

Fakultet for naturvitenskap og teknologi

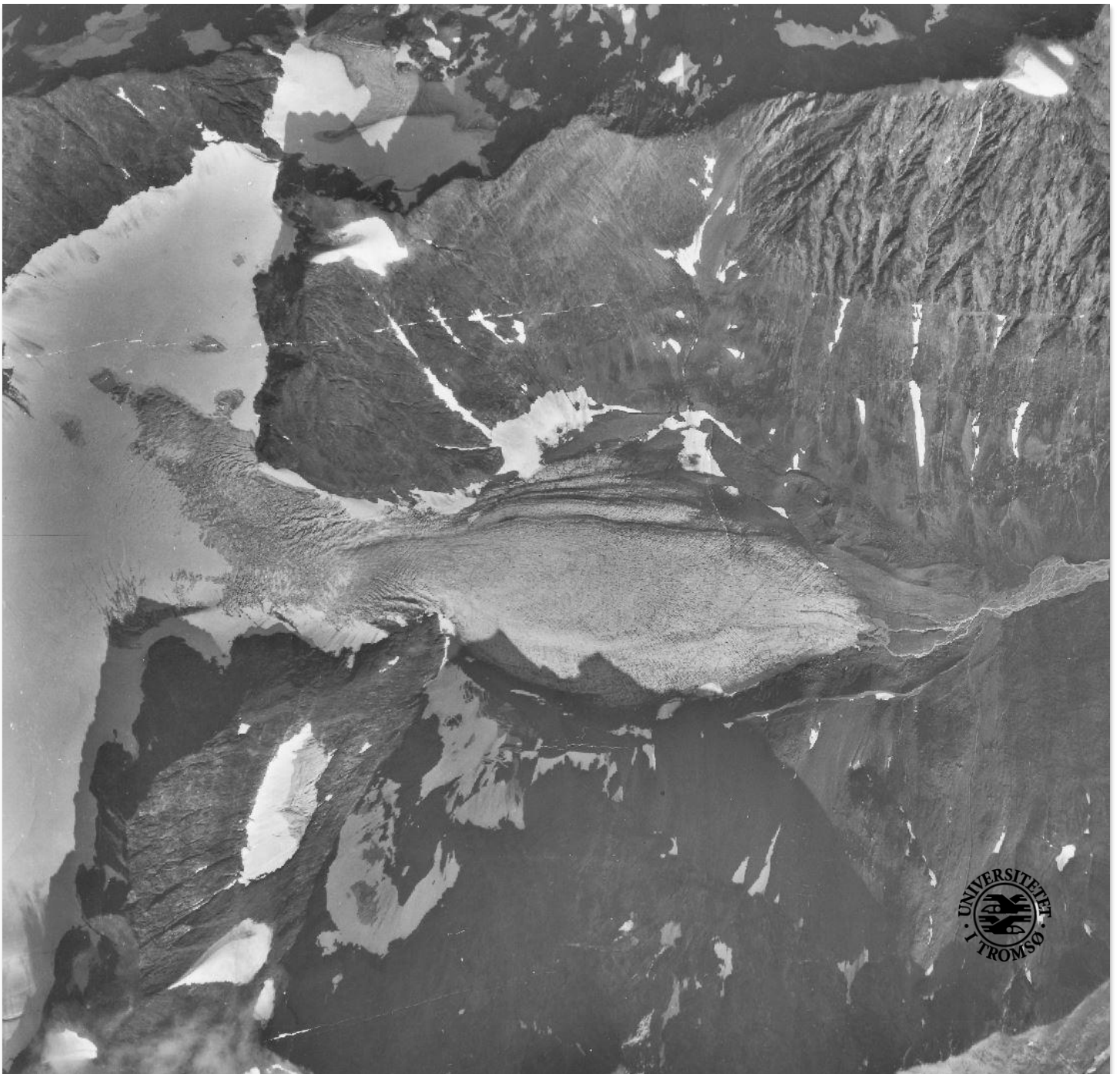
Institutt for geologi

Bretlbaketrekningshistorie og landformer foran Steindalsbreen, Lyngen, Troms.

—
Carina Nilsen

GEO-3900 Masteroppgave i Geologi

Juni 2016



Sammendrag

Sammendrag

Steindalen er lokalisert sør på Lyngenhavøya, i Troms fylke. Steindalsbreen er en av de lettest tilgjengelige breer i området. Dette gjør breen til et yndet turmål, men det gjør det også lettere å studere en bre på nært hold.

Undersøkelse av Steindalsbreen har foregått ved hjelp av feltturer til området, ved å studere foto og flybilder over området og ved å sammenstille data samlet over mange år, både av meg og av Geoff Corner. Disse data er brukt for å sammenstille tilbaketrekningshistorien for Steindalsbreen. Tilbaketrekningshastigheten har variert fra ~0 til 30 meter per år, men breen har også hatt et fremrykk. Siden den lille istid har breen trukket seg tilbake en distanse på 1230 meter, og siden 1953 har breen hatt en tilbakegang på omtrent 800 meter.

Dataene er også brukt for å lage et geomorfologisk kart over området foran Steindalsbreen. Kartet inkluderer formelementer som randmorener, flutes, breelvsletter, slukrenner og dødisgroper. Elementene er videre brukt for å konkludere hvilke prosesser som har vært avgjørende i de ulike fasene av tilbaketreknningen.

Breens form og utbredelse har gjennomgått stor forandring i løpet av studieperioden, og dagens breform minner mer om en botnbre enn en dalbre. I forhold til andre sammenlignbare breer er tilbaketreknningen av Steindalsbreen inne i en normal fase.

Oppgaven viser videre at Steindalsbreen med stor sannsynlighet er borte innen utgangen av dette århundret. Det er videre to mulige alternativer for området. Området vil enten fylles med sedimenter avsatt av breen, eller en bresjø vil dannes i dets sted. Den avgjørende faktor er tilgjengelig mengde materiale under dagens bre og oppe i brefallet.

Sammendrag

Forord

Jeg vil med dette takke mine veiledere, Geoff Corner og Erland Lebesbye, for god veiledning gjennom hele oppgaven, og for å svare på mine mange spørsmål.

Tusen takk til Monica Winsborrow for å være behjelpelig med ArcMap når dette klikker.

Jeg vil også takke mine medstudenter for gode stunder, mange av dem i kantina, men hovedsakelig på kontoret, med mye latter og en del utbrudd, for å holde ut de lange dagene.

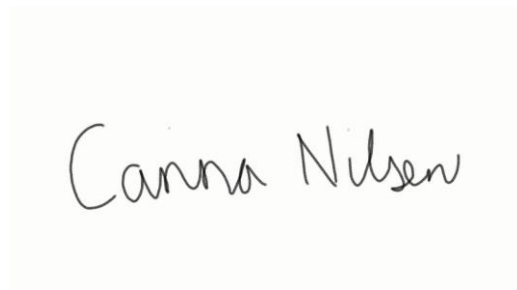
Jeg vil spesielt takke Heidi Storjord for felles feltturer og uendelig mange diskusjoner om isbreavsetninger, breprosesser og breelvsletter. For varme dager og for kalde netter ute i bushen, med kjedelig mat, sauer så langt øyet kunne se, leire, regn og bratt terreng er bare noe av det vi måtte gjennom. Men det var fint allikevel... Og vi kom oss i mål, begge to.

Tommelen opp for oss!

Jeg vil også takke min gode kontorvenninne, Ida Grindal Skagseth, for mye moro på kontoret og for å være den reddende engelen hun er og hjelper til når alt av teknologi går inn for å motarbeide meg...

Også takk til NVE og Hallgeir Elvehøy for at han var villig til å dele sine data oppsamlet om Steindalen gjennom mange år.

Jeg vil ellers takke mine nærmeste og mine venninner, som oppmuntret meg gjennom denne prøvelsen og etter hvert, forhåpentlig, merket mitt fravær den siste tiden. Jeg håper dere fortsatt er der ute, og at jeg får komme inn i varmen igjen 😊



Carina Nilsen

Sammendrag

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	I
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn og isbreteori	1
1.2 Formål med masteroppgaven	4
1.3 Beliggenhet.....	4
1.4 Steindalsbreen	5
1.5 Terminologi og definisjoner brukt i oppgaven.....	8
1.6 Klima.....	11
2 Geografisk og geologisk oversikt.....	13
2.1 Lyngahalvøyas berggrunnsgeologi	13
2.2 Kwartærgeologi i Norge.....	14
2.3 Kwartærgeologi i Troms	16
3 Metode og materiale.....	19
3.1 Feltarbeid og innsamling av data	19
3.2 GPS.....	20
3.3 Bilder og flyfoto	20
3.4 Programvarer og framstilling	21
3.5 Feilkilder	22
4 Resultater og tolkning	23
4.1 Avsetningsformer i området foran Steindalsbreen.....	23
4.1.1 Berggrunnsterskel.....	25
4.1.2 Morener	26
4.1.2.1 Bunnmorene	26
4.1.2.2 Randmorener	28
4.1.2.2.1 Morenerygg 1	30
4.1.2.2.2 Morenerygg 2	31

Sammendrag

4.1.2.2.3	Morenerygg 3	31
4.1.2.2.4	Randmorene 4.....	33
4.1.3	Breelvsletter	33
4.1.3.1	Nedre breelvslette	34
4.1.3.2	Midtre breelvslette	34
4.1.3.2.1	Strandlinjer	37
4.1.3.3	Øvre breelvslette	38
4.1.4	Flutes	38
4.1.5	Bart fjell.....	39
4.1.5.1	Skuringsstriper	40
4.1.6	Drenering foran og under breen	42
4.1.7	Kames og kameterrasser.....	43
4.1.8	Dødisterreng	45
4.2	Rekonstruksjon av breens tilbaketrekning	50
4.2.1	Bretilbaketrekning basert på flybilder	52
4.2.1.1	Rygg 3 - 1953.....	52
4.2.1.2	1953 - 1977	54
4.2.1.3	1977 - 1979	54
4.2.1.4	1979 - 1993	55
4.2.1.5	1993 - 2006	56
4.2.1.6	2006 - 2011	56
4.2.1.7	2011 – 2015.....	57
4.2.1.8	Samlet data.....	59
4.2.2	Bretilbaketrekning basert på bakkemålinger	60
4.2.2.1	1953-1976	62
4.2.2.2	1976-1980	62

Sammendrag

4.2.2.3	1980-1985	62
4.2.2.4	1985-1990	62
4.2.2.5	1990-1994	63
4.2.2.6	1994-1997	63
4.2.2.7	1997-2010	63
4.2.2.8	2010 – 2015.....	64
4.2.2.9	Samlet data.....	64
4.2.2.10	Feilmarginer på bakkemålingene	67
4.2.3	Skiltene plassert ved datidens brefront.....	69
4.3	Randmorenenes alder	71
4.4	Endringer i breens utseende og karakter i perioden 1953-2015.....	71
4.4.1	Midtmorenen	73
4.4.2	Brefrontens karakter	77
4.4.3	Breens tykkelse	79
4.4.4	Breens form	81
4.5	Tilbaketrekning gjennom smeltesesongen	82
5	Diskusjon.....	85
5.1	Randmorener	85
5.1.1	Rygg 1 - rygg 2.....	87
5.1.2	Rygg 2 - rygg 3.....	88
5.2	Tilbaketrekningshistorie for Steindalsbreen.....	88
5.3	Tilbaketrekning i forhold til andre nordnorske breer	90
5.4	Tilbaketrekning i forhold til klima	91
5.5	Framtidsprognoser.....	94
6	Konklusjoner	97
7	Referanser.....	99

Sammendrag

8	Vedlegg	103
	ArcMap.....	103
	Definisjoner og terminologi brukt i forbindelse med ArcMAP.	103
	Nedlastning og importering av flybilder fra Norge i bilder OK?.....	104
	Importere informasjon fra Garmin 64st til datamaskinen	104
	Data overført fra Excel til ArcMap	105
	Georeferere bilder og figurer.....	106
	Lage shapefiler	106
	Arbeid utført i Steindalen	107

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn og isbreteori

Det har vært utført kontinuerlig forskning av Steindalsbreen i en årrekke, både av Geoff Corner og av Norge vassdrags- og energidirektorat (NVE). I tillegg til disse var en gruppe fra Saint Luke's College i England, i regi av J. G. Vessey, i Steindalen i en periode på flere måneder. De satte seg som mål å studere Steindalsbreens hydrologiske evner; drenering under smeltesesongen og kapasitet for vannlagring. (Vessey 1966) konkluderte at isbreer kan ha et komplisert nettverk av kanaler som kan holde på store mengder med vann. Smeltevann kan bruke flere dager på å drenere fra breen, eller det kan bli lagret for så å tappe alt i et stort utbrudd.

Førsteamanuensis ved UiT, Geoff Corner, har studert Steindalsbreen siden 1976. Data han har samlet inn inkluderer posisjoner av både brefront og andre interessante elementer i området. Han har også tatt en god del bilder av både isbreen og dreneringsområdet foran breen.

Ballantyne (1990) aldersbestemte de neoglasiale moreneryggene på Lyngenhavøya. Til dette brukte han lavkronologi og sammenlignet størrelse av lavrosene på ulike høydemeter. De tre yngste moreneryggene i Steindalen ble datert til å være henholdsvis fra 1910-20, 1865-80 og alder et sted mellom LIT-Preboreal.

Deglasiasjonshistorien av Lyngen-Storfjordområdet i Troms ble rekonstruert av Corner (1980). Konklusjonen var at de indre fjorddalene (nedre Skibotndalen) trolig ble isfrie for 9100 ^{14}C år siden.

Isavsmeltingen i vestre Troms ble rekonstruert av Andersen (1968).

UiT har arrangert kurs opp til Steindalsbreen i en årrekke. I de siste årene i forbindelse med kvartærkurset som holdes hvert år. I sammenheng med kurset og annet arbeid er det publisert populærvitenskapelige beskrivelser av Steindalen og området omkring (Sveian et al. 2004, Corner et al. 2008).

Tidligere i år (2016) ble det publisert en masteroppgave fra Steindalsområdet. Tittelen lyder Morfologisk og sedimentologisk undersøkelse av sanduravsetninger foran Steindalsbreen, Lyngen, Troms. (Storjord 2016).

Introduksjon

Et kvartærgeologisk kart i målestokk 1:50 000 er under arbeid (Corner og NGU).

"En bre er en masse av snø og is som vesentlig ligger på land og som er, eller har vært, i bevegelse." (Bjerknessenteret 2009) En bre beveger seg fra høyere til lavere høydegrader ved hjelp av dens egen vekt og tyngdekraften.

Isbreer, dannet i perioder kaldere enn i dag, har pløyd seg gjennom landskapet ved å benytte svakhetssoner i berggrunnen formet av tidligere elver eller tektonisk aktivitet. Gjennom millioner av år og i flere perioder har is bidratt til å forme landskapet rundt oss. Breene har i samme prosess dannet store mengder løsmateriale som har blitt revet løs fra berggrunnen.

Denne glasiale avsetningen har dannet morenedekke av ulikt slag og avsatt materiale så langt unna som dyphavene. Endemorener viser tidligere grenser for daværende og eksisterende isbreer, og gir verdifull informasjon om isbreaktivitet og paleoklima. (Benn et al. 2010)

Tidsperioden vi er inne i nå kalles Holocen. I Holocen inngår de siste 11 500 år, og perioden har generelt preget av varmt klima som resulterte i at siste rest av innlandsisen smeltet bort (Ramberg et al. 2006). Første halvdel av Holocen var hovedsakelig preget av varmt klima, 1-2 grader varmere enn i dag. (Nesje 2012) De fleste breer var på den tiden mindre enn i dag eller helt nedsmeltet. (Ramberg et al. 2006) Mot slutten av siste istidsperiode, Weichsel, inntraff flere kortere kalde perioder, deriblant *Eldre Dryas* og *Yngre Dryas*, se kapittel 2.2. Midtveis i Holocen sank temperaturen, og spesielt 3800 år før nåtid, da breene rykket frem. Den kaldeste perioden i Holocen var under *Den lille istid* da de fleste breene vokste, og spesielt rundt 1750 (Setså 2014), i begynnelsen av denne perioden. *Den lille istid* er i Europa regnet til 1650-1920. (Nesje 2012)

Det var mot slutten av denne perioden at de største moreneryggene i Steindalen ble dannet (Ballantyne 1990). Siden *Den lille istid* har breene vært i stadig tilbaketrekning.

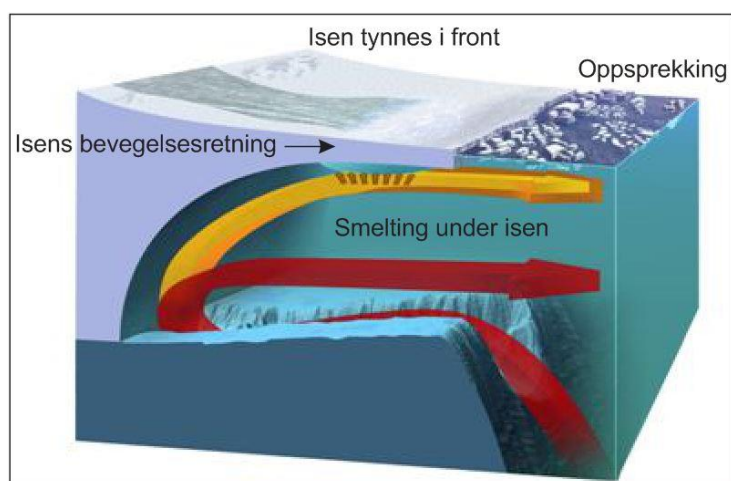
Isbreer kan enklest studeres ved å betrakte dem som et system, med tilførsel og avsmelting, eller *akkumulasjon* og *ablasjon*. Det er en del flere faktorer som spiller inn i en isbres massebalanse, som samspillet med atmosfæren, landskap, hav og elver. (Benn et al. 2010) Også geotermisk energi påvirker isbreene og vil føre til en negativ massebalanse.

Introduksjon

En isbre vil hovedsakelig få tilførsel av masse fra snøfall, men skred fra omkringliggende, høyere parti vil også bidra til å øke massen til en isbre, enten materialet som faller er snø eller stein. Også snø tilført med vind vil ha en positiv effekt på massebalansen. (Benn et al. 2010)

Isbreer klassifiseres i tre kategorier, basert på om isen i bunnen av breen er ved eller under trykksmeltepunktet. De ulike kategoriene kalles *tempererte breer*, *polare breer* og *polytermale*, eller subpolare, isbreer. *Tempererte breer* er på smeltepunktet i alle nivå av breen, og har et tynt overflatelag som følger sesongens temperaturvariasjoner. *Polare breer* er kalde gjennom hele breen og frosset til underlaget, og *polytermale breer* er en kombinasjon av de to foregående kategoriene. *Tempererte breer* finnes der både sommertemperaturen og vinternedbøren er høy. (Benn et al. 2010) *Tempererte breer* vil bevege seg annerledes enn kalde breer (Jenssen 2008), og vil være mer dynamisk aktive (Elvehøy et al. 1995). Dette fører til at *tempererte breer* har en høyere grad av erosjon enn kalde breer, som gjerne er fastfrosset til underlaget. *Tempererte breer* har også en annen smelteprosess enn kalde breer, og vil på grunn av det lave smeltepunktet smelte både fra undersiden så vel som fra oversiden.

Smeltevann fra isbreer kan, av ulike årsaker, danne bresjøer, eller brevann. Det kan for eksempel være en sjø som er oppdemmet av isbreen eller en sjø dannet foran breen, der topografien til landskapet gjør dette mulig. Denne oppsamlingen av vann vil alltid inneha en form for sirkulasjon. Sirkulasjonen av vannet vil kunne transportere relativt varmt vann opp mot undersiden av breen, og videre transportere det da nedkjølte vannet bort fra breen, slik at dette er en pågående prosess. Den tilførte varmen vil smelte isen, som da vil kunne sprekke opp og knekke av, teori som vist i figur 1.1.



Figur 1.1: Smelting under og oppsprekking av isen. Samme teori som for Steindalsbreen, men i noe mindre skala, og uten kanalen med oppstrømmende vann (rød pil). Vannet samlet foran Steindalsbreen vil fortsatt ha sirkulasjon, vist med den gule pilen. Modifisert fra NASA (Ippolito 2010).

Introduksjon

Dersom isbreen er massiv nok til å motstå kreftene som oppstår når isen begynner å smelte på undersiden, og ikke sprekker opp knekker, vil undersiden av isen smelte opp til vannoverflaten. Se figur 4.4.2 e og f.

1.2 Formål med masteroppgaven

Hovedformålene med denne oppgaven er hovedsakelig å rekonstruere Steindalsbreens tilbaketrekningshistorie, fra *Den lille istid* og fram til dagens brefrontposisjon. Målet er å finne tilbaketrekningshastigheten av breen og finne ut om hastigheten har blitt forandret. Dette gjøres ved å se på kjente brefrontposisjoner fra tidligere, publiserte og upubliserte, bilder og ved data samlet inn av Geoff Corner gjennom en årrekke.

Dernest skal formelementer i området foran breen kartlegges og et geomorfologisk kart skal fremstilles. Målet med dette er å vise utbredelsen av de ulike elementene, og ut fra dette konkludere breens tilbaketrekningsforløp og -hastighet over landskapet. Dette er interessant fordi bilder ikke alltid viser hele historien. Det er også nyttig å ha et kvartærgeologisk kart for å kunne danne seg et bilde av hvordan området ser ut og ut fra dette kunne tolke hva som eventuelt kan ligge under overflaten.

Videre skal elementer som breform og midtmorene dokumenteres og tolkes. Bildet denne dokumentasjonen kan gi vil være interessant for å kunne se forandringer over tid.

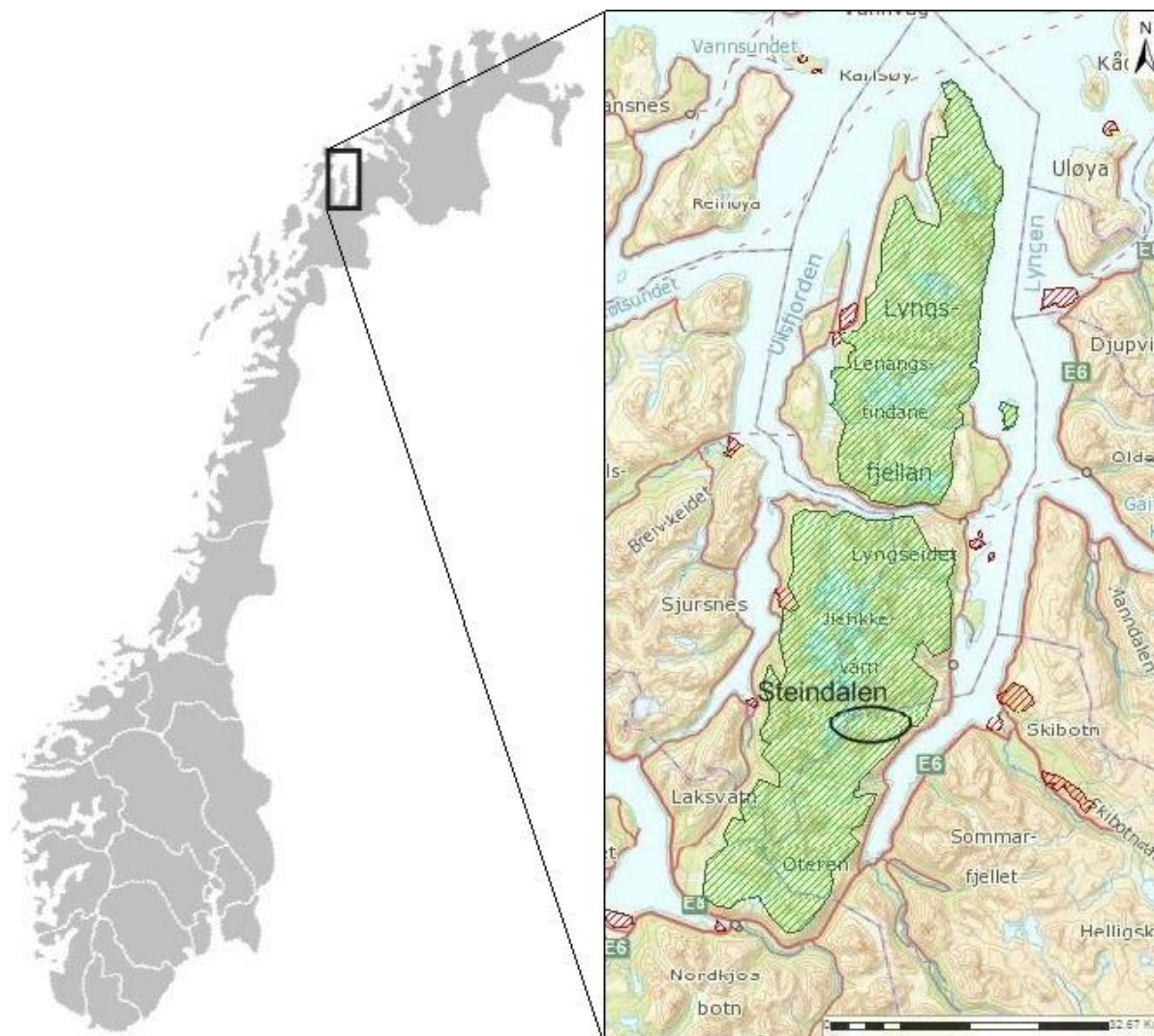
Til sist blir prognoser for framtiden foreslått. Vil Steindalsbreen bestå i framtiden? Vil breen trekke seg tilbake, og bli borte? Og i samme prosess etterlate en bresjø? Eller en breelvslette?

Spørsmålene er mange, og noen av dem vil bli forsøkt å svare på.

1.3 Beliggenhet

Steindalen er lokalisert i Storfjord kommune i Troms fylke i Nord Norge, 69,5° N og 20° Ø, se figur 1.3. Dalen ligger sørlig side av Lyngenthalvøya, sør for Furuflaten, og nord for Oteren. I luftlinje ligger Steindalen 52 km sørøst for Tromsø. Den er omtrent 6 km lang, øst-vestorientert med åpning mot Storfjorden.

Introduksjon



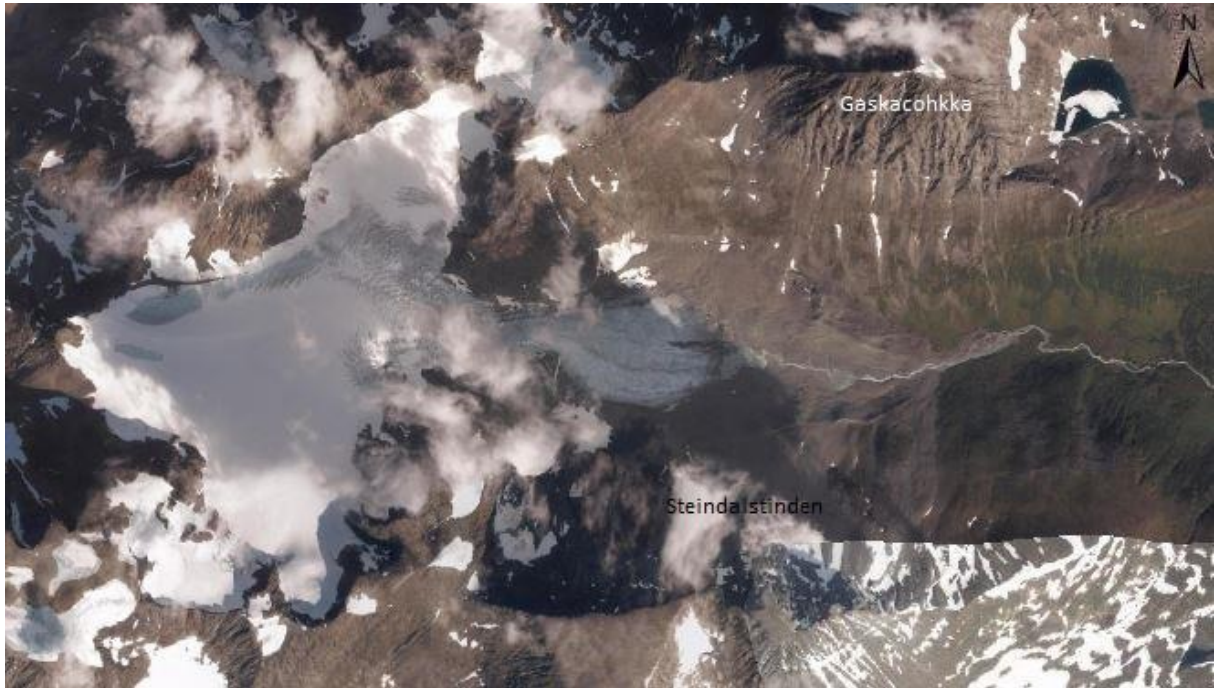
Figur 1.3: Kartutsnitt over Lyngsalpan naturvernrområde, med Steindalen (innringet) lokalisert i sørlige del. Modifisert fra NDLA (Høines 2016) og Miljøstatus.no (Miljøstatus.no 2016).

Steindalen er en del av *Lyngsalpan naturvernrområde*. Verneområdet ble opprettet i 2004 for å bevare fjellområdene med breer og spisse tinder på Lyngsalpan. (Miljøverndepartementet 2004)

1.4 Steindalsbreen

Steindalsbreen var i 1953 omtrent 1 km lang fra brefallet som skiller brearmen fra hovedbreen, se figur 1.4 a. Fra 1953 og fram til august 2015 har breen trukket seg tilbake omtrent 800 meter, og det er omtrent 1200 meter fra brefronten til den østre grense av den yngste moreneryggen, *morenerygg 3*. Steindalsbreen har avsatt flere morenerygger i dalen, og de tre sist avsatte vil bli videre diskutert i denne oppgaven.

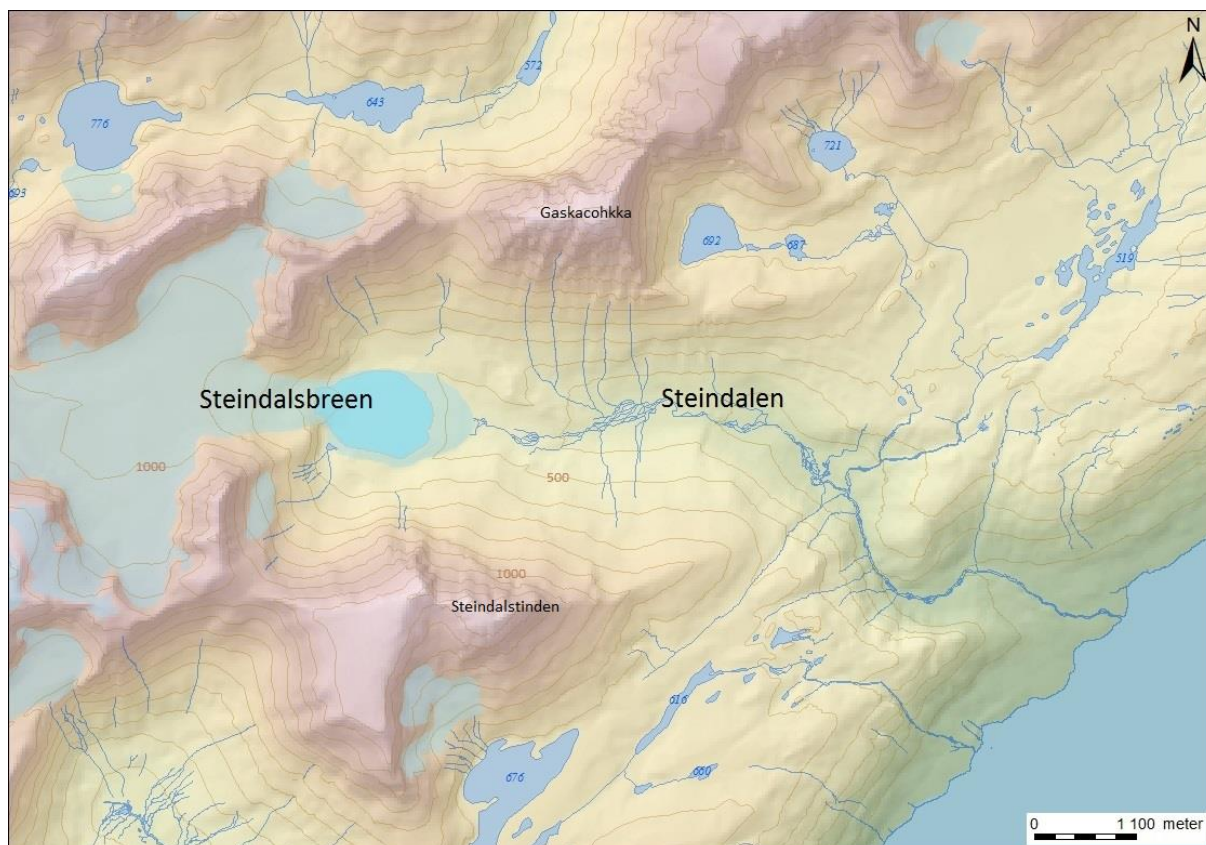
Introduksjon



Figur 1.4 a: Kartutsnitt av Steindalsbreen og området foran breen, med nedre breelvslette til høyre i bildet. Bildet er hentet fra Norge i bilder (Kartverket et al. 2006, Kartverket et al. 2011).

