

Studier av elveoser og elveutløp i større elver i Trondheimsfjorden

Orkla, Gaula og Nidelva

Ida Helena Jenssen

Lektorutdanning med master i realfag

Innlevert: mai 2014

Hovedveileder: Øyvind Mikkelsen, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Førord:

Denne oppgaven avslutter et fem år langt LURt studie ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet i Trondheim. Masteroppgaven ble påbegynt høsten 2013 og avsluttet våren 2014 og har vært en lang prosess. Det har gitt erfaringer som vil jeg ta med meg resten av livet og inn i arbeidslivet.

Jeg ønsker å takke min ekstremt hjelpsomme veileder Øyvind Mikkelsen som har arrangert ekskursjoner i forbindelse med prøvetakninger, bistått med analyseresultater, for å ha veiledet meg i oppgaveskrivingen, lest oppgaven og kommet med gode råd og innspill. Jeg ønsker også å takke Syverin Lierhagen for eksepsjonell hjelp under prøvepreparering og for å ha utført ICP-MS analysen av sedimentkjernene. Tusen tusen takk!

Det er vell også på sin plass å takke de som forhandlet om den mulige streiken og sørget for det ikke ble det. Så jeg slapp å miste veilederen siste uken før innlevering!

Tilslutt kommer man ikke unna Mari Helen Pedersen Ekeland for 5 nydelig år både ved NTNU og utenfor! Etter å ha gjort det meste sammen ble det nokså naturlig å jobbe under samme prosjekt for våre masteroppgaver. Under tider med frustrasjon har det vært uvurderlig å ha noen å sitte sammen med og dele noen latterkuler over dårlig kjemihumor. Tusen takk for hjelp med korrektur, tanker, innspill, diskusjoner og annet som har ført til dette verket!

Trondheim 23. mars 2014.

Ida Helena Jenssen

Sammendrag:

Denne masteroppgaven er en del av et større prosjekt hvor en studerer elveosser og elveutløp til seks større elver som renner ut i Trondheimsfjorden. Masteroppgaven fokuserer på elveosene for tre store elver i Sør-Trøndelag: Orkla, Gaula og Nidelva. Fra fjordene utenfor elvene har det blitt tatt dype sedimentkjerner og disse har blitt analysert ved hjelp av induktivt koplet plasma – massespektrometri (ICP-MS). Ved å studere dybdeprofiler for utvalgte grunnstoff har det blitt forsøkt å avdekke historiske hendelser av både naturlig og antropogen art. Ved å normalisere grunnstoffene mot aluminium har det vært mulig å skille mellom naturlige svingninger i konsentrasjoner og antropogen tilførsel av grunnstoffer. Ved hjelp av disse verktøyene og utregninger av sedimenteringshastigheter har det blitt laget tidsprofiler som avdekker det antropogene inngrepet sedimentene og vannsystemet har blitt utsatt for. Konsentrasjonene i sedimentkjernene har blitt vurdert opp mot forurensningskriteriene fra KLIF.

Denne studien har avdekket økte konsentrasjoner som sannsynligvis stammer fra antropogen tilførsel av grunnstoffer i sedimentkjernene utenfor Orkla og Gaula for blant annet kobber, sink, kadmium, arsen og bly. Økningen av metallkonsentrasjoner i de øverste lagene i sedimentene har blitt knyttet opp mot aktivitet fra andre verdenskrig, gruvedrift, industri, utbyggelse av infrastruktur, økt befolkning, modernisering av jordbruk og mulige vulkanutbrudd og skogbranner. Sedimentkjernen tatt utenfor Nidelva viser ingen tegn til forhøyede konsentrasjoner av grunnstoff fra antropogene kilder. Bortsett fra arsen som på grunn av overlappende mulige kilder ikke er mulig å knytte til noen spesifikk hendelse.

Sammenligninger av konsentrasjoner viser at sedimentene utenfor elvene har større forskjeller i konsentrasjoner i nyere tid (fra 0-12 cm), enn lenger tilbake i tid (ved 50 cm).

Forurensningsnivåene i sedimentkjernene utenfor elvene viser at sedimentets øvre lag utenfor elveutløpet til Orkla er mest forurenset og er det forurenset med kobber, sink, nikkel og kadmium. Dernest kommer det øvre laget utenfor Gaula og det er forurenset med kobber og nikkel. Det øverste lag utenfor Nidelva er minst forurenset, det finnes bare forurensning av nikkel. Nikkel forurensningen ser dog ut til å ha en naturlig forklaring.

Summary:

This thesis is a part of a larger project studying chemical status at river mouths and estuaries of six major rivers that flow into the Trondheim fjord. The thesis focuses on the estuary of the three big rivers in Sør-Trøndelag: Orkla, Gaula and Nidelva. Deep sediment cores have been taken from the fjords by the river mouths and these have been analyzed using inductively coupled plasma – mass spectroscopy (ICP-MS). By studying the sediment profiles for selected elements there has been an attempt to uncover historical events of both natural and anthropogenic source. By normalizing elements with aluminum it has been possible to differentiate between natural variations in concentrations and anthropogenic feed of elements. Based on these tools and calculations of the settling velocities there has been made time profiles that reveal anthropogenic interferences that has affected the sediments and the water systems. The concentrations in the sediment samples have been compared with the pollutant criterias from KLIF.

This study has revealed increased concentrations that probably originate from anthropogenic input of metals in sediment cores outside Orkla and Gaula, including copper, zinc, cadmium, arsenic and lead. The increase of metal concentrations in the upper layers of sediments have been linked to the activity of World War II, mining, industry, development of infrastructure, increased population, modernization of agriculture and possible volcanic eruptions and forest fires. The sediment core taken outside Nidelva shows no signs of elevated concentrations of metals that come from anthropogenic sources. The exception is arsenic where overlapping potential sources has made it difficult to link the concentrations to any specific sources.

Comparisons show that the concentrations in the sediments by the river mouths have larger differences in concentrations in recent time (from 0-12 cm) than further back in time (at 50 cm). Pollution levels in the sediment core's upper layer by the river mouths shows that the sediment's upper layer near the river mouth of Orkla is the most polluted one (by copper, zinc, nickel and cadmium). The sediment's upper layer by the river mouth of Gaula is second in pollution (by copper and nickel), whereas the sediment's upper layers taken by the river mouth of Nidelva is least polluted (only by nickel). Nickel contamination in the area seems to have a natural explanation.

Forkortelser:

MS: Massespektrometri.

ICP-MS: Induktivt koplet plasma – massespektrometri.

Redoks: Reduksjon-oksidasjon.

Sh: Sedimenteringshastighet.

RSD: Relativt standardavvik (relative standard deviation).

ppm: Deler per million (parts per million).

ppb: Deler per milliard (parts per billion).

Oversikt over vedlegg:

Vedlegg 1: Vulkansk eksplosivitetsindeks.

Vedlegg 2: Analyse resultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Vedlegg 3: Analyse resultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.

Vedlegg 4: Analyse resultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 tatt utenfor Nidelva.

Vedlegg 5: Analyse resultatene for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Vedlegg 6: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Vedlegg 7: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.

Vedlegg 8: Dybdeprofiler til sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Vedlegg 9: Al-normaliseringer for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Vedlegg 10: Al-normaliseringer for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Vedlegg 11: Korrelasjonsanalyser med aluminium for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Vedlegg 12: Korrelasjonsanalyser med aluminium for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Vedlegg 13: Nøyaktighetsanalyse for sedimentkjernene.

Vedlegg 14: Risikoanalyse og SJA.

Innholdsfortegnelse

Forord:	I
Sammendrag:	III
Summary:	V
Forkortelser:	VII
Oversikt over vedlegg:	IX
1. Innledning	1
2. Teori	3
2.1 Orkla	3
2.1.1 Løkken Verk og Thamshavn	3
2.1.2 Geologi	5
2.2 Gaula	7
2.2.1 Jordbruk, flom og leirskred	7
2.2.2 Geologi	8
2.3 Nidelva	9
2.3.1 Byområdet og havnen	9
2.3.2 Geologi	13
2.4 Vann	14
2.4.1 Vannkjemi	14
2.5 Sediment	16
2.5.1 Dannelse og sedimentkjemi	16
2.5.2 Transport av partikulært materiale fra elv til sediment og sedimenteringshastighet	20
2.5.3 Marine sedimenter og redokskjemi	22
2.5.4 Dybdeprofiler	25
2.5.5 Normalisering med aluminium	28
2.5.6 Pålitelige data og forstyrrelser	30
2.6 Metaller og deres kilder	31
2.6.1 Metaller og deres transportruter	31
2.6.2 Globale kilder til metaller	33
2.6.3 Naturlige kilder	35
2.6.4 Antropogene kilder	37
2.7 Forurensningskriterier	39
3. Analytiske metoder og statistisk behandling	41
3.1 UltraCLAVE	41
3.1.1 Feilkilder ved behandling av prøver og dekomponering	41
3.2 ICP-MS	42
3.2.1 Induktivt koplet plasma-massespektrometri	42
3.2.2 Fordeler	43
3.2.3 Ulemper og feilkilder	44
3.2.4 Deteksjonsgrense	45
3.3 Statistisk analyse	45

4. Metode	49
4.1 Prøvetaking utenfor Nidelva i Trondheimsfjorden	49
4.2 Prøvetaking utenfor Orkla og Gaula i Trondheimsfjorden	51
4.3 Dekomponering	53
5. Resultater og diskusjon	57
5.1 Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla	59
5.1.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium	59
5.1.2 Sedimenteringshastighet	62
5.1.3 Hendelser	63
5.1.4 Forurensning	68
5.2 Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula	70
5.2.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium	70
5.2.2 Sedimenteringshastighet	74
5.2.3 Hendelser	75
5.2.4 Forurensning	81
5.3 Sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Nidelva	82
5.3.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium	82
5.3.2 Sedimenteringshastighet	87
5.3.3 Hendelser	93
5.3.4 Forurensning	97
5.4 Sammenligning av sedimentkjernene	99
5.5 Feilkilder og metodekritikk	103
6. Kvalitetskontroll/kvalitetssikring	109
7. Konklusjon	113
8. Videre arbeid	115
Litteraturliste	117
Vedlegg	i
Vedlegg 1: Vulkansk eksplosivitetsindeks.	i
Vedlegg 2: Analyseresultater for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.	ii
Vedlegg 3: Analyseresultater for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.	xiii
Vedlegg 4: Analyseresultater for sedimentkjernen Nidelva 1 tatt utenfor Nidelva.	xxiii
Vedlegg 5: Analyseresultater for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.	xxxii
Vedlegg 6: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.	xlii
Vedlegg 7: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.	xliv
Vedlegg 8: Dybdeprofiler til sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.	l
Vedlegg 9: Al-normaliseringer for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.	lv
Vedlegg 10: Al-normaliseringer for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.	lvi
Vedlegg 11: Korrelasjonsanalyse med aluminium for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.	lix
Vedlegg 12: Korrelasjonsanalyse med aluminium for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.	lx

Vedlegg 13: Nøyaktighetsanalyse for sedimentkjernene	lxiv
Vedlegg 14: Risikoanalyse og SJA	lxv

1. Innledning

Denne masteroppgaven er en del av et større prosjekt hvor en ser på elveosser og elveutløp til seks store elver som renner ut i Trondheimsfjorden. Prosjektet går ut på å studere kystområdene hvor produksjon av viktige næringsstoffer finner sted. Denne sonen vil i fremtiden kunne spille en mer sentralrolle for produksjon av mat for både dyr og mennesker. Områdene hvor store elver munner ut er spesielt interessante fordi de vanligvis er mer produktive områder og områder som ofte tidlig ble befolket. Kystsonen er også en sone som er sårbar og som lett eksponeres for forurensing. Dette kan påvirke dyre- og plantelivet i sonen som igjen gir direkte konsekvenser for mennesker.

Sedimenter er lag av finere materiale som dekker alle bunner i innsjøer, dammer, bukter, elvemunninger, elver, bekker og hav (Manahan, 2010, s. 103). Elver og bekker bærer med seg partikler og de blir fanget i sediment ved elvemunninger og deltaer (Murck og Skinner, 1999, s. 234). Sediment fungerer som reservoar for mange ulike biologiske og kjemiske forbindelser som finnes i vann (Manahan, 2010, s. 103). Vann tilføres forbindelser fra atmosfærisk utfelling og forvitningsprosesser i jord og grunnfjell (Stumm og Morgan, 1996, s. 614). Sedimenter består av partikler fra atmosfærisk utfelling, partikulært materiale fra elvene og organiske partikler fra biologisk liv.

Fokusområdet for denne masteroppgaven er Sør-Trøndelag og fjorden utenfor de tre elvene i Orkla, Gaula og Nidelva. Sedimentkjerner ble tatt i fjorden utenfor de tre elvene og var mellom 130-176 cm dyp. Dette gir oss blant annet en bedre oversikt over metallkonsentrasjonen i området. Prøvene ble dekomponert ved hjelp av UltraCLAVE før de ble analysert med en multianalyse av grunnstoffer med induktivt koplet plasma – massespektrometri (ICP-MS). Ved å studere den kjemiske grunnstoffanalysen har det blitt forsøkt å avdekke historiske hendelser av både naturlig og antropogen art. Basert på antagelser om mulig forurensning som gruvedrift, industri og jordbruk ble det valgt ut grunnstoffer som det har blitt sett nærmere på. Det ble konstruert dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium og disse har så blitt brukt til å skille mellom naturlige svingninger i konsentrasjoner og antropogen tilførsel av grunnstoffer. Det har ved hjelp av disse verktøyene og utregning av mulige sedimenteringshastigheter blitt laget tidsprofiler. I

tillegg har sedimentkjernene blitt sammenlignet med hverandre og konsentrasjonene i det øverste laget i sedimentkjernen har blitt vurdert mot forurensningskriteriene fra KLIF.

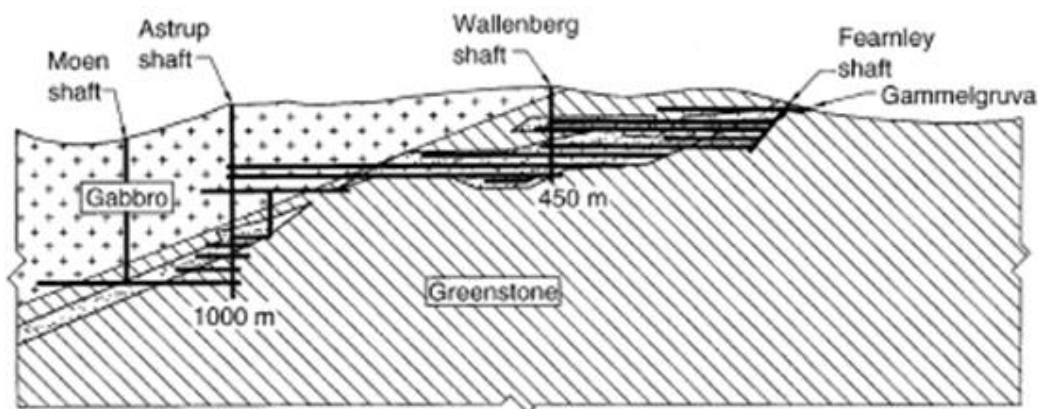
2. Teori

2.1 Orkla

Elven Orkla starter fra innsjøen Store Orkelsjøen i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag. Herfra renner den inn i Hedmark, før den svinger tilbake inn i Sør-Trøndelag og tilslutt renner ut i Orkdalsfjorden en del av Trondheimsfjorden. Lengden er på 172 km og størrelsen på nedbørsfeltet er 3053 km² (Heggstad, 2014). Elvens middelvannføring er på 67 m³/s, mens den maksimale vannføringen kan være opp mot 1500 m³/s (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 68). Orkla mangler flomdempende innsjøer i sitt løp og mye nedbør kan føre til store flommer og ødeleggelser (Heggstad, 2014). Det er registrert store flommer blant annet i 1345, 1789, 1816, 1918, 1934, 1940 og 1944 (Orkdal Historielag, 1997, s. 197-1918).

2.1.1 Løkken Verk og Thamshavn

Løkken Verk har utviklet seg over 300 år med gruvedrift. Malmen ble funnet i 1652 (Orkla Industrimuseum, 2011a) og driften i Løkken gruver ble startet i 1654. Gruvedriften var basert på kobberholdig svovelkis (jf. tabell 1) og i begynnelsen utvant de kobber. I 1851 gikk de over til kis-drift og produktet var råstoff til svovelsyreproduksjon. Etter kis-driften gikk de i 1931 over til å produsere elementærsvovel og kobbermatte ved smelteverket i Thamshavn. Denne produksjonen ble avsluttet i 1962. Mellom 1974 til 1987 ble kobber- og sinkkonsentrasjon skilt ved selektiv flotasjon fra råmalm og den svovelholdige restmassen ble deponert i Bjønndalen. Gruvedriften ble avsluttet 1987 (Miljøstatus, 2014). Løkken Verk inkluderer blant annet gravene Høydalsgruva, Viktoriagrava, Kong Karls gruve og Dragsverk. Det finnes også andre gruver i Orkla området som ikke tilhører Løkken Verk, blant annet Indset gruve og Undal verk (Miljøstatus, 2013a).



Figur 1: Utsnitt av Løkken gruver (Banks et al., 1997, s.167).

På begynnelsen av 1900-tallet tok gruvedriften av på industriellskala og det ble satt opp produksjonslokaler, kontorer, kraftverk, forretninger, boliger og jernbane (Orkla Industrimuseum, 2011a). Thamshavns-banen ble åpnet i 1908 og ble brukt til å frakte malm og passasjerer. Da produksjonen ble lagt om i 1974 stoppet togene å gå (Orkla Industrimuseum, 2011b). I Orkanger (hvor Orkla renner ut i havet), Fannrem og Gjømle er det idag betydelig industri med hovedvekt på metallproduksjon og verkstedindustri, blant annet finnes det et ferrosilisiumverk og et silisiumkarbidverk. Annen industri er kjemisk industri, produksjon av ikke-metallholdige produkter og grafisk industri (Stokkan, 2010). I 1981 ble elven regulert og vassdraget har i dag stor betydning innen kraftproduksjon. Det ble bygget ut fem kraftverk i vassdraget mellom 1982-1985 (Drageset, 2002, s. 8). Det drives også jordbruk i dalbunnen og hovedvekten ligger på allsidig husdyrhold. Rundt 1/5 av jordbruksarealet brukes til korndyrking (Stokkan, 2002).

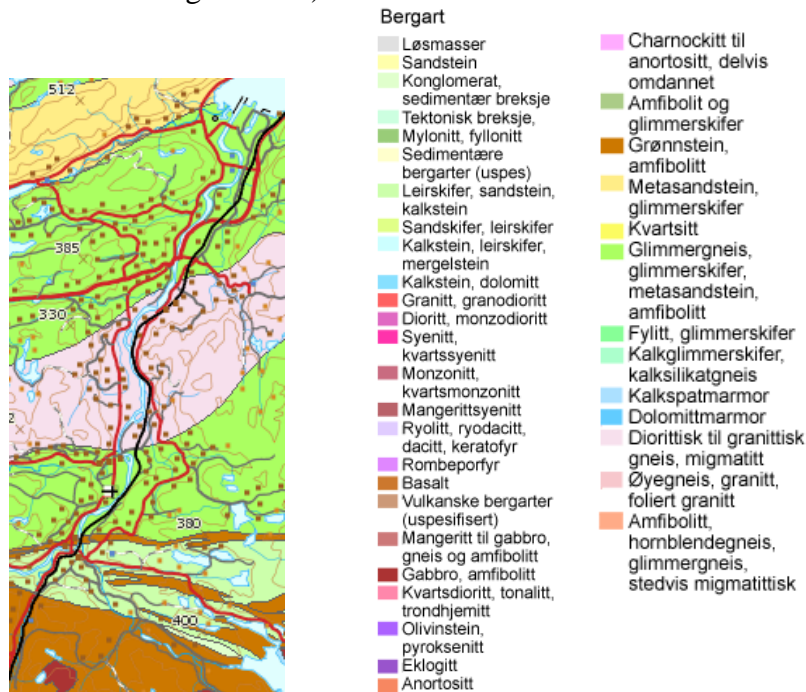
Tabell 1: Cu/Zn sulfidmineralet fra Løkken Verk (Banks et al., 1997, s. 165).

Sammensetningen	Prosentandel %	Sammensetningen	Andel i ppm (g/ton)
S	41,4	Ni	80
Fe	37,5	Se	50
SiO ₂	13,7	As	40
Cu	2,2	Cd	10
Zn	1,9	Ag	16
Mn	0,07	Au	0,2
Co	0,07		
Pb	0,02		

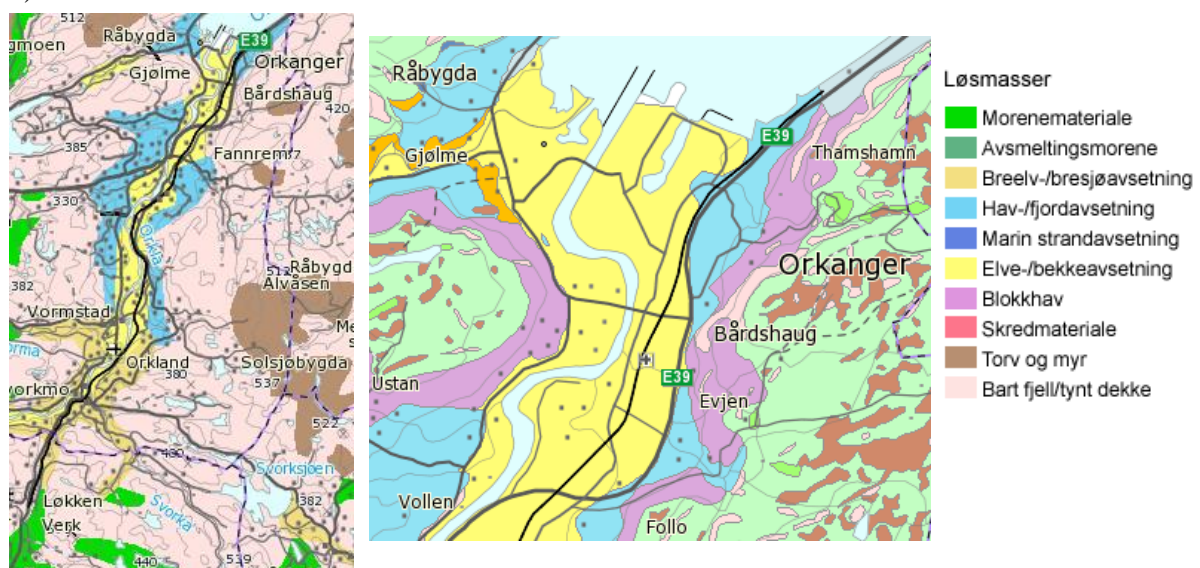
Gruvevannet fra Løkken har vært noe av det mest forurensede her i landet og avrenningen fra Løkken gruver havner i hovedsak i Orkla gjennom Raubekken. På det meste har det vært opp mot 530 mg kobber per liter. Før 1984 kunne årsutslippet være på 450 tonn og mellom 1952 og 1984 ble gruvevannet ført direkte ned til Thamshavn. Orkladalsfjorden ble vesentlig påvirket av dette utslippet. De siste 20-30 årene har forurensningssituasjonen endret seg mye da tiltak for å redusere tungmetallforurensningen ble iverksatt. Etter at de store utslippene sluttet i 1983 har bergvelt vært den største forurensningskilden og at de bidrar med mer enn 85 % av kobberavrenningen (Miljøstatus, 2014). Orkla står for rundt halvparten av kobberet som tilføres Trondheimsfjorden og for rundt 70 % av sinktilførselen (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 75).

2.1.2 Geologi

Fra figur 2 er det mulig å se at berggrunnen rundt Orkla er preget av mye glimmergneis og glimmerskifer, med noen partier med grønnstein og amfibolitt lenger opp i dalen. Det finnes også et større felt med mer amfibolitt, men også hornblendegneis, glimmergneis og stedvis migmatittgneis (Norges geologiske undersøkelse, udatert a). Se tabell 2 for mer informasjon om de ulike bergartene (tabellen inneholder også informasjon om bergartene fra områdene rundt Gaula og Nidelva).



Figur 2: Geologisk kart rundt Orkla med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert a).



Figur 3: Kartutsnitt av løsmasser rundt Orkla med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).

Mye av løsmassene rundt Orkla er elve- og bekkeavsetning, men det finnes også en del hav- og fjordavsetning. Store områder i dalen er bart fjell, er tynt dekket og noen områder er torv og myr. Lengere opp i dalen kan en se små områder med morenemateriale (jf. figur 3) (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).

Tabell 2: Bergarter med deres vanligste mineraler og mineralenes kjemiske formel. Tabellen er laget etter informasjon fra Geoportalen (udatert), Raade (2009), Raade (2012), Bargel, Boyd og Dahl (1995, s. 339-339), Kullerud (udatert a), Kullerud (udatert b), Store norske leksikon (2009a), Store norske leksikon (2009b), Store norske leksikon (2009c), Store norske leksikon (2013a) og Store norske leksikon (2013b).

Bergart	Mineral	Kjemiskformel
Grønnstein	Kloritt	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (Inneholder noen ganger også Ni, Mn, Cr og Li).
	Amfibolitt	$(\text{Mg,Fe,Ca,Na})_{2,3}(\text{Mg, Fe,Al})_5(\text{Si, Al})_8\text{O}_2(\text{OH})_2$
	Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Al,Mn})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
Amfibolitt	Plagioklas (K-Na feltspat)	$(\text{K,Na,Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$
	Amfibolitt	$(\text{Mg,Fe,Ca,Na})_{2,3}(\text{Mg, Fe,Al})_5(\text{Si, Al})_8\text{O}_2(\text{OH})_2$
Glimmer-skifer	Glimmer	$(\text{Mg,Fe,Al})_{6-4}(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH,F})_4$
	Kvarts	SiO_4
	Feldspat	$(\text{K,Na,Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$
Glimmergneis	Kvarts	SiO_4
	Feldspat	$(\text{K,Na,Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$
	Glimmer (biotitt eller muskovitt)	$(\text{Mg,Fe,Al})_{6-4}(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH,F})_4,$ $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2,$ $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Migmatittgneis	Blanding av bergarter, her av gneis og andre bergarter	
Kvartsdioritt (en type dioritt med mye kvarts)	Plagioklas (K-Na feldspat)	$(\text{K,Na,Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$
	Hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{AlSi}_7)(\text{OH,F})_2$
	Biotitt	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
	Kvarts	SiO_4
Trondhjemitt (en type dioritt med kvarts)	Plagioklas (K-Na feldspat)	$(\text{K,Na,Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$
	Hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{AlSi}_7)(\text{OH,F})_2$
	Biotitt	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
	Kvarts	SiO_4
Fyllitt	Muskovitt	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
	Kvarts	SiO_4
	Kloritt	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

2.2 Gaula

Gaula renner gjennom Sør-Trøndelag og nedbørsfeltet dekker et areal på 3661 km² (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013). Elvenes middelvannføring ved utløpet er 91 m³/s og elven er 145 km lang (Heggstad, 2012). Gaula starter ved fylkesgrensen mot Hedmark, renner gjennom Gauldalen og ender opp i Gaulosen i Trondheimsfjorden (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013). Gauldalen består av kommunene Trondheim, Melhus, Midtre Gauldal og Holtålen (Thorsnæs, 2012). Gaula preges av bratte bredder og renner raskt overfor Støren, mens elven nedenfor Gaulfossen er bred og går rolig (Heggstad, 2012).

2.2.1 Jordbruk, flom og leirskred

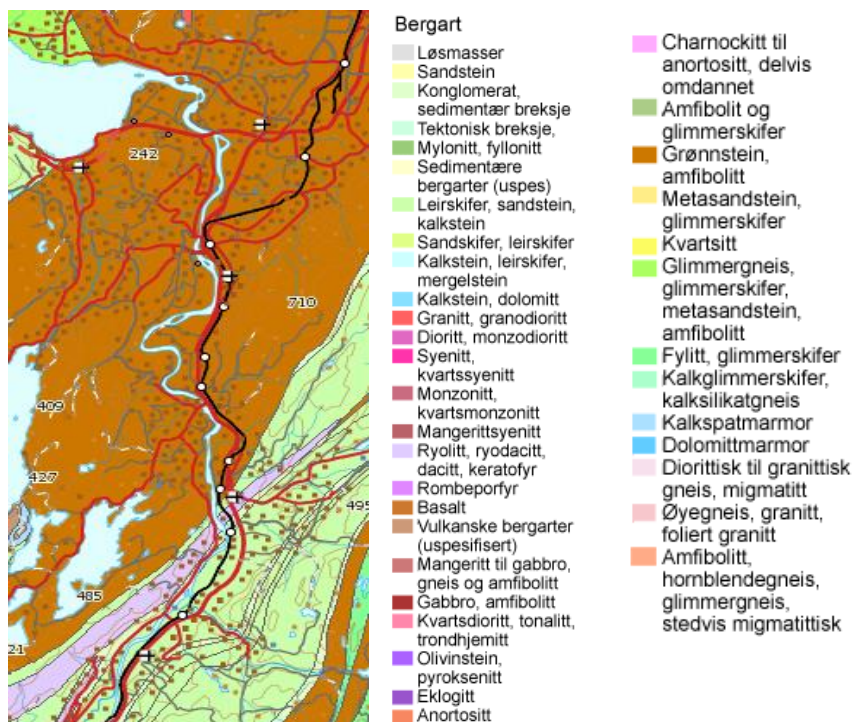
Nedbørsfeltet til Gaula er stort og elven har få innsjøer og ingen av dem har flomdempende effekt. Dette fører til at Gaula er en kraftig flom elv (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013) og det vært flere store flommer i elven. Historisk kjenner man til tre store katastrofeflommer og de rammet Gaula i 1345, 1675 og 1789. I nyere tid var det stor flom 1940 og elvene hadde en vannføring på 3060 m³/s. Flommen raserte jernbanestasjoner, førte til brudd på jernbanelinjer og veier og skadet bebyggelse og dyrket mark (Heggstad, 2012). Det har også vært registrert flommer i Gaula i 1879, 1882, 1918 og 1995 (Pettersson, 2000). Vassdraget har gått gjennom store endringer i profil og strømming. Dette er en konsekvens av de tidvis store vannføringene elven har. Den høye vannføringen fører til økt erosjon og elven fører da med seg store mengder partikkelmasse (Heggstad, 2012).

I 1345 mellom 11. og 13. september gikk det et kjemperas Gauladal, etter en periode med mye regn og storm. Dette skjedde mellom terrassene omkring Haga Gård og stedet Kvasshyllen (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 70). Raset ble beskrevet i en islandsk årbok, kalt Skålholt-annaler, og i følge beskrivningen ble hele elven borte. Et stort skred fylte dalen på tvers og demmet elven helt. Gårdene på oversiden ble oversvømt, og mange mennesker og kveg druknet (Jørstad, 1968). På grunn av flomtilstander tok det ikke mer en to dager å fylle dammen. Elven ble demmet opp til 33 meters høyde, og ble til en 14 km lang innsjø. Da dammen brast 14. september ble det dannet en flodbølge på minst 12-15 tusen m³ s⁻¹ av leirslam. Denne flodbølgen skal ha tatt med seg alt nedover, blant annet flere titalls gårder og flere kirker (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 70).

Ulike inngrep har blitt gjort rundt elven, og området rundt Gaula er sterkt preget av intensivt jordbruk. Dette har ført til at mengder med plantenæringsstoffer og organisk materiale renner ut i elven. Det har også blitt hentet ut sand og grus fra nedre deler av Gaula. Leirlaget under har blitt avdekket og mye av dette blir virvlet opp. I øvre del av Gaula har det også blitt tatt ut store mengder grus. I tillegg har det blitt bygget en del forbygninger. Dette har ført til at massetransporten i elven er kraftig redusert. Gaula er også en mottaker for avløpsvannet fra bebyggelsen rundt elva (Miljødirektoratet, 2007a). Gaula har også flere gruver som hovedsakelig slipper ut kobber. Mugg er en av disse og driften ble startet i 1796 og avsluttet i 1919. Gruvens avrenninger ender opp i Gaula via sideelven Rugla. Andre betydelige gruver i Gaulas nedbørsfelt er Killingdal (1674-1986) og Kjøli gruver (1766-1941). Det finnes også andre gruver, men avrenningen fra disse blir ansett som uproblematisk (Miljøstatus, 2013a, 2013b og 2013c).

