

# Senglasiale vulkanske askelag i innsjøsedimenter på Vestlandet

Mastergradsoppgave i geologi  
Studieretning kvartærgeologi/paleoklima

Av:  
Jan Henrik Koren



Institutt for geovitenskap  
Universitetet i Bergen

November 2005



## Forord

Først vil jeg takke mine veiledere John-Inge Svendsen, Jan Mangerud og Harald Furnes for trivelig og spennende samarbeid i løpet av de siste to år. Takk for at terskelen har vært lav for å stikke innom kontorene deres når det har vært noe jeg ville finne ut av!

Feltarbeidet hadde ikke vært mulig uten hjelp av John-Inge Svendsen, Øystein Lohne og Kristian Vasskog. Takk for god innsats og trivelige dager!

Tyngdesepareringsmetoden har vært en veldig viktig del av denne oppgaven. En stor takk går derfor til Stefan Wastegård ved Stockholms universitet som tok i mot meg i Stockholm og lærte meg denne metoden. Essofondet takkes for økonomisk støtte i forbindelse med dette.

Ole Tumyr takkes for god hjelp og veiledning i forbindelse med kjemianalysene med elektronmikrosonden. Helge Stenseth og Jo Brendryen hjalp til og ga nyttige tips med prepareringen for kjemianalysene. Jo har også bidratt med interessante innspill og opplysninger under utformingen av oppgaven. Takk til dere Begge!

Øystein Lohne fortjener også en stor takk for faglig hjelp og programvare-”support”. Mye tid er spart takket være Tore Humstad som har gitt gode råd om lure triks i bruk av dataprogrammet Word.

En takk går også til Mareile Andersson for hjelp med utplukking av materiale for datering og Julie Bjørlien for hjelp med glødetapsanalyse.

Anders Romundset takkes for korrekturlesning og gode diskusjoner og hjelp underveis.

Takk også til ICEHUS prosjektet og Essofondet for støtte til et feltkurs på Ildlandet i sydligste Argentina. Dette var en flott og lærerik opplevelse!

Takk til alle mine medstudenter som har bidratt til en spennende studietid både faglig og sosialt, i Bergen, på Svalbard eller i utlandet.

Bergen, november 2005

Jan Henrik Koren



## Abstract

A sediment core from a peat bog on Dimnøy at Sunnmøre, western Norway has been investigated in order to search for volcanic ash horizons. A new volcanic ash with a geochemistry more or less identical to the rhyolitic component of the Vedde Ash, but some 2500  $^{14}\text{C}$ -years older was found. The ash geochemistry was determined by wavelength dispersive spectral electron microprobe analysis (WDS-EMPA). The ash is here named the Dimna Ash. It was found in a palaeo-lake with typical late glacial stratigraphy with grey sand and silt at the base followed by brownish Allerød mud below grey Younger Dryas silt. The Vedde Ash bed is very pronounced in the sediment sequence and is up to 48 cm in thickness near a basin inlet. A series of AMS dates from terrestrial plant remnants confirms the age of the late glacial stratigraphy. The Dimna Ash is invisible to the naked eye and was detected through the application of a density separation technique. It was found near the base of the lacustrine sequence, about 120 cm below the base of the Vedde Ash. The Dimna Ash is concentrated in a zone with two distinct peaks, 20 cm apart. The lowermost peak has an ash particle density of 10 600 and the uppermost 12 900 grains pr.  $\text{cm}^3$ . The lowermost AMS dates, yielding the ages  $12\,780 \pm 60$  and  $12\,840 \pm 70$   $^{14}\text{C}$  BP (approx. 15 100 calendar years BP) lie 25 cm above the uppermost density peak. These datings are minimum ages for the volcanic eruption that produced the Dimna Ash. Ash grains with similar geochemical signature have also been found in the sediments between the Dimna and the Vedde Ash, although in much smaller quantities. These ash grains might represent reworking of the Dimna Ash. The possibility that the Dimna Ash could have been deposited on the inland ice and then washed out into the basin during deglaciation can not be ruled out.

Nine shards of volcanic ash of a different geochemical composition were analyzed from a zone more than 50 cm high. This zone was stratigraphically above the Dimna Ash, but below the Vedde Ash. The geochemistry of the shards is similar to the Borrobol Ash previously found in Scotland and Sweden. Even though a well defined Borrobol Ash layer was not found in this work this proves that there might be a potential for one or more such layers existing also at Sunnmøre.



## Sammendrag

En sedimentkjerne fra en myr på Dimnøy på Sunnmøre på Vestlandet er blitt undersøkt med sikte på å finne vulkanske askelag. Et nytt askelag med en geokjemisk sammensetning mer eller mindre identisk til den rhyolittiske komponenten av Veddeasken, men rundt 2500 <sup>14</sup>C-år eldre ble funnet. Askens geokjemiske sammensetning ble bestemt ved ”wavelength dispersive spectral electron microprobe analysis” (WDS-EMPA). Asken, som her er gitt navnet Dimnaasken, ble funnet i et basseng med typisk senglasiol stratigrafi med grå sand og silt i bunnen etterfulgt av brunaktig allerød gytjig silt under grå yngre dryas silt. Veddeaskelaget er svært tydelig i sedimentsekvensen og er opptil 48 cm nær et bassenginnløp. En rekke AMS dateringer av terrestriske planterester bekrefter den senglasiol stratigrafien. Dimnaasken kan ikke sees med det blotte øyet og ble funnet ved hjelp av en tyngdesepareringsmetode. Den ble funnet nær bunnen av den lakustrine sekvensen, rundt 120 cm under nedre grense av Veddeasken. Dimnaasken er konsentrert i en sone med to tydelige tetthetstopper 20 cm fra hverandre. Den laveste toppen har en tetthet av askepartikler på 10 600 og den øverste 12 900 korn pr. cm<sup>3</sup>. De nederste AMS dateringene på 12 780 ± 60 og 12 840 ± 70 <sup>14</sup>C før nåtid (ca. 15 100 kalibrerte år før nåtid) ligger 25 cm over den øverste tetthetstoppen og er minimumsaldre for vulkanutbruddet som produserte Dimnaasken. Aske med samme geokjemiske signatur er også funnet i sedimentene mellom Dimnaasken og Veddeasken, men i mye mindre mengder. Disse askekornene representerer muligens resedimentasjon av Dimnaasken. Det kan ikke utelukkes at Dimnaasken er avsatt på innlandsisen og vasket ut under deglasiasjonen.

Ni askekorn med en annen geokjemisk sammensetning er også analysert. Disse kommer fra en mer enn 50 cm høy sone stratigrafisk over Dimnaasken, men under veddeasken. Den geokjemiske sammensetningen til disse kornene er lik den til Borrobolasken, som tidligere er funnet i Skottland og i Sverige. Selv om det ikke ble funnet noe godt definert Borrobolaskelag i dette arbeidet så betyr dette at det er et potensial for at et eller flere slike lag finnes også på Sunnmøre.





# Innholdsliste

Forord .....	iii
Abstract .....	v
Sammendrag .....	vii
Innholdsliste .....	ix
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Målsetting .....	3
1.3 Feltnråde .....	4
1.4 Tidligere undersøkelser av askestratigrafi på Vestlandet .....	5
2 Metoder .....	7
2.1 Feltmetoder .....	7
2.2 Laboratoriemetoder .....	8
2.2.1 Kjernebeskrivelse .....	8
2.2.2 Tyngdeseparering .....	9
2.2.3 Preparering for mikroskopi .....	13
2.2.4 Mikroskopi og telling .....	13
2.2.5 Preparering for kjemianalyse .....	14
2.2.6 Kjemianalyse .....	16
2.2.7 Radiokarbondatering .....	17
3 Resultater .....	19
3.1 Dimnamyra .....	19
3.2 Beskrivelse og tolkning av avsetningene .....	22
3.2.1 Enheter og profiler .....	22
3.2.2 Kjerne 505-47 .....	27
3.3 Aske – kvantitativ analyse .....	31
3.4 Aske – kjemisk analyse .....	34
4 Diskusjon .....	40
4.1 Usikkerheter .....	40
4.2 Hvilke faktorer vil kunne påvirke askens kjemiske sammensetning? .....	44
4.3 Annen aske med tilsvarende kjemi – mulige korrelasjoner? .....	47
4.4 Hvilken betydning har disse resultatene for tefrakronologien? .....	50
4.5 Forslag til fremtidig arbeid .....	51
5 Konklusjon .....	53
Referanser .....	55
Vedlegg .....	63
A. Standardiseringstabell .....	64
B. Tabell over kjemianalyser .....	64



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Ved vulkanutbrudd blir vulkansk materiale, eller tefra, slynget ut i atmosfæren. De fineste partiklene, asken, vil kunne spre seg over store områder avhengig av hvor høyt i atmosfæren asken blir slynget, vindstyrke, vindretning og nedbørmønster (figur 1). Vulkansk aske er funnet i geologiske lagfølger/arkiv både på land, i havet og i innlandsisen på Grønland. Aske som faller ned over land vil legge seg som et jevnt



**Figur 1: Utbrudd ved Grímsvötn, Island, nov. 2004**  
(foto: <http://www.norvol.hi.is/~fredrik/index.html>)

teppe over landskapet. I løpet av relativt kort tid, i størrelsesorden ett år eller to, vil mye være vasket ut i bekker og elver og ført ut i havet eller avsatt i innsjøbassenger. Askelag som kan identifiseres med sikkerhet, er viktige og pålitelige markørhorisonter fordi hvert lag har sitt kjemiske fingeravtrykk og er avsatt i løpet av kort tid. Dersom alderen på en askehorisont kan bestemmes ved hjelp av uavhengige, numeriske metoder, er denne alderen også gyldig overalt hvor askelaget finnes (Turney *et al.* 2004). Dermed gir tefrastratigrafi oss tidsparallelle horisonter som kan brukes som et verktøy for å korrelere regional kvartær stratigrafi fra iskjerner så vel som, marine og terresteriske sekvenser. Dette gir oss igjen muligheten til en uavhengig test av korrelasjoner gjort på grunnlag av andre metoder.

Tefrakronologi, eller datering ved hjelp av tefralag, er spesielt nyttig i overgangen mellom siste istid og tidlig holosen fordi kalibrering av en gitt  $^{14}\text{C}$ -alder i denne perioden gir en stor usikkerhet. I tillegg preges sedimentene ofte av lavt organisk innhold, noe som kan gjøre det vanskelig å finne nok materiale for datering. Usikkerheter i marin reservoaralder og hardvannseffekten i innsjøer kompliserer datering og korrelasjon ytterligere. Det er også usikkerhet forbundet med kronologien basert på varvede innsjøsedimenter og iskjernestratigrafi. Et annet poeng er at klimaendringer på denne tiden kan ha vært tidstransgressive (Coope *et al.* 1998; Witte *et al.* 1998) noe som kan gjøre det problematisk å korrelere på grunnlag av klimatostratigrafi og biostratigrafi (Davies *et al.* 2002). Denne

perioden er preget av hurtige og store klimaendringer som er mer kompliserte en tidligere antatt (Turney *et al.* 2004). Selv om det til dels er mulig å korrigere for de nevnte problemene, er det et behov for en mer nøyaktig rekonstruksjon av hendelsesforløpet enn det usikkerheten i  $^{14}\text{C}$ -metoden i seg selv tillater. For å kunne forstå de klimabestemmende mekanismene i regionen rundt Nord-Atlanteren er det viktig å belyse hvorvidt disse hurtige klimasvingningene og deres miljømessige virkninger var samtidige i kontinentale, marine og innlandsis-områder (Davies *et al.* 2002).

Ved hjelp av nye metoder, tyngdeseparering (Turney 1998a) og magnetisk separering (Mackie *et al.* 2002), har man i dag mulighet til å spore tefra der tettheten av askekorn og/eller askekornenes størrelse er så liten at laget ikke er synlig med det blotte øyet. Slike askelag blir ofte referert til som "mikrotefra" (Turney *et al.* 2004) eller "kryptotefra" (Lowe og Hunt 2001). Tyngdeseparering brukes for å konsentrere rhyolittiske korn og magnetisk separering for å konsentrere basaltiske korn. I et askelag vil askekornenes tetthet og størrelse minke jo lengre bort fra "hovedplumen" man kommer. Med disse nye metodene kan askelag dermed bli påvist over et mye større område enn tidligere. Dessuten vil man også ha mulighet til å påvise tidligere ukjente askelag. På denne måten kan også tefrakronologien sin rolle som korrelasjons- og dateringsverktøy bli ytterligere styrket.

Med dette som grunnlag har INTIMATE (INTEgration of Ice core, Marine and TERrestrial records of the Last Termination – a core program of the INQUA (International Union for Quaternary Research)) og COTAV (The INQUA Comission on Tephrochronology and Volcanism) gruppene anbefalt videreutvikling av tefrakronologi som verktøy. Dette begrunnes med at det finnes et stort potensiale i å utvikle tefrakronologi til en solid ramme for å underbygge geokronologiske modeller for denne perioden og således øke vår forståelse av mekanismene bak, tidspunktene for og de miljømessige konsekvensene av de hurtige klimaendringene i sen-weichsel/holosen (Davies *et al.* 2002). Forutsetningen for at hele dette potensiale skal bli realisert er riktignok at analytiske prosedyrer og rutinene ved publisering av resultater blir forbedret (Turney *et al.* 2004).

Regionen rundt Nord Atlanteren har mottatt askenedfall fra vulkanske sentre slik som Island, Jan Mayen og Eifeldistriktet i Tyskland i hvert fall siden sen-weichsel. Av disse er Island det mest betydningsfulle produsenten av vulkansk aske (Boyle 2004). Den dominerende vindretningen over Island går i retning Norge og ved vulkanutbrudd her vil aske ofte nå oss,

noe som også har skjedd mange ganger i historisk tid. Den geokjemiske sammensetningen til tefra av islandsk opprinnelse har blitt nøye studert (f.eks. Jakobsson 1979, Thorarinsson 1981a; 1981b, Larsen *et al.* 1999 og Hafliðason *et al.* 2000) og mange tefralag har også kjent historisk alder eller er blitt  $^{14}\text{C}$ -datert (Hafliðason *et al.* 2000). De islandske tefralagenes geokjemiske fingeravtrykk spenner over et vidt spekter, noe som gjør dem ideelle for tefrakronologi fordi man ofte kan skille både mellom både kildevulkaner og enkeltutbrudd (Pilcher *et al.* 2005).

## 1.2 Målsetting

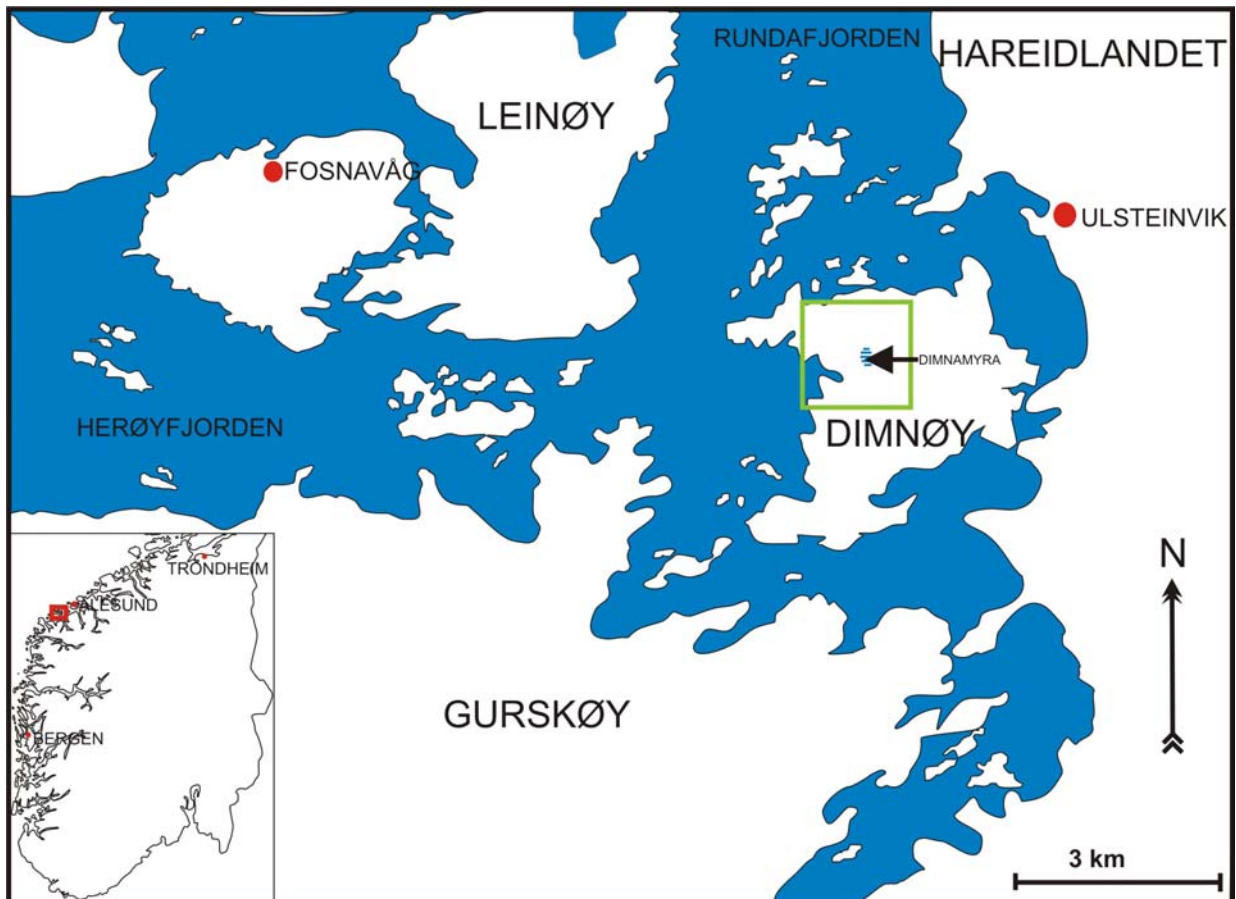
Målet med denne oppgaven er å bruke tyngdeseparering for å lete etter rhyolittiske askelag avsatt ved overgangen mellom siste istid og holosen på Vestlandet. Letingen skulle gjøres i lakustrine sedimenter og den geokjemiske sammensetningen til eventuelle askelag skulle bestemmes. Dette skulle gjøres for, om mulig, å kunne korrelere asken med askelag funnet andre steder og/eller for å karakterisere nye og ukjente askelag. Dette arbeidet vil derfor være med og bidra til utviklingen av en fullstendig tefrastratigrafi for Vestlandet, fra slutten av siste istid og fram til i dag. Slik vil den også være med på å legge grunnlaget for at hele tefrakronologiens potensial som korrelasjons- og dateringsverktøy blir realisert fullt ut.

Et spørsmål som tidlig pekte seg ut var om det var mulig å påvise Borrobolasken på Vestlandet. Typelokaliteten til denne asken ligger i Skottland, hvor den også er funnet flere andre steder (Turney *et al.* 1997) og datert til 12260  $^{14}\text{C}$ -år før nåtid (Lowe *et al.* 1999). Relativt nylig er den også påvist i Sverige (Davies *et al.* 2003). Vulkanene Snæfellsjökull eller Torfajökull på Island er mulige kilder (Davies *et al.* 2003), men også Hekla er blitt foreslått (Hafliðason *et al.* 2000). Denne asken har potensial som viktig markørhorisont for å kunne fastsette det nøyaktige tidspunktet for den første oppvarmingen ved begynnelsen av Grønland Interstadial 1 (GI-1) på forskjellige steder i Europa (Davies *et al.* 2003).

I denne oppgaven er prosedyrene gitt i "Tephrochronology of Last Termination Sequences in Europe: a protocol for improved analytical precision and robust correlation procedures (a joint SCOTAV – INTIMATE proposal (Turney *et al.* 2004)) fulgt så godt det har latt seg gjøre.

### 1.3 Feltområde

Sunnmøre er et område langs norskekysten som ble tidlig isfritt etter siste istids maksimum (Svendsen og Mangerud 1987). Innlandsisen rykket heller aldri fram hit igjen i løpet av yngre dryas (Mangerud 1980). At området har vært isfritt så lenge medfører at bunnsedimentene i innsjøene her er eldre enn i andre områder. Da er det god mulighet for å finne askelag som ble



**Figur 2:** Oversiktskart over feltområdet på Sunnmøre. Kartutsnittet er markert med rød firkant i på kart over Sør-Norge.

avsatt mens innlandsisen lå ut til kysten i andre områder. Landskapet i området er karakterisert av en lavtliggende kupert berggrunnsplattform, den såkalte strandflaten, dype fjorder og daler og høye fjell. Øya Dimna ligger i Ulstein kommune i Møre og Romsdal, like øst for Hareidlandet og rundt 10-20 km fra den ytterste Sunnmørskysten avhengig av hvordan man måler (figur 2). Øya består av metamorfe proterozoiske og kambriske dypperter, med gneis i den sørlige delen og stort sett eklogitt og glimmerskifer i den nordlige delen. Det er lite løsmasser.

## 1.4 Tidligere undersøkelser av askestratigrafi på Vestlandet

Fægri (1940) beskrev et askelag funnet på Jæren, i gytje av antatt allerød alder og han korrelerte det med Laacher See-asken fra Eifelddistriktet i Tyskland. Askelaget var synlig i felt og ble identifisert som vulkansk aske ved undersøkelse under polarisasjonsmikroskop. Senere viste Mangerud *et al.* (1984) at dette sannsynligvis er Veddeasken og at asken er av yngre dryas alder. Persson (1967; 1971) rapporterer om flere askehorisonter i holosene torvavsetninger på Vestlandet. Alle ble funnet etter kjemisk behandling av sedimentene, ingen av horisontene var synlige i felt. I disse arbeidene bruker Persson lagrekkefølge, kornstørrelsesfordeling og lysbrytningsindeks til å karakterisere askelagene.

Mangerud *et al.* (1980; 1984) fant, under boring av lakustrine sedimenter i Ålesundsområdet, et askelag av yngre dryas alder som ble gitt navnet Vedde askelag. Askelaget, som var opp til 23 cm tykt, var lett synlig i sedimentkjernene både fra myrer og innsjøer. Asken har to komponenter, en basaltisk og en rhyolittisk, og ble funnet både i lakustrine og sublittorale (marine) sedimenter. Veddeaskelaget er i dag det best dokumenterte og, så langt vi vet, det mest utbredte askelaget i regionen. Det er datert til ca 10 300 <sup>14</sup>C-år før nåtid (Birks *et al.* 1996) og er også funnet både flere steder syd for yngre dryas morenene i Sverige (Wastegard 2005), på ni forskjellige lokaliteter i Skotland (Davies *et al.* 2001), i St. Petersburgområdet i Russland (Wastegard *et al.* 2000), i Nederland (Davies *et al.* 2005) og også i iskjerner på Grønland (Grönvold *et al.* 1995; Mortensen *et al.* 2005). Det er også blitt korrelert med North Atlantic ash Zone I (NAAZ I) (Mangerud *et al.* 1984; Kvamme *et al.* 1989) og Skógar-tefraen på Island (Norðdahl og Hafliðason 1992). Alle disse korrelasjonene er gjort på grunnlag av kronostratigrafisk posisjon og geokjemiske analyser. Den store utbredelsen gjør at veddeasken er svært viktig i korrelasjonssammenheng. Asken stammer sannsynligvis fra vulkanen Katla på Island (f.eks. Mangerud *et al.* 1984).

Et annet viktig askelag er Saksunarvatn-askelaget. Dette basaltiske laget er kjent fra Færøyene, der det har blitt brukt til korrelasjon mellom mange innsjøer over hele øygruppen (Waagstein og Jóhansen 1968, Jóhansen 1975; 1982; 1985). Nærmere undersøkelser av denne asken har blitt utført av Mangerud *et al.* (1986). Siden er den påvist i Nord-Tyskland (Merkt *et al.* 1993), i marine sedimenter i Nord-Atlanteren (Sjoholm *et al.* 1991), og i iskjerner fra Grønland (Grönvald *et al.* 1995; Mortensen *et al.* 2005). Funn av Saksunarvatn-asken i Norge, ved Kråkenes i Måløy, ble første gang rapportert av Birks *et al.* (1996). Askelaget var ikke

synlig i felt, men etter fjerning av organisk materiale og diatoméer ble asken funnet i tidlig holosene sedimenter. Askelagets identitet ble bekreftet ved geokjemisk analyse. Datering av saksunarvatn-asken ved Kråkenes ga en alder på 9930-10 010 kalenderår før nåtid. Også dette askelaget stammer mest sannsynlig fra Island (Mangerud *et al.* 1986).



## 2 Metoder

### 2.1 Feltmetoder

Aktuelle bassenger på Sunnmøre ble valgt ut etter studie av kartserien M711 i målestokk 1:50 000 (utgitt av Statens Kartverk) og økonomiske kart i målestokken 1:5000. Det er flere faktorer som er viktige ved utvelgelse av egnete lokaliteter for å lete etter vulkanske askelag. Området bør naturligvis ha vært isfritt så lenge som mulig for at også stratigrafien skal gå så langt tilbake i tid som mulig. I tillegg er det en fordel med et lite basseng som drenerer et større område slik at asken blir godt konsentrert. Da er sjansen større for også å finne askekorn fra mindre utbrudd. Samtidig må bassenget ligge over marin grense slik at de eventuelle askelagene er forstyrret minst mulig av bioturbasjon og/eller resedimentasjon. Strandlinjediagrammet til Svendsen og Mangerud (1987) ble brukt for å finne bassenger som ligger over marin grense.