Nordsiden av dalen avgrenses av *Gaskaohkka*, 1507 meter høyt, og på sørsiden finner man *Steindalstinden* med 1511 meter over havet. Steindalsbreen, og øvre del av morenelandskapet, er lokalisert 460 meter over havet. Dalen har i den øvre delen to slake parti, der 3-4 elvesletter er dannet. Elveslettene er separert av et stryk og elven renner over et noe brattere terreng på grunn av en berggrunnsterskel, se kapittel 4.1.1. Steindalen får lite tilført energi i form av direkte solinnstråling. Dette er på grunn av de høye fjellene som innhyller dalen i nord og sør.

Introduksjon



Figur 1.4 b: Kart over Steindalen, med Storfjorden i nedre høyre hjørne. Originalfiguren i bildet viser brestørrelsen i 1993, med dagens (august 2015) brearms utbredelse i mørkere blå over. Modifisert i ArcGIS.

Steindalsbreen er en dalbre i tilbaketrekking. Den undersøkte brearmen er forholdsvis tynn i fronten og har en slak helning oppover mot brefallet i øst. Selve brefallet har en utstrekning på omtrent 300 høydemeter, over en strekning på en kilometer, opp mot hovedbreen. Hovedbreen har små utløp i nord, vest og sør, der de to mot nord og sør er omtrent en kilometer lange, mens utløperen mot vest er omtrent 800 meter i utstrekning. Brearmen mot øst, Steindalsbreen, har overlevd som en større enhet, med en utbredelse på 1,8 kilometer øst fra hovedbreen i 2011.

Steindalsbreen er klassifisert som en temperert, dynamisk inaktiv dalbre.

Akkumulasjonssonen, og da også likevektslinjen, er lokalisert på oversiden av brefallet.

Breen hadde i 1993 et areal på 4,81 km² (NVE 2014) og ligger på et høydeintervall mellom ca. 450-1450 meter over havet. Hovedbreen har sin største utbredelse mellom 900-1100 meters høyde, og breen har et brefall østover (mot Steindalsbreen) omtrent mellom 600-900 m. o. h.

Introduksjon

Oversiktsbilder, tatt ved et utkikkspunkt på den høyeste toppen på den yngste randmorenen, viser at isen øverst i brefallet danner en svak konkav form.

1.5 Terminologi og definisjoner brukt i oppgaven

Her følger en forklaring av noen av begrep brukt i oppgaven.

Tabell 1	Terminologi og definisjoner brukt i oppgaven
Ablasjonsmorene eller nedsmeltingsmorene	Uregelmessige og haugete avsetninger av løsmasser som lå en- eller supraglasialt. Materialet ble avsatt da isen smeltet ned. (Sigmond et al. 2013)
Breelvslette	En nesten flat, stor dalinnfylling av breelvmateriale med mange forgreininger i elveløpet. Disse skifter stadig løp, avhengig av mengde materiale og styrke på vannføringen. Etterhvert som elven avsetter materiale vil løpet forflytte seg vertikalt og lateralt. (Nesje 2012)
Bunnmorene (<i>ground moraine</i>)	Usortert materiale fra leire til blokk størrelse som isbreen har løsnet fra berggrunnen og dratt med seg. Dette materialet blir liggende underst når breen smelter ned. (Sigmond et al. 2013)
Dødis (<i>dead ice</i>)	Stagnerende is som har mistet kontakt med breen og som smelter ut. (Sigmond et al. 2013)
Dødishaug eller drittkjegle, (<i>dirt cone</i>)	Is har blitt begravd av sedimenter avsatt oppå breen. Når den resterende ismassen smelter danner sedimentene en kjegleform. (Landforms 2016)
Dødisgrop (<i>kettle hole</i>).	Dødis hindrer avsetning av sedimenter i det aktuelle området. Sedimenter avsettes rundt isen og kan isolere isen. Når isen smelter vil sedimentene danne en forsenkning i landskapet. (Bryhni 2016)

Introduksjon

<i>Flutes</i> eller <i>fluted moraine</i> (stripet morene)	Avlange strømlinjeformete rygger av sedimenter dannet subglasialt og som er orientert i breens bevegelsesretning. Disse formelementene dannes når breen beveger seg over en liten hindring i terrenget, dette være seg en blokk fastfrosset til underlaget eller en del av berggrunnen som stikker opp. Disse formene finnes ofte i marginen til en tilbaketrekende isbre og det finnes gjerne flere av dem parallelle til hverandre. (Benn et al. 2010)
Kames	Består av sortert breelv-/bresjømateriale. Dette er frittliggende hauger som kan være avsatt supra-, en- og subglasialt eller lateralt. (Nesje 2012) Haugene kan være kjegleformet, langstrakte og brattsidet. (Sigmond et al. 2013)
Kameterrasse eller dalsideterasse (<i>kame terrace</i>)	En flattoppet terrasse som er bygget opp av en breelv som rant mellom en dynamisk død isbre og dalsiden. Sedimentene er sorterte og består i hovedsak av sand og grus.
Laterale renner eller spylerenner	Kanaler av smeltevann som har rent langs kanten av breen. Vannet har erodert i tidligere avsatt bunnmorene og viser brefrontens tidligere posisjon. Rennene kan være en- eller tosidige. (Jørgensen et al. 1997)
LIT (<i>LIA</i>) = Den lille istid (<i>Little Ice Age</i>)	En kald periode som i Norge falt rundt 1650-1920. (Nesje 2012)
Pushmorene	Liten randmorene, som er orientert på tvers av brebevegelsen. Morenen stammer fra et mindre brefremstøt av en isbre som i utgangspunktet er i tilbaketrekking og kan være representert årlig. Materiale som tidligere er avsatt blir skjøvet oppover av breen. (The Geography Site 2006)
Preboreal tid	En varm periode etter siste istid, og klassifiseres til >10 000 - 11 500 (Ramberg et al. 2006)

Introduksjon

Skyveflak	I den plastiske isen dannes skyveflak når breen beveger seg framover, noe som gjør at isen brekker av og blir tynnere enn selve breen og vil i teorien smelte fortere. Den rask smeltende breen vil begrave isen i sedimenter som skyller ut av breen. Når den begravde isen smelter vil det bli dannet dødisgroper. Disse trekkene fører til at landskapet vil virke kaotisk. (Jørgensen et al. 1997)
Skyveplan	Dannes i nedre del av isen, mot fronten, der isen er noe tynnere på grunn av smelteprosesser. Det dannes skyveflak i isen når den nedre delen av ismassen, mot underlaget, blir "hengende igjen" på grunn av friksjon mot underlaget.
Slukrenner (<i>subglacial chute</i>)	Erosjonsspor i løsmasser eller fast fjell dannet av smeltevann. Rennene er lokalisert på tvers av brebevegelsen. (Mæhlum 2016) Prosessen skyldes stor isavsmelting.
Stagnerende is (<i>stagnant ice</i>) eller dynamisk død is	Is som ikke lenger er i bevegelse.

Tabell 1.5: Terminologi og definisjoner brukt i oppgaven.

1.6 Klima

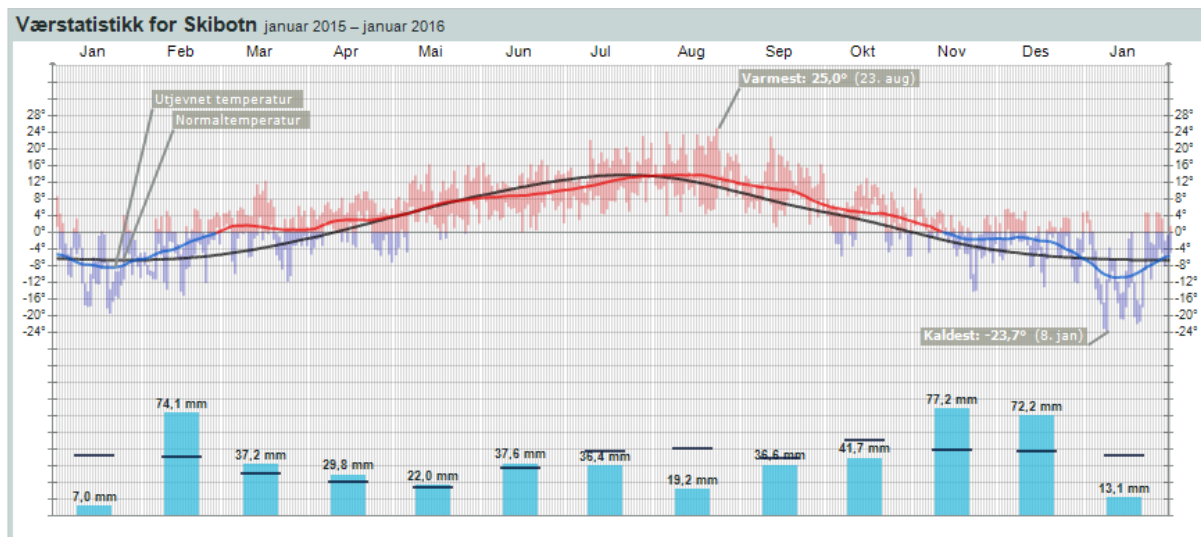
Oversikt over siste års klima vil først bli presentert, så kommer en oversikt over klima for en lengre periode. Målet er å prøve å koble bretilbaketrekingen opp mot klima og se om det er noen sammenheng mellom disse.

Nærmeste målestasjon er i Skibotn, som er lokalisert omtrent 9 km unna. Stasjonen er plassert lenger ned i terrenget og er orientert annerledes i landskapet i forhold til Steindalen.

Steindalen ligger på vestsiden av Storfjorden og østsiden av Lyngsalpene, mens Skibotn er orientert på østsiden av Storfjorden og vestsiden av fjellene på innlandet. Dette har betydning for den målte nedbørsmengden i området, og Steindalen har, ifølge Meteorologisk institutt, høyere nedbørsmengde enn Skibotn. Det faktum at Steindalsbreen er plassert høyere i terrenget enn Skibotn målestasjon gjør at temperaturene i Steindalen er noe lavere enn de som er målt ved stasjonen. Dette gir en kortere smelteperiode enn det som er antatt utfra statistikkene som er hentet fra Meteorologisk institutt (met.no 2016).

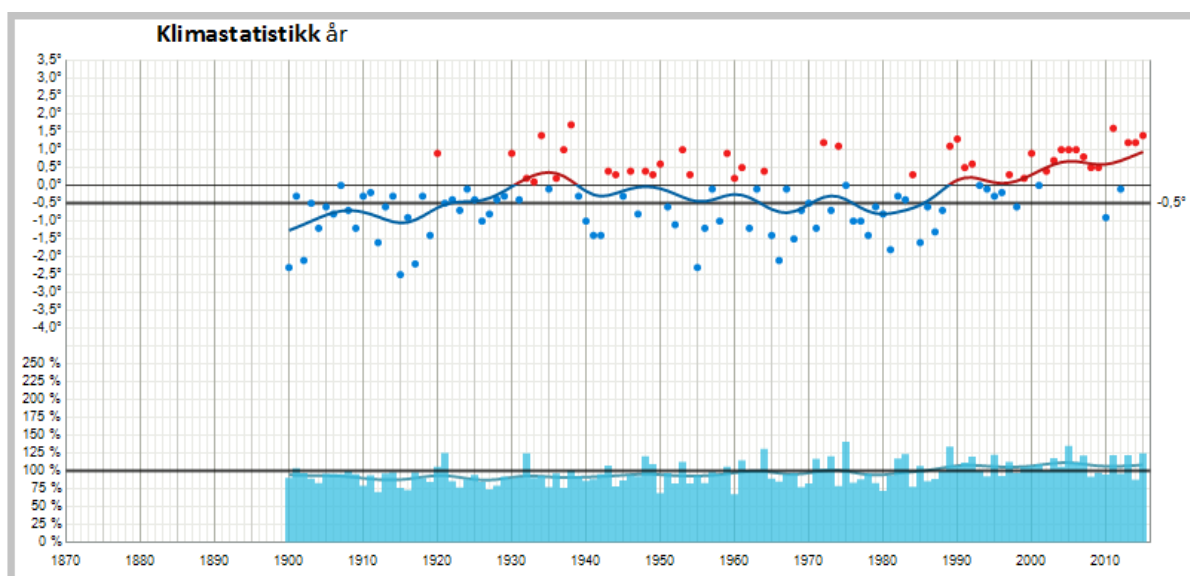
Klimastatistikk for 2015 viser at august var varmeste måned, med en gjennomsnittstemperatur på 13,7° og høyeste temperatur på 25,0°. Laveste temperatur ble målt i januar måned, med -23,7° og med en gjennomsnittstemperatur på -7,0°. Månedens med mest nedbør var november, med en topp 2. november med 41,4 mm, og minst nedbør hadde Skibotn i januar med kun 7 mm gjennom hele måneden. Gjennomsnittet på årsbasis var 3,9° og 491 mm.

Introduksjon



Figur 1.6 a: Klimastatistikk for Skibotn. Den røde/blå streken viser middeltemperaturen, den sorte linjen viser normaltemperaturen og de blå søylene nederst viser total nedbør, mens de sorte strekene over viser normalen for den gjeldende måneden. Modifisert fra Meteorologisk institutt (met.no 2016).

Målinger tatt over en periode på over hundre år (1900-2015) viser en økende trend, både med tanke på temperatur og nedbørsmengde, se figur 1.5 b. Klimaet ser ut til å bli gradvis varmere, med stadig færre middeltemperaturer under nullpunktet. Samtidig ser nedbøren ut til å øke svakt, og overstiger normalnedbørsmålingene nesten årlig.



Figur 1.6 b: Klimastatistikk for Nord-Norge. Den røde/blå linjen viser middeltemperaturen, de svarte linjene viser normaltemperaturen (1961-1990)(øverst) og normalnedbøren nederst. De blå søylene viser hvor mye nedbør som har falt i forhold til normalen (100%). Modifisert fra Meteorologisk institutt (met.no 2016).

2 Geografisk og geologisk oversikt

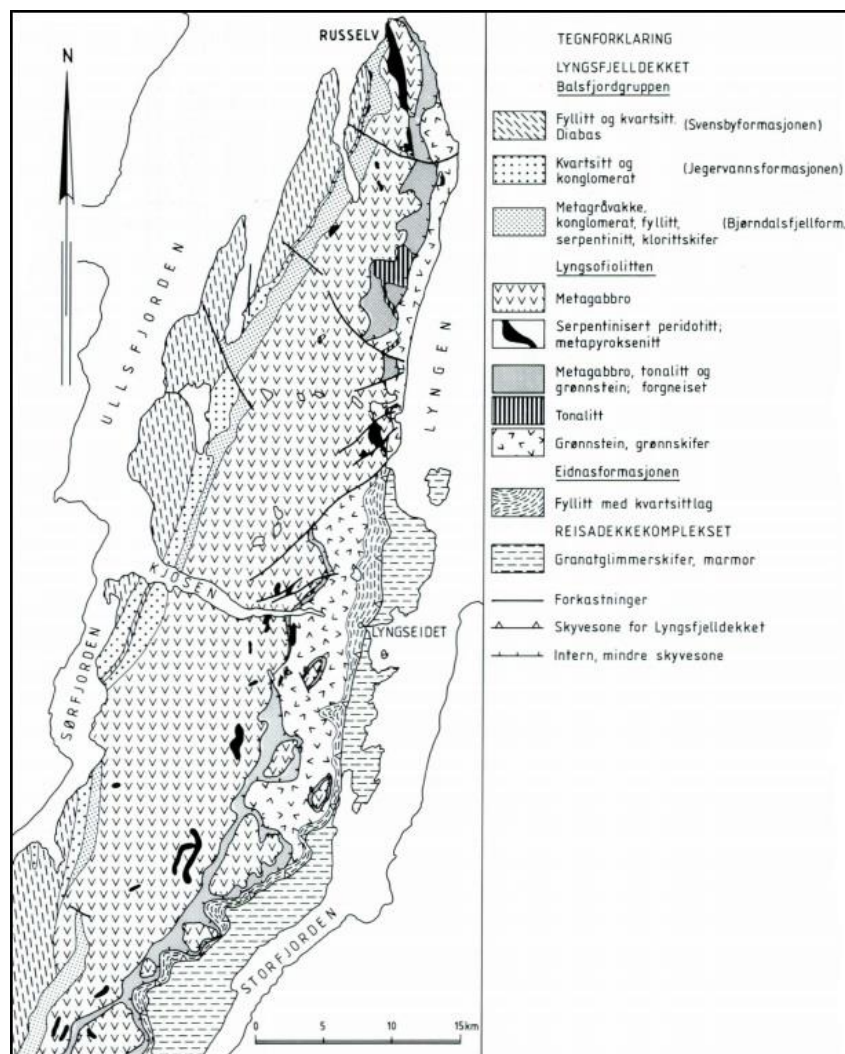
2.1 Lyngenthalvøyas berggrunnsgeologi

Lyngenthalvøya ble dannet da den Baltiske kontinentalplaten kolliderte med den Laurentiske platen, også kalt den Kaledonske fjellkjededannelsen. Dette skjedde i tidsrommet tidlig Silur til tidlig Devon for 430-405 millioner år siden. Ofiolittfragmentene som utgjør Lyngenthalvøya er aldersbestemt til å være ca. 480 millioner år gamle, tidlig Ordovicium. (Ramberg et al. 2006)

Ofiolittfragmentene, også kalt Lyngsofiolitten eller Lyngsgabbroen, består av gabbro og metagabbro. Gabbro er en magmatisk bergart som består av mye kalsium, jern og magnesium. De to sistnevnte er tunge metaller som er resistente mot erosjon (Ramberg et al. 2006), og er grunnen til at Lyngsalpene har fått den karakteristiske formen med de kvasse taggene. De under- og overliggende bergartene består av mykere bergarter, som skifer (under) og fyllitt (over og under) (Bøe 2004). Disse bergartene har blitt mer erodert og fått en flatere topografi, generelt uten det alpine landskapet. Se figur 3.1.

Den diskordant overliggende Balsfjordgruppen består i stor del av sedimentære bergarter, delvis erodert fra ofiolitten. Flere formasjoner inngår i Balsfjordgruppen, og noe intrusive ultramafitter er også tilstede, trolig fra et forkastningsplan (Grenne 1988).

Geografisk og geologisk oversikt



Figur 3.1: Kart T13. Lyngahalvøyas geologi. 1: 250 000 Nord-Reisa og Tromsø (NGU). Modifisert etter (Grenne 1988).

2.2 Kvartærgeologi i Norge

Kvartær er jordens siste, og hittil, korteste, istidsperiode. Denne perioden består av de siste 2,6 millioner år, og var karakterisert av store svingninger i klima og isvolum globalt. I løpet av denne perioden har det hittil vært om lag 40 istider og mellomistider. (NGU 2014)

I løpet av kvartærtiden har innlandsisen i Norge vært utsatt for flere klimaforverring og randmorener ble avsatt i flere steg. Disse avsetningene er avsatt både på land og på havbunnen. Til tross for breframrykk har klimaet blitt stadig varmere mellom 25 000 og 11 000 år tilbake. (Ramberg et al. 2006)

Geografisk og geologisk oversikt

Klimaet varierte i perioden da tilbaketrekningen av isen foregikk. Innlandsisen rykket fram og hadde stillstand opptil flere ganger, deriblant i *Eldre (Skarpnes-trinnet)* ble dannet) og *Yngre Dryas (Tromsø-Lyngen-trinnet)* og i den noe kortere "*Lille istid*". Isen dannet da randmorener, eller side- og endemorener, som viser breenes utbredelse både lateralt og vertikalt.

Periodene i kvartærtiden inntraff på ulikt tidsrom i forskjellige deler av verden, og ble tillagt forskjellige navn ut fra hvor i verden de ble omtalt. Her følger en oversikt over de aktuelle periodene i Norge og Skandinavia.

År før nåtid	Periode	Kommentar
0-2500	Subatlantisk	Inkl. <i>Den lille istid</i>
2500-5000	Subboreal	
5000-8000	Atlantisk	Tapes-strandlinjen dannet
8000-9000	Boreal	
10 500 – 11 500 (Ramberg et al. 2006)	Preboreal	Stordalstrinnene avsatt
11 500 – 12 800 (Ramberg et al. 2006)	Yngre Dryas	Hovedtrinnet / TL-trinnet avsatt (Andersen 1968)
11 000-11 800	Allerød	
11 800-12 000	Eldre Dryas	Skarpnes-trinnet avsatt
12 000-13 000	Bølling	
18 - 25 000 (Ramberg et al. 2006)	Siste istids maksimum	

Tabell 2.2: Oversikt over de ulike tidsperiodene i kvartær som er relevante for oppgaven.

Den lille istid var en periode som i Europa startet i 1315. Klimaet ble gradvis kaldere mot slutten av 1500-tallet (Tunstad 2007). Det offisielle tidsrommet for *Den lille istid* i Norge er 1650-1920 (Nesje 2012). *Den lille istids* maksimum regnes for å være rundt 1750, da de eldste av nyere tids randmorener ble avsatt (Halvorsen 2016). De ferskeste morenene ble avsatt rundt 1910-1920, da breene begynte sin hittil siste tilbaketrekning.

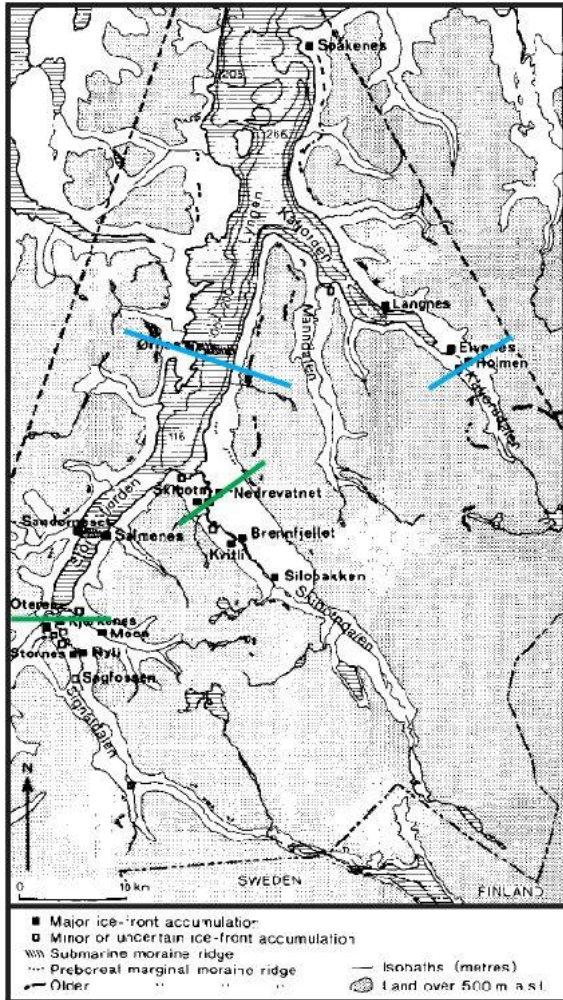
2.3 Kvartærgeologi i Troms

Spor etter *Skarpnestrinnet* består av markerte sidemorener og sterkt markerte endemorener. Endemorenene er lokalisert 3-8 km utenfor Tromsø-Lyngentrinnet, og ligger i de fleste tilfeller nær fjordmunningen. (Andersen 1968)

I løpet av *Tromsø-Lyngentrinnet*, også kalt *Hovedtrinnet*, ble de mest dominerende randmorenene i Troms dannet. Markerte side- og endemorener ble avsatt i fjordene. Dette trinnet ble avsatt hovedsakelig i *Yngre Dryas*, men startet muligens sin utvikling så tidlig som i *Allerød* eller *Eldre Dryas*. (Andersen 1968)

Sør i Lyngen hadde innlandsisen fortsatt forbindelse med lokalbreene til etter *Hovedtrinnet* for ca. 10 100-12 00 år siden (Andersen 1968). For 9 800-9 900 ± 150 ¹⁴C år siden lå innlandsisen ved Ørnes i Lyngen (*Ørnes-hendelsen*), og alle fjorder og daler sør- og østover var da fylt med is, sammen med daler mot vest (Corner 1980), se figur 2.2.1. Innlandsisen hadde trukket seg innover landet og lå ved Skibotn for 9 500-9 600 ± 150 ¹⁴C år siden (*Skibotn-hendelsen*), mens sørøstlige deler av landet var fortsatt islagte. (Corner 1980)

Geografisk og geologisk oversikt



Figur 2.2.1: Inlandsisens posisjon for 9 800-9 900 ± 150 år siden i blått (Ørnes-hendelsen) og for 9 500-9 600 ± 150 ¹⁴C år siden i grønt (Skibotn-hendelsen). Modifisert fra (Corner 1980).

Steindalen og de mindre, lokale dalene ble isfrie i tidsrommet mellom Ørnes- og Skibotn-hendelsene. Lokalbreene var på tur tilbake, og var med stor sannsynlighet forsvunnet helt for 9000 år siden. De lokale breene ble dannet på nytt for ca. 3000 år siden og nådde sitt maksimum under *Den lille istid*. (Sveian et al. 2004)

De mest markerte moreneryggene regnes å være dannet rundt 1750, 1850 og 1920. Siden da har breene hatt en generell tilbaketrekning. (Sveian et al. 2004)

Geografisk og geologisk oversikt

3 Metode og materiale

Det ble brukt flere metoder for å komme fram til en konklusjonen i denne studien.

De eldste dataene brukt i denne oppgaven ble samlet inn av Geoff Corner så tidlig som i 1974. Det ble da merket med maling på blokker ved brefronten. De påfølgende årene ble avstanden målt med målebånd fra de tidligere merkede blokkene til brefronten.

Det ble også brukt en avstandsmåler fra et fast holdepunkt for å måle avstanden til brefronten. Denne metoden anses å være ganske nøyaktig, men det krever en del arbeid for å få rekonstruert disse målingene.

De senere årene ble det brukt GPS for å samle inn data, se tabell kalt *Arbeid utført i Steindalen* lagt i vedlegg. Dataene ble så plottet inn i Excel for så å bli overført til ArcMap.

3.1 Feltarbeid og innsamling av data

Feltarbeidet ble gjennomført i tre omganger sammen med Heidi Størjord. Feltturene ble lagt til august 2014 (7-dagers opphold) og august 2015 (5-dagers opphold), i tillegg til en dagstur i oktober 2014.

Dagsturen i 2014 gikk ut på å ta oversiktsbilde av breområdet, ny posisjon av brefronten ble målt samt annen data samlet inn ved bruk av GPS. Dette ble gjennomført for å få flest mulig målinger å arbeide med, og for å ha flere sett med data fra samme år.

Første runde (august 2014) ble gjennomført med dagsbesøk av biveileder, og andre runde (august 2015) ble gjennomført med hovedveileder.

Data ble også tatt fra flybilder tatt av blant annet Fjellanger Widerøe og Norge i bilder. Store mengder tidligere innsamlet data ble lånt av veileder.

Feltarbeidet gikk ut på å samle inn data for å lage et geomorfologisk kart av morenematerialet som er akkumulert foran breen. Dette ble gjennomført ved å kartlegge blant annet randmorener, blottet berggrunn, spredning av de ulike typene morenedekke og flere ulike typer landformer. Observasjonene ble dokumentert ved fotografering, illustrasjoner, flyfoto og GPS. Orienteringen av flutes og skuringsstriper ble målt ved bruk av kompass med klinometer og GPS ble brukt for å stedfeste det hele.

GPS-punktene ble georefererte og satt inn i ArcMap for å kunne produsere et kart.

3.2 GPS

Instrumentet som ble brukt til innsamling av data er Garmin GPSMAP 64st. Både funksjonene *waypoint* (punkt) og *tracks* (spor) ble benyttet for å stedfeste landformene og elementene. Koordinatene ble så lagt inn i kart via programmet Basecamp, Garmin (2015) for å få punktenes posisjon lagt inn i kartet brukt på et senere tidspunkt.

De ulike elementene i felt ble markert av enheten (GPS-en), sammen med faste holdepunkter (skilt, store blokker) for å prøve å minimere antall feilkilder.

Enheten ble kalibrert før hver felttur ved hjelp av innebygde programmer.

3.3 Bilder og flyfoto

Flyfoto fra 2006 og 2011 ble hentet fra Norge i bilder (Kartverket et al. 2006) som ortofoto.

Flyfoto fra tidligere år var utført av Fjellanger Widerøe. Flyselskapet har tatt flyfoto av Norge siden 1934. Bildene er fra årene 1953, 1977 (to sett), 1979 og 1993.

Det var flere år med flyfoto tilgjengelig, nedenfor finnes en liste over de.

Årstall	Dato	Målestokk	Bildeserie	Kommentar	Kilde
2011 c	19.sep	10 cm oppløsning		Skygge, ellers bra.	Norge i bilder
2006 b	05.aug	1 m oppløsning		Lyst og fint.	Norge i bilder
1993	10.jul	40 000	11586-34	Lyst, mye snø.	Fjellanger Widerøe
1979	21.aug	40 000	6098-B3	Farge, skygge fra sør.	Fjellanger Widerøe
1977 b	06.aug	30 000	5526-M2	Skarpt, litt skygge.	Fjellanger Widerøe
1977 a	08.jul	15 000	5525-AL9	Kun sørlige del av bre.	Fjellanger Widerøe
1953	16.aug	40 000	563-D3	Bra, lite skygge.	Fjellanger Widerøe

Tabell 3.3: Kartdata med info som målestokk, bildeserienummer, dato og hvem som har tatt bildet.

De ulike flyfoto ble lagt inn i dataprogrammet ArcMap for å kunne trekke info ut av dem og for plassering av de morfologiske formentene.

Bilder til bruk i oppgaven ble lånt av både Geoffrey Corner, som har studert Steindalsbreen siden 1976, og bilder brukt i en upublisert rapport av John G. Vessey (1965).

Metode og materiale

Geoffrey Corner har samlet data i flere år i form av bilder og målinger. Bilder er tatt fra ulike vinkler i terrenget og med fokus på ulike trekk.

I juli 1965 dro flere medlemmer fra Saint Luke's College på ekspedisjon til Steindalsbreen, hvor John G. Vessey var leder for forskningsturen. Målet var å studere glasiologi, hydrologi, botanikk, zoologi og pedologi. Flere rapporter ble skrevet i ettertid av ekspedisjonen og lånt videre til Geoffrey Corner.

3.4 Programvarer og framstilling

De morfologiske kartene presentert i denne oppgaven ble produsert i ESRI ArcGIS 10.3 (2015). ArcGIS (geografiske informasjonssystemer) er en digital framstilling av objekter, designet for å lage kart og behandle geografisk informasjon (ESRI 2016). Innsamlede data ble lagt inn i programmet for framstilling av GEO-refererte figurer, hvor WGS 1984, UTM sone 34N ble brukt som referansesystem.

Garmin BaseCamp 4.6.2.0 ble brukt for å overføre koordinatene mellom enhetene (fra GPS til datamaskinen). Dette ble brukt i sammenheng med kartblad over Tromsø i skala 1:50 000.

Excel 2013 (Microsoft Office) ble brukt for å overføre data fra GPS-enheten til ArcMap, hvor dataene ble sammenstilt og redigert. Programmet ble også brukt for å sammenstille data og produksjon av grafer og tabeller. Redigering av tekst ble utført i Word 2013 fra Microsoft Office.

CorelDRAW X6 (64-Bit), 2013, ble brukt for å ferdigstille endel av bildene presentert i masteroppgaven. Dette er et dataprogram lagd for å designe alt fra vektorgrafikk til frihåndstegninger.

Programmet er en del av en pakke kalt CorelDRAW Graphics Suite X6, en grafisk pakkeløsning.

3.5 Feilkilder

Feilkildene i denne oppgaven kan være mange og ha ulik grad av unøyaktighet. Bruk av flybilder kan også medføre en del feilkilder. Her følger en forklaring av noen av disse:

Bilder tatt på ulike tidspunkt på året og døgnet gir ulik mengde snødekke, sol og skygge på ulike posisjoner som kan gjøre det vanskelig å sammenligne trekkene.

Bruk av GPS kan føre til flere feilkilder. Enkelte år kan det ha blitt merket av for få punkt med GPS-enheten for at brefrontposisjonen skal kunne bli nøyaktig. Det er også sjelden tatt målinger lateralt i isranden, men kun i front. Dette er på grunn av vanskelige forhold med dødis og finkornig materiale som øker faren for kvikkleire. Feilmarginer kan også inntreffe ved inntasting av datapunkter (kartdata) for å få de overført fra Excel til ArcMap. For hver inntasting har det blitt sjekket at alt stemmer, men glipp kan alltid oppstå.

Det faktum at målingene har blitt samlet inn av ulike instanser (NVE, G.C. og C.N.) så har målingene blitt tatt med ulike utgangspunkt i forhold til fronten og senter av breen. Dette gjør det vanskelig å sammenligne data i ettertid.

Noen av de eldre flybildene er av noe dårligere kvalitet i form av dårligere oppløsning og uheldig valg av farge. Dette har gjort det vanskelig å studere de mindre formene.

Ulik skygge og snødekke har gjort georeferering i ArcMap vanskelig. Også den store forskjellen i vinkelen som tilføres ved å kombinere et flyfoto (ovenfra) med et skråstilt bilde gjør at de georefererte bildene ble kornete. Det er derfor valgt å ikke bruke disse bildene.

