

**Rekonstruksjon av innlandsisen i Geiranger i yngre dryas og
kvartærgeologisk kartlegging av Grinddalen**



Trond Horten

Mastergradsoppgåve i kvartærgeologi og paleoklima

Institutt for geovitenskap

Universitetet i Bergen

Juni 2018

Samandrag

Det er gjort ein god del forskning i kystområda på Sunnmøre, og desse vart tidleg isfrie i deglasiasjonen etter LGM (eng.: *LGM – last glacial maximum*). Det finst derimot mindre forskning på tilbakesmeltinga av isen i dei indre strøka. Formålet med oppgåva er å bidra til at deglasiasjonen i slutten av siste istid i dette området blir betre kartlagd. Innlandsisen sin maksimale utbreiing i yngre dryas er rekonstruert for dalføret ved Geiranger, og laterale morener dannar basis for modellen som er laga. I tillegg til kartlegging av alle laterale morener er det utført ei kvartærgeologisk kartlegging av Grinddalen, ein hengande sidedal søraust for sentrum av Geiranger.

Seks store moreneryggar er funne, og fem av desse er tolka til å vera avsett ved innlandsisen sin maksimale utbreiing i yngre dryas. Den eine av desse, M3, ligg ved Møllsætrane der to ¹⁰Be-eksponeringsdateringar gir ein gjennomsnittleg alder på $12,3 \pm 0,5$ ka, og dermed plasserer denne til yngre dryas. Den sjette moreneryggen, M6 ved Flydalssætra, er avsett under deglasiasjonen etter yngre dryas maksimum, og indikerer at isen etter hurtig kalving inn Geirangerfjorden gjorde eit framrykk for å tilpassa seg eit nytt stabilt profil.

Under den kvartærgeologiske kartlegginga av Grinddalen, er det gjort fleire interessante funn. Det ligg to relikte steinbrear i dalen, og desse må ha eksistert i perioden etter at innlandsisen forsvann frå dalen og vart inaktive i slutten av bølling. ¹⁰Be-eksponeringsdateringar frå Hesjedalshaugen (1012 m o.h.) og Grandehaugen (877 m o.h.), som ligg ved Gråsteindalen, gir ein gjennomsnittsalder på $17,6 \pm 0,7$ ka for når desse var isfrie. Det betyr at fjellområda på den tida var begynt å bli isfrie, og at steinbreane må vera danna ein gong etter dette. I Grinddalen er det og funne ein morenerygg 400 meter lenger inn i dalen enn yngre dryas morena. Den er avsett av ein brearm som låg i hovuddalføret i Geiranger på eit tidlegare tidspunkt enn yngre dryas, og kan korrelerast med tilsvarande observasjonar ved Møllsætrane, der det ligg ein morenerygg 140 meter utanfor yngre dryas marginen, og i Djupdalen der ein morenerygg ligg 100 meter over den laterale morena frå yngre dryas.

Abstract

The coastal areas of Sunnmøre has been subject to several previous studies, and they show that these areas were ice-free early in the deglaciation after LGM (last glacial maximum). Less research has been done on the deglaciation of the inner parts of Sunnmøre. The purpose of this thesis will be to contribute to a better understanding of the Late-Weichselian deglaciation in this area. The maximum extent of the Younger Dryas ice-sheet in Geiranger has been reconstructed based on lateral moraines. In addition to the mapping of the lateral moraines, a quaternary geological mapping of the valley Grinddalen, a valley situated south-east of the centre of Geiranger, has been made.

Six prominent moraine ridges are found, and five of these are interpreted to be deposited by the inland ice during the maximum extent of the Younger Dryas ice. On one of these ridges, M3 at Møllsætrane, two ^{10}Be exposure dates give an average age of $12,3 \pm 0,5$ ka, placing it to Younger Dryas. The sixth moraine ridge, M6 situated near Flydalssætra, is deposited during the deglaciation after Younger Dryas maximum, indicating that after the ice-margin rapidly calved back in the Geiranger fjord, the ice made a readvance to adjust to its new profile.

During the Quaternary geological mapping of Grinddalen several interesting findings has been made. Two deposits from rock glaciers existing there in the time right after the ice disappeared from the valley and became inactive sometime around $14,6 \pm 0,6$ ka. The ^{10}Be exposure dates from Hesjedalshaugen (1012 m.a.s.l.) and Grandehaugen (877 m.a.s.l.) give an average of $17,6 \pm 0,7$ ka for the time they were ice free, which implies that the higher areas in the region started to be ice free at this time, and the rock glaciers of Grinddalen must have formed sometime after this. In Grinddalen there is a moraine ridge 400 meters further into the valley from the Younger Dryas lateral moraine M3. This is deposited from the glacier in the main valley at an earlier stage than Younger Dryas, and can be correlated to similar observations at Møllsætrane, where a similar moraine ridge is situated 140 meters outside the Younger Dryas margin and in Djupdalen where a moraine ridge is situated 100 meters above the Younger Dryas lateral moraine.

Forord

Først av alt vil eg få takke rettleiaren min, Henriette Linge, førsteamanuensis ved Institutt for geovitenskap, for svært god rettleiing og oppfølging under arbeidet med masteroppgåva. Du har vist eit fantastisk engasjement frå start til slutt, noko eg set veldig stor pris på. Vil og få takka medrettleiaren min Atle Nesje, professor ved Institutt for geovitenskap for hjelp undervegs og gode tips til relevante artiklar. Tusen takk til Stiftinga Geirangerfjorden Verdsarv i Geiranger for finansiell stønad til feltarbeidet.

Ein stor takk til kjærasten min, Dagny Røyrvik, som sporty stilte opp som feltassistent under heile feltarbeidet, og for god hjelp og motivasjon gjennom heile prosessen i arbeidet med masteroppgåva.

Takk til mine foreldre, som har hjelpt meg gjennom studietida.

Takk til mine medstudentar og forelesarar som har bidrege til at det har blitt fire flotte og minnerike år ved Institutt for geovitenskap.

Bergen, mai 2018

Trond Horten

Innhald

Samandrag	iii
Abstract	iv
Forord	v
1 Introduksjon	1
2 Geologisk rammeverk	3
2.1 Geografi.....	3
2.2 Berggrunnsgeologi	4
2.4 Deglasiasjonen av Sunnmøre	14
2.5 Klima.....	16
3 Metodar	18
3.1 Kwartærgeologisk kartlegging	18
3.2 Schmidthammar	19
3.3 ArcGIS (10.4).....	21
3.4 Eksponeringsdatering	21
4 Resultat.....	23
4.1 Kwartærgeologisk kart over Grinddalen	23
4.2 Laterale moreneryggar	26
4.2.1 Lateralmorene ved Heimstevatnet, M1	27
4.2.2 Lateralmorene i Grinddalen, M2	29
4.2.3 Lateralmorene ved Møllsætrane, M3	34
4.2.4 Lateralmorene i Gomsdalen, M4.....	38
4.2.5 Lateralmorene over Homlongsætra, M5	40
4.2.6 Lateralmorene ved Flydalssætra, M6	42
4.3 Profilar.....	44

4.3.1 Profilar av lateralmorener.....	44
4.3.2 Profil Innlandsis	48
4.4 Datering	54
4.4.1 ¹⁰ Be-eksponeringsdatering	54
4.4.2 Schmidthammar	56
5 Diskusjon.....	62
5.1 Korleis var utbreiinga til innlandsisen i Geiranger på sitt største i yngre dryas, og korleis var isavsmeltingsforløpet etterpå?	62
5.2 Korleis kan den kvartærgeologiske kartlegginga av Grinddalen bidra til å belyse deglasiashistoria i hovuddalføret i Geiranger?	64
5.3 Når vart dei seks kartlagde laterale moreneryggane i Geiranger avsett, og har dei same alder?	67
5.4 Kor påliteleg er bruk av schmidthammar til å datere dei ulike landformene i området?	68
5.5 Forslag til vidare arbeid.....	69
6 Konklusjon	70
Litteraturliste	71
Vedlegg	73
Vedlegg 1, schmidthammar data	74
Vedlegg 2. Statistiske verdiar for dei tre ulike kalibreringskurvene som vart testa.....	79

1 Introduksjon

Tidlegare forskning viser at nordvestlandet vart tidleg isfritt etter den siste istida, weichsel, og det er gjort ein del arbeid i dei ytre og kystnære delane av området. Tidleg argumenterte Reite (1963) for at store delar av området ikkje var dekkja av is i yngre dryas, men heller var prega av lokalglasiasjonar i fjellområda. Ved Skjonghelleren, som ligg ved kysten av Sunnmøre på Valderøy, har Larsen et al. (1987) ved hjelp av ^{14}C -dateringar av skjell frå sediment i Skjonghelleren, funne at minimumsalderen for når denne lokaliteten vart isfri er om lag 14,5 ka. I følge DATED-1 databasen var kystlinja på Sunnmøre isfri rundt 15 ka, og tusen år seinare var store delar av fjordsystema og blitt isfrie. Ved 11 ka hadde innlandsisen trekt seg attende frå heile Sunnmøre (Hughes et al., 2016). Det er ikkje gjort like mykje for å kartlegga deglasiasjonen i indre Sunnmøre, og det finst lite eksisterande forskning på området rundt Geiranger. Målet for denne oppgåva blir derfor å kartlegge innlandsisen sin maksimale utbreiing i Geiranger i yngre dryas, og isavsmeltinga etter yngre dryas maksimum. For å oppnå dette vert laterale morener frå yngre dryas i området kartlagd, og basert på desse vert det utarbeidd ein modell av innlandsisen. Det skal og utarbeidast eit kvartærgeologisk kart over ein del av området, Grinddalen. Grinddalen er plukka ut til kartlegging fordi den har mange ulike landformer, som har betydning for arbeidet med å avdekke deglasiasjonshistoria, landskapsutviklinga og paleoklima i området. Det ligg og to avsetningar av steinbrear i sørvest sida av dalen, som indikerer at området truleg har hatt permafrost når desse vart danna.

Problemstillingane i oppgåva er:

Hovudproblemstillingar:

- Korleis var utbreiinga til innlandsisen i Geiranger på sitt største i yngre dryas, og korleis var isavsmeltingsforløpet etterpå?
- Korleis kan den kvartærgeologiske kartlegginga av Grinddalen bidra til å belyse deglasiasjonshistoria i hovuddalføret i Geiranger?

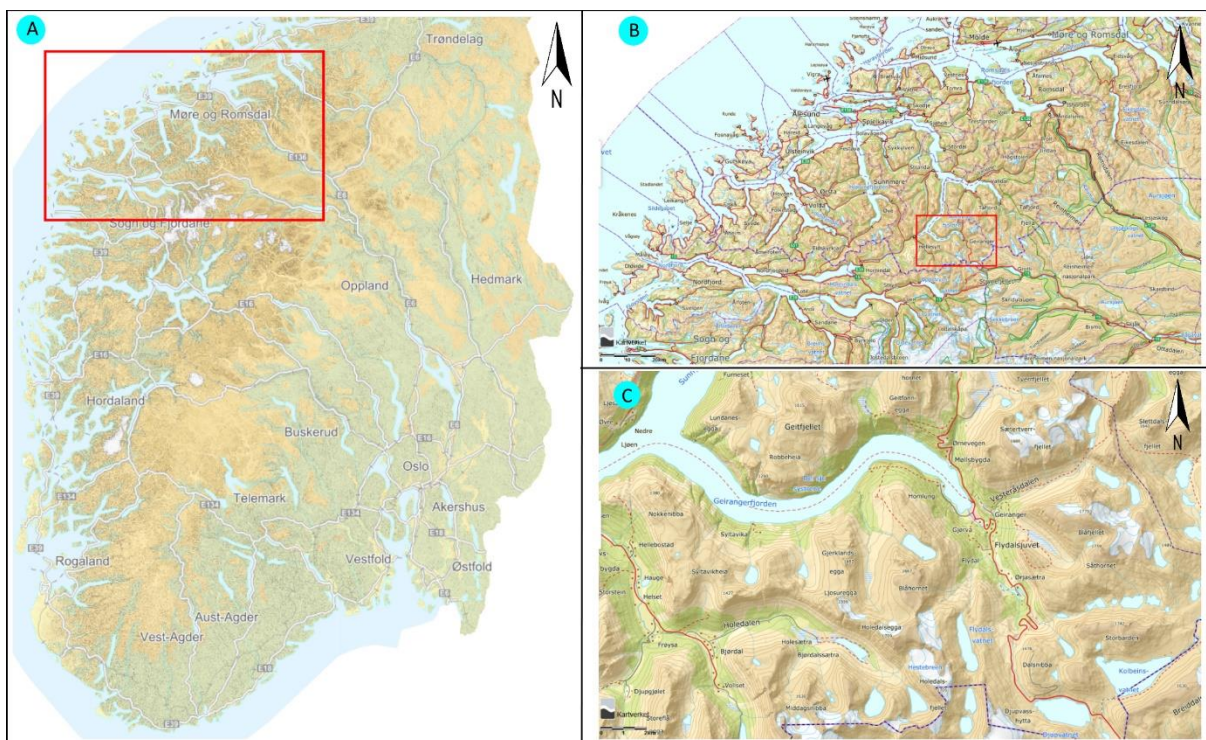
Underproblemstillingar:

- Når vart dei seks kartlagde laterale moreneryggane i Geiranger avsett, og har dei same alder?
- Kor påliteleg er bruk av schmidthammar til å datere dei ulike landformene i området?

2 Geologisk rammeverk

2.1 Geografi

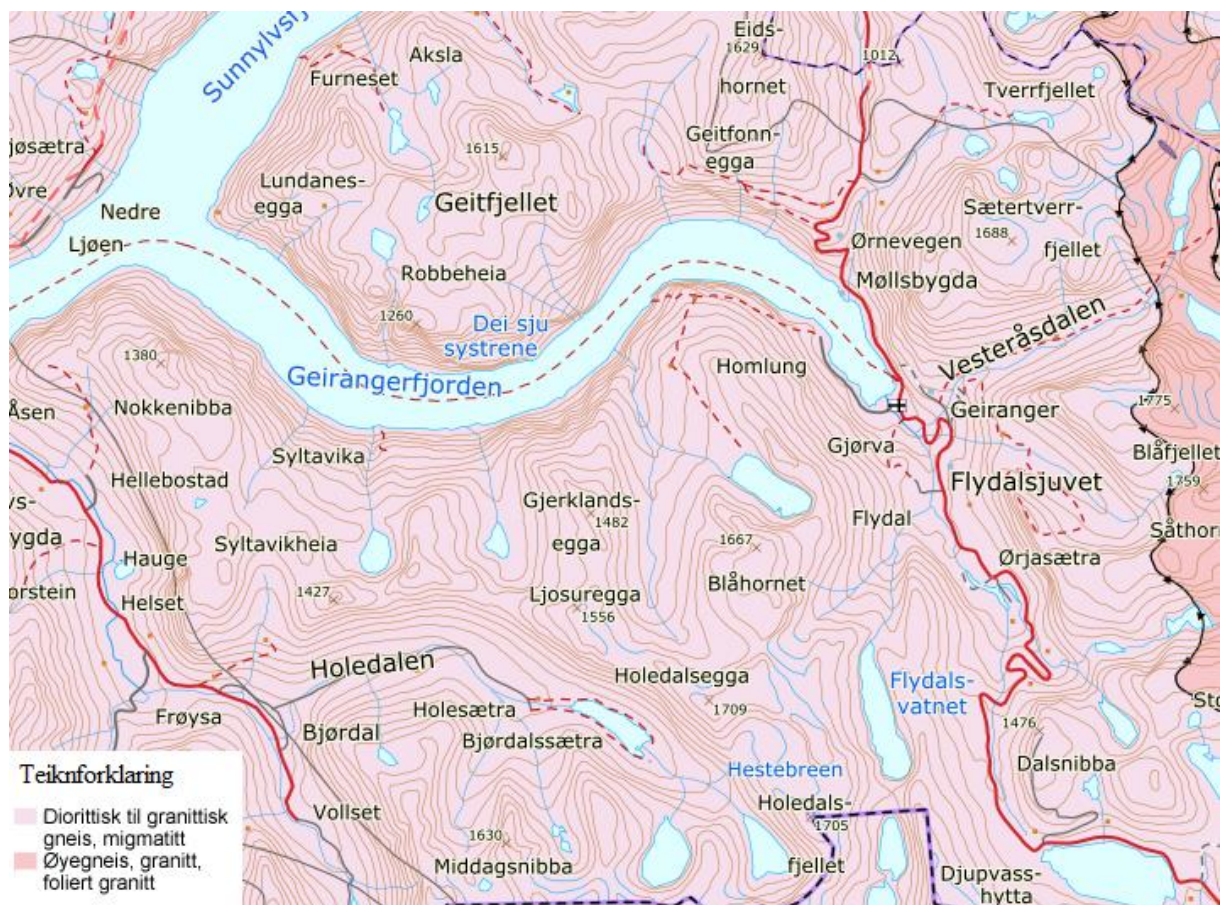
Feltområdet består av hovuddalføret i Geiranger frå munninga av Geirangerfjorden i vest til Djupvasshytta i aust, med tilhøyrande sidedalar (figur 1). Dagens topografi har mange trekk som er typiske for glasiale landskap. Dalane er trange og har bratte sider og eit U-forma tverrprofil. Det er hengande dalar inn mot hovuddalføret og området har mange botnar. Området er prega av alpine landformer, danna som eit resultat av gjentekne glasieringar gjennom perioden kvartær. Ein periode prega av store og hyppige endringar i kloden sitt klima.



Figur 1 Oversikt over lokaliseringa av feltområdet, som dekkjer dalføret i Geiranger med sidedalar frå der Geirangerfjorden møter Sunnysvannet i nordvest til Djupvatnet i søraust. (A) Sørlege del av Norge. (B) Møre og Romsdal fylke. (C) Feltområdet. Modifisert frå norgeskart.no (2017).

2.2 Berggrunnsgeologi

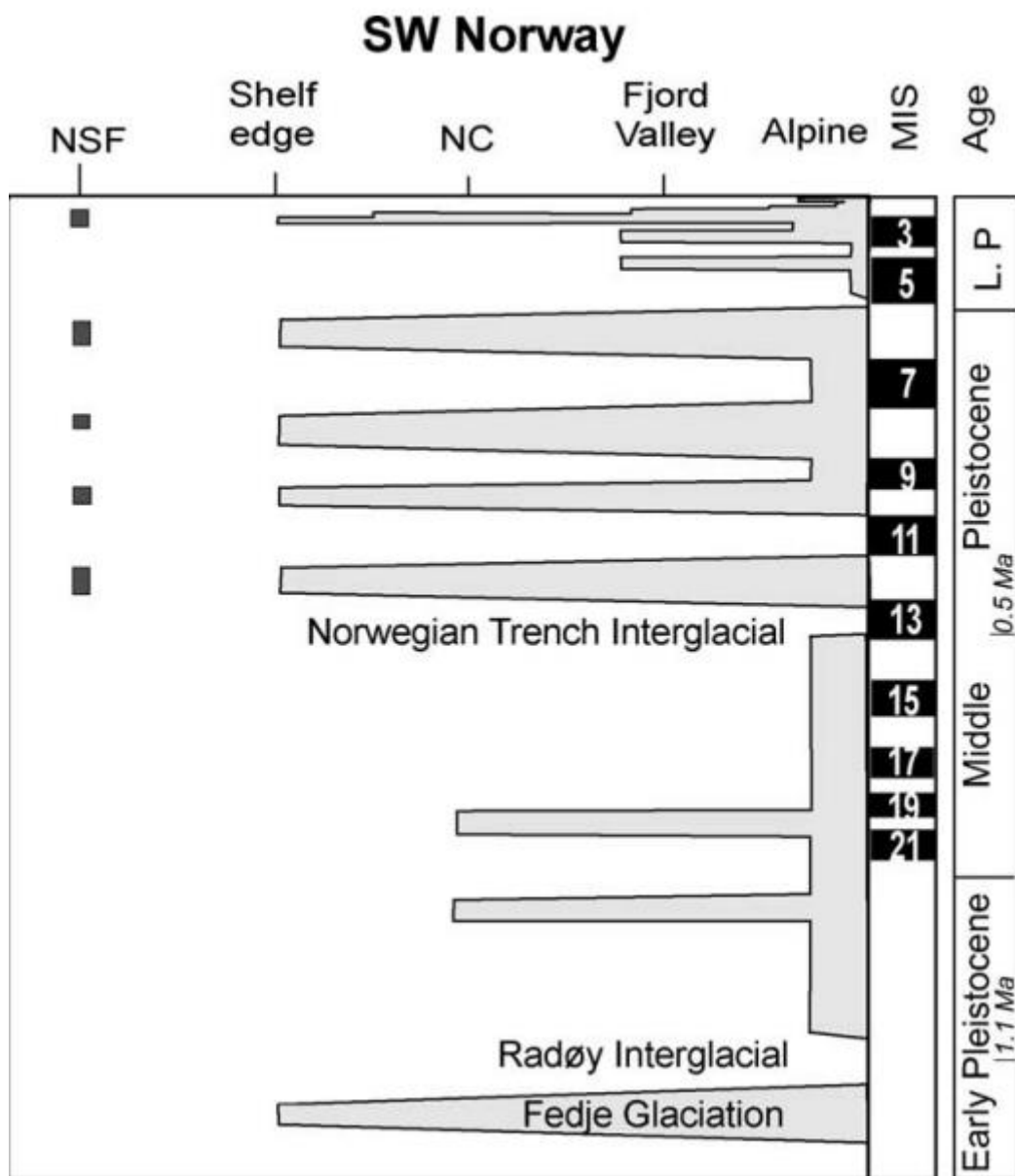
Berggrunnen i området består stort sett av prekambrisk gneis og er ein del av den vestre gneisregionen, og bergartane har ein alder på om lag 1700-1500 millionar år. Under danninga av den kaledonske fjellkjeda, for om lag 400 millionar år sidan, vart det som er dagens gneis ført ned på store djup, og gjennomgjekk der metamorfose under høgt trykk. Feltområdet består i all hovudsak av diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Mot aust ligg eit belte med augegneis, granitt og foliert granitt (figur 2).



Figur 2 Berggrunnskart over Geiranger. Ein ser at området er ganske homogent med diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Heilt i aust ligg eit belte med augegneis, granitt og foliert granitt. Grensa mellom desse er markert med ei svart linje med trekantar som representerer ei skyvegrense. Modifisert frå NGU (2018a).

2.3 Kvartærgeologi

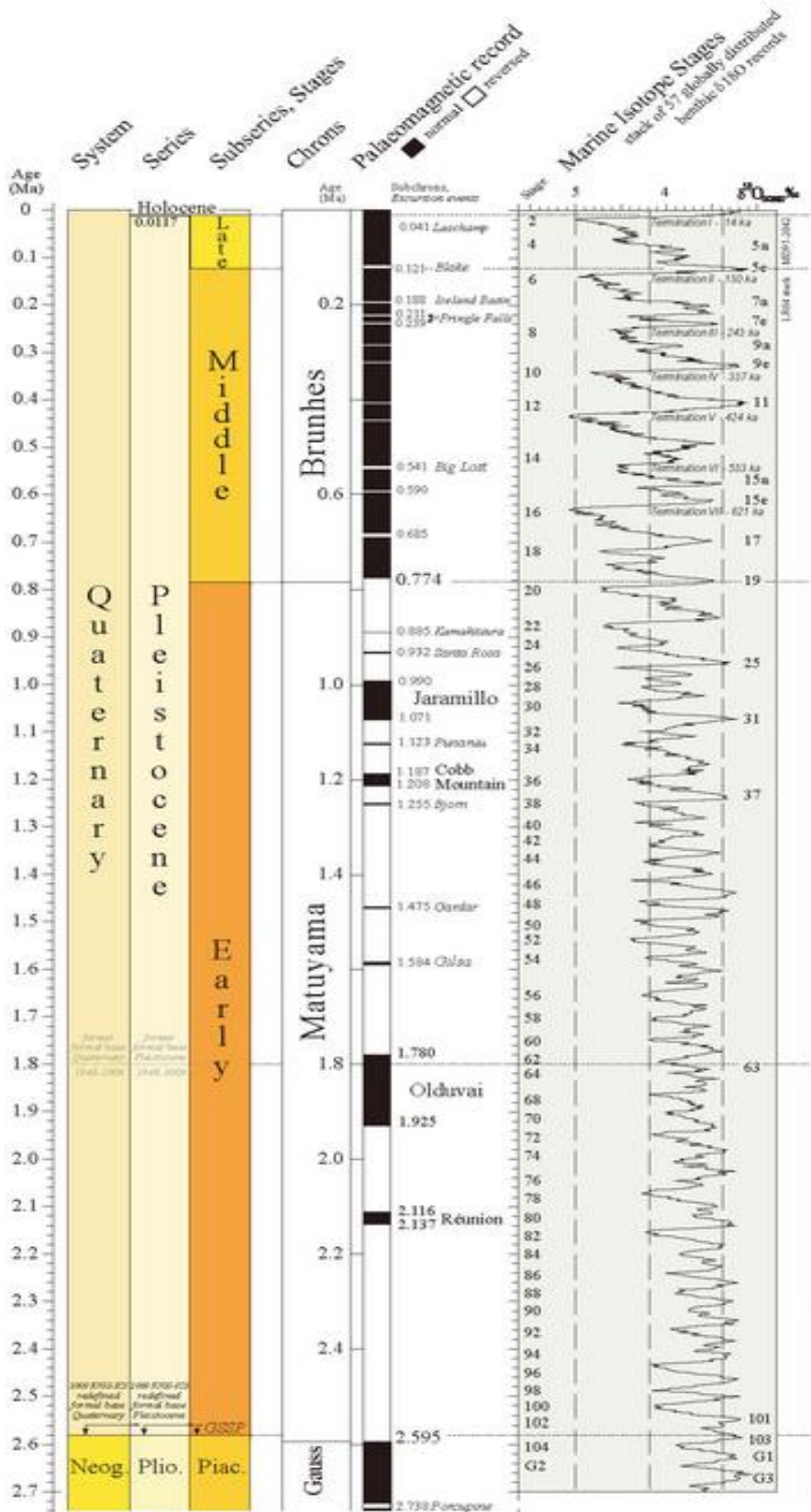
Perioden kvartær er delt inn i to epokar, holocen som er tida etter siste istid og som starta for 11.700 år sidan, og pleistocen som starta for 2.588 millionar år sidan og strekk seg fram til holocen. Gjennom heile kvartær har klimaet veksla mellom lange glasiar kuldeperiodar, der glasiar erosjon sette sitt preg på landskapet, og kortare interglasiar varmeperiodar, der landskapet vart modifisert av fluviale prosessar og skredprosessar (Rye et al., 1997). Den første gongen ein kjenner til at ismarginen nådde heilt ut til kanten av kontinentalhylla var Fedje-glasiasjonen for om lag 1,1 Ma. Etter dette har ismarginen fluktuert fram og tilbake, og nådd kanten av kontinentalhylla fem gonger (figur 3). Isen har og vore heilt vekke fire gonger i denne perioden (Sejrup et al., 1995).



Figur 3 Tid-distansediagram som syner ismarginen frå Fedje-glasiasjonen 1,1 Ma til i dag. Ismarginen har i tidsrommet flukuert fram og attende og har nådd kanten av kontinthalilla totalt sju gonger. Isen har og smelta heilt vekk ved fire høve. Modifisert frå Hjelstuen et al. (2005).

