



BACHELOROPPGAVE

Kartlegging av brefronten til Nigardsbreen ved hjelp av «Planet» micro-satellitter

Monitoring the terminus retreat of Nigardsbreen by using «Planet» micro-satellites

Inga Kristine Kilavik Natvik

Geologi og geofare

Fakultet for ingeniør og naturfag

Veileder: Thorben Dunse

03.06.2020

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Denne oppgaven er en avsluttende del av en treårig bachelorgrad i geologi og geofare. Oppgaven har vært en svært spennende, og lærerik prosess. Det har vært krevende, men også interessant å lære om microsatellitter fra Planet. Før denne oppgaven hadde jeg lite erfaring, og kunnskap om bruken av satellittbilder.

Nigardsbreen er en bre jeg stadig har vendt tilbake til. Helt fra nybegynnerkurs i brevandring i 2012, til feltarbeidet til denne oppgaven i 2019. Siden 2015 har jeg besøkt Nigardsbreen minst en gang i året. Dermed har jeg selv opplevd hvordan den har forandret seg de siste årene, og nå har jeg skrevet en bacheloroppgave om den!

Jeg vil først og fremst takke min dyktige, og hjelpsomme veileder Thorben Dunse. I tillegg vil jeg takke Torfinn Langelid for hjelp med rettskriving, og språket i oppgaven. Jeg vil også rette en takk til Margit Sandem Fjellengen for hjelp med feltarbeidet til oppgaven, og en artig tur på gode, gamle Nigardsbreen.

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag	4
Abstract	4
Innledning.....	5
Bakgrunn	5
Teori	6
Breer og klima.....	6
Massebalanse	6
Temperatur-index-metoder.....	7
Reaksjonstid og responstid.....	7
Problemstilling.....	8
Feltlokaliteten.....	8
Nigardsbreen	8
Utviklingen til breen.....	10
Klima.....	12
Metode.....	12
Micro-satellitter fra Planet Labs Inc.....	12
Kartlegging av frontendringene	14
Meteorologiske data	15
Sammenheng mellom frontendringer og lufttemperatur.....	15
Referansepunkter	16
Differensiell GPS.....	16
Resultater	17
Frontendringer.....	17
Sammenheng mellom frontendringer og lufttemperatur	20
Referansepunkter	25
Diskusjon	29
Sterke og svake sider.....	29
Drøfting av resultatene	29
Kartlegging av endringer i frontposisjonen	29
Forhold mellom frontendringer og temperatur	30
Hvor godt er satellittbildene egnet til formålet?	30
Konklusjon	31
Referanseliste.....	33

Sammendrag

Et varmere klima fører til at isbreer verden over smelter. Å følge med på hvordan breene vokser eller minker, kan gi viktig informasjon om et klima i endring. Brefronten til Nigardsbreen har hatt en stor tilbakegang i 2018 og 2019. Dette er to somre med uvanlig høye temperaturer. En måte å følge med på utviklingen av brefronten, er ved hjelp av satellittbilder. I denne oppgaven er det benyttet satellittbilder fra «Planet Labs Inc.», til å undersøke tilbakegangen av brefronten til Nigardsbreen. Dette firmaet har mer enn 130 «PlanetScope» satellitter som går i bane rundt jorden. Disse satellittene kan til sammen ta daglige bilder av hele jordens landareal, med relativt høy oppløsning. Satellittbildene som lastes ned er ferdig prosesserte, slik at det skal være lett og effektivt å bruke dem til det aktuelle formålet.

Denne oppgaven prøver å finne ut hvor godt egnet satellittbilder fra «Planet Labs Inc.» er til å undersøke endringene i brefronten til Nigardsbreen, gjennom sommersesongene i 2018 og 2019. Brefronten har blitt kartlagt gjennom sesongene, ved manuell opptegning av brefronten i satellittbildene. Dette er gjort ved hjelp av GIS-programvare. Resultatene fra dette arbeidet, er videre brukt i en kvalitativ undersøkelse av relasjonen mellom utviklingen til fronten, og temperaturen gjennom sesongene. Videre er erfaringene fra arbeidet brukt i en kritisk diskusjon av hvor godt egnet satellittbildene har vært til å kartlegge brefronten. Begrensninger knyttet til oppløsningen til bildene, nøyaktigheten i satellittbildenes posisjon og de visuelle egenskapene har blitt vurdert.

Resultatene fra kartleggingen av brefronten viser at den gikk tilbake med mellom 73 og 97 meter i 2018, avhengig av hvor det måles langs fronten. I 2019 gikk den tilbake med mellom 55 og 104 meter. Undersøkelsene av frontendringene i forhold til temperaturen gjennom somrene, viser en tydelig kvalitativ sammenheng. Når temperaturen stiger, går brefronten raskere tilbake. Dette forholdet er forskjøvet med noen uker. Det er imidlertid viktig å vite at det er mange faktorer som spiller inn i utviklingen til brefronten, og at det vanligvis tar flere år før endringer i massen kan observeres i brefronten.

Oppløsningen til bildene som ble lastet ned var på 3,9 til 4 m. Dette er god nok oppløsning til å fange opp de store endringene i brefronten. Sterk refleksjon i noen av bildene gjorde det vanskelig å oppfatte brefrontens posisjon, og kan derfor ha ført til feil i målingene.

Feil i posisjonen til satellittbildene, førte til at målingene kunne ha en usikkerhet på opptil ca. 15 meter. I eventuelle videre prosjekter, anbefales det derfor å georeferere bildene manuelt.

Abstract

A warmer climate causes glaciers to melt all over the world. By investigating how glaciers change, we can get information about the climate in the past, present, and future. The glacier terminus of Nigardsbreen has retreated greatly in the summer seasons of 2018 and

2019. The temperatures these two summers, have been exceptionally high. A way of investigating the evolution of glaciers, is by using satellite images. In this thesis, satellite images from the company "Planet Labs Inc.", is used for investigating the terminus retreat of Nigardsbreen in the summer of 2018 and 2019. This company has launched over 130 "PlanetScope" satellites that are currently orbiting the earth. This constellation of satellites takes daily pictures of the whole land surface of the earth, with a spatial resolution of three to four meters. The downloaded images are processed, making it effective to use the images for cartographic mapping, or visualization purposes.

This thesis will explore how reliable satellite images from "Planet Labs Inc." are for the purpose of accurately monitoring the glacier front of Nigardsbreen, throughout the melting seasons of 2018 and 2019. The glacier front has been mapped manually in the satellite images, by using GIS-software. The results have been used in a qualitative investigation of the relationship between the glacier retreat, and the air temperature, throughout the seasons. The experiences made doing these investigations has been used in a critical discussion of how reliable satellite images from "Planet Labs Inc.", is for the purpose of monitoring the changes in the glacier front. The resolution and the accuracy of the position of the images, as well as the visual qualities, has been evaluated.

The results from the mapping of the terminal retreat, shows that the glacier front has retreated between 73 and 97 meters in 2018, depending on where it is measured along the front. In 2019 it has retreated between 55 to 104 meters. The investigation of the relationship between terminal retreat and the air temperature, shows a clear qualitative relationship. When the temperature rises, the glacier front retreats faster. This relationship has a time lag of some weeks. However, it is important to know that there are many factors contributing to the change of a glacier front. The slow reaction time of glaciers also effects this relationship.

The spatial resolution of the downloaded pictures is 3,9 to 4 meters. This resolution is good enough to capture the great changes in the glacier front. High reflection in some of the pictures made it difficult to interpret the position glacier front and may have affected the results.

Inaccuracies in the positions of the downloaded images, has caused distortions up to about 15 meters. Therefore, it is recommended in a similar project in the future to georeference the images manually.

Innledning

Bakgrunn

Undersøkelser gjort av World Glacier Monitoring Service viser at breer over hele verden har smeltet med en akselererende trend i løpet av det 21. århundre (Zemp, M. et al., 2017, s. 103). Endringer i breene påvirker blant annet de lokale naturfarene, den regionale tilgangen på vann og det globale havnivået (Zemp, M. et al., 2017, s. 103). Isbreer betraktes i tillegg som gode klimaindikatorer, fordi de er sensitive for endringer i nedbør og temperatur (Nesje, 2000, s. 39). Ved å overvåke endringer i breene kan vi få informasjon om klimaet i fortid, nåtid og fremtid.

Ved å kartlegge endringer i frontposisjonen til en bre, får en informasjon om hvordan lengden til breen endrer seg. Lengden til en isbre vil tilpasse seg i forhold til breens masse over tid, og vil derfor kunne gi informasjon om variasjoner i klimaet. Et hjelpemiddel for å kartlegge frontposisjonen til en bre er satellittbilder. Det er vanlig å undersøke satellittbilder av breene i slutten av hver smeltesesong med ett eller flere års mellomrom (Nesje, 2000, s.56). Firmaet «Planet Labs inc.» har mer enn 150 microsatellitter som går i bane rundt jorden. Disse kan til sammen ta bilder av hele jordens landareal hver dag, og gir dermed mulighet til å overvåke utviklingen til breene gjennom hver enkelt sommersesong.

I denne oppgaven vil endringer i frontposisjonen til Nigardsbreen undersøkes gjennom smeltesesongene i 2018 og 2019. Dette skal gjøres ved hjelp av satellittbilder fra «Planet Labs inc.». Disse sommersesongene hadde uvanlig høye temperaturer, og Nigardsbreen er en av breene med størst tilbakegang i Norge i disse årene. Ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) gikk den tilbake med 81 meter i 2018, og nye 81 meter i 2019 (NVE 2020). Undersøkelser av endringen i posisjonen til brefronten gjennom somrene 2018 og 2019, kan gi informasjon om hvordan breen reagerer på år med ekstreme sommertemperaturer.

Denne oppgaven er en metodestudie hvor formålet er å undersøke hvor godt satellittbilder fra «Planet Labs inc.» egner seg for å fange opp korttidsvariasjoner i brefrontens posisjon. Satellittbilder har tidligere blitt brukt rutinemessig i arbeid med undersøkelser av breer. For eksempel har NVE benyttet satellittbilder fra «Landsat» i arbeid med å kartlegge breer i Norge (Andreassen & Winsvold, 2012). Satellittbilder fra *Planet* er foreløpig lite brukt i arbeid med breer. I denne oppgaven vil endringene i brefronten kartlegges gjennom de to smeltesesongene i 2018 og 2019. Videre vil utviklingen til brefronten relateres til lufttemperaturen igjennom disse somrene. Til slutt vil erfaringene fra arbeidet brukes i en kritisk diskusjon av hvor godt egnet satellittbildene er til å kartlegge brefronten. Kartlegging av brefronten gjøres ved å laste satellittbildene inn i en GIS-programvare, og tegne opp brefronten manuelt. Værdata er hentet fra Meteorologisk institutt.

Teori

Breer og klima

En bre defineres som en masse av snø og is som hovedsakelig ligger på land, og som er eller har vært i bevegelse (Nesje, 2015). Massebalansen til en bre avhenger av forholdet mellom hvor mye masse som tilføres i løpet av vinteren og hvor mye som mistes om sommeren.

Massebalanse

Masse akkumuleres gjennom nedbør som snø om vinteren. Etter hvert som snøen samles opp vinter etter vinter uten å smelte bort, blir den presset sammen av overliggende lag. Når snøen blir presset sammen blir den mer og mer kompakt, og luften presses ut eller samles i luftbobler. Snø som har overlevd en sesong kalles firn. Diffusjon av masse fra små til store krystaller fører til tetthetsøkning i firnen, og etter hvert som massen blir mer kompakt og lufttett defineres den som breis. Smelting av snø og gjenfrysing bidrar også til omdannelsen fra snø til breis (Benn & Evans, 2010).

En bre mister masse ved smelting av snø og is, fordamping, sublimasjon, vindtransport, kalving i vann eller tørrkalving på land. Disse prosessene kalles ablasjon (Benn & Evans,

2010). Smelting er den viktigste årsaken til at de fleste breer på land taper masse. Sublimasjon er bare viktig i kalde, tørre klimaer.