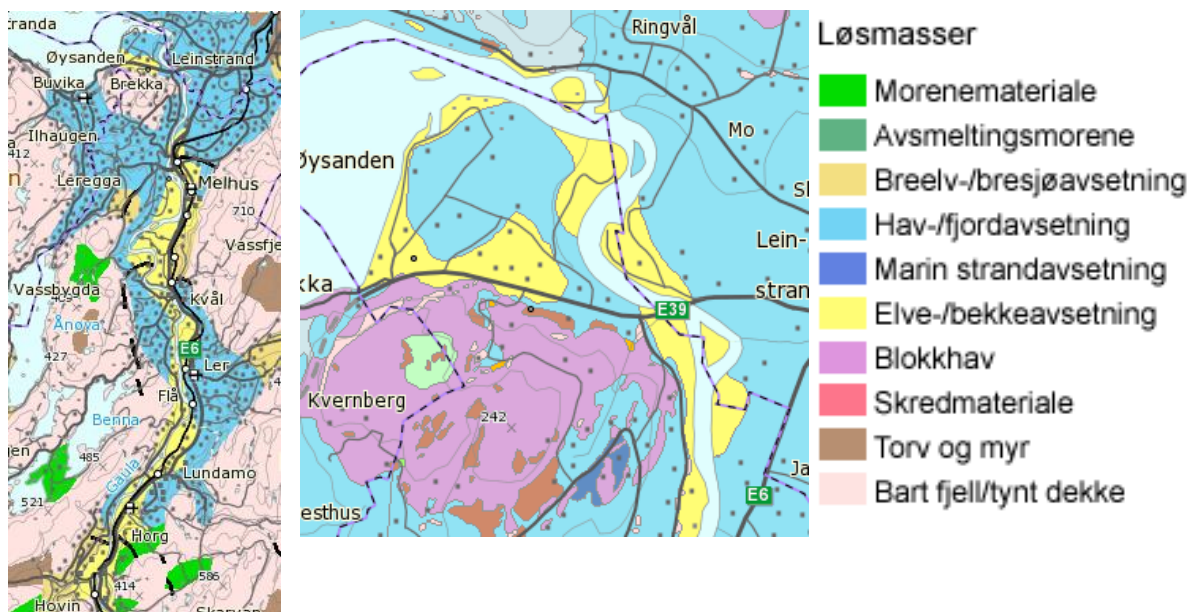
2.2.2 Geologi

Området Gaula renner gjennom er preget av lave åser, brede daler og fjellområder. Bergartene som dominerer i området er fra den kaledonske perioden (Miljødirektoratet, 2007a). Fra figur 4 kan en se at bergartene rundt elven for det meste består av grønnstein og amfibolitt, men også fylitt og glimmerskifer. Det finnes også et område med kvartsdioritt og trondhemitt (Norges geologiske undersøkelse, udatert a). Se tabell 2 for informasjon om bergartene.



Figur 4: Geologisk kartutsnitt rundt Gaula med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert a).

Løsmassene langs elven er rikholdige og sammen med de kambrosilurske bergartene fører de til gode vekstforhold. Området er preget av mange ulike plantearter og vegetasjonstyper (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2013). Ved elvemunningen og oppover langs elven er løsmassene for det meste elve- og bekkeavsetning og hav- og fjordavsetning, mens området rundt er preget av en del skredmateriale (jf. figur 5) (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).



Figur 5: Kartutsnitt av løsmasser rundt Gaula med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).

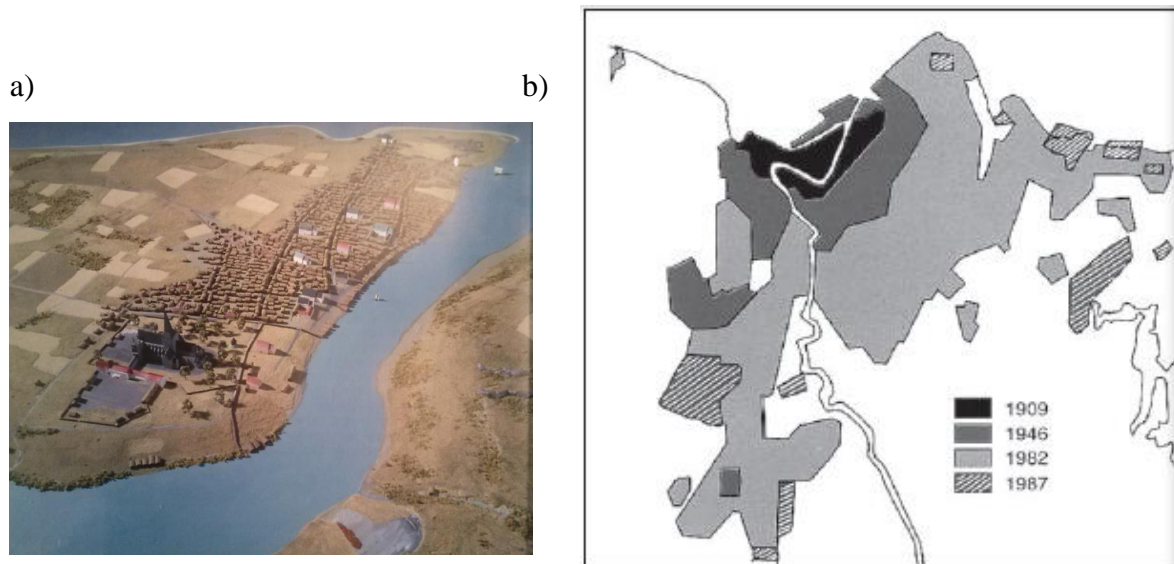
2.3 Nidelva

Nidelva er 31 km lang og starter oppe ved Selbu innsjø (L'Heureux et al., 2007, s. 260), hvis en regner med Nea vil elvens lengde være på 151 km. Nidelvas gjennomsnittlige vannføring er på $100 \text{ m}^3/\text{s}$ og den maksimale vannføringen er på $490 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 68). Nidelva renner gjennom Trondheim by som er Norges tredje største by og ligger 350 km nord for polarsirkelen. Klimaet i området er vanligvis fuktig og kjølig (Andersson, Ottesen og Langedal, 2010).

2.3.1 Byområdet og havnen

Trondheim ble grunnlagt i 997, og byen lå de første 900 år ved dagens bysentrum (Andersson, Ottesen og Langedal, 2010). Før dette var det mange midlertidige hus og på slutten av 900 tallet vokste det fram en permanent bebyggelse. Byen vokste jevnt og det ble stadig utviklet stader og gårder. Nidaros ble erkebispesete i 1152/53 og etter dette begynte bygningen av

Nidarosdomen. På 1300-tallet hadde byen 2000-3000 innbyggere og bildet på figur 6 viser hvordan byen antageligvis så ut på denne tiden. Smeder og gullsmeder holdt til nord i byen på Øyrene (Alsaker et al., 2005). I løpet av det 20 århundre vokste det urbane området mye (jf. figur 6), og Trondheim strekker seg i dag over et område på 70 km² (Ottesen og Langedal, 2001). I 2006 var befolkningen i Trondheim på 150 049 (Store norske leksikon, 2012).



Figur 6: a) Modell av Trondheim by fra 1300-tallet (Alsaker et al., 2005 s. 348) og b) Trondheim bys vekst fra 1909 til 1987 (Ottesen og Langedal, 2001, s. 64).

Trondheim er en by som har vært rammet av flere bybranner opp gjennom historien. For eksempel brant Nidarosdomen og hele Trondheim ned i 1432. I mai 1531 brant det igjen og nesten hele byen var rammet, blant annet brant 3 store kirker og gråbrødrekløsteret ned. På 1600-tallet var det i to store branner: omtrent hele Trondheim brant ned i 1651, mens hele Trondheim brant ned i 1682. I 1708 brant hele 459 gårder i Trondheim ned, og i 1717 brant 100 gårder og mange havboder. 1788 var det igjen storbrann i Trondheim. Årene 1841 og 1842 brant Trondheim og begge gangene ble over 3000 personer hjemløse. Deler av Erkebisppegården brant ned i 1983, og i 2002 var det kvartalsbrann i Midtbyen (Jensen og Rimstad, 2013).

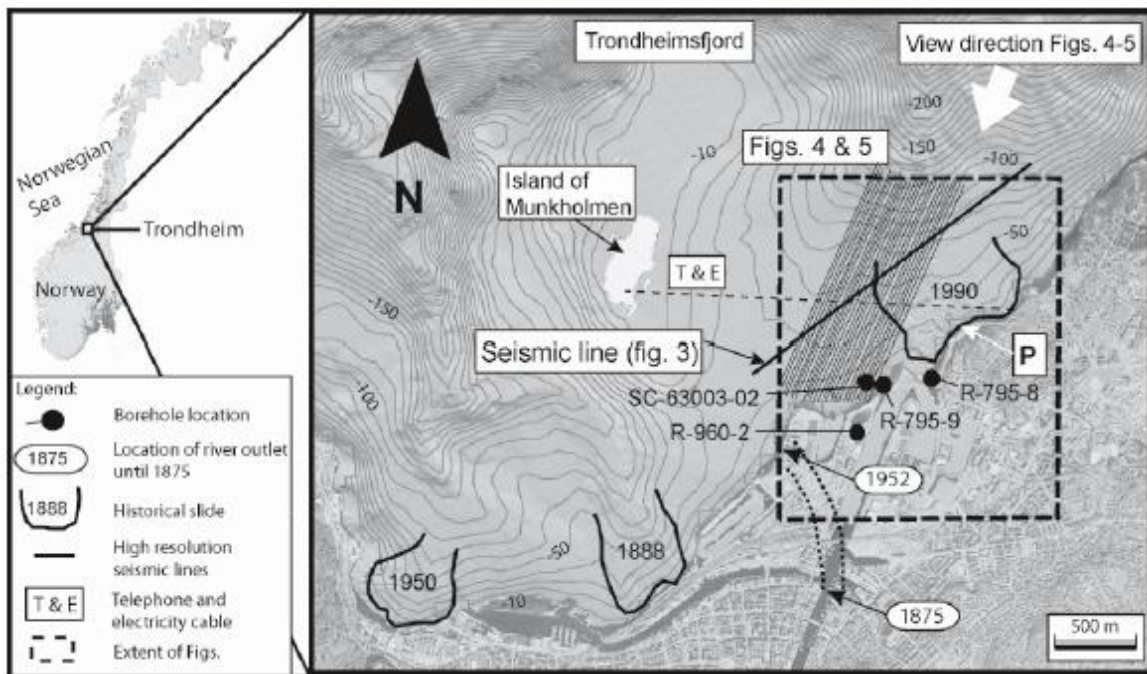
Det finnes flere lokale forurensingskilder i Trondheim, blant annet det kommunale avfallsforbrenningsanlegget, forbrenningsanlegget til sykehuset, flere krematorium og smelteverk. Det kommunale avfallsforbrenningsanlegget ble åpnet i 1985, og ligger 10 km sør for sentrumsområdet. Anlegget har to forbrenningsovner som kan brenne 13 tonn avfall i timen. Forbrenningsgassen blir rensset før den slippes ut, via støvfilter og en vaskepipe. Det har blitt samlet jordprøver rundt anlegget og disse viser lavere konsentrasjoner enn

medianverdier fra Trondheim. Jorden i området rundt sykehuskrematoriet og sykehusforbrenningsanlegget er derimot forurenset av blant annet kvikksølv, bly, sink og kadmium, men på grunn av en nærliggende hovedvei er det vanskelig si hva som egentlig forurensrer området. Øst i byen ligger det et annet krematorium, et forlatt gassanlegg og tung industri. Her går det også en nærliggende hovedvei og jorden i området er forurenset med sink, arsen, kvikksølv, kadmium og bly. Prøver tatt langs trafikkerte veier viser høye konsentrasjoner av sink, kadmium, kvikksølv og bly. I tillegg slipper ennå en gammel malmmølle fra den vestlige delen av haven ut arsen (Ottesen og Langedal, 2001). Tabell 3 viser en oversikt over historiske og aktive forurensningskilder til Trondheimhavn.

Tabell 3: Oversikt over historiske og aktive forurensningskilder til Trondheim havnebasseng (Bjervamoen et al., 2006, s. 8-9 etter tabell 1 og 2).

Type forurensing	Forurensningskilder	Beliggenhet	
		Gammel/historisk	Aktiv
Hg	Forbrenningsanlegg	St. Olavs hospital (tidligere RiT) (også Pb, Zn, Cd)	Heimdal (også Pb, Zn, Cd)
	Krematorier	St. Olavs hospital (tidligere RiT) (også Pb, Zn og Cd) Lademoen (også Pb, Zn og Cd) Tilfredshet	Moholt (også Pb, Zn og Cd)
	Krigsetterlantenskaper	I fjorden ved Østmarksneset	
	Maling		Bygninger m.m.
	Bybranner		
Andre metaller enn kvikksølv	Oppredningsverk (Killingdalgruber)	Ved Høvringen renseanlegg	Slagg brukt som veifylling
	Maling		Bygninger m.m.
	Metall og galvanotekniske industrier	Ila jern, Ila stålindustri, Ila og Lilleby smelteverk	
	Mekaniske verksted og skipsverft	Øvrens Mekaniske, Trondheim Mekaniske, Dora (ubåthavn)	
	Gassverk	Kalvskinnet (nedlagt 1916) og Trondheim tidligere gassverk Jarlheimsletta (nedlagt 1957)	
	Rosenborg Krom – Nikkel AS	200 m fra nyhavna	
	Bybranner		
	Industri og biltrafikk	Diffuse kilder	Diffuse kilder
Kull og olje	Tankanlegg (nedlagt og eksisterende)	Ved Høvringen renseanlegg	Ved Høvringen renseanlegg
	Varmekraftverk	Fagervika-Illsvika (kull)	Fagervika-Illsvika (lettolje)
	Gassverk	Kalvskinnet og Trondheims tidl. gassverk, Jarlheimsletta	

Havnen i Trondheim er sterkt forurenset og skal være blant landets mest forurensende havbunnområder. Forurensinger fra industri, avfallsfyllinger, kommunale avløp og avrenning fra byen har preget havnen i flere år. I tillegg virvler skipstrafikk og strøm opp sedimentene slik at forurensingen sprer seg (Miljødirektoratet, 2012). En av årsakene til forurensingen i havnen er bydelen Ila som ligger vest i byen fra Nidelven nede langs havnen. Området ble først befolket i første halvdel av 1700-tallet og på 1800-tallet ble området bygget ut med bygårder tiltenkt industriarbeidere. I dag ved havneområdet finnes det en del industri og handelsbedrifter, blant annet kornsiloer, en mølle og en Felleskjøpet kraftfabrikk (Rosvold, 2013). Litt vest for Ilsvika drev AS Killingdal et Grubeselskap flotasjonsverk og utskippningskai i 34 år (1952-1986). Store mengder malmkonsentrat og råmalm ble lagret i området før det ble skipet ut, og årsproduksjonen var på rundt 40 000 tonn. De hadde også tillatelse til å dumpe 66 000 tonn avgangsmasse i havet hvert år. I dag er tomten høyt forurenset av arsen, bly, kadmium, kobber og sink og dette spres videre til vannet og havnesedimentene via to dreneringsrør fra tomten. Prøvene tatt indikerer at lekkasjen er oppe i 14 000 kilo sink, 2600 kilo kobber, 36 kilo kadmium og 29 kilo bly hvert år (Norges geologiske undersøkelse, 2004).



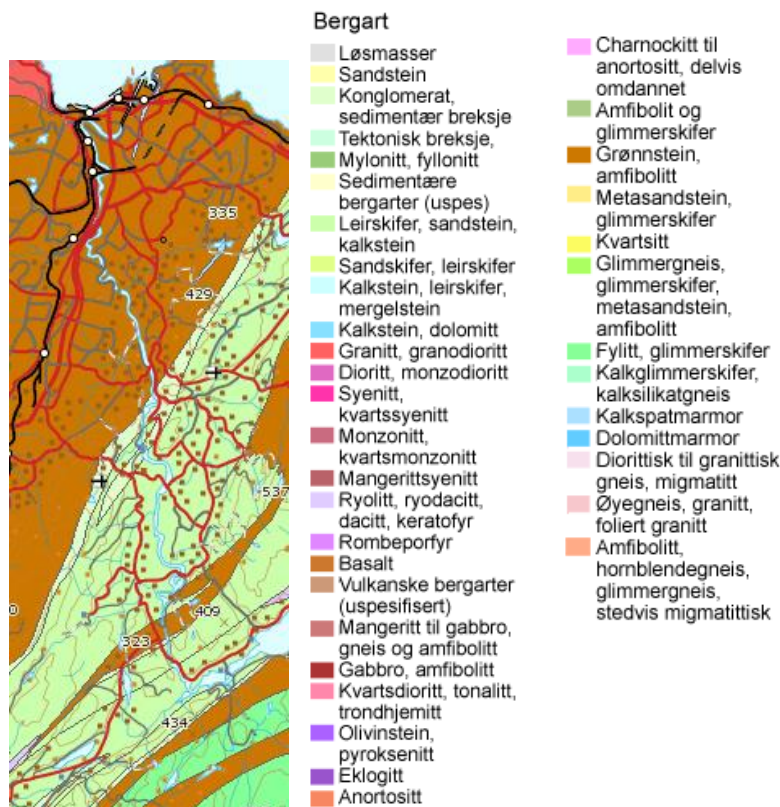
Figur 7: Marine ras utenfor Trondheim havn med forklaring (L'Heureux et al., 2007, s. 260).

I løpet av det siste århundret har det vært registrert tre store marine ras i Trondheim havn (jf. figur 7). Et ras i 1888 i fjorden til høyre for Ila, et ved Ila i 1950 og det tredje siste raset

skjedde 1990 rett utenfor utløpet for Nidelva. I dette raset gikk over et område på 1 km² og volumet er estimert til å være på 5×10⁶ m³. (L'Heureux et al., 2007, s. 259-260). Slike ras er kjent for å oppstå langs hele havnen, men området rundt Ladehammeren og Fagervika-Ilsvika er spesielt utsatt. Dette er med på å spre forurensende sedimenter (Bjervamoen et al., 2006).

2.3.2 Geologi

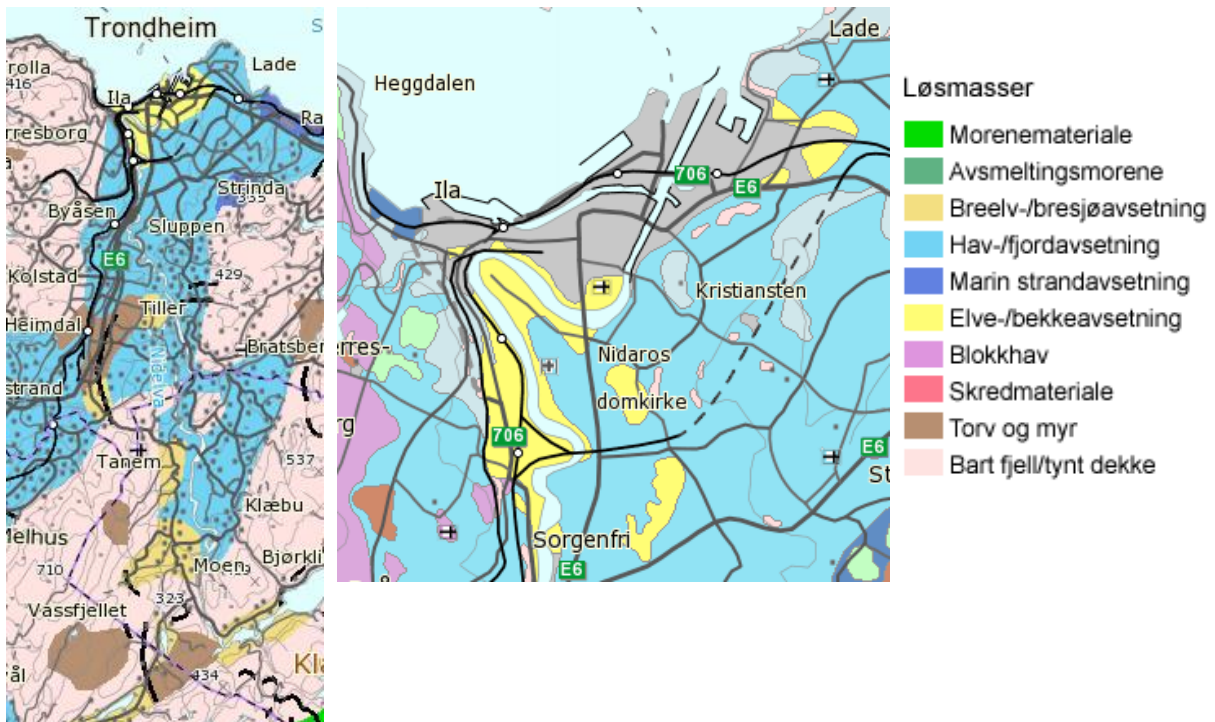
Geologien rundt Trondheim er preget av allokton fra kaledonsk tid som består av omdannede vulkanske og sedimentære bergarter. Byen er bygget på havleire som ble avlagt for omtrent 10 000 år siden og langs Nidelva ligger byen på elvesediment (Ottesen og Langedal, 2001). Et geologisk utsnitt rundt Nidelva (jf. figur 8) viser at berggrunnen langs elven består av bergartene grønnstein og amfibolitt og noe fyllitt og glimmerskifer. (Norges geologiske undersøkelse, udatert a). Se tabell 2 for mer informasjon om de ulike bergartene.



Figur 8: Geologisk kartutsnitt rundt Nidelva med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert a).

Løsmasser rundt Nidelva (jf. figur 9) består av mye hav og fjordavsetning, noe elve- og bekkeavsetning og et lite område med bart fjell og/eller tynt dekke. Området rundt Nidelva dekkes i stor grad av en eller annen type løsmasse (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).

I havnen kommer deltamaterialet fra Nidelva og sedimentene består av lag med slam, leire og sand som ligger på berggrunn, morene og marine leirer. Tykkelsen på sedimentet ved dagens elveutløp er på 100-125 m. Utløpspunktet til elven har endret seg mye, og i 1875 flyttet de elveutløpet lenger nord på grunn av utvikling av havnen. Dette endret elvenes strømming og sedimenteringsvilkårene langs havnen. I 1952 ble elveutløpet flyttet mot nordøst og hvor dagens elveutløp ligger (jf. figur 7). Nidelva er i dag regulert slik at elveløpet ikke skal vandre (L'Heureux et al., 2007, s. 260-261).



Figur 9: Kartutsnitt av løsmasser rundt Nidelva med forklaring (Norges geologiske undersøkelse, udatert b).

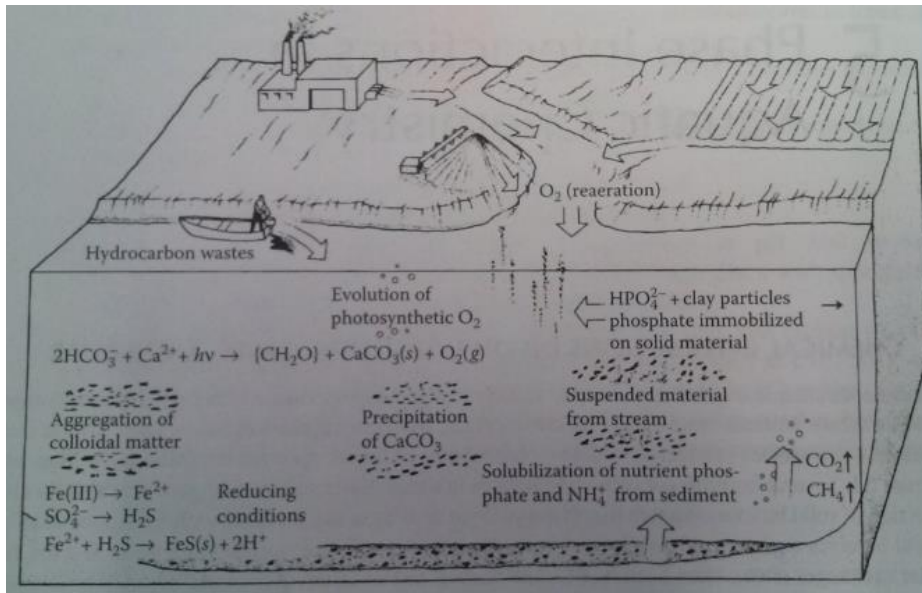
2.4 Vann

Denne masteroppgaven inkluderer en del om vannkjemi siden elvene er den største kilden til partikkelmasse og oppløst materiale som tilføres havet (Milliman og Meade, 1983) og mange av reaksjonene som er med på å danne marint sediment skjer i vann (jf. kap 2.5.1).

2.4.1 Vannkjemi

I vannkjemi er man opptatt av kjemiske reaksjoner og prosesser som påvirker fordelingen og syklusen til kjemiske specieringer i vann. De viktigste reaksjonene i vann er syre-base

reaksjoner, redoksreaksjoner, komplekseringsreaksjoner og oppløsnings- og utfellingsreaksjoner (Stumm og Morgan, 1996, s. 1). Figur 10 viser noen av de viktigste interaksjonene mellom ulike faser i vann.



Figur 10: Noen av de viktigste prosesser i vann er interaksjoner mellom ulike faser (Manahan, 2010, s. 104)

Syre- og basereaksjoner påvirker sammensetningen av vann, og pH til ferskvann er vanligvis mellom 6-9. Protonbalansen i vann og jordsystemer er skjør og kan forstyrres av for eksempel atmosfærisk avsetning og industrielt surt vann. Hydrogenion-reguleringen i vann beskyttes av flere ulike buffersystemer og vann kan fungere både som en protondonor (en syre) og som en protonakseptor (en base). Havet er blitt sammenlignet med en gigantisk titrering, der syrene kommer fra jordens indre og basene fra forvitring av berggrunn (Stumm og Morgan, 1996, s. 88-90).

Alle metallkationer i vann er hydratiserte, det vil si de danner komplekser med vann. Koordinasjonsreaksjoner, eller komplekseringsreaksjoner, er reaksjoner hvor metallkationer utveksler vannmolekyler mot andre ligander. For forståelsen av fordeling og funksjoner til spormetaller i vann er det viktig å forstå hvilke typer specier som finnes under ulike kjemiske forhold. Forholdene vil da si type komplekseringer som eksisterer, deres stabilitet og formasjonshastigheten (Stumm og Morgan, 1996, s. 257-258).

Vannet fungerer både som transportmiddel for partikulært materiale og oppløste grunnstoffer, men også som reaktant i oppløsnings- og utfellingsreaksjoner. Oppløsning- og utfellingsreaksjoner er med på å forandre den kjemiske sammensetningen av vann. I vann vil den kjemiske sammensetningen variere og løselighetsforhold kan være med på å forklare disse variasjonene. Kjemisk forvitring er en av hoved prosessene som kontrollerer den hydrogeologiske syklusen til grunnstoffer (Stumm og Morgan, 1996, s. 349-350).

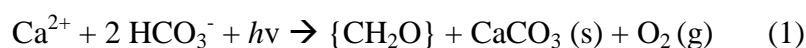
Redoksreaksjoner er viktige i vann fordi stoffer vil eksistere i ulike forbindelser (specier) under ulike redoksforhold. Redoksforholdet i vann vil variere fra dypt vann til overflaten og pH i vannet vil også være en viktig faktor. For eksempel vil det være med på å bestemme om det er nitrat (NO_3^- , oksiderende forhold) eller ammonium (NH_4^+ , reduserende forhold) som dominerer i vann. Redoksreaksjoner er spesielt viktig for biologisk aktivitet, og i vann er hovedgrunnstoffene i redoksprosesser: nitrogen, karbon, oksygen, jern og mangan. Redoksreaksjonene i vann katalyseres ofte av mikroorganismer i vann (Stumm og Morgan, 1996, s. 425, 461 og 464).

2.5 Sediment

Lagene av finere materiale som dekker bunnen i alle innsjøer, dammer, bukter, elvemunninger, elver, bekker og havet kalles sedimenter. Disse sedimentene er blandinger av grovt-, medium og fint kornede mineraler, leire, slam og sand blandet sammen med organisk materiale. Sediment fungerer som reservoar for mange ulike biologiske og kjemiske forbindelser som finnes i vann (Manahan, 2010, s. 103). Vann tilføres forbindelser fra atmosfærisk utfelling og forvitningsprosesser i jord og grunnfjell (Stumm og Morgan, 1996, s. 614). Elver og bekker bærer med seg partikler og disse blir fanget i sediment ved elvemunninger og deltaer (Murck og Skinner, 1999, s. 234).

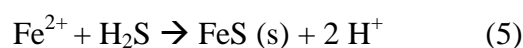
2.5.1 Dannelse og sedimentkjemi

Sedimenter kan dannes på tre ulike måter; enten via fysiske prosesser, kjemiske- eller biologiske reaksjoner. Partikkelmasse kan transporteres til en innsjø eller til havet gjennom erosjon eller uthuling av kysten. Kjemisk kan sediment dannes når reaksjoner danner bunnfall. For eksempel skjer reaksjon 1 på sommeren når mye sollys treffer vann beriket med karbondioksid og kalsium. Reaksjon 2 skjer når jern(II) oksideres til jern(III) (Manahan, 2010, s. 104-105).



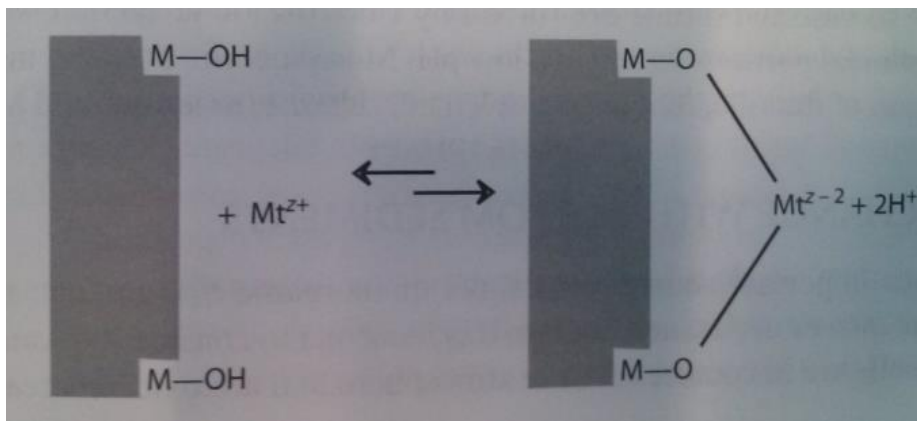
Utfellingsreaksjoner er avhengig av temperatur og pH. Utfelling av grunnstoffer i havet er avhengig av pH og temperatur. Når metaller felles ut i sure-alkaliske barrierer vil de bli kolloider og dette fører til økt migrering. I havet er pH enten nøytral, pH = 6,5-7,5, eller svakt reduserende, pH = 7,5-8,5, og miljøet i havet favoriserer derfor ikke migrering av mange metaller. pH i hav bør være enten under 6,5 eller over 8,5 for å favorisere migrering. De vanligste hydroksidene i havet er Fe- og Mn-oksider og på grunn av deres geokjemiske egenskaper felles de ut ved ulike pH. Fe(OH)₂ vil felle ut ved pH = 5,5, mens Mn(OH)₂ vil felle ut ved pH = 9. Grunnstoffer som kalsium, strontium, barium, radium, kobber, sink, kadmium, toverdug jern (Fe²⁺), mangan og nikkel vil aktivt migrere i surt og svakt oksiderende miljø, mens de under alkaliske forhold er immobile Emelyanov, 2005, s. 14).

Bakterier kan også være med på å danne bunnfall som avsettes som sediment. For eksempel ved å redusere jern(III) til jern(II) (jf. reaksjon 8) eller ved å bruke sulfationer som en elektroakseptor i oksygenfattig vann (jf. reaksjon 9). Til sammen vil det produseres svart jern(II)sulfid (jf. reaksjon 10) (Manahan, 2010, s. 105).



Sedimenter er vanligvis anoksiske og i reduserende miljø. Sedimentene er konstant utsatt for utvasking og innholdet av organisk materiale er vanligvis høyt i forhold til jord. Evnen sedimentene har til å bytte ut kationer med vannfasen er karakteristisk og denne evnen påvirkes av pH og saltkonsentrasjonen. Et eksempel på overflateutbytting kan være når et metall-ion komplekseres til en fastfaseoverflate, illustrert i figur 11 og reaksjon 6 (Manahan, 2010, s. 115 og 117).





Figur 11: Overflate utbytting på en fastfaseoverflate av kation (Manahan, 2010, s. 115).