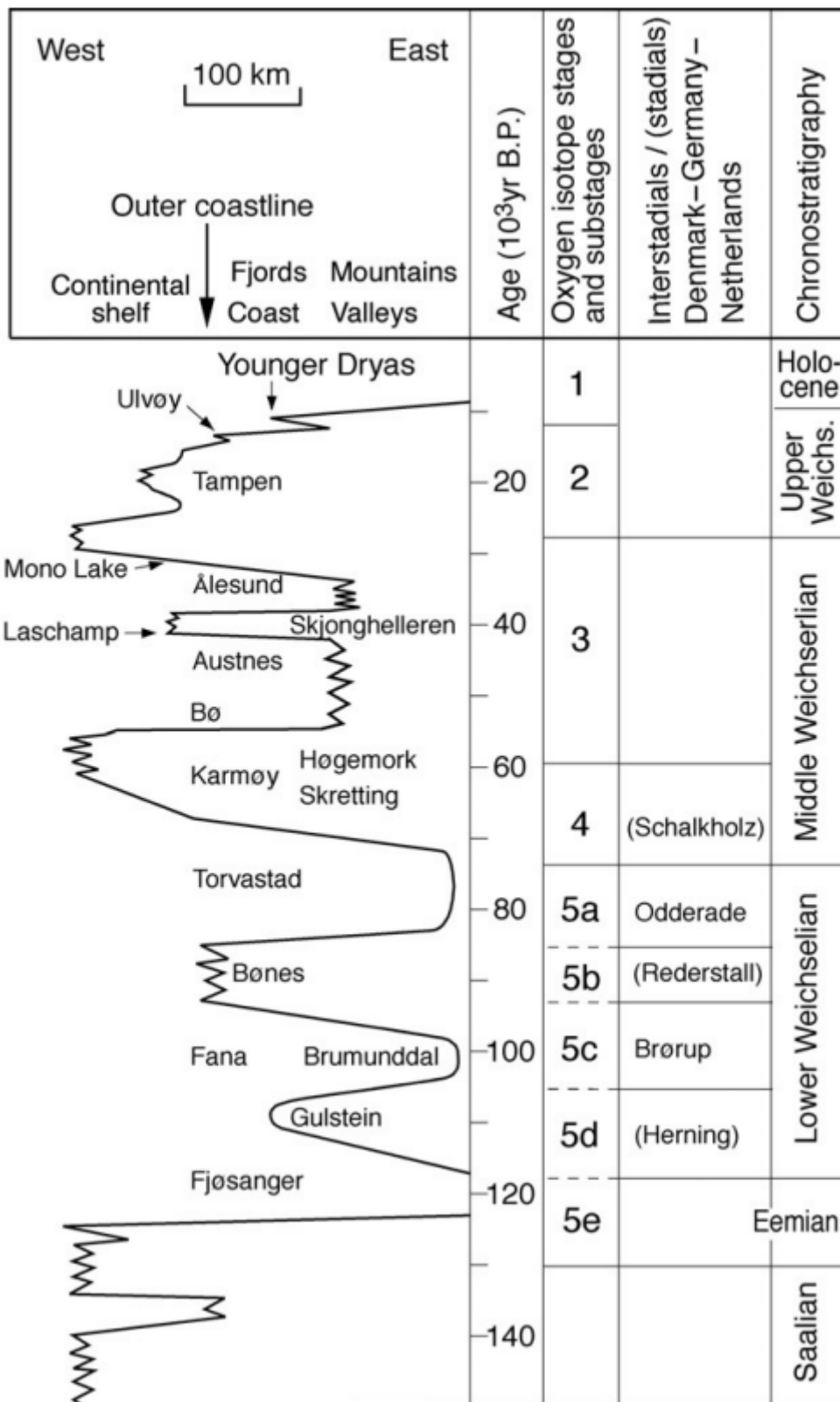
Desse klimavekslingane har i stor grad vore styrde av syklusar med ulik periodisitet, milankovićsyklusane. Frå starten av kvartær og fram til for om lag 800.000 år sidan var det 41.000 års syklusar som dominerte klimavariasjonane, medan dei etter dette vart dominert av 100.000 års syklusar. Noko som førde til at glasiasjonane vart meir omfattande enn tidlegare (Nesje og Dahl, 2000). Ved å sjå på forholdet mellom ^{18}O - og ^{16}O -isotopar i havet er det mogleg å seie noko om kor mykje vatn som er bunde som is på land. Dei marine isotoptrinna (eng.: MIS

– *marine isotope stages*) er inndelt etter dette forholdet, og gjennom hele kvartær har dette forholdet svinga i takt med milankovičsyklusane (figur 4).

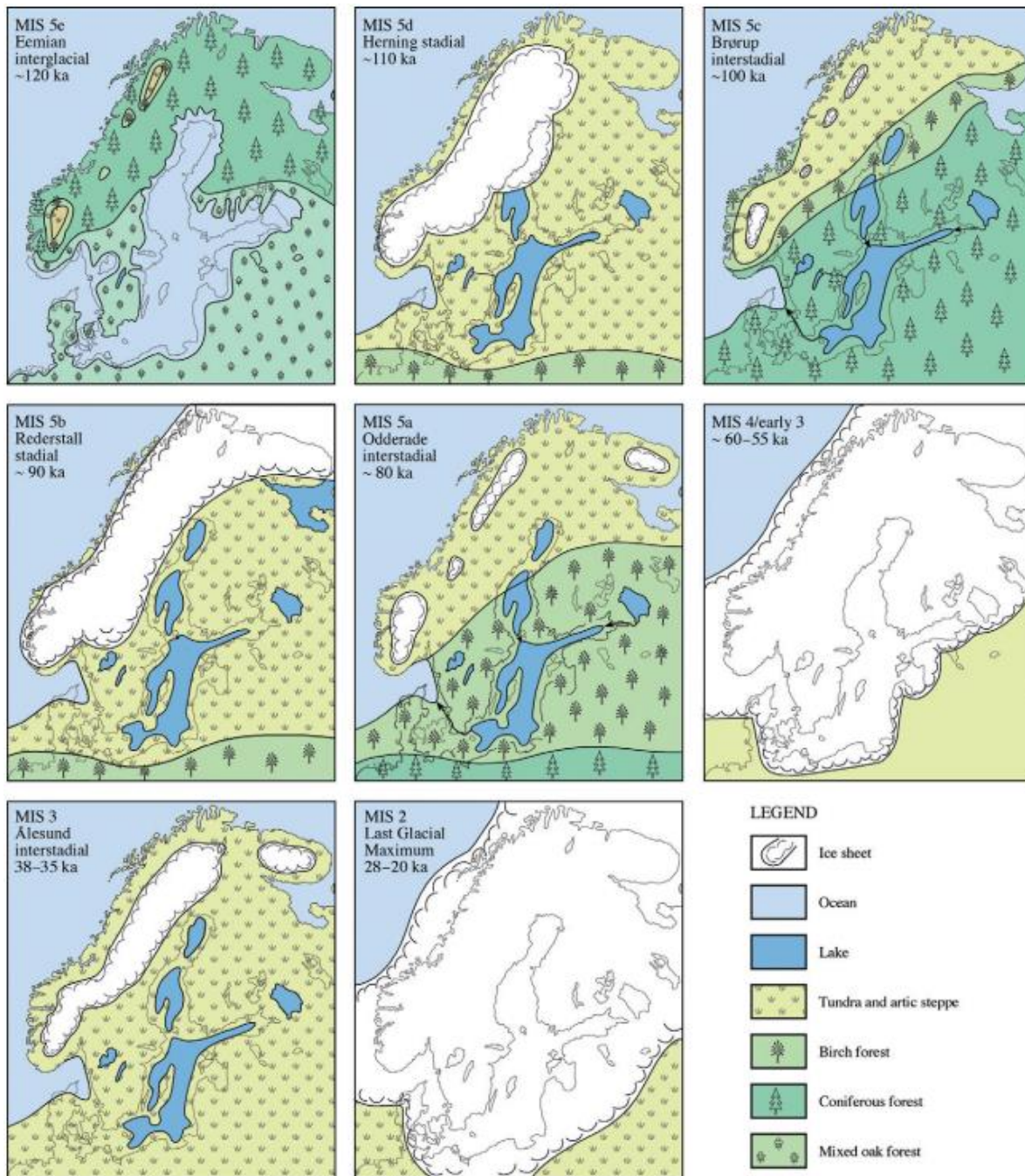


Figur 4 Forholdet mellom ^{18}O - og ^{16}O -isotopen i havet gjennom heile kvartær fluktuierer fram og tilbake, og overgangen i dominans frå 41 ka til 100 ka syklusar for om lag 800 ka sidan kjem tydeleg fram. Ein ser og ei endring til meir omfattande glasieringar frå same tid med mykje større utslag på kurva. Dei marine isotoprinna er markert framfor kurva, og dei er basert på endringa i forholdet mellom dei to oksygenisotopane.. Tabellen har og ei søyle som syner endringar i paleomagnetismen. Modifisert frå ICS (2016).

Under den siste istida, weichsel (115- 11,7 ka), var ikkje heile Norden kontinuerleg dekkja av innlandsisen. Ismarginen gjekk fram og tilbake, og den har i denne perioden nådd kanten av kontinentalhylla to gonger. Ved fleire anledningar trakk ismarginen seg tilbake frå fjordane (figur 5). Weichsel kan i Norden delast inn i tre interstadiale periodar (MIS 3 – Ålesund, MIS 5a – Odderade og MIS 5c – Brørup) der mykje av isen smelta vekk og fire stadiale periodar (MIS 2 – LGM, MIS 4 – Schalkholz, MIS 5b – Rederstall og MIS 5d – Herning) der isdekket vart gradvis større for kvar av dei, fram til det nådde sin maksimale utbreiing under LGM om lag 20 ka. På denne tida låg isen heilt ut til kanten av kontinenthylla, der den kalva ut i det opne havet (figur 6).



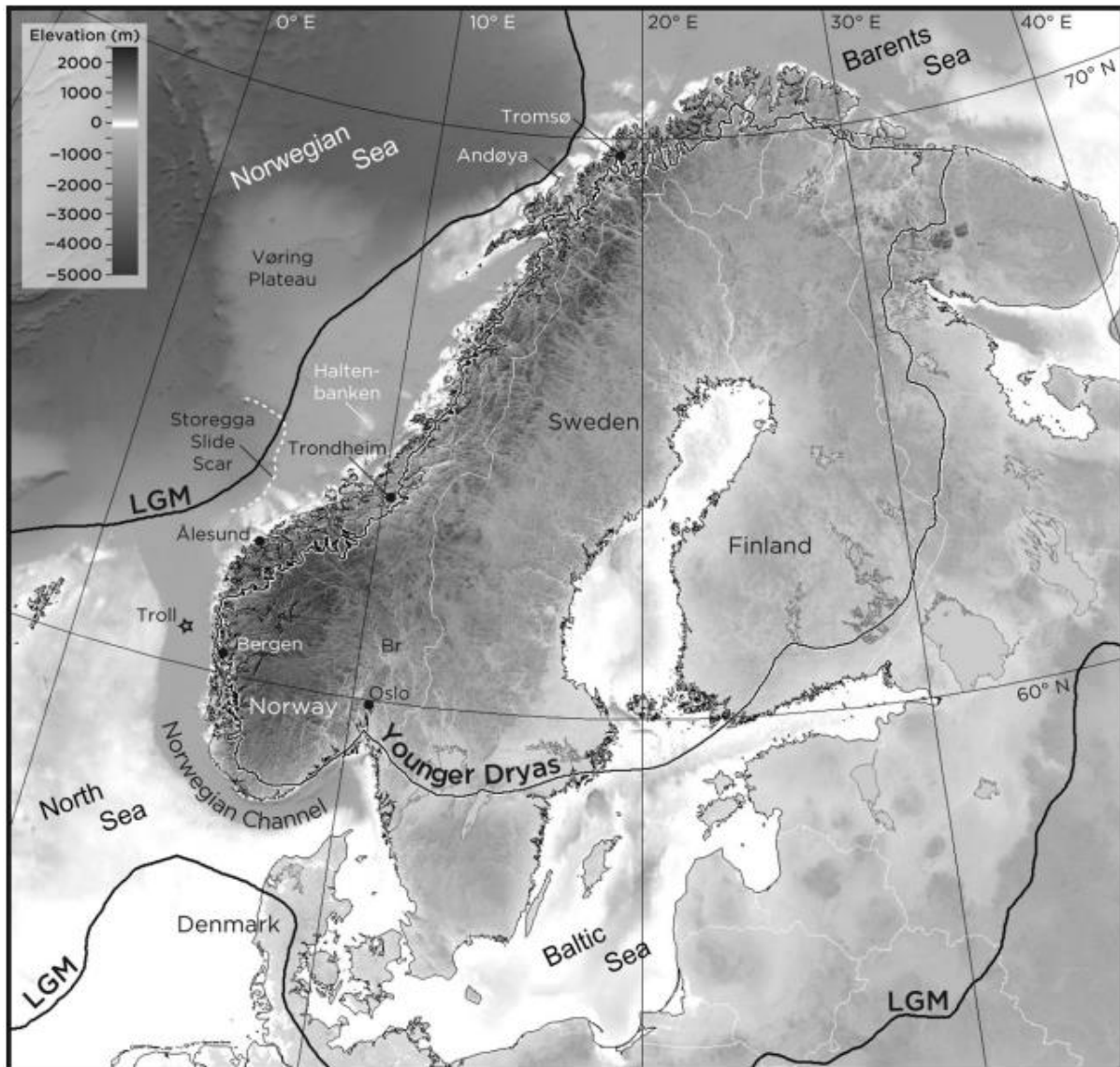
Figur 5 Tid-distanse diagram for isutbreiinga dei siste 150 ka. Ein ser at brefronten har store variasjonar under weichsel. Modifisert frå Hjelstuen et al. (2005).



Figur 6. Isdekket si utbreiing under siste istid og kva type vegetasjon som dominerte. Glasiasjonane vart stadig større med tida, og det var berre dei to siste stadialane som dekkja heile Norden. Under interstadialane var mesteparten av innlandsisen smelta vekk (Mangerud et al., 2011).

Deglasiasjonen etter LGM kan delast inn i tre fasar, den første består av tilbaketrekking av ismarginen og varer fram til starten av yngre dryas (12,8 ka). I denne perioden smelta og kalva ismarginen kraftig tilbake og kontinenthylla og delar av kysten vart isfrie. Dette førde og til at isdekket lenger inne i landet vart tynnare. Den andre fasen er yngre dryas (12,8-11,7 ka), ein

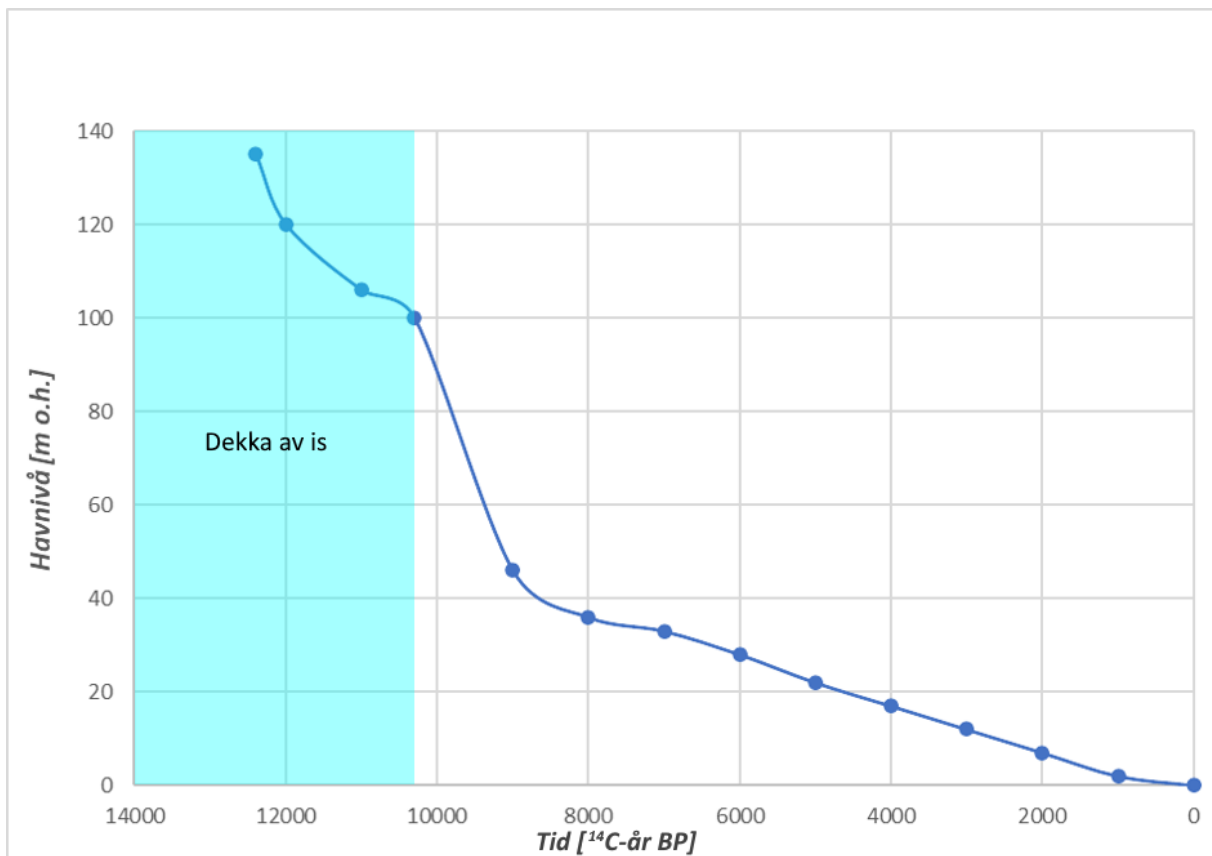
periode med kaldare klima der innlandsisen i deler av landet gjorde store framrykk, spesielt på vestlandet. Andre stader hadde fronten av innlandsisen stillstand, og enkelte stader, til dømes rundt Trondheim, trakk den seg attende. Moreneryggane avsett i yngre dryas er dei einaste strukturane avsett i deglasiasjonsfasen som er kartlagde kontinuerleg rundt heile det skandinaviske isdekket (figur 7).



Figur 7 Oversikt over innlandsisen sin utbreiing ved LGM og yngre dryas (Mangerud et al., 2011). Kysten av Sunnmøre og Trøndelag og store område innanfor var isfrie i yngre dryas. Dei kartlagde avsetningane etter det skandinaviske isdekket, som representerer den maksimale utbreiinga i yngre dryas, nådde sitt maksimum til ulike tider.

Den tredje og siste fasen var i tidleg holocen, der isdekket forsvann heilt i løpet av ein periode på 1000-1500 år. Det var einiske lokale stopp i tilbakesmeltinga, som skuldast topografiske tilhøve (Mangerud et al., 2011).

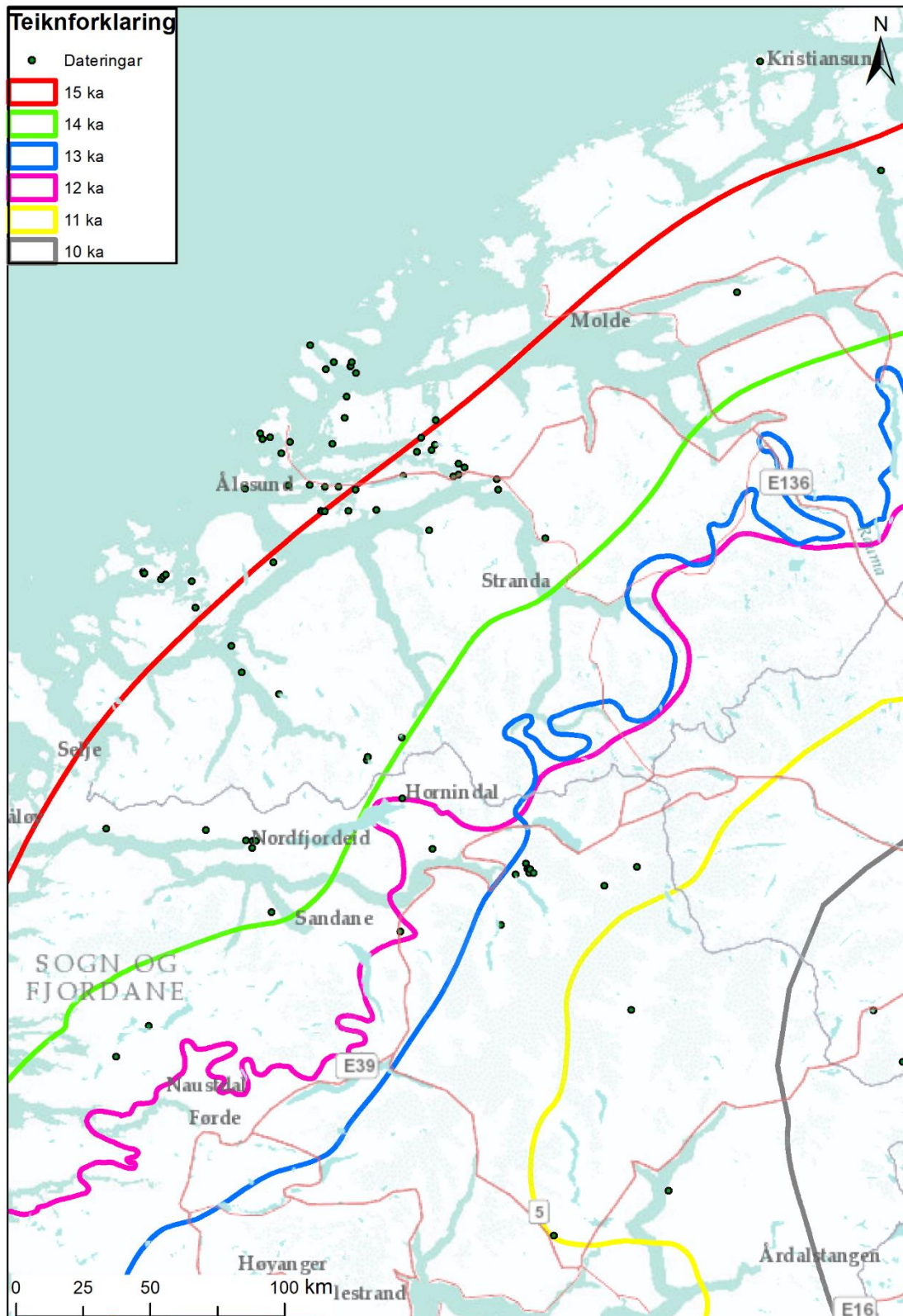
Det relative havnivået for Geiranger er rekonstruert ved å bruke det ekvidistante kystlinjediagrammet for Sunnmøre og Sør-Trøndelag konstruert av Svendsen og Mangerud (1987). Frå det konstruerte diagrammet kan ein mellom anna sjå at den marine grensa i Geiranger, som er det høgste havnivå etter at isen forsvann, ligg på om lag 100 m o.h. (figur 8). Dette stemmer godt over eins med den modellerte marine grensa NGU opererer med i sine kart, som og er 100 m o.h. (NGU, 2018b).



Figur 8 Det relative havnivået i Geiranger konstruert etter det ekvidistante kystlinjediagrammet for Sunnmøre og Sør-Trøndelag konstruert av Svendsen og Mangerud (1987). Havnivåkurva er i ^{14}C -år og dekkjer dei siste 12,4 ka, men sidan området var dekkja av is, vil marin grense vera frå tidspunktet området vart isfritt for godt. Ei utflating av havnivået startar ved inngangen til yngre dryas ved 11 ka, den vert etterfølgd av ei hurtig senking av havnivået fram til om lag 9 ka. Etter det fell det sakte mot dagens nivå.

2.4 Deglasiasjonen av Sunnmøre

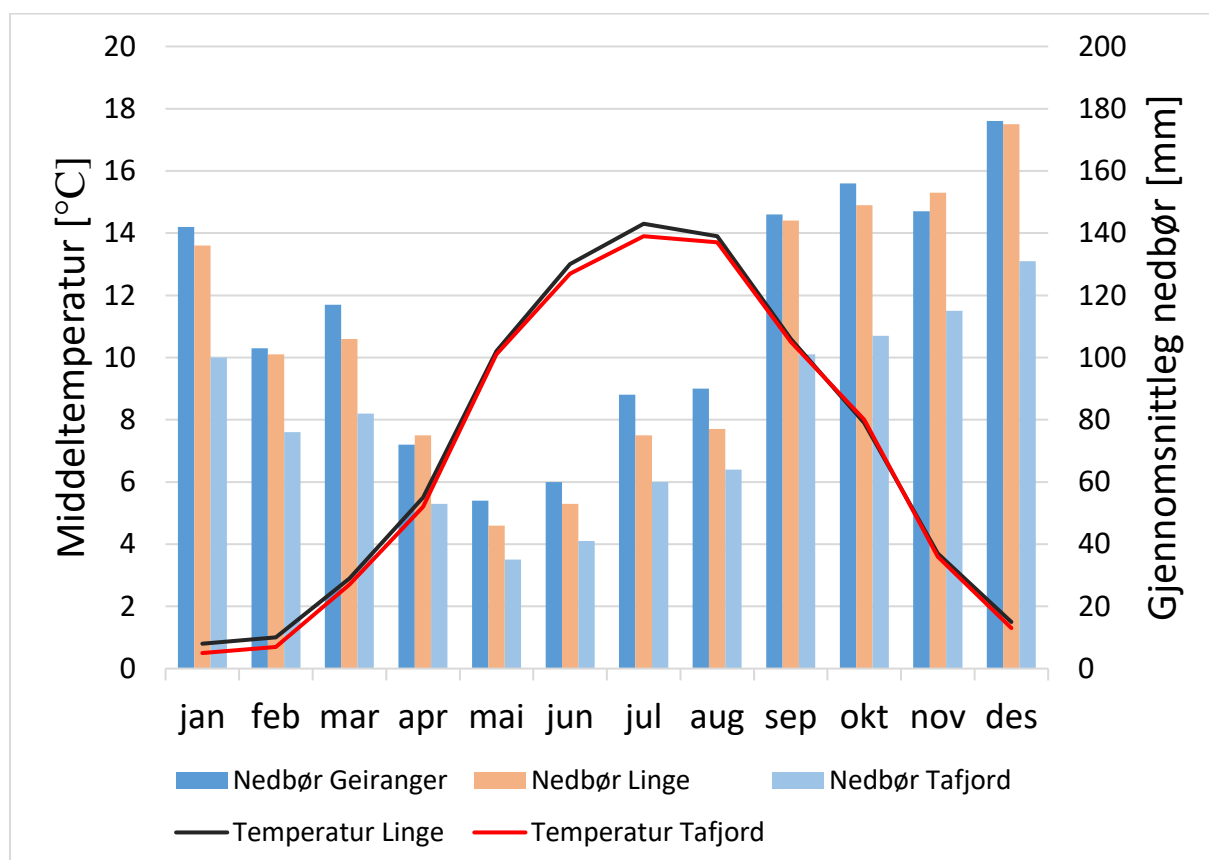
Det er gjort eit omfattande arbeid av Hughes et al. (2016) der publiserte numeriske aldrar er innhenta frå publiserte vitenskaplege arbeid, der truverdet av aldrane er vurdert etter gitte kvalitetskriterier, og dersom desse er gode er dei nytta i databasen sin rekonstruksjon. Det er, basert på databasen, konstruert kart som viser isen sin utbreiing til ulike tider for dei eurasiske isdekka. Shapefiler frå dette prosjektet er lasta inn i GIS, der det er konstruert eit kart for å illustrere deglasiasjonen frå kysten vart isfri til innlandsisen var vekk frå Sunnmøre. Kysten av Sunnmøre var isfri ved 15 ka, og ismarginen ligg då om lag ved Selje, Spjelkavik og Molde. I løpet av dei neste tusen åra vert store delar av fjordane isfrie, og ismarginen har trekt seg tilbake og ligg ved mellom anna Storfjorden, Liabygda og Eidsbygda. Rundt 13 ka ligg det brearmar i fjordane ved Hellesylt, Geiranger og Tafjord. Resten av fjordsystema er no blitt isfrie. I følgje modellen har ismarginen trekt seg tilbake frå feltområdet rundt 12 ka. Dette skjedde truleg litt etter dette (modellen er laga på ein kontinental skala, og område med lite dateringar kan vera unøyaktige på mindre skala). Rundt 11 ka har ismarginen trekt seg heilt vekk frå Sunnmøre (figur 9).