Breens netto massebalanse er et resultat av ablasjon og akkumulasjon. Er akkumulasjonen større enn ablasjonen har breen en positiv massebalanse. Omvendt fører høyere ablasjon enn akkumulasjon til negativ massebalanse. Det er vanlig å undersøke massebalansen til en bre over ett år. I denne sammenhengen finnes det to definisjoner av ett år. Et balanseår defineres som endringene mellom minimum et år og minimum det neste året. Det blir altså fra slutten av ablasjonsesongen ett år til slutten av ablasjonsesongen det påfølgende året, før første betydelige snøfall. Den andre metoden er å definere ett år ut ifra en satt dato. I midlere og høye breddegrader defineres denne perioden mellom 1. oktober og 30. september (Benn & Evans, 2010, s. 38). Siden det ikke alltid er mulig å gjøre feltarbeidet på en fiksert dato, er det vanlig å bruke en kombinasjon av disse to definisjonene.

Temperatur-index-metoder

Smelting er den viktigste årsaket til ablasjon. Siden ablasjonsmekanismene til en bre er såpass sammensatte, er det vanskelig å beregne den totale energien som er tilgjengelig for smelting. Derfor benyttes det ofte såkalte smelte-index metoder. En vanlig smelte-index metode å bruke er «positive degree days». Her summeres den gjennomsnittlige daglige temperaturen til alle dager med temperatur over 0°C. Dette kan brukes til å beregne hvor mye is og snø som smelter pr. «positive degree day» (Braithwaite, 1995, s. 153). Det er gjort beregninger av hvor stor rate breis smelter i forhold til «positive degree days». Denne raten ligger på omtrent 5,4 til 20 mm/dag °C (water equivalent) for is, og 2,7 til 11,6 mm/dag °C for snø (Benn & Evans, 2010).

Reaksjonstid og responstid

Masseendringer i en bre fører til at lengden, og dermed posisjonen til brefronten, endrer seg over tid. En bre beveger seg nedover i terrenget på grunn av tyngdekraften.

Bevegelsesmekanismene består av indre bevegelse mellom iskrystallene i breen og glidning på underlaget. De øvre delene av breen presser på isen som ligger nedenfor, og en større tilførsel i masse i de øvre delene fører til høyere press. Dersom denne bevegelsen nedover er større enn mekanismene som fører til ablasjon, vil brefronten gå fremover. Omvendt vil den trekke seg tilbake dersom mekanismene som fører til tap av masse, er høyere enn bevegelsen nedover i terrenget. Endringer i brefrontens posisjon er altså en tilpasning til endringer i breens akkumulasjon og ablasjon (Nesje, 2015, 39). Imidlertid er det mye som påvirker hvor fort brefronten reagerer på korttids- og langtidsvariasjoner i klimaet.

Reaksjonstid er tiden det tar fra det skjer endringer i klimaet, frem til en kan se forskjeller i brefronten (Benn & Evans, 2010). Dette er fordi det tar tid å transportere et eventuelt isoverskudd eller -underskudd nedover breen. Reaksjonstiden varierer mye fra bre til bre, og hovedfaktorene som bestemmer reaksjonstiden er helningen til terrenget under breen, ujevnheter i terrenget, istykkelse, istemperatur og breens geometri og morfologi (Nesje, 2015). Reaksjonstiden er for eksempel lengre for polare breer enn tempererte breer, og en større bre reagerer generelt saktere enn en mindre bre. Når det gjelder de forskjellige brearmene til Jostedalsbreen, ser en at de vestvendte breene har en mye kortere reaksjonstid på rundt 3-4 år, enn de østvendte på rundt 25 til 30 år (Tønsberg, 2003).

Begrepet reaksjonstid forveksles ofte med responstiden til en bre. Responstid er tiden det tar fra det skjer endringer i klimaet, frem til breen er i likevekt med de nye klimatiske forholdene (Benn & Evans, 2010). Responstiden vil altså være lengre enn reaksjonstiden, men varierer også mye fra bre til bre.

Problemstilling

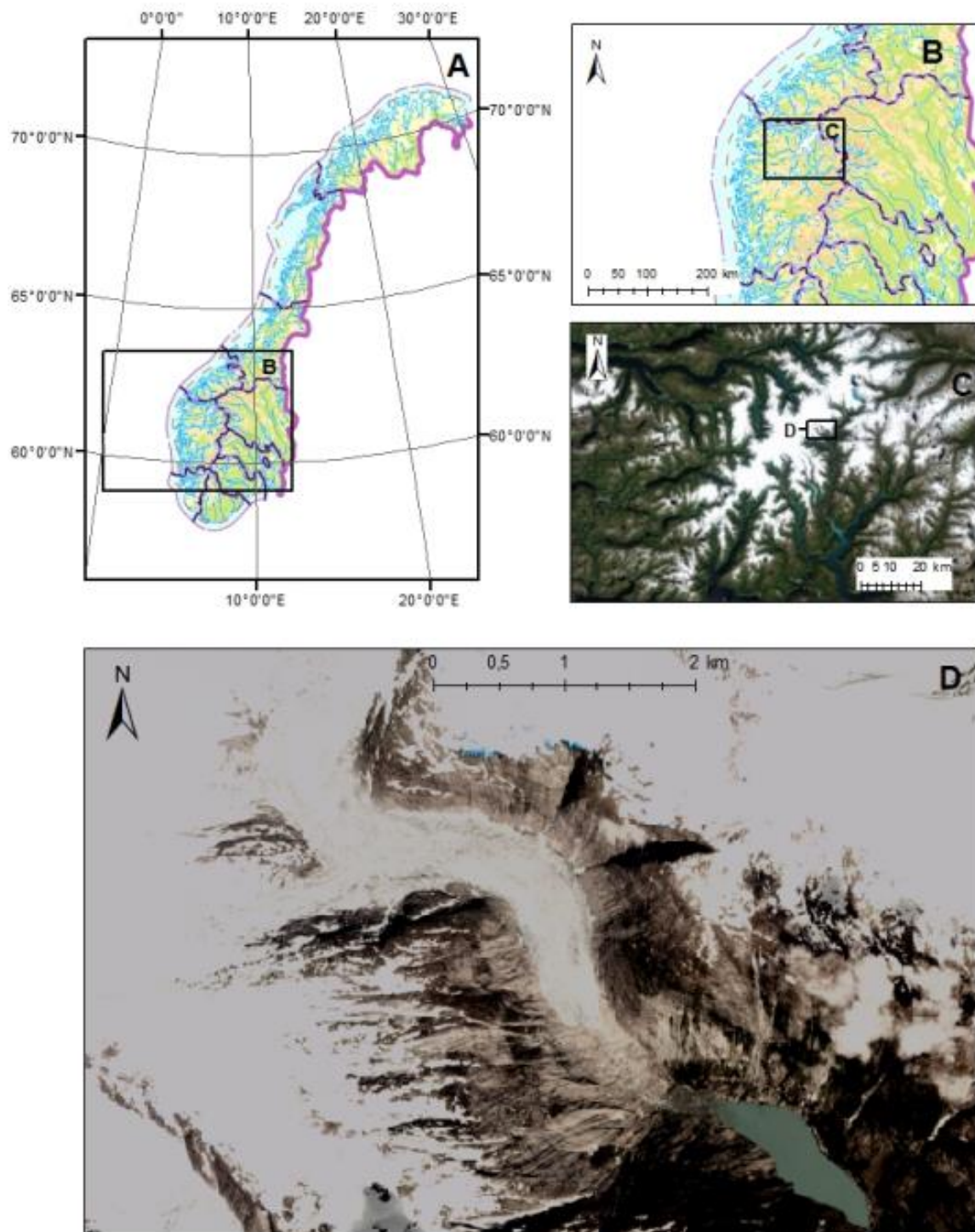
Oppgavens overordnede problemstilling er å vurdere hvor godt egnet satellittbilder fra «Planet Labs Inc.» er til å kartlegge endringer i brefronten til Nigardsbreen, gjennom smeltesesongene i 2018 og 2019. Oppgaven vil besvare problemstillingen ved å:

- a. Kartlegge endringer i frontposisjonen til breen gjennom smeltesesongene i 2018 og 2019
- b. Relatere endringene i frontposisjonen til lufttemperaturen gjennom disse smeltesesongene
- c. Ha en kritisk diskusjon om dataene som er brukt, og hvor godt egnet de er til å kartlegge brefronten

Feltlokaliteten

Nigardsbreen

Nigardsbreen er en sør-øst vendt utløpsbre fra Jostedalsbreen i Vestland fylke (se oversikt fig. 1). Den befinner seg ved 61° 41'N og 7° 11'E, innerst i Jostedalen. Den strekker seg fra 1952 moh. til omtrent rundt 500 moh. Nigardsbreen utgjør ca. 10 % av arealet til Jostedalsbreen, og er dermed en av de største utløpsbreene til iskapen (Kjøllmoen, Andreassen, Elvehøy & Jackson, 2017).

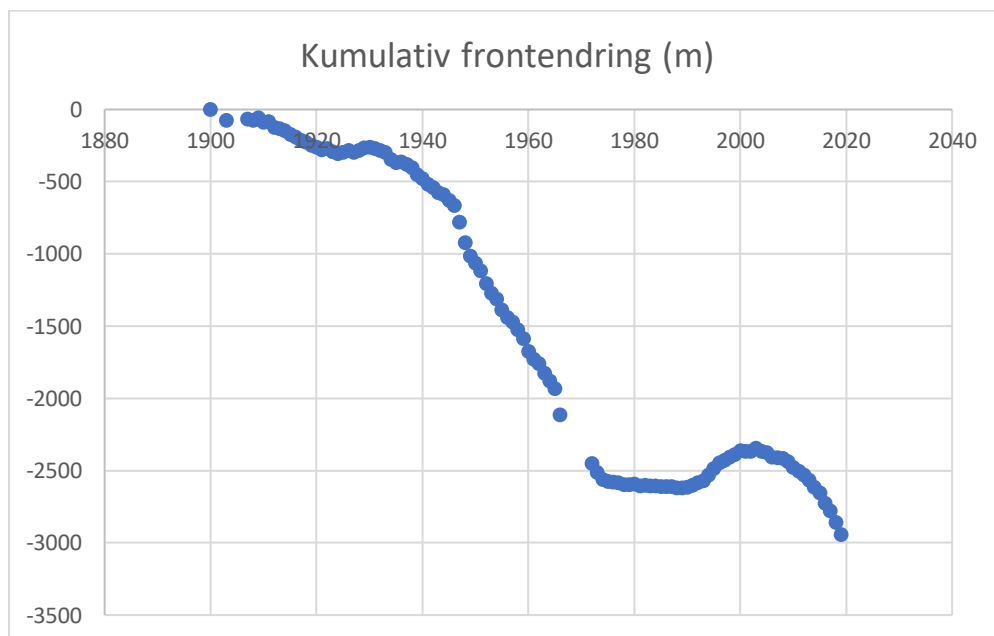


Figur 1 Oversiktskart over feltlokaliteten. Nigardsbreen (D) (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019) ligger innerst i Jostedalen i Luster kommune, og er en utløpsbreen fra Jostedalssbreen (C).

Utviklingen til breen

Frontendringer

Frontposisjonsmålinger er utført på en rekke breer av Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE) siden 1899, og siden 1900 på Nigardsbreen (se fig. 2). NVE måler endringer i frontposisjonen til breer ved hjelp av et fast punkt. Dette kan f. eks være en varde eller et oppmalt merke på fjellet. Avstanden måles fra det faste punktet frem til breen i en bestemt retning. Dette gjøres en gang i året i slutten av ablasjonsesongen, for å få et mål på hvor mye brefronten har endret seg (NVE, 2020). Disse målingene viser at Nigardsbreen stort sett har trukket seg tilbake siden starten av 1900-tallet. Fra slutten av 1900-tallet til tidlig 2000-tallet gikk breen fremover, med en samlet fremgang på ca. 280 meter fra 1988 til 2003. Frontposisjonen til Nigardsbreen har siden 2003 gått tilbake hvert år (NVE, 2020).



Figur 2 Kumulativ frontending av Nigardsbreen målt av NVE. NVEs målinger viser at fronten har gått tilbake til sammen 2941 m siden 1900 (NVE, 2020).

NVE har samlet sammen bilder av Nigardsbreen hvor man kan se endringer i breen over tid. I 1899 (fig. 3) lå breen nesten 2 km lengre fremme i dalen enn hva den gjør i dag. Dette var før Nigardsbrevatnet ble dannet. I løpet av 1960-tallet bevegde breen seg ut av innsjøen (fig. 4), og frem til i dag (2019) har breen trukket seg betydelig lengre vekk fra innsjøen (fig. 5). Etter hvert som breen smeltet tilbake, har brefronten beveget seg inn i brattere terreng.



