

Effekt og omfang av 9.7- og 8.2 kulde- eventene ved Store Finnsjøen på Dovrefjell



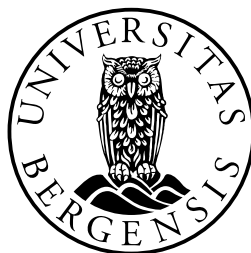
Mari Woxen Thoen

BIO399K – Masteroppgave i paleoøkologi

Institutt for Biologi

Universitetet i Bergen

2016



FORORD

Jeg vil gjerne takke min veileder Aage Paus, for stort engasjement og god veiledning gjennom hele masteroppgaven. Takk for god opplæring i mikroskop og pollenmorfologi, og for at jeg alltid kunne stikke innom kontoret når jeg trengte litt ekstra hjelp!

Så vil jeg også takke Arild Breistøl for god opplæring og tålmodighet på laben, men også for at du og John Birks løste diskettproblemet i 2016, teknologiens tidsalder!

Takk til Lene Synnøve Halvorsen for at jeg alltid har kunnet stoppe innom kontoret. Enten for å prate om oppgaven eller hvis jeg har trengt hjelp i statistikk, CanoDraw eller Core. Så tusen takk for at døra di alltid var åpen, og for at du ville lese gjennom og gi meg gode tilbakemeldinger mot slutten av skriveprosessen!

En takk til Martha og Vegard må også til. For røde streker og kommentarer på tekst og språk i siste fasen av skrivingen.

Til slutt vil jeg gjerne takke familien min som har støttet og heiet meg videre når motivasjonen ikke alltid var på topp! Så til den fantastiske L-klassen. Dere har gjort livet i Bergen til en lek de siste 5 årene. Livet hadde ikke vært det sammen uten dere #lektorlove. Må også takke mine gode venner, dere vet hvem dere er! Til slutt en takk til “terapijentene” (Kjersti og Ingebjørg), mine gode samboere! Takk for at jeg har kunnet komme hjem, koble av fra alt masterrelatert og bare ha det gøy!

Det har vært et spennende halvår, med mange nye utfordringer! Nå er jeg klar for arbeidslivet.

Bergen, Desember, 2016

Mari Woxen Thoen

SAMMENDRAG

Her presenteres en pollenanalytisk detaljundersøkelse av det Holocene furu-maksimum i sedimenter fra Store Finnsjøen (1260 moh.) på Dovre. Furuskogen etablerte seg i Skandesfjellene fra ca. 10.3 ka BP og dominerte mellom 9.9 til 8.5 ka BP. I denne furu-dominerte perioden som representerer det Holocene Termale Maksimum, indikeres de to kuldeperiodene 8.2-eventet og 9.7-eventet i Store Finnsjøens laminerte sedimenter. 8.2-eventet er en av de mest kjente kuldeperiodene i etteristiden, mens 9.7-eventet (Erdalen event) kun er dokumentert noen steder i Norden. De signaliseres begge ved markerte fall i furukurven i pollendiagrammet. 9.7-eventet varte i ca. 60 år, uten klare vegetasjonsendringer. Dette kan tyde på at kuldeperioden bare omfattet en nedgang i pollenproduksjonen, spesielt for den meget pollenproduktive furu. 8.2-eventet varte i ca. 400 år og viser en vegetasjonsutvikling for den dominerende furua mot en åpning av vegetasjonen med mer bjørk og or.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
1 INTRODUKSJON OG MÅLSETTING	1
2 UNDERSØKELSESONRÅDET	4
2.1 TOPOGRAFI OG GEOLOGI.....	5
2.2 ISTID OG ISSMELTING AV DOVRE.....	6
2.3 KLIMA	6
2.4 DAGENS VEGETASJON.....	7
3 METODE	8
3.1 FELTARBEID	8
3.2 LABORATORIEARBEID	8
3.2.1 <i>Uttak av pollenprøver og preparering</i>	8
3.2.2 <i>Pollenanalyse og pollenidentifikasjon</i>	9
3.2.3 <i>Datering</i>	9
3.3 POLLEN PROSENTDIAGRAM	9
3.3.1 <i>Influx- og konsentrasjonsdiagrammer</i>	10
3.4 NUMERISKE ANALYSER.....	11
3.5 BIODIVERSITETSANALYSE (RAREFACTION ANALYSIS).....	12
4 RESULTAT	13
4.1 LITOSTRATIGRAFI	13
4.2 DATERINGER.....	14
4.3 SEDIMENTASJONSHASTIGHET OG INFLUX.....	15
4.4 POLLENDIAGRAM	16
4.4.1 <i>Sonering og sonebeskrivelse</i>	16
4.5 MAKROFOSSILER	21
4.6 PCA, PRINSIPAL KOMPONENT ANALYSER	21
4.7 BIODIVERSITETSANALYSE (RAREFACTION ANALYSIS).....	26
5 DISKUSJON	27
5.1 DET HOLOCENE TERMALE MAKSIMUM (HTM).....	27
5.2 PALEOØKOLOGISKE TOLKNINGER AV POLLENDIAGRAMMENE.....	29
5.3 9.7-EVENTET (SONE 3)	34
5.4 8.2-EVENTET (SONE 5)	35
5.5 SAMMENLIGNING AV 8.2-EVENTET OG 9.7-EVENTET	36
5.6 KONKLUSJON OG OPPSUMMERING	38
6 LITTERATURLISTE	39
APPENDIKS A	46
APPENDIKS B	47

1 Introduksjon og målsetting

Etteristiden (Holocene) har vært en relativt stabil og varm periode til sammenligning med den siste istiden (Alley et al., 1997; Kobashi et al., 2007; Rohling & Pälike, 2005). I det Holocene Termale Maximum (HTM), var temperaturene opp mot 2 °C varmere enn i dag (Karlén, 1998; Matthews & Karlén, 1992; Nesje & Kvamme, 1991; Nesje et al., 2000). Det har vært delte meninger om når HTM inntraff i Skandinavia/Nord Europa: i midtre Holocene (f.eks. (Antonsson & Seppä, 2007; Bjune et al., 2010; Seppä et al., 2009) eller i tidlig Holocene (Paus, 2013; Paus & Haugland, 2016; Vinther et al., 2009; Väiliranta et al., 2015). Nyere undersøkelser viser også at klimaet og spesielt temperaturen varierte relativt mye i tidlig Holocene (Nesje et al., 2006; Nesje et al., 2000). Deriblant er flere kortvarige, men likevel merkbare klimaforverringer registrert, bl.a. Jondal event 1 ("Preboreal Oscillation (PBO)") fra 11 300-11 150 kalibrerte år BP, Jondal event 2 fra 10 550-10 450 år BP, Erdalen event 10 000-9700 år BP, (Bakke et al., 2005; Nesje et al., 2006; Nesje et al., 1991) og 8200-eventet (Alley & Ágústsdóttir, 2005; Alley et al., 1997; Nesje et al., 2006; Rohling & Pälike, 2005).

Én spesifikk hendelse har vist seg tydeligere enn andre i borkjerner datert til Holocene. Denne er kjent som 8.2-eventet, 8.2 ka (= 8200) eller 8 ka («ka» står for "tusen år". Alle aldre er oppgitt i kalibrerte år før nåtid) (Alley & Ágústsdóttir, 2005; Alley et al., 1997; Nesje et al., 2006; Rohling & Pälike, 2005). I norsk forskning ble 8.2-eventet først presentert som Finse-event (Dahl & Nesje, 1994; 1996; Nesje et al., 2006). Endringer i glødetap (Nesje & Dahl, 2001) indikerte en økende isbreativitet rundt 8.2-eventet i Sentral-Norge (Dahl & Nesje, 1994; Nesje et al., 2006). Ved 8.2-eventet viser breene en tydelig framgang i tidsperioden ca. 8500-8300 BP (Dahl & Nesje, 1996). Sammen med pollen, makro- og megafossiler, er isbreer pålitelige kilder for variasjoner i klima og deres påvirkning på vegetasjonen og økosystemene rundt.

8.2-eventet ble først beskrevet i Sveits (Zoller, 1960), senere i "Camp Century and DYE-3δ¹⁸O profilet" fra Grønlandsiskjerner (Hammer et al., 1986; Rasmussen et al., 2007). Internasjonalt har undersøkelsene fra Grønlandsiskjernene fått mye oppmerksomhet og skapt stor interesse for videre forskning over hele den nordlige hemisfære (Alley et al., 1997; Thomas et al., 2007), og flere studier av 8.2-eventet har kommet til (Ghilardi & O'Connell, 2013; Nesje et al., 2006; Paus, 2010). Grunnene til denne akutt kalde perioden har vært omdiskutert. I perioden før 8.2-eventet lå det såkalte Laurentide-isdekket over Hudsonbukta.

Isdekket fungerte som en demning for isbreinnsjøene Agassiz og Ojibway og da demningen brast for ca. 8470 år BP siden, ble mer enn 10^{14} m³ med ferskvann sluppet ut i Labrador havet (Barber et al., 1999). Denne ferskvannsimpulsen til Nord-Atlanteren førte til en reduksjon i havoverflatens saltinnhold og endret havsirkulasjonen. Varmeoverføringen fra havet til atmosfæren ble også redusert som følge av denne ferskvannsimpulsen (Barber et al., 1999), noe som førte til en atmosfærisk avkjøling. Denne atmosfæriske avkjølingen regnes som forløperen til 8.2-eventet (Paus, 2010; Renssen et al., 2007; Wiersma & Renssen, 2006).

En annen teori som har blitt presentert som årsaken til 8.2-eventet, er lav solaktivitet med paralleller til andre kjente kuldeperioder (Lal et al., 2007). 8.2-eventet er en av de mest kjente og studerte kuldeperiodene i Holocene periode, spesielt på den nordlige halvkule.

En annen kuldeperiode er også av interesse når man snakker om klimaoscillasjoner i tidlig Holocene. Det er 9.7-eventet, også kalt Erdalen *cold event*, omtalt i Nesje et al. (2006); Nesje et al. (1991) og første gang beskrevet pollenanalytisk av Paus et al. (2006).

I perioden før Erdalen event (9.7-eventet) opplevde man en periode med høy solaktivitet (Bakke et al., 2005; Björck et al., 2001), men kaldt overflatevann i Nord-Atlanteren reduserte varm/kald (termohaline) omrøringen i havet (Bakke et al., 2005; Chapman & Shackleton, 2000) Denne kombinasjonen av hendelser antas å være forløperen til Erdalen event (9.7-eventet) (Bakke et al., 2005). Dahl et al. (2002) definerer Erdalen-event med et markant fall i sommertemperatur. En fremgang i Nigardsbreen (Bakke et al., 2005; Dahl et al., 2002) har blitt observert for Erdalen-event, og er antatt å være en respons på lave sommertemperaturer (Dahl et al., 2002).

Det er stor interesse for å forstå og hindre den menneskeskapte klimakrisen vi er en del av i dag. 8.2-eventet ”punkterte” de tilstandene vi kjenner til etter yngre Dryas (YD) og tidlig Holocene. Hvis vi i mer detalj klarer å finne årsakene til og følgene av 8.2-eventet, så kan det gi oss verdifull informasjon om hva som kan skje med dagens klima (Alley & Ágústsdóttir, 2005). Den antatte 8.2-event nedkjølingen av Nord-Atlanteren (Barber et al., 1999) gir oss en unik innsikt i hva som kan skje hvis den globale oppvarmingen fortsetter å smelte isen rundt polene. Forskere antar at denne nedkjølingen vil være en god analog til framtidens klimaforandrings senarioer (Rasmussen et al., 2008). De klimatiske hendelsene i Holocene har riktignok ingen direkte analoger til i dag, og vi kan ikke vite hvor mye de påvirket etableringen av vegetasjon og den vegetasjonsutviklingen som fulgte (Paus, 2010).

Målsettingen for denne masteroppgaven er å få mer nøyaktig informasjon om 9.7-eventet og 8.2-eventet på Dovrefjell. Temperaturpåvirkning og vegetasjonsresponsen til 9.7-eventet kan ligne på det som skjedde under 8.2-eventet. Om det er noen korrelasjon mellom de to, skal sees nærmere på. Undersøkelsene er basert på pollenanalyser og statistiske analyser av pollenresultatene. Ved pollenanalyse forventer jeg å kunne tolke hvordan vegetasjonen forandret seg og hvorvidt eventene påvirket vegetasjonen på Dovre.

For å kunne oppnå ny og pålitelig informasjon om tidlig Holocene klima- og vegetasjonsendringer, er økotone forskningsområder med stor mulighet for å bli påvirket av klimaendringer ideelle (Paus, 2010; Smith, 1965). Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark har vist seg å være et slikt område (Paus, 2010; Paus et al., 2015; Paus et al., 2011), og Store Finnsjøen (1260 moh.) på Dovre antas å være en nøkkellokalitet med tanke på oppfangning av viktige klimavariasjoner. Pollenanalysene har blitt gjennomført med høy tidsoppløsning i de laminerte sedimentene. Resultater herfra kan derfor være viktig med tanke på validering og testing av klimamodeller (Braconnot et al., 2012; Macdonald et al., 2010; Paus & Haugland, 2016).

2 Undersøkelsesområdet

Miljødirektoratets begrunnelse for vern av Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark sier at:

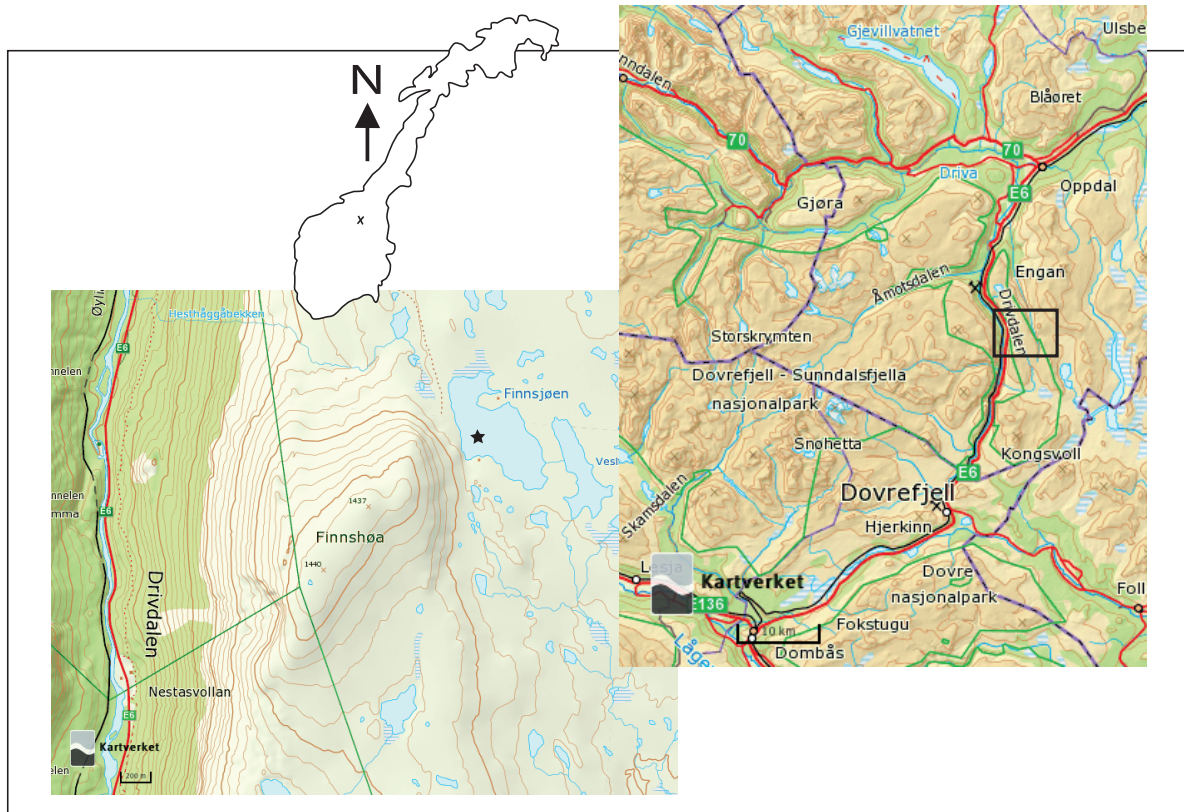
«Dovrefjell NP ble første gang vernet 21.06.1974. En del av høyfjellsplatået mellom Oppland og Sør-Trøndelag fylker. Steile fjell og harde grunnfjellsbergarter i vest. Mer avrundete fjell og kalkrik berggrunn i øst. Rikt planteliv, flere kravfulle og sjeldne arter. Reliktarter. Del av Europas siste tilnærmet intakte høyfjellsøkosystem med villrein, jerv og fjellrev i sameksistens. Moskus gjeninnført. Fjellområdet er et nasjonalt symbol. Med urørt fjellområde med villrein i et spesielt landskap» (Miljødirektoratet, 2016).

Faunaen til Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark har i flere år vært et viktig forskningsområde for rekonstruksjonen av tidligere klima og vegetasjonsutvikling etter den siste istiden (Miljødirektoratet, 2013).

På Dovrefjell finner vi Store Finnsjøen, en innsjø plassert mellom Drivdalen og Vinstradalen i Sør-Trøndelag (Fig. 2.1). Store Finnsjøen ligger på 1260 moh., nordøst for fjelltoppen Finnshøa som er en del av fjellryggen som skjermer for Drivdalen. Dovrefjell-Sunndalsfjella har et totalt landareal på 1692.9 km² (4367 km² inkludert tilgrensende verneområder) (Miljødirektoratet, 2016). Flere detaljer fra Store Finnsjøen er presentert i tabell 2.1 nedenfor.

Tabell 2.1 Egenskapene til Store Finnsjøen.