Alle målinger av brefronten ble lagt inn i kart i ArcMap. De brefrontposisjonene som ble målt med målebånd har blitt målt fra samme utgangspunkt, men posisjonene av målingene kan ha blitt plassert i programmet med en variasjon mot nord/sør. For å kompensere for dette har det konstruert to linjer som målingene har blitt plassert langs, kalt *Profillinje 1* og *2*. Avstanden til breen burde være reell, men sammenstilling av flere målinger har avdekket feilmarginer opp mot 6 % ved brefrontmåling med målebånd, se kapittel 4.2.2.10 og tabell 4.2.2.10.

4 Resultater og tolkning

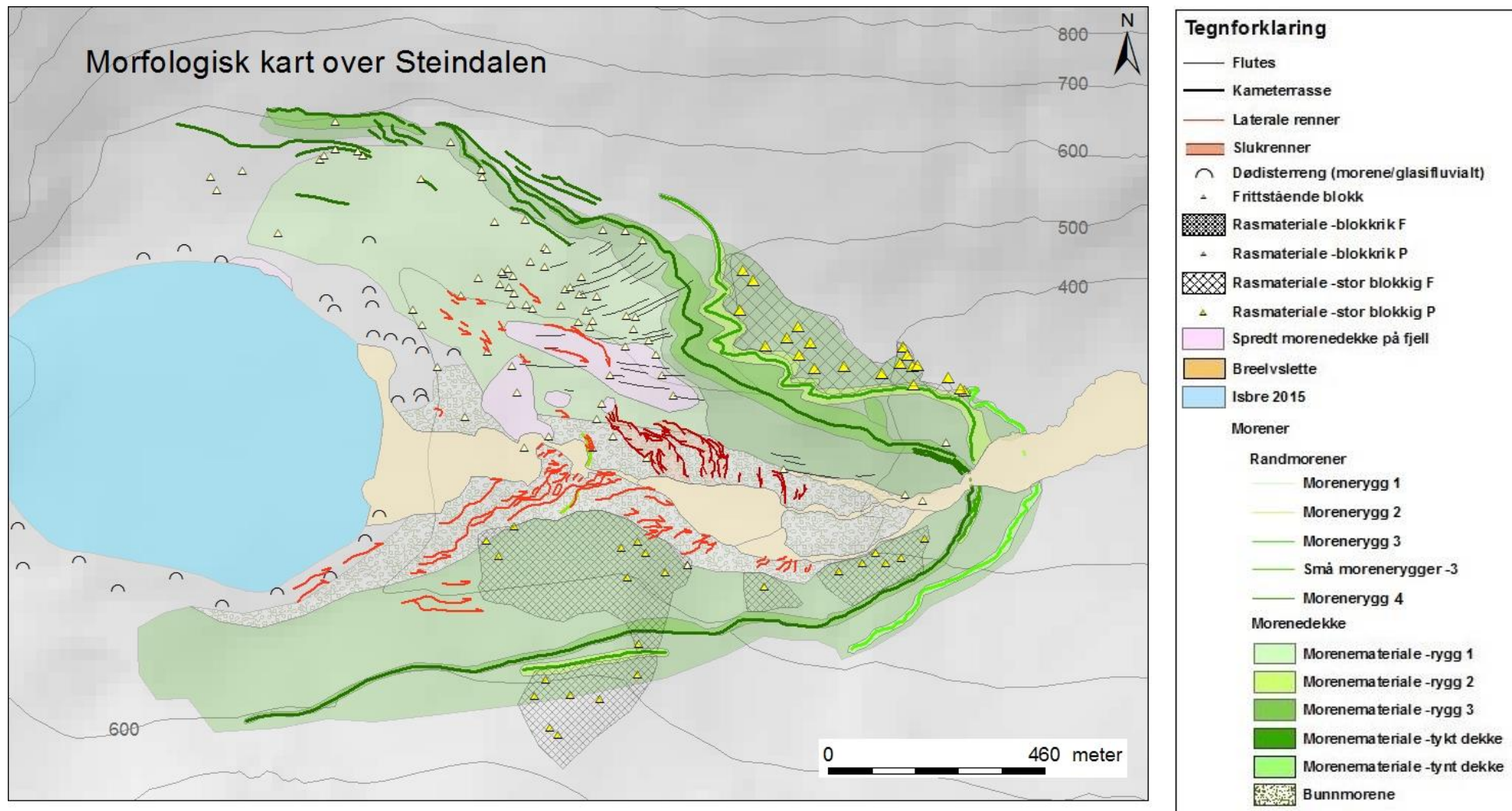
Steindalsbreen har dannet ulike former, både fysisk av selve breen og av breens avrenning i smeltesesongen. Naturen ellers har også lagt sine spor i dalen, med for eksempel rasmateriale i vifteform og sedimenter transportert av bekker ned fra dalsiden, men disse har mindre betydning i denne oppgaven.

I dette kapitlet presenteres først en beskrivelse og tolkning av de glasiere erosjons- og avsetningsformer foran breen. Deretter følger en presentasjon av brefronttilbaketrekingen, først basert på flybilder over området, og senere basert på bakkemålinger.

4.1 Avsetningsformer i området foran Steindalsbreen

Neste side, figur 4.1: Morfologisk kart over området foran Steindalsbreen i august 2015. Kolonnen kalt Breelyslette inneholder i tillegg til selve sletten også bresjø (området til venstre i kartet) og dreneringskanaler (aktive og fossile).

Resultater og tolkning



Resultater og tolkning

4.1.1 Berggrunnsterskel

Det er flere terskler i berggrunnen i Steindalen. Den viktigste terskelen for denne oppgaven er lokalisert omtrent midt i det studerte området, og er blant annet grunnen til at de to yngste moreneryggene virker så store. Den er også grunnen til at det er dannet et stryk i området, som befinner seg rett øst for terskelen. Terskelen avgrenser den ene breelvsletten mot øst, nedre breelvslette.

Nøyaktig hvor terskelen befinner seg er noe vanskelig å bestemme, da det er avsatt en del sedimenter over. Om elven har erodert helt ned til terskelen øverst i stryket, ved linjen, blir kun antagelser, da berggrunnen ikke er observert i dette punktet. Det er mulig at det fortsatt er en del sedimenter avsatt oppå berggrunnen. Berggrunnen er observert lenger ned i stryket.

Det øvre bunnmoreneområdet består av en del bart fjell, se figur 5.1. Området kalt *bart fjell* kan i utgangspunktet utvides noe i forhold til det som er merket av i figuren, men de områdene er mindre i størrelse så det ville vært lite hensiktsmessig å legge til alle partiene med bart fjell.



Figur 5.1.1: Bildet viser den viktigste berggrunnsterskelen i det studerte området for denne oppgaven.

4.1.2 Morener

Det finnes flere typer morene i Steindalen, fra enorme randmorener til bunnmorene som utgjør underlaget for det meste annet i dalen. De er avsatt av ulike prosesser, av vann i fast og/eller flytende form.

De vil nå bli forklart, fra bunnen og opp.

4.1.2.1 Bunnmorene

Bunnmorenen (*ground moraine*) i Steindalen ser ut til å bestå av flere lag, og antas å bestå av påklistringsmorene nederst med ablasjonsmorene avsatt oppå.

Nederst mot bunnen finnes et lag med massiv avsetning. Denne type sedimenter kan kun observeres i områder der materialet som har vært avsatt over har blitt fjernet. Laget med *påklistringsmorene* har en mektighet på ca. 0-3 meter, muligens noe mer enkelte steder (se figur 5.1.2.1 a). Bunnmorenedekket varierer i mektighet fra steder med bart fjell til flere meters tykkelse. Foran brefronten er tykkelsen omtrent 0,5 meter. Laget består av dominerende, forholdsvis finkornig materiale, fra silt til grov sand og grus, men opp til blokk størrelse på klastene er vanlig.



Figur 5.1.2.1 a: Snitt gjennom bunnmorene, med påklistringsmorene i bunnen og et tynt lag ablasjonsmorene oppå. Det er muligens avsatt materiale fra midtmorenen oppå. Spaden til høyre i bildet er 76 cm lang. Bildet er tatt i en slukrenne ved midtre breen/slette, hvor materiale er fjernet av smeltevann. Bilde tatt i august 2015.

Resultater og tolkning

Det meste av det synlige morenelaget antas å være *ablasjonsmorene* (*ablation moraine*), eller utsmeltingsmorene, se figur 5.1.2.1 b. Laget av ablasjonsmorene har ulik tykkelse, og kan noen steder være så tykt at det beskrives som "haugete" morenedekke med stor stein som dominerende kornstørrelse.

En del av ablasjonslaget vil derimot bli beskrevet som noe tynnere, der en- og supraglasiale avsetninger er sparsomme. Topografien i disse partiene er noe jevnere, uten den haugete, kaotiske overflaten. Det er også en del blokk og grus i dette laget. Klastene er kantete, og mellom haugene kan man noen steder se smeltevannets migrasjonsretning i form av små kanaler.



Figur 5.1.2.1 b: Typisk ablasjonsmorene, med ulik kornstørrelse og kaotisk overflate. Bilde tatt i bunnmorenelaget ved øvre breelvslette, av Geoff Corner.

Umiddelbart foran breen finnes to samlinger av sedimenter opp til blokk størrelse, der de største klastene er mer kantet enn de mindre. De mindre klastene, grov sand til stein, ser ut til å være sub-rundet. Avsetningene ser ut til å komme fram fra under breen og antas å være bunnmorene/påklistringsmorene. De største, kantede klastene antas å være utsmeltingsmorene som er avsatt som et tynt lag øverst.

Ansamlingene har lineasjoner på overflaten som tyder på at breen har beveget seg over disse mens de har blitt avsatt. Lineasjonene ser ut til å være flutes, og avsetningen vil bli klassifisert som *stripet bunnmorene* (*fluted ground moraine*) (se kapittel 4.1.4). Bilder viser at

Resultater og tolkning

sedimentene dukket opp i tidsrommet mellom 2011 og 2013, og i 2013 lå brefronten oppå disse avsetningene.

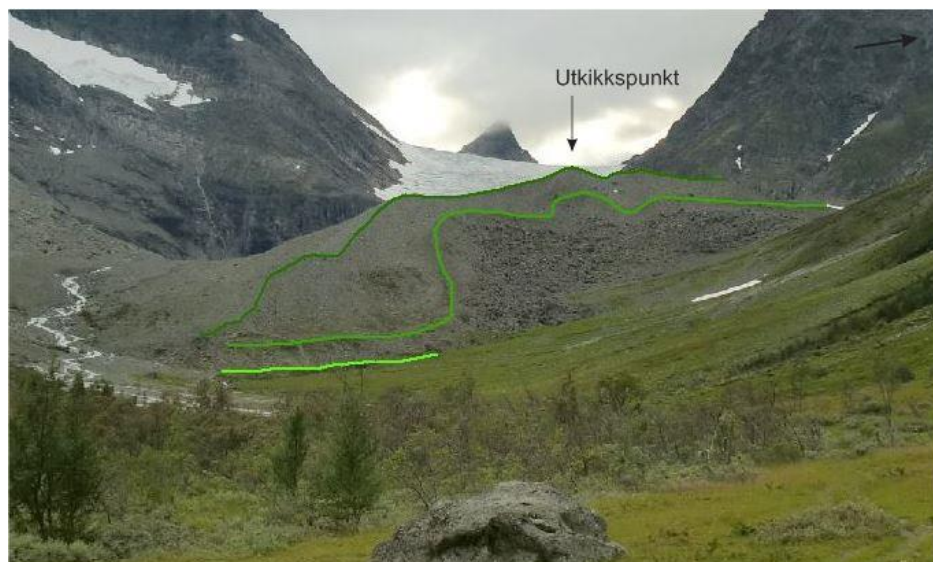


Figur 5.1.2.1 c: Påklistringsmorene avsatt umiddelbart foran brefronten.

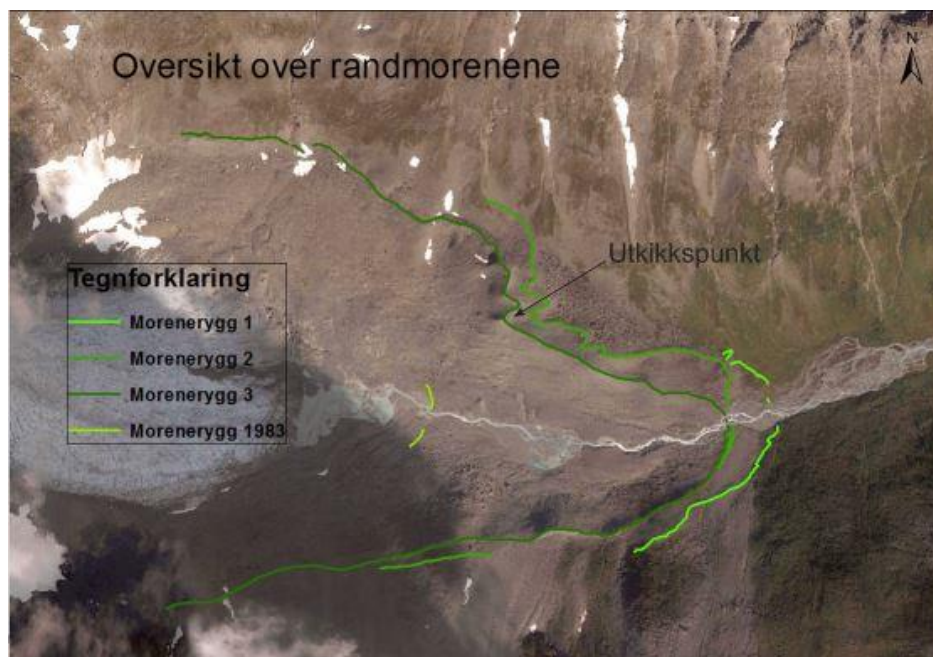
4.1.2.2 Randmorener

De største avsetningsformene i Steindalen er *randmorenene* (*marginal moraine*), og da spesielt *endemorenene* (*end moraine*). Det er avsatt flere endemorener i Steindalen, men kun de tre siste avsatte vil bli omtalt her.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.2.2 a: Randmorenene sett fra avstand, der toppen av hver morene er markert, morenerygg 1 med lys grønn, morene 2 mellom og morene 3 øverst med mørkest grønnfarge. Utkikkspunktet, der oversiktsbilder er tatt fra, er markert. Bilde tatt i august 2014.



Figur 4.1.2.2 b: Oversikt over randmorenene foran Steindalsbreen.

Resultater og tolkning

4.1.2.2.1 Morenerygg 1

Den nederste og eldste av de studerte moreneryggene, kalt *rygg 1*, er relativt liten, både i høyde og lateral utbredelse. Ryggen er omtrent 700 meter lang og opptil 3 meter høy. Den har en god del vegetasjon, med et komplett vegetasjonsdekke både innenfor og utenfor ryggen, se figur 4.1.2.2.1. Det er kun enkelte steiner og blokker som er synlige gjennom vegetasjonsdekket. Klastene er angulære til subrundete.

Morene 1 er representert i front og i sørlig retning for breelven, se figur 4.1.2.2 b. Ryggen strekker seg omtrent 500 meter opp i dalsiden i sør. I nord har morenen noe begrenset utbredelse, med omtrent 150 meters utstrekning.



Figur 4.1.2.2.1: *Morene 1*. Bildet viser lite konturer i terrenget da det meste er dekket av vegetasjon.

4.1.2.2.2 Morenerygg 2

Morenerygg 2 er representert av en enslig, noe større morenerygg, se figur 4.1.2.2 b. Det anslås at denne ryggen er 15-18 meter høy mot øst, der den grenser mot avsetningene fra et fjellras.

Denne ryggen er ganske mektig i terrenget, særlig i front, se figur 4.1.2.2 a. Utbredelsen av *morene 2* avtar lateralt i nord, mens det i sør er et stort parti der *morenerygg 2* ikke er representert. Ryggen tar seg videre opp sørover og har en mindre avsetning helt i sør. Total lengde på denne moreneryggen er bortimot 1,7 kilometer.

Vegetasjonsdekket på *morenerygg 2* er noe sparsomt, med delvis dekke av lyngvekst og enkelte spredte småbusker.

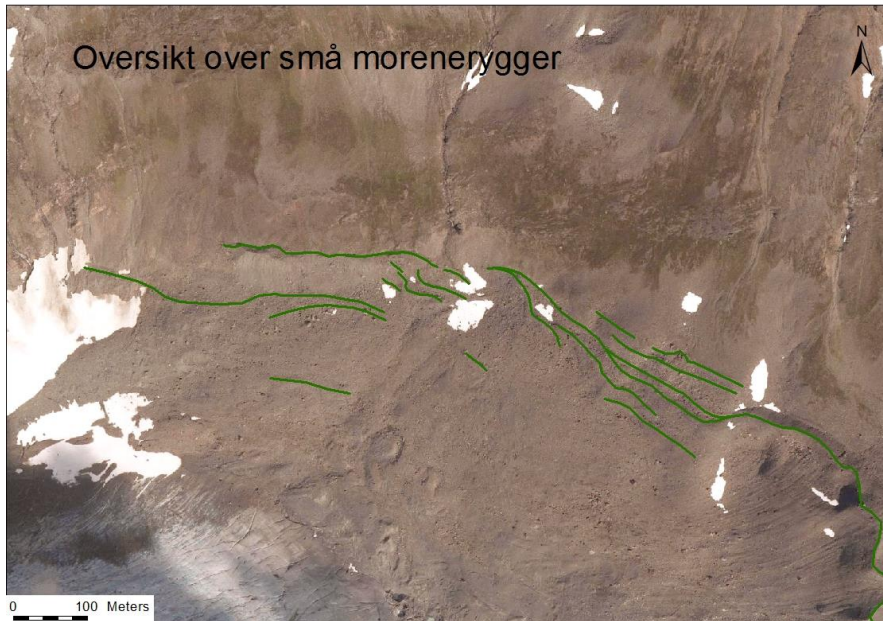
4.1.2.2.3 Morenerygg 3

Den øverste moreneryggen, kalt *rygg 3* er den største av randmorenene i Steindalen, se figur 4.1.2.2 a. Ryggen kan følges fra sørsiden av dalen, til nedenfor stryket mellom *breelvslette 1 og 2* og videre opp på nordsiden, se figur 4.1.2.2 b.

Ryggen er, på sitt mektigste, omtrent 20 meter høy på øst-siden. Høyden i dette partiet av ryggen er 540 meter over havet, mens breen ligger på 433 meters høyde. Randmorenen kan følges videre mot nord og avtar gradvis i mektighet vestover, der moreneryggen har en mektighet på omtrent 0,5 meter. Dette partiet ligger på 608 meters høyde.

I dette morenekomplekset, *morenerygg 3*, har det blitt avsatt flere mindre morenerygger på nordsiden av dalen, se figur 4.1.2.2.3 a. De er avsatt både foran og bak *morene 3*. De mindre moreneryggene er 30-200 meter lange, mot hovedmorenen på nesten 3 km sammenhengende morenerygg.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.2.2.3 a: Viser de små moreneryggene i morenekomplekset som utgjør morene 3, nord i det studerte området. Breen vises nederst i venstre hjørne.

I senter av moreneryggen, ved dens østlige grense, finnes flere rygger. På flybilder er det mulig å klassifisere tre-fire av disse.



Figur 4.1.2.2.3 b: Flere små morenerygger ved morenerygg 3, og utgjør den østre grensen til morenekomplekset. De små ryggene er markert med sorte linjer. Nedre breelvsllette i bakgrunnen. Bilde tatt av Geoff Corner, 19.08.15.

Morenerygg 2 og 3 har et spesielt sikksakk-mønster. Toppene bukker seg i øst-vest-retning, se figur 4.1.2.2 b. Vegetasjonsdekke på morenerygg 3 består av mest mose, med noe lyng og gress. Vegetasjonsdekket er sparsomt, og har kun vokst mellom klastene.

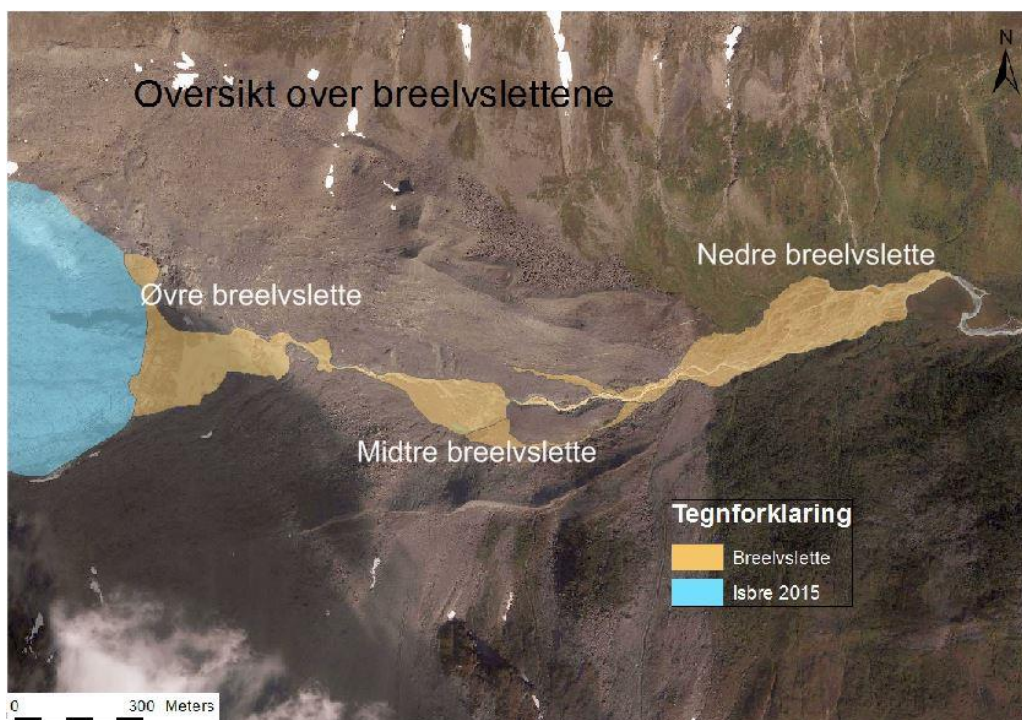
4.1.2.2.4 Randmorene 4

Ved østre grense til øvre sandur finnes en liten morenerygg, se figur 4.1.2.2 b. Materialet den er laget av ser ut til å stamme fra bresjøen. Sedimentene er dominert av grov sand som kornstørrelse, med flere klaster opp til blokk størrelse.

Ryggen er representert på begge sider av elven, og er omtrent 130 meter lang og en meter høy. Inne i moreneryggen finnes dødis.

4.1.3 Breelvsletter

I Steindalen har breelven dannet tre *breelvsletter* (*sandur*) av ulik størrelse. De tre slettene befinner seg på forholdsvis flate, horisontale parti foran Steindalsbreen. Breelvslettene er studert nøye og skrevet en masteroppgave om, av Heidi Storjord (Storjord 2016).



Figur 4.1.3: Breelvsletter i området foran Steindalsbreen.

4.1.3.1 Nedre breelvslette

Den eldste breelvsletten er dannet nedenfor *rygg 1* og denne er den største elvesletten, se figur 4.1.3. Den er ca. 700 meter lang i øst-vest-retning, og har dens bredeste utbredelse på ca. 170 meter omtrent midt på lengden. Elven har erodert 3-4 hovedløp som vannet skifter mellom, en del småkanaler og en stor del banker.

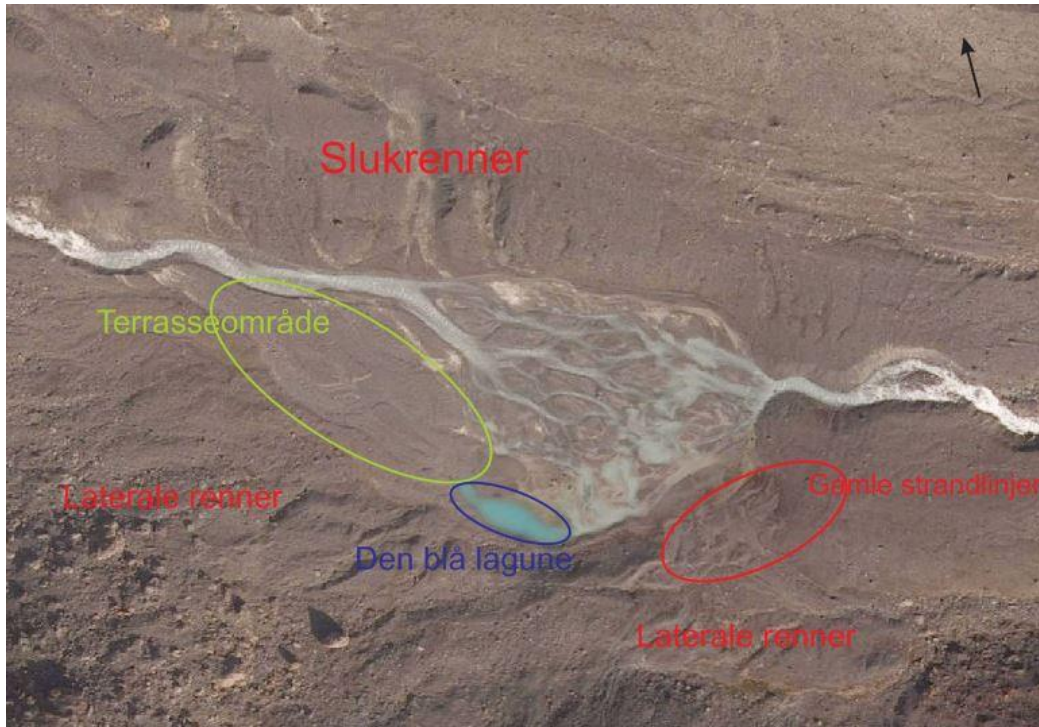
Dominerende kornstørrelse i nedre breelvslette varierer en del, og øker i kornstørrelse opp mot øvre grense for breelvsletten. Kornstørrelsen øker fra medium grus nederst på breelvsletten til blokk størrelse i øvre del. (Storjord 2016)

Det antas at den nederste breelvsletten er større enn de to andre på grunn av lengre opphold og erosjon av breen i området. Av senere diskusjoner i denne oppgaven (kapittel 5.1) og tidligere publisert data (Ballantyne 1990) kan man konkludere med at nedre breelvslette er eldre enn morene 1 (Preboreal-LIT). Dette gir nedre breelvslette et minimums aldersspenn fra et tidsrom mellom LIT til preboreal tid. Hvor lang tid breen har brukt på å bevege seg over området til nedre breelvslette er usikkert da man ikke vet alder på de eldre moreneryggene i Steindalen. Man antar videre at elvesletten har begynt sin utvikling subglasialt, allerede før isbreen trakk seg ut av området. Sletten har fortsatt sin utvikling også etter at breen forsvant fra området.

4.1.3.2 Midtre breelvslette

Den andre breelvsletten, den midtre, ligger rett ovenfor stryket innenfor *rygg 3*, se figur 4.1.3. Denne sletten er noe mindre, med ca. 300 meters lengde og 120 meters bredde.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.3.2 a: Oversikt over midtre breelvslette. Kan brukes sammen med morfologisk kart (figur 5.1) for detaljer.

Terrenget i området er noe mer hellende enn ved elvesletten lengre ned. Dette skyldes stadig senkning av basisnivå for breelven og har resultert i dannelsen av flere terrasser.



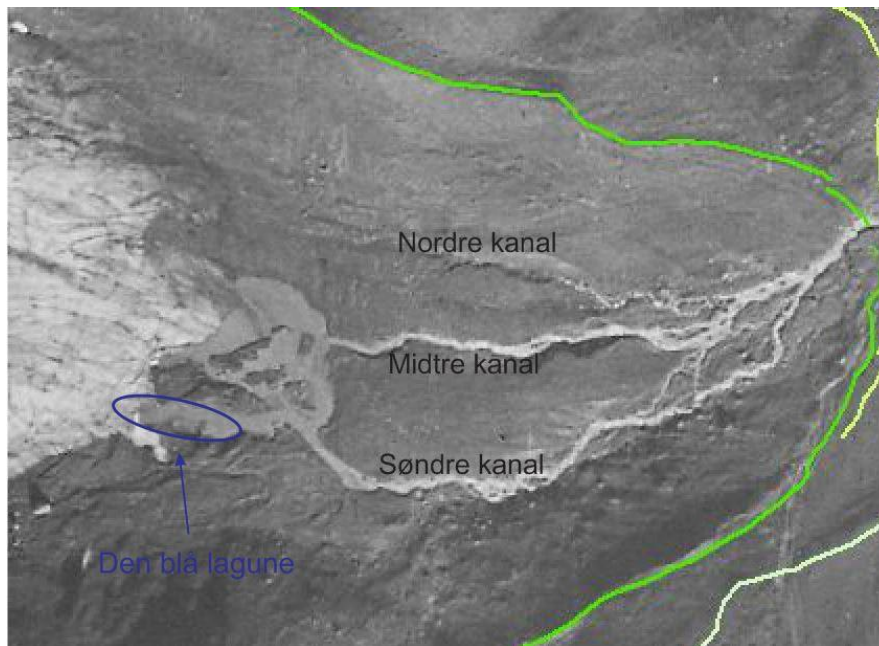
Figur 4.1.3.2 b: Terrasser på sørsiden av breelvslette 2, mellom breelvslette 2 og 3, dannet ved nedsenkning av basisnivå. Bilde tatt av Geoff Corner, 14.09.04.

Kornstørrelse for bankene i den midtre elvesletten varierer fra grus ved slettens østlige grense, til blokk i dens øvre del. (Storjord 2016)

Resultater og tolkning

Elveslettens østlige utbredelse avgrenses av en fjellterskel dannet av isbreen, og senere erodert fram av isbreen. Terskelen markerer dagens basisnivå for elven.

Dagens hovedløp gjennom midtre breelvslette går på nordsiden av sletten, som er den mest direkte transportruten for vannet. Den østlige delen av breelvsletten svinger noe og blir liggende utenfor dagens dreneringsløp. Ved slettens østre grense har elven dannet tre kanaler, en nordre, en søndre og en i midten, se figur 4.1.3.2 c. Alle tre var aktive i perioden rundt 1953 da brefronten lå omtrent på fjellterskelen. De to ytre kanalene har senere blitt forlatt da den midtre kanalen har blitt erodert til et lavere nivå. Kanalene ser ut til å ha blitt forlatt en gang mellom 1953 og 1977, som er neste tilgjengelige bildebevis. De ytre kanalene kan nå klassifiseres som sesongaktive, og da aktive kun i smeltesesongen for årets snø.



Figur 4.1.3.2 c: Bildet viser brefronten til venstre i bildet, en bresjø umiddelbart foran breen og tre dreneringskanaler. Moreneryggene er markert i ulike grønn- og gulnyanser. I tillegg er dagens posisjon av den blå lagune markert i blått. Flybilde fra august 1953.

Den blå lagune er lokalisert på sørsiden i den *midtre breelvsletten*. Dødisgropen har gjennom årene vokst seg større siden den ble synlig i 1990-årene (Corner et al. 2008). Brefronten lå ved dette punktet i 1953, som markert i figur 4.1.3.2 c. Ifølge Storjord (2016) var *midtre breelvslette* et aktivt område i perioden 1940-1980, fra da brefronten var posisjonert oppå berggrunnsterskelen, til elvesletten ble eksponert og avsetningene i kanalene bygget seg opp til basisnivå. I denne perioden har også isen i dødisgropen med stor sannsynlighet blitt avsatt.

Resultater og tolkning

Dette kan indikere at det er begravd is som smelter ut. Det har antagelig vært dødis begravd både i midtre og nedre breelvslette også, men sporene av disse er slettet ut.



Figur 4.1.3.2 d: Den blå lagune 14.09.04. Bilde tatt av Geoff Corner.



Figur 4.1.3.2 e: Den blå lagune 18.08.15. Bildene viser tydelig at dødisgropen har blitt større.

4.1.3.2.1 Strandlinjer

Ved sørøstre grense ved *midtre breelvslette* finnes flere gamle strandlinjer. Dette betyr at det har vært vannansamling i området. Flybilde fra 1953 (se figur 4.1.3.2 c) bekrefter denne antagelsen, da tre av elvekanalene var aktive og vannstanden var en del høyere enn den er i dag.



Figur 4.1.3.2.1: Gamle strandlinjer, med den tørre inaktive kanalen delvis skjult øverst til venstre og den nordre aktive kanalen i forgrunnen.

4.1.3.3 Øvre breelvslette

Den øvre *breelvsletten* består i hovedsak av to elvesletter, en noe mindre nedenfor en ganske mye større, oversvømt breelvslette, se figur 4.1.3. De to måler til sammen omtrent 230 meters lengde. De blir bredere lenger opp i terrenget og danner en liten bresjø helt øverst nord i breelvslette-området.

I dette området var det veldig mye vann og bankene var utilgjengelige for nærmere analyse. Kornstørrelseanalyse er tatt fra observasjoner langs marginen. Klastene på bankene varierer fra grus til sand, med et tynt lag av silt over. Det finnes også enkelte blokker i området. Disse virker som de har vært avsatt på et tidligere stadium og har liten sammenheng med dannelsen av selve breelvsletten. (Storjord 2016)

Disse to elveslettene er sterkt koblet sammen og elven vil muligens bryte gjennom terskelen av sedimenter mellom disse. Den øvre av disse er umoden og kan muligens bli en del av en framtidig bresjø.

For enkelhetsskyld er elvekanaler og bresjø lagt i samme kategori.

