

BACHELOROPPGAVE

Endringer i sammensetningen av sedimenter i Barsnesfjorden, Vest-Norge, over de siste 50 år

av

Kandidatnummer 106, Anders Tysnes

Kandidatnummer 113, Marius Røthe Bøen

Kandidatnummer 117, Johannes Aleksander Svenheim Rongved

**Changes in sediment composition of the Barsnesfjord, Western Norway,
throughout the last 50 years**

Geologi og geofare

GE491

Juni 2015



Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen i Sogn og Fjordane sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen i Sogn og Fjordane tillatelse til å publisere oppgaven (Skriv inn tittel) i Brage hvis karakteren A eller B er oppnådd.

Jeg garanterer at jeg er opphavsperson til oppgaven, sammen med eventuelle medforfattere. Opphavsrettslig beskyttet materiale er brukt med skriftlig tillatelse.

Jeg garanterer at oppgaven ikke inneholder materiale som kan stride mot gjeldende norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Fyll inn kandidatnummer og navn og sett kryss:

Kandidatnummer 106, Anders Tysnes

JA NEI

Kandidatnummer 113, Marius Røthe Bøen

JA NEI

Kandidatnummer 117, Johannes Aleksander Svenheim Rongved

JA NEI

Denne bacheloroppgaven er skrevet av tre geologistudenter som studerer ved Høgskulen i Sogn og fjordane, Avdeling for ingeniør- og naturfag.

Vi vil gi en ekstra stor takk til Matthias Paetzel som har veiledet oss gjennom denne oppgaven og gitt oss tilgang til alt av datasett og artikler fra sin egen forskning i og rundt Barsnesfjorden. Han har alltid vært tilgjengelig på mail og under kontortiden.

Takk til Torbjørn Dale som hjalp oss med prøvetakning og laboratoriearbeid.

Takk til «From Mountain to Fjord» 2014 studentene ved HiSF, som delte datasettene sine med oss.

Takk til Peter Hovgaard for lån av båten «Knut» som ble brukt under prøvetakningen.

Takk til Høgskulen i Sogn og Fjordane for lån av nødvendig utstyr og laboratorier.

Takk til Sigrid Klakken for assistanse med laboratoriearbeid.

Takk til Årøy kraftverk for at vi fikk komme på besøk til kraftverket.

Disse personene og institusjonene har vært avgjørende for gjennomføringen av denne oppgaven.

Sammendrag

Med utgangspunkt i endringer i sedimentsammensetningen i perioden før 1980-tallet sammenlignet med perioden etter 1980-tallet, viser oppgaven kilder til mulige endringer i Barsnesfjorden over de siste 50 årene. Dette ble gjort ved å analysere kjerneprøver fra sedimentene i Indre og Ytre Barsnesfjord. Endringer i sedimentene i Barsnesfjorden er synlige på flere områder.

Mengden silt har gått ned med ca. 10% gjennom hele Barsnesfjorden siden 1980-tallet. Dette er motstridene i forhold til hva man vil kunne forvente da isbreene i området har økt avsmelting i samme periode. Dette burde føre til en økning av silt i Barsnesfjordsedimentene. En mulig årsak til den avtagende siltilførselen kan være at senkning av vannstanden i Veitastrondvatnet og Hafslovatnet i samband med kraftutbyggingen på Årøy på 1980-tallet har ført til redusert strømningshastighet fra innsjøene til Barsnesfjorden. Denne reduserte strømningshastigheten har ført til en økt avsetning av grove partikler, herunder siltpartikler, i Veitastrondvatnet og Hafslovatnet.

Organisk materiale har økt med ca. 35% i Indre Barsnesfjord og med ca. 60% i Ytre Barsnesfjord. Dette sees i sammenheng med økt nedbør som gir økt avrenning. Med økt avrenning burde det sees en klar økning i terrestrisk organisk materiale. Denne økningen uteblir. Økt tilførsel av næringsstoffer, som fører til økt primærproduksjon, gir grunnlag for en oppblomstring av marine organismer og dermed marint organisk materiale som kan tynne ut mengden avsatt terrestrisk organisk materiale i fjordene. Dette gir grunnlag for å konkludere med en økt tilførsel av næringsstoffer til Barsnesfjorden.

Sammenhengen mellom organisk karbon og kalsiumkarbonat viser til at Ytre Barsnesfjord skifter mot et mer anoksisk miljø etter 1980-tallet. Endringer i strømningsforholdene kan ha svekket den estuarine sirkulasjonen som skifter miljøet mot mer anoksiske forhold.

Dette kan tyde på en kombinasjon av at klimaendringer og menneskeskapte miljøendringer på 1980-tallet har ført til endringer i sedimentsammensetningen i Barsnesfjorden.

Innhold

| | |
|---|----|
| Sammendrag..... | 3 |
| Figurliste..... | 6 |
| Tabelliste | 8 |
| 1 Innledning | 9 |
| 1.1 Bakgrunn..... | 9 |
| 1.2 Målsetninger | 11 |
| 1.2.1 Forklaring målsetning 1 | 12 |
| 1.2.2 Forklaring målsetning 2 | 13 |
| 1.2.3 Forklaring målsetning 3 | 13 |
| 2 Områdebeskrivelse..... | 14 |
| 2.1 Geologi og avsetninger..... | 14 |
| 2.1.1 Berggrunn..... | 14 |
| 2.1.2 Fjorddannelse | 14 |
| 2.1.3 Avsetninger | 15 |
| 2.2 Barsnesfjordens batymetri..... | 15 |
| 2.3 Barsnesfjordens hydrografi | 17 |
| 2.4 Vannkraftverket på Årøy..... | 18 |
| 2.5 Vitenskapelige arbeider | 20 |
| 3 Metodebeskrivelse | 22 |
| 3.1 Prøvetaking..... | 22 |
| 3.2 Kjerneåpning og visuell analyse..... | 23 |
| 3.3 Glødetap (Loss-on-Ignition) | 23 |
| 3.4 Smørepreparater..... | 25 |
| 3.4.1 Kornstørrelsesanalyse fra smørepreparat | 26 |
| 3.4.2 Analyse av organisk materiale fra smørepreparat | 27 |
| 3.5 Klima | 28 |
| 4 Resultater | 29 |
| 4.1 Sedimentasjonsrater..... | 29 |
| 4.2 Prøvetaking og materiale..... | 30 |
| 4.3 Kjerneåpning og visuell analyse..... | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.4 | Glødetap..... | 34 |
| 4.4.1 | Indre Barsnesfjord | 34 |
| 4.4.2 | Ytre Barsnesfjord | 35 |
| 4.5 | Smørepreparater..... | 36 |
| 4.5.1 | Kornstørrelser - Sand | 36 |
| 4.5.2 | Kornstørrelser - Grov og medium silt | 37 |
| 4.5.3 | Fin og veldig fin silt | 39 |
| 4.5.4 | Total silt..... | 40 |
| 4.5.5 | Leire | 42 |
| 4.5.6 | Organisk materiale | 43 |
| 4.5.7 | Terrestrisk organisk..... | 45 |
| 4.6 | Klima..... | 47 |
| 5 | Diskusjon | 49 |
| 5.1 | Målsetning 1..... | 49 |
| 5.1.1 | Svar på målsetning 1 | 49 |
| 5.2 | Målsetning 2..... | 50 |
| 5.2.1 | Svar målsetning 2 | 54 |
| 5.3 | Målsetning 3..... | 55 |
| 5.3.1 | Forklaring av grafisk modell i Figur 24 | 57 |
| 5.3.2 | Svar målsetning 3 | 58 |
| 6 | Konklusjon..... | 59 |
| | Referanseliste | 60 |
| | Appendiks..... | 64 |

Figurliste

| Figur | Figurtekst | Sidetall |
|-------|---|----------|
| 1 | Barsnesfjorden lokalisert vest i Norge (a). I bilde (b) vises målestasjonene for klimadata F=Fjærland og H=Hafslo. L=Langedalsbreen, A=Austerdalsbreen. Grønn sirkel i (b) viser Hafslovatnet. Gul sirkel i (b) viser Veitastrondvatnet. I bilde (c) er det zoomet inn på Barsnesfjorden. Rød sirkel i (c) er posisjonen til Årøy vannkraftverk. Den hvite streken i (c) viser hvor tverrsnittet (d) er tatt. Bilde (d) viser et tverrsnitt av Sogndals- og Barsnesfjorden. Tverrsnittet begynner i venstre hjørne i (c) og slutter ved utløpet til Årøyelva. Figur fra Paetzel & Dale (2010) | 10 |
| 2 | Oversiktskart over inntakene til Årøy vannkraftverk. Øverst er det sett ovenfra, under ser man det som er vertikalt snitt. Det blå området i midten er innsjøen Hafslovatnet med inntak til høyre ende. Tunellen går fra inntaket via kraftverket og ut i nedre del av Årøyelva. Det tørrlagte elveleiet er vist oppe i høyre hjørne. I tverrsnittet er det vist hvordan vannmagasinene er senket og hvor inntaket er plassert. Bilde er tatt fra informasjonstavle i Årøy kraftverk. | 11 |
| 3 | Lokaliteten av Indre og Ytre Barsnesfjord med 8m dyp terskler under Loftesnesbrua i sørvest og 29m dyp terskel ved Kvam i midten av bildet. Nordøst i bildet vises Lokaliseringen av kraftverket på Årøy (rød ring) med vannutløp til nedre delen av Årøyelva. Bildet er hentet fra www.norgebilder.no (http 1). | 16 |
| 4 | Bildet til venstre, tatt fra et fotografi fra Årøy kraftverk, er fra før elven ble lagt i tunell. Bildet til høyre er tatt på samme sted i mai 2015. | 19 |
| 5 | Tekniske data for kraftproduksjon i Årøy kraftverk (bilde tatt fra informasjonstavle på Årøy kraftverk). | 19 |
| 6 | Niemistö prøvetakeren. Bilde A viser prøvetakeren på vei opp med prøvetakeren lukket. Bilde B viser prøvetakeren på vei ned med lukkemekanismen i åpen posisjon. | 22 |
| 7 | Bilder som viser smørepreparat sett i et gjennomlysmikroskop ved 40 ganger forstørrelse. Bilde A viser kornstørrelser: rød ring = aggregat av medium silt, grønn ring = fin silt og gul ring = aggregat av leirpartikler. Bilde B viser aggregat av marint organisk materiale. Bilde C viser terrestrisk organisk materiale i både den røde og den blå ringen. Bildene er tatt fra smørepreparat av sediment i Indre Barsnesfjord i 2011 (av Matthias Paetzel). | 28 |
| 8 | Lokalitetene til kjernene; 3=MF2014-3, 5=MF2014-5, 7=MF2014-7 og 8=MF2014-8. Sørvest i bildet ligger Loftesnesbrua og i nordøst i bildet er utløpet til Årøyelva. Koordinatene til kjernene er vist i Tabell 2. Bildet er hentet fra www.norgebilder.no (http 3). | 30 |
| 9 | MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8 sett i samme bilde. Målestokk øverst i bildet viser hver tiende cm. De lyse partiene i MF2014-8 er områder utsatt for skred og sees ikke i de andre kjernene. Figur 10 viser dette nærmere. | 32 |
| 10 | MF2014-8 sett sammen med glødetapsanalysen fra samme kjerne. Røde felt markerer rasområder i MF2014-8. | 33 |
| 11 | Organisk karbon og kalsiumkarbonat fra kjernene MF2014-3 og MF2014-5 fra Indre Barsnesfjord. Grå felt markerer området hvor 1982 befinner seg. | 34 |
| 12 | Organisk karbon og kalsiumkarbonat fra kjernene MF2014-7 og MF2014-8 fra Ytre Barsnesfjord. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. De tre røde feltene i MF2014-8 viser områdene i kjernen som er forstyrret. | 35 |
| 13 | Sand i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 50%. | 37 |

| | | |
|----|--|----|
| 14 | Grov og medium silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 80%. | 38 |
| 15 | Fin og veldig fin silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 70%. | 40 |
| 16 | Total mengde silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 90%. | 41 |
| 17 | Leire i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 90%. | 44 |
| 18 | Organisk materiale, sett i forhold til mineralinnholdet i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 60%. | 44 |
| 19 | Terrestrisk organisk materiale sett i forhold til marint organisk materiale i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 80%. | 46 |
| 20 | En kombinasjon av temperaturmålingene fra perioden 1921 til 2014 fra målestasjonene i Fjærland. Sommertemperaturene er målt fra april til september. Vintertemperaturene er målt fra oktober til mars. Den årlige gjennomsnittstemperaturen er vist i svart. Den årlige sommertemperaturen er vist i rødt. Den årlige vintertemperaturen er vist i blått. | 47 |
| 21 | Grafen viser den årlige gjennomsnittsnedbøren. Målingene er tatt fra målestasjon ved Hafslø som ligger ca. 246m over havet. Data er hentet fra www.eklima.no (http 2). Dataene er fra 1921 til 2014. | 48 |
| 22 | Grafen viser den årlige sommer- og vinternedbøren. Vinternedbøren er vist i blått. Sommernedbøren er vist i rødt. Målingene er tatt fra målestasjon ved Hafslø. Data er hentet fra www.eklima.no (http 2) Dataene er fra 1921 til 2014 | 48 |
| 23 | Legende med fargekoder og tegnforklaring til Figur 24 | 56 |

| | | |
|----|---|----|
| 24 | Grafisk modell over sammenheng mellom endringer i sediment med miljø- og klimaendringer i og rundt Barsnesfjordene. Legende med fargekoder og tegnforklaringer til modellen er vist i Figur 23. | 56 |
|----|---|----|

Tabelliste

| Tabell | Tabelltekst | Sidetall |
|--------|---|----------|
| 1 | Kornstørrelser og tilsvarende enheter på tallskala i mikroskop ved 40 ganger forstørrelse etter Wentworth (1922). Legge merke til at kornstørrelsene grov silt og medium silt er dratt sammen til én kornstørrelse (grov og medium silt), og at også kornstørrelsene fin silt og veldig fin silt er dratt sammen til én kornstørrelse (fin og veldig fin silt). | 26 |
| 2 | Lokalisering av prøvene på Tokt «MF2014»; N=Nord; Ø=Øst; IB=Indre Barsnesfjord; YB=Ytre Barsnesfjord. Koordinatene er hentet fra kartbladet: Den norske kyst: Indre Sognefjorden fra Norges sjøkartverk, sjømåling 1941 til 1960. | 31 |
| 3 | Oversikt over den prosentvise forskjellen for parameterne før og etter 1982. Grønne felt markerer en positiv prosentvis endring. Røde felt viser en negativ prosentvis endring. Gule felt viser tilnærmet ingen endring. Blå skrift indikerer prosentvis overestimering av tallverdi på grunn av lite tilgjengelig materiale. | 50 |

| Tabeller i appendiks | | |
|----------------------|--|---------------------------------|
| Filnavn | Filbeskrivelse | Mappe med tilhørende undermappe |
| Organisk materiale | Excel dokument med fire arbeidsark navngitt med kjernenavn. Dokumentet viser rådata fra tellingen av organisk materiale i smørepreparatanalysen. | Rådata; Smørepreparat. |
| Korntelling | Excel dokument med fire arbeidsark navngitt med kjernenavn. Dokumentet viser rådata fra tellingen av kornstørrelser i smørepreparatanalysen. | Rådata; Smørepreparat. |
| Glødetapsanalyse | Excel dokument med fem arbeidsark navngitt med kjernenavn. Dokumentet viser rådata fra glødetapsanalysen. | Rådata; Glødetap |
| Klimadata | Excel dokument med ett arbeidsark. Dokumentet viser rådata hentet fra www.eklima.no (http 2). | Rådata; Klima |

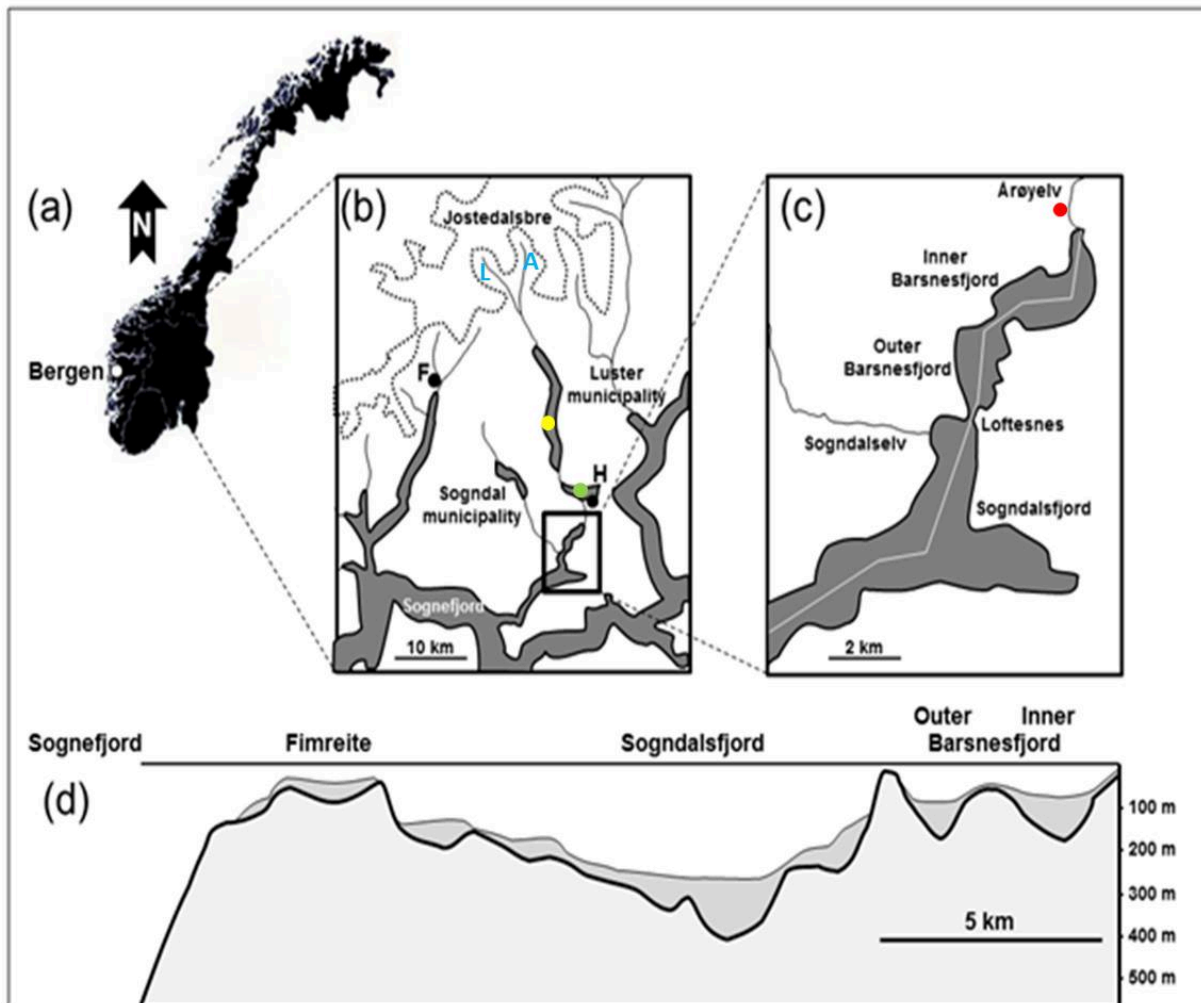
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Avsetninger i fjordbassenger er ideelle plasser for rekonstruksjon av miljø- og klimaendringer over de siste 100 til 200 år (Howe et al. 2010; Syvitski et al. 1987). Spesielt gjelder dette for fjorder med grunne terskler og anoksiske bunnforhold. Sedimenter i slike oksygenfattige fjorder kan akkumulere signaler fra lokale og regionale miljøendringer. Anoksiske sedimenter fra terskelfjorder har derfor i Norge blitt brukt som historiske miljøarkiver, for eksempel i Barsnesfjorden og i Sogndalsfjorden ved Sogndal (Paetzel & Schrader 1991; 1992; Paetzel & Dale 2010), i Nordåsvannet (Paetzel et al. 1994; Paetzel & Schrader 1995) og i Store Lungegårdsvannet (Paetzel & Schrader 2003) i Bergen eller i Kyllaren naturreservat i Askvoll kommune (Smittenberg et al. 2004).