Innsjø	Høyde moh.	Geografisk posisjon	Bassengets str. (m) - areal (ha)	Max vann dybde (m)	Nedslagsfelt str. Inkl. basseng (ha)	Ant. innløp /utløp
Store Finnsjøen	1260	62 ^o 24'N, 9 ^o 41' E	800x 390 – 23.7	14.7	69	1 – 1



Figur 2.1 Kart over undersøkesområdet. Målestokk på 1:20 000 cm kart til venstre. 1: 1 000 000 cm til høyre (Norgeskart, 2016).

2.1 Topografi og geologi

Områdene rundt Store Finnsjøen og Drivdalen karakteriseres av en variert topografi. Fra store områder dekket av høye platåfjell og dype daler, til våtmark og frodig lyngmark (Fig. 2.1) (Miljødirektoratet, 2013). Nærområdet til Store Finnsjøen utgjør i dag et åpent fjellandskap på en vidde som ligger i lavalpin mot mellomalpin sone (Paus et al., 2015). Berggrunnen i Store Finnsjøen-området består hovedsakelig av fyllitt, med gabbro markert i to langstrakte soner, der en av dem går over ca. $\frac{1}{4}$ av Store Finnsjøen. Berggrunnskart hentet fra NGU (2016) om Store Finnsjøen viser en grønnaktig størkningsbergart som inneholder feltspat og hornblende amfibolitt (Paus et al., 2015; Sollid et al., 1980). På fjellryggen er det en blanding av kontinuerlige og diskontinuerlige *till*-dekke (usortert isbre-sedimenter) sammen med rognemorener som er plassert øst for fjellryggen og tilstøtende Store Finnsjøen (Paus et al., 2015; Sollid et al., 1980).

2.2 Istid og issmelting av Dovre

Avisingen i Norge kan bli delt inn i tre stadier (Mangerud et al., 2011). Den første perioden startet når isen dro seg tilbake fra sin maksimale posisjon og varte til starten på Yngre Dryas (YD) kuldeperiode. Kontinentalsokkelen og enkelte deler av kysten ble aviset i denne første perioden, da isen generelt ble tynnere (Mangerud et al., 2011). Periode to bestod av en YD klimaforverring da isen gjorde framstøt i noen områder, mens den i andre områder oscillerte fram og tilbake. Ifølge Reite (1994) gjorde isen tilbaketrekninger i løpet av YD. Den tredje fasen er i den tidlige Holocene perioden. Her forsvant isen i løpet av 1000-1500 år, avhengig av området (Mangerud et al., 2011).

Avisingen i sentrale deler av Norge har vært svært omdiskutert (Paus et al., 2015). Det står mellom den maksimale ismodellen som fokuserer på et tykt isdekke over hele Sør-Norge fram til tidlig Holocene, i motsetning til den minimale ismodellen som involverer et tynnere og mer varierende isdekke. I den minimale ismodellen antas det at avisingen foregikk i den senglasielle perioden før YD (Bøe et al., 2007; Dahl et al., 1997; 2015; 2011; Paus et al., 2006). På grunn av manglende sikkerhet i radiokarbondateringene i ulike prosjekter har man ikke kunne enes om noen konklusjon (Paus et al., 2015).

2.3 Klima

Klimaet på Dovre preges av relativt lange, værharde vintre, og korte, kjølige somre.

Planter funnet i alpine økosystemer på Dovre er ansett å være spesielt følsomme for klimapåvirkninger ettersom de har kort vekstsesong og er tilpasset relativt lave temperaturer (Holten et al., 2009; Miljødirektoratet, 2013). For Dovrefjell er klimatiske data tilgjengelig fra to meteorologiske stasjoner; Kongsvoll Fjellstue (930 moh.; Tab- 2.2) og Fokstugu (972 moh.; Tab. 2.3). Kongsvoll Fjellstue ligger i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag fylke, ca. 10 km sør-sørvest for Store Finnsjøen. Fokstugu ligger plassert i Dovre kommune i Oppland fylke, ca. 40 km sørvest for Store Finnsjøen. Den regionale (kontinentale) gjennomsnittstemperaturen for Store Finnsjøen og omegn er $9,7^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ for juli og $-9^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ for januar. Nedbør er ca. 440 mm i året (DNMI, 2016).

Tabell 2.2 Temperatur - Månednormaler fra Kongsvoll og Fokstugu, Middeltemperatur (1961-1990) (DNMI, 2016)

Mnd	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
Kongsvoll	-9.4	-8.4	-6.4	-2.6	4.0	8.2	9.6	8.8	4.4	0.7	-5.4	-7.8	-0.4
Fokstugu	-8.8	-8.2	-6.0	-2.4	4.0	8.5	9.8	9.0	4.6	0.9	-4.7	-7.3	-0.1

Tabell 2.3 Nedbør - Månednormaler fra Kongsvoll og Fokstugu, Middeltemperatur (1961-1990) (DNMI, 2016)

Mnd	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
Kongsvoll	28	21	22	17	27	52	68	60	48	40	34	33	450
Fokstugu	28	24	23	14	26	54	68	58	42	39	29	30	435

2.4 Dagens vegetasjon

Den naturlige klimatiske tregrensen følger vanligvis 6.7 ± 0.8 °C i gjennomsnittlig vekstsesonstemperatur uavhengig av breddegrad (Körner, 2005; Körner & Paulsen, 2004). Temperaturgrensen gjelder ikke bare for trær, men også for kuldetilpassete planter generelt. Trær blir først påvirket grunnet sin høyde som gjør dem eksponert for kald luft (Körner, 2005). Planter som er lavtvoksende unnslipper mye av den kalde luften siden de oppnår ly fra trær og busker og kan vokse selv om det ikke er like gunstige temperaturer i luften (Körner, 2005). På Dovre ligger skoggrensen til furu (*Pinus*) på ca. 850 moh., mens bjørkeskogen (*Betula*) strekker seg opp til ca. 900 - 1030 moh. avhengig av terreng og eksposisjon (Paus, 2010). Lavalpin sone med lavtvoksende vegetasjon dominert av dvergbusk tundra med *Empetrum nigrum*, *Vaccinium spp.*, og *Betula nana* ligger på fjellryggen nær Store Finnsjøen. Man finner også mer kalkkrevende planter som *Artemisia norvegica*, *Campanula uniflora*, *Dryas octopetala* og *Salix polaris* i denne lavalpine sonen. I mer vindbeskyttende områder finner man også busker av *Juniperus communis* og *Salix spp.* (Paus et al., 2015).

Ved en endring til kaldere klima vil jordsmonnet tape seg i kvalitet, jordsmonnet vil bli surere og man vil kunne få lavere artsdiversitet (Körner, 2005). Alpine planter er små i størrelse av fysiologiske årsaker, men skulle det bli en høy temperaturstigning, vil flere av de alpine plantene dø i løpet av noen uker. Dette vil skje siden de ikke tåler varme og ikke klarer å skru ned sin respiratoriske metabolisme (Körner, 2005).

3 Metode

3.1 Feltarbeid

Innhenting av sedimentkjernen fra Store Finnsjøen ble utført av Aage Paus vinteren 2012 (15.03.2012) ved bruk av 110 mm Nesje-prøvetaker (Nesje, 1992). Sedimentkjernen ble hentet vest i vannet, nær fjelltoppen Finnshø, på 14-15m dyp der bunnen hadde en nedsynkning på 60-70 m i diameter. Utenfor nedsynkningen er ikke innsjøen dypere enn 6-8 m (Paus et al., 2015). Sedimentkjernen ble dekket med plastfolie og lagt på kjølerom ved 4 °C etter innhenting. Lokaliteten har blitt beskrevet av Paus et al. (2015) der litostratigrafien fra senglasiolen til ca. 9900 år BP er beskrevet. AMS (accelerator mass spectrometry)-dateringer forelå av veileder, Aage Paus før masteroppgaven ble påbegynt. Kjernen har blitt brukt i andre studier i tillegg til denne masteroppgaven.

3.2 Laboratoriearbeid

Laboratoriearbeid ble utført i juni og august 2016.

3.2.1 Uttak av pollenprøver og preparering

Til pollenanalysene ble 1 cm³ store prøver hentet ut, etter at sedimentkjernen ble skrapet ren med kniv i overflateretningen til sedimentene (for ikke å blande sedimenter). Prøvene ble tatt ut med en pollenprøveuttaker og lagt i beholder og oppbevart på kjølerom ved 4 °C før preparering. Prøvetakeren ble vasket mellom hver uthenting for å forhindre forurensing av prøvene. Pollenprøvene ble tatt ut hver fjerde cm, fra 1900-1910 cm og 1920-2006 cm, og hver andre cm fra 1893-1900 cm og 1910-1920 cm, samt hver cm mellom 1980-1984 cm. Prøvene ble preparert etter standard metode der prøvene behandles med kaliumhydroksid (KOH), flussyre (HF) og acetolyse (Fægri & Iversen, 1989). To tabletter med *Lycopodium*-sporer ble tilsatt hver prøve for å kunne beregne pollenkonsentrasjonen- og influx (Stockmarr, 1971). Til slutt ble prøvene tilsatt fargestoffet fuchsin og de preparerte prøvene ble overført til autoanalysebeholder, tilsatt glyserol, og varmet over natten for å fjerne vann.

3.2.2 Pollenanalyse og pollenidentifikasjon

Til analysering ble et ZEISS Aksioskop 2 (HAL 100) mikroskop med fasekontrastobjektiver (Planapo 63/1.4 Ph3 og 40/1.6 Ph3) og Zeiss 8x okularer benyttet. For undersøkelser med høyere forstørrelser ble Neofluar 100/1.3 Ph3 objektiv benyttet. Pollenmaterialet ble jevnt fordelt på et objektglass før et dekkglass ble lagt over. Ved denne metoden forhindrer man feilkilder med sortering og ujevn fordeling under dekkglasset på grunn av størrelsesvariasjon på pollenkornene. Hele eller halve prøven ble analysert ved standardisert telle-mønster alt etter hvor mye pollen prøven inneholdt. Det ble talt 500-1000 pollenkorn per prøve.

Ved identifisering av pollenkorn er bestemmelsesnøkkelen i Fægri og Iversen (1989) og Moore et al. (1991) benyttet. I tillegg er referansesamlingen ved Biodiversitetslaboratoriet Universitetet i Bergen benyttet.

Pollenkorn som ikke er gjenkjennelige grunnet skader eller korrosjon, har blitt plassert i gruppen ”uidentifisert”. Ukjente, men godt oppbevarte pollenkorn har blitt plassert i uidentifisert ukjente”. Alle uidentifiserte pollenkorn har blitt ekskludert fra pollensummen.

3.2.3 Datering

Dateringer ble tatt ut av borkjernen før jeg begynte på masterstudiet, og disse ¹⁴C-dateringene er blitt benyttet i mitt pollendiagram. Det ble tatt 7 prøver til datering fra dybde 1880 cm til 2010 cm som er datert av Laboratoriet for Radiologisk Datering i Trondheim eller ETH i Zürich, Sveits. Dateringene er kalibrert etter Stuiver et al. (2015). Terrestrisk materiale til AMS-datering ble plukket ut for hånd etter at sedimentene ble silt med maskevidde 2.00 mm, 500 µm og 250 µm. Prøvene ble oppbevart i lystette beholdere til de ble analysert.

3.3 Pollen prosentdiagram

De vanligste pollentypene som *Pinus*, *Betula*, *Juniperus*, *Poaceae* og *Corylus*, samt algene *Botryococcus* og *Pediastrum* ble notert ned på et egendesignet telleark i programmet ”pages”

på Macbook Air. Pollentyper som var mindre vanlige (lav/sjelden forekomst) ble registrert på telleark for hånd. Pollenprøvene ble overført fra tellearkene til dataprogrammet Core Graphics 2.0 (Kaland & Natvik, 1993). Core-programmet omgjør de analytiske dataene til pollendiagram.

Pollensummen ($\sum P$) representerer summen av talte terrestriske pollenkorner for hvert nivå i diagrammet, ekskludert uidentifiserte pollenkorner og alger/vannplanter/sporer. Prosentene i pollendiagrammet representerer verdien hver enkelt art har i forhold til den totale pollensummen. Prosentandelen av pollen- og sporetyper som er satt utenfor pollensummen er beregnet ved $(X/(\sum P+X)) * 100$ der X er pollen- eller sporetypen utenfor $\sum P$ som blir beregnet.

3.3.1 Influx- og konsentrasjonsdiagrammer

Ved å tilsette *Lycopodium*-tabletter med kjent antall sporer til prøvene før preparering, kan man kalkulere pollenkonsentrasjon- og influx (Stockmarr, 1971). Når man har datert en sekvens, kan man beregne sedimentasjonshastigheten for denne sekvensen og derved kalkulere influxverdiene. Polleninflux (også kalt pollen accumulation rate (PAR)) er pollenkonsentrasjonen (pollen/cm³) multiplisert med sedimentasjonshastigheten (cm per år). Influx blir betegnet som antall pollenkorner avsatt per cm² per år (Fægri & Iversen, 1989). Den viktigste feilkilden med henhold til influxberegninger er unøyaktig dateringer.

3.4 Numeriske analyser

Numeriske analyser er brukt for å kunne identifisere hovedmønstrene i datasettet. Ingen miljøvariabler ble målt i denne oppgaven. Det er derfor bare brukt indirekte gradientanalyse (ter Braak & Prentice, 1988). I en indirekte gradientanalyse, er responser eller observasjoner fordelt langs akser som representerer ukjente gradienter. Både PCA (principal components analysis) og DCA (detrended correspondence analysis) er indirekte ordinasjonsmetoder. Ved liten variasjon i arts-dataene vil gradienten bli kort (<2 SD) og man kan benytte den lineære PCA metoden. Ved store variasjoner oppnår man lang gradient (>2 SD), da benyttes DCA og CA (correspondance analysis) (ter Braak & Prentice, 1988). Resultatene tolkes økologisk etter hvordan fordelingen av pollentaxa forekommer i plottene. Variasjoner angis i antall standardavvik (Standard deviation (SD) units). Det er brukt standardoppsett i analysen(e), med unntak av kvadratrottransformasjon (square root transformation). Kvadratrottransformasjon ble benyttet for å redusere effekten av høy prosent i noen få pollentyper. Egenverdier (Eigenvalues), λ , viser den maksimale arts-scoren (species score) på ordinasjonsaksen, og er et mål på aksens viktighet. Hvis $\lambda > 0.5$, viser det en god spredning av artene langs aksene (Jongman et al., 1995).

Dataene ble transformert i programmet TRAN ver 1.7 (Juggins, 1993) før ordinasjoner ble kjørt i CANOCO ver 3.12 (ter Braak, 1991). Ordinasjon kan brukes til å understreke/bidra med tolkning av pollendiagrammet, som taxasammensetning og plassering av økologiske variabler. Kun terrestriske arter ble brukt i ordinasjonene.

Kun første og andre akse er vist i plottene og det er disse som forklarer det meste av variasjonene i datasettet. Egenverdiene for akse 1 er 0.483 *med Pinus*, 0.291 *uten Pinus*, for akse 2 er 0.161 *med Pinus*, 0.107 *uten Pinus*.

Ordinasjon beskriver spektra på grunnlag av artssammensetningen og ordner dem etter en gradient. Ordinasjonsresultatene ble illustrert i CanoDraw 3.0 (Šmilauer, 1994).

3.5 Biodiversitetsanalyse (rarefaction analysis)

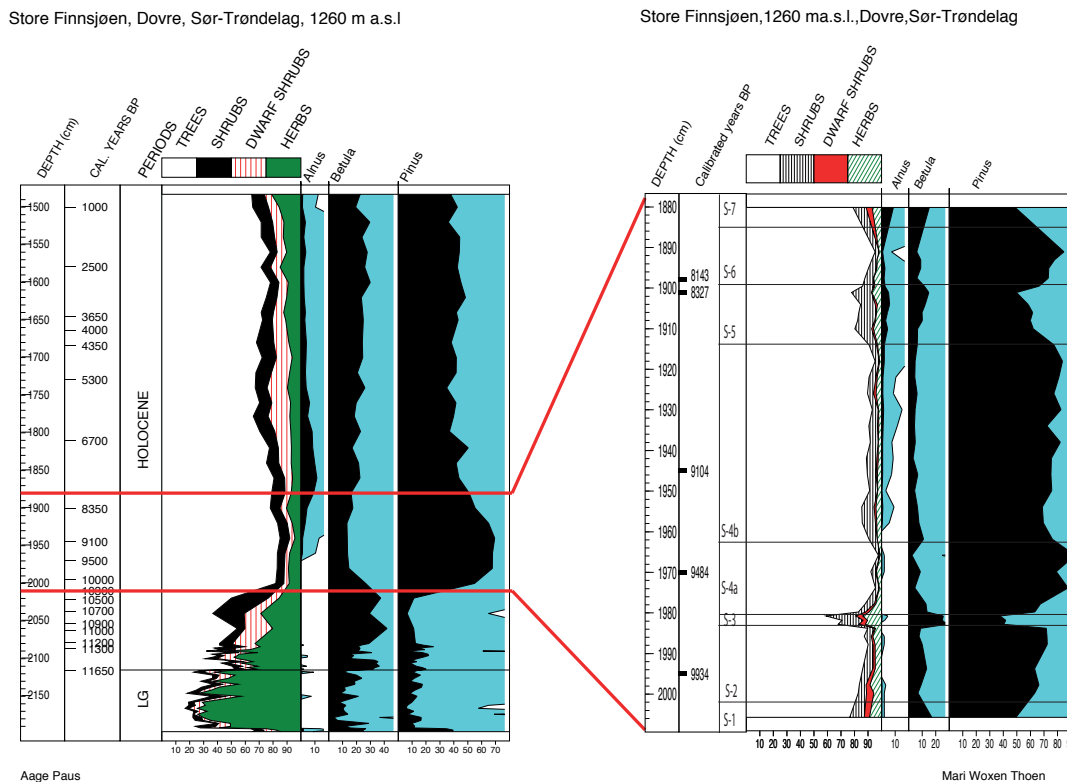
Biodiversitetsanalyse er en numerisk metode for å sammenligne palynologiske mangfold mellom prøver innenfor én enkelt stratigrafisk sekvens eller mellom flere sekvenser (Birks & Line, 1992b). Den forventede biodiversiteten ($E(S_n)$) for en prøve med størrelse n , er avhengig av både antallet og forholdet mellom antall taxa og mengden av hver taxa i prøvene. Ved stor n , er det kun rarefaction rikhet som er objektiv, men som tar hensyn til sjeldne arter (Birks & Line, 1992b). I uttrykket ($E(S_n)$), er n det antallet individer tatt fra en gruppe N individer som inneholder S arter. En forandring i ($E(S_n)$), som for eksempel høy biodiversitet, kan indikere en forstyrrelse eller en ikke stabil vegetasjonstype i landskapet (Seppä, 1998).