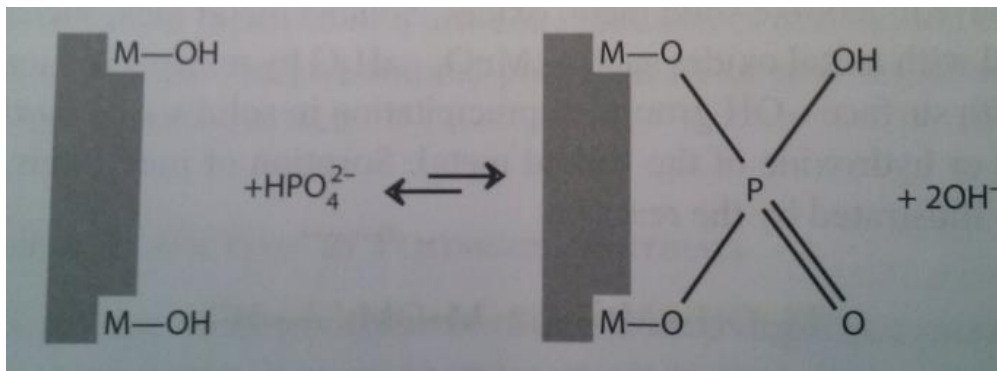
Finkornet sediment og suspendert materiale har store overflatearealer og høy sorpsjonskapasitet (Westrich og Förstner, 2007, s. 16). Overflatene har ofte et overskudd av overflateenergi på grunn av ubalanse i kjemiske krefter fra atomer, ioner og molekyler på overflaten. For å redusere overflateenergien vil det normalt skje en aggregering eller sorpsjon av specier i løsningen (Manahan, 2010, s. 115).

Aggregering er en komplisert prosess som kan deles inn i to hovedgrupper: koagulering og flokkulering. Vanligvis vil ikke kolloider aggregerere på grunn av det elektriske dobbeltlaget (som oppstår mellom det adsorberte ion laget og de motsatt ladde ionene i løsning), men hvis disse frastøtende kreftene reduseres vil de kolloidene av identisk materiale aggregerere gjennom koagulering. Spesielt vil hydrofobe kolloider koagulere hvis det tilsettes små mengder salt. Dette er karakteristisk i elvemunninger der ferskvann med mye kolloider treffer det salte havvannet. Dette forklarer de store deltaene som dannes i havet utenfor store elver. Flokkulering skjer når kolloidepartikler danner broer mellom hverandre ved hjelp av kjemiske bindinger (Manahan, 2010, s. 113-114). Ved nedbryting av organisk materiale kan man øke sjansen for flokkulering og dannelsen av biofilm (tynn hinne som finnes på de fleste mineraler) (Westrich og Förstner, 2007, s. 16).

Absorpsjon og adsorpsjon går under fellesbetegnelsen sorpsjon (Store norske leksikon, 2009d). Adsorpsjon er når et stoff trenger inn i et annet stoff, for det meste i sammenheng med gass og væske (Store norske leksikon, 2009e) Akkumulering av materie på kontaktflaten mellom vann og faststoff kalles adsorpsjon og er også basisen for de fleste overflateprosesser (Stumm og Morgan, 1996, s. 519). Overflatereaksjoner er ikke enkelt-trinns reaksjoner og eksperimenter har vist at innen den første timen har det skjedd en rask og nesten komplett

sorpsjon av metaller. Etter den første sorpsjonen vil det skje et langsomt opptak av metaller som går over flere dager, kanskje til og med over måneder (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 78).

Transporten av stoffer blir påvirket av adsorpsjonens innvirkning på fordelingen av stoffene mellom vann- og fastfase. Affiniteten oppløst stoff har til overflaten av uorganiske og biologiske partikler i havet er med på å regulere deres opphold, deres oppløste konsentrasjon og lagring. Adsorpsjonen påvirker også specieringen til bestanddelene av vann og vil også påvirke de elektrostatiske egenskapene til kolloider og suspenderte partikler (Stumm og Morgan, 1996, s. 519). Et eksempel på adsorpsjon kan være når fosfat blir adsorbent på en fastfaseoverflate (jf. figur 12) (Manahan, 2010, s 116).



Figur 12: Adsorpsjon av et anion, her vist ved fosfat på en fastfase overflate (Manahan, 2010, s. 116).

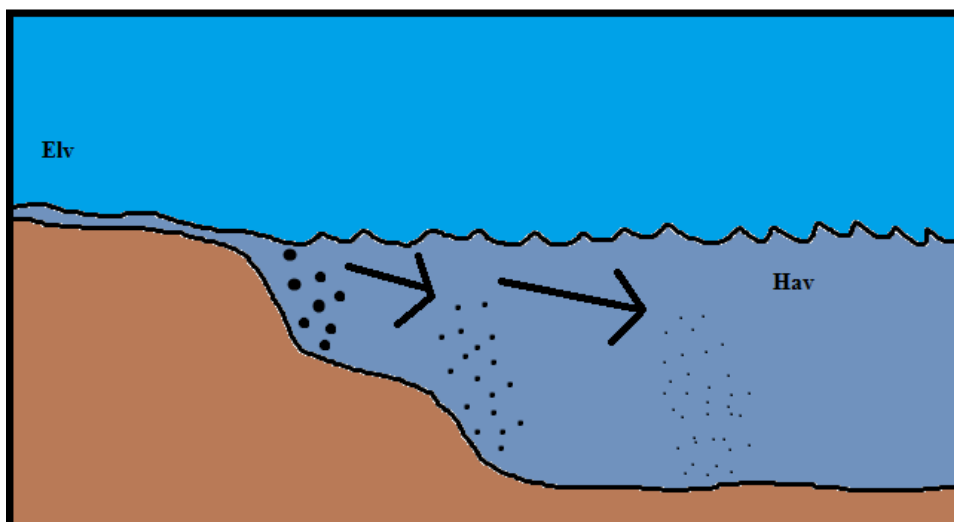
Adsorpsjon for metaller på suspendert partikulært materiale er avhengig av pH. Det er forskjeller i adsorpsjon i ferskvann og havvann for metaller, for eksempel vil krom adsorberes på jernoksider ved pH 4 i ferskvann og ved pH 5 i havvann. Mengden organisk materiale vil påvirke adsorpsjonen av jern på grunn av dannelse av organiske komplekser med jern. Forskjellen i pH-avhengigheten for adsorpsjon av jern kan forklares med mengden jernkompleks og hastigheten av oksygeneringen av toverdige jernkomplekser. Dette er viktig med tanke på elvemunninger hvor forholdene endres (salinitet, pH og suspendert partikulært materiale) på kort tid. Det er også vanlig at økning i pH sammen med økt salinitet vil favorisere sorpsjon av metaller på suspendert partikulært materiale. Dette har blitt observert i elvemunninger. Mengden spormetaller på partikler vil øke i elvemunningen og det er stor sjanse for akkumulering av spormetaller i marint sediment rett utenfor elvemunninger (Hatje et al., 2003).

Typen binding og stabiliteten av metallbindingen i suspendert materiale og sediment bestemmer potensialet for mobilitet og biotilgjengelighet. Svakt adsorberte metaller kan enkelt bli tilgjengelig til planter og dyreliv, mens metaller bundet i krystallstrukturer i mineraler ikke vil være tilgjengelig før mineralet forvitrer. Det eksisterer derimot noen amorfe faststofforbindelser som kan forandres via kjemiske og fysiske endringer (Calmano, Hong og Förstner, 1993). Evnen sedimentene har til potensielt å slippe ut spormetaller er avhengig av endring i pH og redokspotensialet. For eksempel vil nesten jern-oksyhydrater adsorberes på en overflate at i løpet av en endring på 1-2 pH enheter (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 75-77).

Sedimentene inneholder vann (porevann) og sammensetningen av dette vannet er en av de mest sensitive indikatorene på hvilke typer reaksjoner som skjer mellom vannfasen og sedimentene og omfanget av disse (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 73). I de første millimeterne av sedimentene vil oksygenet diffundere langsomt inn i porevannet og mikroorganismer vil konsumere oksygenet. Dypere ned i sedimentene vil mikroorganismer bruke oksygen fra oksygenforbindelser og på denne måten redokspotensialet til sedimentene. Under anoksiske forhold vil faststofforbindelsene vanligvis være stabile og ikke mobile (Calmano, Hong og Förstner, 1993).

2.5.2 Transport av partikulært materiale fra elv til sediment og sedimenteringshastighet

Elver og bekker bærer med seg partikler og avsetter noe på veien ned til havet. Hvilke typer partikler og hvor de avsettes på vei ned til havet bestemmes av typen elv og elvens egenskaper. Eksempler på dette kan være elven vannføring og størrelse og landskapet elven renner gjennom. Når partiklene når havet vil de store, tunge og grove partiklene avsettes først, de fine og lette partiklene vil føres lenger ut i havet. Enda finere partikler, som små leire partikler, føres enda lenger ut i havet fordi de synker sakte (jf. figur 13) (Murck og Skinner, 1999, s. 234). Elver er den største kilden til partikkelmasse og oppløst materiale som tilføres havet (Milliman og Meade, 1983). Disse partikler kan være enten leiremineraler, jern og mangan oksyhydroksider, karbonater, organisk materiale og biologisk materiale (Calmano, Hong og Förstner, 1993).



Figur 13: Når en elv treffer have vil først de store partiklene avsettes, deretter vil lettere partikler føres litt lengre ut og avsettes og helt fine partikler føres ennå lengre ut før de avsettes.

Transport av partikulært materiale er for det meste assosiert med perioder med høy vannføring. Det som er spesielt ved transport av sedimenter på våren er at den er høyere enn den er resten av året ved samme økning i vannføring. Den økte vannmassen vil ta med seg partikler fra skråninger og det skjer lettere under snøsmelting om våren, når skråningene er våte og vegetasjonen er mindre enn senere på året. Dette er en av de største kildene til partikler i sedimentene. Noe av den økte massen som transporteres ved økt vannføring kan tilskrives erosjon av gammel avleiring avsatt under lavere vannføring om høsten (Bogen, 1983).

Størrelsen på partikler som avsettes påvirkes også av vannføringen i elvene. Som oftest vil gjennomsnittlig størrelse på kornene øke svakt med økende vannføring. I norske elver vil kornstørrelsesfordelingskurver i stor grad reflektere sedimentkilder og erosjon. Studier viser at det er en forskjell mellom elver der mye av vannet kommer fra isbreer og der det i mindre grad kommer fra isbreer. Vann fra isbreer inneholder en større andel små partikler og ofte er mer enn 50 % av partiklene som transporteres til sediment av størrelsen 0,063-0,004 mm (Bogen, 1983).

Det å beregne partikkeltransporten kan være vanskelig i og med at partikkelmassen i ellevannet stadig endrer seg. Hvis transporten av partikler til sedimentet i Trondheimsfjorden hadde vært jevn hadde sedimenteringshastigheten vært på 0,65 mm per år. Dette utregnede

gjennomsnittet er imidlertid feilaktig på grunn av den varierende tilførselen av sedimenter til en fjord. I Trondheimsfjorden endrer sedimenteringshastigheten på grunn av hyppige leirskred og endret vannføring. Den normale sedimenteringshastigheten vil variere fra år til år og fra sted til sted (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 69). Det er antatt at sedimenteringshastigheten i Trondheimsfjorden i gjennomsnitt vil ligge på 1-2 mm/år med store variasjoner. Spesielt hvor store elver har utløp vil sedimenteringshastigheten kunne være høyere. Det er også antatt at mesteparten av sedimentene i Trondheimsfjorden er avsatt i flomperioder (Faye, 1992).

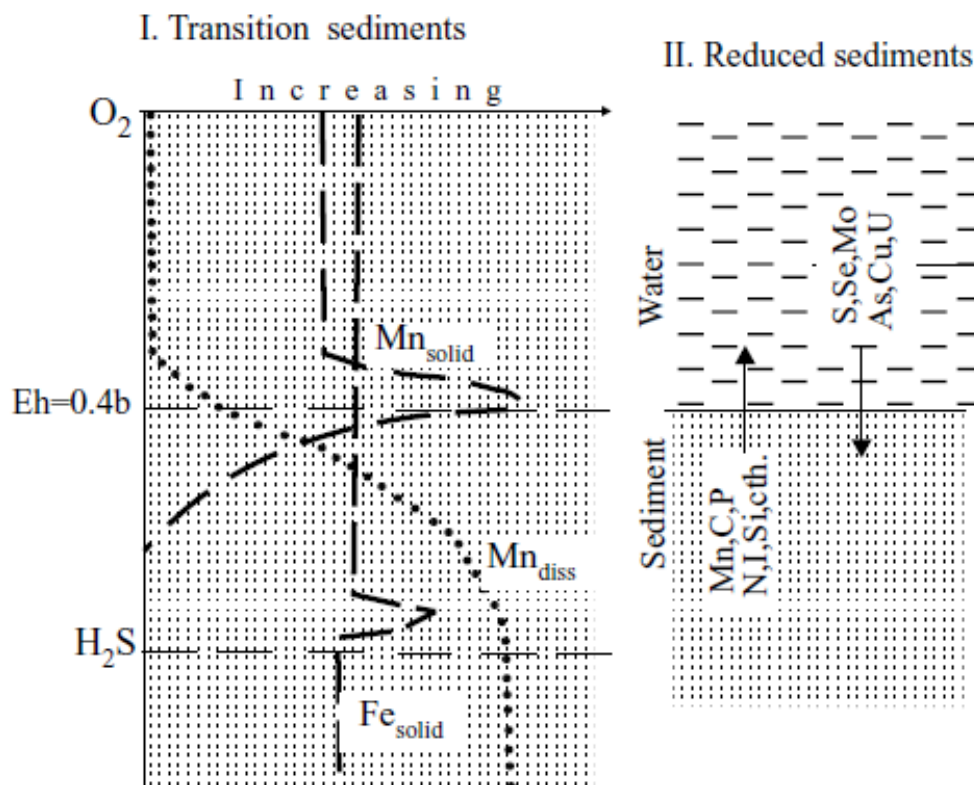
2.5.3 Marine sedimenter og redokskjemi

Elvene fører med seg partikler fra der de starter og ned til kysten. Her kan de bli fanget av elvemunninger og deltaer, og deltaene kan bli store og strekke seg langt dersom elvene fører med seg store mengder partikler (Murck og Skinner, 1999, s. 234). I en studie gjort av Syvitksi og Murray (1981, s. 227-231) fra Howe Sound i Canada, ble det funnet fem typer marinepartikler i suspendert marint sediment:

1. Sand og silt korn med mineralkorn: På alle store siltpartikler (for eksempel kvarts, hornblende og feltspat) vil det være festet mindre partikler, for det meste leire eller organisk materiale.
2. Leire fragmenter: Leire sammen klumper med en diameter mellom 10-35 μm formet nesten som perfekte sfærer.
3. Mineralbærende avføring pellets fra pelagisk dyreplankton: Disse inneholder 98% leire med kloritt og biotitt og mindre mengder av kvarts, feltspat og hornblende.
4. Flokkuleringer (storekorn og kolloider): Storekorn flokkuleringer består for det meste av leire og er flate, mens kolloidene er flate leireplater blandet sammen med kolloidmateriale.
5. Skjelett agglomerater: Ligner veldig på flokkuleringer av storekorn, men de inneholder over 30 % skjelett komponenter, fra for eksempel enkelt celle algers forkislete cellevegger.

Grunnstoff som kobber, sink, molybden, selen og arsen sammen med sulfider og organiske aggregater fjernes aktivt fra vann og avsettes i sediment. Sulfidene er beriket med kobber, sink, molybden, selen og arsen. I marint sediment finnes det en redoksbarriere (jf. figur 14). Den oppstår mellom den oksiderte delen av sedimentet og den reduserte delen av sedimentet. Redoksbarrieren måles i volt (V) og kalles Eh-potensialet. I marint sediment er den vanligvis mellom +0.7 og -0,35 V og miljøet er sterkt reduserende mellom -0,35 til 0 det

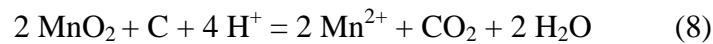
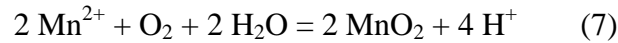
hydrogensulfid eksisterer i dette miljøet. Mellom 0 og +0,2 V er miljøet reduserende og sulfider eksisterer og mellom +0,2 og +0,4 V er miljøet svakt reduserende og redusering av Mn^{4+} skjer og sulfider eksisterer også her. Tykkelsen av barrieren kan være mellom millimeter og centimeter, men kan også være på meter. Den er avhengig av mengden organisk material, bio-produktiviteten til vannsjiktet, dybden av vannbassenget og hydrodynamikken. Mengden organisk materialet er den viktigste faktoren, jo mindre andel organisk materiale jo tykkere er barrieren under sediment overflaten (Emelyanov, 2005, s. 16-17 og 21-22)



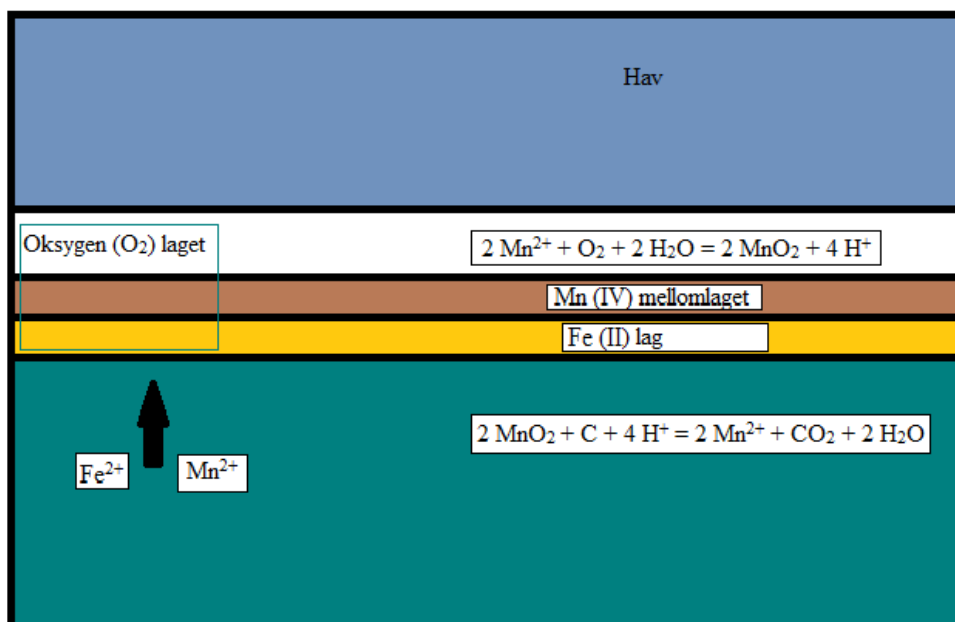
Figur 14: Redoksbarrieren i marine sedimenter og migrering i redyserte sedimenter (Emelyanov, 2005, s. 20).

Barrieren er en av faktorene som kontrollerer mineral formasjon, vanligvis gjennom endring av grunnstoffers valenstilstand. Det elektrokjemiske potensialet i barrieren bestemmer dannelsen av mineralene, som igjen er bestemt av de kjemiske egenskapene til grunnstoffene. Reaksjonene skjer for å bringe systemet tilbake i likevekt. I bunnsedimenter skjer de fleste reaksjonene i porevannet, som vanligvis befinner seg i likevekt med det marine sedimentet rundt (Emelyanov, 2005, s. 22).

Det oksiderte laget er det øverste laget i sedimentet og kalles oksygen (O₂) laget. I dette laget er det reaksjon 7 som dominerer for mangan, mens det i laget under er reaksjon 8 som dominerer (Emelyanov, 2005, s. 412 og 414).



Toverdig mangan (Mn²⁺) i det nederste laget vil migrere gjennom porevannet oppover mot redoksbarrieren etter at reaksjon nummer 7 skjer igjen. Forandringen i reduksjonspotensialet vil derfor være sterkes i det nedre laget av oksygen (O₂) laget. Dette laget er beriket med forbindelser av fireverdig mangan (Mn⁴⁺) og kalles mangan(IV)laget (jf. figur 15). Man kan bruke dette laget for å fastslå dybden av det oksynggjennomtrengende laget av sediment. Hvis sedimenteringen fortsetter i lang tid under de samme forholdene vil mangan(IV)laget bli flere titalls cm langt (i åpent hav kan det bli flere meter langt). Hvis forholdene og sedimenteringshastigheten endres eller varierer vil det dannes mikrolag av mangan(IV)lag som kan være millimeter eller centimeter lange (Emelyanov, 2005, s. 412).



Figur 15: Ulike lag i marint sediment.

Toverdig jern (Fe²⁺) migrerer også oppover mot redoksbarrieren gjennom porevannet, og barrieren er dominert av reaksjon 9. Reaksjonen viser hvordan jernoksid (FeOOH) felles ut fra havvann. Det dannes også et jern(III)lag (vises ikke på figur 15) fordi mobiliteten til jern

er lavere enn for mangan og dette fører til at jern feller ut raskere enn mangan (Emelyanov, 2005, s. 412 og 416).

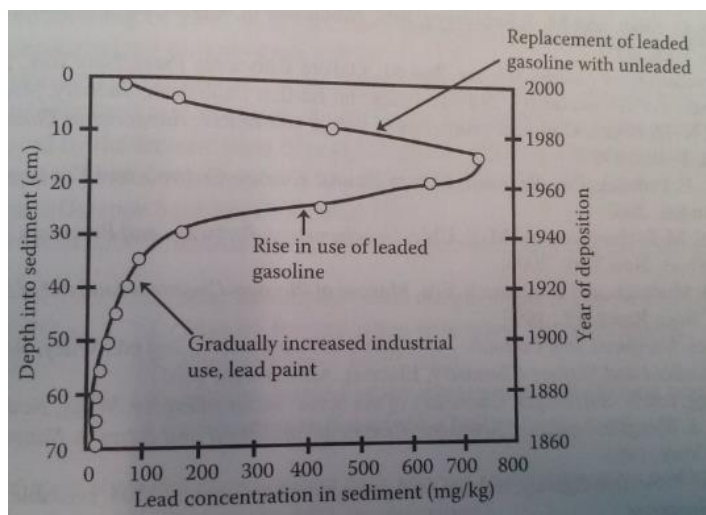


Redoksbarrieren består av tre lag; det nederste er et redusert lag med en grønngrå farge, deretter er det et oksidert gul/brunt lag (Fe^{2+} forbindelser) og tilslutt kommer det sterkt oksiderte brune laget (Mn^{2+} forbindelser) (jf. figur 15). I havet er sedimentene på begge sidene av redoksbarrieren generelt like og av samme type, men de har noen egenskaper som gjør de ulike. Det mest slående er fargen, som over barrieren for det meste er brun-svartbrun og gul (oksidierende miljø) og under er den grågrønn (reduserende miljø) (Emelyanov, 2005, s. 416 og 420).

Tsunogai, Yonemaru og Kusakabe (1979) undersøkte sedimentkjerner fra dyphavet, og selv om overflatesediment fra åpent hav inneholder mer overgangsmetaller enn kystnære sedimenter er det vanlig at mangan migrerer i reduserende kystsedimenter. De konkluderer med at kobber, sink, nikkel, kobolt og bly migrerer sammen med mangan i sedimenter.

2.5.4 Dybdeprofiler

Sedimenter fungerer som reservoarer for mange ulike biologiske og kjemiske forbindelser som finnes i vann. Sedimenter blir lager for ulike forurensinger som tungmetaller og giftige organiske forbindelser (Manahan, 2010, s. 103). Deres evne til å isolere metaller gjør de perfekte til å sjekke kvaliteten på vann og registrere effekten av menneskelig aktivitet og antropogene utslipp (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 65). Figur 16 viser et eksempel på en dybdeprofil.



Figur 16: Eksempel på en typisk dybdeprofil for bly (Manahan, 2010, s. 123)

Tabell 4 viser noen utvalgte konsentrasjoner av metaller i ulike type sediment, kan en se at ulike sedimenter tar opp metaller ulikt. Dette gjør at man ut i fra metall reaktivitet kan si at de ulike sediment typene vil ha ulike egenskaper. Sediment kan fungere som både metall reservoar eller som en kilde til metaller (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 66).

Tabell 4: Total konsentrasjoner (mg/kg) av metaller i ulike sediment typer, se nærmere forklaring under (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 66).

Ulike typer sediment	1. Suspendert fast stoff fra elv		2. Elved sediment		3. Sediment fra elvemunning		4. Kyst sediment		5. Referanse linje
	A	B	A	B	A	B	A	B	
Grunnstoff									
Ni	131	298	51	230	72	174	35	51	35
Cr	-	-	191	401	111	110	74	48	60
Cu	110	611	70	270	74	251	38	84	56
Pb	141	295	140	960	131	523	94	274	22
Zn	318	975	263	1420	392	>1000	230	585	92

A er gjennomsnitt av et vist antall prøver.

B er en kontaminert prøve fra samme region.

1. Gjennomsnitt av 15 fast stoff suspendert fra Yamaska og St. Francois elve basseng, Canada
2. Gjennomsnitt av 29 overflate sediment fra Detroit River og vestlige Lake Erie, Canada.
3. Gjennomsnitt av 13 overflate sediment fra elvemunninger i Sør Wales, U.K.
4. Gjennomsnitt av 8 overflate sediment fra Severn Estuary, U.K.
5. Gjennomsnitt av sammensetningen av sediment fra områder med grunt vann.

Det å studere sediment kjerner har vist seg å være en svært effektiv måte å skille mellom de naturlige “bakgrunnsnivåene” og den menneskelige produserte akkumuleringen av metaller. Dype sedimentprøver fungerer som historiske arkiv som viser belastningen det marine systemet har blitt utsatt for. Når man skal ta sedimentprøver er det viktig å ha de mest ideelle forholdene slik at man får de forholdene nødvendige for opptak og permanent inkorporasjon av metaller og organiske forurensinger. Av de ulike typer sediment viser det seg at marine sedimenter og innsjøsedimenter vil ha de beste forholdene for dette: reduserende (anoksiske) og ikke turbulent miljø, en jevn og stabil avsetning og fin kornede partikler som er perfekte for fiksering av forurensing (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 66).

Marine sediment i fjorder er det perfekte sted å studere suspensjon og marine sedimenter. De har dype vannbasseng, bratte sider, karmen og er har en eller flere elver. Salinitetsfordelingen av vannet er vanligvis slik at et grunt overflatelag er fersk- eller brakkevann på grunn av elevene. Egenskapene fjorden har som gjør den ideell er blant annet (Syvitski og Murray, 1981):

1. Aktive fjorder med is felt eller isbreer på innlandet har en høyt uorganisk sedimenteringshastighet.
2. De bratte skrånende kystlinjene eliminerer kompliserte sedimentære miljøer fra strandlinjer.
3. Elven er ofte den eneste sediment kilden og havet bidrar lite som en kilde på grunn av grunne karmen.
4. Elvens strøm blir begrenset av det smale innløpet, og gir oss strømmen i to dimensjoner.
5. Avsetningen av sedimenter er som oftest bare fra suspensjon, med unntak av en og annen havbunnbevegelse.

For å tidsbestemme hendelser i dybdeprofiler (eller regne ut sedimenteringshastigheter) kan en bruke konsentrasjonstopper av metaller og knytte de opp mot kjente hendelser. Faye (1992) forslår å regne ut sedimenteringshastigheter ved å bruke Cs^{137} målinger for å se etter konsentrasjonstopper fra Tsjernobyl i 1986 og fra intense atombombesprenninger mellom 1959-63. Eller ved å måle den naturlige radioaktive isotopen Pb^{210} .

Dybdeprofiler har blitt brukt i flere studier over hele verden, eksempler på dette er blant annet Culiacan River Estuary nordvest i Mexico (Ruiz-Fernandes et al., 2003), San Francisco Bay i

California i USA (Hornberger et al., 1999), Rogoznica Lake i Kroatia (Mihelčić et al., 1996), Victoria Harbour i Hong Kong (Tanner et al., 2000), Halifax Harbour i Nova Scotia i Canada (Buckley, Smith og Winters, 1995), Lake Erie mellom Canada og USA (Niragu et al., 1978) og Lot River reservoar i Frankrike (Audry et al., 2004).

2.5.5 Normalisering med aluminium

Det å tolke metallkonsentrasjoner og data fra marine sedimenter er vanskelig fordi de påvirkes av mange faktorer: sediment mineralogi, kornstørrelse, innhold av organisk materiale og antropogene forhold. Et av de største problemene i forståelse av metallforurensing er å skille mellom naturlig og antropogene årsaker og kilder. Derfor har det blitt utviklet et redskap som tar høyde for naturlige variasjoner av metall konsentrasjoner og bestemmer om sedimentene er forurenset. Denne metoden bygger på prinsippet av det naturlige forholdet mellom metaller og aluminium. Valget av aluminium som referansegrunnstoff skyldes at det er nest vanligste metallet i berggrunn, det er svært ildfast og konsentrasjonene er generelt ikke påvirket av antropogene kilder (Schropp og Windom, 1988). Det vil si at normaliseringene med aluminium vil rette ut de naturlige svingningene (vannføring, andel organisk material, osv.) som påvirker metallkonsentrasjonen i sediment, og dermed skille ut endringer i metallkonsentrasjonen som stammer fra antropogene kilder.

Denne metoden ble utviklet i Florida og de brukte rene marine sediment fra steder uten kjente eller mistenkte antropogene kilder. De rene sedimentene ble analysert for en rekke metaller, som for eksempel arsen, kadmium og kobber. Disse dataene ble så brukt i en statistisk analyse der de brukte aluminium som referansegrunnstoff. De statistiske analysene krever at dataene har konstant varians og de må være normalfordelt. Dette ble sjekket og for å minimere sjansen for at prøver beriket med metaller ble tatt med ble metall-aluminium forhold kalkulert og testet for normalfordeling. Hvis testen indikerte avvik ble de høyeste verdiene fjernet og testen ble utført på nytt, og gjentatt helt til alle verdiene lå innenfor en normalfordeling (Schropp og Windom, 1988).

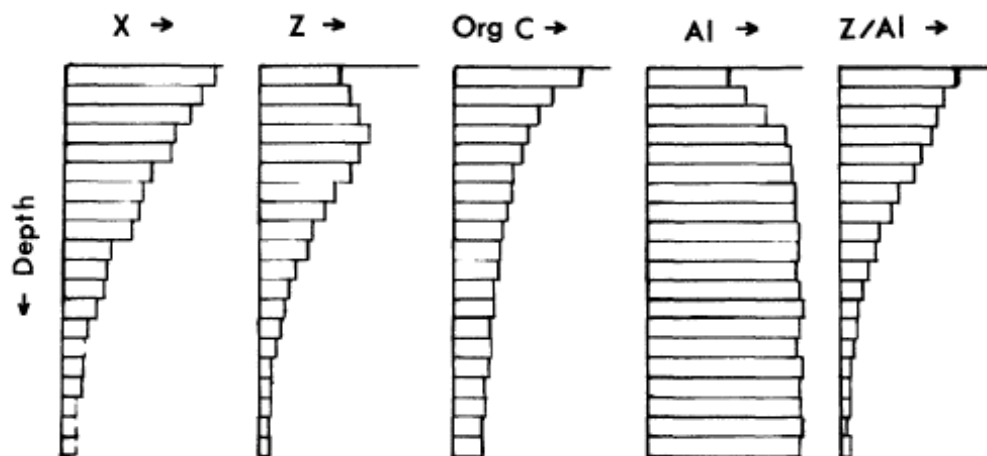
Det ble så laget modeller for hvert metall med regresjonslinjer og prediksjongrensere ut i fra de endelige datasettene. Punktene som representerer de korresponderende metal-aluminium verdiene ble så plottet inn i modellene for de ulike metallene. Hvor punktene ligger i forhold til regresjonslinjene og prediksjongrensene bestemmer om et prøvepunkt er naturlig eller

beriket med metaller. Uvanlige punkter bør sjekkes nøye for nøyaktighet side de kan være produkter av analytiske feil (Schropp og Windom, 1988).

Metal/aluminium forholdet har blitt brukt av Goldberg et al. (1979) til å evaluere forurensning i dybdeprofiler. De begrunner valget av å bruke metall/aluminium forholdet istedenfor absolutte konsentrasjoner slik:

"..., inasmuch as there may be various dilutants of the river-borne solid inorganic phases such as organic matter and tidally introduced minerals such as quartz... Aluminum was chosen as the metal to test the "dilution hypothesis". Its content in sediments would be trivially affected through the introduction of aluminum for the quartz, which contains only trace amounts of the light metal... The dilution of the river-borne materials with the quartz can explain the variations in the other metals, whose concentrations vary as does aluminium (Goldberg et al., 1979, s. 593)."

Figur 17 viser noen typiske dybdeprofiler til noen grunnstoffer. Hvis en ser på Z profilen ser man en synkende trend i antropogent forurensning. Hvis en derimot normaliserer konsentrasjonene av Z mot konsentrasjonene av Al (jf. Z/Al profilen i figur 17) ser en at denne nedgangen ikke er reell og at konsentrasjonen av Z fortsetter å øke. Normaliseringen med aluminium korrigerer for påvirkningen av en økende andel organisk karbon i overflate sedimentene og nå ser man en den sanne økende trenden (Farmer, 1991).



Figur 17: Typiske konsentrasjonsprofiler for tungmetaller (X) og organisk karbon i sedimenter fra marine sediment og ferskvann (Farmer, 1991, s. 77).