4.1.4 Flutes

Steindalsbreen har dannet en stor del flutes i bunnmorenelaget, se figur 4.1. Dette fenomenet kalles *stripet morenedekke (fluted moraine)*. (Nesje 2012)

Elementene er lokalisert i den nordøstre delen av området, i de distale partiene innenfor *rygg 3*. Enkelte av flutesene er ganske store, fra ca. 6 meter høye i hodepartiet, som avhenger av hvor stor proximalblokken er. De største flutesene er bortimot 175 meter lange og 5 meter brede. Disse elementene tynnes ut mot halen av fluten, til de enten forsvinner ned i bunnmorenelaget, eller til terrenget forandres og dannelsesutgangspunktet ikke lenger er til stede, for eksempel over moreneryggen.

Partiet med flutes følger elven helt ned mot den østre utbredelsen av morenen, men utbredelsen av flutes minker noe mot øst i terrenget.

Flutes viser breens strømningsretning og man kan se den karakteristiske radiale orienteringen som viser den divergerende strømmingen av breen, se figur 4.1. Flutes sier også noe om breens aktivitetsnivå i det angitte området. Disse formene vil ikke bli dannet av en

Resultater og tolkning

stagnerende isbre så man vet med sikkerhet at breen fortsatt var aktiv da brefronten lå i dette området.



Figur 4.1.4: Stripet morene, bilde tatt mot sørøst. Øverst lengst til høyre kan man se utkikkspunktet. Bilde tatt i oktober 2014.

4.1.5 Bart fjell

Det er et stort område med flere parti av bart fjell i området. De er spredt utover hele den øvre delen av bunnmorenlaget innenfor rygg 3. Det kan tyde på at store deler av rygg 3 er avsatt oppå en berggrunnsterskel, se kapittel 4.1.1. Partiene er relativt små, der overlaget er fjernet og berggrunnen så vidt kan sees i terrenget. Andre steder stikker berggrunnen opp av underlagt, med opptil 6 meters høyde. En del av fjellpartiene har blitt skurt av isbreen og viser med dette retningen av breen i det angitt området, se kapittel 4.1.5.1. Selv om det er flere partier som viser bart fjell, er det usikkert om dette faktisk er en del av berggrunnen. Det er antatt at det er fast fjell.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.5:
Spredte parti med
bart fjell.
Utkikkspunktet er
høyeste topp øverst
til høyre. Bilde tatt
august 2015.

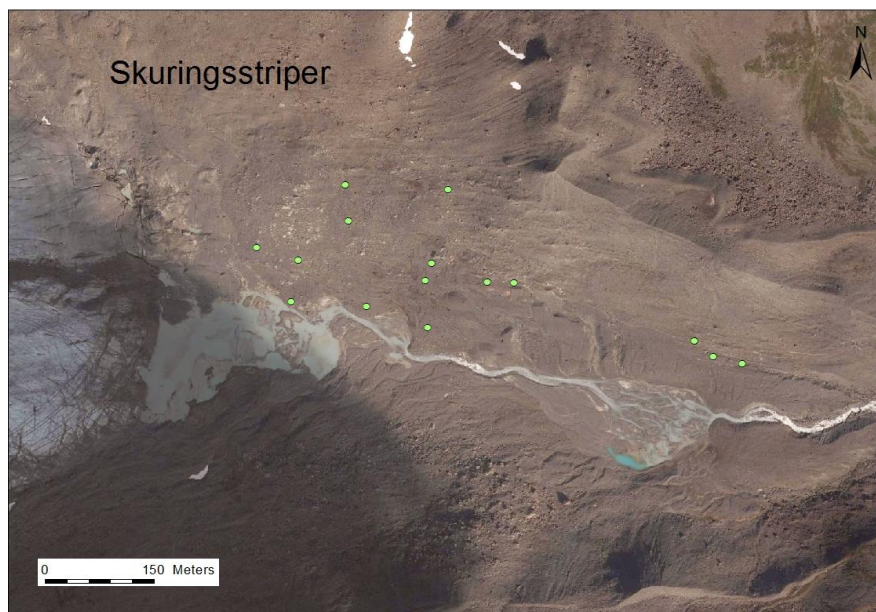
Øst for *midtre breelvslette*, ved øvre grense for stryket, har breelven erodert i bunnmorenesedimentene ned til berggrunnen. Denne fjellterskelen fungerer som erosjonsbasis for breelven.

4.1.5.1 Skuringsstriper

Breen har avsatt en del *skuringsstriper* (*glacial striation*) i Steindalen. Skuringsstriper er relativt små erosjonsformer som viser breens strømningsretning. Erosjonselementene kan være avsatt av både steinfragmenter og av mindre partikler, som silt og sand (polering).

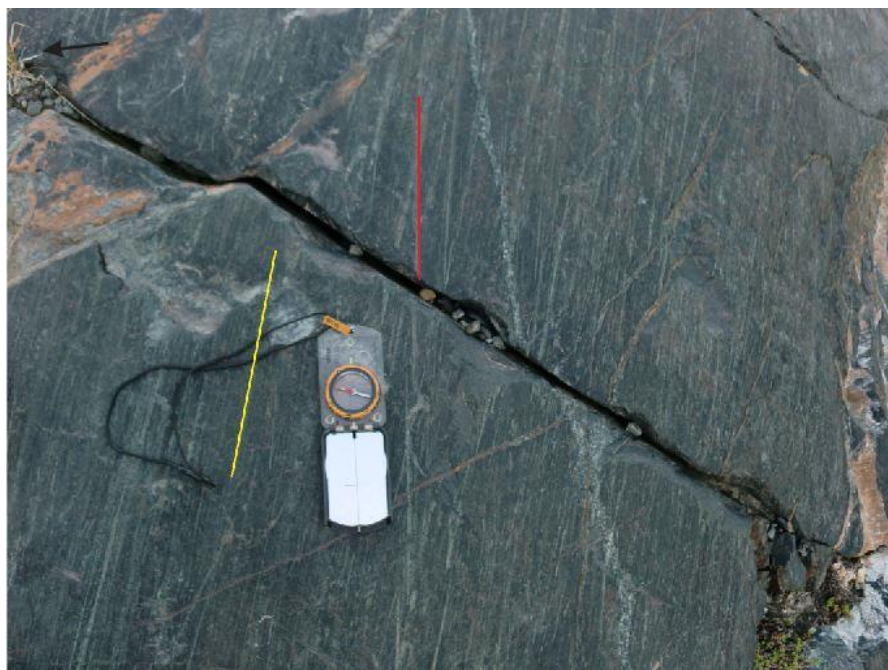
Elementene er avsatt både på bart fjell og på store blokker i Steindalen. Skuringsstriper avsatt på løse blokker fungerer imidlertid dårlig som retningsindikator. Noen av skuringsstripene i Steindalen er samlet inn og målt, og den generelle trenden er at skuringene følger breen og dalen, som er østlig retning.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.5.1 a: Utbredelse av målte skuringsstriper.

Noen steder finnes flere generasjoner av skuringsstriper, da breen har skiftet retning over tid. Disse kalles primære og sekundære skuringsstriper, se figur 4.1.5.1 b.

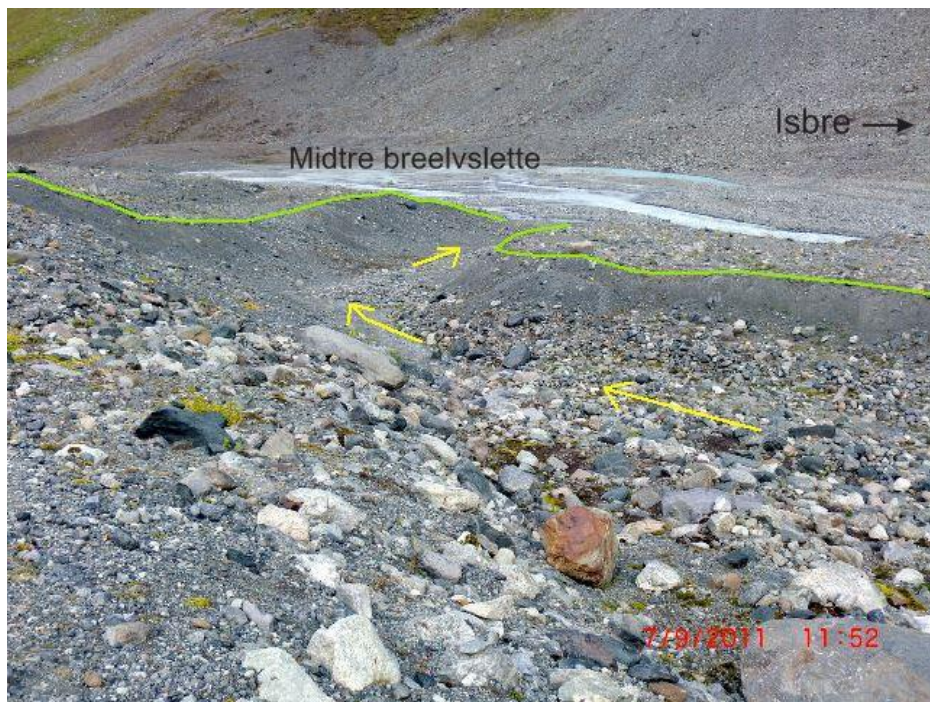


Figur 4.1.5.1 b: To generasjoner med skuringsstriper, den gule linjen viser den eldste erosjonen, mens den røde linjen viser andre generasjons skuring. Bilde tatt august 2015.

4.1.6 Drenering foran og under breen

Det er en del slukrenner i Steindalen. Flertallet av dem befinner seg på nordsiden av *midtre breelvslette*. De har en generell retning øverst i avsetningen parallelt med brebevegelsen (østlig retning), for så å forandre retning midt i avsetningen, på tvers av brebevegelsen, ned mot breelven (sørlig retning). Størrelsen på slukrennene er varierende, fra små kanaler til store juv, 50 meter brede og over 200 meter lange. Smeltevann har erodert i bunnmorenelaget og eksponerer underliggende lag. Se kapittel 4.1.2.1 og figur 4.1.2.1 a.

En av de største slukrennene er ca. 3 meter dyp. Bunnen er dekket av store, sub-rundete steiner, opp mot en halv meter store. Se figur 4.1.6.



Figur 5.1.6: Bildet viser en slukrenne, fra øverst og ned mot elven, der slukrennen ender. De grønne linjene markerer øvre erosjonskant for slukrennen, med vannets transportretning indikert med piler.

Slukrennene tyder på subglasial drenering, noe som igjen indikerer stor smelteaktivitet og sannsynligvis hurtig tilbaketrekning.

I samme område, på nord- og sørsiden av *midtre breelvslette*, finnes flere *laterale renner*. Disse er dannet av smeltevann lateralt ved brefronten og har en generell retning øst-nordøst på sørsiden, og øst-sørøst på nordsiden av breelven. Det er langt flere spor av laterale renner på

Resultater og tolkning

sørsiden av breen, og området med slike renner strekker seg langs hele sørsiden av breelven fra *midtre breelvslette* til dagens brefront. De lengste rennene er bortimot 200 meter lange.

Det finnes også spor av laterale renner på nordsiden av breelven. De fleste av disse er noe kortere, med ca. 60 meters lengde, men noen få av de laterale rennene på nordsiden er opp mot 175 meter lange.

4.1.7 Kames og kameterrasser

Det finnes en del *kames* på nordsiden av breelven, markert som *dødisterreng* i figur 4.1. De fleste formelementene finnes i forbindelse med dagens bresjø og i området nord og øst for denne. Kamesene er relativt små elementer i landskapet, opptil en halv meter høye.

Dominerende kornstørrelse i disse elementene er liten blokk, med noe materiale ned mot grus størrelse, og klastene er delvis rundet.

En- og subglasial smelteaktivitet har forårsaket at breen gir etter da isen tynnes også fra undersiden og ikke lenger har den nødvendige støtten for å holde seg intakt. Det har da muligens blitt brakt en del materiale opp til overflaten av breen i form av skyveflak i isen.

Denne prosessen har vært med på å danne *kames*. *Kameterrasser* dannes lateralt ved erosjon fra smeltevannet og avsetning av sedimentene i omløp, *laterale renner* > *kameterrasser*.

Skyveflak forklares nærmere i kapittel 4.1.8. Bilde tatt i 2004 viser at isen gir etter for en- og subglasial smelteaktivitet.



Figur 4.1.7 a: Isen gir etter for en- og subglasial smelteaktivitet, innringet i grønt. Denne prosessen kan danne kames. Bilde tatt av Geoff Corner 14.09.04.

Området foran dagens breposisjon har stor tetthet av dødishauger og kames og kameterrasser.

Resultater og tolkning

Kameterrasser er sedimenter avsatt av smeltevann som har vært transportert i en- og supraglasiale kanaler. De avsatte materialene har dannet ulike nivå i sedimentene. Deler av nordsiden av breelven består av slike avsetninger, særlig nordøst i bunnmorenelaget. Omtrent hele det sørlige området foran dagens isfront kan klassifiseres som et *kame-terrassekompleks*, eventuelt kun *kompleks av erosjon fra laterale renner*, se figur 4.1.7 b. Området strekker seg langs sørøstsiden av isranden til *midtre breelvslette*, et område på ca. 1000 meters lengde. Dette *komplekset* avgrenses i øst av skråningen opp mot *morenerygg 3*.



Figur 4.1.7 b: Kame-terrassekompleks sør for breelven. Bilde tatt august 2015.

Erosjonselementene på nordsiden av breelven er av noe større skala, og bedre utviklet, enn de på sørsiden av elven, men de er noe færre i antall på nordsiden. De største terrassene på nordsiden er bortimot 50 meter lange og 5 meter brede. Sedimentene som er avsatt i terrassene er opp mot grus størrelse og ganske mye mindre enn de omkringliggende klastene som er avsatt av breen, se figur 4.1.7 c.

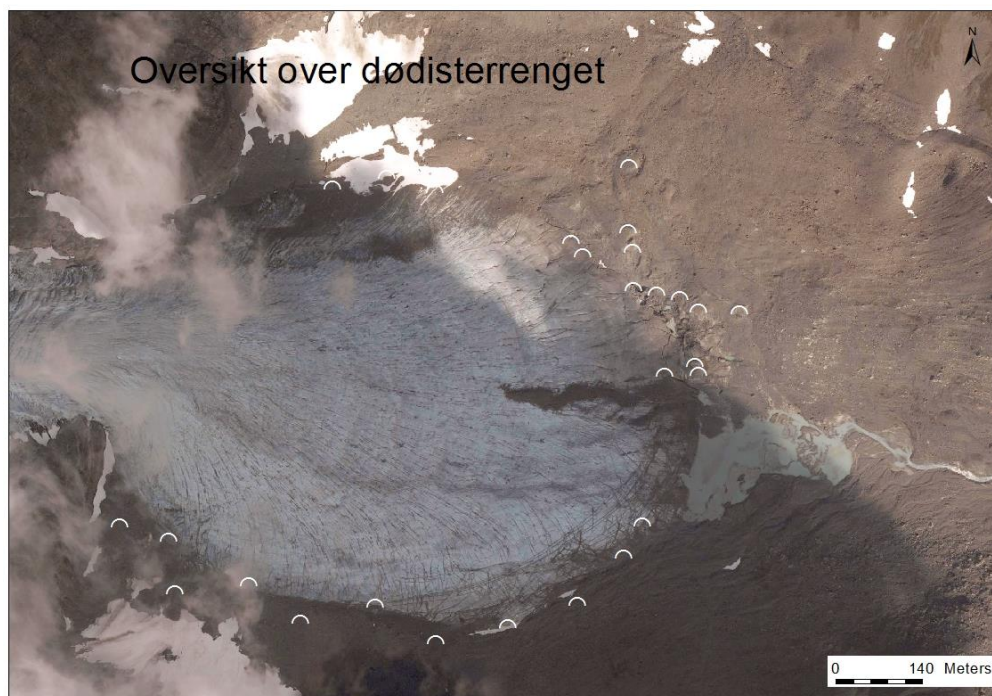
Resultater og tolkning



Figur 4.1.7 c: Godt utviklet terrasse, med relativt finkornige sedimenter avsatt glasifluvialt, og omgitt av større blokker. Bilde tatt av Geoff Corner 14.09.04.

4.1.8 Dødisterreng

Umiddelbart foran Steindalsbreen er topografien bortimot flat, mens i nord og sør heller terrenget ned mot breen. Slikt terreng gjør at avbrukket is kan ligge begravd lenge før de smelter ut. De nærmeste 50-150 meterne til breen bærer preg av slike prosesser.



Figur 4.1.8 a: Kartutsnitt av breområdet med utbredelse av dødisterreng avmerket med symboler.

Resultater og tolkning

Det virker som at breen avsetter mindre mengder materiale i nyere tid og har erodert et lavere nivå som gjør at den stagnerende og avbrukne isen lettere blir liggende og blir overlagret av morenemateriale, relativt sorterte, finkornede sedimenter (sand-grus). Sedimentene ser ut til å være subglasiale. Bunnmorenemateriale blir presset opp mellom skyveplan som blir dannet av bevegelse i breen. Se figur 4.1.8 b og c.



Figur 4.1.8 b: Skyveplan, viser isbrens bevegelse. Bilde tatt av Geoff Corner 23.09.04.

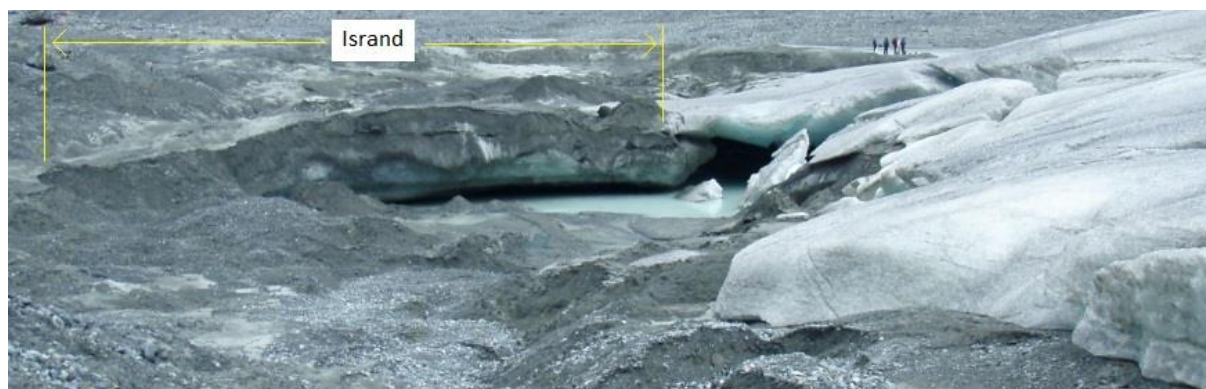


Figur 4.1.8 c: Skyveplan indikert med gul linje. Sedimentene i skyveplanet faller ned på isen (under den gule linjen) etter hvert som breen smelter. Bilde tatt av Geoff Corner 10.09.08.

Skyveplanene danner en lateral isrand rundt breen, i den nordvestlige og sørvestlige delen av det studerte området. På sørsiden av breen finnes dødis helt opp mot brefallet, se figur 4.1.8 a. Dødisterrengtet avgrenses i senter av bresjøen i nord og smeltekanalene i sør, og er ikke representert i senter av brefronten.

Skyveplanene kan være store, enkelte måler opp mot 20 meter, som vist på bildet under.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.8 d: Isrand dannet av skyveflak og begravd av sedimenter, bilde tatt mot sørøst. Bilde tatt av David Grieg, 15.09.10.

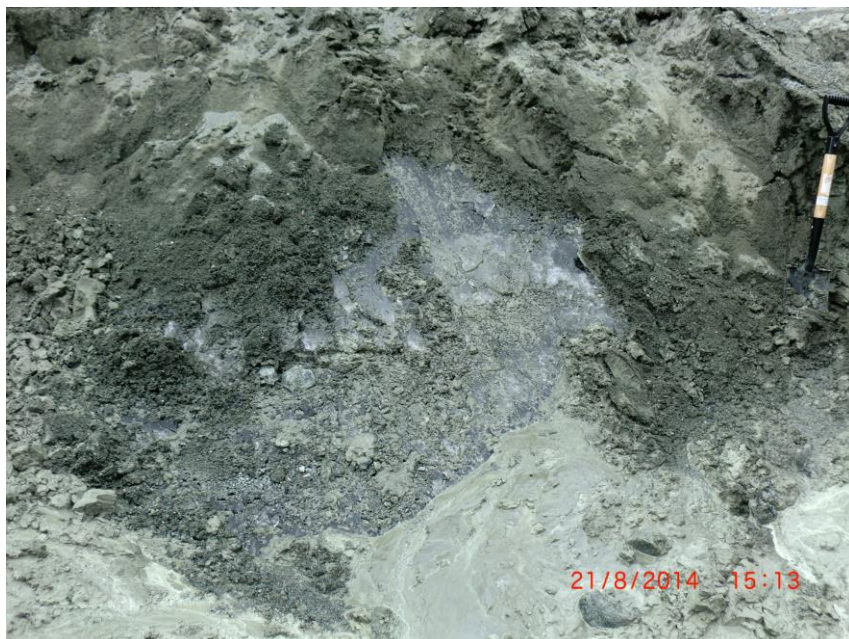
Mot senter av brefronten har isen trukket seg tilbake og dannet dødishauger, eller *drittkjeger*, is som har blitt begravd av bunnsedimenter. Noen av disse er lokalisert rett foran breen (ca. 90 meters distanse i august 2015), se figur 4.1.8 e. De er 5-6 meter høye og 15 meter i diameter. Dominerende kornstørrelse er grov sand, med grus, store steiner og klaster opp mot blokk størrelse til stede.



Figur 4.1.8 e: To dødishauger foran brefronten. Spaden i bildet er 76 centimeter lang. Bilde tatt av Heidi Storjord august 2014.

Resultater og tolkning

Laget med løsmasser over iskjernen ser ut til å være bortimot 5 centimeter tykt (se figur 4.1.8 f) men det er antatt at det er tykkere enkelte steder.



Figur 4.1.8 f: Nærbilde av drittkjegle med synlig isjerne. Sedimentene er transportert bort av smeltevannet fra den tildekkede iskjernen.

Rett foran brefronten finnes tre slike avsetninger. Like nord for bresjøen er et stort område med drittkjegler oppover i bunnmorenelaget, se figur 4.1. Noen av disse har en sirkulær form mens andre er mer avlange.

Den haugete morenen i Steindalen bærer stor preg av at is har vært begravd. Enkelte av disse isblokkene har etterlatt en vannfylt fordypning, en såkalt *dødisgrop*, se figur 4.1.8 g.

Resultater og tolkning



Figur 4.1.8 g: En liten vannfylt dødisgrøp nord-nordøst i bunnmorenlaget. Bilde tatt i august 2015.



Figur 4.1.8 h: Dødisområde nord for bresjøen. Bilde tatt 21.08.15.

4.2 Rekonstruksjon av breens tilbaketrekning

De tilgjengelige flybildene vil bli brukt som hovedkilde i mesteparten av denne rekonstruksjonen da de i tillegg til brefrontposisjon også viser reell form på breen og strukturene rundt.

Senere vil en god del GPS-målinger bli presentert og brukt for å fylle ut årene mellom flybildetakingene, men disse gjelder i stor del kun for fronten.

De skannede flybildene ble lagt inn i programmet ArcMap og avstandene mellom brefronten ble målt for hvert av de gjeldende årene. I tillegg ble det brukt GPS-målinger fra 2015 for å få best mulig data opp mot dagens situasjon. Samme prosedyre ble brukt i kapittel 4.2.2 for GPS-målinger.

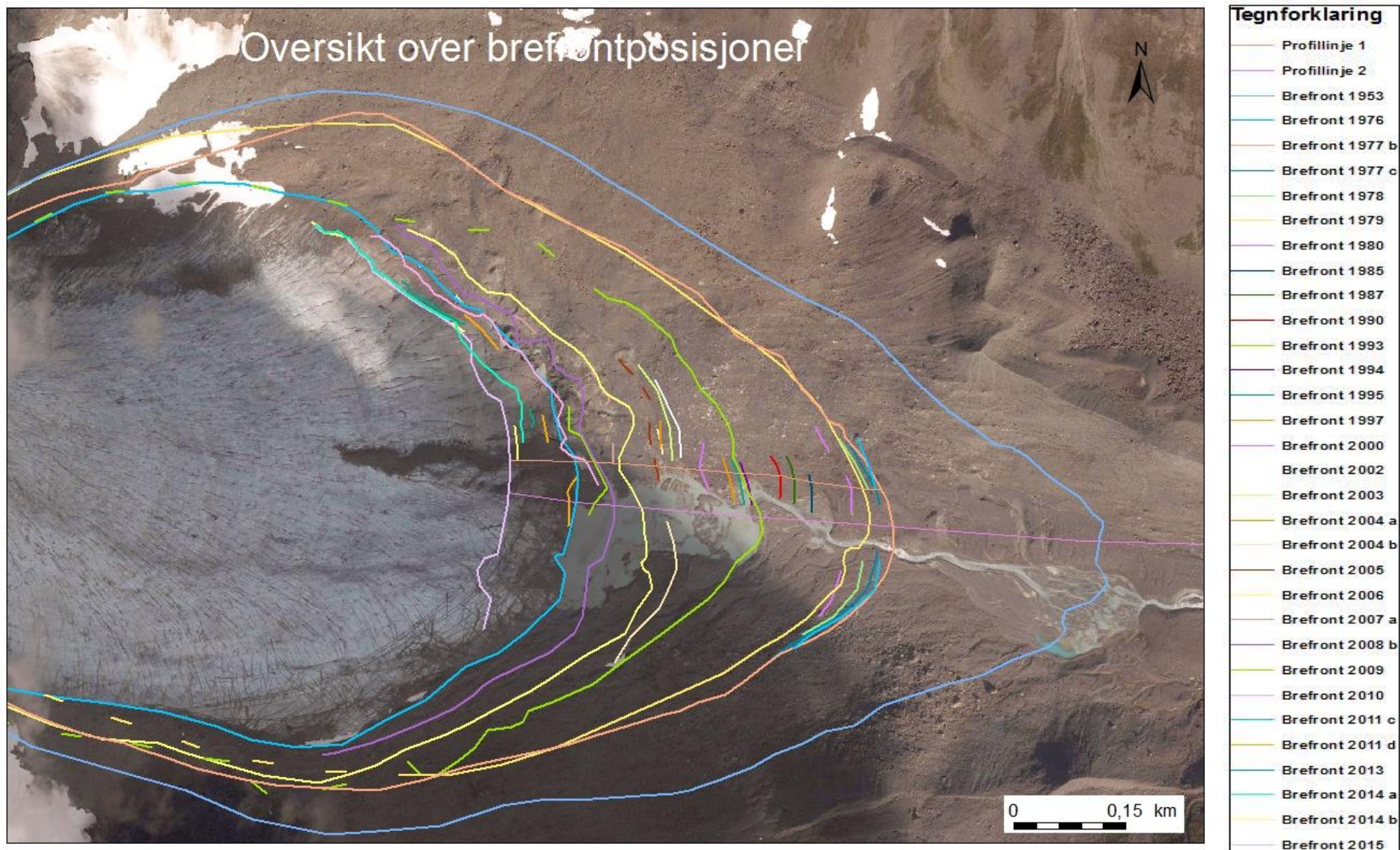
Dernest vil målinger tatt av NVE og skilt som markerer brefronten bli brukt for å finne bretilbaketrekning gjennom en smeltesesong.

Brefrontene er markert med heltrukne linjer der posisjonen er godt dokumentert, mens der det er usikkert hvor brefronten (gjærne lateralt) har vært posisjonert er linjen stippet. De årene med få målinger er markert med kortere linje.

For å måle breens tilbaketrekning avstand over tid er det blitt konstruert to profillinjer vinkelrett på brefronten, en for flybildene og en for bakkemålingene. Disse ble lagt så nært opp mot bakkemålingene som mulig.

Da det er blitt samlet inn data fra ulike instanser over samme år er det valgt å nummerere dataene innenfor de gjeldende årene. Disse har fått tilleggsnummerering med små bokstaver, for eksempel 2011 a-d. Datamaterialet er samlet inn av blant annet Geoff Corner, Norge i bilder, Fjellanger Widerøe, NVE, Heidi Storjord og Carina Nilsen.

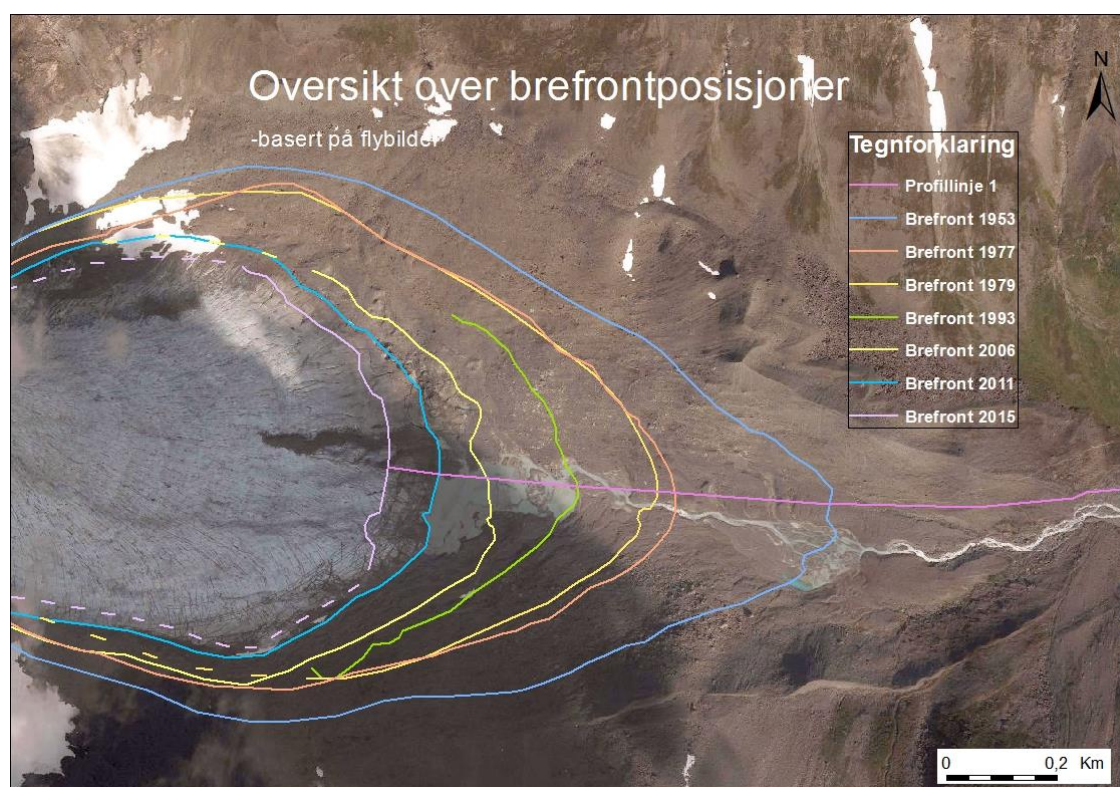
Neste side, figur 4.2: Oversikt over brefrontposisjoner for Steindalsbreen, basert på flyfoto og bakkemålinger, fra perioden 1953-2015. Tilbaketrekningen ble målt langs profillinjer lagt midt på breen (flyfoto, profillinje 1) og like nord for midtlinjen (bakkemålinger, profillinje 2). (Kartverket et al. 2011)



4.2.1 Bretilbaketrekning basert på flybilder

Det er brukt totalt seks sett med flyfoto for å dokumentere bretilbaketrekingen.

Også moreneryggene viser til tidligere breposisjoner og vil bli omtalt i en senere sammenheng (kapittel 6.1), siden disse ikke kan klassifiseres som pålitelige data da man ikke har hele historieføløpet. Det er mulig at breen har hatt flere framrykk og/eller opphold i tidsrommet mellom de avsatte moreneryggene. Dette blir kun antagelser.



Figur 4.2.1: Rekonstruerte brefrontposisjoner for Steindalsbreen basert på flybilder tatt i perioden 1953-2011, med bakkemålinger fra 2015. Profillinje 1 vises i rosa farge på tvers av brefrontlinjene. (Kartverket et al. 2011)

4.2.1.1 Rygg 3 - 1953

Mellom morenerygg 3 og brefrontposisjon i 1953 heller terrenget en del mot øst.

