



**Høgskulen
på Vestlandet**

BACHELOROPPGAVE

Avsetninger fra historiske hendelser i Indre Aurlandsfjord, Vest-Norge, over de siste 40 år

Del II. De geokjemiske signalene

av

207 Oda Susanne Borthheim Mulelid

230 Victoria Olaisen

218 Kristine Strømme

**Deposits from historic events in the Aurlandsfjord, Western
Norway, over the last 40 years**

Part II. The geochemical record

Geologi og geofare
GE491
Mai 2017

Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen på Vestlandet sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen på Vestlandet tillatelse til å publisere oppgaven (Avsetninger fra historiske hendelser i Indre Aurlandsfjord, Vest-Norge, over de siste 40 år - Del II. De geokjemiske signalene) 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:

207 Oda Susanne Bortheim Mulelid

JA NEI

230 Victoria Olaisen

JA NEI

218 Kristine Strømme

JA NEI

Sammendrag

Denne oppgaven er en del av Aurlandsfjordprosjektet som tar for seg maringeologiske undersøkelser i Indre Aurlandsfjord ved Flåm, Sogn og Fjordane. Formålet med oppgaven er å undersøke hvordan historiske hendelser har påvirket fjordmiljøet. Det ble gjennomført feltarbeid 01.09.2016, der 13 sedimentkjerner ble hentet opp fra fjordbunnen. Oppgaven tar for seg analyser av tre kjerner, fra henholdsvis Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget. Det ble gjennomført målinger av X-ray fluorescence (XRF), magnetisk susceptibilitet og røntgenbilder, i tillegg til visuell analyse.

Analysene av de tre sedimentkjernene viser ulik påvirkning fra historiske hendelser. Økt sedimentasjonsrate i Kistadypet og et mer marint miljø i Havnebassenget, er et resultat av regulering av Flåmselvi og deltautbygging i 1985. Reguleringen av elva førte til endring i transportretningen av sedimenter og ferskvann fra østlig retning, mot Havnebassenget, til en mer nordlig retning, mot Kistadypet. For Stampabassenget er derimot disse signalene mindre utpreget, da dette bassenget er blitt mer påvirket av lokale hendelser rundt området. Blant annet kan flomskredet i Markåna i 1985 gjenspeiles i denne kjernen, samt antydning til dumping av tunnelmasser fra 1980- og 1990-tallet. Storflommen i 2014 kan ses i alle kjernene ved endring i brom over jern (Br/Fe) og coherent/incoherent. Hendelsen er mest tydelig i Kistadypet hvor det er avsatt 5 cm med flomsediment sammenlignet med 1 cm i Havnebassenget og 3 cm i Stampabassenget. Verdier for magnetisk susceptibilitet i Stampabassenget ligger på rundt 70 SI, som er betydelig lavere enn verdiene i Havnebassenget og Kistadypet som ligger på henholdsvis 100 til 300 og 90 til 200 SI. Denne forskjellen tyder på at sedimentene i Stampabassenget har en annen mineralsammensetning og er dermed fra et annet kildeområde enn sedimentene fra de to andre bassengene.

For datering av kjernene ble det tatt i bruk en relativ aldersbestemmelse i form av hendelsesdatering, da radiometrisk datering ikke er tilgjengelig før høsten 2017. Det er spesielt årene 1985 og 2014 som kan gjenkjennes og brukes til en slik datering. Denne dateringen resulterte i sedimentasjonsrater på 0.21 cm/år i Kistadypet, 0.18 cm/år i Havnebassenget og 0.37 cm/år i Stampabassenget.

Abstract

This thesis is a part of the Aurlandsfjord project concerning marine geological investigation in the Indre Aurlandsfjord near Flåm, Sogn og Fjordane. The purpose of the thesis is to investigate how historical events have affected the fjord environment. Fieldwork was carried out 01.09.2016, where 13 sediment cores were taken in the Indre Aurlandsfjord from the basins of the Kistadypet, the Havnebassenget and the Stampabassenget, respectively. Measurements of X-ray fluorescence (XRF) and magnetic susceptibility was carried out and x-ray images were taken. In addition, a visual analysis was performed.

The analysis of the three sediment cores shows different influences from historical events. An increased sedimentation rate in the Kistadypet and an increasingly marine environment in the Havnebassenget is a result from the regulation of the river Flåmselvi and the delta construction of 1985. The river regulation lead to a change in the transport direction of sediments and fresh water from an easterly direction into the Havnebassenget to a northerly direction towards the Kistadypet. In sediments of the Stampabassenget these signals are less pronounced, as the basin has been more affected by local events from the eastern direction, including a debris flow in Markåna in 1985, as well as impacts from tunnel mass dumping in the 1980s and 1990s. The great flood of 2014 can be seen in all three cores by a change in bromin-over-iron fraction (Br/Fe) and the coherent/incoherent ratio. This flood event is most abundant in the Kistadypet where 5 cm of flood sediments were deposited compared to 1 cm in the Havnebassenget and 3 cm in the Stampabassenget. The values for magnetic susceptibility in the Stampabassenget is around 70 SI, which is significantly lower than in the Havnebassenget and in the Kistadypet where the values are respectively 100 to 300 and 90 to 200 SI. This difference suggests that the sediments in the Stampabassenget has a different mineral composition and thus originates from a different source than the sediments from the other two basins.

The dating method used for the cores is a relative dating method in the form of event dating, as a radiometric dating is not available until the autumn of 2017. The events of the years 1985 and 2014 are most recognizable in the sediment cores. This dating resulted in sedimentation rates of 0.21 cm/year in the Kistadypet, 0.18 cm/year in the Havnebassenget, and 0.37 cm/year in the Stampabassenget.

Forord

Dette er den avsluttende oppgaven for de tre årene ved bachelorstudiet geologi og geofare ved Høgskulen på Vestlandet, Sogndal. Det har vært tre innholdsrike og minneverdige år.

Først og fremst vil vi si tusen takk til vår veileder Matthias Paetzel for eksepsjonelt god veiledning, oppfølging og støtte i denne perioden. Takk for at du alltid tok deg tid til oss, både i og utenfor arbeidstiden. Ditt store engasjement har gjort denne tiden både spennende og lærerik for oss.

Mange takk også til Eivind W. N. Støren og Haflidi Haflidason for god omvisning og bruk av Earthlab ved Universitetet i Bergen. Tusen takk til Haflidi Haflidason og Christian Haug Eide for veiledning og hjelp i Bergen, samt for at dere tok turen til Sogndal for presentasjon og diskusjon av deres arbeid.

Videre også en stor takk til Torbjørn Dale for hjelp med innsamling av prøver i felt og gode tips underveis, til Harald Sjursen for informasjon og omvisning i Flåm og til de internasjonale studentene fra «From Mountain to Fjord» -programmet ved Høgskulen på Vestlandet 2016 for godt samarbeid.

Til slutt vil vi også gjerne takke alle medelever og lærere for tre flotte år sammen her i Sogndal!

Sogndal 30.05.2017

Oda Susanne Borthheim Mulelid, Victoria Olaisen og Kristine Strømme

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetninger	3
1.2.1 Forklaring målsetning 1	3
1.2.2 Forklaring målsetning 2	3
1.2.3 Forklaring målsetning 3	4
2 Områdebeskrivelse	4
2.1 Geologi og historie	6
2.1.1 Berggrunnsgeologi	6
2.1.2 Kwartærgeologi	9
2.1.3 Historiske hendelser i Aurlandsfjorden	9
2.2 Avsetninger og avsetningsmiljø	12
2.2.1 Topografi	13
2.2.2 Batymetri	13
2.2.3 Hydrografi	14
2.2.4 Klima og nedbør	16
2.3 Tidligere undersøkelser i Aurlandsfjorden	18
3 Metoder	20
3.1 Materialer	20
3.2 Metoder i felt	21
3.2.1 Prøvetaking av sediment	21
3.3 Metoder i laboratorium	22
3.3.1 Åpning og klargjøring av sedimentkjerner	22

3.3.2 Analyse av sedimentkjerner ved UiB	23
4 Resultat	25
4.1 Analyser av sedimentkjerner ved UiB	26
4.1.2 Kjerne MF2016-5	26
4.1.3 Kjerne MF2016-10	30
4.1.4 Kjerne MF2016-13	34
5 Diskusjon	38
5.1 Innledning.....	38
5.2 Mulige årsaker til endringer i den kjemiske sammensetningen	38
5.2.1 Kjerne MF2016-5 fra Kistadypet	38
5.2.2 Kjerne MF2016-10 fra Havnebassenget.....	43
5.2.3 Kjerne MF2016-13 fra Stampabassenget	45
5.3 Datering.....	47
5.3.1 Radiometrisk datering.....	47
5.3.2 Hendelsesdatering.....	48
5.4 Avsetningssituasjonen i fjorden	50
6 Konklusjon.....	52
7 Referanseliste.....	53
7.1 Litteratur.....	53
7.2 Filmer	59
7.3 Nettsider	59
8 Appendiks	63

Figurliste

Figur 1: Vestnorsk fjordlandskap, delområde Nærøyfjorden (innenfor det røde arealet) med omgivelser (http 4).....	2
Figur 2: A) Kartet viser Aurlandsfjorden, lokalisert på Vestlandet i Norge og B) i Sognefjorden, Sogn og Fjordane. C) Flåm i Indre Aurlandsfjord med D) nærbilde av Indre Aurlandsfjord. Kartet er laget i ArcGiS 10.3 Esri Inc.	5
Figur 3: Berggrunnskart N250 for området rundt Indre Aurlandsfjord (http 8).....	7
Figur 4: Flyfoto av Flåm sentrum fra 1971 (venstre; Kartverket, 1971) og 2014 (høyre; http 12).	10
Figur 5: Bildet illustrerer noen av ødeleggelsene under hundreårsflommen i 2014 i Flåmsdalen (http 13).....	11
Figur 6: Batymetrisk kart over Indre Aurlandsfjord. Kartet viser blant annet bassengene Kistadypet, Stampabassenget og Havnebassenget, i tillegg til Fretheimsgrunnen. Det batymetriske kartet er hentet fra http 15	14
Figur 7: Middelsnedbør for 2014. Målingene er tatt fra Aurland målestasjon, 15 m.o.h. Data er bestilt fra eklima.no 07.04.2017	17
Figur 8: Døgnvariasjon for nedbør i oktober 2014. Målingene er tatt fra Aurland, 15 m.o.h. Data er hentet fra senorge.no (http 17)	18
Figur 9: Figuren viser stasjonene i Indre Aurlandsfjord hvor sedimentkjerner med intakt sediment-vann overgang ble hentet. Bildet er hentet fra http 12	20

Figur 10: Kjernetakeren (B) i åpen posisjon på vei ned. Kjernetakeren (A) på vei opp i låst stilling (Niemistö, 1974).	22
Figur 11: a) Itrax Core Scanner sett forfra. b) Skisse av Itrax-systemet med A: optisk kamera, B: lasertrianguleringssystem, C: XRF-detektor, D: røntgenkilde, E: røntgenfokuserende spalte og F: røntgendetektor. Figurene er hentet fra Croudace et al. (2006).	24
Figur 12: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-5.	26
Figur 13: Figuren viser røntgenbilde og magnetisk susceptibilitet over kjerne MF2016-5.	27
Figur 14: XRF-grafer fra kjerne MF2016-5 over brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca) og zirkon (Zr) over jern (Fe).	28
Figur 15: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-5.	29
Figur 16: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-10.	30
Figur 17: Figuren viser røntgenbilde og graf over magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-10.	31
Figur 18: XRF-grafer fra kjerne MF2016-10 over brom (Br), sink (Zn), strontium (Sr), nikkel (Ni) og rubidium (Rb) over jern (Fe).	32
Figur 19: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-10.	33
Figur 20: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-13.	34

Figur 21: Viser røntgenbilde og graf over magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-13.....	35
Figur 22: XRF-grafer for kjerne MF2016-13 over brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca), zirkon (Zr) og sink (Zn) over jern (Fe).	36
Figur 23: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-13.....	37
Figur 24: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), strontium over jern (Sr/Fe), kalsium over jern (Ca/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe) med markerte tidshorisonter (blå og grå markering).	40
Figur 25: Graf over korrelasjon mellom strontium (Sr) og kalsium (Ca) med en korrelasjonskoeffisient på 0.6156.	41
Figur 26: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), sink over jern (Zn/Fe), nikkell over jern (Ni/Fe) og rubidium over jern (Rb/Fe) som viser lignende trender med bestemte tidshorisonter (markert i blått og grått).	44
Figur 27: Kurve over ulike kornstørrelser målt i en parallell kjerne til kjerne MF2016-13. X-aksen viser dyp (cm) og y-aksen er relative verdier. Data er hentet fra Midttømme et al. (2017).	46
Figur 28: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), zirkon over jern (Zr/Fe), sink over jern (Zn/Fe) og strontium over jern (Sr/Fe) som viser lignende trender med bestemte tidshorisonter (markert i blått og grått).	47
Figur 29: Hendelsesdatering for de tre ulike lokalitetene: Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget. Blå og grå markering indikerer de ulike tidshorisontene.	49

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over bergartene samt dannelsen og mineralinnholdet til disse. Tabellen er laget ut ifra Jensen (2006) og berggrunnskart N250 fra Norges Geologiske Undersøkelser (http 8).....	7
Tabell 2: Oversikt over de ulike mineralene som finnes i området rundt Indre Aurlandsfjord og kjemisk formel. Tabellen er laget ut i fra Garmo & Schumann (1979), Hochleitner (1991) og Jensen (2006).....	8
Tabell 3: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden i 1987. Tabellen er laget etter Johannessen & Lønning (1988).....	15
Tabell 4: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden i 1993. Tabellen er laget etter Tvedten et al. (1994).....	16
Tabell 5: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden mellom 2-4 september 2006. Tabellen er laget etter Vassenden et al. (2007)...	16
Tabell 6: Koordinater over stasjonene hvor sedimentkjernene ble tatt. * MF2016-3, MF2016-6 og MF2016-8 var tomme. De uthevede radene (MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13) er kjerner som det blir fokusert på i denne oppgaven.	21
Tabell 7: Fjordmodellen viser en oversikt over de ulike signalene som synes i de tre ulike lokalitetene: Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget. Røde felt er tydelige signal i sedimentene, oransje felt er mindre tydelig, gult felt er antydning til signaler og grønt er ingen påvirkning. Det er satt spørsmålsteget hvor signalene er vanskelig å tolke.	51

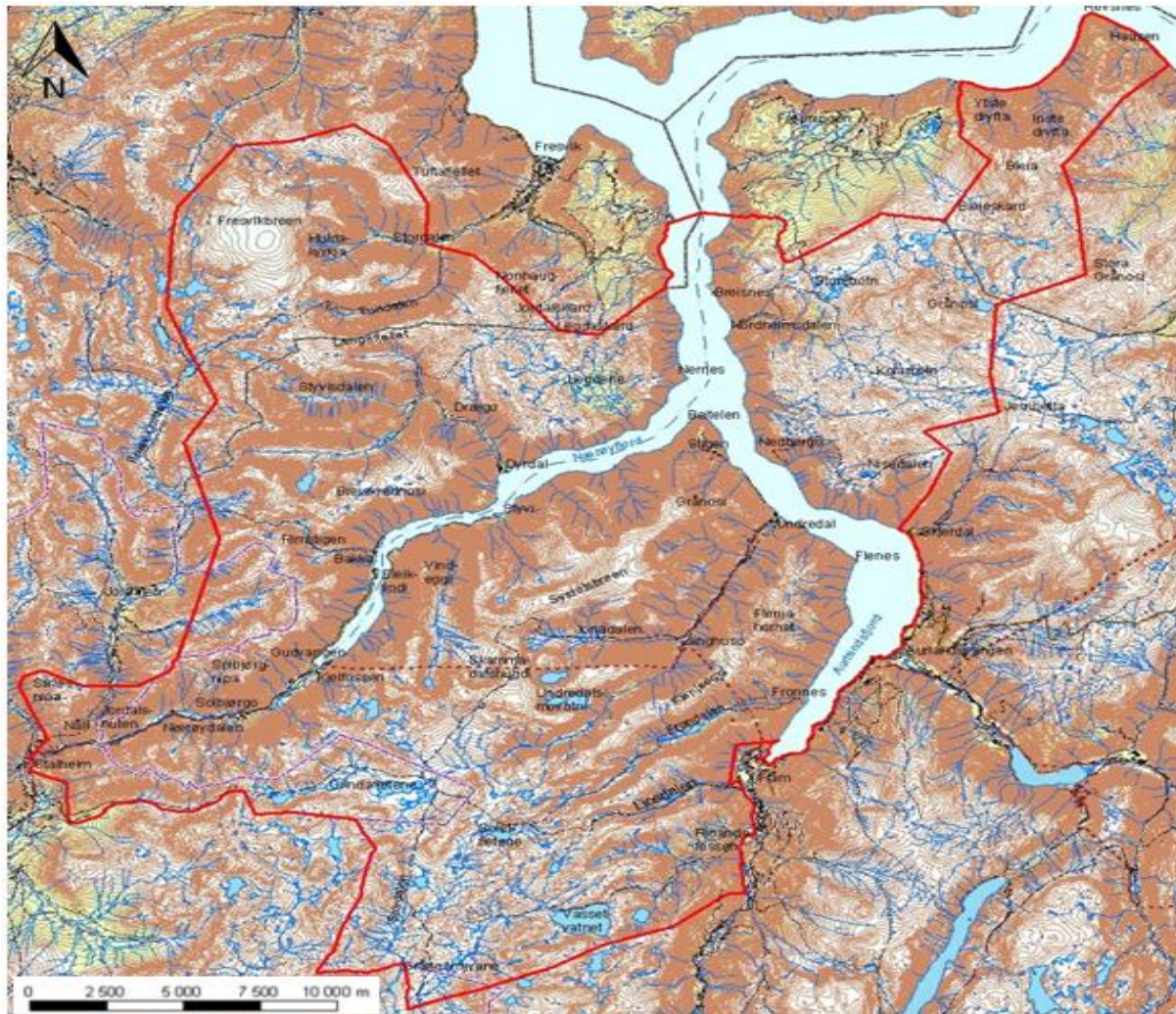
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I 2005 ble to av fjordområdene i Vestnorsk fjordlandskap satt på United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) sin verdensarvliste: Geirangerfjordområdet og Nærøyfjordområdet ([http 1](#)), som Aurlandsfjorden er en del av (Figur 1). Det er bare områder med dokumenterte kulturkvaliteter og/eller naturlige kvaliteter og forvaltning som kan få status som verdensarv ([http 2](#)). Aurlandsfjorden har fått sin verdensarvstatus på bakgrunn av både kultur- og naturkvaliteter ([http 1](#)). Verdensarvstatus er en av de høyeste internasjonale kvalitetsstempel et landskap kan få ([http 2](#)). I den sørlige enden av Aurlandsfjorden ligger tettstedet Flåm (Figur 2C) som senest med godkjenning av verdensarvstatus er blitt en mer ettertraktet turistattraksjon. Totalt var det i 2016 1.4 millioner turister i Flåm ([http 3](#)).

Selv om Aurlandsfjorden er en del av UNESCO's verdensarvliste, er den ikke blitt grundig maringeologisk undersøkt. Det er dog blitt gjennomført undersøkelser som omhandler biologiske og hydrologiske perspektiver (Vassenden et al. 2007; Johannessen & Lønning 1988; Tvedten et al. 1994). Universitetet i Bergen gjennomførte i juni 2016 prøvetaking av sedimentkjerner ved ulike lokaliteter i Aurlandsfjorden (Matthias Paetzel 2016, *personlig meddelelse*).

Elven i Flåm har blitt regulert flere ganger med en siste endring der utløpet ble kanalisert og retning av elvemunning ble endret fra østlig til nordlig retning i 1985 (John Erik Johnsen 2016, *personlig meddelelse*). Innsnevring ved kanalisering av elven og urbanisering kan øke konsekvensen for eventuelle flomhendelser, noe som eksempelvis hendte ved elven Rhinen i 1993/94 og i 1995 (Engel, 1997). Hundreårsflommen i Flåm i 2014 er også et eksempel på dette, hvor følgene av flommen medførte store infrastrukturelle ødeleggelser (Figur 5). I tillegg ble det dumpet mellom 500 000 og 600 000 m³ med sprengningsmasser i fjorden, blant annet i Stampabukta (Figur 2D), fra diverse tunnelarbeid i Aurland kommune.