Sedimenttykkelse og litostratigrafi i en myr ved Nerland på Nerlandsøy, en ved Storevatnet på Remøy, en ved Dalevatnet på Gurskøy og i Dimnamyra på Dimnøy kartlagt i felt. Dette ble gjort med et russerbor (Jowsey 1966) som har et kammer på 1 meter i lengde og diameter på 55 mm. Dimnamyra ble valgt ut for videre undersøkelse på grunnlag av den formidable tykkelsen Veddeasken har her (opp til 48 cm; se avsnitt 3.2.1). Denne viste at aske vaskes ut og konsentreres svært godt i dette bassenget. Derfor er potensialet for å finne annen aske i tillegg til Veddeasken stort. Det ble gjort mange boringer med russerbor for å kunne tegne profiler av bassenget og for å finne det best egnete borepunktet for å ta kjerner til videre undersøkelser. Tre steder ble valgt ut hvor det ble tatt kjerner som ble med tilbake til laboratoriet. Kjernene ble tatt ut ved hjelp av to meter lange PVC-rør med en diameter på 110 mm og en modifisert Geonor stempelprøvetaker (figur 3). Etter at de var tatt opp ble rørene kuttet avhengig av innfyllingen av sedimenter, forseglet og merket med dyp, lokalitet, mitt



**Figur 3: Boring med stempelprøvetaker**

navn og opp-pil. I tillegg ble hver av de fem kjernene merket med nummer (prosjekt-kjernennummer-seksjon, f.eks. 505-47-1). Hvert borepunkt ble gitt nøyaktig posisjon v.hj.a. GPS-målinger.

## **2.2 Laboratoriemetoder**

### **2.2.1 Kjernebeskrivelse**

Kjernene ble delt på langs i to like store halvdel. En ble brukt som arbeidsdel mens den andre ble lagt til side og oppbevares på kjølelageret ved Institutt for geovitenskap, UiB som referansedel. Etter detaljert beskrivelse og fotografering, ble en kjerne bestående av to seksjoner valgt ut for videre analyser. Tetthet og magnetisk susceptibilitet ble målt for hver andre millimeter oppover i denne kjernen med en GEOTEK multisensor kjernelogger (MSCL). Av praktiske grunner ble referansedelene brukt til dette.

Magnetisk susceptibilitet er et mål på mengden mineraler med magnetiske egenskaper. Hvis man antar at forholdet mellom magnetiske og ikke-magnetiske mineraler ikke endrer seg over tid, vil kurven derfor beskrive variasjonen av minerogent innhold oppover i kjernen (figur 14). Variasjonen kan skyldes endringer i erosjonen i dreneringsområdet eller endringer i bassengets sedimentinnfluks p.g.a. flom eller i form av økt vindtransport. Denne variasjonen vil også gjenspeiles i og være et supplement til glødetapskurven (figur 14) som viser variasjonen i prosentvis andel av organisk materiale.

Glødetapsanalyse utført av Julie Bjørlien ved Sedimentologisk hovedlaboratorium, Institutt for geovitenskap, UiB. Prøver ble tatt ut for hver andre centimeter og behandlet etter retningslinjene gitt av Heiri *et al.* (2001).

Det er forsøkt å bruke realistiske farger både i kjerneloggen og i profilene. Hver hovedsedimenttype har i tillegg fått sin egen skravering (figur 11 og figur 12).

Letingen etter askekorn ble gjort i henhold til Turney (1998a). Jeg fikk opplæring i selve tyngdesepareringsmetoden og preparering for mikroskopi av Stefan Wastegård ved Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet.

## 2.2.2 Tyngdeseparering

Metoden går ut på å konsentrere rhyolittiske askekorn ved å utnytte tetthetsforskjeller mellom disse og andre minerogene sedimenter. Rhyolittiske askekorn har en tetthet på mellom 2,3 og 2,5 g/ml. Ved å sentrifugere prøven i væske med tetthet 2,3 g/ml vil korn som er lettere enn dette flyte opp. Væsken helles av, mens bunnfallet som inneholder askekornene, sentrifugeres på nytt. Denne gangen brukes væske med tetthet 2,5 g/ml. Kornene som nå flyter opp har en tetthet på 2,3-2,5 g/ml. På denne måten blir askekornene konsentrert slik at de blir langt lettere å oppdage.

Denne metoden ble utviklet ved å sentrifugere ren Veddeaske i væske med tettheter fra 1,9 g/ml, med sprang på 0,05 g/ml, opp til 3,0 g/ml (Turney 1998a). Den rhyolittiske komponenten viste seg da i all hovedsak å ha en spesifikk vekt på mellom 2,4 og 2,5 g/ml. Senere har det vist seg at den rhyolittiske komponenten i Veddeasken har lite blærerom og derfor er relativt tung i forhold til andre rhyolittiske asker. Derfor er det nå vanlig å tyngdeseparere med væsketettheter på 2,3 og 2,5 g/ml (Turney *et al.* 1997; Stefan Wastegård, *pers. oppl.*).

Væsken som blir brukt er basert på et pulver, sodium polytungstate (SPT), som blandes ut med destillert vann. Væskens tetthet er avhengig av forholdet mellom mengde destillert vann og SPT. Væsken er ikke giftig og kan resirkuleres ved å filtreres gjennom filterpapir (figur 4D) og tørkes i tørkeskap. Man bør unngå at væsken går over til fast form fordi den da er vanskelig å blande ut igjen.

**Min prosedyre er her beskrevet i detalj, slik at andre senere kan følge denne:**

- Prøver på 4 cm<sup>3</sup> tatt fra 5 cm-intervaller oppover i hele kjernens lengde ble tatt ut for å ”scanne” etter tefra. Prøvene ble nummerert i stigende rekkefølge fra bunnen og opp. Prøvene ble også tatt ut i denne rekkefølgen slik at en eventuell forurensning ville skje oppover. Dette ble gjort ved hjelp av spesiallagede metallrammer med volum på 4 cm<sup>3</sup> (figur 4E) som ble dyttet ned i sedimentene. Prøvene ble brent på 550 ° C i fire timer for å fjerne organisk innhold. Deretter ble prøvene lagt i 10 % HCl over natten for å løse opp ikke-organiske elementer, hovedsakelig karbonater, noe som vil lette

siktingen. Fraksjonen mellom 80 µm og 25 µm ble siktet ut fordi det er dette intervallet som er mest hensiktsmessig å lete i (Turney 1998a). Korn under 25 µm er så små at de er svært vanskelig å jobbe med, mens korn over 80 µm er, hvis tilstede i det hele tatt, gjerne er i et veldig mindretall (se kornfordelingsanalysen til Persson (1967; 1971)). Andelen rhyolittiske askekorn derfor øke om man fjerner alle korn større enn 80 µm. Fraksjonen som var siktet ut ble sentrifugert i destillert vann i koniske sentrifugerør i 15 min. på 2500 o/min uten brems for at alt prøvematerialet skulle synke til bunns. Den koniske enden på sentrifugerøret gjør det enkelt å helle av vannet samtidig som bunnfallet renner ut.

- SPT ble blandet ut med destillert vann til tetthet 2.3 g/ml. Dette ble gjort ved hjelp av en magnetomrører, målesylinder (100 ml), vekt og hydrometer (2,0 -3,0 g/ml). Utstyr og oppsett er vist i figur 4A og B. Væsken ble først blandet ut til en tetthet tyngre enn 2,3 g/ml. Målesylinderen ble plassert i en glasskål (for å fange opp evt. søl) på vekten, og vekten nullstilt. Målesylinderen ble fylt nesten helt opp med væsken og vekten lest av. Deretter ble væskens tetthet bestemt nøyaktig ved hjelp av hydrometeret. Når vekt og tetthet var bestemt kunne volum beregnes, volumbestemmelse v.h.a. målesylinderen ville blitt for unøyaktig:

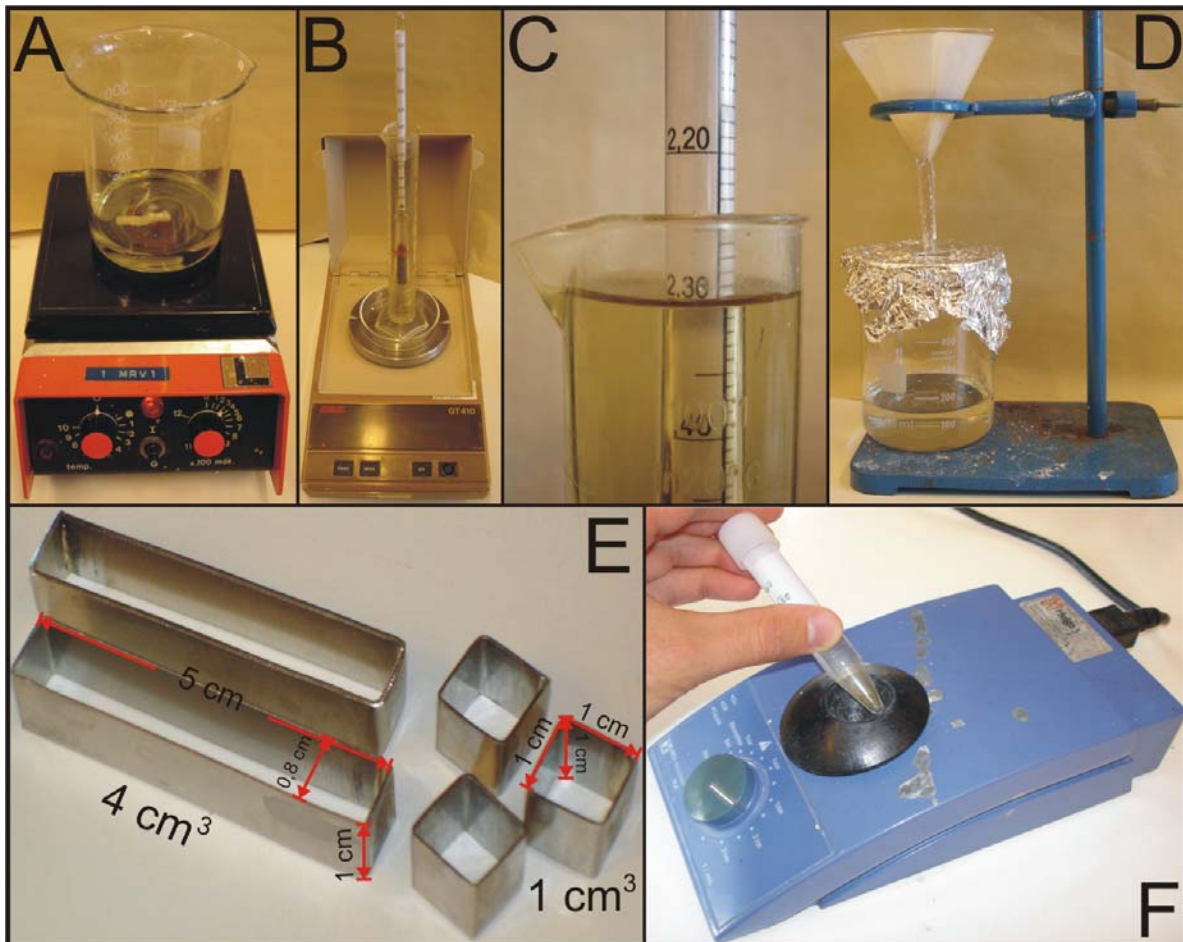
$$Volum = \frac{Vekt\ SPT}{Tetthet}$$

Mengde vann som måtte tilsettes for å oppnå ønsket tetthet på 2,3 g/ml ble så regnet ut etter formelen:

$$Vekt\ vann\ som\ må\ tillsettes = \frac{(Vekt\ SPT - (Volum\ SPT \times \text{Ønsket tetthet}))}{\text{Ønsket tetthet} - 1}$$

Denne mengden destillert vann ble så tilsatt målesylinderen etter å ha nullstilt vekten på nytt. Væsken ble deretter helt over i et tomt begerglass (viktig å få med alt) og blandet godt med magnetomrører. For å være sikker på at riktig tetthet var oppnådd ble væsken helt tilbake på målesylinderen og tettheten sjekket med hydrometeret (figur 4C). Hydrometeret ble skylt med destillert vann og tørket med tørkepapir mellom hver gang. Skyllvannet ble resirkulert for gjenbruk av SPT (figur 4D).

- Væsken, med tetthet 2,3 g/ml, ble så overført til sentrifugerørene slik at disse var omtrent halvfulle. Prøvematerialet og væsken ble så blandet godt med ”ristemaskin” (se figur 4F) og sentrifugert igjen på 2500 o/min i 15 min. uten brems. Væsken, inkludert materiale lettere enn 2,3 g/ml ble helt ut til gjenbruk. Denne prosessen, med væsketetthet på 2,3 g/ml, ble gjennomført to ganger til sammen.



Figur 4: A) Utblanding av SPT med magnetomrører; B) Oppsett av vekt, glasskål, målesylinder og hydrometer; C) Avlesning og sjekk av væskens tetthet; D) Oppsett av trakt med filterpapir for resirkulering av SPT; E) Spesiellagede metallrammer på 4 cm<sup>3</sup> og 1 cm<sup>3</sup>; F) Blanding v.h.a. ”ristemaskin”

- Ny SPT, denne gangen til tetthet 2,5 g/ml, ble blandet ut etter samme prosedyre som ovenfor. Væsken ble helt i rørene, ristet godt og sentrifugert som tidligere, men denne gangen ble væsken inkl. eventuelle rhyolittiske askekorn helt over i nye sentrifugerør som jeg her kaller sentrifugerør nr. 2. Disse sentrifugerørene ble så fylt helt opp med destillert vann, ristet godt og sentrifugert like lenge og med samme hastighet som før.

Den tunge væsken ble da såpass utvannet at alle korn sank til bunns under sentrifugering. Væsken fra disse rørene ble helt ut til gjenbruk.

- De opprinnelige sentrifugerørene ble sentrifugert på ny med væsketetthet 2,5 g/ml og væsken ble igjen overført til sentrifugerør nr. 2. Disse ble nok en gang fylt helt opp med destillert vann, ristet godt og sentrifugert. Væsken ble helt ut til gjenbruk.
- For å bli kvitt spor av SPT er det viktig å vaske bunnfallet i sentrifugerør nr. 2 godt. Dette ble gjort ved å sentrifugere bunnfallet i destillert vann på 2500 o/min i 10 min. med brems. Dette ble gjentatt minst tre ganger. Sentrifugerørene ble ristet godt før hver sentrifugering. Etter hver gang ble væsken helt ut til gjenbruk.
- Det resterende bunnfallet i de opprinnelige sentrifugerørene ble tatt vare på i tilfelle det skulle bli aktuelt med videre analyse av dette.

Tyngdeseparering er en metode som er utviklet for bruk på minerogene sedimenter. I organiske sedimenter er det ofte så lite annet minerogent materiale at det ikke er noe problem å finne et eventuelt askelag. Tyngdeseparering er derfor ikke nødvendig. Det har vært vanlig å bruke kjemisk behandling for å fjerne det organiske innholdet (Dugmore 1989; Pilcher og Hall 1992). For de 5 cm intervallene som inneholder gytje, i toppen av kjernen jeg har jobbet med, ble prøvene tatt ut og kokt i hydrogenperoksid ( $H_2O_2$ ). For å gjøre disse prøvene sammenlignbare med resten ble de deretter siktet og tyngdeseparert slik som beskrevet ovenfor.

Opprinnelig var det meningen at jeg skulle se nærmere på alle intervallene der aske ble funnet, men da antok vi at asken ville være definert i noen spredte horisonter. Da det viste seg at det fantes aske i alle 5 cm-intervallene ble det klart at arbeidsmengden måtte begrenses noe. Derfor ble det bestemt at nye prøver skulle tas ut i de intervallene der det var en prosentvis økning i antall askekorn (relativt til totalt antall korn etter sikting og tyngdeseparering) i forhold til underliggende intervall. En slik økning ville kanskje bety et nytt askelag. Denne gangen var prøvene på  $1\text{ cm}^3$  fra 1 cm-intervall gjennom det opprinnelige 5 cm-intervallet. Også disse prøvene ble tatt ut ved hjelp av spesiallagde metallrammer (firkantede for å unngå underrepresenterte horisonter). Disse er også vist i figur 4E. 1 cm-intervallene ble nummerert en til fem fra bunnen og opp etter nummeret på det respektive 5 cm-intervallet,

f.eks. 13.1. Prøvene fra disse intervallene ble behandlet på samme måte som de fra 5 cm-intervallene.

### **2.2.3 Preparering for mikroskopi**

Den vaskede prøven ble tatt ut og overført til et objektglass med en engangspipette. Objektglasset ble varmet opp for å få vannet til å fordampe. Prøven ble iblandet en dråpe kanadabalsam og fordelt så jevnt som mulig utover med en tannpirker, før et dekkglass ble lagt over. Kanadabalsam ble brukt fordi dette prepareringsmiddelet har en brytningsindeks (1,515-1,530) som slukker ut ved polarisert lys (Stefan Wastegård, *pers. oppl.*).

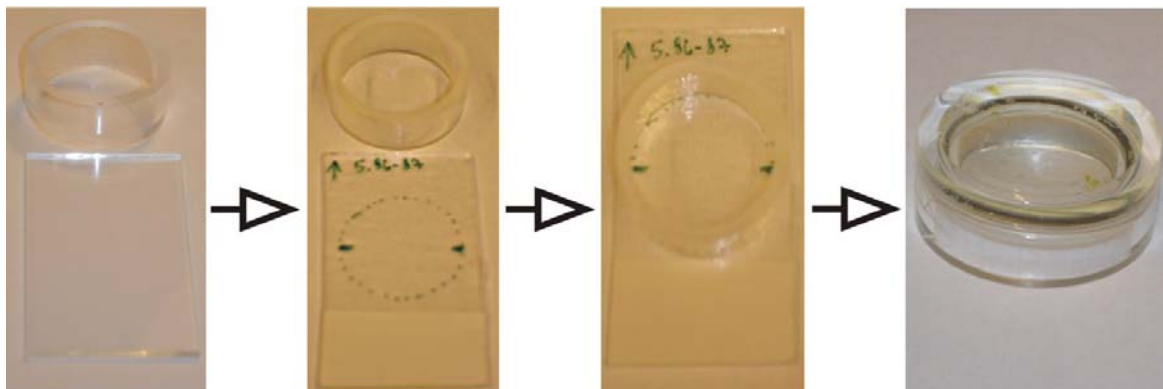
### **2.2.4 Mikroskopi og telling**

Askekornene ble detektert ved optisk mikroskopi og ble identifisert på grunnlag av morfologi og lysbrytningsegenskaper. Det ble brukt en forstørring på 100 x. Askekornene er isotrope og slukker ut under polarisert lys, noe som skiller dem fra krystalline korn. Typiske askekorn var ”platelignende” eller vesikulære med skarpe kanter. Korn med usikker morfologi, men med samme lysbrytningsegenskaper ble tatt med i tellingene (Pilcher og Hall 1992). For prøvene fra 5 cm-intervallene ble tellingen gjort ved å telle antall askekorn pr.100 korn. Prøvene fra 1 cm-intervallene var mye mindre enn de fra 5 cm-intervallene og det var derfor mulig å preparere så godt som hele prøven på prøveplaten og dermed også estimere den totale mengden med askekorn i prøven. Dette ble gjort ved å beregne det totale arealet av den preparerte prøven ved å legge den på et millimeterpapir og telle ruter. Tre transekker (vanligvis mellom 6-10 % av totalarealet) av prøven ble undersøkt under mikroskop og antall askekorn telt. Arealet av undersøkt område ble beregnet ved hjelp av et mikrometer og et millimetermål montert på mikroskopet. Når antall korn og undersøkt område var kjent, ble antall korn for hele prøven beregnet. Siden hele prøven representerer 1 cm<sup>3</sup> var dette også tettheten pr. cm<sup>3</sup> av rhyolittiske askekorn, etter sikting og tyngdeseparering, for det respektive intervallet. For å ha et sammenligningsgrunnlag ble også et en prøve fra ett 1 cm-intervall (434-435 cm) med ren Veddeaske behandlet som de andre prøvene fra 1 cm-intervallene. Dette var også en test for å se om tyngdesepareringsmetoden virkelig fungerte (se avsnitt 3.3).

Noe nærmere kornfordelingsanalyse ble ikke gjort.

## 2.2.5 Preparering for kjemianalyse

Nytt materiale ( $1 \text{ cm}^3$ ) ble tatt ut fra kjernen i de 1 cm-intervallene der tettheten av rhyolittiske askekorn kulminerte. For å unngå endringer i askekornenes kjemi, som følge av oppvarming i nærheten av organisk materiale (Pilcher og Hall 1992) ble prøvene ikke brent denne gangen, men kokt i  $\text{H}_2\text{O}_2$  for å fjerne det organiske innholdet. Prøvene ble deretter siktet og tyngdeseparert slik som før, før de ble overført til et objektglass med en engangspipette. Fraksjonen over  $80 \mu\text{m}$  ble også tyngdeseparert for å se om det fantes askekorn i denne fraksjonen. Disse ville i så fall være mye lettere å finne, plukke ut, preparere og analysere. Prøveplatene ble så forsiktig varmet opp for at vannet skulle fordampe. Askekornene ble plukket ut under lupe ( $80 \times$ ) ved hjelp av en pensel der alle bortsett fra to hår var klippet bort. Kornene ble overført til en dobbeltsidig tape som var klistret til et tykt objektglass (se figur 5). På tapen var omrisset av en plastring tegnet opp og kornene ble lagt i en rett linje på tvers av dette. Prøvene med ren Veddeaske inneholdt så mye ren aske at det bare var å drysse kornene over tapen. Når det ikke var mulig å finne flere korn ble plastringen klistret på i overensstemmelse med det markerte omrisset. Ringen ble så fylt opp med epoksy.

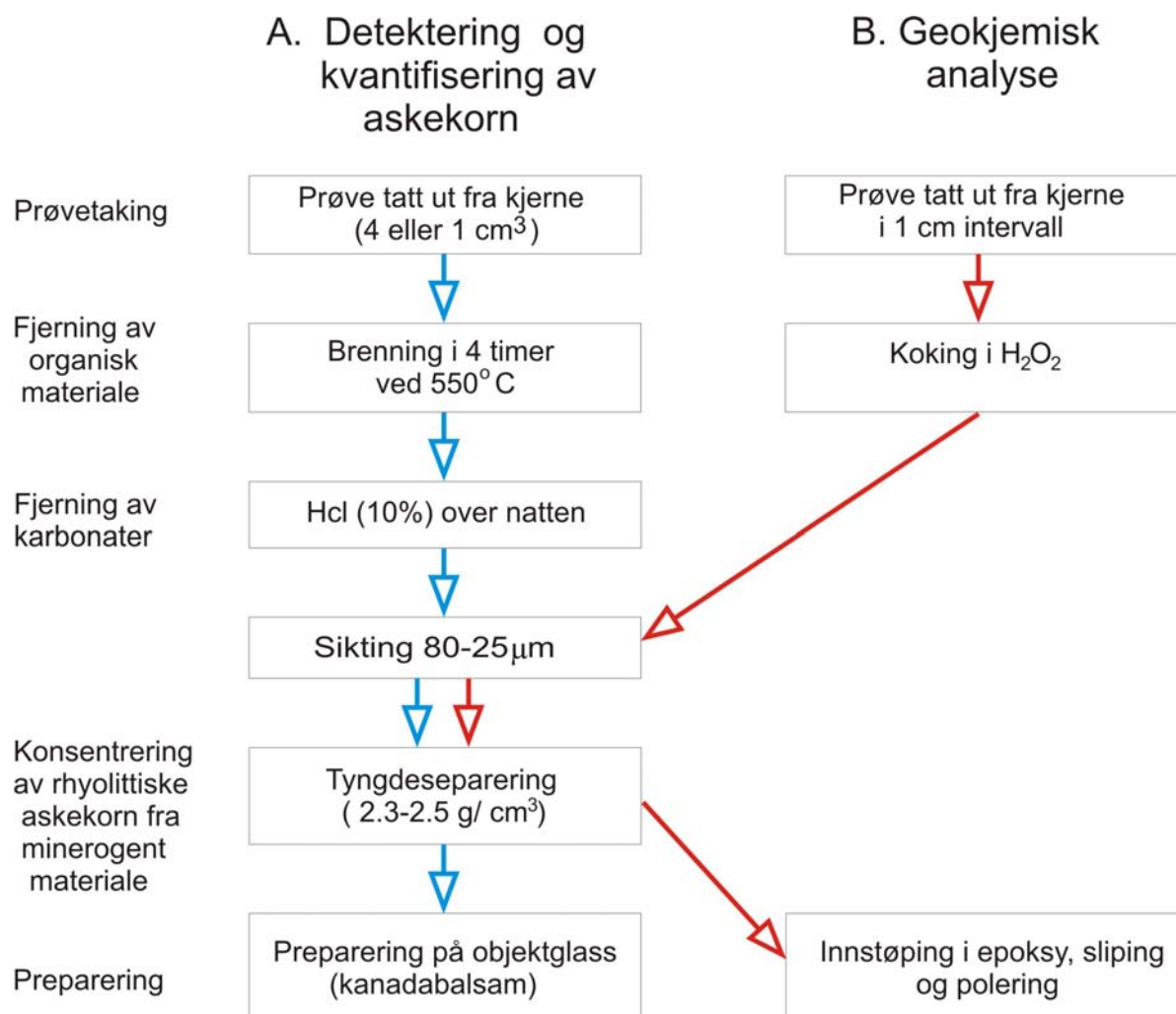


**Figur 5: Innstøping i epoksy. Omrisset av plast-ringene ble markert på den dobbeltsidige tapen som var klistret på et tykt objektglass. Etter at askekornene var overført til tapen ble plast-ringene klistret på og denne fylt opp med epoksy. Bildet helt til høyre viser prøve med innstøpte korn ferdig for kjemianalyse.**

Etter at epoksyen hadde herdet ble plastringen lirket løs fra tapen med en tapetkniv og nummerert. Askekornene var nå støpt inn i epoksyen og deres posisjon ble avmerket så de skulle være lette å finne igjen. Siden med askekornene ble våtslipt på aluminiumoksid slipepapir slik at så mange korn som mulig fikk en størst mulig snittflate mot overflaten. Dette ble gjort først med slipepapir på  $9 \mu\text{m}$  og så på  $3 \mu\text{m}$  og med stadige kontroller av prøven gjennom lupe for ikke å slipe for mye. Ved overføring til tapen ble kornene også forsøkt plassert slik at størst mulig areal ville blottlegges ved sliping. For at kjemianalysene skulle bli



vellykket var det viktig at snittflatene var blanke og rene. Etter sliping ble prøvene derfor polert med en diamant poleringsskive på 0,3  $\mu\text{m}$  i tre til fem minutter og kontrollert med et pålysmikroskop. For å få så mange analyserbare korn som mulig er det en fordel å legge kornene nær hverandre på den dobbeltsidige tapen. Hvis dette ikke ble gjort kunne mange korn lett forsvinne dersom prøven ble slipt litt skjevt. Det ble ikke tatt ut askekorn for kjemianalyse over den synlige øvre grensen til Veddeasken fordi disse kornene åpenbart var resedimentert Veddeaske. Likheter og ulikheter mellom prepareringen for detektering/kvantifisering og kjemianalyse av askekorn, er framstilt skjematisk i figur 6.



