje kartlagt som ein eigen midtmorene. Mellom dei spreidde steinane og blokkene er det finare sediment, spesielt ved den nedre delen av breen.



Figur 15: Området kartlagt som spreidde steinar. I den manuelle kartlegginga frå satellittbileta er oppsamlinga midt i biletet kartlagt som midtmorene 5. Personen på biletet er 184cm høg

5.1.6. Sedimentdekt areal

Det totale arealet som er kartlagt som sedimentdekt er $3,1 \times 10^4 \text{ m}^2$, det inkludera alle sedimenta bortsett frå området med spreidde steinar. Sjå Tabell 6 for ei oversikt over sedimentfordelinga. Dersom ein skal skilje mellom område med eit tynt lag med sediment og område med eit tjukt lag med sediment er det $1,9 \times 10^4 \text{ m}^2$ med fine sediment og $1,1 \times 10^4 \text{ m}^2$ med tjukke. Dei fine sedimenta utgjer altså 62% av det sedimentdekte arealet.

Arealet til ablasjonsområdet er $98,8 \times 10^4 \text{ m}^2$, ut i frå satellittbilete frå 04.september 2020. Ablasjonsområdet varierar i størrelse frå år til år, avhengig av plasseringa til snølinja det enkelte året. Snølinja er nytta då den gjev eit godt estimat på plasseringa til likevektslinja sidan satellittbiletet er frå hausten. NVE sine målingar plasserer likevektslinja på 2005 moh. i 2019, med ei makshøgde på 2091 moh. og ein minimumshøgde på 1420 moh. Snølinja kartlagt ut frå satellittbiletet 04. september 2020 har ei høgde mellom 1570 – 1830 moh.

Ut i frå kartlegginga gjort i august/september 2020 er 3,17 % av breen sitt ablasjonsområde sedimentdekt. Der 1,97 % er dekket av fine sediment, 0,92% midtmorene og 0,29% av steinur.

Tabell 6: areal med supraglasiale sediment.

Sedimenttype	Skildring	Areal (10^3 m^2)	Prosent av ablasjonsområdet
Midtmorene 1	Ein øvre og ein nedre del. Består av sediment med ulik kornstørrelse, frå silt/leire og opp til blokkstørrelse.	5,7	0,58 %
Midtmorene 2	Kornstørrelsen varierer frå blokk	0,4	0,04 %
Midtmorene 3	til silt/leire, men med lågare del	2,0	0,20 %
Midtmorene 4	av dei fine fragmenta enn midtmorene 1.	1,0	0,10 %
Steinur	Kornstørrelsen varierer frå blokk til silt. Typisk kornstørrelse er blokk, den største er omtrent 7 m lang, 6 m brei og 3 m høg. Kornforma er svært angulær.	2,9	0,29 %
Fine sediment	Kornstørrelse, opp til 5 cm, inneheld også nokre større blokker. Hovudsakleg mørke bergartar	19,4	1,97 %
Totalt	Mørke angulære fragment.	31,3	3,17 %

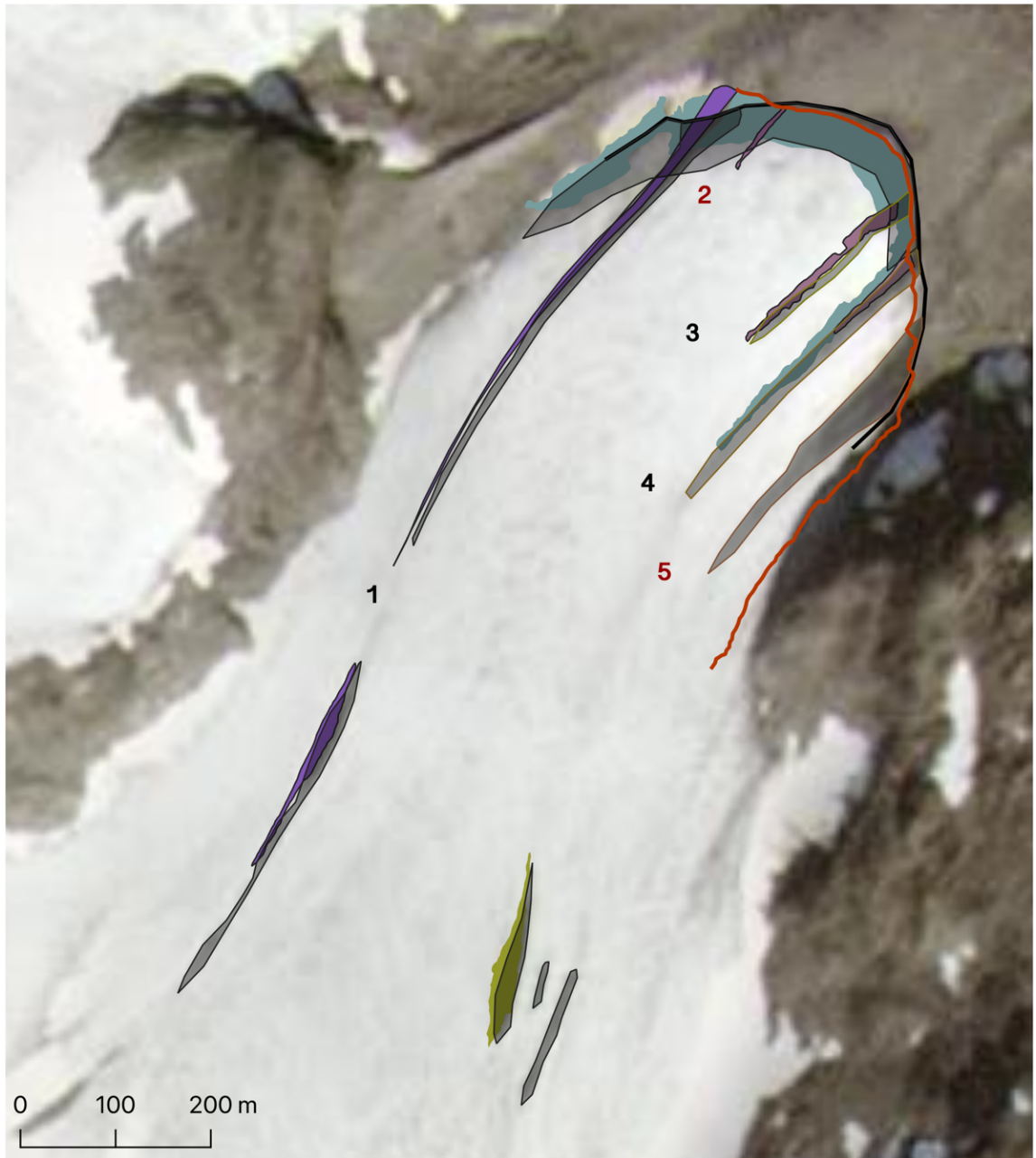
5.1.7. Kartlagt utbreiing av supraglasiale sediment frå satellittbileta

Kartlegginga av supraglasiale sediment manuelt frå satellittbileta vert litt ulik kartlegginga i felt (Figur 16). Det er tydeleg mindre nøyaktig og dei sedimentdekte areala vert større ved kartlegging ut frå satellittbileta (Tabell 7). Ut frå satellittbiletet frå 04. september 2020 er det kartlagt at 4,70% av ablasjonsområdet er dekkja med supraglasiale sediment, det er 1,53 prosentpoeng meir enn den manuelle kartlegginga.

Det er også færre detaljar, og grensene vert beinare. Alle midtmorenane vert i tillegg plassert lengre mot søraust. Midtmorene 2 vert ikkje kartlagt ut i frå satellittbileta, då den ikkje skil seg ut som nokon midtmorene, men ser ut til å høyre inn under fine sediment. Det vert derimot kartlagt ein midtmorene lengst mot søraust, midtmorene 5, som ikkje er kartlagt som midtmorene i felt. Den er derimot inkludert i området kalla for område med spreidde steinar ved kartlegginga gjort i felt. På satellittbiletet ser midtmorene 5 svært ut som ein midtmorene, men det er ikkje mogleg å sjå at det ligg store spreidde steinar i området rundt. Midtmorene 5 er avbilda i Figur 15.

Det største avviket er i den nordvestlege delen av brefronten, ved midtmorene 1. Kartlegginga frå felt viser at breen går lengre fram enn det som er mogleg å sjå på satellittbileta. Dette avviket gjeld kartlegginga av midtmorene 1, front og fine sediment.