Figur 1: Vestnorsk fjordlandskap, delområde Nærøfjorden (innenfor det røde arealet) med omgivelser (http 4).

Det har som ovennevnt skjedd både naturlige og ikke-naturlige hendelser i og rundt Indre Aurlandsfjord de siste 40 år. Aurlandsfjordprosjektet tar for seg maringeologiske undersøkelser i Indre Aurlandsfjorden ved Flåm (Figur 2D) for å belyse hvilke innvirkninger disse hendelsene har hatt på fjordmiljøet. Prosjektet er delt inn i to bacheloroppgaver (a og b; se nede) og én masteroppgave (c; se nede) med tittelen «Deposits from historic events in the Aurlandsfjord, Western Norway, over the last 40 years» med undertitlene (a) «Part I. The sediment record»; (b) «Part II. The geochemical record»; og (c) «Part III. The pollution record». Denne oppgaven konsentrerer seg om de geokjemiske signalene.

1.2 Målsetninger

For å kunne svare på hvilken innflytelse utbygging av havneområdet og Flåmselvi har hatt på Indre Aurlandsfjord, er det valgt å fokusere på følgende målsetninger:

1. Er det mulig å se endringer i den kjemiske sammensetningen i sedimentprøver tatt i Indre Aurlandsfjord?
2. Kan eventuelle endringer i den kjemiske sammensetningen knyttes til endringer i avsetningsmiljø og kilder?
3. Er det mulig å finne spor etter markante hendelser i den kjemiske sammensetningen som tillater å knytte disse hendelsene til bestemte tidshorisonter, og med dette brukes til datering? Kan så disse daterte tidshorisontene med tilhørende resultat legges til grunn for fremtidig forvaltning i et forsøk på å bevare det naturlige fjordmiljøet best mulig?

1.2.1 Forklaring målsetning 1

Den kjemiske sammensetningen i sedimentprøvene skal undersøkes ved bruk av X-ray fluorescence (XRF) av typen Itrax Core Scanner, samt magnetisk susceptibilitet av typen Multi Sensor Core Logger (MSCL). XRF måler de optiske egenskapene til sedimentprøven og registrerer den kjemiske sammensetningen (Croudace et al., 2006). MSCL registrerer de fysiske egenskapene og måler blant annet magnetisk susceptibilitet. Resultatene fra disse analysene kan gi en indikasjon på om det er mulig å se endringer i den kjemiske elementsammensetningen og fysiske endringer (kornstørrelser, gradering) i sedimentprøver tatt i Indre Aurlandsfjord.

1.2.2 Forklaring målsetning 2

Den kjemiske sammensetningen skal analyseres i et forsøk på å få en bedre forståelse for hvordan eventuelle endringer har oppstått. En geokjemisk endring kan være forårsaket av en rekke naturlige og ikke-naturlige faktorer som for eksempel storflommen i 2014 og innfylling av tunnelmasser ved Stampa. Data fra tidligere hendelser i området vil derfor analyseres og tolkes for å kunne gi svar på om eventuelle endringer i den kjemiske sammensetningen kan knyttes til endringer i avsetningsmiljø og kilder. Resultater fra de to parallelle oppgavene om sedimentologi

og forurensning i fjordsedimentene vil også bli brukt til eventuell stadfesting av de sedimentære signalene fra slike hendelser.

1.2.3 Forklaring målsetning 3

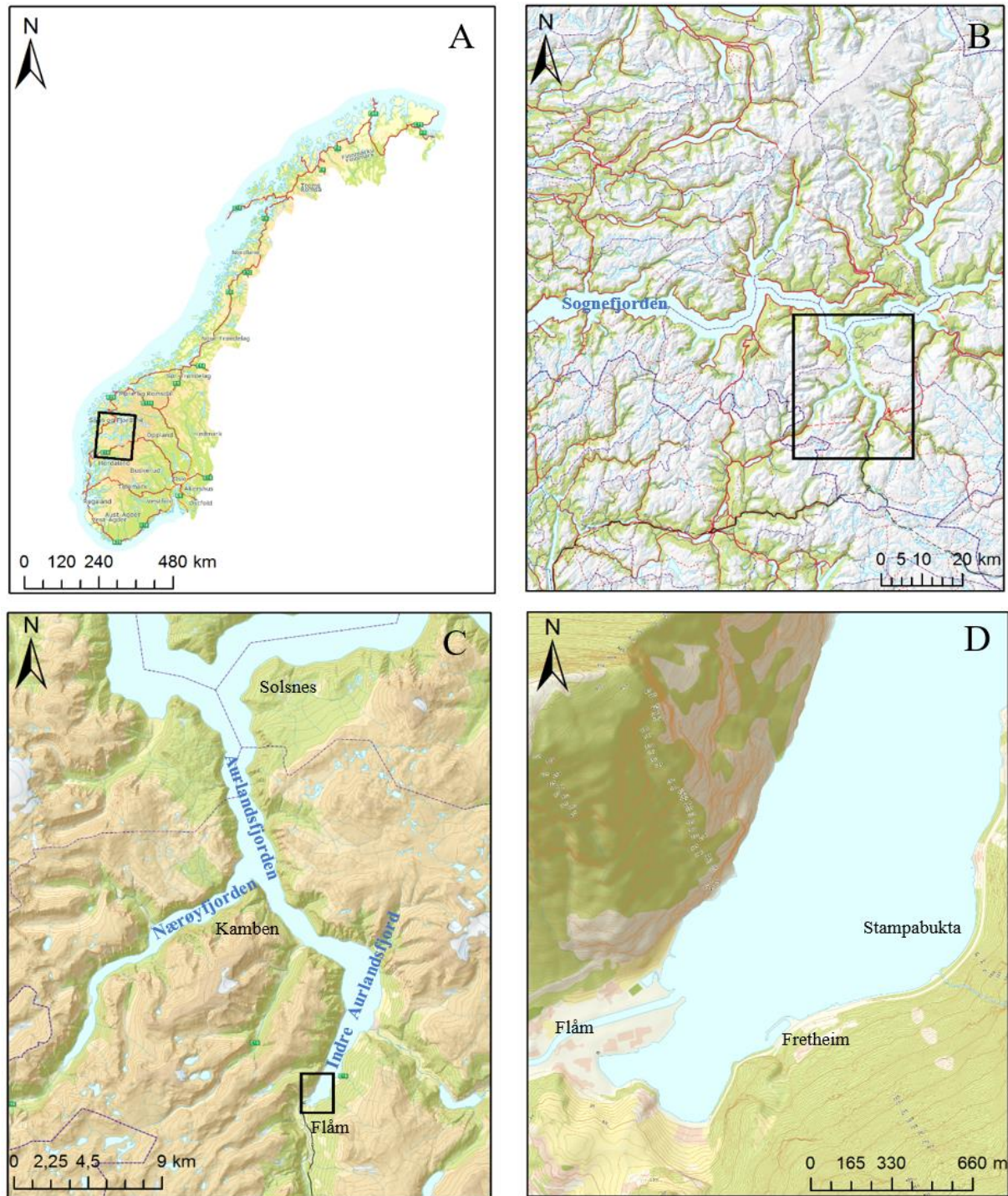
For datering av sedimentkjernene var det planlagt å bruke radiometrisk datering. Denne typen datering er ikke tilgjengelig før i august 2017. Det er dermed lagt vekt på hendelsesdatering i denne bacheloroppgaven. Hendelsesdatering er en relativ aldersbestemmelse der lag eller faser i sedimentkjernen vil bli forsøkt knyttet opp mot kjente hendelser i området som eksempelvis gjort i Barsnesfjorden og i Sogndalsfjorden i Indre Sogn, Norge (Paetzel & Schrader 1991; 1992; Paetzel & Dale 2010). Ved bruk av overleiringsprinsippet, hvor de yngste avsetningene i sedimenter ligge øverst i stratigrafien og bli eldre med dypet (Ramberg et al., 2013), vil slike markante hendelser benyttes som et hjelpemiddel for å kunne si noe om tidsforløpet i stratigrafien til sedimentprøvene.

2 Områdebeskrivelse

Aurlandsfjorden er en 28 km lang fjordarm som befinner seg i Sognefjorden i Aurland, Lærdal og Vik kommune og strekker seg fra Solsnes til Flåm, Sogn og Fjordane fylke (Figur 2; <http> 5). Fjorden strekker seg i sørøstlig og siden sørlig retning fra Solsnes (Figur 2C) til Flåm og skjærer seg mellom bratte sider opptil 1800 m.o.h (<http> 6). Ved fjellet Kamben deles fjorden inn i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden, hvorav Aurlandsfjorden fortsetter i sørøstlig retning til Flåm (Figur 2C).

Innerst i Aurlandsfjorden ligger tettbebyggelsen Flåm (Figur 2D) med sine 350 innbyggere (<http> 7). Flåm har siden slutten av 1800-tallet vært en ettertraktet destinasjon for turister og de første hotellene ble bygget til overnatting for engelske turister som kom for å fiske laks (Gubberud & Sunde, 1992). I senere tid er det andre attraksjoner som har ført turistene til Flåm, blant annet Flåmsbana som ble åpnet for offentlig transport i 1941 (Indrelid, 2003). Mange fant da veien hit for å ta denne spektakulære togreisen fra Flåm til Myrdal stasjon. I 1969 var det omtrent 115.000 passasjerer som reiste med Flåmsbana (Venneman, 2017). I 1985 ble dypvannskaaien ferdigstilt

og antall turister økte betraktelig. Mellom 1969 og 2016 har antall passasjerer med Flåmsbana åttedoblet seg til hele 920.000 (Venneman, 2017).



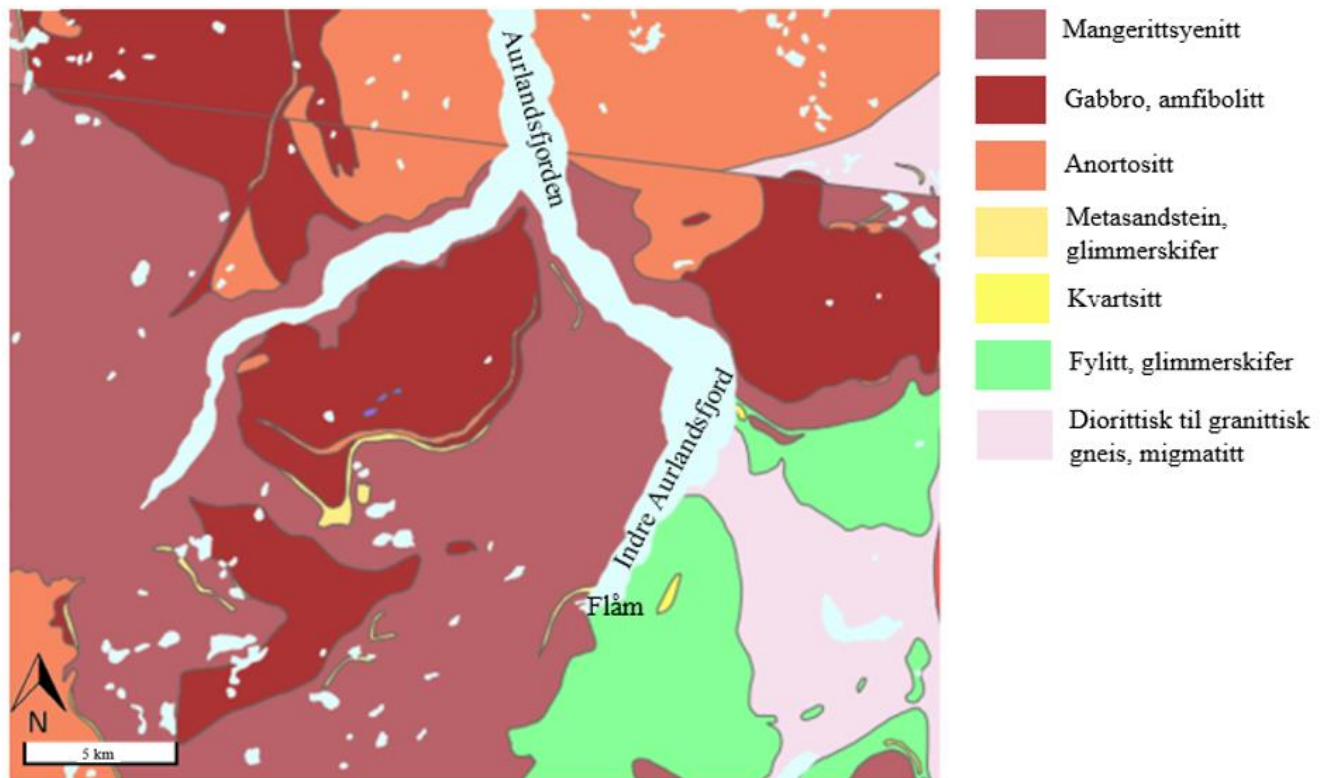
Figur 2: A) Kartet viser Aurlandsfjorden, lokalisert på Vestlandet i Norge og B) i Sognefjorden, Sogn og Fjordane. C) Flåm i Indre Aurlandsfjord med D) nærbilde av Indre Aurlandsfjord. Kartet er laget i ArcGiS 10.3 Esri Inc.

2.1 Geologi og historie

2.1.1 Berggrunnsgeologi

Grunnfjellet i området ble dannet for om lag 1700 til 1600 millioner år siden (Ramberg et al., 2013). For omtrentlig 500 til 400 millioner år siden ble deler av grunnfjellet omdannet da den kaledonske fjellkjededannelsen fant sted. Kontinentet Laurentia i øst ble skjøvet over Baltika i vest, noe som resulterte i lukkingen av det da eksisterende Iapetushavet. Under denne prosessen ble den oseaniske skorpen, samt avsetningene i Iapetushavet, skjøvet over på det baltiske kontinentet og omdannet til blant annet fyllitt (Müller, 2013). Kollisjonen mellom kontinentene dannet en kompleks sammensetning av ulike skyveforkastninger og omdannede bergarter (Ramberg et al., 2013). Noen steder ble eldre bergarter skjøvet over yngre avsetninger, noe som er tilfellet i Aurlandsområdet, hvor fyllitten ligger under en av disse skyveforkastningene (Domaas et al., 2002).

Området øst for Indre Aurlandsfjord består av fyllitt og glimmerskifer som er stedvis kalkspatførende eller med lag av kalkstein (Figur 3). Fyllitt er en lav-metamorf bergart (Tabell 1) av leirstein som inneholder muskovitt eller biotitt med kloritt (Schou Jensen, 2006). På østsiden finnes også diorittisk til granittisk gneis og stedvis kvartsitt. Området vest for fjorden er dominert av mangerittsyenitt (Figur 3). Mangerittsyenitt er en magmatisk dypbergart (Tabell 1) som inneholder mineraler som kalifeltspat, plagioklas og hornblende. Vest for mangerittsyenitten finnes amfibolitt, gabbro og et lite belte av metasandstein. Lenger nordover langs fjorden finnes anortositt, amfibolitt og gabbro (Figur 3). De dominerende mineralene i området er kalifeltspat, plagioklas, muskovitt og biotitt.



Figur 3: Berggrunnskart N250 for området rundt Indre Aurlandsfjord (http 8).

Tabell 1: Oversikt over bergartene samt dannelsen og mineralinnholdet til disse. Tabellen er laget ut ifra Jensen (2006) og berggrunnskart N250 fra Norges Geologiske Undersøkelser (http 8).

Bergart	Dannelse	Mineralinnhold
Mangerittsyenitt	Magmatisk dypbergart	Kalifeltspat, plagioklas, kvarts, hornblende, augitt og biotitt
Gabbro	Magmatisk dypbergart	Plagioklas, augitt og olivin
Anortositt	Magmatisk-dypbergart	Plagioklas, pyroksen, magnetitt/ilmenitt, kloritt, epidot og glimmer
Fyllitt	Lav-metamorf bergart	Muskovitt eller biotitt med kloritt, kvarts og granat

Kvartsitt	Lav-metamorf bergart	Kvarts
Diorittisk til granittisk gneis	Høy-metamorf bergart	Kvarts, feltspat, hornblende og biotitt
Amfibolitt	Høy-metamorf bergart	Amfibol (hovedsakelig hornblende) og plagioklas

Tabell 2: Oversikt over de ulike mineralene som finnes i området rundt Indre Aurlandsfjord og kjemisk formel. Tabellen er laget ut i fra Garmo & Schumann (1979), Hochleitner (1991) og Jensen (2006).

Mineral	Formel
Kalifeltspat	KAlSi_3O_8
Plagioklas	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Kvarts	SiO_2
Hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Augitt	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$
Biotitt	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Muskovitt	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2$
Kloritt	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Granat (almandin)	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Magnetitt	Fe_3O_4
Ilmenitt	FeTiO_3
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$
Olivin	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

2.1.2 Kwartærgeologi

Fjorddannelse

Fjorder er overfordypete daler dannet av is-erosjon (Nesje, 2012). Man finner fjorder på de nordligste og sørligste delene av jorden, henholdsvis nord for 43°N og sør for 42°S (Syvitski et al., 1987). Dannelsen av fjorder har for det meste foregått i perioden kvartær som strekker seg fra om lag 2.6 millioner år siden til i dag (Ramberg et al., 2013). Denne perioden bærer særpreg av hyppige klimasvingninger med flere istider og mellomistider i rytmisk veksling (Nesje 2012).

Utgangspunktet for fjorddannelsen var landhevingen i tertiær som løftet den jevne og relativt flate, paleiske overflaten til en dome-lignende struktur (http 9). Påfølgende ble det dannet V-formede elvedaler mot vest da avrenning av vann foregikk i denne retningen (Holtedahl, 1975). Det er disse elvedalene isen brukte i kvartær tid for å etter hvert grave ut fjordene.

Isen eroderte seg ned i det underliggende terrenget ved abrasjon og plukking.

Abrasjonsprosessen innebærer skuring, der bergartsfragment under breen lager skuringsstriper i berget, og polering, der finere partikler under breen pusser bergoverflaten lik et sandpapir. Ved plukking trenger isen seg ned i sprekker i berget og sprenger ut større blokker. Dette skjer som regel på lesiden av fjellknauser. Bratte U-formede daler med terskler og bassenger ble resultatet av isens bevegelse. Der hvor dalbunnen ble erodert til under havoverflaten, dannet det seg fjorder da isen smeltet og havet trakk seg innover det eroderte landskapet (Nesje, 2012).

2.1.3 Historiske hendelser i Aurlandsfjorden

Flom og flomskred i 1985

Den 1. oktober 1985 var det to ulike flomhendelser i området rundt Indre Aurlandsfjord knyttet til store nedbørmengder og snøsmelting. I en rapport lagt fram av Multiconsult (2016) ble døgnmiddelverdien for nedbør målt til 193 m³/s. Trolig forårsaket av nedbørmengden ble et flomskred utløst i bekken Markåna (Figur 6), noe som førte til at E16 (daværende Rv601) ble sperret av skredmasser (NGI, 1986). Finstoff fulgte bekken, mens de groveste massene gikk ut av bekkeløpet. En blokk på 20 m³ ble liggende i veien (NGI, 1986). De store nedbørmengdene førte også til en flom i Flåmselvi (Multiconsult, 2016).

