

# BACHELOROPPGAVE

## **Analyse av resente sedimentkjerner i den anoksiske Nærøyfjorden, Vest-Norge**

av

410 Martha Helle Dybo  
425 Marie Louise Sundheim  
414 Anne Marte Søgnesand

**Analysis of recent sediment cores in the anoxic Nærøyfjord,  
Western Norway**

Geologi og geofare

GE491

Mai 2016



## **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 «Analyse av resente sedimentkjerner i den anoksiske Nærøyfjorden, Vest-Norge» 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:

410, Martha Helle Dybo

JA  NEI

425, Marie Louise Sundheim

JA  NEI

414, Anne Marte Søgnesand

JA  NEI

## Sammendrag

Analysen av tre ulike sedimentkjerner som inkluderer visuell analyse, tetthetsmålinger, kornfordeling, røntgenbilder, LOI (CaCO<sub>3</sub> og organisk karbon) og XRF kjerneskaning har sammen med nedbørsdata og analyser av ferskvannsdiaatoméer blitt brukt for å rekonstruere miljøendringer i den anoksiske Nærøyfjorden i Vest-Norge.

Fjordens batymetri avskiller det innerste bassenget, Indre Nærøyfjord, fra resten av fjordarmen med en 12 m dyp terskel. Denne spesielle batymetrien gjør miljøet i Indre Nærøyfjord anoksiske. Endringer i røntgenfluorescens (XRF) viser en relasjon i endringer i svovel (S), silisium (Si), kalium (K), jern (Fe), titan (Ti), mangan (Mn), aluminium (Al) og fosfor (P).

Minkende residual svovelinnhold samt økende kalsiumkarbonatavsetning i sediment er relatert til økende anoksia de siste 30 årene. Dette bekreftes av hydrografien som indikerer økende temperatur med tilsvarende minkende oksygenkonsentrasjoner i bunnvannet av Indre Nærøyfjord.

Variasjoner i silisium er relatert til variasjoner i nedbør og ferskvannsdiaatoméer. Også jern, kalium, svovel og titan viser relasjon til økt nedbør og avrenning. Fosfor viser ingen endring som betyr at menneskelig aktivitet gjennom gjødsling og avrenning trolig ikke er endret over det indikerte tidsrommet.

Endringer i konsentrasjon av organisk materiale er knyttet til endring av elveløpet, utbyggingen av elvedeltaet og forstyrrelser av primærproduksjonen i Indre Nærøyfjorden. Endret transport av næringsstoffer og slam er en følge av utbyggingen. Næringsstoffene akkumulerer ikke lenger på deltaet inne ved Gudvangen, men transporteres lenger ut i fjorden. Mengden av organisk materiale i den nordlige delen av Indre Nærøyfjord har derfor økt samtidig som mengden organisk materiale har sunket i den sørlige delen. Økt mengde slam blir transportert med elven. Dette slammet samler seg i den sørlige delen av Indre Nærøyfjord og hindrer lystilførsel og dermed primærproduksjonen i denne delen av fjorden. Denne samlede prosessen er tolket som en hovedårsak til den økende graden av anoksia etter deltautbyggingen som skjedde i tidsperioden fra 1986 til 1991.

For å datere kjernene ble metoden til Paetzel & Dale (2010) anvendt der klimadata ble brukt for å skape en relasjon mellom nedbørsmønster og ferskvannsdiaatomér. For å kunne tidfeste dateringene ytterligere ble det prøvd å finne askepartikler fra vulkanen Eyjafjallajökull sitt

utbrudd i 2010. Dette har tidligere blitt brukt som dateringsmetode av Kievits (2011) i Sognefjorden. Askepartikler ble ikke funnet i sedimentkjernene fra Indre Nærøyfjord.

Resultater av tidligere studier og resultater i oppgaven tyder på at Indre Nærøyfjord har blitt mer anoksisk i løpet av de siste 20 til 30 år. Resultater i oppgaven tyder i tillegg på at utbygging av elvedeltaet og regulering av elveløpet i Gudvangen har ført til intensivering av det anoksiske miljøet i Indre Nærøyfjord siden 1980-tallet.

## Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på tre læringsrike år ved Høgskulen i Sogn og Fjordane. Arbeidet med oppgaven startet i september 2015.

Vi vil først og fremst rette en stor takk til vår veileder Matthias Paetzel. Tusen takk for fremragende hjelp, veiledning og oppfølging denne perioden. Du har bidratt med stor entusiasme og god kunnskap både i og utenfor kontortid. Vi setter utrolig stor pris på alle spørsmål du har besvart og din tålmodighet med oss.

Takk til Haflidi Haflidason for at vi fikk bruke laboratoriet ved Universitet i Bergen. Tusen takk for den gode hjelpen og veiledningen du gav oss.

Mange takk til Torbjørn Dale for god hjelp i felt og til innsamling av data. Takk til studentene ved linjen «From Mountain to Fjord» kull 2015 ved Høgskulen i Sogn og Fjordane for hjelp til innsamling og analyser av sedimentkjernene og for at dere ville dele deres observasjoner med oss.

En stor takk rettes også til alle lærere og medstudenter som har bidratt til disse tre minneverdige årene i Sogndal.

Sogndal 30. mai 2016

Martha Helle Dybo, Marie Louise Sundheim og Anne Marte Søgnesand

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	i
Forord.....	iii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Forklaring målsetning 1.....	2
1.3 Forklaring målsetning 2.....	2
1.4 Forklaring målsetning 3.....	3
2 Områdebeskrivelse og batymetri.....	4
2.1 Geologi og avsetning.....	7
2.1.1 Berggrunnsgeologi.....	7
2.1.2 Kvartærgeologi.....	9
2.1.3 Avsetninger.....	11
2.2 Nærøyfjorden hydrografi.....	12
2.3 Nedbør.....	13
2.4 Tidligere undersøkelser gjort i Nærøyfjorden.....	14
3 Metode.....	16
3.1 Metoder i felt.....	16
3.1.1 Prøvetaking av sediment.....	16
3.1.2 Hydrografisk prøvetaking.....	17
3.2 Metoder i laboratorium.....	17
3.2.1 Åpning av sedimentkjerner.....	17
3.2.2 Analyse av sedimentkjerner ved Høgskulen i Sogn og Fjordane.....	18
3.2.3 Analyse av sedimentkjerner ved Universitetet i Bergen.....	20
3.2.4 Framboidal Pyritt.....	22
3.3 Datering.....	22
4 Resultat.....	23
4.1 Åpning og analyse av kjerne.....	24
4.2 Litologi av kjerne.....	24
4.3 Datering.....	26
4.4 Elementer, MF2015-3.....	29
4.5 Organisk materiale (Loss on Ignition, LOI).....	33
4.6 Kalsiumkarbonat (CaCO <sub>3</sub> ).....	34
4.7 Ferskvannsdiaatoméer.....	35
4.8 Framboidal pyritt.....	36
4.9 Oksygennivå og temperatur.....	37

4.10 Nedbør.....	38
5 Diskusjon.....	39
5.1 Innledning.....	39
5.2 Datering.....	39
5.3 Anoksiske forhold .....	41
5.4 Mulige årsaker til utvikling av endringer i Indre Nærøyfjord.....	43
5.4.1 Utvikling av anoksiske forhold .....	43
5.4.2 Endringer i primærproduksjonen.....	44
5.4.3 Endringer i oksygen og temperaturforhold.....	48
5.4.4 Endringer i silisium og tilknyttede elementer (svovel, kalium, jern og titan) .....	48
5.4.5 Endringer i fosfor .....	49
6 Konklusjon .....	51
7 Referanseliste .....	52
7.1 Litteratur.....	52
7.2 Nettsider .....	57
7.3 Vedlegg .....	59

## Figurliste

**Figur 1:** (a) Vestnorsk fjordlandskap lokalisert vest i Norge ([http 1](#)). (b) Kartet viser Nærøyfjorden i sør og (c) Geirangerfjorden i nord. (d) Kartutsnittet viser et forstørret bilde av Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden. (e) Profilen viser et tverrsnitt av Nærøyfjorden (Matthias Paetzel 2016, personlig meddelelse; Statens Kartverk 2007)..... 5

**Figur 2:** Vestnorsk fjordlandskap, Nærøyfjorden (rød skravur) ligger i kommunene Lærdal, Voss, Vik og Aurland (avgrenset med svarte stiplede linjer)..... 5

**Figur 3:** Bildet til venstre viser Gudvangen i 1971 før elven og deltaet ble bygget ut (Statens Kartverk 1971). Til høyre er det bilde av Gudvangen i 2013 ([http 4](#))..... 6

**Figur 4:** Berggrunnskart for Nærøyfjorden og omegn ([http 5](#))..... 7

**Figur 5:** Utvikling av geomorfologien rundt Nærøyfjorden fra et fluvialt landskap i preglasial tid til dagens landskap preget av glasialeroderte fjorder og fjorddaler (Aarseth et al. 2008). Vær oppmerksom på forflytning av vannskillet fra øst til vest under den pågående tilbakeskridende erosjonen av elvdalene..... 9

**Figur 6:** Nedbørsdata i mm/år fra de meteorologiske målestasjoner ved Aurland (mørkblå linje), Hafslo (brun linje), Sogndal-Selseng (grønn linje), Fjærland-Skarestad (lys blå linje) og Fjærland-bremuseum (lilla linje) i Sogn og Fjordane (hentet fra «e-klima» klimadatabasen til Det Norske Meteorologiske Institutt; [http 6](#)). Det er ikke tatt med trendlinje for Fjærland-Bremusem. Her er det

gjort få målinger og trendlinjen vil mest sannsynlig være feil. Trendlinjene viser ingen til liten økning i nedbørmengden for Aurland, Hafslo og Sogndal-Selseng. Fjærland har en høyere økning i nedbørmengden de siste 70 årene..... 14

**Figur 7:** Prøvetaking av sedimentkjerne. Prøvetaking ved hjelp av Niemistö-kjernetaker (Niemistö 1974)..... 17

**Figur 8:** Sedimentkjerne MF2015-3 delt i to ved å bli kuttet på langs og tomrommet i plastrøret er fylt med grønn oasis for å sikre sedimentoverflaten. .... 18

**Figur 9:** Figuren viser Itrax kjerneskaner med XRF- og røntgensystem. 1: Optisk kamera. 2: Laser trianguleringssystem. 3: XRF. 4: Røntgenkilde. 5: Røntgendetektor. 6: Kjerne (figuren laget etter Croudace et al. 2006)..... 21

**Figur 10:** Flyfoto av Indre Nærøyfjord (<http> 4) viser lokalisering av kjernen MF2015-1 (76,6 m), MF2015-3 (77,3 m) og MF2015-4 (76,5 m). Hvit linje viser dybdekote 50 m i Indre Nærøyfjord..... 24

**Figur 11:** Fotografier (tatt etter at kjernene er oksidert, altså ikke den reelle fargen til sedimentet), stratigrafisk logg og kornfordeling (%) for sedimentkjerne MF2015-1 og MF2015-3. For MF2015-3 blir det vist fotografi, stratigrafisk logg, røntgenbilde og tetthetsmålinger. .... 25

**Figur 12:** Relatering mellom nedbørmengde (mm/år) i Aurland, ferskvannsdiaatoméer og marine diatoméer for sedimentkjerne MF2015-1. Figur etter Paetzel M. Topper (rød markering) ved nedbør relateres med topper (rød markering) ved ferskvannsdiaatoméer MF2015. .... 26

**Figur 13:** Relateres mellom nedbørmengde (mm/år) i Aurland, ferskvannsdiaatoméer og marinediaatoméer for sedimentkjerne MF2015-4. Korrelering etter Paetzel M. Topper (rød markering) ved nedbør relateres med topper (rød markering) ved ferskvannsdiaatoméer MF2015..... 27

**Figur 14:** Relasjon mellom nedbørmengde (mm/år) for Aurland, ferskvannsdiaatoméer i MF2015-1 og silisium (Si) og kalium (K) i kjerne MF2015-3 (etter Matthias Paetzel 2016, *personlig* meddelelse). Røde markeringer er topper som stemmer med nedbør, mengde ferskvannsdiaatoméer og mengde silisium og kalium. Grønn markering er topper som kun kan korreleres mellom ferskvannsdiaatoméer og silisium og kalium. .... 28

**Figur 15:** Relativ datering av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4. Datering basert på relasjoner mellom nedbørsdata for Aurland, ferskvannsdiaatoméer i MF2015-1 og MF2015-4 og mengden silisium (Si) og kalium (K) i MF2015-3. Datering for 1992 og 1973 viser øvre grense for de samme årstallene. Datering for 1987 og 1969 viser nedre grense for de samme årstallene. .... 29

**Figur 16:** Mean square error (MSE) for XRF sedimentkjerne MF2015-3 og kilocounts per second (KCPS) målinger for sedimentkjerne MF2015-3. .... 30



- Figur 17:** Figuren viser grafer for silisium (Si), svovel (S), kalium (K), jern (Fe) og titan (Ti) i MF2015-3. Silisium, svovel, kalium, jern og titan har alle en synkende tendens etter utbygging av delta (blå markering). ..... 32
- Figur 18:** MF2015-3, grafer for aluminium (Al), mangan (Mn) og fosfor (P). Den blå boksen markerer utbyggingsårene 1986-1991. De røde linjene er trendlinjer for før og etter utbygging av elvedeltaet. 33
- Figur 19:** Grafer for organisk materiale i sedimentkjerne MF2015-1 og MF2015-4. Grafen for MF2015-1 viser en svak nedgang i organisk materiale før utbyggingen. Under utbygging av delta synker mengden, og mengden organisk materiale stabiliserer seg etter utbygging. For MF2015-4 øker grafen før utbygging av deltaet. Under utbygging varierer verdiene. Etter utbyggingen av deltaet viser trendlinjen en svak nedgang i organisk materiale for MF2015-4. .... 34
- Figur 20:** Grafene viser mengden kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i MF2015-1 og MF2015-4. Grafene viser en tydelig økning etter utbyggingen (blå markering) av elvedeltaet i Gudvangen. .... 35
- Figur 21:** Grafene viser mengden ferskvannsdiatoméer i kjerne MF2015-1 og MF2015-3. I MF2015 kan man se en liten øking av ferskvannsdiatoméer etter utbyggingsperioden (blå markering), mens man i MF2015-4 ser en minking i mengden ferskvannsdiatoméer etter utbygging. .... 36
- Figur 22:** Framboidal pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) i MF2015-1 og MF2015-4. Trenden viser en øking av framboidal pyritt mot toppen av kjernen. .... 37
- Figur 23:** Grafen viser oksygenmålinger målt i år 1987 og 2015. Den blå grafen (1987) viser at oksygenforholdene synker ned til ca. 3 mg/l ved dybde 50 m. Den oransje grafen har oksygenmåling på 0,25 mg/l ved dyp 75 m. .... 37
- Figur 24:** Oksygennivåer målt i 1987 (blå linje) og i år 2015 (oransje linje). Figuren antyder at temperaturen kan ha økt de siste 28 årene. .... 38
- Figur 25:** Grafen viser nedbør, mm/år for målestasjon Aurland DNMI-stasjonsnummer 53700, lokalisert i Aurlandsvngen. .... 38
- Figur 26:** Grafen til venstre er hentet fra Jørgensen (1977) og viser sammenhengen mellom minkende mengde residual svovel og økende mengde framboidal pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) i avhengighet av dannelsen av  $\text{H}_2\text{S}$ . Grafen i midten viser at mengden total residual svovel (S) også minker mot sedimentoverflaten i Nærøyfjorden. Grafen til høyere viser at mengden framboidal pyritt også øker mot sedimentoverflaten i Nærøyfjorden. .... 42
- Figur 27:** Figuren viser sirkulasjonsprosessen i vannsøylen og hvordan oksygenivået minker mot bunnen av vannbassengene (figur etter Aure & Stigebrandt A 1989). .... 44
- Figur 28:** Elvedelta ved Gudvangen innerst i Nærøyfjorden, strømningsforhold (blå pil) før og etter utbygging fra år 1986-1991. .... 45

**Figur 29:** Illustrasjon av responsen i Indre Nærøyfjord grunnet endringer av ytre faktorer. Strømforholdet i elven påvirker stratifiseringen, altså tykkelsen på ferskvannslaget og turbulensen og turbiditeten i fjorden. Ved lav hastighet vil ferskvannslaget i vannsøylen være mindre utpreget, turbulens og turbiditet i fjordens overflatevann vil minke. Som følge av dette akkumulerte næringstoffene seg på deltaet og mengden organisk materiale var større. Ved høy hastighet vil stratifiseringen øke, det vil si ferskvannslaget i vannsøylen blir tykkere og turbulens og turbiditet i fjordens overflatevann vil øke. Dette vil igjen påvirke oksygenivået og lystilførsel i fjorden. Dette er faktorer som påvirker primærproduksjonen. Alle disse faktorene vil påvirke det anoksiske miljøet i Nærøyfjorden. Modell a) viser endringer i ytre faktorer før deltautbygging 1986-1991. Modell b) viser endringer i ytre faktorer etter deltautbyggingen 1986-1991..... 46

**Figur 30:** Illustrasjonen viser hvordan de ytre faktorene setter spor i sedimentene. Økende O<sub>2</sub> fører til høyere innhold av residual svovel og minkende mengde av organisk materiale. Som følge kan forholdene bli mindre anoksiske. Konsekvensen blir mindre utfelling av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) og mindre dannelse av framoidal pyritt (FeS<sub>2</sub>) samt mindre produksjon av hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). Ved minkende O<sub>2</sub> vil det motsatte finne sted, altså økt mengde kalsiumkarbonat, framoidal pyritt og hydrogensulfid. Forholdene kan bli mer anoksiske. Modell c) viser sedimentære endringer før deltautbygging 1986-1991. Modell d) viser sedimentære endringer etter deltautbyggingen 1986-1991. .... 47

**Figur 31:** Bildet til venstre viser et oversiktskart over kraftverk som påvirker vanntilførselen til Nærøydalselvi og Nærøyfjorden. Blå linje viser vassdragsområdet for Nærøydalselvi/Fresvikbreen. Det røde linje viser vassdragsområdet Vikvassdraget/Varmråk-Vangsnes. Blå skravur er reguleringsmagasin til andre formål, blått område er reguleringsmagasin til kraftproduksjon. Grå linjer viser kraftverkstunnel, mens blå punkt er inntakspunkt. Rød runding viser kraftverk som påvirker Nærøyfjorden ([http 13](http://13)). Bildet til høyre viser vannskillet (blå linje) til området rundt Nærøyfjorden (Aarseth et al. 2008). .... 49

## Tabelliste

**Tabell 1:** Tabellen viser en oversikt over bergartene i Figur 1, dannelse og mineralinnhold til disse (Tabell etter Garmo & Schumann 1979; Hochleitner 1991; Jensen 2006). .... 8

**Tabell 2:** Viser elementene og kationene i mineralene fra Tabell 2 (Tabell etter Garmo & Schumann 1979; Hochleitner 1991; Jensen 2006). .... 8

**Tabell 3:** Det har vært fem istider i løpet av jordens geologiske tid. Utbredelse og tidsrom varierer. Sen prekambrium (ca. 700 mill B.P.), overgangen mellom ordovicium og silur (ca. 440 mill. år B.P.), overgangen mellom karbon og perm (290 mill. B.P.), slutten av meiocen i tertiær (ca. 15 mill. B.P. og pågående) og kvartær (2 mill og pågående). .... 10

**Tabell 4:** Koordinater og vanddyp for prøvestasjonene av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4..... 23

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Nærøyfjorden, en del av Sognefjorden, ble i 2005 offisielt en del av UNESCO's verdensarvliste etter forslag fra Nordisk Ministerråd i 1996 (Dybwad & Loftesnes 2006). Med «Det vestnorske fjordlandskap» regnes Geirangerfjorden i Møre og Romsdal, og Nærøyfjorden i Sogn og Fjordane (Figur 1). Nærøyfjorden er en terskelfjord, som betyr at en grunn terskel avgrenser et dypere basseng (Holtedahl 1967; Syvitski et al. 1987; Howe et al. 2010). Sedimenter fra terskelfjorder har ofte god oppløsning på grunn av høy sedimentasjonsrate og at det ikke er miljø for bioturbasjon som forstyrrer sedimentene, grunnet begrenset oksygeninnhold i vannmassene (Gaarder 1916; Howe et al. 2010; Strøm 1936; Syvitski et al. 1987). Den gode bevaringen fører til at sedimentene fra terskelfjorder kan bli brukt til å gjenspeile miljø- og klimaendringer de siste 100 årene, som for eksempel i Barsnesfjorden og Sogndalsfjorden innerst i Sognefjorden (Paetzel & Schrader 1991, 1992; Paetzel & Dale 2010).

Det har hittil blitt gjort få geologiske studier av avsetningene i Nærøyfjorden. Tidligere undersøkelser omhandler biologisk mangfold og hydrografiske aspekter (Vassenden et al. 2006; Johannessen & Lønning 1988). Denne oppgaven tar for seg de sedimentologiske aspektene ved miljøundersøkelsene i Nærøyfjorden. Som nevnt avgrenser en terskel den innerste delen av fjorden og skaper et basseng med anoksiske forhold (Johannessen & Lønning 1988). Fjordbasseng med anoksiske forhold gir gode muligheter for å rekonstruere hvilke naturlige og/eller menneskeskapte endringer naturen i det nærliggende området har gjennomgått (Syvitski et al. 1987; Howe et al. 2010).

De geologiske miljøundersøkelsene skal brukes til rekonstruksjon av naturlige og menneskeskapte miljøendringer over de siste 50 til 100 år i Nærøyfjorden. Med dette utgangspunktet er følgende målsetninger formulert:

- **Målsetning 1:** Er det mulig å hente opp resente sedimentkjerner med uforstyrret sediment-vann overgang fra den anoksiske delen av Nærøyfjorden og lage en datering av kjernene over de siste 50 til 100 årene?
- **Målsetning 2:** Kan de daterte sedimentkjernene brukes til å slå fast tidsforløpet til endringene av uavhengige sedimentparametere gjennom de siste 50 til 100 år?

- **Målsetning 3:** Kan disse sedimentære endringene kobles til kilder eller kildeområder?

## 1.2 Forklaring målsetning 1

Det er ikke gjort tidligere maringeologiske studier i Nærøyfjorden. Man kan derfor stille spørsmål om det vil være mulig å hente opp sedimentkjerner. For å hente opp sedimentkjernene tas det i bruk en Niemistö gravity corer (Niemistö 1974). Denne prøvetakeren tar opp sedimenter fra bløt havbunn uten å påvirke eller ødelegge overgangen mellom bunnvannet og sedimentet.

For datering av sedimentene anvendes metoden av Paetzel & Dale (2010). Metoden benytter sammenhengen mellom nedbørsdata og sammensetning av diatoméer til å indikere og datere ulike tidshorisonter i sedimentkjerner fra den 66 m dype Indre Barsnesfjorden, den 80 m dype Ytre Barsnesfjorden og den 260 m dype Sogndalsfjorden ved Sogndal, Norge. Det vil også bli forsøkt å datere sedimentene ved å finne askehorisonten av den vulkanske asken fra utbruddet under Eyjafjallajökull i 2010. Denne metoden ble brukt til å datere sedimenter i den allerede omtalte Sogndalsfjorden (Kievits 2011).

## 1.3 Forklaring målsetning 2

Ulike parametere skal bestemmes i sedimentene for å indikere skiftende marine eller landbaserte forhold. Det skal undersøkes om det finnes endringer i ferskvannsdiatoméer og marine diatoméer (fra smørepreparat) samt i partikulært organisk materiale og kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$  fra glødetap, LOI), og i den terrestriske og marine sammensetningen av det organiske materialet (fra smørepreparat). Disse parameterne kan gi en indikasjon på skiftende sedimenttilførsel fra land, for eksempel ved variasjoner i klima og/eller avrenning.

Videre skal forholdet mellom det organiske og det minerogene materiale, inkludert de minerogene kornstørrelsene, analyseres ved smørepreparat, noe som i tilfelle kan antyde endringer i kildeområder.