Figur 3 Bilde av Nigardsbreen fra 1899. Året før som NVE begynte med frontposisjonsmålinger av Nigardsbreen (Rekstad, 1899)



Figur 4 Bilde av Nigardsbreen tatt 17.09.1967. Breen beveget seg ut av Nigardsbrevatnet i løpet av 1960-tallet (Orheim, 1967).



Figur 5 Bilde tatt av Nigardsbreen 25.06.2019 (Andreassen, 2019)

Klima

Nigardsbreen ligger i et marint klima vest i Norge. Et marint klima kjennetegnes med relativt varme vintre, kjølige somre og mye nedbør. Fuktig luft som transporteres innover land fra vest fører til mye nedbør i regionen. Orografisk løfting på grunn av at luftmassene presses oppover fjellene innover i landet, bidrar til ytterligere nedbør (Tønsberg, 2003).

Nigardsbreen er en temperert bre. Det vil si at all isen er ved trykksmeltepunktet hele tiden, bortsett fra de øverste meterne av isen som endrer temperatur med sesongmessige svingninger (Benn & Evans, 2010).

Metode

Micro-satellitter fra Planet Labs Inc.

Selskapet «Planet Labs Inc.» ble stiftet 29. desember 2010 av Will Marchall, Robbie Shingler og Chris Boshuizen. Disse har tidligere jobbet som forskere for NASA. Formålet til firmaet er å ta daglige satellittbilder av hele jordens overflate, for å gjøre det mulig å følge med på endringer på jordoverflaten på et globalt nivå. Selskapet ble senere omdøpt til «Planet», men Planet Labs er fortsatt det offisielle navnet.

Planet har tre forskjellige typer satellitter. Pr. i dag har de sendt ut over 130 «PlanetScope» satellitter (også kalt «Doves»), 5 «RapidEye» satellitter og 15 «SkySat» satellitter. I år 2020 jobbes det med å fase ut «RapidEye» satellittene, og forbedre PlanetScope satellittene. I november 2018 lanserte de en ny generasjon med PlanetScope satellitter, med forbedringer av blant annet skarpheten og fargene til bildene.

I denne oppgaven er det benyttet satellittbilder fra PlanetScope satellitter. Grunnen til dette er at disse har en lengre utstrekning til nordlige breddegrader enn SkySat, og bedre oppløsning i bildene enn RapidEye. Det er for det meste brukt satellittbilder fra

prosesseringsnivået «visual ortho scene». Det er også brukt noen bilder fra «analytic ortho scene» til å tolke forskjellen mellom snø og is, siden noen av disse bildene viste seg å være bedre til dette.

PlanetScope satellittene har form som en kube på 10 gange 10 gange 30 cm. Til sammen kan de over 130 satellittene som er sendt ut, samle inn bilder av 200 millioner km² pr. dag. Rekkevidden til satellittbildene dekker jordens overflate mellom ca. 81,5 breddegrader sør og nord for ekvator (Planet Inc., 2019, s. 12). Dette varierer noe med tiden på året. PlanetScope-produktet har tre forskjellige «prosesserings-nivåer». I denne oppgaven skal produktet som heter «PlanetScope Ortho Scene» benyttes. Dette produktet er laget for undersøkelser som krever høy nøyaktighet til den geografiske posisjonen til objektet som skal undersøkes. Bildene som blir tatt av PlanetScope-satellittene, er organisert i overlappende «striper» som dekker jordens overflate. Scene-produktet er ikke klippet etter rutenettet til et koordinatsystem, men leveres som sammenhengende sener. Dette gjør det enklere å laste ned bilder for området som skal undersøkes.

Når en laster ned satellittbilder, må de prosesseres før de kan brukes. Det må gjøres endringer i de geometriske egenskapene til bildene, slik at perspektivet til bildet er rett ovenfra og ned med en fast målestokk, slik som på et kart. I tillegg må de settes inn i et koordinatsystem ved hjelp av georeferering. Satellittbildene som lastes ned fra «PlanetScope Ortho Scene» er ferdig prosesserte, og tilpasset en kartografisk projeksjon. Satellittbildene er ikke georeferert hver for seg, men co-registreres med satellittbilder fra Landsat. Dette betyr at de geometriske egenskapene til et satellittbilde fra PlanetScope omformes, slik at de stemmer overens med satellittbilder fra Landsat over samme område. Dette gjøres for at satellittbildene skal være klare til å brukes med en gang de er lastet ned.

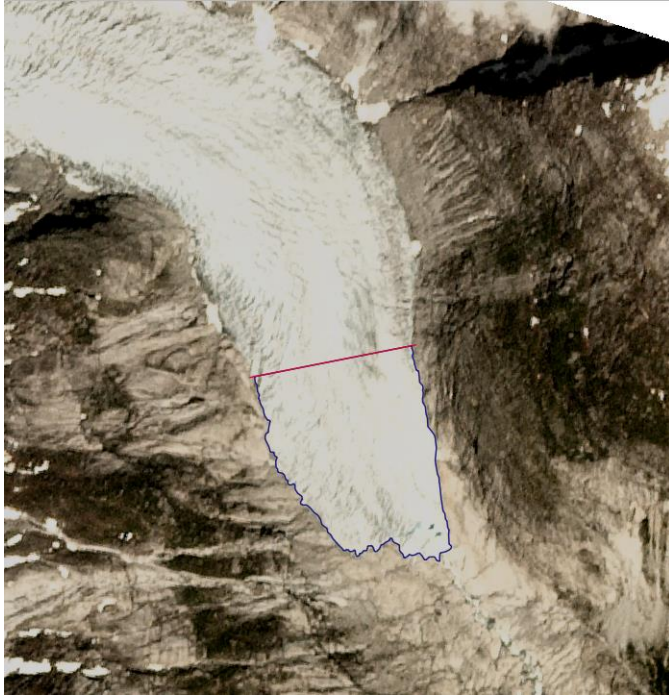
Fargene på satellittbildene av produktet «PlanetScope *Visual* Ortho Scene» er korrigerede for å gjøre dem best mulig tilpasset til det synlige fargespekteret til et menneskeøye. Disse satellittbildene egner seg godt til visuelle formål, i forhold til «PlanetScope *Analytic* Ortho Scene» som er tilpasset for analytiske formål. Forskjellen på disse prosesseringsnivåene er at «*Visual* ortho scene» har tre bånd (rød, grønn og blå), altså kun farger som kan oppfattes av menneskeøyet, mens «*Analytic* Ortho scene» i tillegg har et fjerde bånd (nær-infrarød).

Satellittbildene har en oppløsning på ca. 3 m. Det vil si at hvert av pikslene på et bilde er 3 gange 3 meter i virkeligheten. Dette vil variere fra bilde til bilde, og oppgis i en metadatafil som følger med bildene som lastes ned. Dette kalles «ground sampling distance», som er avstanden fra sentrum av et piksel til sentrum av pikselet ved siden av, på bakken rett under satellitten. Til sammenlikning har satellittbilder fra Landsat 7, som NVE har brukt i sitt brekartleggings arbeid, en oppløsning på omtrent 15 meter. I teorien vil en altså kunne fange opp mindre forandringer i brefronten med Planet sine satellittbilder.

Nøyaktigheten i posisjonen til bildene er ifølge produsenten mindre enn 10 m (RMSE) (Planet Inc., 2019, s. 22). Årsaken til unøyaktigheter i posisjoneringen til bildene er at satellittbilder fra Landsat har en oppløsning på omtrent 15 meter. Senere i denne oppgaven skal det undersøkes hvor nøyaktig posisjoneringen til de nedlastede satellittbildene er i oppgavens feltlokaltet.

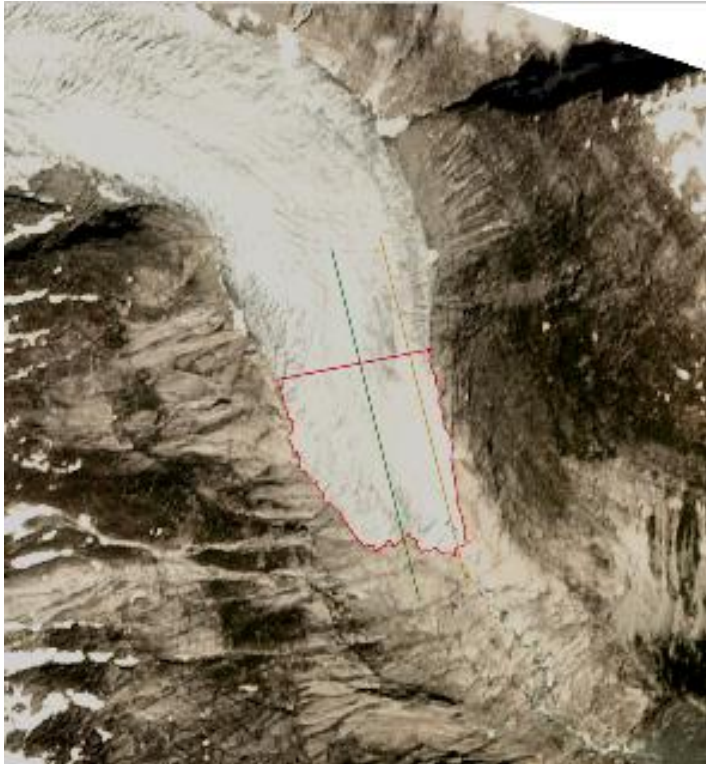
Kartlegging av frontendringene

Formålet med denne oppgaven er å finne den relative endringen av lengden til breen. Dette er for å få et mål på hvor mye breen har trukket seg tilbake. Det er ikke nødvendig å finne lengden til hele breen. Lengden til breen er derfor målt i den nederste delen ut ifra en definert linje som går på tvers av bevegelsesretningen til breen (rød linje på fig. 6). Deretter ble differansen mellom målingene funnet, for å få et mål på hvor mye brefronten endret seg. For å måle lengden, er det brukt to ulike metoder.



Figur 6 Endringene i brefronten måles fra en linje på tvers av breen (rød linje). Brefronten (blå strek) ble kartlagt for hånd ved hjelp av "Visual ortho scene" satellittbilder. Dette satellittbildet er fra 15. juni 2019 (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019)

En av utfordringene med å måle lengdeendringen, er at lengden varierer ulikt langs med brefronten. Den første metoden måler arealet til den nederste delen av bretungen, for så å dele arealet på den typiske bredden til bretungen (rød strek i fig. 6). Med denne metoden kan en finne lengdeendringen til breen fordelt over hele brefronten. Problemet med denne metoden er at bredden til breen også kan endre seg. Derfor er det også benyttet en metode hvor lengdeendringen er målt langs definerte linjer som er parallelle med flytretningen. Det er definert en senterlinje langs midten av breen, og en linje lengre til høyre (se fig. 7). For å få en sammenhengende tidsserie gjennom en sesong, ble frontendringene til breen interpolert mellom dagene med målinger.



Figur 7 Illustrasjon av lengdemåling ved hjelp av definerte linjer. Lengden måles langs linjene som er parallelle med flytretningen fra linjen som går på tvers frem til den opptegnede brefronten (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019).

Meteorologiske data

Dataene som er brukt til å lage grafer av lufttemperaturen, er hentet fra værstasjonene til meteorologisk institutt. Dataene som er lastet ned kommer fra værstasjonen på Breheimssenteret i Jostedal. Denne værstasjonen ligger på 243 moh. For å tilpasse temperaturdataene til temperaturen ved fronten av Nigardsbreen, er det trukket fra $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, som er den gjennomsnittlige vertikale temperaturendringen i den nederste delen av atmosfæren (Meteorologisk institutt, 2017). Deretter ble «Positive degree day» (PDD) regnet ut ved å legge sammen temperaturen fra alle dagene med temperatur over 0°C .

Sammenheng mellom frontendringer og lufttemperatur

For å vurdere sammenhengen mellom frontendringene og lufttemperaturen, vil en finne ut om en stigning i temperaturen fører til raskere tilbaketrekning av breen, og om lavere temperatur gjør at fronten har en lavere, eller ingen tilbakegang. For å lettere kunne sammenlikne de to variablene, ble det laget grafer som viser utviklingen gjennom sesongene.