Deltautbygging

Utbyggingen av deltaet i Flåm har skjedd gradvis, og den har ikke bare påvirket det naturlige deltaet, men også elveløpet til Flåmselvi. Utbyggingen startet allerede rundt 1920 i forbindelse med bygging av Flåmsbana (Thue, 2002). I senere tid er det utbygging av Flåm sentrum og havn som har forårsaket de største forandringene. I 1985 ble materiale fra Flenjatunnelen, nordvest for Flåm, brukt for å konstruere Flåm sentrum og havn (Christian Haug Eide 2017, *personlig meddelelse*). I tillegg ble utløpet til Flåmselvi regulert og kanalisert fra østlig- til nordlig retning (John Erik Johnsen 2016, *personlig meddelelse*). Selve utbyggingen av deltaet og bygging av havneanlegget var ferdig i 1985, men i 1998 ble materiale fra Flenjatunnelen og Gudvangatunnelen brukt til konstruksjonen av ny dypvannskai som ble ferdigstilt i 1999 (Jon Olav Stedje 2017, *personlig meddelelse*). Denne strekker seg helt ut til det ytterste punktet på deltaet. Figur 4 viser at omtrent hele det naturlige deltaet ble utbygd på denne tiden og at elveløpet har blitt kanalisert i forbindelse med denne utbyggingen. I dag er Flåm Havn en av Norges mest besøkte cruisehavner (<http> 10), og anlegget har holdt fartøy i størrelsesorden opp til 154 407 gross registertonn (GRT) (<http> 11).



Figur 4: Flyfoto av Flåm sentrum fra 1971 (venstre; Kartverket, 1971) og 2014 (høyre; <http> 12).

Dumping av tunnelmasser

Tunnelmasser ble fylt i Aurlandsfjorden i forbindelse med veifylling. Fyllingen startet i 1995 og varte i 4-5 år. Totalt ble 500 000 – 600 000 m³ dumpet i fjorden. Denne innfyllingen foregikk på allerede eksisterende fyllinger fra 80-tallet (Tvedten et al., 1996).

Storflommen i 2014

Mellom 27. og 29. oktober 2014 ble deler av Vestlandet rammet av en hundreårsflom. Årsaken var store mengder nedbør over en kort periode. Så mye som 200-300 mm nedbør kom ned over et større område i løpet av en tredagers periode (Langsholt et al., 2015).



Figur 5: Bildet illustrerer noen av ødeleggelsene under hundreårsflommen i 2014 i Flåmsdalen ([http 13](http://13)).

Aurland kommune var et av de stedene som ble hardest rammet av hendelsen (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2015). I Flåm førte flommen til store infrastrukturelle ødeleggelser hvor til sammen 13 hus ble totalskadet, der fem av dem raste ut i elva på grunn av den store erosjonskraften. Et driftsbygg ble også totalskadet, samt veien i Flåmsdalen på flere strekninger. Det gikk også utover to av broene i området, hvorav en av dem ble tatt av flommen

og den andre ble totalskadet (Multiconsult, 2016). I tillegg var det kraftig erosjon langs elvebanken og flere hus ble undervasket av vannmassene (Figur 5). Sedimenter, blokker og annet materiale ble fraktet nedover elven og avsatt. I etterkant ble det funnet omtrent 10 cm med sand og silt avsatt på kaien i Flåm sentrum. Det ble gjennomført omfattende opprydningsarbeid etter flommen i tidsperioden mellom 2014 og 2016. Totalt ble 180 000 m³ med masse fjernet og dumpet (Christian Haug Eide 2017, *personlig meddelelse*).

2.2 Avsetninger og avsetningsmiljø

Fjordbassenger virker som sedimentfeller for materialer og vil derfor fungere som et slags naturlig laboratorium for både naturlige og ikke-naturlige påvirkninger (Paetzel & Schrader 1991; Syvitski et al. 1987). Tempererte fjorder, fjorder som ikke er dominerte av is, får hovedsakelig tilførsel av materiale via elvetransport (Syvitski et al., 1987). Fjordelvene transporterer minerogent materiale fra forvitring av omkringliggende fjell og tidligere avsatte sedimenter. De transporterer også terrestrisk organisk materiale som blader, kvister, humus etc. (Howe 2010; Ramberg et al. 2013).

Fordelingen av sedimentene i fjorden avhenger av fjordens batymetri, dybde og hydrografiske regime (Howe, 2010). Når elva renner ut i fjorden vil vannhastigheten avta og materiale kan bli avsatt. Det groveste materialet vil bli avsatt nærmest elvemunningen, mens de fineste kornstørrelsene vil bli transportert ved suspensjon lenger ut i fjorden (Lutgens et al., 2015). Kornstørrelsen i de fluviale sedimentene vil variere ut ifra modermaterialet, erosjonsgraden, inklinasjonen og energien til elven samt filtreringseffekten til havet (Howe, 2010).

Aurlandsfjorden er en oksisk fjord, og sedimentasjonsrater i slike fjorder varierer vanligvis fra <0.1 til 0.2 cm per år (Paetzel & Schrader, 1992). Over 90% (vekt) av materialet i oksiske fjorder består av uorganisk materiale, hvor det meste er fluvialt transportert. I tillegg kan menneskelig aktivitet føre til tilførsel av uorganisk materiale i fjorden både via elver og luft. Marint organisk materiale kommer fra primærproduksjon i fjorden (Naustvoll, 2007). Primærproduksjonen finner sted fra tidlig vår til senhøsten (Howe, 2010).

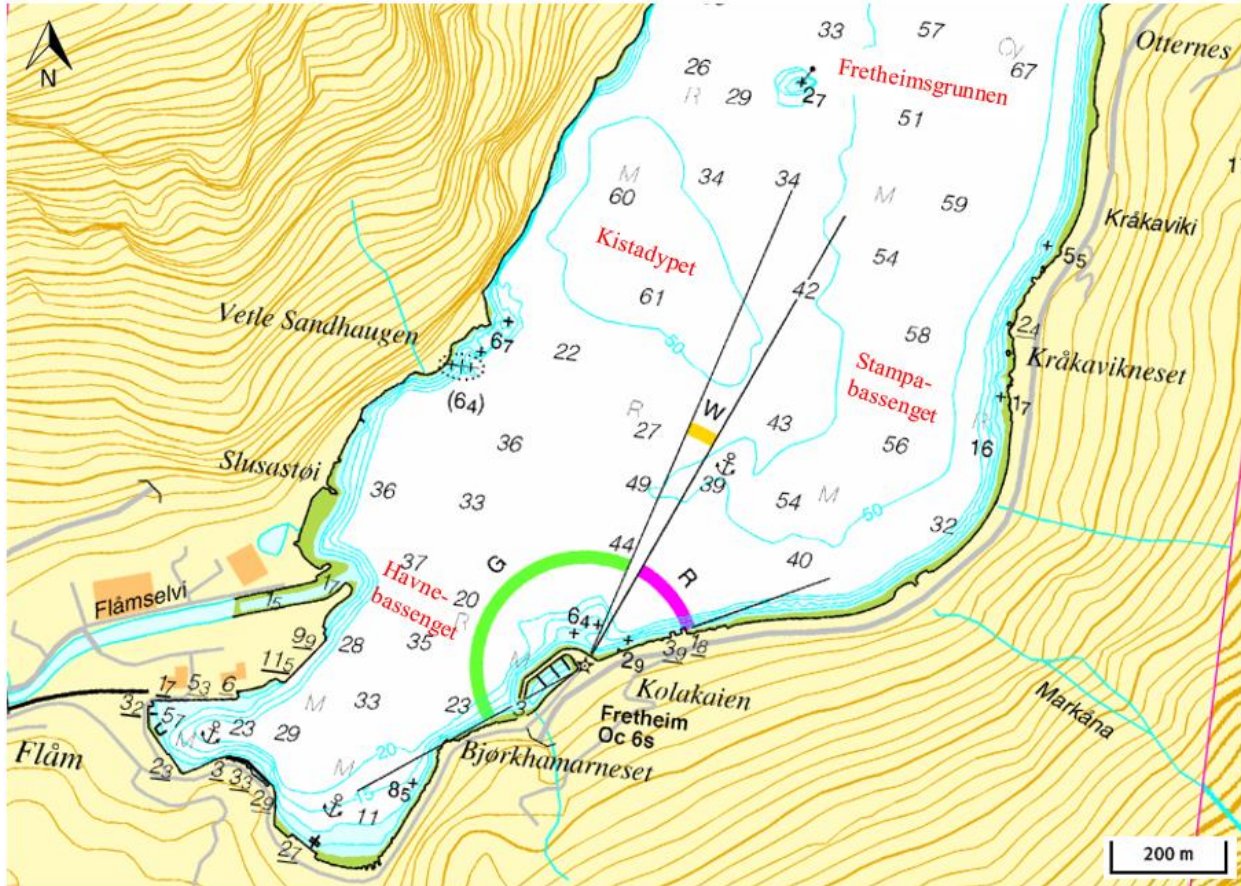
2.2.1 Topografi

Området rundt Aurlandsfjorden er dominert av høye fjell med bratte skråninger (Tvedten et al., 1996). Fjellpartiet på østsiden av fjorden består av fyllitt med en helningsvinkel på ca. 35° (Veglaboratoriet, 1980). Joasetbergi ligger i en nordvestvendt skråning 1100 meter ovenfor Aurlandsfjorden og Flåm. Joasetbergi er en del av Stampa som er et komplekst ustabilt fjellparti hvor det planlegges kontinuerlig overvåking av fjellets bevegelse fra sommeren 2017 ([http 14](#)).

Dalen ved Flåm er en typisk U-dal med bratte sider og dyp dalbunn, som bekrefter innflytelsen av isens eroderende aktivitet gjennom de kvartære istidene. Det finnes markante spor i form av gjel og jettegryter som antyder at breen beveget seg i nordlig retning (Gubberud & Sunde, 1992).

2.2.2 Batymetri

Batymetrien i Indre Aurlandsfjord består av flere basseng (Figur 6). Kistadypet er et av disse bassengene og ligger mellom Vetle Sandhaugen og Fretheimsgrunnen (Figur 6). Bassenget er 61 meter på det dypeste. Stampabassenget øst i fjorden strekker seg fra elveutløpet til Markåna og videre nordover (Figur 6). Bassenget er 67 meter på det dypeste utenfor Otternes (Figur 6), og 51 meter på det grunneste rett øst for Fretheimsgrunnen (Figur 6). Fretheimsgrunnen er en grunne som blir brukt til ankringsområde for cruise fartøy og ligger vest for Otternes (Kystverket, 2013). Havnebassenget ved Flåm kai er 28-37 meter dypt og befinner seg sør-sørøst for elveutløpet til Flåmselvi.



Figur 6: Batymetriske kart over Indre Aurlandsfjord. Kartet viser blant annet bassengene Kistadypet, Stampabassenget og Havnebassenget, i tillegg til Fretheimsgrunnen. Det batymetriske kartet er hentet fra <http://15>.

Aurlandsfjorden bærer preg av flere tidligere skredhendelser. Seismiske undersøkelser gjennomført i fjorden viser store rygger, bassenger og hummocky kryssjikt. Ryggene i den vestre delen av fjorden er grunnfjell, mens den østlige delen av fjorden representerer en eller flere avsetninger etter skred (Blikra et al., 2006).

2.2.3 Hydrografi

Konveksjonsstrømmer i vestnorske fjorder foregår som regel i de øvre 20-30 meterne, og vil være størst om sensommeren og høsten når nedbøren og tilførsel fra elver er på sitt høyeste. Vann som blir tilført fjorden kommer som regel fra nedbør eller elver (Sælen, 1976). Elvene transporterer relativt kaldt oksygenrikt vann. Ferskvannet fra elvene inneholder lite salt og vil blande seg med saltvannet i fjorden og resultere i brakkvann. Brakkvann har lavere saltinnhold

enn havvann som ligger på rundt 35 ‰ (Gaarder, 1916) og vil derfor legge seg på overflaten langs hele fjorden.

Indre Aurlandsfjord er en oksisk fjord. Prøver tatt i fjorden i 1987, 1993 og 2006 viser at oksygenforholdene var gode helt til bunns (Johannessen & Lønning, 1988; Tvedten et al. 1994; Vassenden et al. 2007). Ut i fra rapportene skrevet av Johannessen & Lønning (1988) og Tvedten et al. (1994) er det satt opp to tabeller (Tabell 3 & 4) for å se sammenhengen mellom temperatur, oksygen og salinitet mellom 1987 og 1993. I tillegg er det laget en tabell (Tabell 5) for målinger som ble tatt i 2006. Disse målingene ble tatt ved en annen lokalitet nærmere land. Det generelle oksygenivået i fjorden har holdt seg noenlunde stabilt mellom 1987 og 1993 med laveste verdi 4.25 ml O₂/l, og høyeste verdi 8.51 ml O₂/l i 1987. Laveste verdi for oksygen i 1993 var 4.66 ml O₂/l og høyeste verdi var 6.58 ml O₂/l. Temperaturen i overflatevannet ligger på 9.86°C i 1987, med en økende tendens ned til 20 meter opp til 11.40°C. Temperaturen i dypet har økt, mens temperaturen over 20 m er blitt lavere. Oksygenivået og temperaturen er høyere i overflaten i 1987 enn i 1993. Dette kan trolig skyldes at området hvor prøvene ble innsamlet fikk tilførsel av ferskvann fra en av småbekkene i området som senket temperaturen i overflatevannet. Dette kan også forklare hvorfor saliniteten i overflatevannet var på sitt laveste med 14.015 ‰.

Tabell 3: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden i 1987. Tabellen er laget etter Johannessen & Lønning (1988).

Dyp (m)	Oksygen (ml O₂/l)	Temperatur (°C)	Salinitet (‰)
0	8.51	9.86	14.015
5	8.13	12.35	23.032
10	6.43	13.05	29.247
20	6.22	11.40	30.899
50	6.20	8.17	32.705
65	4.25	7.35	34.559

Tabell 4: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden i 1993. Tabellen er laget etter Tvedten et al. (1994).

Dyp (m)	Oksygen (ml O ₂ /l)	Temperatur (°C)	Salinitet (‰)
0	6.58	7.35	29.38
5	5.81	10.48	31.75
10	5.59	10.81	32.27
20	5.70	10.79	32.84
50	5.89	9.74	33.41
65	4.66	8.86	33.75

Tabell 5: Tabellen viser oversikt over oksygen-, temperatur- og salinitetsmålinger i Aurlandsfjorden mellom 2-4 september 2006. Tabellen er laget etter Vassenden et al. (2007).

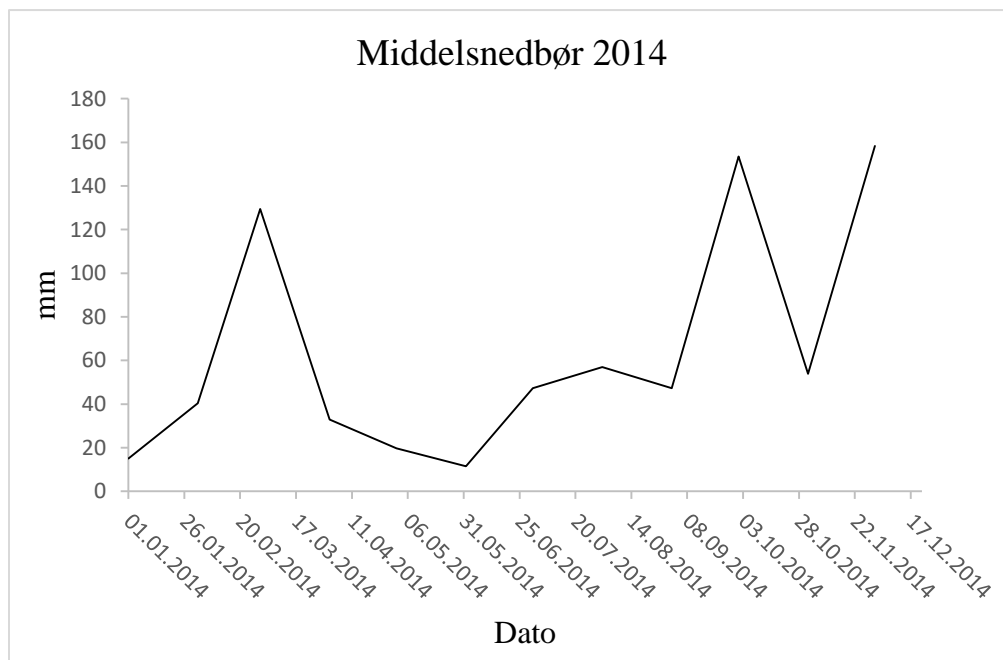
Dyp (m)	Oksygen (ml O ₂ /l)	Temperatur (°C)	Salinitet (‰)
0	7.55	15.40	8.87
5	8.15	14.51	24.07
10	7.61	13.04	29.98
20	6.45	8.86	31.65

2.2.4 Klima og nedbør

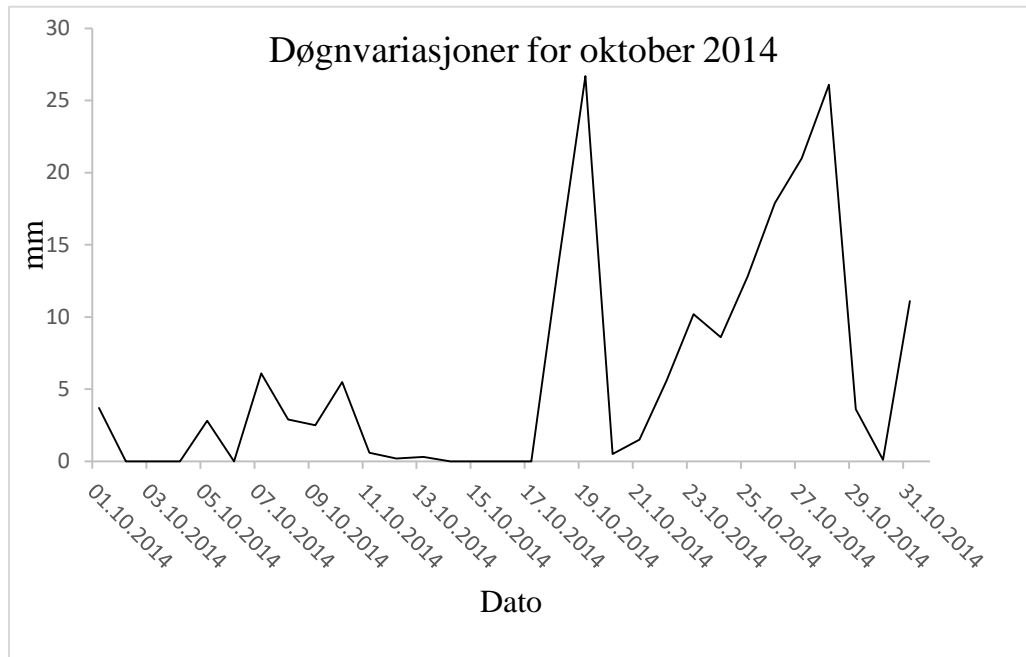
Flåm har et innlandsklima med liten årsnedbør og kalde vintre (Norsk klimaservicesenter, 2016). Det er per dags dato ingen klimastasjon i Flåm. Den nærmeste offisielle stasjonen ligger ved Klevavatnet, 960 m.o.h., 14 kilometer fra Flåm, og ble åpnet i 2013. Basert på data fra mars 2016 til mars 2017 viser temperaturmålinger at de kaldeste månedene er mellom november og mars og har en gjennomsnittlig temperatur på omtrent -3°C. De varmeste månedene er fra juni til september med en gjennomsnittlig temperatur på rundt 9°C ([http 16](http://16)).

Flommer er vanlig om våren og høsten, spesielt i månedene september og oktober. Disse flommene er ofte forårsaket av store nedbørsmengder, gjerne i kombinasjon med snøsmelting. Flommen i oktober 2014 var den største i Flåm siden 1915 (Norsk klimaservicesenter, 2016).

Nedbørskurven for middelsnedbør for året 2014 viser ingen ekstremverdier som tyder på hvorfor flommen i oktober ble så voldsom (Figur 7). Grafen for døgnvariasjoner i oktober 2014 (Figur 8) viser derimot at det mellom 20 og 30. oktober var en lenger periode med mye nedbør. Denne lengre perioden med uavbrutte store mengder nedbør kan muligens forklare hvorfor flommen ble stor.



Figur 7: Middelsnedbør for 2014. Målingene er tatt fra Aurland målestasjon, 15 m.o.h. Data er bestilt fra eklima.no 07.04.2017.



Figur 8: Døgnvariasjon for nedbør i oktober 2014. Målingene er tatt fra Aurland, 15 m.o.h. Data er hentet fra senorge.no ([http 17](http://senorge.no)).