Figur 6: Skjematisk fremstilling av prepareringen. 5 cm-intervaller med gytje fulgte prosedyrene for geokjemisk analyse også ved detektering og kvantifisering, bortsett fra prepareringen. Modifisert etter Davies *et al.* 2005

Askekornenes størrelse og form skapte problemer under analysering fordi elektronstrålen i elektronmikrosonden (se avsnittet under) er avhengig av et visst areal og tykkelse for å få brukbare målinger. Askekorn som stod på høykant i forhold til eletronstrålen var ikke mulig å

analysere fordi de var for tynne. Når det ikke lyktes å få til så mange analyser som ønskelig og metoden i tillegg var forholdsvis arbeidskrevende, ble alternative metoder for preparering for kjemianalyse vurdert. Det ble forsøkt å gjøre kjemianalyser på prøvene som allerede var tatt ut for mikroskopi (og se bort fra målingene av Na-innhold som kunne ha blitt endret etter brenning (Pilcher og Hall 1992)). Mikroskopiprøven ble varmet opp slik at kanadabalsamen ble flytende og dekkglasset kunne fjernes. Etter at dekkglasset var tatt av og kanadabalsamen igjen var stivnet, ble prøven slipt og polert. Planen var å finne kornene som skulle analyseres under polarisasjonsmikroskop og merke disse slik at de lett kunne finnes igjen når de skulle analyseres. Denne metoden måtte forkastes fordi det viste seg at kanadabalsamen ikke herdet godt nok slik at kornene ble ”dratt med” ved sliping og polering. Dessuten tålte den heller ikke oppvarmingen fra elektronstrålen under analyseringen av askekornene.

## 2.2.6 Kjemianalyse

Alle prøvene ble analysert i en ARL-SEMQ elektronmikrosonde med syv WDS (wavelength dispersive spectral) spektrometre ved Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen (figur 7). Mikrosonden fungerer slik at askekornet som blir analysert blir utsatt for en elektronstråle, noe som fører til at kornet sender ut røntgenstråling. Energien i



**Figur 7: ARL-SEMQ elektronmikrosonden ved Institutt for geovitenskap, UiB.**

røntgenstrålingen er unik for hvert kildeelement og intensiteten er proporsjonal med mengden av elementet som er til stede (Hunt og Hill 1993). Denne røntgenstrålingen blir sammenlignet røntgenstrålingen fra en serie av standarder. Standardene som ble brukt her ble utvekslet i mikrosondemiljøet tidlig på 70-tallet. Disse bestod av aluminium (Al), silisium(Si), kalsium (Ca) og jern (Fe), Jadeitt for natrium (Na), orthoklas for kalium (K), rutil for titanium (Ti) og metallisk mangan for mangan (Mn). I tillegg ble indian basalt (ref.nr. USNM113716) fra US Geological Survey brukt som standard for magnesium (Mg). Standardiseringen ble kontrollert ved analyse av indian basalt og rhyolitt (ref.nr. USNM72854), også denne fra US Geological Survey. Testverdiene er gitt i tabell A (vedlegg). Målingene kommer ut som vektprosent av oksidene til de nevnte hovedelementene. For å hindre drift i analysene ble standardisering gjennomført ved hver oppstart av mikrosonden og ved mistanke om for høye eller for lave

målinger. Det ble brukt en akselerasjonsspenning på 15kV, strålestrøm på 10nA (målt med Faraday cup), en teoretisk strålediameter på 1  $\mu\text{m}$  (for å redusere Na-tap ble elektronstrålen defokusert til 2-4  $\mu\text{m}$ ) og en telletid på 60 sek. for Al, Si og Ca og totalt 40 sek. for Na, Mg, Ti, K og Mn. Total analysetid var ca. 1,5 min. For å minimere effekten av Na- tap ble Na målt først (Hunt og Hill 1993, Ole Tumyr, pers. oppl.). For å ha noe å orientere etter når prøvene var satt inn i mikrosonden ble prøvene fotografert nøye gjennom lupe før analysering. De ble også pådampet et tynt lag med karbon. Karbon leder elektrisitet og hindrer kornene i å bli elektrisk ladet av elektronstrålen. En klistrelapp i grafitt sørger for kontakt mellom prøven og prøveholderen (Hunt og Hill 1993). Analyseresultatene ble ført opp i en tabell (tabell B, vedlegg) og fremstilt grafisk i forskjellige plot (figur 17, 19 og 20). Her er FeO\* en samlebetegnelse for to- og treverdig jern. Frogatt (1992) skriver at målinger helt ned til totalt 90-91 vektprosent er akseptable, men at de bør normaliseres for at de skal bli sammenlignbare med målinger fra andre funn. Dette begrunnes med at størsteparten av den manglende prosentandelen var representert ved askekornets vanninnhold som ikke kom med i målingene. Normaliseringen burde skje p.g.a. forskjellig vanninnhold avhengig av avsetningsmiljø og geografisk sted. Dette ble kritisert av Hunt og Hill (1993) som mente at uoverensstemmelsene i de forskjellige målingene for hvert element ikke var små nok til at normaliseringer ville være pålitelige. De mente heller at en tilfeldig valgt nedre grense på 95 % uten normalisering hadde vist seg å være fornuftig. Etter rådføring med Hafliði Hafliðason ble en nedre grense på 93 % uten normalisering valgt for de rhyolittiske askekornene i dette arbeidet. Med denne grensen vil kjemien til askekornene bli bestemt med stor grad av sikkerhet og alle analysene med totaler mellom 93 og 95 %, som det er en del av, vil komme med. Analyser der den totale vektprosenten var under 93 % ble forkastet. Disse er ført opp under et eget punkt i tabellen, men er ikke tatt med i utregning av gjennomsnitt og standardavvik og heller ikke i de grafiske fremstillingene. Målinger av korn som åpenbart ikke er aske er utelatt fra tabellen.

Den basaltiske komponenten av Veddeasken ble også analysert. Her ble nedre grense satt til 95 % slik som anbefalt av Hunt og Hill (1993).

### **2.2.7 Radiokarbondatering**

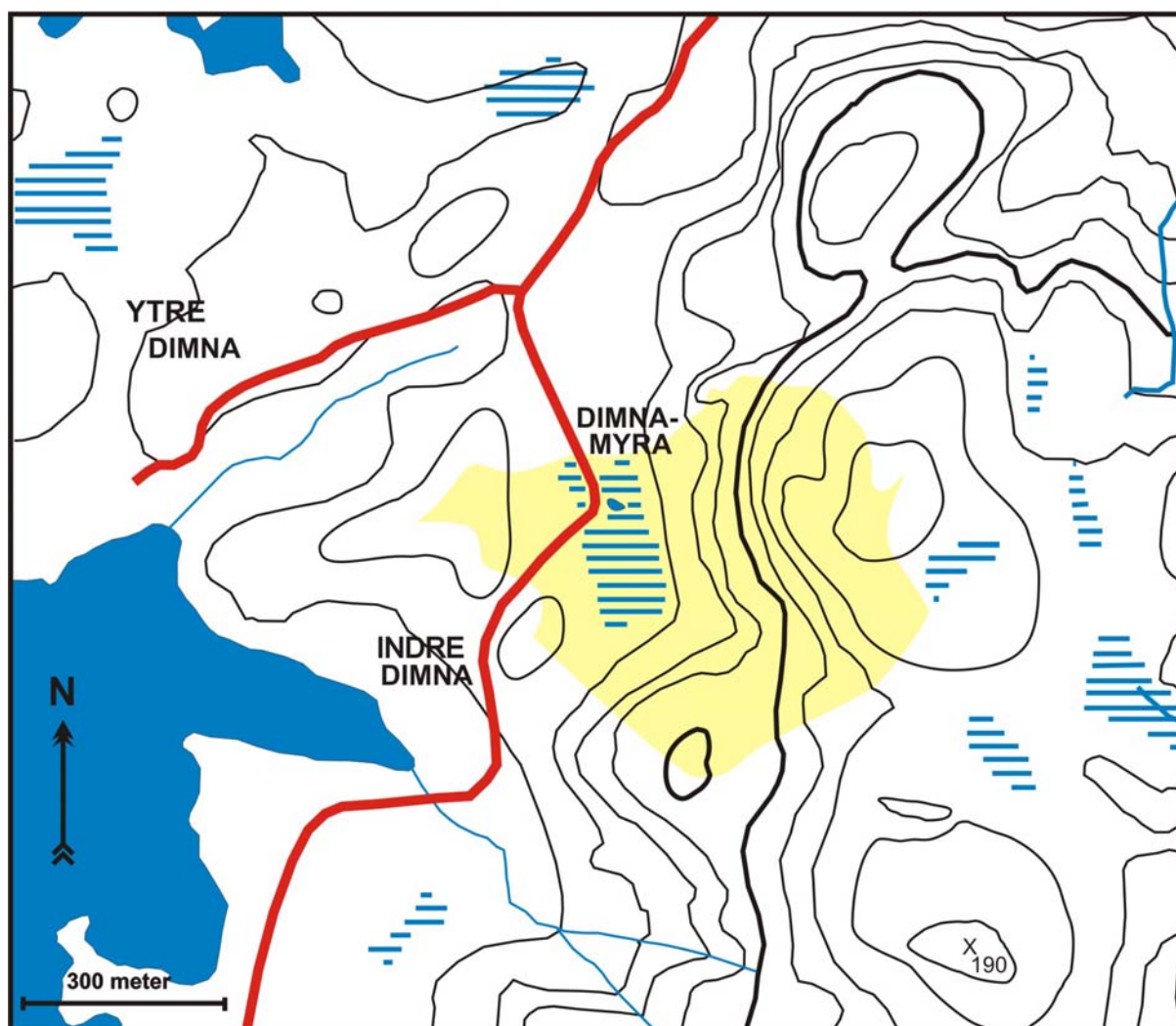
Terrestriske plantefragmenter ble plukket ut og preparert i henhold til "NORPEC sampling protocol for AMS radiocarbon dating" av H.H. Birks og A.F. Lotter (2000). Dette ble gjort på Sedimentologisk hovedlaboratorium, Institutt for geovitenskap, UiB av Mareile Andersson.

Materialet ble sendt til Poznańskie Laboratorium Radiowęglowe i Poznań, Polen, for datering med akselerator massespektrometer (AMS). Dateringene (tabell 4) er kalibrert med dataprogrammet OxCal 3.10 (Ramsey 2001).

## 3 Resultater

### 3.1 Dimnamyra

Feltarbeidet ble utført i oktober 2004. Etter rekognisering av flere aktuelle myrbassenger falt valget altså på Dimnamyra. Ved å bore på myr og ikke i en innsjø sparte vi mye arbeid fordi vi slapp å montere og bruke flåte. Terskelen ved utløpet for bassenget ligger i den nordre enden av myra og er i følge økonomiske kart på 31.8 m o.h. Denne er antakeligvis blitt justert ned i nyere tid i forbindelse med torvuttak fra myra. Usikkerheten i høydemålingene på økonomiske kart vil sannsynligvis ligge innenfor  $\pm 1$  m. Dette er likevel nøyaktig nok for mitt arbeid fordi jeg bare er avhengig av at bassenget ligger over marin grense. Dimnamyra ligger i et vestvendt område, med et lite fjellparti i øst og syd-øst (figur 8). En liten bekk renner inn i myra fra syd-øst og fortsetter mot nord vest langs myras østlige grense (figur 10). Den



Figur 8: Kart over området rundt Dimnamyra. Dreneringsområdet er markert med lys gul skravering, vei med rød strek. Ekvidistansen er 20 m. Kartet er basert på kartserien M711, utgitt av Statens Kartverk. Dette kartutsnittet er vist med grønn firkant i figur 2.

passerer en liten kulp i det den dreier mot syd vest og så mot nord vest igjen der den tilslutt følger en grøft gravd i nyere tid. Dimnamyra har et areal på rundt 0,0405 km<sup>2</sup>. Dreneringsområdet, markert med lys gul skravering i figur 8, dekker ca. 0,274 km<sup>2</sup>.

Prøvetaking med russerbor ble gjort på 15 forskjellige punkter. Til sammen tre kjerner, to med to seksjoner, ble tatt ut v.h.a. stempelprøvetakeren på tre forskjellige av disse punktene. Alle 15 punkter ligger innenfor området markert med rødt på figur 9.



**Figur 9:** Dimnamyra sett fra syd-øst. Alle borepunkter ligger innenfor område markert med rødt. Myra strekker seg også utenfor dette området. Svart pil viser liten bekk, blå pil viser kulp (se figur 10).

Borepunktene nummer, posisjon i UTM-koordinater og oppnådd dyp med russerbor er gitt i tabell 1. Borepunktene plassering er også tegnet inn på kartet i figur 10. Tidligere tiders torvuttak gjør at overflaten er noe ujevn. Derfor kan også referansen for dypet være noe forskjellig ved de ulike punktene, men forskjellen her er maksimalt 0,5 m.

En 110 mm kjerne med to seksjoner (505-47-1 og 505-47-2), begge på

rundt 2 m lengde, ble tatt ut ved borepunkt 13. Den nederste nådde 603 cm og toppen på den øverste lå på 347 cm dyp. Også ved borepunkt 5 ble en kjerne med to seksjoner tatt opp. Den

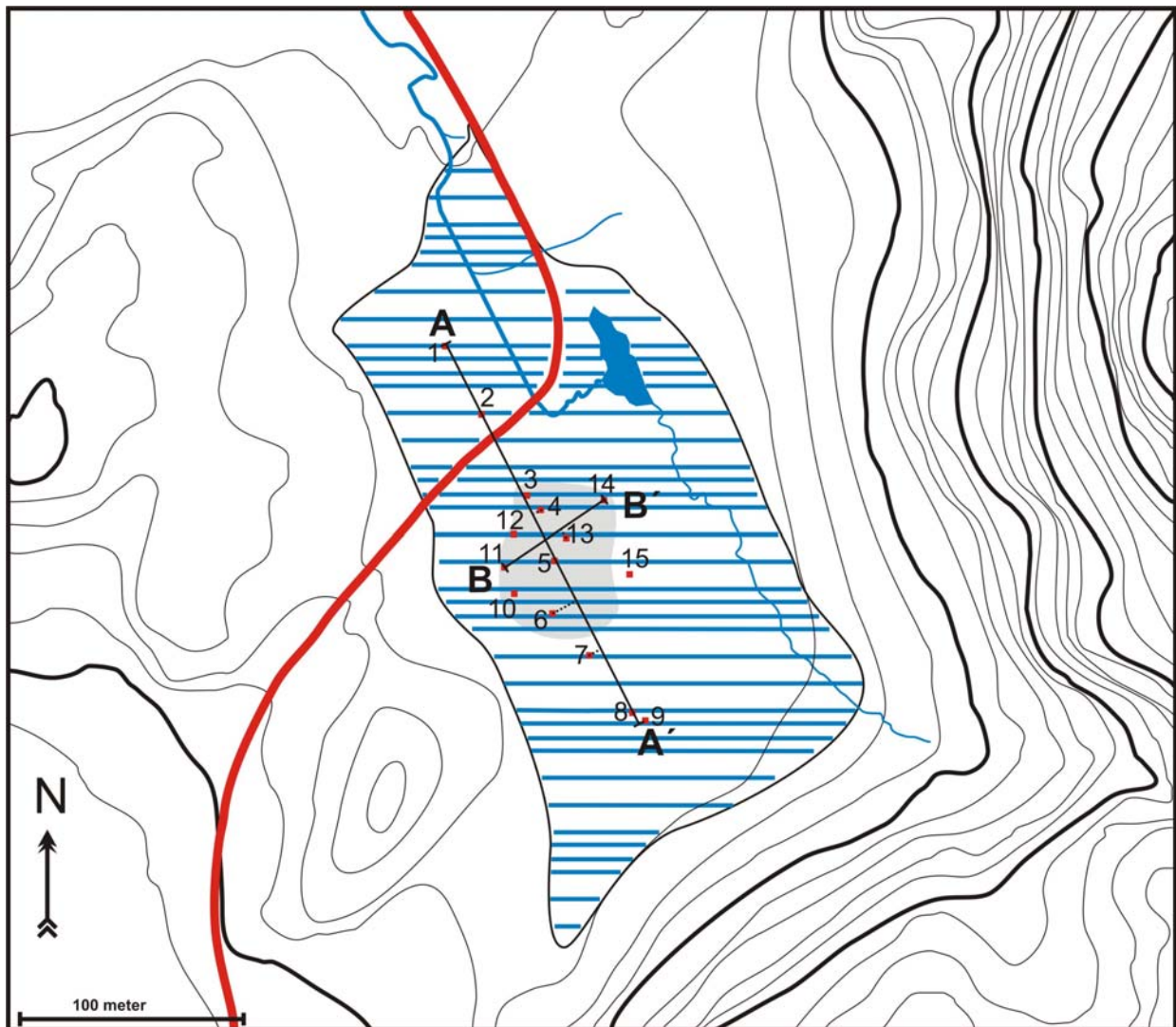
**Tabell 1: Oversikt over borepunktnr., posisjon og dyp oppnådd med russerbor.**

Borepunkt nr.	UTM (WGS 84)	Dyp (cm)
1	32 V334235 6914036	115
2	32 V334250 6914004	200
3	32 V334269 6913966	490
4	32 V334275 6913959	520
5	32 V334280 6913936	527
6	32 V334278 6913912	350
7	32 V334294 6913892	270
8	32 V334312 6913865	210
9	32 V334318 6913861	170
10	32 V334261 6913922	457
11	32 V334257 6913934	550
12	32 V334262 6913949	505
13	32 V334286 6913946	550
14	32 V334304 6913962	500
15	32 V334314 6913928	300

første (505-48-1) stoppet allerede på 470 cm. Vi fikk derfor bare skåret ned litt over en meter i sedimentene. Da seksjonen skulle trekkes opp mistet vi sedimentfangeren, d.v.s. mothakene som sitter ytterst på PVC-røret og skal hindre tap av sediment. Det medførte at vi mistet de nederste 20 cm av seksjonen og den totale lengden ble bare 95 cm. Neste seksjon (505-48-2) på samme lokalitet gikk greiere, selv uten sedimentfangeren. Denne gangen kom vi ned til 538 cm og en kjerne på 140 cm ble tatt opp. Ved borepunkt nr. 10 ble en kjerne med bare en seksjon (505-49-1) tatt ut. Denne kjernen ble totalt 114 cm lang, tatt fra 400 cm dyp og nedover. Bare kjernene tatt med stempelprøvetakeren ble tatt med tilbake for undersøkelser på lab. En oversikt over disse er gitt i tabell 2.

**Tabell 2: Oversikt over 11mm. kjerner. Nummer, posisjon og dyp.**

Kjerne- og seksjonsnr.	Borepunkt	Dyp (cm)
505-47-1	13	550-347
505-47-2	13	603-403
505-48-1	5	450-355
505-48-2	5	538-398
505-49-1	10	514-400



**Figur 10: Kart over Dimnamyra. Borepunkter er merket med røde prikker og profilene A-A' og B-B' med svart rett strek. Antatt synlig utbredelse av Vede asken er skravert med grått. Kartet er basert på økonomisk kartverk. Ekvidistansen er 5 m.**

## 3.2 Beskrivelse og tolkning av avsetningene

### 3.2.1 Enheter og profiler

På bakgrunn av stratigrafien observert i felt og i kjernene etter åpning på laben, er sedimentene delt inn i fem enheter og en under-enhet (tabell 3). Ut i fra dette er det i figur 11 og figur 12 tegnet profiler som følger de svarte rette linjene i figur 10.

**Tabell 3: Sedimentenes inndeling, type og tolkning.**

Enhet	Sediment	Tolkning
E	Torv	Holosen myr
D	Gytje	Lakustrin avsetning av holosen alder
C <sub>a</sub>	Vulkansk aske	Vedde asken, ca. 10 300 <sup>14</sup> C år B.P
C	Silt	Lakustrint avsatt silt av yngre dryas alder
B	Gytjig silt	Lakustrin avsetning av allerød alder
A	Silt/ Fin sand	Glasilakustrin avsetning av bølling alder

#### Enhet A

Tykkelsen til denne enheten er ukjent fordi det harde og grove materialet ikke var mulig å trenge gjennom. Enheten er grå og inneholder både sand, grus og silt og ligger trolig direkte over morene eller fast fjell. På grunnlag av dette og dateringene fra kjerne 505-47 (tabell 4) tolkes dette laget til å være et isavsmeltnings sediment avsatt under tilbaketrekningen av innlandsisen. Sedimentet er til dels lagdelt vekselvis med sand og silt, men med økende innhold av silt oppover og en jevn overgang opp mot overliggende sediment. Enkelte gruspartikler, både spredte og i et par veldefinerte horisonter ble funnet i nederste del av enheten. Spredte plantefragmenter finnes i hele enheten, men minimalt i nedre del. Enheten er representert i borepunkt 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14 og muligens i 15.

#### Enhet B

Denne enheten har en tykkelse som varierer fra 25 til 55 cm og består av gytjig silt, noen ganger sandig og andre ganger på grensen til findetritus gytje (FDG). Den har vekslende lagning og en varierende brunfarge nedover i sedimentene. Innholdet av planterester er også varierende, selv om spredte planterester, blader og akvatiske moser finnes i enkelte



veldefinerte horisonter. På grunnlag av dateringene og det relativt høye organiske innholdet tolkes sedimentet til å være avsatt i løpet av allerød. Denne enheten ble bare funnet i bassengets sentrale deler, i borepunkt 3, 4, 5, 11, 12, 13 og 14.

### **Enhet C**

I de kjernene hvor hele denne enheten ble med opp ligger tykkelsen uten  $C_a$  på mellom 25 til 40 cm. Enheten er en grå silt, sandig enkelte steder, med et høyt innhold av akvatiske moser, spesielt i enkelte horisonter, gjerne over  $C_a$  der denne er representert. Enhet C tolkes til å være avsatt under yngre dryas på grunnlag av sedimenttype, dateringene, stratigrafisk plassering og det at under-enhet  $C_a$  (Veddeasken) ligger omtrent midt i denne enheten. Mot bassengets ytterkanter i borepunkt 6 og 7 består enheten av grovere sedimenter, fin sand under  $C_a$  i borepunkt 6 og grus i borepunkt 7. Dette området har sannsynligvis vært i nærheten av innløpet til en bekk/elv. Diffus laminering kan observeres enkelte steder, spesielt like over  $C_a$ . Overgangene til de underliggende sedimentene er alltid relativt skarp. Enheten ble funnet ved borepunkt 3, 4, 5, (6), 7, 10, 11, 12, 13, 14 og 15.

### **Under-enhet $C_a$**

Under-enheten  $C_a$  består av ren aske (derfor a) og ligger inne i enhet C. Askelaget har en skarp nedre grense og varierer sterkt i tykkelse. Ved enkelte borepunkter er ikke asken synlig mens den ved borepunkt 6 er på hele 48 cm tykkelse. Ved dette punktet ble det ikke funnet noe av enhet C over asken, men tidsrommet tilsvarende denne kan likevel være representert i form av siltig/sandig innhold i den nederste delen av enhet D. Asken er svart når den er våt, men blir lysere når den får tørke. I kjernene som ble åpnet på laben kan man se tydelig laminering med vekslende lyse og mørkere lamina i noen områder. Ved en rask titt under lupe kan det virke som om det var en god del høyere tetthet med basaltiske, mørkere korn i de mørke laminaene enn i de lyse. Bortsett fra i borepunkt 6 er  $C_a$  bare representert i de dypere delene av bassenget, d.v.s. ved borepunkt. 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14 og antakeligvis også i form av noen tynne svarte lamina i 3. Asken er tolket til å være Veddeasken på grunnlag av dateringene, stratigrafisk posisjon, kjemianalysene (se avsnitt 3.4) og den massive tykkelsen. Det er ikke rapportert om askelag som kan ha potensial til å bli avsatt i slike tykkelser annet enn Veddeasken.

## **Enhet D**

Enhet D består av mørk brun gytje, som regel med en gradvis overgang fra den underliggende silten. Vanligvis begynner den som FDG i bunnen og blir gradvis en grovdetritus gytja (GDG) oppover. Også denne enheten er representert i alle borepunkter, selv om kjernen tatt med russerbor i borepunkt nr. 11 ble tatt for dypt til at den fulgte med opp. Sedimenttypen og den yngste dateringen tilsier at denne enheten tolkes til å være et lakustrint sediment avsatt i første del av holosen.