For å få frem trenden i grafene, ble det beregnet glidende gjennomsnitt. Glidende gjennomsnitt beregnes ved å ta gjennomsnittet av en verdi (i dette tilfellet frontendringene og PDD) over en periode for alle dagene. En periode kan for eksempel være 10 dager. Da beregnes gjennomsnittet for de fem foregående dagene, og de fem neste dagene. Dette gjøres for hver dag, slik at man har en verdi for alle dagene. Ved å gjøre dette får man en trendlinje hvor tilfeldige fluktuasjoner er jevnet ut. For å lettere se om en rask stigning i temperaturen fører til økt tilbakegang av brefronten, er det laget figurer som viser stigningstallet til grafene for frontendringer og PDD. Stigningstallet regnes ut ved å finne

differansen mellom tilbakegangen over et visst tidsrom, og dele på tiden. Da får man en verdi for den gjennomsnittlige endringen pr. dag, over disse dagene. I denne oppgaven skal en prøve å finne ut om høyere lufttemperatur kan gjøre at brefronten trekker seg raskere tilbake i løpet av en sommersesong. Dersom dette stemmer, vil en forvente at et høyt stigningstall for PDD fører til en mer negativ frontendringsrate (at breen trekker seg fortere tilbake). Omvendt vil en forvente at et lavere stigningstall for PDD, vil resultere i en mindre negativ-, eller en positiv frontendringsrate (at breen trekker seg saktere tilbake, eller går fremover). En vil også forvente at responsen til brefronten vil være noe forsinket i forhold til temperaturendringene. Dette er fordi det tar tid før smelting på overflaten av isen, gir utslag i brefronten.

Referansepunkter

Feltarbeidet ble utført ved Nigardsbreen høsten 2019. Målet for feltarbeidet var å lage referansepunkter som kunne brukes til å bestemme nøyaktigheten til posisjonen til satellittbildene. For å gjøre dette ble det benyttet differensiell GPS (se forklaring under) til å lage punkter ved objekter som kunne kjennes igjen på satellittbildene. Deretter kan en måle avstanden fra GPS-punktet til objektet på satellittbildet. Referansepunktene som ble brukt i denne oppgaven var hjørnet av parkeringsplassen, bomstasjonen, forskjellige steinblokker og nes innover mot breen.

En annen metode som ble brukt for å bedømme nøyaktigheten til posisjonen, var å se på satellittbilder som er tatt med kort tidsforskjell, og måle eventuell forskjell i breens posisjon. Dersom denne forskjellen i posisjon er større enn hva en vil forvente at brefronten kan bevege seg innenfor det aktuelle tidsrommet, kan dette være et tegn på feil i co-registreringen til Landsat scenene. Formålet var å finne ut hvor stort avviket er, i hvilken retning og om avviket er konstant for hver dag. Dette gir informasjon om hvor store feil en kan forvente i målingene på grunn av feil i co-registreringen.

Differensiell GPS

For kartlegging i geografiske posisjonssystemer (GIS) stilles det høye krav til nøyaktigheten i posisjoneringen til objekter. Ved hjelp av en håndholdt GPS er nøyaktigheten i posisjonen i omtrent 3 meter i horisontalplanet (USGS, 2017). Disse feilene kommer på grunn av unøyaktighet i satellittenes banedata, feil informasjon om avvik mellom satellittklokkene og GPS-ens tidsreferanse og variasjoner i hastigheten til signalene igjennom jordens atmosfære. Ved bruk av en differensiell GPS korrigeres feilene i posisjonen i forhold til en referansestasjon som er plassert på et kjent punkt. Referansestasjonen vil ha samme klokkefeil som den mobile enheten, og avvikene pga. banefeil og påvirkning fra atmosfæren vil være nesten lik. Posisjonen til den mobile enheten kan dermed korrigeres ved hjelp av informasjon fra det faste punktet (Forssell, 2020).

En referansestasjon kan også være virtuell. I dette prosjektet er det benyttet korreksjonsdata fra kartverkets CPOS-tjeneste. Korreksjonsdataene mottas gjennom mobiloppkobling til kartverkets servere. Ifølge kartverket kan det oppnås en nøyaktighet på 8-14 mm i posisjonen til GPS-punktene (Kartverket, 2019). Dette vil avhenge av mobildekningen i området.

Resultater

Frontendringer

Den første delen av problemstillingen var å kartlegge endringene i brefronten til Nigardsbreen gjennom smeltesesongene i 2018 og 2019. Dette ble gjort ved manuell kartlegging av brefronten, slik som beskrevet i metodedelen.

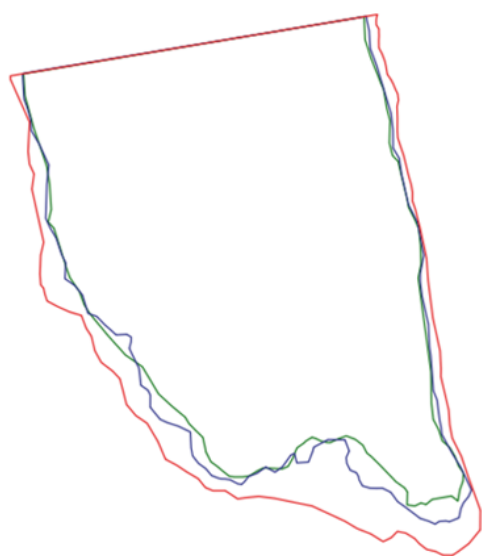
Kvaliteten på de innsamlede dataene om hvordan frontendringer varierer fra måned til måned, avhengig av antall brukbare satellittbilder og feil i posisjonen til bildene. Problemer knyttet til antall brukbare satellittbilder handler om feil i posisjonen til satellittbildene, tett skydekke, dårlig visuell kvalitet på noen av bildene og scener som ikke dekker brefronten. Jo færre målinger som er gjort, jo mer har feilkildene å si for resultatet. Det var færre brukbare satellittbilder i 2019 enn i 2018. Dette er på grunn av mange dager med tett skydekke i starten av sommeren, og flere bilder med feil i posisjonen til satellittbildene. For de månedene det bare er benyttet ett eller to satellittbilder, kan feilkildene ha en stor innvirkning på resultatet. Tabell 1 viser hvor mange målinger som er gjort pr. måned.

Tabell 1 Antall målinger av frontposisjonen til Nigardsbreen pr. måned i 2018 og 2019

Måned	2018	2019
mai	4	1
juni	9	1
juli	10	6
august	2	3
september	1	2
oktober	1	0

Hvor stor tilbakegangen til brefronten har vært igjennom de to somrene avhenger av hvilken målemetode som benyttes. Tilbakegangen har vært størst for begge årene på den høyre siden av breen. Figur 8 gir en oversikt over endringene i brefronten i 2018, og figur 9 viser endringene i 2019.

Endring i frontposisjon gjennom sommeren 2018



Målemetode	Frontendring (m)
Areal/bredde	-97
Senterlinje	-73
Linje til høyre	-87

26.05.18
26.07.18
09.09.18

Figur 8 Oversikt over målingene av endringen i frontposisjonen til Nigardsbreen i 2018. Illustrasjonen viser frontposisjonen i starten, midten og slutten av smeltesesongen. En kan også se at bredden til breen har endret seg i løpet av denne sesongen.

Endring i frontposisjonen gjennom sommeren 2019

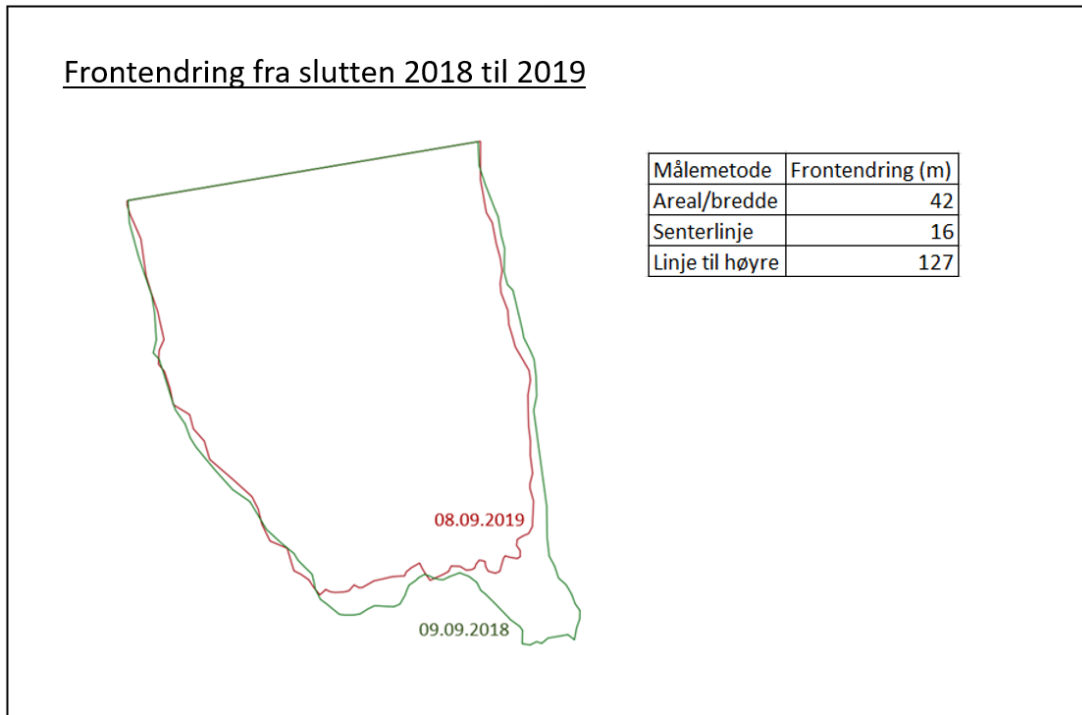


Målemetode	Frontendring (m)
Areal/bredde	-55
Senterlinje	-29
Linje til høyre	-104

26.05.19
24.07.19
26.09.19

Figur 9 Oversikt over målingene av endringen i frontposisjonen til Nigardsbreen i 2019.

For å finne et mål på hvor langt breen har trukket seg tilbake fra 2018 til 2019, har bilder fra slutten av smeltesesongene blitt sammenliknet (se fig. 10). Satellittbildene som er brukt til å måle denne tilbakegangen er tatt 9. september 2018 og 8. september 2019. Disse datoene er valgt ut siden de hadde likest mulig dato, og er i slutten av ablasjonssesongene. I løpet av denne perioden har breen trukket seg tilbake 42 meter hvis en bruker areal/bredde-metoden. Langs senterlinjen har den gått tilbake omtrent 16 meter, og langs høyre linje 127 meter.

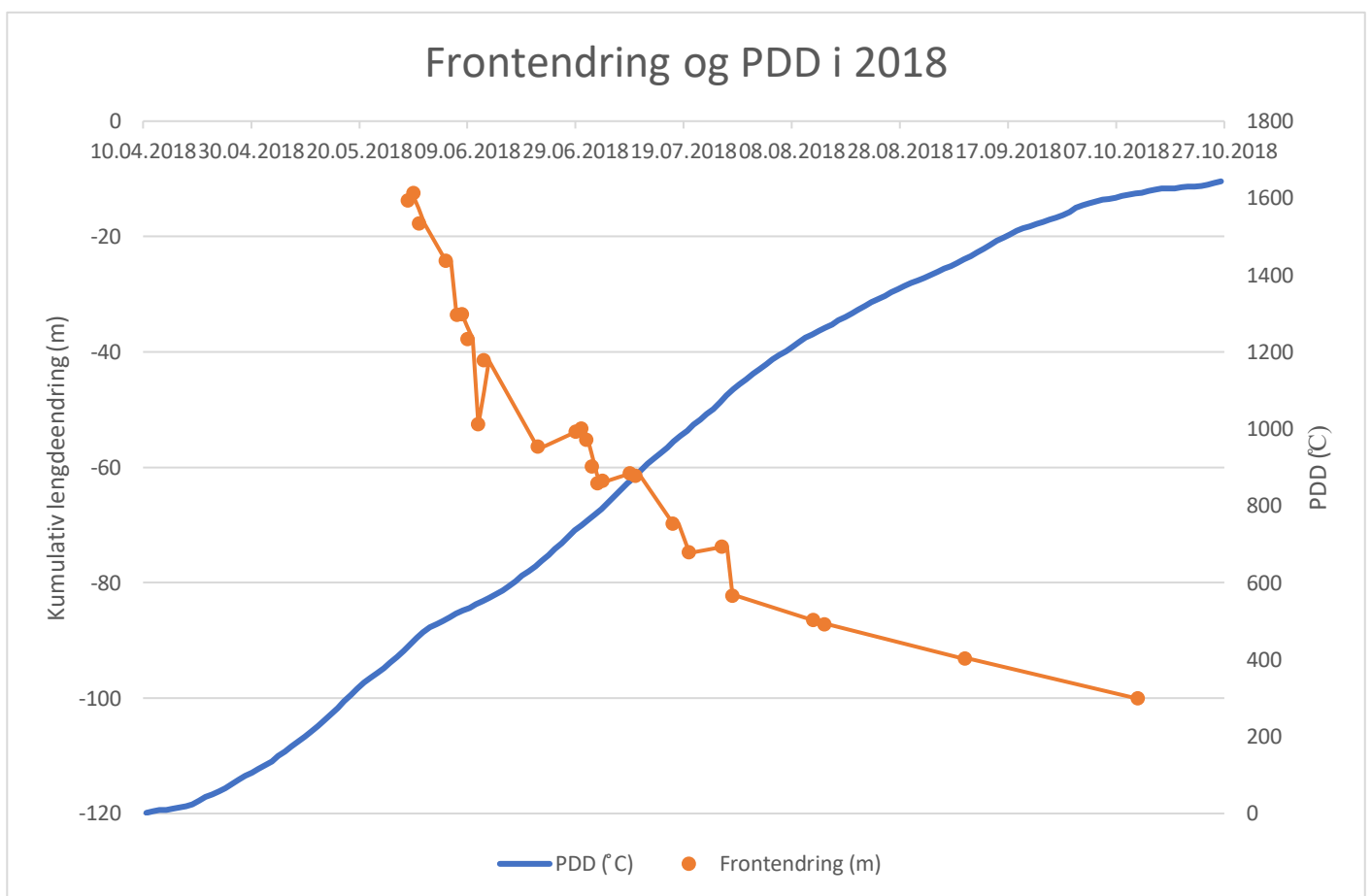


Figur 10 Sammenlikning av frontposisjonen i slutten av sommersesongene 2018 og 2019.