Fremtidig klima

Ifølge en rapport lagt fram av Norsk klimaservicesenter er det sannsynlig at kraftig nedbør vil øke både i forekomst og styrke (Norsk klimaservicesenter, 2016). Dette vil kunne føre til flere og større flommer som kan ha sine innvirkninger på mennesker, natur og infrastruktur.

2.3 Tidligere undersøkelser i Aurlandsfjorden

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

Denne rapporten omhandler resipientundersøkelser på tre områder i Aurland kommune; Aurlandsfjorden, Flåm og Nærøyfjorden. Innsamlingene ble gjort i september/oktober 1987. Det ble gjort undersøkelser av hydrografi, sediment og bunnfauna. En enkel strandundersøkelse ble i tillegg foretatt. Konklusjonen var at miljøforholdene i Aurlandsfjorden var gode. Sediment og bunnfauna viste ingen tegn på belastning. Unntaket var et lite område ved jernbanekaien i Flåm, men denne observasjonen var av meget begrenset utstrekning og det var klart at fjorden tåler godt det som i 1987 ble sluppet ut av kloakk. Strandsonen bar preg av å være ferskvannspåvirket, noe som var forventet.

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

Denne rapporten omhandler en undersøkelse av miljøforholdene i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i forbindelse med steinutfyllingen i området utenfor Flåm, hvor steinmasser fra tunnelarbeid skulle fylles i sjøen. Hovedformålene var å gi en konsekvensanalyse av effekter som steinutfyllingen kunne få for det marine plante- og dyrelivet i området, og vurdere miljøforhold i resipientene ved Aurland sentrum, Høydal, Flåm, Undredalen og Nærøyfjorden. Rapporten omfatter undersøkelser av vann, sediment, bunnfauna og strandsone. Innsamlingen ble foretatt i november 1993. Konsekvensanalysen viste at utfyllingen førte til skader i strandsonen ved at et nytt plante- og dyresamfunn måtte etableres og det ville ta 10-20 år før dette nådde «normaltilstanden». For bløtbunnsfauna og fisk ble skadene ventet å være små, og begrenset til områdene nært fyllingen. Når det gjelder resipientundersøkelsen, viste den at Aurlandsfjorden generelt har gode miljøforhold og resultatene er nokså like de som ble funnet i 1987.

Tvedten et al. (1996): *Aurlandsfjorden – Konsekvensvurdering i forbindelse med utfylling av steinmasser*

Rapporten omfatter undersøkelse av miljøforholdene i fjorden på grunnlag av dumping av steinmasser ved Otterneset-Kolakaien i Aurlandsfjorden. Det ble gjennomført analyser av vann-, sediment- og bunndyrprøver. Resultatene fra denne undersøkelsen ble sammenlignet med undersøkelsene gjennomført i 1987 og 1993. Konklusjonen var at det ikke fantes så store miljøkonsekvenser at det måtte igangsettes avbøtende tiltak.

Vassenden et al. (2007): *Marinbiologisk miljøundersøkelse i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i 2006*

Denne rapporten tar for seg de marine miljøforholdene i indre del av Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden. Rapporten omfatter undersøkelser av hydrografi, næringsalter, strandundersøkelse, kornfordeling, kjemiske analyser av sediment og bunnfauna. Innsamlet data er sammenlignet med tidligere undersøkelser fra 1988, 1994 og 1996. Miljøundersøkelsen viste at oksygenforholdet i bunnvannet i Aurlandsfjorden var meget gode og

næringssaltkonsentrasjonene i overflatevannet var lave. Det var også lave konsentrasjoner av tungmetaller og organiske miljøgifter i sedimentet på dyp større enn 400 m, altså lite forurenset. For bunndyrssamfunnet i Aurlandsfjorden var det gode forhold. Det var litt flere arter i dypet av fjorden enn tidligere, men artsantallet på de grunnere stasjonene var på likt nivå som de tidligere undersøkelsene. Antall individer hadde økt opptil fire ganger så mye som i 1987.

3 Metoder

3.1 Materialer

Sedimentkjerner med intakt sediment-vann overgang ble hentet fra tre stasjoner med oksiske vannmasser i Indre Aurlandsfjord (Tabell 6; Figur 9).



Figur 9: Figuren viser stasjonene i Indre Aurlandsfjord hvor sedimentkjerner med intakt sediment-vann overgang ble hentet. Bildet er hentet fra [http 12](http://12).

3.2 Metoder i felt

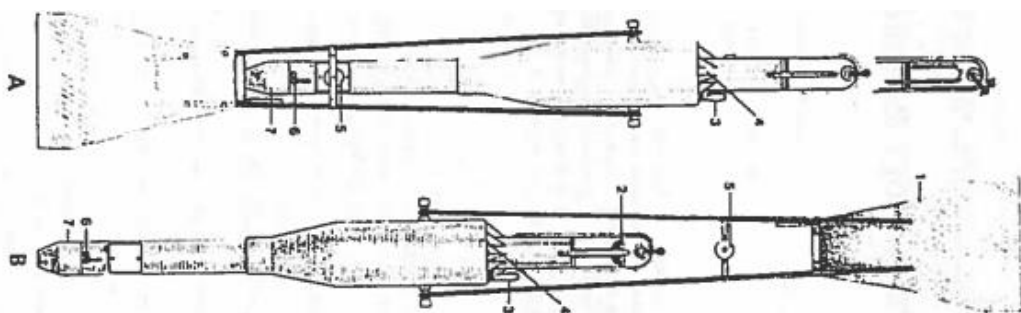
3.2.1 Prøvetaking av sediment

Prøvetaking av sediment i Indre Aurlandsfjord ble gjennomført i et samarbeid med de internasjonale studentene fra «From Mountain to Fjord» -programmet ved Høgskulen på Vestlandet 2016. Det ble hentet opp totalt 13 kjerner fra ulike lokaliteter, hvor det i denne oppgaven fokuseres på tre kjerner i områdene rundt Stampabassenget, Kistadypet og Havnebassenget (Tabell 6; Figur 9).

Tabell 6: Koordinater over stasjonene hvor sedimentkjernene ble tatt. * MF2016-3, MF2016-6 og MF2016-8 var tomme. De uthevede radene (MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13) er kjerner som det blir fokusert på i denne oppgaven.

Kjernennummer	Lengdegrad (øst)	Breddegrad (nord)	Vanndyp (meter)
MF2016-1	07°7.665	60°52.369	58.7
MF2016-2	07°7.717	60°52.246	63.3
MF2016-3*	07°7.745	60°52.239	63.7
MF2016-4	07°7.787	60°52.242	64.1
MF2016-5	07°7.774	60°52.227	63.9
MF2016-6*	07°7.346	60°51.885	37.0
MF2016-7	07°7.415	60°51.809	35.6
MF2016-8*	07°7.391	60°51.829	34.8
MF2016-9	07°7.379	60°51.850	37.2
MF2016-10	07°7.373	60°51.872	38.1
MF2016-11	07°8.070	60°52.001	51.9
MF2016-12	07°8.032	60°52.054	55.4
MF2016-13	07°8.109	60°52.057	56.8

Ved prøvetaking av sediment ble en kjernetaker av merket Niemistö benyttet. Kjernetakeren har glideplater som hindrer prøven i å bli kontaminert av luft (Niemistö, 1974). Et PVC-rør ble plassert i kjernetakeren som slippes ned i sjøen ved hjelp av en vinsj på båten, og bruker tyngdekraften for å få kraft nok til å kunne grave seg ned i sedimentene på fjordbunnen. Når kjernetakeren blir hevet vil en lukkemekanisme holde sedimentene på plass i røret (Figur 10). Røret ble så tatt ut av kjernetakeren og alle kjerneprøvene hadde klart vann på toppen. Rørene ble deretter fylt opp til kanten med sjøvann for å beskytte sedimentoverflaten og hindre uttørking. Prøvene ble så forseglet med lokk og teip og merket med toktnummer (MF2016) fulgt av fortløpende stasjonsnummer (MF2016-1, MF2016-2 og så videre), samt pil for å markere sedimentoverflaten. Prøvene ble plassert vertikalt for midlertidig oppbevaring i et kjølerom før analyse av kjernene. Dette ble gjort for å bevare fuktigheten i kjernene.



Figur 10: Kjernetakeren (B) i åpen posisjon på vei ned. Kjernetakeren (A) på vei opp i låst stilling (Niemistö, 1974).

3.3 Metoder i laboratorium

3.3.1 Åpning og klargjøring av sedimentkjerner

Høgskulen på Vestlandet, Sogndal (HVL)

Åpning av kjerneprøvene ble gjennomført ved Høgskulen på Vestlandet, Sogndal. Før en åpner kjernene er det viktig å drenere ut vannet fra PVC-rørene. Dette ble gjort med en slange etter hevertprinsippet. Deretter ble et lag med Oasis presset forsiktig ned kjerneåpningen for å suge opp resterende vann og forsegle sedimentoverflaten. Denne prosedyren ble gjennomført for

sedimentkjernene MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13. Disse tre kjernene ble lagret vertikalt før de ble transportert til Universitetet i Bergen for videre analyse.

Universitetet i Bergen (UiB)

Kjernene MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13 ble åpnet med en Kawohl kjerneknutter (2016-modell), fra firmaet Marinetechnik. Det ble tatt målinger av sedimentprøvens diameter og en passende skinne ble valgt ut fra dette. Skinnen ble stilt inn manuelt og det ble sjekket at denne var i vater. Dette ble gjort for å forsikre at maskinen kuttet kjernen jevnt i to like store deler. Prøven ble plassert på skinnen og holdt stabil samtidig som en dreide manuelt i håndtaket for å få sagen til å bevege seg bortover skinnen. Overflødig smuss og vann ble tørket av prøvene før de ble merket, teipet sammen og lagt horisontalt for frakt til laboratoriet.

3.3.2 Analyse av sedimentkjerner ved UiB

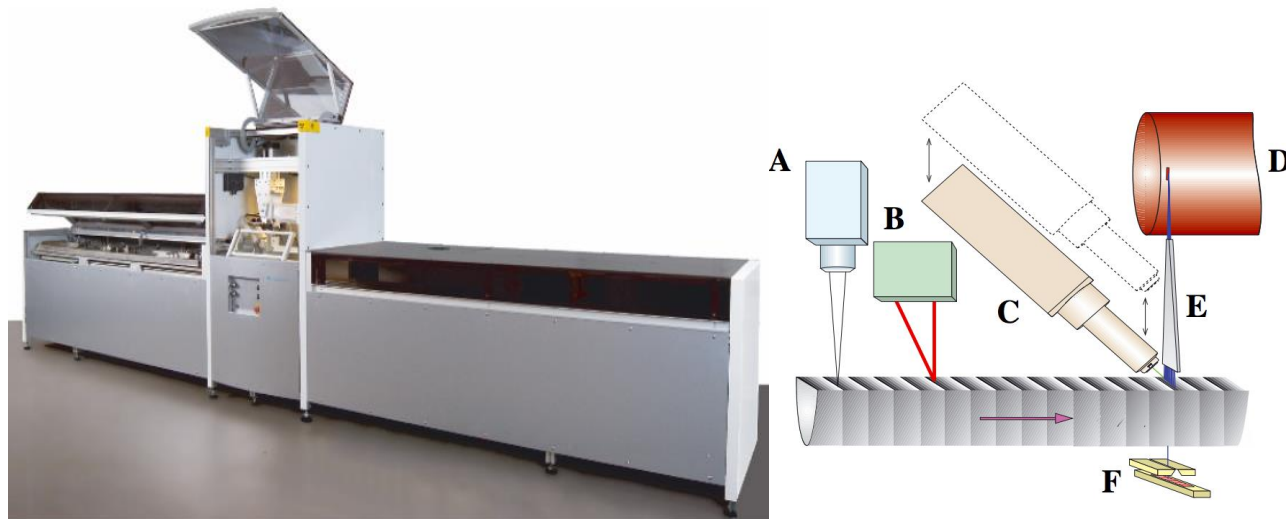
Kjernene MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13 ble transportert til Universitetet i Bergen, Institutt for geovitenskap, for å undersøke de geokjemiske og sedimentologiske aspektene i de ulike kjernene. Undersøkelsene foregikk i tidsperioden 21.11.2016 - 24.11.2016.

Kjernematerialet ble analysert ved bruk av apparatene Itrax Core Scanner og Multi Sensor Core Logger (MSCL). Itrax Core Scanner tar blant annet optiske bilder, røntgenbilder og måler den kjemiske sammensetningen av sediment. MSCL måler sedimentenes γ -tetthet, p-bølgetetthet og magnetisk susceptibilitet.

Itrax Core Scanner: X-ray fluorescence (XRF)

XRF ble tatt med Itrax Core Scanner (Figur 11) som analyserer den kjemiske sammensetningen i sedimentkjernen. XRF-skannere har to hovedkomponenter: en røntgenkilde og en detektor (Figur 11b). Primære røntgenstråler sendes ut fra røntgenkilden til overflaten av prøven. Når den primære røntgenstrålen treffer atomene i prøven, forårsaker dette en kollisjon som fører til at ett elektron blir slått ut av skallet til atomet. Den energien som oppstår ved denne prosessen genererer sekundære røntgenstråler som registreres av detektoren (http 18). Bølgelengden av den sekundære røntgenstrålen er karakteristisk for elementene og dermed vil måling av disse bølgelengdene gi en indikasjon for hvilke elementer prøven består av og en relativ mengde i

counts per second (cps) i sedimentprøven (Eivind W. N. Støren 2016, *personlig meddelelse*). Målingene ble tatt med en intensitet på 55 mA og 34 kV.



Figur 11: a) Itrax Core Scanner sett forfra. b) Skisse av Itrax-systemet med A: optisk kamera, B: lasertrianguleringssystem, C: XRF-detektor, D: røntgenkilde, E: røntgenfokuserende spalte og F: røntgendetektor. Figurene er hentet fra Croudace et al. (2006).

Røntgen

Røntgenbildene ble tatt med Itrax Core Scanner (Figur 11a) og viser tetthetsforskjeller i materialer som det ikke er mulig å se med det blotte øyet. Områder med lavere tetthet i røntgenbildene vises i lysegrå farger, mens områder med høyere tetthet vises i mørkegrå farger (Croudace et al., 2006). Eksponeringstiden ble satt til 500 ms og intensiteten på de radiografiske parameterne ble satt til 40 kV og 40 mA.

Magnetisk susceptibilitet

Det ble målt magnetisk susceptibilitet med en Multi Sensor Core Logger (MSCL) fra GEOTEK. Magnetisk susceptibilitet er et mål angitt i SI (det internasjonale enhetssystemet) for graden av magnetisering under eksponering for et magnetisk felt (UiB, u.å.). En positiv verdi for magnetisk susceptibilitet betyr dette at magnetfeltet styrkes når det er i nærheten av materialet. Positiv verdi betyr også at materialet kan være para-, ferro-, ferri- eller antiferromagnetisk. Negativ verdi vil gi det motsatte, magnetfeltet svekkes i nærvær av materialet og materialet er

diamagnetisk (http 19). Susceptibiliteten kan variere etter blant annet type sediment, egenskapene til sedimentet og volum (UiB, u.å.). MSCL består av en hovedenhet med ulike sensorer og en bevegelig skinne som fører prøvene under disse. Sensorene er koblet til en datamaskin der resultatene kan leses av. En point-sensor for magnetisk susceptibilitet er plassert lengst unna hovedenheten slik at målingene skal bli minst mulig forstyrret (UiB, u.å.). De tre kjernene ble sendt gjennom sensoren som ble trykket lett ned i sedimentoverflaten for å ta målinger (UiB, u.å.). Målingene ble tatt hver 0.2 cm.

Visuell tolkning

Det ble gjennomført en sedimentologisk tolkning av de tre kjernene hvor utfylling av loggskjema ble foretatt i samarbeid med tre studenter fra «From Mountain to Fjord 2016» og to studenter fra HVL, Sogndal. Fargene er analysert og tolket etter Munsell fargekart (Munsell, 1994) og ble gjennomført før sedimentene i kjernen ble oksidert. Kornstørrelsene i prøvene ble bestemt ut ifra øyemål og tekstur av sedimentkornene.

4 Resultat

Resultater er presentert fra tre sedimentkjerner: MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13. All rådata og samtlige grafer over rådata fra de ulike kjernene finnes i vedlagt Appendiks.

All data fra XRF-analysen med påfølgende verdier for Mean Standard Error (MSE) og Kilo Counts Per Seconds (KCPS) i MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13 er innenfor de anbefalte verdiene, og blir dermed sett på som troverdige. MSE gir en indikasjon på påliteligheten til resultatene og bør være under 10. KCPS, som er tellinger angitt i tusen tellinger per sekund, registrerer innkommende stråling. Den ideelle tellingen her er 30.000 +/- 3.000 (Haflidi Haflidason 2016, *personlig meddelelse*).

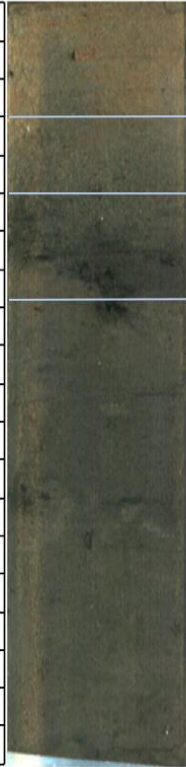

Det er verdt å nevne at de fremstilte grafene i oppgaven er bearbeidet i henhold til verdiene. Det er tatt gjennomsnitt for hver 0.5 cm for å kunne sammenligne data med de andre oppgavene i Aurlandsfjordprosjektet samt for bedre fremstilling.

4.1 Analyser av sedimentkjerne ved UiB

4.1.2 Kjerne MF2016-5

Visuell analyse

Figur 12 viser optisk bilde, røntgenbilde, fargekoder og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-5.

	MF2016-5 Optisk bilde	MF2016-5 Røntgen	MF2016-5 Fargekode	MF2016-5 Optisk beskrivelse
0			5Y 3/2 (very dark grayish brown)	Sandig silt
1				
2				
3				
4			5Y 3/1 (very dark gray)	Sandig silt, terrestrisk organisk materiale
5				
6				
7				
8			2.5Y 2.5/1 (black)	Sandig silt, terrestrisk organisk materiale
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

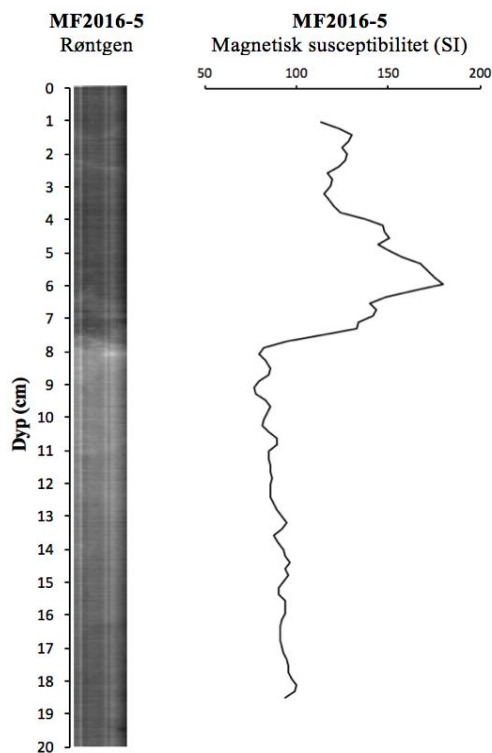
Figur 12: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-5.

Sedimentene i kjerne MF2016-5 har en mørk farge (5Y 2.5/1 black) fra 20 cm og opp til 8 cm. Kornstørrelsen i dette området er siltig leire. Mellom 8 og 5 cm er det noe grovere sedimenter, sandig silt. Fargen her er tolket til å være svart (2.5Y 2.5/1 black). Fra 5 til 3 cm består sedimentene av sandig silt og har en mørk grå farge (5Y 3/1 very dark gray). Sedimentene fra 3 til 0 cm har en mørk gråbrun farge (5Y 3/2 very dark grayish brown) med sandig silt. Det ble funnet spor etter terrestrisk organisk materiale (små røtter, biter av løv m.m.) i store deler av

kjernen, unntaket er ved de øverste 3 cm. Røntgenbildet viser en endring i tetthet hvor tettheten er lavere fra 20-8 cm og høyere fra 8-0 cm.