Kjemiske elementer undersøkes ved X-Ray Fluorescence (XRF) og framoidal pyritt identifiseres utfra smørepreparater. Analyse av kjemiske elementer kan gi en indikasjon på forurensning og avrenningsmønsteret. I tillegg kan elementene kalsium og svovel sammen med

økt forekomst av autigent danne framboidal pyritt og gi informasjon om vekslende oksygenforhold i Nærøyfjorden.

Videre skal sedimentene beskrives etter farge og strukturer for identifisering av ulike sedimentlag. Utfordringen ligger i om det er mulig å tolke de ulike parameterens uavhengige historie.

#### 1.4 Forklaring målsetning 3

For å kunne finne årsaker til de observerte endringene sedimentkjernene må data fra historisk dokumenterte endringer i området rundt Nærøyfjorden tas i betraktning i tillegg til data fra sedimentkjernene. Det er derfor av betydning at eventuelle sedimentære endringer kan tidfestes ved dateringer for deretter å undersøke om disse sedimentære endringene i kombinasjon kan tilbakeføres til sine respektive kilder og årsaker.

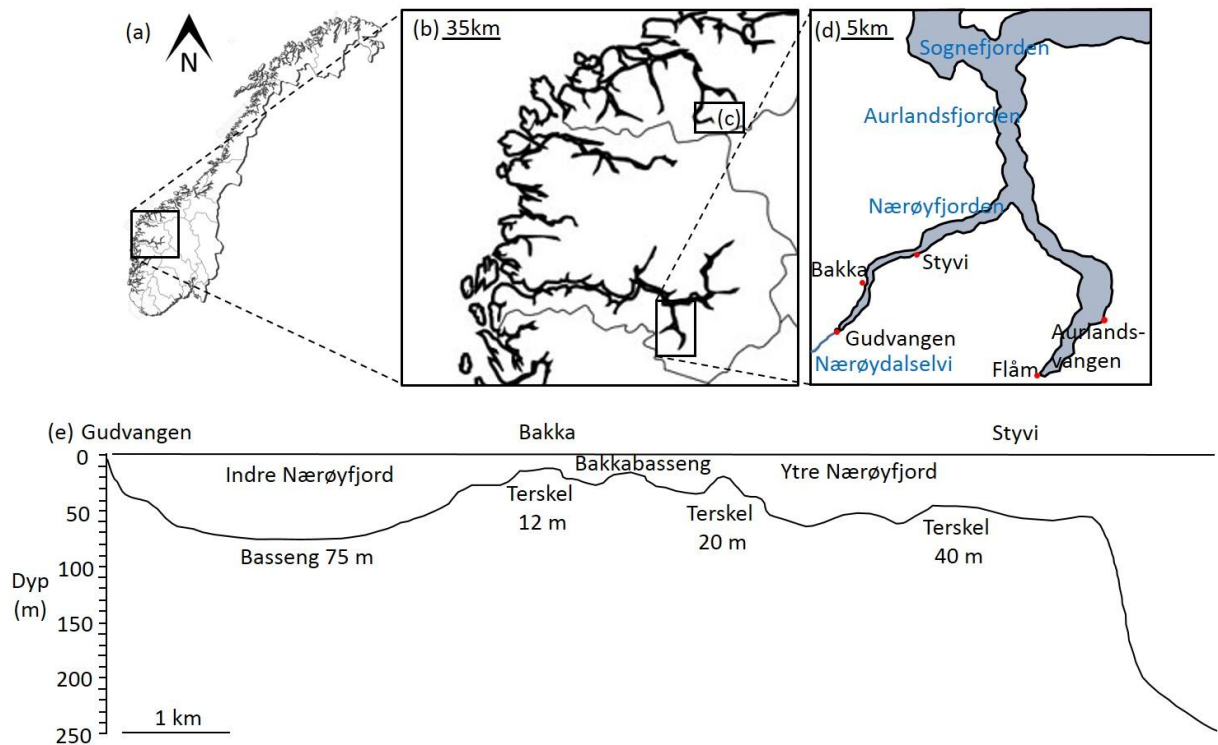
Gjennom de siste 50 til 100 år har den menneskelige påvirkningen på Nærøyfjorden økt. I tillegg til at område har blitt et ettertraktet turistmål, og derav mer besøkt, ble deltaområdet i Gudvangen og deler av Nærøydalselvi regulert i perioden 1986 til 1991 (Statens vegvesen 1993; Matthias Peatzel 2016, *personlig meddelelse*). Dette kan ha blant annet påvirket hastigheten på vannstrømmen til elven Nærøydalselvi ut i fjorden, sedimentasjonsrater i fjorden og hvor i fjorden avsetningene har blitt avsatt. Spørsmålet er om disse menneskelige endringene også vises i sedimentkjernene.

I tillegg til de menneskelige faktorene kan det være klimafaktorer som temperatur og nedbør som spiller inn. Endringer i årlig avrenning og nedbør kan ha hatt en effekt på ferskvannsdiatoméene og oksygentilførselen i fjorden. For å skape et oversiktlig bilde over endringer som har funnet sted i Nærøyfjorden må man se på de menneskeskapte og naturlige virkningene i kombinasjon og om de har hatt noen innvirkning på hverandre.

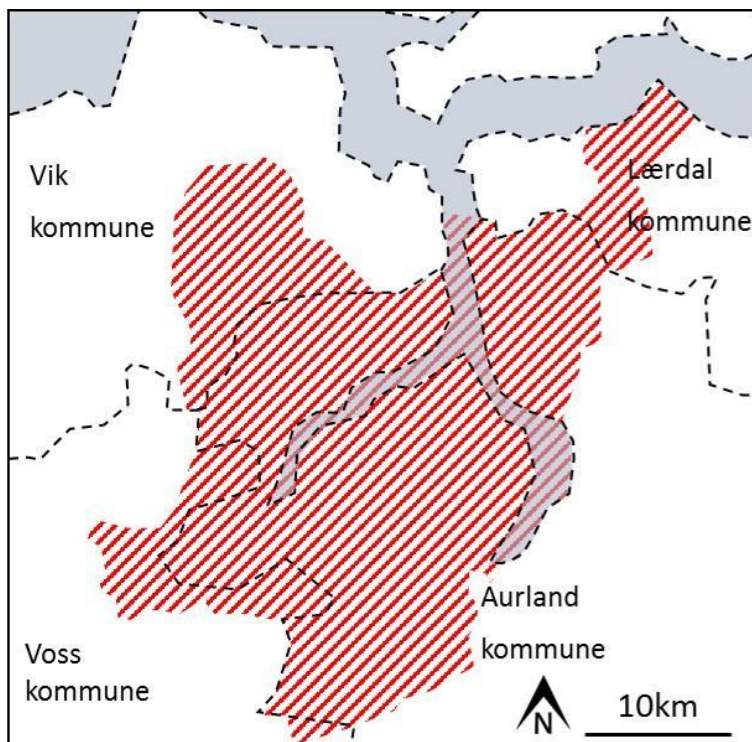
## 2 Områdebeskrivelse og batymetri

Nærøyfjorden er en fjord i Aurland kommune som ligger i Sogn og Fjordane fylke, Vest-Norge. Fjorden er en 17 km lang sørvestgående arm av Aurlandsfjorden som på sin side er forbundet med Sognefjorden ca. 20 km lengre nord (Figur 1; Statens kartverk 2007). Nærøyfjorden består av den nordøstlige oksiske Ytre Nærøyfjord, det midtre oksiske Bakkabassenget og den sørlige anoksiske Indre Nærøyfjord (Figur 1). Fjordens smaleste og grunneste punkt er ved Bakka. Her er fjorden 250 m bred og 12 m dyp. Den anoksiske Indre Nærøyfjord er 4 km lang med en bredde på 750 m og en dybde på 75 m (Figur 1).

Nærøyfjordområdet ble sammen med Geirangerfjordområdet meldt inn til UNESCO som verdensarvsobjekt i 1991 (Blomvik & Yttredal 2015). Deretter tok det 14 år fram til 2015 før det ble avgjort at «Vestnorsk fjordlandskap» fikk plass på UNESCO's liste over verdensarvobjekter (Blomvik & Yttredal 2015). Verdensarvområdet strekker seg over kommunene Lærdal, Aurland, Voss og Vik (Figur 2). Tildelingen av statusen verdensarv blir begrunnet med at områdene er velegnet som illustrasjon av fenomenet «fjord» (Holtedahl 1975). Med de overnevnte dimensjonene er Nærøyfjorden Norges smaleste fjord, noe som sammen med de opptil 1398 m (Bakkanosi; Figur 31) høye omgivende fjellene gjør geomorfologien unik.



**Figur 1:** (a) Vestnorsk fjordlandskap lokalisert vest i Norge ([http 1](http://1)). (b) Kartet viser Nærøfjorden i sør og (c) Geirangerfjorden i nord. (d) Kartutsnittet viser et forstørret bilde av Nærøfjorden og Aurlandsfjorden. (e) Profilen viser et tverrsnitt av Nærøfjorden (Matthias Paetzel 2016, personlig meddelelse; Statens Kartverk 2007).



**Figur 2:** Vestnorsk fjordlandskap, Nærøfjorden (rød skravur) ligger i kommunene Lærdal, Voss, Vik og Aurland (avgrenset med svarte stiplede linjer).



Tettstedet Gudvangen ligger ved den sørlige enden av Indre Nærøyfjord (Figur 1) og er en av Norges første handelsplasser ([http 2](#)). Dette har gjort at det til enhver tid har vært trafikk og mennesker i og rundt Nærøyfjorden. Mønsteret i denne trafikken forandret seg tidlig på 1800-tallet, da turismen begynte å gjøre sitt inntog. Velstående mennesker fra både inn- og utlandet kom til området for å se på naturen ([http 2](#)). Allerede i 1885 startet handelsbåttrafikken, og rundt år 1890 startet cruisebåttrafikken i Norge ([http 1](#)) der Nærøyfjorden ble et populært reisemål. Grunnet økende cruisebåttrafikk de siste årene, er båttrafikken i Nærøyfjorden begrenset og fartsgrensen er satt ned slik at bølgeerosjon ikke skal ødelegge strandsonen (Statens naturoppsyn-Aurland 2014). Nærøydalselvi og det tilhørende deltaet ble bygget ut i perioden 1986-1991; Figur 3 viser området før og etter utbygging av elvedeltaet i Gudvangen.

De bratte fjellssidene rundt fjorden har gjennom tidene forårsaket skred. I Nærøyfjorden er det kontinuerlig pågående geologiske prosesser og langs fjorden er det skredvifter. Spesielt området ved Bakka er preget av skred. Flere skredvoller er satt opp for å sikre bebyggelse og vei ([http 3](#)).



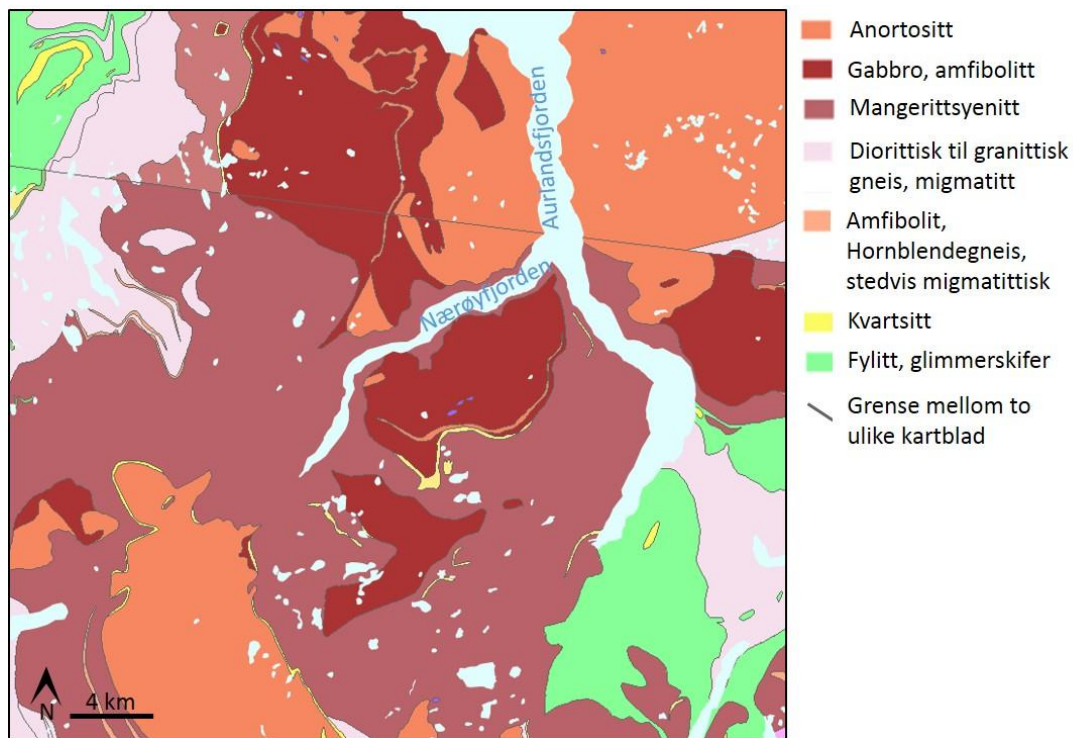
**Figur 3:** Bildet til venstre viser Gudvangen i 1971 før elven og deltaet ble bygget ut (Statens Kartverk 1971). Til høyre er det bilde av Gudvangen i 2013 ([http 4](#)).



## 2.1 Geologi og avsetning

### 2.1.1 Berggrunnsgeologi

Deler av berggrunnen rundt Nærøyfjorden består av grunnfjellet som ble dannet under tidsperioden Prekambrium, ca. 3-4 milliarder år siden (Ramberg et al. 2006). For 400-500 millioner år siden ble grunnfjellet skyvet sammen under den Kaledonske fjellkjedefoldingen og er i dag en del av Jotundekket (Bryhni et al. 1983). Store deler av berggrunnen rundt Nærøyfjorden består av (delvis omdannet) anortositt (Figur 4) som er en magmatisk dypbergart og inneholder opp mot 95% plagioklasfeltspat. De viktigste mørke mineralene som finnes i anortositten rundt Nærøyfjorden er epidot og hornblend (Qvale 1980). Utenom anortositt finnes det bergarter som gneis, gabbro, mangeritt og kvartsitt (Bryhni et al. 1983).



**Figur 4:** Berggrunnskart for Nærøyfjorden og omegn (http 5).

**Tabell 1:** Tabellen viser en oversikt over bergartene i Figur 1, dannelse og mineralinnhold til disse (Tabell etter Garmo & Schumann 1979; Hochleitner 1991; Jensen 2006).

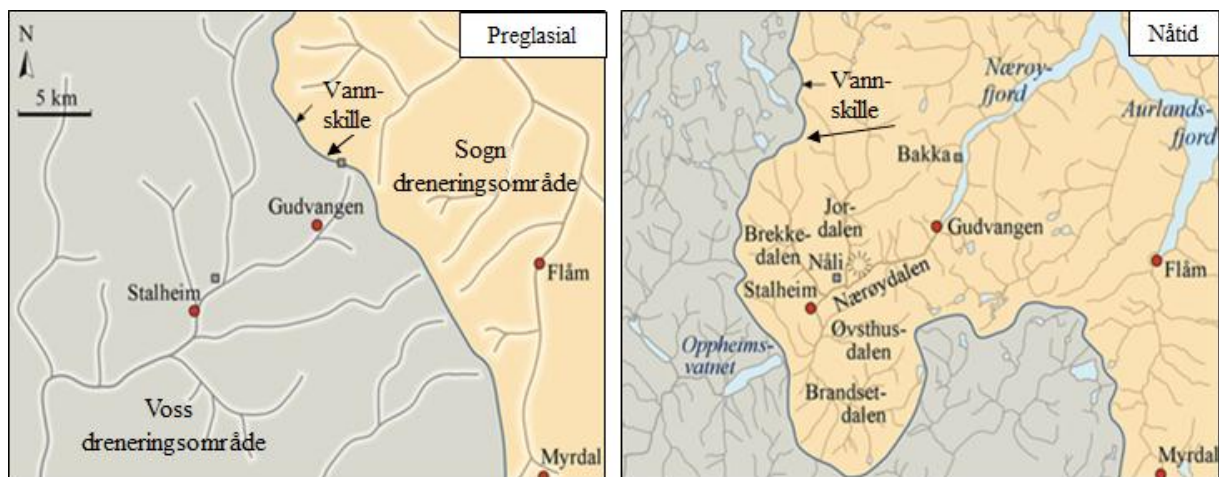
Bergart	Dannelse	Mineralinnhold
Syenitt	Magmatisk dypbergart	Alkalifeltspat, plagioklas, hornblende, pyroksen (mest augitt), biotitt
Monzodioritt	Magmatisk dypbergart	Alkalifeltspat, plagioklas, hornblende, pyroksen, biotitt
Anortositt	Magmatisk dypbergart	Plagioklas, epidot
Kvartsitt	Metamorf bergart	Kvarts
Amfibolitt	Metamorf bergart	Amfibol (mest hornblende), plagioklas
Glimmerskifer	Metamorf bergart	Muskovitt, biotitt, kvarts eller plagioklas, granat
Gneis	Metamorf bergart	Kvarts, plagioklas, muskovitt, biotitt

**Tabell 2:** Viser elementene og kationene i mineralene fra Tabell 2 (Tabell etter Garmo & Schumann 1979; Hochleitner 1991; Jensen 2006).

Mineral	Formel	Elementer (kationer) i tillegg til Al og Si
Feltspat	$KAlSi_3O_8$	K (i alkalifeltspat)
endeledd	$NaAlSi_3O_8$	Na (i alle blandingsserier)
Ortoklas	$CaAl_2Si_2O_8$	Ca (i plagioklas)
Albitt		
Anortitt		
Augitt	$(Ca,Mg,Fe,Ti,Al)_2(Si,Al)_2O_6$	Ca, Mg, Fe, Ti
Hornblende	$(Na,K)_{0-1}Ca_2(Mg,Fe,Al)_5(Si_{6-7.5}Al_{2-0.5}O_{22})(OH)$	K, Na, Ca, Mg, Fe
Biotitt	$K(Mg,Fe,Al)_3(Si_{3-2.5}Al_{1-1.5}O_{10})(OH,F)_2$	K, Mg, Fe
Kvarts	$SiO_2$	
Muskovitt	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$	K
Granat	$(Mg,Fe,Mn,Ca)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$	Ca, Mg, Fe, Mn

## 2.1.2 Kvartærgeologi

Fjorder forekommer i det som kalles «fjordbelter» (Howe et al. 2010) på den nordlige og sørlige halvkule, nord for 43°N og sør for 42°S (Syvitski et al. 1987). Innenfor den nordlige sonen har Norge gjennom de siste 2-3 millioner år vært preget av gjentatte glasieringer. Disse har skapt fjordene ved isens gjentatte graving i de vestlandske preglasiale elvedalene (Nesje 2012). Resultatet fra denne prosessen er illustrert i Figur 5 (Aarseth et al. 2008) som sammenligner det preglasiale fluviale landskapet (>2 millioner år) rundt Nærøyfjorden med dagens landskap som er preget av fjorder og fjorddaler.



**Figur 5:** Utvikling av geomorfologien rundt Nærøyfjorden fra et fluvialt landskap i preglasial tid til dagens landskap preget av glasieroderte fjorder og fjorddaler (Aarseth et al. 2008). Vær oppmerksom på forflytning av vannskillet fra øst til vest under den pågående tilbakeskridende erosjonen av elvdalene.

Ingen fjorder er like, men varierer i utseende og det er derfor vanskelig å definere ordet «fjord» (Inall & Gillibrand 2010). Den klassiske definisjonen på en fjord er traue med bratte fjellsider som er blitt utformet av erosjonen fra isbreer, glasierosjon, og senere oversvømt av havet (Howe et al. 2010; Nesje 2012).

Fjorder har vanligvis, men ikke nødvendigvis, en eller flere terskler (Syvitski et al. 1987; Inall & Gillibrand 2010). Terskler skiller mellom områder som har og ikke har vært dekket av isbreer eller finnes i områder der tykkelsen av isdekket har vært redusert (Benn & Evans 2010). En annen definisjon av «fjord» er derfor helheten av glasieroderte bassenger eller traue som blir avgrenset av en eller flere terskler (Syvitski et al. 1987) og munn ut i havet.

Denne glasieroderte erosjonen består av to prosesser, abrasjon og plukking (Nesje 2012). Abrasjon er en prosess hvor små og store partikler sitter fast i bresålen og fungerer som sandpapir på det

underliggende fjellet når breen beveger seg (Bennett & Glasser 1998). Ved plukking er det større blokker som blir sprengt løs subglasialt fra det underliggende fjellet ved fryse-tine prosesser og transportert bort med den overliggende isen (Nesje 2012). Plukking er en effektiv erosjonsprosess og er hovedårsaken til at breen eroderer seg nedover i det underliggende fjellet. Under de gjentatte kvartære glasieringene har isbreer etter hvert erodert seg under havnivået og tyngden av isen har presset vannet vekk. Etter isens tilbaketrekning strømmet vannet inn og oversvømte det eroderte landet (Nesje 2012).

I løpet av jordens geologiske tid har det vært fem lengre perioder med istider (Nesje 2012). De fem istidene har variert i tid og utbredelse (Tabell 3).

**Tabell 3:** Det har vært fem istider i løpet av jordens geologiske tid. Utbredelse og tidsrom varierer. Sen prekambrium (ca. 700 mill B.P.), overgangen mellom ordovicium og silur (ca. 440 mill. år B.P.), overgangen mellom karbon og perm (290 mill. B.P.), slutten av meiocen i tertiær (ca. 15 mill. B.P. og pågående) og kvartær (2 mill og pågående).

Tidsperiode	Millioner år siden	Utbredelse
Sen prekambrium	ca. 700	Hele kloden
Overgangen: ordovicium-silur	ca. 440	Nord- og sørlige polområder
Overgangen: karbon - perm	ca. 290	Nord- og sørlige polområder
Slutten av meiocen i tertiær	ca. 15 mill. og pågående	Sørlige polområder
Kvartær	ca. 2 mill. og pågående	Nord- og sørlige polområder

Den yngste av disse er den kvartære istiden. Den består av ca. 23 glasieringer og mellomistider. Siste istidmaksimum i Norge var Weichsel-glasieringen og dateres til ca. 18.000 år B.P. (before present). Isavsmeltingen etter den siste glasieringen var avsluttet for ca. 10.000 år B.P. og etterfulgt av den fremdeles vedvarende Holocene mellomistiden (Nesje 2012). Disse 10.000 årene har ikke vært tilstrekkelige til at erosjon og massebevegelse kunne ha endret landskapet i stor stil slik at dagens fjorder er antatt å ha utviklet seg gjennom hele kvartærtiden (Nesje 2012).

### 2.1.3 Avsetninger

Fjorder opptrer ofte som naturlige sedimentfeller som bevarer sediment over lengre tid uten forstyrrelser (Holtedahl 1975; Howe et al. 2010; Syvitski et al. 1987). Ofte gir sedimentasjonsrater i størrelsesorden millimeter til centimeter per år en tilstrekkelig oppløsning til at fjorder kan brukes som naturlige laboratorium. Variasjoner i sammensetningen av fjordsedimenter egner seg som arkiver for naturlige og menneskeskapte miljøendringer (Howe et al. 2010; Syvitski et al. 1987). Sedimenter i fjorder kan dermed reflektere endringer i det marine miljøet, miljøet på land og de atmosfæriske endringer som skjedde under avsetningen (Howe et al. 2010).

Sedimentene som finnes i fjorder fremstår som en blanding av organiske og uorganiske komponenter. De organiske komponentene har sin opprinnelse fra enten marin primærproduksjon i fjordens fotiske sone eller fra transport av organisk materiale ved den estuarine sirkulasjonen. De organiske komponentene kan ha en terrestrisk opprinnelse ved avrenning av jord og planter fra land, inkludert urensset kloakk (Howe et al. 2010; Paetzel & Schrader 1995). De uorganiske eller mineralske komponentene består av eroderte mineraler fra omliggende fjell og jord, eller de kan være et produkt av veistøv og menneskelig byggeaktivitet (Howe et al. 2010; Syvitski et al. 1987).