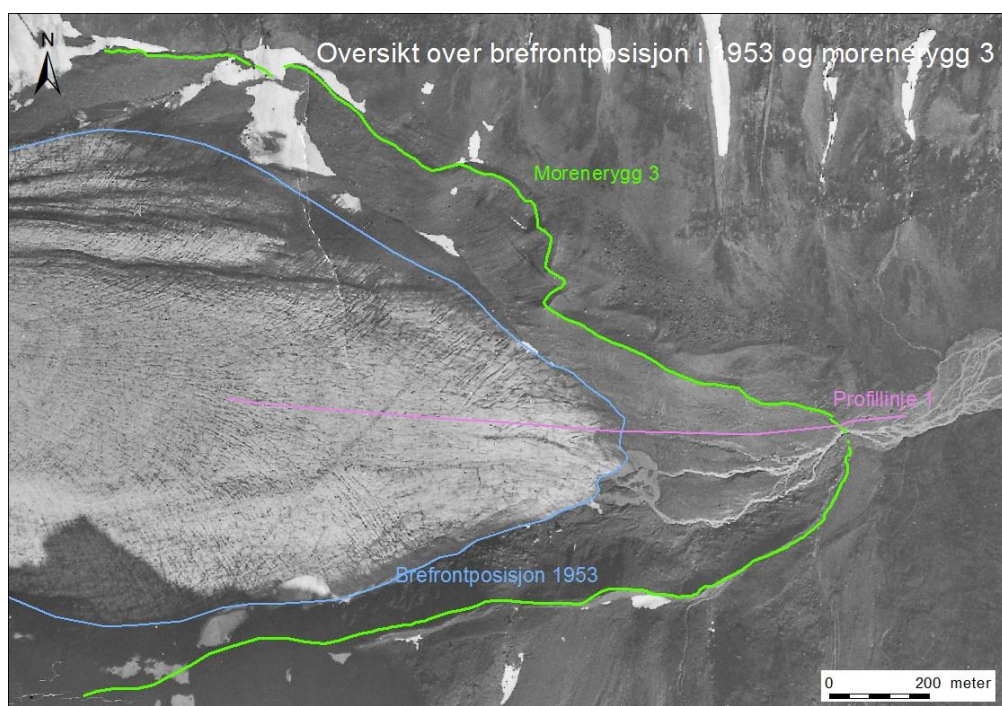
Elven har i dette partiet erodert flere kanaler, både dreneringsrenner, laterale renner og slukrenner. Fra nederst i fronten til omtrent midt på lengden har elven erodert kraftig ned i sedimentene og dannet et stryk.

Resultater og tolkning



Figur 4.2.1.1 a: Viser stryket mellom nedre og midtre breelvslette. Bilde tatt av Geoff Corner, 14.09.04.

Øverst i området har elven dannet en breelvslette, som i tidsrommet rundt 1953 var overfylt med vann og kunne klassifiseres som en bresjø.



Figur 4.2.1.1 b: Oversiktsbilde, viser tilbaketrekning fra morenerygg 3 ble dannet, til 1953, da flybildet ble tatt. Tre dreneringskanaler og en del flutes ble avsatt i dette tidsrommet. (Flybilde 1953)

Lengst nord i studieområdet finnes en del blokk, mens i området sør for breelven har fjellskred avsatt *blokkrik skredmateriale*. Lateralt trakk breen seg mer tilbake i nord enn i sør. Tilbaketrekingen i front kan måle en distanse på 438 meter etter profilinje 1.

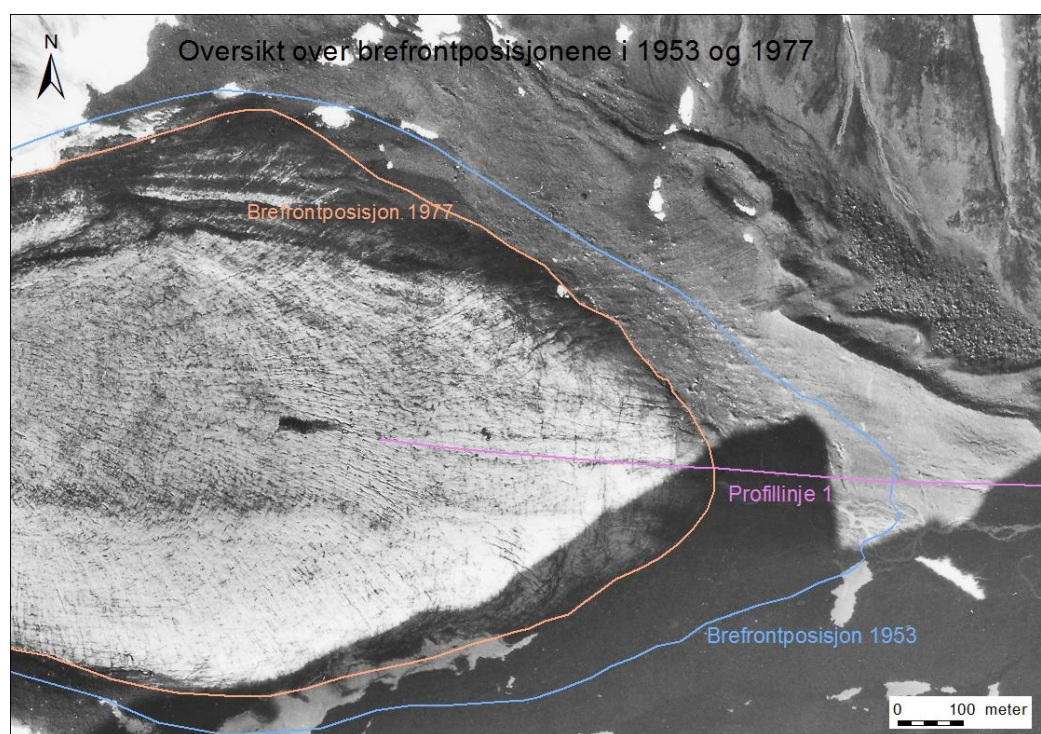
Resultater og tolkning

4.2.1.2 1953 - 1977

Fronten trakk seg 309 meter tilbake i dette tidsrommet. Breen smeltet også noe i randen, omtrent like store mengder både i nord og i sør.

Nedre del av *midtre breelvslette* ble dannet i dette tidsrommet. Nord for breelven ble det dannet flere store slukrenner. På sørsiden finnes flere laterale renner og store mengder med *blokkrik skredmateriale*.

Lenger mot nord i området finnes flere blokker, laterale renner og flutes. Her er også to *kameterrasser* og et stort område med *tynt morenedekke* med flere blotninger av grunnfjellet.



Figur 4.2.1.2: Perioden hadde en tilbaketrekning på 309 meter, og flere typer renner ble dannet av smeltevann. (Flybilde 1977)

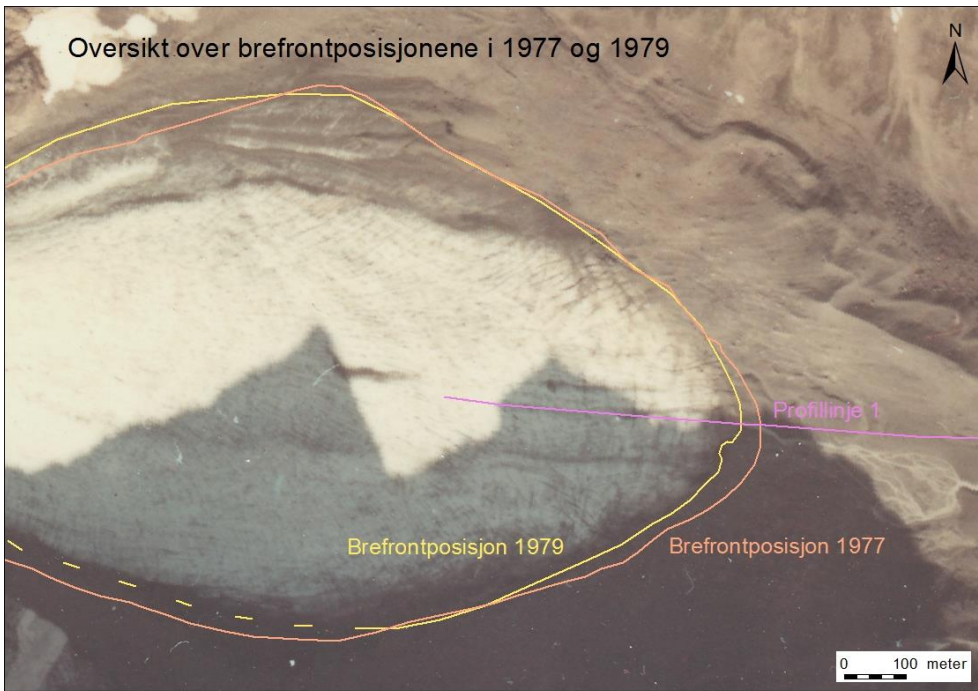
4.2.1.3 1977 - 1979

I dette tidsrommet lå brefrontene ganske tett opp mot hverandre. Lateralt kan det virke som breen har hatt et framstøt, men lite annen data tyder på dette. Dette skyldes mest sannsynlig noe unøyaktig georeferering.

Det kan også være midtmorenemateriale og skredmateriale fra fjellssidene, både i nord og i sør, som dekker isen mer det ene året enn det andre. Det blir da noe usikkert hvor grensen egentlig er.

I dette tidsrommet har breen trukket seg tilbake 31,6 meter i front ved profillinje 1.

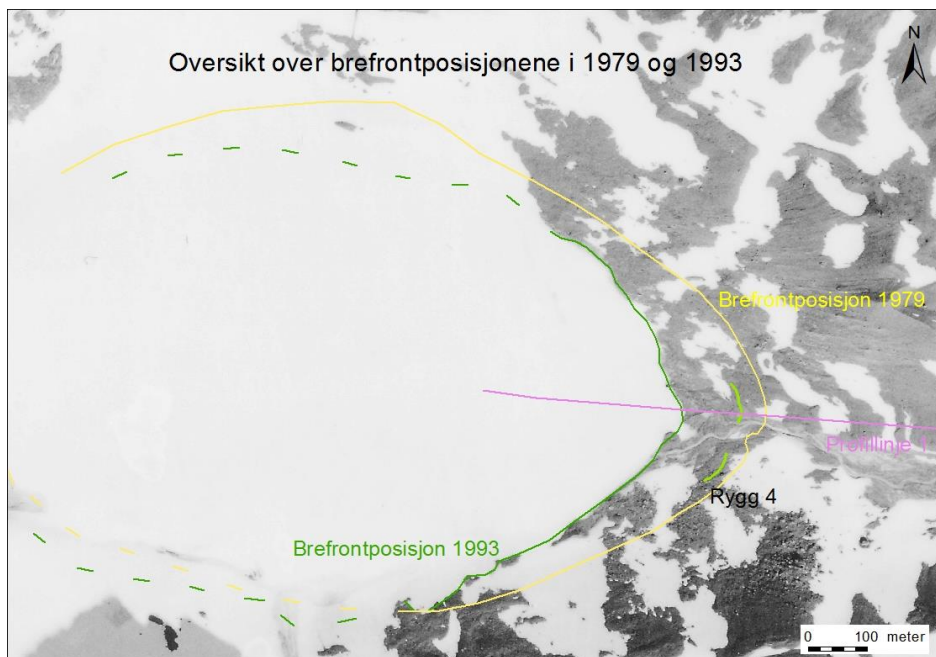
Resultater og tolkning



Figur 4.2.1.3: Brefrontlinjene ser ut til å krysse hverandre, men illusjonen om framrykk er ikke reell. (Flybilde 1979).

4.2.1.4 1979 - 1993

Breen har hatt en betydelig lateral sammentrekning i nord gjennom denne perioden. Fronten smeltet tilbake 144,7 meter. I området er det avsatt en god del laterale renner på sørsiden av breelven, samt noen i nord. I 1983 ble det dannet en liten randmorene. Denne er representert i senter av fronten. Elven har senere erodert seg gjennom morenematerialet. Samtidig startet dannelsen av den øvre *breelvsletten*, på oversiden av *morenerygg 4*.



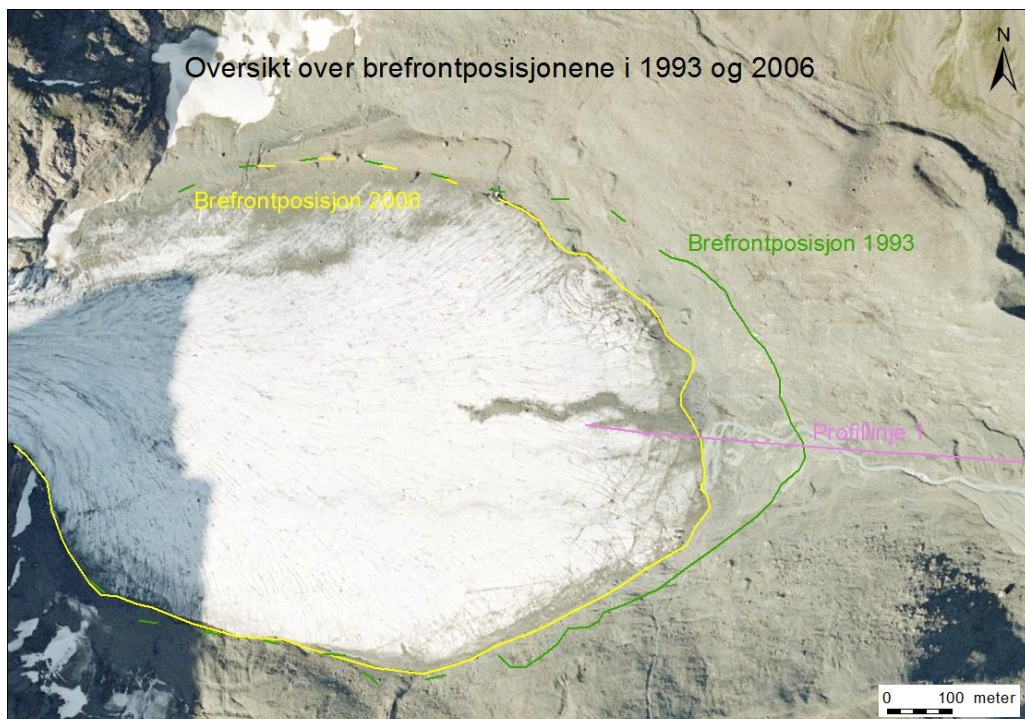
Figur 4.2.1.4: Bildet viser at store deler av breen er dekket av snø. De antatte posisjonene for brefronten lateralt i 1993 er stiplet. (Flybilde 1993).

4.2.1.5 1993 - 2006

I denne perioden var det mest i front, og sannsynligvis i vertikal retning, at breen mistet masse. Breen hadde liten lateral sammentrekning, og ble 163 meter kortere i dette tidsrommet på 13 år.

Midtre breelvslette ble videreutviklet i denne perioden, samtidig som *øvre breelvslette* dukket opp øverst i området. Den store, oversvømte delen av *øvre breelvslette* ble dannet, og kan klassifiseres som dreneringskanaler, eller en veldig umoden breelvslette.

En god del laterale renner og mindre modne kameterrasser ble dannet i sør, mens i nord ble de første iskjernene i dagens *dødisterrang* avsatt.



Figur 4.2.1.7: Viser område avdekket i tidsrommet mellom 1993 og 2006. Nedre del av øvre breelvslette er synlig. (Kartverket et al. 2006).

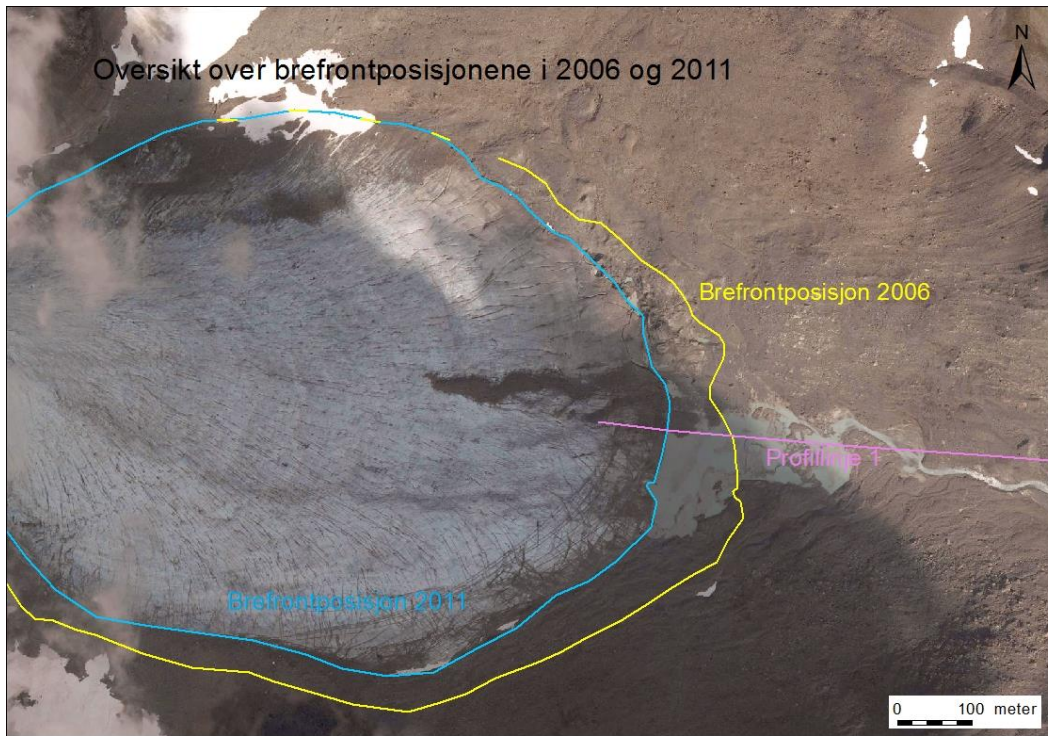
4.2.1.6 2006 - 2011

I denne perioden minket breen lite lateralt, mens i front minket breen med 87 meter.

Breelvsletteområdet ble bredere og en god del dødis ble dannet i isranden, både i nord og i sør.

Størsteparten av materialet avsatt nord i området kan karakteriseres som bunnmorene. Sørsiden er sterkt påvirket av smeltevannsaktivitet, en prosess som har erodert i materialet og dannet kameterrasser.

Resultater og tolkning



Figur 4.2.1.6: Tilbaketrekning mellom 2006 og 2011. Øvre breelvslette kommer stadig mer til syne. (Flybilde 2011).

4.2.1.7 2011 – 2015

I dette tidsrommet ble det avsatt en del dødis lateralt som skyveflak. Noe skyveflak ble avsatt i nord, men mest i sør, kan bilder fra denne perioden avsløre. Øvre breelvslette ble bredere og mot nord ble en bresjø dannet. Helt i nord ved brefronten ble en del av berggrunnen avdekket da breen trakk seg tilbake. I samme område ble det også dannet en del grotter i brefronten.

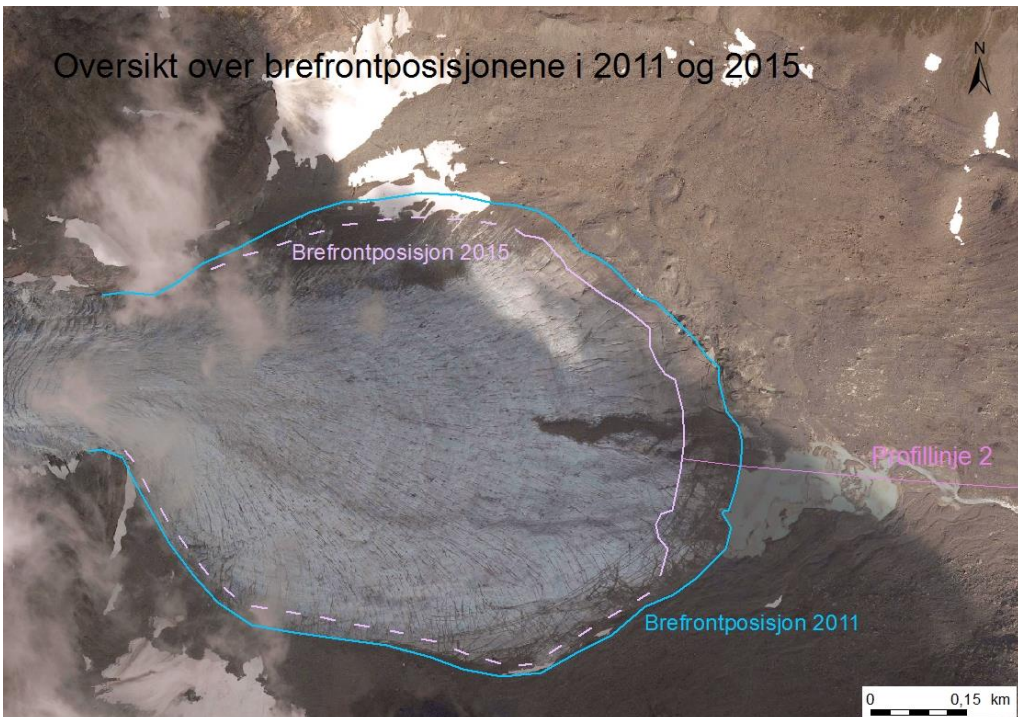


Figur 4.2.1.7 a: Bildet viser bart fjellparti avdekket ved breeranden i nord. Bilde tatt august 2015.

Resultater og tolkning



Figur 4.2.1.7 b: Bildet viser at terrenget heller en god del ned mot breen. Grotten midt i bildet målte omtrent 12 meters bredde. Breelven markert med grønn pil. Bilde tatt august 2015.



Figur 4.2.1.7 c: Brefrontposisjoner i perioden 2011-2015. Øvre breelvslette ble større og tilbaketrekning foregikk mer i front enn lateralt. (Flybilde 2011).

Resultater og tolkning

4.2.1.8 Samlet data

Bretilbaketrekningen basert på flybilder er her representert i form av grafer og tabeller.

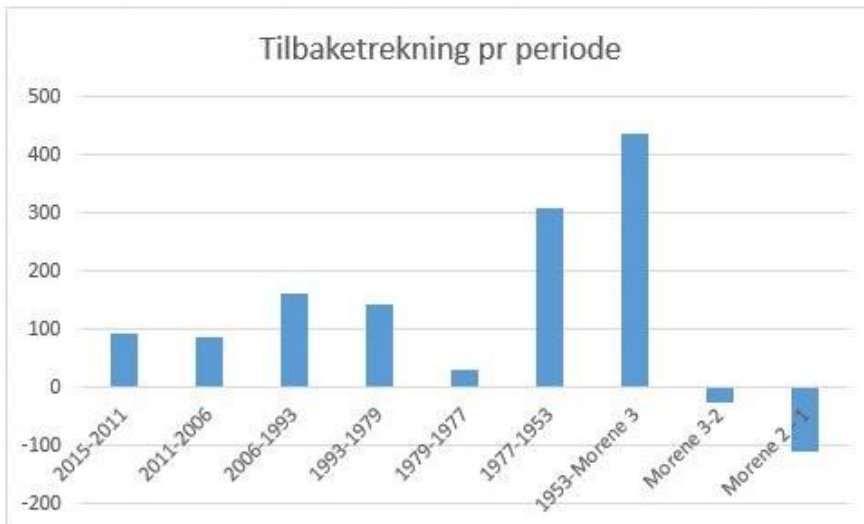
Årstall	Dato	Aldersspenn (år)	Tilbaketrekning (m)	Årlig tilbaketrekning (m/år)
Rygg 1 :Preboreal-LIT				
Rygg 2: 1865-80			109,5	
Rygg 3: 1910			25,3	
1953	16.aug.	43	438	10,1
1977	06.aug.	24	309,1	12,8
1979	21.aug.	2	31,6	15,8
1993	10.jul.	14	144,6	10,3
2006	05.aug.	13	163,4	12,5
2011	19.sept.	5	87,3	17,4
2015	19.aug.	4	93	23,2
Preboreal-2015			1371	

Figur 4.2.1.8 a: Tilbaketrekning per periode og gjennomsnittlig årlig tilbaketrekning basert på flyfoto og morenerygger langs profillinje 1.

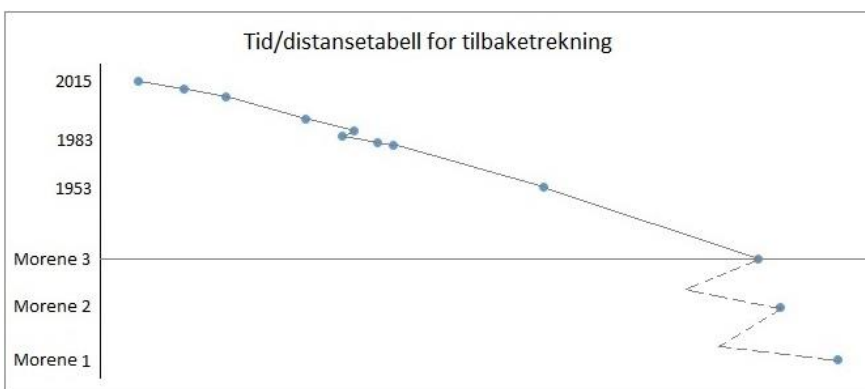


Figur 4.2.1.8 b: Årlig tilbaketrekning i periodene mellom hvert flyfoto, 1910-2015. Basert på figur 4.2.1.8 a.

Resultater og tolkning



Figur 4.2.1.8 c: Tilbaketrekning per periode, basert på flyfoto og morenerygger, samt perioden 2011-2015 fra bakkemålinger. Morene 3 er satt som nullpunkt, rundt år 1900, og tilbaketrekningsdistansene for morene 3-2 og 2-1 får da negative verdier.



Figur 4.2.1.8 d: Oversikt over breens tilbaketrekning i perioden "morene 1-2015", basert på figur 4.2.1.8 c. Grafen viser reell tilbaketrekning, og framrykk, for perioden morene 3-2015. Tallene/plasseringen for morene 1 og 2 er manipulert for å bedre passe i grafen. Basert på data fra flyfoto (morene 1-2011) og bakkemålinger (2011-2015).

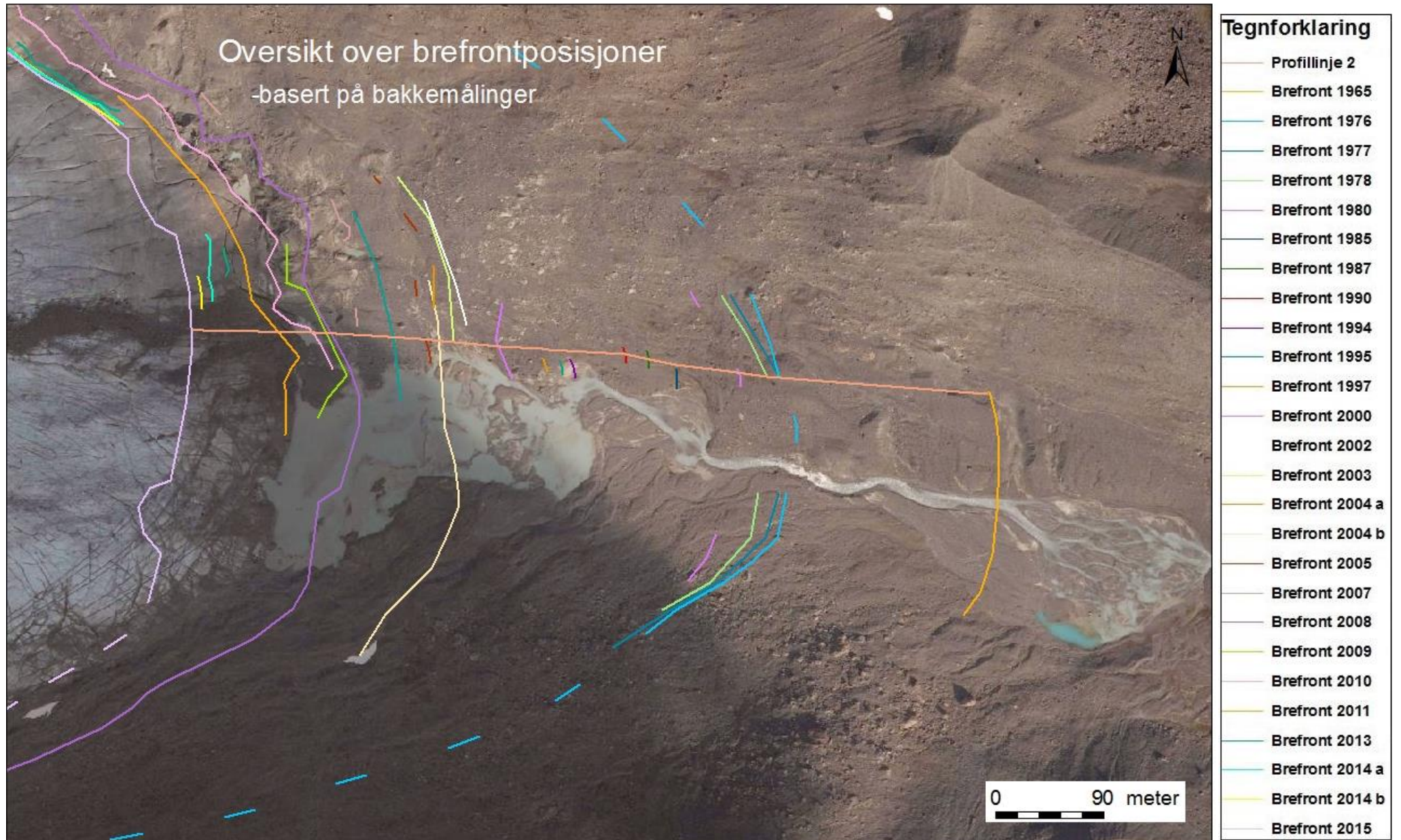
4.2.2 Bretilbaketrekning basert på bakkemålinger

Bakkemålingene er utført med hyppigere gjentakelse enn flyfoto og man får et mer detaljert bilde av tilbaketrekingen. Dette medfører også at eventuelle ujevnheter blir plukket opp av målingene da disse målingene ikke viser forløpet til hele fronten.

Målingene er tatt på ulike tidspunkt mot slutten av ablasjonssesongen, og en del år er det tatt målinger i flere omganger. Det er konsekvent de siste innsamlede dataene det gjeldende året som er brukt, med mindre noe annet er nevnt i teksten.

Neste side, figur 4.2.2 a: Oversikt over brefrontposisjoner basert på bakkemålinger i perioden 1976-2015. De stiplede linjene indikerer antatt brefrontposisjon, basert på flybilder. "Profillinje 2" plassert på tvers av de markerte brefrontene. (Kartverket et al. 2011)

Resultater og tolkning



Resultater og tolkning

4.2.2.1 1953-1976

I følge Vessey (1965) hadde breen i 1965 trukket seg tilbake over 120 meter fra breposisjonen den hadde i 1953. Av bilder tatt av samme person kan man se en av de store slukrennene og at breen på det tidspunktet terminerte rett på vestsiden av denne. Fram til 1976 hadde breen en tilbaketrekning på omtrent 290 meter på 23 år.

4.2.2.2 1976-1980

Perioden 1976-1980 har hatt en relativt liten tilbaketrekning. Avstanden har vært varierende, fra 0-11,5 meter årlig tilbaketrekning, og en total avstand på 33,3 meter.

4.2.2.3 1980-1985

Målinger tatt i 1980 og 1985 viser at breen trakk seg tilbake omtrent 54 meter i denne perioden. Dette gir en gjennomsnittlig avstand på 10,8 meter hvert av disse årene.

Innenfor denne perioden finnes derimot bevis for at breen har hatt et framstøt. Framstøtet, i form av en liten morenerygg, *morenerygg 4*, har antagelig funnet sted i 1983 kan øyevitne (Tommy Samuelsberg) bekrefte.

4.2.2.4 1985-1990

De tre målingene i denne perioden viser at breen har trukket seg tilbake med en jevn hastighet. Det ble tatt et målepunkt innenfor denne perioden, i 1987. Av dette kan man finne gjennomsnittlig tilbaketrekning med en overgang fra 11,4 meter per år (1985-1987) til 6,6 meter per år (1987-1990), og omtrent 43 meter totalt.

Det antas at breen har hatt en jevn tilbaketrekning lateralt i nord, men at tilbaketrekningen i sør har vært noe mindre merkbar.

Resultater og tolkning

4.2.2.5 1990-1994

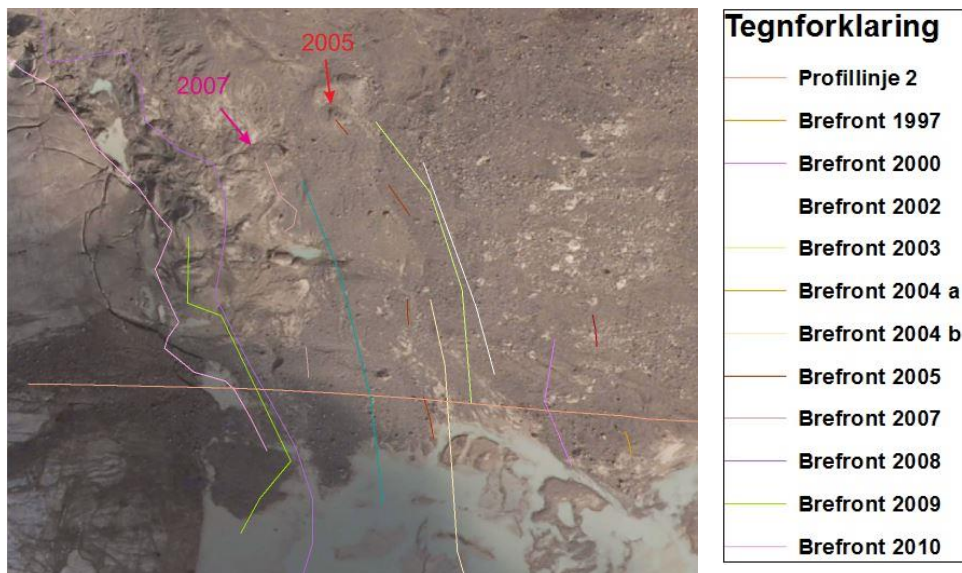
Tidsrommet mellom 1990 og 1994 viser at breen hadde en gjennomsnittlig årlig retrett på 11,9 meter. Totalt trakk breen seg tilbake 48 meter gjennom denne perioden.

4.2.2.6 1994-1997

I tidsrommet 1994-1997 kan det virke som at breen har hatt forholdsvis liten tilbakegang, med totalt 22,8 meter de fire årene. Det er tatt tre målinger denne perioden, som viser en variasjon fra 6 til nesten 10 meter tilbaketrekning.