Figur 9 Ismarginen på Sunnmøre i tidsrommet 15-10 ka. Kartet er konstruert med data frå DATED-1 databasen, og representerer den mest sannsynlege ismarginen ved dei gitte tidspunkta (Hughes et al., 2016). Kysten var alt isfri ved 15 ka, og ved 14 ka er og store delar av fjordane isfrie. Rundt 12 ka er heile feltområdet isfritt. Mens ismarginen var nærare kysten ved 13 ka enn 12 ka på Sunnmøre, er det motsette tilfelle lenger sør i Sogn og Fjordane.

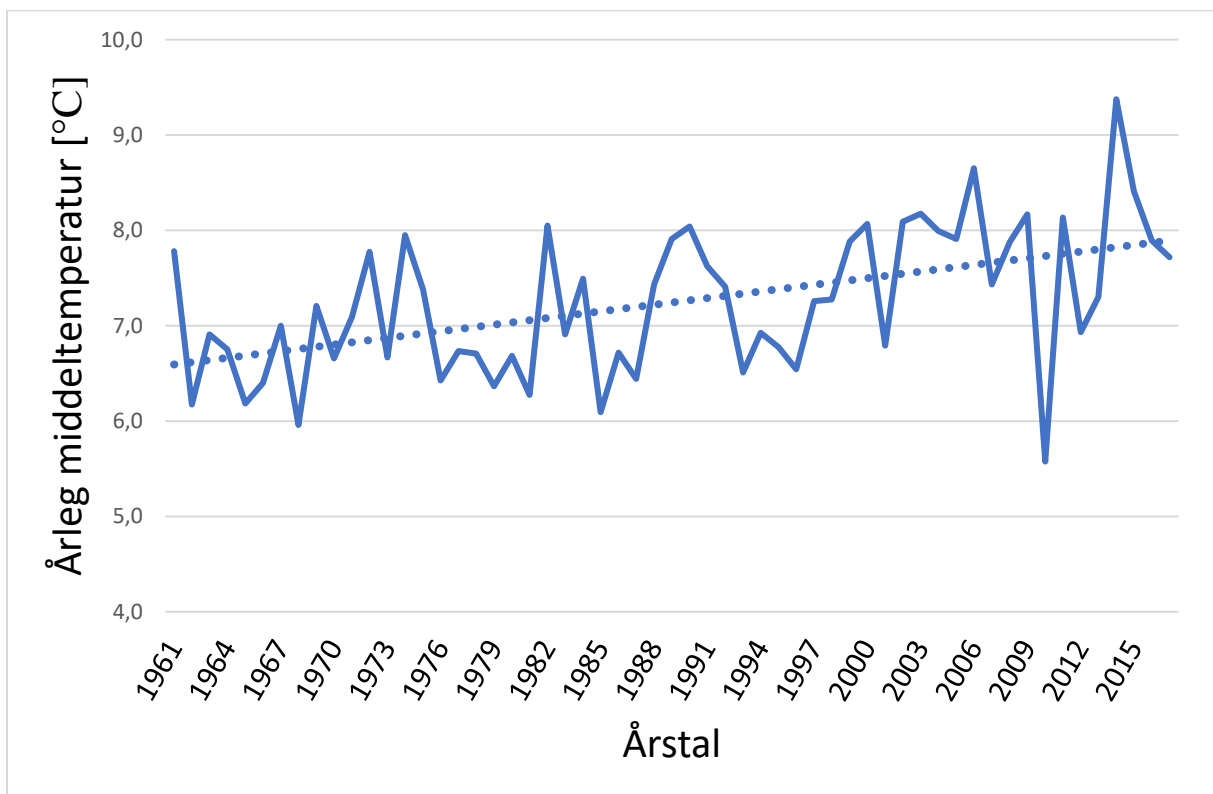
2.5 Klima

Klimaet i og rundt Geiranger er prega av at området består av høge fjell og smale fjordar, noko som fører til at det er lokale variasjonar for vind, nedbør og temperatur. Sidan feltområdet ligg eit godt stykke aust for kystlinja, men samstundes ligg ved ein fjord, er klimaet ein kombinasjon av fuktig kystklima og tørt innlandsklima. Meteorologisk institutt har fleire målestasjonar i området, og av desse er det to som har tilstrekkeleg med data til å gi statistikk over månadsnormalar for 1961-1990. Det er stasjonane på Linge (stasjon nr. 60650) og Tafjord (stasjon nr. 60500). Det er og ein målestasjon i Geiranger (stasjon nr. 60300) som har statistikk for månadsnormal for nedbør i perioden, men denne har ikkje data for middeltemperaturen. Statistisk er det litt meir nedbør i Geiranger enn Linge, spesielt i sommarmånadane, medan Tafjord har betydeleg mindre nedbør og då spesielt i vinter- og haustmånadane (figur 10).



Figur 10 Månadsnormalen for temperatur og nedbør i perioden 1961-1990 for målestasjonane på Linge, Tafjord og Geiranger. Geiranger har ikkje tilstrekkeleg med data for temperatur. Temperaturkurva for Linge og Tafjord viser små avvik, medan det er tydelege skilnader for nedbør der Geiranger har litt meir nedbør enn Linge og Tafjord har betydeleg tørrare klima enn desse. Det er og tydeleg at skilnadene er klart størst om hausten og vinteren (Meteorologisk institutt, 2018).

Den gjennomsnittlege årlege nedbøren i perioden 1961-1900 er for Geiranger 1351 mm, Linge 1290 mm og Tafjord 965 mm. Den gjennomsnittlege temperaturen i same periode er for Linge 7,1°C og Tafjord 6,9°C (Meteorologisk institutt, 2018). Tilsvarende tal for dei fem siste år (2013-2018) er for Linge 1231 mm gjennomsnittleg årleg nedbør og 8,3°C gjennomsnittleg temperatur, og for Tafjord 993 mm gjennomsnittleg årleg nedbør og 8,2°C gjennomsnittleg temperatur. Det er små endringar i nedbør der den aukar med 28 mm i Tafjord og minkar med 59 mm i Linge i høve til normalen for 1961-1990, men den årlege gjennomsnittstemperaturen har auka med 1,2°C begge stader, noko som er ganske betydeleg. For Tafjord er det samanhengande målingar av temperatur i heile perioden 1961-2017. Sjølv om temperaturane varierer ein del frå år til år, er det ein heilt tydeleg trend der den årlege middeltemperaturen stig gradvis utover i perioden (figur 11).



Figur 11 Temperaturutviklinga ved målestasjonen i Tafjord i perioden 1961-2017. Den stipla trendlinja syner ein klar utvikling mot varmare klima (Meteorologisk institutt, 2018).

3 Metodar

Det vart utført feltarbeid to gonger i løpet av seinsommaren 2017, og begge besøka vart gjort i periodar med tørt og fint ver slik at tilhøva for å gjere målingar med schmidthammar skulle vera optimale. Heile feltområdet ligg innanfor Geiranger-Herdalen landskapsvernområde, og dette måtte ein ta omsyn til under feltarbeidet. Mellom anna kunne ein ikkje grave der ein ville, utan å søke om dette på førehand, for å sjå på sedimenta inne i ryggformane, og eventuelt sjå etter strukturar som kan seie noko om danninga av ryggane. Enkelte stader var det likevel naturlege eksisterande snitt der ein kunne sjå på samansetjinga av sediment inne i ryggane.

3.1 Kwartærgeologisk kartlegging

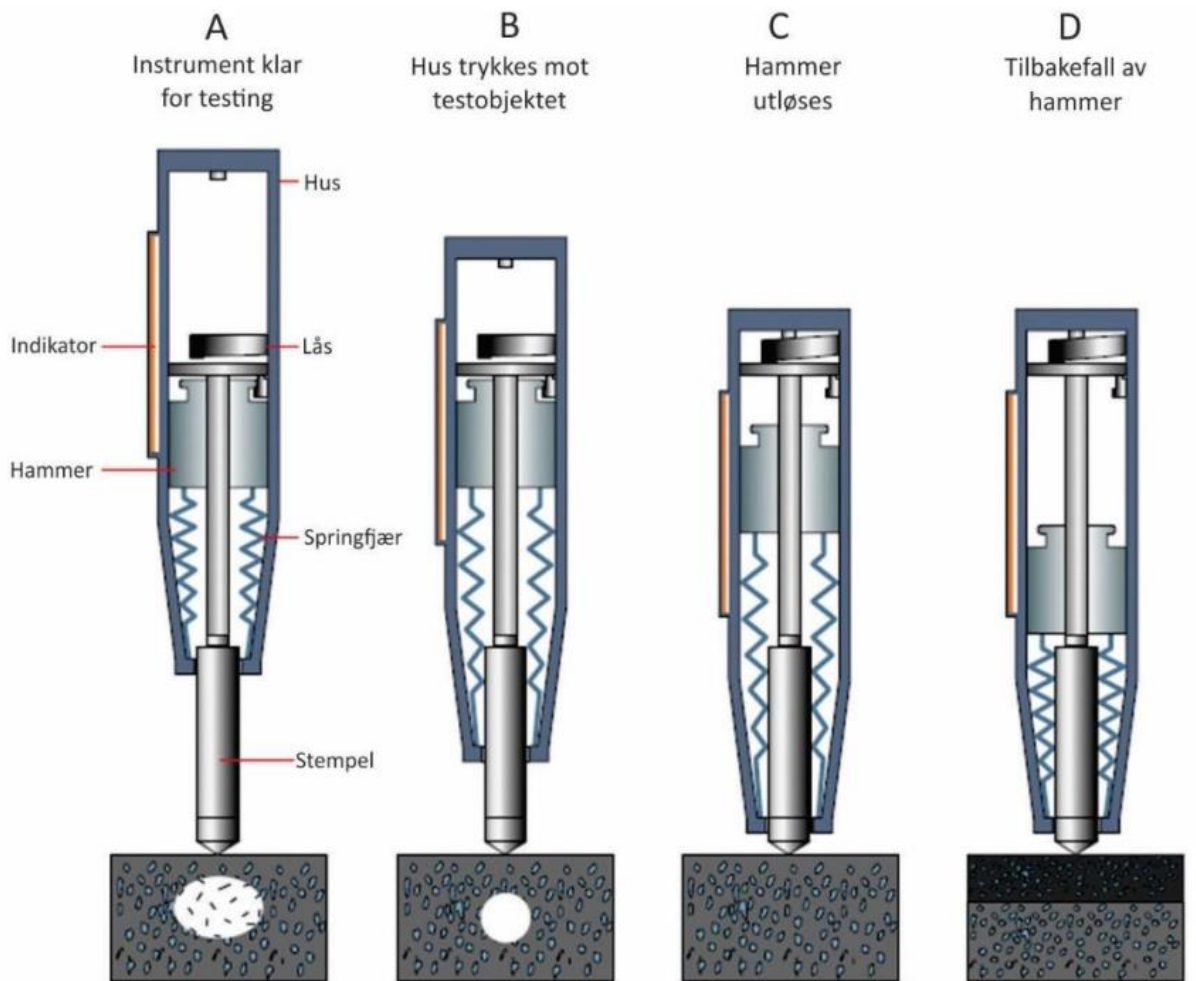
Under feltarbeidet vart det utført kartlegging av landskapsformer, og det vart sett på sorteringsgrad, kornstorleik og grad av runding på sedimenta. I kartlegginga vart det nytta GPS av typen Garmin GPSmap 64. I tillegg til at mange av formene vart gått opp med GPS, vart denne og nytta til å markere lokalitetar på kartet, slik som store blokker og punkt der det vart utført målingar av til dømes vinklar og storleik på morener. Alle data frå GPS vart seinare importert i ArcGis for vidare bearbeiding der. På grunn av storleiken til feltområdet vart eit mindre område, Grinddalen, vald ut for framstilling av det kvartærgeologiske kartet. Kartlegginga av området vart utført på bakgrunn av feltobservasjonane kombinert med tolking av flyfoto. NGU sin standard for teikn- og fargekodar er nytta i framstillinga av kartet.

3.2 Schmidthammar



Figur 12 Schmidthammar type N, som er modellen som er nytta i feltarbeidet. Foto: pce-instruments.

Schmidthammaren (figur 12) vart konstruert av Ernst Schmidt i 1948 som eit verktøy for å måle hardleik til betong utan å øydeleggje betongen. Når den vert pressa mot underlaget vert det utløyst ein hammar som slår stampelet mot underlaget. Deler av energien vert absorbert av overflata den slår mot, den resterande energien slår stampelet tilbake. (figur 13). Denne restenergien kan lesast av på indikatoren som R-verdi, og er eit mål på hardleiken til overflata. Ei forvitra flate absorberer meir energi enn ei fersk, og vil såleis ha mindre restenergi og lågare R-verdi (Goudie, 2006).



Figur 13 Prinsippskisse av schmidthammer som syner korleis den er oppbygd og vert brukt. Castañeda (2017) modifisert av Nygård (2017).

På 1960 talet starta ein å nytta schmidthammaren i ein geomorfologisk kontekst, mellom anna til relativ datering. Det er fleire fordelar ved bruk av schmidthammer til relativ datering. Den har lav vekt, og det er dermed enkelt å ta den med i felt. Den er relativt rimeleg, og er enkel å bruke, noko som gjer at det er mogleg å gjera mange målingar i felt. Konstruksjonen er og svært enkel, og den er derfor lett å vedlikehalde og er driftssikker. Den er heller ikkje avhengig av nokon spesifikk temperatur for å fungere. Schmidthammaren har og ein del svakheiter. Den er sensitiv for diskontinuitetar i bergarten, og den krev ei tørr flate for å få korrekte avlesingar. Det er derfor berre mogleg å nytte den i tørt ver. I tillegg vil og overflatetekstur påverke måleresultata. R-verdien kan variere frå ulike schmidthammarar, og det kan og målingar utført av ulike personar med same hammar. På eldre schmidthammarar blir fjøra svekka, og dette vil

gi upålitelege R-verdiar. Til slutt krev den store blokker med masse på minst 25 kilo for å gi pålitelege avlesingar.

I feltarbeidet er det gjort 100-200 målingar på kvar morenerygg eller bert fjell fordelt på to til fire ulike blokker på ryggane. Målingane på vegskjeringa ved Flydalsjuvet vart gjort med horisontal retning på schmidthammaren, og middel R-verdi frå denne lokaliteten er derfor omrekna til vertikal verdi for å kunne brukast saman med dei andre R-verdiane.

3.3 ArcGIS (10.4)

ArcGIS (GIS – geografisk informasjonssystem) er eit geografisk informasjonssystem frå ESRI software som vert nytta til å behandla ulike geografiske data digitalt. Det er ein pakke med fleire ulike program, og har mange ulike bruksområde. I denne oppgåva vart det nytta ArcMap og ArcScene. ArcMap vart nytta til å framstille det kvartærgeologiske kartet over Grinddalen, laga digitale terrengmodellar med data frå hoydedata.no og modifisering av kart. Spor og vegpunkt som var lagra på GPS i felt, vart i etterkant importert til ArcMap for vidare behandling. Flyfoto med høg oppløysing er importert og georeferert og nytta som supplement til feltobservasjonar under framstillinga av det kvartærgeologiske kartet.

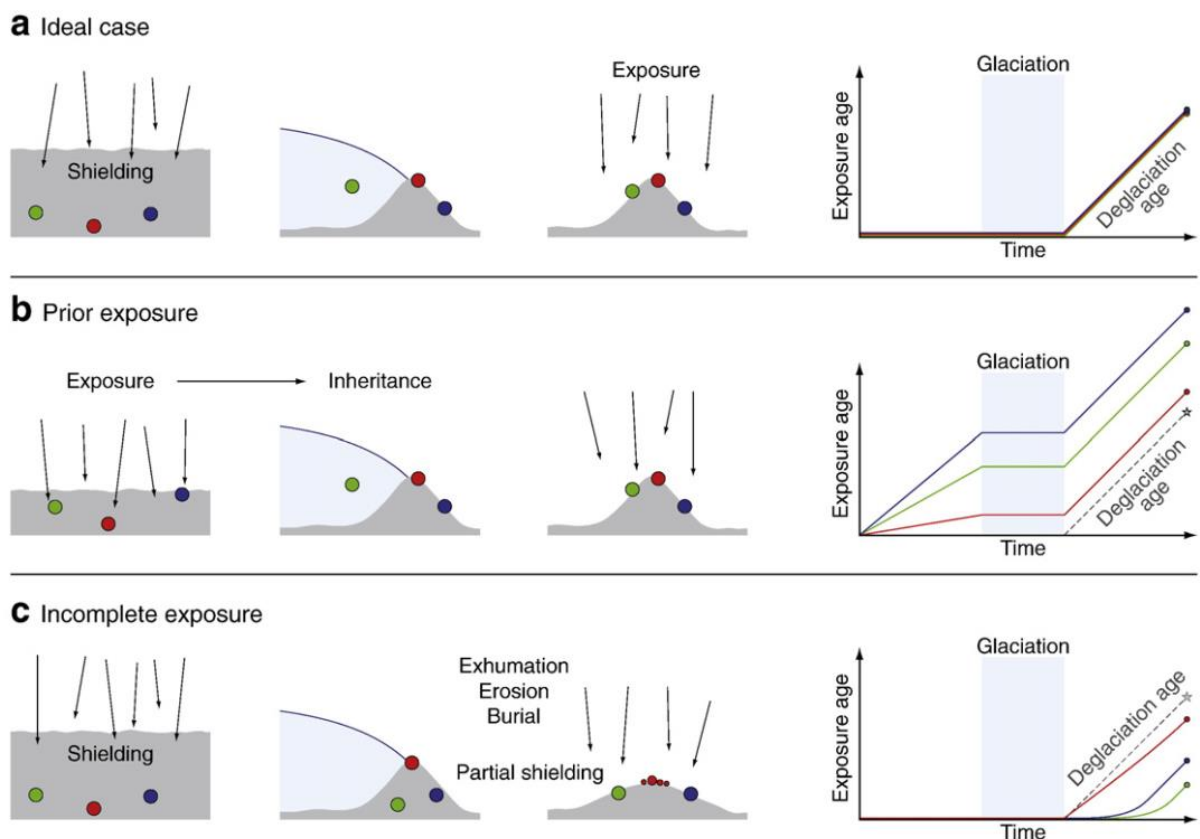
ArcScene vart nytta til framstilling av tredimensjonale modellar av innlandsisen sin utbreiing i Geiranger i løpet av yngre dryas. Først er det lagt inn digitale høgdemodellar (eng.: *DEM – digital elevation model*), og så er flyfoto og shapefiler lagt over denne for å få ein tredimensjonal modell over feltområdet og isen. Det vart så laga ein film basert på den tredimensjonale modellen (vedlegg 3).

3.4 Eksponeringsdatering

Eksponeringsdatering kan gjerast ved bruk av ein eller fleire ulike in situ kosmogene nuklidar. Ein kan datere flatar med alder frå nokre hundre år til titals millionar år, alt etter kva nuklide ein vel å nytte til datering, og forvittringsrata til bergarten. Dei ulike nuklidane som er vanleg å bruke er: ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^3He og ^{21}Ne (Ivy-Ochs og Kober, 2008).

I 2015 vart det samla inn prøvar til eksponeringsdatering frå feltområdet av Henriette Linge. Fire av prøvane vart valde ut for vidare analyse, Hesjedalshaugen, Grandehaugen og to frå lateralmorena ved Møllsætrane (figur 44). Desse vart preparert ved Institutt for geovitenskap i Bergen, og så sendt til Aarhus AMS Centre for analysar.

Det er brukt in situ ^{10}Be til å datere flatane. Eksponeringsdatering er basert på at når kosmisk stråling bombarderer jorda si overflate, vert det produsert kosmogene nuklidar i dei øvste tre til fem metrane i jordskorpa. Dette skuldast at nøytron frå den kosmiske strålinga treff atom i overflata, og kjernen vert spalta i tre eller fleire delar på grunn av den store energimengda. Denne reaksjonen vert kalla spallasjon. Ein kan få danna ^{10}Be i både kvarts og silisium gjennom ein slik reaksjon. Ved hjelp av AMS (*AMS - Akseleratormassespektrometer*) måler ein forholdet mellom ^{10}Be og ^9Be i prøven, og bereknar konsentrasjonen av ^{10}Be som vert nytta til å få eit estimat over kor lenge prøven har vore utsett for stråling. Produksjonsrata for ^{10}Be er ikkje den same over alt, men varierer med geografisk og topografisk lokalisering. Den er større dess høgare over havnivå ein kjem, og varierer og med breiddegrad, noko det må tas omsyn til ved berekning av alder. Andre faktorar som kan ha innverknad på den tilsynelatande alderen er forvitring, erosjon, arv, grad av skjerming og eksponering før og etter hending (figur 14).

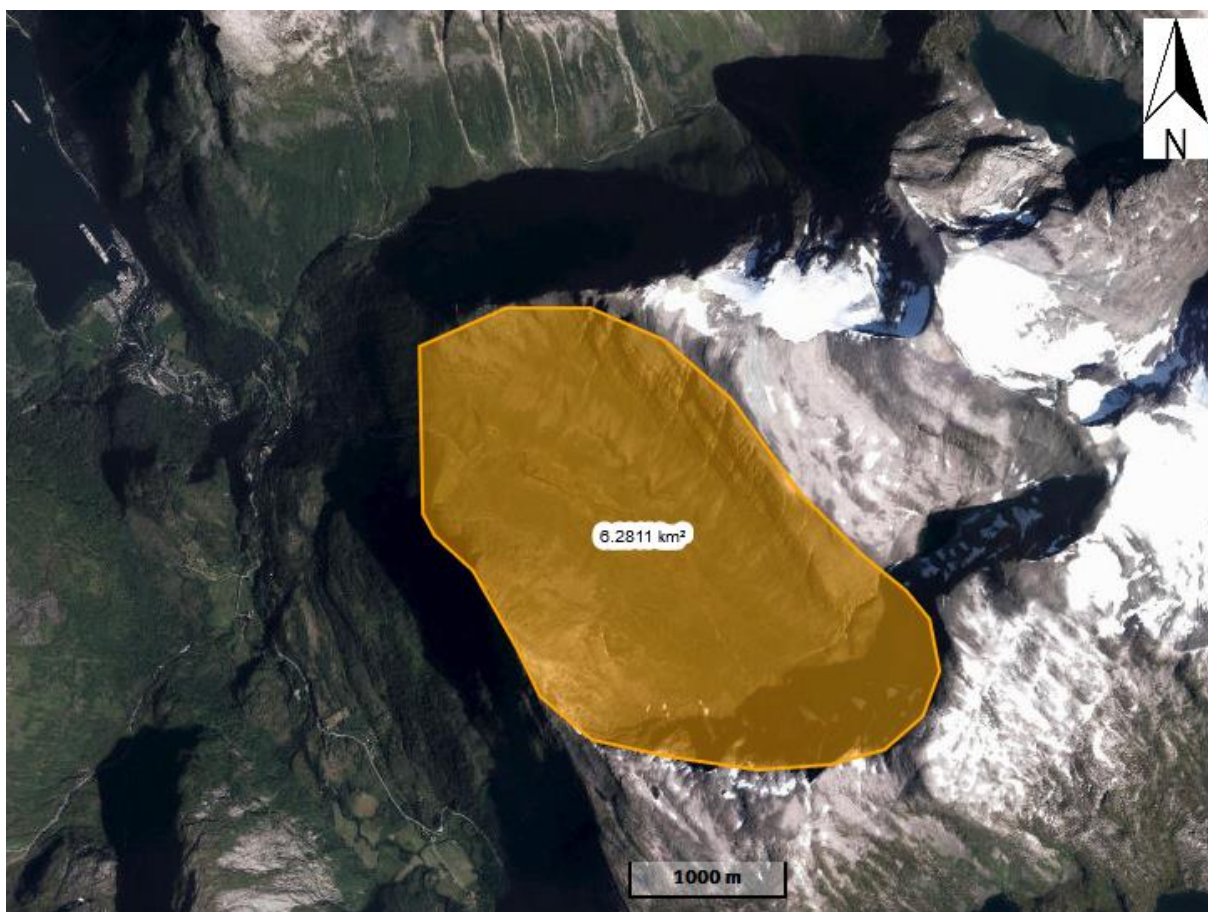


Figur 14 (a) Under ideelle tilhøve er prøven totalt skjerma frå kosmisk stråling før glasiasjon, og den er ikkje skjerma etter glasiasjon. (b) Har den vore utsett for tidlegare eksponering før den vart dekkja av is, vil den allereie ha eit visst innhald (arv) av kosmogene nuklidar og den vil gi for høg alder. (c) Dersom prøven er fullstendig skjerma før ein glasiasjon og den berre er delvis eksponert etter den er avsett, vil eksponeringsalderen bli for ung (Heyman et al., 2011).

4 Resultat

4.1 Kwartærgeologisk kart over Grinddalen

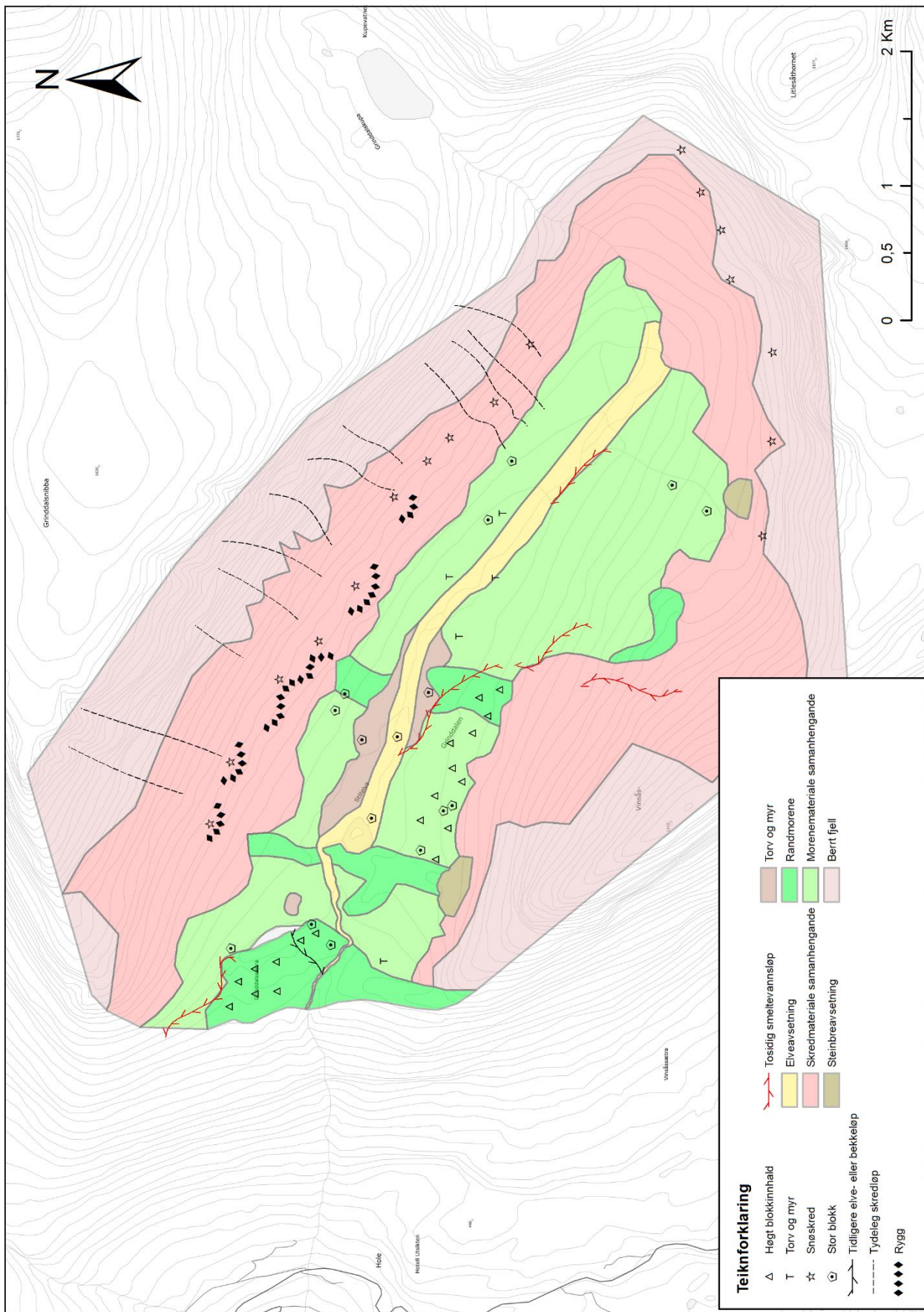
Det kvartærgeologiske kartet over Grinddalen (figur 16) dekker eit område på om lag 6,3 km². Dalen er orientert NV-SØ og ligg søraust for sentrum i Geiranger (figur 15).