De fleste fjorder har hovedsakelig tilførsel av ferskvann fra elver som har munning i fjordenes innerste del eller fjordenes sidearmer (Syvitski et al. 1987). I fjorder som er lokalisert på middels breddegrad, som Nærøyfjorden, er den mineralske sedimenttilførselen kontrollert av mengden vann som er i elvene. Tilførsel av partikulært materiale fra elv samt primærproduksjon i fjordbassenget vil være de mest dominerende formene for sedimentasjon i en fjord (Howe et al. 2010; Syvitski et al. 1987). Når elvene renner ut i fjorden vil hastigheten til vannet synke og sedimenter vil bli avsatt (Nystuen 2006). De groveste sedimentene finnes nærmest elvemunningene (Syvitski et al. 1987). De finere sedimentene befinner seg i suspensjon og blir transportert lengre ut i fjorden (Syvitski et al. 1987; Bennett & Glasser 1998). Fjorder kan også få tilført sediment fra fjellsidene langs fjorden, men sedimenttilførselen her vil være mindre dominerende sammenlignet med sedimenttilførselen fra elvene (Syvitski et al. 1987).

Ved siden av det marine organiske materiale vil organismene fra primærproduksjonen også etterlate seg karbonatskall i sediment. Karbonatskall opptrer som  $\text{CaCO}_3$ -skjeletter hovedsakelig fra foraminifera og/eller coccolithophoridae, og silikatskall, det vil si  $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -

skjeletter hovedsaklig fra diatoméer, radiolaria og/eller silikoflagellater (Bennett & Glasser 1998).

Sedimenter i anoksiske terskelfjorder har den fordel at de ikke er påvirket av bioturbasjon og dermed kan fremvise uforstyrrete overganger mellom vann og sediment (Howe et al. 2010). Det forekommer heller ingen erosjon av sediment i bunnen av fjordbassengene da all sediment som når nedenfor terskeldyp vil akkumuleres ved fjordbunnen. Dette gjelder også for skredmateriale som vil være synlig som egne lag i sedimentene (for eksempel Paetzel & Schrader 1992). Det vil ikke være synlig bioturbasjon siden anoksiske forhold tilsier at det ikke er mulig for makroskopiske organismer å leve i bunnsedimentene. Eventuelle sedimentære sesongavsetninger som sesongbetingete laminasjoner eller varv vil derfor være godt bevart i fjordbunnen (Bennett et al. 1998; Syvitski et al. 1987). Slike sesonglag i sediment kan brukes til rekonstruksjon av årlige variasjoner eller sesongvariasjoner på lignende måte som årringer (Paetzel & Schrader 1991; 1992; Syvitski et al. 1987).

## 2.2 Nærøyfjorden hydrografi

Hydrografiske målinger av oksygen, temperatur og saltinnhold i vannsøylen har blitt foretatt i norske fjorder siden begynnelsen av forrige århundre (Gaarder 1916; Strøm 1936). I Nærøyfjorden finnes det to hydrografiske målinger hvor av den først er fra slutten av 1980-tallet (Johanessen & Lønningen 1988; Vassenden et al. 2006). Hovedtilførselen av ferskvann kommer gjennom Nærøydalen fra elven Nærøydalselvi ved Gudvangen, og i noe mindre grad fra avrenning fra fjellsidene rundt fjorden (Figur 5). Tilførselen av ferskvann vil føre til en naturlig lagdeling i vannsøylen i de innerste delene av fjorden. Ferskvann har lavere tetthet enn saltvann og vil derfor legge seg i de øverste delene av vannsøylen (Strøm 1936).

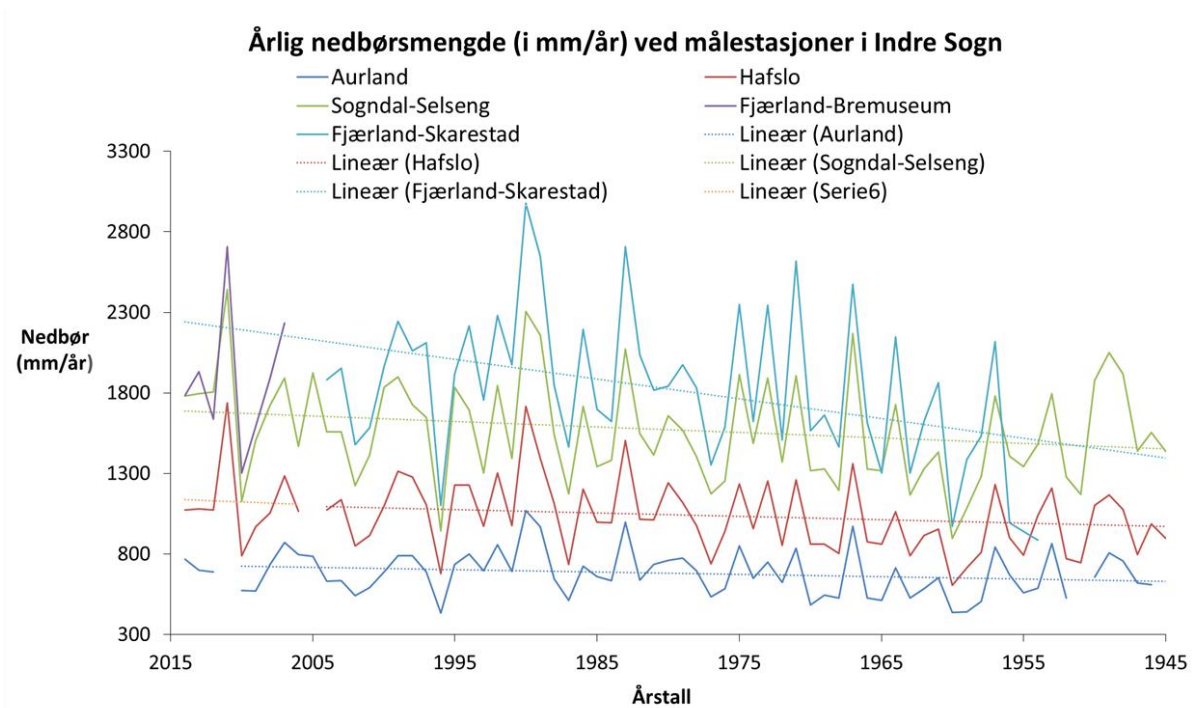
Terskelen ved Bakkasundet i midtre delen av Nærøyfjorden (Figur 1) består av en kombinasjon av glasial endemorene og postglasialt skredmateriale (Sindre 1973). Grunne terskler i norske fjorder fører til at sirkulasjon og utbytting av vannet blir begrenset (Gade 1976; Sælen 1976). Dette er også tilfellet i Nærøyfjorden. Det er kun overflatevannet som blir skiftet ut, mens vannet dypere ned i vannsøylen blir værende. I tillegg blir oksygenet i fjordens bunnvann raskt brukt opp ved nedbryting av det organiske materiale som tilføres fra primærproduksjonen. Kombinasjonen av konsum av oksygen og begrenset utskifting av vannet vil ofte føre til anaerobe eller anoksiske forhold i bunnvannet (Strøm 1936).

Den Ytre Nærøyfjord nordøst for Bakka er oksisk på grunn av tilstrekkelig vannsirkulasjon og dermed vil sedimentene i denne delen av fjorden ikke være like godt bevart som sedimentene fra den anoksiske Indre Nærøyfjord.

### 2.3 Nedbør

Rundt Nærøyfjorden eller i Nærøydalen er det ikke lokalisert noen værstasjoner. Det er derfor hentet værdata, spesifikt nedbørsmålinger, fra andre målestasjoner i Indre Sogn. Grafen (Figur 6) viser nedbør fra målestasjoner lokalisert i Aurland, Hafslo, Sogndal-Selseng og to steder i Fjærland, ved bremuseet og på Skarestad. Værstasjonen i Aurland ligger nærmest Nærøyfjorden, ca. 5,5 km luftlinje øst for Gudvangen, skilt fra Nærøyfjorden ved fjellmassivet rundt Syrdalsbreen (ca. 1500 m over havet; Figur 31). Målingene viser millimeter nedbør per år fra 1945 og frem til 2014. Målinger fra flere steder ble benyttet for å undersøke om eventuelle trender kunne sees for flere områder, eller om det finnes egne nedbørstrender lokalt for Aurland. Grafen viser at kurvene til målestasjonene følger hverandre, og at nærmest alle topp- og bunnpunkt korrelerer med hverandre. Mengden nedbør er ulik, men man kan se de samme tendensene ved alle målestasjonene. Siden kurvene viser samme tendens, er det trolig at en tenkt stasjon i Gudvangen også ville vist samme tendens som de andre målestasjonene i Indre Sogn. Grafen kan brukes som indikator på nedbørstendensen i Nærøyfjorden, ettersom Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden er parallelle sørgående fjordarmer med lignende beliggenhet og beskyttelse fra omliggende fjell (Figur 5).





**Figur 6:** Nedbørsdata i mm/år fra de meteorologiske målestasjoner ved Aurland (mørkblå linje), Hafslo (brun linje), Sogndal-Selseng (grønn linje), Fjærland-Skarestad (lys blå linje) og Fjærland-bremuseum (lilla linje) i Sogn og Fjordane (hentet fra «e-klima» klimadatabasen til Det Norske Meteorologiske Institutt; [http 6](http://6)). Det er ikke tatt med trendlinje for Fjærland-Bremuseum. Her er det gjort få målinger og trendlinjen vil mest sannsynlig være feil. Trendlinjene viser ingen til liten økning i nedbørmengden for Aurland, Hafslo og Sogndal-Selseng. Fjærland har en høyere økning i nedbørmengden de siste 70 årene.

## 2.4 Tidligere undersøkelser gjort i Nærøyfjorden

### **Johannessen & Lønning (1988): Resipientundersøkelser i Aurland kommune.**

Rapporten omhandler resipientundersøkelser i Aurland kommune. Prøvene ble tatt i Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden. Det ble utført undersøkelser av hydrografi, bunnfauna og sediment. I tillegg ble det utført en mindre undersøkelse av strandsonen. Rapporten konkluderer med at den innerste delen av Nærøyfjorden er anoksisk fra naturens side. Dårlig sirkulasjon i fjorden skyldes naturlige terskler. Rapporten viser også at området er spesielt ømfintlig for forurensning.

### **Tvedten et al. (1994): Konsekvensvurdering i forbindelse med utfylling av steinmasser.**

Rapporten omhandler undersøkelser av miljøforholdene i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden. Rapporten har hovedvekt på Aurlandsfjorden hvor steinmasser fra tunnelarbeidet mellom Lærdal og Aurland skal brukes som veifylling. Rapporten gir en konsekvensanalyse av



effektene som steinutfyllingen kan få for det marine plante- og dyrelivet i området. I tillegg blir miljøforhold i resipientene ved Aurland sentrum, Høydal, Flåm, Undredalen og Nærøyfjorden undersøkt. Undersøkelsene som ble gjort er av vann, sediment, bunnfauna og strandsone. Konsekvensutredninger viser at utfyllingen i Aurlandsfjorden først og fremst vil føre til eventuelle skader i strandsonen ved at plante- og dyresamfunnet må gjenetableres. Plante- og dyresamfunnet vil bruke rundt 10-20 år på å etablere seg på nytt og nå «normaltilstanden». Resipientundersøkelsen viste at forholdene i Indre Nærøyfjordbassenget er dårlige, mens de var tilfredsstillende utenfor Bakka. Tilsvarende resultater ble også funnet i 1987.

**Vassenden et al. 2006: *Marinbiologisk miljøundersøkelse i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i 2006.***

Hensikten med rapporten er å vurdere de miljømessige forholdene i de marine resipientene i Aurlandsfjorden og i Nærøyfjorden. Undersøkelsen omfatter studier av strandsone, bunnsamfunn og analyser av næringsstoffene i sjøvann og sediment. Resultatene i denne undersøkelsen har blitt sammenlignet med resultatene av undersøkelsene gjort i 1987 og i 1993. I denne undersøkelsen fra 2006 ble det i Nærøyfjorden gjort analyser ved tre ulike lokaliteter i fjorden. Prøvene ble tatt fra to ulike lokaliteter i det innerste bassenget og en lokalitet ved terskelen ved Bakka. Undersøkelsen viste at forholdene i Indre Nærøyfjord hadde forverret seg. Eventuelle årsaker ble foreslått å kunne være økt aktivitet i fjorden i form av utskipning av stein og at det var forandringer i kloakktilførselen ved fjorden.

**Utaaker 1980: *Local Climates and Growth Climates of the Sognefjord Region.***

Undersøkelsen har som formål og studere ulike lokale klimavariasjoner i området rundt Sognefjorden. Topografien i området består hovedsakelig av høye fjell, bratte fjellsider, trange fjorder og daler. Det regionale klimaet forandrer seg fra å være mildt og fuktig nær de kystnære områdene, mens klimaet er tørrere og kaldere innover i dalene hvor det er høyere over havet og større avstand til Golfstrømmens innflytelse på fjordvannet. Ved å studere de lokale klimaforandringene skal også forholdet mellom klima og plantevekst undersøkes i samme området. Rapporten viser at veksts sesongen avtar betydelig fra kystområdene og innover i innlandet. Viktige egenskaper for veksts sesongen er hovedsakelig bestemt av topografien (høyde over havet og utsettelse for sollys) og avstanden fra åpent hav og fjord.

## **Blomvik & Yttredal 2015: Vestnorsk fjordlandskap – Eit laboratorium for bærekraftig utvikling, FoU-strategi for Vestnorsk fjordlandskap 2015-2020**

Det har i perioden januar 2014 til juni 2015 blitt utarbeidet en FoU-strategi for Vestnorsk fjordlandskap, med delområdene Geirangerfjorden og Nærøyfjorden. Hovedmålsettingene for FoU-strategien er at Vestnorsk fjordlandskap skal være et sted for læring, kunnskapsutvikling og for å prøve ut nye bærekraftige løsninger. Bærekraftig utvikling i Vestnorsk fjordlandskap omhandler sosial og økonomisk utvikling i lokalsamfunnet og i randsonen rundt verdensarvområdet. Bærekraftig utvikling skal samtidig bidra til å verne om og å bevare naturverdiene av «Outstanding universal value» (OUV).

### 3 Metode

#### 3.1 Metoder i felt

##### 3.1.1 Prøvetaking av sediment

Henting av sedimentkjernene foregikk sammen med «From Mountain to Fjord» studentene ved Høgskulen i Sogn og Fjordane. For å hente opp kjernene ble det brukt en Niemistö-kjernetaker (Niemistö 1974). Kjernetakeren fires ned i vannet med en stasjonær vinsj på båten. Et PVC-rør inne i prøvetakeren blir fylt med sedimenter når den treffer fjordbunnen. En plate fungerer som lukkemekanisme og legger seg under prøven i det den dras opp av vinsjen (Figur 7).

I båten ble PVC-røret forseglet med lokk i begge ender, teipet og markert med stasjonsnavn. Toppen av kjernen ble fylt med sjøvann før forsegling for å unngå uttørking og for å sikre at sedimentoverflaten forble upåvirket ved transport. Deretter ble kjernene merket på to sider med kjernenummer bestående av toktnummeret «MF2015» etterfulgt av suksessive stasjonsnumre; et nytt stasjonsnummer ble brukt for hver ny prøvetaking. Kjerneprøvene ble også merket med en pil som viser mot sedimentoverflaten. Dette ble gjort med alle kjernene som ble tatt opp. Kjernene ble hentet opp fra ulike lokaliteter i fjorden. Ved lagring og transport ble sedimentkjernene plassert i en kasse som sørget for at de stod vertikalt slik at sedimentene ikke ble forstyrret. Før analyse av kjernene ble de oppbevart på kjølerom for å unngå at kjernene tørket ut.



**Figur 7:** Prøvetaking av sedimentkjerne. Prøvetaking ved hjelp av Niemi-kjernetaker (Niemi 1974).

### 3.1.2 Hydrografisk prøvetaking

**CTD-sonde:** En CTD (Conductivity-Temperature-Depth) sonde (SAIV-204) ble brukt til å registrere konduktivitet, saltinnhold, temperatur, oksygen og tetthet i vannsøylen. Sonden tar målinger hvert andre sekund og ble senket ned ved hjelp av vinsjen i båten. Målingene ble foretatt fra vannoverflaten og ned til et vanddyb på ca. 5 m over fjordbunnen for å unngå kontakt mellom sonde og sediment. Resultatet kan hentes ut og leses av i Excel.

## 3.2 Metoder i laboratorium

### 3.2.1 Åpning av sedimentkjerner

Ved åpning av sedimentkjernene ble først topplokket tatt av og vannet fjernet ved hjelp av en vannslange eller pipette. Etter sikring av sedimentoverflaten med oasis eller papir ble prøven lagt ned horisontalt og plastrøret ble kuttet i to på langs (Figur 8) med en elektrisk metallsaks, Modell JS1660, Makita Corporation Anjo, Aichi, Japan. En nylontråd ble dratt på langs fra bunnen til toppen gjennom kuttene av plastrøret slik at sedimentet kunne deles i to halvdeler. De to halve sedimentprøvene ble glattet ut med en sparkelspade. Før videre analyse ble kjernedyb avmerket på langsiden av plastrørene.



**Figur 8:** Sedimentkjerne MF2015-3 delt i to ved å bli kuttet på langs og tomrommet i plastrøret er fylt med grønn oasis for å sikre sedimentoverflaten.

### 3.2.2 Analyse av sedimentkjerner ved Høgskulen i Sogn og Fjordane

**Visuell analyse:** Alle kjerner ble analysert visuelt direkte etter åpning, før sedimentfargen endret seg grunnet oksidasjon. Kjernene ble beskrevet ut i fra visuelle observasjoner av overflaten. Visuelle variasjoner i kornstørrelse, distribusjon av organiske og uorganiske partikler inkludert organismer og sedimentære strukturer som laminasjon og bioturbasjon ble registrert. Fargenyansene av kjernenes overflate ble beskrevet og navngitt etter Munsell® Soil Color Charts (Munsell 1994). Observasjonene ble brukt til å lage litologiske logger.

**Smørepreparater:** Smørepreparatene ble laget av «From Mountain to Fjord» studentene ved Høgskulen i Sogn og Fjordane. Det ble laget smørepreparater kontinuerlig nedover kjernen ved homogenisering av sedimentmateriale over 0,6 cm tykke sedimentskiver (0,0 til 0,6 cm; 0,6 til 1,2 cm; 1,2 til 1,8 cm og så videre) for kjerne MF2015-1 og MF2015-4. Kjerne MF2015-3 ble undersøkt med forskjellige metoder ved Universitetet i Bergen (se nedenfor). Preparatene lages ved at man tar en tannpirkerspiss av den homogeniserte sedimentprøven over på et dekkglass og blander prøven i én dråpe destillert vann. Etter blanding blir det tilført én dråpe Kodak® PHOTO-FLO før å løse opp overflatespenningen på vannet slik at den blandede prøven kan smøres ut over dekkglasset (med en margin på 0,5 cm på begge kortsider for å unngå kontakt av væsken med fingrene som holder dekkglasset). Dekkglasset limes på et objektglass med limtypen Naphrax (Brunel® Microscopes Ltd.) som har en brytningsindeks på 1,7 og er dermed egnet til å identifisere tynne kiselstrukturer (som for eksempel fra diatoméer) i preparatet. Naphrax er løst opp i Toluén som er et kreftfremkallende løsningsmiddel. Derfor skal preparatene behandles i avtrekkskap så lenge Naphrax ikke er festet som hard lim. Preparatene

varmes opp til 100°C på en kokeplate for å fordampe Toluene limet under en påskrudd avtrekksvifte. Etter fordampning kjøles preparatet ned. Limet skal da være hard som glass. Er limet elastisk betyr det at løsningsmiddelet ikke er fordampet og at fordampningen må fortsette for å unngå helsefare under senere analyse i mikroskop. Smørepreparatene ble merket med kjernenummer og det suksessive kjernedyp. Smørepreparatene ble undersøkt i ett Leitz Aristoplan gjennomlysmikroskop med objektiv på 40x forstørrelse.

**Partikkelanalyse i smørepreparat:** Kornstørrelser ble analysert i smørepreparatene ved å ta gjennomsnitt av den prosentuelle fordelingen av kornstørrelsene sand: 2 mm til 63 µm, silt: 63 til 2 µm og leire: <4 µm (Wentworth 1922) i de minerogene korn fra tre representative områder per preparat. I de samme områdene ble det prosentuelle forholdet mellom minerogene og organiske sedimentkorn slått fast og det prosentuelle forholdet mellom marint organisk materiale og terrestrisk organisk materiale ble bestemt. Marint organisk materiale gjenkjennes i smørepreparat som lysebrune, diffuse aggregater av organiske tråder uten bestemt struktur. Terrestrisk organisk materiale kjennetegnes som mørkebrune til svarte kullbiter med tydelige kanter og/eller organiske fiberstrukturer, inkludert pollen. Alle smørepreparatanalyser følger veiledningen av Rothwell (1989).

**Diatoméanalyse i smørepreparat:** Utvalgte ferskvannsdiatoméer og utvalgte marine diatoméer ble analysert i forhold til den totale mengden talte diatoméer i hvert smørepreparat ved bruk av metoden skissert av Paetzel & Dale (2010). Utvalgte diatoméer er definert som diatoméer som utgjør den største andelen av den respektive diatoméfraksjonen. Følgende ferskvannsdiatoméene ble talt: *Tabellaria flocculosa* og *Eunotia species*. Følgende marine diatoméene ble talt: *Thalassiosira nordenskioeldii*, *Skeletonema costatum* og *Chaetoceros species* (etter Husstedt 1930-1966).

**Askeanalyse i smørepreparat:** Smørepreparatene ble analysert for tilstedeværelse av askekorn på en horisontal linje fra venstre til høyre i toppen av preparatene av kjernene MF2015-1 og MF2015-4. Topplinjen ble valgt basert på resultatene til Kievits (2011) som fant flest askekorn langs topplinjen av smørepreparatene grunnet separering under lagging av preparatene. Alle mineralkorn ble telt i denne øverste linjen og prosentdel askekorn ble beregnet i forhold til det totale antallet mineralkorn. I tillegg ble mineralkorn i midtraden telt på samme vis i smørepreparatene fra begge kjerne på de kjernedyp der det kunne antas å finne aske fra utbruddet av Eyjafjallajökul ifølge den anslåtte sedimentasjonsraten. De tolv øverste preparatene i kjerne MF2015-1 mellom 0 og 7,2 cm og de åtte første preparatene fra 0 til 4,8

cm i kjerne MF2015-4 ble analysert. Estimert sedimentasjonsrate for MF2015-1 er 0,82 cm/år og 0,77 cm/år for MF2015-4 (se 5.2 (b) i denne oppgaven). Utbruddet under Eyjafjallajökull skjedde i år 2010. Det gir følgende utrekning for sannsynlig plassering av askelag i kjernene;

$$\text{MF2015-1: } 0,82 \text{ cm/år} * 5 \text{ år} = \text{ca. } 4,1 \text{ cm}$$

$$\text{MF2015-4: } 0,77 \text{ cm/år} * 5 \text{ år} = \text{ca. } 3,85 \text{ cm}$$

Askekorn skiller seg ut ved at de sees som lyse, gjennomsiktige korn med skarpe og spisse kanter i mikroskopet. Ved funn av flere askekorn kan det tyde på avsetning fra utbrudd av vulkan og sedimentlaget kan dateres tilbake til utbruddet (Kievits 2011).

**Glødetapanalyse (LOI):** Glødetap (LOI – Loss on Ignition) er en metode for bestemmelse av prosentandel av den totale mengden organisk materiale og kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i sediment. Glødetap ble målt på en heraeus hamaun. Metoden måler forskjellen mellom tørrvekten av en prøve i forhold til vekten av prøven etter at det totale organiske materiale ble brent bort ved  $550^\circ\text{C}$  og etter at den totale  $\text{CaCO}_3$ -fraksjonen ble brent bort ved  $950^\circ\text{C}$ . Metoden er en standardmetode som fulgte prosedyren og beregningene beskrevet for eksempel av Santisteban et al. (2004).