4.2.2.7 1997-2010

Perioden 1997-2010 hadde en noe variert tilbaketrekning, med større tilbakegang i perioden 2005-2007 med i underkant av 58 meter i løpet av to år. Hele perioden hadde en tilbaketrekning på ca. 190 meter, med en variasjon mellom 15 og 30 meter per år.



Figur 4.2.2.7 a: Perioden 1997-2010. Bildet viser stor tilbaketrekning mellom 2005 og 2007. (Kartverket et al. 2011)

Resultater og tolkning

4.2.2.8 2010 – 2015

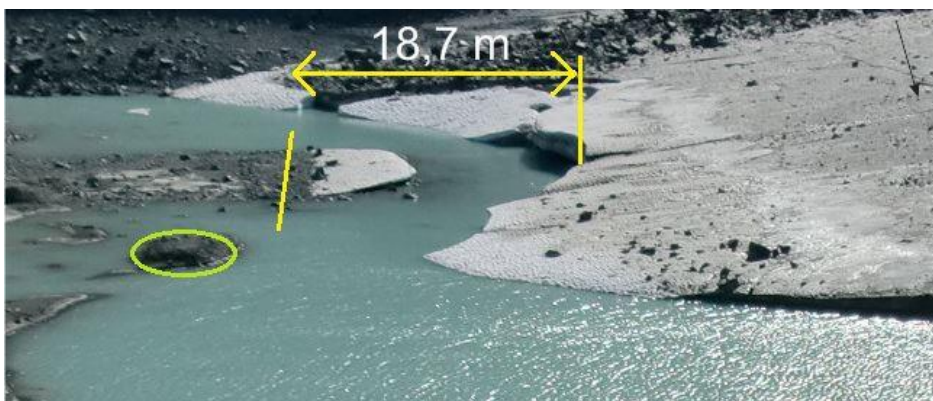
Målinger tatt i 2011 og 2013 viser at breen minket i front med 42 meter over en periode på 2 år og 8 dager.

Data tatt i Steindalen de to siste årene viser ingen eller liten lateral tilbaketrekning i nord så langt målingene er representert. Det antas at trenden er lik i hele det nordre partiet. Samtidig har breen hatt en generell tilbaketrekning i front på omtrent 20 meter. Målingene er tatt med et tidssprang fra august 2014 (2014 a) til august 2015.

Hele perioden hadde en samlet tilbakegang på omtrent 102 meter over fire år.



Figur 4.2.2.8 a: Bildet viser brefronten i august 2014 (2014 a), med sedimenthaug innringet i grønt. Linjen indikerer grense for brefronten.



Figur 4.2.2.8 b: Bilde tatt av brefronten i august 2015. Sedimenthaugen er fortsatt tilstede (innringet i grønt). Bildet viser tilbaketrekning i løpet av ett kalenderår. Grense for brefront i august 2014 indikert med gul linje til venstre.

4.2.2.9 Samlet data

Data for bakkemålingene er her presentert i form av en graf. Så følger en sammenligning av breens forandring de siste 14 årene (2001-2015) i form av oversiktsbilder tatt fra

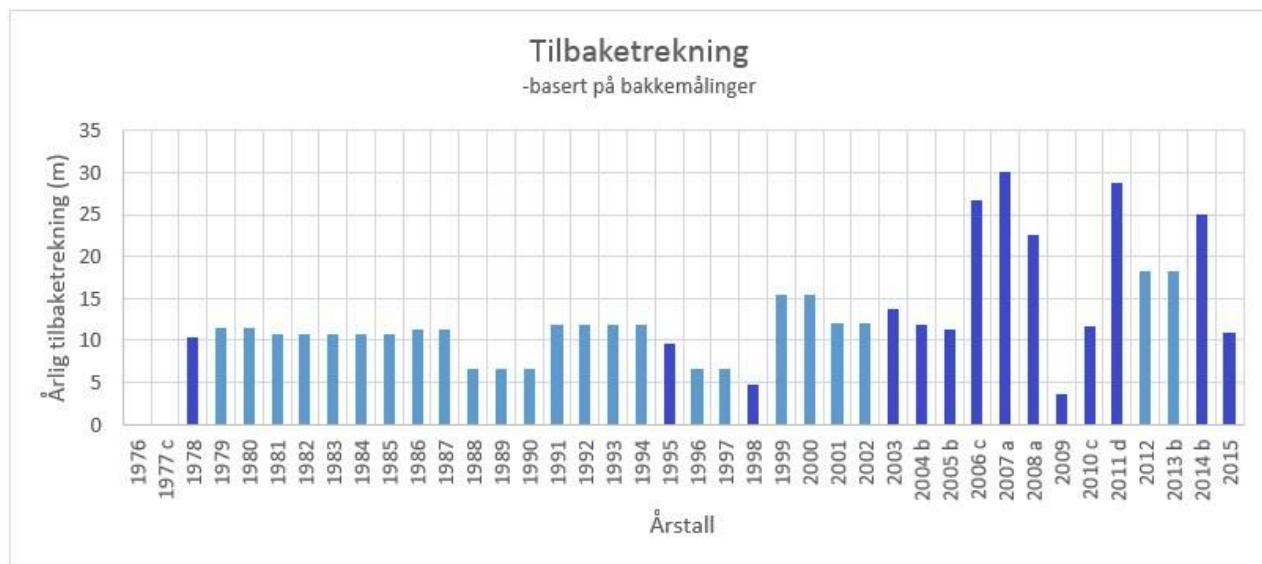
Resultater og tolkning

utkikkspunktet. Figur 4.2.2.9 c viser et bilde der breens form i 2001 er plassert over breens form i 2015 for å forsøke å vise den reelle forskjellen mellom de to stadiene.

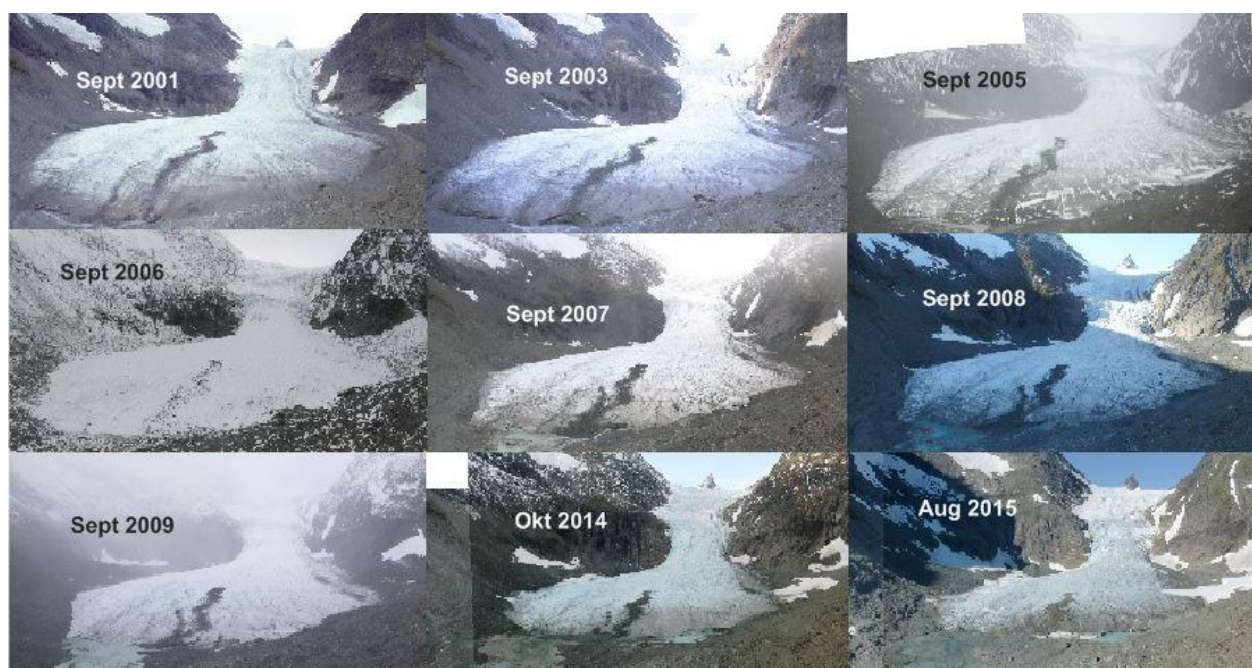
Årstall	Avstand (m)
1965	0
1976	182
1977	0
1978	10,3
1979	11,5
1980	11,5
1981	10,84
1982	10,84
1983	10,84
1984	10,84
1985	10,84
1986	11,4
1987	11,4
1988	6,67
1989	6,67
1990	6,67
1991	11,92
1992	11,92
1993	11,92
1994	11,92
1995	9,6
1996	6,6
1997	6,6
1998	4,7
1999	15,35
2000	15,35
2001	12,15
2002	12,15
2003	13,7
2004	11,9
2005	11,23
2006	26,6
2007	30
2008	22,5
2009	3,6
2010	11,74
2011	28,79
2012	18,25
2013	18,25
2014	25
2015	11
1965-2015	668

Tabell 4.2.2.9 a: Bakkemålingene gjennomført i perioden 1976-2015, samt 1965 fra rapport av Vessey (Vessey 1966).

Resultater og tolkning



Figur 4.2.2.9 b: Viser årlig tilbaketrekning i perioden 1976-2015. Gjennomsnittsmålinger vises i lys blå farge, og reelle årlige målinger er merket med mørk blå. Basert på tabell 4.2.2.9 a.



Figur 4.2.2.9 c: Sammenligning av Steindalsbreen mot slutten av ablasjonssesongene i perioden 2001-2015. Bilder tatt av Geoff Corner og Carina Nilsen.



Figur 4.2.2.9 d: Sammenligning av Steindalsbreen mot slutten av ablasjonssesongen. Størrelsen på breen i 2004 kan skimtes over breen i 2015. Mindre størrelse og mektighet vises tydelig. Bilder tatt av Geoff Corner og Carina Nilsen.

4.2.2.10 Feilmarginer på bakkemålingene

Det antas at det i praksis er feilmarginer innenfor stort sett alle målemetoder som brukes. Måleinstrumenter blir stadig forbedret etter hvert som teknologien utvikles. I Steindalen er det brukt flere ulike målemetoder for å måle og samle inn data, med varierende grad av feilmargin.

På grunn av at bakkemålingene er samlet inn av flere instanser (NVE, G.C. og C.N.) vil det naturligvis være noe feilmargin innenfor de ulike målingene og metodene som er brukt. De ulike dataene ble samlet i en tabell for å finne ut hvor eventuelle feil være og hvor store feilmarginer det eventuelt er snakk om.

Den enkleste metoden for å finne ut om det er feilkilder innenfor bakkemålingene var å bruke data fra de årene det ble tatt flere målinger. Det er en rekke år der dette var tilfellet, og tallene og dataene ble listet opp i en tabell (under) og sammenlignet innenfor det gjeldende året.

Resultater og tolkning

Kilde	Årstall	Tilbaketrekning (m)	Kilde	Årstall
CN	2014 b	8,8	NVE	2014 c
CN	2014 a	8,9	CN	2014 b
NVE	2013 a	5,3	GC	2013 b
NVE	2011 a	-26,7	GC	2011 b
GC	2011 b	20,8	GC	2011 d
Skilt	2010 a	73,4	NVE	2010 b
Skilt	2010 a	39	GC	2010 c
NVE	2010 b	34,4	GC	2010 c
NVE	2009 a	-18,7	GC	2009 b
GC	2008 a	12,5	NVE	2008 b
GC	2007 a	19,7	NVE	2007 b
Skilt	2006 a	57	NVE	2006 c
Skilt	2006 a	36	GC	2006 d
NVE	2006 c	-21	GC	2006 d
NVE	2005 a	-12,2	GC	2005 b
GC	2004 a	0	GC	2004 b
Skilt	2002 a	6,2	GC	2002 b
Skilt	2002 a	22,1	NVE	2002 c
GC	2002 b	15,9	NVE	2002 c
GC	2000 a	-3,7	NVE	2000 b
GC	1999 a	0	NVE	1999 b
GC	1998 c*	14	GC	1998 c
NVE	1998 b	-1	GC	1998 c
Skilt	1998 a	12,9	GC	1998 c
Skilt	1998 a	-1,8	NVE	1998 b

Tabell 4.2.2.10: Feilmarginer innenfor målinger tatt samme år. Tallene med negative verdier viser framrykk som anses å være feilaktige, der målinger tatt senere på året viser posisjon lengre fram enn målinger tatt på et tidligere tidspunkt. I september 1998 ble det tatt to målinger, kalt 1998 c og 1998 c*. Målingene ble utført på samme tidspunkt, men fra ulikt referansepunkt.

Målingene utført i 1998 (1998 c og c*) har en feilmargin på 14,0 meter, noe som utgjør en feilmargin på 6 %. Dette anses som en noe høy feilmargin.

Det er antatt at målinger som ble foretatt lenger unna et eventuelt referansepunkt vil ha et større avvik, noe målingene fra 1998 c kan bekrefte. Videre vil målinger der målebånd er benyttet bli ansett som målinger med mindre overensstemmelse. Målingene der GPS er benyttet vil bli ansett som om de har bedre overensstemmelse, men det vil fortsatt være mulighet for avvik i disse målingene.

Ut fra tabell 4.2.2.10 kan man se en del målinger med avvik. Om tallene kun er feil i forhold til hverandre eller om de viser feilaktige tall fra utgangspunktet blir det ikke tatt stilling til her. De data som viser for stort avvik vil bli ekskludert fortløpende da det er valgt å ikke bruke disse.

4.2.3 Skiltene plassert ved datidens brefront

I området foran Steindalsbreen er det satt opp fire skilt for å vise brefrontposisjonen det gjeldende året. Skiltene er satt opp i regi av NVE, med fire års mellomrom og strekker seg fra perioden 1998 til 2010. I følge teksten på skiltene er de satt opp av to ulike personer, B.N. og B.J.



Figur 4.2.3 a: Bilde av ett av skiltene som er satt opp i Steindalen. Skiltene markerer tidligere brefrontposisjon, og er satt opp av to ulike personer, B.N. og B.J.

Sistnevnte heter Bengt Jonsen, ifølge NVE's hovedobservatør for Steindalsbreen (NVE 2014).

Det er også tatt bakkemålinger av brefronten de gjeldende årene. Målinger tatt de tre siste periodene viser noe ulik posisjon av fronten, men også tidspunkt for målingene og montering av skiltene ulikt.

I 2006 ble det i tillegg til bakkemålinger og skilt også tatt flybilde av Steindalen.

Resultater og tolkning

	Dato	Kilde	Avstand (m)
Skilt	05.07.1998	B.J.	
	22.07.1998	NVE	1,4
Målebånd	10.09.1998	G.C.	14,5
Skilt	04.09.2002	B.J.	
GPS	11.09.2002	G.C.	6,25
	12.10.2002	NVE	16,5
Skilt	15.07.2006	B.N.	
Flyfoto	05.08.2006	Norge i bilder	18,4
	15.09.2006	NVE	37,8
GPS	30.09.2006	G.C.	-22,1
Skilt	16.07.2010	B.N.	
	26.08.2010	NVE	85,5
GPS	15.09.2010	G.C.	-43,4

Figur 4.2.3 b: Oversikt over skilt i Steindalen og annen innsamlet info i samme periode. Avstanden mellom de ulike lokalitetene vist i høyre kolonne. Tallene markert som negative viser framrykk som anses som feilaktige.

Bakkemålingene tatt i 1998 ble målt med målebånd. To distanser ble registrert dette året, avstand fra skiltet som ble satt opp samme året (05.07.98) og avstand fra ei større blokk som ble merket da målingene startet i Steindalen i 1976. Blokken har fått navnet WP 77-6, og UTM-posisjon 34W 457924, 7698362. Målingene fra det utgangspunktet som var lengst borte fra datidens breffront, blokken fra 1976, hadde en feilmargin på 13 meter. Dette kan tyde på noe feilmargin innenfor målingene, med en mistanke om at det finnes feilmargin innenfor alle de ulike målemetodene.

I 2006 ble det tatt flere målinger i Steindalen, av både NVE og Geoff Corner. Det ble også plassert skilt for breffronten og Norge i bilder tok flyfoto over området. De to sistnevnte målingene blir ansett for å være ganske pålitelige måter å dokumentere en endring i naturen på. Eventuelle feil kunne ligge i GPS-målingen av skilt-posisjonen i ettertid. Videre kan eventuelle feilmarginer ligge i bakkemålingene tatt dette året. Målingene tatt i september 2006 viser stor tilbaketrekning av breffronten med påfølgende framrykk.

Målingene fra 2010 viser noe merkelige tall, av to årsaker. For det første viser målingen gjort i august en tilbakegang på 85 meter. Dette er noe høyt i forhold til den generelle tilbaketrekningen for Steindalsbreen. For det andre kan målingene som ble gjort i september 2010 tyde på et framrykk av breen på 43 meter. Begge disse målte verdiene virker noe suspekter og ingen annen data har antydning på det samme.

4.3 Randmorenenes alder

Morenerygg 3 er den største og sist avsatte av de store moreneryggene i Steindalen. Den er omtalt av Ballantyne (1990) som en *M1 morene*. På lokaliteter over 400 meters høyde er disse morenene høye, bratte og har en skarpkantet egg. Av de undersøkte lokalitetene, der det er 2-4 morener tilstede er *M1*-morenene de høyeste. Dette fordi de sannsynligvis har overkjørt eldre morener og plukket opp materiale derfra. Ballantyne finner alder til *M1*-morenene til å være 1910-1920 ± 5 år. (Ballantyne 1990)

Ballantyne (1990) daterer *morenerygg 2* til å være dannet 1865-1880.

Med tanke på morenedekket på *morenerygg 1* må denne ryggen være det Ballantyne klassifiserer som *M4* og som dateres til å være yngre enn Preboreal og eldre enn LIT.

Angående *M3* så har ifølge Ballantyne (1990) denne ryggen, og de av samme alder på Lyngenhavvøya, et komplett vekstlag på yttersiden av morenene, med noe mer spredt vegetasjon innenfor morenen med en annen busk. Noen *morenerygg* med denne beskrivelsen ser ikke ut til å eksistere i Steindalen så det antas at *rygg 2* har beveget seg over en eventuell *M3*. (Ballantyne 1990)

4.4 Endringer i breens utseende og karakter i perioden 1953-2015

Breen har forandret utseende i stor grad fra starten av studietidsrommet til dagens situasjon.

Flybilde fra 1953 viser at breen hadde en stor lateral utbredelse samtidig som den hadde en form for butt tupp i dens østlige utbredelse. Tuppen besto av tre små forlengelser som antas å ha vært sterkt påvirket av topografien i området.

Resultater og tolkning

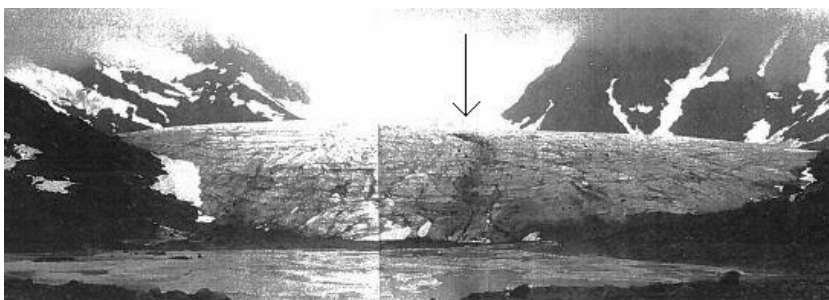


Figur 4.4 a: Flybilde av Steindalsbreen. Bilde tatt av Fjellanger Widerøe 16.08.53.

I nord fantes flere linesjoner av sedimenter oppå breen. Disse er av Vessey (1965) klassifisert som midtmorener. Det er tydelig at materialet følger breens transportretning. Materialet legger seg som en rand nordøst på breen og i terrenget.

I følge Vessey hadde breen i 1965 sprekker over hele flaten, i ulike retninger. Lengdesprekker i øst-vest-retning midt på breen, mens ut mot sidene fantes randsprekker, orientert nord-sør. Sprekkene gikk inn i hverandre, og forandret retning fra nesten 90° i forhold til breens lengderetning ved største nord-sør-utbredelse, til å følge breens transportretning i brefront.

Bilder tatt av Vessey (1977) i 1965 viser breens form, med en tilnærmet horisontal overflate i fronten. Midtmorenen var tilstede, markert med pil.



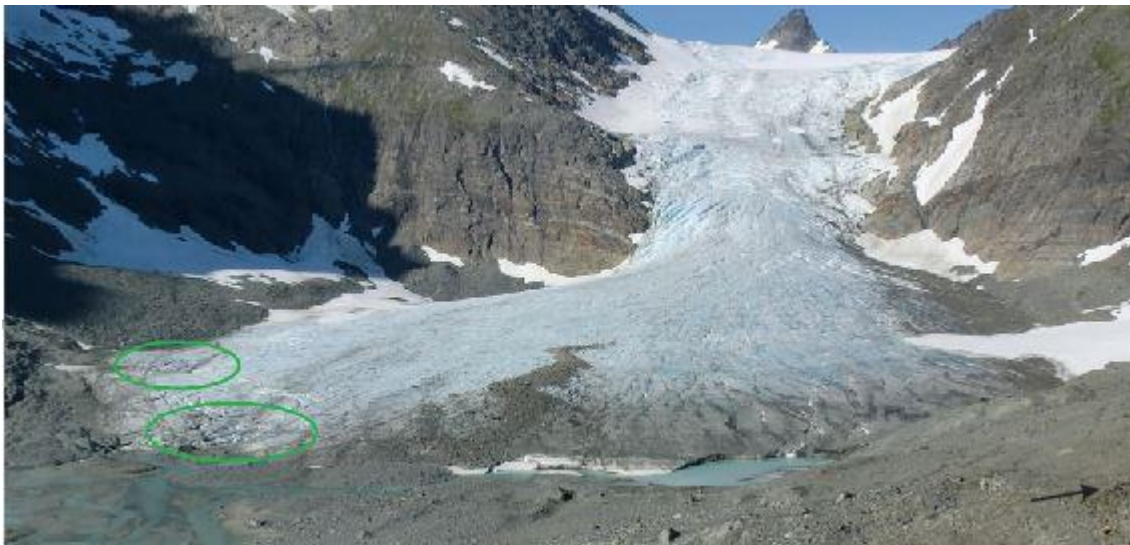
Figur 4.4 b: Brefront 1965, pilen viser datidens midtmorene. (Vessey 1977).

Breens lengde fra brefallet var 1416 meter i 1977. Breen hadde en jevn og oval form. Lengde- og randsprekkene hadde samme form som i 1953.

Resultater og tolkning

I 1993 hadde breen blitt omtrent 455 meter kortere siden 1953, men breen hadde fortsatt en avlang form med en butt brefront. Dette året (1993) var brefronten noe ujevn, med en liten forlengelse sentrert i fronten, i samme område som nedre del av øvre breelvslette er lokalisert, se figur 4.2.1.

De siste dataene i oppgaven ble samlet inn i august 2015. Breen var da 885 meter lang, og hadde en tilnærmet sirkulær form. Overflaten hadde en flat, svakt konveks form med rand- og lengdesprekker. I sørlige del av fronten ga isen etter og dannet to søkk, mens en bresjø var dannet ved fronten på nordsiden av elven.



Figur 4.4 c: Breen i august 2015. I sør har smelting fra undersiden dannet to søkk i isen (innringet i grønt), mens en bresjø er dannet i nord.

Tidligere hadde breen en mer avlang form med en butt tupp, mens nå i senere tid har formen blitt noe mer lobeformet.

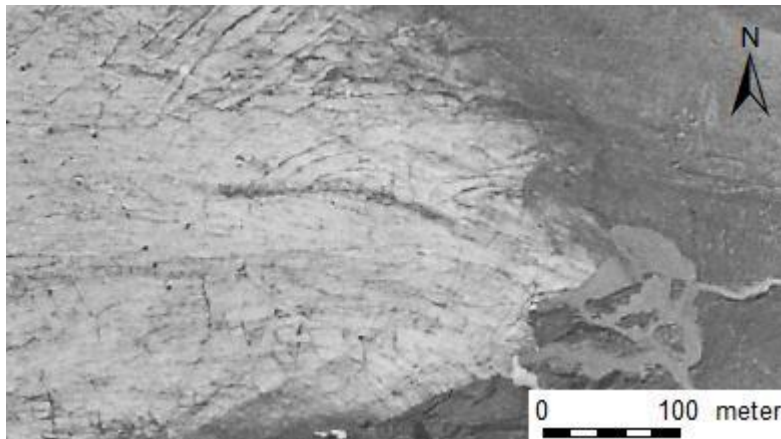
4.4.1 Midtmorenen

På alle bilder av Steindalsbreen finnes en midtmorene på brepartiet, sentrert i brefronten. Morenen forsvinner ned i breen mot brefallet og har ulik lengde, tykkelsen og antall avsetninger i ulike perioder. Morenen består av kantete til sub-kantete klaster opptil blokk størrelse.

Resultater og tolkning

Avsetningen ser ut til å dukke opp på omtrent samme punkt i lengderetning, midt på breen, på flybildene fra 1977, 1979, 2006 og 2011. Så, lengde på avsetningen avhenger i utgangspunktet av lengde på breen. Dette gjelder likevel ikke for flybilde fra 1953 der midtmorenen kun er representert nærmere fronten. I tillegg, på flybildene fra 1993 er det mye snø, og noen midtmorene er ikke synlig.

Det fantes flere mindre tydelige avsetninger i området nær fronten i 1953, men selve midtmorenen var omtrent 170 meter lang og omtrent 5 meter bred. Avsetningen var svakt buet med spredte klaster.



Figur 4.4.1 a: Midtmorenen i 1953. Avsetningen ser ut til å være sparsomt representert, og har en svakt buet form.

Avsetningen på flybildene fra 1977 var representert som tre ulike avsetninger. Den mektigste avsetningen var 20 meter bred og 95 meter lang, lokalisert 660-560 meter fra fronten. I de to mindre mektige avsetningene nærmere fronten var mer klastene mer spredt og avsetningene var 5-8 meter brede.



Figur 4.4.1 b: Midtmorenen i 1977. Det fantes en klar midtmorene litt oppover på breen, og noen mindre tydelige avsetninger nærmere fronten.

Resultater og tolkning

I 1979 var midtmorenen delt i flere mindre avsetninger, se figur 5.4.1 c. Morenen dukket først opp 660 meter fra fronten og øvre del av morenen var omtrent 110 meter lang og 12 meter bred. Denne delen var godt representert med en mektig avsetning. Nærmere fronten var det flere smale avsetninger med forholdsvis lite sedimenter spredt over et område som var 120 meter bredt (nord-sør) og i underkant av 400 meter langt. De smale avsetningene var opptil 350 meter lange og under 10 meter brede.



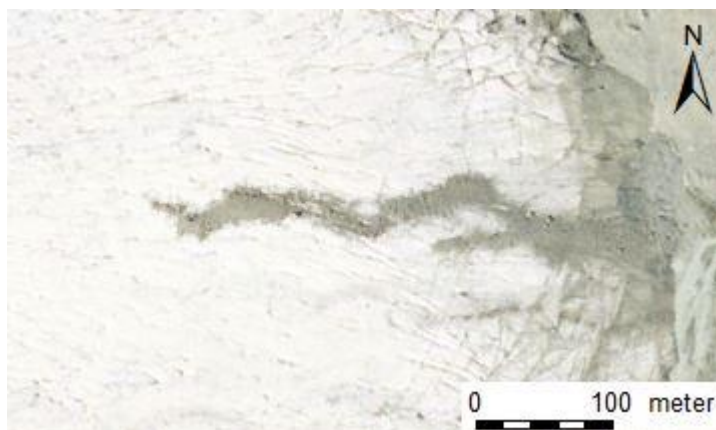
Figur 4.4.1 c: Avsetninger på Steindalsbreen i 1979. Det var en klar avsetning lengst unna breffronten og flere mindre tydelige morener nær fronten. (Flybilde 1979).



Figur 4.4.1 d: En stor midtmorene med en mindre morene til venstre i bildet. Bilde tatt av Geoff Corner 14.09.04.

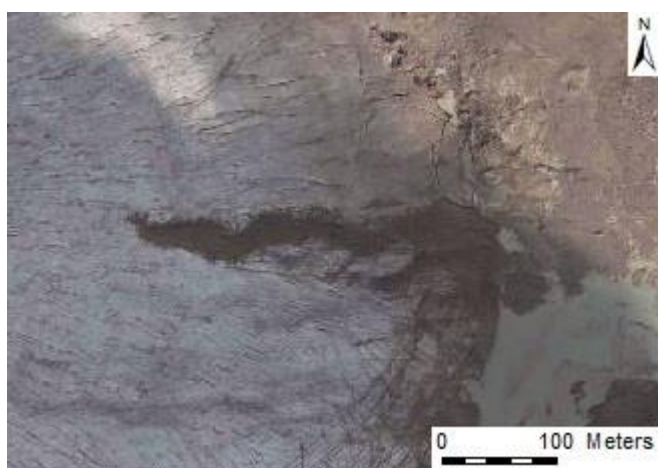
På flybilde fra 2006 bestod midtmorenen av en ujevn samling av klaster, se figur 4.4.1 d. Ansamlingen hadde et sikksakk-mønster med ujevn tykkelse, fra en nesten brutt linje (~0 meter) til 34 meter bred helt i front. Avsetningen var omtrent 350 meter lang.

Resultater og tolkning



Figur 4.4.1 d: I 2006 hadde midtmorenen et sikksakk-mønster og ujevn tykkelse. Modifisert fra (Flybilde 2006).

I september 2011 var midtmorenen ca. 50 meter bred helt i front og ble smalere oppover breen, mot brefallet. Morenen forsvant ned i breen omtrent 300 meter fra brefronten. Bredden på avsetningen var varierende, fra 16-36 meter.



Figur 4.4.1 e: Midtmorenen på flyfoto. September 2011. (Kartverket et al. 2011)



Figur 4.4.1 f: I oktober 2011 var det to midtmorener på Steindalsbreen. Bilde tatt av Geoff Corner 26.10.11.

Under likevektslinjen smelter breen og derfor vil morenematerialet komme til overflaten lenger ned mot brefronten (Nesje 2012). Dette kan også være en av grunnene til at midtmorenen vises så godt på nyere bilder, men ikke på eldre. Breen antas å trekke seg raskere tilbake i senere tid, se kapittel 4.2.

Resultater og tolkning

Det antas at det er berggrunnen i brefallet under isbreen som eroderes når breen beveger seg over.

Midtmorenen forandret form fra 1979 til 2001. I 1979 og perioden før, og muligens en periode etter dette flybildet ble tatt, var midtmorenen mer jevn. De senere årene har morenen fått en mer buktende form, et sikksakk-mønster.

Midtmorenen var i 2015 representert av to morener, en stor og en ganske mye mindre på sørsiden av hovedmorenen.



Figur 4.4.1 g: I august 2015 var midtmorenen representert med en stor og en noe mindre avsetning.

Området under dagens bre ser ut til å bli erodert til et lavere nivå enn området foran breen, der det nå er avsatt bunnmorene, se figur 4.1. At berggrunnen eroderes til et lavere nivå, har nok påvirket breen på flere måter, blant annet på midtmorenens karakter og resultert i en mer konsentrert samling av sedimentene.

4.4.2 Brefrontens karakter

Brefronten er noe endret gjennom studieperioden. I perioder der brefronten har terminert i stående vann (smeltevann fra breen) har breen smeltet mer fra undersiden enn vanlig. Denne type smelting er spesielt merkbar i fronten, der den ekstra tilførte energien (se kapittel 1.1) kan føre til høyere smeltrate. Dette fører til at isen mister støtten fra berggrunnen på undersiden. Denne støtten er avgjørende for at breen skal kunne holdes intakt. Dette, sammen med dannelsen av skyveflak nærme brefronten (se figur 4.1.8 b og c) fører til at isen bryter løs og blir liggende i vannet.

Resultater og tolkning



Figur 4.4.2 a: I 1953 var brefronten ujevn og antas å være sterkt preget av terrenget. Stående vann foran breen kan se ut til å ha påvirket sørsiden av bretuppen til å bryte opp, innringet i blått. Modifisert fra (Flybilde 1953).



Figur 4.4.2 b: I 1979 hadde brefronten en jevn, butt form. Modifisert fra (Flybilde 1979).



Figur 4.4.2 c: Brefronten hadde en noe ujevn form, med en del oppsprekking og tegn til smelting fra undersiden i nord. Dette er synlig med søkk i isens overflate. Bilde tatt av Geoff Corner i september 2004.