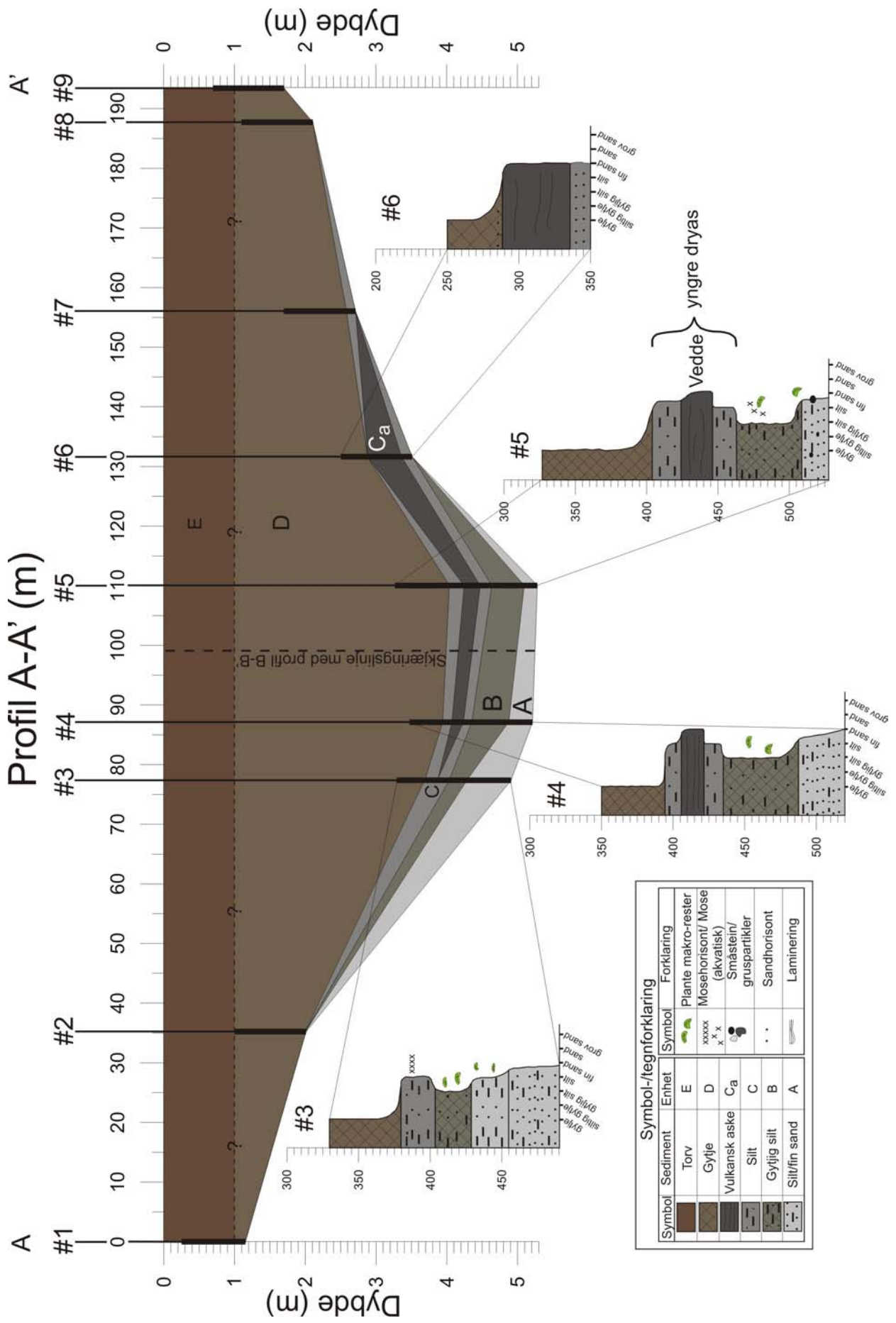
## **Enhet E**

Enhet E består av brun torv og er den øverste enheten. Fordi overgangen mellom torv og gytje er gradvis og fordi de aller fleste kjernene ble tatt for dypt til å observere denne overgangen, er grensen mellom torv og gytje markert med stiplet linje og spørsmålstegn i figur 11 og figur 12. Denne enheten var til stede i alle borepunkter og er tolket til å være et resultat av myrdannelsen i siste del av holosen.

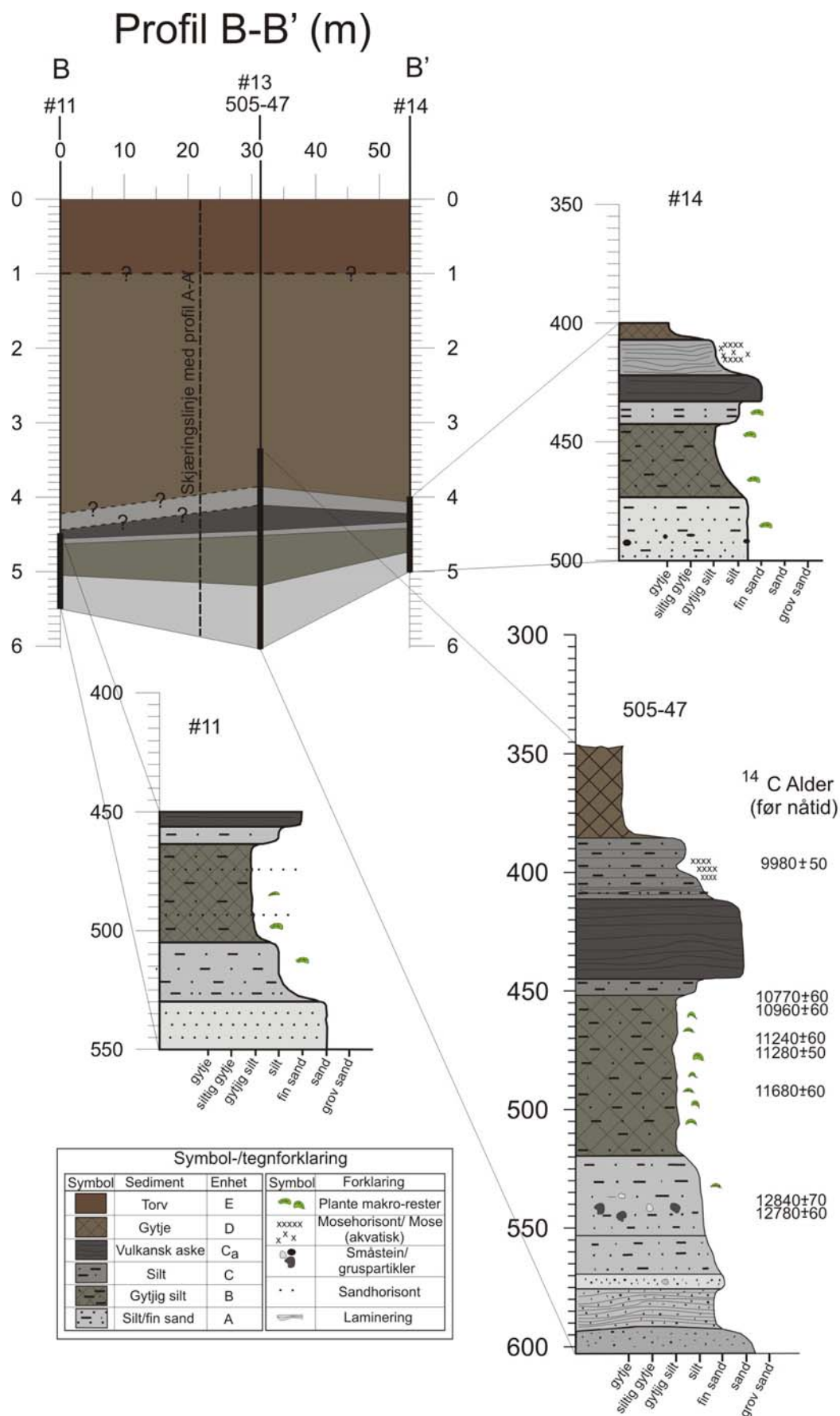
Borepunkt 10, 12 og 15 utelatt fra figurene fordi disse ligger for langt fra profilene. Dessuten inneholdt kjernen fra borepunkt 10 bare 93 cm gytje av enhet D over 15 cm silt og aske. Borepunkt. 15 var også grunnt, bare ca 3 m dyp, og kjernen inneholdt bare 30 cm gytje over sand og silt. Borepunkt 10 og 15 ligger derfor tydeligvis i utkanten av bassenget.

I profil A-A` (figur 11) er kjernen tatt med russerbor ved borepunkt 5 brukt i stedet for de to seksjonene til kjerne 505-48 fordi disse seksjonene var vanskelig å korrelere i dybde med hverandre. Kjerne 505-48 gikk dessuten bare ca. 10 cm dypere enn russerboret, så dybdeforskjellen er heller ikke stor. Det ble valgt å ikke bruke en sammensatt logg av kjerne 505-48 og kjernen tatt med russerbor fordi også denne korrelasjonen var problematisk. Stratigrafien i kjernen tatt med russerbor ved borepkt 12 avviker ikke nevneverdig fra den ved borepunkt 4, 5 eller 13. Men i kjernen 505-49-1, også tatt ved pkt.12, derimot, mangler hele eller det aller meste av enhet B (allerød gytjig silt) muligens p.g.a. utrasning.

I profil B-B` (figur 12) er stratigrafien i borepkt. 13 tegnet på grunnlag av kjernen 505-47 fordi denne både gikk dypere og spenner over et større intervall enn kjernen tatt med russerbor på samme sted.



Figur 11: Profil A-A'. Tykk linje viser prøven som ble tatt opp på hvert enkelt borepunkt, tynn strek det som bare ble boret igjennom. Vertikal stiplede linje viser skjæringslinja med profil B-B'.

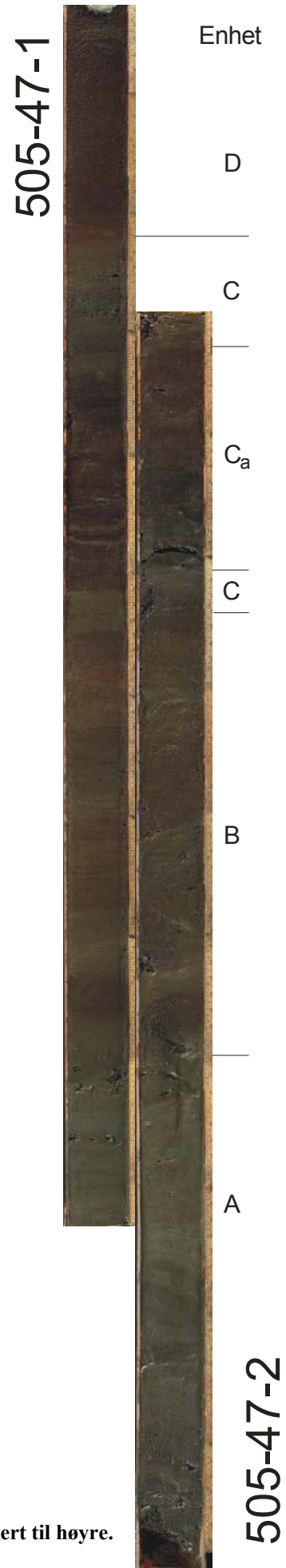


**Figur 12: Profil B-B'. Tykk linje viser prøven som ble tatt opp på hvert enkelt borepunkt, tynn strek det som bare ble boret igjennom. Vertikal stiplet linje viser skjæringslinja med profil A-A'. Kjerne 505-47, med dateringer, nede til høyre.**

På bakgrunn av de ovennevnte problemer med kjernene 505-48 og 505-49 og fordeler med 505-47 ble sistnevnte valgt ut for videre undersøkelser.

### 3.2.2 Kjerne 505-47

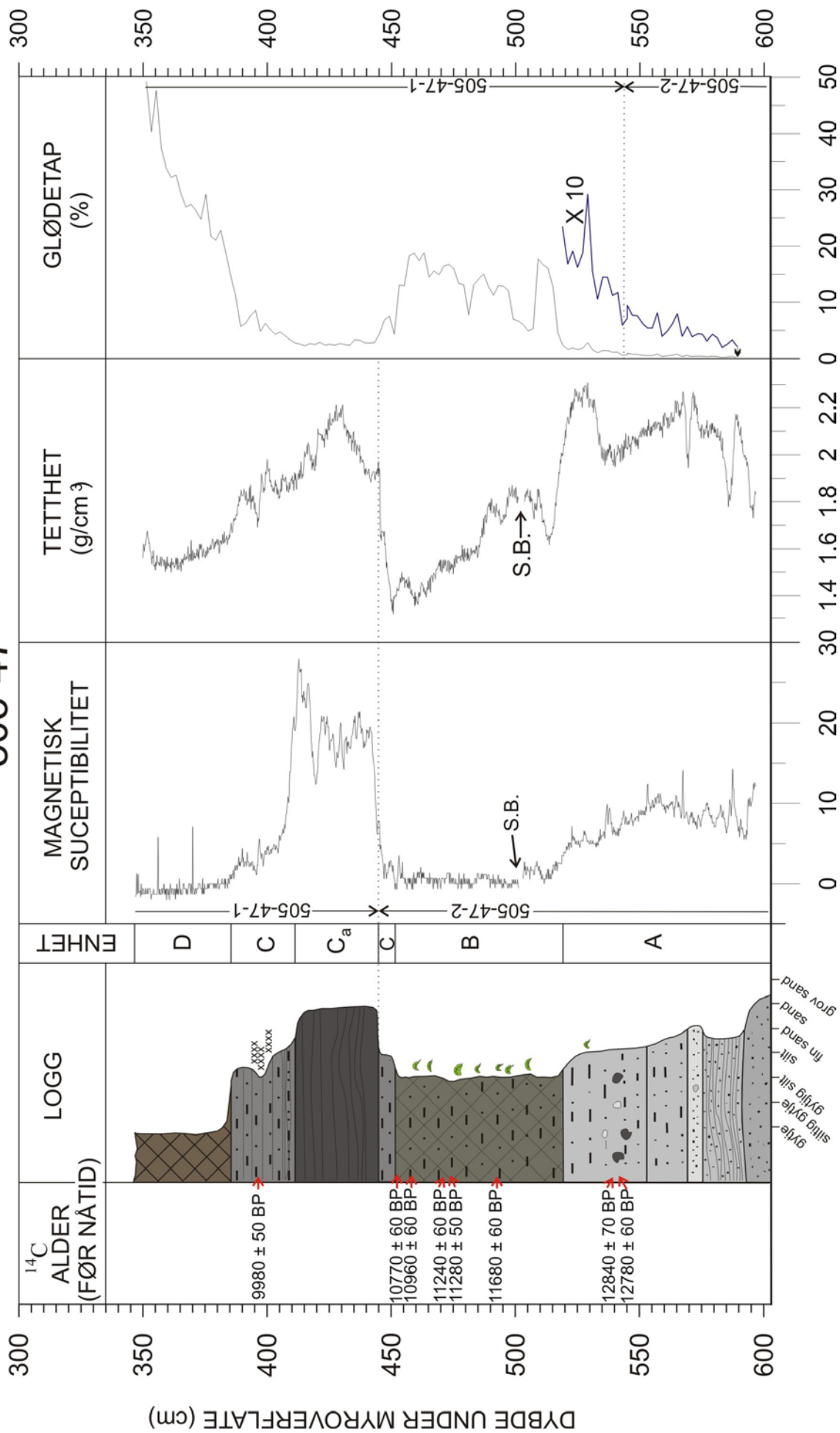
Kjerne 505-47 er avbildet og de to seksjonene korrelert etter dyp i figur 13. Sedimentene helt i bunn av 505-47-2 er noe forstyrret ved prøvetaking. En sammensatt logg av kjernen er framstilt i figur 14. Figuren viser også kurver for magnetisk susceptibilitet, tetthet og glødetap. Disse kurvene er også sammenstillinger av de to seksjonene 505-47-1 og 505-47-2. Seksjonen 2 er brukt opp til underkant av Veddeasken både i loggen, i kurven for magnetisk susceptibilitet og i kurven for tettheten. Av praktiske årsaker ligger grensen mellom de to seksjonene for glødetapskurven, asketellingene og dateringene derimot ved 544 cm, altså i bunnen av 505-47-1. Forskjellen mellom korrelasjon ved måling av dyp og ved sammenstilling av stratigrafi varierer litt p.g.a. forskjellig oppløsning mellom de to seksjonene, men er på det meste ikke mer enn ca. 5 cm. Derfor har heller ikke forskjellen i grensesettingen mellom de to seksjonene så stor betydning. Kurvene viser et veldig lavt innhold av organisk materiale i enhet A. Den høye tettheten skyldes først og fremst det høye minerogene innholdet. Årsakene til variasjoner i tetthet er usikker, men skyldes trolig særlig forskjellig pakning p.g.a. forskjellig kornfordeling. De plutselige og kortvarige fallene i tetthet i nedre del kan skyldes at målingene er gjort i eller i nærheten av luftlommer. For enhet B viser kurvene et høyere og noe varierende, organisk innhold. Det markerte fallet i tetthet nederst i enheten stemmer godt overens med økningen i organisk innhold i glødetapskurven, likedan det jevne fallet i tetthet oppover med økende organisk innhold. De høye verdiene i magnetisk susceptibilitet for enhet C<sub>a</sub> skyldes den basaltiske komponenten til



Figur 13: Kjerne 505-47. Seksjonene er korrelert over dyp. Enheter markert til høyre.

Veddeasken. Det høye minerogene innholdet gir også utslag på tetthetskurven og glødetapskurven. Enhet C preges av forholdsvis høy tetthet og relativt lite organisk innhold. Det organiske innholdet i enhet D er høyt og øker til like under 50 % mot toppen. De to toppene i den magnetiske susceptibiliteten for denne enheten skyldes sannsynligvis at målingene er blitt utført på minerogene enkeltkorn. Fordi multisensor kjerneloggeren ikke kunne ta seksjoner som var lengre enn en meter av gangen er kurvene for tetthet og magnetisk susceptibilitet usammenhengende i et punkt ved 503 cm (markert med seksjonsbrudd, S.B). Alle dateringene er fra 505-47-1 fordi det ikke ble funnet tilstrekkelig med organisk materiale under 542 cm. Dateringene er ført opp i tabell 4 sammen med posisjon i kjernen, datert materiale, tørrvekt av datert materiale og kalibrert alder. Den nederste og eldste dateringen betyr at denne delen av Sunnmørskysten ble isfri tidligere enn tidligere antatt (Svendsen og Mangerud 1987).

# 505-47



Figur 14: Kjerne 505-47. <sup>14</sup>C alder, logg, kurve for magnetisk susceptibilitet, tetthet og glødetap. Seksjonsbrudd merket S.B. Kurven nede til høyre for glødetapkurven viser glødetapet X 10 for denne delen av kjernen. Denne er tatt med for å gjøre det lettere å se de små variasjonene her.

Tabell 4: Oversikt over datert materiale og alder.

Kjerne	Dybde (cm)	Enhet	Materiale (500µm)	Tørrvekt (mg)	Lab. Nr.	<sup>14</sup> C-alder (år før nåtid)	Kalibrert alder (år før nåtid)
505-47-1	395-397	C	Plantefragmenter: Blader (Betula nana eller Salix), Salix bark, Salix female"catkin scale"	3,1	Poz-10494	9980±50	11610-11290 (σ) 11710-11250 (2σ)
505-47-1	452-453	B	Plantefragmenter: Polytricum, blader (Salix)	2,3	Poz-10495	10770±60	12855-12780 (σ) 12880-12700 (2σ)
505-47-1	456-559	B	Plantefragmenter: Blader (Betula nana), Polytricum, Carex frø	5,7	Poz-10496	10960±60	12940-12860 (σ) 13040-12830 (2σ)
505-47-1	472-473	B	Plantefragmenter: Blader (Salix eller Betula nana)	7,8	Poz-10497	11240±60	13210-13080 (σ) 13260-12990 (2σ)
505-47-1	473-474	B	Plantefragmenter: Blader (Betula nana eller Salix), Carex frø	19,8	Poz-10498	11280±50	13220-13120 (σ) 13270-13080 (2σ)
505-47-1	492-493	B	Plantefragmenter: Blader (Betula nana eller Salix)	3,8	Poz-10500	11680±60	13620-13440 (σ) 13700-13380 (2σ)
505-47-1	540-541	A	Plantefragmenter: Bark (Betula nana eller Salix), blader (Betula nana eller Salix)	2,1	Poz-10501	12840±70	15290-15010 (σ) 15500-14900 (2σ)
505-47-1	541-542	A	Plantefragmenter: Blader (Betula nana eller Salix), Salix Bark	4,2	Poz-10502	12780±60	15210-14960 (σ) 15400-14850 (2σ)



### 3.3 Aske – kvantitativ analyse

De aller fleste askekornene som ble funnet hadde en morfologi tilsvarende den til kornene i den rhyolittiske komponenten til Veddeasken (figur 16). Disse var flate, platelignende korn med spisse kanter eller korn som helt tydelig var nedbrutte ”boblevegger” som hadde skilt tre eller flere bobler fra hverandre. Kornene var gjennomsiktige i begge tilfeller. Enkelte korn var litt mer ”trådaktige” og ikke like gjennomsiktige.

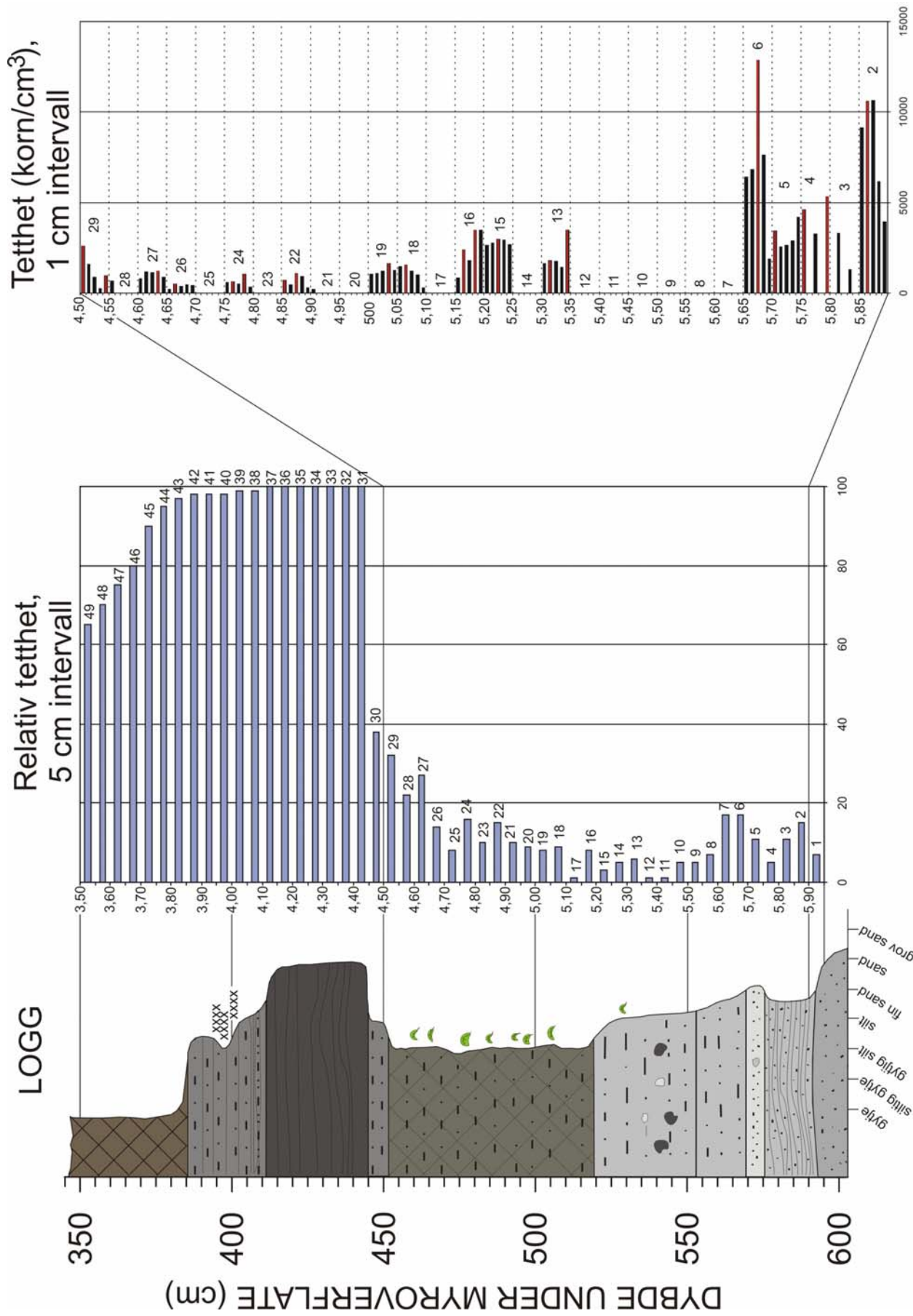
#### 5 cm-intervaller

Det ble funnet askepartikler i alle 5 cm-intervall, selv om mengden i hvert intervall varierte en god del. Resultatene for hvert enkelt intervall er framstilt i figur 15. Skjev lagning i aller nederste del av kjernen gjør at det er overlapp mellom prøvene fra intervall 1 og 2 fordi disse to prøvene ble tatt ut på motsatte sider av kjernen. Disse to prøvene representerer derfor i realiteten samme intervall. Resten av prøvene er tatt ut langs den samme siden av kjernen som prøven fra intervall 2. Prøven fra intervall 30 er tatt over bare fire cm for ikke å ta med Veddeasken. Intervallene fra og med 31 til og med 37 er ren Veddeaske og er ikke blitt tyngdeseparert. De er likevel tatt med i framstillingen fordi resultatet etter all sannsynlighet ville blitt som for 1 cm intervallet med ren Veddeaske beskrevet nedenfor. De tolv neste intervallene (38-49) er tyngdeseparert, men den kvantitative analysen er kun et estimat basert på studier under mikroskop.