Maksimalt mangfold oppnås ved middels grad av forstyrrelse (Grime, 1973; Odgaard, 1994). Ustabil vegetasjon vil ofte indikere høyt artsmangfold så lenge forstyrrelsene ikke er for alvorlige. En lav influxverdi sammen med lavt artsmangfold kan indikere betydelige miljøforandringer/tilstander (Seppä, 1998). Akvatiske arter og langtransporterte arter ble fjernet fra Store Finnsjøen kalkuleringene. Fokuset var på regional og lokal vegetasjon.

Kalkuleringene ble utført av veileder Aage Paus, ved bruk av RAREPOLL 1.0 (Birks & Line, 1992a) der basis for estimatene er $n=535$.

4 Resultat

Figur 4.1 presenterer fokusperioden for masteroppgaven. Studien omfatter *Pinus*-maksimum i den Holocene perioden, og er utført med høy tidsoppløsning i sedimenter fra Store Finnsjøen.



Figur 4.1 Fokusområdet til masteroppgaven. Hentet fra originalt pollendiagram til Store Finnsjøen (Paus, upublisert). Området innenfor røde merker beskriver høyoppløsningsanalysen.

4.1 Litostratigrafi

Litostratigrafien fra Store Finnsjøen er presentert i tabell 4.1. Som vist i tabell 4.1 er kjernen tydelig laminert. Det er uvisst om lamineringen reflekterer års-varv. Dybdene refererer til det intervallet av kjernen som er presentert og pollenanalysert (Fig. 4.1). De nederste lagene 5 og 4 (Tab. 4.1) av kjernen inneholder i hovedsak silt og gyttje. Lag 5 har tydelige lamineringer med silt og makrorester på 1987.5 cm og 1984 cm. Ifølge dateringer finnes 9.7-eventet mellom nederste del av lag 4 og øverste del av lag 5 som et gråbrunt lag. Lag 4 inneholder mindre organisk materiale enn ved lavere lag. Lag 3 består i hovedsak av gyttje, men med lamineringer av silt- og makrorester, spesifisert i tabell 4.1. Lag 2 utgjør et 3 cm mørkere siltlag med betydelige innslag av makrorester. Ifølge dateringer representerer dette laget 8.2-

eventet. Lag 1 består av laminert gyttje, men lamineringene blir svakere lenger opp i kjernen. En tydelig laminering fremstår ved 1893 cm (makrofossiler). Det er mye sedimenter avsatt på kort tid, så sedimentfokusering har nok foregått (Davis et al., 1984).

Tabell 4.1 Litostratigrafi-beskrivelse av Store Finnsjøen sedimentene, prøve tatt mars 2012. Beskrivelsen er gjort av Aage Paus og følger Troels-Smith (1955).

Lag Nr.	Dybde (cm)	Beskrivelse (Troels-Smith, 1955)	Farge	Kommentarer
1	1865-1898	Ld ³ 4, As+, Dh+, Tb+	Brun (nig 3-)	Laminert gyttje, svakere laminering i øvre del, med gradvis overgang til laget over. Tydelig laminering ved; 1893 cm (makro),
2	1898-1901	Ld ⁴ 2+, Dh1, As1-	Mørk brun (nig 3+)	Mørk brunt silt makrolag, glimmerglinsende
3	1901-1978	Ld ³ 4, As+, Tb+, Dh+	Brun/gråbrun (nig 3)	Laminert gyttje. Tydelige lamina ved; 1971.5 cm (silt), 1963 cm (makro), 1960.5 cm (silt), 1957.5 cm (silt), 1929.5 cm (silt), 1922.5 cm (makro), 1921.5 cm (silt), 1911 cm (makro), 1904.5 cm (sandlinse)
4	1978-1983	Ld ³ 3, Ag1	Gråbrun (nig 3-)	Gråbrun silt og gyttje
5	1983-2015	Ld ³ 4, As+, Dh+, Tb+	Mørk brun (nig 3)	Laminert silt og gyttje med noe makro rester. Tydelig lamina ved; 1998 cm (silt), 1996 cm (makro+silt), 1987.5 cm (silt), 1984.5 cm (makro)

4.2 Dateringer

Tabell 4.2. viser AMS-dateringene fra Store Finnsjøen.

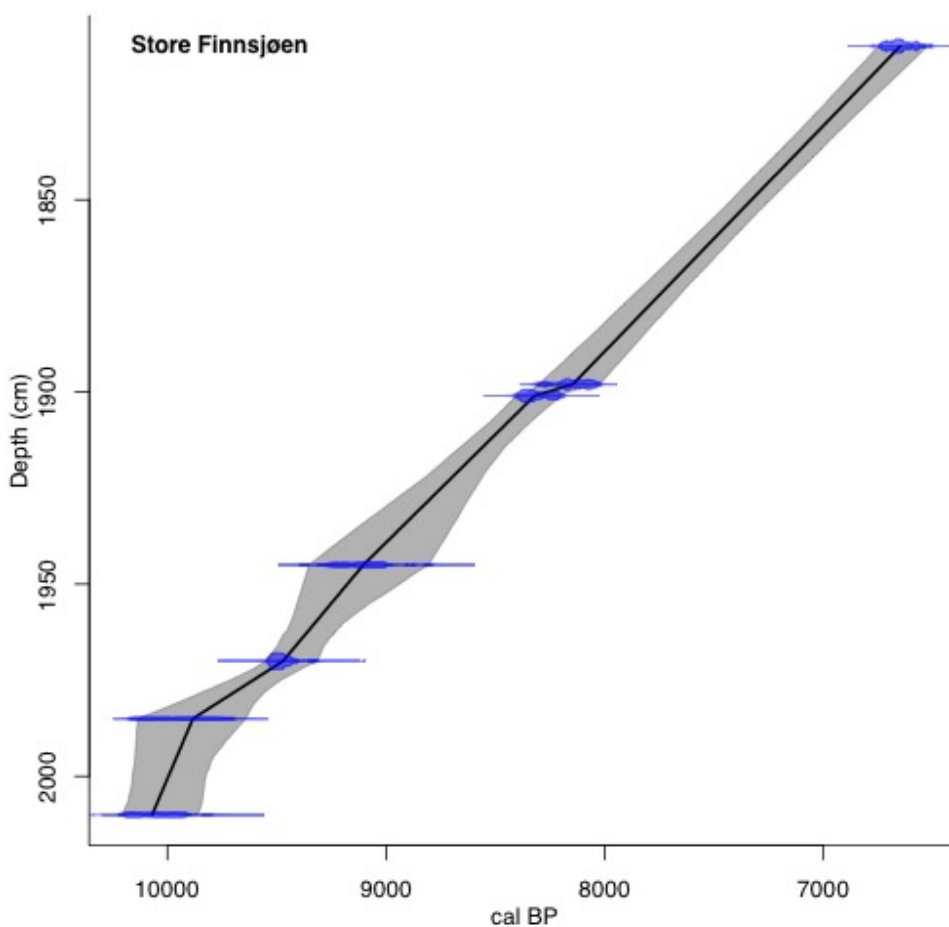
Tabell 4.2 Dateringer fra Store Finnsjøen. Laboratoriets referanseforkortelse «TRa» står for «Trondheim, Laboratoriet for radiologisk datering». På materiale av terrestrisk plantemakrofossiler, derav én landbille, merket med *.

Lag Nr.	Lab. Ref.	Dybde (cm)	¹⁴ C alder BP	δ ¹³ C ‰	Kalender år cal BP	Gjennomsnittlig cal BP
1	TRa-4463	1810	5840±45	-25.2	6650±65	6655
2	TRa-4464	1898	7340±55	-28.3	8156±85	8143
3	TRa-4465	1901	7510±60	-26.9	8308±70	8327
3	TRa-4466*	1945	8145±80	-24.7	9127±107	9104
3	TRa-4467	1970	8475±70	-26.4	9480±45	9484
5	TRa-4468	1995	8845±70	-27.0	9944±160	9934
5	TRa-4469	2010	8925±65	-26.4	10049±113	10037

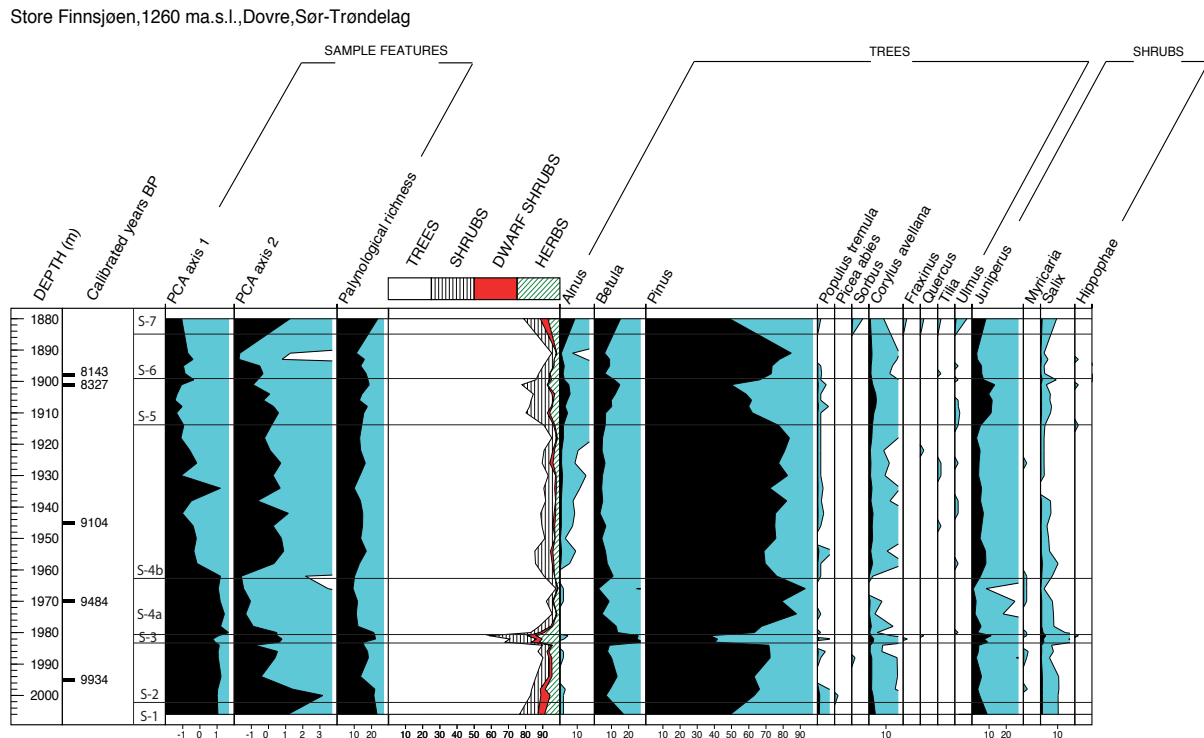
Radiokarbondateringer inneholder flere feilkilder (Björck et al., 1998; Fægri & Iversen, 1989; Olsson, 1979; 1986; Wohlfarth et al., 1998). Fra Store Finnsjøen er hovedsakelig terrestriske plantemakrofossiler datert. De terrestriske plantematerialene ble hentet ut for hånd, rensset og tørket rett etter siling slik at soppvekst på makrorestene ble forhindret (Wohlfarth et al., 1998). Dermed er flere feilkilder unngått.

4.3 Sedimentasjonshastighet og influx

Sedimentasjonshastigheten (Fig. 4.2) er basert på dateringer fra tabell 4.2. Lag 1 (TRa-4463), 2 (TRa-4464), 3 (TRa-4465, TRa-4466 og TRa-4467) og 5 (TRa-4468 og TRa-4469) fra Store Finnsjøen. Ingen dateringer var tilgjengelig fra lag 4, derfor vil sedimentasjonshastigheten for dette laget kun bli et anslag. Sedimentasjonshastigheten er kalkulert ved å bruke dybden og alderen funnet i tabell 4.2. Sedimentasjonshastigheten er brukt for å kalkulere influx.



Figur 4.2 Sedimentasjonshastigheten, med grafisk framstilling av alder versus dybde ved Store Finnsjøen. Linjen er trukket for å vise trenden. Grått illustrerer feilmarginen. Sedimentasjonshastigheten er regnet ut ved hjelp av CLAM-pakken i R (Blaauw, 2010).



Figur 4.3 Store Finnsjøen, prosent-pollendiagram. Inkludert dateringer, pollenarter, PCA akser og biodiversitets (PR)estimat ($E(T_{535})$). Prosent er representert av de svarte kurvene (til venstre). Skyggelagt område (blå) er 10x forstørrelse av skalaen.

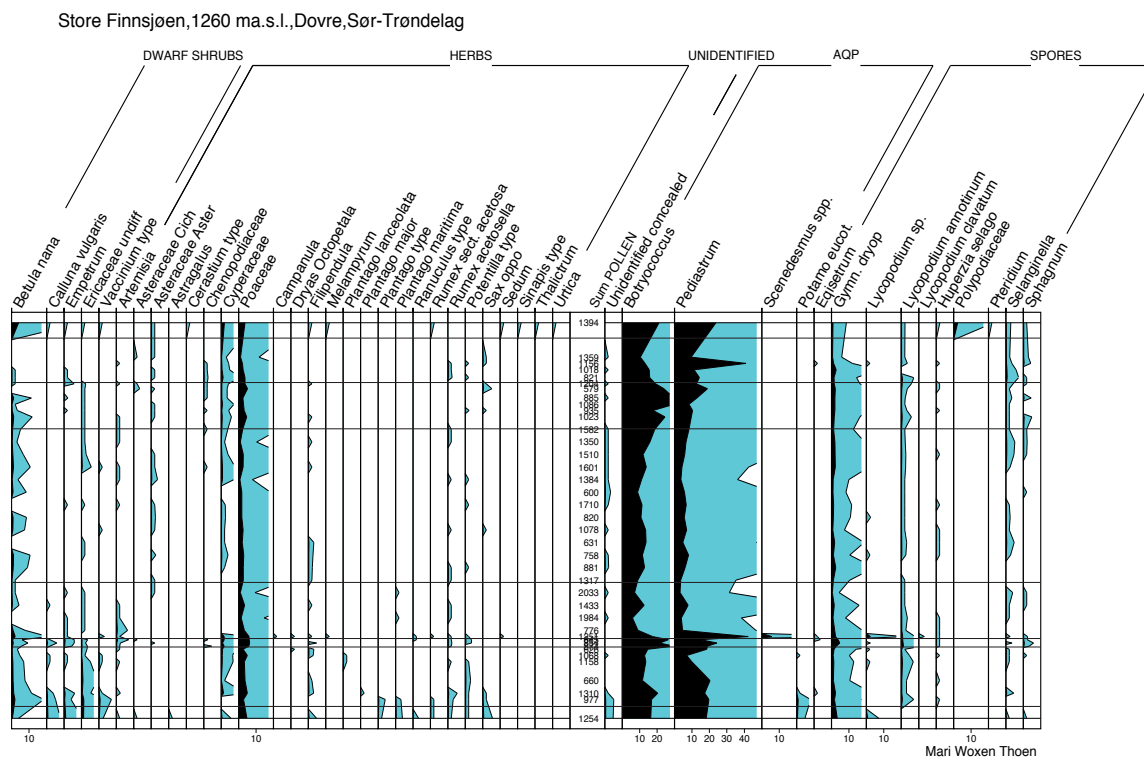
Sedimentasjonshastigheten (Fig. 4.2) ser ut til å være relativt jevn over hele spekteret, men framtrer noe raskere mellom 1995 – 2010 cm. Alle dateringene (Tab. 4.2) tatt i denne kjernen, er med for å beregne sedimentasjonshastigheten. Den gjennomsnittlige sedimentasjonshastigheten er utregnet til 16.7 år per centimeter, hvilket er meget raskt.

4.4 Pollendiagram

Figur 4.3 presenterer pollen prosentdiagram for Store Finnsjøen. Figur 4.4 presenterer Influx og konsentrasjonsdiagram for utvalgte arter.

4.4.1 Sonering og sonebeskrivelse

Totalt 47 terrestriske pollentypene ble identifisert i 39 analyserte spektre fra Store Finnsjøen (Fig. 4.3). Dette resultatet dekker perioden 7500 – 10 100 år før nåtid.