### 3.2.3 Analyse av sedimentkjerner ved Universitetet i Bergen

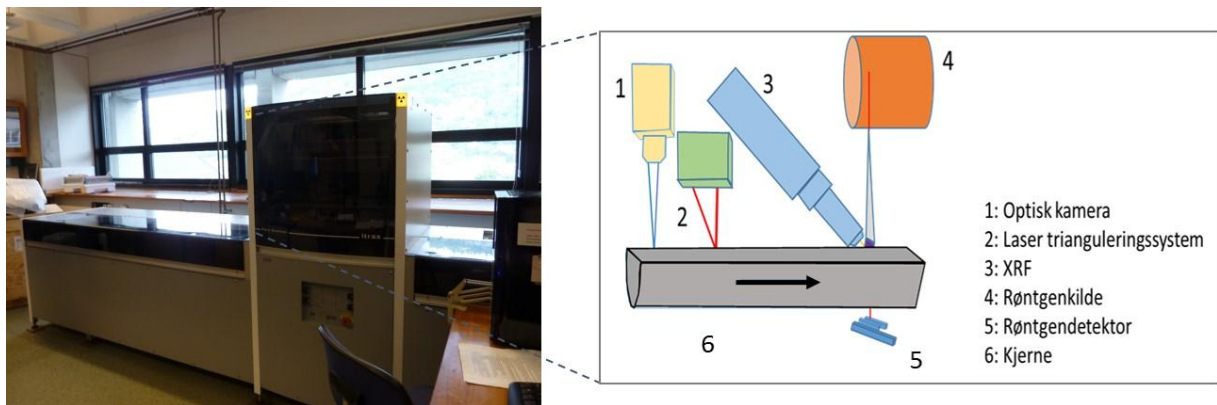
Alle geokjemiske og sedimentologiske laboratorieanalyser av kjerne MF2015-3 ble utført på Institutt for geovitenskap ved Universitet i Bergen i tidsperioden fra 23.09.2015 til 24.09.2015.

Ved Universitet i Bergen (UiB) ble en Itrax kjerneskaner og Geotek Multi-sensor kjerne logger (MSCL) brukt til å utføre analyser av kjerne MF2015-3. Itrax kjerneskaner (Figur 9) kombinerer X-ray fluorescens (XRF), røntgen diagnostikk og optiske bilder. Analysemetoden er ikke-destruktiv og maskinen trenger ikke å være i kontakt med kjernen (Croudace et al. 2006). MSCL ble brukt for å måle massetettheten.

**Røntgenflourence (XRF):** En XRF-undersøkelse analyserer den geokjemiske sammensetningen, her i sedimentkjerne MF2015-3. Skanneren sender røntgenstråler til sedimentmaterialet som skal analyseres. Prinsippet består i at røntgenstråler ble sendt ut, treffer atomene i det partikulære materialet i sedimentene og blir reflektert som sekundære røntgenstråler av de enkelte atomene. Den spesifikke atomsammensetningen av de enkelte



elementene fører til at hvert element reflekter disse sekundære røntgenstrålene med en karakteristisk bølgelengde som kan måles. Denne målte karakteristiske bølgelengden er indikativ for de enkelte elementene og resulterer i en relativ angivelse av mengden av de enkelte elementene (i cps; counts per second) i sedimentprøven (Jenkins et al. 1995). I oppgaven blir XRF brukt som et relativt mål for endringer av elementsammensetningen i fjordsedimentene. XRF-målingene ble utført med en intensitet på 50 mA og 35 kV og et krom røntgenstrålerør med en oppløsning på 0,2 mm.



**Figur 9:** Figuren viser Itrax kjerneskaner med XRF- og røntgensystem. 1: Optisk kamera. 2: Laser trianguleringssystem. 3: XRF. 4: Røntgenkilde. 5: Røntgendetektor. 6: Kjerne (figuren laget etter Croudace et al. 2006).

**Røntgen:** Røntgenbildene viser indre strukturer som ikke kan observeres ved visuell analyse. Bildene er skyggebilder som viser tetthetsforskjell. I oppgaven blir områder med høy tetthet fremstilt som mørke områder, mens materialet med lav tetthet blir fremstilt som lysere områder. Endringer i homogeniteten i kjernen vil derfor komme til syne. “Exposure time” var 200 ms. Intensiteten som ble brukt var 50 kV og 45 mA.

**Multi sensor kjerne logger:** Målingene ble utført på en Geotek Multi-sensor kjerne logger. Loggingen foregår ved at kjerneseksjonen blir skyvet gjennom ulike sensorer av en liten motor. Sensorer og motor kontrolleres via en datamaskin. I oppgaven er kjerneloggeren brukt for å måle massetetthet. En gamma strålekilde ( $^{137}\text{Cs}$ ) vil sende en svak gammastråle ( $\gamma$ -stråle) gjennom kjernen med en energi på 0,662 MeV ( $10^6$  elektron-volt). Gamma strålingen vil avhengig av tettheten, bli tatt delvis opp i sedimentet. En mottaker er montert på tvers av kjernen og registrerer mengden stråling som når gjennom sedimentet. Tettheten blir deretter beregnet ut i fra disse verdien (http 7). Avstanden mellom hver måling var 0,5 cm.

### 3.2.4 Framboidal Pyritt

Når havbunnen er anoksisk og inneholder mye svovel, kan framboidal pyritt bli dannet i for eksempel hulrom av tomme diatoméskall. En økning av forekomsten av framboidal pyritt kan tyde på ett mer anoksisk miljø i fjorden.

Smørepreparatene til MF2015-1 og MF2015-4 ble undersøkt med ett Leitz Aristoplan gjennomlysmikroskop i 40x forstørrelse. Preparat for hver tiende centimeter ble undersøkt i tre vilkårlige områder i smørepreparatet. De tomme diatoméskallene og de som inneholdt framboidal pyritt ble talt og det ble beregnet ett forholdstall mellom tomme og fulle diatoméskall med pyritt.

### 3.3 Datering

Metoden til Paetzel & Dale (2010) ble brukt for å finne en relativ datering for sedimentkjernene. Variasjoner i mengden ferskvannsdiaatoméer gir informasjon om variasjoner i ferskvannstilførselen til fjorden, noe som i stor grad preges av den årlige nedbørmengden i området. Paetzel & Dale (2010) relaterte på denne måten kjerner fra Barsnesfjorden og Sogndalsfjorden til lokale nedbørsdata og bekreftet denne relasjonen med den radiometriske  $^{137}\text{Cs}$  dateringsmetoden (Paetzel & Schrader 1991) og med avsetning av sesonglaminasjoner samt avsetning fra historisk dokumenterte hendelser (Paetzel & Schrader 1992; Kievits 2011). De konkluderte med at en relasjon mellom nedbørsmønster og ferskvannsdiaatoméer kan brukes under forbehold som datering i områder der det ikke foreligger radiometriske dateringer. Forbeholdet gjelder usikkerheten i rett tilordning av den yngste nedbørstoppen samt mulige andre parametere som kan ha innflytelse på utseende av ferskvannsdiaatomégrafene (vassdragsregulering med mer). Uansett burde størrelsesorden av denne «klimadateringen» og resulterende sedimentasjonsrater ligge i nærheten av de reelle verdiene. Dateringen i denne oppgaven vil relateres til lokale nedbørsdata. Nærmeste målestasjon for nedbør ligger i Aurland.

Det er gjort sammenligninger mellom nedbørmengder og ferskvannsdiaatoméer i kjerne MF2015-1 og MF2015-4. De ulike sedimentære strukturene i sedimentkjernene vil kunne sammenlignes. Ved bruk av denne metoden skal de ulike kjernene relateres til hverandre.

For tidfesting av kjernene vil det også gjøres forsøk på å finne askepartikler fra vulkanutbruddet under Eyjafjallajökull i 2010. Askekorn som etter all sannsynlighet stammer fra utbruddet av



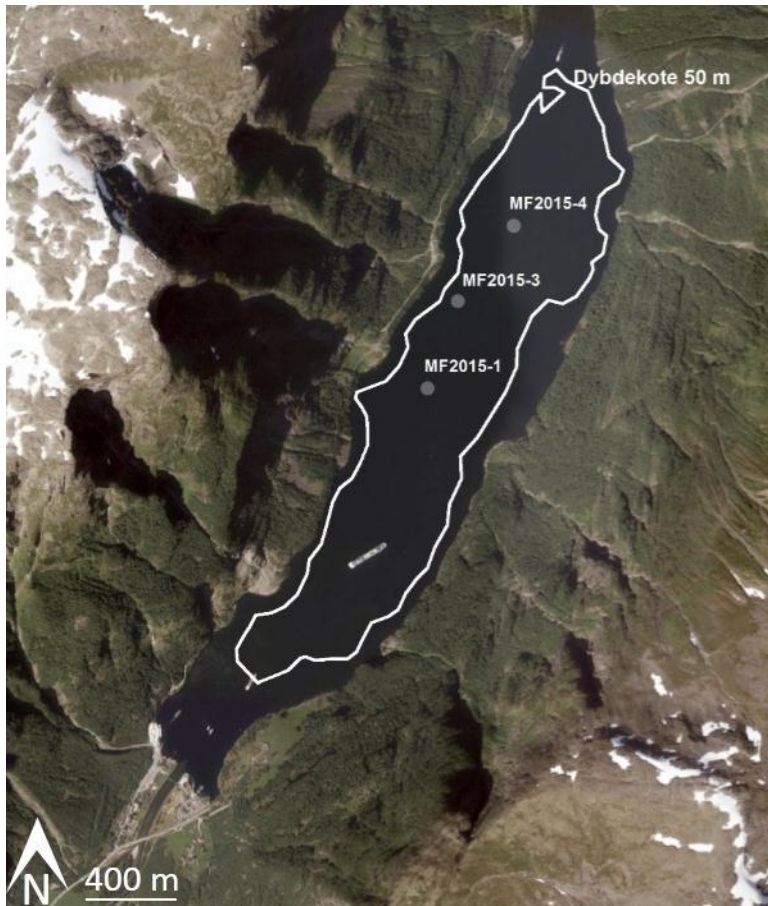
vulkanen under breen Eyjafjallajökull på Island i april 2010 ble tidligere tolket fra sedimentene fra Sogndalsfjorden av Kievits (2011). For datering av sedimentene ble det forsøkt å identifisere askekorn fra samme hendelsen også i sedimentene fra Nærøyfjorden (se 3.2.2 askeanalyse i smørepreparat).

## 4 Resultat

I det foreliggende arbeidet er det brukt tre sedimentkjerner, kjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4. De tre kjernene er alle fra det anoksiske bassenget i Indre Nærøyfjorden (Tabell 4 og Figur 10). Fullstendige analysedata og rådatagrafer fra alle sedimentkjerner finnes i vedlegg (vedlagt CD).

**Tabell 4:** Koordinater og vanndyp for prøvestasjonene av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4.

<b>Kjernenummer</b>	<b>Lengdegrad (nord)</b>	<b>Breddegrad (øst)</b>	<b>Vanndyp (meter)</b>
MF2015-1	60°53,764'	06°51,856'	76,6
MF2015-3	60°53,995'	06°51,993'	77,3
MF2015-4	60°54,157'	06°52,107'	76,5



**Figur 10:** Flyfoto av Indre Nærøyfjord ([http 4](http://4)) viser lokalisering av kjernen MF2015-1 (76,6 m), MF2015-3 (77,3 m) og MF2015-4 (76,5 m). Hvit linje viser dybdekote 50 m i Indre Nærøyfjord.

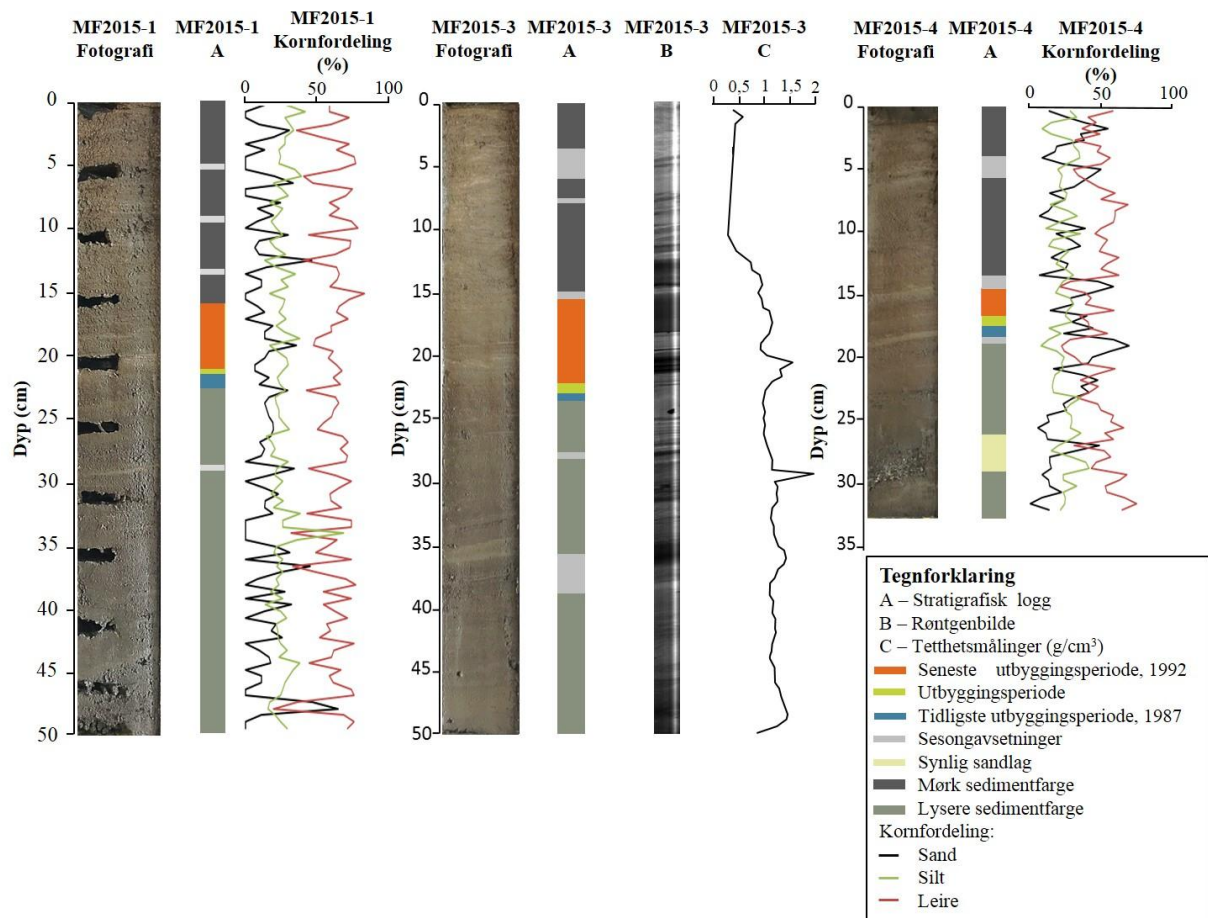
#### 4.1 Åpning og analyse av kjerne

Sedimentkjerne MF2015-3 ble åpnet i Bergen, hvor det ble tatt X-ray fluorescense (XRF), røntgendiagnostikk og optiske bilder. Det ble også tatt røntgenbilder av MF2015-3. Kjernene MF2015-1 og MF2015-4 ble åpnet i Sogndal og analysert med smørepreparater, glødetap og visuell analyse.

#### 4.2 Litologi av kjerne

I Figur 11 vises en litologisk logg av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4. For kjerne MF2015-3 vises det fotografi, røntgenbilde og tetthetsgraf, mens for kjernene MF2015-1 og MF2015-4 vises fotografi og kornfordeling. Dette er gjort for å få et visuelt inntrykk av hvordan litologien av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4 kan være og hvordan kjernene kan relateres med hverandre. Fotografiene av kjernene er tatt etter at sedimentene har oksidert, fargen på bildet vil derfor ikke være den naturlige fargen til

sedimentene. Det er tatt hensyn til dette og litologien er tolket ut i fra hvordan de oksiderte sedimentene ser ut.



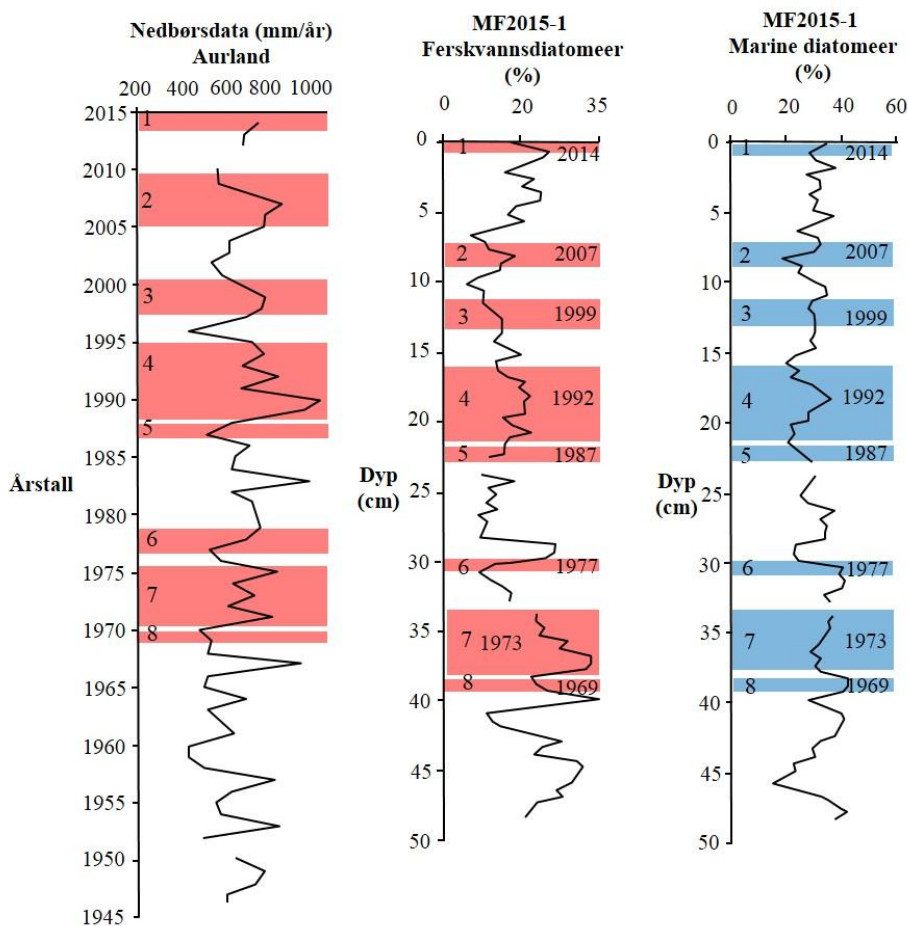
**Figur 11:** Fotografier (tatt etter at kjernene er oksidert, altså ikke den reelle fargen til sedimentet), stratigrafisk logg og kornfordeling (%) for sedimentkjerne MF2015-1 og MF2015-3. For MF2015-3 blir det vist fotografi, stratigrafisk logg, røntgenbilde og tetthetsmålinger.

Sedimentene i kjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4 har en jevn fargeendring gjennom kjernen, ved at de i originalfargen blir gradvis mørkere mot toppen. Fotografiene av MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4 er tatt etter at sedimentene er oksidert, derfor har de en lysere farge enn de sedimentene ville hatt rett etter kjerneåpning. Fargene er tolket av sedimentene som ikke har blitt utsatt for oksidering. Toppen av kjernen har en mørkere farge enn sedimentene lengre ned i kjernene. De mørkeste fargene er tolket, med hensyn til Munsell fargekart (Munsell 1994), til å være 10YR 2/1 black, 7.5YR 2.5/1 black og 5Y 2.5/1 black i de øvre ca. 15 cm av alle tre kjerner. Det er observert et fargeskille fra ca. 15 cm og nedover i alle tre kjerner. Nedenfor er sedimentene mer olivenfarget. Her er fargenyansene tolket til 2.5YR 2.5/1 black, 10YR 2/2 very dark brown og 7.5YR 3/1 very dark gray.

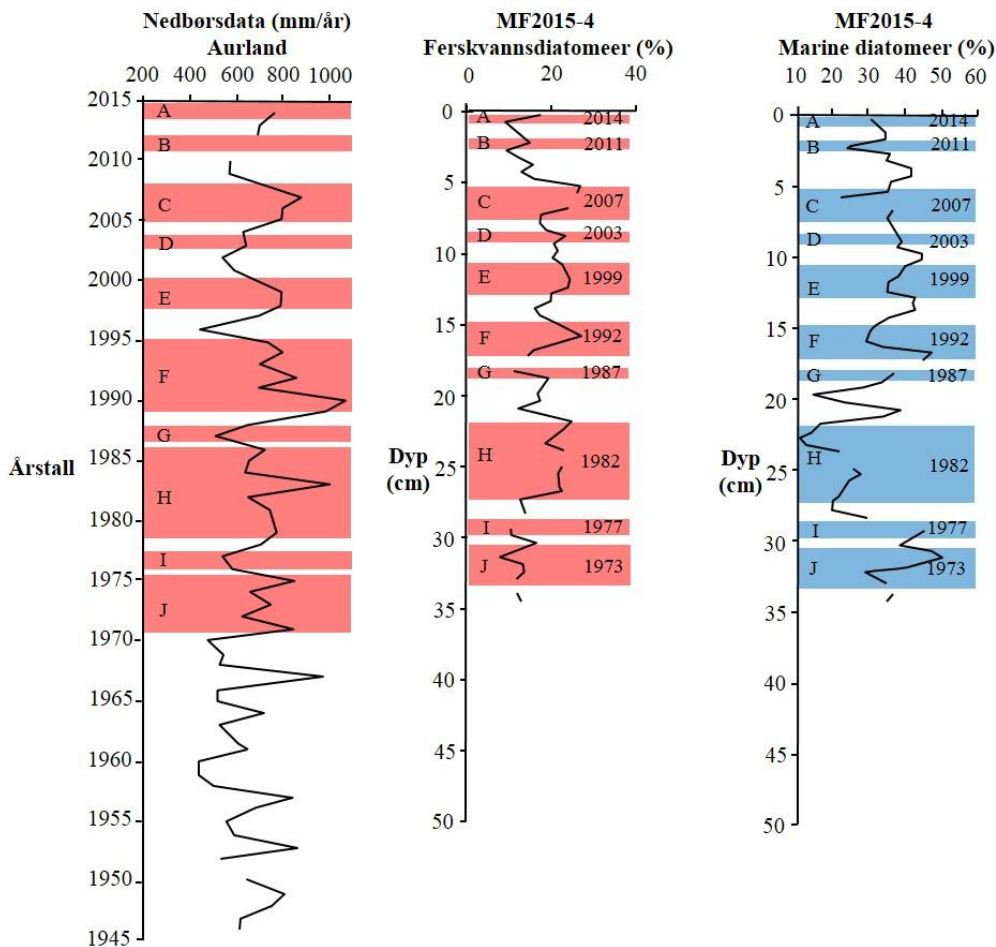
I sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4 er det observert laminasjon, det vil si tynne, lysere lag som skiller seg ut fra det mørke sedimentet. Laminasjonen varierer fra 0.5 til 1,5 cm i tykkelse og finnes gjennom hele kjernen. Sedimentene består for det meste av leire og silt, men i MF2015-4 kan man tydelig se et lag bestående av grove sandkorn. Sandlaget er ca. 2 cm tykt og lokalisert på et dyp fra 28-30 cm.

### 4.3 Datering

Det ble laget 166 smørepreparater fra kjerne MF2015-1 og MF2015-4. Undersøkelser av 20 av 166 de smørepreparatene medførte ett askefunn. Dette er ikke tilstrekkelig for å kunne bruke askepartikler fra utbruddet ved breen Eyjafjallajökull i 2010 som dateringsmetode. Det er derfor gjort relative dateringer kun ved å sette opp relasjoner mellom nedbørsmengde og ferskvannsdiatoméer i begge kjernene (Figur 12 og Figur 13).