Sammenheng mellom frontendinger og lufttemperatur

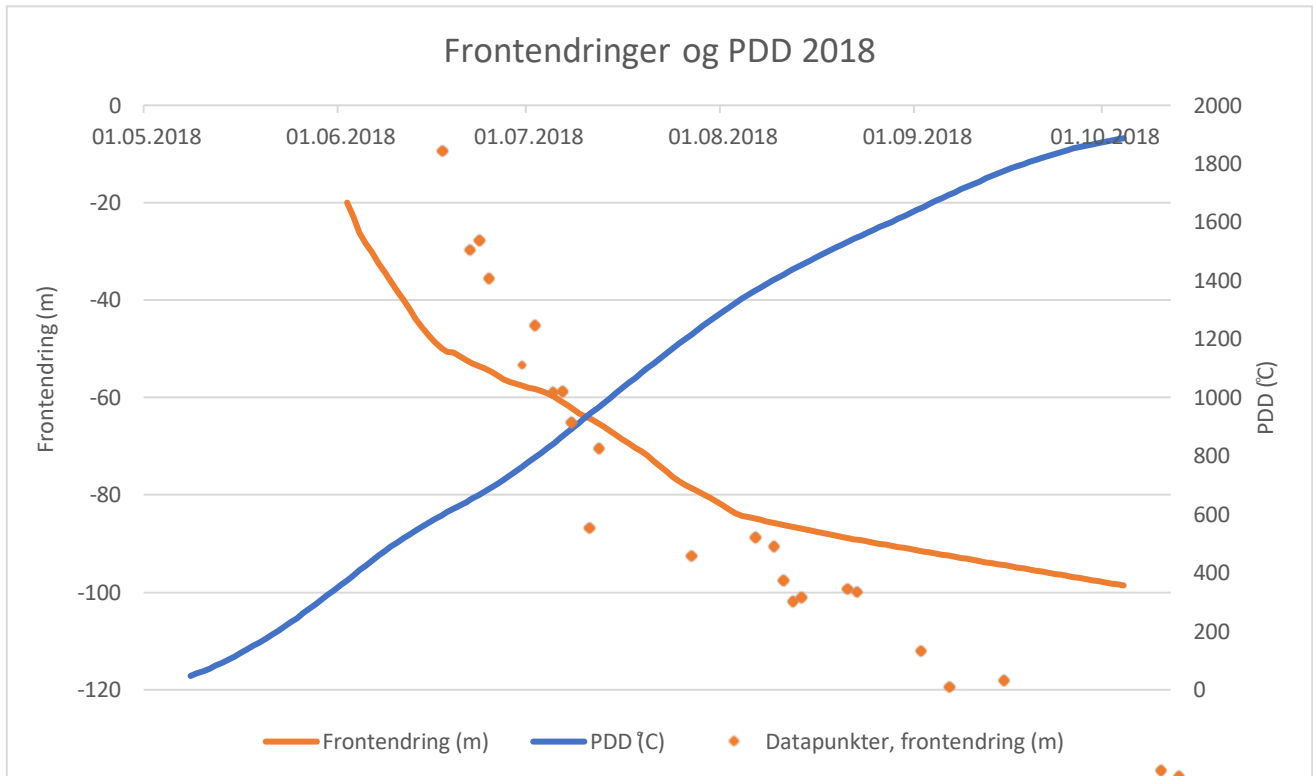
Den andre delen av problemstillingen var å relatere brefrontens tilbakegang med temperaturen gjennom sesongene. Dette har blitt gjort ved hjelp av ulike grafiske fremstillinger, med variablene frontendinger og «positive degree day» (PDD). Det er her benyttet frontendringsmålingene gjort med areal/bredde-metoden. Den totale PDD fra første mai til 27. september var på 1860°C i 2018, og 1021°C i 2019.

Den oransje grafen i figur 11 viser frontposisjonene som ble målt på satellittbildene fra 2018. Som en kan se er det mange «knekkpunkter» på grafen. Det er trolig feil i posisjonen til satellittbildene som fører til noen unøyaktige målinger. Feiltolking av brefronten under kartleggingen kan også ha påvirket resultatene. Den blå grafen viser «positive degree day».



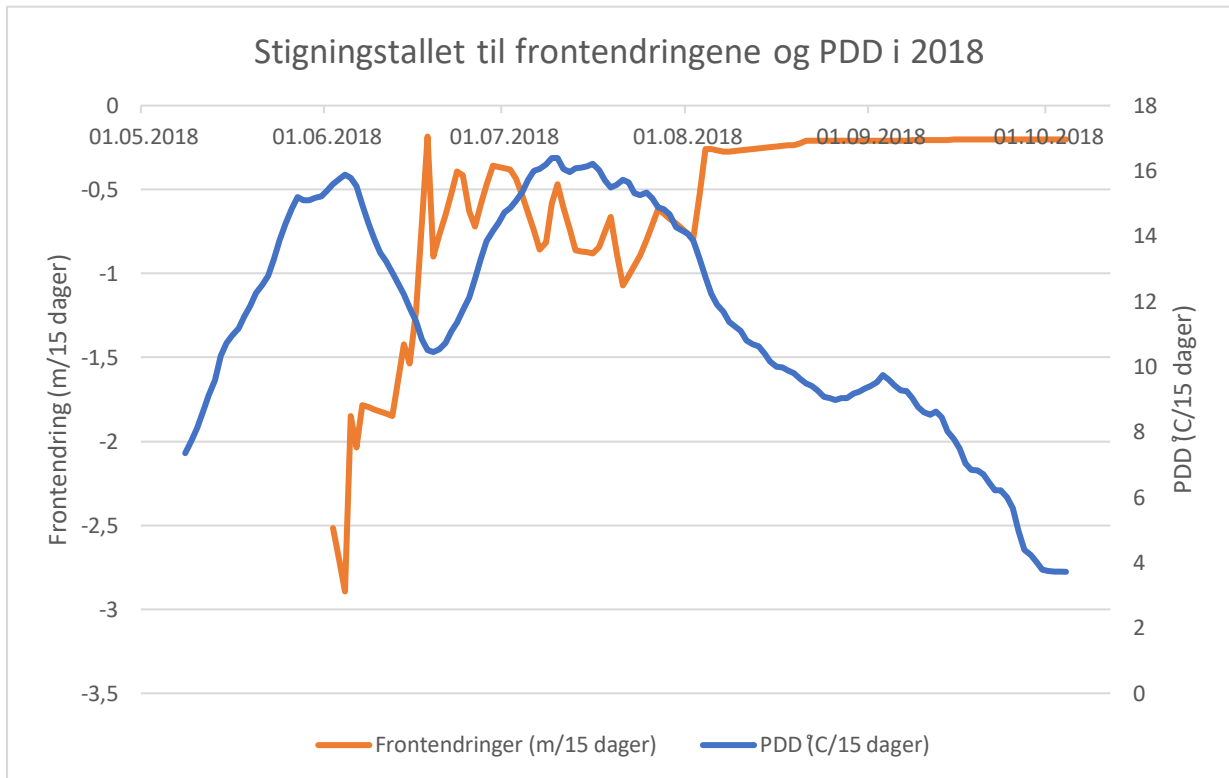
Figur 11 Frontendinger (beregnet ved hjelp av areal/bredde-metoden) og PDD gjennom sesongen 2018. Hvert av de oransje punktene markerer en måling.

Figur 12 viser trendlinjer for frontmålingene og PDD i 2018. Det er her beregnet et glidende gjennomsnitt med en tidsperiode på 15 dager. Man kan se at fronten til Nigardsbreen hadde en rask tilbakegang i starten av smeltesesongen. Helningen er mindre bratt fra rundt midten av juni, og flater ytterligere ut mot slutten av sesongen. PDD er ganske bratt i starten av sesongen, og flater også ut i slutten av sesongen.



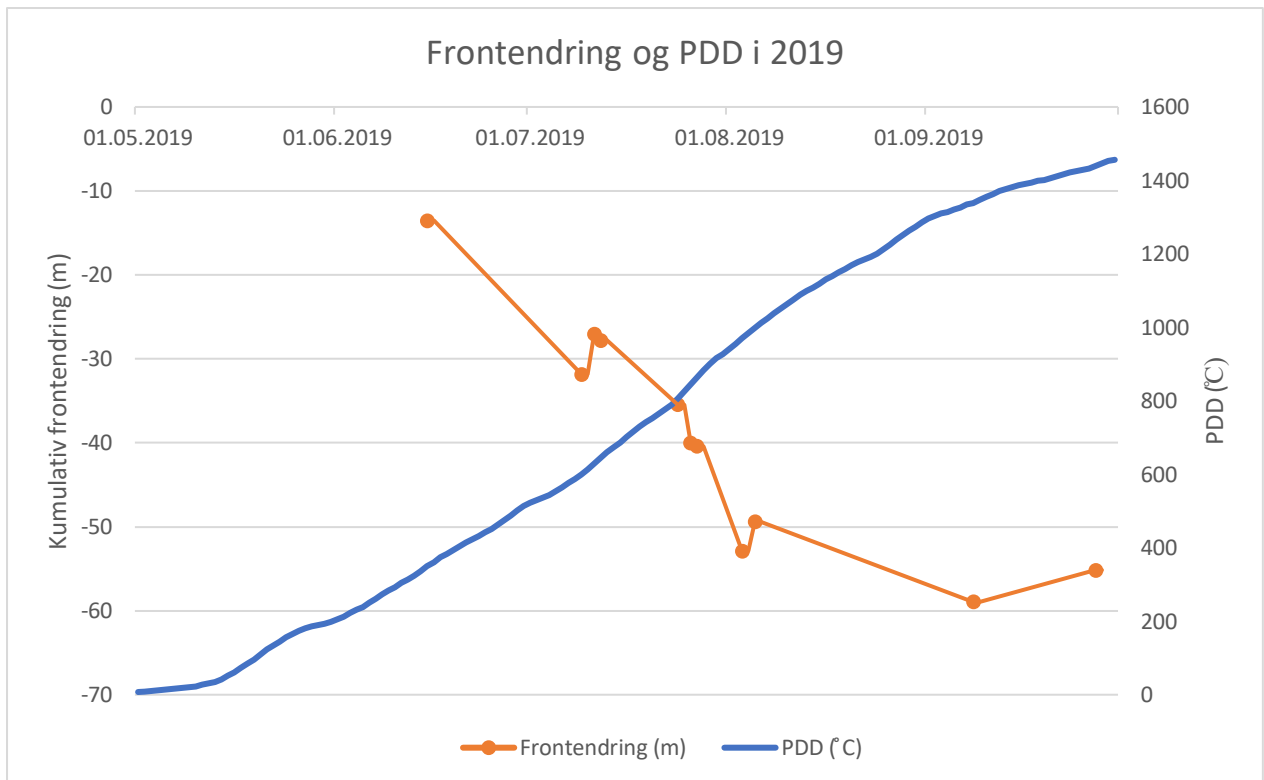
Figur 12 Trendlinjer for frontendringer og PDD gjennom 2018. Glidende gjennomsnitt er beregnet med en tidsperiode på 15 dager.