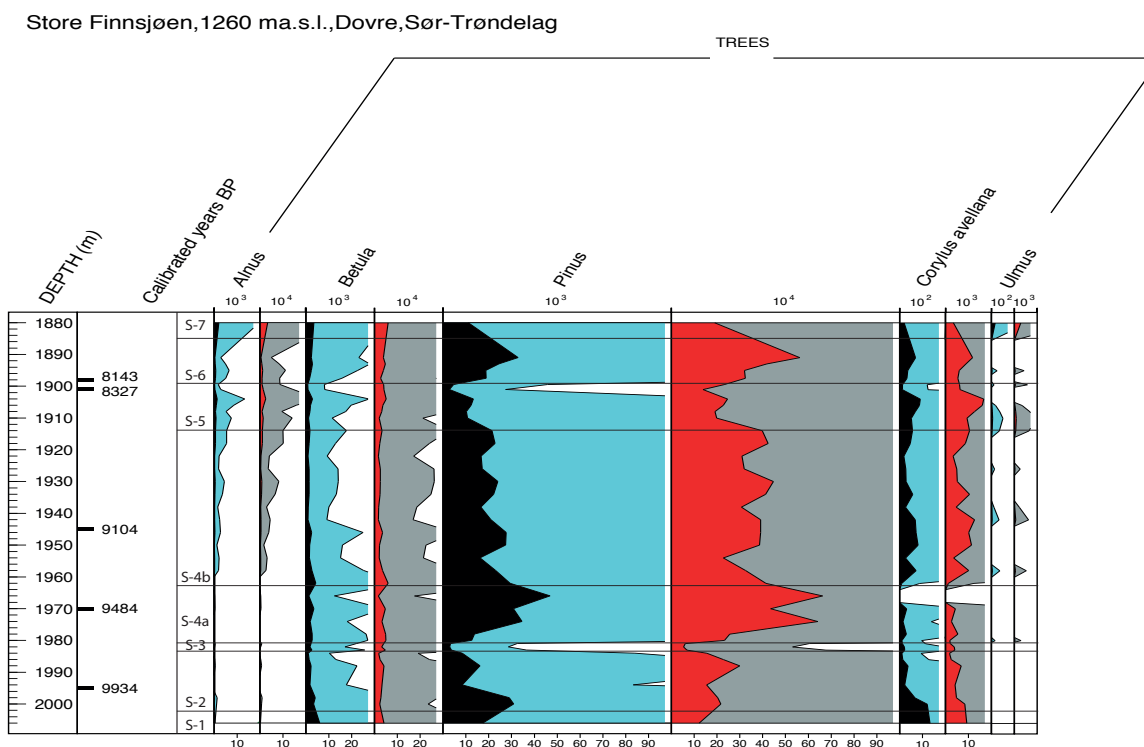


Figur 4.3 (Fortsetter).

Pollendiagrammet ble delt inn i 7 hovedsoner og 2 undersoner. Sonene ble delt inn subjektivt av veileder og masterstudent (Fig. 4.3 og 4.4) og sonene er navnsatt etter de pollen taxa som har karakteristisk opptreden i sonene. I en grovere sammenheng, for eksempel ved rekonstruksjon av vegetasjonen fra hele etteristiden, hadde diagrammet tilhørt kun én pollensone (Fig. 4.1), men i denne detaljstudien er det hensiktsmessig å sonere furusonen ytterligere. En beskrivelse av de ulike sonene følger under. For flere detaljer, se prosent-, konsentrasjon-, og influxdiagrammene (Fig. 4.3 og 4.4).

Sone 1: *Pinus-Ericaceae* (pollen assemblage zone, p.a.z)

Sonen illustrerer starten på *Pinus*-maksimum. Her trekker *Betula*, *Juniperus*, *Corylus* og *Poaceae* seg tilbake når *Pinus* gjør sitt framskritt (Fig. 4.1). *Populus* er godt representert i sone 1 og i overgang til sone 2. Dvergbuskene *Calluna*, *Empetrum* og *Betula nana* har også en liten økning, som strekker seg over til sone 2. Influxdiagrammet og konsentrasjonsdiagrammet viser samme trend for pollentypene som prosentdiagrammet. I influxdiagrammet har *Corylus* sin maksimumverdi (ca. 1110 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) før tilbaketrekkingen skjer og *Pinus* tar over.



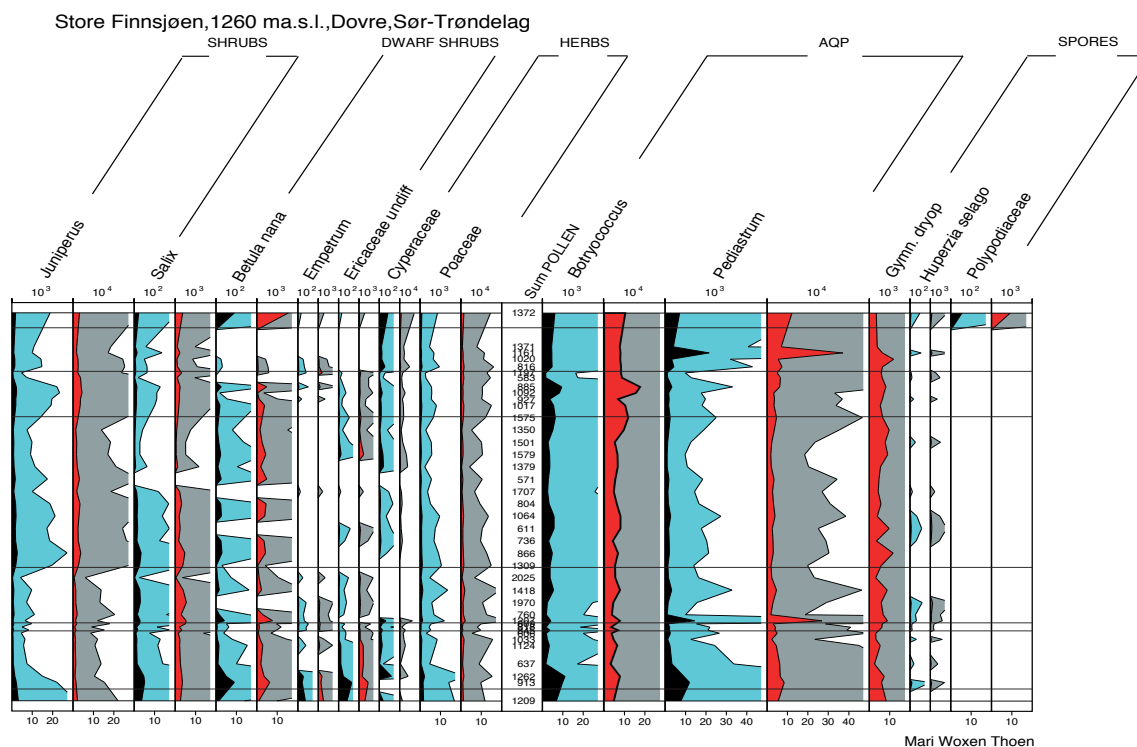
Figur 4.4 Store Finnsjøen, influx- og konsentrasjons-diagram, inkludert dateringer og pollensoner. Influx er vist i de svart/blå kurvene. Konsentrasjonskurvene er farget rød/grå. Det er de svarte/røde kurvene som viser de faktiske verdiene, mens de blå/grå kurvene er verdiene ganget med 10.

Sone 2: Pinus-Betula-Juniperus p.a.z

I denne sonen har *Betula* en liten økning midt i sonen samtidig som en svak økning i *Betula nana* kan observeres. *Empetrum* viser samme trend. Den øvre sonegrensen er plassert der *Betula* og *Juniperus* har kraftige oppganger mens *Pinus* faller fra 80 til 40 %. *Poaceae* har en relativ jevn kurve i hele sonen, med små økninger i begynnelsen og på slutten. Av de andre buskene er *Salix* jevnt representert. For *Juniperus* og *Salix* viser influxdiagrammet at de er best representert i første del av sonen. Dette gjelder også *Betula* som har en jevn influxnedgang gjennom sonen. Urtene viser lav representasjon i både prosent og absolutte verdier.

Sone 3: Betula-Juniperus-Poaceae p.a.z,

Denne sonen kjennetegnes av svært lave verdier av *Pinus*. *Pinus* har sin minimumsverdi i sone 3 ned mot 35 %. På samme tid øker *Betula*, *Juniperus*, *Corylus*, *Salix*, *Betula nana* og *Poaceae* merkbart. *Betula* har sin maksimumsverdi opp mot 30 %. *Poaceae* oppnår også sin



Figur 4.4 (Fortsetter).

maksimalverdi på ca. 10 %. Dvergbuskene *Calluna*, *Empetrum* og urtene *Artemisia* og *Cyperaceae* har karakteristisk representasjon i sonen. Algene *Pediastrum* og *Botryococcus* har også sitt maksimale toppunkt i sone 3: *Pediastrum* på 30 % og *Botryococcus* på 40 %. I influxdiagrammet er trenden det samme som prosentdiagrammet, men utslagene med hensyn til *Betula* og *Juniperus* er langt fra like store. Konsentrasjonsdiagrammet viser samme tendens som influx i sone 3.

Sone 4: *Pinus-Juniperus* p.a.z. Delt inn i to undersoner, a og b.

Sone 4a: *Pinus-Juniperus-Salix* p.a.z

Mot overgangen til sone 4 stiger *Pinus* brått, med et maksimum over 90 % nås. På samme tid begynner nedgangen til *Betula*, *Juniperus*, *Salix*, *Betula nana* og *Poaceae*. *Poaceae* har jevne verdier, noe lavere enn i forrige sone, mens *Juniperus* og *Betula* når sine laveste verdier i sonen med under 5 %. Få urter er representert i denne sonen, mens dvergbusker forekommer. Men *Empetrum* og *Salix* viser en nedgang. Parallelle opp- og nedganger i pollentaxa vises i konsentrasjons- og influxdiagrammet.

Sone 4b: *Pinus – Juniperus - Alnus*-p.a.z

Pinus har sammenhengende høye verdier mellom 70 og 80 % gjennom hele perioden. Jevn representasjon har også *Betula*, *Juniperus*, *Populus tremula*, *Betula nana* *Corylus* og *Poaceae*. Det samme gjelder for algene *Botryococcus* og *Pediastrum*. *Alnus* har en liten økning gjennom hele sonen. Sporadisk er urter som *Asteraceae sect. Cichorium*, *Cyperaceae*, *Filipendula* og *Rumex acetosella* tilstede.

Sone 5: *Betula-Juniperus-Corylus* p.a.z

Sonen starter med en markant nedgang i *Pinus*, samtidig som *Alnus*, *Betula* og *Juniperus* øker. Andre busker, dvergbusker og urter som *Corylus*, *Betula nana*, og *Poaceae* har også en økning. *Botryococcus* og *Pediastrum* viser også en bestemt økning i sone 5. *Alnus* når sitt maksimum på 10 %. *Pinus* når et minimum mot slutten av sonen. I samme området er de tydeligste økningene til buskene og urtene nevnt ovenfor. Influxdiagrammet viser tydelig samme trend for *Pinus* med nedgang samtidig som *Betula*, *Corylus* og *Juniperus* har en økning. Økningen i *Corylus* og *Poaceae* er mye mer tydelig enn for *Betula* og *Juniperus*. *Chenopodiaceae* kommer tydeligere fram her enn tidligere. Konsentrasjonsdiagrammet markerer samme trend for *Pinus* med minimum.

Sone 6: *Pinus-Cyperaceae* p.a.z

En ny rask økning av *Pinus* karakteriserer denne sonen, der et maksimum på 80 % nås midt i sonen. *Betula* viser en liten oppgang etter nedgangen fra sone 5 til sone 6. *Alnus* og *Juniperus* trekker seg tydelig tilbake. *Alnus* går fra 10 % til 2 %. *Betula nana* er helt borte i sone 6, mens *Corylus* holder seg stabil. Urter som blant andre *Asteraceae sect. Aster* og *Rumex acetosella* er fortsatt sporadisk tilstede. *Botryococcus* har en tydelig nedgang midt i sonen, mens *Pediastrum* har en rask økning og når et kortvarig maksimum på over 40 %. Verdiene i konsentrasjons- og influxdiagrammet viser stort sett de samme trendene som i prosentdiagrammet. Unntaket er *Corylus*, som viser en større framgang i konsentrasjons- og influxdiagrammet enn det prosentdiagrammet viser.

Sone 7: *Alnus-Betula nana-Polypodiaceae* p.a.z

Alnus, *Betula*, *Juniperus*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Polypodaceae* og algene *Botryococcus* og *Pediastrum* viser tydelig økning i sone 7. *Pinus* har en klar nedgang. For første gang viser *Quercus*, *Tilia* og *Ulmus* tydelig økninger. *Betula nana* er også tilbake i diagrammet. Det er ikke like tydelige økninger i konsentrasjons- og influxdiagrammet for *Alnus*, *Betula*,

Juniperus, *Poaceae* og *Cyperaceae*. mens *Betula nana* har en mer merkbar økning i konsentrasjons- og influxdiagrammet. *Corylus* og *Pinus* viser en tilbakegang også i konsentrasjons- og influxdiagrammet.

4.5 Makrofossiler

Makrofossiler fra kjerne F4B (Store Finnsjøen) er datert (Tab. 4.2) og identifisert til slekt eller artsnivå (Tab. 4.3). Makrofossilene indikerer lokal tilstedeværelse (Paus, 2010; Paus & Haugland, 2016).

Tabell 4.3 Makrofossiler fra AMS-daterte nivå i Store Finnsjøens sedimenter.

Dybde (i cm)	Identifisering
1610	Trebjørk-frø
1897 – 1898	Makrofossiler svært fragmentert, ingen arts identifikasjon
1898 – 1900	Trebjørk frø <i>Dryas</i> blad <i>Salix</i> <i>Carex</i> frø
1900.5 – 1901.5	Trebjørk rakleskjell <i>Betula nana</i> rakleskjell <i>Salix</i> <i>Carex</i>
1994.5 – 1995.5	Trebjørk frø <i>Betula nana</i> rakleskjell
1944.5 – 1945.5	Trebjørk frø
1969.5 – 1970.5	Makrofossiler svært fragmentert, ingen arts identifikasjon

4.6 PCA, Prinsipal komponent analyser

PCA ble benyttet som ordinasjonsteknikk siden SD var 0.863 (Jongman et al., 1987).

Pinus er svært dominerende, og for å unngå *Pinus* sin statistiske påvirkning, som i stor grad er antatt å representere langtransport, ble PCA kjørt to ganger: en gang *med Pinus* og en gang *uten Pinus*, der *Pinus* ble slettet fra analysen. Diagrammet *uten Pinus* kan være mer realistisk med hensyn til økologiske tolkninger på lokalt nivå. Ordinasjonen *med Pinus* viser hvor dominant furu er og hvordan furu så sterkt påvirker den numeriske analysen. Egenverdiene og den kumulative prosent variansen for de fire første aksene fra PCA ordinasjonen er presentert i tabell 4.4 (*uten Pinus*) og tabell 4.5 (*med Pinus*).

Tabell 4.4 Eigenvalues, λ , og kumulativ % varians, V%, for de fire første PCA aksene i ordinasjonen av Store Finnsjøen-datasettet uten *Pinus*.

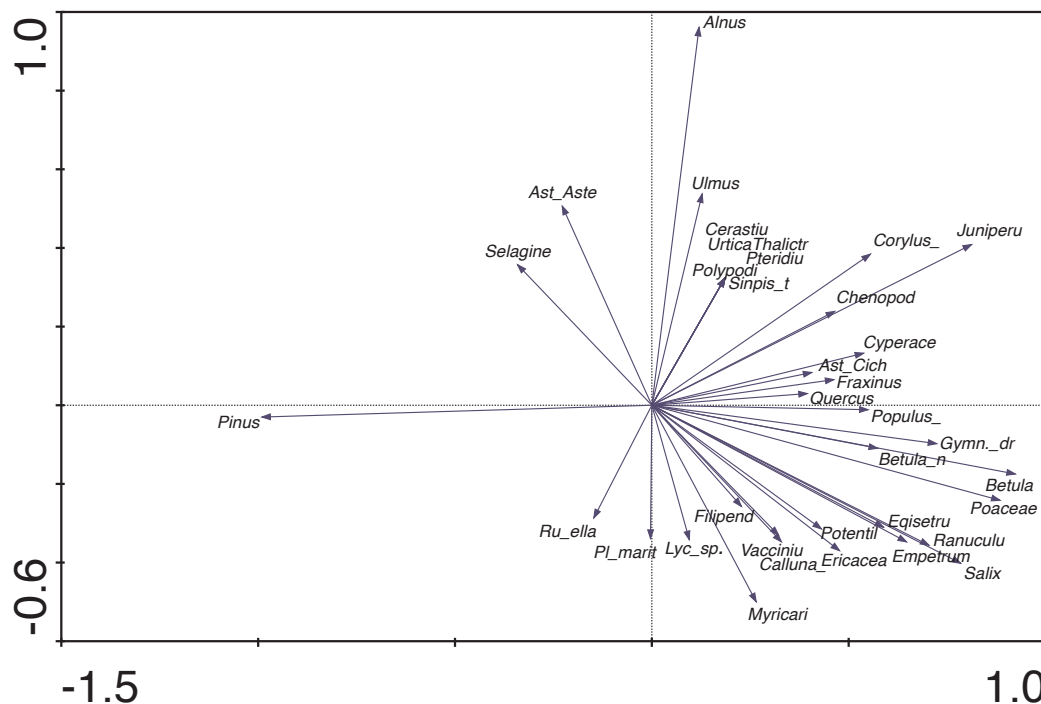
	λ	V%
1 akse	0.291	29.1
2 akse	0.107	39.7
3 akse	0.096	49.3
4 akse	0.073	56.6

Tabell 4.5 Eigenvalues, λ , og kumulativ % varians, V%, for de fire første PCA aksene i ordinasjonen av Store Finnsjøen-datasettet inkludert *Pinus*.