Resultater og tolkning



Figur 4.4.2 d: I september 2011 hadde brefronten en generell jevn form med oppsprekking i front både i nord og sør. Dette antas å skyldes ansamling av vann, noe som øker smeltemraten. Modifisert fra (Kartverket et al. 2011)



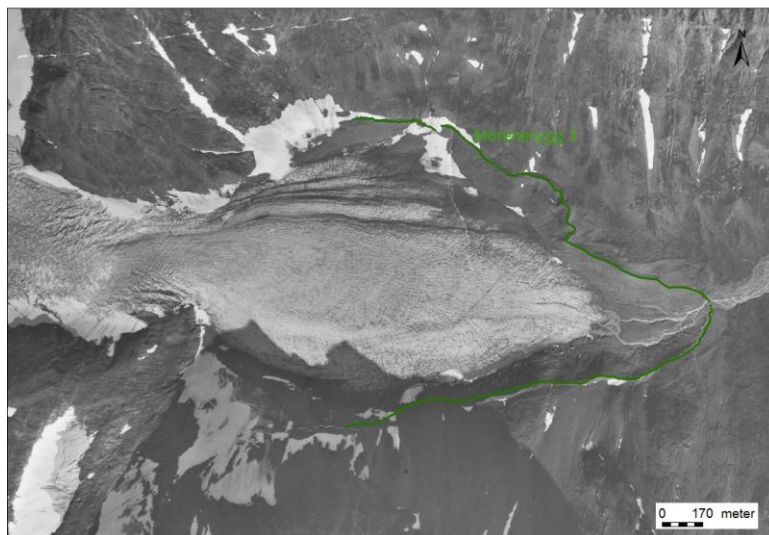
Figur 4.4.2 e og f: Viser subglasial smelting, etter teori i kapittel 1.1 og figur 1.1. Bilder tatt i 2013 (Geoff Corner) og 2010 (David Greig).

Om breen sprekker opp og knekker av, avhenger av hvor tykk isen er, se kapittel 1.1.

4.4.3 Breens tykkelse

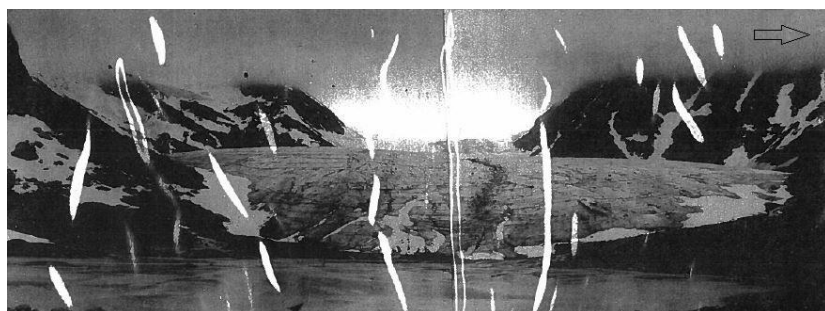
Steindalsbreens mektighet har variert i stor grad fra begynnelsen av studietidsrommet og til dagens situasjon. I 1953 hadde breen en utbredelse nesten til *morenerygg 3*, og mektigheten antas å ha vært stor.

Resultater og tolkning



Figur 4.4.3 a: Breens utbredelse I 1953.
Modifisert fra (Flybilde 1953).

I 1965, da Vessey og hans gruppe var oppe I Steindalen, terminerte breen på vestsiden av *midtre breelvslette*. Breoverflaten hadde en svakt konveks form. Breens nordre og søndre utbredelse var begrenset av terrenget, som hellet oppover. Brefronten hadde en bratt helning.



Figur 4.4.3 b: Brefronten i 1965.
Modifisert fra (Vessey 1977)

I 2001 hadde breen en tydelig konveks form og buet oppover. Breen hadde trukket seg tilbake til *øvre breelvslette* og brefronten hadde en bratt skråning.



Figur 4.4.3 c: Breen hadde en tydelig konveks form. Bilde tatt av Geoffrey Corner i september 2001.

Resultater og tolkning

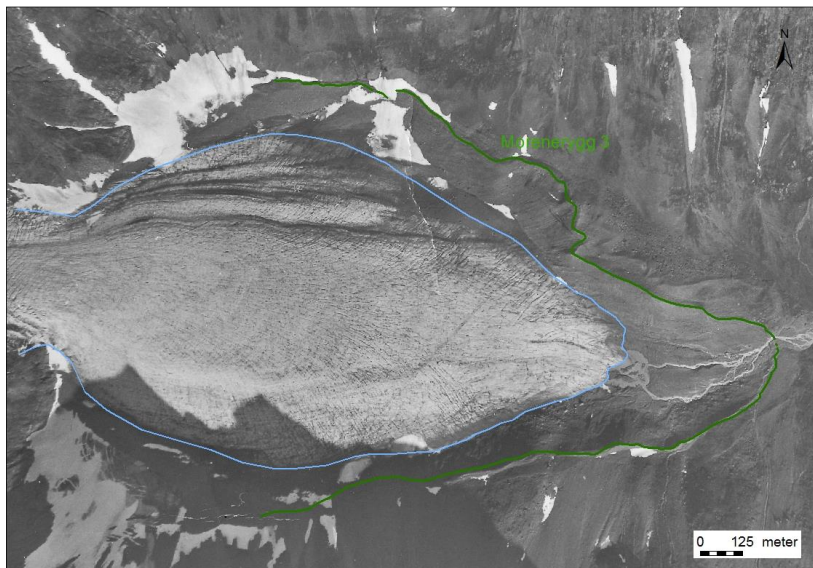
I 2015 hadde breen en svakt konveks form vertikalt oppover og en svak helning fra brefronten opp mot brefallet.



Figur 4.4.3 d: Breens svakt konvekse form tyder på mindre tykkelse. Bilde tatt i august 2015.

4.4.4 Breens form

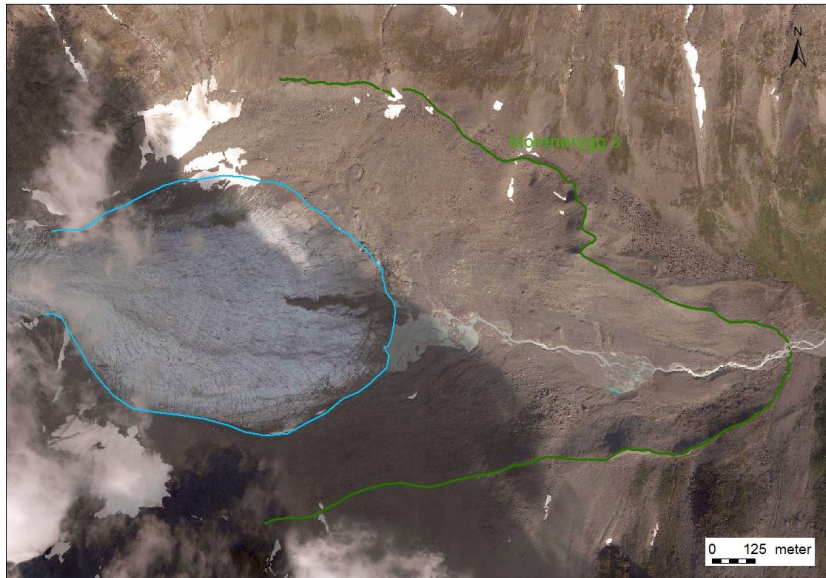
Fra de første flybildene ble tatt i Steindalen i 1953 og til det siste bilde ble tatt i 2011 har breen forandret form. I 1953 hadde breen en stor utbredelse og nådde nesten til den yngste store moreneryggen, *morene 3*, og terminerte ved *midtre breelvslette*. Breen hadde en avlang form.



Figur 4.4.4 a: Breen hadde en avlang form i august 1953. Modifisert fra (Flybilde 1953).

Resultater og tolkning

Flybildet tatt i 2011 viser at breen var formet som en lobe. Breen utbredelse har minket noe siden 1953, og breen terminerte ved *øvre breelvslette*.



Figur 4.4.4 b: I september 2011 var breen lobeformet. Modifisert fra (Kartverket et al. 2011).

4.5 Tilbaketrekning gjennom smeltesesongen

For å få et bedre bilde av bretilbaketrekningen ble det undersøkt når, i løpet av året, smeltingen av breen foregikk. Målingene som ble gjennomført over samme år ble samlet og sammenlignet. På grunn av for liten overensstemmelse mellom målingene utført av NVE i forhold til målingene tatt av Geoffrey Corner og flybildene vil målingene fra NVE ikke bli tatt i betraktning her, se kapittel 4.2.2.10. Sammenligningen i dette kapittelet er basert på bakkemålingene utført av Geoffrey Corner og diverse flybilder.

Det ble tatt to sett med målinger i 2004, 14. (2004 a) og 23. (2004 b) september. Lite forandret seg på den korte tiden. Linjene med GPS-punkter satt inn i ArcMap går om hverandre, se figur 4.5 a.

Resultater og tolkning



Figur 4.5 a: To målinger fra 2004.
Modifisert fra (Kartverket et al. 2011).

Det ble tatt målinger i to omganger i 2014, 22. august og 5. oktober. Disse dataene viser en tilbaketrekning på 9,8 meter. Det antas at breen har hatt noe nedsmelting allerede før første felttur til lokaliteten. Det er også sannsynlig at det har vært noe smelteaktivitet etter 5. oktober, da klimatabeller viser at middeltemperaturen lå over nullpunktet til midten av november, se tabell 1.5 a.



Figur 4.5 b: To sett målinger fra 2014. Det var 9,8 meters tilbaketrekning mellom august (brunt) og oktober (grønt) det året. Brefrontens plassering markert i blått på venstre side.

Tilbaketrekning gjennom smeltesesongen viser en varierende tilbaketrekningshastighet gjennom smeltesesongen. I tabell 4.5 c er denne variasjonen dokumentert.

Tilbaketrekning gjennom august måned kan hentes fra 2006 (2006 a-b), der målinger gjort 15.juli 2006 og igjen 15.august 2006 viser en daglig gjennomsnittlig tilbaketrekning på 0,9 meter. Målinger gjort i august (06.-30.) 1977 viser en daglig tilbaketrekning på 0,3 meter.

Resultater og tolkning

I følge målingene gjennomført i 2011 (b-c) var tilbaketrekningen sent i smeltesesongen (september) noe lav, med 0,25 meters nedsmelting per dag. Av målingene tatt i 2004 (2004 a-b) finner man at den daglige gjennomsnittlige tilbaketrekningen i september måned var 0,47 meter. Dersom det sammenlignes med data for juli-august måned (2006 a-b) kan man oppsummere at tilbaketrekningen generelt var noe lavere i september.

Dato		Tilbaketrekning (m)	Tidsrom (dager)
22.aug.-05.okt.	2014 a-b	9,8	44
19.sept.-26.okt.	2011 c-d	15,6	37
30.-aug-19.sept.	2011 b-c	5	20
16.juli-15.sept.	2010 a-c	34,6	61
15.aug.-30.sept.	2006 b-d	12,6	56
15.juli-15.aug.	2006 a-b	19,2	21
14.-23.sept.	2004 a-b	4,3	9
04.-11.sept.	2002 a-b	6,2	7
05.juli-10.sept.	1998 a-c	13,1	67
06.-30.aug.	1977 b-c	7,5	24

Tabell 4.5 c: Tilbaketrekning gjennom smeltesesongen der det finnes flere målinger fra samme år.

Tilbaketrekningen gjennom smeltesesongen var noe ujevn, og data tatt med høyt tidsintervall gir lite nøyaktig informasjon. For konklusjon i dette kapittelet må det tilføres at det er for mange faktorer å ta hensyn til for å kunne si hvorfor tilbaketrekningen var så ujevn, om det skyldes for eksempel klima eller topografi. Det var også for lite datagrunnlag å støtte seg på for å kunne si noe konkret om tilbaketrekningshastighet gjennom smeltesesongen, utenom at smelteaktiviteten er større i august måned enn i september. Dette er også den generelle smelteraten, da august normalt regnes for å være den varmeste måneden i løpet av året.

5 Diskusjon

I dette kapitlet vil randmorenene bli beskrevet. Deres alder har blitt presentert tidligere i denne oppgaven, men, som tidligere nevnt (kapittel 4.2.1), kan morenerygger dokumentere brefremstøt, men tilbaketrekningsforløp mellom de ulike randmorenene er utilstrekkelig dokumentert.

Så følger en sammenstilling av alle data for bretilbaketrekning, med både moreneryggene, flybilder og bakkemålinger som bakgrunn. Landskapsutvikling foran breen er tatt i betraktning ved denne bretilbaketrekningshistorien.

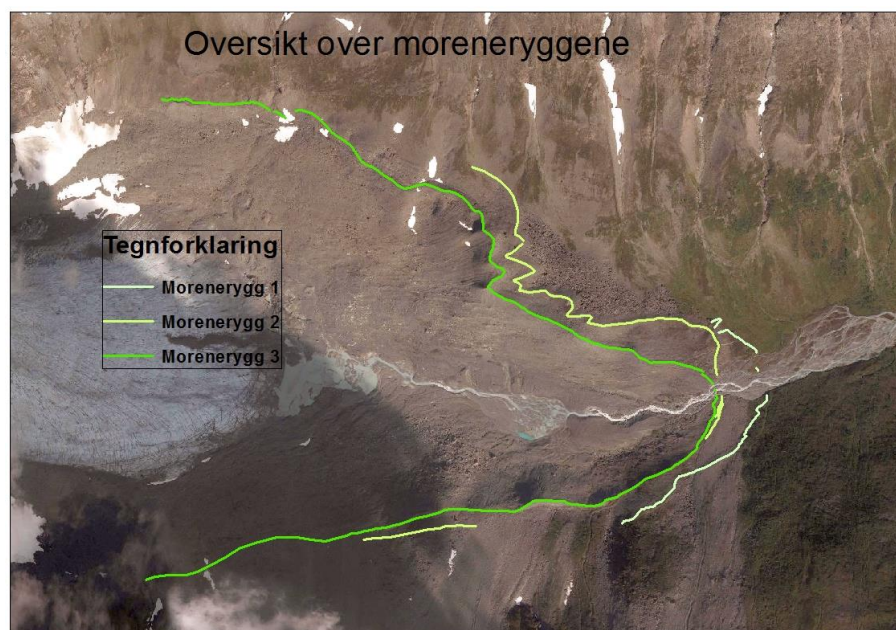
Videre vil eventuelle feilmarginer ved bakkemålinger bli diskutert og presentert.

Tilbaketrekingen vil bli diskutert og forsøkt å knyttes opp mot klima i det aktuelle tidsrommet.

Til sist vil ulike framtidsprognoser bli stilt og tidsrom for eventuell nedsmelting av breen vil bli framstilt.

5.1 Randmorener

Det finnes flere randmorener i Steindalen som alle viser tidligere posisjon og/eller framrykk av isbreer. Men det er kun de tre som er nærmest breen som vil bli diskutert i denne oppgaven.



Figur 5.1: Oversikt over de store moreneryggene, med den eldste, morene 1, til høyre i lys gult, og den yngste, morene 3, i grønt lengst til venstre. Modifisert fra (Kartverket et al. 2011).

De tre randmorenene som er nærmest breen er analysert og aldersbestemt av Ballantyne (1990). Alle randmorener på Lyngenhavøya ble kartlagt og de neoglasiale morenene foran 21 breer ble aldersbestemt.

Morene 1 og 2 er noe mindre i utbredelse enn *morene 3*. Ut fra det morfologiske kartet konstruert i ArcMap (figur 6.1) ser man at *morenerygg 1 og 2* faser ut og ligger under den/ de yngre moreneryggene, i henholdsvis nord og sør for breelven.

I følge Ballantyne (1990) beveget *morene 3* seg over tidligere avsatte morener og plukket opp materiale derfra.

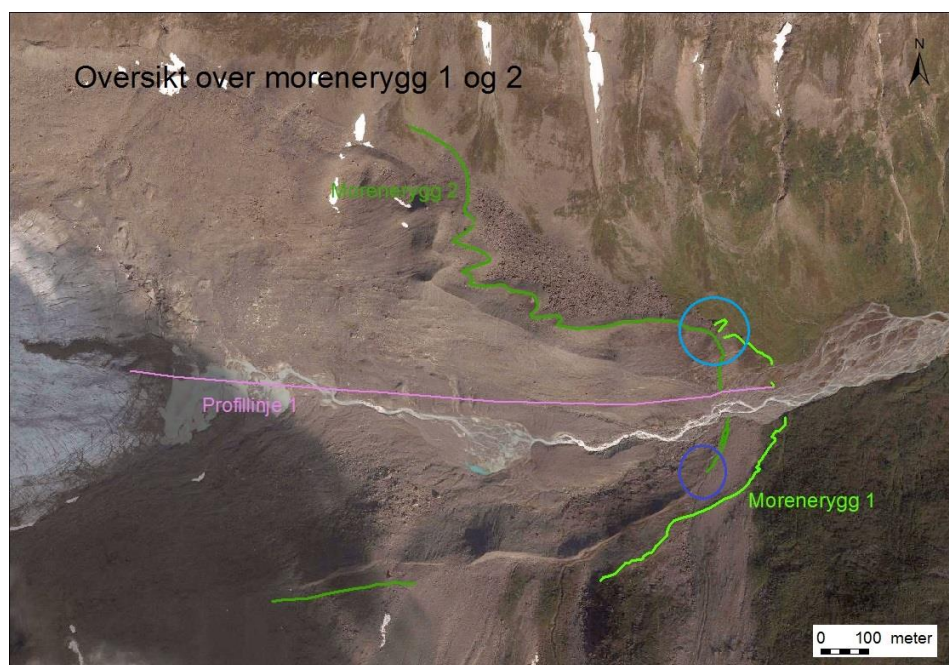
Det kan tenkes at dette har skjedd i flere omganger. Det er også sannsynlig at *morene 2* beveget seg over og delvis begravet *morene 1*. Det ser også ut som at *morene 3*, i tillegg til å ha slettet ut eventuelle morener mellom *morenerygg 2 og 3*, delvis har beveget seg over *morene 2*.

Siden breen jevner ut alle spor ved framrykk vet man ikke hvor langt tilbake brefronten har vært lokalisert før den har beveget seg framover igjen. Å bruke disse landformene som indikator for tilbaketrekningshastigheten vil da være ugunstig. Landformene vil likevel bli omtalt i de to følgende kapitlene.

5.1.1 Rygg 1 - rygg 2

Morenerygg 1 og *2* er i de målte punktene (ved brefront, langs profillinje 2) omtrent 110 meter fra hverandre. Den største utstrekningen mellom disse er 121 meter, rett sør for elven, mens i nord forsvinner *rygg 1* under *rygg 2*. *Morenerygg 1* er i større grad representert på sørsiden av breelven, mens *rygg 2* har en del større utstrekning i nord.

Som nevnt tidligere er det ganske mye vegetasjon på den eldste av disse moreneryggene, *rygg 1*. I nordre del av *moreneryggen 1*, direkte oppå vegetasjonen, er det avsatt store steiner som antas å være skjøvet fram av *morenerygg 2*. Klastene er opptil 1 meter store og dårlig rundet.



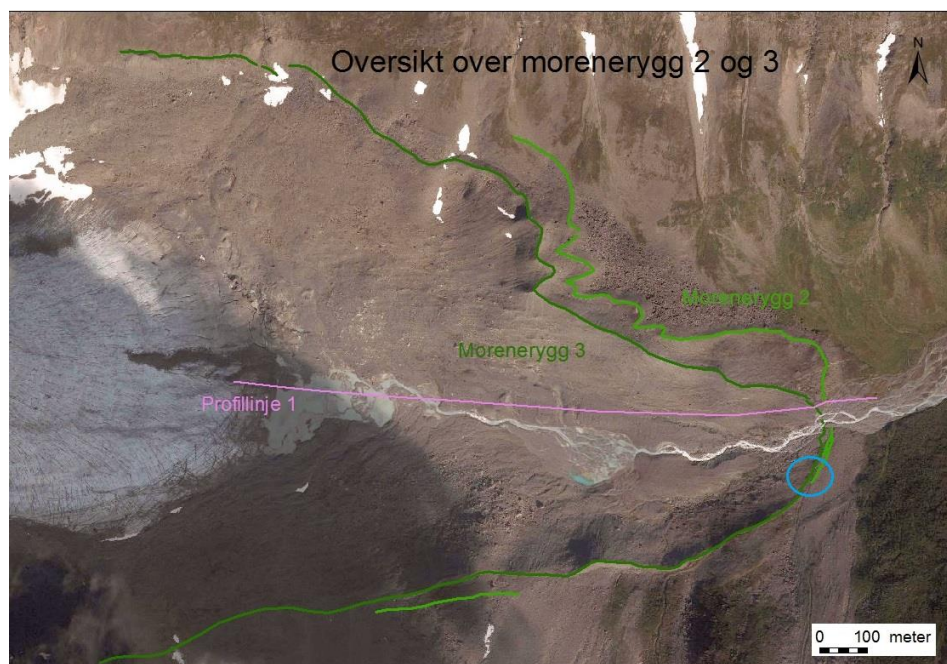
Figur 5.1.1:
Morenerygg 1 og *2*.
Utfasing av *morene 1*
innfelt i lys blå sirkel
og utfasing av *morene 2*
under *morene 3* ved
mørk blå sirkel.
Modifisert fra
(Kartverket et al.
2011).

Helt sør i bildet finnes en forlengelse av en morenerygg. Det er usikkert om den er en del av *morene 1* eller *morene 2*. Det finnes ingen vegetasjon på morenen på grunn av kontinuerlig avsatt rasmateriale.

Ut fra formen på ryggen ser den ut til å være en del av *morene 2*, men dette er noe usikkert.

5.1.2 Rygg 2 - rygg 3

Morenerygg 2 og *3* ligger tett mot hverandre helt i front, der profillinjen er satt. Distansen langs *profilinje 1* er 25,4 meter, og mot sør blir avstanden mindre helt til *morenerygg 2* forsvinner under *rygg 3*. På nordsiden av breelven er avstanden mellom ryggene noe lengre.



Figur 5.1.2: Bildet viser de ujevne avstandene mellom randmorene 2 og 3. Profilinje 1 viser hvor tilbaketrekningsavstanden ble målt. Modifisert fra (Kartverket et al. 2011).

5.2 Tilbaketrekningshistorie for Steindalsbreen

Landskapsutviklingen foran Steindalsbreen sier mye om hvordan tilbaketrekingen av breen har forløpt seg. Det vil her bli forsøkt å korrelere bretilbaketrekningshistorien.

Den yngste av de store moreneryggene, *morenerygg 3*, består av en stor rygg og flere mindre avsetninger, og er i denne oppgaven kalt et morenekompleks. Det faktum at det er avsatt flere små rygger kobles opp mot klimaet og høye verdier av vinternedbør. Dette gir akkumulasjon til breen, som igjen fører til at breen vokser. Også høye sommertemperaturer har vært nødvendige for at breen skal trekke seg tilbake hver sommer. Disse kriteriene var ikke tilstede i Steindalen i det aktuelle tidsrommet, rundt 1910-1920, se figur 1.6 b. Nedbøren i Steindalen lå omtrent på normallinjen og temperaturene var under nullpunktet gjennom året på denne tiden.

Diskusjon

Lengst øst i området med bunnmorene foran Steindalsbreen er det avsatt flere titalls flutes. Denne type formelementer blir avsatt av en aktiv bre, og for at de skal bli bevart må de være avsatt helt mot slutten av en periode med framrykk. Det faktum at elementene er bevart sier at breen hadde liten grad av dynamikk mens den trakk seg tilbake og hadde relativt liten avrenning og andre deformerende prosesser i det aktuelle tidspunktet (omtrent 1910-1980), se figur 4.2.1. Terrenget i dette området (nordøst i bunnmorenelaget) heller inn mot senter av brefronten, til breelven, og gjorde at eventuell smeltevann ble ledet den veien. Dette kan man også se på dannelsen av slukrenner og den store utbredelsen av midtre breelvslette i nord-sør retning. Dannelsen av slukrenner tilsier stor smelteaktivitet sammen med helning i terrenget. Breen hadde i dette tidsrommet en tilbaketrekning på omtrent 10 meter per år.

Etter omtrent 1980 ble den *øvre breelvslette* synlig i landskapet. Denne perioden var preget av stor smelteaktivitet, med dannelse av laterale renner, særlig på sørsiden av breen. Det antas at det meste av smelteaktiviteten i nord foregikk englasialt, samtidig som avsetningen i området var lav. Dette kan observeres ved store områder med *spredt morenedekke på fjell*, se figur 4.2.1.

Etter omtrent år 2000 ble det avsatt store mengder dødis i brefronten, se kapittel 4.1.8. Særlig i nord er dannelsen av dødis synlig i landskapet, både i området foran breen, men også et stykke oppe i bunnmorenelaget. Både i nord og i sør har breen avsatt dødis lateralt. Dette har blitt begravd av bunnmorenemateriale, skred fra fjellsiden og blir skjult av snø. Breen mister store deler is som sprekker opp og knekker av, og *øvre breelvslette* blir stadig bredere (nord-sør retning). Dette er tegn på en dynamisk inaktiv bre, mens dannelsen av skyveflak viser at breen fortsatt er i bevegelse fram og ned (i østlig retning).

Den siste tiden, perioden etter flybilde tatt i 2011, er det dannet en liten bresjø i brefront, nord for breelven. Rask tilbakegang av isbreer, rett type topografi foran brefront og lav gradient av isbreen, danner ofte brevann (Robertson et al. 2016). Dannelsen av bresjø viser både rask tilbakegang av breen og lav produksjon av bunnmorenemateriale.

5.3 Tilbaketrekning i forhold til andre nordnorske breer

For å avgjøre om tilbaketrekningen av Steindalsbreen er reell har den blitt sammenlignet med andre breer, både lokalt i området og noen litt lengre unna. Det er brukt både målinger gjort over lengre perioder og tall fra de siste årene.

Engabreen er en brearm, også kalt en utløper, fra vestre del av Svartisen i Nordland. Svartisen ligger omtrent 400 kilometer sørvest for Steindalsbreen. Brearmen er orientert mot kysten (omtrent 7 meter over havet), mens Steindalsbreen ligger noe lengre inn i landet, på østsiden av en fjellkjede. Engabreen er større i utbredelse i forhold til Steindalsbreen, og dekker et område på 39,6 km² (NVE 2016), mot Steindalsbreens utbredelse på 4,81 km² i 1993 (NVE 2014). De to breene ligger på omtrent samme høyde i terrenget (omtrent 7-1200 m o.h., mot Steindalsbreens omtrent 450-1450 m o.h.).

Målinger av Engabreen gjort med noen ukers mellomrom på sommeren, sentrert i isfallet, viser at breen hadde en tilbaketrekningshastighet på ca. 1,3 meter per dag (NVE 2016). I følge en rapport utarbeidet av NVE i 1979 hadde Engabreen et framrykk i perioden 1966-1971 på til sammen 107 meter, og breen hadde en stillstand og tilbaketrekning i perioden 1972-1971 og mistet 47 meter av bremassen. I 1976-1979 hadde breen igjen et framrykk på 83 meter over en periode på fire år. (Haakensen et al. 1979) Til tross for at Engabreen har hatt flere brefremstøt de siste 50 årene, med det siste så sent som på 1990-tallet (Elvehøy et al. 2015), har breen hatt en generell tilbaketrekning på 255 meter i tidsrommet 1999-2009 (Pelto 2010).

Videre studie gjort av NVE viser at det er breene i de nordligste fylkene, Troms og Finnmark, og de østligste breene i Sør-Norge, som har størst smelting. Langfjordjøkelen er den breen i Norge som minker mest (Elvehøy et al. 2015), og hadde nær likevekt i perioden 1992-93 og årene før, da de fleste andre breer i Norge var i framrykk (Elvehøy et al. 1995).

Langfjordjøkelen er lokalisert omtrent 110 km nordøst for Steindalen, på grensen mellom Troms og Finnmark. Brearmen er østvendt og ligger helt ved kysten. Breen dekket et område på 8,4 km² i 2000, og har en utbredelse fra 300-1050 m o.h. (Kjøllmoen et al. 2000).

Langfjordjøkelen mistet en tredjedel av massen i løpet av den studerte perioden, fra 1960-tallet til 2015 (Elvehøy et al. 2015), og har hatt en tilbaketrekning på 387 meter i perioden 1998-2010, og 1181 meter i perioden 1965-2010 (Andreasse et al. 2010). Jøkelenes tilbaketrekning siden LIT, i tidsrommet fra rundt 1900-2000, målte ca. 1,2 kilometer (Kjøllmoen et al. 2000). Av de to sist presenterte tallene kan man konkludere at en stor del av

Diskusjon

nedsmeltingen har foregått den siste tiden, nærmere bestemt ca. 200 meter på 21 år, i perioden 1945-1966, og omtrent 700 meter de neste 28 årene (1966-1994) (Kjøllmoen et al. 2000).

Breene er lokalisert lengre sør og nord i landet i forhold til Steindalen. Dette gir noe ulik lengde på smeltesesongen, men deres plassering ved kysten er derimot ganske sammenlignbar. Engabreen hadde i perioden 2014-2015 en tilbakegang på 6 meter og Steindalsbreen hadde en tilbakegang på 12 meter, mens Langfjordjøkelen hadde et framrykk på 6 meter. Året før viser studien for de samme breene, henholdsvis, 56 meter, 21 meter og 51 meters tilbakegang. (NVE 2015)

For mer lokale breer å regne i forhold til Steindalsbreen finnes både Koppangsbreen og Sydbreen, begge lokalisert lenger nord på Lyngenhalvøya. Disse to breene er det drevet lite forskning på, men NVE startet brefrontmålinger på breene de senere årene. Publikasjoner fra 2015 viser at Sydbreen hadde en tilbakegang på 21 meter det siste studieåret (2014-2015) mens Steindalsbreen hadde en tilbakegang på 12 meter. Året før (2013-2014) gikk Sydbreen tilbake 3 meter, Steindalsbreen hadde en tilbakegang på 21 meter og Koppangsbreen minket med 49 meter. (NVE 2015)

Koppangsbreen hadde en tilbaketrekning i perioden 2000-2010 på 168 meter (Pelto 2013), mens tilbakegangen for Steindalsbreen i samme periode var på omtrent 156 meter.

Steindalsbreen er helt i tråd med tilbaketrekningen i forhold til andre sammenlignbare breer i området. Den generelle trenden viser at breene er i tilbakegang og tilbaketrekningshastigheten varierer noe. Om variasjonen skyldes ustabil klima eller topografi er usikkert.

5.4 Tilbaketrekning i forhold til klima

Tilbaketrekningen av Steindalsbreen kan skyldes flere årsaker. Noen av disse vil bli omtalt i dette kapitlet, med ulike vinklinger og i form av graf og tabell.

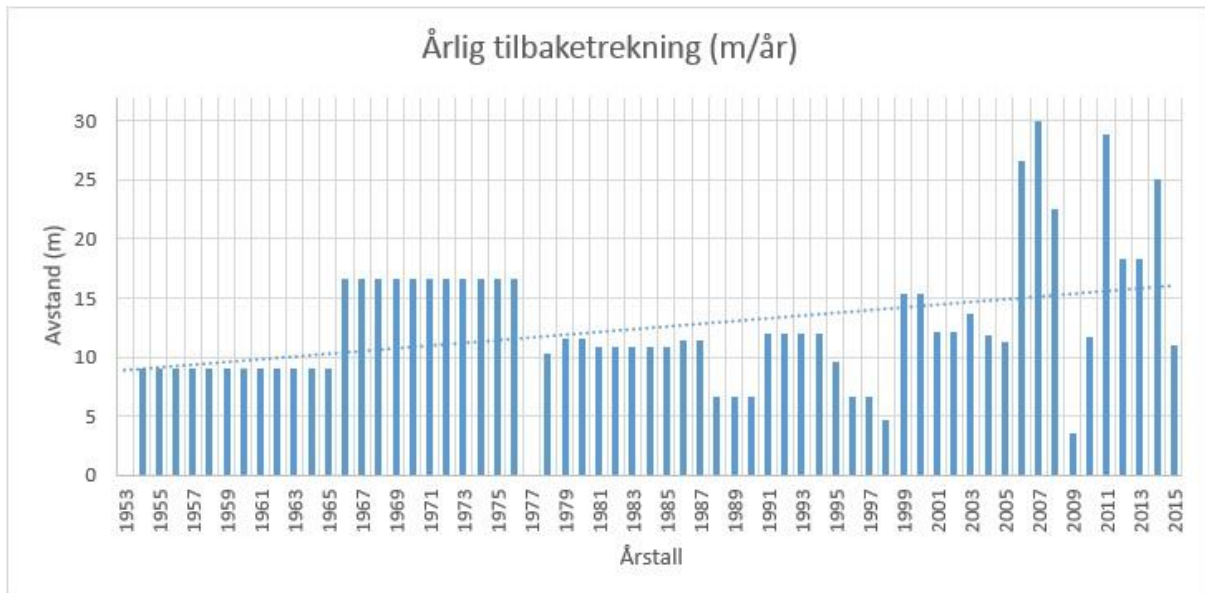
I den store sammenheng ser det ut til at breen trekker seg fortere tilbake de senere årene. Tilbaketrekningen hadde i første del av studieperioden en gjennomsnittlig tilbaketrekning på 10-13 meter årlig fra *morenerygg 3* til første flyfoto tatt i 1953. Tallene øker jevnt til en gjennomsnittlig tilbaketrekning på 16 meter per år i perioden 1977-1979. Etter denne

Diskusjon

perioden sank tilbaketrekningshastigheten til ca. 10 meter per år, før den gradvis økte til i overkant av 23 meter opp mot 2015. Se tabell 4.2.1.8 a.

Trenden med økende tilbaketrekningshastighet støttes av bakkemålingene. Av figur 4.2.2.9 a, kan man se at tilbaketrekningshastigheten har økt gradvis gjennom årene, og ender opp med en hastighet siste studieår, oktober 2014-august 2015, med en årlig tilbaketrekning på omtrent 10 meter. Siste del av ablasjonssesongen 2015 er ikke representert, derfor har tilbaketrekningensdistansen for 2014-2015 noe lav verdi og passer ikke helt inn i modellen.