Signaler fra resente miljøendringer i Barsnesfjorden (Figur 1) har stort sett blitt knyttet til naturlige forhold og klimaendringer (Paetzel & Schrader 1991; Paetzel & Dale 2010). På den andre siden antyder Paetzel & Schrader (1991) at endringer i avsetningsforhold i Barsnesfjorden også kan ha skjedd basert på ikke-naturbundne inngrep på 1980-tallet. De viser til endringer i konsentrasjonen av organisk karbon etter at vanntilførselen til Barsnesfjorden ble endret da den hovedsakelige tilførselen gjennom Årøyelven ble lagt inn i en fjelltunnel for vannkraftutvinning (Figur 2) i 1982. Prøvetakingen til denne undersøkelsen skjedde i 1988 med en prøvetaker, en såkalt box-corer, som på etterkant viste seg å kunne ha forstyrret sedimentoverflaten ved utvasking av materiale. Av denne grunnen er det knyttet en viss usikkerhet til tolkningen av de sedimentære endringene i tilknytning til vannkraftutbyggingen.

Det foreliggende arbeidet skal ved forbedret prøvetaking og sedimentanalyse kaste lys på hvilke endringer som har pågått i Barsnesfjorden siden 1980-tallet og sette fokus på mulige kilder til disse endringene.



Figur 1: Barsnesfjorden lokalisert vest i Norge (a). I bilde (b) vises målestasjonene for klimadata F=Fjærland og H=Hafslo. L=Langedalsbreen, A=Austerdalsbreen. Grønn sirkel i (b) viser Hafslovatnet. Gul sirkel i (b) viser Veitastrondvatnet. I bilde (c) er det zoomet inn på Barsnesfjorden. Rød sirkel i (c) er posisjonen til Årøy vannkraftverk. Den hvite streken i (c) viser hvor tverrsnittet (d) er tatt. Bilde (d) viser et tverrsnitt av Sogndals- og Barsnesfjorden. Tverrsnittet begynner i venstre hjørne i (c) og slutter ved utløpet til Årøyelva. Figur fra Paetzel & Dale (2010)



Figur 2: Oversiktskart over inntakene til Årøy vannkraftverk. Øverst er det sett ovenfra, under ser man det som er vertikalt snitt. Det blå området i midten er innsjøen Hafslovatnet med inntak til høyre ende. Tunellen går fra inntaket via kraftverket og ut i nedre del av Årøyelva. Det tørrlagte elveleiet er vist oppe i høyre hjørne. I tverrsnittet er det vist hvordan vannmagasinene er senket og hvor inntaket er plassert. Bilde er tatt fra informasjonstavle i Årøy kraftverk.

1.2 Målsetninger

Endringer i kornstørrelser, organisk karbon og sammensetning av kiselalger i sedimenter fra Barsnesfjorden og fra Sogndalfjorden har tidligere blitt tolket i henhold til innflytelsen fra årlige endringer i nedbørs- og temperaturforhold over de siste 20 årene (Paetzel & Dale 2010). Den aktuelle undersøkelsen skal ta et mer generelt utgangspunkt ved å sammenligne sammensetningen av sedimentene i Barsnesfjorden fra før 1980-tallet med sammensetningen av sedimentene fra etter 1980-tallet og fram til i dag, og finne årsaken til mulige endringer. Til dette formålet skal det svares på følgende spørsmål:

- Målsetning 1

Er det mulig å ta sedimentprøver fra Indre og Ytre Barsnesfjorden med høy oppløsning som dekker avsetningshistorien mellom perioden før 1980-tallet og perioden etter 1980-tallet fram til i dag?

- Målsetning 2

Viser sedimentene forskjell i sammensetningen av minerogent og organisk materiale fra perioden før 1980-tallet sammenlignet med perioden etter 1980-tallet fram til i dag?

- Målsetning 3

Kan det lages en enkel modell som knytter mulige forskjeller i minerogent materiale og organisk materiale i sedimentsammensetningen til miljø- og klimaendringer fra periodene før og etter 1982, dvs. etter utbyggingen av Årøy kraftverket?

1.2.1 Forklaring målsetning 1

For å ta sedimentprøver med høy oppløsning brukes en Niemistö gravity corer (Niemistö 1974). Niemistö-prøvetakeren bruker apparatets eget moment i det prøvetakeren synker ned gjennom vannsøylen til å synke ned i sedimentene på bunnen av fjorden og dermed hente prøven. Niemistö gravity corer tar opp sedimentkjernen samtidig som den bevarer overgangen fra vann til sedimentene. Prinsippet bak Niemistö-prøvetakeren er vist i Figur 6 i metodedelene. Med denne prøvetakeren er det mulig å ta sedimentprøver med høyere oppløsning enn for eksempel en box-corer. For å finne ut hvilket sedimentdyp som tilsvare tiden før og etter 1980-tallet må det tas hensyn til sedimentasjonsraten og derifra regne ut omtrent hvor i prøven 1980-tallet befinner seg. Dateringene for dette formålet tas fra tidligere publikasjoner om Barsnesfjorden (Paetzel & Schrader 1991; Paetzel & Dale 2010).

1.2.2 Forklaring målsetning 2

For å finne endringer i sedimentene, brukes det flere metoder. Glødetap (Loss-on-Ignition, LOI) blir brukt for å finne prosentvise endringer i organisk materiale og kalsiumkarbonat (CaCO_3) i sedimentprøvene.

Smørepreparatanalyse blir brukt for å finne endringer i de hemipelagiske marine sedimenter. Kornstørrelsesanalyse fra smørepreparatene blir brukt for å finne endringer i mengden sand, grov og medium silt, fin og veldig fin silt, og leire. Det forventes å se en endring i minerogent og organisk materiale grunnet endringene i ferskvannstilførselen fra Årøyelven. Poenget med disse analysene er å tolke kilder av endringer nedover i sedimentet og rekonstruere avsetningshistorien.

1.2.3 Forklaring målsetning 3

Den hovedsakelige menneskeskapt endringen i Barsnesfjorden er kraftutbyggingen på Årøy i 1982. For å finne ut om denne endringen og eventuelle klimaendringer kan ses i sedimentene må sedimentasjonsraten fra Målsetning 1 tas i betraktning; denne sedimentasjonsraten brukes for å finne ut hvor dypt 1982 ligger i sedimentprøvene. Deretter må endringene i sedimentet sammenlignes med endringer i miljø og klima i og rundt Barsnesfjorden for å se om det er forskjeller. Etter dette skal det tolkes i hvilken grad disse forskjellene er nedfelt i fjordsedimentene. Det skal fokuseres på avhengigheten av kildenes innvirkninger på hverandre og denne skal framstilles grafisk i en boksmoell.

2 Områdebeskrivelse

2.1 Geologi og avsetninger

2.1.1 Berggrunn

Området rundt Barsnesfjorden består stort sett av granitt og gneis-granitt, som sammen danner grunnfjellet i området. Grunnfjellet ble dannet i prekambrium. Granitt er en magmatisk bergart som er sammensatt av kvarts, plagioklas, alkalifeltspat og noe glimmermineral. Gneis-granitt er en blanding mellom gneis og granitt som har vært utsatt for en ufullstendig metamorfose. Granitt og gneis-granitten er dekket av skyvebergarter fra den kaledonske fjellkjededannelsen som i all hovedsak består av fyllitt og anortosittiske bergarter (Brynhi et al. 1986).

2.1.2 Fjorddannelse

En fjord er en landform som har oppstått ved at en isbre har erodert et elveløp i en dal, og denne dalen er erodert slik at den havner under havnivået. Dalen ble fylt opp med havvann etter hvert som isbreen har trukket seg tilbake. Det vil derfor, i de fleste tilfeller, være mulig å finne breavsetninger om man kommer langt nok ned i de marine sedimentene gjennom Holocene tid (Howe et al. 2010). Måten man vet at det er en isbre som har erodert ut fjorden, og ikke en elv, er at isbreeroderte daler er opptil 80% bredere og har en tendens til å være rundt 30% dypere. Daler erodert av isbreer har også en tendens til å være mer «U-»formet mens elveeroderte daler er mer «V-»formet (Benn & Evans 2010). Den største tykkelsen på sedimentene i Barsnesfjorden går over 50 til 100m i alle bassengene, både i Sogndalsfjorden og Barsnesfjordene (Figur 1; Paetzel & Dale 2010), med ca. halvparten av sedimentene avsatt i slutten av deglasiasjonen etter siste istid (Weichselistid) for omtrent 9.500 år siden (Paetzel 1990).

2.1.3 Avsetninger

Fjordsedimenter fra terskelfjorder kan brukes som miljø- og klimaarkiv fordi det stort sett er en relativt høy sedimentasjonsrate av opptil flere millimeter per år, med lite forstyrrelser i sedimentene, som igjen gir høy oppløsning på dataene (Howe et al. 2010). Forstyrrelsene vil stort sett skyldes bioturbasjon som faller bort i de fleste terskelfjordene grunnet redusert vannutveksling. Slik redusert vannutveksling fører til overforbruk av oksygen og dannelse av anoksiske forhold i bunnvannet (Syvitski et al. 1987). I disse forhold eksisterer ingen makroskopisk liv som kunne grave i sedimentene (Syvitski et al. 1987). De uforstyrrede og ikke-bioturberte fjordsedimentene kan dermed avleires i laminasjoner som er sammenlignbare med årringer i et tre (Howe et al. 2010).

2.2 Barsnesfjordens batymetri

Barsnesfjorden er lokalisert i Vest-Norge og er den innerste delen av Sogndalsfjorden, som igjen er en fjordarm som munner ut i Sognefjorden (Figur 1). Sogndalsfjorden, som er omtrent 15km lang (Dale & Hovgaard 1993), tilfører friskt og oksygenholdig vann inn til Barsnesfjorden. Sognefjorden har et maksimalt vanddyb på 1.308m under havnivået som gjør den til Norges dypeste fjord. Ved Fimreite er det en terskel ved 25m vanddyb som skiller Sogne- og Sogndalsfjorden. Videre innover i Sogndalsfjorden er det en jevn dybde på rundt 40m dyp til man kommer til en ny terskel på 26m dyp lokalisert ved Fimreite (Figur 1). Videre innover øker dybden i Sogndalsfjorden til sitt dypeste punkt på 260m vanddyb. Ved Loftesnes er det enda en terskel. Denne terskelen har en dybde på ca. 8m og skiller Sogndalsfjorden fra den Ytre Barsnesfjorden. Barsnesfjorden har en total lengde, i luftlinje fra Loftesnesbrua, på omtrent 4,5km og en maksimal bredde på 1,4km (http 3)

Barsnesfjorden har en utstrekning fra Loftesnesbrua (Figur 3) i sørvest til Årøyelva i nordøst. Barsnesfjorden kan deles opp i Indre- og Ytre Barsnesfjord som er to separate basseng med en terskel på 29m vanddyb som skiller dem (Figur 1). Indre Barsnesfjord er 66m på sitt dypeste, og har et permanent anoksiske miljø under ca. 60m vanddyb (Paetzel & Schrader 1992; Paetzel & Dale 2010). Indre Barsnesfjord får tilførsel av ferskvann fra Årøyelven som kommer ut i fjorden i nordøstenden av Indre Barsnesfjord. Ytre Barsnesfjord er rundt 82m på sitt dypeste.

Oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet ved 70m vanddyb i Ytre Barsnesfjord er målt for det meste rett over den kritiske grensen på 2ml oksygen per liter vann (Rosenberg et al 2001). De dypere delene ned mot 82m vanddyb i Ytre Barsnesfjord går innimellom under den kritiske verdien på $2\text{mlO}_2/\text{l}$, og er derfor hypoksisk til anoksisk i kortere perioder (Paetzel & Dale 2010).



Figur 3: Lokaliteten av Indre og Ytre Barsnesfjord med 8m dyp terskler under Loftesnesbrua i sørvest og 29m dyp terskel ved Kvam i midten av bildet. Nordøst i bildet vises Lokaliseringen av kraftverket på Årøy (rød ring) med vannutløp til nedre delen av Årøyelva. Bildet er hentet fra www.norgebilder.no (http 1).

Begge bassengene befinner seg i en fase der tidsavstanden mellom vannutskiftingene har økt fra 2 til 3 år på 1950-tallet til 3 til 4 år over de siste ca. 20 årene, noe som medfører en økning av perioder med lavt oksygeninnhold eller anoksiske forhold i de to Barsnesfjordbassenegene i dette årtusen (Kaufmann 2014).

2.3 Barsnesfjordens hydrografi

Barsnesfjorden får tilførsel av ferskvann hovedsakelig fra Årøyelven og avrenning fra fjellsidene i området. Det ferskvannet som kommer fra Årøyelven blander seg med saltvannet i fjorden og danner et brakkvannslag i den øverste delen av vannsøylen.

Denne tilførselen av ferskvann fra elven fører til en lagdeling i vannmassene i Indre Barsnesfjorden fra april til september, som kan vedvare et stykke ut i vintersesongen om det er milde vintre (Paetzel & Dale 2010).

Årøyelven får sin vanntilførsel fra Hafslovatnet (169m over havet) som igjen blir fylt opp av vannmassene som strømmer inn fra Veitastrondvatnet (172m over havet) som har sin primære vanntilførsel fra Austerdalsbreen og Langedalsbreen, som er sidearmer av Jostedalsbreen (Figur 1 (b)). Denne tilførselen av ferskvann til fjorden gjør at de øverste 10 meterne av vannsøylen består av brakkvann om våren og utover sommeren. Veitastrondvatnet og Hafslovatnet fanger opp de grove sedimentene fra isbreen slik at det bare er finkornede sediment av siltstørrelse som når Barsnesfjorden fra breene (Paetzel & Schrader, 1992).

Forskjellen på høyvann og lavvann i Sogndal er i gjennomsnitt 1,6m (Paetzel & Dale 2010). Tersklene i Barsnesfjorden har en innvirkning på saliniteten i vannsøylen. Det er vanlig å dele vannsøylen i slike fjorder inn i tre separate lag basert på salinitetsnivået (Dale & Hovgaard 1993). Siden ferskvann har lavere tetthet enn saltvann, holder det seg på overflaten. Dette gjør at det øverste laget er et brakkvannslag. Dette laget har en salinitet på 0,5 til 30 promille. Under brakkvannslaget er det et intermediært lag (30 til 33 promille). Vann- med salinitetsverdier høyere en 33 promille kalles for vannsøylens bunnvannslag (Paetzel & Dale 2010).

Den grunne terskelen på 8m vanddyb ved inngangen til Barsnesfjorden gjør at det er lite bevegelse i den nedre delen av vannsøylen. For brakkvannslaget er det i hovedsak tidevann og vind som står for utskifting av vann i fjorden. Dette fører til at oksygenverdiene i Barsnesfjordene er nokså lave. Spesielt gjelder dette for Indre Barsnesfjorden, som er konstant anoksisk på dyp under 60m. Dette er fordi den 29m dype terskelen som skiller indre fra Ytre Barsnesfjord hindrer sirkulasjonen i bunnvannslaget ytterligere.

Sirkulasjonen og utskiftningen av overflatevannet og de intermediære vannmassene i Barsnesfjorden foregår hovedsakelig ved at det lettere brakkvannslaget føres ut av Barsnesfjorden, og at denne vannutførselen kompenseres med det tyngre havvannet som flyter inn fra kysten via Sogne- og Sogndalsfjorden (Kaufmann 2014). Denne utskiftningsprosessen av overflatevann og de intermediære vannmassene kalles for estuarin sirkulasjon (Pritchard 1952; 1955). Den samme prosessen kan også medføre utskifting av bunnvannet i fjordene (Gade & Edwards 1980; Syvitski et al. 1987). Vind og tidevann kan også påvirke utskiftningen av vannmassene, men dette gjelder bare de øverste vannmassene (Strøm 1936). År med manglende eller dårlig vannutskifting medfører reduserte oksygenforhold i de intermediære og dypere vannmassene i fjordbassengene. Utskiftningen av bunnvannet i Barsnesfjordene går i sykluser på 3 til 4 år (Paetzel & Dale 2010). For generelle hydrografiske prosesser i fjorder se også Freeland et al. (1980).

2.4 Vannkraftverket på Årøy

Årøy kraftverk ble etablert for første gang i 1943. Dette kraftverket hadde en slukeevne på $5\text{m}^3/\text{s}$ og en årlig produksjon på 5GWh. Kraftverket hadde ingen kjente innvirkninger på den naturlige syklusen i elveløpet. Førte år senere, i 1983, ble et nytt kraftverk satt i drift. Det nye kraftverket har to installasjoner med en slukeevne på 17 og $58\text{m}^3/\text{s}$. Det har en årsproduksjon på 330GWh (Figur 5). Det nye kraftverket har innvirkning på de sesongbaserte variasjonene i elven. Det slippes ut en mer konstant mengde vann i løpet av året, mest gjennom en vanntunell under kraftverket og i tillegg som overløpsvann gjennom det gamle elveløpet i perioder med høy vannføring i Hafslovatnet (Figur 4). Denne konstante mengden vann er regnet ut som gjennomsnittlig vannføring for årstiden. På årlig basis er utslipp av vannmengden tilnærmet uendret fra før og etter vannkraftutbyggingen (*Muntlig Beretning Trygve Fosse*).