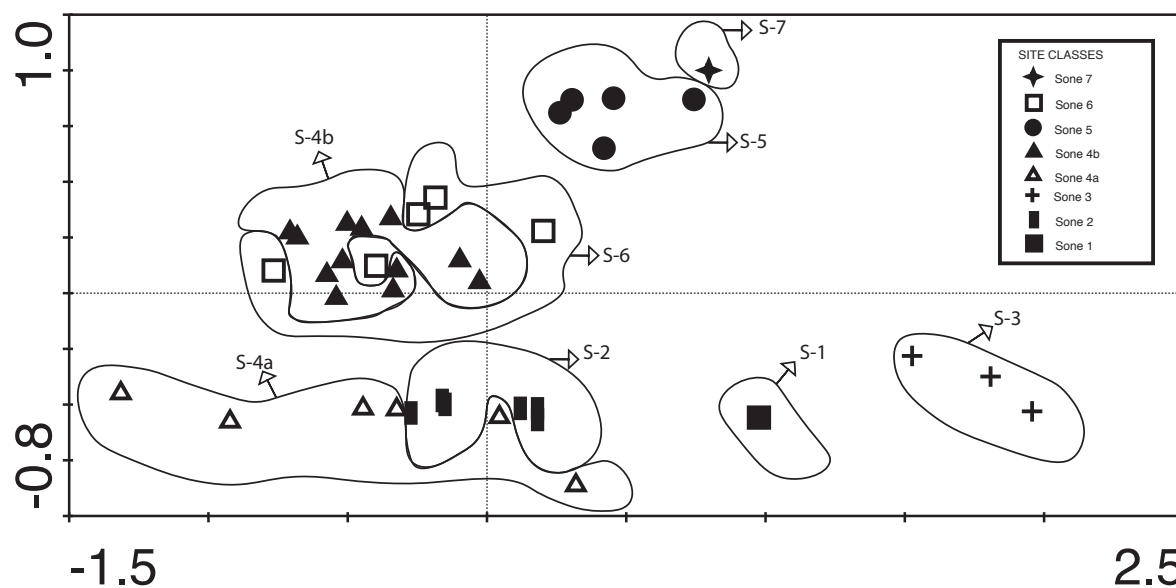
	λ	V%
1 akse	0.483	48.3
2 akse	0.161	64.4
3 akse	0.096	74
4 akse	0.073	81.3

Uidentifiserbare pollenkorn og ødelagte sporer/pollen ble ikke tatt med i ordinasjonen. I PCA-plottene er artene som står lengst unna origo de viktigste i tolkningen av økologiske gradienter, mens de nærmest origo har mindre økologisk påvirkning for 1.aksen og 2.aksen (ter Braak & Prentice, 1988). Fit-Range på 8-100% for plottet *uten Pinus* og Fit-Range på 10-100 % for plottet *med Pinus* ble spesifisert når PCA ble kjørt. Taxa med lavere score enn Fit-Range intervallet vil ikke bli godt forklart av 1.aksen og 2. aksene i plottet, og er derfor heller ikke vist i plottet. PCA-ordinasjonen gjør det mulig å tolke økologiske gradienter ut fra sammensetningen og plasseringen av taxa i PCA-plottet. Resultatene fra PCA-ordinasjonen for Store Finnsjøen *uten Pinus* er vist i figur 4.7 og figur 4.8. PCA-plottet for ordinasjonen *med Pinus* er vist i figur 4.5 og 4.6. Bare verdier for de to første aksene er vist, da disse tar opp det meste av datasettets usikkerhet (40-64%).

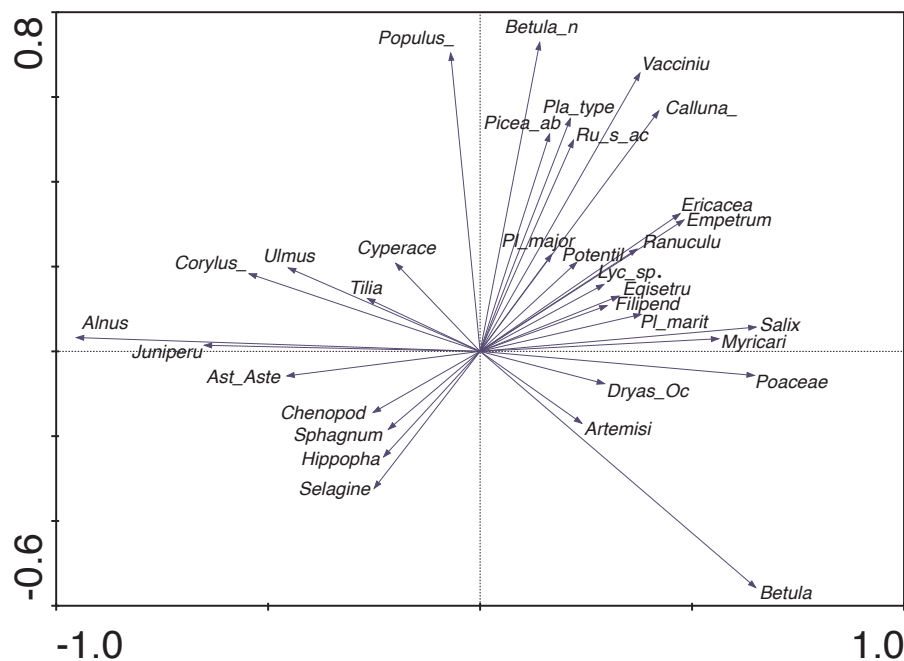
Fullstendig navn på pollen og spore taxa fra PCA plottene finnes i Appendiks.



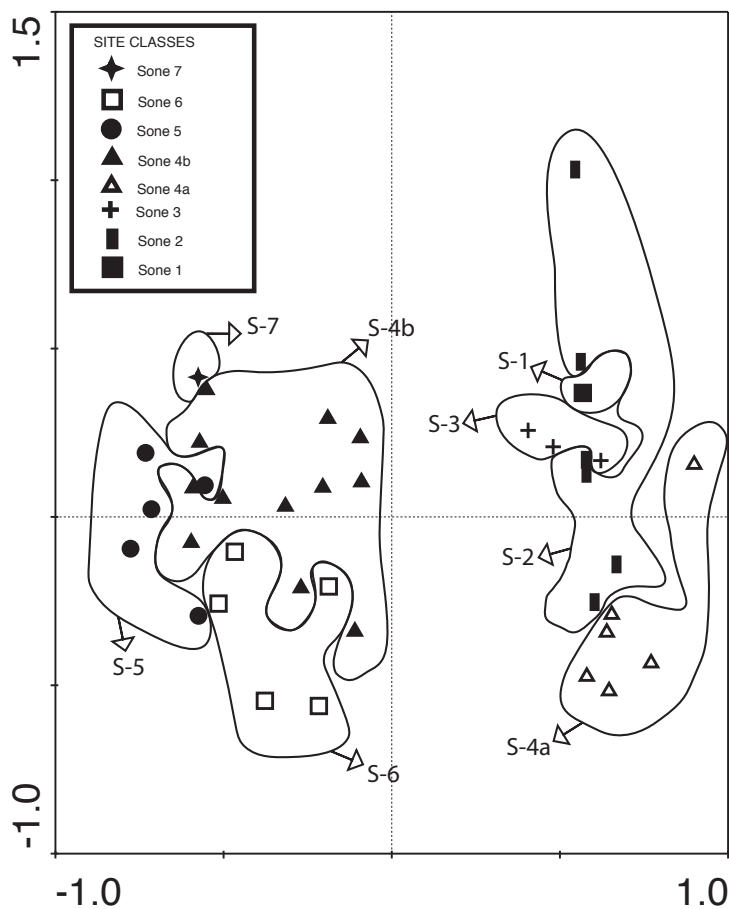
Figur 4.5 PCA -ordinasjon av pollen- og sporetaxa inkludert Pinus langs første og andre akse.



Figur 4.6 PCA-ordinasjon av spektrenes og sonenes plassering langs første og andre akse inkludert Pinus. Dybdeforklaring finnes i Appendiks C. Sonene er sirklet inn for bedre oversikt.



Figur 4.7 PCA -ordinasjon av pollen- og sporetaxa uten *Pinus* langs første og andre akse.



Figur 4.8 PCA-ordinasjon av spektrenes og sonenes plassering langs første og andre akse uten *Pinus*. Dybdeforklaring i appendiks C. Sonene er sirklet rundt for bedre oversikt.

PCA med *Pinus*:

Førsteaksen tar opp nesten 50 % av variasjonen i datasettet, hvilket indikerer en dominerende miljøgradient. Siden den skogdannende *Pinus* er svært dominant og plassert i venstre del av figur 4.5, kan 1. aksene indikere økende vegetasjonstetthet mot venstre. På høyre side ligger trær, busker og urter nærmest usortert og tilfeldig. Så ingen entydige tolkninger kan gjøres. Dette er grunnen til at en ordinasjon ble gjort der *Pinus* ble tatt ut av datasettet.

PCA uten *Pinus*:

Førsteaksen representerer nesten 30 % den av totale variansen i datasettet (Tab. 4.4). I artsplottet (Fig. 4.7) er trær og busker som *Alnus*, *Corylus* og *Juniperus* plassert til venstre, mens pioner-arter på grunnere jordsmonn som *Artemisia*, *Empetrum*, *Rumex acetosa* og *Betula nana* er plassert til høyre. 1.aksen kan dermed indikere en jordsmonnsgradient med økende jordsmonnstykkelse mot venstre. Andreaksen dekker bare ca. 10 % av variasjonen i datasettet, noe som gjør den vanskelig å tolke, men andreaksen kan vise en vegetasjonstetthetsgradient hvis innslaget av edelløvtrær tolkes til å representere fjernflukt. Dette er forståelig siden Store Finnsjøen ligger så høyt som 1260 moh. Med *Rumex acetosa*, *Vaccinium type*, *Ericaceae*, og andre lyskrevende taxa i øvre halvdel, kan positive verdier langs 2.aksen indikere en lysåpen vegetasjon. Nederst i plottet finnes *Betula*, dvs. trebjørk, som er funnet hyppig også i form av makrorester. Med andre ord kan *Betula*-plasseringen indikere lokal skog, dermed også tett vegetasjon. På grunnlag av dette tolkes andreaksen å reflektere vegetasjonstetthet med økende tetthet nedover mot negative verdier. At også den lyskrevende pionerslekten *Artemisia* er plassert i samme kvadrant som *Betula* kan synes inkonsekvent. Men i figur 4.7 vises bare variasjonen langs 1. og 2. akse. Hadde det vært mulig å vise variasjonen langs flere akser, ville en tolkning trolig vært enklere.

Egenverdiene til både førsteaksen og andreaksen er mindre enn 0.5, og indikerer at artene ikke er godt spredt langs aksene (Jongman et al., 1995). Ordinasjonen separerer spektrene i figur 4.8 relativt godt. Sone 4a ligger nesten alene nede til høyre i plottet, mens sonene 2 og 3, og sone 4b, 5 og 6 er mindre tydelig skilt.

4.7 Biodiversitetsanalyse (rarefaction analysis)

Analysen av palynologisk rikhet (PR) (Birks & Line, 1992b) ble gjennomført for å oppnå en oversikt over fortidens artsmangfold ved Store Finnsjøen. Resultatet av biodiversitetsanalysen er vist i figur 4.3. Basis for analysen er pollensummen i det spekteret med lavest ΣP (= 535).

Artsmangfoldet er størst i starten på pollendiagrammet (fig. 4.3) i sone 1. Men PR synker når *Pinus*-prosentene øker i sone 2. I sone 3 oppnår PR maksimal verdi i den kraftige tilbakegangen til *Pinus* rundt 9.7 ka. PR er noe høyere i sone 4b der *Pinus*-prosentene er lavere. Sone 5 med lave *Pinus*-verdier omfatter 8.2-eventet som øker den floristiske rikdommen. Påvirkningen varer over lengre tid enn ved 9.7-eventet. PR blir mindre når *Pinus* på nytt dominerer i sone 6. *Pinus* trekker seg markant tilbake i sone 7; parallelt stiger PR til sitt høyeste nivå.

Den generelle trenden er at PR viser høye verdier når frekvensen av trepollen er lav, noe som kan indikere en nærhet til tregrensen (Grytnes, 2003; Paus, 2010; Seppä, 1998; Simonsen, 1980; Aario, 1940). Forøvrig vil et middels nivå av forstyrrelse maksimere artsmangfoldet ved at det hindrer total dominans og utryddelse av arter (Grime, 1973).

5 Diskusjon

I dette kapitlet velger jeg først å diskutere det Holocene Termale Maksimum, HTM (underkapittel 5.1), dernest Store Finnsjøens sedimenter med paleomiljø og stratigrafien av sonene (5.2) med tolkning for hver seksjon basert på resultatene for forrige seksjon. Deretter legges fokus på de to viktige hendelsene 9.7-eventet (5.3) og 8.2-eventet (5.4), før de sammenlignes i underkapittel 5.5. Til slutt kombineres alle tolkningene til en konkluderende seksjon (5.6). Data fra prosent-, konsentrasjon- og influxdiagrammer (Fig. 4.3 og 4.4) med biodiversitetsanalyser (Fig. 4.3), PCA-analyse (Fig. 4.7 og 4.8) og makrofossilinnhold er blitt brukt som grunnlag for tolkningene. Grunnlaget for analysene i denne masteroppgaven ser man grovt inndelt i figur 4.1.

5.1 Det Holocene Termale Maksimum (HTM)

Som pollendiagrammet tolkes å vise (Fig. 4.3), begynner min fokusperiode på Dovre med en vegetasjon dekket av bjørkeskog og en underskog med kuldetolerant kratt bestående av blant andre *Juniperus* og *Salix* med etterfølgende furuskog. Vist i figur 4.1, har bjørkeskogen vært dominerende før 10 000 år BP, men furuskogen trekker seg innover og overtar i stor grad dominansen i diagrammet fra 10 000 år BP mot nåtid. Pollenprosjenter fra sone 1 og sone 2 representerer en økning i *Pinus* på ca. 20 %. Spektrene beveger seg fra en åpen vegetasjon med grunt jordsmonn og det jeg antar å være en lokal artsrik vegetasjon med blant andre *Empetrum*. Vegetasjonen blir tettere når den mer varmekrevende furuskogen overtar og artsmangfoldet avtar. Etter ca. 8000 år BP avløses furuskogen av bjørkeskogen, indikert ved noe høyere artsmangfold i øvre del av sone 6 og sone 7.

Det har lenge vært diskutert når den varmeste perioden inntraff i Skandinavia: i midtre del av Holocene (Bjune et al., 2010; Seppä et al., 2009) eller i tidlig Holocene (f.eks. Paus 2013). Argumenter for et tidlig HTM for Dovre og Store Finnsjøen sedimentene er: (1) At furuskogen avløses av bjørkeskogen. Bjørkeskogen er mindre varmekrevende enn furu (Helland, 1912), og krever en middeltemperatur i juli på ca. 10 °C (Odland, 1996). *Betula* er dominant før og etter furuekspansjonen. Furu krever en middeltemperatur i juli på ca. 11°C (Paus, 2010). (2) Dovres pollendiagram viser også et maksimum i influx under furumaksimumet i tidlig Holocene. Dette indikerer at den lokale vegetasjonstettheten utvikles i tidlig Holocene, bør samsvare med optimale temperaturforhold. (3) Tidlig Holocent

maksimum for *Hippophaë* (tindved) (Paus, upublisert). Tindved indikerer en minimumstemperatur i juli på ca. 11-12 °C (Kolstrup, 1979; Paus, 2010; Paus & Haugland, 2016) noe som er mer enn det furu-og bjørkeskogen krever (Paus, 2010)

Tidlig Holocene pollendiagram fra Skandesfjellene viser gjennomgående at den tørketolerante tindveden (*Hippophaë*) opptrer med et lokalt maksimum før *Pinus* etablerte seg i pollendiagrammet (Bergman et al., 2005; Gunnarsdottir, 1996; Paus, 2010; Paus et al., 2015; Paus & Haugland, 2016; Paus et al., 2011). Dette er i samsvar med teorien om et tidlig HTM. Ifølge funn av megafossiler av furu oppnår furuskogen sine høyeste skoggrenser rundt 9-9.5 ka BP i sør-skandinaviske fjell (Kullman, 1995; Kullman, 2013; Paus & Haugland, 2016). Furuskogsgrensene fra tidlig Holocene indikerer sommertemperaturer på minst 1-2 grader varmere enn hva vi opplever i dag (Paus & Haugland, 2016).

At dette forløpet peker mot et tidlig HTM støttes av andre undersøkelser (Paus & Haugland, 2016; Velle et al., 2010; Vinther et al., 2009; Väliiranta et al., 2015), men bruk av ulike metoder og proxier gir ulike resultater om tiden før og varigheten og omfanget av HTM (Antonsson et al., 2006; Nesje et al., 2005; Paus, 2010; Paus & Haugland, 2016).

Pinus dominerer fullstendig i prosentdiagrammet (Fig. 4.3), og i influx- og konsentrasjonsdiagrammet (Fig. 4.4). Det er mulige feilkilder i pollenregistreringen og de høye furuverdiene både i prosent og absolutte verdier. Disse indikerer at furu ikke er så dominerende som pollenverdiene viser. Feilkildene involverer 1) fokusering (Davis et al., 1984) og 2) hvordan høye temperaturer kan forårsake høy pollenproduksjon (Hicks, 2006). Hvordan pollenet synker mot innsjøbunnen og gjentatt sedimenteres og re-sedimenteres, fram til pollenet legger seg som permanent sedimentdekke i innsjøbunnens fordypninger kalles fokusering (Davis et al., 1984). Store Finnsjøen har en veldig dyp og avgrenset fordypning (diameter 70-80 m). Her er mye sedimenter avsatt på kort tid, gir indikasjon på at fokusering har foregått. Med hensyn til en temperaturavhengig pollenproduksjon, viser resentundersøkelser av mosepolster at furuas produksjon varierer fra 0 til 2000 pollenkorner $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ over middeltemperaturen for juli i intervallet 10.5 °C -14 °C, der pollenproduksjonen er høyest ved 14 °C (Hicks, 2006).

5.2 Paleøkologiske tolkninger av pollendiagrammene

Pollensone 1: *Pinus-Ericaceae* (ca. 10 030 – ca. 9990 ka BP)

Dybde: 2006 – 2002 cm

Det er grunn til å tro at bjørkeskogen var tilstede lokalt da frø av trebjørk er funnet i denne sonen (Paus et al., 2015) og bjørkas influxverdier varierer mellom 7000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ og 5000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Dette er mye høyere enn hva man antar er grensen for å representere lokal bjørkeskog, som er ca. 500 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ (Jensen et al., 2007; Paus, 2010; Seppä & Hicks, 2006). Antagelig er fokusering (Davis et al., 1984) gjeldende her. Bjørkeskogen stod sammen med en underskog av busker/dvergbusker som *Juniperus*, *Betula nana* og *Empetrum*, vierkratt og ansamlinger av *Populus*. *Populus* er en pionerart, som etablerer seg raskt på åpne områder. Sone 1-spektra i PCA-plottet indikerer middels tett vegetasjon, hvor vi blant andre finner *Salix* og *Empetrum* (Fig. 4.7 og 4.8). Jordsmonnet var relativt grunt; *Empetrum* og *Salix* krever heller ikke dypt jordsmonn. Artsmangfoldet for sone 1 ligger relativt høyt, og er med på å understreke en artsrik bjørkeskog.