I området ved steinura er det ut frå satellittbileta kartlagt fleire mindre steinurer søraust for steinura kartlagt i felt. Desse urene vart observert i felt, men dei var betydeleg mindre definert enn ura som vart kartlagt, det var ikkje dekning til CPOS rundt dei, og dermed vanskeleg å få kartlagt.



Kartlagt i felt

— Brefront

Midtmorene 1
Midtmorene 2
Midtmorene 3

Midtmorene 4
Fine sediment
Steinur

Kartlagt manuelt frå satellitt

— Brefront
Sediment



Figur 16: Samanlikning av kartlegging av supraglasiale sediment i felt og manuell kartlegging ut frå satellittbileta. Kartlegginga gjort ut frå satellittbileta er vist med grå farge oppå kartlegginga gjort i felt.

Tabell 7: Areal med supraglasiale sediment kartlagt manuelt ut frå satellittbilete 04.09.2020

Sedimenttype	Areal (10³ m²)	Prosent av ablasjonsområdet
Midtmorene 1	6,9	0,70 %
Midtmorene 2	0	0 %
Midtmorene 3	2,4	0,24 %
Midtmorene 4	5,4	0,47 %
Midtmorene 5	7,7	0,79 %
Steinur	4,0	4,04 %
Fine sediment	20,0	2,02 %
Totalt	46,4	4,70 %

5.2. Frontendringar

Figur 17 viser brefronten som vart kartlagt i felt hausten 2020, over satellittbilete for kvart år tilbake til 2017. Brefronten som er kartlagt i felt hausten 2020 følger brefronten på satellittbiletet frå hausten 2020. Det er ikkje stor skilnad til 2019, men på biletet frå 2018 er brefronten tydeleg lengre framme enn i 2020. Ein ser is som ikkje er sedimentdekt framfor brefrontlinja frå 2020. Hausten 2017 ligg brefronten endå lengre framme, linja frå 2020 er opptil fleire titals meter innpå breen på biletet. Sesongen 2017-2018 har tydeleg den største årlege endringa desse tre åra. NVE sine data viser ein årleg tilbaketrekning på 28m frå 2017 til 2018 (Tabell 1)

Satellittbileta frå 2017-2020 viser at sedimentdekket på Storbreen ikkje endrar seg mykje frå år til år. Ein kjenner att dei same strukturane og det er truleg lite endring i albedo. Det har ikkje oppstått nokon nye strukturar desse åra som er mogleg å sjå på satellittbileta.

4. September 2020



29. August 2019



31. August 2018



29. August 2017



— Brefront linje



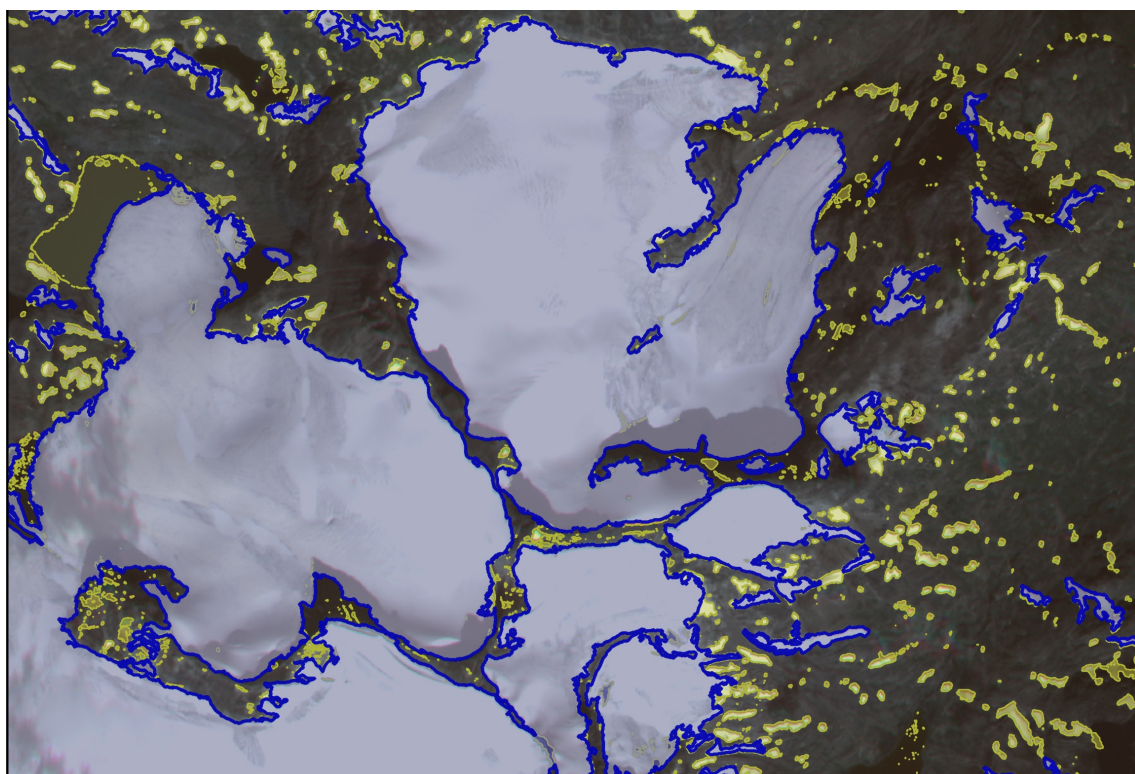
Figur 17: Frontendingring frå 2017 til 2020. Den raude linja viser brefronten slik den vart kartlagt i felt 18. August 2020. Ein ser at breen har trekt seg tilbake dei siste åra.

5.3. Breareal ut frå Planet satellittbilete

Automatisk kartlegging av breen med SCP gjev mange polygon. Utan ein terskelverdi vert alle små snøfenner kartlagt som bre, men med ein terskelverdi på 500 pikslar forsvinn dei minste snøfennene (Figur 18). Fjell i dagen midt i breen vert kartlagt som fjell frå satellittbiletet 2020 både med og utan terskelverdi. Terskelverdien gjer også at feilkartleggingar i midtmorenane minkar.

Den same algoritmen vart nytta på satellittbiletet frå 2017 også (Figur 19). Det var meir snø dette året, noko som gjer at eit større areal med snøfenner vert registrert som bre. Fjell i dagen midt i breen er for lite til at det vert kartlagt i satellittbileta frå 2017, sjølv om det er synleg på bileta.

Metoden gjev eit areal på heile Storbreen på ca 5,06 km² i 2017, og 4,87km² i 2020. Areal viser at breen har krympa med ca. 0,19km² på tre år. Dette arealet gjeld berre for polygonet rundt Storbreen, og ein har då ikkje rekna med snøfennene. Arealet som NVE har oppgitt for 2019 er 4,876km².



0 500 1000 m

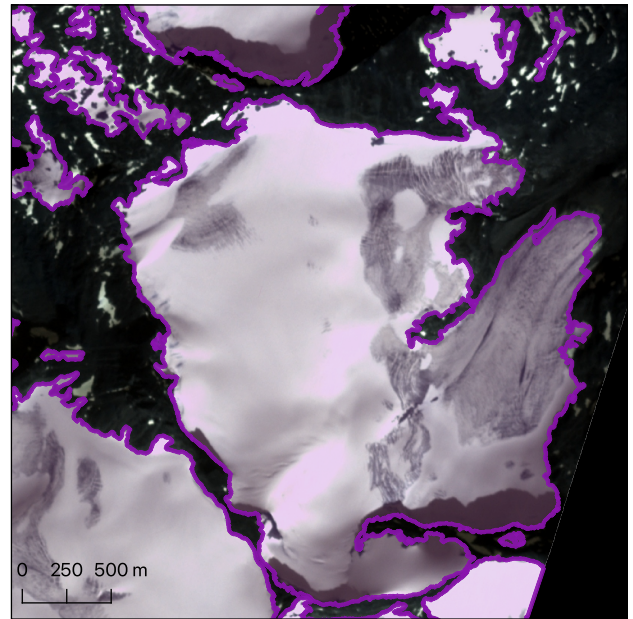
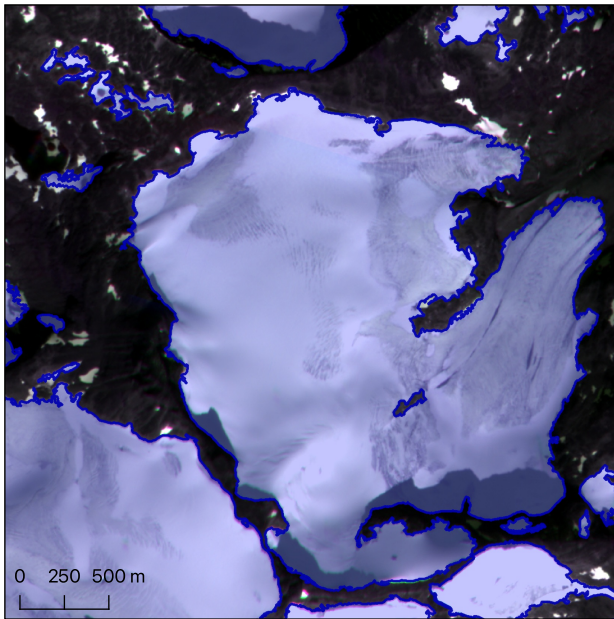
Utan threshold
Med threshold