Figur 4: Bildet til venstre, tatt fra et fotografi fra Årøy kraftverk, er fra før elven ble lagt i tunell. Bildet til høyre er tatt på samme sted i mai 2015.

Årøy vannkraftverk

EIER : A/S SOGNEKRAFT

| | |
|---|--|
| <p>MAGASINER :</p> <p>VEITASTRONDSVATNET</p> <p>Reguleringshøyde 2,5 m</p> <p>Magasinvolum 45 mill. m³</p> <p>Nedslagsfelt 385 km²</p> <p>HAFSLOVATNET</p> <p>Reguleringshøyde 1,3 m</p> <p>Magasinvolum 7,8 mill. m³</p> <p>Nedslagsfelt 56 km²</p> | <p>KRAFTSTASJONER :</p> <p>ÅRØY I</p> <p>Brutto fallhøyde 130 m</p> <p>Sluke-evne 5 m³/s</p> <p>Innstallasjon 4 MW</p> <p>Årsproduksjon 4 GWh</p> <p>ÅRØY II</p> <p>Brutto fallhøyde 146,7m</p> <p>Sluke-evne 17+58 m³/s</p> <p>Innstallasjon 20+70 MW</p> <p>Årsproduksjon 330 GWh</p> |
|---|--|

Figur 5: Tekniske data for kraftproduksjon i Årøy kraftverk (bilde tatt fra informasjonstavle på Årøy kraftverk).

Årøy vannkraftverk har to vannmagasin, Veitastrondvatnet og Hafslovatnet. Årøy kraftverk henter ut vannet fra omtrent 6m over bunnen av en kunstig kanal i Hafslovatnet (Figur 2; *Muntlig Beretning Trygve Fosse*).

Vannkraftverket filtrerer ikke vannet som går gjennom turbinene, men de har et filtreringssystem for kjølevannet. Til tross for manglende filtrering har det ikke oppstått problemer med sedimenter i systemet (*Muntlig Beretning Trygve Fosse*).

2.5 Vitenskapelige arbeider

«Heavy metal (Zn, Cu, Pb) accumulation in the Barsnesfjord: Western Norway» av Paetzel M & Shrader H. 1991

Denne studien har sett på tungmetaller i Barsnesfjorden. Den har tatt utgangspunkt i at industriell forurensing er et problem i mange norske fjorder og ville se om tungmetaller er et problem i den i utgangspunktet u-forurensede Barsnesfjorden. Dette er den første undersøkelsen i Norge som bruker ^{137}Cs fra ulykken på atomkraftverket Tsjernobyl i 1986 som dateringshorisont. Studien konkluderer med at tungmetallene i Barsnesfjorden ikke kommer fra industriell forurensing eller er skapt av andre menneskeskapt årsaker, men heller fra naturlige kilder som har sitt opphav i bergartene omkring fjorden.

«Recent environmental changes recorded in anoxic Barsnesfjord sediments: Western Norway» av Paetzel M & Schrader H 1992.

Undersøkelsene gjort i denne studien har, ved å analysere kjerner fra Barsnesfjorden, fastslått tetthet, vanninnhold og porøsitet i kjerneprøvene. Studien så også på innhold av organisk karbon i kjerneprøver. Studien konkluderer med at det oppstod en endring i det sedimentære miljøet etter oppdemmingen av Hafslovatnet, som følge av en sprengningsulykke, i 1904. Den antyder videre at det som har skjedd kan ses ved mindre endringer i oppstarten av Årøy kraftverket i 1983. Denne studien har i tillegg til ^{137}Cs brukt historiske skredhendelser og sesonglaminasjon i kjernene for å datere kjernene.

«Climate proxies for recent fjord sediments in the inner Sognefjord region, Western Norway» av Paetzel M & Dale T 2010.

Studien har som målsetning å finne ut av hvordan signaler av diatomeer og partikulært materiale i fjordsedimentene kan relateres til dokumenterte variasjoner i klimaet over de siste 20 årene. Studien kommer fram til konklusjonen at fjordsedimentene kan relateres til regionale klimaendringer over de siste 20 årene. Ved hjelp av fjordsedimentene kan man rekonstruere regionale klimatiske variasjoner, slik som NAO-vinterindeksen og solaktivitet.

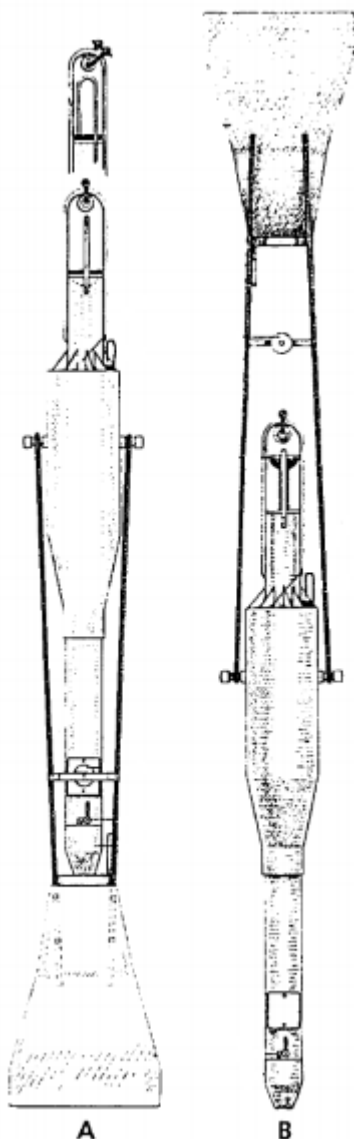
«En undersøkelse av resipientforholdene i Sogndalsfjorden, Barsnesfjorden og Kaupangerbukten i perioden 1991-1993» av Dale T & Hovgaard P 1993

Denne studien har tatt for seg miljøforholdene i Kaupangerbukten, Sogndalsfjorden og Barsnesfjorden. Det ble tatt målinger på oksygenforhold, temperaturer, saltholdighet, konsentrasjonen av næringssalter og organisk materiale, herunder bakterier, i disse fjordene. Studien konkluderer med at hverken Sogndalsfjorden eller Kaupangerbukten er forurenset. Barsnesfjorden kan derimot bli vurdert som moderat belastet.

3 Metodebeskrivelse

3.1 Prøvetaking

Båten «Knut» fra akvakulturstasjonen på Skjær i Sogndal ble brukt som farkost under hentingene av kjernene den 2. september 2014. Båten var utstyrt med ekkolodd og GPS som ble brukt til å finne de ønskede lokasjonene i fjorden.



Figur 6: Niemistö prøvetakeren. Bilde A viser prøvetakeren på vei opp med prøvetakeren lukket. Bilde B viser prøvetakeren på vei ned med lukkemekanismen i åpen posisjon.

På denne Tøkt «MF2014» fra Høgskulen i Sogn og Fjordane ble det tatt tre sedimentkjerner fra Indre Barsnesfjord og tre sedimentkjerner fra Ytre Barsnesfjord ved bruk av en Niemistö-prøvetaker (Niemistö 1974; Figur 6).

Prøvetakeren er ikke avhengig av en ekstern utløser. Den synker ned mot bunnen og sedimentene. Når den treffer bunnen utløses lukkemekanismen og forseglar prøven. På denne måten blir ikke overgangen mellom sedimentene og vannoverflaten forstyrret og det kan tas prøver med høy oppløsning.

Prøvetakingen ble gjennomført i samarbeid med studenter fra det internasjonale «From Mountain to Fjord»-programmet som skulle bruke kjernematerialet i en prosjektoppgave på Høgskulen i Sogn og Fjordane.

Prøvene ble alltid behandlet i oppreist posisjon for å unngå at strukturen i prøvene skulle bli ødelagt. Etter opptakingen ble kjernene tydelig merket og trygt forseglet. Deretter ble de transportert oppreist til laboratoriet og satt på et kjølerom ved +4°C inntil videre behandling dagen etter prøvetakingen.

3.2 Kjerneåpning og visuell analyse

Kjernene ble åpnet den 3. september 2014. Dette ble gjort ved at overflatevannet ble drenert ut av prøven og sedimentoverflaten ble sikret. Deretter ble kjerneprøvene lagt ned og åpnet. Dette ble gjort ved at PVC-rørene først ble kuttet ved hjelp av en Makita Model JS1660 elektrisk metallsaks. Etter dette ble selve prøven splittet med hjelp av en sterk nylontråd. Når kjernene var forsiktig åpnet ble kjernehalvdelenes lengde målt. Deretter ble det gjennomført en visuell analyse av prøvene.

Fargeendringer i sedimentprøvene ble beskrevet ved hjelp av fargekodene på et Munsell® Soil Color Chart (Munsell 1994). Strukturer i prøvene som laminasjon ble beskrevet og det ble laget en skisse av laminasjonene i prøven sammen med andre synlige strukturer. Skissen inneholder også plassering av synlige fragmenter som befant seg i prøven, inkludert minerogene korn, skjellfragmenter og fragmenter fra annet biologisk materiale av terrestrisk og marint opphav (grener, gress, mose, alger m.m.).

3.3 Glødetap (Loss-on-Ignition)

Glødetapanalyse er brukt for å fastslå prosent organisk karbon (C_{org}), som mål for mengde organisk materiale, og prosent kalsiumkarbonat ($CaCO_3$) i alle prøvene. Glødetap er en metode der først organisk materiale (ved 550°C) og deretter kalsiumkarbonat (ved 900°C) blir brent bort fra totalfraksjonen av sediment. Vektforskjell mellom den brente og den totale fraksjonen gir prosent av vekttap og dermed respektiv andel av organisk karbon og kalsiumkarbonat.

Dette ble gjort ved å måle vekten på prøvedigelene med fire desimaler nøyaktighet for å få en så nøyaktig vekt som mulig. Prøvetakingen startet øverst i kjernen (det yngste) og gikk suksessivt nedover. Etter digelene var veid ble 0,5cm tykke prøver tatt ut kontinuerlig nedover kjernen, fylt i hver sin digel og digelene ble deretter målt til ny vekt. Digelene stod deretter og tørket i et varmeskap som holdt 105°C i 16 timer for å sørge for at alt vannet hadde fordampet.

Etter 16 timer i varmeskapet ble det målt ny vekt på prøvene. Etter målingen ble digelene lagt i en eksikator, dette for å holde fuktighet unna under ventetiden før digelene gikk inn i ovnen for første brenning på 550°C i 8 timer. Etter 8 timers brenning ble digelene avkjølt i ovnen og deretter lagt til videre avkjøling i eksikatoren for å holde fuktighet unna. Når prøvene var kalde ble digelene veid igjen. På 550°C brennes alt av organisk materiale, og ut ifra den nye vekten etter brenningen kunne prosentandel organisk materiale i prøven beregnes.

Etter at digelene var veid, gikk de inn i ovnen for en brenning på 900°C i 8 timer. Etter brenningen kjølnet digelene ned i ovnen før de ble flyttet over til eksikatoren for å holde fuktighet unna mens den endelige avkjølingen pågikk. Etter avkjølingen ble vektforskjell på digelene mellom 550°C og 900°C veid, noe som tilsier hvor mye CaCO₃ som var i prøven. Ovnene hadde plass til 20 digler av gangen.

Prosessen ble gjennomgått fire ganger per kjerne. Alle prøvene tørket 16 timer inne i et varmeskap på 105°C. Alle prøvene var inne i ovnen på 550°C i 8 timer, og alle prøvene var inne i ovnen på 900°C i 8 timer.

Kalsiumkarbonat har en kjemisk sammensetning av karbon, oksygen og kalsium med formelen CaCO₃. Kalsiumkarbonat er en vanlig sammensetning å finne i bergarter. I marine sedimenter består derimot hovedkomponenten som oftest av skjellfragmenter og/eller skjeletter fra marine mikro-organismer (foraminiferer; coccolithophoridae).

En eksikator er en glassbolle med fuktighetsfjerner. Den blir også utsatt for vakuumbelasting når den lukkes for å sørge for at ny fuktighet ikke kommer til.

Organisk materiale er en betegnelse for materiale fra levende organismer eller materiale som inneholder karbonatomer.

Mulige feilkilder kan være at forskjellig målevekt ble brukt på prøve 1 til 20 på kjerne MF2014-3 i forhold til resten av prøvene. Det er lite sannsynlig, men en potensiell feilkilde er at prøven tok til seg vann mens den kjølte ned i eksikkatoren. Brenningen på 900°C på prøve 1 til 20 på kjerne MF2014-3 kom nærmere 1100°C på grunn av feilinformasjon angående temperaturinnstillingene.

3.4 Smørepreparater

Laging av smørepreparater er en enkel og billig metode for *in situ* beskrivelse av pelagiske og hemipelagiske marine sedimenter (Rothwell 1989). Metoden er lett å lære og det gikk etter hvert fort å lage alle smørepreparatene. Metoden har flere fordeler i tillegg til å være rask og billig: Det er bare nødvendig med en prøvemengde på 1 til 2mm³. Metoden er ikke destruktiv. Analysemulighetene er mangfoldige på *in situ* minerogene og organiske partikler inkludert diatomeer, og analysene er repeterbare.

Måten det ble gjort på var ved å bruke en spatel for å ta prøver for hver 0,5cm. Prøvene ble tatt i midten av kjernen kontinuerlig nedover fra topp mot bunn. Prøven ble overført på et objektglass og homogenisert med en dråpe destillert vann ved hjelp av en tannpirker. En tannpirkerspiss av prøven tilsvarende 1 til 2mm³ ble så smurt utover et dekkglass med to dråper destillert vann og én dråpe Kodak Photoflo-løsning, sistnevnte for å fjerne overflatespenningen av vannet ved utstryking av prøven.

Naphrax monteringslim (Brunel Microscopes Ltd) ble brukt for å lime dekkglasset på objektglasset. Naphrax blir benyttet på grunn av dens brytningsindeks på 1,74 som tillater identifikasjon av fine silicifiserte partikler i smørepreparat. Omtrent to dråper Naphrax ble brukt per smørepreparat. Limet ble påført i et avtrekkskap grunnet fordampning av løsningsmiddelet toluen som er kreftfremkallende. Toluen fordamper over 100°C og limet forseglet smørepreparatet under avkjøling.

3.4.1 Kornstørrelsesanalyse fra smørepreparat

Smørepreparatene ble undersøkt for fire kornstørrelser (Tabell 1) i henhold til Udden-Wentworth klassifisering av kornstørrelser (Wentworth 1922): sand (2mm til 63 μ m), grov og medium silt (63 til 15,6 μ m), fin og veldig fin silt (15,6 til 4 μ m) og leire (<4 μ m). Legg merke til at kornstørrelsene grov silt og medium silt er dratt sammen til én kornstørrelse (grov og medium silt), og at også kornstørrelsene fin silt og veldig fin silt er dratt sammen til én kornstørrelse (fin og veldig fin silt). En 2mm mikroskop-mikroskala ble brukt for kalibrering av mikroskopets tallskala i henhold til reell partikkelstørrelse der en enhet på tallskalaen tilsvarer 4 μ m i virkeligheten ved 40 ganger forstørrelse av objektivet. Tabell 1 viser de forskjellige kornstørrelsene sett på i mikroskopet og antall enheter på mikroskopets tallskala som tilsvarer disse kornstørrelsene.

| Kornstørrelse | Størrelse i mm | Størrelse i μ m | Tallskala i mikroskop (40x forstørrelse) |
|------------------------|----------------|---------------------|--|
| Sand | 0,063-2,0 | 63-2000 | \geq 16 enheter |
| Grov og medium silt | 0,0156-0,063 | 15,6-63 | 4-16 enheter |
| Fin og veldig fin silt | 0,004-0,0156 | 4-15,6 | 1-4 enheter |
| Leire | \leq 0,004 | \leq 4 | \leq 1 enheter |

Tabell 1: Kornstørrelser og tilsvarende enheter på tallskala i mikroskop ved 40 ganger forstørrelse etter Wentworth (1922). Legge merke til at kornstørrelsene grov silt og medium silt er dratt sammen til én kornstørrelse (grov og medium silt), og at også kornstørrelsene fin silt og veldig fin silt er dratt sammen til én kornstørrelse (fin og veldig fin silt).

Måten å se på forholdet mellom kornene på er ved å finne det største kornet i synsfeltet for så å se hvor mange ganger kornet kunne dekkes med like og andre størrelser. Forholdstallene ble notert for tre representative områder av smørepreparatet. Det ble brukt et gjennomsnitt av disse tallene for å lage grafene. Dette ble gjort på alle smørepreparater.