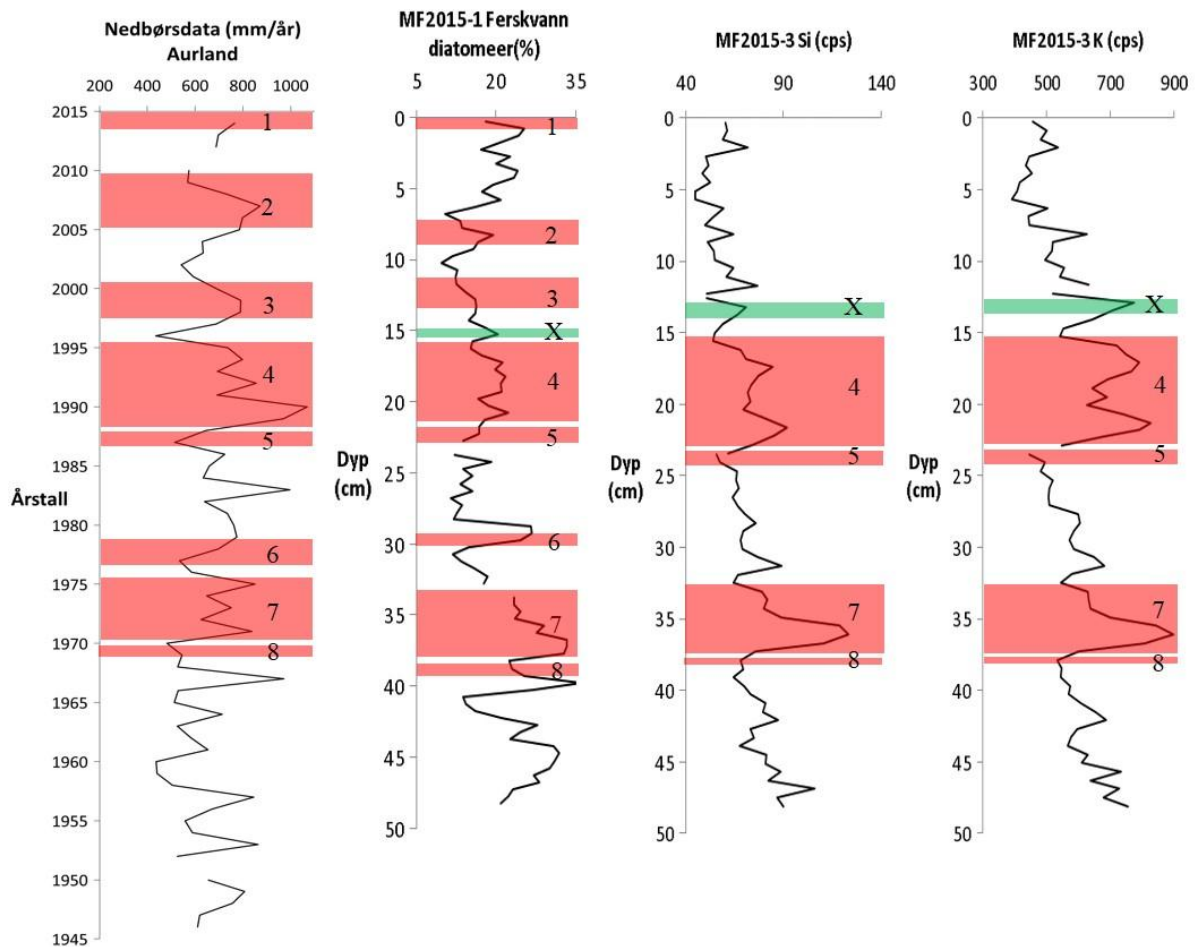
**Figur 12:** Relatering mellom nedbørsmengde (mm/år) i Aurland, ferskvannsdiatoméer og marine diatoméer for sedimentkjerne MF2015-1. Figur etter Paetzel M. Topper (rød markering) ved nedbør relateres med topper (rød markering) ved ferskvannsdiatoméer MF2015.



**Figur 13:** Relateres mellom nedbørmengde (mm/år) i Aurland, ferskvannsdiatomeer og marinediatomeer for sedimentkjerne MF2015-4. Korrelering etter Paetzl M. Topper (rød markering) ved nedbør relateres med topper (rød markering) ved ferskvannsdiatomeer MF2015.

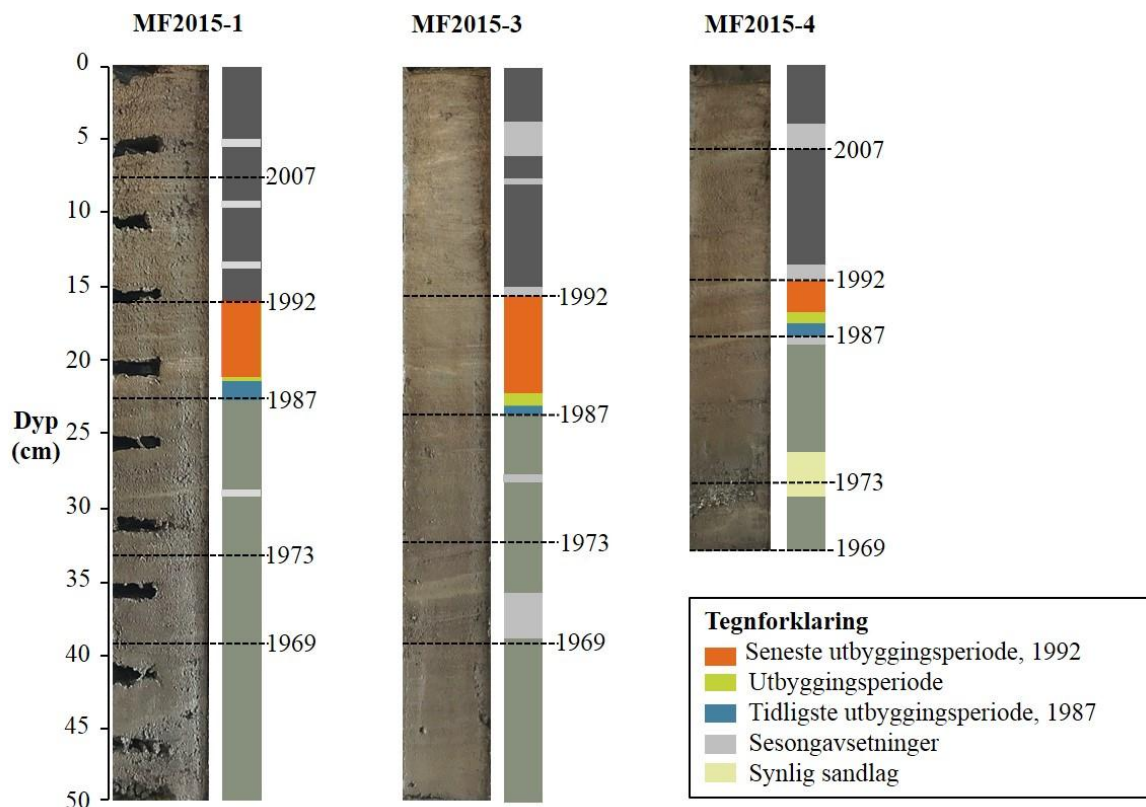
Det er ikke gjort analyser for ferskvannsdiatomeer for sedimentkjerne MF2015-3, det er isteden blitt satt opp relasjoner mellom nedbørmengde og mengden silisium (Si) og kalium (K) (Figur 14). Det er brukt silisium og kalium siden kilden til disse to elementene mest sannsynlig er mineralene i bergartene i Nærøydalen og omegn. Silisium finnes i alle bergartene utenom kvartsitt, mens kalium finnes i amfibolitt, gneis, syenitt og hornblendegneis (Figur 4, Tabell 1 og Tabell 2). Ved finne relasjoner mellom ferskvannsdiatomeer for kjerne MF2015-1 og silisium og kalium i kjerne MF2015-3, er det funnet en topp (grønn markering figur 14) som ikke kan relateres til nedbørsdata fra Aurland. Ferskvannsdiatomeer bruker silisium til å bygge skal, der er derfor naturlig at de har samme topp. Kalium har sin kilde i bergartene rundt Nærøyfjorden. Siden avrenning fra land er kilden for ferskvannsdiatomeer, silisium og kalium, kan X (Figur 14) vise en endring i avrenning som er uavhengig av mengden nedbør.





**Figur 14:** Relasjon mellom nedbørsmengde (mm/år) for Aurland, ferskvannsdiaatoméer i MF2015-1 og silisium (Si) og kalium (K) i kjerne MF2015-3 (etter Matthias Paetzel 2016, *personlig* meddelelse). Røde markeringer er toppler som stemmer med nedbør, mengde ferskvannsdiaatoméer og mengde silisium og kalium. Grønn markering er toppler som kun kan korreleres mellom ferskvannsdiaatoméer og silisium og kalium.

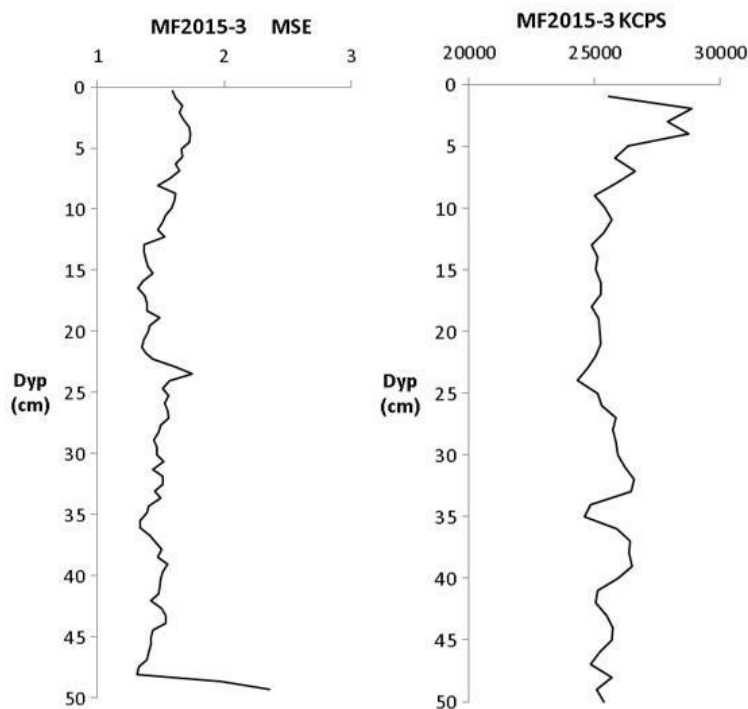
Grafene og relasjonene i Figur 12, Figur 13 og Figur 14 gjør det mulig å gjøre en relativ datering av sedimentene (Figur 15). Figur 15 viser en relativ datering av sedimentkjernene, som et resultat av relasjoner mellom nedbørsdata, ferskvannsdiaatoméer, silisium og kalium. Avrenningen kan ikke gjenspeile nedbørsmengden eksakt, da det ikke er tatt hensyn til at vanntilførselen til Nærøydalselvi er regulert for vannkraft eller økende vanntilførsel som følge av snøsmelting.



**Figur 15:** Relativ datering av sedimentkjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4. Datering basert på relasjoner mellom nedbørsdata for Aurland, ferskvannsdiatoméer i MF2015-1 og MF2015-4 og mengden silisium (Si) og kalium (K) i MF2015-3. Datering for 1992 og 1973 viser øvre grense for de samme årstallene. Datering for 1987 og 1969 viser nedre grense for de samme årstallene.

#### 4.4 Elementer, MF2015-3

**Mean standard error (MSE) og kilocountas per second (KCPS):** Figur 16 viser Mean Standard Error (MSE) som gir en indikasjon på påliteligheten til målingene/dataene/resultatene. MSE gir dermed informasjon om kvaliteten på målingene gjennom kjernen. MSE målingene for kjerner MF2015-3 varierer mellom 1,3 og 2,4. Høye målinger over 2,0 regnes som upålitelige målinger og er derfor ikke tatt med i noen av de følgende grafene, men vises i rådatagrafene i vedlegg. Figur 16 viser også KCPS som står for «kilocounts per second», dvs. tellinger angitt i tusen tellinger per sekund. Tellingene ligger mellom 25.000-30.000 kcps og er relativt jevn gjennom hele kjernen. Optimalt bør kcps tellingene ligge på 30.000 +/- 3.000. Tellingene vil bli påvirket hvis sedimentene er våte og om det er organisk materiale tilstede (Haflidason 2016, *personlig meddelelse*). Målingene for MF2015-3 er derfor pålitelige. Alle grafene er beskrevet fra 0-50 cm på y-aksen, mens verdien på x-aksen varierer med mengden element som ble registret i XRF-analysen.



**Figur 16:** Mean square error (MSE) for XRF sedimentkjerne MF2015-3 og kilocounts per second (KCPS) målinger for sedimentkjerne MF2015-3.

I de følgende grafene er det satt inn to ulike trendlinjer. Utbyggingsperioden, år 1986-1991 er markert med blå firkant. Det er en trendlinje for perioden før utbyggingen av deltaet, og en trendlinje for perioden etter utbyggingen av deltaet i Gudvangen.

**Silisium, svovel, kalium, jern og titan:** Figur 17 viser grafene for silisium (Si), svovel (S), kalium (K), jern (Fe) og titan (Ti). Alle grafene viser samme trend ved at de synker før utbygging, under utbygging øker kurvene for samtlige grafer, mens verdiene er lave og trendlinjen er svakt synkende etter endt byggeperiode.

**Silisium:** Silisium finnes som silikater i mineraler og bergarter og forekommer i alle bergartene i Nærøydalen (Figur 4, Tabell 1 og Tabell 2). Elementet utgjør om lag 27,7% av jordskorpen og er det nest vanligste grunnstoffet. Silisium kan finne som et fritt grunnstoff i sand (Brady 2000). Figur 17 viser grafen til silisium i kjerne MF2015-3. Grafen viser at silisium synker før og etter utbygging av deltaet i Gudvangen. Trenden før utbyggingen er jevnt synkende, men har et toppunkt ved ca. 35 cm dyp i kjernen. Midt i utbygging øker silisium, men synker mot slutten av byggeperioden. Etter utbygging synker kurven videre mot et lavere nivå i toppen av kjernen.

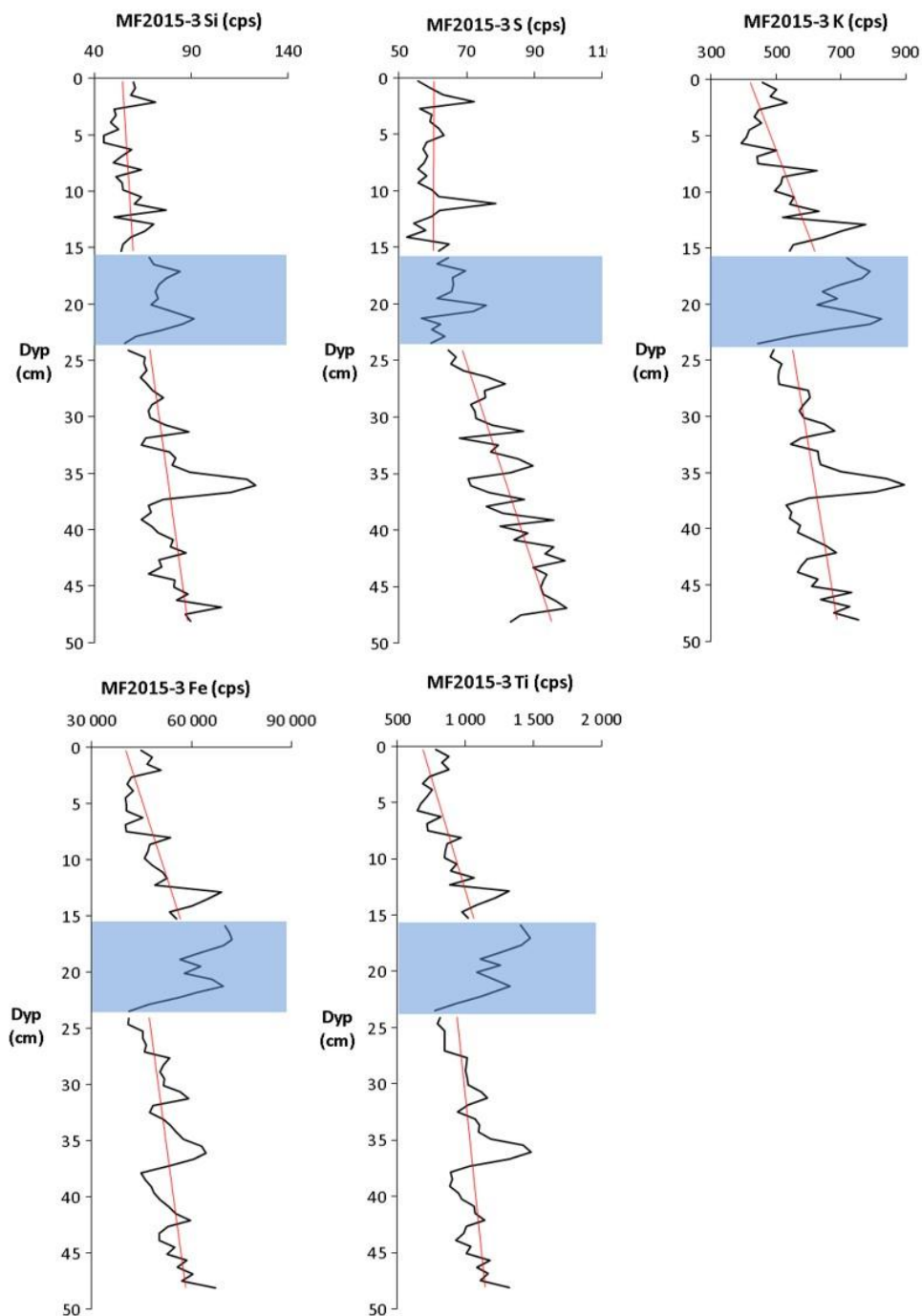


**Svovel:** Svovel er et vanlig grunnstoff i naturen (Brady 2000). Vanlig dannelsesmåte er ved bakteriell reduksjon fra sulfatmineraler. Pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) er det vanligste av alle sulfatmineraler. Svovel forekommer i omtrent alle bergarter (Prestvik 2005). Det finnes som sulfation i havet og danner forbindelser med de fleste metaller og ikke-metaller. Svovel kan sammen med hydrogen danne gassen hydrogensulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), gassen blir frigjort i naturen ved nedbryting av organisk materiale uten oksygen (Brandy 1990). Grafen for svovel viser samme tendens som silisiumgraf. Svovelkurven synker før utbygging, men har ett toppunkt ved om lag 35 cm. I utbyggingsårene øker kurven mot slutten, men minker etter utbygging. Trendlinjen flater ut mot toppen av kjernen

**Kalium:** Kalium opptre i alle bergartene i Nærøyfjorden utenom kvartsitt og anortositt (Tabell 1 og Tabell 2) og finnes i organisk materiale (http 8). Grafen ligner silisium og svovel, toppunktet ligger ca. ved 35 cm og trendlinjen synker før og etter utbygging. I utbyggingsperioden øker kaliumkurven, men synker mot toppen av kjernen.

**Jern:** Jern er i alle bergartene i Nærøydalen (Tabell 1 og Tabell 2) utenom anortositt og kvartsitt, og er det fjerde mest vanlige grunnstoffet (http 8). Mengden jern minker før utbygging. Under utbygging øker kurven. Toppunktet ligger rundt dyp 17 cm i kjernen, kurven synker fra det punktet og mot toppen av kjernen.

**Titan:** Titan finnes ikke rent i naturen, men er det niende mest vanlige grunnstoffet på jorden og finnes i flere mineraler (http 10). I bergartene rundt Nærøyfjorden finnes titan i mangerittsyenitt (Tabell 1 og Tabell 2). Grafen til titan ligner silisium, svovel og kalium. Den har toppunkt ved ca. 35 cm dyp i kjernen, kurven øker under utbygging og trenden minker etter utbyggingen av deltaet.



**Figur 17:** Figuren viser grafer for silisium (Si), svovel (S), kalium (K), jern (Fe) og titan (Ti) i MF2015-3. Silisium, svovel, kalium, jern og titan har alle en synkende tendens etter utbygging av delta (blå markering).

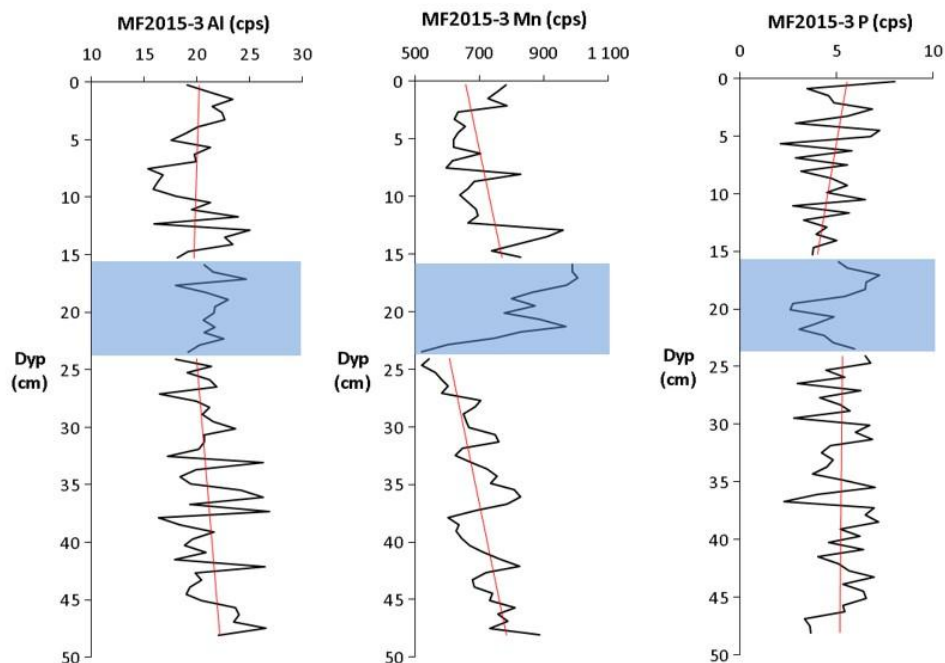
**Aluminium, mangan og fosfor:** Figur 18 viser grafer for mengden aluminium (Al), mangan (Mn) og fosfor (P) i kjerne MF2015-3. Disse grafene vises uavhengig av hverandre.

**Aluminium:** Alle bergarter i Nærøyfjorden inneholder aluminium med unntak av kvartsitt (Tabell 1 og Tabell 2). Aluminium er det tredje vanligste grunnstoffet i jordskorpen (<http> 11).

Kurven (Figur 18) har ingen punkt som skiller seg ut gjennom kjernen. Tendensen er stabil både før, under og etter utbyggingen av elvedeltaet.

**Mangan:** Mangan er vanlig i jordsmonnet og i organisk material (http 12). Før utbygging synker kurven (Figur 18), mens under utbygging øker kurven og er på sitt høyeste ved ca. 17 cm dyp. Etter utbygging synker kurven og trenden mot toppen av kjernen.

**Fosfor:** Fosfor forekommer alltid i forbindelser med andre element og binder seg med de fleste metaller og ikke-metaller. Fosfor er viktig i jordbruket for å øke produksjonen av nyttevekster (Brandy 1990). Det er ikke fosfor i berggrunnen i områder rundt Nærøyfjorden (Tabell 1 og Tabell 2). Trenden til kurven (Figur 18) er stabil. Det er ingen punkt som skiller seg ut i noen av tidsperiodene.

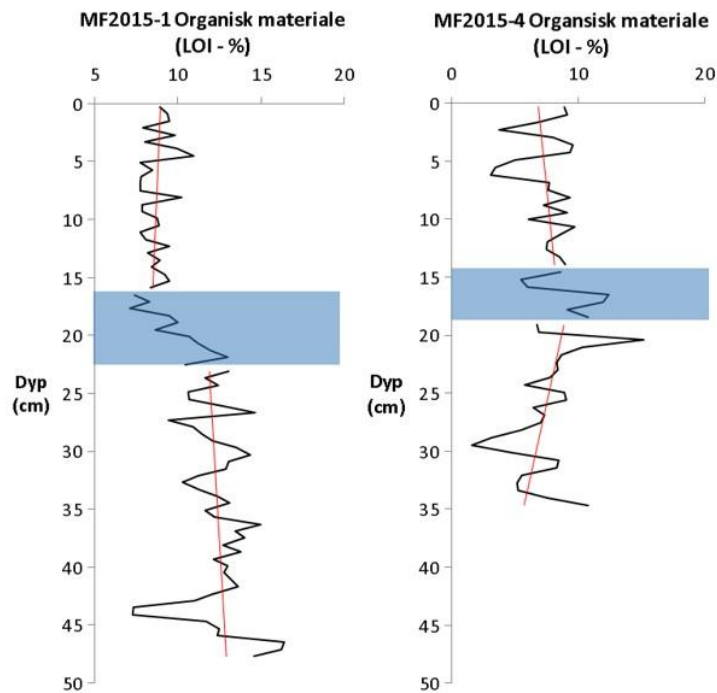


**Figur 18:** MF2015-3, grafer for aluminium (Al), mangan (Mn) og fosfor (P). Den blå boksen markerer utbyggingsårene 1986-1991. De røde linjene er trendlinjer for før og etter utbygging av elvedeltaet.