Figur 13 viser grafer med stigningstallet til frontendringene og PDD gjennom 2018. Dette er beregnet ut ifra endringen i breifronten og PDD, over 15 dager av gangen. Grafen viser at PDD har et relativt lavt stigningstall i starten av mai for så å stige. Det betyr at temperaturen stiger raskere. Frontendringene har en relativt høy negativ rate rundt slutten av mai, og begynnelsen av juni. Det betyr at fronten trekker seg rakt tilbake i denne perioden. Den raske tilbakegangen av fronten i starten av sesongen, kan være en litt forsinket effekt av stigningen i temperaturen i starten av mai. Det kan også hende at snø langs fronten har blitt mistolket som breis, og at denne har smeltet raskt i starten av sommeren. Fra starten av juni går stigningstallet til PDD nedover igjen med et bunnpunkt rundt 19. mai, for så å stige igjen frem til starten av juli. Frontendringene har en mindre negativ rate i denne perioden. Temperaturen gikk altså nedover, og breifronten trakk seg saktere tilbake enn i starten av sommeren. Videre er det vanskelig å se en tydelig sammenheng på grunn av mye svingninger i frontendringene på midten av sommeren. I slutten av sesongen går stigningstallet til PDD nedover. Det betyr at temperaturene synker. Frontendringene forblir på en svak negativ rate. Det betyr at den trekker seg sakte tilbake, med en jevn rate.



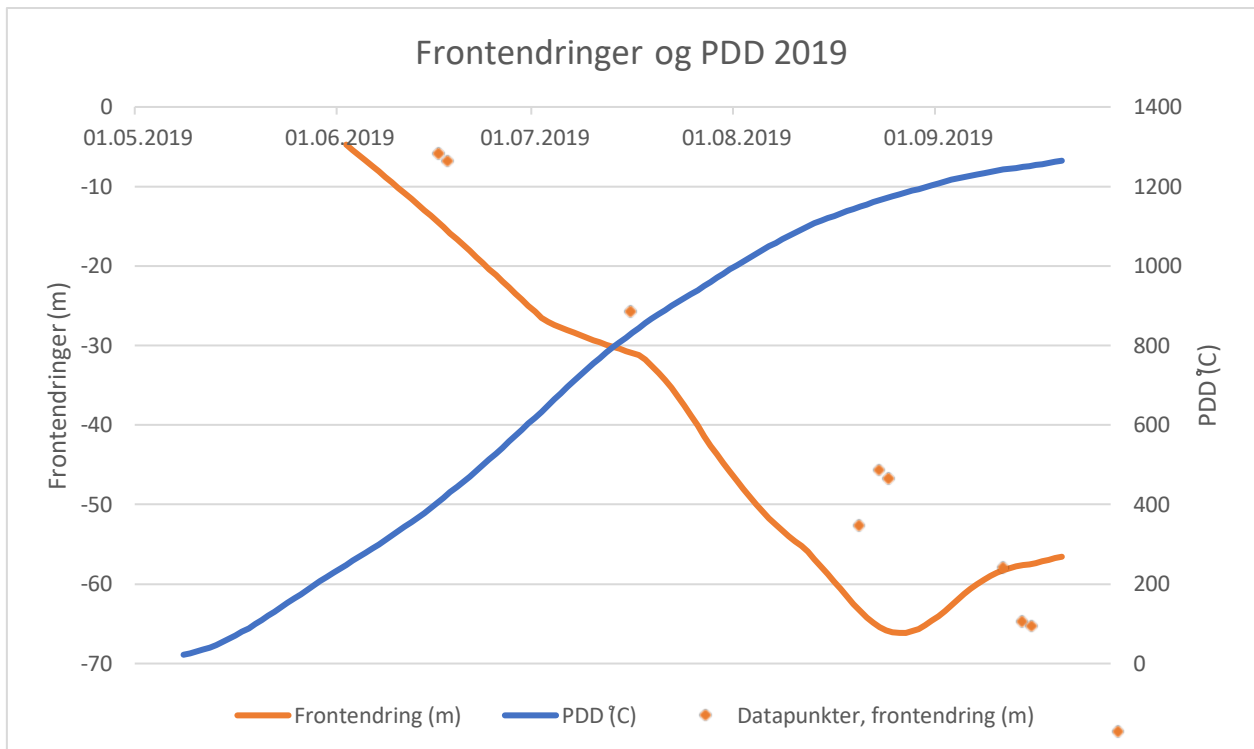
Figur 13 Stigningstallet til frontendringer og PDD i 2018. Stigningstallet er beregnet ved å finne gjennomsnittet av endringen over 15 dager.

Det er laget tilsvarende grafer for Frontendringene og PDD i 2019. Figur 14 viser målingene som er gjort av brefronten og PDD i 2019. Her er det også «hopp» i målingene, som gjør at grafen blir ujevn. Det ser ut som at brefronten plutselig har hatt en stor endring (for eksempel i starten av juli), men trolig er dette på grunn av feil i målingene. Disse feilene kommer trolig på grunn av feil i posisjonen til satellittbildene. Feiltolkning av brefronten i satellittbildene kan også ha påvirket resultatene.



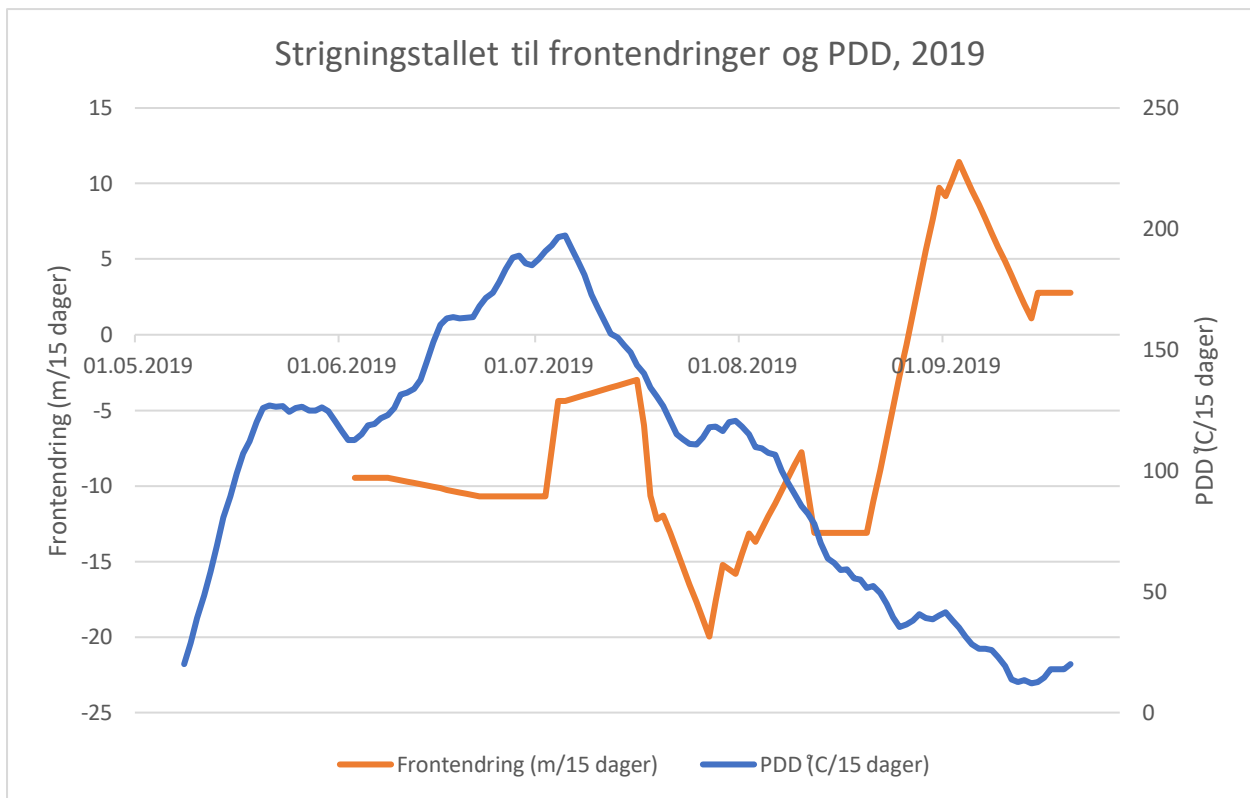
Figur 14 Frontendinger (beregnet ved areal/bredde-metoden) og PDD i 2019. Hvert av de oransje punktene viser en måling av brefronten

Figur 15 viser trendlinjene til frontendingene og PDD i 2019. Glidende gjennomsnitt er beregnet med en tidsperiode på 15 dager. Trendlinjen til frontendingene viser at brefronten har hatt en relativ rask tilbakegang fra starten av juni frem til til juli. Tilbakegangen har gått litt saktere i første del av juli, og raskere fra slutten av juli og gjennom august. Målingene viser at brefronten har gått fremover igjen fra slutten av august og gjennom september.



Figur 15 Trendlinjer til frontendring og PDD i 2019. Glidende gjennomsnitt er beregnet med en tidsperiode på 15 dager.

Figur 16 viser stigningstallet til frontendringene og PDD gjennom 2019. Stigningstallet viser den gjennomsnittlige endringen over 15 dager. Frontendringens grafen har noen plutselige forandringene i starten av juli og starten av august. Dette kan være resultat av feil i noen av målingene, på grunn av feil i posisjonen til satellittbildene (her er det «knekkpunkter» i figur 14). Man kan også se en kvalitativ sammenheng mellom frontendringer og PDD i 2019. Stigende temperatur fører til en større negativ rate for frontendringene (raskere tilbakegang), og synkende temperatur fører til mindre negativ rate, eller positiv rate (breen går saktere tilbake, eller fremover). I slutten av sommeren har stigningstallet til frontendringene en positiv rate. Forholdet mellom PDD og frontendringene ser ut til å være forskjøvet noen uker. For eksempel ser det ut til at det tar noen uker før nedgangen i temperaturen i slutten av sommeren fører til at brefronten går saktere tilbake, og etter hvert fremover.



Figur 16 Grafer som viser stigningstallet til frontendringer og PDD gjennom 2019. Stigningstallet er beregnet ved å finne gjennomsnittet av endringene over 15 dager.

Referansepunkter

Satellittbildene som lastes ned fra Planet er ferdig prosesserte. Formålet med dette er å gjøre at avstandene og vinklene likest mulig virkeligheten. For å teste hvor stor feilen i posisjonen til satellittbildene er, ble det opprettet referansepunkter slik som forklart under i metodedelene.

På grunn av oppløsningen til satellittbildene var det krevende å plassere de faste holdepunktene nøyaktig nok til å få et mål på hvor godt bildene er posisjonert, slik som det var tenkt. En gjennomgang av metadatafilene til satellittbildene viste at de fleste bildene hadde en oppløsning på 3,9 eller 4 m. Dette er høyere oppløsning enn for eksempel satellittbilder fra Landsat med oppløsning på 15 meter, men likevel for lav for å plassere referansepunktene nøyaktig nok. Noen av punktene kan likevel gi et inntrykk av de visuelle egenskapene til satellittbildene. Det var ikke mulig å se punktene som var satt ved steinblokkene. Disse er for små til at de fanges opp med en oppløsning på tre til fire meter, og kontrasten til berget rundt er for liten. Et referansepunkt som var lett å kjenne igjen var punktet i hjørnet av parkeringsplassen (se fig.17). Referansepunktet viser at det er mulig å kjenne igjen parkeringsplassen, men at forskjellen i lyset som reflekteres av asfalten og grusen som ligger rundt, ikke er stor nok til at de kan skilles. Referansepunktene på nesene ga også et inntrykk av de visuelle egenskapene til bildene. Punktet i figur 18 ble satt i hjørnet av en blokk på et nes. På satellittbildene kan en se neset, men ikke blokken.