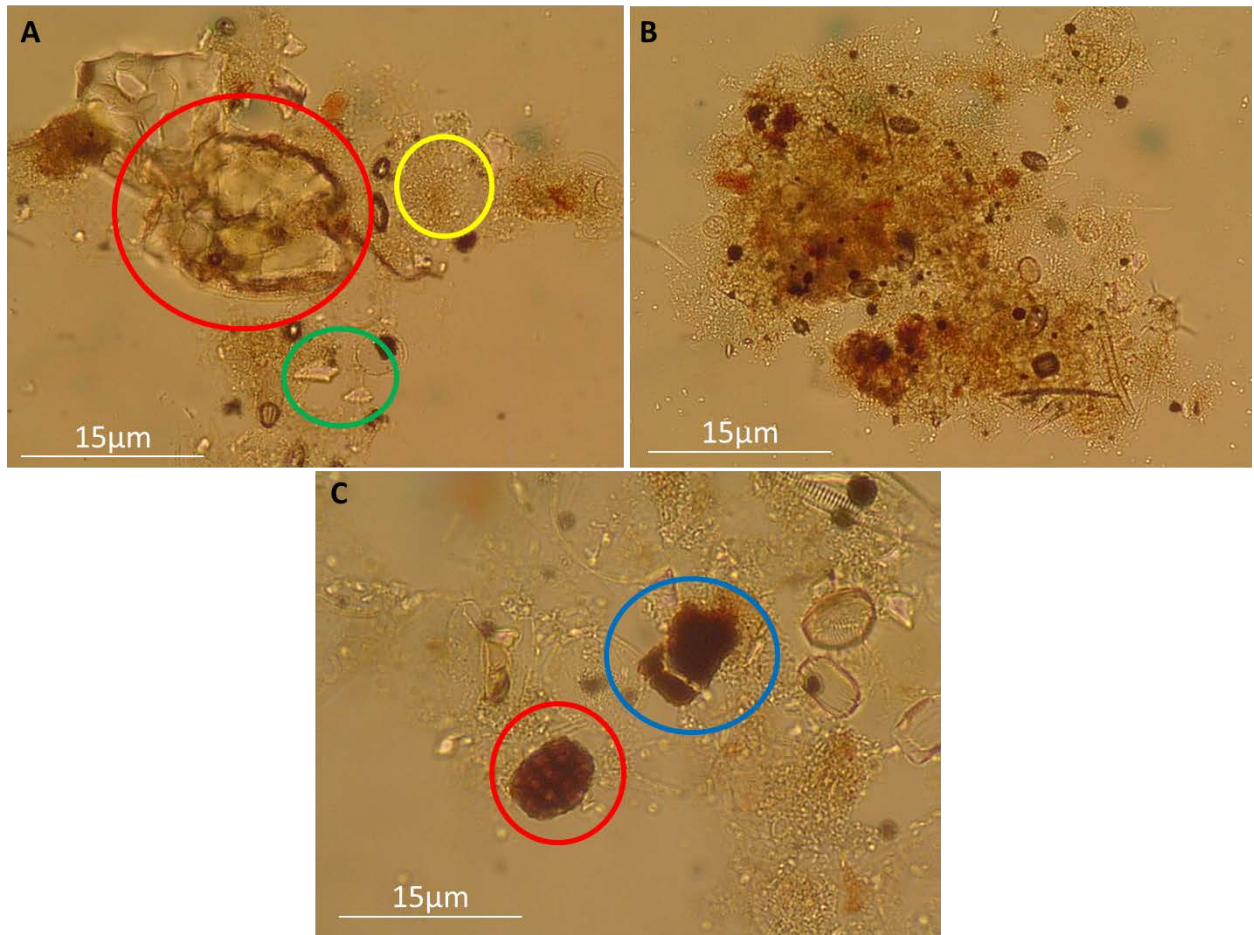
3.4.2 Analyse av organisk materiale fra smørepreparat

Den totale mengden organisk materiale ble funnet ved å se hvor mye av det organiske materialet som dekket det minerogene materialet. Dersom alt det minerogene er dekket av organisk materiale er forholdet 50 til 50, eller 50% organisk innhold. Bilde B og Bilde C på Figur 7 viser hvordan organisk materiale kan se ut. Mineralene i smørepreparatene er i størrelsene sand, silt og leire. Bilde A på Figur 7 viser hvordan mineralkorn kan se ut i mikroskop. Kornstørrelsene som ble brukt er vist i Tabell 1.

Det terrestrisk organisk materiale har klare former og kanter samt interne årer og fibrige strukturer. Fargen av terrestrisk organisk materiale er som oftest svart til mørkebrun (Figur 7 Bilde C). Terrestrisk organisk materiale er, sett ut i fra et geologisk perspektiv, alt organisk materiale som har sitt opphav fra land. Dette kan være rester av planter, pollen og annet.

Det marine organiske materiale ser mer ut som en diffus sky av organiske tråder. Fargen er brun til lysebrun (Figur 7 Bilde B). Dette kan være alt organisk materiale som har sitt opphav i havet. Dette er mest organisk materiale som er dannet ved primærproduksjon i fjorden. I denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til diatomene. Diatomene ifra de samme kjernene er beskrevet av Klakken (2015).

Man ser på forholdet mellom marint og terrestrisk organisk materiale ved å se hvor stor masse av den ene delen som kan dekke over den andre delen. Deretter må man anslå omtrentlig hvor stor prosentandel hver av delene har. Det vil si at om den ene delen dekker den andre, men ikke mer, så er forholdet 50 til 50 som vil si 50%.



Figur 7: Bilder som viser smørepreparat sett i et gjennomlysmikroskop ved 40 ganger forstørrelse. Bilde A viser kornstørrelser: rød ring = aggregat av medium silt, grønn ring = fin silt og gul ring = aggregat av leirpartikler. Bilde B viser aggregat av marint organisk materiale. Bilde C viser terrestrisk organisk materiale i både den røde og den blå ringen. Bildene er tatt fra smørepreparat av sediment i Indre Barsnesfjord i 2011 (av Matthias Paetzel).

3.5 Klima

Månedlige rådata av lufttemperatur (meteorologisk målestasjon Fjærland) og nedbør (meteorologisk målestasjon Hafslø) hentet fra www.eklima.no (http 2). Lokalisering av målestasjonene er vist i Figur 1b (F=Fjærland; H=Hafslø). Detaljer vises i resultatdelen nedenfor.

4 Resultater

Rådata for alle resultater finnes vedlagt på CD med navn «Appendiks».

4.1 Sedimentasjonsrater

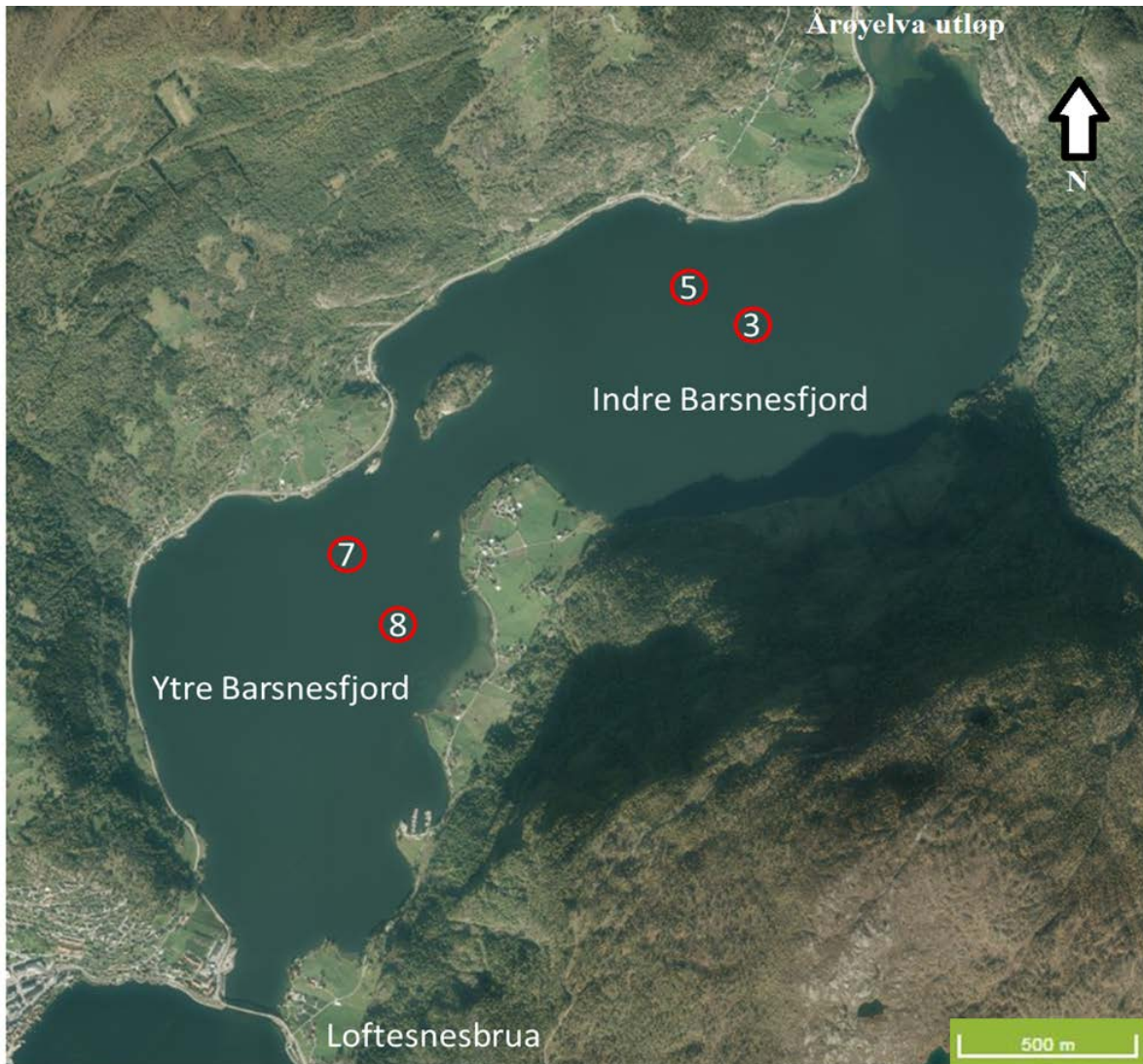
Her er det valgt å bruke en minste sedimentasjonsrate på 0,68cm/år og en maksimal sedimentasjonsrate på 0,84cm/år i Indre Barsnesfjord og en gjennomsnittlig sedimentasjonsrate på 0,75cm/år i Ytre Barsnesfjord. Dette er gjort på bakgrunn av Paetzel & Dale (2010) sitt arbeid der de kom fram til en sedimentasjonsrate på 0,68cm/år i perioden 1975 til 1986, på 0,84cm/år i perioden 1975 til 2007 og på 1,03cm/år i perioden 1904 til 1975. Den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten for Indre Barsnesfjord er beregnet av Paetzel & Dale (2010) til å være 0,85cm/år. Grunnen til at den foreliggende undersøkelsen bruker 0,84cm/år som maksimal sedimentasjonsrate istedenfor 0,85cm/år er fordi gjennomsnittet av Paetzel & Dale (2010) ble beregnet med den maksimale sedimentasjonsraten på 1,03cm/år inkludert. Sedimentasjonsraten på 1,03cm/år er det sett bort ifra i den foreliggende undersøkelsen da den går lengre tilbake i tid (det vil si til 1904) enn kjernelengden i denne nye undersøkelsen tilsier. I Ytre Barsnesfjord har Paetzel & Dale (2010) beregnet den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten til å være 0,75cm/år som brukes også i den foreliggende undersøkelsen.

For å finne året 1982 brukes maksimums- og minimumsverdier i sedimentasjonsrate. Med en minimumsverdi på 0,68cm/år og en maksimalverdi på 0,84cm/år vil det tilsvare en variasjon i dybden fra henholdsvis 21,76cm til 26,88cm nedover i alle kjerneprøvene. For Ytre Barsnesfjord er det ikke noe intervall, men dybden for 1982 er satt til 24cm på bakgrunn av sedimentasjonsraten til Paetzel & Dale (2010).

Kjerne MF2014-8 er av begrenset verdi og blir ikke tatt hensyn til under utredningen av resultatene. Dette er fordi den er utsatt for skredhendelser som forstyrrer MF2014-8. Dette gjør at MF2014-8 ikke kan sees på som representativ for Ytre Barsnesfjord. Forstyrrelsene kan sees i Figur 10 som viser et bilde av kjernen sammen med grafene fra glødetapanalysen. I Figur 10 er det rammet inn i kjernen stedene der skredhendelsene har inntruffet og vist dem i samhold med forstyrrelsene i Glødetapanalysen.

4.2 Prøvetaking og materiale

Fire sedimentkjerner ble brukt i det foreliggende arbeidet. Kjernene MF2014-3 og MF2014-5 fra Indre Barsnesfjord og kjernene MF2014-7 og MF2014-8 fra Ytre Barsnesfjord (Figur 8; Tabell 1).



Figur 8: Lokalitetene til kjernene; 3=MF2014-3, 5=MF2014-5, 7=MF2014-7 og 8=MF2014-8. Sørvest i bildet ligger Loftesnesbrua og i nordøst i bildet er utløpet til Årøyelva. Koordinatene til kjernene er vist i Tabell 2. Bildet er hentet fra www.norgebilder.no (http 3).

Analysering gikk ned til et kjernedyp på mellom 40 og 50 cm i alle kjerner basert på en anslått sedimentasjonsrate på 0,5cm/år. Denne sedimentasjonsraten skulle tilsvare en avsetningsalder på henholdsvis 80 og 100 år, noe som ville dekke de siste 50 til 60 år av sedimentasjonen som denne oppgaven skulle omhandle. Sedimentasjonsraten på 0,5cm/år viste seg på et senere tidspunkt til å være underestimert, se kapittel 4.1 Sedimentasjonsrater. Med de nye sedimentasjonsratene tilsvarer et kjernedyp på 40cm mellom 47 og 58 år av sedimentasjon i Indre Barsnesfjord, og ca. 53 år av sedimentasjon i Ytre Barsnesfjord.

Grunnet usikkerheter ved smørepreparatanalyse måtte kerne MF2014-5 fra Indre Barsnesfjord re-analyseres. Dette førte til at det bare finnes resultater fra de øverste og de nederste 10cm av kjernen. Kerne MF2014-5 blir derfor bare brukt for verifisering av trendene som vises i den andre kjernen fra Indre Barsnesfjord, MF2014-3.

| Kjerne# | Breddegrad | Lengdegrad | Vanndyp | Kjernelengde |
|---------------|---------------|--------------|---------|--------------|
| MF2014-3 (IB) | 61° 15,250' N | 7° 09,200' Ø | 62,0m | 54,0cm |
| MF2014-5 (IB) | 61° 15,361' N | 7° 09,038' Ø | 62,2m | 52,5cm |
| MF2014-7 (YB) | 61° 14,800' N | 7° 07,620' Ø | 79,3m | 44,5cm |
| MF2014-8 (YB) | 61° 14,660' N | 7° 07,750' Ø | 81,0m | 42,0cm |

Tabell 2: Lokalisering av prøvene på Tokt «MF2014»; N=Nord; Ø=Øst; IB=Indre Barsnesfjord; YB=Ytre Barsnesfjord. Koordinatene er hentet fra kartbladet: Den norske kyst: Indre Sognefjorden fra Norges sjøkartverk, sjømåling 1941 til 1960.

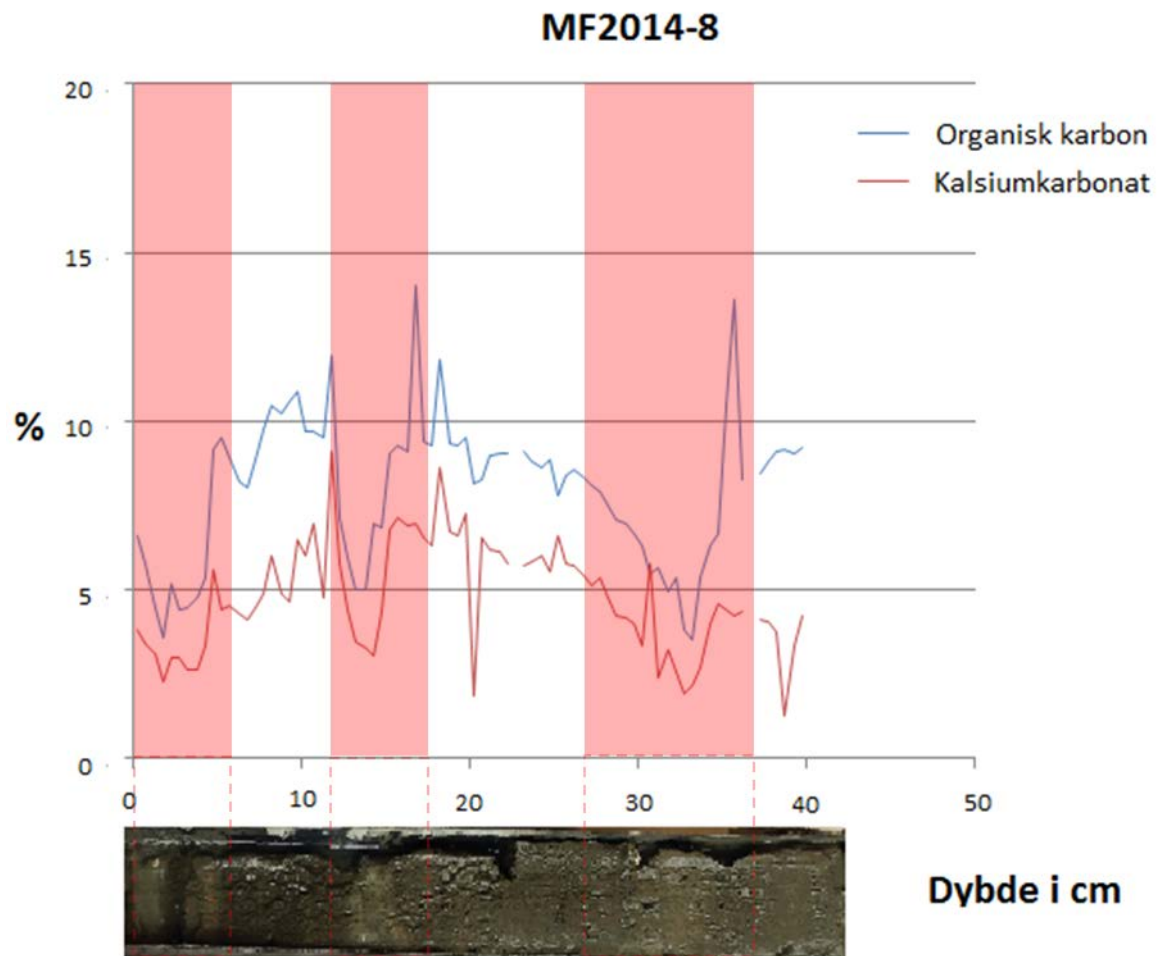
4.3 Kjerneåpning og visuell analyse

Figur 9 viser MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8 satt opp under hverandre. Det er lagt ved en målestokk som viser hver tiende cm.



Figur 9: MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8 sett i samme bilde. Målestokk øverst i bildet viser hver tiende cm. De lyse partiene i MF2014-8 er områder utsatt for skred og sees ikke i de andre kjernene. Figur 10 viser dette nærmere.

Kjerne MF2014-8 viser lyse områder fra 0 til ca. 6cm, fra ca. 12cm til ca. 18cm og fra ca. 27cm til ca. 37cm. Disse tyder på at den kontinuerlige hemipelagiske sedimentasjonen i kjernen er forstyrret av ras. Påvirkning av ras er også dokumentert i organisk karbon og kalsiumkarbonat fra glødetapsanalyse som vist i Figur 10 ved tydelig nedgang av disse parametre i rasområdene. Slik nedgang i organisk materiale er tidligere dokumentert av Paetzel & Schrader (1992).