Figur 15 Området i Grinddalen som er kartlagd. Størrelsen på området er om lag 6,3 km². Modifisert frå norgeskart.no (2017).

Det vart under feltarbeidet observert to landformer som er tolka til å vera relikte steinbrear, begge desse ligg plassert i dalsida mot sørvest (figur 16). Dei består av store blokker og fronten har ein tydeleg ryggform med ei forsenkning på proksimalsida av ryggen. I den eine ligg det ein vassdam i forsenkninga. Innanfor forsenkninga består massane av blokker. I heile dalsida mot nordaust ligg det pronivale ryggar. Fire randmorener er observert. Ytst i dalen ligg M3. Innanfor denne ligg ein morenerygg, betydeleg meir degradert enn M2, som er tolka til å vera

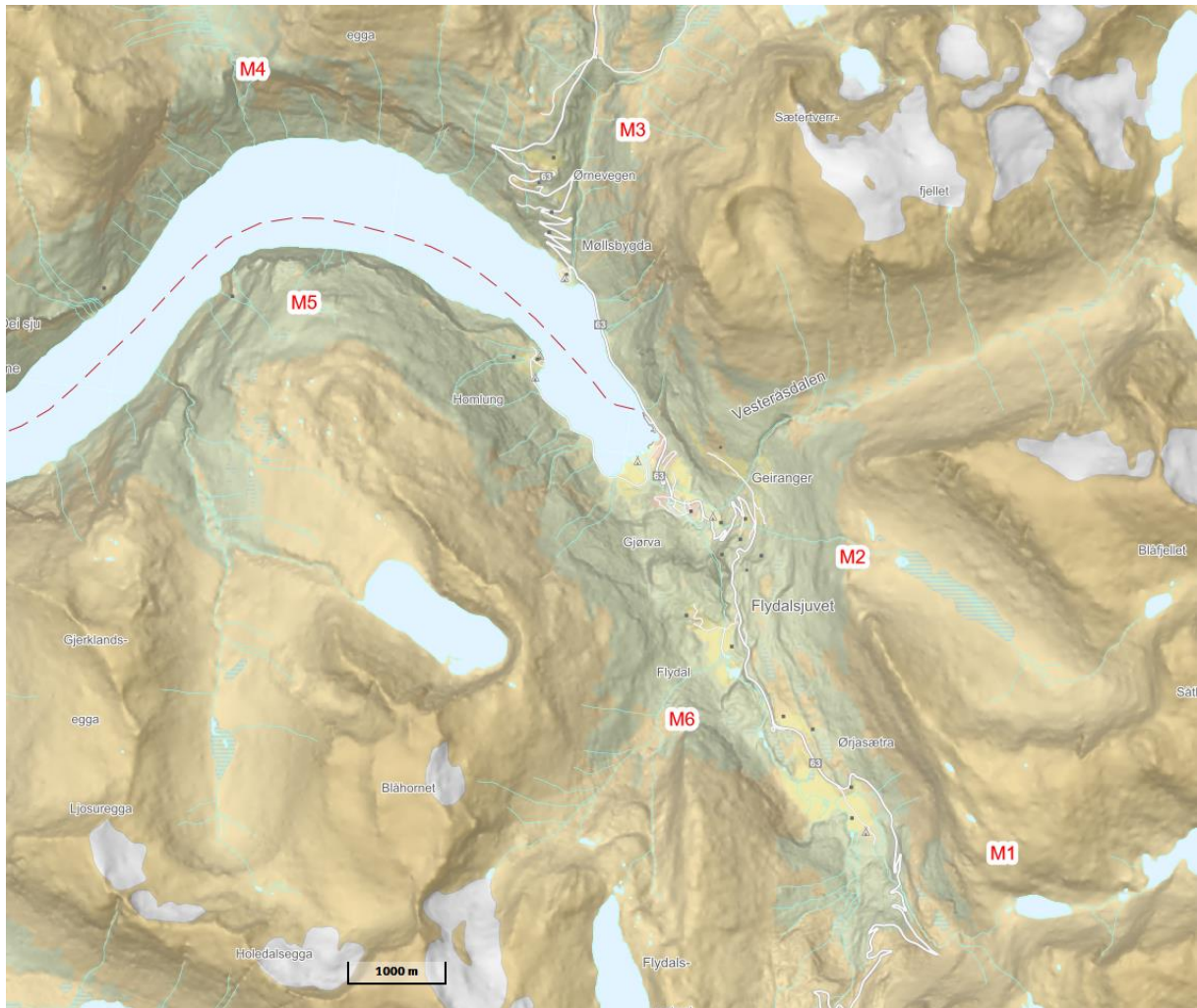
avsett av innlandsisen som låg i hovuddalføret i Geiranger ein gong før yngre dryas, og som har gått litt inn i Grinddalen. Ryggen har ei nesten vinkelrett grein i retning ut dalen, og denne vert tolka til å vera ei innfylling av ein smeltevasskanal. Begge desse moreneryggane er grundigare beskrivne i delkapittel 4.2.2. Dei to moreneryggane som ligg lengst inne kan korrelerast til kvarandre (figur 49) og er mest truleg avsett av botnbreen som låg i Grinddalskupa når denne truleg gjekk ut av botnen og ned i dalen i yngre dryas. Den eine går på tvers av dalen sørvest for Stillelva om lag midt inne i dalføret, og er orientert N/NØ-S/SV med ei lengd på om lag 350 m. Den andre ligg litt lenger oppe i dalsida mot sørvest der den første halvdelen (om lag 150 m.) er orientert N-S. Den svingar så 90 grader, og den siste halvdelen (om lag 150 m.) er orientert V-Ø. Høgda på desse ryggane er om lag tre til fem meter.



Figur 16 Kvartærgeologisk kart over Grinddalen. Kartutsnittet dekker området frå N 6909907 Ø 94715 i nordvest til N 6906505 Ø 98968 i søraust (EU89, UTM-sone 33).

4.2 Laterale moreneryggar

I feltområdet ligg seks laterale moreneryggar som er kalla M1-M6 (figur 17). Den eine av desse, M3, er aldersbestemt til $12,3 \pm 0,5$ ka (n=2) med ^{10}Be -eksponeringsdatering (tabell 2).



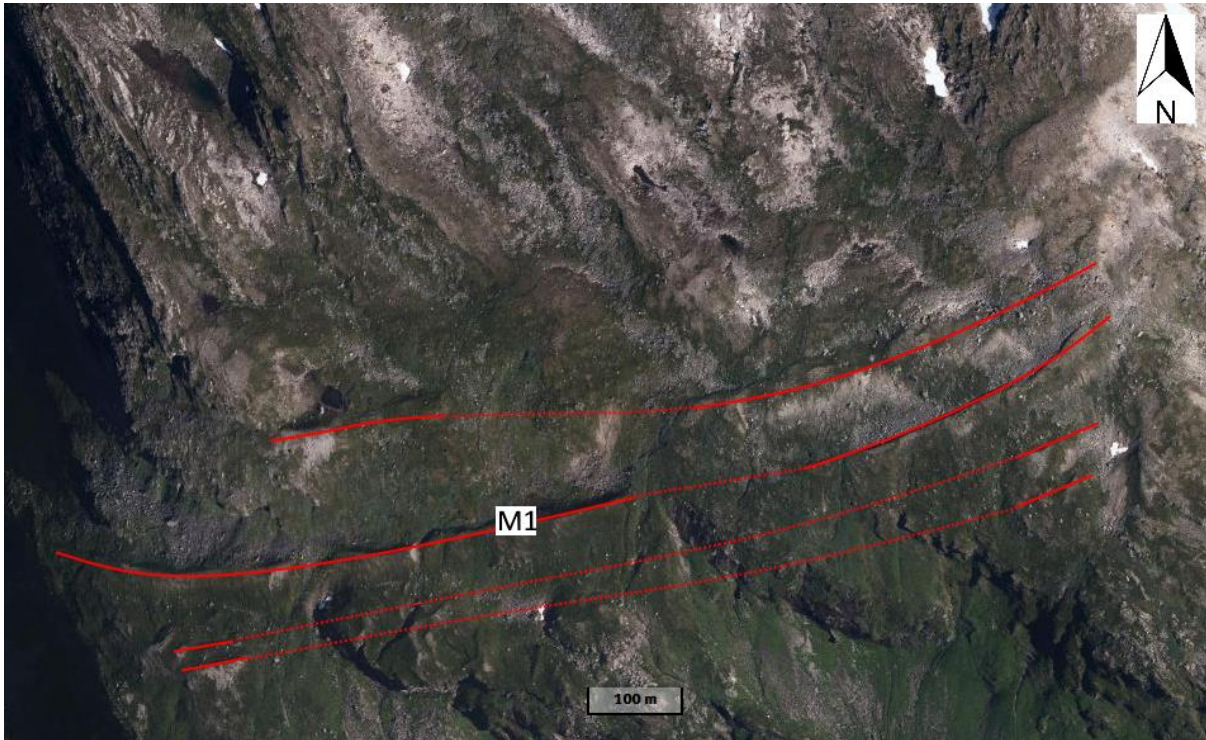
Figur 17 Lokalisering av dei seks laterale moreneryggane som er beskrivne. M5 og M6 ligg mot sørvest, medan M1, M2, M3 og M4 ligg mot nordaust i høve til dalføret. Modifisert frå norgeskart.no (2017).

4.2.1 Lateralmorene ved Heimstevatnet, M1



Figur 18 Den midtre delen av M1. Midt i bildet er det ein sittande person i raudt som målestokk. Morena er påverka av vatn på distalsida, og den er broten av ei elvedesksjering. Det ligg og mykje rasblokker på oppsida av morena.. Foto: Trond Horten.

M1 er lokalisert i dalsida nord for Heimstevatnet i Djupdalen. Høgda på ryggen varierer frå 3-10 meter. Den startar 1300 m o.h. lengst inne i dalføret og endar på 1000 m o.h. der den møter hovuddalføret. Total lengd 1,15 km. Det er den lengste av moreneryggane i feltområdet, og den av dei laterale yngre dryas morenene som ligg høgst over havet. Innlandsisen i yngre dryas strøymde inn i dalføret som går mot Geiranger gjennom to dalar, Breiddalen over passpunktet nordvest for Djupvatnet og Djupdalen der M1 dannar grensa for lateral utbreiing mot nord. Den distale sida av M1 er mange stader prega av påverknad frå vatn, og det er akkumulert mykje rasblokker der (figur 18). Fleire stader er det elvedesksjeringar som bryt moreneryggen. På flyfoto av M1 og gjennom feltobservasjonar er det observert to mindre moreneryggar lågare i terrenget enn M1, som må representere eit opphald i tilbakesmeltinga eller eit mindre framrykk litt etter yngre dryas-isen sitt maksimum. Om lag 100 m høgare i terrenget enn M1 ligg det ein ganske forvittra morenerygg, som må vera eldre enn yngre dryas. Denne har minst like store dimensjonar som M1 (figur 19).



Figur 19 Flyfoto av området der M1 ligg. Nedanfor M1 ligg det to mindre morener danna etter maksimum under yngre dryas, enten av stillstand eller mindre framrykk. Om lag 100 m over M1 er det ein tydelig morenerygg som er kraftig degradert. Dimensjonen til denne er minst like stor som M1, og den er tolka til å vera eldre enn yngre dryas. Morenene er markert med heil raud linje der det er tydelige spor etter dei og er korrelert med stipla linje der dei ikkje er synlege. Modifisert frå norgeskart.no (2017).

4.2.2 Lateralmorene i Grinddalen, M2

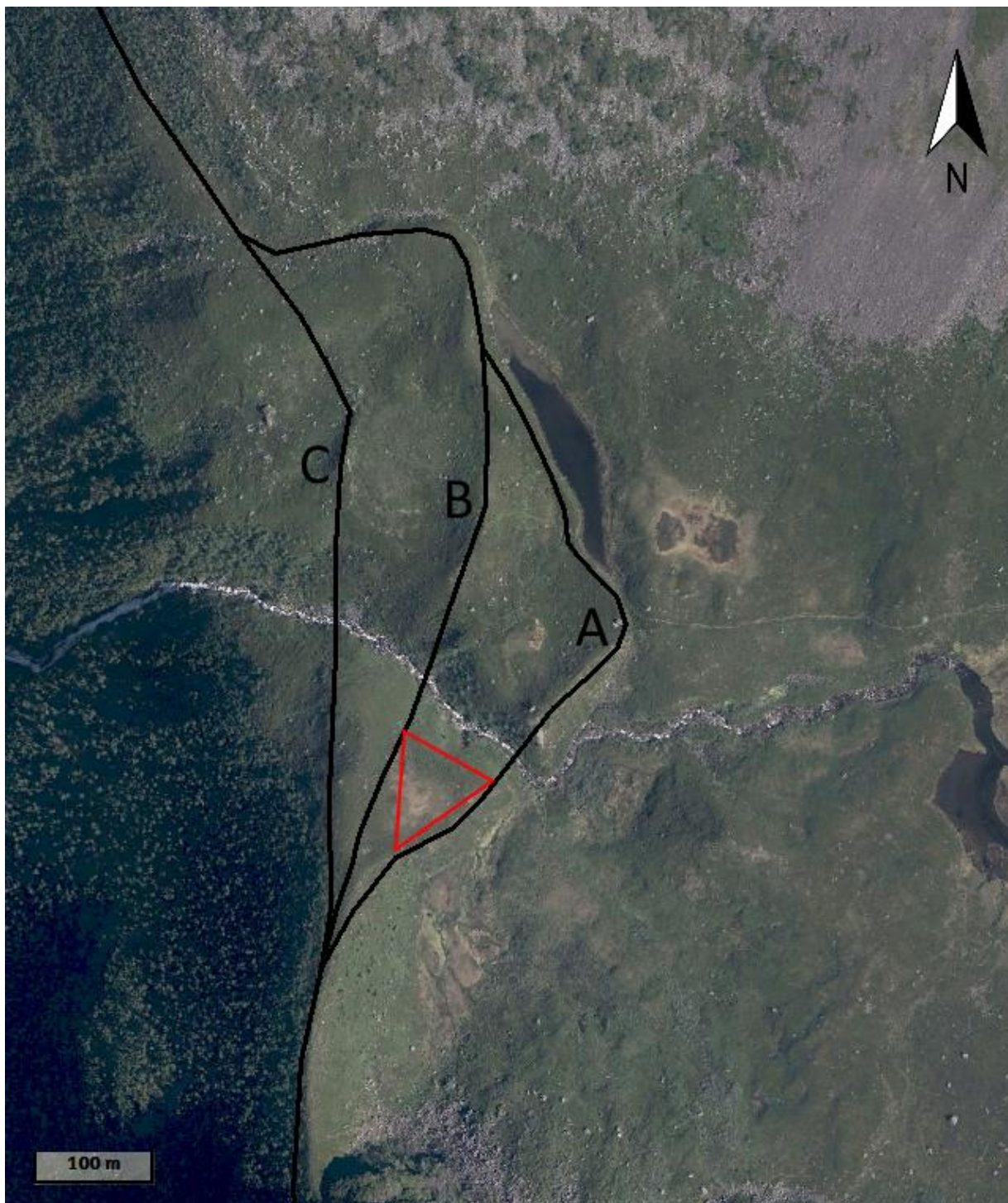


Figur 20 Bilde av M2 som syner dei store dimensjonane. Teke frå stien opp mot Grinddalen. I bakgrunnen ser ein Vinsåshornet. Foto: Trond Horten.

M2 ligg ytst i Grinddalen der denne møter hovuddalføret (figur 20). I sør mot Vinsåshornet startar den på 880 m o.h. og 260 m lenger mot nord ligg den på 845 m o.h. Ved dette punktet ligg det ein horisontal triangulær flate, og nord for denne vert M1 broten av ei elvenedskjering. Den deler seg vidare i tre ryggar på nordsida av elvenedskjeringa (figur 21) og hellinga flatar ut. Total lengde for heile morena er 810 m. Nord for morena er det tydelege spor etter ein smeltevasskanal. Truleg har M2 demt opp ein liten innsjø ytst i Grinddalen, og vatn frå denne har då drenert via denne smeltevasskanalen. Høgda over havet der smeltevasskanalen ligg kan korrelerast med høgda på den triangulære flaten. Overflata til moreneryggane er ganske blokkrik, spesielt den nordre delen.

Dei tre ryggane må representere tre trinn av ismarginen til innlandsisen i yngre dryas. I figur 21 er desse trinna markerte med A, B og C. Først har isen gått litt inn i dalen og avsett morene A som er den som demmer opp dagens vatn. Ismarginen har så trekt seg litt tilbake før den har hatt ein stillstand der den har danna morene B. Til slutt har breranda trekt seg tilbake endå litt

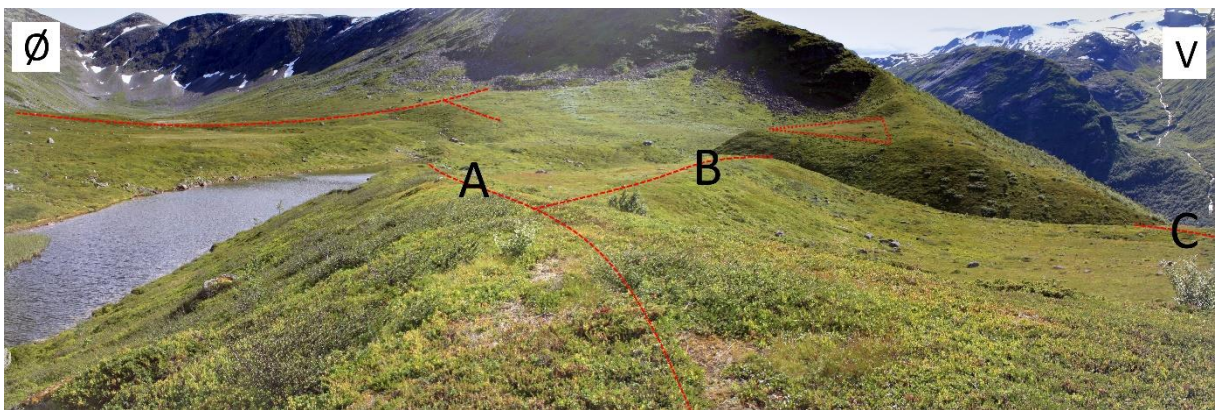
til før ein ny stillstand eller eit framrykk har danna morene C. Mellom A og B heilt i sør ligg den triangulære flaten (figur 23). Den einaste måten ein kan tenke seg at denne er danna på er at det er ein terrasse som er danna i vasspegelen til den oppdemde innsjøen innanfor, noko som stemmer med smeltevasskanalen med same høgd nord for moreneryggen. På bakgrunn av at den er plassert mellom morene A og B, og måten den ligg på, er det mogleg at den er danna av smeltevatt som har drenert på isen og som har rent inn i den vesle innsjøen innanfor ved dette punktet. Den kan og vera danna av erosjon og vere ein erosjonsterasse, eller det er ein kombinasjon av begge alternativa.



Figur 21 Dei tre moreneryggane i den midtre og nordlege delen av M2. Dei representerer tre fasar av ismarginen under innlandsisen sin maksimale utbreiing under yngre dryas. A er eldst og ligg lengst inn i Grinddalen. B er avsett etter A, og til slutt vart C danna. Mellom A og B ligg ein trekanta, horisontal terrasse markert med raudt. Bilde modifisert frå norgebilder.no (2017).

Bak den inste moreneryggen A er det i dag demt opp eit vatn, og om lag 400 m lenger inne i Grinddalen ligg ein morenerygg, 2-3 meter høg og 10-20 meter brei, som går på tvers av dalføret og er orientert S-N (figur 22). Denne morena kan ha vorte danna av at botnbreen som låg i

Grinddalskupa har rykka fram ut dalen, og at den er avsett som ei endemorene til denne. Eit anna, alternativ er at innlandsisen, på eit stadium før yngre dryas, hadde eit framrykk der den gjekk inn i dalen og avsette morena. Dette kan sjåast i samanheng med morena som ligg over M1, som og indikerer eit slikt scenario. Morena har og ein rygg som går vinkelrett frå morena i retning ut dalen. Dette er mest sannsynleg ein innfylling av ein smeltevasskanal i isen, sidan det er særst lite truleg at det er avsett ei randmorene her. Sidan terrenget hallar svakt nedover i retning ut dalen, kan dette vera ein slukås, ei landform som ikkje er vanleg på vestlandet. Isen som avsette moreneryggen må i så fall ha kome inn frå hovuddalføret.



Figur 22 Panoramabilde teke frå nordenden av M2 mot sør. Inne i dalen er ein morenerygg med orientering S-N som er markert med stipla linje. Vinkelrett ut frå denne går ein rygg i retning ut dalen, som truleg er ein innfylling av ein smeltevasskanal. Midt i bilete kan ein sjå dei tre moreneryggane, A, B og C, som representerer tre ulike stadium under innlandsisen sin maksimale utbreiing under yngre dryas. Dei vises og i figur 21. Sør for elvedeskjeringa ligg ein triangulær flate tolka til å vera ein terrasse avsett innanfor ismarginen av vatn som har rent inn på isen lenger oppe, truleg ved Djupdalen, og så rent av isen igjen her og bygd ut terrassen i tidsrommet mellom danninga av A og B. Foto: Trond Horten.



Figur 23 Biletet er teke frå aust mot vest og syner M2 sør for elvededskjeringa. Mot elvededskjeringa i nord ser ein tydeleg at det er ein knekk på moreneryggen og at det ligg ein terrasse mellom knekkpunktet og elvededskjeringa. Foto: Trond Horten.

4.2.3 Lateralmorene ved Møllsætrane, M3



Figur 24 Oversiktsbilde av M3. I venstre biletkant kan ein sjå ein liten terrasse der vegetasjonen skil seg frå terrenget rundt. Midt i bildet ligg M3 tydeleg broten av ei elvededskjering. Til høgre for M3 er det ein mindre morenerygg. Foto: Trond Horten.

M3 ligg ved Møllsætrane der Gråsteindalen munnar ut i hovuddalføret, og er orientert S-N (figur 24). I sør, ved Langerobben, ligg den 728 m o.h. Mot nord, der den møter dagens elv ligg den 645 m o.h. Total lengd er 780 m. Storleiken aukar gradvis frå sør, der den er om lag fem meter høg, i retning mot nord der den vert antekke å vera om lag 20 meter høg ved elvededskjeringa. Det er gjort ^{10}Be -eksponeringsdatering av prøvar samla inn frå to flater (GRÅ-1502 og GRÅ-1503) av Henriette Linge. Desse gir ein gjennomsnittsalder på $12,3 \pm 0,5$ ka (tabell XX). Den er avsett i yngre dryas. På oppsida av moreneryggen, som er distalsida, ligg det mykje stein og blokker, nokre av dei er rasmateriale frå fjellsida over, men ein del skuldast påverknad av vatn som har erodert vekk det finare materialet. Lengst mot sør, ved Langerobben, er det myr på distalsida.

Litt utanfor yngre dryas-marginen, inn mot Gråsteindalen, ligg det ein terrasse (figur 25) som ligg 645 m o.h. noko som svarer til den lågaste høgda på M3. Truleg har innlandsisen demt opp vatn der vi så har fått danna terrassen. Det er og sannsynleg at alt smeltevatn i området på dette

tidspunktet ville ha drenert nordover over passpunktet ved Korsmyra om lag 638 m o.h. og mot Eidsdal. Vest for terrassen ligg det ei morene som går på tvers av dalen (figur 25). Denne er utydeleg og kraftig erodert, men mot nord, like ved vegen som går inn i Gråsteindalen, er det teke ut massar frå morena og i eit snitt der kan ein sjå at massane består av usorterte kanta til kantrunda materiale med storleik frå silt til blokk. Den ligg om lag 140 meter inn i dalen i høve til M3. Det er to moglege forklaringar til danninga av denne morena, enten er den endemorene avsett av ein bre som har kome ned Gråsteindalen, eller så er den ei sidemorene avsett langs brearmen som gjekk ut dagens Geirangerfjord. Den morfologiske forma kan tyde på det siste, og den kan i så fall kanskje korrelerast med morena som ligg høgare enn M1 i terrenget, og morena i Grinddalen som ligg innanfor M2. Det vil i så fall bety at den har ein alder som er eldre enn yngre dryas. Tilsvarande observasjonar er gjort både ved M1 og M2.



Figur 25 Flyfoto der moreneryggen innanfor M3 er markert med B. A er ein terrasse som kan korrelerast med passpunktet der vatnet drenerte mot Eidsdal, og den må vera danna i vasspegelen av ein innsjø oppdemt av innlandsisen under yngre dryas maksimum. I venstre biletkant kan ein og så vidt sjå den mindre moreneryggen, markert med raud stipla linje, som ligg nedanfor M3. Modifisert frå norgeskart.no (Kartverket, 2017).

Litt lågare i terrenget enn M3 ligg det ein mindre rygg som har ein litt slakare gradient (figur 26) markert med raud stipla linje. Den må vera avsett i yngre dryas litt etter M3, og representerer enten stillstand eller eit lite framrykk av ismarginen etter at den hadde si maksimale utbreiing i yngre dryas.



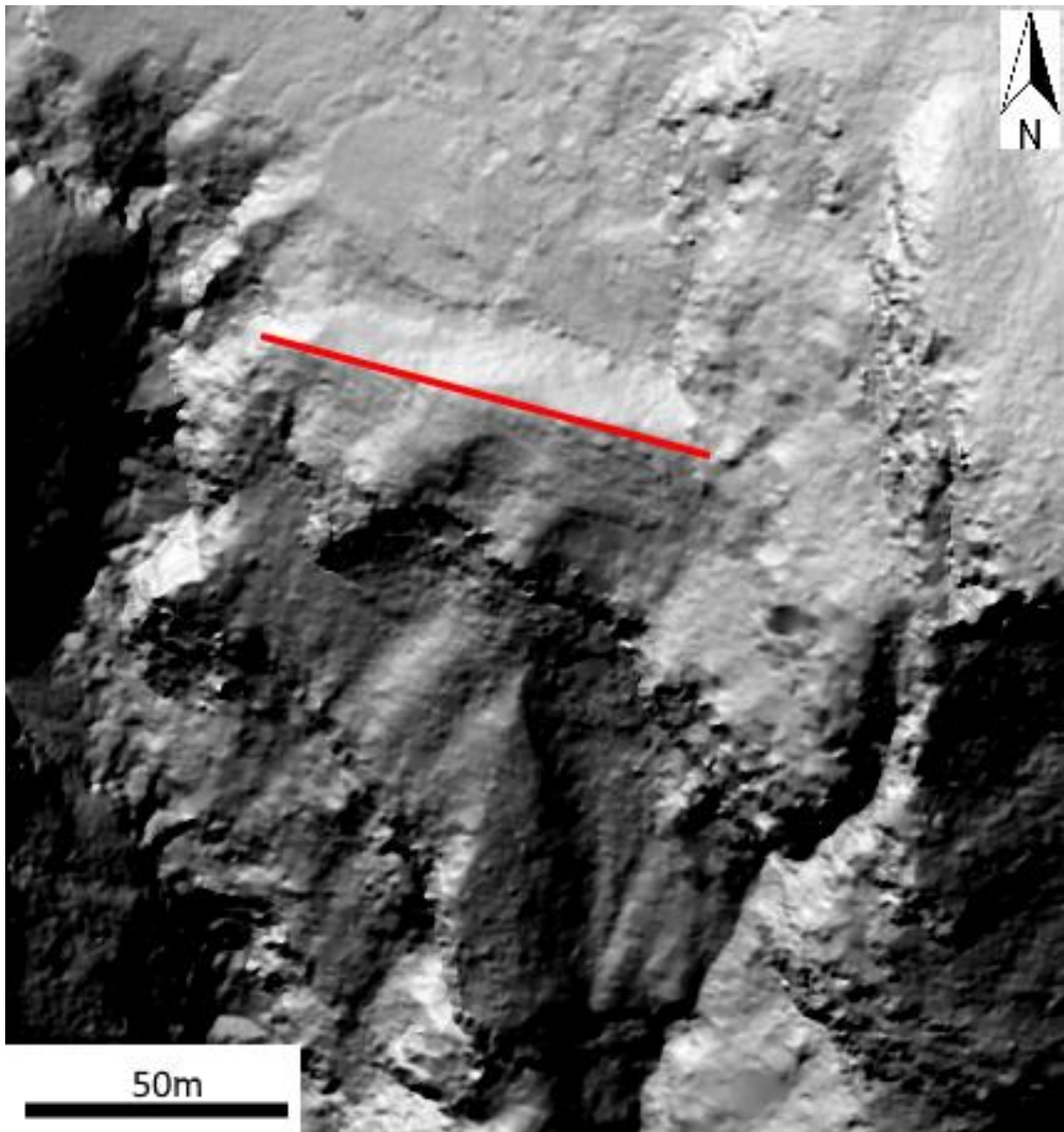
Figur 26 Bilete av M3 teke frå motsett side av dalføret. Den mindre moreneryggen på proksimalsida av M3 er markert med stipla linje. Foto: Trond Horten.