Det finnes noen begrensninger med denne metoden. For eksempel er kvikksølv et grunnstoff som representerer et spesielt problem. Det er mer flyktig enn andre metaller og de naturlige

konsentrasjonene av kvikksølv er nær analytiske deteksjonsgrenser. I tillegg viser kvikksølv et svak inverst forhold med aluminium slik at det utelukker aluminium som referansegrunnstoff (Schropp og Windom, 1988).

2.5.6 Pålitelige data og forstyrrelser

For å garantere pålitelige analyser av sedimentene og brukbare historiske tidsprofiler må sedimentene være uforstyrret, finkornede og tatt i områder med relativt rask sedimentering. I områder hvor sedimenteringshastigheten er for høy (flere cm/år) vil forurensningen bli fortynnet med grove partikler og med ukontaminerte marinepartikler. Områder med finkornet marine sediment og en rask sedimentering rundt 1 cm/år vil blanding av sedimentene være minimal, og generelt gi meningsfulle resultater. Sedimenter kan blandes av blant annet biologisk aktivitet eller fysiske forstyrrelser som bølger og strømninger (Valette-Silver, 1993).

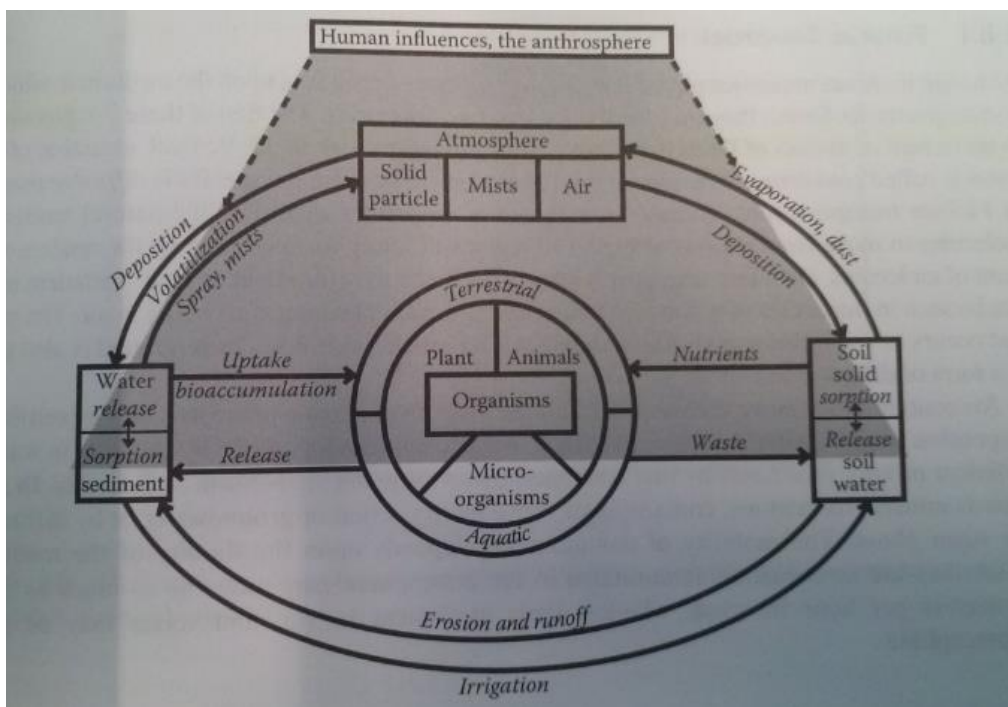
Skred er en faktor som kan påvirke sedimenteringshastigheten i fjorder. Et eksempel på dette er Verdalsraset et leirskred som gikk i 1893. Skredets areal var 2,6 km³ og 55 millioner kubikkmeter leire ble skyllet ut i havet. Dette skredet alene tilførte fjorden 60 års gjennomsnittlig sedimentering. I Trondheimsfjorden regnes det med at det går fire ras hvert århundre. Selv om de ikke er så store om Verdalsraset kan de utgjøre gjennomsnittlig rundt halvparten av sedimenteringstransporten til fjorden per århundre (Sakshaug og Sneli, 2000, s. 69).

Marine ras skjer overraskende ofte på havbunnen og de fleste rapporteres å skje i områder hvor sediment ikke ennå er gjort om til stein. Fenomener som ofte fører til marine ras er strømningsprosesser, flytende vrakgods og turbiditets strømmer (Hampton, Homa og Locat, 1996). Turbiditets strømmer er undervannstetthetsstrømmer av slipende sedimenter. De ser ut til å være kortlivede fenomener som forekommer på store dyp (Encyclopaedia Britannica, 2014). De fleste marine ras skjer langt ut til havs, men ras kan også skje inne ved kysten og kutte inn i over fjæra (Hampton, Homa og Locat, 1996). Marine ras er tilbakevendende fenomener i kyst og deltaavleiringer. De utløses enten av dynamiske eller statiske hendelser. Dynamisk kan de utløses av detonasjoner, jordskjelv eller bølger. Statiske hendelser som kan utløse ras er for eksempel tidevannsvariasjoner eller sedimentering. Disse rasene kan ofte skje uten forvarsel og det er vanskelig å avgjøre hvilke faktorer som førte til et ras (L'Heureux et al., 2007, s. 259).

2.6 Metaller og deres kilder

2.6.1 Metaller og deres transportruter

Metaller er naturlige komponenter i jorden og finnes i stein, jord, sedimenter og vann. Etter industrialiseringen skjedde det imidlertid store endringer. Mengden av kritiske kjemikalier har økt slik at de truer syklusene naturen har brukt millioner av år å utvikle (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 62-63). Naturlig redistribusjon av metallene skjer via geologiske og biologiske prosesser. Regnvann løser opp stein og malm og deponerer og skiller materialer fra nærliggende jord. Regnvannet transporterer partikler og metaller til elver, innsjøer, havet og grunnvann. Her felles de ut som sediment eller blir tatt opp med regnvannet som tar med seg partiklene andre steder. Biologiske systemer vil transportere metaller via biomagnifisering i planter og dyr, som resulterer i innlemmelse i næringscykluser. Menneskelig innblanding har ført til at oppholdstiden til metaller i malm er forkortet og dette har resultert i formasjon av unaturlige metallforbindelser. For eksempel blir kadmium for det meste distribuert gjennom menneskelig aktivitet (Klaassen, 2013, s. 983).

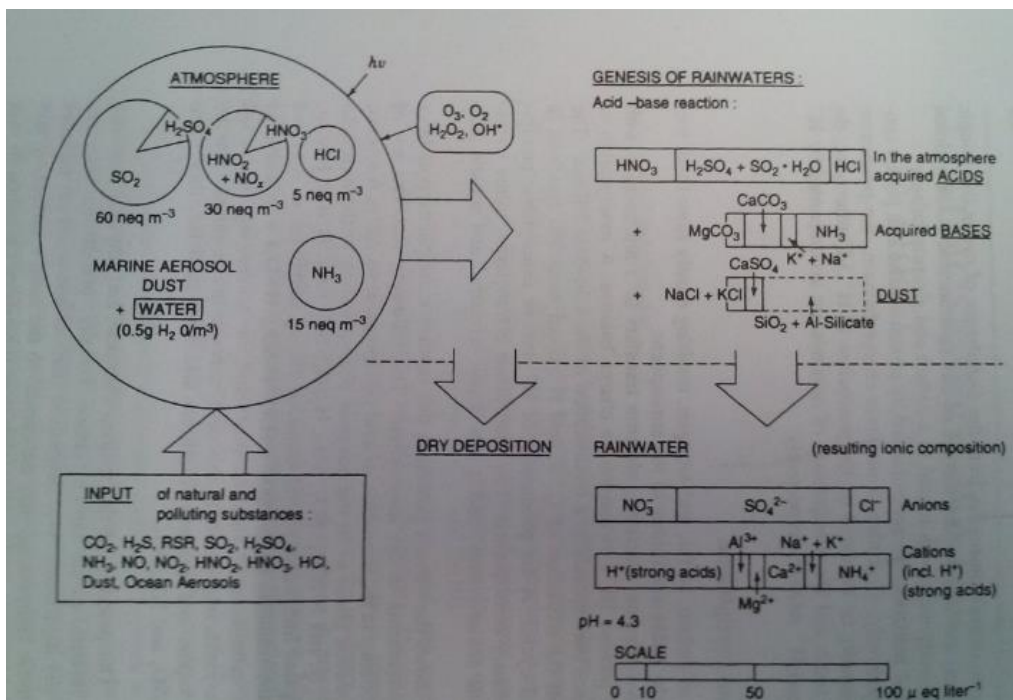


Figur 18: Utbyttepunkter og metoder mellom ulike deler av miljøet som viser lagring og transport ruter for ulike kjemikalier (Manahan, 2010, s. 13).

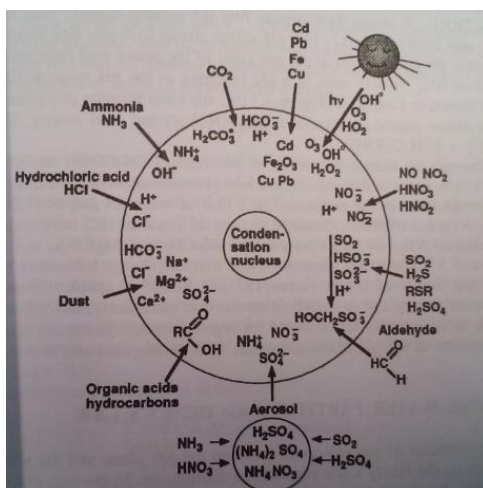
Metallene har to hovedruter for transport, enten via atmosfæren eller via vann og jord. De metallene som hovedsakelig transporteres via atmosfæren er atmofile, eksempler på slike metaller er kvikksølv, arsen, selen og bly. De som hovedsakelig transporteres via vann og

jord, for eksempel fra elv til hav, er litofile. Metallene aluminium, titan, mangan, kobolt, krom, vanadium og nikkel er eksempler på slike metaller (Stumm og Morgan, 1996, s. 614). Se figur 18 for en oversikt over de største rutene for transport og lagring av kjemikalier.

Et eksempel på hvordan sedimenter tilføres metaller er atmosfærisk utfelling, som skjer enten via tørravsetning eller våtavsetning (jf. figur 19). Våtavsetning er regnvann (jf. figur 20) og utskylling, og inkluderer fluksen av alle bestanddeler som legger seg på jordens overflate som snø og regn. Tørravsetning er avsetning av partikler og gass på en våt overflate når det ikke regner (Stumm og Morgan, 1996, s. 207).



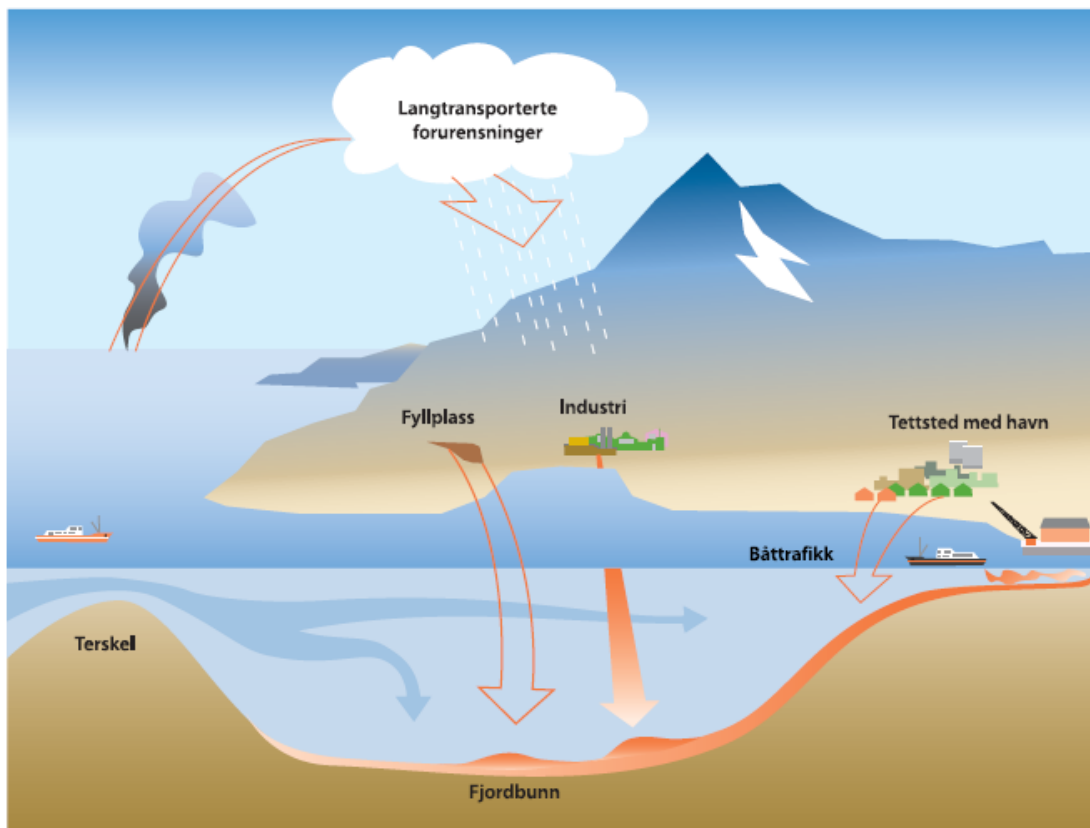
Figur 19: Skjema som viser ulike prosesser som involverer atmosfærisk forurensing og naturlige komponenter i atmosfæren. Dataene som vises er fra Zürich i Sveits og viser situasjonen der (Stumm og Morgan, 1996, s. 208).



← **Figur 20:** Ulike interaksjoner som bestemmer sammensetningen av en regndråpe (Stumm og Morgan, 1996, s. 211).

2.6.2 Globale kilder til metaller

Forurensning og økte konsentrasjoner av metaller i sedimenter kan komme fra mange ulike kilder, blant annet fra langtransport av forurensninger, fyllplasser, industri, havner, båttrafikk, byer og elver (jf. figur 21) (Regjeringen, 2002). Miljøgifter som havner i sedimentene vil for det meste være knyttet til små partikler som leire og silt og til organisk materiale (Miljødirektoratet, 2007b). Studier som er gjort i industrielle områder på en regional skala viser at avløpsvann og atmosfæriske kilder vil være like store kilder for forurensning av sedimenter (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 63). Det vil derfor være av interesse å se på kilder til ulike metaller fra både atmosfæren og vann.



Figur 21: Ulike kilder til forurensninger av sedimenter i en terskelfjord (Regjeringen, 2002).

Naturlige hendelser som vulkaner og skogbranner vil føre til utslipp av blant annet mangan, kobber og bly til atmosfæren. I tabell 5 kan man se de vanligste formene for naturlige utslipp til atmosfæren på et globalt nivå og hvilke metaller og hvor mye av de ulike metallene de ulike kildene avgir (Stumm og Morgan, 1996, s. 615).

Tabell 5: Globalt utslipp (10^3 tonn per år) av tungmetaller fra naturlige kilder til atmosfæren (Stumm og Morgan, 1996, s. 615).

Grunnstoff	Jordpartikler fra vind	Sprøyt fra hav	Vulkaner	Skogbranner	Biologiske kilder	Total
Sb	0,78	0,56	0,71	0,22	0,29	2,6
As	2,6	1,7	3,8	0,19	3,9	12
Cd	0,21	0,06	0,82	0,11	0,24	1,4
Cr	27	0,07	15	0,09	1,1	43
Co	4,1	0,07	0,96	0,31	0,66	6,1
Cu	8,0	3,6	9,4	3,8	3,3	28
Pb	3,9	1,4	3,3	1,9	1,7	12
Mn	221	0,86	42	23	30	317
Hg	0,005	0,02	1,0	0,02	1,4	2,5
Mo	1,3	0,22	0,4	0,57	0,54	3,0
Ni	11	1,3	14	2,3	0,73	29
Se	0,18	0,55	0,95	0,26	8,4	10
V	16	3,1	5,6	1,8	1,2	28
Zn	19	0,44	9,6	7,6	8,1	45

Antropogene utslipp kan komme fra for eksempel gruvedrift, avfallsforbrenning og transport.

Tabell 6 viser de vanligste formene for antropogene utslipp og hvor mye av de vanligste metallene som slippes ut globalt (Stumm og Morgan, 1996, s. 616).

Tabell 6: Globalt utslipp (10^3 tonn per år) av tungmetaller fra antropogene kilder til atmosfæren (Stumm og Morgan, 1996, s. 616).

Grunnstoff	Energi produksjon	Gruvedrift	Smelteverk og raffinering	Produk sjons prosesser	Komm ersiell bruk	Avfallsfor brenning	Trans port	Total
Sb	1,3	0,1	1,42			0,67		3,5
As	2,22	0,06	12,3	1,95	2,02	0,31		19
Cd	0,79		5,43	0,60		0,75		7,6
Cr	12,7			17,0		0,84		31
Cu	8,04	0,42	23,2	2,01		1,58		35
Pb	12,7	2,55	46,5	15,7	4,5	2,37	248	332
Mn	12,1	0,62	2,55	14,7		8,26		38
Hg	2,26		0,13			1,16		3,6
Ni	42	0,8	3,99	4,47		0,35		52
Se	3,85	0,16	2,18			0,11		6,3
Tl	1,13			4,01				5,1
Sn	3,27		1,06			0,81		5,1
V	84		0,06	0,74		1,15		86
Zn	16,8	0,46	72	33,4	3,25	5,9		132

I vannsystemer vil vi generelt finne mer enn 90 % av tungmetallene bundet til partikler som suspendert materiale eller sedimenter (Calmano, Hong og Förstner, 1993). I tabell 7 kan vi se noen typiske kilder til noen utvalgte grunnstoffer i naturlig vann. For eksempel vil typiske kilder for bly være industrielt avfall, gruvedrift og brensel (Manahan, 2010, s. 160).

Tabell 7: Viktige spormetaller i naturlige vann og deres kilder (Manahan, 2010, s. 160).

Grunnstoff	Kilde
As	Gruve bi-produkt, kjemisk avfall
Be	Kull, industrielt avfall
Cr	Metall belegg
Cu	Metall belegg, gruve drift, industrielt avfall
Fe	Industrielt avfall, rusting, surt gruvevann, mikrobial aktivitet
Pb	Industrielt avfall, gruve drift, brensel
Mn	Industrielt avfall, surt gruvevann, mikrobial aktivitet
Hg	Industrielt avfall, gruvedrift, kull
Mo	Industrielt avfall, naturlige kilder
Se	Naturlige kilder, kull
Zn	Industrielt avfall, metall belegg, rørsystem

Det er mulig å finne sammenhenger mellom metallakkumulasjon i sedimenter og lokale kilder. For eksempel vil smelteverk kunne føre til høye konsentrasjoner av kobber, bly og nikkel i sediment, mens galvanisering fra metall industri kan føre til høye konsentrasjoner av sink, krom og kadmium. Det er også forskjeller mellom ulike industri, noen kan bruke et vidt spekter av forskjellige metaller, mens andre bare bruker noen få typiske metaller (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 63).

2.6.3 Naturlige kilder

På fastlandet i Norge finnes det ingen vulkaner, men på Jan Mayen finner man Beerenberg som hadde utbrudd i 1970-71 og 1985. Denne vulkanen er Europas tredje største. Flere av de store utbruddene på Island har ført til askenedfall i Norge (jf. tabell 8) og det har blant annet vært funnet aske i bunnsedimenter i noen innsjøer fra et stort utbrudd for omtrent 12 000 år tilbake i tiden. Dette har blitt et viktig referanselag i kjerneprøver av sediment fra havet, innsjøer og jord i det nordlige Atlanterhavsområdet. Det har også vært brukt som referanselag i iskjerner fra grønlandsisen (Spjeldnæs og Bryhni, 2012).

Tabell 8: Store vulkanutbrudd på Island (Spjeldnæs og Bryhni, 2012). For forklaring av vulkansk eksplosivitetsindeks jf. vedlegg 1.

Vulkan	År	Vulkansk eksplosivitetsindeks
Hekla	1104	5
Hekla	1766	4
Grimsvötn	1783	4
Bardarbunga	Rundt 900	4
Bardarbunga	1477	Omtrent 5
Krafla	Rundt år 50	2
Öräfajökull	1362	5

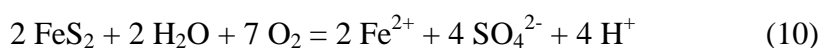
Ved vulkanutbrudd blir finkornet pyroklastisk materiale slynget ut og hvis materialet har kornstørrelse på mindre enn 2 mm kalles den vulkansk akse. Denne asken består av glassfragmenter og krystaller samt bergartsfragmenter fra erupsjonskanalens vegger (Delphin, 2010). Av gassene som slippes ut av vulkaner er 90 % vanndamp, resten er flyktige forbindelser som karbondioksid, svoveldioksid, hydrogensulfid, hydrogenklorid, nitrogen og fluorgasser. Etter et utbrudd avsettes det en del mineraler. Disse dannes av fumarolgassene som inneholder vanndamp og metaller (for eksempel jern, bly og kobber) som er bundet til fluor, klor eller svovel (Spjeldnæs og Bryhni, 2012). Vulkaner er kilder til spormetaller som antimon, arsen, kadmium, krom, kobolt, kobber, bly, mangan, kvikksølv, molybden, nikkel, selen, vanadium og sink (jf. tabell 5) til atmosfæren. De tre mest forurensende spormetallene er molybden med et glob utslipp på 42×10^3 tonn per år, krom med et globalt utslipp på 15×10^3 tonn per år og nikkel med et globalt utslipp på 14×10^3 tonn per år (Stumm og Morgan, 1996, s. 615).

En annen naturlig kilde til metaller er skog- og utmarksbranner som skjer over hele verden og i alle klimasoner (Skogbrand Forsikringselskap, 2013). Mellom 1913 og 2000 brant det gjennomsnittlig 1100 ganger per år i Norge. Skogbrannene har stort sett vært små. Hvor 2 % av dem har rammet et område over 100 dekar og over 80 % områder mindre enn 5 dekar. I den norske historien er det to perioder, rett før krigen og i 1970 årene, at størrelsen på brent skogareal har vært stort. Før krigen var Rendalsbrannen i 1920 den største brannen og etter dette har det vært registrert store branner i 1959, 1972, 1974, 1976 og 1992 (Regjeringen, 2008). Skogbranner kan slippe ut grunnstoffer som kobber, bly mangan, nikkel, sink og vanadium (jf. tabell 5). De tre mest forurensende spormetallene fra skogbrann er mangan med et årlig utslipp på 23×10^3 tonn, sink med et årlig utslipp på $7,6 \times 10^3$ tonn og kobber med et årlig utslipp på $3,8 \times 10^3$ tonn (Stumm og Morgan, 1996, s. 615).

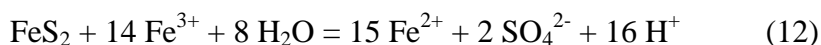
2.6.4 Antropogene kilder

Gruver brukes til å finne mineraler i jordens overflate. Råstoffet som hentes ut kan være uorganiske forbindelser som fosfat, malm og mineraler, leire som brukes til murstein og strukturelle materialer som sand og grus (Manaham, 2012 s. 493). Et eksempel på et mineral er svovelkis som tilhører mineralgruppen sulfider. I Norge er svovelkis den mest utbredte sulfidmineralforekomsten, og den største forekomsten ligger i Joma-feltet i Nord-Trøndelag. Den kjemiske formelen for mineralet er FeS_2 , og rent består det av 47 % jern og 53 % svovel. Dette er et mineral som på grunn av sin metalliske glans ofte blir tatt for å være gull. I Norge finnes sjelden svovelkis i ren form, men sammen med kobberkis (CuFeS_2), sinkblende (ZnS), noe blyglans (PbS) og/eller andre metaller og metallforbindelser. Den største kobberkisforekomsten i Norge finner man i Meldalen i Sør-Trøndelag. Fra kismalm kan man fremstille kobber, sink, bly og sølv (Bergverkshistorie, udatert).

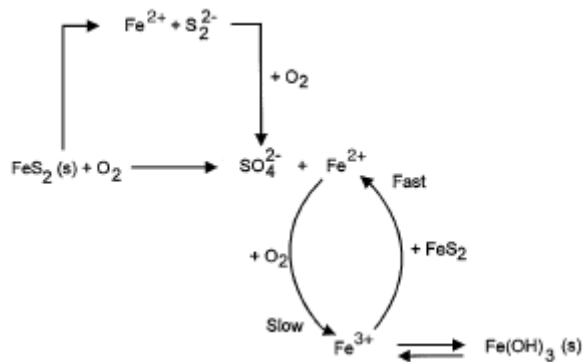
Konsekvensen av gruvedrift kan være vannforurensing og en av de vanligste problemer er dannelse av surt gruvevann. Dette skjer når mikroorganismer og pyrite (FeS_2) kommer i kontakt med atmosfæren (Manaham, 2012 s. 493). Når sulfider (MS_2) oksiderer, som under forvitring, produseres det protoner. Pyrite vil for eksempel gå gjennom flere komplekse reaksjoner under oksidering (jf. figur 22). Disse stegene kan vises som to enkle steg. Først når pyrite, vann og oksygen reagerer vil det dannes toverdigg jern, sulfat og syre (jf. reaksjon 10). Videre vil delvis oksidering føre til at toverdigg jern omdannes til treverdigg jern og protoner vil frigjøres (jf. reaksjon 11) (Banks et al., 1997).



Treverdigg jern kan virke som en elektronakseptor enten ved å fortsette å oksidere pyrite (jf. reaksjon 12) eller ved hydrolyse (jf. reaksjon 13), og begge prosesser vil frigjøre protoner. Den totale syre reaksjonen vises i reaksjon 14 (Banks et al., 1997):



Oksidering av aktiv pyrite vil skje i en umettet sone og hvis pumpene i gruvene (skal holde vannivået stabilt) ikke fungerer vil vannet som lekkes ut vært surt og inneholde tungmetaller (Banks et al., 1997).



Figur 22: Denne figuren illustrerer pyriteoksidering (Banks et al., 1997, s. 158).

En annen type antropogen kilde til metaller er jordbruket. Jordbruket er den industrien som påvirker miljøet mest gjennom flytting av planter fra deres naturlige område, ødeleggelse av dyreliv, erosjon, forurensing med plantevernmidler og andre miljøaspekter av jordbruket. Avlingene er avhengige av flere faktorer, for eksempel vær og vanntilgang, kjemisk gjødsling og bruk av plantevernmidler som ugressmiddel, insektmidler og soppmidler. Plantevernmidler er ansvarlig for at vi kan opprettholde den høye produksjonen vi trenger for å kunne opprettholde det antall mennesker vi har på jorden i dag, men er også ansvarlig for noen av de store miljøproblemene vi har med dagens jordbrukbruk (Manahan, 2010, s. 419-421). I Norge var driftsformen stort sett uendret fra vikingtiden til 1800-tallet. Den første store endringen kom på slutten av 1700-tallet i form av innføring av nye vekster, bedre kornsorter og forskjellige nye redskap. I 1890-årene begynte man å importere kraftfor og rundt 1915 begynte man å bruke kunstgjødsler (Syverud og Bratberg, 2013).

Når det kommer til gjødsling er det nitrogen, fosfor og kalium som oftest tilsettes gjødslingen, men også magnesium, sulfat og andre mikronæringsstoffer kan tilsettes. Et av de største problemene med høyt forbruk av gjødsling er at avrenning med høye verdier av nitrogen, fosfor og kalium havner i elver og vann. Eutrofi er en konsekvens av dette (Manahan, 2010, s. 434-435). Ett eksempel på en type gjødsling er fosfatgjødsler. Fosfatgjødsler kan være forurenset av flere ulike metaller, for eksempel kadmium, vanadium og arsen (Alloway, 2013, s. 33).

Byområder blir forurenset av mange ulike kilder som for eksempel trafikk, industri, avfallsforbrenning, fyllinger, krematorier og forbrenning av kull, olje og tre. Punktkilder for utslipp kan føre til ekstremt høye verdier av forurensinger i jord av industriområder og fyllinger (Ottesen og Langedal, 2001). Kloakk i byer og industriområder kan føre til store problemer for miljøet, for eksempel kan dumping av kloakk i havet føre til formasjon av lag med kloakkrester på havbunnen. Kloakk består vanligvis av olje, fett, vaskemidler, fosfater, salter, tungmetaller, komplekserende agenter og fastestoffer (Manahan, 2010, s. 170-171).

En tredje type antropogen kilde til metaller er byområder og industri. Byenes tungmetall forurensing varierer, og er ofte mye mer forurenset enn jorden på landet og jordbruksjord. Studier av topplaget i overflatejord fra byer viser for eksempel at Berlin er forurenset med mye kadmium, kobber, kvikksølv, nikkel, bly, tinn, thallium og thorium, mens Minsk er forurenset med bly, kadmium og sink. Det er mange ulike meninger om hvilke tungmetaller og halvmetaller som er karakteristisk for forurensete byområder, men de fleste mener at byer er forurenset med bly, sink og kadmium. Mye av blyet kommer fra maling og forbrenning av bensin etter at man begynte å tilsette bly til bensinen rundt 1920 (og frem til blyfri bensin). I industriområder er det ofte en klar sammenheng mellom kilde og forurensing, men i byområder kan det være vanskeligere. Noen ganger er det ikke mulig å finne en eneste god forklaring for unormalt høye verdier av metaller (Alloway, 2013, s. 35-36, 39 og 400).

Aktivitet forbundet med krig er en fjerde antropogen kilde og er for eksempel slagmarker, bombede byer og områder med militær trening er områder som er kraftig forurenset. Forurensingen kommer fra ammunisjon, hylser, ueksploderte miner, skadede kjøretøy, drivstoff, og brennende bygninger. Bly, kobber, sink, nikkel, antimon, utarmert uran, kvikksølv, arsen og vismut er hovedmetallene som en finner etter krigsaktiviteter. Utarmert uran ble først brukt i 1991 under den første Golfkrigen, og ble brukt som antitank-ammunisjon. For eksempel har byområder i Berlin med skrap fra bombing under andre verdenskrig høye konsentrasjoner av bly, sink, kobber og kadmium. London viser de samme tendensene, men kadmiumkonsentrasjonene i Berlin er høyere (Alloway, 2013, s. 39 og 44).

2.7 Forurensningskriterier

Klassifiseringssystemet og verdiene for de ulike metallene er utarbeidet av KLIF (jf. tabell 9). Grunnlaget for klassifiseringen er basert på effekter i økende grad av skade på

organismesamfunn (jf. figur 23). Kriteriene er basert på miljøkvalitetsstandarder og risikovurdering av kjemikalier utarbeidet av EU. Konsentrasjonene i klassifiseringssystemet er beregnet for finkornede marint sediment av leire og silt og vil derfor ikke være brukbart i sedimenter med innslag av grus og sand (Miljødirektoratet, 2007b).

Tabell 9: Klassifisering av metaller i sedimenter (Miljødirektoratet, 2007b).

	I	II	III	IV	V
Metaller	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Arsen (mg As/kg)	<20	20-52	53-76	76-580	>580
Bly (mg Pb/kg)	<30	30-83	83-100	100-720	>720
Kadmium (mg Cd/kg)	<0,25	0,25-2,6	2,6-15	15-140	>140
Kobber (mg Cu/kg)	<35	35-51	51-55	55-220	>220
Krom (mg Cr/kg)	<70	70-560	560-5900	5900-59000	>59000
Kvikksølv (mg Hg/kg)	<0,15	0,15-0,63	0,63-0,86	0,86-1,6	>1,6
Nikkel (mg Ni/kg)	<30	30-46	46-120	120-840	>840
Sink (mg Zn/kg)	<150	150-360	360-590	590-4500	>4500

I	II	III	IV	V
Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende akutt-toksiske effekter

Figur 23: Klassifiseringssystemet for metaller og organiske miljøgifter (Miljødirektoratet, 2007b, s. 3)

3. Analytiske metoder og statistisk behandling

3.1 UltraCLAVE

UltraCLAVE er et dekomponeringssystem basert på mikrobølgeovntechnologi og er en metode hvor prøvebeholderen i prepareringsapparatet er lukket. Systemet er basert på høy trykk, og apparatets trykkammer fungerer både som en mikrobølgeovn og reaksjonsbeholder. Trykket kommer fra en inert gass under trykk, og de individuelle prøvebeholderne er ikke separate trykkamre (Milestone, 2008).

Fordelene med å bruke UltraCLAVE er at man kan dekomponere et høyt antall prøver samtidig. Man oppnår høy temperatur og høyt trykk. En annen fordel er at prøvene blir utsatt for like forhold. Systemet i UltraCLAVE er automatisert og dokumentene lages automatisk (Milestone, 2008). Andre fordeler med at metoden er automatisert er at den er rask og en sparer tid. Man unngår tap av prøve ved fordampning og man trenger mindre mengder reaksjonsmiddel. Dette er med på å redusere kontaminering fra reaksjonsmidlene. Metoden eliminerer også praktisk talt alle problemer med tap av flyktige bestanddeler (Skoog et al., 2004, s. 1045).