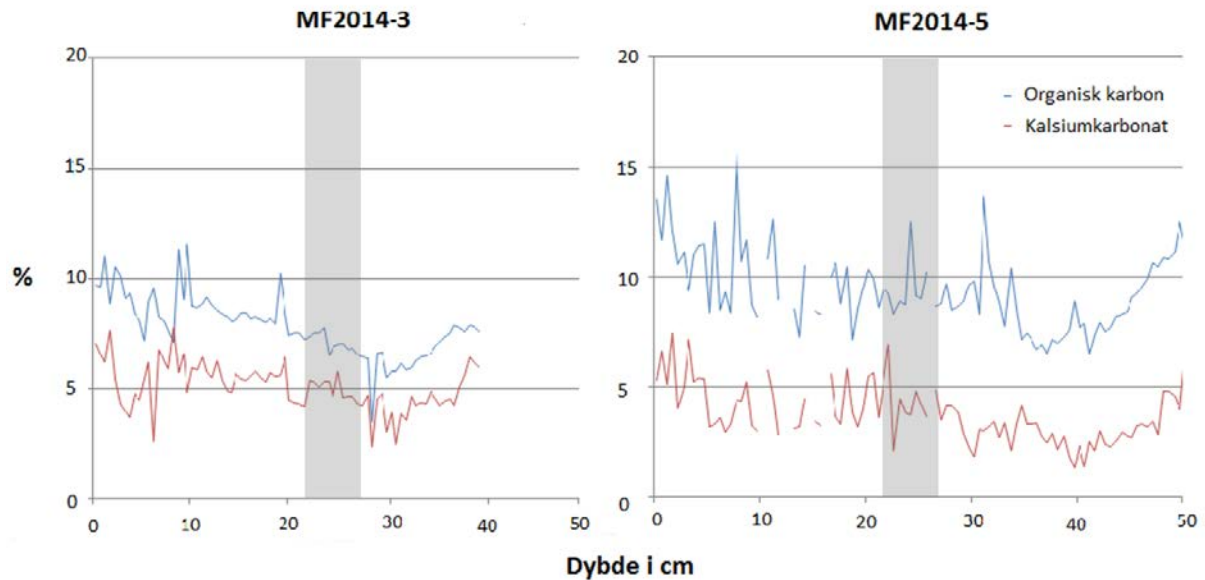
Figur 10: MF2014-8 sett sammen med glødetapsanalysen fra samme kjerne. Røde felt markerer rasområder i MF2014-8.

MF2014-8 er tatt med videre i beskrivelsen av resultatene, men den vil ikke bli brukt videre i tolkningen av resultatene grunnet denne påvirkningen av ras. Kjernene MF2014-3, MF2014-5 og MF2014-7 er ikke påvirket av rasmateriale.

Det er valgt å fremstille kjerne MF2014-8 sammen med glødetapsanalysen fordi utslagene er tydeligst i denne analysen (Figur 10).

4.4 Glødetap

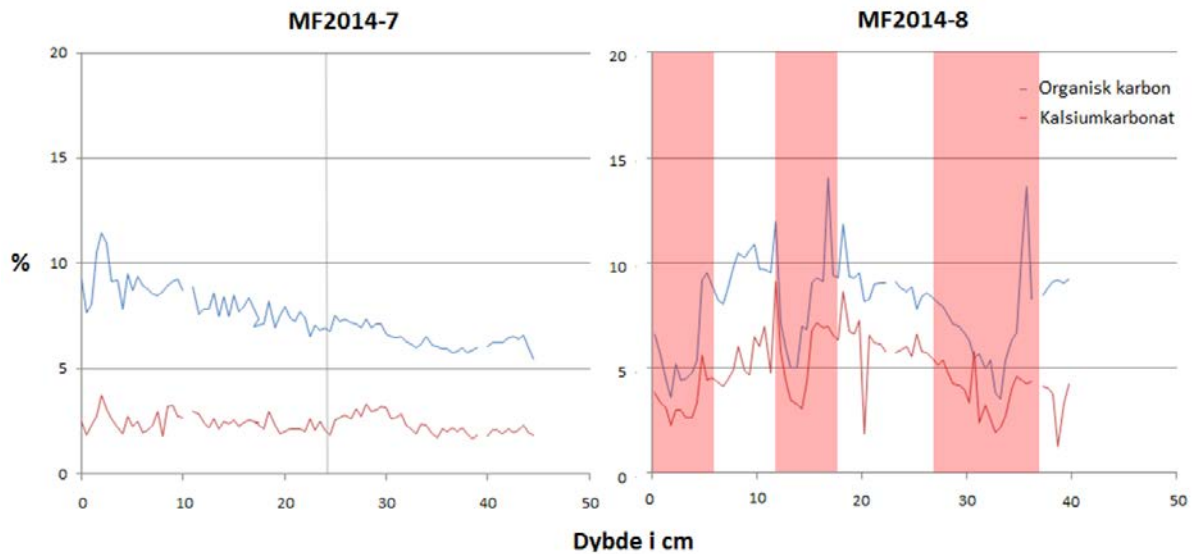
4.4.1 Indre Barsnesfjord



Figur 11: Organisk karbon og kalsiumkarbonat fra kjernene MF2014-3 og MF2014-5 fra Indre Barsnesfjord. Grå felt markerer området hvor 1982 befinner seg.

Kalsiumkarbonat og organisk karbon korrelerer i MF2014-3 og MF2014-5 (Figur 11). I kjerne MF2014-3 synker organisk karbon konsentrasjonen mellom 40 og 30 cm fra 8% til 6% og CaCO_3 konsentrasjonene fra 6% til 3%. Tilsvarende minking fra 12% til 7% i organisk karbon og fra 5% til 1,5% i CaCO_3 er observert i kjerne MF2014-5 mellom 50 og 40cm kjernedyp. Med en generell økning gjennom den resterende delen av kjernen. MF2014-3 begynner å øke ved ca. 30cm mens MF2014-5 begynner å øke ved ca. 40cm. Begge grafene viser en økning ved ca. 10cm. Forandringen er synlig noe tidligere i MF2014-5 enn den er i MF2014-3. Etter ca. 10cm begynner verdiene i MF2014-3 å svinge mer enn de har gjort gjennom resten av prøven.

4.4.2 Ytre Barsnesfjord



Figur 12: Organisk karbon og kalsiumkarbonat fra kjernene MF2014-7 og MF2014-8 fra Ytre Barsnesfjord. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. De tre røde feltene i MF2014-8 viser områdene i kjernen som er forstyrret.

MF2014-7 viser den samme tendensen for organisk karbon som de to kjernene fra Indre Barsnesfjord (Figur 11). I kerne MF2014-7 øker verdiene til organisk karbon jevnt gjennom hele kjernen. Verdiene til Kalsiumkarbonat i MF2014-7 holder seg jevnt på ca. 2,5% gjennom hele kjernen. Korrelasjonen mellom kalsiumkarbonat og organisk karbon er tydelig i den første delen av MF2014-7, frem til ca. 25cm. Etter ca. 25cm flater verdiene til kalsiumkarbonat ut mens verdiene av organisk karbon fortsetter å stige.

Når de mest forstyrrede partiene av MF2014-8 er tatt ut er det mulig å se noen av de samme tendensene som i de andre kjernene, først synkende verdier så stigende. Det er forøvrig for mye manglende data noe som gjør data fra MF2014-8 veldig usikker.

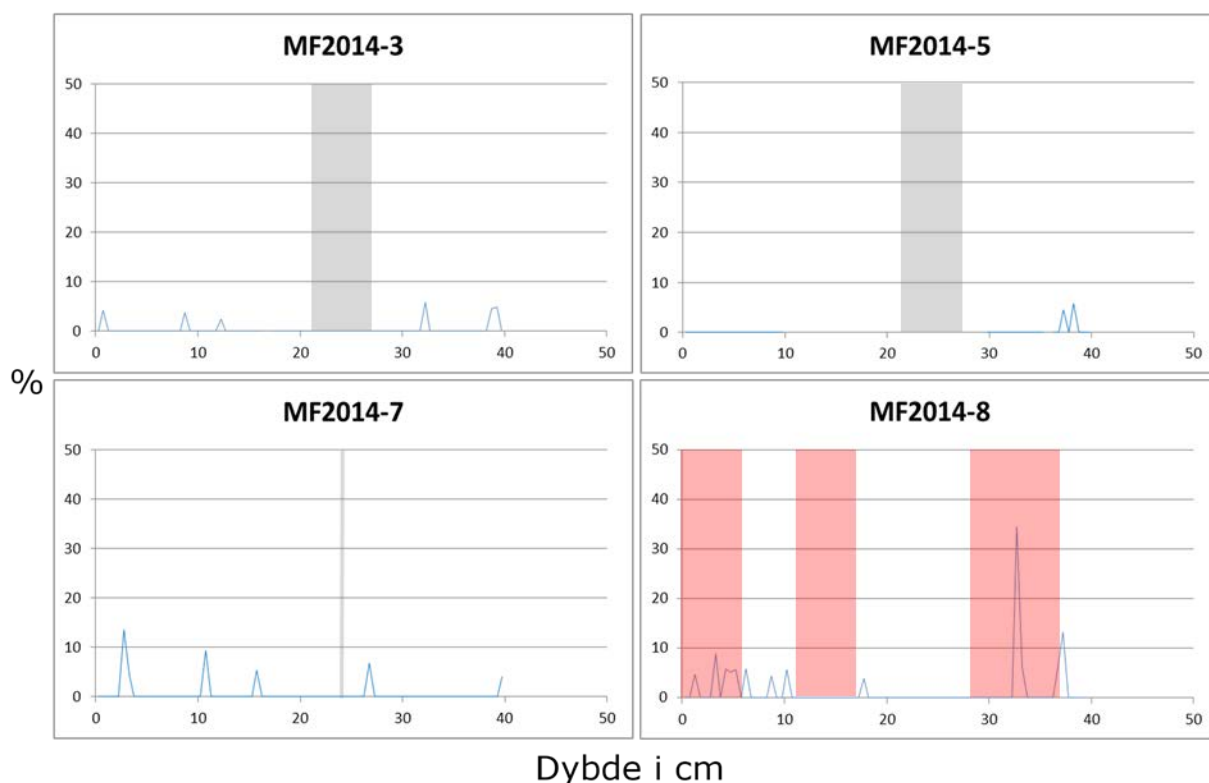
4.5 Smørepreparater

4.5.1 Kornstørrelser - Sand

Figur 13 viser fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser mengden sand, sett i forhold til andre kornstørrelser i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

Det er generelt sett ikke noe spesielt å kommentere ved grafene da mengden med sand er så liten at det ikke er mulig å se en endring fra før og etter 1982. Kjerne MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

Sand



Figur 13: Sand i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 50%.

4.5.2 Kornstørrelser - Grov og medium silt

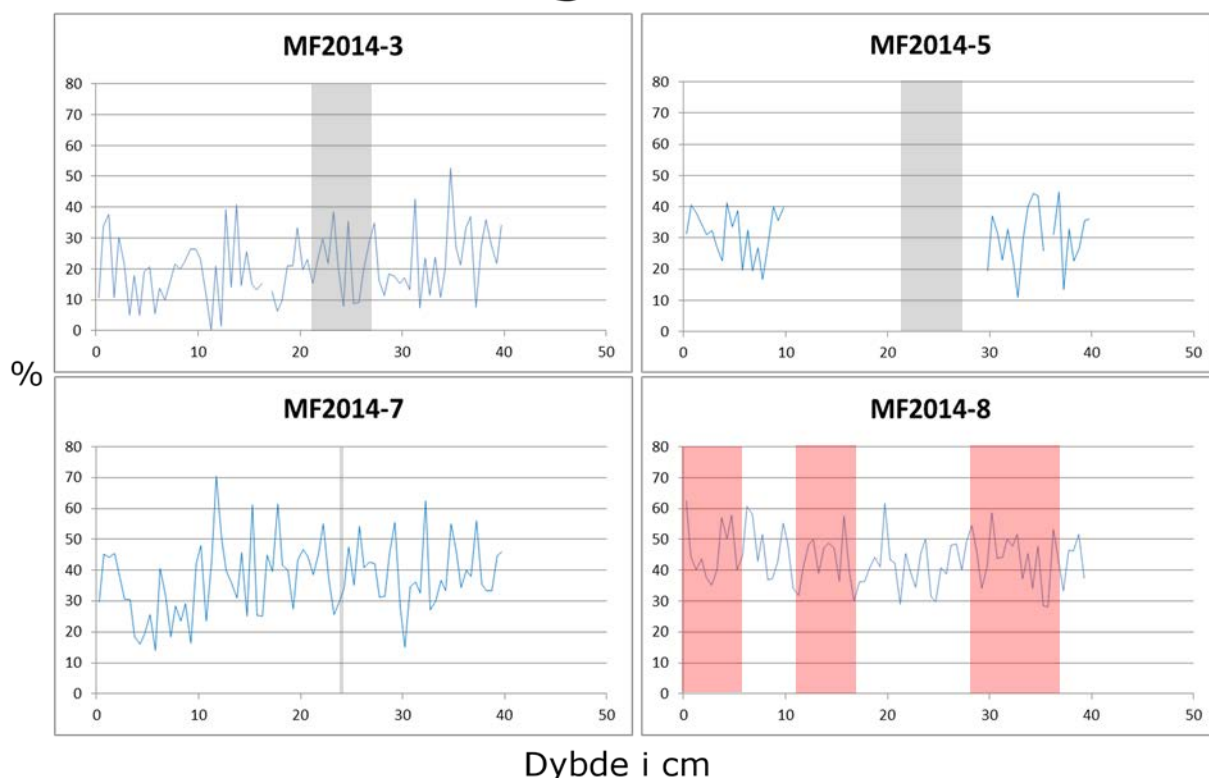
Figur 14 viser fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser mengden grov og medium silt, sett i forhold til andre kornstørrelser i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

I MF2014-3, fra Indre Barsnesfjord, er det perioder med lave amplituder og perioder med høye amplituder, både før og etter 1982. Periodene med lav amplitude er lokalisert fra 7cm til 10cm dybde, fra 15cm til 19cm dybde og fra 27cm til 32cm. Periodene med høye amplituder kommer imellom periodene med lav amplitude. Det er ingen brå endringer i grafen til kjerne MF2014-3, men de høyeste verdiene ligger etter 1982 og de laveste verdiene ligger før 1982. Kjerne MF2014-5, fra Indre Barsnesfjord, viser ingen endring i grov og medium silt sett i forhold til de andre kornstørrelsene. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7 holder seg på samme nivå fra omtrent 12cm og nedover i kjernen til 40cm. Fra 12cm er det en brå nedgang, oppover i kjernen, i grov og medium silt.

Kjerne MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.

Grov og medium silt



Figur 14: Grov og medium silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 80%.

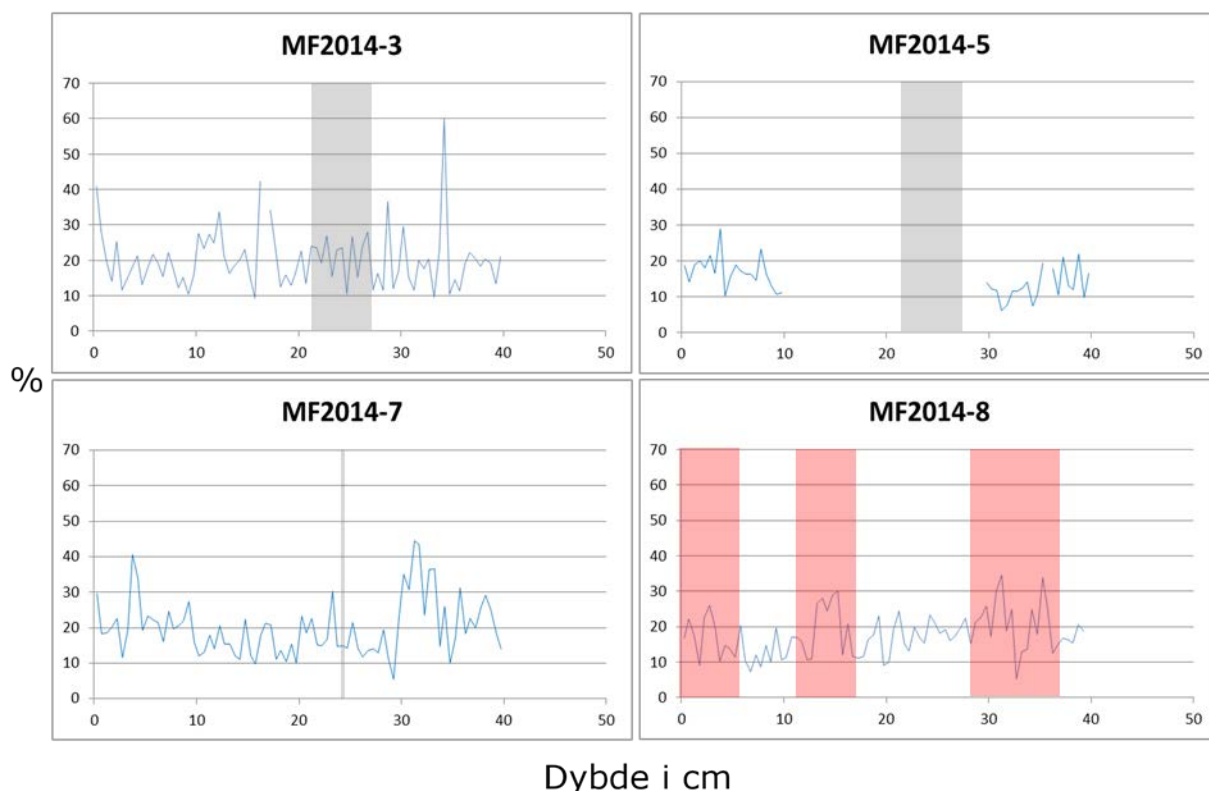
4.5.3 Fin og veldig fin silt

Figur 15 viser fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser mengden fin og veldig fin silt, sett i forhold til andre kornstørrelser i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

I MF2014-3, fra Indre Barsnesfjord, ligger fin og veldig fin silt på rundt 20% av den totale mengden korn. Dette gjelder gjennom hele kjernen og det er ingen brå eller gradvise endringer i grafen tilhørende kjerne MF2014-3. Kjerne MF2014-5, fra Indre Barsnesfjord, viser heller ingen endring i fin og veldig fin silt sett i forhold til de andre kornstørrelsene. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7 har veldig høye verdier, fra 30cm og ut kjernen, før 1982. Etter 1982 er det en gradvis økning av fin og veldig fin silt oppover i kjernen. Økningen begynner slakt og øker i et hopp på ca. 10cm. Kjerne MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.

Fin og veldig fin silt



Figur 15: Fin og veldig fin silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 70%.