Magnetisk susceptibilitet

Figur 13 viser røntgenbilde og magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-5. De fem øverste, og de to nederste verdiene er fjernet, da dette trolig var verdier som stammer fra tetningsmassen Oasis i kjernen.

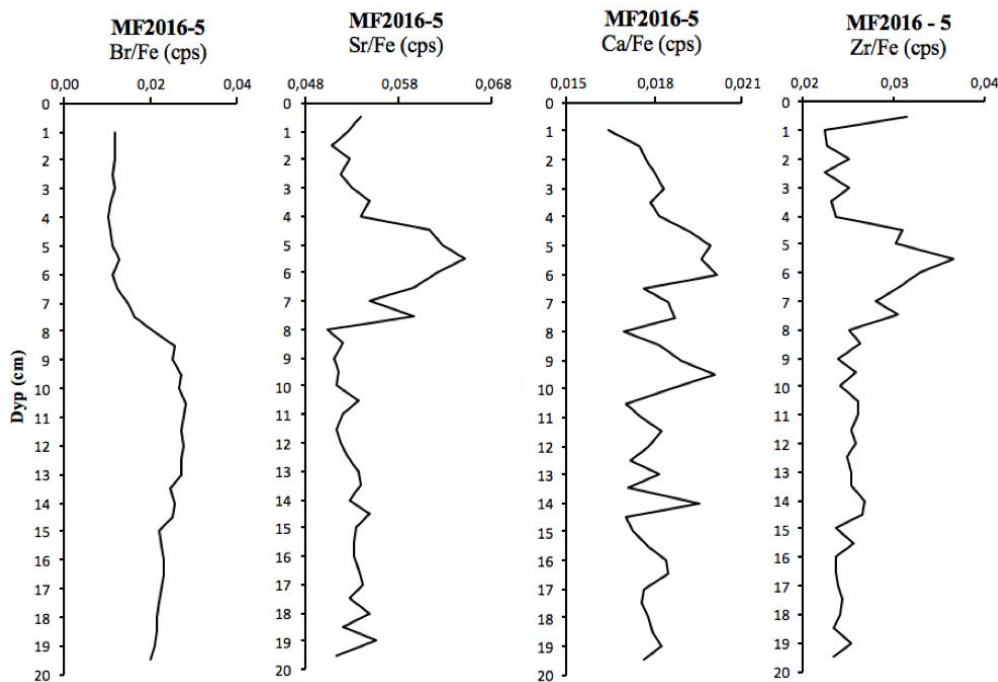


Figur 13: Figuren viser røntgenbilde og magnetisk susceptibilitet over kjerne MF2016-5.

Den magnetiske susceptibiliteten holder seg på et relativt stabilt nivå fra 18.8 cm og opp til 8 cm med verdier fra henholdsvis 80-100 SI. Mellom 8 og 3.5 cm øker verdiene til den magnetiske susceptibiliteten med et toppunkt ved 6 cm på ca. 180 SI. Dette skjer samtidig som røntgenbildet viser en endring i tetthet (Figur 13). Fra 3.5 cm har grafen en svak, jevn økning opp mot overflaten, der verdiene er generelt høyere enn fra 18.5 til 8 cm (115-130 SI).

X-ray fluorescence (XRF)

Figur 14 viser grafer fra XRF-analysen for kjerne MF2016-5. Det er valgt å presentere elementene brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca) og zirkon (Zr) da disse viser utslag som kan gi rom for videre tolkning (grafer av alle resterende elementer er framstilt i Appendiks). Det er valgt å fremstille de relevante elementene mot jern (Fe) da jern har de høyeste tellingene, noe som kan føre til at utslaget for de andre elementene blir påvirket. Alle elementer er derfor satt opp mot jern for å få mer reelle resultater. Det er verdt å nevne at alle tall i fremstillingen er relative. I fremstillingen av resultatene er den første verdien for brom over jern (Br/Fe) og kalsium over jern (Ca/Fe) fjernet da de ble sett på som en usikker verdi.

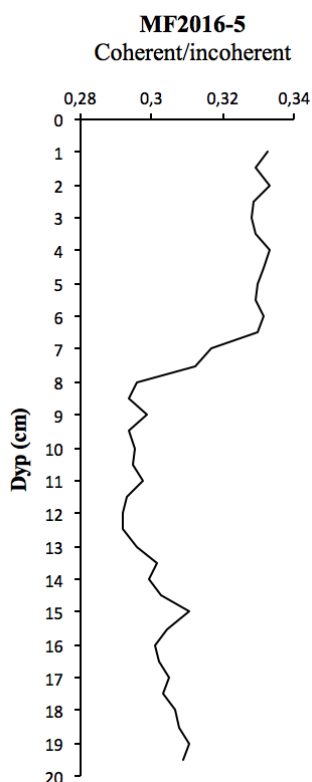


Figur 14: XRF-grafer fra kjerne MF2016-5 over brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca) og zirkon (Zr) over jern (Fe).

Brom over jern (Br/Fe) har en svak, jevn økning fra 19.5 til 8.5 cm. Deretter synker brom over jern (Br/Fe) til 6 cm for så å stabilisere seg igjen mot overflaten. Grafene over strontium over jern (Sr/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe) har noe lik trend med et største toppunkt rundt 5.5 cm. Fra 4 cm stabiliserer verdiene seg til samme nivå som i bunnen av kjernen (20 til 8 cm). Kalsium over jern (Ca/Fe) er relativt stabil gjennom hele kjernen med tre større topper ved henholdsvis 14, 9.5 og 5.5 cm.

Coherent/Incoherent

Forholdet mellom coherent/incoherent kan gi en indikasjon på endring i kornstørrelse, tetthet og/eller vanninnhold.



Figur 15: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-5.



Grafen over forholdet mellom coherent/incoherent følger omvendt trend som brom (Figur 14), ved at den synker fra 19,5 cm opp til 8 cm. Mellom 8 og 6 cm øker verdiene før de jevner seg ut igjen mot overflaten med en generelt høyere verdi enn fra 19,5 til 8 cm.

4.1.3 Kjerne MF2016-10

Visuell analyse

Figur 16 viser optisk bilde, røntgenbilde, fargekoder og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-10.

Kjernen var relativt tørr ved åpning i forhold til de andre kjernene og med et luftrom uten sedimenter til venstre ved overflaten av kjernen (1 til 0 cm).

	MF2016-10 Optisk bilde	MF2016-10 Røntgen	MF2016-10 Fargekode	MF2016-10 Optisk beskrivelse		
0						
1					5Y 3/1 (very dark gray)	Sandig silt, luftrom øverst til venstre
2					5Y 2.5/1 (black)	Sandig silt, spor av skjellfragmenter og noe terrestrisk organisk materiale, gassbobler
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9					5Y 2.5/1 (black)	Siltig sand
10						
11						
12						
13						

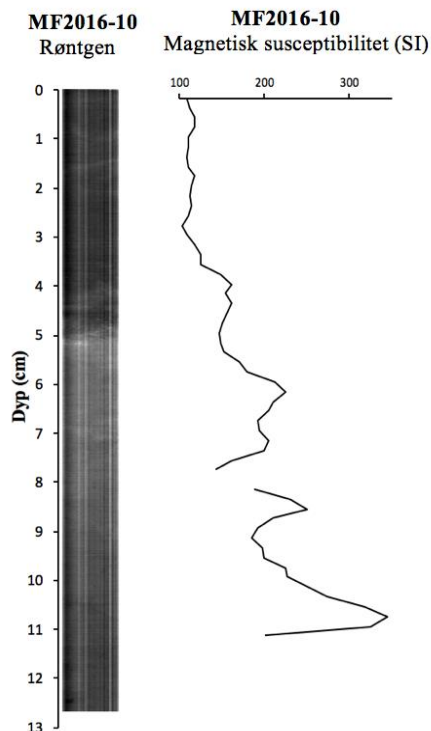
Figur 16: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-10.

Sedimentene i MF2016-10 fra 12.55 cm til 9.1 cm er svart (5Y 2.5/1 black) med siltig sand. Seksjonen fra 9.1 til 1.5 cm består av sandig silt og er svart (5Y 2.5/1 black) og det er spor av skjellfragmenter og terrestrisk organisk materiale i form av blader og kvister. I denne seksjonen ble det også observert gassbobler. Fra 1.5 til 0 cm har sedimentene fargen mørk grå (5Y 3/1 very dark gray) og består av sandig silt. Den øverste centimeteren på venstre side i det optiske bildet viser et luftrom uten sedimenter. Røntgenbildet av kjerne MF2016-10 viser en tydelig endring i

tetthet ved 5 cm, hvor tettheten fra 12.55 til 5 cm er lavere enn tettheten fra 5 til 0 cm.

Magnetisk susceptibilitet

Figur 17 viser røntgenbilde og magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-10. Verdier for den nederste 1.5 cm er fjernet da disse ble sett på som urealistiske. Rundt 8 cm ble det også fjernet en verdi, da denne var på omlag -4000 SI og ble sett på som en feilverdi.

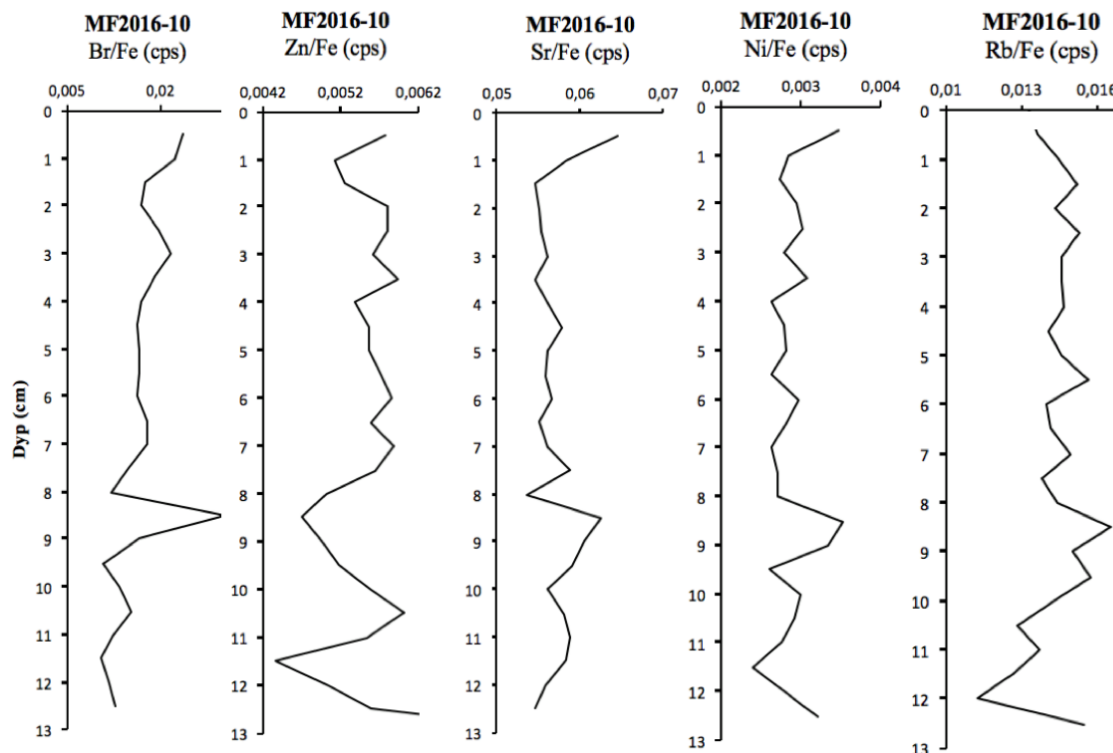


Figur 17: Figuren viser røntgenbilde og graf over magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-10.

Den magnetiske susceptibiliteten for kjerne MF2016-10 er tydelig delt i to. Fra bunnen og opp til ca. 8 cm ligger den på verdier mellom 180 og 345 SI, hvor den største toppen er ved 11 cm. Etter 11 cm er den magnetiske susceptibiliteten jevnt synkende opp mot overflaten med noen mindre topper på 8.5, 6.8 og 4 cm med verdier på henholdsvis 250 SI, 225 SI og 160 SI. Rundt 3 cm holder den seg mer eller mindre stabil med verdier på 110-120 SI helt til overflaten av kjernen.

X-ray fluorescence (XRF)

Figur 18 viser grafer fra XRF-analysen for kjerne MF2016-10. Det er valgt presentere elementene brom (Br), sink (Zn), strontium (Sr), nikkel (Ni) og rubidium (Rb). Disse elementene er også satt opp mot jern (Fe) av samme grunn som for kjerne MF2016-5.

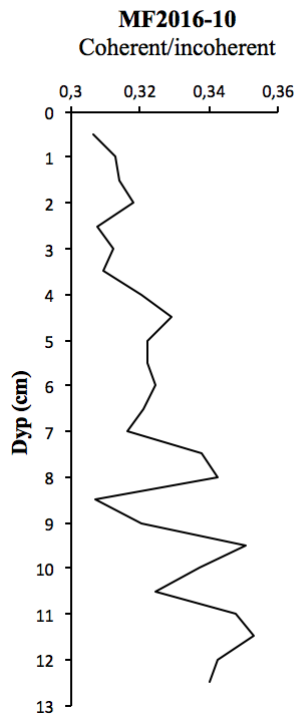


Figur 18: XRF-grafer fra kjerne MF2016-10 over brom (Br), sink (Zn), strontium (Sr), nikkel (Ni) og rubidium (Rb) over jern (Fe).

Brom over jern (Br/Fe), nikkel over jern (Ni/Fe) og strontium over jern (Sr/Fe) viser en relativt jevn trend gjennom kjernen, men med en markant hendelse mellom omtrent 9.5 og 8 cm der verdiene øker. Rubidium over jern (Rb/Fe) har en økende trend mellom 12 og 8.5 cm. Deretter har rubidium over jern (Rb/Fe) en lignende tendens som de ovennevnte elementene, men med kun et mindre markant toppunkt ved 8.5 cm. Sink over jern (Zn/Fe) har to tydelige bunnpunkt ved henholdsvis 11.5 og 8.5 cm. Ellers er sink over jern (Zn/Fe) forholdsvis stabil gjennom kjernen.

Coherent/Incoherent

Den nederste verdien for coherent/incoherent ble fjernet, da den ble sett på som ugyldig.




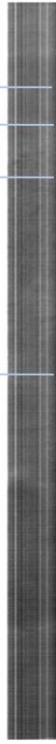
Figur 19: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-10.

Coherent/incoherent for kjerne MF2016-10 (Figur 19) er svak, forholdsvis jevnt synkende gjennom hele kjernen. I bunnen av kjernen, fra 12,5 cm og opp til 7 cm er det større topp- og bunnpunkt enn i den øvre delen av kjernen, fra 7 til 0,5 cm.

4.1.4 Kjerne MF2016-13

Visuell analyse

Figur 20 viser optisk bilde, røntgenbilde, fargekoder og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-13.

	MF2016-13 Optisk bilde	MF2016-13 Røntgen	MF2016-13 Fargekode	MF2016-13 Optisk beskrivelse	
0			2.5Y 3/1 (very dark gray)	Sandig silt, homogent	
1			5Y 2.5/1 (black)	Silt	
2			2.5 Y 3/1 (very dark gray)	Sandig silt	
3			10Y 2.5/1 (greenish black)	Sandig silt med økende innslag av sand opp mot 4.8 cm, noe terrestrisk organisk materiale	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

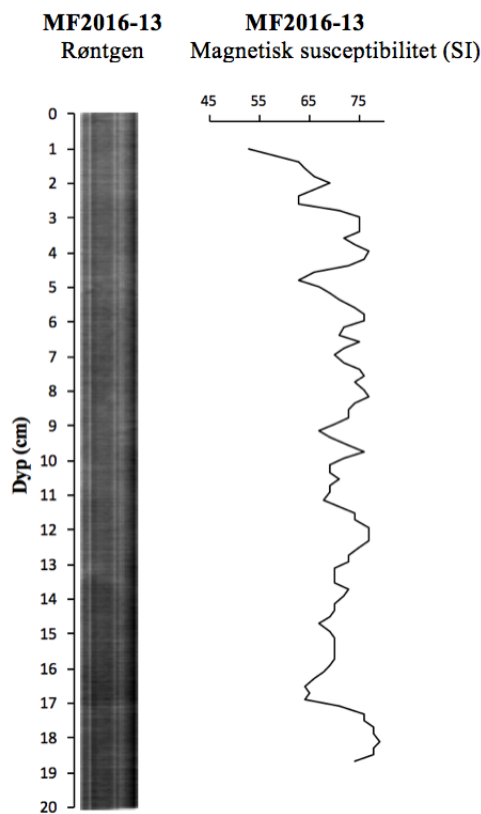
Figur 20: Oversikt over optisk bilde, røntgenbilde, fargekode og optisk beskrivelse til kjerne MF2016-13.

Sedimentene i kjerne MF2016-13 har en endrende farge opp gjennom kjernen. Nederste delen fra 20 til 10 cm er det en mørk farge (2.5/N black) hvor siltig leire dominerer. Det ble funnet terrestrisk organisk materiale, og mellom 15 og 14 cm ble det observert et hulrom i sedimentene. I seksjonen fra 10 til 4.8 cm har sedimentene en grønnsvart farge (10Y 2.5/1 greenish black). Kornstørrelsen i dette området er sandig silt med økende innslag av sand oppover mot 4.8 cm. Det ble også funnet spor av terrestrisk organisk materiale. Fra 4.8 til 3.2 cm har sedimentene en mørk grå farge (2.5Y 3/1 very dark gray) med kornstørrelsen sandig silt. Ved 3.2 til 2.2 cm ble det observert et tynt, svart lag (5Y 2.5/1 black) med silt. De øverste 2.2 cm består av et homogent

lag med sandig silt. Fargen er mørk grå (2.5Y 3/1 very dark gray). Røntgenbildet viser endring i tetthet fra 17 til 13 cm, hvor det er høyere tetthet. To mindre markante endringer i tetthet kan observeres fra 8 til 4.5 cm og fra 3 til 1.5 cm, hvor tettheten er noe høyere.

Magnetisk susceptibilitet

Figur 21 viser røntgenbilde og magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-13. De seks øverste og fire nederste verdiene er fjernet, da dette var usikre verdier som kan stamme fra blant annet Oasis i kjernen.

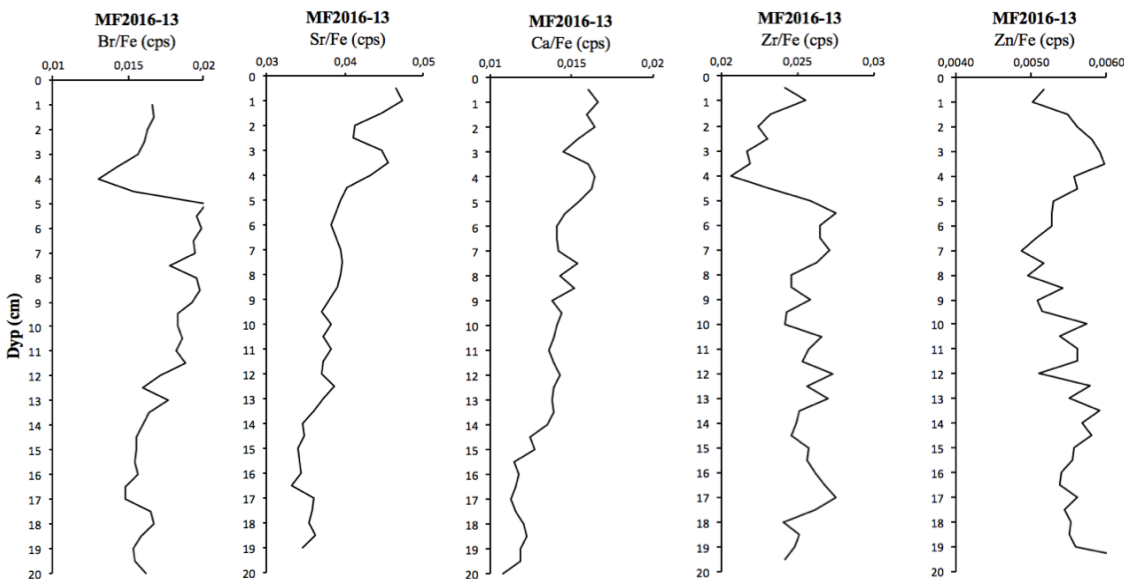


Figur 21: Viser røntgenbilde og graf over magnetisk susceptibilitet for kjerne MF2016-13.