3.1.1 Feilkilder ved behandling av prøver og dekomponering

Før en kan bruke dekomponeringsapparatet er det ofte nødvendig å knuse eller male prøvene. Disse handlingene kan føre til at prøvesammensetningen endres og være en feilkilde. For eksempel kan varmen som oppstår under behandlingen føre til tap av flyktige bestanddeler. Behandlingen kan også føre til en større overflate av det fastestoffet og øke sjansen for at prøven kan reagere med atmosfæren. Vanninnholdet i prøven kan også endres. Hvis overflaten minker ved behandlingen vil vanninnholdet minke, mens hvis overflaten øker vil mer vann adsorberes. Andre mulige feilkilder er at forskjeller i prøvens hardhet kan føre til at mykere bestanddeler av prøven blir knust først og kan forsvinne som støv under behandlingen. Under selve dekomponeringen er det 4 store feilkilder (Skoog et al., 2004, s. 1034-1035 og 1042):

1. Ufullstendig oppløsning av prøven.
2. Tap av flyktige bestanddeler av analytt.

3. Kontaminering i reagentene som tilsetter prøven.
4. Kontaminering fra beholdere.

3.2 ICP-MS

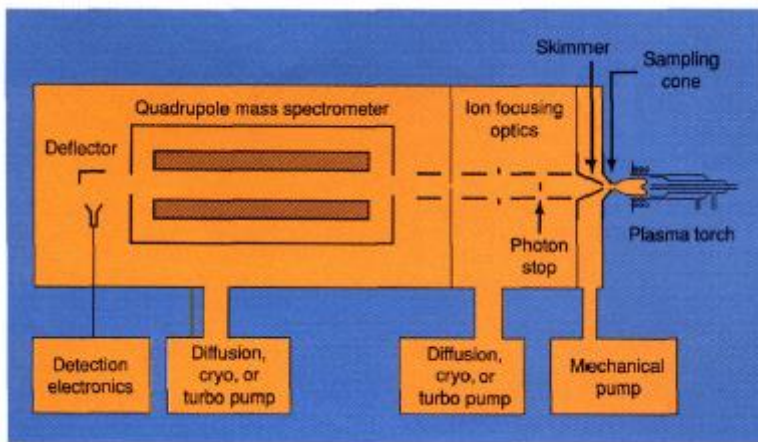
I massespektrometri er det ønskelig at prøvene gjøres om til gassfaseioner istedenfor gassfaseatomer. Ved å bruke plasma vil en stor del av prøven bli ionisert. Ionene av de ulike atommassene blir separert av et apparat kalt masseanalysator. Separasjonen er basert på masse-ladnings forholdet til ionene. Atommassene er vanligvis uttrykt ved atommasse enheter (amu) eller daltons (Da). Massespektret er et plot av antall ioner produsert mot masse-ladnings forholdet eller for enkelt ladede ioner mot massen (Skoog et al., 2004, s. 842).

3.2.1 Induktivt koplet plasma-massespektrometri

Atomisering med plasma ble tilgjengelig på midten av 1970-tallet og har vært brukt i atomemisjon, atomfluorescens og i atommassespektrometri. Plasma er en varm, delvis ionisert miks av gasser som inneholder en høy konsentrasjon av kationer og elektroner (Skoog et al., 2004, s. 845). Induktivt koplet plasma-massespektrometri (ICP-MS) bruker en masseanalysator for å separere positive ioner og ionene oppstår i et induktivt koplet argonplasma (Moens og Dams, 1995). I argonplasma er argonioner og elektroner de dominerende specier. Argonioner kan absorbere høy energi og en kan derfor opprettholde en så høy temperatur at ioniseringen kan opprettholde plasmaet i lang tid (Skoog et al., 2004, s. 845).

Tre ulike energikilder har blitt anvendt i MS, men radio-frekvens eller induktivt koplet plasma (ICP) er den kilden som gir flest fordeler. Den gir blant annet bedre sensitivitet og lavere støy (mindre forstyrrelser). ICP-kilden består av tre konsentriske kvartsrør som fører strømmer av argon. På toppen av disse rørene er en vannkjølt induksjon spole som drives av en radio-frekvens generator. Ioniseringen av det strømmende argonet skjer ved gnister fra en Tesla spole og ionene og deres elektroner kommer i kontakt med et fluktuerende magnetfelt som produseres av induksjonsspolen. Dette får ionene og elektronene inne i spolen til å strømme i ringformede baner (Skoog et al., 2004, s. 845). Ofte er det en kvadrupole som brukes som massefilter, og ioner med en forskjell i masse på minst 0,5 amu separeres. Ioner med en viss masse blir sluppet inn i detektoren og i ICP-MS er det vanligvis en elektronmultiplikator (Moens og Dams, 1995).

ICP-MS krever bruk av standarder og under analyser av løsninger brukes standardløsninger. Det finnes tre standardiseringsmetoder: ekstern kalibrering, standard addisjon og isotop fortykning. I tillegg brukes blankprøver for å danne en spektralbakgrunn og brukes til å korrigere for noen spektrale interferenser. Det er vanlig at man tar flere målinger av samme prøve, og vanligvis minst fem replikate målinger. En intern standard tilsettes alle løsninger (ikke i isotop fortykning) for å korrigere for instrumental drift og for å forhindre signalundertrykkelse eller signalforsterkelse på grunn av matriks (Moens og Dams, 1995).



Figur 24: Et ICP-MS apparat (Olesik, 1991, s. 13).

3.2.2 Fordeler

I ICP vil man oppnå så høye temperaturer at løsemiddelet fjernes og fordampingen vil være så å si komplett. Dette fører til at atomiseringseffektiviteten er svært høy. Det er også få eller ingen forstyrrelser fra ioniseringen på grunn av den store konstante konsentrasjonen av elektroner fra argonioniseringen. Fordeler med utgangspunkt i sammenligning av flamme og plasma kilder er at atomiseringen skjer i et inert miljø og temperaturen er relativt stabil. En plasmakilde har også en kort optisk veilengde slik at selv-adsorpsjonen er minimal og kalibreringskurvene er lineære over flere størrelsesordener av konsentrasjoner. ICP-MS er også den metoden som har høyest sensitivitet og lavest mengde forstyrrelser (Skoog et al., 2004, s. 845 og 848). En annen fordel med ICP-MS er at metoden er velegnet for utføring av direkte analyser av løsninger (Moens og Dams, 1995).

3.2.3 Ulemper og feilkilder

En av ulempene med ICP er at den er lite tolerant ovenfor organiske løsemidler. Inne i maskinen vil det samles opp karbon i kvartsrøret og dette vil føre til tilstopping og krysskontaminering (Skoog et al., 2004, s. 848). En annen ulempe med ICP-MS er at faststoffanalyse kan være problematisk med tanke på standardisering og en nøyaktig og presis analyse er bare mulig etter en grundig optimering av hvert enkelt prøvemateriale (Moens og Dams, 1995.). En annen ulempe er drift som oppstår når responsen til instrumentet endrer seg over tid som følge av omgivelsenes temperatur eller luftfuktighet. Drift kan begrenses ved å plassere ICP-MS instrumentet i et rom med temperatur og luftfuktighet regulering (Cheatham, Sangrey og White, 1993).

Det kan også oppstå spektrale forstyrrelser i ICP-MS. For å skille mellom isotoper av samme grunnstoff er det tilstrekkelig med en oppløsning av 1 amu, men det er ikke mulig å skille mellom isobariske nuklider. For eksempel er det ikke mulig å skille mellom ^{40}Ca med masse 39,9625906 og ^{40}Ar med masse 39,9623837. Alle grunnstoffer bortsett fra indium har en isotop som ikke fører til isobariske forstyrrelser og dette vil føre til at følsomheten for indium er redusert. En annen, mer vanlig, spektral forstyrrelse er polyatomisk speciering. Selv med den høye temperaturen en oppnår i plasma vil noen polyatomisk speciering ikke bli fullstendig oppløst, mens andre igjen kan dannes. Disse polyatomisk speciene blir satt sammen av atomer fra argonplasmaet, løsningsmiddelet og hovedbestanddelene av prøven. Dette er en viktig begrensende faktor i ICP-MS (Moens og Dams, 1995). For eksempel kan argonplasmaet føre til disse polyatomiske speciene som vil føre til forstyrrelser (May og Wiedmeyer, 1998):

1. $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$, $^{36}\text{Ar}^{38}\text{Ar}^1\text{H}^+$, $^{38}\text{Ar}^{37}\text{Cl}^+$, $^{36}\text{Ar}^{39}\text{K}$ eller $^{23}\text{Na}^{12}\text{C}^{40}\text{Ar}$ kan registreres som ^{75}As .
2. $^{27}\text{Ar}^{16}\text{O}^+$ kan registreres som ^{43}Ca .
3. $^{40}\text{Ar}_2^{16}\text{O}_2$ kan registreres som ^{112}Cd .

Andre forstyrrelser i ICP-MS er ikke-spektrale forstyrrelser eller matrikseffekter, som fører til signalforsterkning eller signalreduksjon. For at det ikke skal oppstå matrikseffekter i prøven må en fortynne den ned til 0,1 % oppløst materiale noe som påvirker sensitiviteten til metoden. Irreversible matriks effekter oppstår når konsentrerte løsninger introduseres inn i plasmaet og det fører til en blokkering av prøvetakingskjeglen eller avsetning av sot.

Flytinjeksjon kan brukes for å minimere eller unngå disse problemene. Bruk av standarder vil kunne korrigere for slike forstyrrelser (Moens og Dams, 1995).

Tabell 10 viser en oversikt over fordeler og ulemper ved ICP-MS analyser.

Tabell 10: En oversikt av fordeler og ulemper med ICP-MS (Olesik, 1991, s. 13).

Fordeler	Ulemper
Rask, samtidig, multianalyse.	Spektrale forstyrrelser.
Lave deteksjonsgrenser (ppb, men mindre for noen grunnstoffer).	Matriks effekter fra specier som finnes i apparatet samtidig som prøven.
Relativt små matriks effekter	Matriks effekter fra løsemiddel.
Brede lineære dynamiske rekkevidder (opp til 5 eller 6 størrelsesordener).	Vanskelig å analysere fastestoffer uten å løse de opp først.
Høy presisjon (0,5 – 5 %).	Ineffektiv prøve innføring.
Kan brukes i analyser av gasser, væsker og faststoff.	Deteksjonsgrensene er for høye for noen bruksområder.
	Flyt og utilstrekkelig presisjon for enkelte bruksområder.

3.2.4 Deteksjonsgrense

Deteksjonsgrenser for grunnstoffer er den minste mengden av grunnstoffet som vil produsere et signal som er høyere enn bakgrunnsnivåene. Sensitiviteten til ICP-MS er god og deteksjonsgrensene er basert på mange målinger av bakgrunnsnivåene av blankprøvene. Sensitiviteten til ICP-MS følger atommassen, jo høyere atommasse jo høyere sensitivitet. Den er imidlertid lavere for grunnstoffer med høye første ioniseringspotensial som edelgasser, halogener, nitrogen, oksygen, hydrogen, karbon, fosfor, svovel, jod og kvikksølv. Det er ikke mulig å måle konsentrasjoner av helium, neon og fluor, fordi deres ioniseringspotensial er lavere enn for argon. Det er heller ikke mulig å måle oksygen, nitrogen og karbon fordi de metter løsningen fra luften. Andre stoffer, som kalsium og jern, kan gi forhøyede signaler fordi de får forhøyede deteksjonsgrenser fra spektrale forstyrrelser som oppstår av polyatomiske specier (Moens og Dams, 1995).

3.3 Statistisk analyse

Når en behandler analytiske verdier kan det være nødvendig å bruke noen statistiske verktøy, i dette tilfellet brukes gjennomsnitt, median, relativt standardavvik, korrelasjonsanalyse og korrelasjonskoeffisienten.

Gjennomsnittet er et numerisk gjennomsnitt av et datasett: x_1, x_2, \dots, x_n . Gjennomsnittet gis ved ligning 15 (Walpole et al., 2011, s. 11).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (15)$$

Medianen reflekterer det sanne senteret for et datasett hvor verdiene ikke påvirkes av ekstreme verdier. Gitt at verdiene x_1, x_2, \dots, x_n er arrangert i en stigende rekkefølge er medianen gitt ved ligning 16 (Walpole et al., 2011, s. 11).

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & \text{Dersom } n \text{ er oddetall} \\ \frac{1}{2}(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}) & \text{Dersom } n \text{ er partall} \end{cases} \quad (16)$$

For å kunne regne ut det relative standardavviket må standardavviket regnes ut, dette gjøres via variansen som en finner ved ligning 17 (Walpole et al., 2011, s. 15).

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (17)$$

Standardavviket, σ , er kvadratroten av variansen (Walpole et al., 2011, s.119-120).

Relativstandardavvik (RSD) for n antall målinger, σ standardavviket og \bar{x} gjennomsnittet vil være (Alloway, 2013, s. 99):

$$\text{RSD} = (\sigma/\bar{x}) * 100 \quad (18)$$

I en korrelasjonsanalyse prøver man å måle styrken mellom forholdet mellom to variabler ved en enkelt verdi kalt korrelasjonskoeffisienten (Walpole et al., 2011, s. 431). For å sjekke hvor godt estimert eksperimentelle punkter (satt inn i et korrelasjonsplott) passer med en lineær regresjonslinje ($y = bx + a$) kan vi kalkulere produkt-moment korrelasjonskoeffisienten, r . Denne kalles som oftest bare korrelasjonskoeffisienten fordi den er den mest brukte. Verdien til r er gitt ved ligning 19 (Miller og Miller, 1992, s. 104-105).

$$r = \frac{\sum\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{[\sum(x_i - \bar{x})^2][\sum(y_i - \bar{y})^2]}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Ligningen for r kan ha verdiene $-1 \leq r \leq +$, hvor -1 beskriver perfekt negativ korrelasjon, dvs. at punktene ligger på en perfekt linje med negativ stigningstall. Hvis r er +1 har vi perfekt positiv korrelasjon og punktene ligger da på en perfekt linje med positivt stigningstall. Når det ikke finnes noen korrelasjon mellom x og y er r lik 0 (Miller og Miller, 1992, s. 104-105).

Korrelasjonen r viser den lineære assosiasjonen mellom to variabler X og Y. I tolkningen av r mellom -1 og 1 må en være forsiktig, og det er lett å konkludere med at en r på 0,6 viser en dobbelt så god korrelasjon som hvis r er 0,3. Noe som er ukorrekt. Det er mulig å se på r^2 for denne verdien uttrykker andelen av den totale variansen for variabelen Y som kan forklares (eller gjøres rede for) med verdiene av den tilfeldige variabelen X. For eksempel vil en korrelasjon, r, på 0,9436 indikere et godt lineært forhold mellom X og Y. I og med at r^2 vil være 0,8902 kan vi si at 89 % av variasjonen i verdiene for Y kan forklares med et lineært forhold til X (Walpole et al., 2011, s. 432-434).

4. Metode

4.1 Prøvetaking utenfor Nidelva i Trondheimsfjorden

Utstyr:

Plastrør: 110 mmφ og 3 m kjernefanger plastrør (PVC)

Sag og annet verktøy

Røde lokk

Tungt blyhode, med ventiler

Metallrør: 110 mmφ og 3 m stålrør med stålspliss

Stopper

Pinne med plasthode (like bredt som diameteren til plastrøret)

Isopor dekket med gaffateip (like bredt som diameteren til plastrøret)

Kasser

Plastrør skåret til 1 cm, 2 cm og 5 cm.

Plastskjæreplate (plastkniv)

Prøveglass

Plastfolie

Framgangsmåte:

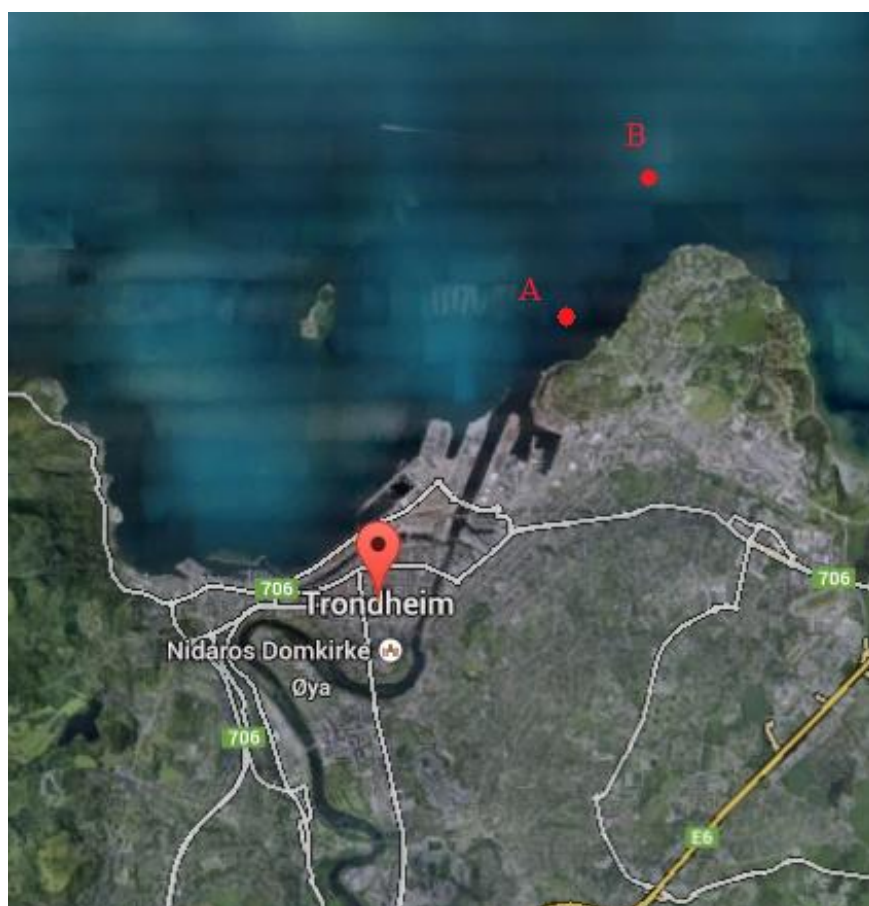
Begge prøvene ble tatt og behandlet på samme måte. Et stålrør (110 mmφ og 3 m) med stålspliss ble festet til blyhodet og ventilene ble justert. Deretter ble et kjernefanger plastrør (110 mmφ og 3 m) av PVC plassert i metallrøret og stopperen ble festet til metallrøret. Denne ble først senket ned i havet og deretter sluppet i frittfall til bunnen. Apparatet ble så heiset opp og lagt ned i båten. Stopperen ble fjernet og det ble satt på et rødt lokk. Plastrøret ble så trukket ut av metallrøret, saget av i passende intervaller (ca 50-60 cm) og lokk ble satt på alle ender. Disse avkappede rørene ble så merket med tall og pil.

De avkappede rørene ble, etter rekkefølge, lokket i bunnen ble tatt av og rørt ble satt på pinnen med isoporen i mellom prøven og plasthodet. To personer holdt dette stille. Deretter ble lokket i toppen fjernet og de ulike avskårede plastrørene (jf. tabell 11 for avskjæringsintervall) satt på toppen. Plastrøret ble så presset nedover til toppen av prøven var på høyde med det avskårede plastrøret. Plastkniven ble så brukt til å flate ut toppen av prøven

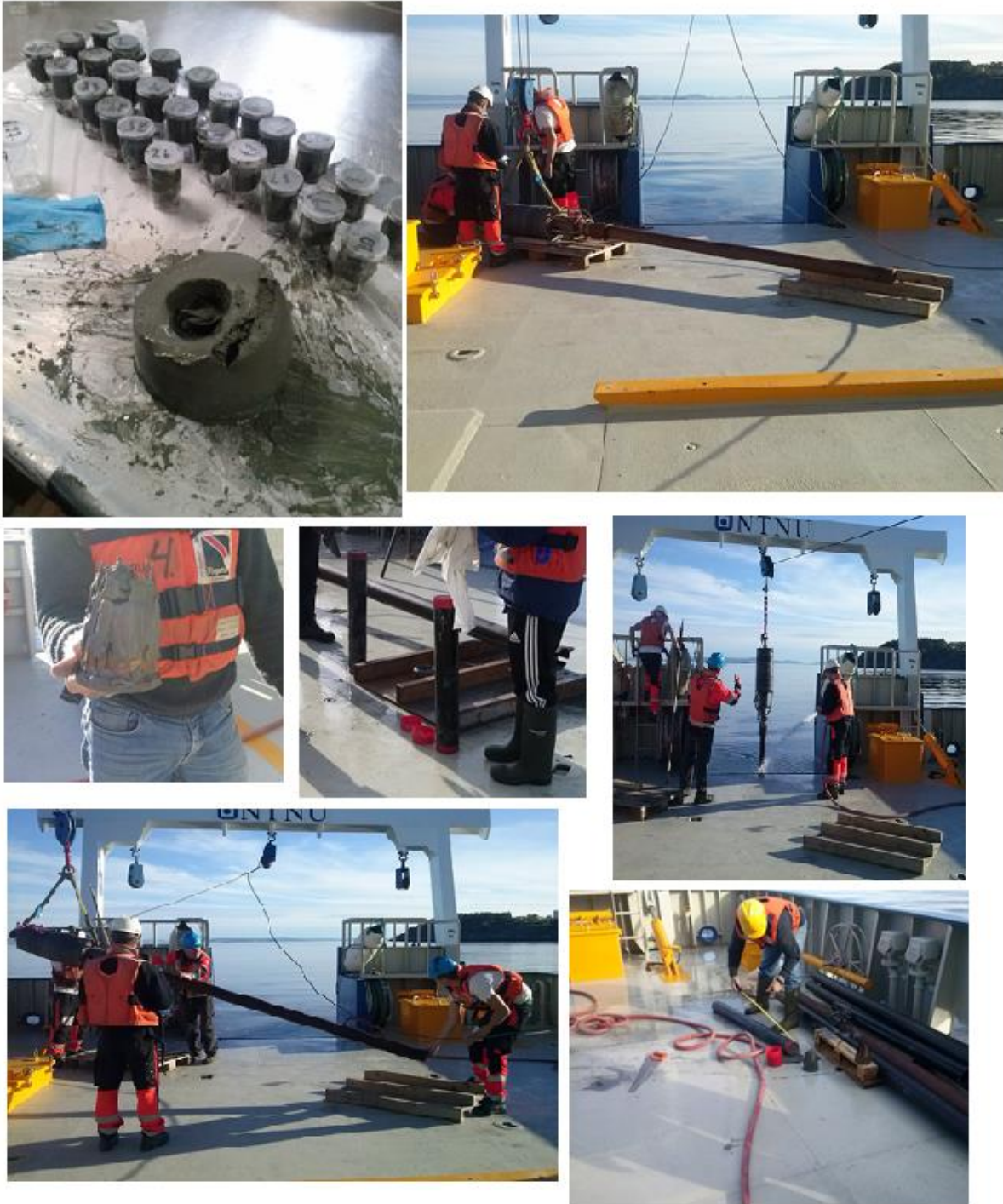
før den ble brukt til å skjære av prøven mellom plastrørene. Den avskårde delen ble så vendt og lagt på plastfolie. Prøven ble tatt midt i sedimentkjernen med hjelp av prøveglasset. Alle prøvene ble så fryst ned.

Tabell 11: Prøveinformasjon for sedimentkjernene tatt utenfor Nidelva.

	Nidelva 1 (A)	Nidelva 2 (B)
GPS	N63°27,069' E10°25,360'	N63°27,454' E10°25,720'
Dyp (m)	52	103
Omtrentlig distanse fra elvemunningen (km)	0,556 km	2,037 km
Avskjæringsintervall	20 * 1 cm (20 cm) 5 * 2 cm (10 cm) 15 * 5 cm (75 cm) 1 * 2 cm (2cm)	15 * 2 cm (30 cm) 19 * 5 cm (95 cm) 1 * 1 cm (1 cm) 10 * 5 cm (50 cm)
Total prøvelengde (cm)	107	176



Figur 25: Omtrentlige prøvepunkter etter GPS-kordinatene for sedimentkjernene i fjorden utenfor Nidelva. Punkt A er Nidelva 1 og B er Nidelva 2.



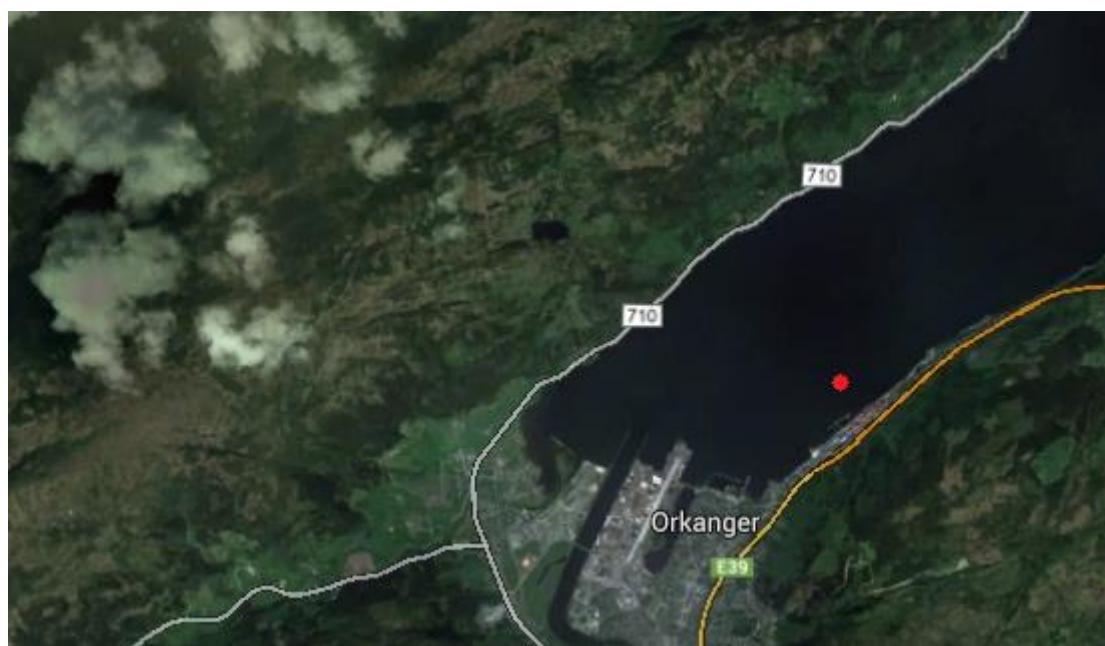
Figur 26: Bilder fra sedimentkjernetakning med F/F Gunnerus utenfor Nidelven.

4.2 Prøvetaking utenfor Orkla og Gaula i Trondheimsfjorden

For Orkla og Gaula ble prøvene tatt 8. mai 2013. Resultatene av sedimentprøve-analysen ble utdelt av Øyvind Mikkelsen. Samme framgangsmåte og utstyr ble brukt under prøvetakingen (jf. 4.1).

Tabell 12: Prøveinformasjon for sedimentprøven utenfor Orkla.

GPS	N63°19,170' E9°52,953'
Dyp (cm)	Ikke oppgitt
Avstand fra elvemunningen (km)	2,5
Avskjæringsintervall	10 * 2 cm (20 cm) 10 * 5 cm (50 cm) 6 * 10 cm (60 cm)
Total prøvelengde (cm)	130



Figur 27: Omtrentlige prøvepunkter etter GPS-koordinatene for sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Tabell 13: Prøveinformasjon for sedimentkjernen utenfor Gaula.

GPS	N63°19,933' E10°9,143'
Dyp (cm)	Ikke oppgitt
Avstand fra elvemunningen (km)	2
Avskjæringsintervall	10 * 2 cm (20 cm) 10 * 5 cm (50 cm) 5 * 10 cm (50 cm) 1 * 15 cm (15 cm) 1 * 10 cm (10 cm) 1 * 2 cm (2 cm)
Total prøvelengde (cm)	147



Figur 28: Omtrentlige prøvepunkter etter GPS-kordinatene for sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula

4.3 Dekomponering

Dekomponeringen ble utført for sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Nidelva. Dette er den samme metoden som ble brukt under dekomponeringen av sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Gaula og Orkla.

Utstyr:

Vekt

Milliliterpumpe

Prøverør

Plastflasker

Plastfolie

Destillert vann

HNO_3

H_2SO_4

H_2O_2

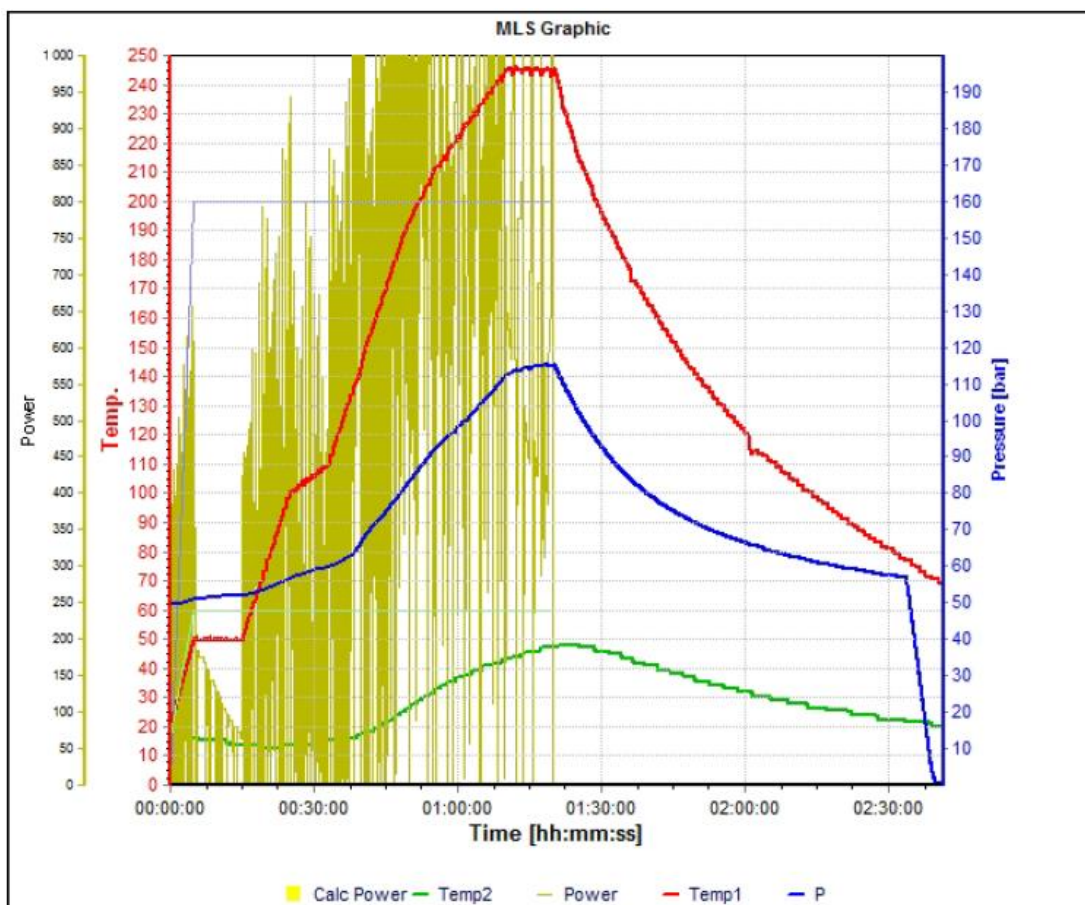
UltraCLAVE

ICP-MS

Destillert vann (med en resistan 18 M Ω)

Framgangsmåte:

Prøverørene, som var fylt med destillert vann og noen dråper HNO₃, ble skylt med destillert vann og ristet fri for væske. Alle prøvene ble så sortert og plastfolie ble plassert mellom prøveglasset og lokket. Prøven ble deretter knust ved risting og slag omtrentlig til pulverform. Prøverørene ble så fylt med pulverisert prøve (250-300 mg). Hver prøve ble så tilsatt HNO₃ (9 mL, 32,5 %) og deretter satt i UltraCLAVE prøveholderen med blankprøver (bare HNO₃) og referanseprøver. Prøveholderen ble så plassert i et stort beger som var fylt med destillert vann (300 mL), H₂SO₄ (2 mL) og H₂O₂ (30 mL). Alt dette ble så satt inn i UltraCLAVE maskinen til dekomponering, som ble satt til å kjøre et trykk- og temperaturprogram i ca. 2 timer.



Figur 29: En figur fra UltraCLAVE programmet som viser temperatur og trykk under dekomponeringen i UltraCLAVE.