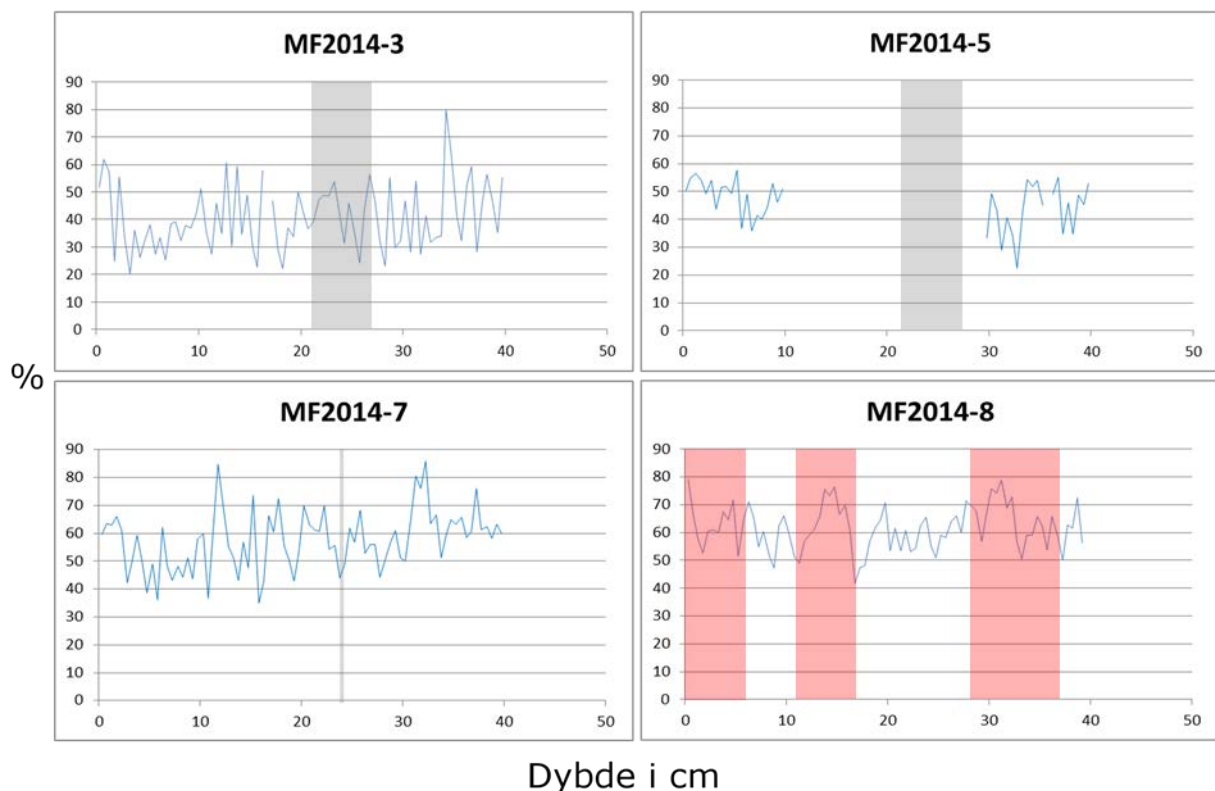
4.5.4 Total silt

I Figur 16 er det vist fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser den totale mengden silt, sett i forhold til sand og leire i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

Kjerne MF2014-3, fra Indre Barsnesfjord, ligger stabilt rundt 40cm med en anomali før 1982 på 34cm nedover i kjernen. Det er en periode fra rundt 4cm til 10 cm der amplitudene er mindre enn i den resterende delen av kjernen. MF2014-5, fra Indre Barsnesfjord, er stabil rundt 45%, men har totalt sett de laveste verdiene før 1982 og de høyeste verdiene av silt etter 1982. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7, fra Ytre Barsnesfjord, har en anomali på 12cm dybde. Dersom denne anomalien fjernes er det en tydelig nedgang i den totale mengden silt etter 1982. Før 1982 er grafen stabil på ca. 65%. Kjerne MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.

Total silt



Figur 16: Total mengde silt i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 90%.

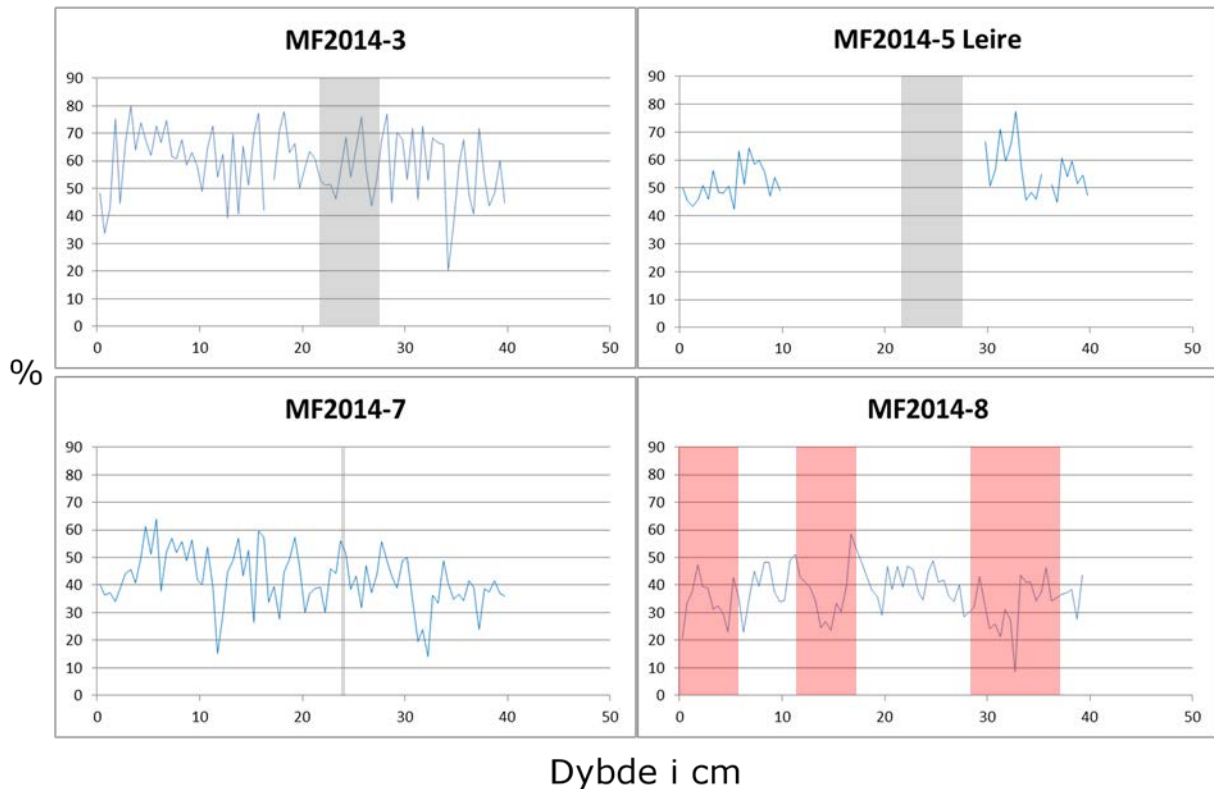
4.5.5 Leire

I Figur 17 er det vist fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser den totale mengden silt, sett i forhold til sand og leire i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

I MF2014-3, fra Indre Barsnesfjord, er uten gradvise eller brå endringer. Kjernen er gjennomgående stabil på ca. 60%, med unntak av en anomali på ca. 34cm dyp. Mellom 3cm og 10cm er det en periode grafen stiger, men har lave amplituder. MF2014-5 er stabil på ca. 55%. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7, fra Ytre Barsnesfjord, har ingen brå endringer, men de høyeste verdiene ligger etter 1982 og de laveste verdiene ligger før 1982. Det er en anomali ved 12cm dyp. Dersom denne anomalien fjernes vil det vises en økning i mengden leire, sett i forhold til de andre kornstørrelsene, i MF2014-7 fra Ytre Barsnesfjord. MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.

Leire



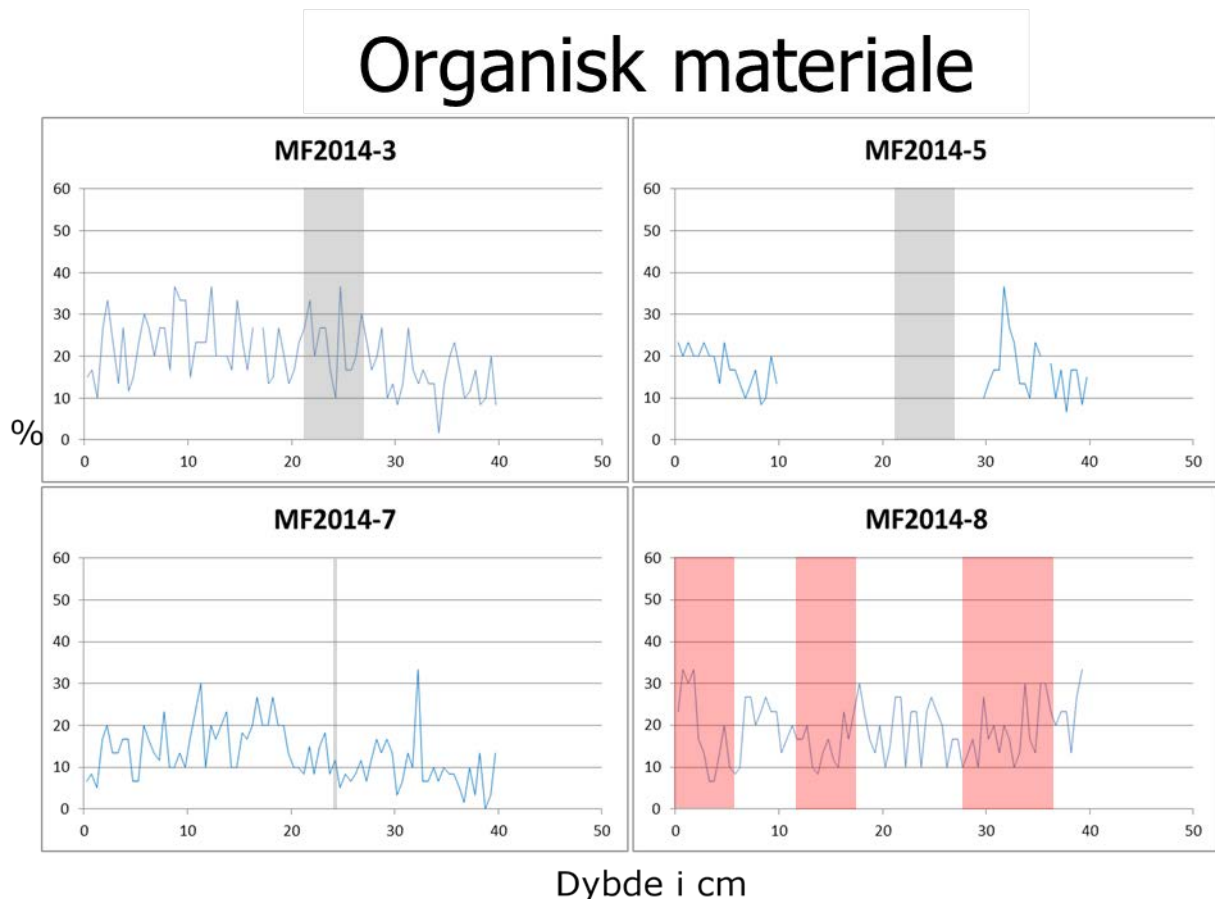
Figur 17: Leire i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 90%.

4.5.6 Organisk materiale

I Figur 18 er det vist fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser den totale mengden organisk materiale sett i forhold til det minerogene innholdet i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

I MF2014-3 er det en økning i kjernen fra 40cm og oppover til ca. 10cm. På ca. 10cm er det en knekk i grafen der mengden organisk materiale minker, i forhold til det minerogene innholdet, mot toppen av kjernen. Kjernerne MF2014-5 er gjennomgående stabil rundt 15%. I kjerne MF2014-5 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7, fra Ytre Barsnesfjord, har en anomali ved ca. 32cm dybde. Ser man bort i fra denne anomalien viser grafen lignende tendens som MF2014-3 ved at den stiger jevnt fra bunnen mot toppen. Forskjellen er at i MF2014-7 kommer nedgangen i organisk materiale, sett i forhold til det minerogene innholdet, ved 13cm dyp. MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.



Figur 18: Organisk materiale, sett i forhold til mineralinnholdet i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 60%.

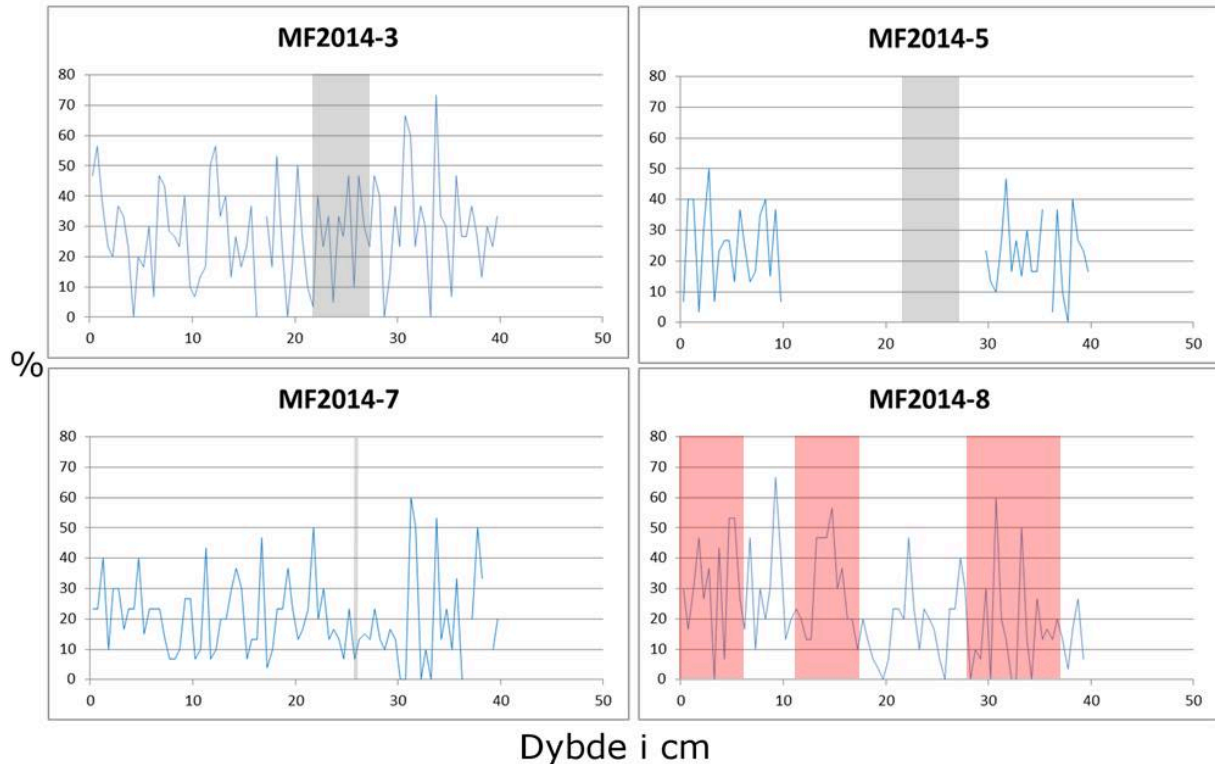
4.5.7 Terrestrisk organisk

I Figur 19 er det vist fire grafer, en for hver kjerne. Disse fire grafene viser den totale mengden terrestrisk organisk materiale sett i forhold til innholdet av marin organisk materiale i kjernene. De to øverste grafene, MF2014-3 og MF2014-5 viser data fra Indre Barsnesfjord, mens de to nederste grafene, MF2014-7 og MF2014-8, viser data fra Ytre Barsnesfjord. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress.

I MF2014-3 er det ingen tydelige brå eller gradvise endringer. Før 1982 er det mindre avstand mellom de største amplitudene i forhold til perioden etter 1982 der det er lengre avstand mellom de største amplitudene. MF2014-5 er uten signifikante endringer og ligger stabilt rundt 20% med normale svingninger. I MF2014-7 er det bare tatt med de ti øverste og ti nederste cm av kjernen på grunn av tidspress.

MF2014-7, fra Ytre Barsnesfjord, har lavere amplituder etter 1982, sammenlignet med før 1982. Det er også lengre avstand mellom toppene etter 1982 enn før 1982. MF2014-8 er av begrenset verdi på grunn av forstyrrelser i kjernen.

Terrestrisk organisk materiale



Figur 19: Terrestrisk organisk materiale sett i forhold til marint organisk materiale i kjernene MF2014-3, MF2014-5, MF2014-7 og MF2014-8. Kjernene fra Indre Barsnesfjord er øverst i figuren, kjernene fra Ytre Barsnesfjord er nederst i figuren. Y-aksen er i prosent mens X-aksen er dybde nedover i kjernen gitt i cm. I MF2014-3 og MF2014-5 representerer den grå boksen et område hvor 1982 befinner seg. Grå linje i MF2014-7 viser området hvor 1982 er, ut i fra den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten i Ytre Barsnesfjord. Røde felt i MF2014-8 viser forstyrrede områder i kjernen. MF2014-5 har kun de 10 øverste og 10 nederste cm på grunn av tidspress. Legg merke til at y-aksen slutter på 80%.

4.6 Klima

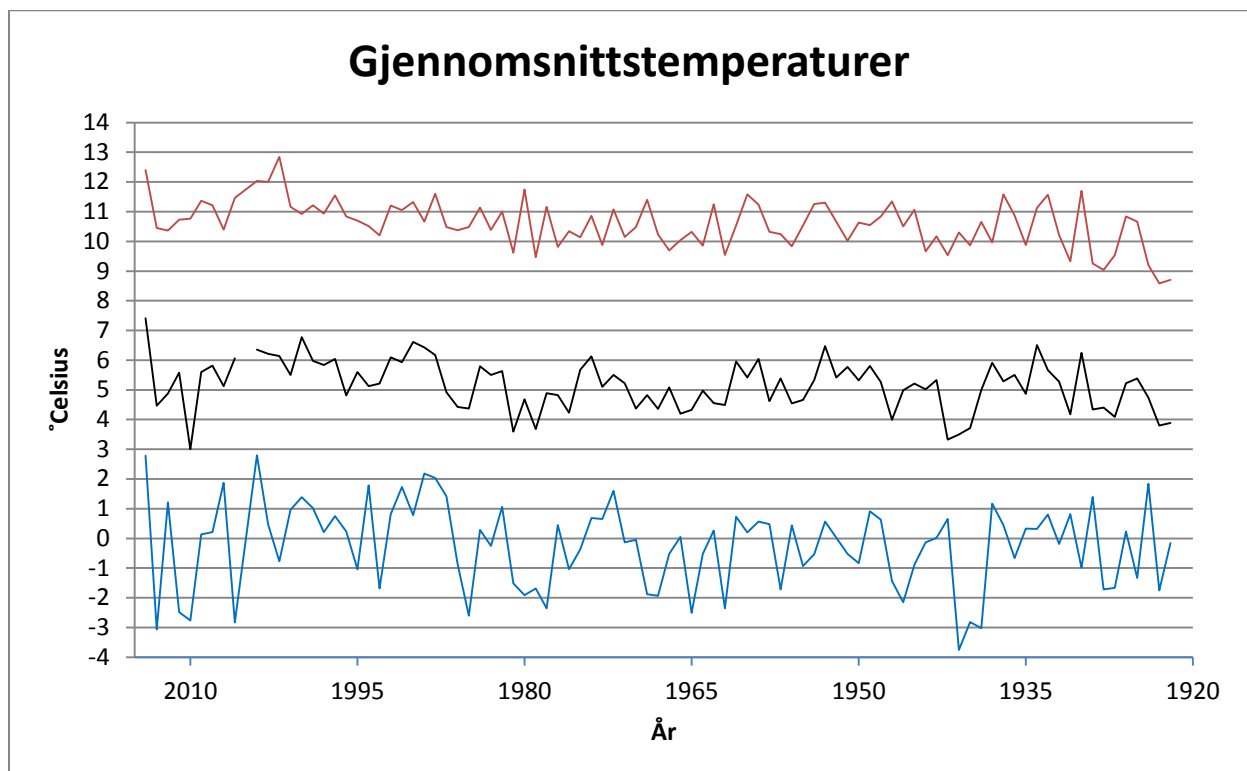
Temperaturer fra 1921 til 1951 er målt på «Fjærland» som ligger 5 m over havet.