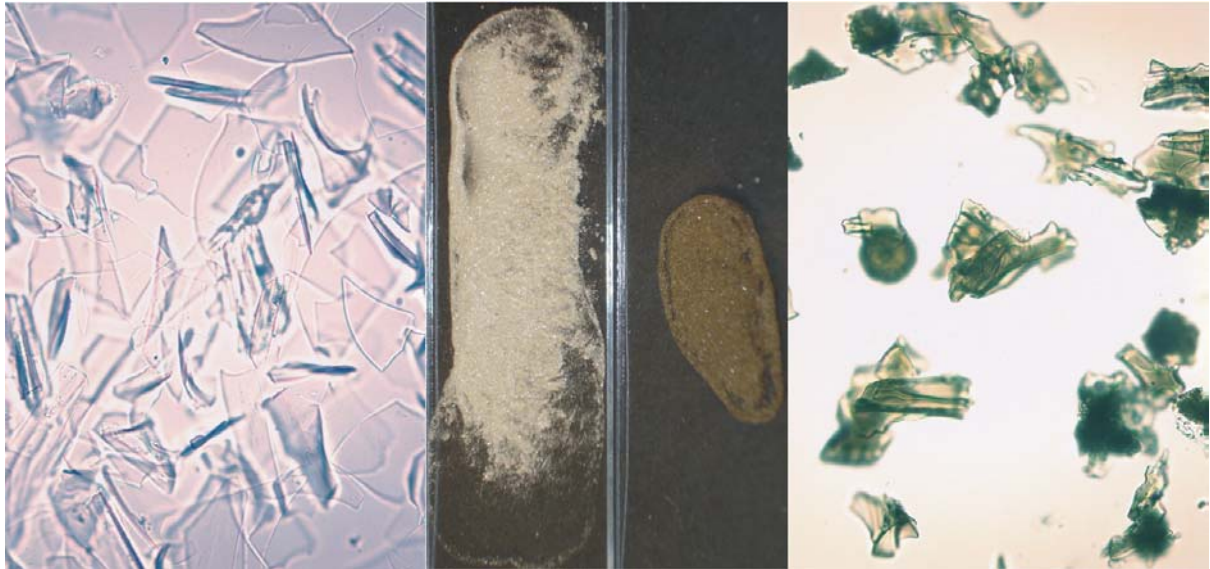
#### 1 cm-intervaller

Prøver fra 1 cm-intervaller ble tatt ut fra hele 5 cm-intervall nr. 2, 6, 13, 15, 16, 18, 19, 22, 24, 26, 27 og 29 (se figur 15). Noen av disse ble tatt ut før den kvantitative analysen fra 5 cm-intervallene forelå og f.eks. intervallene 15 og 19 viste seg å ikke representere asketoppen. For å forsøke å posisjonere eventuelle askelag bedre ble også prøver fra intervall 21.5 og 28.5 (for nummerforklaring se avsnitt 2.2.2) tatt ut. Prøver fra hver cm i 5 og annenhver cm i 3 og 4 ble tatt ut for å se om asken i intervall 2 og 6 var definert i distinkte horisonter eller ikke. Også i 1 cm intervallene ble det funnet aske i hvert eneste intervall, men som figur 15 viser varierer tettheten ganske mye også her. Figuren viser også at det 1 cm-intervallet med høyest tetthet av rhyolittiske askekorn mellom 80  $\mu\text{m}$  og 25  $\mu\text{m}$ , intervall 6.3, inneholdt nesten 13 000 korn pr  $\text{cm}^3$  primært sediment. I intervallet med minst, intervall 21.5, var tettheten bare rundt 200. Til sammenligning ble det tatt ut en prøve av Veddeasken, fra intervallet 33.1. Ved sikting og tyngdeseparering av denne rene asken ( $1 \text{ cm}^3$ ) ble de to komponentene skilt fra

hverandre til nesten ren basaltisk og ren rhyolittisk aske (se figur 16.). Den rhyolittiske andelen bestod av mange hundre tusen, kanskje over en million, askekorn. Til sammenligning kan det og nevnes at den høyeste tettheten av Borrobolasken rapportert av Turney *et al.* (1997) var på ca. 400 korn pr.  $\text{cm}^3$ . Selv den høyeste tettheten av rhyolittiske korn fra Veddeasken er i følge deres beregninger ikke høyere enn 8000 korn pr.  $\text{cm}^3$ .



Figur 15: Kvantitativ analyse av askeskorn. Horisontalskalaen for framstillingen av 5 cm-intervallene viser prosentandel rhyolittiske askeskorn i forhold til totalt antall korn etter siktning og tyngdeseparering. For framstillingen av 1 cm-intervallene viser horisontalskalaen antall rhyolittiske askeskorn pr. cm<sup>3</sup> primært sediment. Intervallnummer er markert til høyre i begge framstillinger. 1 cm-intervallene der aske ble tatt ut for kjemianalyser er markert med rødt. Loggen til venstre er fra figur 12.



**Figur 16: Tyngdeseparert Veddeaske. Bildet i midten viser hvordan de to komponentene ser ut på objektglass. Bildet til høyre og venstre viser de to komponentene sett i mikroskop. De største kornene er ikke større enn 80  $\mu\text{m}$ . Rhyolitt til venstre og basalt til høyre i begge tilfeller.**

### 3.4 Aske – kjemisk analyse

Bortsett fra i intervall 33.1 (Vedde) ble det bare funnet og preparert et fåtall korn større enn 80  $\mu\text{m}$ . Disse ble funnet i intervallene i nedre del av kjernen. Resten av de analyserte kornene ble plukket ut i fraksjonen 25-80  $\mu\text{m}$ .

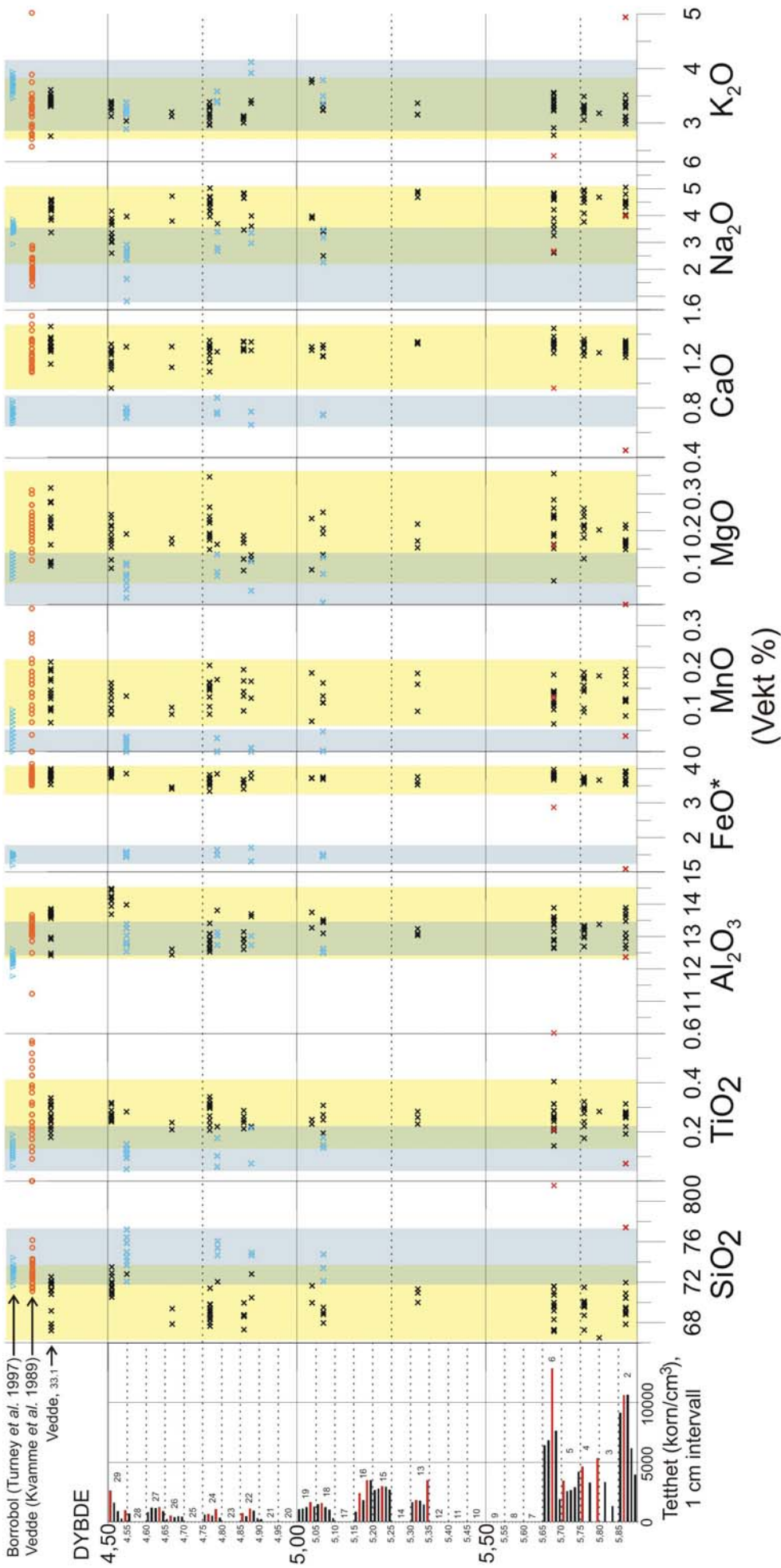
Resultatene fra analysene med elektronmikrosonden er gitt i tabell B (vedlegg) oppført fra bunnen av kjernen og opp. Dersom et intervall inneholdt aske fra mer enn en populasjon ble disse ført inn i tabellen under hvert sitt punkt og gjennomsnittet og standardavviket regnet ut for hver populasjon. Enkelte intervaller ble analysert flere ganger (med forskjellige prøver, d.v.s. forskjellige epoksy ringer med innstøpte askekorn), og en del korn ble også analysert flere ganger. I tabellen er derfor resultatene nummerert med prøve nr., korn nr., og hvis flere analyser på samme korn, også med analyse nr. (f.eks., 3.1.2). Korn nr. angir også rekkefølgen kornene ble analysert i. Resultatene viser at verdiene av Na-innhold varierer noe fra analyse til analyse innad i samme intervall og populasjon (f.eks. intervall 6.3). I tillegg viser resultatene at Na-verdiene ofte sank fra en måling til neste ved to eller flere målinger på samme korn (f.eks. intervall 29.1). Dette er ikke overraskende p.g.a. natriums ustabile natur (Keller 1981), noe som er et velkjent problem ved analyser av vulkansk glass med elektronmikrosonde. Verdiene for de andre elementene er samtidig relativt stabile. Det ble derfor valgt å føre opp resultatene fra hver populasjon i hvert intervall samlet (uavhengig av prøve nr.) og beregne gjennomsnitt og standardavvik av disse, samtidig som målingene av

Na-innhold ikke ble vektlagt. Analyseverdiene for de ni hovedelementene er for hvert intervall plottet mot høyde i figur 17. Alle de analyserte kornene, bortsett fra to, er blitt gruppert i en av to hovedpopulasjoner. Populasjonene ble definert hovedsakelig på grunnlag av innholdet av jern og kalsium (figur 19). Som figur 17 viser, var dette de elementene som diskriminerte best mellom de to populasjonene. Verdiene for populasjon 1 ligger innenfor områdene skravert med gult og verdiene for populasjon 2 innenfor områdene skravert med lyseblått. Nedre og øvre grense for områdene er definert som laveste og høyeste verdi innenfor den respektive populasjon. Områder med overlapp har en grønnlig farge. Gjennomsnitt og standardavvik for hvert av de ni elementene for hele populasjon 1 og hele 2

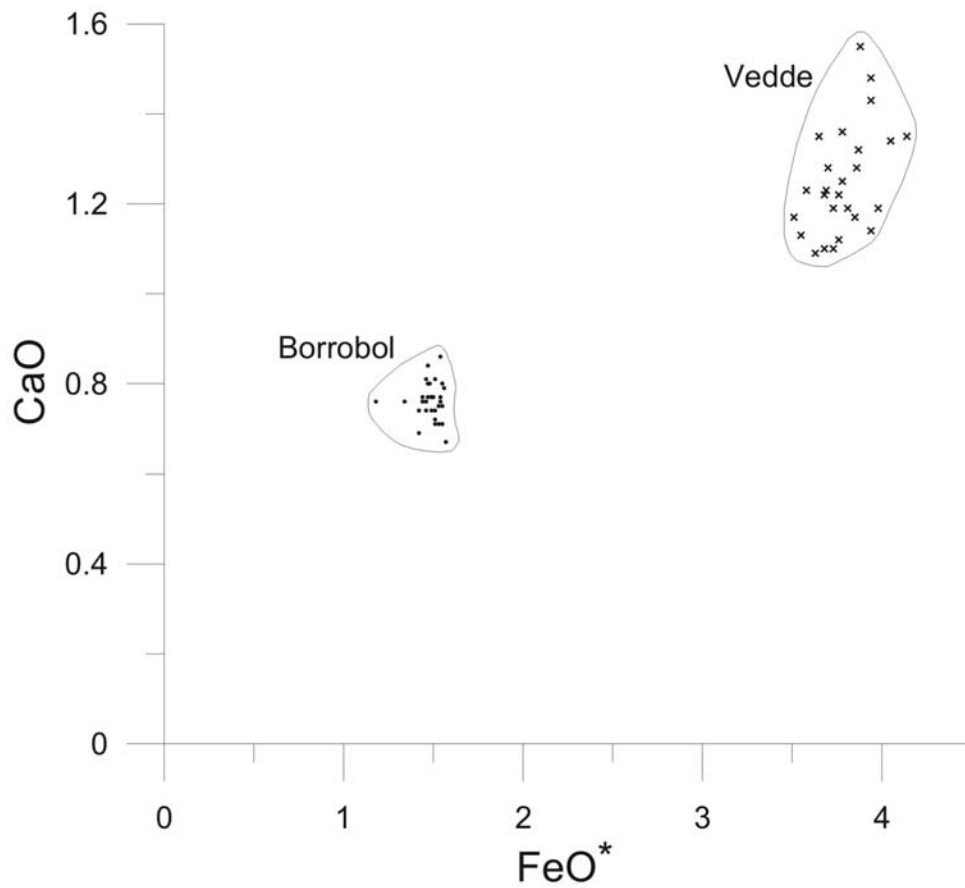
**Tabell 5: Gjennomsnitt og standardavvik for hvert element for populasjon 1 og 2.**

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO*	SUM
Populasjon 1										
Gj.snitt	4,13	0,19	13,32	69,89	3,26	1,28	0,26	0,14	3,73	96,23
Std.av.	0,65	0,05	0,53	1,57	0,18	0,07	0,04	0,03	0,14	
Populasjon 2										
Gj.snitt	2,64	0,08	12,85	74,66	3,41	0,76	0,12	0,01	1,51	96,06
Std.av.	0,68	0,04	0,26	1,41	0,31	0,04	0,05	0,02	0,09	

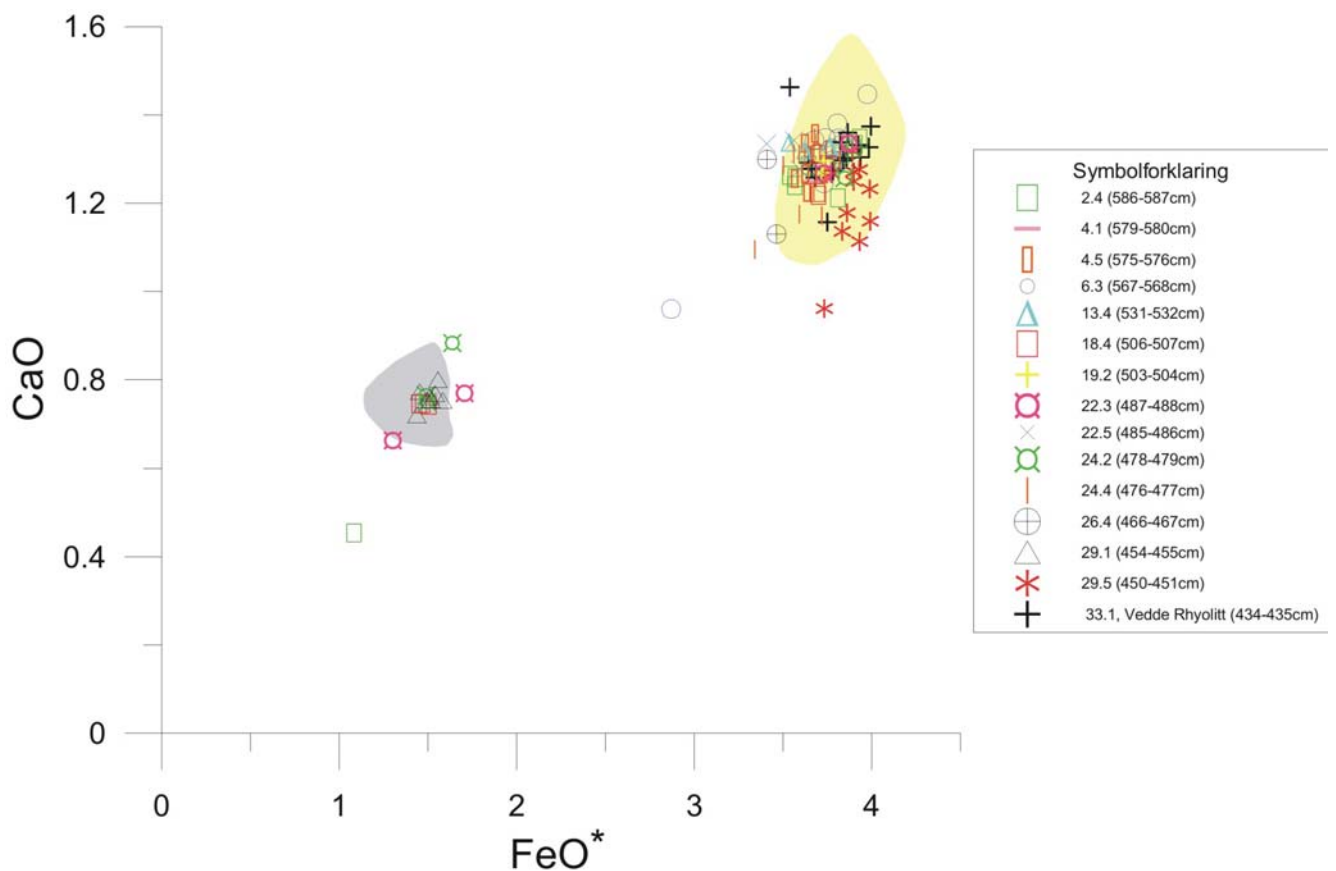
er gitt i tabell 5. De to kornene, et fra intervall 2.4 og et fra 6.3, som faller utenfor har ikke samme kjemi, men er her omtalt som populasjon 3. Askekornenes kjemi ble sammenlignet med tidligere rapporterte askefunn. En av populasjonene (populasjon 1) hadde en kjemi tilsvarende den til den rhyolittiske komponenten av Veddeasken, den andre (populasjon 2) tilsvarende den til Borrobolasken. De to kornene tilhørende populasjon 3 hadde et veldig høyt innhold av silisium og høye totalprosent. Kornet fra 2.4 hadde også høyt innhold av kalium. Kornene er tatt med fordi det ikke kan utelukkes at dette er aske (se avsnitt 4.3). Elementene som er til stede i små konsentrasjoner (1 % >) er mer sårbare for analytiske feil. Disse er derfor vektlagt mindre enn elementene med høyere konsentrasjoner. Kalsium er likevel tatt med både i den grafiske fremstillingen og i diskrimineringen mellom de to populasjonene fordi kalsium sammen med jernoksider er nyttige geokjemiske eksponenter ved karakterisering av Nord Atlantisk rhyolittisk tefra (Hunt 2004). I figur 18 er vektprosenten av disse for Borrobolasken og den rhyolittiske komponenten av Veddeasken plottet mot hverandre. Figuren viser at alle punktene faller innenfor en av to veldefinerte grupper, en tilhørende korn fra Veddeasken og en tilhørende korn fra Borrobolasken. Figur 19 viser et tilsvarende plot for de rhyolittiske kornene analysert i dette arbeidet. Også her faller alle punktene, bortsett fra de to fra populasjon 3, innenfor en av to relativt veldefinerte grupper.



Figur 17: Analyseverdiene for de forskjellige hovedelementene i de forskjellige intervallene plottet mot høyde. Verdiene for populasjon 1 (veddekjemi) er markert med svarte kryss. Alle disse ligger innenfor områdene skravert med gult. Verdiene for populasjon 2 (borrobølkjemi) er markert med blå kryss og disse ligger alle innenfor områdene skravert med lyseblått. Nedre og øvre grense for områdene er definert som laveste og høyeste verdi innenfor den respektive populasjon. Der områdene overlapper er fargen grønnlig. Verdiene for populasjon 3 er markert med røde kryss. Intervall 33.1 er den rhyolitfiske komponenten til Veddeasken i dette arbeidet. Alle verdiene for denne ligger innenfor de gulskraverte områdene i alle tilfeller. Øverst er også verdiene til den rhyolitfiske komponenten til Veddeasken fra Mangerud *et al.* (1984), gjengitt av Kvamme *et al.* (1989), og Borrobølasken fra Turney *et al.* (1997) markert. Konsentrasjonene, med dybde og intervallnr., fra figur 15 til venstre. Hvert kryss representerer individuelle målinger, ikke askekorn.



**Figur 18:** Geokjemisk karakteristikk av Borrobol (fra Turney *et al.* 1997) og Vedde (fra Kvamme *et al.* 1989) uttrykt i form av vektprosent CaO plottet mot vektprosent FeO\*. De markerte områdene tilsvarer de skraverte områdene i figur 19.



**Figur 19:** Geokjemisk karakteristikk av de rhyolittiske askekornene analysert i dette arbeidet uttrykt i form av vektprosent CaO plottet mot vektprosent FeO\*. En analyse fra intervall 2.4 og en fra 6.3 viste en kjemi som skilte seg tydelig ut fra de to andre populasjonene. Området skravert med grått tilsvarer området markert rundt borrobolanalysene i figur 18, området i lysegult det rundt veddeanalysene. Det er viktig å legge merke til at hvert enkelt punkt representerer enkeltmålinger som ikke nødvendigvis er foretatt på forskjellige askekorn.

Områdene skravert med lys gult og grått tilsvarer områdene markert rundt punktene i figur 18. Som figuren viser, er det god overensstemmelse mellom de to hovedpopulasjonene i dette arbeidet og Vedde- og Borrobolasken. Antall analyserte korn med total vektprosent over 93 %, tilhørende de forskjellige populasjonene for hvert intervall, er gitt i tabell 6. Det ble til

**Tabell 6 : Antall analyserte korn med total vektprosent over 93 % innenfor hver populasjon i hvert intervall.**

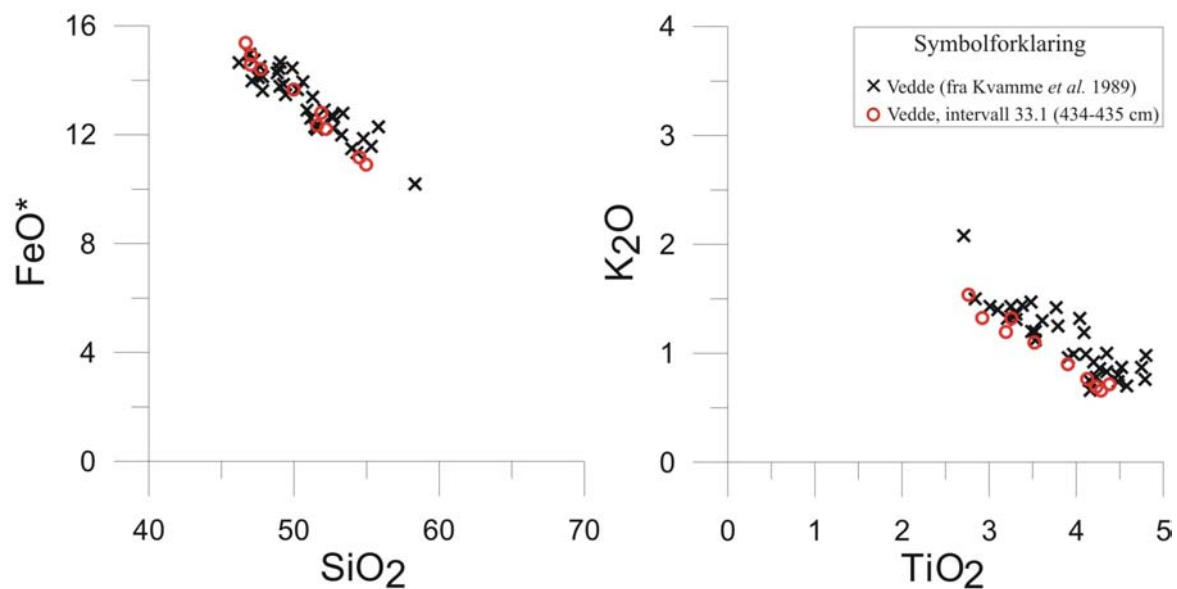
Intervall	Dybde (cm)	Populasjon 1, veddekjemi	Populasjon 2, borrobolkjemi	Populasjon 3, annet
33,1	434-435	14		
29,5	450-451	11		
29,1	454-455	1	2	
27,2	463-464			
26,4	466-467	1		
24,4	476-477	8		
24,2	478-479	1	3	
22,5	485-486	3		
22,3	487-488	2	2	
19,2	503-504	2		
18,4	506-507	1	2	
16,4	516-517			
16,2	518-519			
15,3	522-523			
13,4	531-532	3		
13,1	534-535			
6,3	567-568	14		1
5,5	570-571			
4,5	575-576	8		
4,1	579-580	1		
2,4	586-587	9		1

sammen gjort analyser av ni korn med borrobolkjemi, to fra hvert av intervallene 18.4, 22.3 og 29.1 og tre fra intervallet 24.2. Det ble analysert 79 korn med veddekjemi. Analysene av intervall 5.5, 13.1, 15.3, 16.2, 16.4 og intervall 27.2 lyktes ikke. Det ble ikke registrert noen sammenheng mellom kornenes morfologi og kjemi.