4.2.4 Lateralmorene i Gomsdalen, M4



Figur 27 Flyfoto av ytre del av Gomsdalen. M4 er markert med raud linje. I følge lokale kjelder rasa det for ikkje så lenge sidan ut ein del av moreneryggen. Tydelege ruiner etter busetnad nord for moreneryggen. Modifisert frå Kartverket (2017).

Ytst i Gomsdalen, der denne møter hovuddalføret, ligg M4. Den ligg på 626-603 m o.h. og er høgast mot vest. Lengda til moreneryggen er 70 m. Denne lokaliteten vart ikkje besøkt under feltarbeidet, men den er tydeleg på flyfoto (figur 27), satelittbilete og er dekkja av DTM (DTM – digital terreng modell) (figur 28).



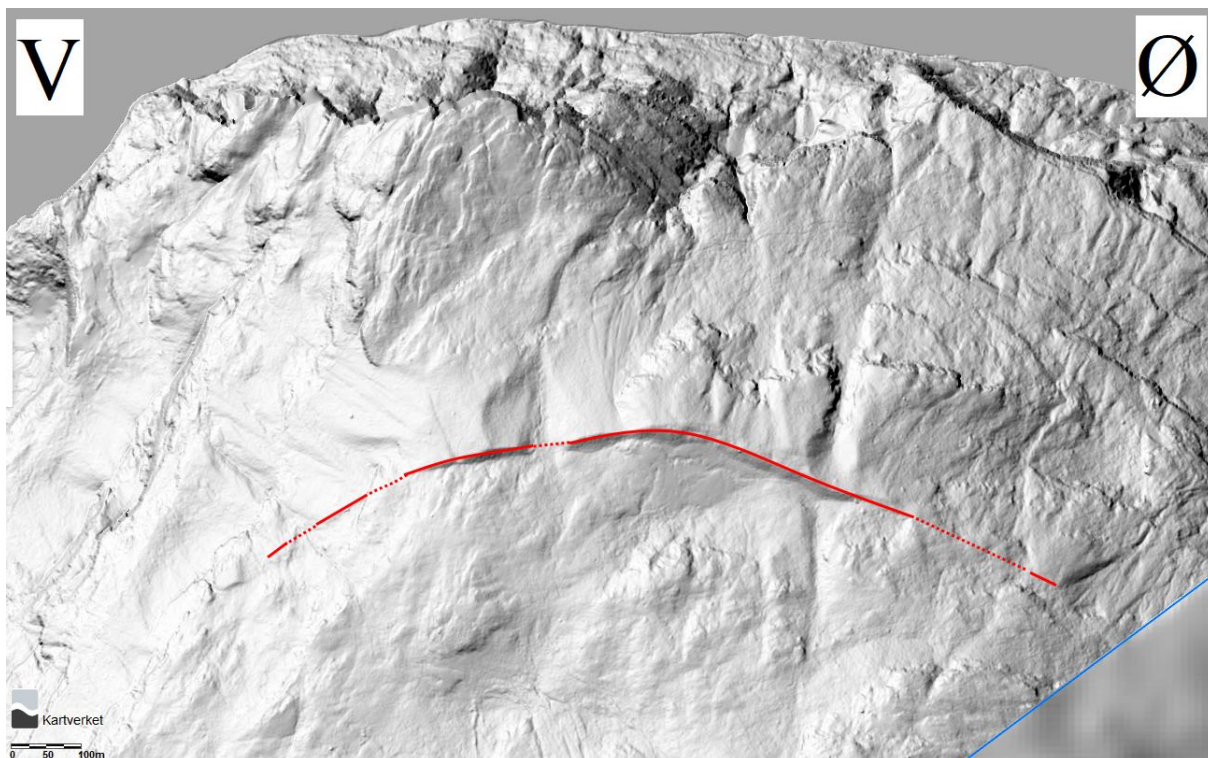
Figur 28 DTM av M4. Moreneryggen er markert med raud strek og er om lag 70 meter lang. På nedsida av moreneryggen er det tydelege arr etter massar som har rasa ut frå moreneryggen. Modifisert frå hoydedata.no (2018).

4.2.5 Lateralmorene over Homlongsætra, M5



Figur 29 Bilete teke mot vest om lag midt på moreneryggen. Eit dyretrakk går midt på ryggen, elles er det tett vegetasjon over alt. Foto: Trond Horten.

M5 ligg i fjellsida over Homlongsætra på sørsida av Geirangerfjorden. Ryggen er 800 meter lang. I aust startar den på 726 m o.h. og den endar på 667 m o.h. i vest. Det ligg spreidde blokker langs heile ryggen. Den er stort sett dekkja av tett vegetasjon, med unntak av toppen der det går eit dyretrakk (figur 29). Det eksisterer høgoppløyselig DTM av området (figur 30), Moreneryggen er broten av to tydelege elvenedskjeringar, ein heilt i vest og ein om lag midt på moreneryggen. Delen som er markert med stipla og heil linje på figur 30, heilt i aust, vart ikkje besøkt i felt då området var alt for risikabelt å ferdast i, men er tolka ut frå DTM.



Figur 30 Høgoppløysteleg DTM over området der M5 ligg. M5 er tydeleg midt i biletet og er markert med heil raud linje der den er samanhengande og stipla linje der det er elvedeskjeringar og der den er utydeleg. Modifisert frå hoydedata.no (2018).

4.2.6 Lateralmorene ved Flydalssætra, M6



Figur 31 Bilete teke frå den austlege enden av M6. Vest for M6 ligg det ein ganske høg rygg vinkelrett i høve til M6, markert med raud stipla linje, som er tolka til å vera ein innfylling av ein subglasial smeltevasskanal der vatn drenerte inn under innlandsisen. Nedanfor M6 er området mot Flydalssætra der det ligg fleire mindre ryggar. Foto: Trond Horten.

M6 ligg i Flydalen, nord for Flydalshornet, på sørvest sida av hovuddalføret (figur 31). Total lengde er 200 meter, og den ligg høgast mot aust der den startar på 600 m o.h. like under Flydalshornet. Den endar mot vest på 560 m o.h. Dimensjonane aukar frå aust, der den er om lag to meter høg, mot vest, der den er om lag 15 meter høg. Rett vest for der M6 endar, om lag midt i dalbotn, ligg ein høg rygg nesten vinkelrett på morena. Måten den ligg på både i terrenget og i høve til M6 gjer at det er vanskeleg å førestille seg at det er ei lateralmorene. Ei meir logisk forklaring er at den er eit resultat av innfylling av massar i ein stor subglasial smeltevasskanal. Det er og fleire mindre morener som ligg litt lenger ned i terrenget, under M6 (figur 32). Desse stammar frå ein seinare fase i deglasiasjonen, og deler av dei er påverka av smeltevatn.



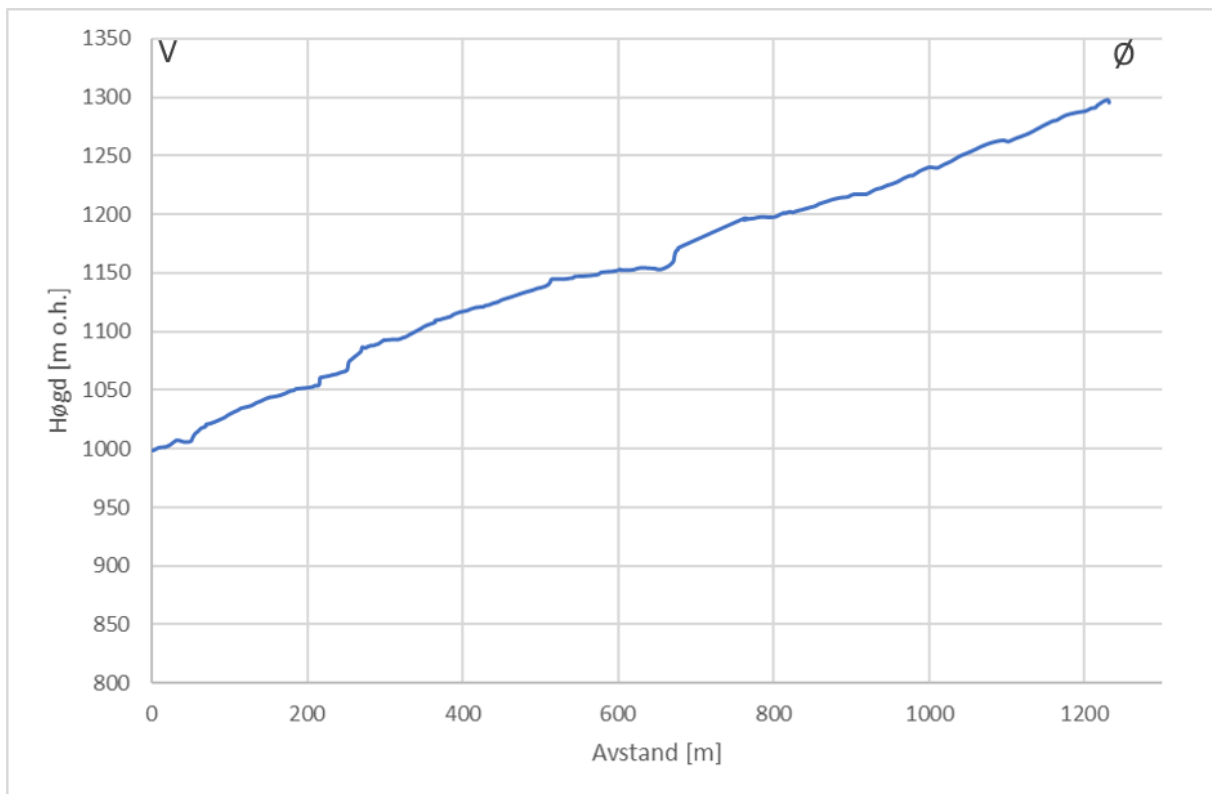
Figur 32 Flyfoto av M6, markert med raud linje. Området nord for M6, mot Flydalssætra, er prega av mange mindre ryggformer, her markerte med raude stipla linjer. Nokre av desse er truleg danna sekundært av smeltevatn, medan andre er primære avsetningar frå innlandsisen under stillstand eller små framrykk under deglasiasjonen. Markert med svart stipla linje er ryggen som truleg er ei innfylling av ein smeltevasskanal. Modifisert frå norgebilder.no (2007)

M6 ligg mykje lågare i terrenget enn dei andre laterale morenene, og om den har same alder som dei fem andre, må brearmen som gjekk ned hovuddalføret i Geiranger ha hatt ein svært spesiell overflategeometri. Ei mogleg forklaring er at den er danna i ein seinare fase av deglasiasjonen. Til dømes er det mogleg å sjå for seg eit scenario der isen kalvar hurtig tilbake i fjorden, og når den har trekt seg attende til enden av fjordarmen får vi ein stillstand, kanskje og eit mindre framrykk når isen tilpassar seg det nye profilet. I følgje Rye et al. (1997) var dette og tilfelle i Nordfjord under isavsmeltinga etter yngre dryas. Det faktum at det ikkje eksisterer fleire laterale moreneryggar med ei høgd over havet som kan korrelerast til M6 andre stader i Geiranger, skuldast truleg at fjellsidene er for bratte til at dei kunne bevarast.

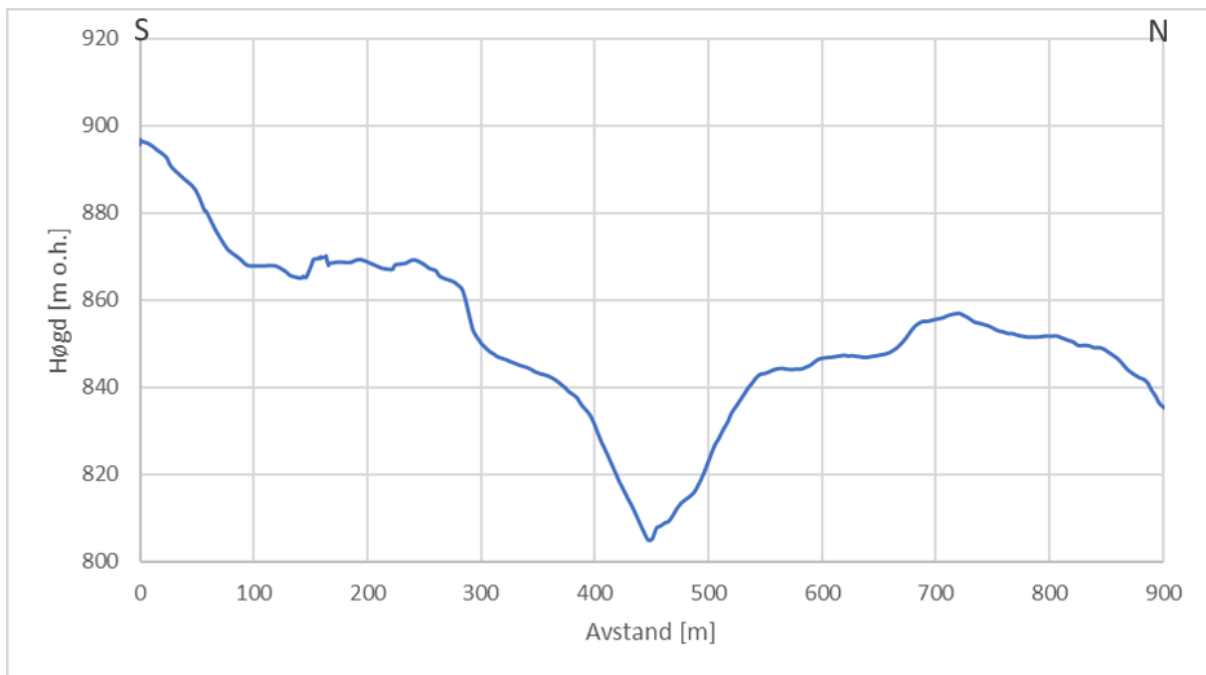
4.3 Profilar

4.3.1 Profilar av lateralmorener

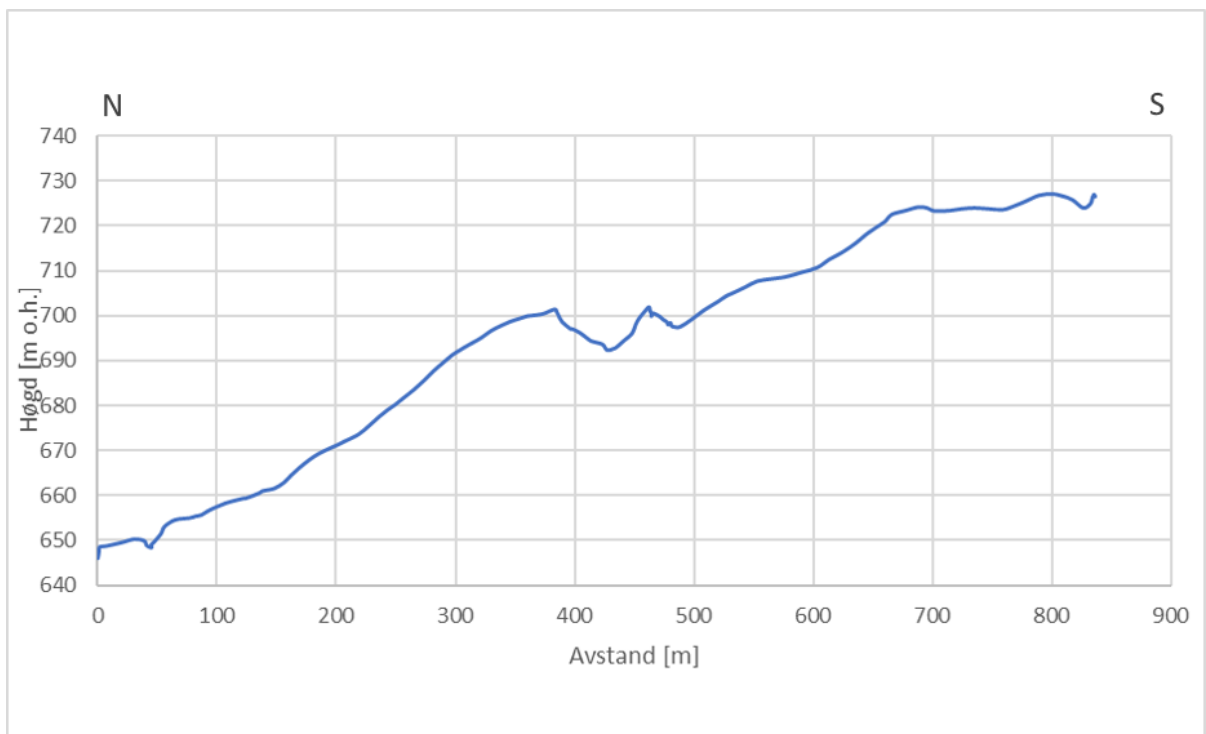
Det er nytta to ulike metodar for å lage lengdeprofilar (figur 33-38) av dei laterale morenene i feltområdet. I dei områda som er dekkja av DTM med høg oppløysing er det nytta profilar laga frå kart på hoydedata.no. For morenene som ligg utanfor slik dekning er det nytta GPS-spor som er gått opp i felt. Profilarne frå GPS-spora er ikkje like presise som profilarne laga frå dei digitale terrengmodellane. Dette skuldast truleg at dei ikkje er nøyaktige nok fordi det vart stopp undervegs der det vart gjort ulike målingar. Dei startar og endar på riktig høgd, og dei gir derfor riktige verdiar for den utrekna stigninga til moreneryggane.



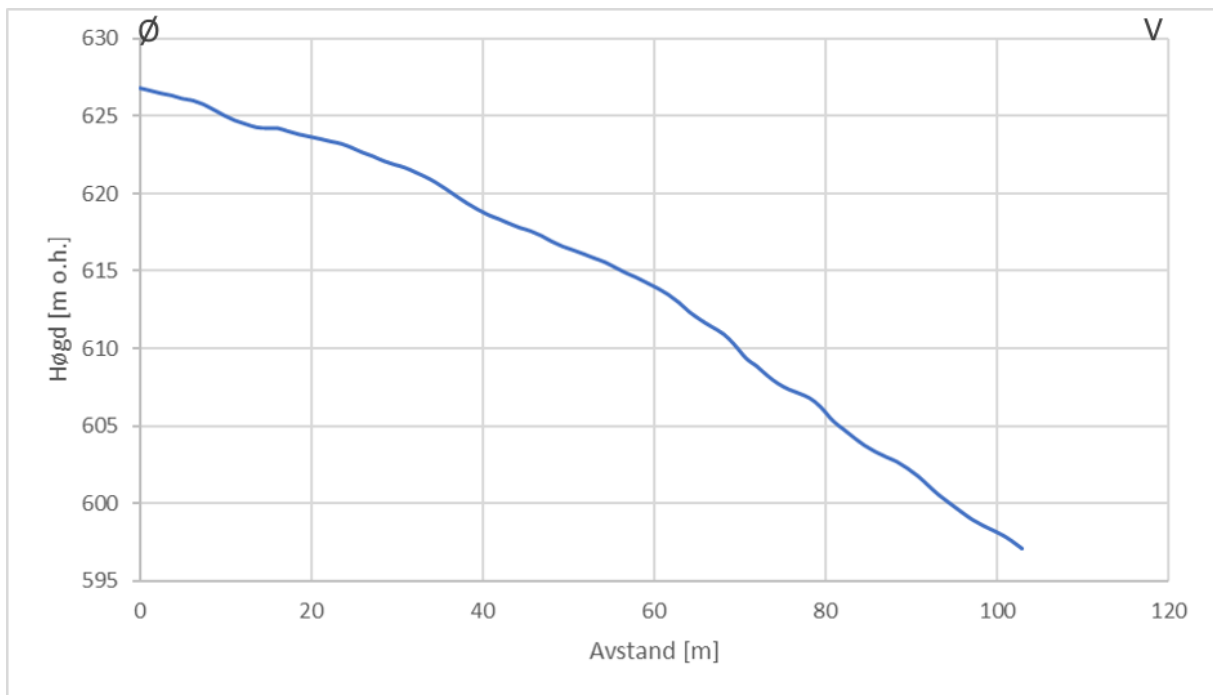
Figur 33 Lengdeprofil av M1 i dalsida nord for Heimstevatnet. Profilet er konstruert etter GPS-spor. Gradienten er 15 grader (tabell 1).



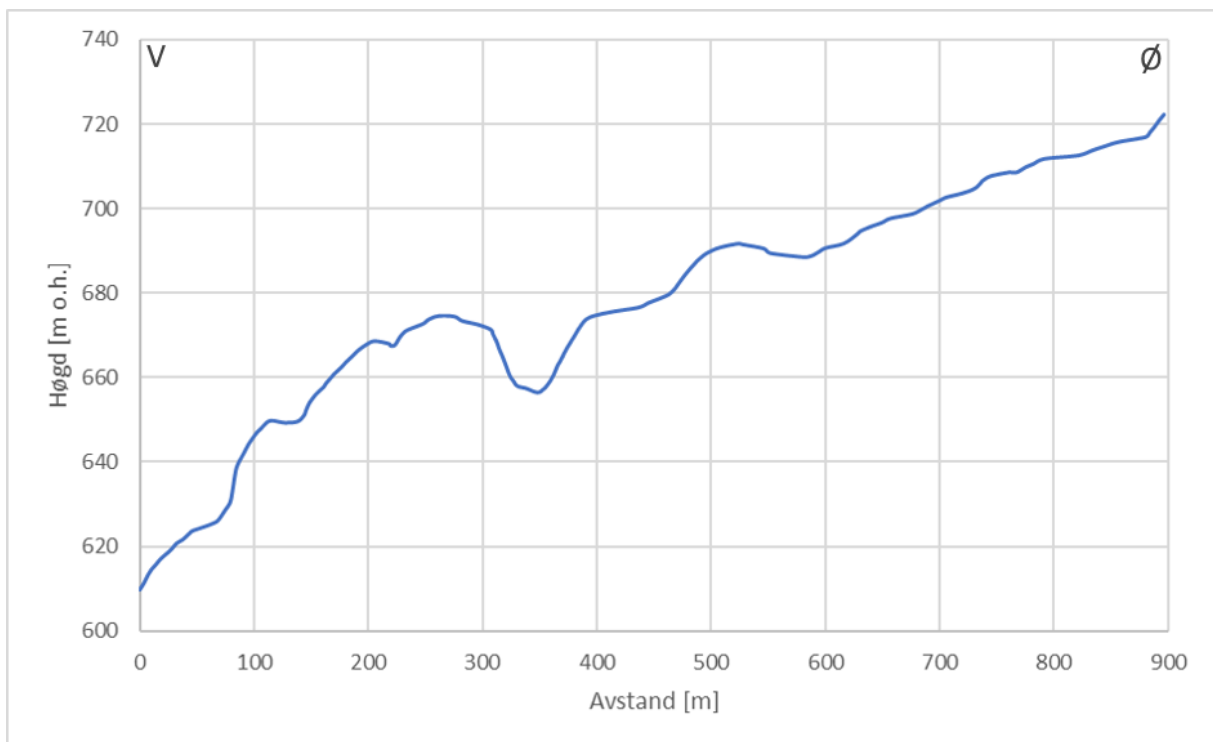
Figur 34 Lengdeprofil av M2 som ligg ytst i Grinddalen. Profilet er konstruert etter GPS-spor. Den har ein gradient på 3 grader (tabell 1).



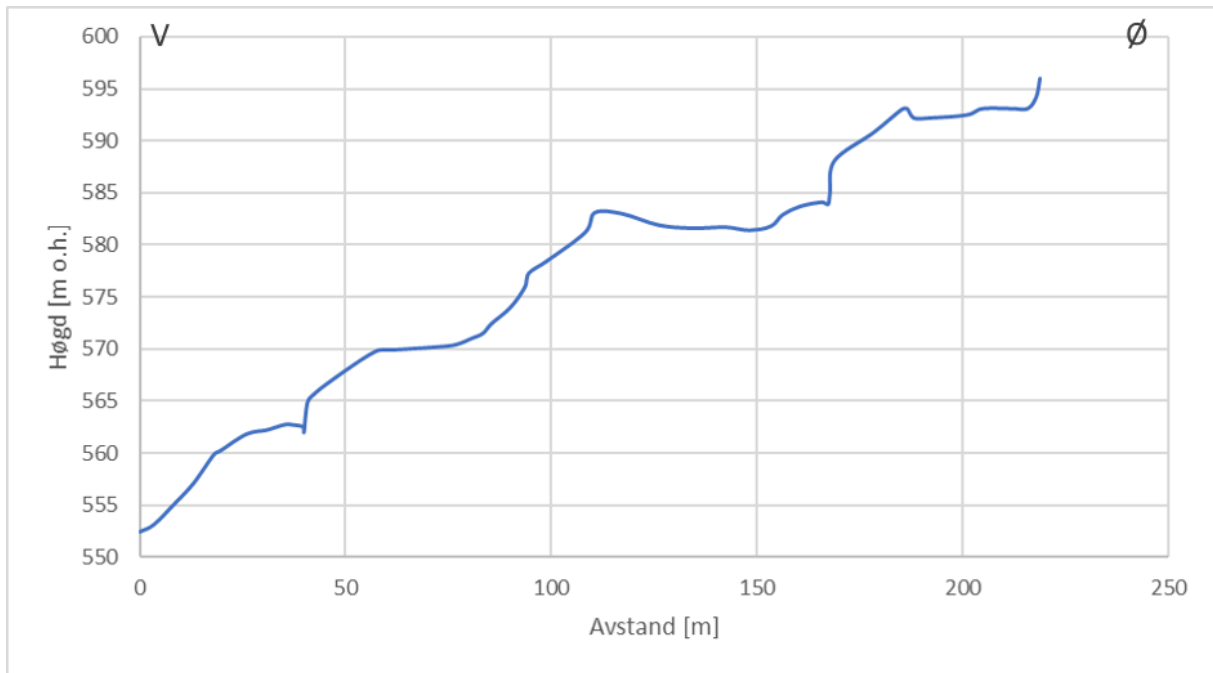
Figur 35 Lengdeprofil av M3 ved Møllsetrane. Profilet er konstruert etter GPS-spor. Gradienten er 6 grader (tabell 1).



Figur 36 Lengdeprofil av M4 i Gomsdalen. Profilet er konstruert med data frå hoydedata.no (2018). Gradienten til ryggen er 10 grader (tabell 1).