Figur 18: Samanlikning av automatisk kartlegging med og utan terskelverdi, frå satellittbilete teke 04. september 2020. Det gule er område som vart kartlagt som bre utan terskelverdi, det blå er områda kartlagt som bre med ein terskelverdi på 500.

PlanetScope 04. September 2020

PlanetScope 29. August 2017



□ Omriss bre 2020
■ Bre 2020

□ Omriss bre 2017
■ Bre 2017



Figur 19: Areal kartlagt som bre ut i frå automatisk kartlegging, markert med blått for 2020 og lilla for 2017. Terskelverdi på 500.

5.4. Samanlikning av manuell og automatisk kartlegging av brefronten.

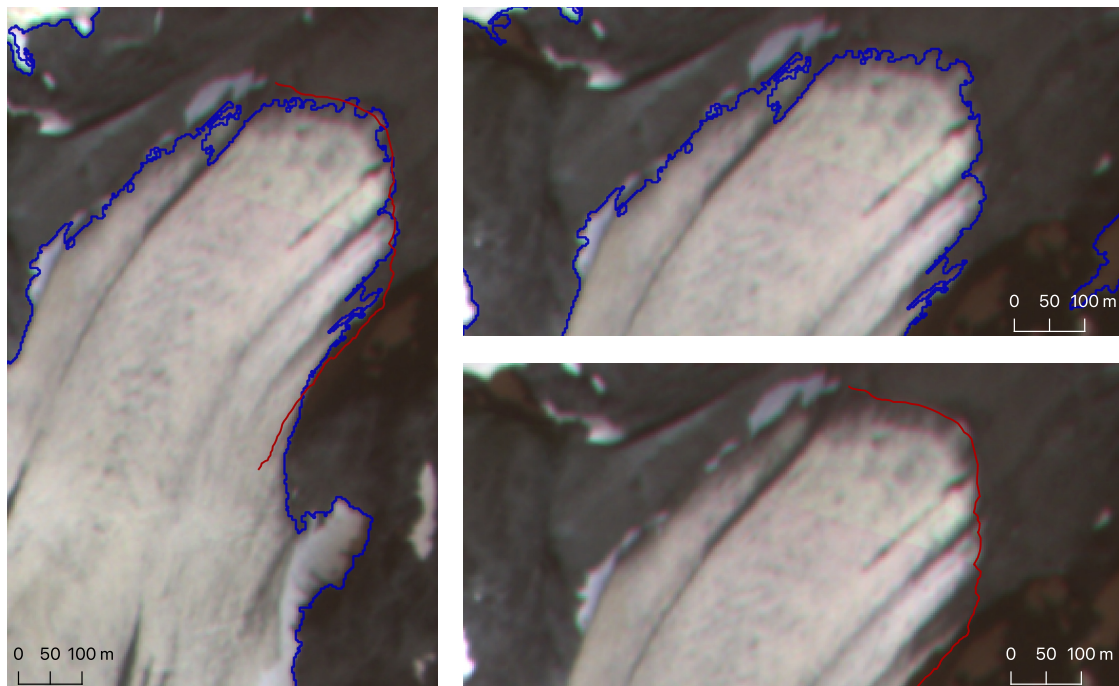
Brefronten hausten 2020 er kartlagt både i felt og automatisk frå satellittbilete.

Den automatiske kartlegginga gjev ein svært hakkete brefront (Figur 20). Det største hakket er ved fronten til midtmorene 1, der algoritmen har kartlagt midtmorenen som sediment. Feilkartlegginga her er opp til 160 meter i luftlinje inn på morenen. Dersom ein studera satellittbiletet ser ein at brefronten truleg går eit stykke lengre framme enn kartlagt, men det er vanskeleg å fastsetje akkurat kvar det er bre under midtmorenen. Ut i frå satellittbiletet og den automatiske kartlegginga aleine er det vanskeleg å fastsetje noko meir tydelege teikn på feilregistreringar.

Ved å samanlikne den automatiske kartlegginga med kartlegginga gjort i felt ser ein tydelege forskjellar. Breen strekkjer seg mykje lengre fram ved midtmorene 1 enn det som er mogleg å sjå på satellittbiletet. Det er ein forskjell på 160 meter mellom kartlegginga gjort automatisk og i felt. Langs den søraustlege delen av brefronten er det ein feilregistrering til,

sedimentdekt bre vert her også kartlagt automatisk som sediment. Denne feilkartlegginga er vanskeleg å sjå utan å samanlikne med kartlegginga gjort i felt. Elles er det mindre forskjellar langs fronten, der den automatiske kartlegginga pendlar rundt den manuelle.

Langs den nordvestlege sida av breen er det snø som er kartlagt som bre, observasjonar gjort i felt tilseier at dette er ei snøfonn som ligg i fjellsida ved sida av sjølve breen.



Brefront 2020

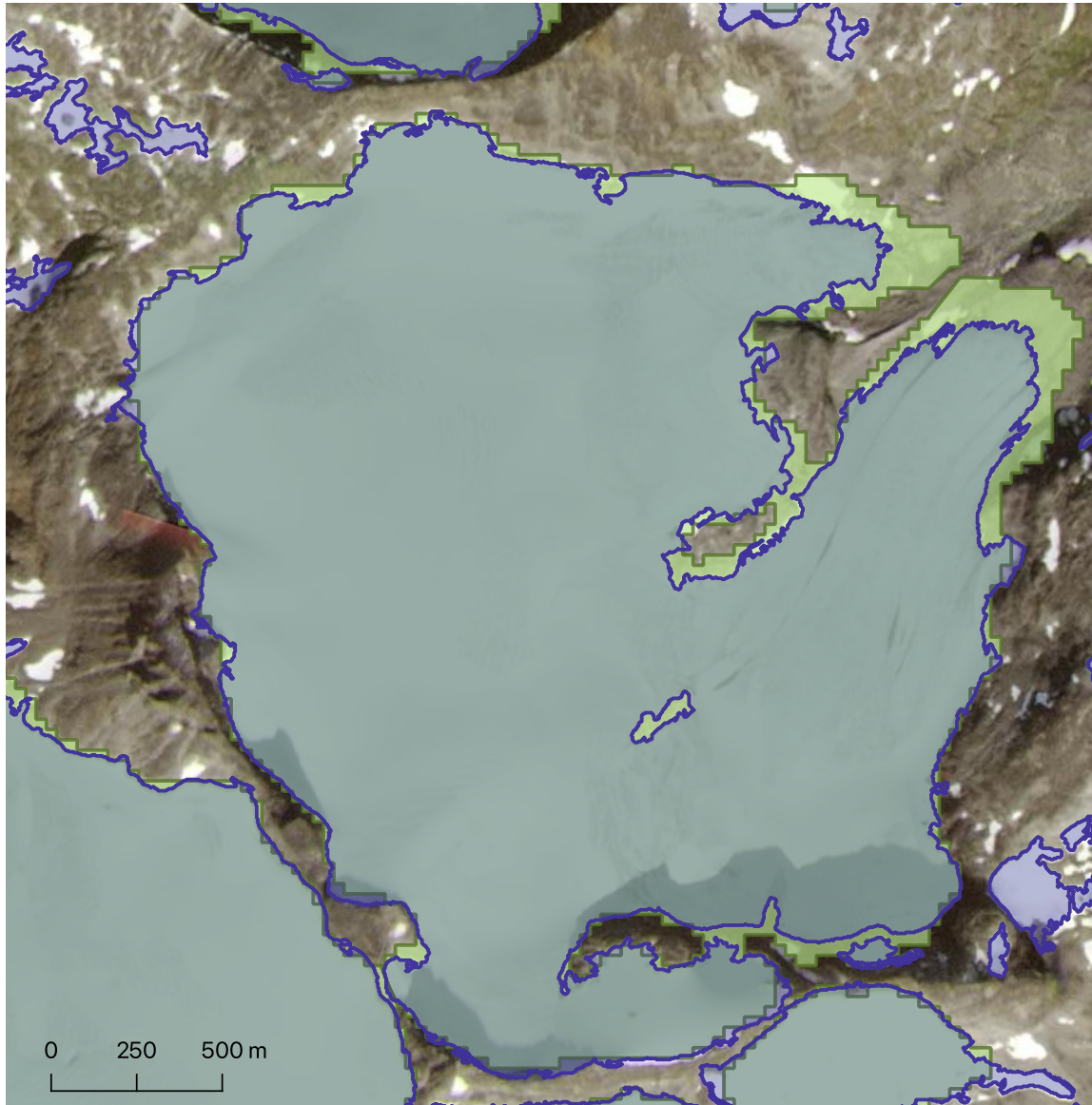
□ Automatisk kartlegging
— Brefront kartlagt i felt