#### 4.5 Organisk materiale (Loss on Ignition, LOI)

Organisk materiale i sedimentkjernene er et resultat av marin primærproduksjon og terrestrisk materiale. Figur 19 viser at mengden organisk materiale i kjerne MF2015-1 har sunket mot slutten av utbyggingsårene og ikke kommet seg opp på nivået det lå på i forkant av utbyggingen

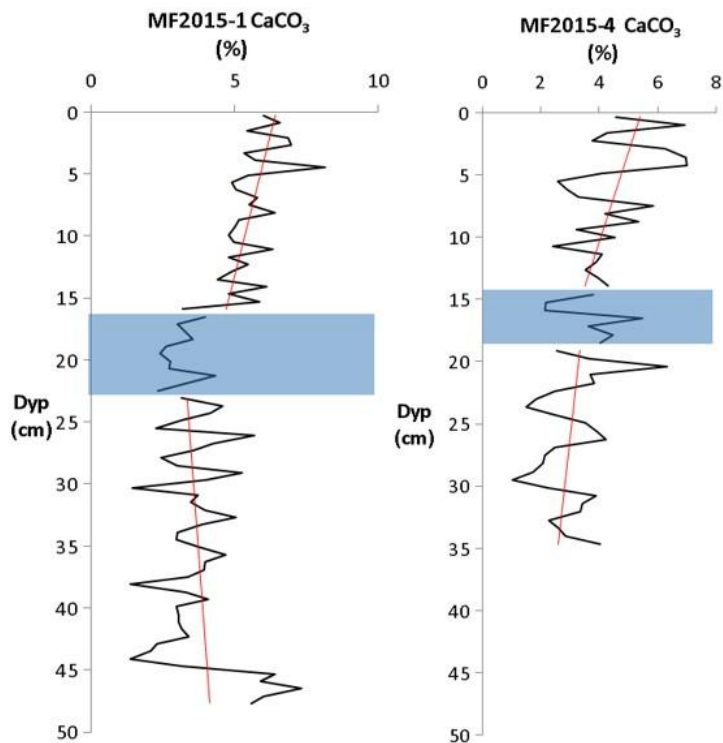
av deltaet. Figur 19 viser at mengden organisk materiale i kjerne MF2015-4 økte før utbyggingen, hadde toppunkt under utbygging, men synker gradvis mot toppen av kjernen.



**Figur 19:** Grafer for organisk materiale i sedimentkjerner MF2015-1 og MF2015-4. Grafen for MF2015-1 viser en svak nedgang i organisk materiale før utbyggingen. Under utbygging av delta synker mengden, og mengden organisk materiale stabiliserer seg etter utbygging. For MF2015-4 øker grafen før utbygging av deltaet. Under utbygging varierer verdiene. Etter utbyggingen av deltaet viser trendlinjen en svak nedgang i organisk materiale for MF2015-4.

#### 4.6 Kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

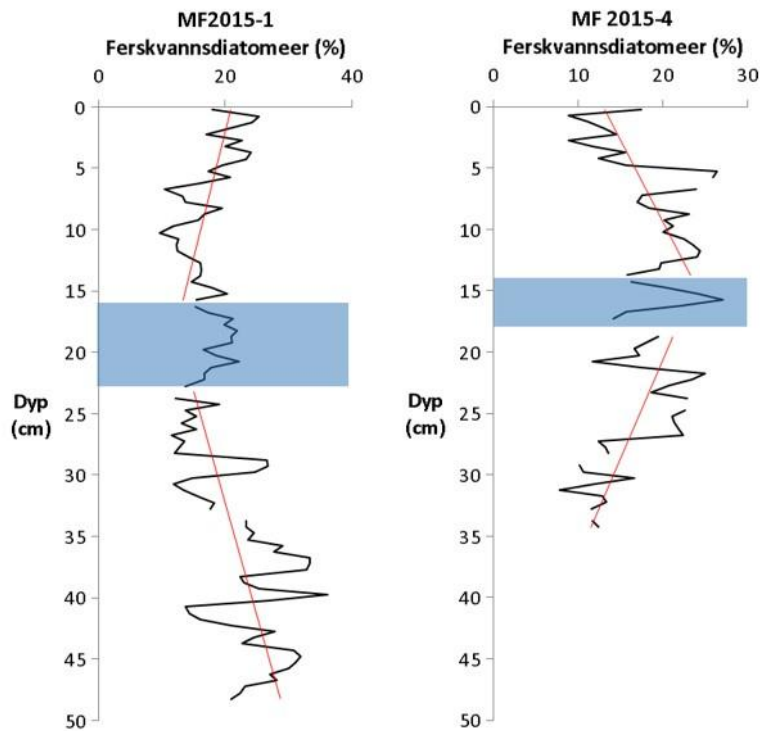
Ved anoksiske forhold kan vannet i fjorden bli mettet av kalsium og det kan utfelles kalsiumkarbonat (Skei 1987). Figur 20 viser mengden kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i sedimentkjerner MF2015-1 og MF2015-4. Grafene viser at mengden kalsiumkarbonat øker etter utbyggingen (markert med blått i Figur 20) av elvedeltaet i Gudvangen.



**Figur 20:** Grafene viser mengden kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) i MF2015-1 og MF2015-4. Grafene viser en tydelig økning etter utbyggingen (blå markering) av elvedeltaet i Gudvangen.

#### 4.7 Ferskvannsdiatoméer

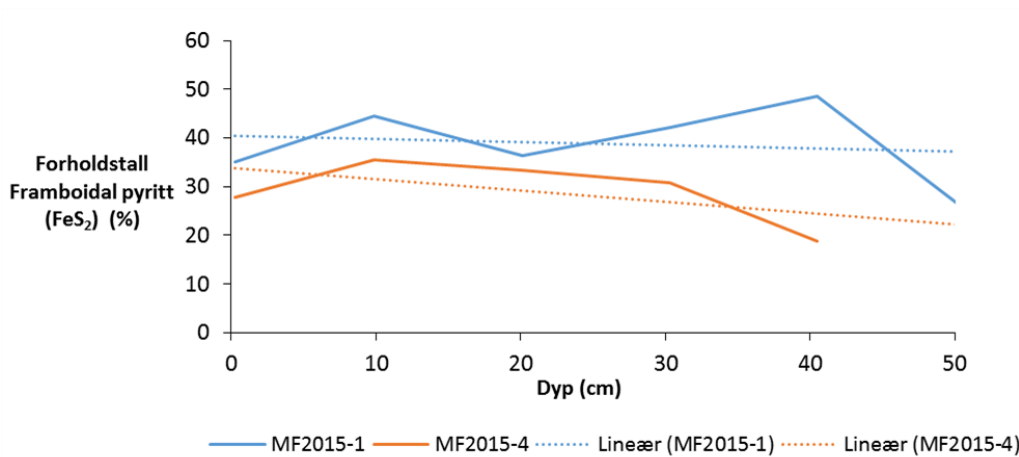
Figur 21 viser mengden ferskvannsdiatoméer i kjernene MF2015-1 og MF2015-4. Grafen for MF2015-1 viser at mengden ferskvannsdiatoméer synker før utbyggingen og at mengden øker etter utbyggingen. Grafen for MF2015-4 viser at mengden ferskvannsdiatoméer har en økning før utbyggingen. Under utbyggingen fortsetter økningen i mindre grad. Etter utbygging ser man en betydelig minking av ferskvannsdiatoméer. Grafen viser motsatt trend av trenden i grafen for ferskvannsdiatoméer i kjerne MF2015-1.



**Figur 21:** Grafene viser mengden ferskvannsdiatomeer i kjerne MF2015-1 og MF2015-3. I MF2015 kan man se en liten øking av ferskvannsdiatomeer etter utbyggingsperioden (blå markering), mens man i MF2015-4 ser en minking i mengden ferskvannsdiatomeer etter utbygging.

#### 4.8 Framboidal pyritt

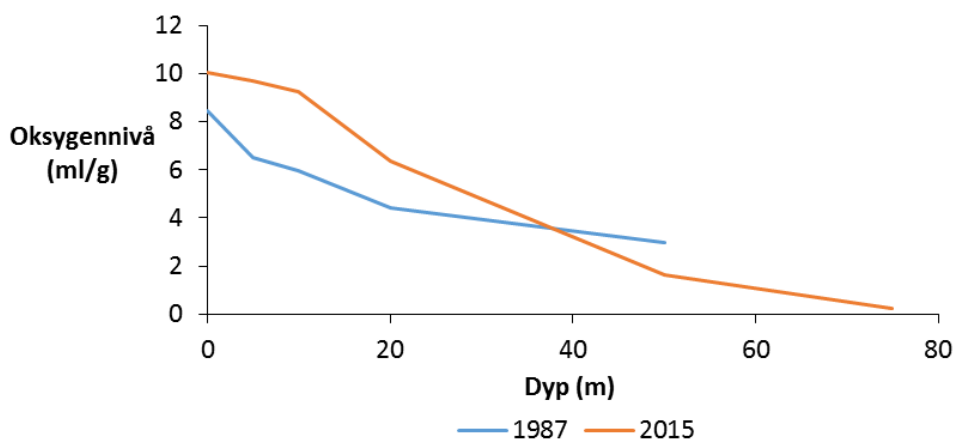
Analysen av smørepreparatene i henhold til framboidal pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) viser en tendens til økning mot toppen av kjernen for kjerne MF2015-1 og MF2015-4 (Figur 22). Dette er kun undersøkt på maksimalt fem kjernedyp og gir derfor kun en pekepinn på utviklingen av pyritt i kjernene. Økende anoksisk miljø kan gi økende fremvekst av framboidal pyritt (se 3.2.4 i oppgaven).



**Figur 22:** Framboidal pyritt (FeS<sub>2</sub>) i MF2015-1 og MF2015-4. Trenden viser en øking av framboidal pyritt mot toppen av kjernen.

#### 4.9 Oksygennivå og temperatur

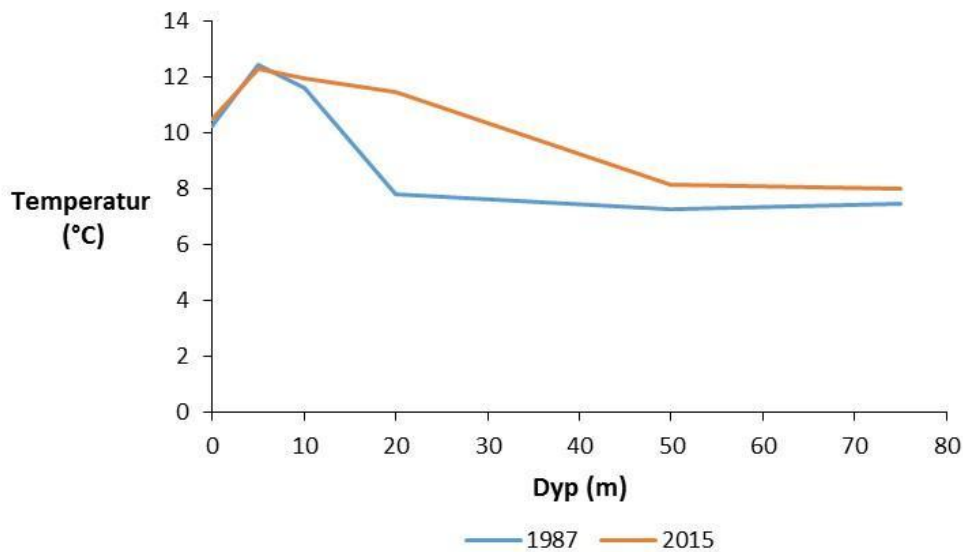
De hydrografiske forholdene i Nærøyfjorden vil avhenge av flere ytre faktorer som vind, avrenning og batymetri (Strøm 1936). I 1987 ble det foretatt hydrologiske undersøkelser av det indre bassenget i Nærøyfjorden (Johannessen & Lønning 1988). Oksygenforholdene ble den gangen registrert som anoksisk og bunnvannet (75 m) inneholdt hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). Resultatene fra prøvene tatt 1. september 2015 har mindre oksygen enn målingene i 1987 (Figur 23). Resultatene fra undersøkelsen indikerer at oksygennivået i fjorden kan ha minket de siste 28 årene.



**Figur 23:** Grafen viser oksygenmålinger målt i år 1987 og 2015. Den blå grafen (1987) viser at oksygenforholdene synker ned til ca. 3 mg/l ved dybde 50 m. Den oransje grafen har oksygenmåling på 0,25 mg/l ved dyp 75 m.



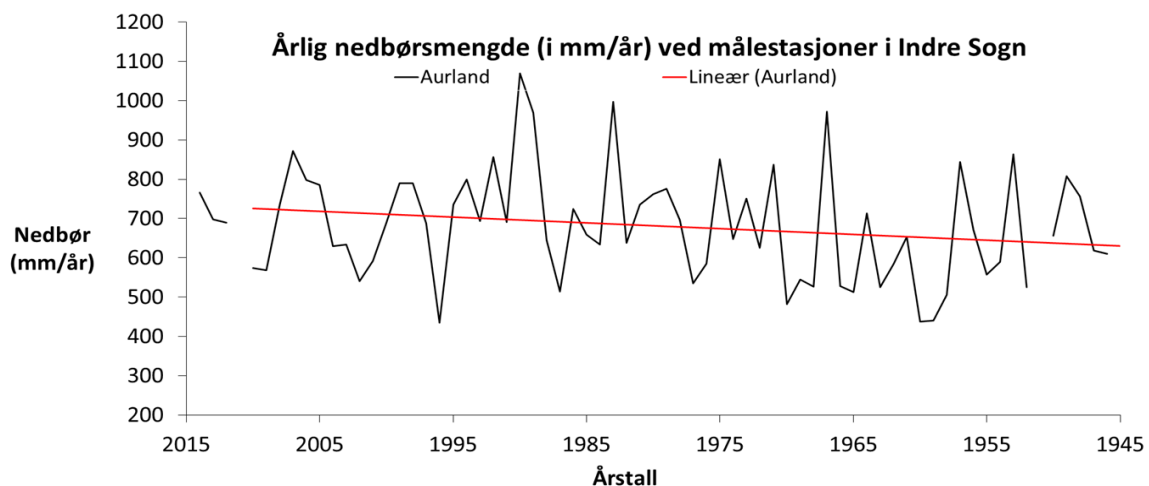
Temperaturmålinger gjort i 1987 (Johannessen & Lønning 1988) og i 2015 (Figur 24) viser at vannet i Nærøyfjorden har hatt en generell temperaturøkning mellom år 1987 og 2015.



**Figur 24:** Oksygenivåer målt i 1987 (blå linje) og i år 2015 (oransje linje). Figuren antyder at temperaturen kan ha økt de siste 28 årene.

#### 4.10 Nedbør

Figur 25 viser graf over nedbørmengde fra målestasjon AURLAND St.no 53700 (eklima.no). Målingene viser mengden nedbør i mm per år fra 1945 til 2015. Grafen viser at mengden nedbør har naturlige svingninger, men at kurven øker generelt over hele tidsperioden.



**Figur 25:** Grafen viser nedbør, mm/år for målestasjon Aurland DNMI-stasjonsnummer 53700, lokalisert i Aurlandsvengen.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Innledning

I denne delen av oppgaven vil resultatene sammenlignes og knyttes opp til påstander og teorier. De litologiske loggene fra kjerne MF2015-1, MF2015-3 og MF2015-4 vil bli relatert til resultatene fra XRF og kjerneskaner. Resultatene vil bli sammenlignet med resultatene fra ulike undersøkelser gjort i fjorder i Norge med lignende batymetri og hydrografiske forhold som i Indre Nærøyfjord.

Ulike dateringsmetoder blir diskutert med tanke på nøyaktighet. Utvikling av oksygeninnholdet i bunnen av Indre Nærøyfjorden vil være i fokus. Siste del diskuterer årsaker og kilder til endringene i sedimentene, enten de er menneskeskapte eller naturlige.

### 5.2 Datering

Dateringsmetoden som er brukt i oppgaven bygger på metoden som Paetzel & Dale (2010) brukte da de studerte sedimentkjerner fra den anoksiske Barsnesfjorden og den tilgrensende oksiske Sogndalsfjorden ved Sogndal, Vest-Norge. Begrensningen i denne dateringsmetoden er at detaljeringsgraden i dateringen går tapt dersom det ikke kan bestemmes et nøyaktig startpunkt på relasjonen mellom de årlige nedbørdata og ferskvannsdiatomégrafen (Paetzel & Dale 2010). På den andre siden ser den generelle størrelsesorden av slike sedimentasjonsrater ut til å tilsvare de faktiske forhold (Paetzel & Dale 2010). For å bekrefte det antatte startpunktet på dateringen (Figur 15) ble det gjort et forsøk på å finne askehorisonten i sedimentene som stammer fra vulkanutbruddet av Eyjafjallajökull i 2010. Dette har tidligere blitt gjort i Sogndalsfjorden av Kievits (2011) som mest trolig fant denne asken i de oksiske sedimentene. I den anoksiske Nærøyfjorden ble det derimot ikke funnet askekorn som kunne relateres til Eyjafjallajökullutbruddet i 2010. Sannsynlige årsaker kan være:

**(a) Sedimentasjonsraten:** Bunnforholdene i Sogndalsfjorden er oksisk; fjorden er på det dypeste 260 m dyp og avsetningsarealet er ca. 146.453 km<sup>2</sup> stor. Disse forholdene resulterer i en sedimentasjonsrate på under 0,1 cm/år (Paetzel & Dale 2010; Kievits 2011). Nærøyfjorden er derimot anoksiske, maksimalt 75 m dyp og har et avsetningsareal på om lag 50.604 km<sup>2</sup>. Disse forholdene kan sammenlignes med de fysiske og hydrografiske betingelsene i den anoksiske Barsnesfjorden som har sedimentasjonsrater på ca. 0,7 cm/år (Paetzel & Dale 2010). Lignende

forskjell mellom sedimentasjonsrater i oksiske og anoksiske fjorder er for eksempel dokumentert fra Vestfjorden ( $<0,2$  cm/år; Haugen 1986) og den anoksiske Bunnefjorden (ca.  $0,5$  cm/år; Skei & Melsom 1982) i Indre Oslofjord. Dette tilsier at i Nærøyfjorden kan forventes en sedimentasjonsrate på  $>0,5-0,7$  cm/år. Ved en slik høy sedimentasjonsrate har det ikke vært mulig å påvise askekorn fra Eyjafjallajökullutbruddet i den anoksiske Barsnesfjorden (Matthias Paetzel 2016, *personlig meddelelse*). Årsaken er trolig at mengden av tilførte askekorn i området var for lav, noe som førte til en sterk uttynning av asken med andre sedimentkorn i den anoksiske Barsnesfjorden som har en høy sedimentasjonsrate ( $0,7$  cm/år), mens en direkte avsetning av askekornene var synlig i den tilgrensende Sogndalsfjorden som har en lav sedimentasjonsrate ( $<0,1$  cm/år).

**(b) Valg av metode for askeundersøkelsen:** En annen mulighet til at askepartiklene ikke ble oppdaget i sedimentene fra Nærøyfjorden, kan være bruk av smørepreparatene eller at askekornene var for små. I den oksiske Sogndalsfjorden fant Kievits (2011) opptil 5-6 askekorn av kornstørrelsen fin silt per smørepreparat i tre smørepreparater. Ved å utregne uttynningseffekten av den over sju ganger høye sedimentasjonsraten i den anoksiske Barsnesfjorden, kan det anslås at det finnes mindre enn ett askekorn per smørepreparat i Barsnesfjordsedimentene. Grunnet lignende sedimentære forhold i den anoksiske Nærøyfjorden kan det også her foreligge en slik uttynningseffekt som ikke gjør det mulig å finne asken med den valgt metoden. Selv bruken av mer avanserte metoder som for eksempel tyngdeseparasjon (Haflidi Haflidason 2011, *personlig meddelelse*, referert til i Kievits (2011)) vil trolig ikke ha ført til et entydig resultat.

Ved bruk av metoden fra Paetzel & Dale (2010) ble det anslått en sedimentasjonsrate på  $0,82$  cm/år i den sørlige delen (MF2015-1) og en sedimentasjonsrate på  $0,77$  cm/år i den nordlige delen av det anoksiske Indre Nærøyfjordbassenget. Dette anslaget er rimelig i forhold til forventet sedimentasjonsrate i slike anoksiske fjordbassenger som for eksempel funnet i den anoksiske Barsnesfjorden (Paetzel & Dale 2010).

I denne sammenheng må det også nevnes at Paetzel & Dale (2010) brukte i tillegg avsetning fra nedfallet av radioaktivt  $^{137}\text{Cs}$  fra Tsjernobylulykken i 1986 (Paetzel & Schrader 1991) og fra det globale nedfallet av  $^{137}\text{Cs}$  fra atombombep prøvesprengningene i 1963 (Pennington et al. 1973) for bekreftelse av sedimentasjonsratene. I tillegg til denne  $^{137}\text{Cs}$ -metoden kan også den såkalte  $^{210}\text{Pb}$ -metoden brukes for å finne sedimentasjonsrater i resente avsatte sedimenter (Koide et al. 1973). Metoden hvor man bruker  $^{210}\text{Pb}$  som dateringsgrunnlag ble utviklet på

1960-tallet og brukes hovedsakelig til å finne sedimentasjonsrater i innsjøsedimenter og i fjordsedimenter innenfor en tidsperiode på opptil 150 år (Walker 2005). I norske fjorder ble  $^{210}\text{Pb}$ -metoden anvendt for første gang ved undersøkelse av sedimentkjerner tatt i Framvaren (Skei 1983) og i Ranafjorden (Skei & Pause 1979). Slike radiometriske metoder ble ikke anvendt i Indre Nærøyfjord.

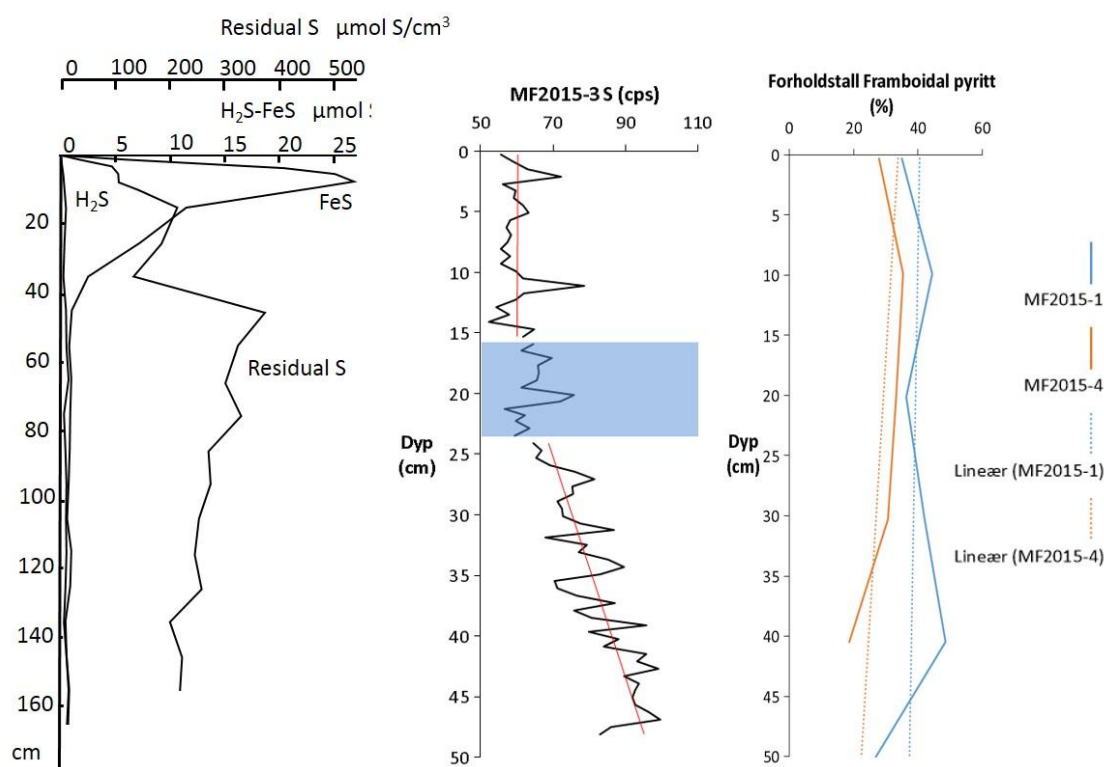
Det ble heller ikke funnet avsetninger etter historisk dokumenterte skred eller andre naturlige hendelser (Paetzel & Schrader 1992) som kunne indikere tidshorisonter i sedimentene fra Indre Nærøyfjord. På den andre siden er det rimelig å anta at utbyggingen av deltaet ved Gudvangen fra 1986 til 1991 har hatt en innflytelse på avsetningen i Indre Nærøyfjord. Disse avsetninger er tolket i alle tre kjerner å ligge mellom ca. 14 og 23 cm kjernedyp og kan brukes til å bekrefte størrelsesorden av sedimentasjonsratene om de entydig kan kobles deltautbyggingen (se de følgende avsnitt).