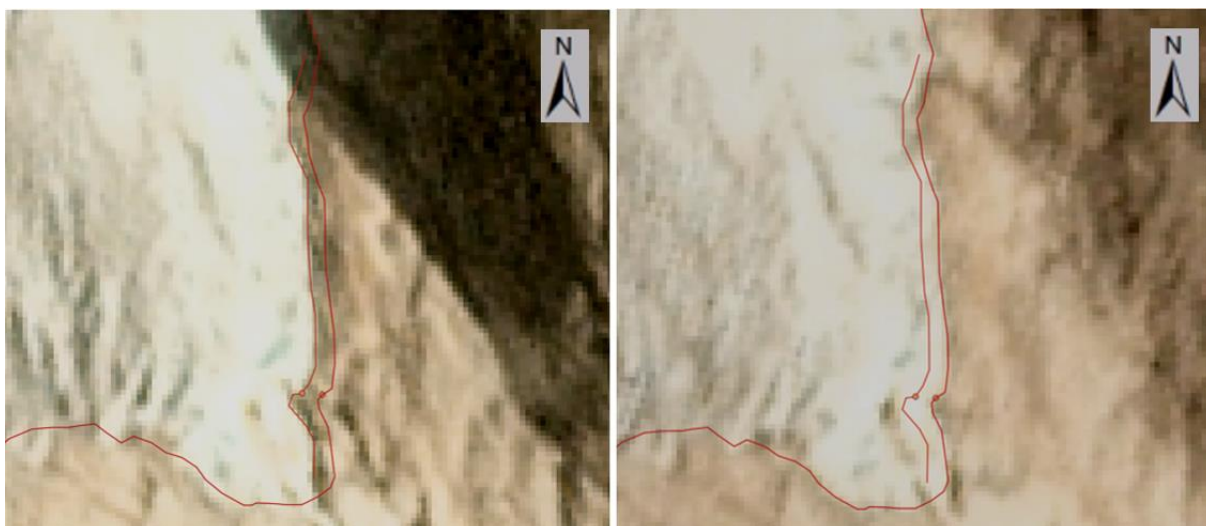
Figur 17 Referansepunktet ved hjørnet av parkeringsplassen (rosa punkt). Bilde til venstre (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019) er lastet ned fra planet, og er tatt 26.07.2019. Bilde til høyre er et utklipp fra topografisk norgeskart med samme utsnitt. Referansepunktet ble målt ved asfaltkanten av parkeringsplassen. Utenfor asfaltkanten ligger det grus, og denne er ikke mulig å skille fra asfalten på satellittbildet.



Figur 18 Referansepunkt på et nes i Nigardsbrevatnet. Dette satellittbildet er tatt 24.07.2019 kl. 08.19.40 (UTC) (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019).

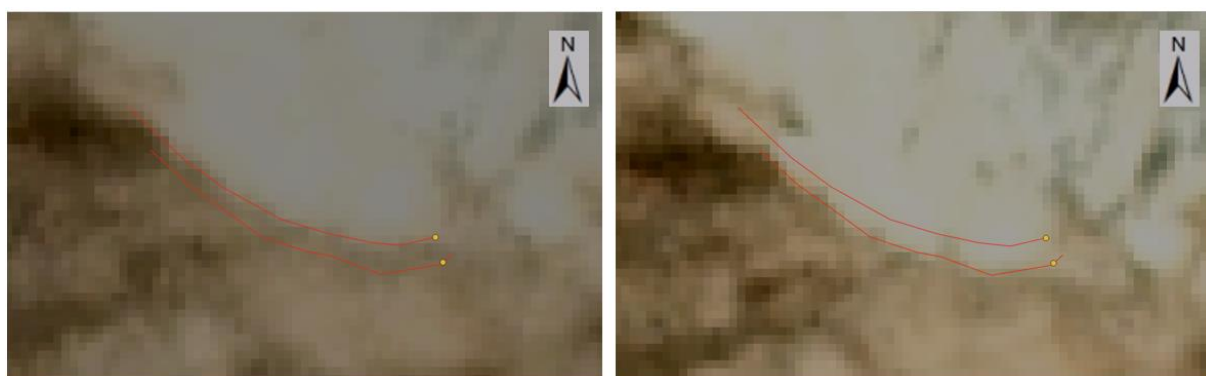
Ved sammenlikning av satellittbilder tatt med kort tidsforskjell ble det funnet at posisjonen til brefronten varierte mer enn hva en vil forvente at breen kan forandre seg på en dag. Avviket varierte fra dag til dag, og i ulike retninger. Det ble undersøkt slike satellittbilder fra til sammen 11 dager fra 2018 og 2019. Seks av dagene var det enten ingen- eller noen få meters forskjell. De 5 resterende dagene er avviket opp til 10-15 meter. Disse feilene kommer trolig av feil i co-registreringen med Landsat satellittbildene.

Et eksempel er fra 24.07.2019 (se fig. 19). Det er litt over 2 timer mellom bildene ble tatt, men en kan se en betydelig forskjell i breens posisjon. Breen har «flyttet seg» ca. 11 meter mot øst.



Figur 19 Disse bildene er tatt 24.07.2019 (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019). Bilder til venstre er tatt kl. 08:19:40 og til høyre kl. 10:25:30 (UTC). Posisjonen til breen har flyttet seg mot øst. Mellom de to oransje punktene er det 11,9 meter.

Avvikene i posisjonen til satellittbildene er ikke i konstant retning fra dag til dag. Satellittbilder fra 03.07.2018 viser en 10 meters forskjell i posisjonen til breen mot sør (fig. 20). Tidsforskjellen mellom bildene litt under 2 min.

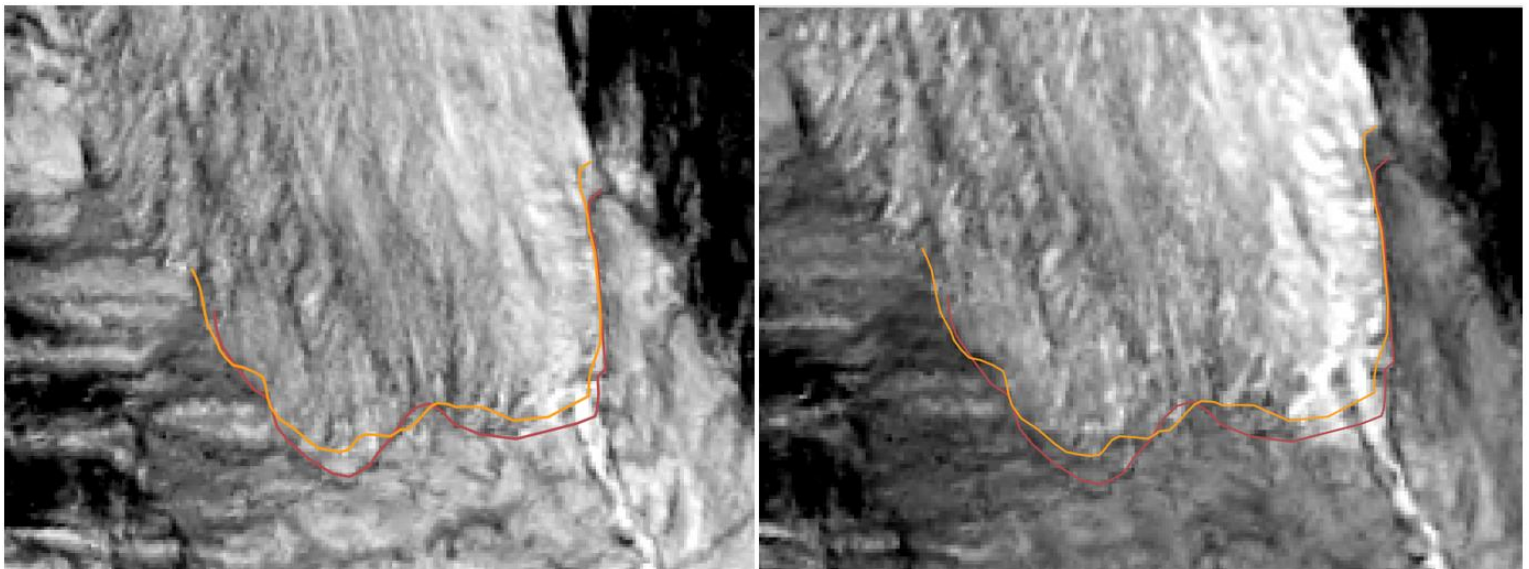


Figur 20 satellittbilder tatt 03.07.2018 (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019). Bildet til venstre er tatt kl. 10:18:00, og bildet til høyre kl. 10:19:55 (UTC). Det er 9,5 meter imellom de gule punktene.

Noen av satellittbildene fra 2019 ser ut som de har forskjeller i posisjonen mellom de enkelte båndene i samme bilde. Dette gjør at bildene ser «doble» ut (se fig. 21). Når en skrur på ett og ett bånd, kan en se at breens posisjon endrer seg med opp til omtrent 20 meter (se fig. 22). Disse bildene har sterkere farger enn de andre bildene som er lastet ned.



Figur 21 Noen av bildene fra 2019 har et "dobbel syn" (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019).



Figur 22 Disse bildene viser forskjellige bånd fra det samme satellittbilde tatt 26.07.2019. Bilde til venstre er det røde båndet, og til høyre er det blå båndet. Den røde linjen markerer posisjonen til brefronten i det røde båndet, og den gule markerer posisjonen i det gule (Image courtesy of Planet Labs Inc., 2019).

Diskusjon

Sterke og svake sider

Å bruke satellittbilder fra Planet for å måle frontendringer til Nigardsbreen har både fordeler og ulemper. En av fordelene med planet sammenliknet med andre satellittprodukter, er at oppløsningen til bildene er relativt høy. Satellittbildene som ble brukt i denne oppgaven har en oppløsning på tre til fire meter. Til sammenlikning har Landsat en oppløsning på 15m. En annen fordel er at tidsoppløsningen til satellittbildene er såpass høy, at en kan følge med på utviklingen til breen gjennom hver enkelt sesong. Dersom en skulle gjort like mange målinger av brefronten i felt, ville det vært langt mer tidkrevende. Metoden gjør det også mulig å undersøke breer som er mindre tilgjengelige enn Nigardsbreen.

Det finnes imidlertid også svake sider ved denne metoden. Det fuktige kystklimaet på Vestlandet gjør at himmelen er dekt av skyer store deler av sommeren. Dette reduserer antall satellittbilder som kan brukes til å måle lengden til breen. Det blir store hull i datasettet, og forskjellig tidsperiode mellom datapunktene. En annen faktor som førte til begrensninger i datasettet, var at scenen ikke alltid dekket hele brefronten.

Satellittbilder fra PlanetScope er ferdig prosesserte når de lastes ned. Dette skal gjøre det mer lettvisst å bruke satellittbildene til formålet, uten å måtte prosessere dem for hånd først. Det viste seg imidlertid at posisjonen til satellittbildene førte til store feil i enkelte av målingene av frontposisjonen til brefronten. For å minske disse feilene må man georeferere bildene manuelt.

I denne oppgaven ble det benyttet en manuell kartlegging av brefronten i satellittbildene. Dette kan føre til at bildene blir tolket feil. For å unngå menneskelige feil, kunne en ha prøvd å benytte en analytisk metode. En slik metode klassifiserer områder som er dekket av snø og is ut ifra strålingen materialet reflekterer. Forskjellige overflater reflekterer ulik mengde ståling fra forskjellige deler av det elektromagnetiske spekteret. En kan dermed definere ulike grenseverdier for de forskjellige materialene, slik at hvert av pikslene i bildet defineres som for eksempel «is» eller «fjell» (Andreassen & Winsvold, 2012). Slike metoder har imidlertid også begrensninger. For eksempel kan den tolke breis dekket av sedimenter likt som morenemateriale, og manuell korrigerings kan derfor være nødvendig.

Drøfting av resultatene

Kartlegging av endringer i frontposisjonen

Arbeidet med å kartlegge brefronten har vist at det er mulig å fange opp den relative lengdeendringen gjennom sommersesongene, men feilkildene har hatt en innvirkning på resultatet. Feil i co-registreringen har ført til «hopp» i målingene. Feiltolking av satellittbildene kan også ha påvirket resultatene. Feilene kan en se i målingene fordi de viser en større tilbakegang, eller fremgang enn hva man vil forvente på kort tid. For eksempel viser de at breen har gått tilbake med 11 meter fra 11. juni til 12. juni i 2018.