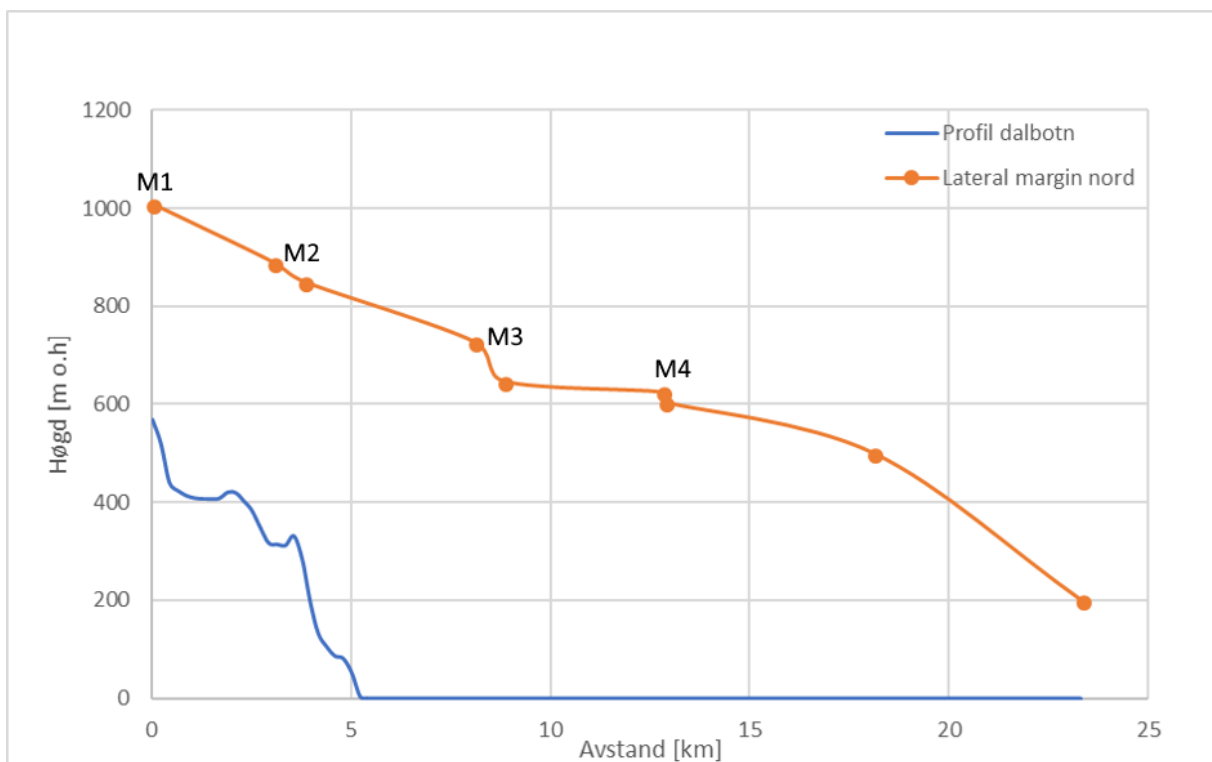
Figur 37 Lengdeprofil av M5 som er lokalisert over Homlongsetra. Profilet er konstruert med data frå hoydedata.no (2018). Den hellar frå aust mot vest med ein gradient på 4 grader (tabell 1).



Figur 38 Lengdeprofil av M6 som ligg over Flydalssætra. Profilet er konstruert etter GPS-spor. Ryggen har ein gradient på 11 grader (tabell 1).

4.3.2 Profil Innlandsis

Totalprofilen (figur 39) er sett saman av høgda over havet på dei laterale morenene M1, M2, M3 og M4 som ligg på nordsida av dalføret. Startpunktet er der M1 møter hovuddalføret. Det er sett inn to punkt etter M4 med antatt høgde basert på profil av eksisterande brear, mellom anna Rink-breen (Abdalati et al., 2001) og Umiamakko-breen (McFadden et al., 2011) på vest-Grønland. For profilen av dalbotn er det nytta data frå DTM på hoydedata.no, og det er ikkje teke med batymetriske data i fjorden noko som medfører at dalbotnen står fram som flat der fjorden ligg.



Figur 39 Lengdeprofil for heile brearmen som strekk seg ut til der Geirangerfjorden møter Sunnylvsfjorden. Den startar der M1 møter hovuddalføret i Geiranger 1008 m o.h. M1, M2, M3 og M4 er nytta til å konstruere den første delen av profilet. Dei to siste punkta er estimerte verdiar basert på forventa breprofil. Det er sett på profilar frå mellom anna Rink-breen (Abdalati et al., 2001) og Umiamakko-breen (McFadden et al., 2011) på Vest-Grønland. Profil av dalbotn er konstruert av data frå hoydedata.no (2018). Batymetriske data er ikkje nytta, derfor er profilen tilsynelatande flat frå der fjorden startar.

Tabell 1 Den utrekna gradienten til dei seks laterale morenene.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Høgdeforskjell [m]	300	42	83	20	59	40
Lengd [m]	1150	810	780	110	800	200
Stigning %	26	5	11	18	7	20
Stigning grader	15	3	6	10	4	11

Stigninga til dei laterale moreneryggane ligg mellom 3 og 15 grader. Den brattaste er M1, som skil seg frå dei andre ved at den ligg i ein høgtliggjande sidedal i nord og går ned mot hovuddalføret (tabell 1).

4.4 Rekonstruksjon av innlandsisen

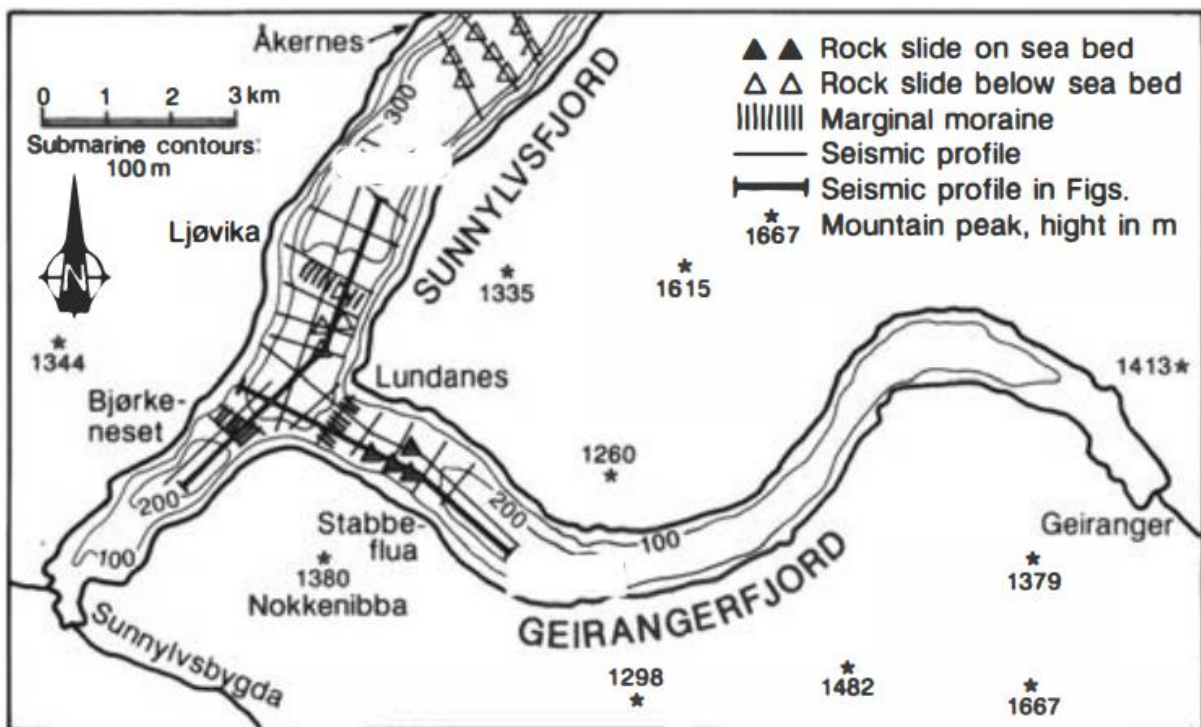
På bakgrunn av plasseringa av dei laterale morenene og ved å sjå lengdeprofil av brear på Vest-Grønland, mellom anna Rink-breen (Abdalati et al., 2001) og Umiamako-breen (McFadden et al., 2011) er det laga modellar i ArcGIS av korleis innlandsisen sin maksimale utbreiing var i yngre dryas i Geiranger ved $12,3 \pm 0,5$ ka. Isen strøymde inn i hovuddalføret i Geiranger frå to parallelle dalføre (figur 40). I det sørlegaste av desse strøymde isen frå Breiddalen over Djupvatnet og ned i hovuddalføret i Geiranger. Det nordlegaste dalføret er Djupdalen, der den laterale morena M1 ligg på nordsida av dalen. Dette dalføret fortset austover gjennom Hamsedal og går inn i Breiddalen ved Breiddalsvatnet.



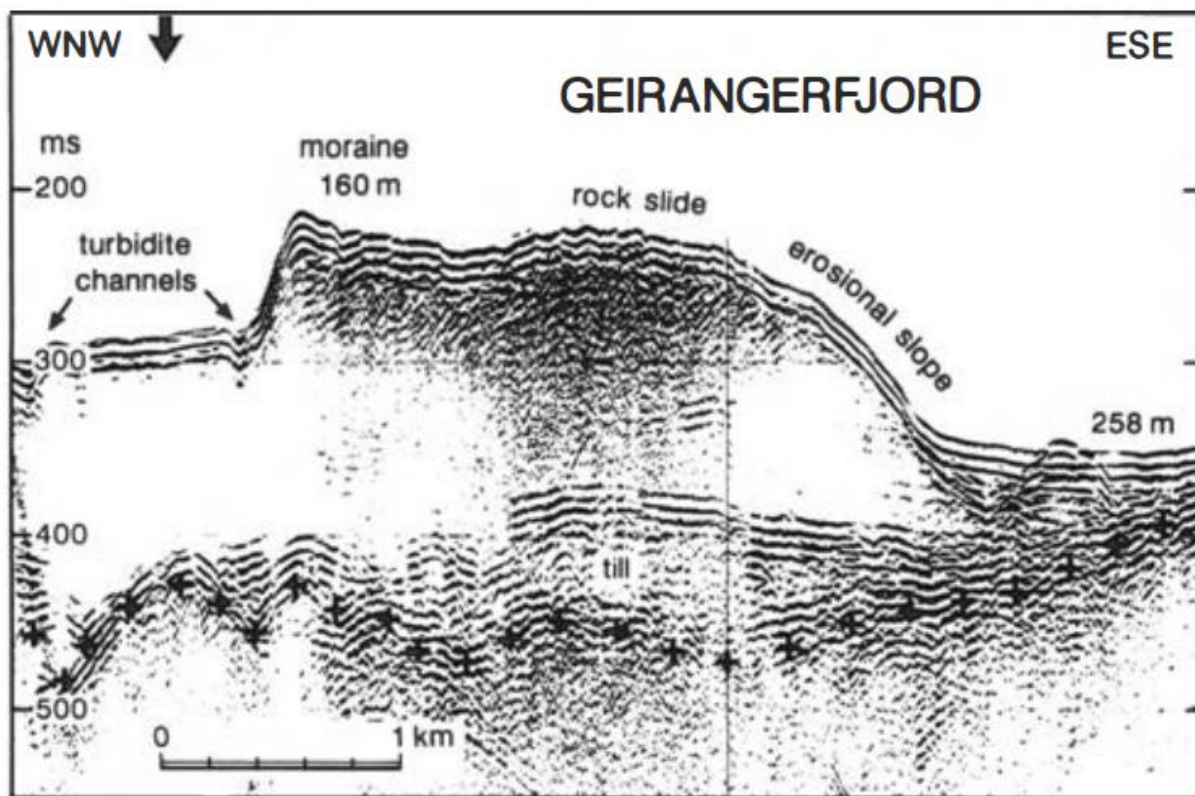
Figur 40 Modell av den maksimale utbreiinga av innlandsisen i yngre dryas i Geiranger. Isen strøymde inn i dalføret frå aust gjennom to parallelle dalføre, Breiddalen i sør og Djupdalen i nord. Desse er markert med blå piler i kartet. Modellert i ArcMap.

Ismarginen nådde under maksimum i yngre dryas heilt ut til der Geirangerfjorden møter Sunnlyvsfjorden. Aarseth et al. (1997) gjorde seismiske undersøkingar i Sunnlyvsfjorden og Geirangerfjorden der dei avdekket dei tolka til tre ulike morener på botnen av fjordane (figur 41). Den eine av desse er tolka til å vera endemorene avsett av ein brearm som gjekk ut i Sunnlyvsfjorden via Hellesylt, og ligg på tvers av Sunnlyvsfjorden ved Bjørkaneset. For dei to

andre moreneryggane konkluderer dei med at ismarginen i yngre dryas først gjekk ut til moreneryggen aust frå Ljøvika i Sunnlyvsfjorden, men at ismarginen var ustabil ved denne posisjonen og derfor trakk seg attende til ein posisjon aust for Stabbeflua der det vart avsett eit over 80 meter tjukt lag av glasimarine sediment framfor ismarginen. Ismarginen rykka så gradvis fram medan den frakta grovt materiale til fronten av brearmen slik at dei glasimarine avsetjingane prograderte samstundes med ismarginen ut til Lundaneset, der ei endemorene vart avsett over dei glasimarine sedimenta (figur 42).

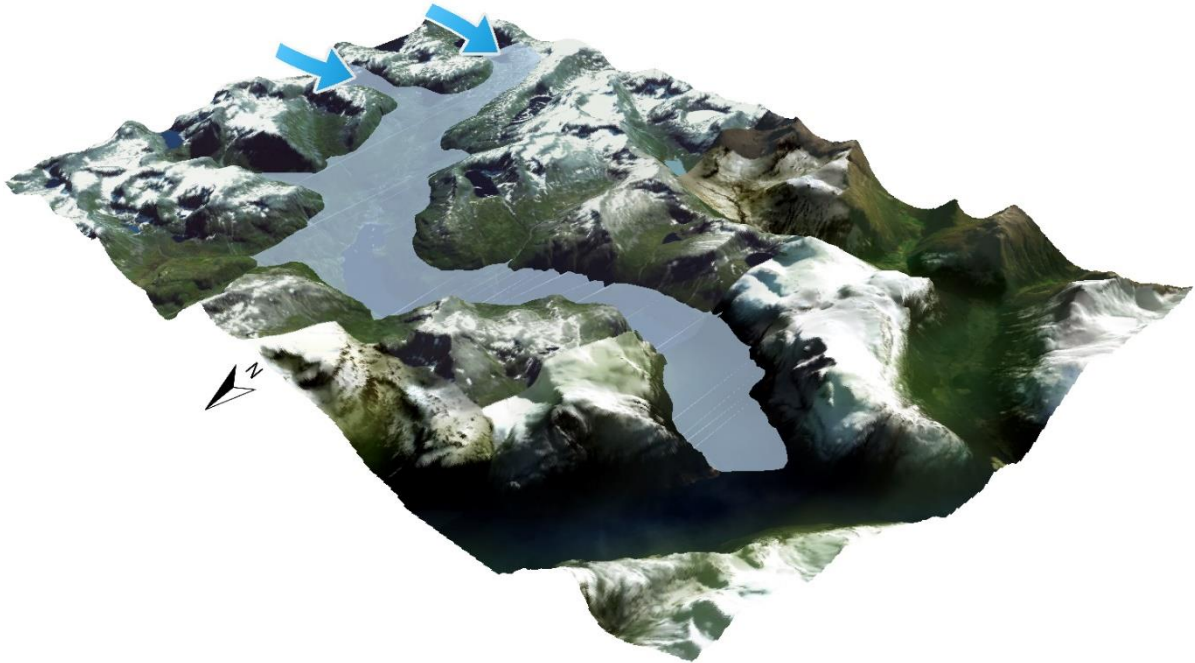


Figur 41 Seismiske linjer frå der det er henta inn seismiske data til konstruksjon av seismiske profil, og dei tre moreneryggane Aarseth et al.(1997) fann i sitt arbeid. Modifisert frå Aarseth et al. (1997).



Figur 42 Seismisk profil av den ytre delen av Geirangerfjorden der den møter Sunnylvsfjorden. Modifisert frå Aarseth et al. (1997).

Det er laga ein tredimensjonal modell av isen sin maksimale utbreiing i yngre dryas i ArcScene. Denne vart nytta til å laga animasjonar (figur 43). Det er og laga ein film som er lagt ved oppgåva (vedlegg 3).



Figur 43 Bilete av den tredimensjonale modellen av innlandsisen sin utbreiing i Geiranger under yngre dryas. Modellen er laga i ArcScene og er basert på dei laterale morenene som vart avsett i yngre dryas og profilar av eksisterande brear på Vest-Grønland (McFadden et al., 2011;Abdalati et al., 2001). Dei to blå pilene representerer dalføra der isen strøynde inn i hovuddalføret i Geiranger, Breiddalen og Djupdalen. Brefronten låg der Geirangerfjorden møter Sunnlyvsfjorden.

4.4 Datering

4.4.1 ^{10}Be -eksponeringsdatering

Det er gjort ^{10}Be -eksponeringsdatering av to blokkflater på M3 og to blokkflater utanfor området som var dekket av innlandsisen under yngre dryas (figur 44). Den eine (GRÅ 1506) på Hesjedalshaugen, som er lokaliteten der det er gjort målingar med schmidthammar og brukt som referanse for den eldste alderen av schmidthammarmålingane, og den andre på Grandehaugen (GRÅ 1504). Dateringa (tabell 2) gir ein gjennomsnittleg alder for GRÅ 1506 og GRÅ 1504 på $17,6 \pm 0,7$ ka, noko som betyr at dei vart tidleg isfrie. Resultata frå dateringa på M3 (GRÅ-1502 og GRÅ-1503) gir ein gjennomsnittleg alder på $12,3 \pm 0,5$ ka, som medfører at denne er avsett i yngre dryas.

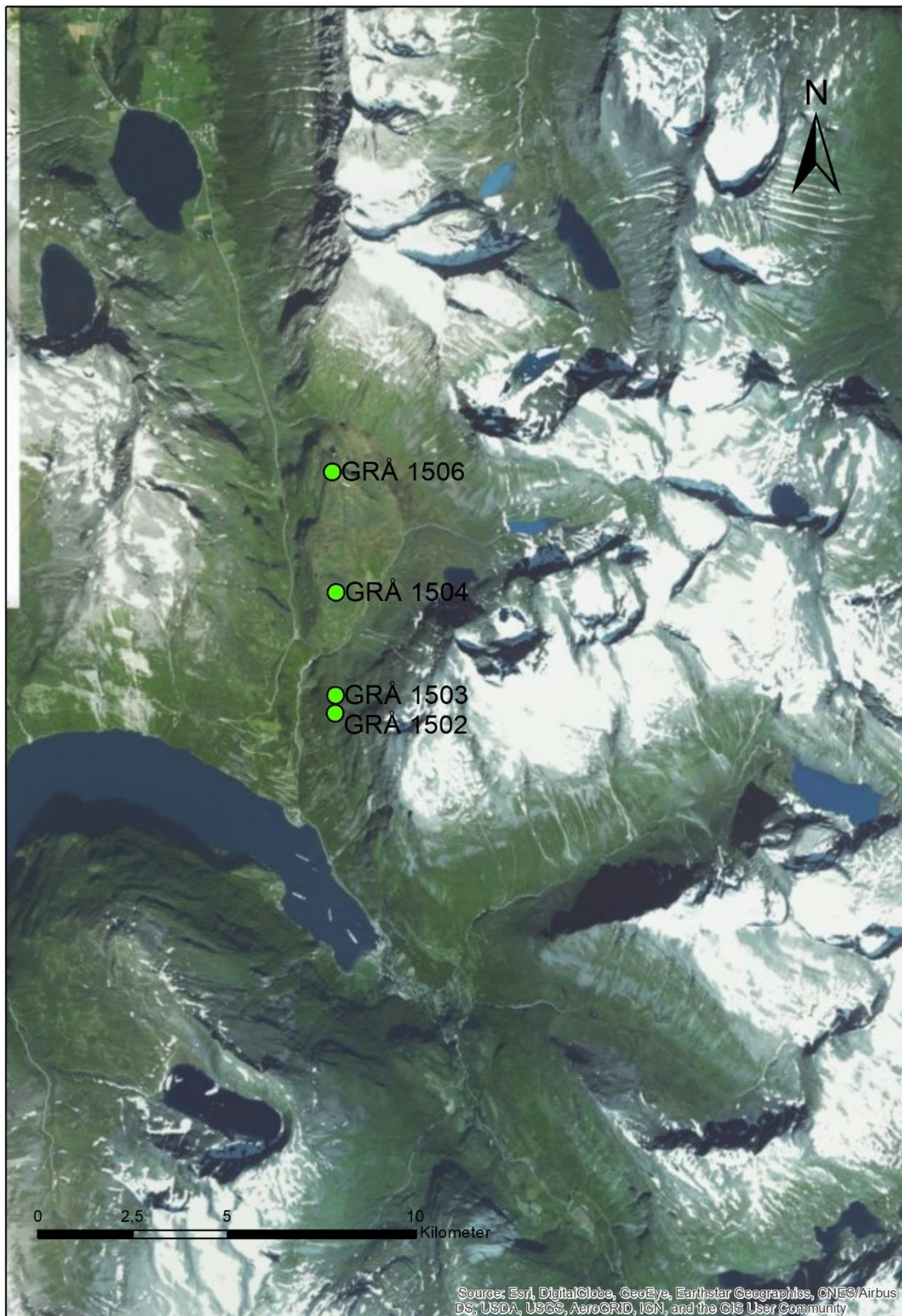
Tabell 2 Berekna ^{10}Be -eksponeringaldrar frå Gråsteindalsområdet, Geiranger. Konsentrasjonen er berekna etter korreksjon for antal ^{10}Be -atom i blankprøvar, utrekna ^{10}Be -alder (\pm (intern usikkerheit) ekstern usikkerheit) er berekna med stadsspesifikk ^{10}Be -produksjonsrate (korrigert for topografisk skjerming), medan korrigert ^{10}Be -alder i tillegg er korrigert for snøskjerming* (6%), forvitring** (0.8 mm ka^{-1}) og landheving*** (2.5 %). PR = produksjonsrate (pers. kom. Henriette Linge 06.05.2018)

Prøve	Lat (°N)	Long (°Ø)	Høgde (moh.)	^{10}Be -konsentrasjon ($\times 10^4$ at g^{-1})	Utrekna ^{10}Be -alder (ka)	Korrigert ^{10}Be -alder (ka)
Møllsetermorena (M3)						
GRÅ-1502	62.12784	7.19377	722	9.09 ± 0.58	$11.2 \pm (0.7) 1.0$	$12.1 \pm (0.8) 1.1$
GRÅ-1503	62.12925	7.19417	707	9.28 ± 0.71	$11.4 \pm (0.9) 1.1$	$12.4 \pm (1.0) 1.2$
Gjennomsnittsalder ± 1 SD:						12.3 ± 0.2
Gjennomsnittsalder ± 1 SD inkl. usikkerheit i ^{10}Be-PR:						12.3 ± 0.5
Haugane						
GRÅ-1504	62.14044	7.19356	869	15.26 ± 1.46	$15.9 \pm (1.5) 1.8$	$17.4 \pm (1.7) 2.0$
GRÅ-1506	62.15370	7.19428	1000	17.90 ± 0.98	$16.3 \pm (0.9) 1.3$	$17.9 \pm (1.0) 1.5$
Gjennomsnittsalder ± 1 SD:						17.6 ± 0.4
Gjennomsnittsalder ± 1 SD inkl. usikkerheit i ^{10}Be-PR:						17.6 ± 0.7

* Snøskjerming er berekna frå modellerte snødybder for 1958-2017 (SeNorge, 2018) og ein anteke tettheit på 0.2 g cm^{-3} .

** Forvittringsrate er basert på feltobservasjonar av oppstikkande kvartarsårer.

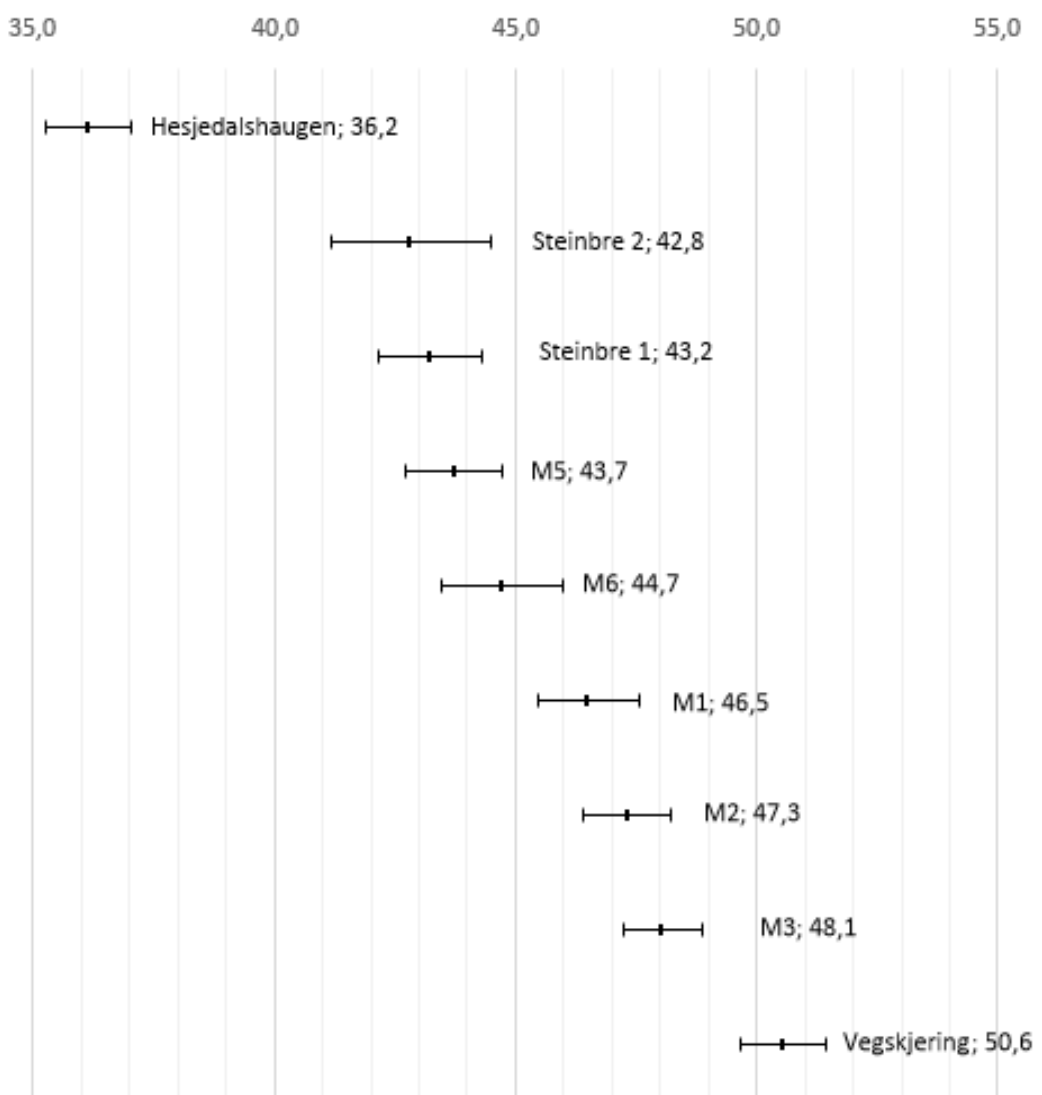
*** Korreksjon for landheving antek ei heving på 100 m etter yngre dryasstadialen (NGU, 2018b) der 2/3 av heving var fullført før 8 ka.