### 5.3 Anoksiske forhold

Oksygenforholdene i et terskelbasseng i en fjord er gitt ved tilførsel og forbruk av oksygen (Aure & Danielsen 1993). Tidligere undersøkelser gjort i Nærøyfjorden har antydnet minkende oksygeninnhold i bunnvannet av Indre Nærøyfjord (Johannessen & Lønning 1988). Flere av resultatene i denne oppgaven tyder på det samme. Sedimentkjernene fra Nærøyfjorden ble hentet opp fra et anoksiske miljø. Anoksiske forhold har vært kjent siden Gaarder (1916) undersøkte de vestlandske fjorders hydrografi. Strøm (1936) gav ut en avhandling om fjorder som har innestengt vann, altså fjorder med anoksiske miljø. Et anoksiske miljø i en fjord dannes når vannsirkulasjonen blir så redusert at oksygenet i det stagnerende vannet brukes opp ved nedbryting av organisk materiale (Gaarder 1916). Årsaken til lite sirkulasjon i vannet er som oftest fjordenes batymetri. Terskler kan hindre det oksygenrike innkommende havvannet å nå inn til de innerste fjordbassengene (Strøm 1936). Aure & Stigebrandt (1989) utviklet en modell for prediksjon av oksygenforholdene i terskelfjorder kalt «terskelmodellen». Denne modellen viser at det er bassengets terskeldyp i forhold til bassengets midtre dyp som styrer oksygenkonsentrasjonen i et fjordbasseng. Det vises i Nærøyfjorden som har et forhold mellom terskeldyp og midtre bassengdyp på 1:7. Forholdstallet gjør fjorden utsatt for utvikling av anoksiske bunnforhold (Aure & Stigebrandt 1989; Aure & Danielsen 1993).

Svovelinhold i vann og sediment er også en indikator på et anoksiske miljø (Strøm 1936). Økende mengde svovel i vannfasen ( $\text{H}_2\text{S}$ ) vil gi et mer anoksiske miljø. Konsentrasjonen av

residual svovel i Indre Nærøfjord synker kontinuerlig fra 50 cm til 23 cm kjernedyp i kjerne MF2015-3, med konstant lave verdier over de øvre 23 cm fram til sedimentoverflaten. Den midterste grafen i Figur 26 viser residual svovel i kjerne MF2015-3. Residual svovel er den totale mengden stabile svovelforbindelser som kan måles i et sediment. Jørgensen (1977) viser i anoksiske sedimenter fra Limfjorden (Danmark) at konsentrasjonen av residual svovel i anoksiske sedimenter minker når konsentrasjonen av H<sub>2</sub>S-gass øker (Figur 26, grafen til venstre). Han forklarer dette med at en økning i de anoksiske forhold vil øke mengde H<sub>2</sub>S-gass som dannes fra de stabile svovelforbindelsene. Denne prosessen vil føre til en økt produksjon av ustabil jernsulfid (FeS; Figur 26) som danner grunnlaget for dannelsen av semistabil framboidal pyritt (FeS<sub>2</sub>). Semistabile svovelforbindelser blir produsert i anoksiske sedimenter ved sulfatreduksjon eller ved hydrolytisk nedbryting av proteiner i detritus (Jørgensen 1977). En lignende prosess en tenkt til å være årsaken til den minkende konsentrasjonen av residual svovel i kjerne MF2015-3.



**Figur 26:** Grafen til venstre er hentet fra Jørgensen (1977) og viser sammenhengen mellom minkende mengde residual svovel og økende mengde framboidal pyritt (FeS<sub>2</sub>) i avhengighet av dannelsen av H<sub>2</sub>S. Grafen i midten viser at mengden total residual svovel (S) også minker mot sedimentoverflaten i Nærøfjorden. Grafen til høyere viser at mengden framboidal pyritt også øker mot sedimentoverflaten i Nærøfjorden.

Grafen som viser minkende residual svovel i MF2015-3 tolkes til at forholdene i det innerste bassenget i Nærøfjorden har blitt mer anoksiske. Jo mer anoksiske forholdene er i en fjord,

desto større er sannsynligheten til å få dannet framboidal pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) i det anoksiske sedimentet (Jørgensen 1977; Skei 1987a). Funn gjort ved undersøkelser av smørepreparat viser en tendens til at innholdet av framboidal pyritt er svakt økende i Indre Nærøyfjord. Denne svake økningen i forekomsten av framboidal pyritt (Figur 26) kan bekrefte at miljøet i Indre Nærøyfjord er blitt mer anoksiske spesielt etter utbyggingen av deltaet ved Gudvangen fra 1986 til 1991. Grafen dokumenterer også en nedgang i residual svovel allerede før utbyggingen, noe som tyder på at også andre forhold kan ha påvirket nedgangen i oksygenkonsentrasjonen i Indre Nærøyfjord.

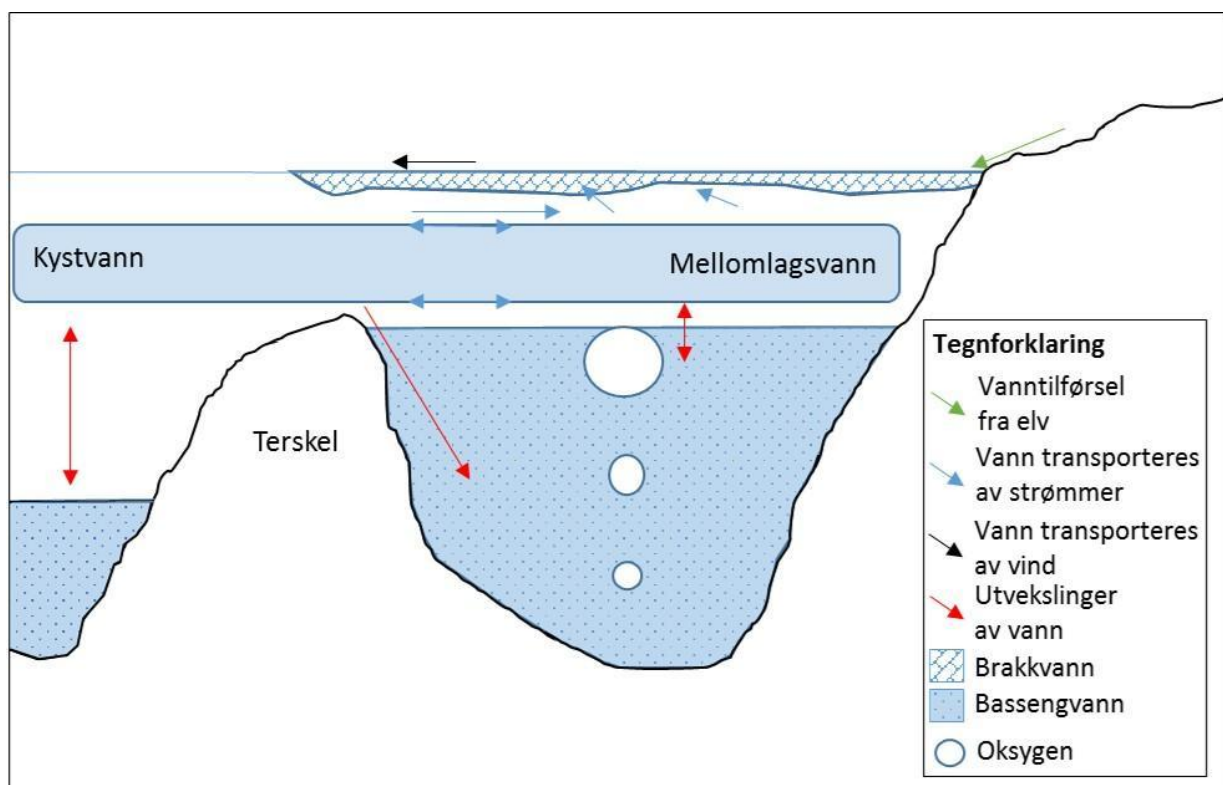
Økende anoksiske miljø vil gi økende mengde kalsiumkarbonat (Skei et al. 1987). Under vedvarende anoksiske forhold kan vannet bli mettet av kalsium og utfelling av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) kan oppstå (Skei et al. 1987). I Nærøyfjorden viser sedimentkjernene en økende konsentrasjon av  $\text{CaCO}_3$  mot sedimentoverflaten av kjerne MF2015-1 og MF2015-4 (Figur 20). Dette støtter opp om tolkningen at Nærøyfjorden er blitt stadig mer anoksiske (Figur 20; illustrert i Figur 29), spesielt siden midten av 1980-tallet.

## 5.4 Mulige årsaker til utvikling av endringer i Indre Nærøyfjord

### 5.4.1 Utvikling av anoksiske forhold

Figur 27 viser prinsippene for tilførselen av oksygen til fjorden gjennom utskiftning og sirkulering av vann (Aure & Stigebrandt 1989). Hovedkilden av ferskvann til Nærøyfjorden er Nærøydalselvi. Ferskvannet blander seg med saltvann fra havet og danner brakkvann. Brakkvannets tykkelse, saltholdighet og temperatur blir gitt av fjordens topografi og lokal meteorologi (Aure & Stigebrandt 1989). Brakkvannet vil strømme fra område nær elveutløpet og utover i fjorden. Saltinnholdet i vannet vil øke jo lenger vannet strømmer bort fra elvemunningen og jo mer det får blandet seg med sjøvann. Når brakkvannet fører bort sjøvannet, blir dette vanntapet kompensert men transport av sjøvann over terskelen inn i fjorden. Denne prosessen kalles estuarin sirkulasjon (Sælen 1976) og er i sine grunnprinsipper allerede beskrevet i Norge av Gaarder (1916). Mellomlagsvannet eller det intermediære vannlaget strekker seg fra det brakke overflatevannet og ned til terskeldypet (Aure & Stigebrandt 1989). I Nærøyfjorden vil dermed mellomlagsvannet strekke seg ned til et dyp på ca. 10 til 12 m. Terskelen stenger for den resterende delen av vannet som blir kalt bassengvannet (Aure & Stigebrandt 1989). Dette bassengvannet blir ofte stående helt stille i perioder. For at

vannet skal endre temperatur og saltinnhold (tetthet) kreves det vertikale turbulente prosesser. Siden tettheten av vannet øker med dypet, blir ikke vannet skiftet ut før nytt og tyngre vann blir tilført over terskelen. For at vannet skal bli skiftet er man avhengig av at turbulent diffusjon. Dette er en prosess hvor turbulens i vannet gjør at lettere vann høyere oppe i vannsøylen blander seg med tyngre vann fra bassengvannet (Skei 1987b). Det er denne sirkulasjonsprosessen som kan ha stoppet opp etter midten av 1980-tallet. Årsaken kan da være en økt stratifisering av vannlagene etter at Nærøydalselvi ble ført gjennom en elvekanal ut i Indre Nærøyfjord, som følge av at det naturlige deltaet av Nærøydalselvi ble bygget ut fra år 1986 til 1991.



**Figur 27:** Figuren viser sirkulasjonsprosessen i vannsøylen og hvordan oksygenivået minker mot bunnen av vannbassengene (figur etter Aure & Stigebrandt A 1989).

#### 5.4.2 Endringer i primærproduksjonen

Marint produsert planteplankton er den viktigste kilden for organisk materiale i bassengvann i terskelfjorder. Produksjonen foregår i den fotiske sonen i vannsøylen (Gaarder 1916) og avhenger av lysintensitet (energi) og næringstilførsel. Kjernerne som har blitt tatt i Nærøyfjorden viser at produksjonen av organisk materiale har endret seg. Kjerne MF2015-1 (Figur 19) viser



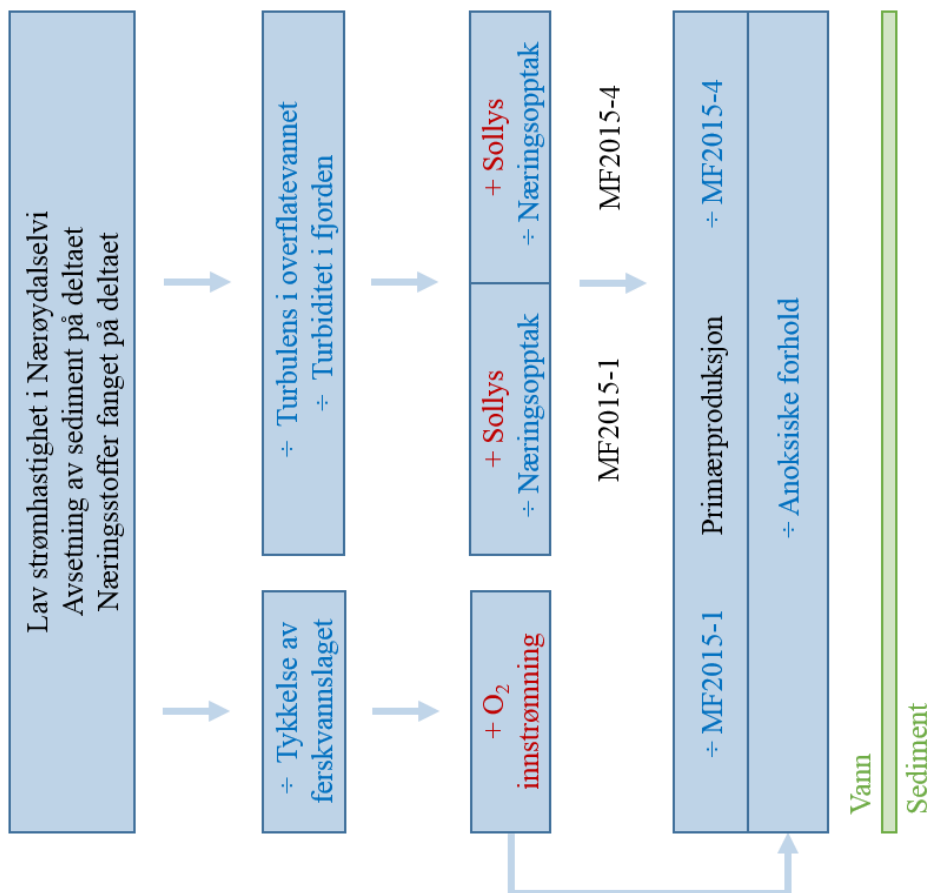
at mengden organisk materiale minket i den sørlige delen av Indre Nærøyfjord (nærmest deltaet ved Gudvangen) etter reguleringen av elvedeltaet. Figur 28 viser hvordan elvedeltaet og elveløpet har blitt endret etter utbygging i perioden fra 1986 til 1991. Figur 29 og Figur 30 viser forholdene i fjorden før og etter utbyggingen av elvedeltaet og elveløpet. Kjerne MF2015-4 som er tatt i den nordlige delen av Indre Nærøyfjord (nærmest terskelen ved Bakka) viser at mengden organisk materiale har økt i det nordlige området etter utbyggingen (Figur 19). Denne observasjonen kan forklares ved at mer næring transporteres med elven ut i fjorden ved at næringsstoffene ikke lenger akkumulerer på deltaet. Dette betyr samtidig at også mer slam transporteres med elven og fordeler seg i den sørlige delen av Indre Nærøyfjord. Dette slammet vil hindre lyset i å slippe gjennom overflatevannet og dermed redusere primærproduksjonen i denne delen av fjorden. Næringsstoffene blir ikke brukt opp og transporteres videre til den nordlige delen av Indre Nærøyfjord. Siden slammassene ikke transporteres helt ut til den nordlige delen av fjorden, vil lyset slippe gjennom vannoverflaten og sammen med næringsstoffene øke primærproduksjonen i dette området.

Også før utbyggingen hadde mengden organisk materiale en generelt avtagende trend over hele fjorden (Figur 19), noe som kan ha sin årsak i den generelle vassdragsutbyggingen over hele Sognefjorden på 1960-tallet til 1980-tallet, inkludert Nærøyfjorden, og dermed minkende tilførsel av næringsstoffer til fjordsystemet (Torbjørn Dale 2016, *personlig meddelse*).

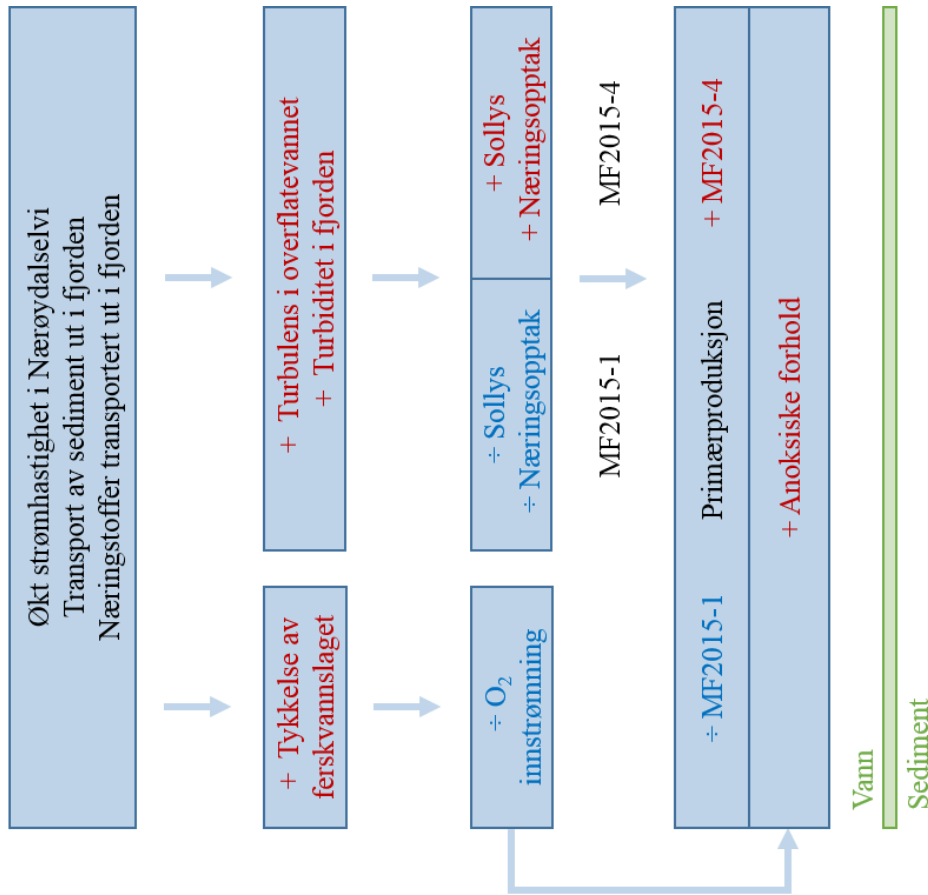


**Figur 28:** Elvedelta ved Gudvangen innerst i Nærøyfjorden, strømningsforhold (blå pil) før og etter utbygging fra år 1986-1991.

### a) Før deltautbygging 1986-1991 Ytre faktorer

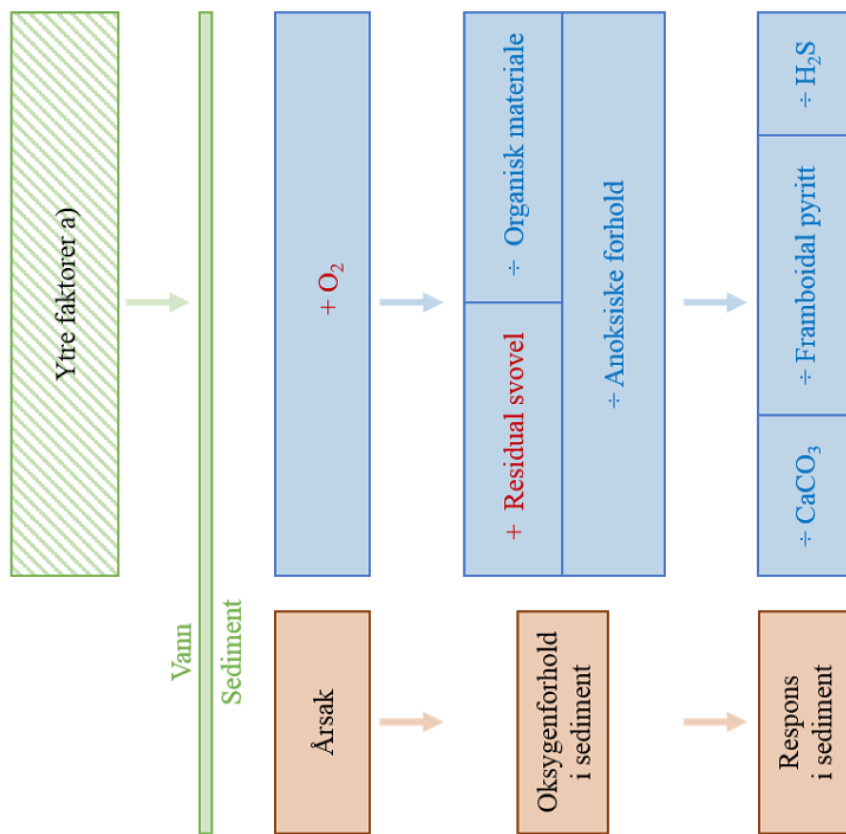


### b) Etter deltautbygging 1986-1991 Ytre faktorer

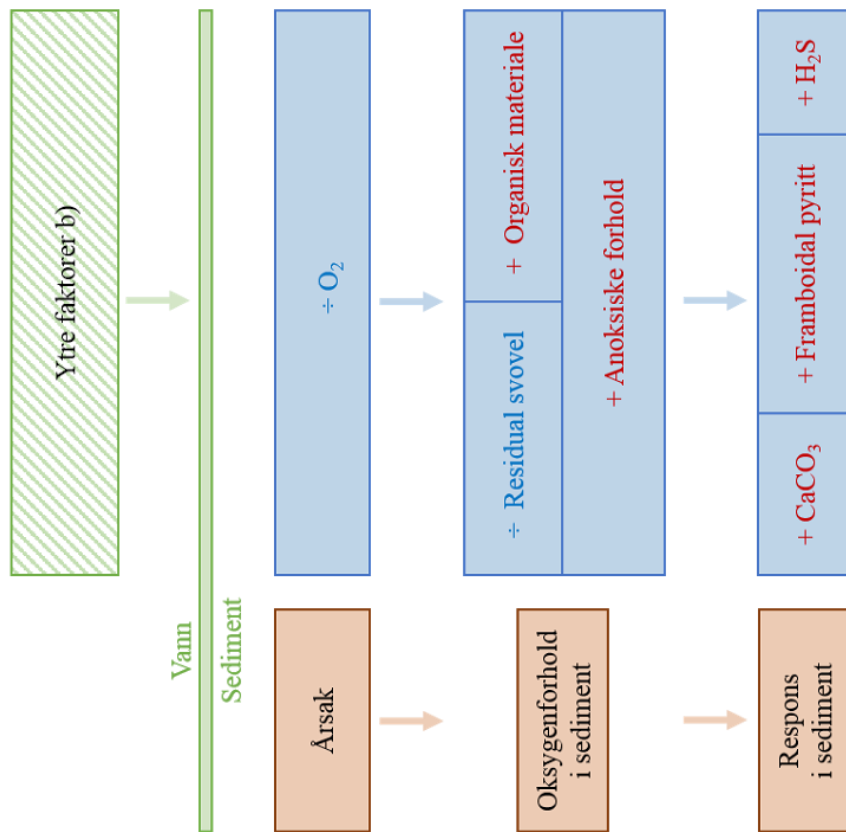


**Figur 29:** Illustrasjon av responsen i Indre Nærøysfjord grunnet endringer av ytre faktorer. Strømførholdet i elven påvirker stratifisering, altså tykkelsen på ferskvannslaget og turbulensen og turbiditeten i fjorden. Ved lav hastighet vil ferskvannslaget i vannsøylen være mindre utpreget, turbulens og turbiditet i fjordens overflatevann vil minke. Som følge av dette akkumulerte næringsstoffene seg på deltaet og mengden organisk materiale var større. Ved høy hastighet vil stratifiseringen øke, det vil si ferskvannslaget i vannsøylen blir tykkere og turbulens og turbiditet i fjordens overflatevann vil øke. Dette vil igjen påvirke oksygennivået og lystilførsel i fjorden. Dette er faktorer som påvirker primærproduksjonen. Alle disse faktorene vil påvirke det anoksiske miljøet i Nærøysfjorden. Modell a) viser endringer i ytre faktorer før deltautbygging 1986-1991. Modell b) viser endringer i ytre faktorer etter deltautbyggingen 1986-1991.

c) **Før** deltautbygging 1986-1991 Sedimentære endringer



d) **Etter** deltautbygging 1986-1991 Sedimentære endringer



**Figur 30:** Illustrasjonen viser hvordan de ytre faktorene setter spor i sedimentene. Økende O<sub>2</sub> fører til høyere innhold av residual svovel og minkende mengde av organisk materiale. Som følge kan forholdene bli mindre anoksiske. Konsekvensen blir mindre utfelling av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) og mindre dannelse av framboidal pyritt (FeS<sub>2</sub>) samt mindre produksjon av hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). Ved minkende O<sub>2</sub> vil det motsatte finne sted, altså økt mengde kalsiumkarbonat, framboidal pyritt og hydrogensulfid. Forholdene kan bli mer anoksiske. Modell c) viser sedimentære endringer før deltautbygging 1986-1991. Modell d) viser sedimentære endringer etter deltautbyggingen 1986-1991.