På grunn av kystklimaet med tett skydekke store deler av somrene, var det ikke forventet å få brukbare satellittbilder fra hver dag. Feil i posisjon og mye refleksjon i noen av satellittbildene, har begrenset antallet satellittbilder ytterligere. Spesielt i 2019. Dette gjorde at en fikk noe dårligere tidsoppløsning mellom målingene enn forventet.

Sammenlikning med NVE sine målinger

Som nevnt innledningsvis har brefronten til Nigardsbreen ifølge NVE sine frontposisjonsmålinger gått tilbake med 81 meter i både 2018 og 2019. Målingene i denne oppgaven viser at brefronten har gått tilbake omtrent 42m fra slutten av sesongen 2018 til 2019 ved å bruke areal/bredde-metoden. Langs senterlinjen gikk den tilbake 16m og langs linjen til høyre gikk den tilbake 127m. Tilbakegangen varierer altså mellom ca. 16m og 127m, avhengig av hvor det måles langs fronten. Datoen det måles på har også en innvirkning på resultatet. Det er usikkert hvor NVE måler langs brefronten, men siden NVE sine målinger ligger innenfor 16m og 127m stemmer de overens med resultatene fra denne oppgaven.

Forhold mellom frontendringer og temperatur

På grunn av den lange reaksjonstiden til breer vil en normalt ikke forvente å se endringer i brefronten før mange år etter endring i massen. Somrene 2018 og 2019, ser det likevel ut som at de høye temperaturene kan ha en sammenheng med tilbakegangen av brefronten. Sammenlikning av frontendringene og PDD gjennom sesongene, viser en tydelig kvalitativ sammenheng mellom disse variablene. Når temperaturen går opp, går brefronten etter hvert fortere tilbake. Det kan hende at det ellers har vært lite dynamikk i brefronten disse årene, og at en derfor kan se resultatet av de høye temperaturene i et kortere tidsperspektiv. 2018 hadde høyere temperaturer enn 2019. Fra første mai til 27. september ligger PDD på 1860°C, og 1021°C i 2019. Resultatene fra denne oppgaven viser at brefronten også har hatt en høyere tilbakegang i 2018 enn i 2019.

Det er imidlertid viktig å huske på at det er mange ting som påvirker endringene i frontposisjonen til en bre. Det kan være tilfeldigheter som gjør at det ser ut til å være en sammenheng mellom temperaturen og frontendringene igjennom disse smeltesesongene. Feile målinger har også hatt en innvirkning på resultatene, særlig i 2019. Målingene burde derfor forbedres for å få mer sikre resultater.

Hvor godt er satellittbildene egnet til formålet?

Satellittbilder fra Planet har vist seg å være et godt hjelpemiddel for å kartlegge frontendringene til Nigardsbreen, men det er også flere begrensede faktorer.

Oppløsningen til satellittbildene var oppgitt til å være gjennomsnittlig 3,7 m i produktspesifikasjonen (Planet Inc., 2019). De fleste av de nedlastede satellittbildene hadde en oppløsning på 3,9 eller 4 m. Oppløsningen var altså rett over gjennomsnittet, men den er likevel høy nok til å fange opp forandringene i frontposisjonen. Feil i posisjonen til satellittbildene ser ut til å ha en større innvirkning på resultatene.

Ifølge produktspesifikasjonene til Planet skal feilen i posisjonen til satellittbildene være under 10 meter. I denne oppgaven var det ikke mulig å finne et eksakt tall for hvor nøyaktig posisjonen til satellittbildene er, men det er målt at posisjonen til breen kan variere med opp til omtrent 15 meter på bilder fra samme dag. Dette er mer enn hva som er sannsynlig at

brefronten kan endre seg på så kort tid. Dersom feilene i posisjonen hadde vært lik for alle bildene, ville en fortsatt kunne målt den relative lengdeendringen. Problemet er at feilene er av forskjellig størrelse og retning fra bilde til bilde. Det kan stemme at feilen i hvert av bildene er mindre enn 10m, men når retningen til feilene varierer, kan de gi store svingninger i målingene. En feilmargin på opptil 15m er for mye til å få en nøyaktig tidsserie av brefronten igjennom sesongen. For å få et mer nøyaktig datasett må en georeferert bildene manuelt.

De visuelle egenskapene til satellittbildene

De visuelle egenskapene til bildene, varierte fra dag til dag. På noen dager med mye sol var refleksjonen så sterk at det var vanskelig, eller umulig, å skille brefronten fra berggrunnen rundt. Manuell kartlegging vil kunne føre til feil i dataene, på grunn av at bildene kan tolkes ulikt. For eksempel var det ofte vanskelig å se forskjellen på snø, is og blankskurt fjell. Dette kan gjøre det vanskelig å oppfatte om det fortsatt ligger snø på breen, og om en isblokk i brefronten fortsatt er en del av breen, eller om den har falt av. Forskjell i fargene og lysforholdene i bildene gjorde det vanskelig å tolke likt på alle bildene. Hvordan satellittbildene tolkes kan variere fra person til person, og det er derfor best om samme personen tolker alle bildene.

Referansepunktene som ble opprettet under feltarbeidet til denne oppgaven ga et inntrykk av de visuelle egenskapene til bildene, og hvor store gjenstander som kan kjennes igjen med oppløsningen til bildene. Punktet som ble plassert i hjørnet av parkeringsplassen (fig. 17, s. 26) viste at det er mulig å kjenne igjen parkeringsplassen, men båtkaien til venstre kan så vidt skimtes. Punktet som ble plassert ved en blokk på et nes viser at man kan kjenne igjen neset, men at blokken er for liten (fig. 18, s. 26)

Som nevnt i metodedelen ble det i november 2018 lansert en ny generasjon PlanetScope satellitter med forbedringer i skarpheten og fargene i bildene. Enkelte av bildene i 2019 hadde sterkere farger enn de andre bildene, og det kan hende at dette er bilder fra den forbedrede generasjonen. Problemet med disse bildene var at de hadde større feil i posisjoneringen med forskjeller mellom båndene (fig. 21, s. 28). Imidlertid var forskjellen mellom fargen til breis, snø og fjellet rundt, tydeligere i disse satellittbildene. Dersom georefereringen hadde vært forbedret, ville disse bildene derfor trolig egnet seg godt til å tolke posisjonen til brefronten.

Selv om bruken av satellittbildene fra Planet har flere begrensende faktorer, var det mulig å få minst et satellittbilde pr. måned fra mai til september i 2018 og 2019. Dette gjorde det mulig å følge med på brefrontens endringer gjennom smeltesesongene, med relativt god tidsoppløsning. Planet jobber stadig med å forbedre produktene sine. Dersom de fortsetter med dette arbeidet, vil satellittbildene trolig være enda bedre egnet for å undersøke breer i fremtiden.

Konklusjon

Formålet i denne oppgaven var å finne ut av hvor godt egnet satellittbilder fra Planet er til å overvåke endringer i posisjonen til Nigardsbreen, igjennom sommersesongene i 2018 og 2019. For å finne ut av dette har frontendringene til breen blitt kartlagt gjennom somrene.

Frontendringene har videre blitt relatert til temperaturen gjennom somrene. Til slutt har det blitt diskutert hvor godt egnet satellittbildene viste seg å være til å kartlegge brefronten.

Brefronten har hatt en stor tilbakegang disse årene. Hvor stor tilbakegangen er, avhenger av hvor det måles langs fronten. Resultatene fra kartleggingen av brefronten viser at breen har gått tilbake med mellom 73 til 97 meter i 2018, og 55 til 104 meter i 2019. Fra slutten av sesongen i 2018 til slutten av sesongen i 2019, trakk brefronten seg tilbake mellom 16 og 127 meter. Dette stemmer overens med fastpunkt-målingene som er gjort av NVE. De viser at breen har gått tilbake 81 meter (fra det faste punktet og fremt il breen) fra 2018 til 2019.

Undersøkelsene av sammenhengen mellom frontendringene og temperaturen, viser at det er en tydelig kvalitativ sammenheng mellom disse variablene gjennom somrene. Når temperaturen steg, gikk brefronten etter hvert fortere tilbake. Tilbakegangen har vært større i 2018 enn i 2019. Den totale PDD har også vært høyere i 2018. Det er imidlertid viktig å huske at det er mange faktorer som virker inn på endringer i brefronten. Den lange reaksjonstiden til breer gjør det vanskelig å relatere endring i brefronten direkte med for eksempel en varm sommer.

I diskusjonen om hvor godt egnet satellittbildene er til å kartlegge brefronten gjennom smeltesesongene i 2018 og 2019, ble det vurdert hvor godt en kan fange opp endringene til fronten med den aktuelle oppløsningen til bildene, samt feil i posisjonen til satellittbildene og de visuelle egenskapene. Oppløsningen på tre til fire meter er god nok til å fange opp de store endringene i fronten, men ikke god nok til å måle hvor nøyaktig posisjonen til bildene er. Undersøkelser av brefronten i satellittbilder fra samme dag, viste at posisjonen til breen endret seg mer enn hva man vil forvente i løpet av den korte tidsforskjellen mellom bildene. Dette kommer trolig av feil i co-registreringen med satellittbildene fra Landsat. For å unngå denne feilen i et eventuelt videre prosjekt må bildene georefereres manuelt.

Satellittbildene fra Planet viste seg å ha både sterke og svake sider i kartleggingen av brefronten til Nigardsbreen gjennom sesongene 2018 og 2019. Begrensninger i dataene, hovedsakelig grunnet tett skydekke og feil i posisjonene til satellittbildene, fører til begrensninger i tidsoppløsningen til målingene gjennom sesongene. Disse begrensningene var størst i 2019. Oppløsningen til satellittbildene fra Planet er god nok til å fange opp forholdsvis små endringer i brefronten, men posisjonen samt de visuelle egenskapene til bildene begrenser nøyaktigheten til målingene. I et eventuelt videre prosjekt anbefales det derfor å georeferere bildene manuelt.

Satellittbilder fra Planet kan være et nyttig verktøy i mange sammenhenger. Denne oppgaven har gitt et innblikk i bruken av verktøyet, og ideer til hva det kan brukes til videre. Ved fremtidige prosjekter kunne det vært interessant å se på årsakssammenhenger mellom endringer i brefronten og ulike faktorer. For eksempel hvordan helningsgradienten til breen påvirker hvor raskt brefronten endrer posisjon.

Referanseliste

- Aasen, Jostein (2018) *Tidsserie brefoto, Nigardsbreen*. Hentet fra:
<http://glacier.nve.no/Glacier/viewer/GPP/no/nve/GlacierPictureInfo/2297>
- Andreassen, L. M & Winsvold, S. H (2012). Inventory of Norwegian glaciers: Norwegian Water and Energy Directorate
- Benn, I. D. & Evans D.J.A. (2010) *Glaciers & Glaciation, second edition*. Oxon: Routledge.
- Braithwaite, Roger J. (1995) *Positive degree-day factors for ablation on the Greenland Ice sheet studied by energy-balance modelling*. Journal of Glaciology, Volume 41, issue 137, 153-160. <https://doi.org/10.3189/S0022143000017846>
- Forssell, B. (2020). GPS. Hentet fra <https://snl.no/GPS>
- Kartverket. (2020, 22.05). CPOS. Hentet fra:
<https://www.kartverket.no/posisjonstjenester/cpos/>
- Kjøllmoen, B., Andreassen, L., Elvehøy, H. & Jackson, M. (2017). Glaciological investigations in Norway 2017 (Vol. 82). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Meteorologisk institutt (2017, 04.09). *Vertikal temperaturgradient*. Hentet fra:
https://snl.no/vertikal_temperaturgradient
- Nesje, A. (2015). *Brelære, Bre, landskap, klimaendringer og datering*. Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- NVE. (2020). Nigardsbreen – 2297, Frontendring. Hentet fra
<http://glacier.nve.no/Glacier/viewer/CI/no/nve/ClimateIndicatorInfo/2297?name=Nigardsbreen>
- Planet Labs Inc. (2019). *PLANET IMAGERY PRODUCT SPECIFICATIONS* (2019)
- Tønsberg, O. M. (2003). *Kartlegging av dynamikken på en fremrykkende bre - Nigardsbreen, Sør-Norge - vha GPS og fotogrammetri*. Oslo: Universitetet i Oslo.
- USGS (2017, 06.04) *USGS Global Positioning Application and Practice*. Hentet fra:
<https://water.usgs.gov/osw/gps/>
- Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Gärtner Roer, I., Huber, J., Machguth, H., Paul, F., and Hoelzle, M. (2017) *Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014–2015)*. Zurich, Switzerland: WGMS