Den magnetiske susceptibiliteten i kjerne MF2016-13 holder seg mer eller mindre stabil gjennom hele kjernen med små fluktuasjoner, og en svak synkende tendens fra 2 cm og opp til sedimentoverflaten. Verdiene ligger rundt 60 til 75 SI, som er betydelig lavere enn den magnetiske susceptibiliteten for både kjerne MF2016-5 (Figur 13) og MF2016-10 (Figur 17) som har verdier opp mot 200-350 SI.

X-ray fluorescence (XRF)

Figur 22 viser grafer fra XRF-analysen for kjerne MF2016-13. Det er valgt presentere elementene brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca), zirkon (Zr) og sink (Zn). Usikre verdier er fjernet i topp og bunn i fremstillingen. Dette gjelder den nederste verdien for strontium over jern (Sr/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe) samt den øverste verdien for brom over jern (Br/Fe). Disse elementene er også satt mot jern (Fe) av samme grunn som de foregående kjernene.

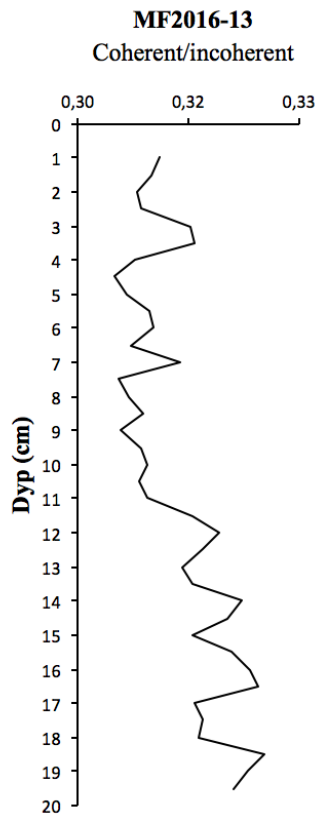


Figur 22: XRF-grafer for kjerne MF2016-13 over brom (Br), strontium (Sr), kalsium (Ca), zirkon (Zr) og sink (Zn) over jern (Fe).

Grafene for brom over jern (Br/Fe), strontium over jern (Sr/Fe) og kalsium over jern (Ca/Fe) viser en lignende trend med en svak, forholdsvis jevn, økning oppover kjernen. Strontium over jern (Sr/Fe) og kalsium over jern (Ca/Fe) har et bunnpunkt rundt 3 til 2 cm. Brom over jern (Br/Fe) har derimot et mer markant bunnpunkt ved 3.5 cm. Zirkon over jern (Zr/Fe) er forholdsvis jevn mellom 19.5 cm og 5.5 cm, med noen fluktasjoner. Ved 5.5 cm til 4 cm skjer det en drastisk endring hvor verdiene for zirkon over jern (Zr/Fe) synker og deretter øker igjen opp mot overflaten. Grafen for sink over jern (Zn/Fe) holder seg relativt stabil med en synkende tendens mellom 19.5 cm og 7 cm. Fra 7 cm øker sink over jern (Zn/Fe) opp til et toppunkt ved 3.5 cm, før verdiene igjen synker opp mot overflaten.

Coherent/Incoherent

Det øverste punktet for coherent/incoherent er fjernet grunnet usikker data.



Figur 23: Graf over forholdet mellom coherent/incoherent for kjerne MF2016-13.

Coherent/Incoherent synker relativt jevnt oppover i kjerne MF2016-13 til omlag 9 cm (Figur 23), hvor grafen deretter er nokså jevn opp mot overflaten. Grafen har flere toppunkt, eksempelvis ved 16.5 cm, 12 cm, 7 cm og 3.5 cm.

5 Diskusjon

5.1 Innledning

I denne delen vil resultatene tolkes og knyttes opp mot mulige kilder. Data fra Itrax Core Scanner, Multi Sensor Core Logger og visuelle observasjoner fra kjerne MF2016-5, MF2016-10 og MF2016-13 vil bli sammenlignet for å knyttes opp mot hendelser. Det vil også trekkes inn relevant data fra andre oppgaver fra Aurlandsfjordprosjektet samt tidligere undersøkelser gjennomført i andre fjorder. Dette blir gjort for å kunne støtte opp påstander og teorier som vil bli diskutert i dette kapittelet.

5.2 Mulige årsaker til endringer i den kjemiske sammensetningen

5.2.1 Kjerne MF2016-5 fra Kistadypet

Året 1985

Det har vært flere påvirkninger i Indre Aurlandsfjord som kan ha hatt en effekt på de geokjemiske signalene i sedimentene. Som nevnt tidligere var det en flomhendelse i 1985 som var litt mindre enn den i 2014 (Multiconsult, 2016). Samme år ble også Flåmselvi kanalisert og regulert i forbindelse med deltautbyggingen (John Erik Johnsen 2016, *personlig meddelelse*). Med tanke på disse hendelsene er det naturlig å tro at dette vil kunne gi utslag på de geokjemiske signalene i sedimentkjernen tatt i Kistadypet.

Grafen over coherent/incoherent for kjernen viser en mindre stigning i verdi rundt 15 cm (Figur 24). Endring i coherent/incoherent tyder på endring i kornstørrelse eller vanninnhold. Verdiene for brom over jern (Br/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe) har også et mindre bunnpunkt her (Figur 24), noe som kan bety mindre organisk materiale og mer minerogent materiale. Minerogent materiale kan stamme fra både økt transport av materiale grunnet høyere vannføring i elven, og/eller fra masser som ble brukt til deltautbyggingen i 1985. Flomhendelsen i 1985 kan altså være en mulig årsak til disse signalene. Det er derimot ingen signal i magnetisk susceptibilitet, noe som tenkelig ville gitt et visst utslag under en slik hendelse. En mulig forklaring til dette kan

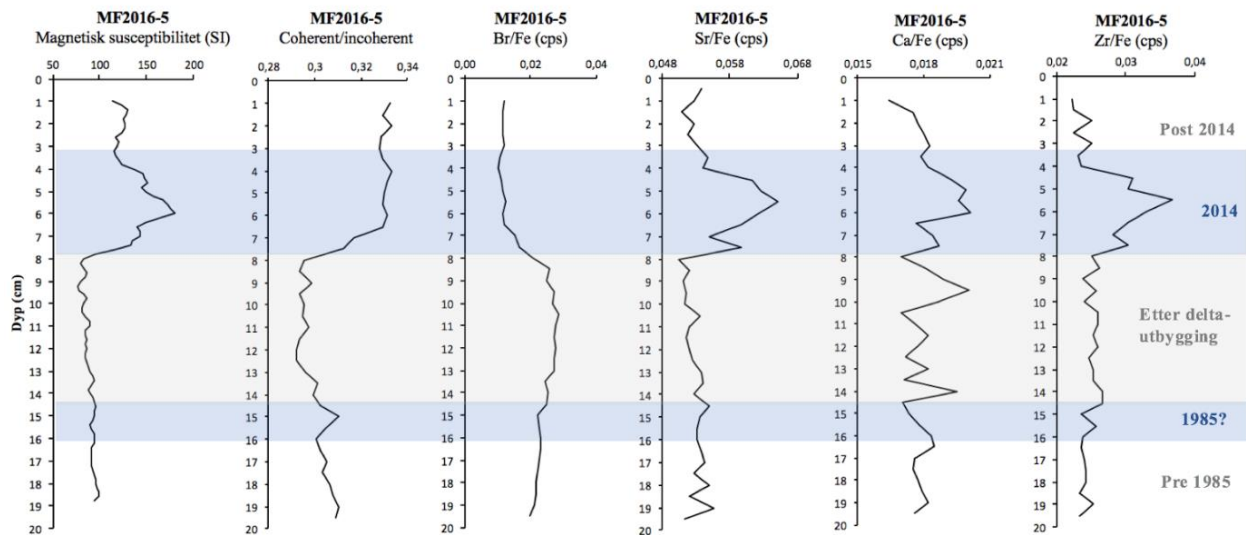
være at retningen til Flåmselvi ble endret mot Kistadypet først etter flommen i 1985. Det vil da være sannsynlig at denne hendelsen ikke vises like tydelig i kjernen, da mesteparten av materiale fra flommen antakelig ble fraktet i mer østlig retning (Figur 4). I så fall vil det da kunne ventes å finne et mer markant flomsignal fra 1985 i Havnebassenget enn Kistadypet.

Storflommen i 2014

Det er en gjennomgående endring i kjernen som starter ved 8 cm i grafer av magnetisk susceptibilitet, XRF (Figur 24) og røntgenbildet (Figur 13). Dette er en tydelig endring som signaliserer en hendelse. Økningen i coherent/incoherent og den parallelle minkingen av brom over jern (Br/Fe) (Figur 24) tyder på innflytelse av minerogent materiale og mindre organisk materiale. Endringen i zirkon over jern (Zr/Fe) bekrefter dette da zirkon generelt forekommer med transport av naturlig produsert minerogent materiale i turbulent strømming (Croudace et al., 2006). Under en flom vil turbiditeten i elven øke, og som følge av dette vil elven kunne frakte større partikler og store mengder ferskvann. Ved å sammenligne de ovennevnte signalene er det naturlig å si at det er en endring i kornstørrelse og/eller vanninnhold som skjer samtidig som mengden minerogent materiale øker, og kan av den grunn være et resultat av storflommen i 2014. Økningen av magnetisk susceptibilitet (Figur 24) og tetthet i røntgenbildet (Figur 13) er parallelle signaler som støtter denne tolkningen. Endring i magnetisk susceptibilitet tyder på endring i sedimentene, og økt tetthet kan tyde på grovere materiale, da grovt materiale har høyere tetthet enn finere materiale ([http 20](http://20)).

Som nevnt tidligere i oppgaven ble det funnet omtrent 10 cm med sand og silt avsatt på kaien i Flåm sentrum etter storflommen. Dette tyder på at sedimentasjonsraten under storflommen har vært høy (dvs. ca. 10 cm/2 døgn), noe man også kan se i kjernen fra Kistadypet. Flere cm ble avsatt i fjorden både under og etter denne hendelsen. Dette bekreftes også ved filmklipp tatt av dykkere før (Vrakdykk på D/S Begonia, 2014) og etter (D/S Begonia after the flood, 2014) storflommen i 2014. Filmene viser at store mengder (opptil flere centimeter; vanskelig å anslå fra filmen) med sand og silt har blitt avsatt etter flommen på vraket D/S Begonia som ligger rett sør for Kistadypet. Sedimentasjonsraten mellom toppen av flomavsetningene og sedimentoverflaten (Figur 24) kan anslås til 1.55 cm/år etter flommen. Denne sedimentasjonsraten kan forklares med at mye materiale ble tilført etter flommen som en følge av opprydding i Flåmsdalen, hvor

omtrent 180 000 m³ materiale ble gravd ut og transportert med elva (Christian Haug Eide 2017, *personlig meddelelse*).

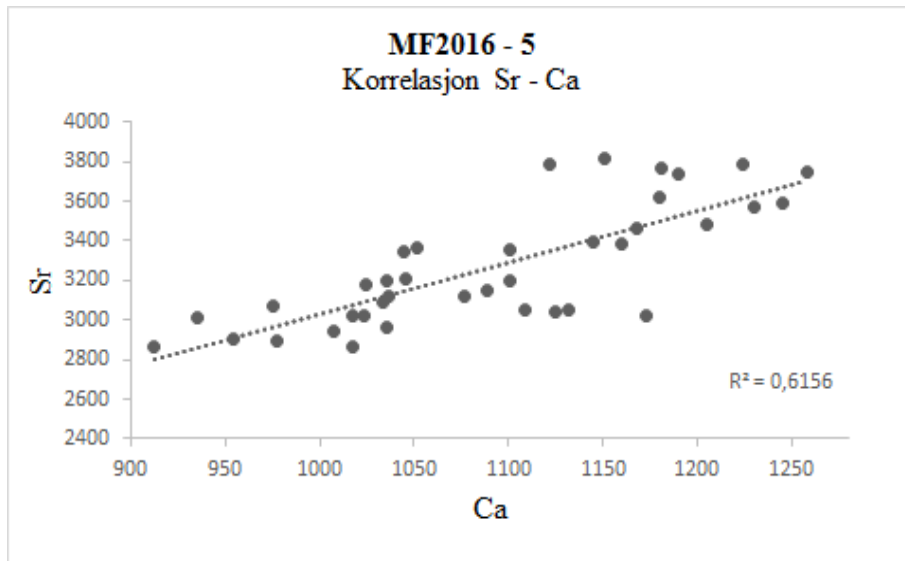


Figur 24: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), strontium over jern (Sr/Fe), kalsium over jern (Ca/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe) med markerte tidshorisonter (blå og grå markering).

Endring i strontium

Lik de ovennevnte elementene skjer det en endring i strontium over jern (Sr/Fe) ved 8 cm, hvor verdiene øker parallelt med kalsium over jern (Ca/Fe), zirkon over jern (Zr/Fe) og den magnetiske susceptibiliteten. Denne endringen kan være noe komplisert å tolke da det er flere potensielle kilder for strontium i kjernen.

Strontium er et jordalkalimetall som tilhører gruppe 2 i det periodiske systemet (Blomseth & Hartmann-Petersen, 1995). Elementet forekommer i en begrenset mengde i jordskorpen (0.01 %) og kan finnes i små mengder i flere bergarter ([http 21](http://21)). På grunn av den lignende kjemiske sammensetningen kan strontium erstatte kalsium (Deta Gasser 2017, *personlig meddelelse*) og er derfor teoretisk mulig å finne i kalsiumbærende organismer og/eller kalsiumrike bergarter.



Figur 25: Graf over korrelasjon mellom strontium (Sr) og kalsium (Ca) med en korrelasjonskoeffisient på 0.6156.

Figur 25 viser at det er en viss korrelasjon mellom strontium og kalsium med en korrelasjonskoeffisient (R^2) på 0.6156. Korrelasjonskoeffisienten kan gi en indikasjon på hvordan forskjeller i én responsvariabel kan forklares med en forskjell i én forklarende variabel (Heritier et al., 2009). Korrelasjonskoeffisient på 0.6156 tyder på at det er en sannsynlighet for at det er en korrelasjon mellom disse, men at den er for svakt korrelert til at en kan si dette med sikkerhet. Det vil i kommende del bli diskutert to teorier for endring i strontium i kjernen: strontium fra marine organismer og utvasking av strontium i bergarter.

Strontium fra marine organismer

Ettersom kalsium kan bli erstattet med strontium er det vanlig å finne strontium i skall til marine organismer (http 22). Mange marine organismer har skjelett av kalsiumkarbonat (CaCO_3) hvor det kan ha skjedd en utbytting av kalsiumet mot strontium, for eksempel mikroorganismer som foraminifera eller coccolithophoridae, men også makroskopiske organismer som diverse skjell eller kråkeboller (Torbjørn Dale 2017, *personlig meddelelse*).

En undersøkelse gjort av Universitetet i Bergen viser at det er mye *Echinoidea* (kråkeboller) (http 23), i Indre Aurlandsfjord da det ble funnet flere ganger i sedimentkjerner etter disse (Christian Haug Eide, 2017, *personlig meddelelse*). Blåskjell, *Mytilus Edulis* (http 24) er òg vanlig å finne i Sognefjorden og eksisterer trolig også i Indre Aurlandsfjord (Torbjørn Dale

2017, *personlig meddelelse*). Begge disse artene har skall som består av kalsiumkarbonat (CaCO_3), og er nokså vanlige i fjorder lik Indre Aurlandsfjord. Det er derfor tenkelig at en økning i strontium, lik den i kjernen, kan komme fra en populasjonsvekst fra disse organismene.

Strontium kan også komme direkte fra radiolarien *Acantharia*, da disse har et skall som er bygget opp av strontiumsulfat (SrSO_4) (Krabberød et al., 2011). I vannprøver samlet inn i indre del av Sognefjorden i 2009 og 2010 ble *Acantharia* funnet (Krabberød et al., 2011). *Acantharia* frakter mye oppløst strontium fra overflatevannet og ned til sedimentene når de synker (Lee et al., 2000). Ifølge Torbjørn Dale er *Acantharia* vanlig å finne i Sognefjorden og kan derfor sannsynliggjøre funn av strontium i sedimentene i Indre Aurlandsfjord (Torbjørn Dale 2017, *personlig meddelelse*). Den plutselige økningen av strontium i kjernen vil da trolig forklares med en økning i *Acantharia*.

Utvasking av strontium i bergarter

Strontium i vann kan ha sin opprinnelse fra forvitret berggrunn (Hillersøy, 2010) da det forvitrer relativt lett i forhold til andre mineraler (Helge Henriksen 2017, *personlig meddelelse*). Mye av berggrunnen rundt Indre Aurlandsfjord består av mineraler som inneholder kalsium (Tabell 2) og kan derfor være potensielle strontiumkilder dersom det har foregått en strontiumutbytting av kalsium. Spesielt den kalkspatførende fyllitten i området kan inneholde kalsium.

Flåmselvi renner gjennom et større område med denne fyllitten (Figur 3). Vannmassene eroderer grunnen og bidrar til forvitring av denne. Elveerosjon avhenger blant annet av elvens gradient, vannføring og turbiditet (Lutgens et al., 2015). Tilførsel av strontium til fjorden kan ha forekommet gjennom en slik erosjons- og forvitningsprosess av berggrunnen. I perioder med stor vannføring, som eksempelvis under en flom, vil elven føre til økt erosjonsgrad og mer forvitret materiale vil bli fraktet nedover elven (Lutgens et al., 2015). Ettersom økningen i strontium skjer samtidig som signalene tolket til å være flommen i 2014, er det sannsynlig at tilførsel av strontium òg kan forklares med storflommen.

5.2.2 Kjerne MF2016-10 fra Havnebassenget

Året 1985

Som ovennevnt har det skjedd endringer rundt deltaet i Flåm (Figur 4), og da spesielt i året 1985, med blant annet konstruksjon av Flåm sentrum, omlegging av elveløpet og flomhendelsen 1. oktober samme året. Det er dermed trolig at dette året kan ses igjen i kjernen tatt i Havnebassenget, men det vil være vanskelig å skille disse hendelsene ettersom de har skjedd så tett opp mot hverandre.

Økningen av nikkel- og rubidium over jern (Ni/Fe, Rb/Fe) rundt 9 cm er tenkt knyttet opp mot deltautbyggingen i 1985 (Figur 26). Under utbygging vil flere forurensende stoffer bli tilført fra diverse maskiner og materialer. Det er mulig at endringen i nikkel kan forklares med dette. Økningen av rubidium over jern (Rb/Fe) kan også vise til deltautbyggingen da bergmasser fra Flenjatunnelen ble brukt til innfylling (Jon Olav Stedje 2017, *personlig meddelelse*). Berggrunnen ved Flenja består av mangerittsyenitt som inneholder kalifeltspat (Tabell 1). Rubidium kan erstatte kalium (K) i kalifeltspat (Heier, 1962) og kan sannsynliggjøre denne økningen i rubidium som ses i kjernen. Økningen av brom over jern (Br/Fe) og den parallelle minkingen av sink over jern (Zn/Fe) motstrider derimot denne tolkningen og signalene er trolig fra en annen hendelse. Ettersom sink ofte er forbundet med forurensning (<http> 25) er det mer sannsynlig at sink ville økt under deltautbyggingen i motsetning til signalene som ses.