Tabell 14: UltraCLAVE tidsintervallene som ble brukt til å oppnå ønsket temperatur og trykk (uten nedkjølingsperioden).

Step	Time [hh:mm:ss]	Temp 1 [°C]	Temp 2 [°C]	Press [bar]	Engery [Watt]
1	00:05:00	50	60	160	1 000
2	00:10:00	50	60	160	1 000
3	00:10:00	100	60	160	1 000
4	00:08:00	110	60	160	1 000
5	00:16:00	190	60	160	1 000
6	00:06:00	210	60	160	1 000
7	00:15:00	245	60	160	1 000
8	00:10:00	245	60	160	1 000

Etter dekomponeringen ble prøven helt i en plastflaske, og prøverøret ble skylt to ganger inn i plastflasken. Løsningen ble så fortynnet til 109,8 g (annen vekt ble notert ned til omregning). Deretter ble omtrent 15 mL av prøven fylt i et prøveglass og videresendt til ICP-MS analyse, ble utført av Syverin Lierhagen.

5. Resultater og diskusjon

Fokuset i denne masteroppgaven har vært fjorden utenfor de tre største elvene i Sør-Trøndelag. Basert på antagelser om mulige forurensning som gruvedrift, industri og jordbruk ble det valgt ut grunnstoffer som har blitt studert nærmere. Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium har blitt brukt til å skille mellom naturlige variasjoner i konsentrasjoner og antropogen tilførsel av grunnstoffer. Resultatene som vises i denne delen er fra ICP-MS analysene (jf. vedlegg 2, 3, 4 og 5) og er beregnet tilbake til fast materiale, og er korrigert for blankprøver. Konsentrasjonene er gitt i ppm ($\mu\text{g/g}$).

Dybdeprofilene ble laget ved å plote analyseresultatenes konsentrasjoner (ppm) på x-aksen mot dybden (cm) på y-aksen. Grafen er laget slik at dybden starter øverst på y-aksen ved null, slik at det er lettere å se dybden nedover.

Normaliseringene mot aluminium i denne masteroppgaven er ikke laget som normaliseringene mot aluminium, som Schropp og Windom (1988) laget, med prediksjongrensere og regresjonslinjer. Hvor konsentrasjonen så plottes inn og plasseringen bestemmer om det er en konsentrasjon som stammer fra en naturlig eller antropogen kilde. Prinsippet bak ble brukt til å lage "dybdeprofiler" hvor grunnstoffet/aluminium ble plottet mot dybde. Dette fører til at hvis forholdet mellom aluminium og grunnstoffet holder seg stabilt vil normaliseringene mot aluminium vise en relativt rett linje, mens hvis forholdet mellom det endrer seg vil det vises som positive eller negative utslag. For å få mer presentable og lesbare diagrammer ble verdiene fra forholdet mellom aluminium og grunnstoffet ganget med 10 000. Aluminium ble valgt som normaliseringsgrunnstoff fordi det ikke finnes noen industri i områdene som er sannsynlige aluminiumforurensningskilder og som en kan se fra tabell 2 inneholder mange av bergartene i områdene mye aluminium. Derfor vil aluminium være en god indikator for naturlige svingninger, og vise når økte konsentrasjoner av metaller kommer fra naturlige- eller antropogene kilder. Heretter vil normaliseringer med aluminium betegnes Al-normaliseringer.

Hvis aluminiumkonsentrasjonen ikke er stabil kan dette føre til positive og negative utslag i Al-normaliseringene som ikke stammer fra antropogene kilder. Dette kan skje i tilfeller der grunnstoffet som Al-normaliseres ikke følger endringen til aluminium proporsjonalt.

Endringer i tilførselen av partikulært materiale fra elven, atmosfærisk avsetning og partikler fra biologisk liv kan påvirke aluminiumkonsentrasjonen. For eksempel kan endringen i forholdet skyldes at fraksjonen fra berggrunnen (hvor aluminium for det meste kommer fra) blir mindre, mens de andre grunnstoffene kommer fra andre naturlige kilder som for eksempel jord partikler fra vind eller organiske partikler fra havet. Det er også mulig at pH-endringer i elven kan påvirke konsentrasjonen av aluminium. For eksempel ved at mer aluminium felles ut og avsettes i elven, enn av grunnstoffet som normaliseres mot aluminium. Disse endringene er for det meste naturlige, men vil kunne gi positive eller negative utslag i normaliseringen med aluminium. På grunn av små naturlige endringer i konsentrasjoner vil ikke fokuset være på små utslag. Fokuset vil være på markante utslag og trender i normaliseringene med aluminium. Hva som karakteriserer et markant utslag vil være basert på skjønn og i noen tilfeller vil mindre utslag diskuteres. Aluminiumkonsentrasjonen i fjordene utenfor disse elevene (jf. figur 30, 36 og 42) varierer en del og derfor vil utslag kontinuerlig sjekkes opp mot konsentrasjonene i dybdeprofilene.

På grunn av relativt store avskjæringsintervall, cm, og at en ut i fra Sakshaug og Sneli (2000) kan anta en sedimentering nede i mm/år vil alle sedimenteringshastighetene som finnes være grove antagelser. Det vil si at de antropogene eller naturlige påvirkninger vi kan finne er de som strekker seg over store tidsrom for eksempel krig eller industri. Det er derfor også svært lite sannsynlig å finne enkelt hendelser som er svært kortvarige for eksempel vulkanutbrudd. På grunn av den store usikkerheten rundt dette vil det for eksempel regnes med 10 cm hvis en har et utslag i 8-10 cm intervallet. Når hendelser skal identifiseres vil en datering forslås og ikke følge den først antatte sedimenteringshastigheten. Dette vil gi da gi oss mange ulike sedimenteringshastigheter opp gjennom kjerneprøven, noe som igjen vil gi et bedre bilde av virkeligheten i og med at det er flere faktorer som påvirker sedimenteringshastigheten.

I tilfeller hvor en skal se etter middelveien for konsentrasjonene av et grunnstoff vil ikke gjennomsnittet brukes, men medianen. Dette fordi medianverdien ikke påvirkes av ekstreme verdier. I tilfeller hvor det ønskes at de ekstreme verdiene skal være en del av datasettet vil gjennomsnittet brukes (for eksempel ved undersøkelse av forurensning). Analyse resultatene i denne masteroppgaven er hentet fra reelle systemer og derfor vil det antas at en r^2 på over 0,6 antyder god korrelasjon. Antagelsen er veiledende og en lavere korrelasjon kan tyde på en korrelasjon mellom grunnstoffene.

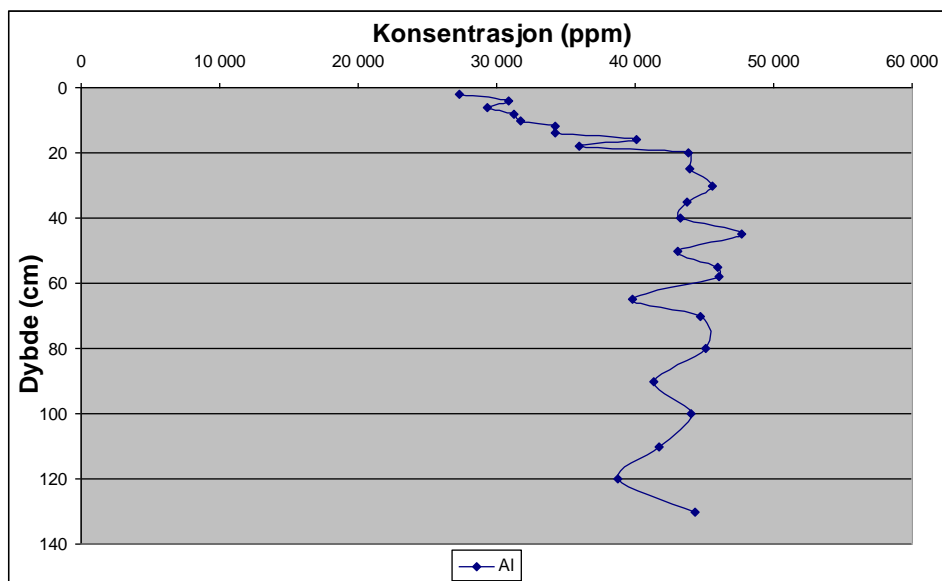
De tre neste delkapitlene for de ulike sedimentkjernene er bygget opp på denne måten:

1. Presentasjon av de mest interessante funnene fra dybdeprofilene og Al-normaliseringene.
2. Generell sedimenteringshastighet.
3. Funnene fra 1. diskuteres og nye sedimenteringshastigheter.
4. Forurensningssituasjonen.

5.1 Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla

5.1.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium

Dybdeprofilen til aluminium (jf. figur 30) fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla viser en markant nedgang i konsentrasjon fra 20 cm fra 43 844 ppm til 27 271 ppm ved 2 cm. Medianen for aluminium er på 42 402 ppm og under 20 cm svinger konsentrasjonen. De laveste konsentrasjonene under 20 cm finnes ved 65 cm og 120 cm og den høyeste konsentrasjonen er ved 45 cm.

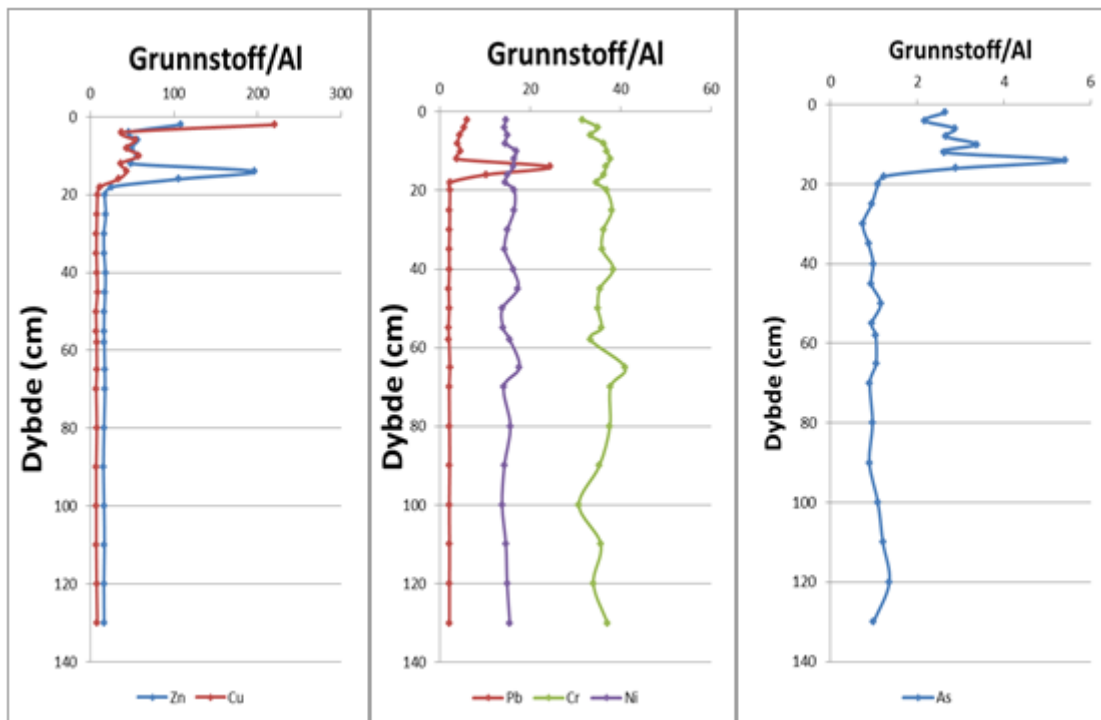


Figur 30: Dybdeprofilen til aluminium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

I Al-normaliseringene fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla (jf. figur 31 og figur 33) er det et klart positivt utslag for grunnstoffene sink, kobber, bly, arsen, kadmium, vismut, antimon, svovel og kvikksølv fra rundt 18 cm, og mange av dem har sitt høyeste positive utslag ved 14 cm. Etter dette går bly, kvikksølv, antimon, kadmium og vismut kraftig tilbake igjen til "normalen", for eksempel går bly/aluminium fra 2,25 opp til 24,4 og så ned igjen til

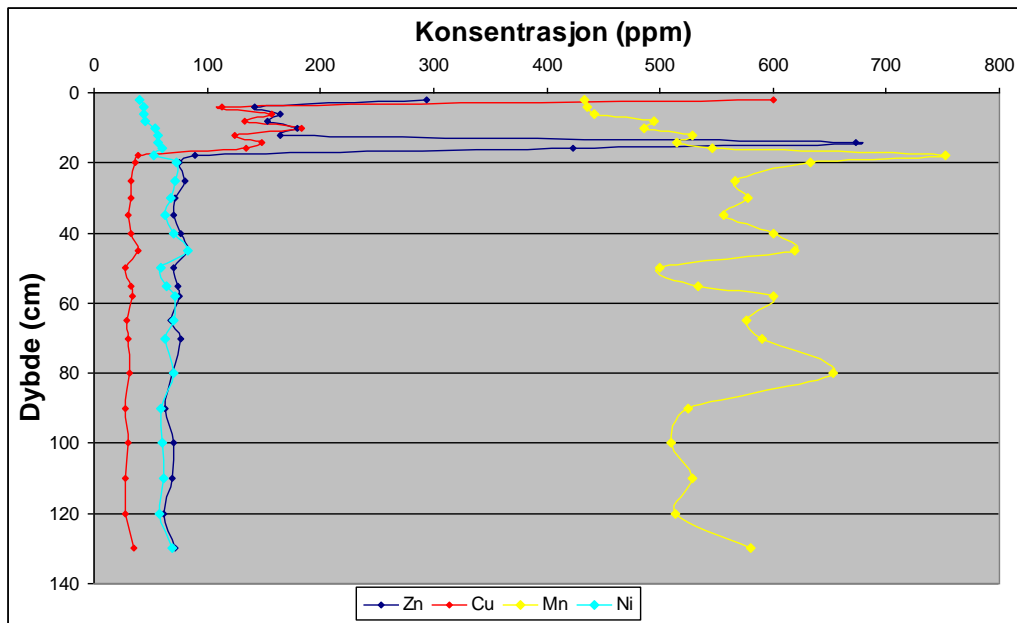
4,61. De andre grunnstoffene kobber, sink, svovel og arsen går tilbake, men ikke i like stor grad. De er mer varierende etter dette, og sink og kobber har positive utslag igjen ved 10 cm og 6 cm. 10 cm er et punkt hvor stoffer som arsen og svovel også har et positivt utslag. Svovel har sitt største positive utslag ved 10 cm.

Aluminiumkonsentrasjonene synker kraftig fra 20 cm og opp mot 2 cm. Dette kan påvirke Al-normaliseringene. Hvis en studerer dybdeprofilen for sink, kobber og nikkel (jf. figur 32) gjenspeiler de Al-normaliseringene og over 20 cm øker konsentrasjonene markant. Al-normaliseringene for sink og kobber er tilnærmet rette under 20 cm og det samme gjelder konsentrasjonene i dybdeprofilen. Derfor knyttes økningen til antropogene kilder.

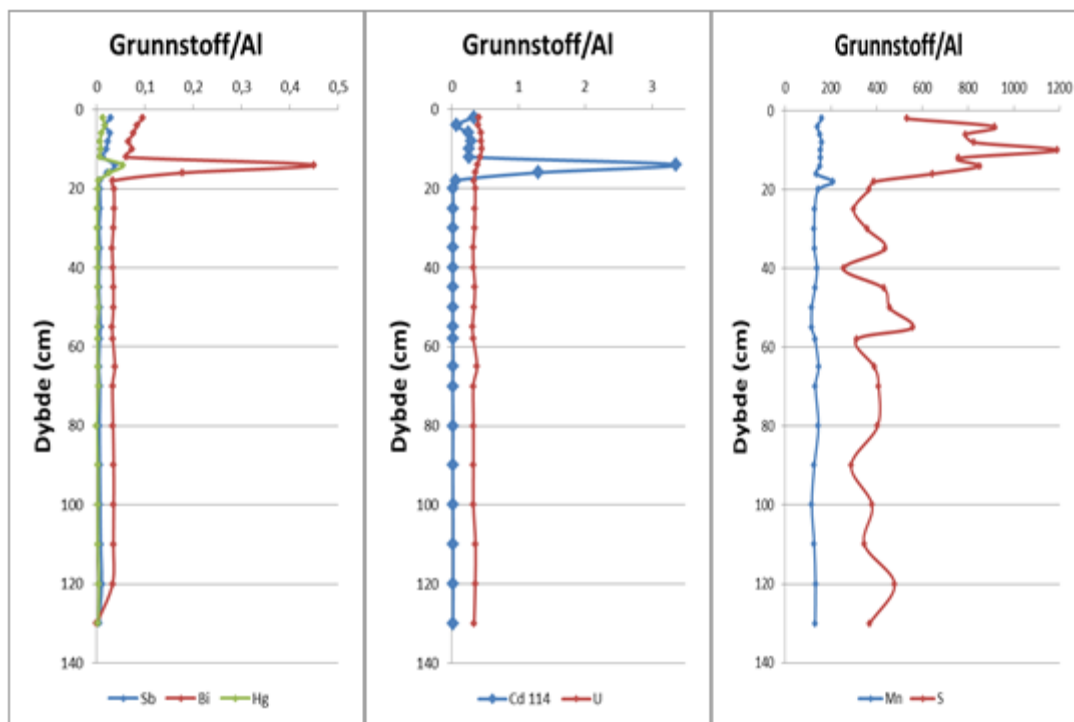


Figur 31: Al-normaliseringer fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla. Det første diagrammet viser kobber (blå) og sink (rød), det andre diagrammet viser nikkel (lilla), krom (grønn) og bly (rød) og det tredje viser arsen.

Dybdeprofilen til kobber (jf. figur 32) viser en svært høy konsentrasjon av kobber ved 2 cm på 601 ppm i forhold til medianen på 33 ppm. Denne konsentrasjonene er svært høy og punktet vil bli sett nærmere på. Dette punktet har også en svært høy sinkkonsentrasjon (jf. figur 32) på 293,9 ppm ved 2 cm.



Figur 32: Dybdeprofiler til sink (blå), kobber (rød), mangan (gul) og nikkell (lysblå) fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.



Figur 33: Al-normaliseringer fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla. Det første diagrammet viser vismut (rød), kvikksølv (grønn) og antimon (blå), det andre diagrammet viser kadmium (blå) og uran (rød) og det tredje viser mangan (blå) og svovel (rød).

Mangan er et stoff som skiller seg ut i Al-normaliseringen (jf. figur 33), det er det eneste grunnstoffet som har et positivt utslag ved 18 cm. Gjennomsnittskonsentrasjonen for mangan er 550 ppm og dybdeprofilen for mangan (jf. figur 32) viser at konsentrasjonen ved 18 cm er 753 ppm. Aluminiumkonsentrasjonen på dette punktet er 35 961 ppm og er litt lavere enn gjennomsnittet.

Tabell 15 viser en oversikt over de mest interessante funnene fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Tabell 15: Interessante funn i sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Dybde	Grunnstoff	Kommentar
2 cm	Cu og Zn	Svært høy konsentrasjon
10 cm	Cu, Zn, As og S	Markant utslag
14 cm	Pb, As, Zn, Bi, Hg og Sb	Markant utslag
16 cm	Zn og Cu	Markant utslag
18 cm	Mn	Markant utslag
Hele sedimentkjernen	Al	Endring i konsentrasjon

5.1.2 Sedimenteringshastighet

I 1908 ble jernbanestasjonen ved Thamshavn åpnet, og dette førte til en betydelig økning i malmfrakt. Hvis dybdeprofilen til kobber (jf. figur 32) studeres er det en markant økning i kobberkonsentrasjonen mellom 18 og 16 cm, den går fra å være 39,28 ppm til 133,95 ppm. Også Al-normaliseringen for kobber (jf. figur 31) viser en økning, som ikke skyldes naturlige svingninger, opp mot 16 cm. Sink viser også en markant økning på dette punktet både i dybdeprofilen og i normaliseringen med aluminium (jf. figur 31 og 32).

Mellom 1908 og 2013 er det 105 år og en mulig sedimenteringshastighet ved å bruke 16 cm vil være 1,5 mm/år, jf. ligning 20. Tabell 16 viser dateringen basert på sedimenteringshastigheten fra ligning 20.

$$160 \text{ mm}/105 \text{ år} = 1,5 \text{ mm/år} \quad (20)$$

Tabell 16: Dybde og år etter sedimenteringshastigheten 1,5 mm/år i fjorden utenfor Orkla.

Sedimenteringshastighet 1,52 mm/år	
Dybde (cm)	År
0	2013
2	2000
4	1987
6	1974
8	1960
10	1947
12	1934
14	1921
16	1908
18	1895
20	1881
25	1849
30	1816
35	1783
40	1750
45	1717
50	1684
55	1651
58	1631
65	1585
70	1552
80	1487
90	1421
100	1355
110	1289
120	1223
130	1158

5.1.3 Hendelser

10 cm:

Mellom 1952 og 1984 ble gruvevannet fra Løkken Verk ført direkte ned i Thamshavn. Dette er aktivitet som en kan forvente vil føre til høye konsentrasjoner av kobber og sink. Ved 10 cm er det en økning i kobber konsentrasjonen fra 124,42 ppm til 183,28 ppm, og også sink konsentrasjonen øker på dette punktet (jf. figur 32). Al-normaliseringene for kobber og sink (jf. figur 31) viser et lite positivt utslag ved 10 cm. Svovelkisen fra Løkken Verk inneholder også mye svovel (41,4 %), og hvis en ser på Al-normaliseringen av svovel (jf. figur 33) finnes et markant utslag ved 10 cm.

14 cm:

Andre verdenskrig startet i 1940 og sluttet i 1945, og i forbindelse med krig kan det ses etter utslag for bly, kobber, sink, nikkel, antimon, kvikksølv, arsen og vismut samtidig. Figur 31 og 33 viser at Al-normaliseringer for bly, arsen, sink, vismut, kvikksølv og antimon har markante positive utslag ved 14 cm og det er mulig å se et lite positivt utslag for kobber ved 14 cm. Al-normaliseringer for nikkel er relativt rett hele veien, men også her kan en se et lite positivt utslag mellom 10-16 cm. For de fleste grunnstoffene begynner økningen mellom 16-18 cm dybde, og toppene for de positive utslagene er da ved 14 cm. Den tidlige økningen kan forklares med at blant annet bly, kvikksølv og kobber er vanlige metaller å finne fra gruvedrift (jf. tabell 7).

18 cm og mangan:

Mangan er et grunnstoff som er kjent for å migrere i sedimentene og det er mulig at den høye konsentrasjonen av mangan ved 18 cm er mangan(IV)laget. For å undersøke dette er det mulig å forvente et jern(II)lag under dette, men det er ikke mulig å se dette i Al-normaliseringen for jern (jf. vedlegg 9). Jern øker derimot fra 18 cm opp til 14 cm, men dette kan skyldes befolkningsvekst og utbygging eller krigen. I dybdeprofilen for jern (jf. vedlegg 6) er det heller ingen høye konsentrasjoner av jern under 18 cm.

Prøvene som ble tatt var alle kompakte og grå og de minnet om leire. Da prøvene ble tatt ble de øverste lagene skåret over vertikalt for å se etter et gul/brunt lag, men det ble ikke observert i noen av sedimentkjerneprøvene. Dette kan være fordi prøven er så kompakt og laget veldig tynt slik at det ikke er mulig å se mangan(VI)laget eller jern(II)laget. På grunn av kompaktheten, den lave sedimenteringshastigheten og dybden er det lite sannsynlig at redoksbarrieren skal ligge dypere enn 10 cm. Hvis laget er veldig tynt er det også liten sannsynlighet for at avskjæringsintervallet skal ha klart å treffe dette laget. Det er derfor lite sannsynlig at mangan(IV)laget eller jern(II)laget skal ligge ved 18 cm.

Hvis dette positive utslaget av mangan skyldes forurensing kan denne komme fra for eksempel industrielt avfall, surt gruvevann eller mikrobial aktivitet (jf. tabell 7). Mangan kan også komme fra energiproduksjon, produksjonsprosesser eller avfallsforbrenning (jf. tabell 6). Mangan kan slippes ut i atmosfæren av jordpartikler fra vind, men også fra vulkaner og skogbranner (jf. tabell 5). Det er lite sannsynlig at vulkanutbruddene på Island kan være skyld i dette positive utslag av mangan ved 18 cm i og med at det seneste store registrerte utbruddet

skjedde før 1785 (jf. tabell 8). I tillegg er vulkanutbruddene på Jan Mayen for tidlig. Hvis det er slik at 18 cm representerer åpningen av Thamshavn og den industrielle utbyggingen kan dette utslaget skyldes økt industrielt avfall. Skogbrann er en annen mulighet og for å se etter skogbrann er det mulig å se etter utslag av kobber, sink, nikkel og bly. Ved 18 cm i Al-normaliseringene for disse grunnstoffene (jf. figur 31) er det et svakt positivt utslag for kobber og sink. Der er ikke mulig å se noen utslag for bly, men nikkel viser et svakt negativt utslag ved 18 cm. Ut i fra de ulike mulige kildene, og det faktum at industrialiseringen og gruvedriften kan skyldes utslagene for kobber og sink, er det vanskelig å si hva det positive utslaget for mangan kan skyldes.

2 cm og kobberkonsentrasjonen:

Kobberkonsentrasjonen ved 2 cm er svært høy og det er mulig at den stammer fra kobber migrering. Migrering kan forekomme med kobber, sink, bly, mangan, jern, kobolt og nikkel. For å undersøke om den høye konsentrasjonen kan stamme fra migrering kan det ses etter positive utslag og høyekonsentrasjoner for disse grunnstoffene i Al-normaliseringene og i dybdeprofilen ved 2 cm. Dybdeprofilene (jf. figur 32 og vedlegg 6) viser høye konsentrasjoner av kobber, sink og til dels bly ved 2 cm, mens kobolt, nikkel og mangan har en negativ trend. Al-normaliseringene (jf. figur 31 og vedlegg 9) viser positive utslag for kobber og sink, men ikke for de andre. Dette gjør det lite sannynlig at dette utslaget kan komme av migrering.

Den høye kobberkonsentrasjonene kan også skyldes kobberavrenning fra gruvedriften. Gruvevannet fra Løkkenverk, som renner ut i Orkla, har vært svært foruresnet, men de siste 20-30 årene skal denne ha endret seg mye og tiltak for å stoppe tungmetallforurensingen har blitt iverksatt. Figur 34 viser kobberavrenning fra Løkken Verk og det er mulig å se lavere kobberkonsentrasjoner etter 1885. Miljøstatus (2014) rapporterte lave verdier fra 1992 fram til 2004. I følge sedimenteringshastigheten funnet i 5.1.2 vil 2 cm ligge rundt år 2000 og avrenningen i denne perioden 1992-2004 var lav. Dette gjør det lite sannsynlig at denne høye konsentrasjonen kommer av avrenning fra Løkken Verk ut i Orkla. I tillegg burde konsentrasjonene være høye over en lengre periode hvis dette skulle være årsaken til den høye kobberkonsentrasjonen.

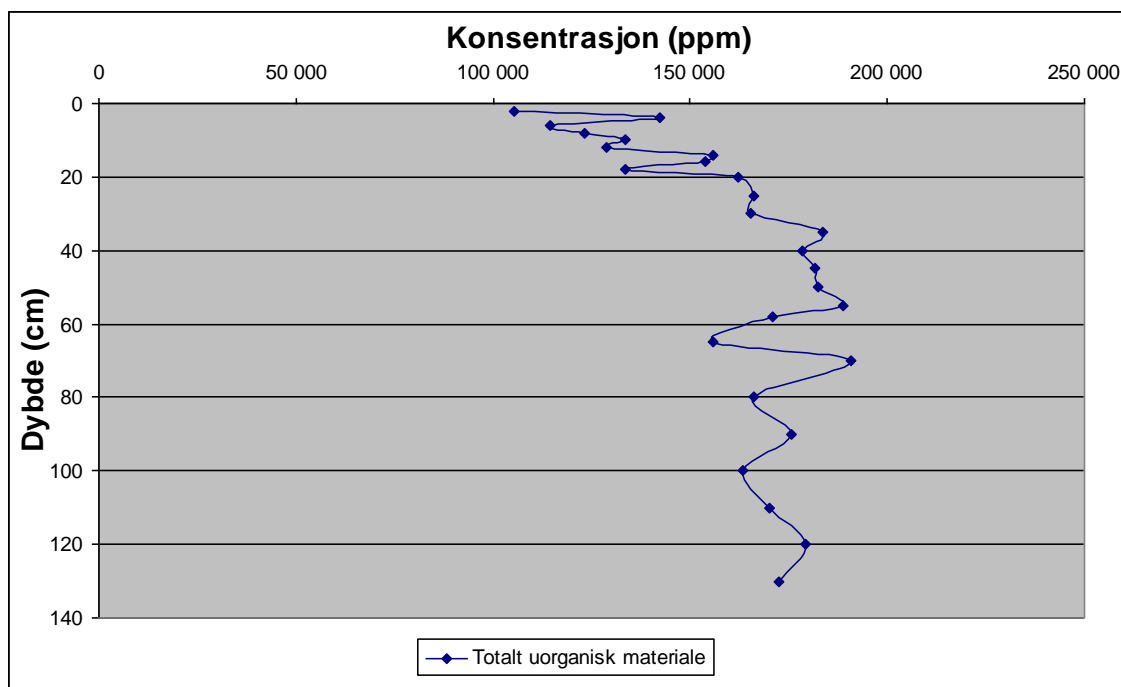


Figur 34: Kobberavrenning fra Løkken Verk (Miljøstatus, 2014).

Kobber kan komme av blant annet smelteverk, energiproduksjon, metallbelegg og industrielt avfall (jf. tabell 6 og 7) og området er i dag et industriområde. Det er mulig at den høye kobber konsentrasjonen kommer fra den nyere industrien. Det er også en mulighet for at prøven ble tatt ved et sted der det tilfeldig har samlet seg mye kobber ved aggregering.

Aluminium og total uorganisk materiale:

Aluminiumkonsentrasjonen og fraksjonen av det totale uorganiske materialet viser god korrelasjon ($r^2 = 0,78$, jf. vedlegg 12) og den viser at disse følger hverandre i stor grad. Hvis en studerer dybdeprofilen for totalt uorganisk materiale (jf. figur 35) kan en se et intervall med høye konsentrasjoner fra 70 cm fram til 35 cm. Ved 30 cm synker konsentrasjonen og holder seg stabil fram til 14 cm, med et unntak av 18 cm hvor konsentrasjonen er en del lavere. Fra 14 cm synker den igjen helt ned til 2 cm. Dybdeprofilen for aluminiumkonsentrasjonen (jf. figur 30) er mer varierende og har to hovedtendenser. Over 20 cm synker den slik som konsentrasjonen av uorganisk materiale, mens under 20 cm er hovedtendensen at den har høyere konsentrasjoner mellom 45 cm og 80 cm.



Figur 35: Dybdeprofilen til totalt uorganisk materiale fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Lave aluminiumkonsentrasjoner kan komme av varmt vær på grunn av økt organisk materiale (algevekst, plankton og annet dyreliv) eller kulde på grunn av liten tilførsel fra geologien (lite avrenning). Lav fraksjon av det totale uorganiske materialet kan tyde på at den totale organiske fraksjonen er stor og støtter opp om at den lave aluminiumkonsentrasjonen skyldes varmt vær. Hvis antagelsen om at dette stemmer vil det først kunne tenke seg at en periode med varmt vær fram til 70-80 cm, og deretter en periode med kaldt vær fram til 45-35 cm. Etter dette er det mulig at temperaturen sakte stiger opp mot 30 cm, før den øker markant fra 20-14 cm fram til 2 cm. Meteorologisk Institutt (2014) skriver om klimaendringene de siste 1000 år. Det var en varmeperiode i middelalderen før temperaturen sank og den lille istid begynte. På slutten av 1800-tallet steg temperaturen sakte og den neste store endringen skjedde like før 1930 og temperaturen steg brått. I følge Mann (2002) var det 16-århundetallet starten på den lille istid og den varte helt til midten av det 19-århundetallet, dvs. mellom 1500-1850. Miljøstatus (2013d) rapporterer for Trøndelag en varmeperiode på 30-tallet og varmere temperaturer etter 1985. I tillegg har nedbørsmengden økt de siste 100 år og spesielt de siste 20 årene.

Ut i fra dette samsvarer endringen i aluminiumkonsentrasjonen og fraksjonen av det totale organiske materialet bra med klimaendringene. I tillegg viser sedimenteringshastigheten fra

5.1.2 at dateringen mellom 35-80 cm er rundt 1487-1783 noe som samsvarer relativt godt med den lille istid.