Temperaturer fra 1952 til 2004 er målt på «Fjærland Skarestad» som ligger 10 m over havet.

Temperaturer fra 2006 til 2014 er målt på «Fjærland Bremuseum» som ligger 3 m over havet.

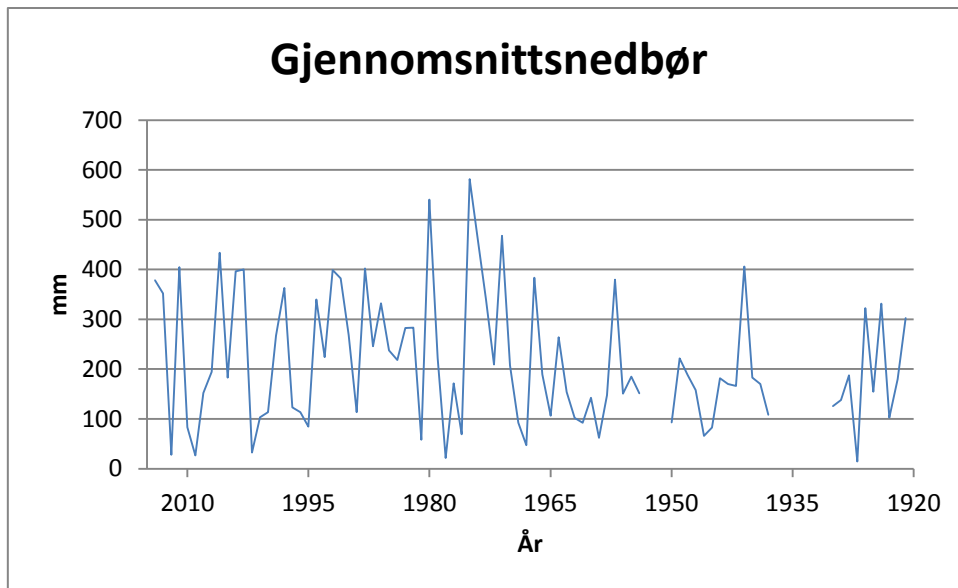
Avstanden fra «Fjærland Bremuseum» til «Fjærland Skarestad» er ca. 1,4 km luftlinje.

Målestasjon «Fjærland» ligger midt mellom de sistnevnte.

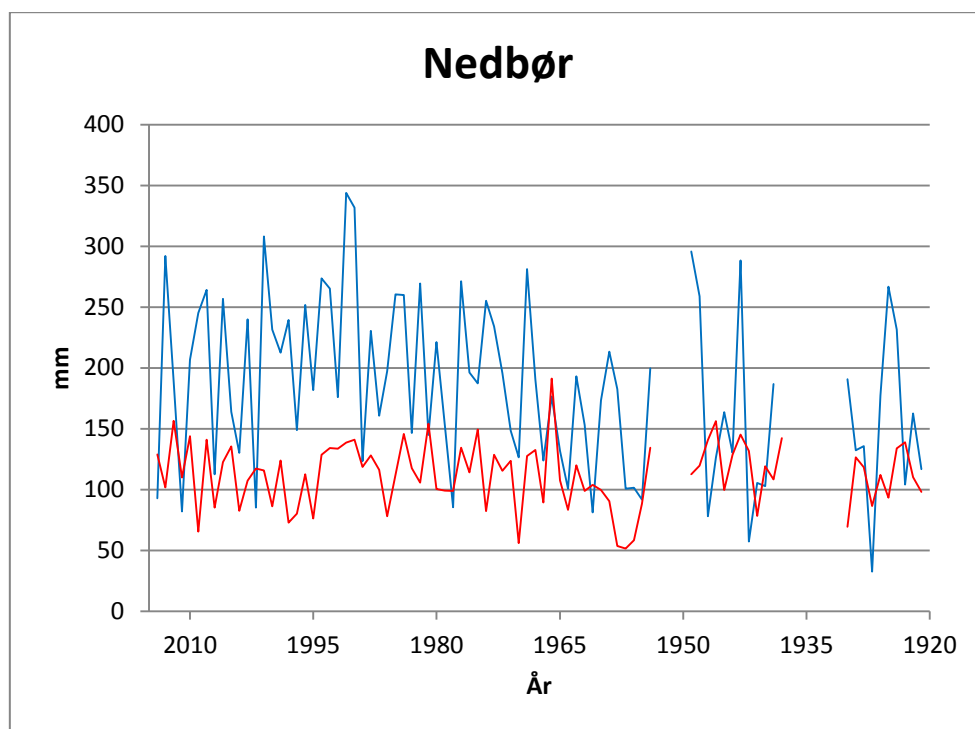


Figur 20: En kombinasjon av temperaturmålingene fra perioden 1921 til 2014 fra målestasjonene i Fjærland. Sommertemperaturene er målt fra april til september. Vintertemperaturene er målt fra oktober til mars. Den årlige gjennomsnittstemperaturen er vist i svart. Den årlige sommertemperaturen er vist i rødt. Den årlige vintertemperaturen er vist i blått.

Figur 20 viser at den årlige sommertemperaturen og vintertemperaturen blir gradvis høyere gjennom forrige århundre. Samtidig viser den årlige vintertemperaturen større variasjon mellom høye og lave ekstremverdier gjennom de siste 10 årene enn den gjorde tidligere.



Figur 21: Grafen viser den årlige gjennomsnittsnedbøren. Målingene er tatt fra målestasjon ved Hafslø som ligger ca. 246m over havet. Data er hentet fra www.eklima.no (http 2). Dataene er fra 1921 til 2014.



Figur 22: Grafen viser den årlige sommer- og vinternedbøren. Vinternedbøren er vist i blått. Sommernedbøren er vist i rødt. Målingene er tatt fra målestasjon ved Hafslø. Data er hentet fra www.eklima.no (http 2) Dataene er fra 1921 til 2014

Figur 21 viser en gradvis høyere nedbørsmengde gjennom det forrige århundre. Samtidig viser Figur 21 en større variasjon mellom høye og lave ekstremverdier gjennom de siste 15 årene enn den gjorde tidligere. Figur 22 viser en økende vintertemperatur med større variasjon mellom høye og lave ekstremverdier. Sommernedbøren holder seg stabil.

5 Diskusjon

5.1 Målsetning 1

Er det mulig å ta sedimentprøver fra Indre og Ytre Barsnesfjorden med høy oppløsning som dekker avsetningshistorien mellom perioden før 1980-tallet og perioden etter 1980-tallet fram til i dag?

Ved å bruke Niemistö prøvetakeren (Niemistö 1974) bevares overgangen mellom sediment og vann slik at selve sedimentoverflaten kan tjene som dateringshorisont, her 2014. Paetzel og Dale (2010) beregnet maksimums- og minimumssedimentasjonsrate i Indre Barsnesfjorden og en gjennomsnittlig sedimentasjonsrate i Ytre Barsnesfjorden. Det ble tatt utgangspunkt i disse sedimentasjonsratene for å finne ut på hvilket kjernedyp 1980-tallet, representert ved året 1982, er lokalisert.

Fordi Indre Barsnesfjorden er anoksisk (Kaufmann 2014) er det ikke bioturbasjon som kan ødelegge strukturen i kjernene (Paetzel & Schrader 1991). I Ytre Barsnesfjord er det til tider anoksiske forhold (Kaufmann 2014) som gjør at det til tider ikke er bioturbasjon (Paetzel & Schrader 1991). Dette gjør at forstyrrelsene langs bunnen er minimale og det kan derfor tas sedimentprøver med høy oppløsning som dekker avsetningshistorien i perioden før 1980-tallet og perioden etter 1980-tallet.

5.1.1 Svar på målsetning 1

Det er mulig å ta sedimentprøver fra Indre og Ytre Barsnesfjorden med høy oppløsning som dekker avsetningshistorien mellom perioden før 1980-tallet og perioden etter 1980-tallet fram til i dag. De hydrografiske, dvs. anoksiske bunnforholdene i Barsnesfjorden, kombinert med liten bioturbasjon, kontinuerlig avsetning i bassengene og at kildene ligger i nærheten, legger til rette for at sedimentene blir uforstyrret. I tillegg fører bruken av Niemistö-prøvetakeren til at sedimentprøvenes overflate forblir uforstyrret under prøvetakingen. Dette resulterer i en detaljert avsetningshistorie.

5.2 Målsetning 2

Viser sedimentene forskjell i sammensetningen av minerogent og organisk materiale fra perioden før 1980-tallet sammenlignet med perioden etter 1980-tallet fram til i dag?

Tabell 3 oppsummerer endringene fra før og etter 1980-tallet i sedimentkjerner fra Indre og Ytre Barsnesfjord.

| Parameter | MF2014-3 Indre Barsnesfjord | | | MF2014-7 Ytre Barsnesfjord | | |
|--|--------------------------------|---------------|------------------|-------------------------------|---------------|------------------|
| | Før 1982 | Etter 1982 | Forskjell i % | Før 1982 | Etter 1982 | Forskjell i % |
| <u>Kornstørrelser fra smørepreparat</u> | | | | | | |
| Sand | 0,61 | 0,19 | -214,92 | 0,34 | 0,68 | 103,24 |
| Grov og medium silt | 22,99 | 19,46 | -18,11 | 39,32 | 36,11 | -8,17 |
| Fin og veldig fin silt | 21,31 | 20,38 | -4,56 | 21,86 | 18,78 | -14,08 |
| Total mengde silt | 44,29 | 39,84 | -11,18 | 61,18 | 54,89 | -10,28 |
| Leire | 55,90 | 59,96 | 6,78 | 38,48 | 44,43 | 15,44 |
| <u>Organisk og minerogent materiale fra smørepreparat</u> | | | | | | |
| Totalt minerogent materiale | 85,27 | 77,38 | -10,20 | 90,59 | 84,80 | -6,40 |
| Totalt organisk materiale | 14,73 | 22,62 | 34,88 | 9,41 | 15,20 | 61,60 |
| Terrestrisk organisk materiale | 31,33 | 26,91 | -16,42 | 21,39 | 21,34 | -0,23 |
| Marint organisk | 68,67 | 72,96 | 5,89 | 78,61 | 78,54 | -0,09 |
| <u>Glødetap</u> | | | | | | |
| Organisk karbon | 6,61 | 8,36 | 20,88 | 6,44 | 8,27 | 28,56 |
| Kalsiumkarbonat | 4,43 | 5,39 | 17,69 | 2,34 | 2,45 | 5,11 |
| <u>Temperatur</u> | | | | | | |
| Sommertemperatur | 10,44 | 11,06 | 5,87 | Som Indre Barsnesfjord | | |
| Vintertemperatur | -0,59 | 0,19 | 132,36 | | | |
| Årstemperatur | 4,86 | 5,59 | 15,02 | | | |
| <u>Nedbør</u> | | | | | | |
| Sommernedbør | 113,75 | 114,06 | 0,27 | | | |
| Vinternedbør | 178,00 | 211,29 | 18,70 | | | |
| Årsnedbør | 226,23 | 241,25 | 6,64 | | | |

Tabell 3: Oversikt over den prosentvise forskjellen for parameterne før og etter 1982. Grønne felt markerer en positiv prosentvis endring. Røde felt viser en negativ prosentvis endring. Gule felt viser tilnærmet ingen endring. Blå skrift indikerer prosentvis overestimering av tallverdi på grunn av lite tilgjengelig materiale.

Tabell 3 viser at det minerogene materialet minker i begge bassengene, mest i Indre Barsnesfjord med 10,2% mot 6,4% i Ytre Barsnesfjord. I Ytre og Indre Barsnesfjord synker silt med ca. 10%. Samtidig øker mengden leire i begge bassengene, med 15,44% i Ytre Barsnesfjord og 6,78% i Indre Barsnesfjord. Årsaker til nedgangen av total mengde minerogent materialet kan være en generell nedgang i tilførselen av det minerogene materiale til Barsnesfjorden. Det kan også være forårsaket av en øking i organisk materiale, som har økt med 34,88% i Indre Barsnesfjord og 61,60% i Ytre Barsnesfjord.

Glødetapsanalysen (Tabell 3) viser en øking i organisk karbon på 20,88% i Indre Barsnesfjord og 28,56% i Ytre Barsnesfjord. Økningen i organisk materiale er synlig i datasett fra smørepreparatene og i datasett fra glødetapsanalysen. Ut i fra dette er det mulig å konkludere med at datasettene viser til den faktiske situasjonen i Barsnesfjorden. Kalsiumkarbonat stiger i begge bassengene med 17,69% i Ytre Barsnesfjord og 5,11% i Indre Barsnesfjord, den forholdsvis lave økningen i kalsiumkarbonat i Ytre Barsnesfjord kommer til å bli sett nærmere på senere i oppgaven.

Innvirkningene fra klima i og rundt Barsnesfjorden påvirker begge bassengene likt. Den gjennomsnittlige årstemperaturen har steget med 15,02% og den gjennomsnittlige årsnedbøren har steget med 6,64%. Forandringen for de reelle verdiene viser at temperaturøkningen finner sted på sommeren og økningen i nedbør kommer på vinteren.

Nesje et al. (2001) viser til at klimafaktorene som spiller inn på en isbres akkumulasjon og ablasjon av masse er vinternedbør og sommertemperatur (Nesje et al. 2008; Nesje & Dahl 2004). En økning i vinternedbør fører til en større akkumulasjon som øker breens massebalanse, mens en økning i sommertemperatur vil føre til mer avsmeltning som vil ha en negativ effekt på breens massebalanse. I perioden etter 1982 er det en økning i både vinternedbør og sommertemperaturer. Dette legger til rette for både akkumulasjon og ablasjon av isbreen. Tendensen for norsk breer har siden 1980-tallet vært at de minker. På 1990-tallet førte en øking i vinternedbør til at flere norske breer økte i størrelse i en kort periode. Norske breer har trukket seg tilbake i høy fart siden 2000-tallet (Nesje et al. 2001). Dette har ført til økt avrenning fra breene, som fører til at mer silt blir transporter mot Veitastronsvatnet, Hafsløvatnet og Barsnesfjorden.

Når det nye kraftverket på Årøy ble bygget ble det gitt tillatelse til å justere vandstanden i innsjøene, Veitastrondvatnet og Hafslovatnet, med henholdsvis 2,5m og 1,3m om nødvendig kraftproduksjon skulle tilsi dette (Figur 5; *Muntlig Beretning* Trygve Fosse). Vannstanden i Hafslovatnet ble senket med ca. 1m og vannstanden i Veitastrondvatnet ble senket med ca. 2m da kraftverket ble åpnet, slik at innsjøene nå ligger tilnærmet på lik høyde over havet. Endringen i høydeforskjellen mellom de to innsjøene har ført til at vannet nå har en lavere fallhøyde som gjør at strømstyrken av det gjennomstrømmende vannet mellom innsjøene har blitt svekket.

Mengden av silt i Barsnesfjorden er avtakende etter 1982 (Tabell 3), noe som virker motsigende da mengden silt burde øke på grunn av den økte avrenningen fra breen etter 1982. Nedgangen i silt i Barsnesfjorden kan forklares med at silten har blitt avsatt i innsjøene på vei fra breen til fjorden. Den svekkede vannstrømningen gjennom Veitastrondvatnet og Hafslovatnet vil ikke klare å transportere større partikler, som silt, i like stor grad som før 1982. Silten vil da bli avsatt i Veitastrondsvatnet og Hafslovatnet, noe som vil forklare hvorfor mengden silt minker i Barsnesfjorden.

Det er tydelig at mengden organisk materiale i sedimentene øker i perioden etter 1982, som vist i Tabell 3. Økningen er større i Ytre Barsnesfjord enn i Indre Barsnesfjord. Mulige årsaker til denne økningen kan være en økning i tilførselen av næring til fjorden. Perioden etter 1982 har en økt årlig nedbørsmengde, som fører til økt avrenning. Dette vil føre til at næringsmengden i fjorden øker. Økt tilgang til næring gir en oppblomstring av marine organismer. Økt avrenning burde også føre til en øking i transport av terrestrisk organisk materiale, men dataen i Tabell 3 viser til en nedgang i mengden terrestrisk organisk materiale i Indre og Ytre Barsnesfjord. Dette er en motsigelse, men det kan forklares med at terrestrisk organisk materiale blir avsatt i Veitastrondsvatnet og Hafslovatnet grunnet den beskrevne reduksjonen i strømhastighet etter 1982. En annen forklaring er at det terrestrisk organiske materialet ses prosentvis i forhold til det marine organiske materiale. Dermed er det mulig at forholdstallet av det terrestriske organiske materiale blir mindet i forhold til det marine organiske materialet uten av den absolutte mengden nødvendigvis må ha mindet.

Samtidig økning i organisk karbon og kalsiumkarbonat knyttes opp mot økt næringstilførsel i kystnære marine områder og områder med oppvelling av vannmasser (Berger et al. 1989; Stein 1990). Dette tillater konklusjonen at næringstilførselen også kontrollerer den samtidige avsetningen av organisk karbon og kalsiumkarbonat i de kystnære marine fjordmiljøene. Tilførselen av næringssalter til fjorden kan skje både terrestrisk, det vil si fra land, og marint, det vil si gjennom estuarin sirkulasjon fra de intermediære vannmassene ved kysten (Syvitski et al. 1987). Barsnesfjordene ligger i tilførselsområdet fra Årøyelven som etter 1982 føres gjennom vanntunnelen ved Årøy kraftverk; næringstilførsel gjennom dette elvesystemet regnes som meget sannsynlig (Paetzel & Schrader 1992).