I en parallell kjerne tatt i Havnebassenget (MF2016-9) øker den totale mengden foraminifera betraktelig på samme sted som en markant økning i brom over jern (Br/Fe) vises (Figur 26). I tillegg øker ferskvannsdiatomene *Tabellaria* og *Eunotia*, samtidig som den marine diatomen *Thalassionema* minker (Venneman, 2017). Dette kan være indikasjoner på flommen i 1985. Den tydelige endringen i coherent/incoherent (Figur 26) kan støtte opp denne påstanden. Signalene fra coherent/incoherent og brom over jern (Br/Fe) er motsatte enn de fra 2014-flommen i kjernen tatt i Kistadypet. En forklaring til dette kan være at flommene var av ulik karakter.

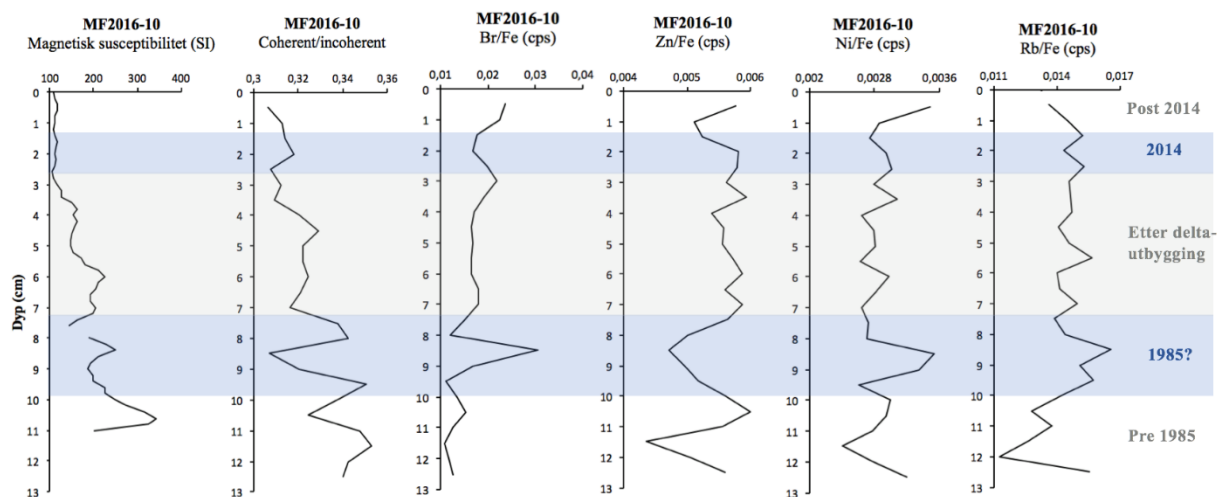
Magnetisk susceptibilitet for kjernen ser ut til å være delt i to ulike deler, hvor nederste seksjon av kjernen har betydelig høyere verdier enn den øverste seksjon (Figur 26). Denne endringen i magnetisk susceptibilitet kan tyde på en endring i kildemateriale. Dette kan tolkes til å være før og etter deltautbyggingen i 1985 hvor det ble brukt bergmasser fra tunnelarbeidet ved Flenja.

Denne berggrunnen, mangerittsyenitt (Figur 3), består av magnetiske mineraler og kan ha forårsaket en økning i magnetisk susceptibilitet i kjernen.

Storflommen i 2014

Selv om elveretningen er regulert bort fra Havnebassenget, er det tenkelig at flommen i 2014 har påvirket avsetningsmiljøet her. Store mengder med sedimenter fra flommen ble avsatt på kaien og kan derfor trolig finnes igjen i kjernen.

Som nevnt tidligere er brom en indikator på organisk materiale. Nedgangen i brom over jern (Br/Fe) rundt 2 cm kan tyde på minking av organisk materiale, altså en økning i minerogent materiale. En antydning av dette kan også ses i grafen over coherent/incoherent (Figur 26), hvor denne har en svak økning. Dette signalet er lik det antatte flomsignalet som vises i kjernen tatt i Kistadypet, bare ikke like entydig. Ifølge masteroppgaven lagt frem av Venneman (2017) synker verdiene for ferskvannsdiatoméene *Tabellaria* og den marine diatoméen *Thalassionema* fra 2.5 cm opp til 1.5 cm, før de igjen øker opp mot overflaten. Dette skjer i parallellkjernen MF2016-9 som også er tatt i Havnebassenget. En reduksjon i diatoméer kan ha forekommet som følge av flommen, der miljøet disse organismene lever i har blitt endret. Det er trolig disse flomsignalene som vises igjen i kjernene fra Havnebassenget.



Figur 26: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), sink over jern (Zn/Fe), nikkel over jern (Ni/Fe) og rubidium over jern (Rb/Fe) som viser lignende trender med bestemte tidshorisonter (markert i blått og grått).

5.2.3 Kjerne MF2016-13 fra Stampabassenget

Tolking av kildeområde i Stampa

Magnetisk susceptibilitet (Figur 28) går relativt jevnt gjennom hele kjernen, med noen fluktuasjoner. Verdiene ligger på gjennomsnittlig 70 SI, noe som er betydelig lavere enn for de to andre kjernene som har et gjennomsnitt på 100-200 SI. Dette kan bety at kjerne MF2016-13 har en vidt forskjellig mineralsammensetning enn kjerne MF2016-5 og MF2016-10 og er dermed fra et annet kildeområde (Haflidi Haflidason 2017, *personlig meddelelse*). Som nevnt tidligere består berggrunnen i området øst for Indre Aurlandsfjord av fyllitt. Fyllitt har en gjennomsnittlig magnetisk susceptibilitet på $160 \text{ SI} \cdot 10^{-5}$ og har en lavere magnetisk susceptibilitet enn de omkringliggende bergartene (http 26). Bekken Markåna, som renner ut ved Stampabukta (Henriksen & Dale, 2016) går gjennom denne fyllitten og kan bidra til å forklare de lave verdiene for magnetisk susceptibilitet. I tillegg har det skjedd flere naturlige og ikke-naturlige hendelser i området som òg kan ha tilført fyllitt i fjorden, blant annet flomskredet i Markåna i 1985 (NGI, 1986) og dumping av tunnelmasser i 1984/1985 og 1995 (Tvedten et al., 1996) ved utbyggingen av Europavei 16 ved Stampabukta (Figur 2).

Året 1985

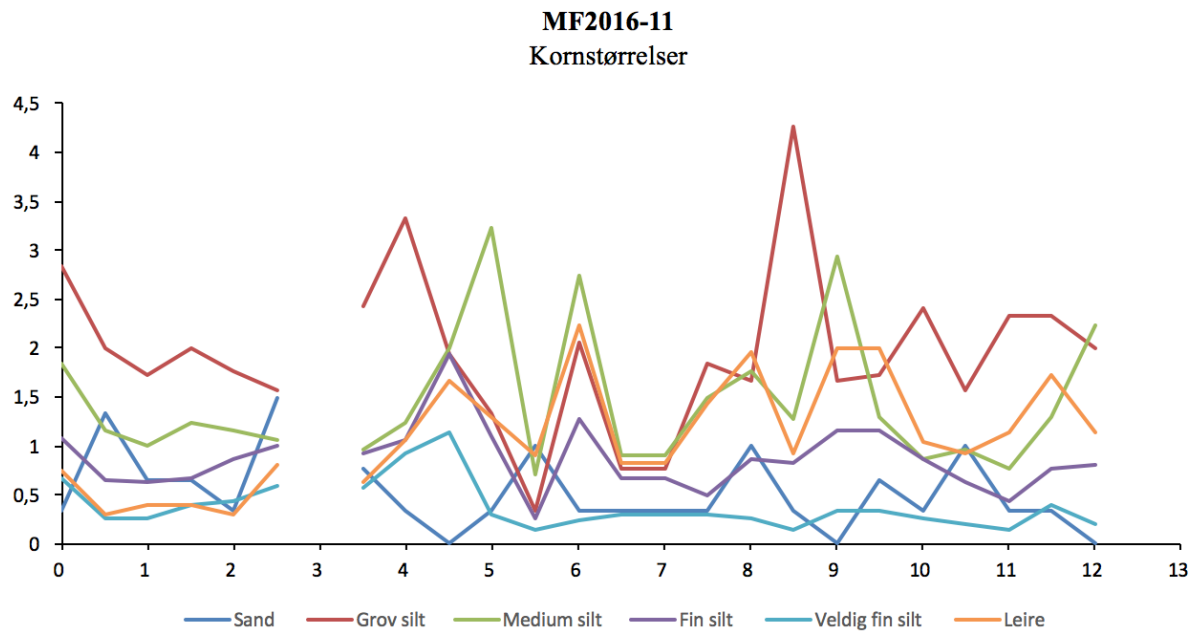
Kjernen fra Stampabassenget viser ikke like tydelige signal som kjerne MF2016-10 og er noe vanskelig å tolke. En mulig endring kan likevel ses rundt 17 cm (Figur 28). Dette kan stamme fra en eller flere hendelser og er tolket til året 1985. Minkingen av magnetisk susceptibilitet og den parallelle, svake økningen av brom over jern (Br/Fe) og coherent/incoherent kan indikere flomskredet i Markåna den 1. oktober 1985 (Figur 28). Et flomskred vil vanligvis frakte både organisk og minerogent materiale. Den svake økningen i sink over jern (Zn/Fe) kan ha sitt opphav fra en forurensningskilde i henhold til dumping av tunnelmasse. Økningen i zirkon over jern (Zr/Fe) kan støtte opp dette, da zirkon forekommer via transport av minerogent materiale.

Flommen i 2014

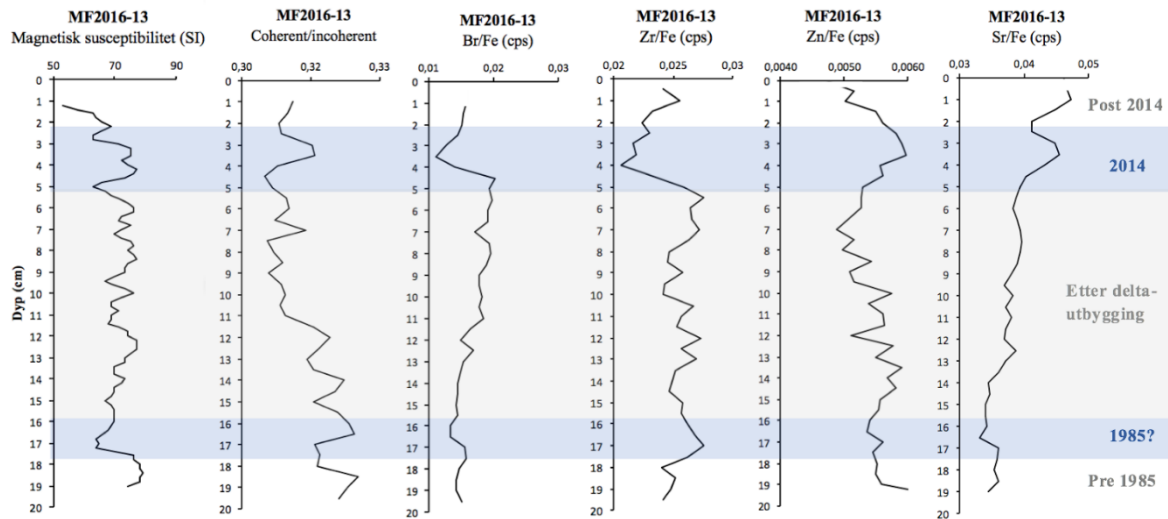
Rundt 5 cm er det en brå nedgang i brom over jern (Br/Fe) og zirkon over jern (Zr/Fe), mens sink over jern (Zn/Fe) og strontium over jern (Sr/Fe) øker (Figur 28). Den plutselige nedgangen i brom og den parallelle økningen i coherent/incoherent kan ha noe å gjøre med storflommen i

2014. Økningen i strontium viser antakeligvis til flommen, og er tolket å være av lik årsak som tidligere diskutert i kjerne MF2016-5.

Data (vedlegg) fra Midttømme et al. (2017) viser en økning i leire til grov silt (Figur 27) ved 5.5 cm med et toppunkt på omtrent 4.5 cm. Denne økningen kan vise til storflommen i 2014 hvor fine partikler i suspensjon muligens kan ha nådd helt til Stampabassenget. Det er derimot manglende data for kornstørrelse mellom 3.5 cm til 2.5 cm, så en fullstendig tolkning av dette vil være vanskelig. Det er verdt å nevne toppunktet ved 8.5 cm hvor det er en økning av grov silt og tilsvarende minking av leire. Dette er derimot ikke tolket, da parallelle signaler ikke er markante i XRF-analysen.



Figur 27: Kurve over ulike kornstørrelser målt i en parallell kjerne til kjerne MF2016-13. X-aksen viser dyp (cm) og y-aksen er relative verdier. Data er hentet fra Midttømme et al. (2017).



Figur 28: Grafer over magnetisk susceptibilitet, coherent/incoherent, brom over jern (Br/Fe), zirkon over jern (Zr/Fe), sink over jern (Zn/Fe) og strontium over jern (Sr/Fe) som viser lignende trender med bestemte tidshorisonter (markert i blått og grått).

5.3 Datering

5.3.1 Radiometrisk datering

Det er planlagt datering med cesium-137 (^{137}Cs) og bly-210 (^{210}Pb), men disse er ikke tilgjengelige før august 2017. ^{137}Cs og ^{210}Pb er metoder for aldersbestemmelse basert på radioaktiv nedbryting av naturlige isotoper og har blitt brukt for datering av fjordavsetninger i Norge (for eksempel Paetzel & Schrader, 1991; Paetzel et al. 1994). For å oppnå maksimum kronologisk informasjon blir disse to metodene ofte brukt opp mot hverandre (Jeter, 2000).

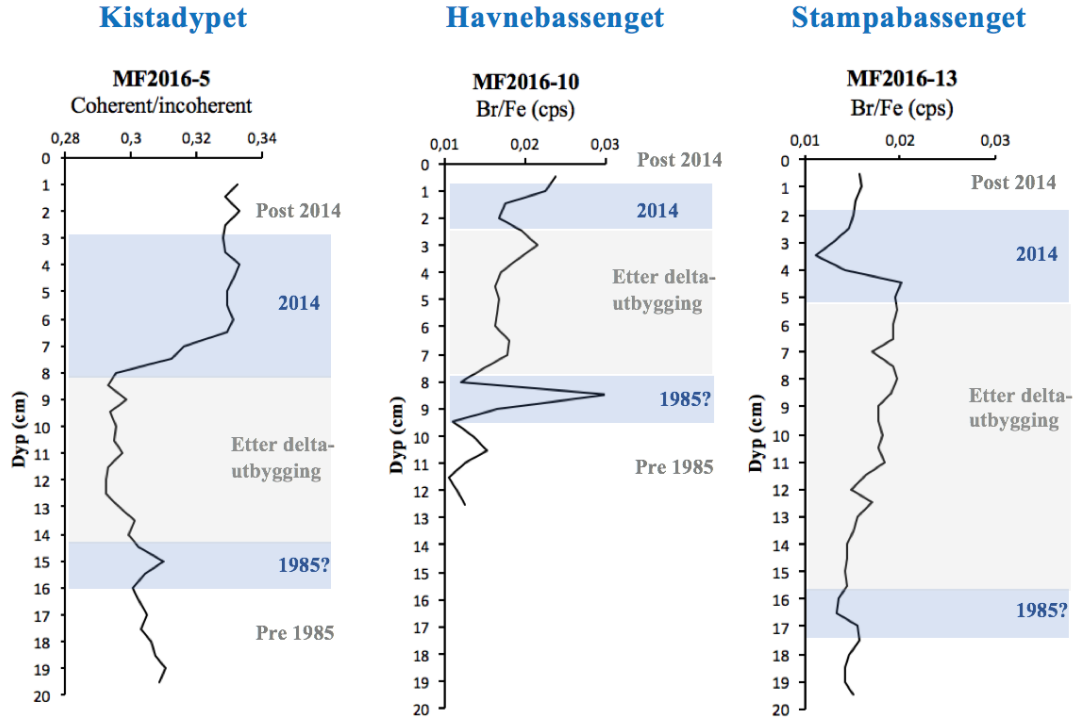
^{137}Cs og ^{210}Pb er radioaktive nuklider med relativt kort halveringstid på henholdsvis 30 år og 22,26 år, sammenlignet med andre radioaktive nuklider som for eksempel uran, som har en halveringstid på $7.038 \cdot 10^8$ år. Disse kan derfor bli brukt til å datere yngre sedimenter i tidshorisonter for maksimum de to eller tre siste århundrene (Walker, 2005). ^{137}Cs er en radioaktiv isotop av cesium som ikke forekommer naturlig. Den stammer fra blant annet atombombep prøvesprengninger på 1950- og 1960-tallet, noe som resulterte i et globalt

maksimumsnedfall av ^{137}Cs i 1963 (Walker, 2005). Datering med ^{137}Cs fra radioaktivt nedfall fra 1954-1964 ble først gjort av Pennington et al. (1973). I nyere tid var det Tsjernobyl-ulykken i 1986 som førte til distribusjon av ^{137}Cs over store deler av Europa (Matisoff, 2016). De første som brukte det radioaktive nedfallet fra denne ulykken som dateringsmetode var Paetzel og Schrader (1991). Cesium oppløses lett i vann og binder seg sterkt til partikler (http 27) og vil derfor kunne avsettes i sedimentene på fjordbunnen. Ifølge Sikorski og Bluszcz (2003) ble metoden for ^{210}Pb først utviklet på 1960-tallet i forbindelse med klimaundersøkelser av Goldberg (1963) (Sikorski & Bluszcz, 2003), og har hovedsakelig blitt brukt for å datere innsjø- og fjordsedimenter innenfor en tidsperiode på 1-150 år (Walker, 2005; Nesje, 2012). Denne metoden ble først brukt i Norge i forbindelse med undersøkelse av sedimentkjerner som ble tatt i den anoksiske fjorden Framvaren i Sør-Norge (Skei, 1983) og i den oksiske fjorden Ranafjorden i Nord-Norge (Skei & Paus, 1979).

5.3.2 Hendelsesdatering

Hendelsesdatering er en relativ aldersbestemmelse hvor lag eller faser i sedimentene knyttes opp mot kjente hendelser i området. Dette har blitt gjort i blant annet Barsnesfjorden og Sogndalsfjorden i Indre Sogn (Paetzel & Schrader 1991; 1992; Paetzel & Dale 2010). Ved bruk av overleiringsprinsippet vil markante hendelser som utbygging av deltaet, dumping av tunnelmasser og storflommen i 2014 benyttes som hjelpemiddel for å si noe om tidsforløpet i stratigrafien til sedimentkjernene.

Ut i fra observerte endringer og potensielle tolkninger i de ulike kjernene, vil det være mulig å knytte disse opp mot markante hendelser og brukes til hendelsesdatering. Det er dermed laget tre ulike grafer over henholdsvis Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget (Figur 29) som viser de bestemte tidshorisontene.



Figur 29: Hendelsesdatering for de tre ulike lokalitetene: Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget. Blå og grå markering indikerer de ulike tidshorizontene.

De ulike tidshorizontene (Figur 29) er tolket i henhold til ulike geokjemiske signal og sedimentasjonsrate. Sedimentasjonsraten etter deltautbyggingen (Figur 29) bestemmes ved å finne centimeter avsatt per år, og endres alt ettersom hvor de nedre og øvre grensene settes. Etter deltautbygging gir tolking følgende omtrentlige sedimentasjonsrater mellom 1985 og 2014: a) Kistadypet 0.21 cm/år; b) Havnebassenget 0.18 cm/år; c) Stampabassenget 0.37 cm/år. Sedimentasjonsrater i oksiske fjorder varierer vanligvis fra <math><0.1</math> til 0.2 cm/år, noe som stemmer godt overens med de kalkulerte sedimentasjonsratene fra Kistadypet og Havnebassenget. Sedimentasjonsraten for Stampabassenget er derimot høyere enn det som er normalt for oksiske fjorder.