Da det viste seg at de høye tetthetene i bunn av kjernen hadde en sammensetning av hovedelementer tilsvarende den til Vedde, ble fraksjonen mellom 25 og 80  $\mu\text{m}$  tyngre enn 2,5 g/ml undersøkt under mikroskop på tilsvarende måte som før for å lete etter en eventuell basaltisk komponent. Det ble ikke gjort noen sikre funn av dette. En kjemisk karakteristikk av den basaltiske komponenten til Veddeasken fra intervall 33.1 er plottet og sammenliknet med



de tilsvarende data fra Kvamme *et al.* 1989 i figur 20. Karakteristikken er basert på et representativt utvalg av de målte elementene og viser god overensstemmelse mellom Veddeasken fra Dimnamyra og fra typelokaliteten.



Figur 20: Geokjemisk karakteristikk av den basaltiske komponenten av Veddeasken fra intervall 33.1. Til sammenligning er også de tilsvarende verdiene fra Kvamme *et al.* 1989 plottet inn. Alle verdier i vektprosent.

## 4 Diskusjon

### 4.1 Usikkerheter

Det er en del usikkerhetsmomenter forbundet med dette arbeidet.

Når det gjelder grensesettingen for de to seksjonene i kjerne 505-47 burde denne ideelt sett ha vært på samme dybde ved alle analyser. Slik som det er gjort her vil det bli en liten skjevhet mellom logg, kurven for magnetisk susceptibilitet og tetthetskurven på den ene siden og glødetapskurven, asketelling og dateringene på den andre. I og med at samme grensesetting er brukt for asketellinger og for uttak av materiale for datering vil likevel forholdet mellom asketetthet og dateringer være riktig og derfor vil denne skjevheten ha minimal betydning for dette arbeidet.

Vi vet at Dimnamyra ligger nær marin grense (MG) i området. I følge Svendsen og Mangerud (1987) er MG i dette området litt mer enn 6 m under terskelhøyden (ca 31.8 m o.h.) til dette bassenget. I så fall betyr dette at asken i bunn av kjernen må ha blitt transportert gjennom atmosfæren hele veien fra Island til Dimnøy. Det er imidlertid ikke dokumentert med biostratigrafiske metoder (diatoméanalyse) at bassenget ligger over MG og muligens kan stranda ha ligget litt høyere enn antatt like etter isavsmeltingen. Vi kan derfor ikke helt utelukke muligheten for at asken har kommet drivende med havis fra Island, men dette virker svært lite sannsynlig.

Siden de høye konsentrasjonene av aske i bunnen av kjernen, heretter kalt Dimnaasken, ligger i de eldste lakustrine sedimentene kan det heller ikke utelukkes at asken falt ned på innlandsisen og ble vasket ut under deglasiasjonen. Dette synes likevel ikke å være sannsynlig fordi en da skulle forvente å finne en mer heterogen sammensetning av askekorn i disse intervallene. En slik heterogen sammensetning av askekorn ville være et resultat av at andre askelag, med en annen sammensetning av hovedelementer, høyst sannsynlig ville ha falt ned på og blitt lagret i innlandsisen på samme måte som Dimnaasken. Under nedsmeltingen ville de forskjellige askelagene så ha blitt vasket ut samtidig.

Det at aske med samme kjemi er funnet fra bunnlagene og oppover i hele kjernen kan tyde på at den er blitt resedimentert i lang tid etter det primære askenedfallet. Asken som en gang falt ned i området kan ha blitt bundet av vegetasjon og jordsmonn eller blitt liggende i forsenkninger i nedslagsfeltet. Det er derfor ikke urimelig å anta at korn blir vasket inn i bassenget lenge etter nedfallet har skjedd. Den øvre grensen for det primære askelaget kan derfor være vanskelig å definere. Et eksempel på slik utvasking er den overliggende Veddeasken i dette bassenget. Denne asken ble funnet i høye konsentrasjoner helt til toppen av kjernen ca 60 cm over den synlige øvre grensen til askelaget og nesten 40 cm over grensen mellom yngre dryas og holosen (figur 15). Dimnaasken har tilsvarende sammensetning av hovedelementer som aske i de overliggende intervaller med mye lavere tetthetsverdier. Den enkleste forklaringen på dette er at Dimnaasken representerer det primære askelaget og at denne er resedimentert i de overliggende intervaller. Tetthetsverdiene og kjemianalysene fra bunnen av kjernen (Dimnaasken) kan tyde på at det her har vært et eller to askenedfall fra samme vulkan/vulkansystem nær hverandre i tid, med tetthetstopper i intervall 2.3/2.4 (10 600 korn pr. cm<sup>3</sup>) og 6.3 (12 900 korn pr. cm<sup>3</sup>). Det er likevel enklere å postulere at de to toppene skyldes varierende utvasking inn i bassenget etter ett enkelt askenedfall.

Man kan heller ikke se helt bort i fra muligheten for at det kan ha skjedd flere askenedfall av aske av samme kjemi og at den senglasielle lakustrine sekvensen reflekterer en serie utbrudd av samme vulkan/vulkansystem. Tetthetsverdiene for disse vil i så fall ha blitt påvirket av "bakgrunnsstøy" fra resedimenterte korn. Slik "bakgrunnsstøy" er da også tilfelle i intervallene der det er funnet korn med borrobolkjemi ettersom det i alle disse intervallene også er funnet korn med veddekjemi.

En annen mulighet er at området har vært utsatt for kontinuerlig askenedfall. Mangerud *et al.* (1984) gjorde beregninger av asketetthet i forhold til totalt innhold av minerogene korn i en kjerne fra Lerstadvatn. P.g.a. de forskjellige metodene brukt er disse tallene ikke direkte sammenlignbare med tallene i dette studiet, men de viser at det også her ble funnet vulkansk aske i alle intervaller under Veddeasken. De mener dette reflekterer en rekke askenedfall i løpet av senglasiellen.

De områder der tyngdeseparering har vært brukt tidligere (Skottland, Sverige, Russland og Nederland) ligger mindre gunstig til for askenedfall enn Vestlandet, enten fordi de ligger lengre fra Island eller fordi de ikke ligger like fordelaktig til i forhold til den dominerende

vindretningen. Disse områdene vil derfor ha mottatt mindre mengder aske fra de enkelte utbrudd og dermed også ha mindre ”bakgrunnsstøy” enn det som er tilfelle på Vestlandet. Dermed har det også vært lettere å definere de forskjellige askehorisontene i disse områdene. Turney *et al.* (1997) definerte f.eks. Borrobolasken på en lokalitet på grunnlag av tettheter opp mot 10 korn pr.  $\text{cm}^3$  over en veldig lav ”background level”.

Kvantifiseringen av asken er også noe usikker. I tidligere arbeider (f.eks Pilcher og Hall 1992; Turney *et al.* 1997) er 5 cm-intervaller kun brukt for å detektere aske. I dette tilfelle ble det funnet aske i alle intervaller. For å finne de intervallene som hadde høyest konsentrasjon av aske ble prosentandelen askekorn i forhold til totalt antall korn beregnet for hvert intervall etter sikting og tyngdeseparering. I tillegg til at det er en usikkerhet i denne beregningen i seg selv kunne det enkelte ganger være så mye minerogent materiale på objektglasset at det var vanskelig å skille kornene, både askekorn og andre korn, fra hverandre og telle dem. Dessuten må sedimentasjonsraten tas med i betraktningen for å få et korrekt bilde av askeinnfluksen. F.eks. vil en askemengde på 10 % representere en høyere askeinnfluks i enhet A enn i enhet B fordi sedimentasjonsraten gjennom enhet A trolig har vært mye høyere enn gjennom enhet B (se figur 14 og 15). Dette problemet gjelder også for 1 cm-intervallene der tettheten er beregnet som askekorn pr.  $\text{cm}^3$  primært sediment. Når det ikke er tatt hensyn til sedimentasjonsraten her er det fordi det ikke er nok dateringer til å kunne gjøre en sikker beregning av denne gjennom enhet A. Dette har heller ikke avgjørende betydning i dette arbeidet.

Sammenlignet med andres undersøkelser er det i de fleste intervallene undersøkt i dette arbeidet få geokjemianalyser som har lyktes i forhold til asketettheten. Turney *et al.* (1997) har f.eks. fått til seks analyser av askekorn hvor konsentrasjonen var så lav som 10 korn pr.  $\text{cm}^3$ . Tilsvarende er det her seks intervaller, med opp mot 3500 askekorn pr.  $\text{cm}^3$ , men likevel lyktes jeg ikke i å få brukbare analyser. Det er flere faktorer som kan forklare dette:

- For det første kan metodene som er brukt for å beregne tettheten av askekornene spille en rolle. I dette arbeidet er det gjort tetthetsberegninger basert på mikroskopianalyser og i tellingene inngår korn med usikker morfologi, men med riktige lysbrytningsegenskaper. Det er en viss mulighet for at formen på de rhyolittiske askekornene kan ha blitt modifisert ved sikting og sentrifugering. Samtidig vil de isotrope kornene også inkludere diatomeér, phytolitter og annet plantecellesilika som

kan ligne askekorn (Pilcher og Hall 1992). Som oftest er det mulig å skille ut disse på grunnlag av morfologi, men i noen usikre tilfeller kan de ha blitt tatt med i beregningen. På den måten vil mine beregninger være et maksimumsestimert, men på den annen side kan askekorn også ha blitt utelatt fra tellingene. Sekundær utfelling av mineraler i sprekker, vesikler (blærer) og langs kanter på askekornene vil kunne forstyrre brytningsegenskapene til askekorne som derfor kan ha blitt oversett. For 1 cm-intervallene vil litt materiale bli værende igjen i sentrifugerøret og i enganspipetten når materialet overføres til objektglasset for å dampe bort vannet. Det er også viktig å ta med i betraktningen at beregningene mine ble gjort etter både tyngdeseparering og sikting og at det er rimelig å anta at askekorn kan ha gått tapt i denne prosessen. Når det gjelder Turney *et al.* (1997) er riktignok de samme metodene for konsentrering av askekorn brukt, men med tyngdeseparering på 2,4 og 2,5 g/cm<sup>3</sup> og sikting på 24-75 µm i stedet. Hvordan de har beregnet tetthet av askekorn er ikke beskrevet.

- For det andre inneholdt mange av prøvene, til tross for tyngdeseparering, mye minerogent materiale, spesielt glimmermineraler. Disse har en tetthet på rundt 2,5 g/cm<sup>3</sup> og mye av dette fulgte alltid med den rhyolittiske asken ved tyngdesepareringen. Dette kunne gjøre det svært vanskelig å plukke ut askekorn til preparering for kjemianalyse fordi glimmerkornene klistret seg til hverandre og la seg som et teppe over prøven når vannet ble dampet bort. Det var vanskelig å fjerne glimmermineralene, selv med etanol. Noen glimmerkorn kunne også være vanskelig å skille fra aske under lupe. Det høye minerogene innholdet skapte også problemer for prøvene som var preparert for mikroskopi, men fordelene her var at man også kunne bruke polarisert lys for å identifisere askekornene.
- For det tredje kan også ulike metoder for utplukking og preparering av askekorn for kjemianalyse ha en innvirkning. I dette tilfellet ble det plukket ut korn under lupe, uten mulighet for å polarisere lyset. Slik kan mange korn ha blitt oversett i utplukningsprosessen. En del korn har også forsvunnet under preparering for kjemianalyse. I tillegg til at askekornene var så små at de kunne være vanskelig å plukke ut og også legge i best mulig posisjon på tapen, måtte man være uhyre forsiktig ved sliping for å ikke miste alle kornene. I England bruker Siwan M. Davies en elektronmikroskop med polarisasjonsmuligheter. Korn som skal analyseres velges ut

på denne måten og hele problematikken med utplukking og preparering unngås (Jan Mangerud, pers. oppl.).

- For det fjerde er det usikkert om de seks nevnte analysene i arbeidet til Turney *et al.* (1997) er gjort på ett eller flere korn.

Det ligger også en viss usikkerhet i statistikken gjort på de forskjellige populasjonene og intervallene (tabell B, vedlegg). I følge Frogatt (1992) bør minst ti forskjellige korn analyseres for å få et pålitelig gjennomsnitt og standardavvik. Dette er bare oppnådd for populasjon 1 (veddekjemi) og i tre av intervallene (6.3, 29.5 og 33.1) undersøkt her.

Fraværet av en basaltisk komponent i Dimnaasken betyr ikke nødvendigvis at asken ikke har en slik komponent. Det kan tenkes at dette skyldes sortering under transport (avsnitt 4.3) eller oppløsning av basaltkomponenten (avsnitt 4.2).

Den største av disse usikkerhetene er knyttet til spørsmålet om asken mellom Dimnaasken og Veddeasken ikke bare er resedimentert Dimnaaske, men i tillegg til aske med borrobolkjemi også kan bestå av aske fra andre utbrudd (av samme vulkan/vulkansystem som Dimnaasken stammer fra). Usikkerheten forbundet med den kvantitative analysen er også av en viss betydning. Likevel har ingen av de hittil nevnte usikkerheter noen avgjørende betydning for konklusjonen på dette arbeidet.

En annen usikkerhet er variasjoner i askekornenes kjemi. Dette er drøftet i det følgende avsnitt.

## **4.2 Hvilke faktorer vil kunne påvirke askens kjemiske sammensetning?**

En komplikasjon ved korrelasjon av tefraavsetninger på grunnlag av geokjemi er relative endringer i tefraens kjemiske sammensetning. Dette kan skje som følge av magmatisk differensiering i løpet av et utbrudd. I tillegg vil en tefraavsetnings relative mineralsammensetning endre seg med avstanden fra kilden p.g.a. differensiell avsetning under

transport i atmosfæren. Perifere avsetninger vil ha en lavere andel tunge mineraler enn avsetninger i nære områder. Dette er imidlertid ikke et like stort problem for askefraksjonen fordi askefraksjonen fra en viss fase i et utbrudd ikke vil variere med avstand fra kildevulkanen. Utvelgelsen her skjer på grunnlag av askekornenes størrelse og ikke tetthet (Dugmore *et al.* 1992).

Endringer i kjemien vil dessuten kunne skje ved forvitring og diagenese etter avsetning, herunder raske, lavtemperatur lithifiseringsprosesser som skjer p.g.a. de ustabile interne strukturene i vulkansk glass (Dugmore *et al.* 1992). Thorseth *et al.* (1991) viser at basaltisk glass vil bli delvis oppløst ved pH-verdier  $< 3$ . I terrestriske avsetninger slik som i myrer og innsjøer kan pH-verdiene bli svært lave og de basaltiske askekornene kan dermed bli omdannet. Under slike forhold kan også rhyolittiske korn bli påvirket. Dette kan resultere i variasjoner som er større enn den naturlige variasjonen i vulkansk glass innenfor en enkelt tefraavsetning (Hafliðason *et al.* 2000).

Generelt sett er rhyolittisk glass mer kjemisk stabilt enn basaltisk glass. Dette kan, i tillegg til et større overflateareal, være årsaken til en fullstendig oppløsning av basaltisk aske med lavt Si:O forhold. Slik oppløsning kan forklare hvorfor det kan være vanskelig å finne den basaltiske komponenten av Veddeasken i enkelte områder (Pollard *et al.* 2003). Dette skjer riktignok bare under sterkt basiske forhold ( $\text{pH} > 8$ ; Thorseth *et al.* 1991) og er derfor neppe noe problem i myr slik som her. Dersom en slik oppløsning skulle ha skjedd er det ikke sannsynlig at den rhyolittiske komponenten ville være upåvirket (Harald Furnes, pers. oppl.).

Mikrobiologisk aktivitet har også potensial til å endre den kjemiske sammensetningen til vulkansk glass (Thorseth *et al.* 1992; 1995a; 1995b), men dette er mest utbredt i marine miljøer (Hafliðason *et al.* 2000).

De ovennevnte kjemiske og biologiske forvittringsformene, som kan påvirke askekornenes geokjemi, vil neppe ha noen betydning for resultatet i dette arbeidet. Grunnen til dette er at analysene med elektronmikrosonden er gjort på ferske snittflater slik som anbefalt av Frogatt (1992).

Askekornenes kjemi kan også, som nevnt i avsnitt 2.2, bli påvirket av preparerings- og analytiske prosedyrer. Det kan ikke utelukkes at askekornene påvirkes av koking i

hydrogenperoksid ( $H_2O_2$ ), men risikoen for endringer er antakelig minst like stor ved bruk av ”acid digestion”-metoden til Dugmore (1989) (Stefan Wastegård pers.oppl). Dette er en vanlig metode å bruke ved fjerning av organisk materiale ved preparering for kjemianalyse. Sistnevnte metode ble ikke brukt her fordi koking i  $H_2O_2$  er enklere. For å minimere tap av Na er det blitt anbefalt å defokusere elektronstrålen til en diameter på minst 10  $\mu m$  (Frogatt 1992; Hunt og Hill 1993). Dette er problematisk med så små korn som i denne oppgaven (Hunt og Hill 1993), men så er heller ikke Na-innholdet vektlagt her. Na-innholdet må likevel tas med i betraktningen fordi mobilisering av alkalimetallene foregår så lenge kornet er utsatt for elektronstrålen. Derfor vil det være en tendens til at de elementene som måles etter natrium og kalium vil være overrepresentert relativt til disse. Denne effekten er neglisjerbar for elementer i lave konsentrasjoner, men er betydelig for silisium og i mindre grad aluminium (Hunt og Hill 1993; 2001). Det kan se ut som om dette har hatt en viss innvirkning på analysene av Veddeasken til Mangerud *et al.* (1984), gjengitt av Kvamme *et al.* (1989). Her er Na-verdiene lave og Si-verdiene høye i forhold til mange av verdiene fra ”veddepopulasjonen” i mine analyser (figur 17). Tilsvarende er Na-verdiene for Borrobolasken analysert av Turney *et al.* (1997) litt høye og Si-verdiene litt lave i forhold til mange av verdiene fra ”borrobolpopulasjonen” i dette arbeidet. Dersom det ikke er reelle forskjeller i kjemien mellom populasjonene her og de fra Kvamme *et al.* (1989) og Turney *et al.* (1997) kan dette brukes som et mål på den relative kvaliteten av analysene.

Relative endringer i geokjemien til aske fra et vulkanutbrudd kan altså skje i tre stadier: I løpet av utbruddet, etter avsetning og som følge av preparerings- og analytiske prosedyrer. Noen av disse endringene, slik som den som kan skje ved forvitring etter avsetning, har altså ikke betydning for mine analyser i det hele tatt. Andre, slik som den forbundet med elektronstrålens diameter, kan ha hatt litt større innvirkning. I og med at det ikke er større spredning innad i de to hovedpopulasjonenes geokjemi og at disse hver for seg stemmer så godt overens med geokjemien til Veddeasken og Borrobolasken (figur 17,18 og 19) er det likevel ikke sannsynlig at slike endringer her har vært store nok til har noen betydning for konklusjonen på dette arbeidet. Dette støttes også av den gode overensstemmelsen mellom analysene av Veddeasken fra intervall 33.1 og analysene av Veddeasken fra typelokaliteten (figur 17, 18, 19 og 20).

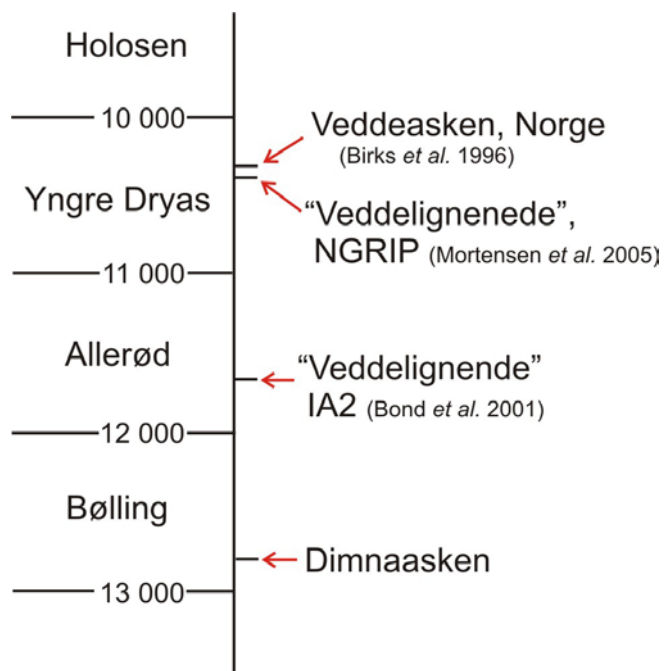


### 4.3 Annen aske med tilsvarende kjemi – mulige korrelasjoner?

Bond *et al.* (2001) rapporterer om et marint, isdroppet vulkansk askelag med samme sammensetning av hovedelementer i den rhyolittiske komponenten som Veddeasken. Asken beskrevet av Bond *et al.* (2001) er blitt datert til 11 600-11 700  $^{14}\text{C}$  år før nåtid, noe som er omtrent 1000 år eldre enn Veddeasken (10 300  $^{14}\text{C}$  år før nåtid). Askelaget ligger 23 cm under Ash Zone 1 (AZ1) og i dette nivået er det registrert en økning i tømningen av isfjell ut i Nord Atlanteren. De mener derfor at asken først ble avsatt på og lagret i isbreer på Island og siden transportert med isfjell ut i Nord Atlanteren. Fordi denne asken er lagret i isen kan det i følge Bond *et al.* (2001) ikke utelukkes at asken også har blitt avsatt helt eller delvis som Ash Zone 1 (AZ1). Det betyr i så fall at asken med rhyolittisk veddekjemi i AZ1 og Veddeasken ikke nødvendigvis kom fra det samme utbruddet, noe som er og har vært en utbredt oppfatning tidligere (f.eks. Mangerud *et al.* 1984; Kvamme *et al.* 1989). Man skal likevel huske på at Veddeasken er lufttransportert til Norskekysten og at aske høyst sannsynlig har blitt avsatt underveis. Det er derfor svært usannsynlig at AZ1 ikke inneholder Veddeaske. Samtidig kan altså asken beskrevet av Bond *et al.* (2001) utgjøre en del av populasjonen med rhyolittisk veddekjemi i AZ1.

Hvis asken rapportert av Bond *et al.* (2001) i lengre tid har vært lagret i breis på Island må den komme fra et utbrudd som er eldre enn dateringen fra Nord Atlanteren. Dermed er det også en mulighet for at det marine askelaget som ligger under AZ1 og Dimnaasken (ca. 12 800  $^{14}\text{C}$  år før nåtid) stammer fra samme utbrudd. Den nedre asken beskrevet av Bond *et al.* (2001) inneholder imidlertid også basaltiske korn. Dette er ikke funnet på Dimnøy. Bond *et al.* (2001) mener at deres resultater viser at rhyolittisk aske med samme sammensetning av hovedelementer som Veddeasken må ha blitt eruptert og spredt med isfjell i Nord Atlanteren minst en, men også muligens flere ganger før utbruddet som resulterte i Veddeasken.

Mortensen *et al.* (2005) har også rapportert om rhyolittisk aske som var eldre enn Veddeasken, men med tilsvarende geokjemi. I motsetning til asken beskrevet av Bond *et al.* (2001) ble det imidlertid ikke funnet basaltiske askekorn i denne asken. Dette kan bety at asken bare har en komponent, men det kan også skyldes at de mer kompakte og tyngre basaltiske kornene ikke har blitt transportert like langt som de tynne rhyolittiske kornene. Denne asken ble funnet i NGRIP iskjernen fra Grønland, mer enn to meter under Veddeasken, men innenfor yngre dryas perioden. Asken er i størrelsesorden 60-70 år eldre enn



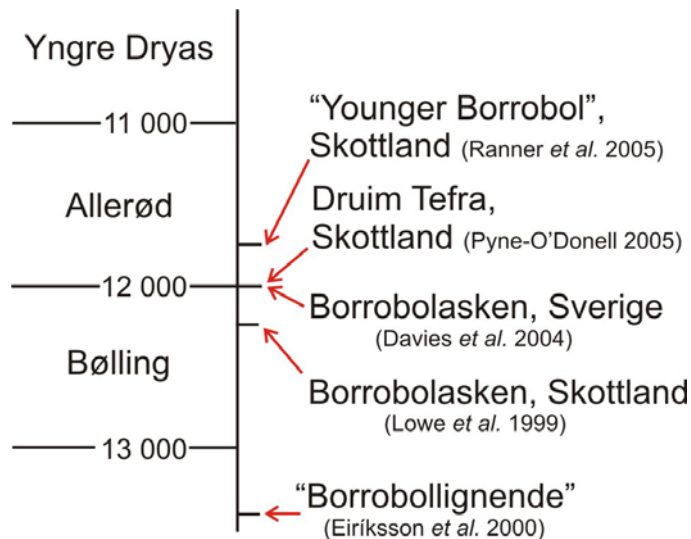
**Figur 21:** Tidsakse med aldersrelasjoner mellom de forskjellige rapporterte funnene av rhyolittisk aske med veddekjemi. Alle tall i  $^{14}\text{C}$  år BP.