Oppsummering:

Tabell 17 viser hendelser med antatt datering og nye sedimenteringshastighet. I tabellen vil disse merkes med grønn og utslag fra normaliseringen som ikke kan dateres merkes med gul. Andre hendelser som skjer mellom de daterte hendelsene er også satt inn. Basert på denne tabellen kan det se ut som om flommer har påvirket sedimenteringshastigheten i fjorden utenfor Orkla. Sedimenteringshastigheten øker i perioder der det har vært flommer, for eksempel etter 1908. Unntaket er perioden mellom 1500 og 1850 og kan komme av at den kalde perioden førte til mindre avrenning fra berggrunn eller at det lange tidsintervallet jevner ut sedimenteringshastigheten.

Tabell 17: Antatte hendelser i dybdeprofilen for sedimentene utenfor Orkla (Sedimenteringshastighet forkortes i denne tabellen til Sh.).

Dybde (cm)	År	Grunnstoff	Kommentar	Sh.
2		Cu	Konsentrasjon 600,94	
Mindre store flommer. De 20 siste årene varmere vær og mer nedbør.				1,6 mm/år
10	1950	Zn, S, Cu	Avrenning direkte til havnen fra Løkkenverk	
				4 mm/år
14	1940(-1945)	Pb, Cu, Zn, Ni, Sb, Hg, As, Bi	Andre verdenskrig og rekordflom 1940. Flom også 1944.	
Flom 1918 og 1934. Varmeperiode				1,3 mm/år
18	1908	Zn, Cu	Thamshavnbanen åpner	
18		Mn		
Varmere vær.				2,9 mm/år
35	1850	Al	Slutten av den lille istid	
Kulde periode. Flom 1789 og 1816.				1,3 mm/år
80	1500	Al	Starten av den lille istid	
Middelalderen: varmer vær				
130				

5.1.4 Forurensning

Konsentrasjonene i de øverste 20 cm av sedimentkjernen er høye for noen av de metallene som kommer fra typiske antropogene kilder (jf. tabell 6 og 7). Orkla har spesielt blitt påvirket av gruvedrift og industri opp gjennom historien. Dette kan tydelig ses av høye

konsentrasjoner av blant annet kobber, sink, arsen, bly og kadmium i de øverste laget i dybdeprofilene (jf. figur 32 og vedlegg 6). Al-normaliseringene (jf. figur 31 og 33) viser også positive utslag for disse grunnstoffene i det øverste laget. Fra gruvedrift kan det forventes forurensning av bly, kobber, sink og kvikksølv fra selve gruvedriften kan nå sediment (jf. tabell 6). I tillegg kan det forventes jern og mangan forurensning fra surt gruvevann (jf. tabell 7). For å vurdere forurensningen av sedimentene brukes forurensningskriteriene fra KLIF (jf. tabell 9 og figur 23). Tabell 18 gir et bilde av dagens forurensningsnivå og viser gjennomsnittet av konsentrasjonen for de øverste 20 cm og i tillegg den høyeste konsentrasjonen fra de øverste 20 cm.

Tabell 18: Forurensningskriterier for gjennomsnittverdien av de øverste 20 cm og den høyeste verdien i de øverste 20 cm fra sedimentprøven tatt i fjorden utenfor Orkla.

Metall	Gjennomsnitt (ppm)	Klassifisering	Høyeste verdi (ppm)	Klassifisering
As	8,95	I Bakgrunn	18,5	I Bakgrunn
Pb	22,7	I Bakgrunn	83,7	II God
Cd	2,14	II God	11,5	III Moderat
Cu	167	IV Dårlig	601	V Svært dårlig
Cr	121	II God	162	II God
Hg	0,0501	I Bakgrunn	0,186	II God
Ni	52,3	III Moderat	72,3	III Moderat
Zn	236	II God	673	IV Dårlig

Gjennomsnittsverdiene viser relativt gode forurensningsnivå på bakgrunnsnivå eller godt nivå for arsen, bly, kadmium, krom, kvikksølv og sink i fjorden. Disse metallene vil ikke med disse konsentrasjoner føre til noen toksiske effekter på organisme samfunn.

Nikkelkonsentrasjonene er så høye at forurensningen klassifiseres som moderat og konsentrasjonene kan føre til kroniske effekter ved langtidseksponering. Kobber er det grunnstoffet med høyest forurensningsnivå i fjorden og klassifiseres som dårlig og kan føre til akutte toksiske effekter ved korttidseksponering.

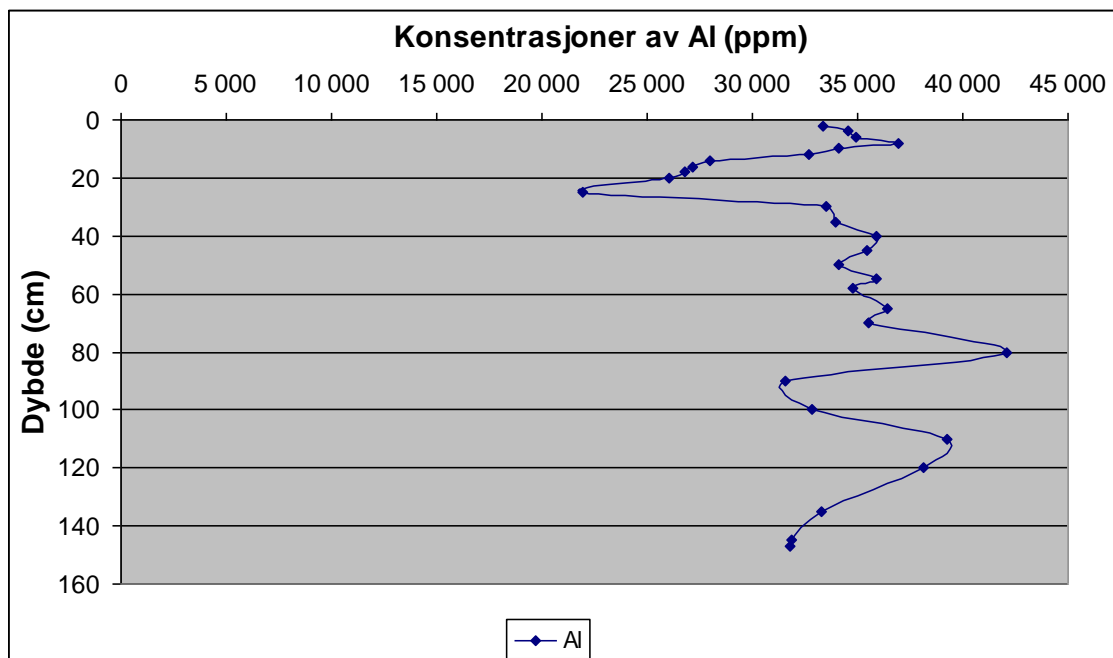
De høyeste konsentrasjonene av metallene oppgitt i tabell 18 viser at det er tydelig at mange av disse er mye høyere enn gjennomsnittsverdiene. Selv om konsentrasjonene er høyere vil fortsatt arsen, bly, krom og kvikksølv klassifiseres som på bakgrunnsnivå eller godt nivå. Både kobber og nikkel er klassifisert som moderate, mens sink nå er klassifisert som dårlig. Kobber klassifiseres som svært dårlig og konsentrasjonen er over to ganger som høy som den

må være for å klassifiseres som svært dårlig. Sinkkonsentrasjonen er høyest ved 14 cm dybde og det vil si at forholdene i fjorden har vært akutt toksiske ved korttidseksponering, men at de nå er forbedret. Kobber har derimot sin høyeste konsentrasjon ved 2 cm og klassifiseringen oppgir effekten som omfattende akutt-toksisk. Hvis denne kobberkonsentrasjonen ikke er en representativ en verdi vil selv den nest høyeste verdien på 183 ppm klassifisere sedimentene i fjorden som dårlig.

5.2 Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula

5.2.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium

Dybdeprofilen til aluminium (jf. figur 36) viser en kraftig økning i konsentrasjonen ved 80 cm og aluminiumskonsentrasjonen er på 42 114 ppm. Under 80 cm er aluminiumkonsentrasjonen svært varierende. Over 80 cm er aluminiumkonsentrasjonen stabil fram til 25 cm hvor den synker kraftig og er på sitt laveste med en konsentrasjon på 21 939 ppm. Etter dette øker det fram mot 8 cm og rundt 10 cm er den tilbake til rundt median verdi, som er 34 030 ppm.

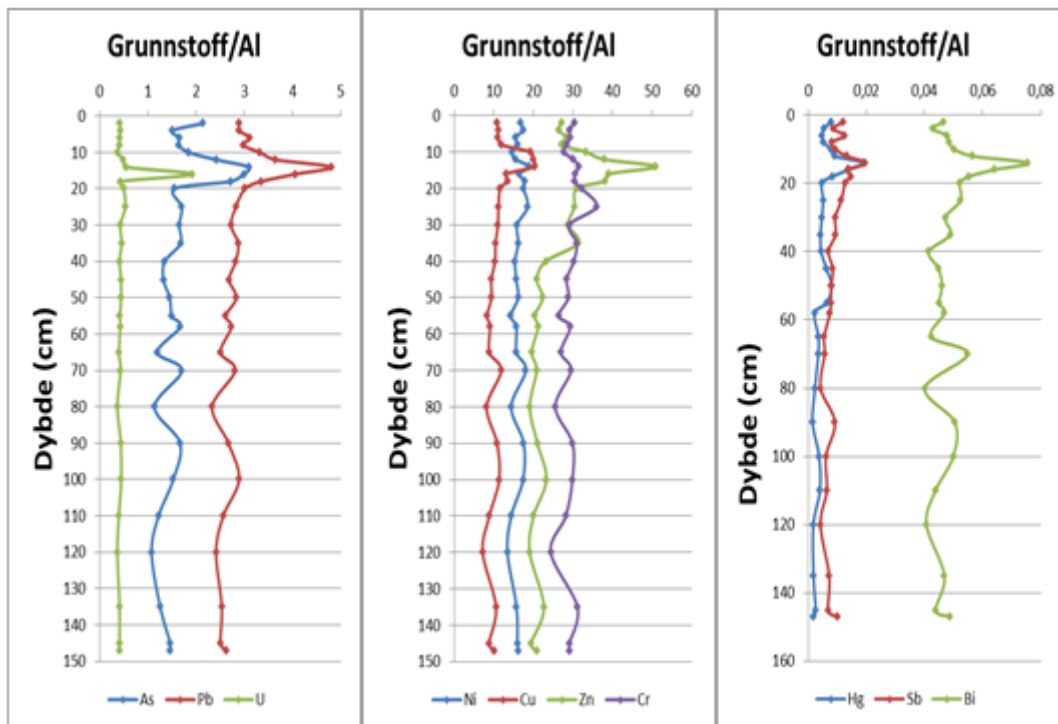


Figur 36: Dybdeprofilen til aluminium fra sedimentkjerne tatt i fjorden utenfor Gaula.

I figur 37 er et markant positivt utslag i Al-normaliseringen for uran ved 16 cm dybde. Dybdeprofilen til uran (jf. vedlegg 7) viser at konsentrasjonene ved 16 cm er 5,2 ppm og

denne konsentrasjon er markant høyere enn medianverdien på 1,49 ppm.

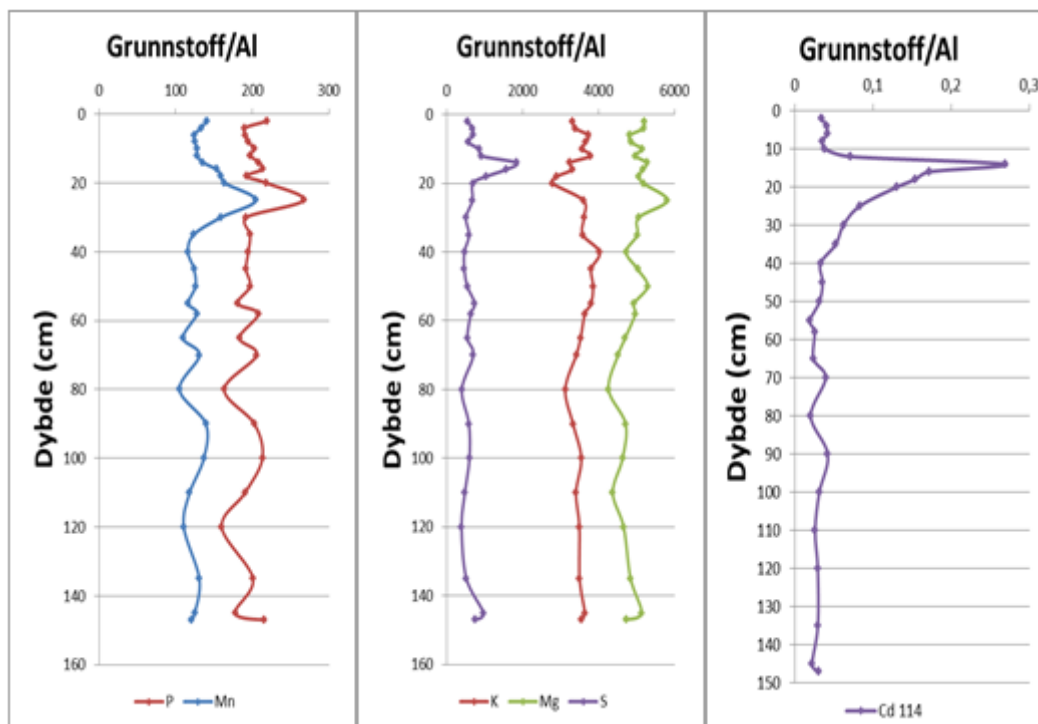
Aluminiumkonsentrasjonen på denne dybden er lavt, men med tanke på at aluminiumkonsentrasjonen er lav mellom 14-25 cm (jf. figur 36) og at det ikke er utslag andre steder, tyder det på at den høye urankonsentrasjonen kommer fra en eller flere antropogene kilder.



Figur 37: Al-normaliseringer fra sedimentkjernen i fjorden utenfor Gaular. Det første diagrammet viser arsen (blå), bly (rød) og uran (grønn), det andre diagrammet viser nikkel (blå), kobber (rød) og sink (grønn) og det tredje diagrammet viser kvikksølv (blå), antimon (rød) og vismut (grønn).

Det er også mulig å se et markant positivt utslag i Al-normaliseringene (jf. figur 37) for arsen, bly, sink, vismut, antimon, kvikksølv og til dels kobber og nikkel ved 14 cm dybde. Den kan også ses for svovel (jf. figur 38). For sink, svovel og bly er det positive utslaget slik at over og under det markante utslaget går den tilbake til omtrent samme verdi før utslaget, men dette er ikke tilfellet for de andre grunnstoffene. Aluminiumkonsentrasjonen på 14 cm (jf. figur 36) er lav, men med tanke på at denne er lav helt fra 25 cm til 14 cm og ingen av grunnstoffene øker fra 25 cm vil økningen mest sannsynlig skyldes en antropogen kilde.

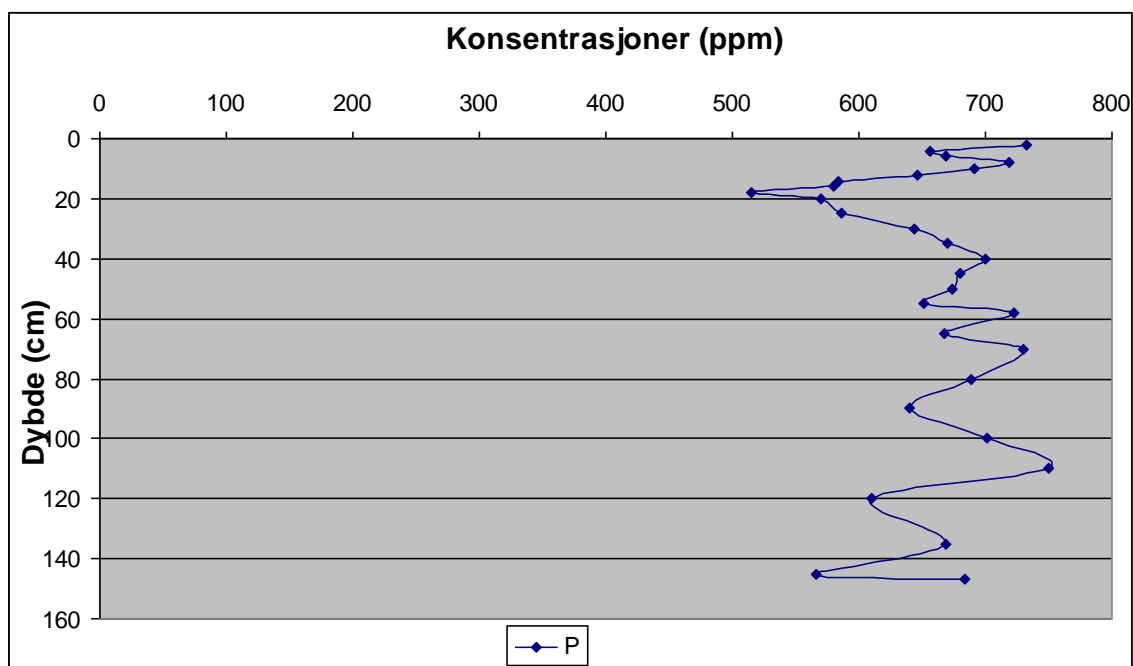
I Al-normaliseringen for både kadmium og sink (jf. figur 37 og 38) er det et interessant positivt utslag som starter fra 40 cm. Det positive utslaget for sink er mer markant enn det for kadmium, som er mer gradvis. Hvis en studerer dybdeprofilene (jf. vedlegg 7) øker også konsentrasjonene fra 40 cm. Kadmiumkonsentrasjonen øker på samme måte som i Al-normaliseringen, bortsett fra ved 25 cm hvor konsentrasjonen synker litt. Dette kan forklares med den lave aluminiumkonsentrasjonen ved 25 cm, og at den naturlige andelen av konsentrasjonen synker sammen med aluminiumkonsentrasjonen. Dette gir et positivt utslag for kadmium fra 40 cm som kan skyldes en økende antropogen tilførsel. Dybdeprofilen til sink svinger mer enn dybdeprofilen til kadmium. Konsentrasjonen øker først fram til 35 cm, før den synker kraftig ved 25 cm. Deretter øker konsentrasjonen opp mot 14 cm, før den igjen synker opp mot 2 cm. Dette gir mulige positive utslag for sink ved 35 cm og 14 cm som kan stamme fra antropogene kilder.



Figur 38: Al-normaliseringer fra sedimentkjerne i fjorden utenfor Gaular. Det første diagrammet viser mangan (blå) og fosfor (rød), det andre diagrammet viser kalium (rød), magnesium (grønn) og svovel (lilla) og det tredje diagrammet viser kadmium (lilla)

For fosfor, mangan, krom og magnesium er det et positivt utslag ved 25 cm (jf. figur 37 og 38). Hvis en studerer dybdeprofilen til aluminium (jf. figur 36) ser en at aluminiumkonsentrasjonen ved 25 cm synker markant fra 33 495 ppm til 21 939 ppm før den

øker opp mot 8 cm. Dybdeprofilen for fosfor (jf. figur 39) viser at fosforkonsentrasjonen synker mellom 25 cm og 14 cm hvor aluminiumkonsentrasjonen er lav. Det at Al-normaliseringen for fosfor viser utslag selv om konsentrasjonene for begge grunnstoffene synker kommer av at konsentrasjonen av aluminium og fosfor ikke synker proporsjonalt. Dybdeprofilene for krom og magnesium (jf. vedlegg 7) viser også lavere konsentrasjoner over en lengre periode. Mangans dybdeprofil (jf. vedlegg 7) viser en mer normal konsentrasjon som holder seg relativt stabil i perioden. Det vil si at det er sannsynlighet for at det positive utslaget for krom, magnesium og fosfor kan stamme fra den lave aluminiumkonsentrasjonen eller endring i sediment sammensetningen, men det er også mulig at den skyldes en antropogen kilde. Det er stor sannsynlighet for at mangan konsentrasjonene kommer fra en annen kilde enn berggrunnen siden konsentrasjonen holder seg konstant selv om aluminiumkonsentrasjonen synker.



Figur 39: Dybdeprofilen til fosfor fra sedimentkjerneprøven tatt i fjorden utenfor Gaula.

Tabell 19 viser en oversikt over de mest interessante funnene fra sedimentkjernen tatt i fjorden utefor Gaula.

Tabell 19: Interessante funn i sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Dybde	Grunnstoff	Kommentar
14 cm	Hg, Sb, Bi, Zn, Pb, Cu og As	Markant utslag
16 cm	Uran	Markant utslag
20 cm	Pb, Zn og As	Økningen begynner her
25 cm	P, Mn, Mg og Cr	Markant utslag
40 cm	Zn og Cd	Økningen begynner her
Hele sedimentkjernen	Al	Endring i konsentrasjon

5.2.2 Sedimenteringshastighet

Hvis andre verdenskrig (1940-1945) skal brukes som et utgangspunkt for å bestemme sedimenteringshastigheten kan en se etter positive utslag for bly, kobber, sink, nikkel, antimon, kvikksølv, arsen og vismut på samme dybde. I Al-normaliseringene for disse stoffene (jf. figur 37) ser et markant positivt utslag for kvikksølv, antimon, vismut, sink, bly, kobber og arsen ved 14 cm. For mange av grunnstoffene begynner det positive utslaget før dette, rundt 16-18 cm. Derfor er det mulig at krigen starter ved 16 cm, og at utslaget ved 14 cm kan skyldes krigsetterlatenskaper. Hvis Al-normaliseringen for sink, kvikksølv og antimon studeres litt nærmere ses det at de går tilbake til omtrent samme verdi som de var på før det positive utslaget. Dybdeprofilene til antimon, vismut og kvikksølv (jf. vedlegg 7) viser at konsentrasjonene fra punktet før 14 cm er den samme som punktet etter 14 cm. Dette taler for at noe annet kan ha ført til det tidlige positive utslaget, for eksempel begynnende industri og modernisering av jordbruket, utbygging av infrastruktur og bruk av kunstgjødsler og pesticider i jordbruket.

Krigen begynte i 1940 og sluttet i 1945, det vil si 73 år fra 1940 til 2013. Ved 14 cm gir dette oss en sedimenteringshastighet på 1,9 mm/år (jf. ligning 21). I tabell 20 viser dateringen etter sedimenteringshastigheten i ligning 21.

$$140 \text{ mm}/73 \text{ år} = 1,9 \text{ mm/år} \quad (21)$$

Tabell 20: Dybde og år etter sedimenteringshastigheten i Gaula.

Sedimenteringshastighet 1,9 mm/år	
Dybde (cm)	År
0	2013
2	2003
4	1992
6	1982
8	1971
10	1961
12	1950
14	1940
16	1930
18	1919
20	1909
25	1883
30	1857
35	1831
40	1805
45	1779
50	1753
55	1727
58	1716
65	1674
70	1648
80	1596
90	1544
100	1492
110	1440
120	1388
135	1310
145	1258
147	1247

5.2.3 Hendelser

16 cm og uran og 25 cm og fosfor:

Det markante positive utslaget ved 16 cm i Al-normaliseringen for uran (jf. figur 37) er interessant. Særlig fordi dette positive utslaget ikke finnes i sedimentprøvene tatt fra fjorden utenfor verken Orkla eller Nidelva (jf. figur 33 og 43). I tillegg viser den mulige sedimenteringshastigheten fra 5.2.3 at utslaget ligger den rett før andre verdenskrig. Utarmert uran ble først brukt i krig i 1991 så dette kan utelukkes og Tsjernobyl kan av samme grunn utelukkes. I følge Alloway (2013, s. 565) kan forurensninger av uran komme fra fosfatgjødsler, avfall fra kjernekraftverk, atombombing, forbrenning av kull, aske av kull eller urangruver. Uran adsorberes sterkt til sedimenter med mye jernoksid og organisk materiale. I

og med at det positive utslaget ikke vises i Orkla eller Nidelva er det mulig å utelukke nedfall etter atombomber eller ulykker ved kjernekraftverk. En urangruve kan også utelukkes på grunn av sammensetningen av berggrunnen (jf. tabell 2) og det har ikke vært mulig å finne bevis for noe slikt i Gaula området.

Forbrenning av kull er en mulighet hvis området mottok en kullforsending forurenset med mye uran, men dette også en mindre sannsynlig kilde på grunn av den høye konsentrasjonen av uran. Hvis en studerer dybdeprofilen for jern (jf. vedlegg 7) kan en se at jernkonsentrasjonen ved 16 cm er lav, 28 926 ppm, i forhold til medianen på 33 410 ppm. Det er derfor lite sannsynlig at jernoksid i sedimentene skal ha forsterket absorberingen av uran. Dybdeprofilen til det totale uorganiske materialet (jf. figur 40) viser at konsentrasjonen er relativt lav ved 16 cm. Derfor kan det forvente en større andel organisk materiale ved dette punktet, men dette gjelder for hele perioden mellom 14-30 cm. I og med at utslaget bare finnes ved 16 cm er det lite sannsynlig at den høye konsentrasjonen med organisk materiale påvirker absorpsjonen av uran.

En kan imidlertid tenke seg at Gaula, som er stor på jordbruk, kan ha fått tilsendt en sterkt forurenset mengde fosfatgjødslere. Dette er imidlertid lite sannsynlig fordi fosforkonsentrasjonen synker mellom 25 cm og 14 cm (jf. figur 39) og det kunne forventes at fosforkonsentrasjonen øker ved fosfatgjødsling (økt avrenning). Dybdeprofilen viser derimot en synkende trend for fosfor mellom 25 cm og 14 cm. Dette er svært overraskende fordi en kunne forventet en økende trend når kunstgjødslere ble vanlig og kan bety at kunstgjødslere ikke ble brukt i jordbruket rundt Gaula. En annen forklaring kan være at bruken først ble vanlig etter at de store ødeleggelsene fra flommene ble mindre etter reguleringen av elven, og at det er grunnen til at det ikke har vært store utslipp fra åkrene.

Det er i midlertid mulig at den lave fosfor konsentrasjonen mellom 25 cm kan skyldes et økt press på jorden på grunn av jordbruk. Plantene som dyrkes tar opp mye av næringsstoffene i jorda og når jorden ikke når å hente seg inn igjen blir jorden næringsfattig. Dette kan føre til at avrenningen fra åkrene ikke inneholder den normale konsentrasjonen av fosfor. Det at fosforkonsentrasjonen da igjen øker mot 14 cm kan skyldes at det ble brukt kunstgjødslere og at jorden sakte innhentet seg igjen. Dybdeprofilene for magnesium og kalium (jf. vedlegg 7), som er andre vanlige tilsetninger til kunstgjødslere, viser den samme trenden med synkende konsentrasjon ved 25 og økning mot 12 cm. Det at Al-normaliseringene (jf. tabell 38) viser et

positivt utslag ved synkende konsentrasjon i dybdeprofilen vil det si at de ikke synker proporsjonalt med aluminiumkonsentrasjonen og at det positive utslaget kan skyldes en antropogen tilførsel som kunstgjødsel. Dette kan forklare at det ikke er tegn til økte konsentrasjoner eller utslag i dybdeprofilene og Al-normaliseringene for typiske tilsetningsgrunnstoffet i kunst-gjødsel.

Aluminiumkonsentrasjonen følger den synkende trenden. I tillegg viser fraksjonen av uorganisk materiale (jf. figur 40) en synkende trend, som kan bety at den organiske fraksjonen i denne perioden var høyere. Dette kan forklares med at mer organisk materiale når elven som følge av økt jordbruk. Etter 12 cm er det mulig at regulering av elven har ført til at mindre andeler dyrket mark har blitt oversvømt og ødelagt ved flom. Slik at mindre av jorden med mye organisk materiale har endt opp i elven. Dette gjør muligheten for at en forsending med uran kontaminert fosfatgjødsler kan ha forårsaket den høye konsentrasjonen av uran ved 16 cm.

25 cm og mangan og krom:

For mangan kan det se ut til være en tilførsel fra antropogene kilder (jf. figur 38) og det positive utslaget for krom (jf. figur 37) kan skyldes en antropogen tilførsel eller ujevn fordeling av sediment. I følge Alloway (2013, s. 313) kan høye konsentrasjoner av krom skyldes bruk av kloakk som gjødsel eller industrielle aktiviteter som produksjon av rustfritt stål. Det er ikke funnet tegn til fabrikker som produserer av rustfritt stål i området. Det er mulig at de høye kromkonsentrasjonene kan skyldes bruk av kloakk som gjødsel. Det positive utslag for mangan er diskutert i sedimentkjernen tatt utenfor fjorden Orkla (jf. kap. 5.1.3) og den samme konklusjonen gjelder her: det er vanskelig å si hva det positive utslaget for mangan kan skyldes.

20 cm:

Både bly, sink og arsen har positive utslag fra 20 cm opp mot 14 cm (jf. figur 37) og dette kan skyldes industrialiseringen som begynte på begynnelsen av 1900-tallet. For eksempel ble bly bensin tatt i bruk rundt 1920 og kan forklare det positive utslaget av bly. Det positive utslaget av sink kan komme av en mer effektiv utvinning fra Kjøligruver, industrielt avfall, bruk av metallbelegg og utvikling av rørsystemet (jf. tabell 7). Arsen er et biprodukt fra gruver og kan også skyldes kjemisk avfall, energi produksjon, smelteverk og raffinering (jf. tabell 6 og 7)

eller det kan også komme av forbrenning av kull (jf. kap. 5.3.2) eller fosfatgjødslar kontaminert med arsen kontaminerte.

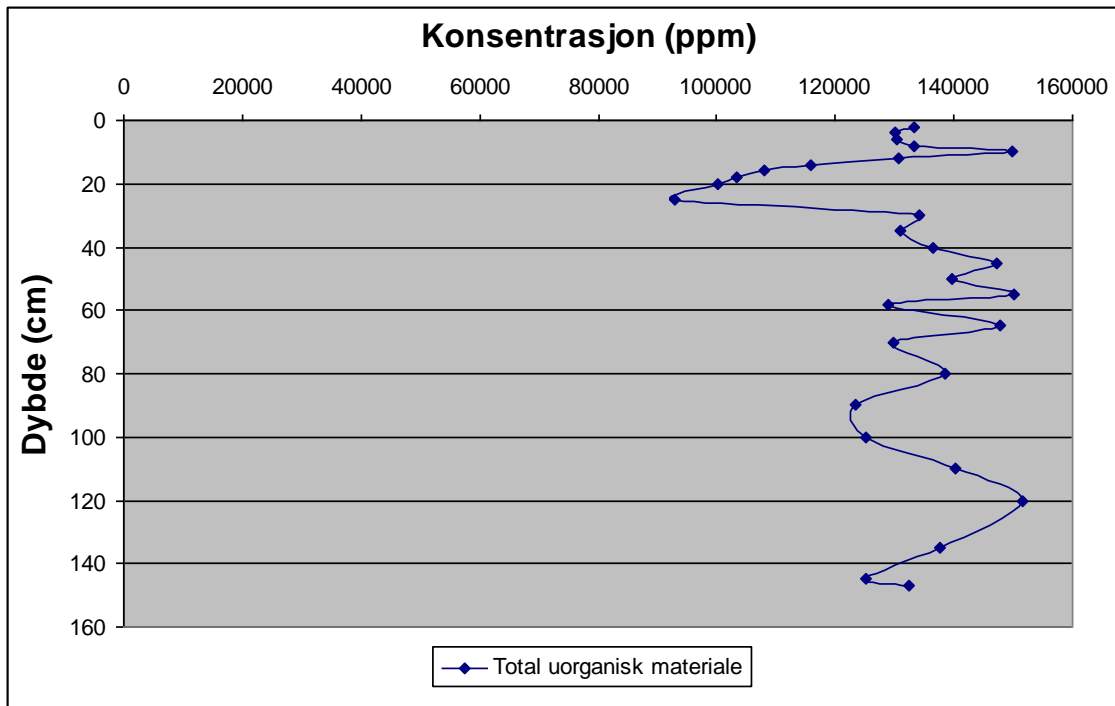
40 cm:

Sink og kadmium har begge positive utslag fra 40 cm (jf. figur 37 og 38) og det positive utslaget for sink kan være et tegn på gruveaktiviteten i området. Hvor driften i Killingdal gruver startet 1674, ved Kjølvi gruver startet driften i 1766 og i Mugg i 1796. Dette passer omtrentlig med tanke på sedimenteringshastigheten funnet i 5.2.2 som daterer 40 cm til 1805, når alle gruvene er kommet ordentlig i drift. Alle gruvene ble lagt ned på begynnelsen av 1900 tallet hvor andre kilder kan ta over og forklare den fortsatt økende trenden for disse to metallene.