5.4 Avsetningssituasjonen i fjorden

Avsetningssituasjonen i fjorden er presentert i Tabell 7. Flommen i 1985 viser tydelige signal i Havnebassenget og kun antydninger til signal i Kistadypet. Signalene fra Stampabassenget viser ingen påvirkning fra flommen. Dette kan forklares med at Havnebassenget lå mer utsatt til for flompåvirkning før elvereguleringen i 1985. Gradvise endringer etter deltautbyggingen og elvereguleringen vises i alle tre lokaliteter. For Kistadypet er det blitt gradvis større tilførsel av sediment og ferskvann, samt større sannsynlighet for tilslamming ved flomhendelser. De tydeligste signalene fra flommen i 2014 og perioden etter, kan derfor ses i Kistadypet. For Stampabassenget er disse signalene mindre tydelige mens Havnebassenget har de minst tydelige signalene. De gradvise endringene i Havnebassenget viser det motsatte av Kistadypet: fjordmiljøet er blitt mer marint da tilførselen av ferskvann ikke er like stor som den var før reguleringen av Flåmselvi, og det er mindre sannsynlighet for tilslamming under flomhendelser. Disse samlede signalene er responsen etter deltautbygging og regulering av elveløpet i 1985. For Stampabassenget har ikke disse hendelsene hatt like stor påvirkning på fjordmiljøet. Den gradvise endringen etter deltautbyggingen vises ved at det er blitt mer tilførsel av organisk materiale og endring i kornstørrelse eller vanninnhold. Det er de lokale hendelsene, som flomskredet i 1985 og dumping av tunnelmasser, som har hatt påvirkning her og det kan ses en antydning av begge hendelsene i kjernen. Disse hendelsene har ikke hatt påvirkning i kjernene tatt ved Kistadypet og Havnebassenget.

Ovennevnte hendelser i Indre Aurlandsfjord har påvirket og endret fjordmiljøet. Endringene er verdt å bemerke seg og ta til orientering i fremtidig planlegging, da spesielt med tanke på verdensarvstatus. I følge miljødirektoratet var avgjørelsen om å gi fjorden verdensarvstatus tatt på bakgrunn av at «ingen større tekniske inngrep, som vassdragsreguleringer eller veier, har brutt de pågående naturlige geologiske prosessene i disse fjordene» (http 2). Denne oppgaven viser derimot at hele det naturlige deltaet er utbygd og at blant annet elvereguleringen og dumping av tunnelmasser ved veibygging har endret det naturlige fjordmiljøet. De menneskeskapte endringene fant sted før Aurlandsfjorden ble en del av verdensarvområdet, men undersøkelser i Aurlands- og i Nærøyfjorden (Dybo, 2016), viser at fremtidige endringer vil kunne påvirke avsetningsmiljøet i Aurlandsfjorden ytterligere, noe som kan føre til konsekvenser i forhold til verdensarvstatus.

Tabell 7: Fjordmodellen viser en oversikt over de ulike signalene som synes i de tre ulike lokalitetene: Kistadypet, Havnebassenget og Stampabassenget. Røde felt er tydelige signal i sedimentene, oransje felt er mindre tydelig, gult felt er antydning til signaler og grønt er ingen påvirkning. Det er satt spørsmålstegn hvor signalene er vanskelig å tolke.

	Flommen (1985)	Flomskred i Markåna (1985)	Etter deltautbygging (1985)	Dumping i Stampa	Storflommen (2014)	Etter storflommen
Kista-dypet	Antydning - Endring i kornstørrelse eller vanninnhold - Økt minerogent materiale		Gradvis - Større tilførsel av sediment - Mer tilførsel av ferskvann - I større grad påvirket av flom	?	Tydlig - Høy sedimentasjonsrate - Økt tilførsel av minerogent materiale - Økt tetthet i sedimentene	Tydlig - Lavere sedimentasjonsrate, men høyere enn før flommen - Minking av minerogent materiale, men med høyere verdier enn før flommen
Havne-bassenget	Tydlig - Økt mengde ferskvanns-diatoméer, parallell minking av marine diatoméer		Gradvis - Endring i kildemateriale - Mer marint miljø - Mindre flompåvirkning	?	Minst tydelig - Kanalisering av elveløp	?
Stampa-bassenget		Antydning - Tilførsel av minerogent og organisk materiale	Gradvis - Mer tilførsel av organisk materiale - Endring i kornstørrelse/vanninnhold	Antydning - Økning av minerogent materiale	Mindre tydelig - Økt kornstørrelse - Mindre organisk materiale	Mindre tydelig - Stabilisering av minerogent- og organisk materiale, men sistnevnte på et høyere nivå enn før flommen

6 Konklusjon

- Endring av utløpet til Flåmselvi og deltautbygging i 1985 har resultert i mindre ferskvannstilførsel i Havnebassenget. Dette har ført til at det er blitt et mer marint basseng som også er mindre utsatt for tilslamming under flomhendelser. Avsetninger fra storflommen i 2014 er synlige, men ikke dominerende, i motsetning til flommen i 1985 som er tydelig.
- Endring av utløpet til Flåmselvi og deltautbygging i 1985 har derimot resultert i at Kistadypet har fått mer ferskvannstilførsel, som igjen har ført til en høyere sedimentasjonsrate og gjort området mer utsatt for tilslamming under flomhendelser. Storflommen fra 2014 viser en tydelig innflytelse her.
- Disse endringene vises derimot ikke like tydelig i Stampabassenget, som dog er dominert av hendelser rundt Stampa. Blant annet vises en antydning til flomskredet i bekken Markåna i 1985 og dumping av tunnelmasser på 80- og 90-tallet. Storflommen fra 2014 viser mindre innflytelse her.
- Avsetninger fra storflommen i 2014 og hendelser i 1985 kan brukes til relativ datering av sedimentene i Indre Aurlandsfjord og resulterende estimat av sedimentasjonsrater.
- Fremtidige endringer i fjordmiljøet burde skje svært varsomt for å unngå innvirkning på fjordens verdensarvstatus.

7 Referanseliste

7.1 Litteratur

Blikra, L. H., Longva, O., Braathen, A., Anda, E., Dehls, J. F. & Stalsberg, K. (2006). *Rock slope failures in Norwegian fjord areas: examples, spatial distribution and temporal pattern*. Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway.

Blomseth, H. & Hartmann-Petersen, P. (1995). *Grunnstoffene, Universets byggesteiner*. Universitetsforlaget, Oslo, 265 sider.

Croudace¹, I. W., Rindby², A. & Rothwell¹, R. G. (2006). *ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner*. ¹National Oceanography Centre, Empress Dock, Southampton, UK & ²Cox Analytical Systems, Molndal, Sweden. S. 51-63.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). (2015). *Evaluering av forebygging og håndtering av flommen på Vestlandet høsten 2014*. Hentet fra:
<https://www.fylkesmannen.no/Documents/Dokument%20FMSF/Samfunnstryggleik/%C3%98vingar/Kommune%C3%B8ving%2017.06.15/Evaluering%20flom%20Vestlandet%202014.pdf>

Domaas, U., Rosenvold, B. S., Blikra, L. H., Johansen, H., Grimstad, E., Sørli, J. E., Gunleiksrud, O., Engen, A. & Lægreid, O. (2002). *Studie av fjellskred og dalsidestabilitet i fyllittområder*. NFR-rapport. Rapportnr. 20001132-2. 147 sider.

Dybo, M. H., Sundheim, M. L. & Søgne sand, A. M. (2016). *Analyse av resente sedimentkjerner i den anoksiske Nærøyfjorden, Vest-Norge*. (Bacheloravhandling, Høgskulen i Sogn og Fjordane, Sogndal).

Engel, H. (1997). *The flood events of 1993/1994 and 1995 in the Rhine River basin*. Proceedings of the conference held at Anaheim, California, June 1996: Destructive waters: Water-caused natural disasters, their abatement and control. IAHS Publication 239, 21-32 (http://iahs.info/uploads/dms/iahs_239_0021.pdf)

Gaarder, T. (1916). *De vestlandske fjordes hydrografi, I. Surstoffet i fjordene*. Bergens Museums Aarbok 1915-15, Bergen. Naturvidensk. Række Nr. 2. Redigert av Holmboe J.

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

Gubberud, I. J. & Sunde, H. (1992). *Flåmsbana: historien om en av verdens bratteste jernbaner*. Bergen, John Grieg.

Heier, K. S. (1962). *Trace elements in feldspars - a review*. Norsk. geol. tidsskr. 42/2:415-454

Henriksen, H. & Dale, T. (2016): *Grunnvannsutstrømning på fjordbunnen fra sprekkesystemet i den ustabile fjellsiden ved Stampa, Aurlandsfjorden, Sogn og Fjordane*. Avdeling for ingeniør og naturfag, HiSF, Sogndal. Rapport nr. 2/16. 35 sider.

Heritier, S., Cantoni, E., Copt, S. & Victoria-Feser, M. (2009). *Robust Methods in Biostatistics*. Vol. V.825, Wiley Series in Probability and Statistics. Hoboken, Wiley.

Hillersøy, M. H. (2010). *Opptak av barium og strontium i naturlig vegetasjon i områder med berggrunn av biotitt-karbonatitt på Stjernøy, Alta*. Mastergradsavhandling, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap). Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/189332/Masteroppgave%20Maria%20H%20Hillers%C3%B8y.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

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

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

Howe, J. (2010). *Fjord systems and archives*. Vol. No. 344, Geological Society special publication (trykt utg.). Geological Society, London.

Indrelid, S. (2003). *Aurland bygdebok: B.1: Soga om Flåm Bygdi*. Aurland sogelag.

Jeter Hewitt, W. (2000). *Determining the Ages of Recent Sediments Using Measurements of Trace Radioactivity*. Terra et Aqua - Nr. 78

Johannessen, P. J. & Lønning, T. M. (1988). *Resipientundersøkelser i Aurland kommune*. Institutt for Marinbiologi, Universitetet i Bergen. Rapport nr. 71-1988. 47 sider.

Kartverket 1971. *Flyfoto over Flåm*. Flyfoto NF-0986_i8, Flåm, tatt 18.08.1971

Krabberød, A. K., Bråte, J., Dolven, J. K., Ose, R. F., Klaveness, D., Kristensen, T. et al. (2011). *Radiolaria Divided into Polycystina and Spasmaria in Combined 18S and 28S rDNA Phylogeny*. Purification Lopez-Garcia, Université Paris Sud, France. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023526>

Kystverket. (2013). *Handlingsprogram 2014-2023*. Konkretisering av Stortingsmelding nr. 26 (2012-2013) Nasjonal transportplan 2014-2023 (NTP). Hentet fra <http://www.kystverket.no/globalassets/om-kystverket/planer/13221-kystverket-handlingsprogram-2014---2023.pdf>

Langsholt, E., Roald, L. A., Holmqvist, E. & Fleig, A. (2015). *Flommen på Vestlandet oktober 2014*. Rapport nr. 11-2015. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_11.pdf

Lee, J. J., Leedale, G. F. & Bradbury, P. (2000). *An illustrated guide to the protozoa (2nd edition)*. Society of protozoologists, Kansas, USA. Volum 2, side 690-1432.

Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J. & Tasa, D. (2015). *Essentials of geology* (12. utgave). Pearson Education Inc., Boston, USA.

Matisoff, G. (2016). *Activities and geochronology of ^{137}Cs in lake sediments resulting from sediment resuspension*. Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA. Vol. 167, s.222-234.

Müller, R. (2013). *Det som ble Norge. Om fjell, is og liv gjennom 2902 millioner år*. Aschehoug & Co. (W. Nygaard), Oslo.

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

Multiconsult. (2016). *Rapport: Flomdempningstiltak for vern av liv og helse i Flåm, Aurland Kommune*. Oslo Hydrologi. Dokumentkode: 127911-RiVass-RAP-01

Naustvoll, L. J. (2007). *Primærproduksjon (planteplankton)*. Havforskningsinstituttet, ISSN: 0802-0620, 3 sider.

Nesje, A. (2012). *Brelære - Bre, landskap, klimaendringer og datering* (2. utgave). Høyskoleforlaget AS - Norwegian Academic Press, Kristiansand, Norway.

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

Norges Geotekniske Institutt (NGI). (1986). *Vurdering av fare for flomskred i Markåna, og forslag til sikring*. Oppdragsrapport, Sogn og Fjordane Vegkontor. Rapp. nr. 85474-1

Norsk klimaservicesenter. (2016). *Klimaprofil Sogn og Fjordane - Eit kunnskapsgrunnlag for klimatilpassing*. Hentet fra:

https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-sogn-og-fjordane/_attachment/10505?_ts=15876ca5320

Paetzel, M. & Dale, T. (2010). *Climate proxies for recent fjord sediments in the inner Sognefjord region, western Norway*. Geological Society, London, Special Publications. s. 271-288, doi: 10.1144/SP344.19

Paetzel, M. & Schrader, H. (1991). *Heavy metal (Zn, Cu, Pb) accumulation in the Barsnesfjord: Western Norway*. Norsk Geologisk Tidsskrift, Vol. 71, s. 65-73. Oslo, 1991. ISSN 0029-196X.

Paetzel, M. & Schrader, H. (1992). *Recent environmental changes recorded in anoxic Barsnesfjord sediments: Western Norway*. Marine Geology, 105: 23-36.

Paetzel, M., Schrader, H. & Croudace, I. (1994). *Sewage history in the anoxic sediments of the fjord Nordåsvannet, western Norway: (I) dating and trace-metal accumulation*. The Holocene 4.3 (1994) s. 290-298.

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

Ramberg, I. B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. & Rangnes, K. (2013). *Landet blir til - Norges geologi* (2 ed.). Norsk geologisk forening, Trondheim.

Schou Jensen, E. (2006). *Bergarter og mineraler*. Damms naturhåndbøker, Damm, Oslo.

Sikorski, J. & Bluszcz, A. (2003). *Testing applicability of ^{210}Pb method to date sediments of human-made lake Kozłowa Góra*. Geochronometria Vol. 22, s. 63-66.

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

Skei, J. M. & Paus, P. E. (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, Norway.

Sælen, O. H. (1976). *General Hydrography of Fjords*. Geophysical Institute, University of Oslo, Oslo, Norway. S. 43-49

Syvitski, James P.M., Burrell, David C., & Skei, J. M. (1987). *Fjords - Processes and Products*. Springer-Verlag, New York.

Veglaboratoriet. (1980). *Rasfarlig ur ved Otreneset Rv. 601 Fretheim-Aurland*. Geologisk seksjon, intern rapp. Nr 930-C, Oslo, Norway, 11 s.

Universitetet i Bergen. (u.å.). *Ikke-destruktive loggere*. Institutt for geovitenskap.

Vassenden, G., Johansen, P. O., Heggøy, E. & Johannessen, P. J. (2007). *Mainbiologisk miljøundersøkelser i Aurlandsfjorden og Nærøyfjorden i 2006*. Seksjon for anvendt miljøforskning, Høyteknologisenteret, Bergen, Norway. Rapport nr. 4-2007. 61 sider

Venneman, M. (2017). *Deposits from historic events in the Aurlandsfjord, Western Norway, over the last 40 years- part III. The pollution record*. (Mastergradsavhandling, University Centre of the West Fjords, Iceland). Venneman, M.

Thue, J. B. (2002): *Flåmsbana*. Skald Forlag, 80 sider.

Tvedten, Ø. F., Johannessen, P. J., Hjøhlman, S. & Botnen, H. B. (1994). *Konsekvensvurdering i forbindelse med utfylling av steinmasser i Aurlandsfjorden*. Institutt for fiskeri- og marinbiologi, Universitetet i Bergen. IFM-Rapport nr. 26, 1994. 82 sider.

Tvedten, Ø. F., Hagen, H., Botnen, H. B. & Johannessen P. J. (1996). *Aurlandsfjorden - konsekvensvurdering i forbindelse med utfylling av steinmasser*. Institutt for fiskeri- og marinbiologi, Universitetet i Bergen. IFM-Rapport nr. 6, 1996. 49 s.

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

7.2 Filmer

Vrakdykk på D/S Begonia. (17.10.2014). [Videoklipp]. Hentet fra <https://www.youtube.com/watch?v=1O6l5aAuCWw>

D/S Begonia after the flood. (15.11.2014). [Videoklipp]. Hentet fra <https://vimeo.com/112012595>

7.3 Nettsider

Http 1: <http://whc.unesco.org/en/list/1195>

Hentet 22.03.2017

Http 2: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/Nyhetsarkiv/2005/7/Vestnorsk-fjordlandskap-innskrevet-pa-Unescos-Verdensarvliste/>

Hentet 22.03.2017

Http 3: <https://www.nrk.no/sognogfjordane/fleire-stader-i-norge-er-sa-populaere-som-reisemal-at-det-snart-er-fullt-1.13514298>

Hentet 16.05.2017

Http 4:

http://www.miljodirektoratet.no/old/dirnat/attachment/2712/ner%C3%B8yfjorden_A4.jpg

Hentet 22.03.2017

Http 5: http://www.norgeskart.no/?_ga=2.10384437.1258767325.1495202842-1339155253.1476706253#!?project=ssr&layers=1005&zoom=9&lat=6786332.63&lon=74681.57

Hentet 11.04.2017

Http 6: <https://snl.no/Aurlandsfjorden>

Hentet 25.05.2017

Http 7: <http://www.dn.no/magasinet/2014/07/18/2202/Reportasje/drit-og-dra>

Hentet 06.04.2017

Http 8: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>

Hentet 04.04.2017; Søk Aurlandsfjorden; Kartlag: Berggrunn N250 lineamenter

Http 9: https://snl.no/paleisk_overflate

Hentet 05.05.2017

Http 10: <https://www.visitflam.com/globalassets/dokumenter/visitflam-pm-norsk-2014.pdf>

Hentet 02.05.2017

Http 11: <http://aurlandhavn.no/cruise/skipsanlop-2014/>

Hentet 08.05.2017

Http 12: <https://www.norgebilder.no/>

Hentet 28.04.2017; Søk Flåm. Velg Flåm- Stasjon, (Aurland)

Http 13: <http://www.bt.no/nyheter/lokalt/Oppryddingen-247142b.html>

Hentet 21.04.2017

Http 14: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/fjellskredovervaking/joasetbergi/>

Hentet 07.04.2017

Http 15: http://www.norgeskart.no/?_ga=2.10384437.1258767325.1495202842-1339155253.1476706253#!?project=ssr&layers=1008&zoom=13&lat=6773660.10&lon=73154.65

Hentet 19.05.2017

Http 16: https://www.yr.no/sted/Norge/Sogn_og_Fjordane/Aurland/F1%C3%A5m/statistikk.html

Hentet 04.04.2017

Http 17: <http://www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=water>

Hentet 03.05.2017; Velg stasjoner – nedbør; Aurland moh:15.

Http 18: <http://www.the-experts.com/x-ray-fluorescence-xrf-explained#tab-id-1>

Hentet 21.04.2017

Http 19: <http://www.geotek.co.uk/products/magsusc>

Hentet 14.05.2017

Http 20:

http://www.betongelement.no/betongbok/BindE/Del_1/E6/E6_Varmekonduktivitet_og_motstand.pdf

Hentet 25.05.2017

Http 21: <https://snl.no/strontium>

Hentet 04.05.2017

Http 22: <https://www.mn.uio.no/kjemi/tjenester/kunnskap/periodesystemet/vis.php?e=Sr&vis=alt>

Hentet 08.05.2017

Http 23: <http://www.imr.no/temasider/skalldyr/krakebolle/nb-no>

Hentet 08.05.2017

Http 24: http://www.wwf.no/bibliotek/wwf_naturfakta/blaskjell/

Hentet 08.05.2017

Http 25: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2876/ta2876.pdf>

Hentet 27.05.2017

Http 26: <https://www.ngu.no/emne/magnetisk-susceptibilitet>

Hentet 15.05.2017

Http 27: <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cesium-137>

Hentet 09.05.2017

8 Appendiks

Vedlegg inkluderer:

Excel-fil med tilhørende rådata og grafer.

- Excel-filen "Appendiks" inneholder arkene:

- Rådata MF2016-5
- Grafer MF2016-5
- Rådata MF2016-10
- Grafer MF2016-10
- Rådata MF2016-13
- Grafer MF2016-13