Pinus stiger noe i sone 1 og når høye prosentverdier (Fig. 4.1 og 4.3). Stigningen i *Pinus* samtidig som *Betula* fortsatt er tilstede lokalt, kan bety at trebjørk vegetasjonen beskyttet ung furu mot vinterstress. Denne beskyttelsen førte til at *Pinus* kunne utvikle seg under gunstige forhold før den utkonkurrerte *Betula* (Paus, 2010). *Pinus* lever lenger enn *Betula*, men ved større høyder vil den mer kuldetolerante *Betula* fortsatt kunne overleve (Paus & Haugland, 2016). *Betula* er antatt å ha dannet den høyestliggende subalpine skogen gjennom hele Holocene (Kullman, 2013; Paus & Haugland, 2016). I feltsjiktet i bjørkeskogen har det stått en undervegetasjon av *Betula nana*, *Salix*, *Juniperus* og *Empetrum*. *Betula nana* dominerte som en pionér dvergbusk i begynnelsen av Holocene også andre steder i Skandesfjellene (f.eks. Flåfattjønna, Paus, 2010). Den lokale etableringen av *Pinus* på Dovre skjedde samtidig som den regionale etableringen (Owren, 1984; Paus et al., 2015). Også andre pollendiagram fra Sør-Skandinavia og Dovre viser en rask *Pinus*-økning før Erdalen event 1 (10 ka BP) og 2 (9.7 ka BP) (f.eks. Bergman et al., 2005; Giesecke, 2005; Gunnarsdottir, 1996). Dette har vært tolket som økt langdistanse transport fra voksende furuskoger på kontinentet (Paus & Haugland, 2016), men, megafossiler eldre enn Erdalen event 1 fra både Norge (Lie & Sandvold, 1997) og Sverige (Kullman, 2013) fastslår lokal tilstedeværelse.

Pollensone 2: *Betula-Pinus-Juniperus* (ca. 9990 – ca. 9730 ka BP)

Dybde: 2002 – 1984 cm

Vegetasjonen preges av furuskogens framgang som vist i pollendiagrammene (Fig. 4.3 og 4.4). *Pinus* influx er på 20 000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$, hvor verdier på 1500 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ og oppover indikerer lokal furuskog (Paus, 2010; Seppä & Hicks, 2006). Spektra i sone 2 beveger seg mellom åpen vegetasjon, grunt jordsmonn og tettere vegetasjon i PCA-ordinasjonen (Fig.4.8). *Pinus* influx er høyest tidlig i sonen, men spektrumplusseringen kan indikere at furuskogen ikke er lokal her, men kommer inn som fjernflukt. Lokal furuskog kan indikeres mot slutten av sone 2. Vegetasjonen tetter seg til ifølge høye pollenprosent, og dermed reduseres antallet arter i underskogen. Men, PR viser relativt høye verdier, og kan indikere at ikke Store Finnsjøen ikke er dominert av tett furuskog. Man ser at *Populus* forsvinner etter at *Pinus* pollenprosent- og influx øker. *Juniperus*, *Betula nana* og *Poaceae* viser også en tilbakegang i sin representasjon i pollendiagrammene som et resultat av høye furuverdier. Imidlertid viser furuinfluxen synkende verdier gjennom sonen. Dette taler imot en tettere lokalvegetasjon med avtagende artsmangfold.

Her kan influxverdiene være påvirket av feilkilder. Grunnet fokusering (Davis et al., 1984) er det ikke sikkert furuskogen dominerer på Store Finnsjøen som tidligere diskutert. Det er ikke funnet noen megafossiler fra denne perioden på Dovre (Paus & Haugland, 2016), og furu kjennetegnes ved betydelig langtransport av pollen. Men furuas tidlig Holocene lokale forekomst har blitt vist andre steder i Skandesfjellene (Kullman, 1995; 2013; Lie & Sandvold, 1997). Makrofossiler av trebjørkfrukter (1994.5-1995.5 cm) dokumenterer lokal representasjon av trær (Tab. 4.3) (Paus & Haugland, 2016). Så om ikke furuskogen har stått så høyt som ved Store Finnsjøen, så synes lokalområdet å ha vært dekket av bjørkeskog.

Pollensone 3: *Betula -Juniperus-Poaceae* (ca. 9730 – ca. 9670 ka BP)

Dybde: 1984 – 1981 cm

Pinus er den eneste arten som har en drastisk nedgang i sone 3. Pollenprosentene faller fra 70 – 40 %. Influx viser en markert nedgang til 3000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Andre taxa som *Juniperus* og *Salix* er stabile eller har kun små endringer. Pollenprosentdiagrammet indikerer en åpning i vegetasjonen, noe som også understrekes av PCA-tolkningen som viser en endring fra noe tett til mer åpen vegetasjonen, men det er fortsatt grunt jordsmonn. Åpningen av vegetasjonen tillater immigrasjon av andre taxa, noe økningen i artsmangfoldet

antyder. Økt fjernflukt som følge av åpnere lokalvegetasjon kan ikke utelukkes (jfr. innslag av *Fraxinus*, *Quercus* og *Ulmus*). *Betula* har fortsatt en høy nok influxverdi (ca. 2000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) i sone 3 til å indikere lokal bjørkeskog (Seppä & Hicks, 2006), men fokusering er fremdeles en potensiell feilkilde for influxverdiene.

Algene *Botryococcus* og *Pediastrum* øker raskt i sone 3, og oppnår sine maksimumsverdier. Sedimentene i sone 3 domineres av silt (Tab. 4.1). Silt kan indikere erosjon og utvasking fra det antatte 9.7-eventet. Erosjon og utvasking av jordsmonn ville forårsaket tilførsel av næringsstoffer til Store Finnsjøen. Dette er en prosess som tydeligvis favoriserte forekomsten av algene *Botryococcus* og *Pediastrum*. Dette kan ses i sammenheng med tilbakegangen av furuskogen (Paus et al., 2006).

Pollensone 4: *Pinus-Juniperus* (ca. 9670 – 8525 ka BP)

Undersone 4a: *Pinus-Juniperus-Salix* (ca. 9670 – ca. 9370 ka BP)

Dybde: 1981 – 1963 cm

Det er høye nok influxverdier for *Betula*, 3000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$, til at det fortsatt indikeres bjørkeskog lokalt. *Pinus* kommer trolig inn som fjernflukt, da det ikke er funnet megafossiler av furu på Dovre over 1100 moh. på denne tiden (Paus et al., 2011). *Betula* og *Salix* indikerer derfor en mer lokal vegetasjon lenger oppe i fjellsidene. Tett lokalvegetasjon på grunnere jordsmonn som *Betula* indikerer i figur 4.7, stemmer overens med spektrene i figur 4.8 og *Pinus* manglende krav til rikt jordsmonn. *Pinus* har en pollenprosent på nesten 90 % og en influx på 45 000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Så høye mengder med furu indikerer i følge Seppä og Hicks (2006) svært dominerende furuskog lokalt, men sedimentfokusering er nok en betydelig feilkilde her. Lokal furu støttes heller ikke av megafossilfunn fra denne høyden (1260 moh.) (Paus & Haugland, 2016). Megafossiler av furu datert til 9.7 cal ka BP, er imidlertid funnet på 1100 moh, 6 km sør-sørøst for Store Finnsjøen (Paus et al., 2011). *Pinus* oppnådde et maksimum samtidig med sone 4a under post-Erdalen 2 oppvarmingen. Dette er observert på Dovre (Paus, 2010) og i Sverige (Kullman, 2013; Kullman & Öberg, 2015; Öberg & Kullman, 2012). Så de høye sone 4a-verdiene av *Pinus*-influx var nok også et resultat av at pollenproduksjonen var høy under HTM (Hicks, 2006; Paus & Haugland, 2016). *Corylus* er en varmekrevende plante, og sone 4a-innslaget i pollendiagrammet er med på å understreke et tidlig HTM.

Undersone 4b: *Pinus-Juniperus-Alnus* (ca. 9370 – ca. 8525 ka BP)

Dybde: 1963 – 1913 cm

Ifølge pollendiagrammet (Fig. 4.3), er vegetasjonen på Dovre en godt etablert bjørkeskog med *Juniperus* og urter i undervegetasjonen. Skogen i området har vært dominert av furu, men det er sannsynlig at det er bjørkeskog med undervegetasjon av busker og urter vi finner lengre opp i fjellssidene mot Store Finnsjøen. Mellom sone 4a og 4b forekommer den kraftigste forflytningen av spektrene i PCA-plottet (Fig. 4.8). Mellom disse to sonene foregår det en betydelig jordsmonnutvikling uten særlige endringer i vegetasjonstetthet.

Hede et al. (2010) angir *Corylus* som en stabil og dominant art i pollendiagrammet for perioden 9.4-8.5 ka BP i Danmark, som også er tilfelle i pollendiagrammet fra Store Finnsjøen. *Corylus* er den arten som har økt fra lavest tilstedeværelse tidligere i diagrammet til variasjoner i influx på 100 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ i sone 4b. Men *Corylus* som trolig representerer fjernflukt, indikerer vegetasjonsforholdene i lavlandet (Hede et al., 2010; Paus, 2010). Fjernflukt av *Tilia* forekommer for første gang i pollendiagrammet. Det er funnet trebjørkfrukter (1944.5-1945.5 cm) (Tab. 4.3) fra Store Finnsjøen midt i sone 4b. *Alnus* får sammenhengende representasjon med økende verdier i sone 4b. *Alnus* krever tykkere og fuktig jord, som også indikeres av plasseringen den har i PCA plottet (Fig. 4.7). Nedgangen i influx indikerer åpnere vegetasjon. Dette samsvarer med økningen i palynologisk rikhet som både kan være et resultat av flere lokale lyskrevende arter og/eller økt fjernflukt-representasjon. Fra andre studier på Dovre (Flåfattjønnå; Paus, 2010) og i alpine områder i sentrale Skandinavia registreres *Alnus* for første gang ca. 9.3 ka BP i pollendiagrammene (Giesecke, 2005; Paus, 2010; Segerstrom & von Stedingk, 2003).

Pollensone 5: *Alnus-Betula-Juniperus-Corylus* (ca. 8525 – 8155 ka BP)

Dybde: 1913 – 1898.5 cm

I sone 5 er det på nytt nedgang av *Pinus*, her antatt å reflektere kuldeperioden 8.2-eventet (se underkapittel 5.4.), som tar oppmerksomheten i pollendiagrammene. En mer åpen vegetasjon er i utvikling. I influxverdier synker *Pinus* fra 23 000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ til 3000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ fra 1914-1900 cm. *Corylus* viser størst framgang som følge av høyere prosentrepresentasjon av fjernflukt inn når vegetasjonen åpnes opp. Men, *Corylus* synker til minimumsverdi når 8.2-event påvirkningen er mest framtrøden i pollendiagrammet med lave *Pinus* verdier. Dette indikerer dårlige vekstvilkår for trær regionalt og i lavlandet. Som vist i figur 4.7 kommer de

edafisk krevende *Alnus*, *Corylus* og *Ulmus* inn når vegetasjonen åpner seg mer opp. Dette kan indikere fjernflukt-representasjon.. 8.2-event spektrene for sone 5 samler seg sammen til venstre, langs førsteaksen i figur 4.8, som understreker åpnere vegetasjon og innslag av fjernflukt, sammen med mulig fuktigere og dypere jordsmonn, indikert av lokal *Juniperus*. Men *Corylus* og *Alnus* øker sine influxverdier i sone 5. Dette går imot fjernfluktstolkningen, men influx har flere feilkilder som; dateringsfeilkilder i forhold til erosjon av gammelt materiale. Det kan være årsaken til de økte verdiene av *Corylus* og *Alnus*. En tettere vegetasjon indikeres fortsatt da sone 5 spekteret ligger over førsteaksen, relativt midt mellom åpen og lukket vegetasjon. Makrofossiler i sone 5 er identifisert som trebjørkfrukter, *Dryas* blad, frø av *Salix* og *Carex* (1898-1900 cm) og trebjørk rakleskjell, *Betula nana* rakleskjell, *Salix* og *Carex* (1900.5-1901.5 cm) (Tab. 4.3). Dette vitner om lokal representasjon av disse taxaene.

Pollensone 6: *Pinus-Cyperaceae* (ca. 8155 – ca. 7920 ka BP)

Dybde: 1898.5 – 1884 cm

Ifølge pollenprosentdiagrammet kommer furuskogen raskt tilbake til sone 4-verdier. Framgangen er påfallende i influxdiagrammet, fra 5000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ til 30 000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Fokusering vil igjen være en mulig faktor med så rask og stor økning i *Pinus* pollenverdiene (Davis et al., 1984). PR-kurven går tilbake under framgangen i furu som et resultat av tettere vegetasjon. *Alnus* og *Betula* indikerer områder med et mer fuktig og næringsrikt jordsmonn (Hede et al., 2010) men det er fortsatt tett vegetasjon (Fig. 4.7). Rikere og mer fuktig jordsmonn kan understrekes ved tilstedeværelse av *Selaginella* og *Sphagnum* i pollendiagrammet (Fig. 4.3).

Pollensone 7: *Alnus-Betula nana-Polypodiaceae* (ca. 7920 – 7820 ka BP)

Dybde: 1890 – 1880 cm

Betula er tilpasset et mer fuktig jordsmonn enn hva *Pinus* er. Dette, sammen med en mulig avkjøling, kan være en av grunnene til at *Pinus* trekker seg tilbake fra 8.0 ka BP og mot nåtid (Paus, 2010). Undersøkelser fra Vest-Norge viser at et fuktigere jordsmonn ble utviklet på samme tid som områdene ved Store Finnsjøen (Nesje et al., 2006). Den totale AP-kurven indikerer en nedgang i trær, hovedsakelig *Pinus*. Samtidig skjer det en tydelig økning av lyskrevende busker, dvergbusker og urter, som *Juniperus*, *Cyperaceae* og *Poaceae*. Utenom

disse kommer det nå også inn taxa som ikke har vært registrert i pollendiagrammet før, som *Cerastium type*, *Sinapis type*, *Thalictrum* og *Urtica*. Åpningen av vegetasjonen indikeres med en tydelig stigning i PR-kurven. Upubliserte pollendiagram fra Store Finnsjøen (Paus, upublisert), viser en tydelig stigning i *Juniperus*, samtidig med at *Betula nana*. *Alnus* og *Betula* øker, men ingen merkbare forandringer registreres for andre arter i diagrammet. Jordsmonnet er blitt fuktigere og mer næringsrikt, som favoriserte blant andre *Filipendula* og *Polypodiaceae* (Fig. 4.3). Furunedgangen i denne sonen kan skyldes nedgang i pollenproduksjonen når sommertemperaturen faller (Hicks, 2006). Det kan vise seg at skogen ikke forsvinner samtidig med nedgangen i pollendiagrammene. Som Paus og Haugland (2016) presenterer i sin studie om megafossiler og pollendata, kan for eksempel furuskog stå i ca. 2000 år under tøffe forhold uten å produsere særlig mye pollen, før de til slutt dør. *Alnus* har i sone 7 økt til en influx på ca. 2000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$, som ifølge Paus (2010) trolig indikerer en lokal etablering av den mindre varmekjære *A. incana*. Samme tendens forekom på Flåfattjønna, der det antas en mulig etablering av prealpin-oreskog i områder med tilstrekkelig fuktighet og stabilitet (Paus, 2010).

5.3 9.7-eventet (sone 3)

Pinus har i sone 3 har en tilbakegang fra 70 % til 40 %, og et minimum i influx på 3000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Influxverdier over 1500 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ for furu, antas som tett furuskog (Paus, 2010; Seppä & Hicks, 2006), men grunnet fokusering kan de naturlige verdiene til *Pinus* ha vært mye lavere (Davis et al., 1984). Den kraftige influxnedgangen gir imidlertid en indikasjon på en kraftig tilbakegang i furuskogen på Dovre. Framgangen i andre busker og urter som *Corylus* og *Salix* indikerer en rask åpning av vegetasjonen. Økt representasjon av busker og urter antyder en undervegetasjon som favoriseres av tilbakegangen i *Pinus*.

Bjørkeskogen går fram med nesten 20 % i pollendiagrammet (Fig. 4.3). *Betula* trenger en middeltemperatur i juli på ca. 10 °C for å danne skog (Odland, 1996). På den annen side så er bjørkeinfluxen relativt stabil. Dette kan tyde på at det er den prosentvise furunedgangen som er årsaken til den prosentvise oppgangen av bjørk.

De brå endringene i pollendiagrammene tolkes å representere klimaendringer. Trolig er det kuldeperioden omkring 9.7-eventet som reflekteres. 9.7-eventet er hovedsakelig påvist i Norge (Dahl et al., 2002; Nesje et al., 1991; Nesje et al., 2000; Paus et al., 2006). *Pinus*-pollen avtar, noe Dahl et al. (2002) antar å være en følge av et fall i sommertemperaturer. Dette temperaturfallet forårsaket også en reetablering/framrykk av breer.

Samme tendens har blitt dokumentert på andre lokaliteter (se f.eks. Nesje et al., 2000; Paus, 2010; Paus et al., 2006; flere). *Pinus* krever minimum sommertemperatur (juni-september) på ca. 8,4 °C (Helland, 1912), og blir skogdannende ved gjennomsnittlig julitemperatur på 11 °C (Paus, 2010; Paus et al., 2011). Med temperaturnedgang på ca. 1.5 °C (± 0.9 °C) (Dahl et al., 2002; Velle, 1998) for 9.7-eventet, indikeres svært ugunstige blomstringsforhold for *Pinus* (Paus, 2010), som trolig forklarer nedgangen i pollendiagrammet.