Figur 20: Brefronten hausten 2020. Blå linje viser automatisk kartlegging ut frå Planet sine satellittbilete, raud linje er målingar gjort i felt med DGNSS.

5.5. Samanlikning av automatisk kartlegging med NVE

NVE har gjort ei kartlegging av alle brear i Noreg frå 1999 til 2006 ut i frå Landsat satellittbilete. Desse dataa kan lastast ned frå bredata på NVE sine sider (<https://www.nve.no/hydrologi/bre/bredata/>, 10.05.2021). Figur 21 viser resultatet frå mi automatiske kartlegging av Storbreen frå 4. september 2020 saman med NVE sitt areal frå 09. august 2003.



- Automatisk kartlegging frå Planetbilete 04.september 2020
- NVE si automatiske kartlegging frå Landsat 09. august 2003

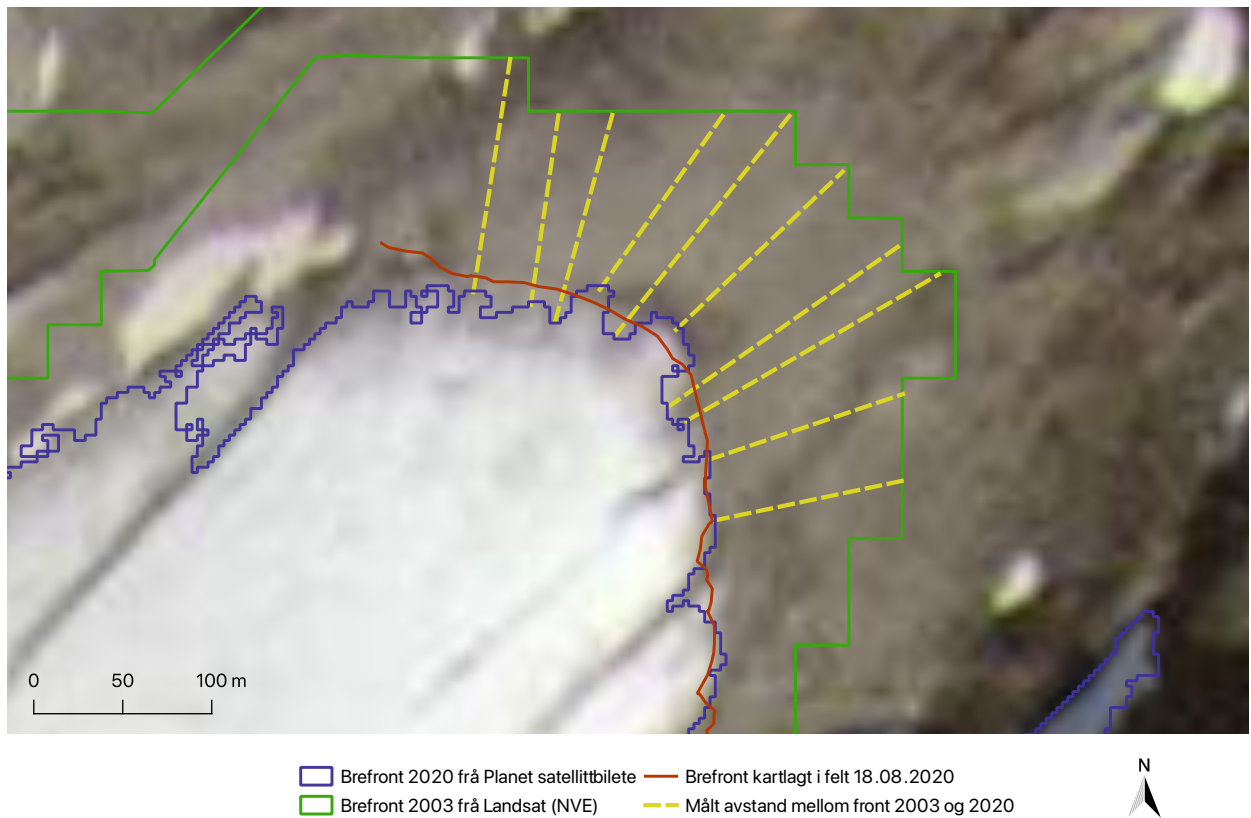


Figur 21: Samanlikning av breareal frå NVE si kartlegging i 2003 i grønt, og kartlegginga mi frå 2020 i blått.

Brearealet til heile Storbreen kartlagt av NVE er størst, ein ser tydeleg at brefronten var lengre framme. Det er ikkje kartlagt noko bart fjell i midten av breen i NVE si kartlegging. Arealet som NVE har kartlagt er 5,22 km², medan kartlegginga mi viser eit areal på 4,87 km². Totalt skil det 0,35 km² på kartlegginga mi frå 2020 og kartlegginga til NVE frå 2003.

NVE har målt frontendring kvart år, total tilbaketrekning frå 2003 til 2020 er målt til 140 m (Tabell 1). Avstandsmålingar utført mellom arealpolygonet til NVE frå 2003 og mitt frå 2020, (Tabell 8 og Figur 22), viser ein gjennomsnittsavstand på $131,8 \pm 21,7$ m.

Gjennomsnittsavstanden mellom polygona er 8,2 m lågare enn frontendringa som NVE har målt i perioden, men standardavviket er 21,7 m.



Figur 22: Samanlikning av brefront 2003 og 2020. Grøn linje er 2003, blå linje er 2020 og gule stipla linjer er avstandsmålingar gjort mellom 2003 og 2020

Tabell 8: Avstandsmålingar mellom frontposisjon frå NVE 2003 og automatisk kartlegging 2020

Måling	Avstand (m)
1	129,1
2	119,4
3	114,7
4	159,3
5	121,2
6	160,1
7	133,5
8	164,1
9	109,3
10	107,7
Gjennomsnitt	131,8
Standardavvik	21,7

Ein ser av omrisset at pikslane som NVE har nytta i kartlegginga si er større enn mine. Det er tydelig store firkantar, og omrisset deira er dermed grøvre enn mine. Likevel samsvarar kartleggingane bra på store delar av Storbreen. Snøfennene som har vorte kartlagt som bre i kartlegginga mi frå 2020 er i hovudsak ikkje blitt kartlagt av NVE.

6. Diskusjon

6.1. Fordeling av supraglasiale sediment

6.1.1. Frå kartlegging i felt

Morenane er breie ved fronten og strekker seg oppover breen, dei er hovudsakleg breiast og tjukkast nedst på breen. Det kjem av strøymingane i breen. Sedimenta som fell på breen i akkumulasjonsområdet vert transportert ned og inn i breen før retningskomponentane går oppover att i ablasjonsområdet. Det gjer at det vert meir supraglasiale sediment i den nedre delen av breen.