### 5.4.3 Endringer i oksygen og temperaturforhold

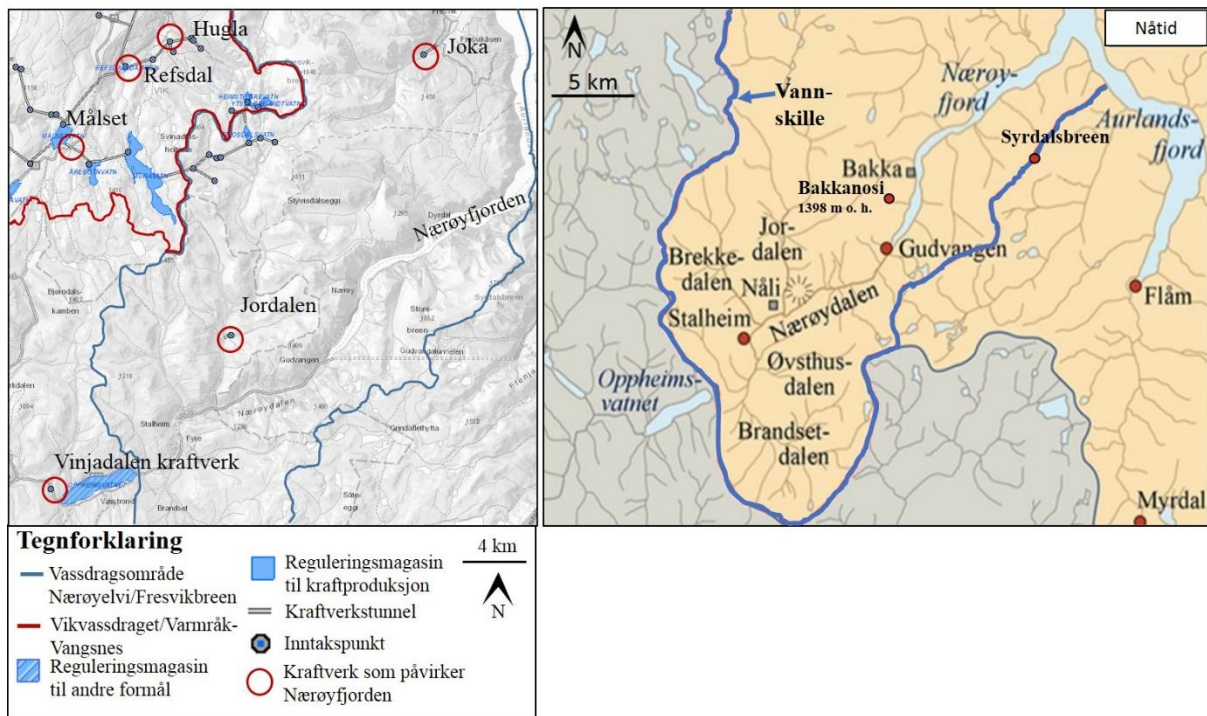
Resultatet fra oksygen og temperaturmålinger fra 1986 (Johannessen & Lønning 1988) og 2015 viser at det er en generell økning av temperatur og minking av oksygen i Nærøyfjorden over de siste 30 år (Figur 23 og Figur 24). Temperaturmålingene støttes av målinger gjort i Sogndalsfjorden hvor det er observert en generell temperaturøkning med opptil 4°C og en parallell minking av oksygenkonsentrasjonene fra 6 ml/l til under 2 ml/l i de intermediære og dypere liggende vannmassene (Kaufmann 2013) siden 1980-tallet. Kaufmann (2013) kunne også referere til observasjoner av en slik utvikling i ytre del av Sognefjorden og Sognesjøen. Dette leder til antagelsen at en parallell økning av vanntemperaturen og minking av oksygenkonsentrasjonene kan ha funnet sted i hele Sognefjordområdet, inkludert Indre Nærøyfjord, noe som resultatene i denne oppgaven også kan antyde. Økt temperatur vil senke oksygenivået i akvatiske systemer, inkludert fjorder (Syvitski et al. 1987). Overført til Nærøyfjorden betyr dette at lavere temperatur vil i tillegg til den omtalte vannstratifiseringen kunne minke oksygenivået i vannsøylen. Når temperaturen øker og oksygenivået synker vil dette favorisere ytterligere utviklingen av et anoksisk miljøet i Nærøyfjorden. I og med at disse betingelsene har endret seg gradvis siden 1980-tallet og parallelt med deltautbyggingen kan denne prosessen ha hatt en forsterkende effekt på utviklingen av det anoksiske miljøet i bunnvannet av Indre Nærøyfjorden.

### 5.4.4 Endringer i silisium og tilknyttede elementer (svovel, kalium, jern og titan)

Silisium (Si) blir brukt av diatoméene til å bygge skall, noe som også kan tolkes fra relasjonen mellom ferskvannsdiatoméene og silisium (Figur 14). Silisium finnes naturlig i mineraler og blir fraktet til fjorden i elver, bekker og som innsig fra grunnvann. Derfor er det nærliggende å tro at mengden silisium følger nedbørmengden. I resultatene finnes det relasjoner mellom silisium og nedbør (Figur 14), men det finnes også topper og bunnpunkter som ikke kan relateres til hverandre. Ettersom nedbør og mengden tilført silisium ikke har like tendenser må det finnes en annen forklaring siden mengden silisium går ned, mens nedbørmengden øker svakt. I området rundt Nærøyfjorden har flere kraftverk blitt bygget (Figur 31). Oversiktskartet over utbygde kraftverk viser flere kraftverk innenfor elveområdet Nærøydalselvi/Fresvikbreen. Hovedtyngden av kraftverk ligger i Vikvassdraget. Kraftverkstunneler med åtte vannuttakspunkt ligger i vassdraget til Nærøydalselvi og frakter vann inn i Vikvassdraget. Selv



om det er mer nedbør, ligger flere av elvene som gir næring til Nærøyfjorden i området som brukes til kraftverksproduksjon. Regulering av sideelver kan derfor ha gitt mindre tilførsel av silisium til Nærøyfjorden og dermed påvirket mengden silisium i fjorden. Samtidig har utstrømningshastigheten til Indre Nærøyfjord økt, noe som gjenspeiles i økt avsetning av ferskvannsdiaatoméer i den sørlige delen, i og med at diatoméene ikke lenger fanges opp av deltaet etter utbyggingen i slutten av 1980-tallet.



**Figur 31:** Bildet til venstre viser et oversiktskart over kraftverk som påvirker vanntilførselen til Nærøydalselvi og Nærøyfjorden. Blå linje viser vassdragsområdet for Nærøydalselvi/Fresvikbreen. Det røde linje viser vassdragsområdet Vikvassdraget/Varmråk-Vangsnæs. Blå skravur er reguleringsmagasin til andre formål, blått område er reguleringsmagasin til kraftproduksjon. Grå linjer viser kraftverkstunnel, mens blå punkt er inntakspunkt. Rød runding viser kraftverk som påvirker Nærøyfjorden ([http 13](http://13)). Bildet til høyre viser vannskillet (blå linje) til området rundt Nærøyfjorden (Aarseth et al. 2008).

Flere element følger silisiumgrafen og støtter opp under teorien om at det har vært nedgang i tilførselen på tross av økt nedbør. Svovel (S), kalium (K), jern (Fe) og titan (Ti) er alle grafer som følger samme trend som silisiumgrafen.

### 5.4.5 Endringer i fosfor

Resultatet for fosfor (P) viser en graf med små endringer. Fosfor utgjør sammen med nitrogen (N) og karbon (C) en viktig del av næringstilførselen i primærproduksjonen i det marine miljøet. Redfieldforholdet viser til forholdet mellom næringsstoffene karbon, nitrogen og fosfor i

marine miljøer der forholdet er C:N:P=106:16:1 (Redfield et al. 1964). Siden fosfor har det minste forholdstallet er det også fosfor som utgjør den mest limiterende faktoren i primærproduksjonen (Redfield 1964). En endring i fosfor kan dermed kjennes igjen i mengden organisk materiale. Mengden fosfor endrer seg ikke gjennom kjerne MF2015-3. Dette kan derfor ikke være grunnen til minkende mengde organisk materiale (Figur 18). Den minkende andelen av organisk materiale kan dermed heller tilbakeføres til mindre primærproduksjon grunnet økt turbiditet i særlig den sørlige delen av Indre Nærøyfjord (se 4.4.2).

Siden fosfor ikke varierer i mengde gjennom kjernen, kan man trolig også utelukke påvirkning fra jordbruk ([http 14](#)). Fosfor blir brukt i gjødsel i jordbruket for å øke veksten av nytteplanter. Utvasking og jorderosjon kan medføre at fosfor renner ut i elven og blir avsatt på fjordbunnen ([http 14](#)). Det er trolig at en intensivering av jordbruket vil kunne sees på fosforgrafen. Det samme gjelder om jordbruket i området opphører, da ville man trolig se en nedgang i fosfor. Grafen holder seg stabil, altså er jordbruket antagelig stabilt i Nærøydalen. Eventuelt kan det tyde på at bøndene ikke bruker kunstgjødsel i landbruket, men driver økologisk. Økning av tilførselen av fosfor ville også kunne sees som oppblomstring av organisk materiale i fjorden (Manahan 1990). Både grafene fra kjerne MF2015-1 og MF2015-4 viser derimot nedgang i organisk materiale i Nærøyfjorden etter utbygging av deltaet til Nærøydalselvi i slutten av 1980-tallet.

## 6 Konklusjon

- Tre uforstyrrete sedimentkjerner ble hentet opp fra Indre Nærøyfjord. Ettersom bunnmiljøet er anoksisk er sedimentene uforstyrret.
- Resultater i oppgaven peker på at utbyggingen av deltaet eller reguleringen av Nærøydalselvi har påvirket strømningsforholdene og lysforholdene i Nærøyfjorden. Gjennom analyser av kjernene ser man at disse endringene har påvirket primærproduksjonen i fjorden og det anoksiske miljøet.
- Disse observasjonene peker på en økende grad av anoksia etter utbyggingen av deltaet ved Gudvangen i slutten av 1980-tallet.
- Endringer i fjorden kan dermed spores tilbake til menneskeskapte endringer i form av utbygging og regulering. Naturlige endringer som temperaturøkning i Sognefjorden og nedbørsøkning kan være mulige forsterkende årsaker som også bidrar til at de anoksiske forholdene har forverret seg.
- Ved eventuelle videre undersøkelser ville det vært ønskelig med radiometrisk datering for å fastslå dateringen.



## 7 Referanseliste

### 7.1 Litteratur

Aarseth I, Nesje A & Fredin O (2008): *UNESCO Fjords – From Nærøyffjord to Geirangerfjord*. University of Bergen, University of Bergen og Bjerknes Research Centre, Bergen, Norway og Geological Survey of Norway, Trondheim Ekskursjonsguide, International Geological Congress (IGC) 33 in Oslo, 67 sider

Benn DI & Evans DJA (2010): *Glaciers & Glaciation*. 2. utgave, 802 sider

Bennett MR & Glasser NF (1998): *Glacial Geology Ice Sheets and Landforms*. Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 364 sider

Blomvik K & Yttredal ER (2015): *Vestnorsk fjordlandskap – Eit laboratorium for berekraftig utvikling, FoU-strategi for Vestnorsk fjordlandskap 2015-2020*

Brandy JE (1990): *Generell kjemi, grunnlag og prinsipper*. St. John's University Jamaica, New York. Oversatt til norsk av Tapir Akademiske Forlag/John Wiley & Sons, Trondheim (2000), 805 sider

Bryhni I, Brastad K & Jacobsen VW (1983): *Subdivision of the Jotun Nappa Complex between Aurlandsfjorden and Nærøyffjorden, South Norway*. Norges geol. Under. 380, 23-33

Croudace IW, Rindby A & Rothwell RG (2006) *ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner*. In, Rothwell, R.G. (eds.) *New techniques in sediment core analysis*. London, UK, Geological Society of London, 51-63. (Geological Society Special Publication 267)

Dybwad T & Loftesnes F (2006); *Verdensarv, World Heritage, Nærøyffjorden*, Selja Forlag, 160 sider

Gaarder T (1916): *De vestlandske fjorders hydrografi*. I. Surstoffet i fjordene. Bergens Mus. Årb. 1915-16. Naturvi-densk. rekke. Nr. 2. Bergen

Gade HG (1976): *Transport Mechanisms in Fjords*. Geophysical institute, University of Bergen, Bergen, Norway

Garmo TT & Schumann W (1979): *Mineral- og bergarter: ei felthandbok med farger*. NKS-forlaget, Oslo. 143 sider

Haugen JE (1986): *Gass-kromatografisk analyse og diagenese av aminosyrer i resente marine sedimenter fra indre Oslofjorden*. Cand. Scient.opp., Univ.i Oslo,95

Hochleitner R (1991): *Mineraler og krystaller*. Cappelen Bokklubben, Oslo. 254 sider

Holtedahl H (1967): *Notes on the formation of fjords and fjords-valleys*. Department of Geology University of Bergen

Holtedahl H (1975): *The Geology of the Hardangerfjord, West Norway*. Geologisk Institutt, Avd. B, Universitetet i Bergen, N-5014 Bergen-Universitetet, Norway

Howe JA, Austin WEN, Forwick M, Paetzel M, Harland R & Cage AG (2010): *Fjord systems and archives: a review*. In: Howe JA, Austin WEN, Forwick M & Paetzel M (eds): *Fjord Systems and Archives*. Geological Society, London, Special Publications, 344, 5-15

Inall ME & Gillibrand PA (2010): *The physics of mid-latitude fjords: a review*. In: Howe JA, Austin WEN, Forwick M & Paetzel M (eds): *Fjord Systems and Archives*. Geological Society, London, Special Publications, 344, 17-33

Jenkins R, Gould RW & Gedck D (1995). *Quantitative X-ray Spectrometry*. Marcel Dekker, 484

Jensen ES (2006): *Bergarter og mineraler*, Damm, Oslo, 221 sider

Johannessen PJ & Lønning TM (1988): *Resipientundersøkelser i Aurland kommune*. Institutt for Marinbiologi, Universitetet i Bergen. Rapportserie: Rapp

Jørgensen BB (1977): *The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limefjorden, Denmark)*. Institute of Ecology and genetics, University of Aarhus, Ny Munkegade, DK-8000 Aarhus C, Denmark

Kievits L (2011): *Volcanic ash dating of recent Sogndalsfjord sediments, Western Norway*, Bacheloroppgave Høgskulen i Sogn og fjordane

Koide M, Bruland KW & Goldberg ED (1973): *Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 1171-87

Manahan SE (1990): *Environmental chemistry*, fourth edition. University of Missouri, Lewis publishers

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

Nesje A (2012): *Brelære*. 2. utgave, Kristiansand, Høgskoleforlaget, 159 sider

Niemistö L (1974): *A gravity corer for studies of soft sediments*. Meretutkimuslait, Julk./Havforskningsinst. Skr., Finland 238, 33-38

Paetzel M & Dale T (2010): *Climate proxies for recent fjord sediments in the inner Sognefjord region, western Norway*. In: Howe, JA, Austin, WEN, Forwick, M. & Paetzel, M. (eds) *Fjord Systems and Archives*. Geological Society, London, Special Publications, 344, pp. 271–288

Paetzel M & Schrader H (1991): *Heavy metal (Zn, Cu, Pb) accumulation in the Barsnesfjord: Western Norway*. *Norsk geologisk Tidsskrift*, Vol. 71, pp 65-73. Oslo

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: (II) The origin of the sedimented organic matter fraction.* Norsk Geologisk Tidsskrift 75, 146-155

Pennington W, Trutin TG, Cambray RS and Fisher E (1973): *Observations on lake sediments using <sup>137</sup>Cs as a tracer*, Nature 242. 324-326

Prestvik T (2005): *Mineralogi, en innføring i krystallografi og mineralogi.* Nesbru, Forlaget Vett og Viten A, 210 sider

Qvale H (1980): *En oversikt over Jotundekket anortosittforekomster i Nord-Hordaland og Indre Sogn.* Bergvesenet, NGU rapport nr. 1560/27

Ramberg IB, Bryhni I & Nøttvedt A (2006): *Landet blir til*, 608 sider

Statens naturoppsyn-Aurland (2014): *Erosjon i strandsona, Nærøyfjorden landskapsvernområde*, Rapport, 10

Rothwell RG (1989): *Minerals and mineraloids in marine sediments – An optical identification guide.* Elsevier Applied Sciences, London, 279 sider

Santisteban JI, Mediavilla R, López-Pamo E, Dabrio CJ, Zapata MBR, García MJG, Castaño S & Martínez-Alfaro PE (2004): *Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments?* Journal of Paleolimnology 32 (3), 287-299

Sindre E (1973): *Kvartærgeologiske undersøkelser i området mellom Vossestrand og Nærøyfjorden og tilgrensende fjellstrøk.* Upublisert hovedoppgåve, Universitetet i Bergen

Skei JM (1983): *Geochemical and sedimentological considerations of a permanently anoxic fjord – Framvaren, South Norway.* Norwegian Institute of Water Research, Oslo

Skei JM (1987a): *Framvaren – environmental setting*. Norwegian Institute of Water Research, Oslo

Skei JM (1987b): *Formation of framboidal iron sulfide in the water of a permanently anoxic fjord-Framvaren, south Norway*. Norwegian Institute of Water Research, Oslo

Skei JM, Anderson LG & Dryssen D (1987): *Formation of chemogenic calcite in super-anoxic seawater – Framvaren, Southern Norway*. Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Department of Analytical and Marine Chemistry, Chalmers University of Technology and University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden

Skei J & Melsom S (1982). *Seasonal and vertical variations in the chemical composition of suspended particulate matter in an oxygen deficient fjord*. *Eustarine Coastal Shelf Sci.*, 14,61-78

Skei J & Pause PE (1979): *Surface metal enrichment and partitioning of metals in a dated sediment core from a Norwegian fjord*. Norwegian institute for water research, PO, Blindern, Oslo 3, Norway. Norwegian Central Institute for industrial Research, Oslo, Norway

Statens kartverk (1971): Flybilde NF\_949-Æ6, serie S71

Statens kartverk (2007): *Den Norske kyst Aurlands- og Nærøysfjorden*. Sjødivisjonen, Hovedkart 124, målestokk 1:50 000

Statens vegvesen (1993): *Frå kongeveg til stamveg - vegen over Filefjell 1793-1993*. Lærdal kommune, 48 sider

Strøm KM (1936): *Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions*. Det norske videnskaps-akademi I Oslo. 1. Mat-Naturv. Klasse 1936. No. 7

Syvitski JPM, Burrell DC & Skei JM (1987): *Fjords Processes and Products*, New York, Springer-Verlag, 379 sider

Sælen OH (1976): *General Hydrography of fjords*. Geophysical Institute, University of Oslo, Oslo, Norway

Vassenden G, Johansen PO, Heggøy E & Johannessen P (2006): *Mainbiologisk miljøundersøkelser i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i 2006*. Høyteknologisenteret, Bergen, Norway

Walker MJC (2005): *Quaternary Dating Methods*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England

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

## 7.2 Nettsider

Http 1: [http://www.123rf.com/photo\\_11451115\\_political-map-of-norway-with-the-several-counties.html](http://www.123rf.com/photo_11451115_political-map-of-norway-with-the-several-counties.html)

Hentet 19.05.2016

Http 2: <http://www.aurlandsogelag.no/artiklar/samferdsla-pnryfjorden?rq=N%C3%A6r%C3%B8yfjord>

Hentet 22.03.2016

Http 3: <http://www.naroyfjorden.no/verdsarv-1/eit-landskap-i-endring>

Hentet 23.03.2016

Http 4: <http://www.norgebilder.no/>

Hentet 12.04.2016; Søk Gudvangen; Kartlag: Hardangervidda 2013

Http 5: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>

Hentet 26.05.2016; Søk Nærøyfjorden; Kartlag: Berggrunn 250 lineameter

Http 6: <http://www.eklima.no/>

Hentet 12.04.2016

Http 7:

[http://publications.iodp.org/proceedings/313/SUPP\\_MAT/PHYSPROP/2008GEO.PDF](http://publications.iodp.org/proceedings/313/SUPP_MAT/PHYSPROP/2008GEO.PDF)

Hentet 20.05.2016

Http 8:

<http://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/periodesystemet/vis.php?e=K&vis=alt>

Hentet 28.05.2016

Http 9: <https://www.ngu.no/fagomrade/jern-titan-og-jernlegering>

Hentet 19.05.2016

Http 10: [http://www.ngu.no/FileArchive/167/I\\_FOCUS\\_Nr9.pdf](http://www.ngu.no/FileArchive/167/I_FOCUS_Nr9.pdf)

Hentet 11.05.2016

Http 11: <https://snl.no/aluminium>

Hentet 20.05.2016

Http 12: <https://snl.no/mangan>

Hentet 19.05.2016

Http 13: <http://gis3.nve.no/link/?link=vannkraft>

Hentet 03.05.2016

Http 14: <http://www.miljostatus.no/tema/kjemikalier/kjemikalielister/prioritetslisten/>

Hentet 14.03.2016



## 7.3 Vedlegg

CD inkluderer:

- PDF versjon av oppgave
- Mappen "Rådata" inkluderer:
  - CTD Nærøyfjorden
  - MF2015 kjerne 1 og 4 diatoméer
  - MF2015 kjerne 1 og 4 framboidal pyritt
  - MF2015 kjerne 1 og 4 Loss-on-ignition (LOI)
  - MF2015-1 Partikulært materiale
  - MF2015-4 Partikulært materiale
  - MF2015-3 MSCL Tetthet
  - MF2015-3 XRF
  - Nedbør Aurland og Indre Sogn
  - Oksygenmålinger fra 1987 og 2015
  - Spesifikasjoner for røntgen, XRF og MSCL