9.7-eventet er et veldig konsentrert event. Dateringene i tabell 4.2, viser at eventet (eller påvirkningen av eventet) varte kun i ca. 60 år. Riktignok er flere dateringer nødvendig for å understreke omfanget. Den gjennomsnittlige sedimentasjonshastigheten for hele kjernen er ca. 16.7 år pr. cm. Figur 4.2 antyder ingen endringer i sedimentasjonshastigheten for 9.7-eventet. Siltlaget i sone 3 kan indikere erosjon og raskere utvasking av sedimenter, selv om vi ikke ser en tydelig forstyrrelse i figur 4.2. Utvasking av jordsmonn reflekterer trolig økt nedbør på sommerstid og/eller mer smeltevann som følge av økende snømengder om vinteren. Dette kan også indikere at 9.7-eventet forårsaket vekst i isbreene i Sør-Norge (Dahl et al., 2002; Nesje et al., 2000; Paus, 2010).

Etter 9.7-eventet opplever vi en veldig rask reetablering av spesielt *Pinus*. Temperaturene på Dovre er forventet å være minst 1 °C høyere enn dagens sommertemperaturer, basert på furuskogbeltet (Paus, 2010). Denne raske etableringen og furuskogen sitt maksimum indikerer overlevelse av furuskogen gjennom kuldeperioden 9.7-eventet. De raske skiftene i furupollenets verdier, inkludert denne raske tilbakekomsten av *Pinus*, kan bety raske produksjonsendringer i pollen i takt med temperaturendringer og ikke som følge av reelle vegetasjonsendringer (Hicks, 2006).

5.4 8.2-eventet (sone 5)

Pinus har en +/- jevn nedgang både i prosent (fra 80 til 55%) og influxverdier (20.000 -3000 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) gjennom sone 5, mens *Betula* har en jevn økning på henholdsvis ca. 10 % og 500 korn $\text{cm}^{-2} \text{år}^{-1}$). Med andre ord vises en vegetasjonsutvikling i en periode på ca. 400 år der furua taper mot den mindre varmekrevende bjørka (se Helland, 1912). Dette skiftet tolkes som resultatet av 8.2-kuldeeventet, som fulgte etter smeltevannsimpulsen fra Labrador Sea ut i Nord-Atlanteren (Barber et al., 1999). Maksimalt artsmangfold nås mot slutten av sone 5 og

understreker at vegetasjonen var mest åpen mot slutten av eventet. Dette kan tyde på at klimapåvirkningen nådde et maksimum her. Samtidig tyder det makrofossilholdige siltlaget på 2-3 cm bredde (Tab. 4.1) at eventet medførte kraftig erosjon og utvasking av jordsmonn og avsetninger i nedslagsfeltet. Ifølge fjærmygganalyser fra Topptjøna (1300 moh.) på Dovre, 1.5 km sør for Store Finnsjøen, nådde middeltemperaturen i juli et minimum på ca. 9.7 °C under 8.2 eventet (Paus et al., 2011).

En forløper til 8.2-eventet, som forekom omkring 9-8.5 ka BP, er blitt diskutert (Lal et al., 2007; Paus, 2010; Paus & Haugland, 2016; Rohling & Pälike, 2005). Her vises en nedgang av *Pinus* fra ca. 9-8.5 ka BP (Paus, 2010). En lignende trend fanges ikke opp i Store Finnsjøen-sedimentene. Studier foretatt av Dahl og Nesje (1996) på Hardangerjøkulen (Finse), av Rasmussen et al. (2008) på Højby Sø (i Danmark) og av Paus (2010) på Flåfattjøna (Dovre), indikerer en to-faset klimautvikling forbundet med 8.2-eventet: først en kald og fuktig fase, deretter en kald og tørrere fase. Slik som på Flåfattjøna (Paus, 2010) kan sedimentene på Store Finnsjøen indikere en klimaforverring på ca. 400 år, men påvirkningen over to faser framtrer ikke like tydelig. Muligens kan *Alnus*-maksimumet mot slutten av 8.2-eventet indikere noe fuktigere forhold. Dette kan samsvare med det utvaskede siltlaget. I så fall inntraff den fuktige 8.2 fasen mot slutten av påvirkningen av 8.2-eventet. Dette er motsatt av det som tidligere er påvist. Forskjellen i mine resultater på Store Finnsjøen kan skyldes Store Finnsjøens stratigrafiske feilkilder, som fokusering, resedimentasjon/utvasking og endret sedimentasjonshastighet (jfr. siltlaget på 1900 cm).

5.5 Sammenligning av 8.2-eventet og 9.7-eventet

9.7-eventet inntraff da lokalvegetasjonen var relativt åpen og jordsmonnet var grunt. 8.2-eventet hadde sin påvirkning da lokalvegetasjonen var tettere og jordsmonnet mer modent. Med andre ord var lokalvegetasjonen på forskjellige suksesjonsstadier da klimapåvirkningene inntraff. Det kan derfor være vanskelig å sammenligne klimapåvirkningen mellom 9.7-eventet og 8.2-eventet. En og samme klimaendring ville antagelig ha slått forskjellig ut i pollendiagrammet.

9.7-eventet og 8.2-eventet oppstod på grunnlag av to ulike hendelser. Disse to hendelsene forårsaket en temperaturnedgang over Skandinavia, breframrykk (Dahl et al., 2002; Paus, 2010; Velle, 1998) og markant synkende pollenverdier av *Pinus*. Påvirkningene fra

ferskvannsimpulsen for 8.2-eventet kan antas å ha kommet mer gradvis og pågått over en lengre tidsperiode, ca. 400 år på Dovrefjell. Dermed har nedgangen i temperatur utviklet seg over tid, og vegetasjonen har endret seg i takt med temperaturen mot en åpnere vegetasjon. 9.7-eventet har pågått i over ca. 60 år, og har vært et kortvarig intermesso som ikke ga varige vegetasjonsendringer. Egentlig kan 9.7-eventet i all hovedsak være en kortvarig kuldeperiode som bare påvirket pollenproduksjonen og da hovedsakelig den «varmekrevende» og pollenproduktive furua. Det er tydelig at Dovre hadde en økoton plassering i tidlig Holocene, lettpåvirkelig av klimaendringer. Dette er også tilfelle i dag. Michelsen et al. (2011) sitt Dovrefjellstudie, dokumenterer raske vegetasjonsforandringer som skjer grunnet klimaendringer. Sikrere konklusjoner kan trolig oppnås ved å gjøre glødetapsmålinger for 8.2-eventet og 9.7-eventet samt tettere tellinger mellom 1904 cm og 1900 cm for 8.2-eventet. Multiproxy studier og/eller tverrfaglige studier som involverer flere metoder som, tettere dateringer og fjærmyggundersøkelser blant andre, kan gi bedre og sikrere konklusjoner.

5.6 Konklusjon og oppsummering

- Denne undersøkelsen er en pollenanalytisk detaljstudie som belyser tidlig Holocent klima og vegetasjonsendringer på Dovre. Laminerte sedimenter fra Store Finnsjøen (1260 moh.) er blitt pollenanalyisert (% , konsentrasjon, influx), og terrestriske makrofossiler er ^{14}C -datert.
- Ordinasjon (PCA) av det pollenanalytiske datasettet har vært utført for å få uttrykt økologiske gradienter i datasettet fra Store Finnsjøen. Palynologisk artsrikhet (PR) er estimert. Undersøkelsen omfatter perioden med furudominans, ca. 8000-10000 år før nåtid, og inkluderer det Holocene Termale Maximum (HTM). Vegetasjonsendringene omkring 9700 og 8200 år før nåtid skyldtes klimaendringer, inkludert temperaturnedganger. Det er furuskogen som i størst grad ble påvirket av klimaforverringene. Endringene tolkes å reflektere henholdsvis 9.7/Erdalen-eventet og 8.2/Finse-eventet.
- 9.7-eventet har vært av kort varighet, trolig ca. 60 år. Den raske re-etableringen av høye furuverdier etter eventet tyder på at det pollenanalytiske 9.7-signalet skyldtes endringer i pollenproduksjonen, og i mindre grad skyldtes vegetasjonsendringer.
- Påvirkningen fra 8.2-eventet varte ca. 400 år og medførte en lengre og mer omfattende vegetasjonsendring på Dovre. Furuskogen ble gradvis mer åpen, mens bjørke- og orerepresentasjonen ble styrket.
- Resultatene fra denne oppgaven og lignende undersøkelser kan være med på å validere klimamodeller.

6 Litteraturliste

- Aario, L. (1940). Waldgrenzen und Subrezentent Pollenspektren in Petsamo Lappland. *Annales Acad Scient Fennica A* 54(8), 1-120. .
- Alley, R. B., & Ágústsdóttir, A. M. (2005). The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 24 10, 1123-1149. doi:10.1016/j.quascirev.2004.12.004
- Alley, R. B., Mayewski, P. A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K. C., & Clark, P. U. (1997). Holocene climatic instability; a prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology (Boulder)*, 25 6, 483-486. doi:10.1130/0091-7613(1997)025<0483:HCIAPW>2.3.CO;2
- Antonsson, K., Brooks, S. J., Seppä, H., Telford, R. J., & Birks, H. J. B. (2006). Quantitative palaeotemperature records inferred from fossil pollen and chironomid assemblages from Lake Giltjärnen, northern central Sweden. *Journal of Quaternary Science*, 21 8, 831-841. doi:10.1002/jqs.1004
- Antonsson, K., & Seppä, H. (2007). Holocene temperatures in Bohuslän, southwest Sweden: a quantitative reconstruction from fossil pollen data. *Boreas*, 36 4, 400-410. doi:10.1080/03009480701317421
- Bakke, J., Dahl, S. O., & Nesje, A. (2005). Lateglacial and early Holocene palaeoclimatic reconstruction based on glacier fluctuations and equilibrium-line altitudes at northern Folgefonna, Hardanger, western Norway. *Journal of Quaternary Science*, 20 2, 179-198. doi:10.1002/jqs.893
- Barber, D. C., Dyke, A., Hillaire-Marcel, C., Jennings, A. E., Andrews, J. T., Kerwin, M. W., . . . Gagnon, J. M. (1999). Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 400 6742, 344. doi:10.1038/22504
- Bergman, J., Hammarlund, D., Hannon, G., Barnekow, L., & Wohlfarth, B. (2005). Deglacial vegetation succession and Holocene tree-limit dynamics in the Scandes Mountains, west-central Sweden: stratigraphic data compared to megafossil evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 134 3, 129-151. doi:10.1016/j.revpalbo.2004.12.005
- Birks, H. J. B., & Line, J. M. (1992a). RAREPOLL 1.0 - Rarefaction diversity measures and their variances. . Computer program.
- Birks, H. J. B., & Line, J. M. (1992b). The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene* 1, 1-10.
- Bjune, A. E., Birks, H. J. B., Peglar, S. M., & Odland, A. (2010). Developing a modern pollen–climate calibration data set for Norway. *Boreas*, 39 4, 674-688. doi:10.1111/j.1502-3885.2010.00158.x
- Björck, S., Bennike, O., Possnert, G., Wohlfarth, B., & Digerfeldt, G. (1998). A high resolution C-14 dated sediment sequence from southwest Sweden: age comparisons between different components of the sediment. *Journal of Quaternary Science*, 13 1, 85-89.
- Björck, S., Muscheler, R., Kromer, B., Andresen, C. S., Heinemeier, J., Johnsen, S. J., . . . Veski, S. (2001). High-resolution analyses of an early Holocene climate event may imply decreased solar forcing as an important climate trigger.(Abstract). *Geology*, 29 12, 1107.
- Blaauw, M. (2010). Methods and code for ‘classical’ age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 5, 512-518. doi:10.1016/j.quageo.2010.01.002

- Braconnot, P., Harrison, S. P., Kageyama, M., Bertlein, P. J., Masson-Delmotte, V., Abe Ouchi, A., . . . Zhao, Y. (2012). Evaluation of climate models using palaeoclimatic data. *Nature Climate Change*, 2 6, 417. doi:10.1038/nclimate1456
- Bøe, A.-G., Murray, A., & Dahl, S. O. (2007). Resetting of sediments mobilised by the LGM ice-sheet in southern Norway. *Quaternary Geochronology*, 2 1, 222-228. doi:10.1016/j.quageo.2006.05.031
- Chapman, M. R., & Shackleton, N. J. (2000). Evidence of 550-year and 1000-year cyclicities in North Atlantic circulation patterns during the Holocene. *The Holocene*, 10 3, 287-291.
- Dahl, S., & Nesje, A. (1994). Holocene glacier fluctuations at Hardangerjoekulen, central-southern Norway: a high-resolution composite chronology from lacustrine and terrestrial deposits. *Holocene*, 4 3, 269-277. doi:10.1177/095968369400400306
- Dahl, S., & Nesje, A. (1996). A new approach to calculating Holocene winter precipitation by combining glacier equilibrium-line altitudes and pine-tree limits: A case study from Hardangerjokulen, central southern Norway. *Holocene*, 6 4, 381-398.
- Dahl, S. O., Nesje, A., Lie, O., Fjordheim, K., & Matthews, J. A. (2002). Timing, equilibrium-line altitudes and climatic implications of two early-Holocene glacier readvances during the Erdalen Event at Jostedalsbreen, western Norway. *The Holocene*, 12 1, 17-25.
- Dahl, S. O., Nesje, A., & Øvstedal, J. (1997). Cirque glaciers as morphological evidence for a thin Younger Dryas ice sheet in east-central southern Norway. *Boreas*, 26 3, 161-180. doi:10.1111/j.1502-3885.1997.tb00850.x
- Davis, M. B., Moeller, R. E., & Ford, J. (1984). Sediment focusing and pollen influx. *Lake sediments and environmental history: studies in palaeolimnology and palaeoecology in honour of Winifred Tutin/edited by EY Haworth and JWG Lund*.
- DNMI. (2016). Det Norske Meteorologiske Institutt. Hentet fra <http://met.no/Klima/Klimastatistikk/Klimadata/>
- Fægri, K., & Iversen, J. (1989). *Textbook of pollen analysis* (4th ed. by Knut Fægri, Peter Emil Kaland and Knut Krzywinski. ed.). Chichester: Wiley.
- Ghilardi, B., & O'Connell, M. (2013). Early Holocene vegetation and climate dynamics with particular reference to the 8.2 ka event: pollen and macrofossil evidence from a small lake in western Ireland. *The Journal of Quaternary Plant Ecology, Palaeoclimate and Ancient Agriculture - Official Organ of the International Work Group for Palaeoethnobotany*, 22 2, 99-114. doi:10.1007/s00334-012-0367-x
- Giesecke, T. (2005). Holocene forest development in the central Scandes Mountains, Sweden. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14 2, 133-147. doi:10.1007/s00334-005-0070-2
- Grime, J. P. (1973). Competitive Exclusion in Herbaceous Vegetation. *Nature*, 242 5396, 344. doi:10.1038/242344a0
- Grytnes, J. A. (2003). Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography*, 26 3, 291-300. doi:10.1034/j.1600-0587.2003.03358.x
- Gunnarsdottir, H. (1996). Holocene vegetation history and forest-limit fluctuations in Smådalen, eastern Jotunheimen, South Norway. . *Paläoklimaforschung/Palaeoclimate Research*, 20, 233-256.
- Hammer, C. U., Clausen, H. B., Tauber, H., Stuiver, M., & Kra, R. (1986). Ice-core dating of the Pleistocene/Holocene boundary applied to a calibration of the (super 14) C time scale (Vol. 28, pp. 284-291). New Haven, CT: New Haven, CT, United States: American Journal of Science.

- Hede, M. U., Rasmussen, P., Noe-Nygaard, N., Clarke, A. L., Vinebrooke, R. D., & Olsen, J. (2010). Multiproxy evidence for terrestrial and aquatic ecosystem responses during the 8.2 ka cold event as recorded at Højby Sø, Denmark. *Quaternary Research*, 73 3, 485-496. doi:10.1016/j.yqres.2009.12.002
- Helland, A. (1912). *Trægrændser og Sommervarmen*. Kristiania.
- Hicks, S. (2006). When no pollen does not mean no trees. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15 4, 253-261. doi:10.1007/s00334-006-0063-9
- Holten, J. I., Michelsen, O., Pedersen, B., & Syverhuset, A. O. (2009). DN-Utredning 2009-6. Hentet fra http://www.miljodirektoratet.no/Global/dokumenter/Publikasjoner/Overvåkingsrapporter/Utredning_2009-6.pdf
- Jensen, C., Vorren, K. D., & Mørkved, B. (2007). Annual pollen accumulation rate (PAR) at the boreal and alpine forest-line of north-western Norway, with special emphasis on *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens*. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 144 3, 337-361. doi:10.1016/j.revpalbo.2006.08.006
- Jongman, R. H., ter Braak, C. J. F., & Van Tongeren, O. F. R. (1995). *Data analysis in community and landscape ecology* (New ed. with corr. ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jongman, R. H. G., ter braak, C. J. F., & Van Tongeren, O. F. R. (1987). Data analysis in community and landscape ecology. *Pudoc, Wagenigen*.
- Juggins, S. (1993). TRAN version 1.7. *Upublicert dataprogram*.
- Kaland, P. E., & Natvik, Ø. (1993). *Core system 2.0*. Botanisk Institutt, Universitetet i Bergen. Ikke Publ.
- Karlén, W. (1998). Climate variations and the enhanced greenhouse effect. *Climate variations and the enhanced greenhouse effect* 4, 270-274.
- Kobashi, T., Severinghaus, J. P., Brook, E. J., Barnola, J.-M., & Grachev, A. M. (2007). Precise timing and characterization of abrupt climate change 8200 years ago from air trapped in polar ice. *Quaternary Science Reviews*, 26 9, 1212-1222. doi:10.1016/j.quascirev.2007.01.009
- Kolstrup, E. (1979). Herbs as July temperature indicators for parts of the pleniglacial and late-glacial in the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, 58 3, 377-380.
- Kullman, L. (1995). Holocene tree-limit and climate history from the Scandes Mountains, Sweden. *Ecology*, 76 8, 2490-2502.
- Kullman, L. (2013). Ecological tree line history and palaeoclimate – review of megafossil evidence from the Swedish Scandes. *Boreas*, 42 3, 555-567. doi:10.1111/bor.12003
- Kullman, L., & Öberg, L. (2015). New aspects of high-mountain palaeobiogeography; a synthesis of data from forefields of receding glaciers and ice patches in the Tarna and Kebnekaise Mountains, Swedish Lapland. *Arctic*, 68 2, 141-152. doi:10.14430/arctic4480
- Körner, C. (2005). Alpine Ecosystems (pp. 392-396).
- Körner, C., & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31 5, 713-732. doi:10.1111/j.1365-2699.2003.01043.x
- Lal, D., Large, W., & Walker, S. (2007). Climatic forcing before, during, and after the 8.2 Kyr B.P. global cooling event. *Journal of Earth System Science*, 116 3, 171-177. doi:10.1007/s12040-007-0017-3
- Lie, Ø., & Sandvold, S. (1997). Late Weichselian-Holocene glacier and climate variations in eastern Jotunheimen, south-central Norway. Bergen: Ø.Lie,S.Sandvold.
- Macdonald, G. M., Caseldine, C., Turney, C., & Long, A. (2010). Some Holocene palaeoclimatic and palaeoenvironmental perspectives on Arctic/Subarctic climate warming and the IPCC 4th Assessment Report (Vol. 25, pp. 39-47). Chichester, UK.