Variasjonane i gjennomsnittjukn på sedimenta i Midtmorene 1 kan kome av at det er enkeltmålingar som skil seg ut, ein får då også eit stort standardavvik. Ved gjennomsnittsmålingar som avvik frå mønsteret og samtidig har eit lågt standardavvik har truleg avviket i tjukn ei anna årsak. Det kan vere variasjonar i strøymingane i breen, nokon stadar kan det samlast meir sediment. Det er også avgjerande kvar sedimenta kjem ned på breen, eller kvar breen plukkar dei opp. Strøymingane i breen vert ikkje merkbart påverka av sedimenta som vert transportert, og der isstraumar utan sediment når breoverflata vil ein ikkje ha supraglasiale sediment. Området mellom øvre og nedre del av midtmorene 1 kan kome av variasjon i isstraumane som gjer at det ikkje vert samla opp like mykje sediment der. Det kan avhenge av til dømes topografien under breen eller mangel på sediment i akkumulasjonsområdet.

Arealet til morenane er greitt å fastsetje i felt, men i nokre områder er det vanskeleg å setje eit skilje mellom is og moreneoverflate. Den konvekse forma gjer at sediment fell eller rullar ut frå morenen. Vind bles også gjerne dei minste partiklane eit stykke bort frå morenen.

U-forma til dei fine sedimenta kjem truleg av at sedimenta finst nærast fronten og langs sidene av breen. I ablasjonsområdet til breen smeltar det ut sediment. Dess lengre ned mot fronten ein kjem dess meir av sedimenta er smelta ut. I teorien skal det altså vere meir sediment ved brefronten. Ved Storbreen er det også store morenar framfor og oppover fjellssidene ved sida av breen, i tillegg til midtmorenane. Dette er front, botn og sidemorenar etter tilbaketrekkinga av breen. I morenane er det mykje fine sediment tilgjengeleg som kan verte transportert inn på breoverflata ved ulike prosessar. Dei finaste sedimenta kan verte frakta inn av vêt og vind. Ein ser altså at det er naturleg at dei fine sedimenta ligg i ei U-form langs fronten. Det er summen av at det smeltar ut sediment og at det er mykje sediment tilgjengeleg rundt brefronten.

Mykje av sedimenta som er kartlagt som fine sediment på Storbreen er for store til å verte frakta av til dømes vind. Dei bratte fjellssidene rundt breen er bratte nok til at det kan gå mindre skred og steinsprang inn på breen. Spesielt på den søraustlege sida av breen er fjellsida svært bratt. Dei spreidde steinane og blokkene som ligg langs sidene av breen er også eit tydeleg teikn på at det går skred og steinsprang frå dalsidene og ned på breen.

Etterkvart som breen smeltar bort vert det meir og meir fjell i dagen. Fjellsidene er for bratte til å vere stabile etter breen forsvinn, og det fell stein/blokker ned på breen.

Steinura på Storbreen ligg langt frå fronten av breen, blokkene her er ikkje berre eit resultat av ablasjon/utsmelting. Blokkene kjem truleg av steinsprang frå fjellsidene over breen, og isstraumar som transporterar blokkene møtest i søkket der steinura ligg. Det er tydelig bratte fjellskrentar rundt steinura.

6.1.2. Frå satellittbilete

Sedimentkartlegginga vert meir unøyaktig ved kartlegging frå satellittbilete. Oppløysinga til satellittbileta frå Planet gjer at areala kan verte noko større enn ved kartlegging i felt. Totalt over heile ablasjonsområdet utgjer dette ei ein skilnad på 1,53 prosentpoeng. Det er vanskeleg å sjå nøyaktig kvar grensa mellom sediment og bre går, og midtmorene 2 er truleg for smal til å vere mogleg å sjå på satellittbileta.

Det er ikkje mogleg å sjå på satellittbileta at det er bre under sedimenta ved midtmorene 1, og dermed vert fronten, midtmorene 1 og dei fine sedimenta kartlagt for høgt/langt mot sør i dette området. Grensa mellom frontmorene og midtmorene er totalt usynleg. Dersom ein nyttar satellittbileta til å kartlegge fronten av breen vil ein i slike tilfelle kunne få ein stor feilmargin på fleire meter. Arealet som skil kartleggingane er derimot ikkje stort ved fronten, og ein ser at kartlegginga frå satellittbiletet gjorde det enklare å kartlegge fronten der den var tynn og ikkje trygg å gå på i felt.

Nokre strukturar var enklare å kjenne att ved digital kartlegging, og ein ser at spesielt store formasjonar var enklare. Det er vanskeleg å orientere seg og sjå store formasjonar når ein er i felt. Likevel har den digitale kartlegginga ein svakheit med at små formasjonar og detaljar ikkje vert mogleg å sjå, og ein kan gå glipp av viktig informasjon.

6.2. Supraglasiale sediment sin påverknad på massebalanse

Dei fine sedimenta på Storbreen dekker store delar av brefronten. Tjukna på sedimenta er for låg til å ha konserverande effekt på breen. Sedimenta aukar ablasjon på breen, då sedimentdekket tynt. Breoverflata er fortsatt utsatt for solstrålar, vêr og vind. Albedoen til breoverflata vert sterkt påverka av fine sediment. Sedimenta er mørke og absorberer mykje energi i form av varme frå solstrålar. Denne energien vert deretter vidareført til breoverflata ved varmeoverføring, noko som fører til auka ablasjon. Eit tydeleg teikn på at sedimenta aukar albedoen til breen er at sedimenta er smelta ned i breoverflata. Det tyder på at sedimenta absorberer meir varme enn overflata rundt.

Tjukna på sedimenta i midtmorenane og steinura gjer at dei har ein konserverande effekt på breen, mykje av solenergien når ikkje ned til breoverflata under sedimenta. Noko av den konvekse forma kjem truleg av at breoverflata er betre bevart i midten. Likevel er utbreiinga av tjukke sediment så liten at konserveringa truleg ikkje vil påverke den totale ablasjon til breen betydeleg. Områda rundt morenane og steinura er i tillegg påverka av fine sediment, som truleg kjem frå morenane, ura og fjellsidene rundt. Desse vil vere med å auke ablasjon.

Totalt sett er derfor ikkje morenane og steinura spesielt gunstig for å minke ablasjon til breen. Dei bevarer truleg litt av breen under dei tjukke sedimenta, men tilfører fine sediment over eit like stort område. Det at ura ligg nokså nær likevektslinja gjer også at det ofte er snø i dette området. Det tek lengre tid før ura smeltar fram om sommaren, og den har dermed ein kortare sommarsesong/ablasjonsesong enn midtmorenane og dei fine sedimenta ved fronten.

Ut i frå den manuelle kartlegginga er 3,17% av ablasjonsområdet til Storbreen dekkja av sediment. Sedimenta i morenane og steinura kan ha ein isolerande effekt på breen, medan eit tynt lag med fine sediment kan auke ablasjon. 1,97% av ablasjonsområdet til Storbreen er dekkja av fine sediment, desse vil truleg auke ablasjon. Arealet med sediment som auka ablasjon er større enn arealet sediment som er tjukke nok til å verke isolerande. Dei små areala med tjukke sediment vil truleg ikkje minke ablasjon nemneverdig, areala er små og dei tilfører eit større areal med fine sediment rundt seg pga. vindtransport. Sedimenta på Storbreen vil samla sett truleg gje ein auka ablasjon.

Areala berekna er utan å ta omsyn til området som er kartlagt som spreidde steinar. Slike enkeltblokker vil truleg ikkje ha ei bevarande effekt sjølv om dei er store, som forklart i kapittel 3.3 om supraglasiale sediment, og ein trur at dei ikkje påverkar ablasjon i stor grad. Dei fine sedimenta mellom steinane/blokkene kan vere med på å auke ablasjonen. Dette er areal som ikkje er dekkja av sediment, og fell derfor utanfor fokuset for denne oppgåva.

Store delar av ablasjonsområdet til Storbreen har eit tynt ikkje dekkande lag med supraglasiale sediment. Det som er kartlagt i denne oppgåva er område som er spesielt utprega. Breoverflata vil klassifiserast som «skitten» i nesten heile ablasjonsområdet til breen. Mykje av dei supraglasiale sedimenta kjem truleg frå dalsidene til breen, og det vil bli meir tilgang på sediment etterkvart som breen trekk seg tilbake og meir av dalsidene vert isfrie.