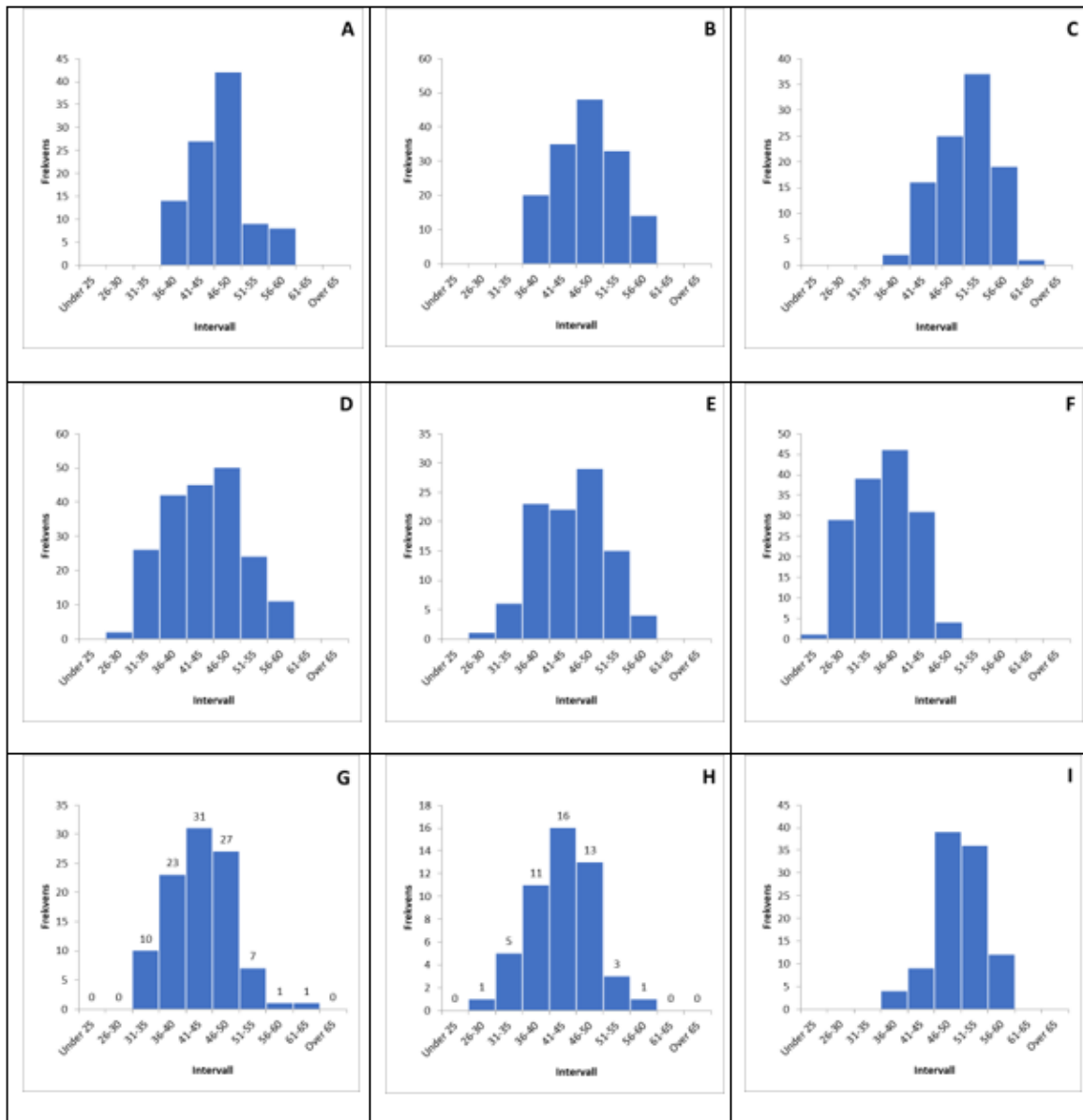
Figur 44 Lokaltetane det er teke prøver til ^{10}Be -eksponeringsdatering frå.

4.4.2 Schmidthammar

I feltarbeidet er det gjort over tusen målinger med schmidthammar for å prøve å bruke dei til relativ aldersbestemming av dei ulike morfologiske formene. Målingar frå alle dei ulike laterale morenene, M1-M6 med unntak av M4, samt målingar frå ei vegskjering i Flydalsjuvet som representer ei fersk flate og målingar frå Hesjedalshaugen, der ei ^{10}Be -eksponeringsdatering indikerer at lokaliteten var isfri så tidleg som $17,6 \pm 0,7$ ka, og dermed representerer den eldste flata. Det er og teke med data frå to landformer som er tolka til å vera relikte steinbrear. Resultata er presenterte i diagram med ± 2 standardfeil (figur 45) og histogram (figur 46).



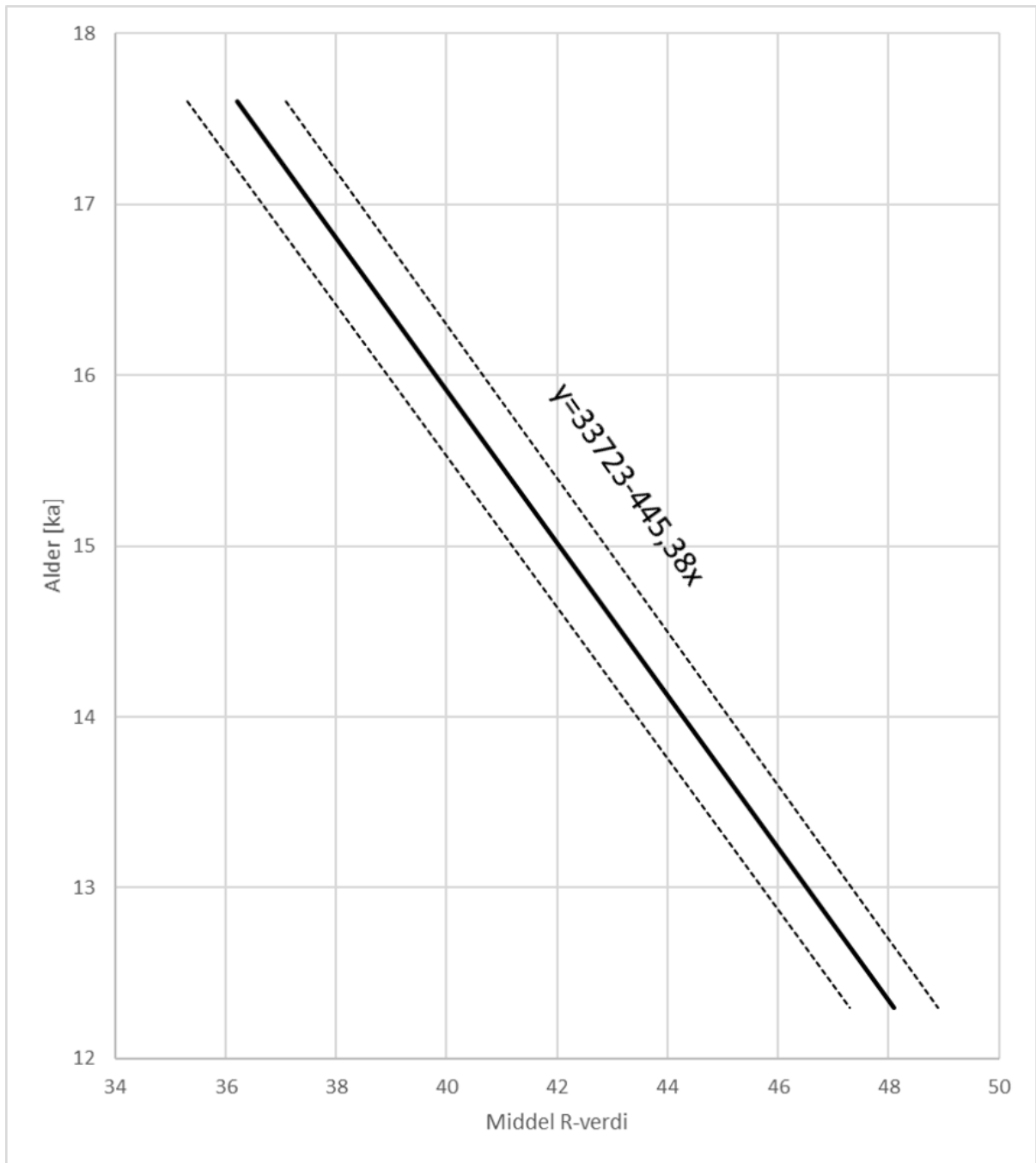
Figur 45 Middell R-verdi for alle lokalitetane for schmidthammarmålingar med ± 2 standardfeil.



Figur 46 Histogram med resultatene av schmidthammarmålingane. (A) M1 i dalsida nord for Heimstevatnet, (B) M2 i Grinddalen, (C) M3 ved Møllsætrane, (D) M5 sør for Homlongsætra, (E) M6 i Flydalen, (F) Hesjedalshaugen, (G) steinbre 1 i Grinddalen, (H) steinbre 2 i Grinddalen og (I) vegskjering ved Flydalsjuvet.

Det vart først gjort eit forsøk på å lage ei kalibreringskurve der ein nytta R-middelverdiene frå Hesjedalshaugen og frå vegskjeringa ved Flydalsjuvet, men det viste seg at denne gav svært låge aldrar på lokalitetane (aldrar på M1-M3 ligg mellom $7,7 \pm 0,7$ ka til $9,0 \pm 0,9$ ka), og den vart derfor forkasta. Eit forsøk vart så gjort ved å bruke likninga for Romsdalen og Valldalen som Matthews og Wilson (2015) kom fram til. Dei estimerte aldrane var for låge også med denne (aldrar på M1-M3 ligg mellom $5,5 \pm 0,5$ ka til $6,5 \pm 0,7$ ka). Til slutt enda ein opp med ei kalibreringskurve der det dei estimerte aldrane frå Hesjedalshaugen og M3 er nytta. Begge desse lokalitetane har kjende aldrar frå ^{10}Be -eksponeringsdateringar, og i kombinasjon med R-

middelverdiane på dei same lokalitetane, er kalibreringskurva konstruert (figur 47). Eit alternativ kunne vore å nytta alle dei tre punkta Hesjedalshaugen, M3 og vegskjeringa til å lage ei kalibreringskurve, men ein ville då gå vekk frå prinsippet om ei lineær kurve som er nytta i anna vitenskapleg arbeid som til dømes Shakesby et al. (2006) og Matthews og Wilson (2015). Dersom årsaka til problema med å etablere ei kalibreringskurve skuldast feil av operatør ved bruk, til dømes at veldig låge verdiar vart forkasta dersom ein såg tydelege feil som bitar som vart slått av, så vil dette vera konsekvent for desse lokalitetane. Det vil eliminere, eller i alle fall utjamne feil knytt til innsamlinga av verdiar som kan skuldast operatør, og blir derfor sett på som den mest korrekte kalibreringskurva til å aldersbestemme dei andre lokalitetane. Dei utrekna statistiske variablane for kalibreringskurvene for Hesjedalshaugen/vegskjering og frå kalibreringskurva til Matthews og Wilson er teke med som vedlegg (vedlegg 2).



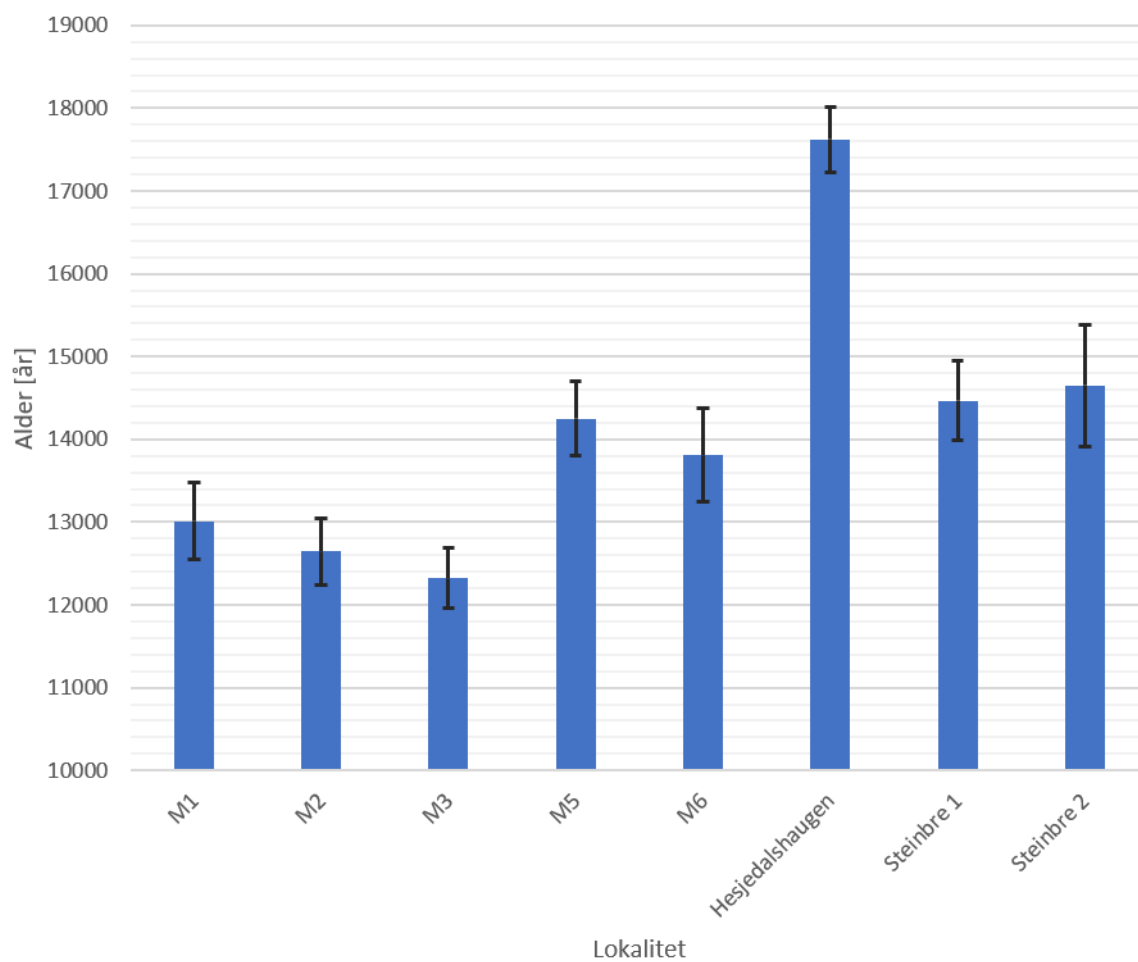
Figur 47 Kalibreringskurve med uvisse på ± 2 SE (stipla linjer) i intervallet 12,3 til 17,6 ka brukt til aldersbestemming frå dei ulike lokalitetane det vart gjort schmidthammarmålingar på. Basert på lokalitetane Hesjedalshaugen og M3, der det er gjort ^{10}Be -eksponeringsdatering og dermed har kjend alder, kom ein fram til formelen $y=33723-445,38x$. y =overflatealder, 33723=krysningsalder, 445,38=stigningstal og x =gjennomsnittleg R-verdi.

Frå kalibreringskurva er det utleia følgande formel for å finne overflatealderen y : $y=33723-445,38x$. 445,38 er stigningstalet og x er den gjennomsnittlege R-verdien. 33723 er krysningsalderen der $x=0$. Dei gjennomsnittlege R-verdiane frå andre landformer vart sett inn i denne likninga for å prøve å koma fram til ein relativ alder (tabell 3).

Tabell 3 Alder for dei ulike lokalitetane i feltområdet der det er nytta schmidthammar. Til utrekning av alder er den etablerte kalibreringskurva med utgangspunkt i Hesjedalshaugen og M3 nytta. Sidan kalibreringskurva som er nytta går frå 17,6 til 12,3 ka, er ikkje vegskjeringa teke med i tabellen.

	M1	M2	M3	M5	M6
Middel R-verdi	46,5	47,3	48,1	43,7	44,7
2 standardfeil (SE)	1,04	0,91	0,82	1,01	1,26
Overflatealder	13008	12645	12321	14249	13810
Maks. alder +2 SE	13472	13049	12685	14699	14369
Min. alder -2 SE	12545	12240	11957	13799	13251
± 2 SE (år)	464	405	364	450	559
Aldersspenn	927	809	729	900	1119
	Hesjedals- haugen	Steinbre 1	Steinbre 2		
Middel R-verdi	36,2	43,2	42,8		
2 standardfeil (SE)	0,87	1,08	1,66		
Overflatealder	17621	14465	14652		
Maks. alder +2 SE	18010	14947	15389		
Min. alder -2 SE	17232	13982	13914		
± 2 SE (år)	389	482	737		
Aldersspenn	778	965	1475		

Resultata spriker litt, men både M1, M2 og M3 har ein alder som ligg innanfor yngre dryas i intervallet ± 2 SE, og dei overlappar mellom 12,5 og 12,7 ka. Landformene som er tolka som relikte steinbrear i Grinddalen har aldrar på $14,5 \pm 0,5$ og $14,7 \pm 0,7$ ka, som plasserer tidspunktet dei vart relikte til slutten av bølling. Dateringane av M5 ($14,2 \pm 0,5$) og M6 ($13,8 \pm 0,6$) er eldre enn yngre dryas, og plasserer dei i tid til overgangen bølling/eldre dryas (M5) og overgangen eldre dryas/allerød (M6) (figur 48).



Figur 48 Overflatealder datert ved bruk av kalibrerte R-middelverdier frå målingar gjort med schmidthammar ved åtte ulike lokalitetar i feltområdet. Uvisse på ± 2 SE er markert i diagrammet.

5 Diskusjon

Intensjonen i dette kapitlet er å sette resultata frå resultatkapitlet saman for å svare på problemstillingane i oppgåva. Det vil og diskuterast kor vidt resultata i denne studien stemmer over eins med anna tilsvarende forskning. Problemstillingane som blir diskutert er: *Korleis var utbreiinga til innlandsisen i Geiranger på sitt største i yngre dryas, og korleis var isavsmeltingsforløpet etterpå? Korleis kan den kvartærgeologiske kartlegginga av Grinddalen bidra til å belyse deglasiasjonshistoria i hovuddalføret i Geiranger? Når vart dei seks kartlagde laterale moreneryggane i Geiranger avsett, og har dei same alder? Kor påliteleg er bruk av schmidthammar til å datere dei ulike landformene i området?*

5.1 Korleis var utbreiinga til innlandsisen i Geiranger på sitt største i yngre dryas, og korleis var isavsmeltingsforløpet etterpå?

Isen strøynde inn i dalføret mot Geiranger gjennom to parallelle dalar, Breiddalen og Djupdalen. I Djupdalen, i dalsida nord for Heimstevatnet, ligg M1. Denne morena er tolka til å vera av yngre dryas alder og dannar grensa for breen sin laterale og vertikale utstrekning her. Når isen hadde sin maksimale utbreiing i yngre dryas, nådde fronten av brearmen ut til munninga av Geirangerfjorden, der ei endemorene ligg på tvers av fjorden ved Lundaneset. I studien er seks sidemorener beskrivne, og desse gir informasjon om tjukkeleiken av isen ved desse lokalitetane. Ved å samanstille lokaliseringa sidemorenene med brefronten, er det konstruert eit lengdeprofil av brearmen (figur 39). Den eine av dei laterale moreneryggane, M3, er ved hjelp av to ^{10}Be -eksponeringsdateringar gitt ein alder på $12,3 \pm 0,5$ ka, og er derfor avsett i yngre dryas. M1, M2, M4 og M5 kan korrelerast med M3 på bakgrunn av at dei ligg plassert med ei høgd over havet som stemmer godt over eins med det lengdeprofilet ein kan forvente at brearmen i Geiranger ville hatt når den var på sitt største i yngre dryas. Dei har og alle ganske like dimensjonar, og alle er lite degradert, som indikerer at dei truleg er avsett samstundes. Rye et al. (1997) argumenter og for det same i sitt arbeid, dei nemner ei undersjøisk endemorene ved munninga av Geirangerfjorden, og til denne har dei korrelert laterale morener i dalsidene lenger aust. Dei nemner og ei morene på om lag 900 m o.h. i Flydalen, som er innteikna på

kvartærgeologisk kart over Møre og Romsdal (Follestad, 1995), og morena som ligg nord for Heimstevatnet i Djupdalen, og korrelerer også desse til endemorena. Den submarine endemorena er beskriven av Aarseth et al. (1997) der dei har gjort seismiske undersøkingar av fjordbotnen i Geirangerfjorden og Sunnlyvsfjorden. Resultata frå dei seismiske undersøkingane viste at det ligg ei endemorene over eit 80 meter tjukt lag av glasimarine sediment. Denne morena er tolka til å vera endemorene frå brearmen i Geiranger i yngre dryas. Dei fann og ei endemorene som går på tvers av Sunnlyvsfjorden ved Ljøvika, og meiner at isen først gjekk ut til den før den trakk seg attende til Stabbeflua i Geirangerfjorden og så rykka fram til Lundaneset. På bakgrunn av feltobservasjonane av moreneryggar eldre enn yngre dryas ved både M1, M2 og M3, som ligg 50-100 meter utanfor dei laterale yngre dryas-morenene, er det meir naturleg å korrelere moreneryggen ved Ljøvika til den same hendinga som avsette desse eldre moreneryggane. Aarseth et al. hadde truleg ikkje kjennskap til at det ligg moreneryggar som må ha ein alder eldre enn yngre dryas i området, men har berre korrelert endemorene til dei laterale morenene frå yngre dryas. Dersom ein antar at endemorena ved Ljøvika er danna før yngre dryas impliserer det at isen aldri gjekk forbi munninga til Geirangerfjorden i yngre dryas. Den siste laterale morena i studiet, M6, har ein dimensjon som gjer at den kunne vore naturleg å korrelere med dei andre fem. Problemet er at den har ei høgd over havet som ikkje passar inn med profilet innlandsisen ville hatt. Den ligg tvers ovanfor dalføret i høve til M3, men høgda over havet er 300 meter lågare. Om denne er avsett samstundes med dei andre ville isen hatt eit svært skeivt profil, og det er ikkje funne noko som skulle støtte opp under det. Den må derfor vera avsett på eit seinare stadium av deglasiasjonen. Det eksisterer ikkje andre tilsvarende avsetningar i området, men dette skuldast truleg at det ikkje er andre stader ei slik avsetning ville kunne verta bevart, sidan fjellsidene er for bratte., Kjenstad & Sollid (1982), Sollid & Reite (1983), Anda (1984), Nesje et al. (1987) og Rye et al. (1997) skriv i sine arbeid om glasidynamiske prinsipp der brefronten kalvar hurtig tilbake i fjorden. Når ismarginen så har trekt seg tilbake til enden av fjorden og ligg på fast grunn, vil isen tilpassa seg eit nytt dynamisk profil som medfører at den vil rykke fram att for å oppnå stabilitet. Det er derfor sannsynleg at den laterale morena over Flydalssætra, M6, har vorte danna under slike forhold når brearmen i Geiranger har tilpassa seg eit nytt profil etter at den kalva hurtig inn til enden av fjorden. I følgje Rye et al. (1997) ligg det ei lateral morene i Flydalen om lag 900 m o.h. Dette støttar og opp om at M6 må ha ein yngre alder enn dei andre laterale morenene i studiet. Ved M1 og M3 er det observert mindre ryggar som ligg litt lågare, og dermed må ha ein yngre alder. Den einaste måten desse kan ha vorte danna er at det har vore eit opphald i tilbakesmeltinga,

eller eit mindre framrykk av ismarginen ei stund etter at den maksimale utbreiinga i yngre dryas fann stad.

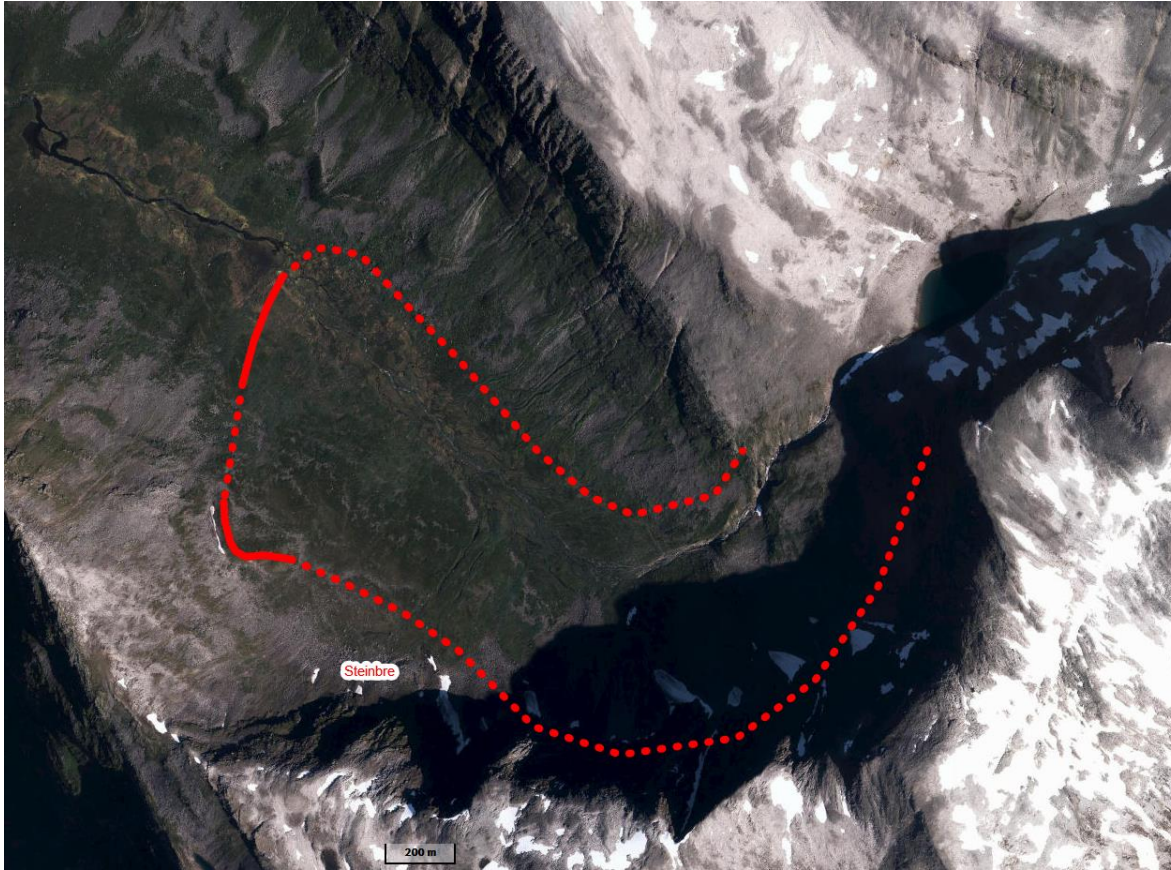
Deglasiasjonen av dalføret i Geiranger kan oppsummerast slik: Innlandsisen har sin maksimale utbreiing i Geiranger for om lag $12,3 \pm 0,5$ ka (figur 43). Etter at innlandsisen hadde smelta litt tilbake, hadde den ein stillstand eller eit mindre framrykk der dei mindre morenene nedanfor M1 og M3 vart danna. Ismarginen kalva så hurtig attende inn fjorden til den nådde land, der den for å oppnå ein stabil profil rykka fram att og dannar M6. Til slutt smeltar den jamnt tilbake til dalføret vert isfritt.

5.2 Korleis kan den kvartærgeologiske kartlegginga av Grinddalen bidra til å belyse deglasiasjonshistoria i hovuddalføret i Geiranger?