- Mangerud, J., Gyllencreutz, R., Lohne, Ö., & Svendsen, J. I. (2011). *Glacial history of Norway*.
- Matthews, J. A., & Karlén, W. (1992). Asynchronous neoglaciation and Holocene climatic change reconstructed from Norwegian glaciolacustrine sedimentary sequences. *Geology*, 20 11, 991.
- Michelsen, O., Syverhuset, A. O., Pedersen, B., & Holten, J. I. (2011). The Impact of Climate Change on Recent Vegetation Changes on Dovrefjell, Norway. *Diversity*, 3 1, 91-111. doi:10.3390/d3010091
- Miljødirektoratet. (2013, 13.12.2013). Dovrefjell-Sunndalsfjella National Park. Hentet fra <http://www.miljodirektoratet.no/Global/dokumenter/Publikasjoner/Brosjyrer/Dovrefjell-Sunndalsfjella NP N nett.pdf>
- Miljødirektoratet. (2016, 11.10.2016). Dovrefjell-Sunndalsfjella. *Naturbase*. Hentet fra <http://faktaark.naturbase.no/Vern?id=VV00001897>
- Moore, P. D., Webb, J. A., & Collinson, M. E. (1991). *Pollen analysis* (2nd ed. ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Nesje, A. (1992). A piston corer for lacustrine and marine sediments. *Arctic and Alpine Research*, 24 3, 257-259.
- Nesje, A., Bjune, A. E., Bakke, J., Dahl, S. O., Lie, O., & Birks, H. J. B. (2006). Holocene palaeoclimate reconstructions at Vanndalsvatnet, western Norway, with particular reference to the 8200 cal. yr BP event. *The Holocene*, 16 5, 717-729. doi:10.1191/0959683606hl954rp
- Nesje, A., & Dahl, S. O. (2001). The Greenland 8200 cal. yr BP event detected in loss-on-ignition profiles in Norwegian lacustrine sediment sequences. *JQS. Journal of Quaternary Science*, 16 2, 155-166.
- Nesje, A., Jansen, E., Birks, H. J. B., Bjune, A. E., Bakke, J., Andersson, C., . . . Svendsen, J.-I. (2005). Holocene climate variability in the northern North Atlantic region: A review of terrestrial and marine evidence. *Geophysical Monograph*, 158, 289-322. doi:10.1029/158gm19
- Nesje, A., & Kvamme, M. (1991). Holocene glacier and climate variations in western Norway; evidence for early Holocene glacier demise and multiple Neoglacial events. *Geology (Boulder)*, 19 6, 610-612. doi:10.1130/0091-7613(1991)019<0610:HGACVI>2.3.CO;2
- Nesje, A., Kvamme, M., Rye, N., & Løvlie, R. (1991). Holocene glacial and climate history of the Jostedalbreen region, Western Norway; evidence from lake sediments and terrestrial deposits. *Quaternary Science Reviews*, 10 1, 87-114. doi:10.1016/0277-3791(91)90032-P
- Nesje, A., Olaf Dahl, S., Andersson, C., & Matthews, J. A. (2000). The lacustrine sedimentary sequence in Sygneskardvatnet, western Norway: a continuous, high-resolution record of the Jostedalbreen ice cap during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 19 11, 1047-1065. doi:10.1016/S0277-3791(99)00090-6
- NGU. (2016). <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=1634>
- Norgeskart. (2016). Hentet fra [http://www.norgeskart.no/?sok=Finnsjøen - 8/225327/6929995/+hits](http://www.norgeskart.no/?sok=Finnsjøen-8/225327/6929995/+hits)
- Odgaard, B. V. (1994). The Holocene vegetation history of northern West Jutland, Denmark. *Nordic Journal of Botany*, 14 5, 546-546. doi:10.1111/j.1756-1051.1994.tb00649.x
- Odland, A. (1996). Differences in the vertical distribution pattern of *Betula pubescens* in Norway and its ecological significance.
- Olsson, I. (1979). A warning against radiocarbon dating of samples containing little carbon. *Boreas*, 8 2, 203-207. doi:10.1111/j.1502-3885.1979.tb00801.x

- Olsson, I. U. (1986). Radiometric dating *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*.
- Owren, G. B. (1984). *Vegetasjonshistorie på Dovre; Utviklingen gjennom de siste 9000 år*. (Masteroppgave), University of Trondheim, Norway.
- Paus, A. (2010). Vegetation and environment of the Rødalen alpine area, Central Norway, with emphasis on the early Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19 1, 29-51. doi:10.1007/s00334-009-0228-4
- Paus, A. (2013). Human impact, soil erosion, and vegetation response lags to climate change: challenges for the mid-Scandinavian pollen-based transfer-function temperature reconstructions. *Vegetation History and Archaeobotany*, 22 3, 269-284. doi:10.1007/s00334-012-0360-4
- Paus, A. (upublisert). *Pollendiagram fra Store Finnsjøen (1260 moh), Dovrefjell*.
- Paus, A., Boessenkool, S., Brochmann, C., Epp, L. S., Fabel, D., Haflidason, H., & Linge, H. (2015). Lake Store Finnsjøen – a key for understanding Lateglacial/early Holocene vegetation and ice sheet dynamics in the central Scandes Mountains. *Quaternary Science Reviews*, 121, 36-51. doi:10.1016/j.quascirev.2015.05.004
- Paus, A., & Haugland, V. (2016). Early- to mid-Holocene forest-line and climate dynamics in southern Scandes mountains inferred from contrasting megafossil and pollen data. *The Holocene*. doi:10.1177/0959683616660172
- Paus, A., Velle, G., & Berge, J. (2011). The Lateglacial and early Holocene vegetation and environment in the Dovre mountains, central Norway, as signalled in two Lateglacial nunatak lakes. *Quaternary Science Reviews*, 30 13, 1780-1796. doi:10.1016/j.quascirev.2011.04.010
- Paus, A., Velle, G., Larsen, J., Nesje, A., & Lie, O. (2006). Lateglacial nunataks in central Scandinavia: Biostratigraphical evidence for ice thickness from Lake Flåfattjønn, Tynset, Norway *Quat. Sci. Rev.* (Vol. 25, pp. 1228-1246).
- Rasmussen, P., Hede, M., Noe-Nygaard, N., Clarke, A. L., & Vinebrooke, R. D. (2008). Environmental response to the cold climate event 8200 years ago as recorded at Højby So, Denmark. *Geol. Surv. Den. Greenl. Bull.* 15, 57-60.
- Rasmussen, S. O., Vinther, B. M., Clausen, H. B., & Andersen, K. K. (2007). Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26 15, 1907-1914. doi:10.1016/j.quascirev.2007.06.015
- Reite, A. J. (1994). Weichselian and Holocene geology of Sør-Trøndelag and adjacent parts of Nord-Trøndelag county, Central Norway. *Norges geologiske undersøkelse*, 426, 1-30.
- Renssen, H., Goosse, H., & Fichefet, T. (2007). Simulation of Holocene cooling events in a coupled climate model. *Quaternary Science Reviews*, 26 15, 2019-2029. doi:10.1016/j.quascirev.2007.07.011
- Rohling, E. J., & Pälike, H. (2005). Centennial-scale climate cooling with a sudden cold event around 8,200 years ago. *Nature*, 434 7036, 975. doi:10.1038/nature03421
- Segerstrom, U., & von Stedingk, H. (2003). Early-Holocene spruce, *Picea abies* (L.) Karst., in west central Sweden as revealed by pollen analysis. *The Holocene*, 13 6, 897-906.
- Seppä, H. (1998). Postglacial trends in palynological richness in the northern Fennoscandian tree-line area and their ecological interpretation. *The Holocene*, 8 1, 43-53. doi:10.1191/095968398674096317
- Seppä, H., Bjune, A. E., Telford, R., Birks, H., & Veski, S. (2009). Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe *Clim. Past.* (Vol. 5, pp. 523-535).
- Seppä, H., & Hicks, S. (2006). Integration of modern and past pollen accumulation rate (PAR) records across the arctic tree-line: a method for more precise vegetation

- reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 25 13, 1501-1516.
doi:10.1016/j.quascirev.2005.12.002
- Simonsen, A. (1980). *Vertikale variasjoner i holocen pollensedimentasjon i Ulvik, Hardanger = Vertical variations of holocen pollen sedimentation at Ulvik, Hardanger, SW-Norway = Vertical variations of holocen pollen* (Vol. 8). Stavanger: Arkeologisk museum i Stavanger.
- Šmilauer, P. (1994). Exploratory analysis of paleoecological data using the program CanoDraw. *Journal of Paleolimnology*, 12 2, 163-169. doi:10.1007/BF00678092
- Smith, A. G. (1965). Problems of Inertia and Threshold Related to Post-Glacial Habitat Changes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences (1934-1990)*, 161 984, 331-342. doi:10.1098/rspb.1965.0005
- Sollid, J. L., Carlson, A. B., & Torp, B. (1980). Trollheimen – Sunndalsfjella – Oppdal Kvartærgeologisk kart 1:100 000 Kort beskrivelse til kartet Trollheimen – Sunndalsfjella – Oppdal Quarternary map 1:100000 Short description of the map. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 34 4, 177-189. doi:10.1080/00291958008621912
- Stockmarr, J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis *Pollen et Spores*, 13 4, 615-621.
- Stuiver, M., Reimer, P., & Reimer, R. (2015). CALIB Radiocarbon Calibration, execute version 7.02. Hentet fra calib. qub.ac.uk/calib/
- ter Braak, C. J. F. (1991). *CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (principal) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 3.12)*. TNO Institute of Applied Computer Science Statistics Department, Wageningen.
- ter Braak, C. J. F., & Prentice, I. C. (1988). A THEORY OF GRADIENT ANALYSIS. *Advances in Ecological Research*, 18, 271-317. doi:10.1016/s0065-2504(08)60183-x
- Thomas, E. R., Wolff, E. W., Mulvaney, R., Steffensen, J. P., Johnsen, S. J., Arrowsmith, C., . . . Popp, T. (2007). The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26 1, 70-81. doi:10.1016/j.quascirev.2006.07.017
- Troels-Smith, J. (1955). Karakterisering av løse jordarter. *Danmarks Geologiske Undersøkelser, IV* 3, 1-73.
- Velle, G. (1998). A paleoecological study of chironomids (Insecta: Diptera) with special reference to climate. Bergen: G.Velle.
- Velle, G., Bjune, A., Larsen, J., & Birks, H. (2010). Holocene climate and environmental history of Brurskardstjørne, a lake in the catchment of Øvre Heimdalsvatn, south-central Norway. *The International Journal of Aquatic Sciences*, 642 1, 13-34. doi:10.1007/s10750-010-0153-7
- Vinther, B. M., Buchardt, S. L., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Johnsen, S. J., Fisher, D. A., . . . Svensson, A. M. (2009). Holocene thinning of the Greenland ice sheet. *Nature*, 461 7262, 385. doi:10.1038/nature08355
- Väliranta, M., Salonen, J. S., Heikkilä, M., Amon, L., Helmens, K., Klimaschewski, A., . . . Birks, H. H. (2015). Plant macrofossil evidence for an early onset of the Holocene summer thermal maximum in northernmost Europe. doi:10.1038/ncomms7809
- Wiersma, A. P., & Renssen, H. (2006). Model–data comparison for the 8.2 ka BP event: confirmation of a forcing mechanism by catastrophic drainage of Laurentide Lakes. *Quaternary Science Reviews*, 25 1, 63-88. doi:10.1016/j.quascirev.2005.07.009
- Wohlfarth, B., Skog, G., Possnert, G., & Holmquist, B. (1998). Pitfalls in the AMS radiocarbon-dating of terrestrial macrofossils. *Journal of Quaternary Science*, 13 2, 137-145. doi:10.1002/(SICI)1099-1417(199803/04)13:2<137::AID-JQS352>3.0.CO;2-6

- Zoller, H. (1960). *Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz* (Vol. 83:2). Zürich.
- Öberg, L., & Kullman, L. (2012). Recent Glacier Recession – a New Source of Postglacial Treeline and Climate History in the Swedish Scandes. *Landscape Online*, 26, 1-38. doi:10.3097/LO.201126

Appendiks A

Sonedybder til PCA plot (Fig. 4.5, 4.6, 4.7 og 4.8,)

PCA med Pinus

Pinus etter ny soneinndeling, men uten tall.

Sone	Nivå	Dybde
Sone 7 =	= 1	= 1880
Sone 6=	= 2-6	= 1891 – 1899.5
Sone 5=	= 7-11	= 1901 – 1910
Sone 4b=	= 12-23	= 1914 – 1958
Sone 4a=	= 24-29	= 1962 – 1980
Sone 3=	= 30-32	= 1981 – 1983
Sone 2=	= 33-38	= 1984 – 2000
Sone 1 =	= 39	= 2006

PCA uten Pinus

Pinus etter ny soneinndeling, men uten tall.

Sone	Nivå	Dybde
Sone 7	= 1	= 1880
Sone 6	= 2-6	= 1891 – 1899.5
Sone 5	= 7-11	= 1901 – 1914
Sone 4b	= 12-23	= 1918 – 1958
Sone 4a	= 24-29	= 1962 – 1980
Sone 3	= 30-32	= 1981 – 1983
Sone 2	= 33-38	= 1984 – 2000
Sone 1	= 39	= 2006

Appendiks B

Forkortelser av pollen og sporetaxa brukt i
PCA og ordinasjonsplot (Fig. 4.7 og 4.5)

Forkortelse:	Latinsk navn:		
		Cerastriu	<i>Cerastrium type</i>
Alnus	<i>Alnus</i>	Chenopod	<i>Chenopodiaceae</i>
Betula	<i>Betula</i>	Poaceae	<i>Poaceae</i>
Populus	<i>Populus</i>	Campanul	<i>Campanula</i>
Picea_ab	<i>Picea abies</i>	Drya_Oc	<i>Dryas octopetala</i>
Sorbus	<i>Sorbus</i>	Filipen	<i>Filipendula</i>
Corylus	<i>Corylus</i>	Melampyr	<i>Melampyrum</i>
Fraxinus	<i>Fraxinus</i>	Pl_lance	<i>Plantago lanceolate</i>
Quercus	<i>Quercus</i>	Pl_major	<i>Plantago major</i>
Tilia	<i>Tilia</i>	Pl_type	<i>Plantago type</i>
Ulmus	<i>Ulmus</i>	Pl_marit	<i>Plantago maritima</i>
Junieru	<i>Juniperus</i>	Ranuculu	<i>Ranunculus type</i>
Myricari	<i>Myricaria</i>	Ru_s_ac	<i>Rumex sect.acetosa</i>
Salix	<i>Salix</i>	Ru_ella	<i>Rumes acetosella</i>
Hippopha	<i>Hippophae</i>	Potentil	<i>Potentilla type</i>
Betula_n	<i>Betula nana</i>	Potamo_e	<i>Potamogeton. Eucot</i>
Calluna	<i>Calluna vulgaris</i>	Sax. oppo	<i>Saxifraga</i>
Empetrum	<i>Empetrum</i>		<i>oppositifolia</i>
Ericacea	<i>Ericaceae undiff</i>	Sedum	<i>Sedum</i>
Vacciniu	<i>Vaccinium type</i>	Sinpis_t	<i>Sinapis type</i>
Artemisi	<i>Artemisia</i>	Thalict	<i>Thalictrum</i>
Ast_Cich	<i>Asteraceae sect.</i>	Urtica	<i>Urtica</i>
	<i>Cichorium</i>	Eqisetru	<i>Equisetum</i>
Ast_Aste	<i>Asteraceae sect.</i>	Gymn_dr	<i>Gymnocarpium</i>
	<i>Aster</i>		<i>dryopteris</i>
Astragal	<i>Astragalus</i>	Lyc_sp.	<i>Lycopodium sp.</i>
		Lyc_anno	<i>Lycopodium</i>
			<i>annotinum</i>
		Luc_clav	<i>Lycopodium</i>
			<i>clavatum</i>
		Huperzia	<i>Huperzia selago</i>
		Polypodi	<i>Polypodiaceae</i>
		Pteridiu	<i>Pteridium</i>
		Selagine	<i>Selaginella</i>
		Sphagnum	<i>Sphagnum</i>