6.3. Frontendring

Brefronten kartlagt i felt hausten 2020 stemmer bra overeins med satellittbileta frå hausten 2020. Kartlegginga gjort i felt er gjort litt innpå brefronten ein stad, sidan det ikkje var trygt å gå heilt langs fronten då isen var for tynn og området framfor/under brefronten bestod av eit vatn. Det er maks ein meter avvik og påverkar derfor ikkje resultatet i stor grad, sidan nøyaktigheita til satellittbileta er lågare.

Frå satellittbileta observerer ein ei stor frontendring mellom 2018 og 2017, dette stemmer bra overeins med NVE sine data som viser ein årleg tilbaketrekning på 28m frå 2017 til 2018. Store årlege endringar er truleg meir påverka av svingingar i vår enn av endring av sedimentdekke, då det ikkje er registert store endringar i sedimentdekke i perioden 2017-2020. Likevel vil eit tynt sedimentdekke forsterke ablasjon eit år med mykje solstråling og varme, og det kan vere større variasjonar i ablasjon mellom varme somrar og kalde somrar på ein bre med sedimentdekke.

Frontendringar på Storbreen kan kartleggast relativt nøyaktig ut frå satellittbilete, mesteparten av dei tjukke supraglasiale sedimenta er i midtmorenar og det er lett å sjå breis mellom midtmorenane. Ved andre brear der sedimenta ikkje ligg i tydelege linjer kan det

vere vanskelegare å sjå breis på satellittbileta, og ein kan dermed gjere store feilkartleggingar. Det er derfor ein fordel om ein på førehand veit om breen er sedimentdekt eller ikkje. Dersom ein veit at breen er dekkja av eit tjukt lag med sediment må ein vurdere om det er mogleg å kartlegge den ved andre metodar enn automatisk ut i frå satellittbilete.

6.4. Effekten supraglasiale sediment har på kartlegging av breareal frå satellittbilete

Automatisk kartlegging av arealet til Storbreen er krevjande, sidan breen er dekkja av supraglasiale sediment. Større sedimentdekte breområder vert lett kartlagt som sediment, men med terskelverdi på 500 i etterprosesseringa vert dei fleste feilregistreringane på Storbreen eliminert.

Skuggelagt bre har vorte kartlagt som bre, ein ser tydeleg at algoritmen fungera sjølv om satellittbiletet har tydelege skuggar på breen. Skuggar i terreng utan bre har ikkje blitt kartlagt som bre, men eit brevatn vart delvis kartlagt som bre før terskelverdien vart satt til 500 pikslar. Brevatnet har noko av dei same refleksjonane som skuggelagt bre.

Fronten av midtmorene 1 er ikkje nøyaktig kartlagt, då den automatiske kartlegginga har kartlagt den som sediment. Algoritmen skil ikkje mellom frontmorenen som ikkje inneheld is og starten på midtmorenen som ligg oppå breen. Men ettersom midtmorenen vert smalare vert den kartlagt som bre.

Sedimenta rundt breen har ofte dei same eigenskapane som sedimenta på breen. Dersom ein brukar evna eit materiale har til å reflektere strålar, vil ein få dei same signala frå midtmorenen som ein får frå frontmorenen. Midtmorenane på Storbreen har ei sedimenttjukk som er tjukk nok til at breoverflata ikkje er synleg gjennom sedimenta. Det er derfor umogleg å skilje midtmorenane frå front, side og botnmorenar. Dette skapar størst problem der midtmorenane møter frontmorenen. For der er det svært vanskeleg å sjå på satellittbileta kvar grensa skal gå, også dersom ein studera satellittbileta manuelt.

Kartlegginga av breen elles fungerer bra. Dei fine sedimenta på Storbreen dekkjer ikkje breoverflata heilt, og det er derfor lettare å kartlegge desse områda automatisk ved hjelp av SCP. Det er ikkje noko anna overflate som har dei same refleksjonane, og algoritmen klarar

derfor å kartlegge områda med fine sediment som bre. Akkumulasjonsområda er ikkje sedimentdekt. Metoden fungerer derfor til å skilje snødekt bre frå fjell/sediment i akkumulasjonsområda, men den skil ikkje snøfenner frå snødekt bre.

Feilkartleggingane skjer hovudsakleg i samband med eit tjukt sedimentdekke og snødekke, det er desse to faktorane som skapar problem for kartlegginga med SCP. Algoritmen klarar ikkje skilje ut områda der breen er dekkja av noko som også dekker andre område, for å gjere det er det nødvendig å bruke andre metodar.

Ein metode for å fjerne snøfennene er å manuelt velje ut polygona som inneheld bre, frå den automatiske kartlegginga. Det er ein tidkrevjande prosess dersom ein skal kartlegge mange brear over eit større område, men ein kan alternativt nytte ei sortering der ein berre tek med polygon over ei viss størrelse. Ved å velje ut polygon unngår ein problemet med at alle snøfenner vert kartlagt, men samtidig kan ein risikere at ein overser små brear. Om målet med kartlegginga er å finne arealet til breoverflater i eit større område, til dømes eit land, vert truleg feilmarginen minst ved å fjerne dei minste polygona.

6.5. Effekten av lågare oppløysing på satellittbileta

Samanlikning av breareal som NVE har kartlagt ut frå Landsat i 2003 med areala eg har kartlagt ut frå Planet i 2020 må ta omsyn til tidsforskjell i kartlegginga. Breane har trekt seg mykje tilbake dei siste åra, og det skil 17 år mellom desse kartleggingane. Det gjev derfor lite meining å samanlikne plassering av brefronten direkte. Akkumulasjonsområdet er relativt likt, og ein kan samanlikne nøyaktigheita av omrisset. Det er naturleg at brearealet som NVE har kartlagt er størst, då kartlegginga deira er eldst, det er dermed også vanskeleg å samanlikne kartleggingane ut frå areal.

Avstand mellom fronten på brepolygona frå 2003 og 2020 er noko mindre enn frontendinga NVE har målt i same periode. Det kan kome av eit dårleg utval av målingar mellom polygona, då denne avstanden varierer alt etter kvar på fronten ein måler. NVE måler frontending ut i frå eit fast punkt. Det vart berre utført 10 målingar mellom NVE sitt omriss og mitt, standardavviket er på 21,7 meter. Dersom det er ein reell forskjell mellom polygona kan det ha fleire årsaker, til dømes kan mykje supraglasiale sediment på brefronten påverke NVE

sine målingar til å berekne brefronten litt for langt bak. Målingane mine gjort i felt viser at den delen av brefronten eg har samanlikna med NVE sin stemmer bra. Det vart ikkje gjort nokon samanlikning på områda rundt fronten på midtmorene 1. På grunn av dei store variasjonane i avstand mellom polygona ved fronten er det vanskeleg å fastslå om det er ein reel differanse mellom nøyaktigheita til frontposisjonen i 2003 og 2020 etter å ha korrigert for tilbaketrekninga til breen desse åra.

Oppløysinga til satellittbileta frå Landsat, som NVE har nytta, er lågare en Planet.

Biletoppløysing kan vere årsaka til at pikslane til NVE er tydeleg større, men det kan også kome frå etterprosessering. Ein av fordelane med lågare oppløysing og større pikslar er at det gjev mindre datamengd å handtere, det er fordelaktig når ein skal kartlegge store områder. Landsat og Sentinel sine satellittbilete er også gratis, og tilgjengeleg for alle.

Oppløysinga på over 10 meter kan gjere at NVE unngår dei minste snøfennene, og vere ein av årsakene til at dei har kartlagt færre snøfenner enn det eg har gjort. Variasjon i kartlegginga av snøfenner kan også skuldast ulik snømengd dei åra satellittbileta er tatt, eller val av etterprosessering.

Ein av fordelane ved å nytte Planet sine satellittbilete er at dei har høg oppløysing. Dette er fordelaktig dersom ein vil kartlegge detaljar, til dømes om ein vil følge med på utviklinga av område med bart fjell midt i breen eller sediment på overflata av breen. Høg oppløysing på bileta gjer det enklare å observere årlege endringar.