Veddeasken. Den kan derfor ikke korreleres med den ovennevnte asken beskrevet av Bond *et al.* (2001), men den viser at rhyolittisk aske med denne kjemien har blitt eruptert flere ganger i løpet av sen weichsel. Dette vanskeliggjør korrelasjonen av Dimnaasken, men kan muligens forklare hvorfor det er funnet så mye aske oppover i kjerne 505-47. Aldersrelasjonene mellom de forskjellige rapporterte funnene av rhyolittisk aske med veddekjemi er fremstilt i figur 21.

Det er gjort funn som tyder på at det også finnes to eller flere askelag med Borrobolkjemi. Eiríksson *et al.* (2000) fant aske med sammensetning av hovedelementer identisk til Borrobolasken i marine sedimenter nord for Island. Deres dateringer viser en alder på ca. 13 400  $^{14}\text{C}$  år før nåtid, noe som er betydelig eldre enn Borrobolasken på typelokaliteten i Skottland (12 260  $^{14}\text{C}$  år før nåtid). Det hersker imidlertid usikkerhet rundt disse dateringene p.g.a. begrensninger i metodene brukt, problemene med  $^{14}\text{C}$  datering i denne perioden og korreksjonen for marin reservoaralder.

Davies *et al.* (2004) antyder at det kan være to atskilte lag på grunnlag av dateringer av makrofossiler fra innsjøsedimenter i Syd-Sverige. Her blir Borrobolasken datert til 13900 Cariaco varv år før nåtid, noe som er ca. 200 år yngre enn dateringene fra Skottland. Denne antagelsen underbygges også av forskjellen i askens posisjon i forhold til pollenstratigrafi mellom Skottland og Syd-Sverige. I tillegg mener de dette støttes av at det er blitt funnet askekorn 30 cm over Borrobolasken på typelokaliteten (Turney 1998b). Kornene her har samme sammensetning av hovedelementer som Borrobolasken, men det har rådet en viss usikkerhet om dette kunne skyldes resedimentasjon.

Ranner *et al.* (2005) har publisert funnet av en askehorisont med borrobolkjemi i Nord-Vest Skottland som støtter teorien om et eller flere slike yngre Borrobol askelag. Alderen for sistnevnte askelag, som de kaller ”Younger Borrobol Tephra”, er her blitt estimert til 13610 kalenderår før nåtid. Dette er rundt 500 år yngre enn Borrobolasken ved typelokaliteten.



**Figur 22: Aldersrelasjonene mellom de ulike rapporterte askelagene med borrobolkjemi. Alle ta i <sup>14</sup>C år BP.**

Et askelag, som har fått navnet ”Druim Tefra”, er også funnet rundt overgangen mellom Allerød og Bølling i Skottland (Pyne-O'Donell 2005). Alderen på dette askelaget stemmer bra overens med alderen på Borrobolasken i Syd-Sverige. Aldersrelasjonene mellom de rapporterte funnene er gitt i figur 22.

En ytterligere komplikasjon kan også ligge i den stratigrafiske fordelingen av Borrobol laget selv. Flere sekvenser antyder at dette laget har en stratigrafisk bimodal fordeling med to toppe i askekonsentrasjonen innad i askehorisonten, slik som også kan observeres på typelokaliteten. Dette kan skyldes to vulkanutbrudd tett etter hverandre i tid (Pyne-O'Donell 2005).

På Island er det funnet indikasjoner som tyder på flere vulkanutbrudd med avsetning av tefra med borrobolkjemi i løpet av tidlig holosen og det er rimelig å anta at dette også kan ha skjedd tidligere (Davies *et al.* 2004).

De 9 kornene med borrobolkjemi som jeg har funnet i denne undersøkelsen er fordelt i fire 1 cm-intervaller over en vertikal sone på mer enn 50 cm. Dette kan skyldes resedimentasjon, men som det fremgår av diskusjonen over er det heller ikke usannsynlig at disse horisontene kan representere flere utbrudd. Dersom kornene skulle være resedimentert er det nærliggende å anta at disse tilhører ”Younger Borrobol” asken til Ranner *et al.* (2005) ettersom de eldste kornene som er funnet har omtrent samme alder som denne.

Det er verdt å legge merke til at en markert økning i frekvensen av eksplosive utbrudd på Island i løpet av senglialen og tidlig holosen, muligens som en respons på reduksjonen i det isostatiske trykket ovenifra, er blitt dokumentert (f.eks. Gudmundsson 1986, Sejrup *et al.* 1989, Sigvaldason *et al.* 1992, Jull og McKenzie 1996). Vulkaner på Island, muligens også vulkaner eller vulkansystemer som har produsert rhyolittisk tephra med borrobol- eller veddekjemi, har altså vært spesielt aktive på denne tiden. Det er også verdt å legge merke til at noen av dagens aktive vulkansystemer produserer tefra med nesten identisk geokjemisk fingeravtrykk. Dette gjør tefra fra disse systemene vanskelig å skille fra hverandre bare på grunnlag av hovedelementene (Hafliðason *et al.* 2000). Det er ingen grunn til å tro at situasjonen har vært annerledes tidligere.

Det ene kornet fra intervall 2.4 som skilte seg ut kan minne om Borrobol eller aske fra Snæfellsjökull vulkanen på Island (Tephabase: <http://www.geo.ed.ac.uk/tephra/>), men er likevel ikke likt nok til at dette ble tillagt noen sammenheng. Det ble ikke funnet annen aske med tilsvarende kjemi i litteraturen. Det er også uklart om det andre kornet fra populasjon 3, kornet fra intervall 6.3, kan spores tilbake til et vulkansystem eller sees i sammenheng med den kjemiske sammensetning til annen aske. Kornene kan muligens være differensierte utgaver fra de to hovedpopulasjonene (Harald Furnes, pers. oppl.), men likevel hersker det usikkerhet rundt hvorfor disse to kornene har så høyt innholdet av silisium og så høy totalprosent. Det er ikke vanlig at rhyolittiske askekorn oppnår så høy total (Ole Tumyr, pers. oppl.). Det er usikkert hva slags minerogene korn av norsk opprinnelse dette ellers skulle være.

#### **4.4 Hvilken betydning har disse resultatene for tefrakronologien?**

I lys av at vulkansystemer har hatt flere utbrudd over lang tid som har gitt tefra med uforandret sammensetning må en være forsiktig ved korrelasjon av askelag. Det betyr også at enkelte korrelasjoner som er gjort tidligere kan være usikre. For å løse dette problemet er det nødvendig å forbedre de analytiske metodene. I de senere år har oppmerksomheten blitt rettet mot LA-ICP-MS, laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (Pearce *et al.* 1999; Pearce *et al.* 2004), en analysemetode som gjør det mulig å analysere sporelementer i enkeltkorn. Håpet er at man på denne måten lettere skal kunne skille mellom enkeltutbrudd fra samme vulkansystem. Det kan imidlertid også være vanskelig å skille askeavsetninger på

grunnlag av sporelementer. Dette gjelder først og fremst på basaltisk aske, men kan også gjelde rhyolittiske korn (Brendryen 2005). Fordi analyseresultatene til en viss grad kan variere avhengig av hvilke prosedyrer og analyseinstrumenter som er brukt bør rutinene ved publisering forbedres og standardiseres, slik som foreslått av Turney *et al.* (2004).

#### **4.5 Forslag til fremtidig arbeid**

Dette arbeidet har vist at de ligger mye aske med veddekjemi mellom Dimnaasken og Veddeasken. For at tefrakronologien for Sunnmøre skal videreutvikles vil det være viktig å finne ut om denne i hovedsak er resedimentert eller om den er et resultat av flere separate askenedfall. Det er også interessant å undersøke Dimnaasken nærmere i flere bassenger for å prøve å posisjonere asken bedre i forhold til stratigrafi og alder. Kanskje vil man også kunne finne ut om denne asken består av aske fra ett eller to utbrudd nær hverandre i tid eller om den er vasket ut fra innlandsisen og redeponert i bassenget under deglasiasjonen. Et annet interessant spørsmål er om den økende askekonsentrasjonen like under Veddeasken (figur 15) skyldes resedimentasjon av underliggende aske, om det er snakk om nye askenedfall eller om Veddeasken strekker seg under den skarpe, synlige nedre grensen.

Dette arbeidet har også vist at aske med borrobolkjemi har kommet til Norge. Da er det også potensial for å finne bedre definerte horisonter og lokaliteter enn det som er gjort i dette studiet. Eventuelle slike funn bør undersøkes for å finne ut om en korrelasjon med aske med borrobolkjemi funnet andre steder er mulig. Kanskje kan man på den måten bidra til å løse usikkerheten i forholdet mellom de forskjellige askelagene med borrobolkjemi som er rapportert tidligere. Så lenge dette forholdet forblir uoppklart vil denne asken kun ha begrenset verdi i korrelasjonssammenheng og det er derfor viktig å få klarhet i dette.

For å få svar på alle disse spørsmålene kan det være hensiktsmessig å lete etter aske i kjerner med mindre ”bakgrunnsstøy” enn det som var tilfelle i kjernen i dette arbeidet. Slike sedimentkjerner kan hentes fra bassenger med mindre dreneringsområde enn Dimnamyra, eller tas lengre fra et innløp enn den i dette arbeidet. Forskjellen i områdenes geografiske plassering, f.eks. mellom Vestlandet og Skottland, betyr også at kornstørrelsesfordelingen for asken ikke nødvendigvis er helt lik. I mitt tilfelle kunne det muligens vært hensiktsmessig å

lete i fraksjoner  $> 80\mu\text{m}$  også. Samtidig ville det etter all sannsynlighet finnes korn  $< 80\ \mu\text{m}$  dersom korn  $> 80\mu\text{m}$  var til stede.

Kanskje ville man også komme et steg videre ved bruk av LA-ICP-MS-analyser for på den måten forsøke å skille resedimentert aske oppover i kjernen fra nye, primære askehorisonter.

Det ville også være interessant å se om det er mulig å finne Dimnaasken i marine kjerner fra området mellom Island og Norge. Kanskje kan man også finne Dimnaasken på Jæren, som antas å ha blitt isfri minst like tidlig som Sunnmøre (Thomsen 1982; Paus 1989).

Med tyngdesepareringsmetoden i dette arbeidet vil eventuelle basaltiske askelag bli oversett fordi egenvekten til basalt er tyngre enn den til rhyolitt. I arbeidet mot en fullstendig tefrakronologi (som også er basert på aske som er vanskelig å finne uten spesielle metoder) må man lete også etter basaltiske askekorn, men med andre metoder.

## 5 Konklusjon

Konklusjonen fra dette arbeidet er her listet opp punktvis:

- Vulkansk aske som er  $^{14}\text{C}$ -datert til å være minst ca. 15 100 kalibrerte år før nåtid er funnet i bunnlagene av et innsjøbasseng på Dimnøy på ytterkysten av Sunnmøre. Asken er konsentrert i en sone med to tetthetstopper 20 cm fra hverandre. Det kan se ut som om denne asken, som her har fått navnet Dimnaasken, er resedimentert helt opp til nedre grense av Veddeasken ca. 120 cm over den øverste toppen i asketetthet.
- Geokjemiske undersøkelser viser at Dimnaasken har tilsvarende sammensetning av hovedelementer som den rhyolittiske komponenten til Veddeasken og antas derfor å kunne komme fra et utbrudd av vulkanen Katla på Island. Noen basaltisk komponent ble ikke funnet.
- Dimnaasken stammer muligens fra samme utbrudd som asken rapportert av Bond *et al.* (2001).
- Det ble også analysert ni askekorn fra en vertikal sone på mer enn 50 cm som hadde en kjemi tilsvarende den til Borrobolasken. De eldste av disse kornene er  $^{14}\text{C}$ -datert til å være litt mer enn ca. 13 500 kalibrerte år før nåtid og stammer derfor muligens fra samme utbrudd som ”Younger Borrobol” asken beskrevet i Ranner *et al.* (2005). Selv om det ikke ble funnet noe utpreget askelag med borrobolkjemi viser dette at aske med denne sammensetningen også har kommet til Vestlandet. Derfor er det et potensial for å finne et eller flere askelag med denne kjemien også her.
- I og med at det finnes flere forskjellige askehorisonter med identisk kjemisk sammensetning i europeiske sedimentære avsetninger fra overgangen mellom siste istid og holosen, vil tefrakronologien i denne tidsperioden være svekket så lenge disse horisontene ikke kan skilles fra hverandre sikkert. Dette gjelder spesielt hvis tefrakronologien skal brukes som en solid ramme for å korrelere sekvenser i en kontinental målestokk og hvis bare ett av askelagene finnes i en gitt sekvens. Før man

klarer å skille slike lag fra hverandre vil heller ikke tefrakronologiens potensial være realisert fullt ut.



## Referanser

Birks, H. H., Gulliksen, S., Hafliðason, H., Mangerud, J. og Possnert, G. (1996). "New Radiocarbon Dates for the Vedde Ash and the Saksunarvatn Ash from Western Norway." Quaternary Research **45**: 119-127.

Birks, H. H. og Lotter, A. F. (2000). NORPEC sampling protocol for AMS radiocarbon dating.

Bond, G. C., Mandeville, C. og Hoffmann, S. (2001). "Were rhyolitic glasses in the Vedde Ash and in the North Atlantic's Ash Zone 1 produced by the same volcanic eruption?" Quaternary Science Reviews **20**(11): 1189-1199.

Boygles, J. (2004). "Towards a Holocene tephrochronology for Sweden: geochemistry and correlation with the North Atlantic tephra stratigraphy." Journal Of Quaternary Science **19**(2): 103-109.

Brendryen, J. (2005). MIS 5 tephra stratigraphy of two cores from the S-Norwegian Margin, analysed by EMP-WDS and Laser Ablation ICP-MS. Institutt for geovitenskap. Bergen, Universitetet i Bergen. **Masteroppgave, ikke publisert.**

Coope, G. R., Lemdahl, G., Lowe, J. J. og Walkling, A. (1998). "Temperature gradients in northern Europe during the last glacial-Holocene transition (14-9 C-14 kyr BP) interpreted from coleopteran assemblages." Journal Of Quaternary Science **13**(5): 419-433.

Davies, S. M., Branch, N. P., Lowe, J. og Turney, C. S. M. (2002). "Towards a European tephrochronological framework for termination 1 and the early holocene." Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London Series A-Mathematical Physical And Engineering Sciences **360**(1793): 767-802.

Davies, S. M., Hoek, W. Z., Bohncke, S. J. P., Lowe, J. J., O'Donnell, S. P. og Turney, C. S. M. (2005). "Detection of Lateglacial distal tephra layers in the Netherlands." Boreas **34**(2): 123-135.

Davies, S. M., Turney, C. S. M. og Lowe, J. J. (2001). "Identification and significance of a visible, basalt-rich Vedde Ash layer in a Late-glacial sequence on the Isle of Skye, Inner Hebrides, Scotland." Journal Of Quaternary Science **16**(2): 99-104.

Davies, S. M., Wastegard, S. og Wohlfarth, B. (2003). "Extending the limits of the Borrobol Tephra to Scandinavia and detection of new early Holocene tephras." Quaternary Research **59**(3): 345-352.

Davies, S. M., Wohlfarth, B., Wastegard, S., Andersson, M., Blockley, S. og Possnert, G. (2004). "Were there two Borrobol Tephras during the early Lateglacial period: implications for tephrochronology?" Quaternary Science Reviews **23**(5-6): 581-589.

Dugmore, A. (1989). "Icelandic volcanic ash in Scotland." Scottish Geographical Magazine **105**(3): 168-172.

Dugmore, A. J., Newton, A. J., Sugden, D. E. og Larsen, G. (1992). "Geochemical Stability Of Fine-Grained Silicic Holocene Tephra In Iceland And Scotland." Journal Of Quaternary Science **7**(2): 173-183.

Eiríksson, J., Knudsen, K. L., Hafliðason, H. og Henriksen, P. (2000). "Late-glacial and Holocene palaeoceanography of the North Icelandic shelf." Journal Of Quaternary Science **15**(1): 23-42.

Frogatt, P. C. (1992). "Standardization of the chemical analysis of tephra deposits. Report of the ICCT working group." Quaternary International **13/14**: 93-96.

Fægri, K. (1940). Quartärgeologische Untersuchungen im westlichen Norwegen: II. Zur spätquartären Geschichte Jærens. Bergens Museums Årbok Naturvitenskapelig rekke. **7**: 1-201.

Grönvald, K., Óskarsson, N., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Hammer, C. U., Bond, G. og Bard, E. (1995). "Ash layers from Iceland in the Greenland GRIP ice core correlated within oceanic and land sediments." Earth and Planetary Science Letters **135**: 149-155.

Grönvold, K., Óskarsson, N., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Hammer, C. U., Bond, G. og Bard, E. (1995). "Ash layers from Iceland in the Greenland GRIP ice core correlated within oceanic and land sediments." Earth and Planetary Science Letters **135**: 149-155.

Gudmundsson, A. (1986). "Mechanical Aspects of Postglacial Volcanism and Tectonics of the Reykjanes Peninsula, Southwest Iceland." Journal of Geophysical Research **91**(B12): 12711-12721.

Hafliðason, H., Eiriksson, J. og Van Kreveld, S. (2000). "The tephrochronology of Iceland and the North Atlantic region during the Middle and Late Quaternary: a review." Journal Of Quaternary Science **15**(1): 3-22.

Heiri, O., Lotter, A. F. og Lemcke, G. (2001). "Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results." Journal Of Paleolimnology **25**(1): 101-110.

Hunt, J. B. (2004). "Tephrostratigraphical evidence for the timing of Pleistocene explosive volcanism at Jan Mayen." Journal Of Quaternary Science **19**(2): 121-136.

Hunt, J. B. og Hill, P. G. (1993). "Tephra geochemistry: a discussion of some persistent analytical problems." The Holocene **3**: 271-278.

Hunt, J. B. og Hill, P. G. (2001). "Tephrological implications of beam size-sample-size effects in electron microprobe analysis of glass shards." Journal Of Quaternary Science **16**(2): 105-117.

Jakobsson, S. P. (1979). "Petrology of Recent basalts of the Eastern Volcanic Zone, Iceland." Acta Naturalia Islandica **26**: 1-103.

Jóhansen, J. (1975). "Pollen diagrams from the Shetland and Faroe Islands." New Phytologist **75**: 369-387.

Jóhansen, J. (1982). Vegetational development in the Faroes from 10,000 B.P. to the present. Danmarks Geologiske Undersøkelse Årbog 1981: 111-136.

Jóhansen, J. (1985). Studies in the Vegetational History of the Färoe and Shetland Islands. Torshavn, Färoya Frodskaparfelag.

Jowsey, P. C. (1966). "An improved peat sampler." The New phytologist **65**: 245-248.

Jull, M. og McKenzie, D. (1996). "The effect of deglaciation on mantle melting beneath Iceland." Journal of Geophysical Research **101**(B10): 21815-21828.

Keller, J. (1981). Quaternary tephrochronology in the Mediterranean. Tephra Studies. S. Self and R. S. J. Sparks. Dordrecht, Reidel. **C 75**: 227-244.

Kvamme, T., Mangerud, J., Furnes, H. og Ruddiman, W. F. (1989). "Geochemistry Of Pleistocene Ash Zones In Cores From The North-Atlantic." Norsk Geologisk Tidsskrift **69**(4): 251-272.

Larsen, G., Dugmore, A. og Newton, A. (1999). "Geochemistry of historical-age silicic tephra in Iceland." Holocene **9**(4): 463-471.

Lowe, D. J. og Hunt, J. B. (2001). A summary of terminology used in tephra-related studies. I Tephra: Chronology, Archaeology. Les Dossiers de l'Archeo-Logis. E. T. Juvigné and J.-P. Raynal. **1**: 17-22.

Lowe, J. J., Birks, H. H., Brooks, G. R., Coope, G. R., Harkness, D. D., Mayle, F. E., Sheldrick, C., Turney, C. S. M. og Walker, M. J. C. (1999). "The chronology of palaeoenvironmental changes during the last glacial-Holocene transition; towards an event stratigraphy for the British Isles." Journal of the Geological Society of London **156**: 397-410.

Mackie, E. A. V., Davies, S. M., Turney, C. S. M., Dobbyn, K., Lowe, J. J. og Hill, P. G. (2002). "The use of magnetic separation techniques to detect basaltic microtephra in last glacial-interglacial transition (LGIT; 15-10 ka cal. BP) sediment sequences in Scotland." Scottish Journal Of Geology **38**: 21-30.

Mangerud, J. (1980). Ice-front variations of different parts of the Scandinavian ice sheet, 13 000 - 10 000 years BP. Studies in the Lateglacial of north-west Europe. J. J. Lowe, Gray, J.M., Robinson, J.E. Oxford, Pergamon Press: 23-30.

Mangerud, J., Furnes, H. og Johansen, J. (1986). "A 9000-Year-Old Ash Bed On The Faroe Islands." Quaternary Research **26**(2): 262-265.

Mangerud, J., Lie, S. E., Furnes, H., Kristiansen, I. L. og Lomo, L. (1984). "A Younger Dryas Ash Bed In Western Norway, And Its Possible Correlations With Tephra In Cores From The Norwegian Sea And The North-Atlantic." Quaternary Research **21**(1): 85-104.

Mangerud, J., Lie, S. E., Lomo, L., Kristiansen, I. L. og Furnes, H. (1980). "Et vulkansk askelag fra Yngre Dryas på Sunnmøre." Geolognytt(15): 27.

Merkt, J., Muller, H., Knabe, W., Muller, P. og Weiser, T. (1993). "The Early Holocene Saksunarvatn Tephra Found In Lake-Sediments In Nw Germany." Boreas **22**(2): 93-100.

Mortensen, A. K., Bigler, M., Gronvold, K., Steffensen, J. P. og Johnsen, S. J. (2005). "Volcanic ash layers from the Last Glacial Termination in the NGRIP ice core." Journal Of Quaternary Science **20**(3): 209-219.

Norðdahl, H. og Hafliðason, H. (1992). "The Skógar Tephra, a Younger Dryas marker in North Iceland." Boreas **21**: 23-41.

Paus, A. (1989). "Late Weichselian vegetation, climate and floral migration at Eiebakken, south Rogaland, Southwestern Norway." Review of Palaeobotany and palynology **61**: 177-203.

Pearce, N. J. G., Westgate, J. A., Perkins, W. T., Eastwood, W. J. og Shane, P. (1999). "The application of laser ablation ICP-MS to the analysis of volcanic glass shards from tephra deposits: bulk glass and single shard analysis." Global And Planetary Change **21**(1-3): 151-171.

Pearce, N. J. G., Westgate, J. A., Perkins, W. T. og Preece, S. J. (2004). "The application of ICP-MS methods to tephrochronological problems." Applied Geochemistry **19**(3): 289-322.

Persson, C. (1967). Försök Till Tefrokronologisk Datering i Tre Norska Myrar. Geologiska Föreningens i Stockholms Förhandlingar. Stockholm. **89**: 181-197.

Persson, C. (1971). Tephrochronological investigation of peat deposits in Scandinavia and on the Faroe Islands. Sveriges Geologiska Undersökning. Stockholm. **Serie C nr. 656**.

Pilcher, J., Bradley, R. S., Francus, P. og Anderson, L. (2005). "A Holocene tephra record from the Lofoten Islands, Arctic Norway." Boreas **34**(2): 136-156.

Pilcher, J. R. og Hall, V. H. (1992). "Towards a tephrochronology for the Holocene of the north of Ireland." The Holocene **2**(3): 255-259.

Pollard, A. M., Blockley, S. P. E. og Ward, K. R. (2003). "Chemical alteration of tephra in the depositional environment: theoretical stability modelling." Journal Of Quaternary Science **18**(5): 385-394.

Pyne-O'Donell, S. (2005). Multiple Eruptions of the Borrobol Tephra Source Volcano during the Lateglacial Interstadial. The 8<sup>th</sup> International INTIMATE Workshop, Iceland.

Ramsey, C. B. (2001). "Development of the radiocarbon calibration program." Radiocarbon **43**(2A): 355-363.

Ranner, P. H., Allen, J. R. M. og Huntley, B. (2005). "A new early Holocene cryptotephra from northwest Scotland." Journal Of Quaternary Science **20**(3): 201-208.

Sejrup, H. P., Sjøholm, J., Furnes, H., Beyer, I., Eide, L., Jansen, E. og Mangerud, J. (1989). "Quaternary tephrochronology on the Iceland Plateau, north of Iceland." Journal Of Quaternary Science **4**: 109-114.

- Sigvaldason, G. E., Annertz, K. og Nilsson, M. (1992). "Effect of glacier loading/deloading on volcanism: postglacial volcanic production rate of the Dyngjufjöll area, central Iceland." Bulletin of Volcanology **54**: 385-392.
- Sjoholm, J., Sejrup, H. P. og Furnes, H. (1991). "Quaternary Volcanic Ash Zones On The Iceland Plateau, Southern Norwegian Sea." Journal Of Quaternary Science **6**(2): 159-173.
- Svendsen, J. I. og Mangerud, J. (1987). "Late Weichselian and Holocene sea-level history for a cross-section of western Norway." Journal Of Quaternary Science **2**: 113-132.
- Tephabase-Website (2001). <http://www.geo.ed.ac.uk/tephra/>. 20. okt. 2005
- Thomsen, H. (1982). "Late Weichselian shore-line displacement on Nord-Jæren, south-west Norway." Geologiska Föreningens i Stockholms Förhandlingar **103**: 447-468.
- Thorarinsson, S. (1981a). The application of tephrochronology in Iceland. Tephra Studies. S. Self and R. S. J. Sparks. Dordrecht, D.Reidel: 109-134.
- Thorarinsson, S. (1981b). Tephra studies and tephrochronology: An historical review with special reference to Iceland. Tephra Studies. S. Self and R. S. J. Sparks. Dordrecht, D. Reidel: 1-12.
- Thorseth, I. H., Furnes, H. og Heldal, M. (1992). "The importance of microbiological activity in the alteration of natural basaltic glass." Geochimica et Cosmochimica Acta **56**: 845-850.
- Thorseth, I. H., Furnes, H. og Tumyr, O. (1991). "A textural and chemical study of Icelandic palagonite of varied composition and its bearing on the mechanism of the glass-palagonite transformation." Geochimica et Cosmochimica Acta **55**: 731-749.
- Thorseth, I. H., Furnes, H. og Tumyr, O. (1995b). "Textural and chemical effects of bacterial activity on basaltic glass: an experimental approach." Chemical Geology **119**: 139 -160.
- Thorseth, I. H., Torsvik, T., Furnes, H. og Muehlenbachs, K. (1995a). "Microbes play an important role in the alteration of oceanic crust." Chemical Geology **126**: 137 - 146.