Ved tolkning av organisk materiale og kalsiumkarbonat i marine (her fjord-) sedimenter burde det tas hensyn til mulig oppløsning og nedbryting av den organiske fraksjonen ved tidlig diagenese (Berner 1980). Oppløsning av kalsiumkarbonat i sediment forekommer i verdenshavene under sure bunnforhold nedenfor CCD (Calcium carbonate Compensation Depth); for detaljer se Berger et al. (1989) og referanser gitt i boken. Kalsiumkarbonat og organisk karbon akkumulerer likt i sediment dersom ingen oppløsning av organisk karbon eller kalsiumkarbonat forekommer i vannsøylen eller i sediment (Stein 1990). Grunnet den parallelle utformingen av kurvene betyr dette at avsetningen av organisk karbon og kalsiumkarbonat i Barsnesfjordene høyst sannsynlig viser signaler fra hemipelagisk sedimentasjon og mindre fra oppløsning av kalsiumkarbonat i det anoksiske (og dermed sure) miljøet. Denne tendensen er mer utpreget i sedimentene fra Indre enn fra Ytre Barsnesfjord. Den forventede korrelasjonen mellom kalsiumkarbonat og organisk karbon i MF2014-7 er ikke tilstede etter det beregnede punktet for opprettelsen av kraftverket på Årøy (Figur 12). Etter dette punktet lokalisert ved 24cm fra kjernetoppen, flater verdiene til kalsiumkarbonat ut mens verdiene av organisk karbon fortsetter å stige; de har sluttet å følge hverandre. Dette kommer tydelig frem i Tabell 3. Organisk karbon og kalsiumkarbonat i Ytre Barsnesfjord kan ha skiftet over til å være påvirket av oppløsning av kalsiumkarbonat etter at kraftverket på Årøy ble etablert.

Dette viser at miljøet i Ytre Barsnesfjord kan ha skiftet mot et surere og mer anoksisk miljø etter 1982. Et mer anoksisk forhold i Ytre Barsnesfjord kan forklare at mengden organisk karbon stiger mer i Ytre Barsnesfjord enn i Indre Barsnesfjord, da et mer anoksisk forhold vil føre til redusert nedbrytning av det organiske materiale (Stein 1990). Det kan også være tilfelle at den store mengden organisk materiale i Ytre Barsnesfjord er et resultat av økt tilførsel fra Sogndalsfjorden. Tabell 3 viser ingen endring i forholdet mellom marint og terrestrisk organisk materiale i Ytre Barsnesfjord.

Det er uklart hvorfor kalsiumkarbonat ser ut til å være upåvirket i den anoksiske, og dermed sure Indre Barsnesfjorden. En mulig årsak kan være at mengde pelagiske kalsiumkarbonatorganismer har økt samtidig i Indre Barsnesfjord slik at økt andel kalsiumkarbonat overskygger nedbrytningssignalet.

Endringen til mer anoksiske forhold og et økt surhetsnivå i Ytre Barsnesfjord kan ha sin årsak i at den hovedsakelige innstrømmingen av ferskvann til Barsnesfjorden fra Hafslovatnet går i en tunell, via vannkraftverket. Dette gjør at Årøyelva er tørrlagt mesteparten av året (Figur 4). Pritchard (1952) og Gade & Edwards (1980) beskriver betydningen av ferskvannstilførselen og tilstedeværelsen av terskler som bidrag til den estuarine sirkulasjonen i fjorder. Her kan det tenkes følgende scenario: Vannmassene som tilføres fjorden er jevnere fordelt over hele året etter utbyggingen av vannkraftverket i 1982, med jevn vannutslipp om sommeren og økt utslipp om vinteren der etterspørselen etter vannkraft er størst. Dette kan medføre en økt periode av stratifisering av vannmassene i Barsnesfjorden som i kombinasjon med den grunne terskelen ved Loftenesbrua (Figur 3) vil kunne blokkere og dermed redusere vannutvekslingen. Forlenget periode mellom vannutveksling i Barsnesfjordene de siste tiårene er dokumentert av Kaufmann (2014).

5.2.1 Svar målsetning 2

Sedimentene viser forskjeller i sammensetningen av minerogent og organisk materiale fra perioden før 1980-tallet sammenlignet med perioden etter 1980-tallet. Dette kommer tydelig frem ved reduksjonen i silt i Indre og Ytre Barsnesfjord og økningen i organisk materiale i Indre og Ytre Barsnesfjord. Grunngivningen oppsummeres under Målsetning 3.

5.3 Målsetning 3

Kan det lages en enkel modell som knytter mulige forskjeller i minerogent materiale og organisk materiale i sedimentsammensetningen til miljø- og klimaendringer fra periodene før og etter 1982, dvs. etter utbyggingen av Årøy kraftverket?

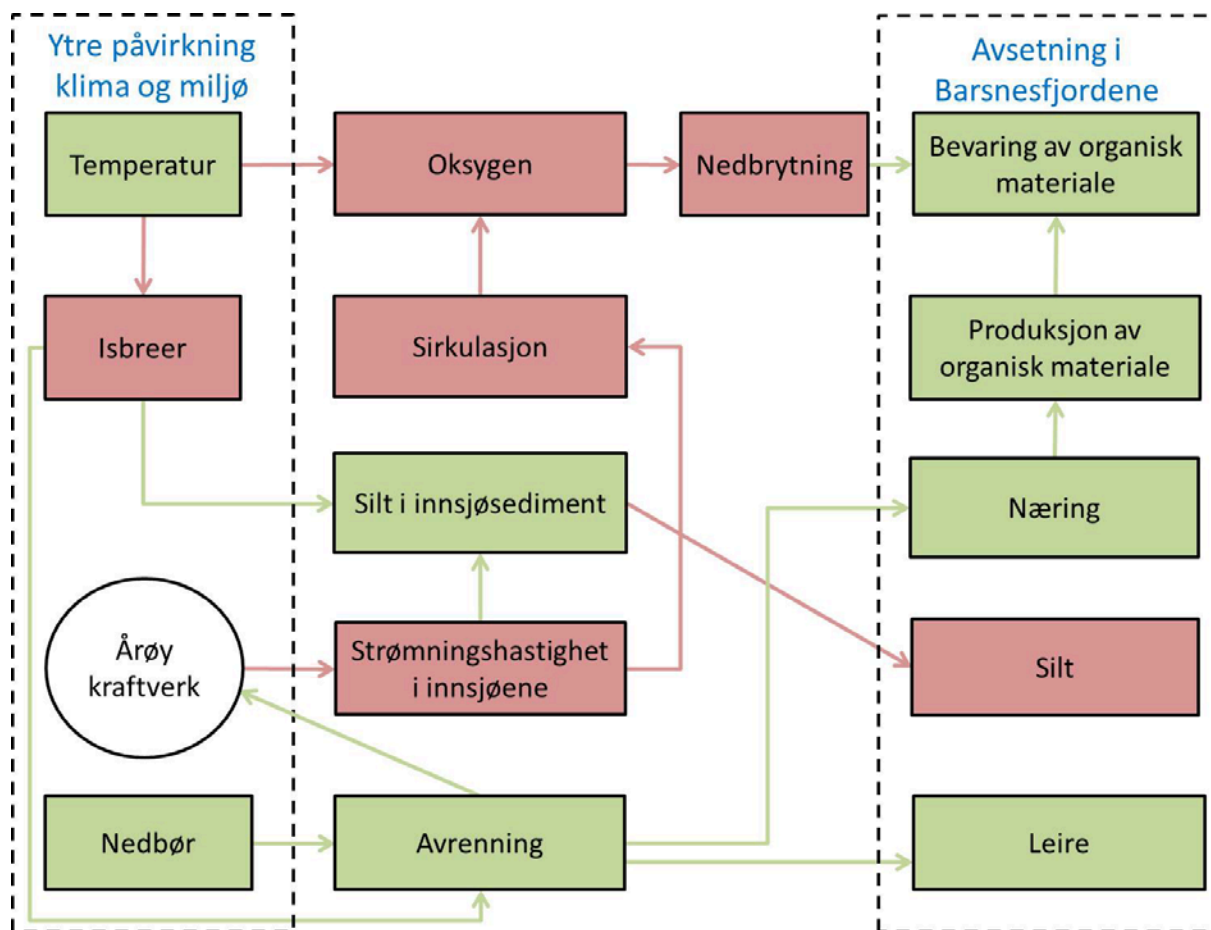
Ut i fra Tabell 3 er det laget en enkel grafikk som beskriver forholdene i Barsnesfjordbassengene før og etter 1982. Denne modellen har tatt utgangspunkt i endringene i den minerogene og den organiske fraksjonen som beskrevet under Målsetning 2.

Modellen i Figur 24, har fargekoder som forklares i Figur 23. Modellen i Figur 24 forklarer hvilke faktorer og hvordan disse faktorene kan påvirke det minerogene og organiske materiale i sedimentsammensetningen i Barsnesfjordene.

Fargekoder:

| | |
|------------------|---|
| Positive verdier | |
| Negative verdier | |
| A → B | B |
| A minker B | |
| A → B | B |
| A øker B | |
| Ingen endring | |

Figur 23: Legende med fargekoder og tegnforklaring til Figur 24



Figur 24: Grafisk modell over sammenheng mellom endringer i sediment med miljø- og klimaendringer i og rundt Bårnesfjordene. Legende med fargekoder og tegnforklaringer til modellen er vist i Figur 23.

5.3.1 Forklaring av grafisk modell i Figur 24

Bane 1 – Ytre påvirkning: Temperatur

- (a) Oksygen: Den økte temperaturen har en negativ effekt på oksygenivået ved at økt temperatur senker oksygenivået i fjorden (Syvitski et al. 1987). Lavere oksygenivå i fjorden har en negativ effekt på nedbrytningen av organisk materiale, noe som fører til en bedre bevaring av organisk materiale på fjordbunnen.
- (b) Isbreer: Den økte temperaturen har en negativ effekt på breene ved en økning i avsmelting av breene. Samtidig burde mer silt transporteres til Barsnesfjorden. Denne transporten forhindres gjennom den kunstig reduserte strømningshastigheten i innsjøene; se Bane 2, strekpunkt (a). På denne måten blir den økte mengden silt fanget og avsatt i Veitastrondvatnet og i Hafslovatnet, noe som fører til økt avsmelting som øker mengden silt i innsjøsedimentene. Som igjen fører til en nedgang i mengden silt i Barsnesfjorden.
- (c) Isbreer: Den økte temperaturen har en negativ effekt på breene ved en økning i avsmelting av breene. Økt avsmelting øker avrenning som fører til økt erosjon og dermed økende andel av leire som transporteres til og avsettes i fjorden.
- (d) Isbreer: Den økte temperaturen har en negativ effekt på breene ved en økning i avsmelting av breene. Økt avsmelting øker avrenning. En økning i avrenningen tilfører næring til Barsnesfjorden. Mer næring gir grunnlag for økt produksjon av organisk materiale. Mer organisk materiale bruker mer oksygen som leder mot en økt bevaring av organisk materiale i avsetningen i Barsnesfjorden.

Bane 2 – Ytre påvirkning: Årøy kraftverk

- (a) Strømningshastighet: Utbyggingen av Årøy kraftverk har ført til en nedgang i strømningshastigheten som gir økt avsetning av silt i innsjøsedimentene. Dette fører til en nedgang av silt i avsetningene i Barsnesfjordene.
- (b) Strømningshastighet: Utbyggingen av Årøy kraftverk har ført til en nedgang i strømningshastigheten som svekker sirkulasjonen i Barsnesfjorden. Svekket sirkulasjon leder mot en nedgang i oksygen. Følger Bane 1a.

Bane 3 – Ytre påvirkning: Nedbør

- (a) Avrenning: En økning i nedbørsmengden fører til økt avrenning som leder mot mer leire i avsetningene i Barsnesfjorden.
- (b) Avrenning: En økning i nedbørsmengden fører til økt avrenning som øker strømningshastigheten. Følger Bane 2b.
- (c) Avrenning: En økning i avrenning kan ha sin årsak i økt avsmelting fra breen. Følger Bane 1d.

Økningen av temperatur fører til økt smelting av isbreer. Sammen med økt nedbør gjør dette at avrenningen øker og fører med seg næring, silt og leire ned til Barsnesfjorden. Økt næring er med på å øke primærproduksjonen i Veitastrondvatnet, Hafslovatnet og Barsnesfjorden. En økning i avrenning fører til en høyere strømningshastighet.

Reguleringen i Veitastrondvatnet og Hafslovatnet fører til en lavere strømningshastighet, og mengden silt minker i Barsnesfjorden. Den lave strømningshastigheten fører til dårligere sirkulasjon. Dårlig sirkulasjon minker oksygenivået.

5.3.2 Svar målsetning 3

Det er mulig å lage en enkel grafisk modell som knytter mulige forskjeller i minerogent og organisk materiale i sedimentsammensetningen til miljø- og klimaendringer fra periodene før og etter 1980-tallet. Figur 24 viser med enkle bokser hvordan miljø- og klimaendringer påvirker det minerogene og organiske materiale i sedimentsammensetningen.

6 Konklusjon

Endringene i sedimentene over de siste 50 årene er et resultat av endringene i miljø og klima i og rundt Barsnesfjorden.

Økt organisk avsetning i sedimentene i Barsnesfjorden tolkes som signal fra klimaendringer ved økt temperatur og økt nedbør i perioden fra før 1980-tallet til perioden fra etter 1980-tallet.

Mindre avsetning av silt i sedimentene i Barsnesfjorden tolkes som signal fra miljøendringen som oppsto med opprettelsen av Årøy Vannkraftverk, som har ført til senkning av strømningshastigheten og dermed avsetning av mer silt i innsjøene etter 1982.

Referanseliste

Benn DI & Evans DJA 2010: *Glaciers & Glaciation*. Routledge, Second edition, 816

Berger WH, Smetacek V & Wefer D 1989: *Productivity in the ocean: past and present*. Dahlem Workshop Reports, Life Sciences Research Report 44, John Wiley & Sons, 471

Berner RA 1980: *Early diagenesis a theoretical approach*. Princeton University Press, 241

Bryhni I, Anundsen K, Aa AR & Sønstegaard E: *Geologien i Sogndal. I: Sandal P, Særtrykk av Sogndal bygdebok*, 829

Dale T & Hovgaard P 1993: *En undersøkelse av resipientforholdene i Sogndalsfjorden, Barsnesfjorden og Kaupangerfjorden i perioden 1991-1993*. Rapp. Sogn og Fjordane DH, Skrifter nr 3/1993, 118

Freeland HJ, Farmer DM & Levings CD 1980: *Fjord Oceanography*. NATO Conference Series, Marine Sciences 4, 716

Gade HG & Edwards A 1980: *Deep water renewal in fjords. I: HJ Freeland, DM Farmer, CD Levings: Fjord Oceanography*. NATO Conference Series, Marine Sciences 4, 453-489

Howe JA, Austin WEN, Forwick M, Paetzel M, Harland R & Cage AG 2010: *Fjord systems and archives: a review*. Geological Society, London, Special Publications, 15

Kaufmann S 2014: *A 100 year hydrographical record of the Barsnesfjord, Western Norway and its environmental application*. Brage.bibsys.no, 89

Klakken S 2015: *Bacheloroppgave, Høgskulen i Sogn og Fjordane, Avdeling for naturfag, våren 2015; ikke publisert*.

Munsell 1994: *Munsell® Soil Color Charts, Revised Edition*. GretagMcbeth, New Windsor, NY, USA

Nesje A, Matthews JA, Dahl SO, Berrisford MS & Andersson C 2001: Holocene glacier fluctuations of Flatebreen and winter-precipitation changes in the Jostedal region, western Norway, based on glaciolacustrine sediment records. *EBSCO Publishing*, 280

Nesje A & Dahl SO 2005: The "Little Ice Age" – only temperature? *The Holocene* 13,1, 139-145.

Nesje A, Bakke J, Dahl SO, Lie Ø & Matthews JA 2008: Norwegian mountain glaciers in the past, present and future. *Elsevier*, 27

Niemistö L 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Merentutkimuslait. Juhl./Havsforskningsinstituttets Skrifter* 238, 33-38

Paetzel M & Dale T 2010: Climate proxies for recent fjord sediments in the inner Sognefjord region, western Norway. *Geological society, London, Special Publications* 2010, v. 344, 271-288

Paetzel M & Schrader H 1991: Heavy metal (Zn, Cu, Pb) accumulation in the Barsnesfjord: Western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 9

Paetzel M & Schrader H 1992: Recent environmental changes recorded in anoxic Barsnesfjord sediments: Western Norway. *Marine Geology* 105, 23-26

Paetzel M & Schrader H 1995: Sewage history in the anoxic sediments of the fjord Nordåsvannet, Western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 75, 146-155.

Paetzel M & Schrader H 2003: Natural vs human induced facies change in recent, shallow water sediments of the store Lungegårdsvannet (Western Norway). *Environmental Geology*, 43, 484-492

Paetzel M, Schrader H & Bjerkli K. 1994: Do decreased trace-metal concentrations in surficial Skagerrak sediments over the last 15-30 years indicate decreased pollution. *Environmental pollution*, Vol. 84, 213-226

Pritchard DW 1952: Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics* 1, 243-280

Pritchard DW 1955: Estuarine circulation patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 81 (717), 1-11

Rosenberg R, Nilsson HC & Diaz RJ 2001: Response of benthic fauna and changing sediment redox profiles over a hypoxic gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53, 343-350.

Rothwell RG 1989: *Minerals and mineraloids in marine sediments: an optical identification guide*. London: Elsevier, 282

Smittenberg RH, Pancost RD, Hopmans EC, Paetzel M & Damste JSS 2004: A 400- year record of environmental change in an euxinic fjord as revealed by the sedimentary biomarker record. *Geological society, special publication* 344, 367

Stein R 1990: Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. *Lecture Notes in Earth Sciences* 34, 217

Strøm KM 1936: Land-locked waters – Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords, with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions. *J. Dybwad*, 85

Syvitski JPM, Burrell DC & Skei JM 1987: *Fjords: Processes and products*. Springer-Verlag, New York, 379

Trygve Fosse 2014: Muntlig beretning. 29.08.2014

Wentworth CK 1922: A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology* 30, 377-392

Internetsider:

http 1

<http://www.norgebilder.no/?zoom=11&lat=6792061.59785&lon=401606.62263&srs=EPSG:32632> Besøkt 29.05.2015

http 2

www.eklima.no Besøkt 13.05.2015

http 3

<http://www.norgebilder.no/?zoom=12&lat=6791741.2724&lon=401181.94649&srs=EPSG:32632> Besøkt 29.05.2015

Appendiks

CD inkluderer:

PDF versjon av oppgaven.

Mappen «Rådata» med tilhørende undermapper:

Smørepreparat

Organisk Materiale

Korntelling

Klima

Klimadata

Glødetap

Glødetapsanalyse