Etter å ha samanlikna med NVE si kartlegging ser eg at eg gjerne kunne valt ein høgare terskelverdi for å fjerne snøfennene, utan at arealet av breen i kartlegginga mi ville vorte drastisk forandra. Valet om å ha terskelverdiane i etterprosesseringa så låge gjorde det likevel lettare å sjå ulikskapar i nøyaktigheita i kartlegging frå satellittbilete med ulik oppløysing. Dersom ein vel å gjere terskelverdiane høgare kan ein vurdere å nytte gratis satellittbilete med lågare oppløysing. Det er likevel viktig å merke seg at oppløysinga vert nytta til å danne kartlegginga, og terskelverdiane deretter berre fjernar små område som skil seg frå resten av kartlegginga. Lågare oppløysing på satellittbileta vil derfor kunne gi eit anna resultat enn kartlegging med høgare terskelverdi.

Kva satellittbilete som er best å nytte til automatisk kartlegging av brear avheng av kva ein skal nytte kartlegginga til. Ut i frå samanlikninga mi ser det ut til at NVE si kartlegging fungerer bra til å få eit omtrentleg areal av breen. Ved å bruke Landsat eller Sentinel sparar ein datamengd og tid i prosesseringa, samtidig som at bileta er gratis. Det er fordelar ved å nytte desse bileta til store kartleggingsprosjekt, som til dømes når ein skal kartlegge alle breane i Noreg. Dersom ein skal studere endring over ein kortare tidsperiode, eller sjå på små strukturar/overflater er truleg Planet betre eigna. Med ei oppløysing på tre meter vil ein kunne kartlegge meir nøyaktig.

6.6. Feilkjelder

Målingane av tjukn er ei subjektiv vurdering, og det kan oppstå variasjonar som ikkje nødvendigvis speglar verkelegheita. Tjukna til Midtmorene 1 varierer mykje på berre få cm, nokon stadar ligg det store blokker, medan andre stadar består sedimenta av kornstørrelsar rundt grus. Det gjer det vanskeleg å fastsetje nøyaktig tjukn for eit område. I denne oppgåva vart denne feilmarginen minimert ved at det var same person som utførte alle målingane, og målingane vart tatt same dagen. Ein kan likevel forvente at det vert ei usikkerheit rundt målingane då det mange stadar er vanskeleg å fastslå tjukna sidan det er store variasjonar innanfor eit lite område.

Sjølv om midtmorene 2 var tydeleg i felt, er den heilt usynleg på satellittbileta, og vert derfor berre kartlagt som fine sediment. Dette gjer at ein ut frå satellittkartlegginga reknar ein auka ablasjon i området på grunn av eit tynt lag med sediment, men noko av sedimenta vil i realiteten ha ei isolerende effekt. Feilkartlegginga gjev eit lite avvik i areal, og ein kan diskutere kor mykje det påverkar den totale massebalansen til breen. I tillegg ser det ut til at georefereringa til satellittbileta gjer at bileta er litt lengre mot søraust enn i verkelegheita. Dette kjem truleg av at Planet sin automatiske måte å georefere på, forklart i kapittel 4.3. Feilen i georefereringa påverkar ikkje arealet til sedimentdekt bre, og vil slik sett ikkje ha mykje å seie på massebalansen til breen.

Det er tydeleg at det er feil i den automatiske kartlegginga av brearealet, då brefrontar ikkje er hakkete. Likevel er det hovudsakleg små variasjonar, og i grove trekk stemmer den

automatiske kartlegginga bra overeins med den som er gjort i felt. Problema oppstår hovudsakleg i samband med eit dekkande lag med supraglasiale sediment som heng saman med frontmorenen. Det gjer det er umulig for den automatiske kartlegginga å skilje frontmorenen frå supraglasiale sediment ut i frå farge/refleksjonar.

Store avvik i kartlegginga, slik som ved fronten av midtmorene 1, kan gi eit heilt feil bilete på korleis breen utviklar seg. Dersom ein berre nyttar automatisk kartlegging kan variasjon i supraglasiale sediment ved brefronten gjere at ein kartlegg årleg endring ved brefronten heilt feil. Sedimentmengd og tjukn påverkar resultatata, ein kan oppnå brukbare resultat på brear med ein liten prosentdel av brefronten dekkta med sediment.

Satellittbileta som vart vald ut er frå hausten for å ha minst mogleg snø. Likevel er det fleire snøfenner som ligg att. Sidan breen også er snødekt over snølinja, skapar det problem med å skilje snødekt bre frå snøfenner. Snøen gjev den same strålinga uavhengig av om den ligg på bre eller på sediment. Det er derfor umogleg å finne ein automatisk metode som skil mellom snøfenner og bre. Valet om å etterprosessere resultatet frå *maximum likelihood* algoritmen vart gjort delvis for å fjerne dei minste snøfennene. Dersom ein set terskelverdien for høgt risikerer ein å miste viktige detaljar, men dersom ein set den lågt får ein med nokon feilkartlagde pikslar. Det vart gjort eit val om at ein terskelverdi på 500 er høgt nok til at dei minste snøfennene ikkje vert rekna med, samtidig til at det er lågt nok til å få med seg viktige detaljar som bart fjell i dagen midt i breen.

Storbreen er delvis sedimentdekt, noko som gjer det vanskeleg for algoritmen å skilje mellom sedimenta rundt breen og sedimentdekt bre. Det gjer det ekstra viktig med gode ROI. Likevel ser ein at midtmorenane lett vert kartlagt som sediment. Sidan midtmorenane er relativt små, vert også denne feilkartlegginga fjerna ved hjelp av å etterprosessere bileta med ein terskelverdi på 500. Dersom ein større del av breen hadde vore sedimentdekt ville truleg feilkartleggingane blitt større.

Differensial GPS gjer nøyaktigheita på målingane i felt svært høg, og den største usikkerheita vert den subjektive vurderinga gjort av personane i felt. Ved kartlegging ut i frå satellittbileta får ein ei mykje større usikkerheit rundt nøyaktigheita.

6.7. Alternative metodar

Alternative automatiske metodar for å unngå feilkartlegging på sedimentdekte brear kan gi ei løysing på problemet med at sedimenta har same farge. Om ein til dømes nyttar overflatetemperatur til kartlegging og klassifisering kan ein få eit anna resultat, då overflatetemperaturen på breen vil vere kaldare enn rundt breen. Likevel vil også dette avhenge av tjukna på sedimenta. Om ein har eit for tjukt lag med sediment oppå breen vil dei fleste metodar slite med å kartlegge breen nøyaktig. Det gjeld også manuell kartlegging i felt, då det er tidkrevjande å grave mange djupe hol.

Planet sine satellittbilete inneheld eit termisk band som kan nyttast til automatisk kartlegging av breen, dette er ikkje nytta i denne oppgåva. Ved å nytte dette bandet i tillegg til dei banda som er nytta i denne oppgåva kan ein truleg oppnå ei meir nøyaktig kartlegging av breareal for Storbreen, og andre brear utan eit altfor tjukt sedimentdekke.

7. Konklusjon

Målet for denne oppgåva har vore å kartlegge og klassifisere supraglasiale sediment på Storbreen i Jotunheimen, og sjå på korleis sedimenta påverkar kartlegging av breen frå satellittbilete. Supraglasiale sediment kan skape problem ved automatisk kartlegging av brear frå satellittbilete.

Midtmorenane og steinura på Storbreen inneheld eit tjukt lag med sediment. Desse områda har eit sedimentlag som er tjukt nok til å konservere breen. Felles for områda med tjukke sediment er at dei har ein relativt liten utstrekning, totalt 1,53% av ablasjonsområdet, ut frå kartlegging gjort i felt. Dersom sedimenta skulle gitt ein positiv verknad på bevaringa av breen burde arealet vore større og meir samanhengande. No konserverar dei breen rett under seg, men er med på å auke ablasjon i områda rundt ved å tilføre fine sediment.

Områda kartlagt som fine sediment dekker 1,97% av ablasjonsområdet til breen, ut frå kartlegging gjort i felt. Desse områda inneheld meir fine sediment enn breoverflata elles i ablasjonsområdet, og har truleg ein lågare albedo enn resten av ablasjonsområdet til breen. Generelt sett har heile ablasjonsområdet til breen ein lågare albedo enn rein is, sidan den inneheld noko fine sediment.