Turney, C. S. M. (1998a). "Extraction of rhyolitic component of Vedde microtephra from minerogenic lake sediments." Journal Of Paleolimnology **19**(2): 199-206.

Turney, C. S. M. (1998b). Isotope stratigraphy and tephrochronology of the last glacial-interglacial transition (14-9 ka <sup>14</sup>C BP) in the British Isles. University of London. **Ph.D thesis, ikke publisert.**

Turney, C. S. M., Harkness, D. D. og Lowe, J. J. (1997). "The use of microtephra horizons to correlate Late-glacial lake sediment successions in Scotland." Journal Of Quaternary Science **12**(6): 525-531.

Turney, C. S. M., Lowe, J. J., Davies, S. M., Hall, V., Lowe, D. J., Wastegard, S., Hoek, W. Z. og Alloway, B. (2004). "Tephrochronology of Last Termination Sequences in Europe: a protocol for improved analytical precision and robust correlation procedures (a joint SCOTAV-INTIMATE proposal)." Journal Of Quaternary Science **19**(2): 111-120.

Wastegard, S. (2005). "Late Quaternary tephrochronology of Sweden: a review." Quaternary International **130**: 49-62.

Wastegard, S., Wohlfarth, B., Subetto, D. A. og Sapelko, T. V. (2000). "Extending the known distribution of the Younger Dryas Vedde Ash into northwestern Russia." Journal Of Quaternary Science **15**(6): 581-586.

Witte, H. J. L., Coope, G. R., Lemdahl, G. og Lowe, J. J. (1998). "Regression coefficients of thermal gradients in northwestern Europe during the last glacial-Holocene transition using beetle MCR data." Journal Of Quaternary Science **13**(5): 435-445.

Waagstein, R. og Jóhansen, J. (1968). "Tre vulkanske askelag fra Færøerne." Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening **18**: 257-264.



## **Vedlegg**

Vedlegg A:  
Standardiseringstabell

Vedlegg B:  
Tabell over kjemianalyser

## A. Standardiseringstabell

### Test rhyolitt (ref.nr.USNM72854)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
8. sept.	77,20	0,09	12,35	1,14	0,02	0,02	0,42	3,70	4,81	99,76
12. sept.	76,96	0,07	12,05	1,00	0,04	0,02	0,44	3,59	4,78	98,94
12. sept.	77,49	0,01	12,06	1,08	0,03	0,04	0,43	3,69	4,89	99,73
30.sept.	78,01	0,01	12,72	0,11	0,00	0,04	0,45	3,74	4,92	100,99
30.sept.	78,58	0,01	12,66	1,06	0,01	0,04	0,43	3,66	4,91	101,36

### Test indian basalt (ref.nr. USNM113716)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
9.sept.	52,53	1,30	15,67	9,18	0,17	8,30	11,19	2,64	0,08	101,06
12.sept.	51,50	1,15	15,29	9,13	0,18	8,46	11,23	2,73	0,11	99,78
30.sept.	51,66	1,31	15,57	9,25	0,15	8,63	11,41	2,57	0,13	100,67

## B. Tabell over kjemianalyser

### Intervall 2.4 (586-587cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1	67,85	0,31	12,74	3,54	0,12	0,17	1,26	4,55	2,99	93,53
1.2	68,84	0,26	13,10	3,65	0,13	0,21	1,29	4,47	3,05	94,98
1.3	69,05	0,26	12,95	3,57	0,09	0,16	1,24	4,50	3,12	94,93
1.4	69,50	0,22	12,96	3,57	0,12	0,17	1,26	4,44	3,11	95,34
1.5	70,44	0,27	13,89	3,91	0,20	0,22	1,33	4,32	3,40	97,97
1.6	69,34	0,28	13,61	3,81	0,12	0,18	1,21	4,31	3,28	96,14
2.1	68,81	0,27	12,64	3,69	0,12	0,15	1,30	3,98	3,51	94,47
3.1.1	70,90	0,19	13,47	3,82	0,18	0,17	1,31	4,80	3,38	98,22
3.1.2	71,96	0,28	13,80	3,93	0,16	0,16	1,35	4,03	3,32	98,99
3.2	70,44	0,26	13,69	3,90	0,18	0,17	1,33	5,05	3,06	98,06
Gj.snitt:	69,71	0,26	13,29	3,74	0,14	0,17	1,29	4,44	3,22	96,26
Std.av:	1,21	0,03	0,46	0,15	0,04	0,02	0,04	0,32	0,18	
Populasjon 3										
2.2	77,41	0,07	12,37	1,08	0,04	0,00	0,45	3,99	4,94	100,35
Forkastede:										
3.3	63,44	0,28	12,14	3,44	0,19	0,17	1,20	3,95	0,00	84,80

### Intervall 4.1 (579-580cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1	66,49	0,28	13,38	3,67	0,18	0,20	1,25	4,69	3,18	93,32
Forkastede:										
1.2	58,58	0,19	11,47	3,18	0,12	0,14	1,06	3,12	2,74	80,59
1.3	67,95	0,25	12,41	3,51	0,15	0,23	1,26	3,93	3,14	92,82

1.4	66,12	0,20	12,54	3,52	0,07	0,26	1,23	3,48	3,01	90,42
-----	-------	------	-------	------	------	------	------	------	------	-------

#### Intervall 4.5 (575-576cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1.2	68,72	0,28	13,01	3,64	0,14	0,21	1,31	4,49	3,21	95,00
1.2	69,55	0,30	12,97	3,63	0,10	0,18	1,27	4,95	3,06	96,00
1.5.1	67,27	0,30	13,34	3,76	0,16	0,26	1,32	4,60	3,25	94,25
1.5.2	70,12	0,32	12,69	3,62	0,15	0,22	1,34	3,77	3,33	95,56
1.6	70,00	0,17	13,30	3,64	0,19	0,12	1,22	4,08	3,31	96,04
1.7	69,61	0,29	13,17	3,73	0,09	0,20	1,27	4,65	3,29	96,29
1.8	71,49	0,24	13,30	3,69	0,18	0,24	1,31	4,91	3,18	98,54
1.9	69,69	0,22	13,19	3,57	0,17	0,21	1,26	4,95	3,32	96,57
1.11	69,83	0,29	13,24	3,68	0,18	0,25	1,36	4,75	3,49	97,06
Gj.snitt:	69,59	0,27	13,13	3,66	0,15	0,21	1,29	4,57	3,27	96,15
Std.av:	1,13	0,05	0,21	0,06	0,03	0,04	0,04	0,41	0,12	
Forkastede:										
1.1.1	67,23	0,37	12,64	3,45	0,13	0,21	1,24	4,12	2,96	92,35
1.3	66,82	0,20	12,55	3,40	0,13	0,12	1,26	3,79	2,91	91,19
1.4	67,57	0,24	12,38	3,44	0,15	0,13	1,25	4,56	2,94	92,65
1.10	68,06	0,25	12,27	3,40	0,13	0,12	1,14	3,95	3,35	92,66

#### Intervall 5.5 (570-571cm)

Ingen analyser av askekorn, 2-5 av annet.

#### Intervall 6.3 (567-568cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.2	71,58	0,26	13,53	3,81	0,14	0,24	1,35	2,61	3,41	96,93
1.3	67,14	0,14	13,50	3,77	0,10	0,19	1,32	2,61	3,30	93,52
1.4	71,58	0,41	13,89	3,98	0,14	0,36	1,45	3,66	3,36	98,81
1.5	70,74	0,22	13,36	3,81	0,07	0,26	1,38	3,49	3,25	96,55
1.6	71,02	0,25	12,92	3,68	0,14	0,19	1,34	3,66	3,33	96,52
1.7	69,55	0,29	13,39	3,78	0,14	0,06	1,29	3,89	3,43	95,83
1.8	71,58	0,21	12,67	3,74	0,14	0,15	1,35	3,26	3,23	96,32
2.1	68,31	0,24	12,88	3,82	0,11	0,28	1,30	4,62	3,56	95,11
2.2	69,98	0,29	13,61	3,73	0,14	0,24	1,25	4,59	2,78	96,58
2.3	69,19	0,26	13,16	3,79	0,14	0,24	1,30	4,69	3,54	96,30
2.4	69,72	0,31	13,59	3,83	0,12	0,24	1,33	4,79	3,30	97,23
2.5	69,56	0,26	13,50	3,79	0,18	0,23	1,29	4,61	2,91	96,33
2.6	67,26	0,21	12,64	3,79	0,11	0,16	1,32	4,83	3,56	93,87
2.7	67,31	0,31	12,87	3,89	0,12	0,19	1,32	4,22	3,46	93,69
Gj.snitt:	69,61	0,26	13,25	3,80	0,13	0,22	1,33	3,97	3,32	95,97
Std.av:	1,61	0,06	0,39	0,07	0,03	0,07	0,05	0,78	0,23	
Forkastede: Ingen										

Populasjon 3

1.1	81,56	0,21	10,02	2,87	0,13	0,16	0,96	2,68	2,40	100,99
-----	-------	------	-------	------	------	------	------	------	------	--------

**Intervall 13.1 (534-535cm)**

Tre analyser, ingen av askekorner.

**Intervall 13.4 (531-532cm)**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.2	70,94	0,28	13,24	3,76	0,19	0,17	1,33	4,84	3,37	98,12
1.3	69,99	0,23	13,03	3,53	0,16	0,15	1,34	4,68	3,16	96,28
1.4	71,32	0,26	13,09	3,62	0,10	0,22	1,32	4,90	3,16	97,98
Gj.snitt:	70,75	0,26	13,12	3,64	0,15	0,18	1,33	4,81	3,23	97,46
Std.av:	0,68	0,03	0,11	0,12	0,05	0,03	0,01	0,11	0,12	
Forkastede:										
1.1	62,01	0,25	12,02	3,25	0,20	0,24	1,14	4,00	3,10	86,18

**Intervall 15.3 (522-523cm)**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Forkastede:										
1.1	65,34	0,21	12,61	3,59	0,17	0,12	1,18	2,43	3,11	88,76
1.2	65,84	0,29	11,73	3,53	0,22	0,31	1,26	2,70	2,81	88,69

**Intervall 16.2 (518-519cm)**

Lykkes ikke. Fire korn ikke aske.

**Intervall 16.4 (516-517cm)**

Lykkes ikke. To korn ikke aske.

**Intervall 18.4 (506-507cm)**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1.1	67,96	0,27	13,52	3,70	0,13	0,14	1,22	3,41	3,24	93,59
1.1.2	69,01	0,25	13,44	3,69	0,16	0,25	1,22	3,44	3,33	94,79
1.1.3	69,51	0,20	13,10	3,70	0,12	0,19	1,31	2,50	3,24	93,87
1.1.4	68,81	0,31	13,46	3,76	0,12	0,21	1,29	3,40	3,24	94,577
Gj.snitt:	68,82	0,26	13,38	3,71	0,13	0,20	1,26	3,19	3,26	94,08
Std.av:	0,64	0,05	0,19	0,03	0,02	0,05	0,05	0,46	0,04	
Populasjon 2										
1.2.1	73,39	0,18	12,52	1,51	0,05	0,01	0,74	3,18	3,37	94,94
1.2.2	72,09	0,15	12,49	1,45	0,00	0,13	0,75	3,48	3,50	94,03

1.3.2	74,74	0,14	12,62	1,47	0,00	0,08	0,75	2,26	3,79	95,85
Gj.snitt:	73,41	0,15	12,55	1,47	0,02	0,07	0,74	2,97	3,55	94,94
Std.av:	1,33	0,02	0,07	0,03	0,03	0,06	0,00	0,64	0,22	
Forkastede:										
1.3.1	70,89	0,63	12,50	1,40	0,01	0,12	0,75	3,04	3,64	92,41

### Intervall 19.2 (503-504cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1	71,65	0,25	13,27	3,73	0,19	0,23	1,30	3,91	3,75	98,27
1.2	69,96	0,23	13,75	3,72	0,07	0,09	1,27	3,98	3,80	96,86
Gj.snitt:	70,80	0,24	13,51	3,72	0,13	0,16	1,28	3,94	3,77	97,56
Std.av:	1,20	0,01	0,34	0,01	0,08	0,10	0,02	0,05	0,03	
Forkastede										
1.3	67,98	0,24	13,06	3,84	0,12	0,14	1,22	2,73	3,56	92,89

### Intervall 22.3 (487-488cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.4	72,81	0,22	13,62	3,87	0,13	0,12	1,34	3,61	3,37	99,07
1.5	70,47	0,22	13,70	3,73	0,17	0,13	1,27	3,98	3,42	97,08
Gj.snitt:	71,64	0,22	13,66	3,80	0,15	0,13	1,30	3,80	3,39	98,07
Std.av:	1,65	0,00	0,05	0,10	0,03	0,01	0,05	0,27	0,04	
Populasjon 2										
1.1	74,92	0,07	13,01	1,30	0,00	0,04	0,66	3,35	4,12	97,48
1.3	74,65	0,22	12,73	1,71	0,01	0,12	0,77	2,97	3,92	97,10
Gj.snitt:	74,79	0,15	12,87	1,50	0,00	0,08	0,72	3,16	4,02	97,29
Std.av:	0,19	0,11	0,20	0,29	0,01	0,06	0,08	0,27	0,14	
Forkastede:										
1.2	68,96	0,17	11,53	0,87	0,01	0,18	1,00	2,29	3,40	88,40

### Intervall 22.5 (485-486cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1.1	68,71	0,21	12,92	3,68	0,10	0,12	1,27	4,80	3,07	94,88
1.1.2	69,95	0,25	13,14	3,68	0,13	0,09	1,29	4,84	3,11	96,47
1.2.2	68,60	0,26	12,94	3,56	0,17	0,18	1,34	3,47	3,13	93,65
1.2.1	68,77	0,29	12,79	3,41	0,20	0,17	1,34	4,65	3,01	94,61
1.3.2	67,30	0,24	12,61	3,60	0,14	0,19	1,28	4,65	3,11	93,11
Gj.snitt:	68,67	0,25	12,88	3,58	0,15	0,15	1,30	4,48	3,09	94,54
Std.av:	0,94	0,03	0,20	0,11	0,04	0,04	0,04	0,57	0,05	

Forkastede:											
1.3.1	65,88	0,25	12,25	3,43	0,10	0,16	1,24	4,70	2,90	90,91	

#### Intervall 24.2 (478-479cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.5	72,04	0,22	13,81	3,85	0,17	0,16	1,26	3,70	3,40	98,61
Populasjon 2										
1.2	75,39	0,10	12,74	1,49	0,00	0,09	0,76	2,68	3,38	96,63
1.3	76,06	0,17	13,13	1,64	0,03	0,14	0,88	3,39	3,58	99,02
1.4	74,67	0,06	13,02	1,50	0,00	0,08	0,75	2,80	3,40	96,28
Gj.snitt:	75,37	0,11	12,96	1,54	0,01	0,10	0,80	2,96	3,45	97,31
Std.av:	0,69	0,06	0,20	0,08	0,02	0,03	0,07	0,38	0,11	
Forkastede:										
1.1	64,11	0,28	11,83	3,63	0,07	0,20	1,15	2,22	2,69	86,16

#### Intervall 24.4 (476-477cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1.1	68,52	0,31	12,80	3,67	0,15	0,15	1,23	4,71	3,19	94,71
1.1.2	68,80	0,27	12,92	3,59	0,16	0,23	1,18	4,30	3,28	94,73
1.1.3	69,44	0,30	13,09	3,72	0,09	0,35	1,17	3,96	3,31	95,42
1.2	71,40	0,25	13,41	3,82	0,15	0,22	1,30	4,67	3,31	98,53
1.5	68,31	0,33	12,88	3,68	0,21	0,18	1,35	4,47	3,28	94,70
1.6	69,03	0,21	13,07	3,74	0,16	0,19	1,26	4,53	3,16	95,34
1.7	69,82	0,32	12,61	3,69	0,15	0,18	1,26	4,15	3,39	95,55
1.9	69,22	0,34	12,60	3,59	0,11	0,19	1,31	4,52	2,98	94,86
1.10.1	67,65	0,30	12,76	3,56	0,13	0,22	1,31	4,17	2,96	93,07
1.10.2	69,77	0,23	12,66	3,50	0,16	0,26	1,29	4,43	3,05	95,35
1.11	67,96	0,31	12,53	3,34	0,17	0,24	1,10	5,02	3,11	93,77
Gj.snitt:	69,08	0,29	12,85	3,63	0,15	0,22	1,25	4,45	3,18	95,09
Std.av:	1,04	0,04	0,26	0,13	0,03	0,05	0,08	0,30	0,14	
Forkastede:										
1.3.1	65,69	0,30	12,36	3,49	0,21	0,15	1,26	4,45	3,17	91,07
1.3.2	68,00	0,28	12,77	3,55	0,16	0,23	1,33	2,79	3,16	92,27
1.4	63,78	0,27	12,03	3,56	0,13	0,12	1,18	4,07	3,03	88,15
1.8.1	67,72	0,24	12,35	3,52	0,09	0,15	1,24	4,31	3,20	92,83
1.8.2	64,82	0,34	11,37	3,25	0,16	0,21	1,22	2,11	2,83	86,31
1.12	68,01	0,18	12,49	3,54	0,11	0,18	1,26	3,99	3,04	92,78

#### Intervall 26.4 (466-467cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1.1	67,86	0,21	12,44	3,41	0,11	0,18	1,30	4,72	3,12	93,35

1.1.2	69,39	0,24	12,61	3,46	0,09	0,17	1,13	3,80	3,20	94,08
Gj.snitt:	68,62	0,22	12,52	3,44	0,10	0,17	1,21	4,26	3,16	93,71
Std.av:	1,08	0,02	0,12	0,04	0,01	0,01	0,12	0,66	0,06	
Forkastede:										
1.2.1	68,39	0,25	12,03	3,44	0,09	0,13	1,28	3,76	3,04	92,40
1.2.2	67,19	0,21	12,11	3,35	0,14	0,11	1,26	2,50	3,05	89,90

### Intervall 27.2 (463-464cm)

Lyktes ikke. En måling på 49% tot.

### Intervall 29.1 (454-455cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.2	72,80	0,28	13,98	3,86	0,13	0,19	1,30	3,97	3,04	99,55
Populasjon 2										
1.1.1	72,06	0,13	12,82	1,49	0,04	0,02	0,75	2,91	3,16	93,37
1.1.3	74,47	0,13	12,75	1,54	0,00	0,08	0,77	2,73	3,24	95,71
1.1.4	75,85	0,12	12,54	1,45	0,02	0,06	0,77	2,36	3,29	96,45
1.1.5	76,43	0,11	13,26	1,58	0,03	0,11	0,75	1,64	3,17	97,09
1.1.6	77,20	0,09	13,39	1,56	0,01	0,07	0,80	0,81	2,89	96,82
1.3.1	73,67	0,13	12,81	1,44	0,01	0,04	0,72	2,64	3,21	94,66
1.3.2	74,97	0,15	12,81	1,51	0,03	0,08	0,76	2,60	3,22	96,14
1.3.3	74,07	0,05	13,03	1,52	0,00	0,11	0,75	2,49	3,38	95,39
Gj.snitt:	74,84	0,11	12,93	1,51	0,02	0,07	0,76	2,27	3,19	95,70
Std.av:	1,65	0,03	0,28	0,05	0,01	0,03	0,02	0,70	0,14	
Forkastede:										
1.1.2	68,25	0,13	12,35	1,51	0,02	0,05	0,76	2,43	3,12	88,61
1.3.4	72,16	0,18	11,24	1,52	0,07	0,05	0,75	1,90	3,14	91,00

### Intervall 29.5 (450-451cm)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
Populasjon 1										
1.1	72,91	0,32	14,46	3,83	0,12	0,22	1,14	2,60	3,36	98,96
1.2	71,43	0,27	14,10	3,99	0,15	0,24	1,23	3,90	3,29	98,61
1.3	70,92	0,24	14,20	3,90	0,16	0,21	1,25	3,21	3,28	97,38
1.4	73,50	0,25	13,94	3,93	0,14	0,12	1,11	3,00	3,35	99,36
1.5	70,52	0,29	14,43	3,86	0,10	0,17	1,18	3,66	3,23	97,45
1.6	72,59	0,25	14,48	3,73	0,09	0,16	0,96	3,18	3,40	98,84
1.7	71,58	0,31	14,10	3,99	0,10	0,18	1,16	3,35	3,28	98,07
1.8	70,80	0,25	13,69	3,77	0,09	0,23	1,27	3,04	3,13	96,27
1.9	72,03	0,27	14,25	3,89	0,13	0,17	1,32	3,75	3,29	99,10
1.10	71,08	0,26	14,47	3,90	0,14	0,20	1,27	4,17	3,37	98,86
1.11	71,88	0,27	14,24	3,93	0,16	0,10	1,28	3,79	3,29	98,93
Gj.snitt:	71,75	0,27	14,22	3,88	0,13	0,18	1,20	3,42	3,30	98,35

Std.av: 0,94 0,03 0,25 0,08 0,03 0,05 0,10 0,47 0,08

Forkastede:  
Ingen

**Vedde rhyolitt, intervall 33.1 (434-435cm)**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
1.1	72,52	0,20	13,63	3,75	0,17	0,22	1,16	3,37	3,53	98,54
1.2	71,19	0,31	13,86	3,86	0,10	0,11	1,30	4,19	3,43	98,34
1.3	72,03	0,31	13,74	3,94	0,07	0,12	1,30	4,28	3,36	99,15
1.4	72,13	0,24	13,81	3,54	0,10	0,21	1,46	4,39	3,40	99,27
1.5	71,15	0,18	13,65	3,87	0,15	0,21	1,36	4,54	3,43	98,53
1.6	70,80	0,29	13,72	3,84	0,13	0,32	1,30	4,18	3,49	98,06
1.7	71,82	0,27	13,57	3,92	0,19	0,16	1,33	4,30	3,31	98,87
1.8	71,86	0,34	13,65	3,98	0,10	0,28	1,33	3,93	3,46	98,93
1.9	71,26	0,31	13,76	4,00	0,17	0,28	1,37	4,39	3,34	98,88
1.10	71,76	0,25	13,71	3,78	0,20	0,24	1,27	4,52	3,35	99,07
2.1	67,22	0,33	12,42	3,66	0,13	0,28	1,28	4,60	3,31	93,22
2.2	69,17	0,22	12,92	3,82	0,21	0,12	1,34	4,58	3,61	95,99
2.5	67,56	0,21	12,48	3,68	0,19	0,10	1,26	4,22	3,54	93,25
2.6	67,87	0,26	12,97	3,64	0,14	0,23	1,29	3,84	2,76	93,01
Gj.snitt:	70,60	0,26	13,42	3,81	0,15	0,20	1,31	4,24	3,38	97,37
Std.av:	1,84	0,05	0,50	0,14	0,04	0,07	0,07	0,34	0,20	

Forkastede:

2.3	59,16	0,31	11,03	3,18	0,16	0,16	1,17	3,37	2,93	81,48
2.4	66,31	0,34	11,90	3,62	0,11	0,08	1,23	3,85	3,48	90,93

**Vedde basalt, intervall 33.1 (434-435cm)**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SUM
1.1	51,88	3,52	12,92	12,80	0,22	4,19	8,29	2,26	1,10	97,20
1.2	47,04	4,29	12,62	14,92	0,22	5,21	9,89	2,33	0,66	97,18
1.4	54,97	2,76	13,15	10,90	0,24	3,24	6,97	2,92	1,54	96,70
1.5	47,71	4,13	12,71	14,41	0,17	4,96	9,74	1,76	0,76	96,34
1.7	51,59	3,19	12,69	12,34	0,20	4,14	8,15	3,11	1,20	96,61
1.8	46,67	4,23	12,74	15,37	0,21	5,19	9,93	2,07	0,69	97,10
1.9	54,50	2,92	13,26	11,17	0,19	3,63	7,49	2,88	1,32	97,36
1.10	47,02	4,38	12,47	14,57	0,22	5,32	10,00	1,79	0,72	96,48
1.11	52,20	3,26	13,44	12,21	0,25	3,90	7,76	3,05	1,32	97,38
1.14	49,98	3,90	12,90	13,66	0,19	4,87	9,04	2,23	0,90	97,67
Gj.snitt:	50,36	3,66	12,89	13,24	0,21	4,47	8,73	2,44	1,02	97,00
Std.av:	3,14	0,60	0,31	1,58	0,03	0,74	1,14	0,51	0,32	
Forkastede:										
1.3	58,19	1,89	13,32	8,46	0,17	2,31	5,29	3,45	1,87	94,93
1.6	48,13	3,85	12,39	13,53	0,19	4,32	9,11	2,57	0,72	94,82
1.12	47,26	3,96	12,92	13,49	0,16	4,66	8,83	2,31	0,73	94,32
1.13	45,55	1,18	9,80	4,01	0,07	1,10	2,10	2,77	1,54	68,11