Data fra 1953 (flybildet) og 1965 (Vessey 1966) er ikke tatt med i tidligere vurderinger da disse tallene blir ansett som gjennomsnittlige og for å være for usikre da dataene har for stort tidsavvik, se figur 5.4 a. Det ble gjort i dette tilfellet for å få et større sammenligningsgrunnlag mellom tilbakegang av breen og klima.



Figur 5.4 a: Tilbaketrekningshastighet langs profillinje 2 gjennom perioden 1953-2015. Viser en varierende hastighet med gradvis økende tendens. Basert på bakkemålinger og tabell 4.2.2.9 a, samt data fra flyfoto (1953) og fra rapport av Vessey (1965). Dette for å få et lengre sammenligningsgrunnlag. Disse data (1953 og 1965) blir ansett som noe usikre, da 'målingene' er for spredte. Trendlinje lagt inn.

Tabell 5.4 a viser en gradvis økende trend på tilbaketrekningshastigheten fra 1953 til 2015.

Målinger hentet fra Meteorologisk institutt (met.no 2016) viser at temperaturen har økt gjennom årene. Skibotn har hatt en jevn overgang fra en middeltemperatur som holdt seg under nullpunktet de første delene av studieperioden (1939-1989). I senere tid har middeltemperaturen i Skibotn økt til å holde seg over nullpunktet (1989-2015). Se figur 1.5 b.

Diskusjon

I begynnelsen av det 19. århundret var alle middeltemperaturene under nullpunktet. Dette gjelder også for nedbøren. Nedbørsmengden var langt under normalen store deler av første halvdel av forrige århundre. Noen år falt nedbørsmengdene til samme nivå som middelmålingene, men målingene var sjelden over den svarte streken som indikerer normal nedbørsmengde. Starten av studietidsrommet, 1953, var også dominert av kalde temperaturer. Gjennomsnittsmålingene (se figur 1.5 b) (den røde/blå streken) for temperaturen gjennom den første delen av tidsrommet holdt seg under nullpunktet, med noen få målinger over nullpunktet. Nedbøren ser ut til å være stabil i dette tidsrommet, med noen topper over normalen mens flere av søyletoppene ligger langt under normalen. Nedbøren har større variasjon på 50-tallet og noe senere, men holder seg rundt normallinjen.

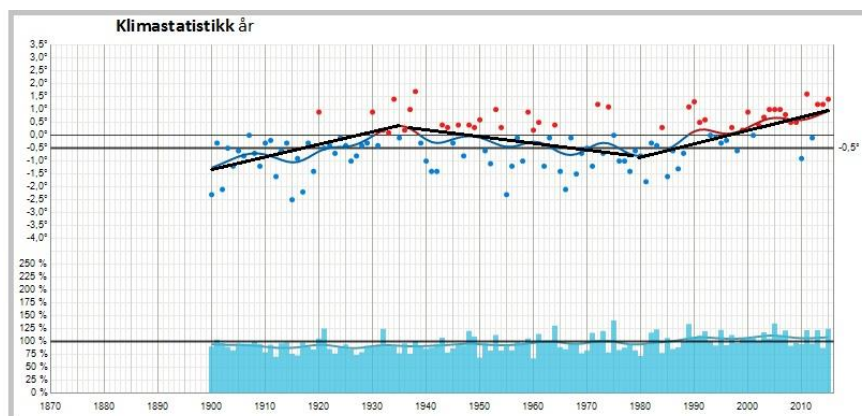
Mot slutten av 1980-tallet ble klimaet forandret betraktelig. Linjen for årsmiddeltemperaturen holder seg på den røde siden av statistikken, med noen få målinger under normal-linjen. Nedbøren hadde også en jevn økning, med en liten økning til over normal-linjen.

Temperaturens overgang fra under til over nullpunktet fant sted rundt år 1989. Temperaturen har siden da holdt seg over denne linjen. Nedbøren var varierende på 1990-tallet.

Mot slutten av studieperioden, etter 2008, var nedbørsmengden mer varierende med omtrent like høye søyletopper over som under normallinjen.

En isbres massebalanse avhenger i grove trekk av en kombinasjon av sommertemperatur og vinternedbør (Polarinstitutt 2014). Varmere klima vil i grove trekk bety tilbaketrekning for isbreer, og dette ser ut til å stemme også for Steindalsbreen. Den lille økningen i nedbør de siste 25 årene har hatt lite å si for positiv massebalanse av breen. Tilbakegangen av Steindalsbreen kan derimot korreleres med temperaturøkningen siden tidlig på 90-tallet, se figur 5.4 b.

Diskusjon



Figur 5.4 b: Klimastatistikk for Nord-Norge. Grafen viser en trend med økende temperaturer i to perioder, og en periode med synkende temperaturer, gjennom perioden 1900-2015 (morene 3-2015). Modifisert fra (met.no 2016).

En isbres tilbaketrekningshastighet avhenger av flere faktorer enn kun klima. Blant annet størrelse på breen, breunderlagets helning, istykkelse, istemperatur (Bjerknessenteret 2009), ujevnheter langs bresålen og breens geometri og morfologi (Nesje 2012). Breens responstid er også avgjørende når det gjelder tilbaketrekning og framrykk, og tilegner breen en forsinket reaksjonstid.

Men, i bunn og grunn er det så enkelt som at varmere temperatur vil smelte isen.

5.5 Framtidsprognoser

Vil Steindalsbreen bestå for all framtid? Eller vil breen trekke seg tilbake, som den har gjort siden 1920?

Alle breene som er nevnt i denne oppgaven er i generell tilbaketrekning, i likhet med Steindalsbreen. På verdensbasis er det få, om noen, breer som er i framrykk i dag.

Flere av breene NVE tar brefrontmålinger av har breen trukket seg så langt tilbake at fronten nå ligger over stup eller at det på annen måte innebærer en fare forbundet med målingen.

NVE vurderer nå å stoppe målingen av disse breene. (Løset 2015)

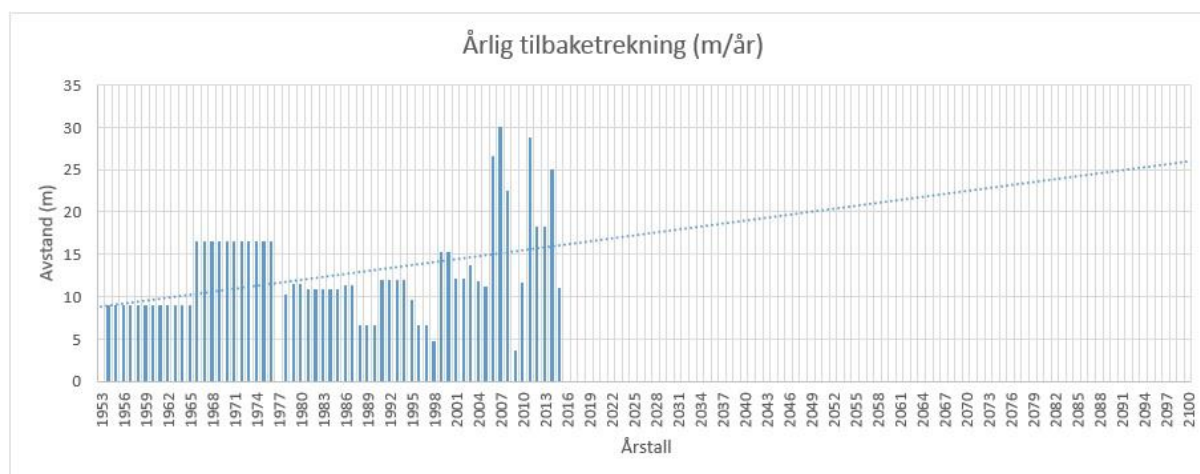
I følge FNs klimapanelers femte rapport kommer klimaet til å bli stadig varmere. Data som er publisert viser at isbrevolum utenfor Antarktis og Grønland i beste fall kan forvente å oppleve en reduksjon på 15-55 % ved utgangen til dette århundret. Brevolum vil kunne smelte med 15-85 % i løpet av perioden, og prosentandelen av smeltingen avhenger av hvor mye og hvilke klimagasser som slippes ut i framtiden. (Miljødirektoratet 2014)

Diskusjon

Steindalsbreen er en forholdsvis liten isbre som allerede er dynamisk inaktiv og i tilbakegang. Dersom breen har en noenlunde lineær tilbaketrekning også i fremtiden, vil breen ha en hastighet av tilbaketrekningen på over 25 meter per år ved utgangen av dette århundret, se figur 5.5 b. Med et enkelt regnestykke, og ved bruk av en årlig tilbaketrekningshastighet på 15 meter per år, viser kalkulasjoner at Steindalsbreen vil ha smeltet tilbake til brefallet innen et tidsrom på 60 år. Dette er en strekning på omtrent 900 meter. Se figur 5.5 a. Breen vil da kunne bestå av noe is som henger utfor stupet, som i dag utgjør brefallet.

Tilbaketrekning av Steindalsbreen	
Avstand: brefall - dagens brefront	900 meter
Anvendt tilbaketrekningshastighet	:15 m/år
Tidsrom til nedsmeltet bre	=60 år

Figur 5.5 a: Tilbaketrekning av Steindalsbreen. Ut fra regnestykket vil brearmen kunne ha smeltet bort i løpet av 60 år.



Figur 5.5 b: Estimert tilbaketrekning fram mot år 2100. Basert på graf i figur 5.4 a.

Rask tilbakegang av isbreer, rett type topografi foran brefronten og lav gradient av isbreen, danner ofte brevann. Slike 'kalvende' isbreer kan bli delvis avkoblet fra klimapåvirkninger og påvirket av andre kriterier enn massebalanse for å avgjøre dens hastighet for tilbaketrekning og fremrykk. (Robertson et al. 2016)

Teori omtalt tidligere i denne oppgaven viser at breen vil trekke seg raskere tilbake dersom brefronten terminerer i stående vann. Vannet vil sirkulere og transportere bort det kalde isolerende vannlaget, erstatte det med relativt varmt vann og fremme smelting og oppsprekking av isen, og isen vil da knekke av, se figur 1.1. Mindre biter av is vil smelte

Diskusjon

fortere da de krever mindre mengde energi enn en større masse, og dette vil kunne føre til raskere tilbakegang av breen.

Trenden med høyere sommertemperaturer og varmere høstsesonger fører til en lengre smeltesesong (Løset 2015), og mer nedbør i form av regn vil føre til raskere smelting (Jex 2015). Også kortere vinterperioder med mindre nedbør i form av snø vil føre til lavere akkumulasjon av breene. Dette vil med stor sannsynlighet øke den antatte tilbaketrekningshastigheten (se figur 5.5 b).

Det antas at en tilbaketrekningshastighet på 15 meter per år er noe underestimert. Tallet brukt i regnestykket er muligens noe lavt fra før av, ifølge figur 5.5 b, og vil muligens øke betraktelig grunnet de overnevnte årsakene. Om dette er reelle tall er noe usikkert, men alt tyder på at breen kommer til å bli stadig mindre.

Videre arbeid i området kunne vært å sjekke hva som befinner seg under breen. Å undersøke topografien til breens underlag og mengde materiale som muligens befinner seg der kunne vært interessant. Ved å bruke utstyr som trenger ned gjennom isen er dette mulig, med for eksempel GPR (Ground Penetrating Radar). Hvor tykk er egentlig breen, og hvor lang tid vil den da kunne bruke på å smelte bort?

Kommer Steindalsbreen til å bli forandret til *Steindalsvannet* i en, kanskje ikke så, fjern framtid? Dette er veldig mulig, og kommer an på hvor tykk breen er og hvor store mengder sedimenter som er tilgjengelig under breen og videre opp i brefallet. Er mengden med sedimenter stor nok vil den klare å fylle området som nå rommer breen og en ny, større breelvslette vil kunne dannes.

6 Konklusjoner

Tilbaketrekningen av Steindalsbreen siden *den lille istid* har skapt flere landskapsdannende formelementer i området foran breen, både ved erosjon og avsetning. Disse forløper seg ulikt over hele området foran breen og viser hvilken dynamisk tilstand breen var i i løpet av avsetningstidsrommet. Tilbaketrekningshastigheten av breen har variert noe gjennom hele den studerte perioden, fra 5 meter per år rundt 1998 til 30 meter årlig tilbaketrekning gjennom ablasjonsåret 2006-2007.

Steindalsbreen har forandret både lengde og form fra starten av studietidsrommet i 1953, da det første flybildet ble tatt, til siste felttur til området i 2015. Breen har mistet masse både lateralt og vertikalt, men den største delen av massetapet har vært i fronten. Breen har, siden 1953, blitt 800 meter kortere, og har forandret form fra en typisk avlang dalbre til en mer lobeformet bre. Breen har nå omtrent samme sirkulære form som en botnbre. Breen har mistet 1230 meter siden 1910-1920, da den største av *LIT-morenene* ble dannet. Tilbakegangen skyldes en sammenheng av klima, topografi, mengde vann under og foran breen og da smeltrate av isen. Også berggrunnens morfologi og geologiske sammensetning spiller inn.

Steindalsbreens tilbaketrekning er sammenlignet med andre breer, både lokale og litt lenger unna. Det er funnet at tilbaketrekningshastigheten er helt i tråd med man opplever på andre breer. De lokale breer som er omtalt i denne oppgaven, Koppangsbreen og Sydbreen, har kun hatt tilbaketrekning i løpet av deres studietidsrom. De breene som er lokalisert noe lenger unna, Langfjordjøkelen og Engabreen, har begge hatt fremrykk siden LIT. Fremrykkene har vært av ubetydelige mengder, da disse breene også har hatt en generell tilbakegang.

Steindalsbreen er med stor sannsynlighet borte i løpet av utgangen av dette århundret. Mengde sedimenter tilgjengelig under dagens bre og videre opp i brefallet vil avgjøre om Steindalsbreen blir til Steindalsvannet eller Steindalens ferskeste breelvslette.

Konklusjoner

7 Referanser

Andersen, B. G. (1968). "Glacial Geology of Western Troms, North Norway." Universitetsforlaget, Oslo Norges geologiske undersøkelse, nr. 256: 160.

Andreassen, L. M., et al. (2010). Glaciological investigations in Norway in 2010. NVE: 85, 86.

Ballantyne, C. K. (1990). "The Holocene glacial history of Lyngshalvøya, northern Norway: chronology and climatic implications." Boreas **19**: 93-117.

Benn, D. I. and D. J. A. Evans (2010). Glaciers & Glaciation.

Bjerknessenteret (2009). "Breer som klimaindikator." 2.

Bryhni, I. (2016). "Dødisgrop." Store norske leksikon. Retrieved 14.10.15, 2015, from <https://snl.no/d%C3%B8disgrop>.

Bueno, M. d. C. D. (2016). "Spatial data." Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Bøe, P. (2004). "Berggrunnsgeologien på Lyngshalvøya." Geologisk avdeling, Tromsø museum, Universitetet i Tromsø. Retrieved 22.04.04, 2004, from <http://www.lyngen.kommune.no/berggrunnsgeologien-paa-lyngshalvoeya.139251-23170.html>.

Cincinnati, U. o. (2015). "GIS (Geographic Information Systems)." Retrieved 16.12.15, 2015, from <http://guides.libraries.uc.edu/c.php?g=222807&p=1473497>.

Corner, G. D. (1980). "Preboreal deglaciation chronology and marine limits of the Lyngen-Storfjord area, Troms, North Norway." Boreas **9**: 239-249.

Corner, G. D. and K. T. Svindland (2008). "Turen går til Steindalen."

Dick, Ø. B. (2016). "UTM." Store norske leksikon.

Dick, Ø. B. (2016). "WGS84." Store norske leksikon. Retrieved 14.02.09, 2009, from <https://snl.no/WGS84>.

Elvehøy, H., et al. (2015). "Norske breer minker - situasjonen er langt verre enn antatt." NVE.

Elvehøy, H., et al. (1995). "Glasiologiske undersøkelser i Norge 1992 og 1993." NVE: 144.

Referanser

Esri (2016). "Esri Support, Feature class." Retrieved 11.14.11, 2011, from <http://support.esri.com/>.

ESRI (2016). "Shapefiles." ArcGIS. from <http://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm>.

Grenne, T. (1988). Edelmetallpotensiale på Lyngenhalvøya. Norges geologiske undersøkelse: 43.

Haakensen, N., et al. (1979). "Glasiologiske undersøkelser i Norge 1979." NVE: 39.

Halvorsen, R. (2016). "Breforland og snøavsmeltingsområde." Norwegian biodiversity information centre. 2016, from <http://www.biodiversity.no/Pages/171944>.

Høines, Ø. (2016). "Norgeskart (bilde)." NDLA. 2016, from <http://ndla.no/nn/node/131258>.

Ippolito, F. (2010). "Unstable Antarctica: What's Driving Ice Loss?" NASA.

Jensen, E. T. (2008). "En isbre våkner på Svalbard." forskning.no. Retrieved 16.01, 2008, from <http://forskning.no/klima-arktisk-svalbard/2008/02/en-isbre-vakner-pa-svalbard>.

Jex, C. (2015). "Store mengder sommerregn får isen på Grønland til å smelte enda raskere." forskning.no. Retrieved 24.07.15, from <http://forskning.no/klima-polarforskning-vaer-og-vind/2015/07/store-mengder-sommerregn-far-gronlands-til-smelte-enda>.

Jørgensen, P., et al. (1997). Kvartærgeologi.

Kartverket, et al. (2011). "Norge i bilder." Norge i bilder. 2016, from <http://www.norgebilder.no/>.

Kartverket, et al. (2006). "Norge i bilder." Norge i bilder. 2016, from www.norgebilder.no.

Kjøllmoen, B., et al. (2000). Langfjordjøkelen i Vest-Finnmark, Glasiohydrologiske undersøkelser. NVE: 7, 14.

Landforms, W. (2016). "Dirt Cone Landforms." WorldLandForms. from <http://worldlandforms.com/landforms/dirt-cone/>.

Referanser

Løset, O. (2015). "Fleire brear er blitt så små at ein ikkje lenger kan måle dei." NVE. Retrieved 11.11.15, 2015, from <https://www.nrk.no/sognogfjordane/nve-vurderer-a-gi-opp-fleire-isbrear-1.12643952>.

met.no (2016). "Været som var -Steindalsbreen, Tromsø (Troms)." Meteorologisk institutt. 2016, from <http://www.yr.no/sted/Norge/Troms/Troms%C3%B8/Steindalsbreen/statistikk.html>.

Miljødirektoratet (2014). FNs klimapanel's femte hovedrapport -Klima i endring. FNs klimapanel/Miljødirektoratet: 28.

Miljøstatus.no (2016). "Kart, Vernede områder." Miljødirektoratet. 2016, from <http://www.miljostatus.no/kart/?ma=98DCB>.

Miljøverndepartementet (2004). "Opprettelsen av Lyngsalpan landskapsvernområde." Regjeringen.no. Retrieved 20.02, 2004, from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/opprettelsen-av-lyngsalpan-landskapsvern/id444543/>.

Mæhlum, L. (2016). "Spylerenne." Store norske leksikon. Retrieved 22.12.13, 2013, from <https://snl.no/spylerenne>.

Nesje, A. (2012). Brelære: bre, landskap, klimaendringer og datering. Kristiansand, Norway, Høyskoleforlaget AS - Norwegian Academic Press.

NGU (2014). "Kvartærgeologi." Norges geologiske undersøkelse. Retrieved 17.12.14, 2014, from <https://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologi>.

NVE (2014). "Kart over Steindalsbreen med målinger."

Tilsendt fra NVE's arkiv 02.02.16

NVE (2015). Annual length change table. NVE.

NVE (2016). "Engabreen." NVE. Retrieved 17.02.2016, 2016, from <https://www.nve.no/hydrology/glaciers/monitoring/engabreen/>.

Pelto, M. (2010). "Engabreen Glacier, Norway retreat." Glacier Observations.

Pelto, M. (2013). "Strupbreen and Koppangsbreen glacier retreat, Northern Norway." NVE. Retrieved 24.07.13, from <https://glacierchange.wordpress.com/2013/07/24/strupbreen-and-koppangsbreen-glacier-retreat-northern-norway/>.

Referanser

Polarinstitutt, N. (2014). "Isbreer." Norsk Polarinstitutt. Retrieved 04.03.14, 2014, from <http://www.npolar.no/no/tema/isbreer/>.

Ramberg, I. B., et al. (2006). Landet blir til: Norges geologi: Berggrunnskart over Norge og kaledonidene i Sverige og Finland. Bilag, Norsk geologisk forening.

Robertson, C. M., et al. (2016). "Calving retreat and proglacial lake growth at Hooker Glacier, Southern Alps, New Zealand." New Zealand Geographer: 14.

Setså, R. (2014). "Norge, Sverige og Danmark i Den lille istid." geoforskning.no. Retrieved 14.10, 2014.

Sigmond, E. M. O., et al. (2013). Norsk geologisk ordbok. Trondheim.

Storjord, H. (2016). Morfologisk og sedimentologisk undersøkelse av sanduravsetninger foran Steindalsbreen, Lyngen, Tromsø. Institutt for geologi. Tromsø, Universitetet i Tromsø: 107.

Sveian, H. and G. D. Corner (2004). Lyngens isbreer før og nå.

The Geography Site (2006). "Push Moraine." from <http://www.geography-site.co.uk/pages/physical/glaciers/moraine.html>.

Tunstad, E. (2007). "Den lille istid." forskning.no. Retrieved 13.09.07, 2007, from <http://forskning.no/historie-klima/2008/02/den-lille-istid>.

Vessey, J. G. (1966). "The study of a glacier drainage system, Steindalsbreen, North Norway." 48.

Lend to Geoffrey Corner, part 1 of 2

Vessey, J. G. (1977). The study of a glacier drainage system, Steindalsbreen - North Norway 1965 -Photographs: 35.

Lend to Geoff Corner, Picture appendix, not published

8 Vedlegg

ArcMap

Definisjoner og terminologi brukt i forbindelse med ArcMAP.

Tabell 3	Definisjoner og terminologi relatert til ArcMap
Feature class	Funksjonsklasse. En samling av geografiske artikler med samme <i>spatial data</i> (koordinater og topologi). (Esri 2016)
Georeferere	En metode for å justere geografiske data til et kjent koordinatsystem slik at det kan undersøkes og analyseres med annen geografisk data. (Cincinnati 2015)
GPS	‘Global Positioning System’
Shapefile	Er et vektor datalagringsformat for å lagre lokaliteter, former og attributter av geografiske funksjoner. En shapefile er lagret i et sett med relaterte filer og inneholder en funksjonsklasse (feature class). Shapefiler består av enten <i>punkter</i> , <i>polylinjer</i> eller <i>polygoner</i> (flater), som er basert på en eller flere punkter, eller ruter, der rutene er en serie av sammenhengende segmenter. (ESRI 2016)
Spatial data	Data som er romlig orientert med koordinater og topologi. (Bueno 2016)
UTM	‘Universal Transverse Mercator’ er et koordinatsystem som deler verden i 60 soner nord og sør for ekvator. (Dick 2016)
Verticle	Et punkt i en shapefil og kan utgjøre enten et punkt, ei linje eller en flate. De to sistnevnte krever flere punkt.
WGS	‘World Geodetic System’ er et globalt geosentrisk referansesystem. (Dick 2016)

Nedlastning og importering av flybilder fra Norge i bilder OK?

For å laste ned flybilder av Steindalen fra Norge i bilder (Kartverket et al. 2006) ble det ønskede kartbildet, med det foretrukne utsnittet, valgt. Funksjonen 'eksporter' ble så valgt i menyen, og de neste stegene ble fulgt:

- Utsnitt valgte > 'rektangel i kart' > markerte det ønskede området > neste
- Ønskede årstall ble valgt > neste
- Valgte følgende: Foretrukket bakkeoppløsning > filformat: GeoTIFF > koordinatsystem: UTM 34 > filoppdeling: ingen oppdeling > neste
- Merknad og e-postadresse for levering av filer ble fylt inn > bestill jobb

Den ferdigstilte jobben ble så levert til angitt adresse og kunne hentes ved å velge 'leveringskatalog'. For å få disse bildene lastet ned og lagret til datamaskinen ble følgende steg fulgt:

- Kopierte adressen fra nettleseren > høyreklikket > kopierte > åpnet ny mappe på datamaskinen og erstattet mappelokaliteten fra tidligere > 'enter' > kopierte og lagret filene i en egen mappe.
- Filene var da klare for å legges inn i ArcMap via 'table of contents'. Bildene dukket opp i kartet ferdig georefererte.

Importere informasjon fra Garmin 64st til datamaskinen

For å overføre data fra GPS-enheten ble den koblet til datamaskinen og koordinatene ble overført automatisk til en nygenerert mappe kalt 'Data mottatt fra GPSMAP 64st (Enhets-ID 3881739553) (G_)'. For å overføre dataene til programmet BaseCamp:

- I Library > valgte 'My Collection' > File > Import into 'My Collection'... > filen som skulle importeres ble valgt 'Data mottatt...' > Open. Koordinatene ble importert og kunne observeres i kart over Lyngen.

For å overføre koordinatene fra BaseCamp til ArcMAP måtte de eksporteres til Excel for å konverteres til data som ArcMAP kunne lese:

Vedlegg

- I BaseCamp, File > Export 'Data mottatt...' > lagret data som 'comma-delimited text' (.csv)

Filen ble åpnet i Excel og unødvendig data ble fjernet. For å konvertere data:

- I Data ble 'Text to Columns' valgt > Delimited > Next > Comma > Next > valgte så hvilket tegn de ulike typer informasjon skulle skilles med, Advanced... > i Decimal separator ble komma (,) valgt > Finish.

Dataene ble så lagt inn i hver sin kolonne. Da ArcMap var stilt inn til å bruke WGS koordinater og ikke UTM ble 'lat' (Latitude) valgt til 'Y', 'lon' (Longitudinal) ble valgt til 'X' og 'ele' (Elevation) til 'Z'. Dette ble lagret i Excel-formatet '.xlsx' og et lettere og mer passende navn ble valgt.

Dette er data som ArcMAP kan bruke som XY-koordinater, og som så kan lages elementer i shapefiler av. I ArcMAP:

- Åpnet Catalog > trykk 'Make Folder Connection' > høyreklikk på filen som skal importeres > 'Create Feature Class' > 'From XY Table' > i vinduet 'Input Fields' ble 'X Field' valgt til X... > i 'Coordinate System of Input Coordinates...' ble 'WGS1984 UTM 34N' valgt > valgte fil å lagre det i 'Specify output shapefile or feature class' > valgte navn på den nye filen og valgte å lagre den som 'Shapefile'.

Filen med koordinatene ble lagt inn i Catalog. Denne kunne da dras inn i 'Table Of Contents' og punktene fra GPS-enheten ble synlige i kartbladet.

Data overført fra Excel til ArcMap

Korte datasekvenser med få koordinater ble overført til ArcMAP ved å legge de inn i skriveprogrammet Notepad som tekstfil.

- I tekstfilen ble 'long' satt til X og 'lat' til Y > i Catalog ble filen funnet fram > 'Create Feature Class' > 'From XY Table...' > valgte koordinatsystem 'WGS 1984 UTM Zone 34N' → OK, filen for lagring ble valgt > Save > OK.
- Filen kunne flyttes over til 'Table Of Contents' og koordinatene ble lagt inn i kartbladet.

Georeferere bilder og figurer

Bilder og figurer uten geografisk referanse måtte georefereres.

- Da bildefilene ble lagt inn i ArcMap dukket en feilmelding opp > trykte OK.
- Aktiverte verktøyet for georeferering ved 'Customize' > Toolbars > Georeferencing.
- I verktøy-vinduet som dukket opp ble bildefil som manglet referansesystem valgt i rute nummer to > i rute nummer en (menyen) ble funksjonen 'Fit To Display' valgt > bildet ble sentrert i kartet.
- Valgte 'Add Control Points' fra verktøylinjen ble valgt (rute nummer tre) > pekeren ble forandret til et grønt kryss og et lett gjenkjennelig punkt ble valgt, for så å velge det samme punktet i referansekartet. Den nye filen ble knyttet opp mot referansekartet.
- Flere kontrollpunkt ble valgt for å kunne sammenstille disse to filene på best mulig måte.
- I menyen i verktøylinjen ble 'Update Georeferencing' valgt og prosessen ble avsluttet. Den nye filen har nå den gamle filen som referansesystem, så dersom den første filen blir slettet eller lignende vil også den nye filen miste sin posisjon i kartet.

Lage shapefiler

For å kunne lage shapefiler for å vise de ulike elementene i kartet og på flybildene ble følgende steg fulgt:

- I ArcMap Catalog ble destinasjon for den nye mappen valgt, høyreklikket > New > Shapefile > valgte navn på filen > 'Feature type' ble valgt (avhengig av form på det nye elementet, punkt, linje eller flate) > edit > referansesystem 'WGS UTM Zone 34N' ble valgt > OK.

Den nye filen dukket opp i Table Of Contents og var klar for redigering:

- Aktiverte verktøyet for redigering: Customize > Toolbars > Editor
- I verktøyet: Start Editing > valgte den aktuelle shapefilen > OK > et nytt vindu dukker opp på skjermen og samme fil må velges på nytt > Continue > i Create Features ble filen som skulle redigeres huket av

Vedlegg

- Pekeren ble forandret til et kryss og hvert museklikk utgjorde et punkt i det nye elementet (punkt, linje, flate) > dobbelklikk eller 'F2' for å fullføre elementet
- En shapefil kan bestå av flere elementer (punkt, linjer eller flater)
- For å fullføre redigeringen: i verktøyet, velg 'Save Edits' > 'Stop Editing'

Arbeid utført i Steindalen

Gjennom en årrekke har det blitt samlet data i Steindalen. Størsteparten av dataene som er innsamlet dreier seg om brefrontmålinger, men også botanikk, pedologi, hydrologi og zoologi, samt glasiologi, ble studert av Vessey (1965) og hans kolleger. Andre deltagende parter var Norge i bilder og Fjellanger Widerøe, som har komplementert kolleksjonen med bilder. Videre har NVE og Geoff Corner (Universitetet i Tromsø) bidratt med en god del målinger, både av brefront og ellers relevante elementer i Steindalen.

År	Bilde/type data	Metode	Kommentar/ antall målepunkt	Kilde
1953	Flybilde			Fjellanger Widerøe
1965	Rapport			John G. Vessey (Saint Luke's College)
1976	Målinger startet	Malt på blokker	7	Geoff Corner
1977	Flybilde			Fjellanger Widerøe
1977	Flybilde			Fjellanger Widerøe
1977	Målinger	Målebånd	7	Geoff Corner
1978	Målinger	Målebånd	6	Geoff Corner
1979	Flybilde			Fjellanger Widerøe
1980	Målinger	Målebånd	4	Geoff Corner
1985	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1987	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1990	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1992	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner

Vedlegg

1993	Flybilde			Fjellanger Widerøe
1994	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1995	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1997	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1998	Skilt		Skilt 05.07.98	B.J. (Bengt Jonsen)
1998	Målinger startet		1	Bjarne Kjøllmoen (NVE)
1998	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1999	Målinger	Målebånd	1	Geoff Corner
1999	Målinger		1	Viggo Moe (NVE)
2000	Målinger	GPS	3	Geoff Corner
2000	Målinger		1	Viggo Moe (NVE)
2001	Målinger + foto	GPS	3	Geoff Corner
2002	Skilt		Skilt 04.09.02	B.J. (Bengt Jonsen)
2002	Målinger + foto	GPS	3	Geoff Corner
2002	Målinger		1	Bjarne Kjøllmoen (NVE)
2003	Målinger + foto	GPS	4	Geoff Corner
2004	Målinger + foto	GPS	2	Geoff Corner
2004	Målinger + foto	GPS	7	Geoff Corner
2005	Målinger		1	Charles Nyheim og Hallgeir Elvehøy (NVE)
2005	Målinger + foto	GPS	6	Geoff Corner
2006	Skilt		Skilt 15.07.06	B.N.
2006	Flybilde			Norge i bilder
2006	Målinger		1	Charles Nyheim (NVE)
2006	Målinger + foto	GPS	3	Geoff Corner
2007	Målinger + foto	GPS	4	Geoff Corner
2007	Målinger		1	Charles Nyheim (NVE)
2008	Målinger + foto	GPS	60	Geoff Corner
2008	Målinger		1	Charles Nyheim (NVE)
2009	Målinger		1	Charles Nyheim og Frode Hansen (NVE)

Vedlegg

2009	Målinger + foto	GPS	46	Geoff Corner
2010	Skilt		Skilt 16.07.10	B.N.
2010	Målinger		1	Frode Hansen (NVE)
2010	Målinger + masteroppgave + foto	GPS	48	David Greig
2011	Målinger		1	Frode Hansen (NVE)
2011	Målinger + foto	GPS	1	Geoff Corner
2011	Flybilde			Norge i bilder
2011	Målinger + foto	GPS	7	Geoff Corner
2013	Målinger		1	Frode Hansen (NVE)
2013	Målinger + foto	GPS	15	Geoff Corner
2014	Målinger + foto	GPS	Track	Carina Nilsen
2014	Målinger + foto	GPS	8	Carina Nilsen
2014	Målinger		1	David Skirnisson (NVE)
2015	Målinger + foto	GPS	10	Carina Nilsen