Ved å nytte satellittar til å kartlegge supraglasiale sediment sparar ein mykje tid og ein får raskare oversikt over hovudstrukturane. Det er likevel vanskeleg å skilje dei ulike sedimenttypene frå kvarandre, og nokre små strukturar er ikkje synlege. Tjukna på sedimenta er ikkje mogleg å kartlegge frå satellittbilete utan termisk band, men ein kan klare å skilje områder med eit ikkje dekkande lag med sediment frå områder med eit dekkande lag. Manuell kartlegging av sedimenta på Storbreen ut frå satellittbileta viser at 4,70% av ablasjonsområdet er dekket av supraglasiale sediment, 1,53 prosentpoeng meir enn kartlegginga gjort i felt.

Satellittbileta til Planet har ei oppløysing på tre meter, noko som gjer det enklare å sjå mindre strukturar enn på dei gratis satellittbileta frå Landsat og Sentinel som har ei oppløysing på ≥ 10 meter. Det er også mogleg å nytte satellittbilete med ei lågare oppløysing enn tre meter. Val av satellittbilete må sjåast i samanheng med kva mål ein har med kartlegginga, og økonomisyn.

Kartlegging av brearealet med SCP fungerer bra på Storbreen, og samsvarar bra med NVE sitt areal frå 2003 etter korreksjon for frontendring. Midtmorene 1 er området som skapar mest problem ved kartlegging ut frå satellittbileta, der vert feilkartlegginga opp i 160 meter i luftlinje samanlikna med kartlegginga gjort i felt. Det viser at områda som er dekket av eit tjukt lag med sediment, og samtidig heng saman med sediment utanfor breen, skapar problem for automatisk kartlegging av breareal. Dette gjeld også ved manuell kartlegging ut frå satellittbileta, eit tjukt lag med supraglasiale sediment kan skape problem ved kartlegging og klassifisering utan å ha vore i felt.

Interessa for å sjå korleis ein kan kartlegge Storbreen automatisk, kjem av moglegheita til å kunne overføre kunnskapen til andre brear. Områda med eit tjukt lag med supraglasiale sediment på Storbreen er så små at ein kan diskutere effekten av å få kartlagt dei betre. Ein

må sjå mindre på forholda på Storbreen og meir på kva som er felles for sedimentdekte brear. Det at midtmorenane på Storbreen er relativt små, og ein kan få ein god automatisk kartlegging med SCP ved å endre terskelverdiane, gjeld ikkje nødvendigvis andre sedimentdekte brear. Denne kunnskapen kan berre overførast til brear med små område med tjukke sediment, medan ein må nytte andre metodar på brear som gjerne er heilt dekkja av eit tjukt lag med supraglasiale sediment. Likevel ser ein at SCP fungerer bra på brear med eit tynt sedimentdekke, og at ein kan bruke denne metoden til å kartlegge slike brear.

Sjølv om mykje av kartlegginga av brear kan utførast ved hjelp av satellittbilete kan det ikkje erstatta forståinga ein får av å vere i felt. Satellittbileta kan gjere at ein ikkje treng å reise ut i felt like ofte, men ein bør vere felt og observere breen før ein kartlegg ut frå satellittbilete. I område der ein ikkje har moglegheit til å reise i felt, gjev kartlegging ut frå satellittar likevel verdifull informasjon ein ikkje hadde moglegheit til å hente ut tidlegare. Satellittbileta vert betre og betre, med lågare oppløysing og fleire band, utviklinga innanfor dette området er enorm. Ved framtidige prosjekt kan det vere interessant å sjå på korleis Planet sitt termiske band fungerer til å kartlegge utbreiinga av supraglasiale sediment og arealet til sedimentdekte brear.

8. Referansar

- Anderson, L. S. & Anderson, R. S. (2016). Modeling debris-covered glaciers: response to steady debris deposition. *Cryosphere*. 10(3), 1105-1124. <https://doi.org/10.5194/tc-10-1105-2016>
- Andreassen, L., Elvehøy, H., Kjøllmoen, B., & Belart, J. (2020). Glacier change in Norway since the 1960s – an overview of mass balance, area, length and surface elevation changes. *Journal of Glaciology*, 66(256), 313-328. <https://doi.org/10.1017/jog.2020.10>
- Andreassen, L. M., Winsvold, S.H., Paul, F. & Hausberg, J.E. (2012). *Inventory of Norwegian Glaciers* (NVE Rapport nr: 38-2012) https://publikasjoner.nve.no/rapport/2012/rapport2012_38.pdf
- Benn, D. I. & Evans, D. J. A. (2010). *Glaciers & Glaciation* (2. utgåve). Hodder Education.
- Dick, Ø. B & Birkeland, R. (2020, 04. desember). *Spektralkurver*. I Store Norske Leksikon. Henta 12.mai.2021 frå <https://snl.no/spektralkurver>
- Forsell, B. & Kjerstad, N. (2021, 23. april). *GPS*. I Store norske leksikon. Henta 11. mai 2021 frå [https://snl.no/GPS#-Differensielle metoder for posisjonsbestemmelse](https://snl.no/GPS#-Differensielle_metoder_for_posisjonsbestemmelse)
- Kjøllmoen, B. & Andreassen, L. M. & Elvehøy, H. & Jackson, M. (2019). *Glaciological investigations in Norway 2018* (NVE Rapport nr 46/2019) https://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_46.pdf
- Leigh, J. R. & Stokes, C. R. & Carr, R. J. & Evans, I. S. & Andreassen, L. M & Evans, D. J. A. (2019). Identifying and mapping very small (<0.5 km²) mountain glaciers on coarse to high-resolution imagery. *Journal of glaciology*, 65(254), 873-888. <https://doi.org/10.1017/jog.2019.50>
- Long, D. & Singh, V.P. (2013). An Entropy-Based Multispectral Image Classification Algorithm. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 55 (12), 5225-5238. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2272560>

Myhre, Trude (2021, 26. januar). Albedoeffekt. I Store Norske Leksikon.

<https://snl.no/albedoeffekt>

Mæhlum, Lars (2020, 17. mars). *RTK-Real Time Kinematic*. Store norske leksikon.

<https://snl.no/RTK - Real Time Kinematic>

Nesje, A., Halleraker, J. H. & Hongve, D. (2021, 21. april). *Is – vann i fast form*. I Store norske leksikon. Henta 18. mai 2021 frå <https://snl.no/is - vann i fast form>

NGU. (u.å). *Kornstørrelseskala*. Henta 22. mai 2021 frå:

<https://www.ngu.no/Mareano/Kornstorrelse.html>

Nicholson, L. & Benn, D. (2013). Properties of natural supraglacial debris in relation to modelling sub-debris ice ablation. *Earth surface processes and landforms*. 38(5), 490-501. <https://doi.org/10.1002/esp.3299>

Nicholson, L. & Mertes, J. (2017). Thickness estimation of supraglacial debris above ice cliff exposures using a high-resolution digital surface model derived from terrestrial photography. *Journal of Glaciology*. 63(242), 989–998.

<https://doi.org/10.1017/jog.2017.68>

NVE. (2021, 09. mars). *Bredata*. Henta 10. mai 2021 frå

<https://www.nve.no/hydrologi/bre/bredata/>

NVE (2020a, 8. desember). *Mange brear har lagt på seg i år, men brefrontane fortset å smelte tilbake*. Henta 19. mai 2021 frå <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-hydrologi/mange-brear-har-lagt-pa-seg-i-ar-men-brefrontane-fortset-a-smelte-tilbake/>

NVE. (2020b, 2. oktober). *Storbreen*. Henta 3. februar 2021 frå

<https://www.nve.no/hydrologi/bre/bremalinger/massebalansemalinger/storbreen>

Planet Labs Inc. (06,2020). *Planet imagery product specifications*.

[https://assets.planet.com/docs/Planet Combined Imagery Product Specs letter sc reen.pdf](https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_sc_reen.pdf)

Reid, T. D. & Carenzo, M. & Pellicciotti, F. & Brock, B. W. (2012). Including debris cover effects in a distributed model of glacier ablation. *Journal of geophysical research-atmospheres*. 117 (D18105), 1-15. <https://doi.org/10.1029/2012JD017795>

Shukla, A. & Arora, M. K & Gupta, R. P. (2010). Synergistic approach for mapping debris-covered glaciers using optical–thermal remote sensing data with inputs from geomorphometric parameters. *Remote sensing of environment*, 2010/114 (7) , 1378-1387 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.015>