I området der den kvartærgeologiske kartlegginga er gjort ligg det to landformer mot dalsida i sørvest som er tolka til å vera Relikte steinbrear. Desse består av store blokker og fronten har ein tydeleg ryggform med ei forsenkning på proksimalsida av ryggen. Schmidthammarmålingane gir nesten identiske resultat for begge avsetningane og daterer dei til $14,5 \pm 0,5$ og $14,7 \pm 0,7$ ka. Denne alderen plasserer dei til slutten av bølling. Steinbrear treng eit kaldt klima for å eksistere, dei vert forbundne med permafrost når dei vert danna (Humlum, 2000; Matthews et al., 2013). Ein kan derfor stilla spørsmål ved om dei kunne eksistere så langt inn i bølling. Dette kan likevel vera tilfelle. Steinbreane i Grinddalen ligg vendt mot nordaust og dalen er omkransa av høge fjell. Isen vil og ha vore isolert av steinmassane, og det kan derfor godt tenkast at dei overlevde godt inn i bølling. Dateringa av flater frå Hesjedalshaugen og Grandehaugen viser at deler av fjellområda i Geiranger var blitt isfrie rundt $17,6 \pm 0,7$ ka, ein kan derfor anta at steinbreane i Grinddalen vart danna på eit tidspunkt litt etter dette, sidan området dei ligg i må ha vore dekkja av is tidlegare. Ved Øyberget i Skjåk (500 m o.h.) er tre talus-deriverte steinbrear datert av Matthews et al. (2013) ved hjelp av schmidthammar til aldrar på $10,3 \pm 1,3$, $9,9 \pm 1,4$ og $9,0 \pm 1,7$ ka. Dette er aldrar der ein må opp til om lag 1500 m o.h. for å ha klima som kan gi permafrost i området. Dei har fleire hypotesar for korleis det kan dannast steinbrear under slike tilhøve. Den eine av dei impliserer at ein rest av innlandsisen er blitt dekkja av steinscred og steinsprang i perioden rett etter deglasiasjonen, ein periode der skredaktiviteten var svært stor på grunn av trykkavlastninga som gav ustabile fjellsider etter at isen forsvann. Ein annan hypotese var at dei vart danna i

yngre dryas, denne vart forkasta sidan området vart dekkja av is. Dei to siste hypotesane går ut på at dei er danna tidlegare, enten under Ålesund interstadiale periode eller før denne. Det betyr i så fall at innlandsisen i området må ha vore kaldbasert og ikkje vore erosiv. Dersom den første hypotesa er riktig, er det godt mogleg at dette kan ha skjedd i Grinddalen og. Dei relikte steinbreane her ligg slik til at det er sannsynleg at ein isrest kunne bli liggande og verta dekkja av steinskred og/eller steinsprang i tidsrommet like etter at Hesjedalshaugen og Grandehaugen vart isfrie rundt $17,6 \pm 0,7$ ka. ^{10}Be -eksponeringsaldrar frå Andøya indikerer at talusderiverete steinbrear på Andøya var aktive i intervallet 30-15 ka (Linge et al., 2016). Dei vart altså inaktive om lag samstundes med steinbreane i Grinddalen.

Den ytste morena i Grinddalen er M2. Denne er korrelert med M1 (Heimstevatnet), M3 (Møllsætrane), M4 (Gomsdalen), M5 (Homlongsætra) og endemorena i munningen av Geirangerfjorden. M3 er ved hjelp av ^{10}Be -eksponeringsdatering gitt ein alder på $12,3 \pm 0,5$ ka, og ein kan derfor trygt anta at M2 er avsett i yngre dryas. Det same konkluderte og Aarseth et al. (1997) med i sitt arbeid. Morena som ligg 400 meter lenger inne i Grinddalen i høve til M2 er truleg ei lateral morene avsett av innlandsisen i hovuddalføret i Geiranger, og må då vera av eldre alder enn yngre dryas. Dette er basert på den morfologiske forma, og samt at den har ein arm som går nesten vinkelrett ut frå morena i retning ut dalen. Denne armen er truleg ein innfylling av ein smeltevasskanal, og er derfor plassert på proksimalsida. Den er korrelert til tydelege spor av ei eldre morene som ligg om lag 100 meter over M1, og ei morene som ligg om lag 200 meter lenger inn mot Gråsteindalen ved M3. Dei siste to morenene, som ligg lengst inne i Grinddalen, kan korrelerast til kvarandre og er tolka til å vera randavsetningar avsett i yngre dryas når botnbreen som låg i Grinddalskupa truleg gjekk ut av botnen og ned i Grinddalen (figur 49).



Figur 49 Tentativ rekonstruksjon av den maksimale utbreiinga til botnbreen i Grinddalskupa når denne gjekk ned i Grinddalen i yngre dryas. To eksisterande randavsetningar er markert med heil linje og antatt utbreiing basert på dei eksisterande randavsetningane er markert med stipla linjer. Den relikte steinbreen innerst i Grindalen er markert, og denne ligg utanfor området brearmen truleg har dekkja. Modifisert frå norgeskart.no (2017).

5.3 Når vart dei seks kartlagde laterale moreneryggane i Geiranger avsett, og har dei same alder?

Alle dei seks laterale morenene i studiet har liknande dimensjonar som gjer at det er naturleg å sjå for seg at dei er avsett samstundes. Både M1, M2, M3, M4 og M5 ligg med ei høgd over havet som passar godt med det forventta breprofilet. M6 ligg plassert tvers ovanfor dalføret i høve til M3, men denne har ei høgd over havet som er 300 meter lågare enn M3, og det er derfor ganske usannsynleg at denne er avsett samstundes med dei andre. Rye et al. (1997) beskriv ei morene som skal ligge ved om lag 900 m o.h. i Flydalen som dei korrelerer til yngre dryas, det er og innteikna ei morene på kvartærgeologisk kart over Møre og Romsdal i denne høgda over havet (Follestad, 1995), noko som understøttar teorien om at M6 er av yngre alder enn dei andre fem, og at den derfor er avsett i ein seinare fase under deglasiasjonen. Som tidlegare nemnt i delkapittel 5.1 har truleg breen rykka fram for å tilpasse seg eit nytt profil etter at den kalva hurtig inn fjorden, og har avsett M6 ved dette framrykket. Derfor er M6 ikkje brukt til rekonstruksjonen av innlandsisen sin maksimale utbreiing, men den gir derimot nyttig informasjon om deglasiasjonen etter yngre dryas maksimum.

5.4 Kor påliteleg er bruk av schmidthammar til å datere dei ulike landformene i området?

Det er gjort over tusen målingar i felt med schmidthammar fordelt på fem av moreneryggane i tillegg til målingar på Hesjedalshaugen og på dei to relikte steinbreane i Grinddalen. Basert på to kjende aldrar, M3 og Hesjedalshaugen, er det laga ei kalibreringskurve for å prøve å aldersbestemme lokalitetane. Erfaringa som er gjort er at det er ein del feilkjelder. Noko kan tilskrivast at dette er første gongen prøvetakaren har brukt schmidthammer. Mellom anna fann McCarroll (1994) at det er signifikante ulikskapar mellom avlesne verdiar gjort tilfeldig kontra avlesingar gjort på optimale punkt. Det er og ein god del rasblokker i området, og kanskje er desse forveksla med blokker avsett av isen. Det er og mogleg at det vart teke for få prøvar til å få eit representativt utval. Schmidthammaren som er nytta i feltarbeidet er gammal. Ved fleire anledningar skrudde den seg opp av seg sjølv under bruk, og den måtte til stadigheit ettersnøres, noko som kan ha påverka måleresultata.

Resultata av målingane gir M1 ($13,0 \pm 0,5$ ka), M2 ($12,6 \pm 0,4$ ka) og M3 ($12,3 \pm 0,4$ ka) aldrar som gjer at dei alle ligg plassert innanfor yngre dryas innanfor intervallet til uvisse. M6 er tidfesta til byrjinga av allerød med alder på $13,8 \pm 0,6$ ka. M5 er datert til $14,2 \pm 0,5$ ka, som er i eldre dryas. Både M5 og M6 har derfor aldrar som er svært lite truverdige. Dei relikte steinbreane har aldrar ($14,5 \pm 0,5$ og $14,7 \pm 0,7$ ka) som tilseier at dei døydde ut rundt slutten av bølling, og kan ha blitt danna ved at ein rest av innlandsisen vart dekkja av steinskred og/eller steinsprang som eit resultat av at trykkavlastning gjorde fjellsidene ustabile etter at isen forsvann. Dette må ha skjedd ein gong etter at Hesjedalshaugen vart isfri om lag $17,6 \pm 0,7$ ka. Det kan godt stemme, og dei er diskutert nærare i delkapittel 5.2.

Konklusjonen blir at det er for stor uvisse knytt til dei innsamla data ved bruk av schmidthammar til at ein kan sette særleg lit til dei.

5.5 Forslag til vidare arbeid

- Under feltarbeidet er det avdekka moreneryggar som må vera eldre enn yngre dryas litt utanfor det som var ismarginen ved yngre dryas maksimum. For å få ei betre forståing av innlandsisen si utbreiing før yngre dryas vil dateringar av desse vera av stor interesse.
- Gjennom schmidthammarmålingar er det gitt ein gjennomsnittsalder på $14,6 \pm 0,6$ ka for tidspunktet for då steinbreane i Grinddalen vart inaktive. Det er knytt ein del usikkerheit til desse målingane, og det vert anbefalt å få tidfesta desse meir eksakt ved hjelp av betre dateringsmetodar, til dømes ^{10}Be -eksponeringsdatering. Dette vil kunne gi nyttig informasjon om klimaet i området på den tida dei var aktive.
- Ved Flydalssætra ligg det fleire mindre morener nedanfor M6, som kan bidra til å gi meir detaljert informasjon om deglasiasjonen etter at M6 vart avsett, dersom desse vert grundigare kartlagde.
- Det er ikkje gjort arbeid på innsjøkjernar i området, dersom dette blir gjort vil det gi betre kunnskap om glasiasjonshistoria i området om det er mogleg å finna eigna lokalitetar.
- Bruk av georadar, mellom anna i den ytste delen av Grindalen og på M3, kan ytterlegare belyse prosessane som har avsett landformene i området.
- Dersom ein kan få løyve til å grave i avsetningane som er tolka til å vera innfylling av smeltevasskanalar i Grinddalen og Flydalen, vil ein kunne avdekke om desse er slukåsar.

6 Konklusjon

- ^{10}Be -eksponeringsdatering av moreneryggen M3 ved Møllsætrane tidfestar denne til $12,3 \pm 0,5$ ka, den er dermed avsett i yngre dryas. M1, M2, M4 og M6 kan korrelerast til denne.
- Ved innlandsisen sin maksimale utbreiing i yngre dryas låg brefronten ut til munninga av Geirangerfjorden der det ligg ei endemorene på tvers av fjorden ved Lundanaset. Grensa for den laterale og vertikale utbreiinga går langs moreneryggane i Djupdalen nord for Heimstevatnet (M1), i Grinddalen (M2), ved Møllsætrane (M3), i Gomsdalen (M4) og sør for Homlongsætra (M5).
- M6 like over Flydalssætra er ikkje avsett samstundes med dei fem andre moreneryggane. Den er avsett i yngre dryas i deglasiasjonen etter yngre dryas maksimum, der isen har gjort eit framrykk for å tilpassa seg eit nytt profil.
- I løpet av deglasiasjonen etter yngre dryas maksimum trakk først bremarginen seg litt tilbake før den ved stillstand eller mindre framrykk avsette morenene som ligg om lag 50 meter nedanfor M1 og M3. Deretter kalva ismarginen hurtig tilbake inn til enden av Geirangerfjorden. Når den var blitt landfast rykka den fram att for å tilpassa seg eit nytt profil. Etter dette smelta den jamt tilbake til den forsvann.
- Resultata frå schmidthammarmålingane er for upålitelege til å kunne bruke dei til datering av landformene. Dei stemmer bra i høve til det ein kunne forvente på nokre av lokalitetane, mens på andre må dei vera feil.
- Dei relikte steinbreane som ligg i sørvestsida av Grinddalen datert ved bruk av schmidthammar til ein alder som tilseier at dei døydde ut ein gong i slutten av bølling, og dei må vera danna etter tidspunktet der Hesjedalshaugen og Grandehaugen vart isfrie for om lag $17,6 \pm 0,7$ ka. Før dette var området dekkja av is.

Litteraturliste

- Aarseth, I., Austbø, P. & Risnes, H. 1997. Seismic stratigraphy of Younger Dryas ice-marginal deposits in western Norwegian fjords. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 77, 65-85.
- Abdalati, W., Krabill, W., Frederick, E., Manizade, S., Martin, C., Sonntag, J., Swift, R., Thomas, R., Wright, W. & Yungel, J. 2001. Outlet glacier and margin elevation changes: Near-coastal thinning of the Greenland ice sheet. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106, 33729-33741.
- Anda, E. 1984. En topografisk-dynamisk modell for de preboreale breframrykk i indre Sogn/Hardanger, Vest-Norge. *Meddelanden från Stocholms Universitets Geologiska Institutionen*, 255.
- Castañeda, A. 2017. *REINFORCED CONCRETE. Design, Performance and Application. Chapter 4. Atmospheric corrosion of steel-reinforced concrete in Coastal City located on a Tropical Island.*
- Follestad, B. A. 1995. Møre og Romsdal fylke-Kvartærgeologisk kart; Møre og Romsdal; 1:250 000; trykt i farger. *Skrifter*. ngu.no: Norges geologiske undersøkelse.
- Geodata. 2018. *Høydedata* [Online]. Kartverket. Tilgjengeleg frå: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> [Lest 04.01 2018].
- Goudie, A. S. 2006. The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30, 703-718.
- Heyman, J., Stroeven, A. P., Harbor, J. M. & Caffee, M. W. 2011. Too young or too old: Evaluating cosmogenic exposure dating based on an analysis of compiled boulder exposure ages. *Earth and Planetary Science Letters*, 302, 71-80.
- Hjelstuen, B. O., Petter Sejrup, H., Haflidason, H., Nygård, A., Ceramicola, S. & Bryn, P. 2005. Late Cenozoic glacial history and evolution of the Storegga Slide area and adjacent slide flank regions, Norwegian continental margin. *Marine and Petroleum Geology*, 22, 57-69.
- Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J. & Svendsen, J. I. 2016. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 45, 1-45.
- Humlum, O. 2000. The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland. *Geomorphology*, 35, 41-67.
- ICS. 2016. *Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years* [Online]. <http://www.stratigraphy.org>: International Commission on Stratigraphy. Tilgjengeleg frå: <http://www.stratigraphy.org/upload/QuaternaryChart1.JPG> [Lest 13.12 2017].
- Ivy-Ochs, S. & Kober, F. 2008. Surface exposure dating with cosmogenic nuclides. *Quaternary Science Journal*, 59, 179-209.
- Kartverket. 2007. *Møre fjell 2007* [Online]. <http://norgebilder.no/>. Tilgjengeleg frå: <http://norgebilder.no/> [Lest 08.04 2018].
- Kartverket. 2017. *Norgeskart* [Online]. <http://www.norgeskart.no>. Tilgjengeleg frå: <http://www.norgeskart.no> [Lest 02.01 2018].
- Kjenstad, K. & Sollid, J. 1982. 1982: Isavsmeltingsforløpet i Trondheimsfjorden. Glasiodynamiske prinsipper. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 36, 153–162.
- Larsen, E., Gulliksen, S., Lauritzen, S. E., Lie, R., Løvlie, R. & Mangerud, J. 1987. Cave stratigraphy in western Norway; multiple Weichselian glaciations and interstadial vertebrate fauna. *Boreas*, 16, 267-292.
- Linge, H., Dahl, S. O., Fabel, D. & Xu, S. Glacial and periglacial landform formation during MIS 3-1 on Andøya, northern Norway. *In: Blomdin, R., Fu, P., Goodfellow, B. W., Gribenski, N., Heyman, J., Newall, J. C. & Stroeven, A. P., eds. Third Nordic Workshop on cosmogenic nuclide techniques, 2016 Stockholm. Svensk Kärnbränslehantering AB, 37.*

- Mangerud, J., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. & Svendsen, J. I. 2011. Glacial History of Norway. I: Ehlers, J., Gibbard, P. L. & Hughes, P. D. (red.) *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology - A Closer Look*. Elsevier Science B.V, s. 279-298.
- Matthews, J. A., Nesje, A. & Linge, H. 2013. Relict Talus-Foot Rock Glaciers at Øyberget, Upper Ottadalen, Southern Norway: Schmidt Hammer Exposure Ages and Palaeoenvironmental Implications. *Permafrost and Periglacial Processes*, 24, 336-346.
- Matthews, J. A. & Wilson, P. 2015. Improved Schmidt-hammer exposure ages for active and relict pronival ramparts in southern Norway, and their palaeoenvironmental implications. *Geomorphology*, 246, 7-21.
- McCarroll, D. 1994. The Schmidt hammer as a measure of degree of rock surface weathering and terrain age. *Dating in Exposed and Surface Contexts*. University of New Mexico Press, Albuquerque, 29-45.
- McFadden, E. M., Howat, I. M., Joughin, I., Smith, B. E. & Ahn, Y. 2011. Changes in the dynamics of marine terminating outlet glaciers in west Greenland (2000–2009). *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 116.
- Meteorologisk institutt. 2018. *eKlima* [Online]. Metereologisk institutt. Tilgjengeleg frå: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39080&_dad=portal&_schema=PORTAL [Lest 11.04 2018].
- Nesje, A., Anda, E., Rye, N., Lien, R., Hole, P. A. & Blikra, L. H. 1987. The vertical extent of the Late Weichselian ice sheet in the Nordfjord-Møre area, western Norway. *Norsk geologisk tidsskrift*, 67, 125-141.
- Nesje, A. & Dahl, S. O. 2000. *Glaciers and Environmental Change*, London, Routledge.
- NGU. 2018a. *Nasjonal berggrunnsdatabase: Berggrunn N250 lineamenter* [Online]. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengeleg frå: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> [Lest 03.04.2018 2018].
- NGU. 2018b. *Marin grense og tidligere havdekte områder* [Online]. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengeleg frå: <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/> [Lest 07.05.2018 2018].
- Nygård, L. 2017. *Rekonstruksjon av isavsmeltingsforløpet i Gråsteindal-området, indre Sunnmøre*. MSc, Universitetet i Bergen.
- Reite, A. 1963. *Kvartærgeologiske og geomorfologiske undersøkelser i noen kyst- og fjordstrøk på Sunnmøre*. master, Universitetet i Bergen.
- Rye, N., Nesje, A., Lien, R., Blikra, L. H., Eikenaes, O., Hole, P. A. & Torsnes, I. 1997. Glacial geology and deglaciation chronology of the area between inner Nordfjord and Jostedalbreen Strynefjellet, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 77, 51-63.
- Sejrup, H., Aarseth, I., Haflidason, H., Lovlie, R., Bratten, A., Tjostheim, G., Forsberg, C. & Ellingsen, K. 1995. QUATERNARY OF THE NORWEGIAN CHANNEL - GLACIATION HISTORY AND PALEOCEANOGRAPHY. *Nord. Geol. Tidsskr.*
- SeNorge. 2018. *SeNorge: Klima* [Online]. Kartverket. Tilgjengeleg frå: <http://www.senorge.no/?p=klima> [Lest].
- Shakesby, R. A., Matthews, J. A. & Owen, G. 2006. The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. *Quaternary Science Reviews*, 25, 2846-2867.
- Sollid, J. L. & Reite, A. J. 1983. The last glaciation and deglaciation of Central Norway. *Glacial deposits in north-west Europe*, 41-60.
- Svendsen, J. I. & Mangerud, J. 1987. Late Weichselian and Holocene sea-level history for a cross-section of western Norway. *Journal of Quaternary Science*, 2, 113-132.

Vedlegg

Vedlegg 1: Schmidthammardata.

Vedlegg 2: Statistiske verdier for dei tre ulike kalibreringskurvene som vart testa.

Vedlegg 3: Film «Innlandsisen i Geiranger ved yngre dryas maksimum».

Vedlegg 1, schmidthammarata

Avlesne R-verdiar frå feltarbeidet.

M1	M2	M3	M5	M6	Hesjedals- haugen	Stein- bre 1	Stein- bre 2	Veg- skjering
37	50	52	49	39	39	39	48	52
38	46	45	48	35	41	46	45	46
41	48	56	39	39	35	42	42	40
40	47	53	43	43	41	34	47	47
48	43	59	49	38	28	52	36	50
40	38	52	34	33	42	43	47	50
49	43	44	46	51	38	42	42	54
40	48	50	43	53	49	41	38	43
57	43	48	56	48	35	49	41	44
56	44	54	51	39	35	34	32	50
48	51	47	49	50	33	45	53	50
39	47	60	35	48	39	34	38	51
48	42	56	46	46	44	35	42	50
52	51	57	54	48	44	42	36	43
45	43	43	51	52	34	46	44	55
48	44	49	59	37	35	46	33	40
46	56	62	43	53	29	46	40	44
49	48	42	37	39	44	49	43	52
41	40	54	48	52	37	38	44	42
55	56	56	48	41	32	40	39	50
46	53	56	38	40	43	38	50	51
47	52	50	40	44	30	46	38	51
46	44	44	48	44	32	36	47	53
50	52	53	50	37	38	40	46	50
54	38	45	53	46	40	42	40	52
56	43	53	39	40	38	50	47	51
39	57	52	42	52	43	43	45	59
49	38	51	48	48	35	54	48	54
54	51	53	51	46	37	37	43	47
44	51	58	47	48	33	44	30	52
50	54	58	49	53	37	52	38	58
42	48	51	59	52	35	41	45	56
57	38	55	45	46	39	50	43	55
54	52	46	48	41	34	43	56	47
47	48	48	47	41	40	42	48	50
46	41	44	48	51	30	47	44	46
46	43	54	43	49	32	46	40	49
60	42	56	42	44	39	45	34	60

M1	M2	M3	M5	M6	Hesjedals- haugen	Stein- bre 1	Stein- bre 2	Veg- skjering
60	54	49	51	44	32	39	51	60
43	46	51	56	49	36	41	36	55
48	57	58	50	47	41	38	50	54
50	46	46	57	43	29	43	35	50
45	47	56	47	54	40	51	43	48
42	46	52	50	30	45	44	48	49
47	57	48	54	41	33	40	43	49
40	51	51	45	48	30	40	53	47
40	51	53	37	56	39	51	34	54
52	48	60	40	49	30	46	46	53
43	43	44	53	49	34	40	41	49
49	57	60	44	51	50	43	49	53
47	44	55	31	51	30	46		58
41	47	55	31	48	38	47		53
50	52	41	37	46	29	34		57
40	40	52	39	45	38	39		49
50	46	49	32	41	37	38		53
46	38	49	32	39	32	43		50
44	40	44	43	48	29	41		49
48	40	52	47	35	29	52		56
52	47	48	31	43	38	57		40
47	42	56	41	45	34	35		51
47	45	42	35	36	28	50		49
45	46	50	46	38	32	46		54
36	46	40	42	40	39	40		47
46	42	55	34	48	31	35		56
44	40	57	42	42	34	43		51
45	55	51	34	40	38	49		44
48	48	46	46	53	36	40		56
49	39	56	52	38	30	44		53
50	47	51	42	50	36	36		45
38	41	50	50	44	34	39		50
49	51	37	38	58	39	40		50
45	38	51	44	32	45	61		49
42	41	45	55	32	34	33		45
52	54	53	44	45	40	47		40
41	40	50	60	40	43	44		52
44	53	53	36	37	32	44		55
48	42	54	43	44	42	45		48
41	50	46	59	45	37	46		44
46	40	45	36	48	30	46		54
42	56	52	47	40	45	43		47
44	44	54	42	49	39	50		53

M1	M2	M3	M5	M6	Hesjedals- haugen	Stein- bre 1	Stein- bre 2	Veg- skjering
46	38	43	56	52	29	41		59
48	47	52	53	43	28	45		55
48	49	57	38	38	42	38		49
40	50	56	39	48	36	46		50
46	49	50	45	40	37	52		50
41	44	53	48	36	30	49		49
43	48	53	46	44	37	41		54
52	55	53	56	58	48	46		52
44	42	50	40	33	28	47		58
47	41	53	46	48	44	34		52
57	44	48	40	44	31	41		50
56	47	43	53	54	32	39		53
45	54	52	47	49	38	35		54
44	52	51	42	49	35	48		51
48	43	45	46	38	35	47		50
47	47	47	51	58	31	40		51
45	51	47	48	37	36	43		49
46	45	47	36	49	30	39		48
38	50	46	49	46	36	45		50
	39		39		30			
	52		51		42			
	50		38		48			
	44		38		36			
	42		41		36			
	48		43		43			
	50		48		29			
	43		44		35			
	49		49		44			
	58		44		42			
	59		38		45			
	36		42		36			
	51		36		34			
	40		32		37			
	51		50		42			
	38		36		27			
	47		38		44			
	44		43		37			
	50		48		42			
	43		48		26			
	57		49		28			
	46		35		35			
	58		34		42			
	48		36		42			

M1	M2	M3	M5	M6	Hesjedals- haugen	Stein- bre 1	Stein- bre 2	Veg- skjering
	54		46		30			
	53		47		42			
	52		38		42			
	48		36		34			
	46		42		33			
	42		51		36			
	54		54		25			
	48		38		33			
	47		45		36			
	48		42		34			
	52		38		41			
	46		39		29			
	52		41		27			
	54		49		36			
	48		43		43			
	58		44		38			
	48		42		36			
	41		47		31			
	54		50		32			
	46		35		35			
	41		48		39			
	54		37		42			
	57		43		30			
	40		39		40			
	57		41		29			
	50		42		39			
			34					
			54					
			51					
			41					
			54					
			36					
			34					
			37					
			32					
			45					
			50					
			38					
			55					
			50					
			33					
			34					
			45					

M1	M2	M3	M5	M6	Hesjedals- haugen	Stein- bre 1	Stein- bre 2	Veg- skjering
			52					
			37					
			53					
			40					
			39					
			42					
			50					
			52					
			32					
			30					
			44					
			33					
			37					
			39					
			59					
			33					
			45					
			31					
			46					
			33					
			30					
			45					
			37					
			59					
			34					
			47					
			50					
			53					
			49					
			44					
			42					
			31					
			38					

Vedlegg 2. Statistiske verdier for dei tre ulike kalibreringskurvene som vart testa.

Hesjedalshaugen/M3.

Formel	Alders-spenn	± 2 SE (år)	Min alder -2 SE	Maks alder +2 SE	Overflate-alder	2 standardfeil (SE)	Middel R-verdi
M1	927	464	12545	13472	13008	1,04	46,5
M2	809	405	12240	13049	12645	0,91	47,3
M3	729	364	11957	12685	12321	0,82	48,1
M5	900	450	13799	14699	14249	1,01	43,7
M6	1119	559	13251	14369	13810	1,26	44,7
Hesjedalshaugen	778	389	17232	18010	17621	0,87	36,2
Stein-bre 1	965	482	13982	14947	14465	1,08	43,2
Stein-bre 2	1475	737	13914	15389	14652	1,66	42,8
Vegskjering	789	394	7897	8686	8292	0,89	57,1

Hesjedalshaugen/Vegskjering.

	Alders- spenn	± 2 SE (år)	Min alder -2 SE	Maks alder +2 SE	Overflate- alder	2 standardfeil (SE)	Middel R-verdi
M1	1747	873	8079	9826	8952	1,04	46,5
M2	1524	762	7506	9029	8267	0,91	47,3
M3	1372	686	6972	8344	7658	0,82	48,1
M5	1695	847	10441	12136	11288	1,01	43,7
M6	2107	1054	9409	11516	10462	1,26	44,7
Hesjedals- haugen	1466	733	16906	18372	17639	0,87	36,2
Steinbre 1	1817	909	10786	12604	11695	1,08	43,2
Steinbre 2	2778	1389	10658	13436	12047	1,66	42,8
Vegskjering	1485	743	-673	812	70	0,89	57,1
Formel	y=47963-838,76x						

Matthews og Wilson (2015).

	Alders- spenn	± 2 SE (år)	Min alder -2 SE	Maks alder +2 SE	Overflate -alder	2 standardfeil (SE)	Middel R-verdi
M1	1367	683	5816	7182	6499	1,04	46,5
M2	1192	596	5367	6559	5963	0,91	47,3
M3	1074	537	4949	6023	5486	0,82	48,1
M5	1326	663	7664	8990	8327	1,01	43,7
M6	1649	824	6856	8505	7680	1,26	44,7
Hesjedals- haugen	1147	573	12723	13869	13296	0,87	36,2
Steinbre 1	1422	711	7934	9356	8645	1,08	43,2
Steinbre 2	2173	1087	7834	10007	8921	1,66	42,8
Vegskjering	1162	581	-1032	130	-451	0,89	57,1
Formel	y=37023-656,29x						