Hvis en derimot sammenligner Al-normaliseringer av sink og kadmium fra fjorden utenfor Orkla mot Al-normaliseringene tatt i fjorden utenfor Gaula er det ingen slik økning utenfor Orkla. Orkla har flere gruver i området hvor avrenningen havner i eleven og det tyder på at det er liten sannsynlighet for at disse økningene skyldes gruvedrift når en ikke kan se de i fjorden utenfor Orkla. Alloway (2013, s. 283) skiver at forurensning av sink og kadmium fra sink-kadmium smelteverk er vanlig og i tabell 6 kan det ses at det er vanlig med utslipp av kadmium og sink ved smelteverk og raffinering. Dette kunne forklart at disse to øker sammen, men det har ikke vært mulig å fastslå slik aktivitet i Gaula-området.

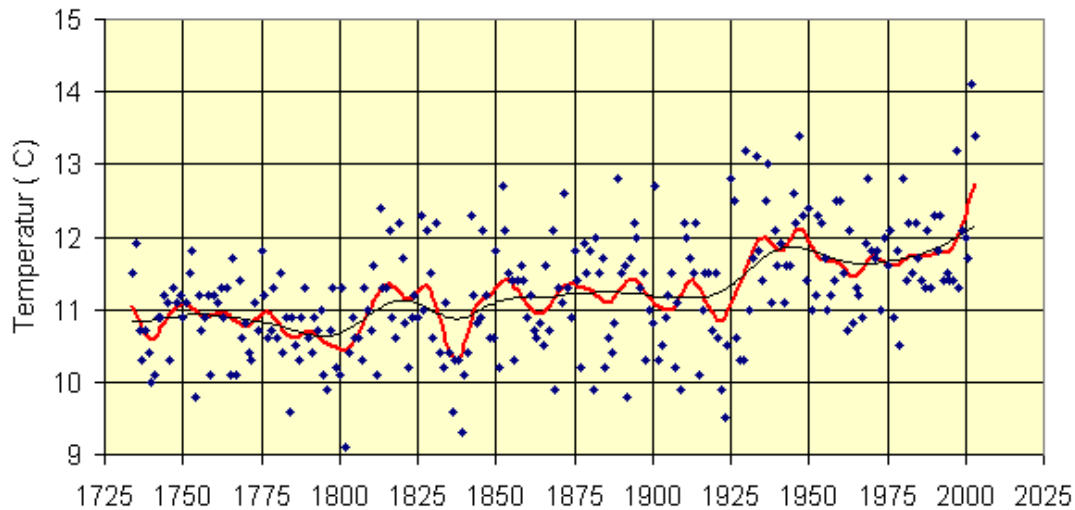
Aluminium og totalt uorganisk materiale:

Den lave aluminiumkonsentrasjonen ved 25 cm kan skyldes varmt vært (algevekst, plankton og annet dyreliv) eller på grunn av kaldt vær (mindre avrenning fra geologien). Hvis dybdeprofilen til det totale uorganiske materialet (jf. figur 40) studeres er det mulig å se en kraftig nedgang i konsentrasjonen rundt 25 cm. Dette forteller at den organiske andelen kan være større og sol og varmt vær har ført til økt algeproduksjon, plankton og dyreliv.



Figur 40: Dybdeprofilen til totalt uorganisk materiale fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Siden aluminium og den totale uorganiske konsentrasjonen er lav helt fra 25 cm og opp til 14 cm (jf. figur 36 og 40) kan det tyde på en lengere periode med sol og varmt vær. Dette passer bra med at det i Trøndelag var en varm periode rundt 1930 og at andre verdenskrig (1940) sannsynligvis ligger rundt 14 cm. Temperaturen for den nordlige halvkule vises i figur 41 og det at en kraftig temperatur økning rundt 1930 som varer fram til rundt 1948. I tillegg ble det varmere på slutten av 1800-tallet og temperaturen i figur 41 er varmere og mer stabilt fra rundt 1850 til 1912. Derfor kan intervallet 25 cm til 14 cm være perioden 1850-1940. Dette passer relativt godt med sedimenteringshastigheten i 5.2.2 hvor 25 cm er 1883. Det at det er høyere andel organisk materiale ved 25 cm enn ved 14 cm kan være et tegn på at det var varmere ved 25. Figur 41 viser derimot at det var varmere ved 14 cm. Dette kan skyldes at avskjæringsintervallet viser et av de varmeste årene i den litt kaldere perioden og at en ved 14 cm skyldes at avskjæringsintervallet viser et av de kaldere årene i perioden.



Figur 41: Temperaturendringer på den nordlige halvkule fra 1725 (Meteorologisk institutt, udatert).

Dybdeprofilen for totalt uorganisk materiale viser høye konsentrasjoner fra 30-40 cm til 80 cm (jf. figur 40), mens aluminiumkonsentrasjonen er stabil mellom 30 og 70 cm før den øker mye til 80 cm. I og med at dette da skjer etter den varmere perioden, som startet 1850, kan dette være perioden 1500-1850 lille istid. Dette passer relativt godt med sedimenteringshastigheten i 5.2.2 hvor 25 cm er 1883 og 80 cm er 1596.

Oppsummering:

Tabell 21 viser hendelser med antatt datering og nye sedimenteringshastigheter etter dateringene. I tabellen vil disse merkes med grønt og utslag fra normaliseringen som ikke kan dateres merkes med gul. Hendelser som skjer mellom de daterte hendelsene er også satt inn. Det kan se ut som om det bare er flommene 1920-1945 som har hatt innvirkning på sedimenteringshastigheten i Gaula.

Tabell 21: Antatte hendelser i dybdeprofilen for Gaula (Sedimenteringshastighet forkortes i denne tabellen til Sh.).

Dybde (cm)	År	Grunnstoff	Hendelse	Sh.
Storflom 1995				1,9 mm/år
14	1940	Sb, Hg, Bi, osv.	Andre verdenskrig og storflom 1940. Slutten av varmeperioden.	
16		U	Mulig kull eller fosfatgjødslers forurenset uran.	
				3,0 mm/år
20	1920	Pb, Zn, As	Blybensin, industrialisering.	
Storflom 1918				0,70 mm/år
25	1850	Al og tot. uorg.	Begynnelsen av varmeperioden etter den lille istid	
Storflom 1789, 1879 og 1882				
40		Zn, Cd	Gruvedriften?	
Stor flom 1675				1,6 mm/år
80	1500	Al og tot. uorg.	Begynnelsen av den lille istid	

5.2.4 Forurensning

Gaula ligger i et område med mye jordbruk og det har tidligere også vært gruvedrift i området. Disse gruvene ble åpnet på 16-1700 tallet og de fleste ble stengt før industrialiseringen. Unntaket er Kjøli gruver som var i drift til 1941. Fra gruvene kan en forvente at forurensning av bly, kobber, sink og kvikksølv fra gruvedriften, og også mangan og jern fra surt gruvevann skal kunne nå sedimentene i fjorden (jf. tabell 6 og 7). Forurensningskriteriene for sedimenter fra KLIF (jf. figur 23 og tabell 9) har fokusert på metaller som arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink derfor vil disse blir sett på. Tabell 22 gir et bilde av dagens forurensningsnivå, og viser gjennomsnittet av de øverste 20 cm og i tillegg den høyeste verdien fra de øverste 20 cm.

Gjennomsnittsverdiene for Gaula viser liten forurensning og det eneste stoffet som klassifiseres høyere enn bakgrunnsnivå eller som god er nikkel. Nikkel er klassifisert som moderat og kan føre til kroniske effekter ved langtidseksponering. Hvis en ser på de høyeste verdiene funnet for de ulike metallene ses det at den eneste forskjellen er at kobber nå er klassifisert som dårlig. Dette skjer ved 10 cm, men konsentrasjonen ved 12 cm er nesten like høy på 65,57 ppm. I gjennomsnittet er kobber er det metallet av de med god klassifisering i gjennomsnittet som er nærmest grensen til moderat klassifisering. Både kadmium og krom er

veldig nære sin grense for bakgrunnsnivå i gjennomsnittet. Sedimentene i Gaula ser ut til å være forurenset av nikkel og kobber.

Tabell 22: Forurensingskriterier for gjennomsnittverdien av de 20 øverste cm og den høyeste verdien i de 20 øverste cm for Gaula.

Metall	Gjennomsnitt (ppm)	Klassifisering	Høyeste verdi (ppm)	Klassifisering
As	6,7	I Bakgrunn	8,7	I Bakgrunn
Pb	11	I Bakgrunn	13	I Bakgrunn
Cd	0,29	II God	0,75	II God
Cu	45	II God	66	IV Dårlig
Cr	94	II God	105	II God
Hg	0,026	I Bakgrunn	0,026	I Bakgrunn
Ni	52	III Moderat	60	III Moderat
Sn	105	I Bakgrunn	143	I Bakgrunn

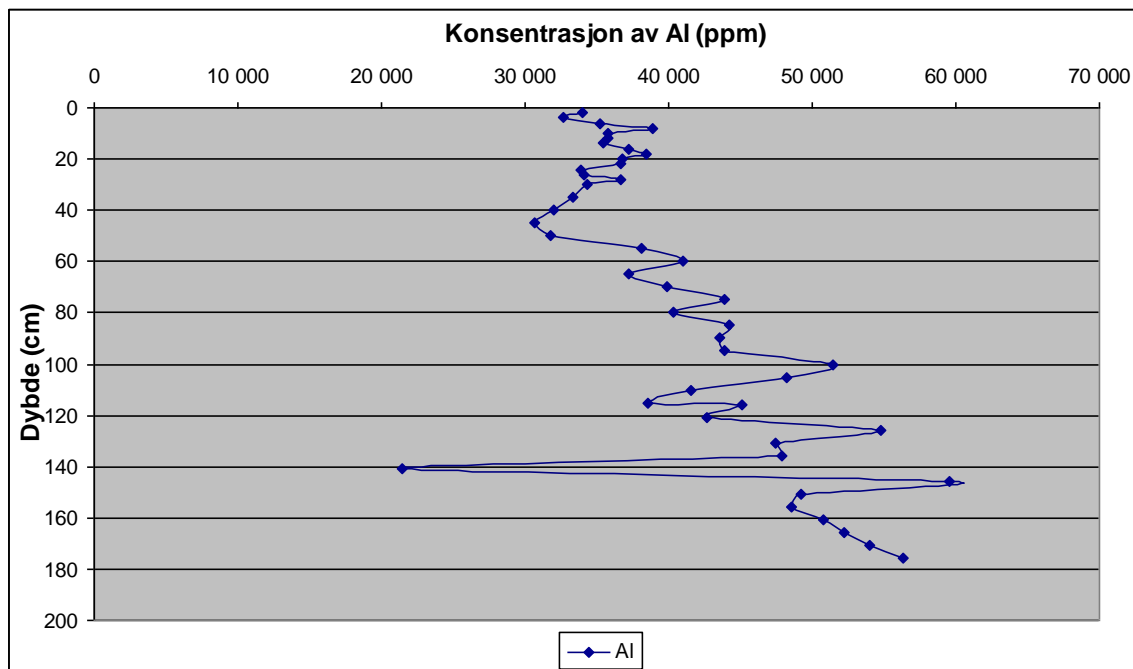
5.3 Sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Nidelva

Utenfor utløpet til Nidelva ble det tatt to sedimentkjerneprøver i fjorden. En av sedimentkjernene ble tatt 500 m fra elvemunningen, kalt Nidelva 1, mens den andre ble tatt 2 km fra elvemunningen, kalt Nidelva 2. Det er stor sannsynlighet at stedet Nidelva 1 ble tatt ligger innenfor området der det gikk et marint ras i 1990 (jf. figur 7 og 25). Derfor vil Nidelva 2 brukes til å regne ut sedimenteringshastigheten og til prøve å identifisere hendelser. Det å bruke denne sedimentprøven er også mer egnet for sammenligning med de andre lokalitetene siden avstanden til elvemunningen er mer lik den for prøvene tatt i fjorden utenfor Gaula og Orkla. Nidelva 1 vil inkluderes i delen der forurensningssituasjonene i fjorden utenfor Nidelva diskuteres. Grunnen til dette er at lokaliteten vil gjøre vurderingen mer representativ med tanke på de mange rasene som har gått i området og fordi den ligger nærmere den aktive havnen. Dette vil gi et mer komplett bilde over forurensningssituasjonen.

5.3.1 Dybdeprofiler og normaliseringer med aluminium

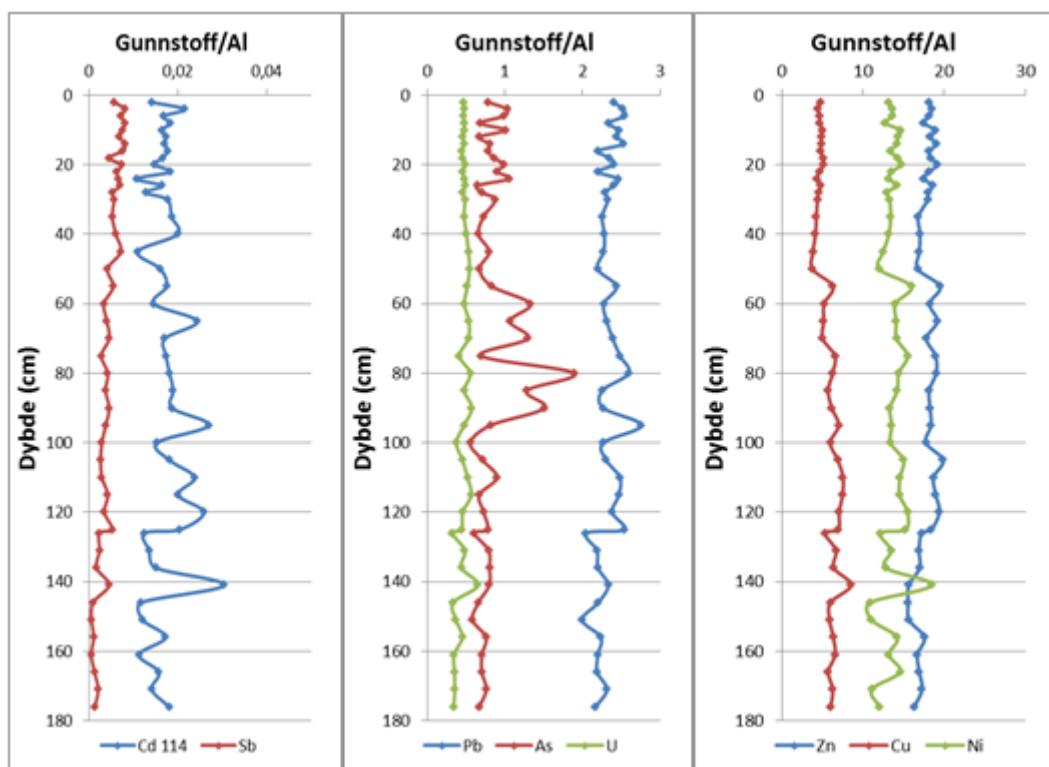
Dybdeprofilen til aluminium (jf. figur 42) fra Nidelva 2 viser en synkende trend i aluminiumkonsentrasjonen. Over 50 cm er konsentrasjonen mer stabil og synker ikke like mye som før dette. Konsentrasjonene er derfor noe lavere over 50 cm enn under. Medianen for sedimentkjernen er 38 841 ppm og de høyeste aluminiumkonsentrasjonene finner en ved 100-105 cm, ved 126 cm og mellom 146-176 cm (de er nesten alle over 50 000 ppm). Ved

141 cm er det en markant nedgang i aluminiumkonsentrasjonen og den faller ned til 21 480 ppm. Dette er den laveste aluminiumkonsentrasjonen.

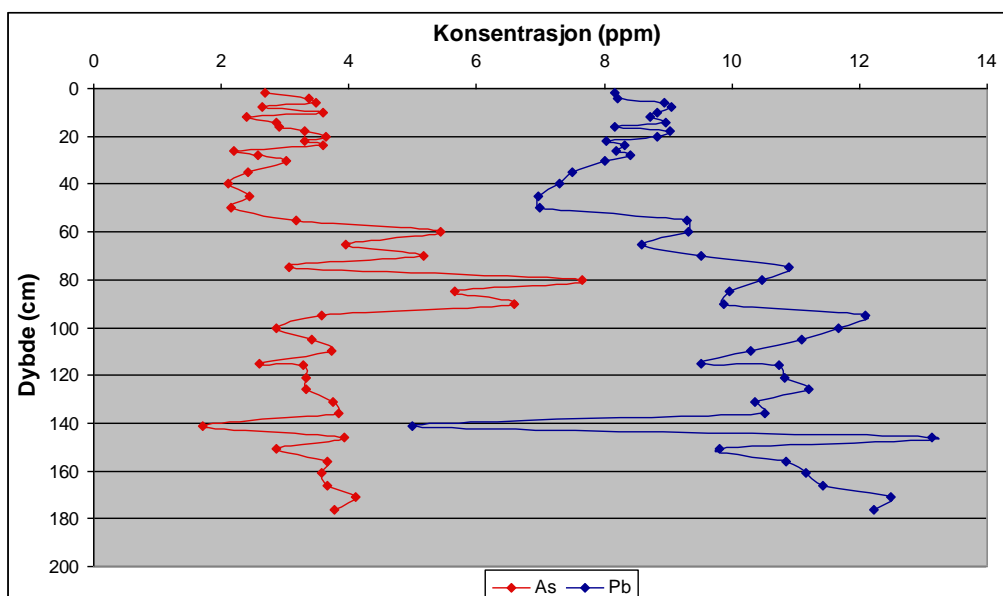


Figur 42: Dybdeprofilen til aluminium for Nidelva 2.

I Al-normaliseringen for arsen (jf. figur 43) er det største positive utslaget ved 80 cm, og dette punktet skiller seg klart ut i fra de andre. Hvis en også studerer dybdeprofilen for arsen (jf. figur 44) ser en at konsentrasjonen er høy her, 7,65 ppm, i forhold til medianen på 3,32 ppm. De høyeste konsentrasjonene for arsen ligger mellom 60 og 90 cm. Disse punktene gjenspeiler seg også i Al-normaliseringen, og vi kan anta at de høye konsentrasjonene stammer fra antropogene kilder og ikke fra naturlige kilder. Aluminiumkonsentrasjonene er i dette området også stabile og disse positiveutslagene vil kunne skyldes en antropogen kilde.



Figur 43: Al-normaliseringer for Nidelva 2. Det første diagrammet viser antimon (rød) og kadmium (blå), det andre diagrammet viser uran (grønn), arsen (rød) og bly (blå) og det tredje viser kobber (rød), nikkel (grønn) og sink (blå).



Figur 44: Dybdeprofiler til arsen (rød) og bly (blå) fra sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybdeprofilen for bly (jf. figur 44) ligner svært på dybdeprofilen for aluminium (jf. figur 42). Korrelasjonene mellom disse er god ($r^2 = 0,89$, jf. vedlegg 12). Dette kan bety at det er stor

sannsynlighet for at de stammer fra samme kilde. Al-normaliseringen for bly er svært rett og det største utslaget en kan se er et positivt utslag ved 95 cm.

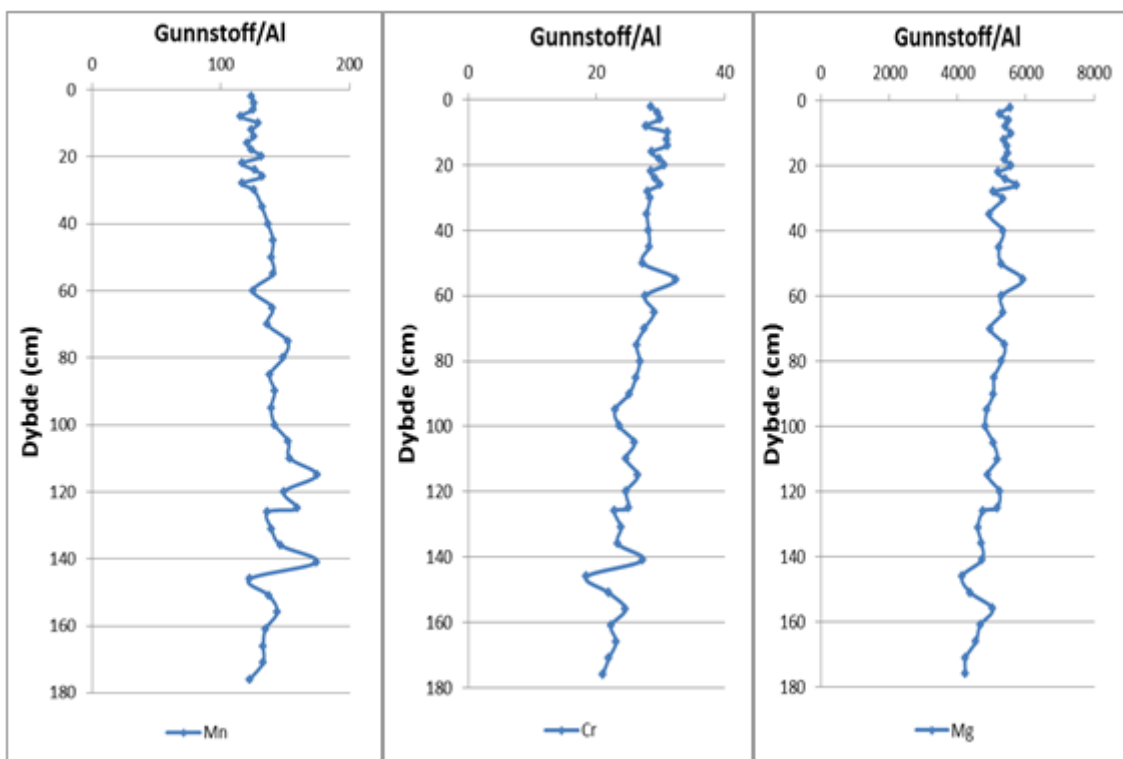
Dybden 141 cm skiller seg ut med positive utslag i Al-normaliseringene for blant annet kadmium, nikkel, kobber, antimon, og uran (jf. figur 43). Dette er et punkt som i dybdeprofilen for aluminium har en markant lav konsentrasjon. Derfor er det interessant at Al-normaliseringen for blant annet sink og arsen (jf. figur 43) ikke har disse utslagene. For eksempel viser dybdeprofilen for arsen at ved 141 cm finnes den laveste konsentrasjonen på 1,72 ppm. Dette tyder på at den lave konsentrasjonen synker proporsjonalt med aluminiumkonsentrasjonen og oppstår av naturlige årsaker. Det samme gjelder da konsentrasjonen for sink (jf. vedlegg 8). Sink korrelerer bra med aluminium ($r^2 = 0,89$, jf. vedlegg 12), og dette tyder på at de i stor grad kommer fra samme kilde. Arsen korrelerer ikke bra med aluminium ($r^2 = 0,12$, jf. vedlegg 12), og kan tyde på at de i stor grad ikke kommer fra samme kilde. I korrelasjonsplottet (jf. vedlegg 12) er det 4 punkter som skiller seg ut og viser tilførsel fra antropogene kilder

Dybdeprofilene for kadmium, antimon, nikkel og kobber (jf. vedlegg 8) ved 141 cm dybde viser også en nedgang i konsentrasjon, men denne nedgang er ikke proporsjonal med nedgangen i aluminiumkonsentrasjonen. Dette tyder på at disse stoffene har en annen kilde enn berggrunnen og dette bekreftes ved at kadmium korrelerer dårlig med aluminium ($r^2 = 0,09$, jf. vedlegg 12). Nikkel og kobber korrelerer bra med aluminium (r^2 på henholdsvis 0,73 og 0,77, jf. vedlegg 12), men dette er et av de punktene de ikke gjør det. Antimon (jf. vedlegg 8) har en lav konsentrasjon ved 141 cm, men har generelt lave konsentrasjoner mellom 131-176 cm. Det er også dårlig korrelasjon mellom antimon og aluminium ($r^2 = 0,38$, jf. vedlegg 12), det er derfor lite sannsynlig at antimon kommer fra samme kilde som aluminium.

Resultatene fra Al-normaliseringene for bly, kobber, nikkel og sink (jf. figur 43) viser et negativt utslag ved 50 cm. Etter dette stabiliserer Al-normaliseringene seg og de er svært rette igjen. Aluminiumkonsentrasjonen ved 50 cm synker kraftig og stabiliserer seg etter dette og kan forklare det negative utslaget. Ved 55 cm i Al-normaliseringene kan det ses små positive utslag for blant annet sink, kobber, nikkel og bly. Dette er med på å gjøre det negative utslaget ned til 50 cm mer markant enn det kanskje egentlig er.

Mange Al-normaliseringer har svakt positive eller negative tendenser, men utslagene er små og uten en spesifikk startdybde. Eksempler på dette er krom, mangan og antimon (jf. figur 45) som har et lite positivt utslag, mens mangan og kobber har en liten negativ trend fra rundt 141 cm og oppover.

I Al-normaliseringene for magnesium og krom (jf. figur 45) er det et lite positivt utslag ved 55 cm. Aluminiumkonsentrasjonen ved 55 cm er ikke spesielt høyt, men etter ved 50 cm synker konsentrasjonen en del. Dette kan tyde på at de positive utslagene ved 55 cm for krom og magnesium kan stamme fra antropogene kilder.



Figur 45: Al-normaliseringer for Nidelva 2. Det første diagrammet viser mangan, det andre diagrammet viser krom og det tredje viser magnesium.

Tabell 23 viser en oversikt over de mest interessante funnene fra sedimentkjernen Nidelva 2.

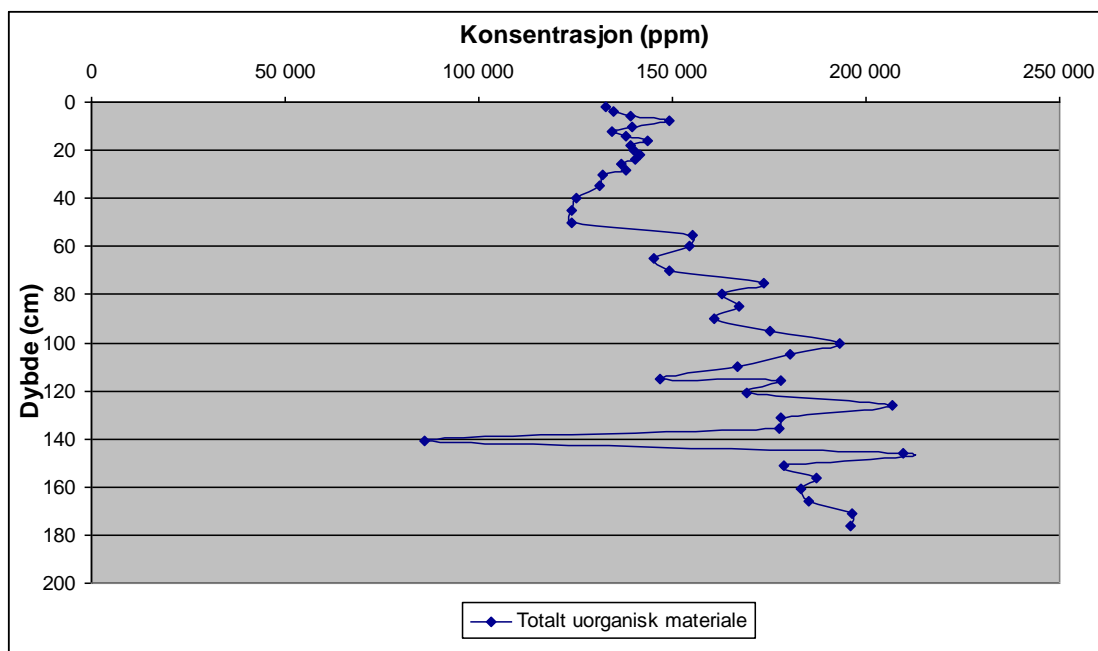
Tabell 23: Interessante funn i sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde	Grunnstoff	Kommentar
50 cm	Cd, Sb, Ni og Cu	Lite utslag
55 cm	Zn, Cu, Ni, Pb, Mg og Cr	Lite utslag
60-90 cm	As	Markante utslag
95 cm	Pb	Lite utslag
141 cm	Cd, Ni, Cu, Sb og U	Markant utslag
Hele sedimentkjernen	Al	Endring i konsentrasjon

5.3.2 Sedimenteringshastighet

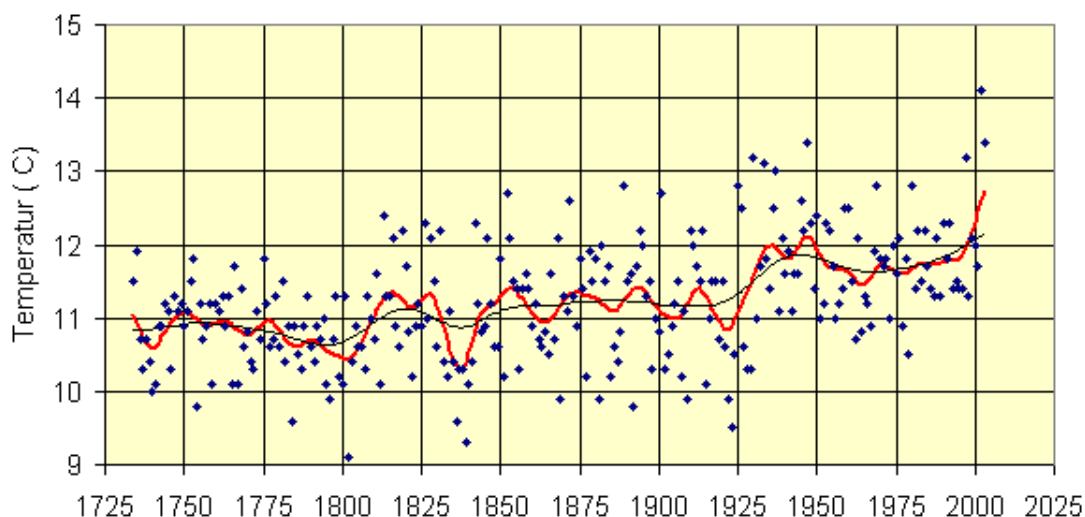
I Al-normaliseringene fra Nidelva 2 er det ingen klare utslag som en kan knytte til noen spesiell historisk hendelse eller trend. Det er ingen tegn til økte konsentrasjoner av metallene i de øverste lagene, og Al-normaliseringene er forholdsvis rette. I tillegg har få metaller utslag ved samme dybde. Et positivt utslag av kun ett grunnstoff kan det være vanskelig å knytte til en bestemt kilde fordi grunnstoffet kan stamme fra flere kilder. Det at Trondheim har en rekke kilder som overlapper hverandre tidsmessig gjør identifiseringen av kilder vanskeligere. Dette fører til to mulige måter å finne sedimenteringshastigheten på. Den første er å bruke et utslag i konsentrasjonen til aluminium og totalt uorganisk materiale og knytte dette til klima. Det andre er å prøve å finne noe som kan forklare noen av de små positive utslagene i Al-normaliseringene. Dette er ikke ideelt og medfører større usikkerhet i og med at Al-normaliseringene og dybdeprofilene er bedre egnet til å vise trender over lengere perioder.

Det er mulig å se et markant negativt utslag for kobber, sink, nikkel og bly mellom 50-55 cm i Al-normaliseringene (jf. figur 43). Denne nedgangen finnes til dels også i Al-normaliseringen for arsen (jf. figur 43). Dybdeprofilene for arsen og bly (jf. figur 44) viser en tydelig nedgang i konsentrasjon mellom 50 cm og 55 cm. Aluminiumkonsentrasjonen og den totale uorganiske fraksjonen korrelerer bra ($r^2 = 0,96$, jf. vedlegg 12), og dette bygger opp under påstanden at aluminiumkonsentrasjonen kommer fra berggrunnen. Ved 50 cm synker aluminium konsentrasjonen og også den totale uorganiske fraksjonen (jf. figur 42 og 46), og den holder seg stabil helt til 40 cm. Det vil si at vi har en periode på 10 cm hvor både aluminiumkonsentrasjonen og det totale uorganiske materialet er lavt. Dybdeprofilene for kobber, sink, nikkel og bly (jf. figur 44 og vedlegg 8) viser at dette også gjelder konsentrasjonen for disse grunnstoffene.



Figur 46: Dybdeprofilen totalt uorganisk materiale for Nidelva 2.

Lav aluminiumkonsentrasjon tyder enten på varmt vær (økt total organisk fraksjon) eller kaldt vær (mindre avrenning fra berggrunnen). Den totale uorganiske fraksjonen er også lav og tyder på høy fraksjon av totalt organisk materiale, og dette støtter opp om påstanden om at den lave aluminiumkonsentrasjonen kommer fra varmt vær. Siden begge konsentrasjonene holder seg slik over en periode er det mulig å se etter en periode med høye temperaturer. Dateringen funnet for sedimentkjernene tatt utenfor Orkla og Gaula viste at de ved 40-50 cm at dateringen ved denne dybden var mellom henholdsvis 1684-1750 og 1753-1805. I og med at sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula er tatt ved samme avstand som Nidelva 2 er det størst sannsynlighet for at den følger samme sedimenteringshastighet. Derfor kan det letes etter varmeperioder mellom 1753-1805.



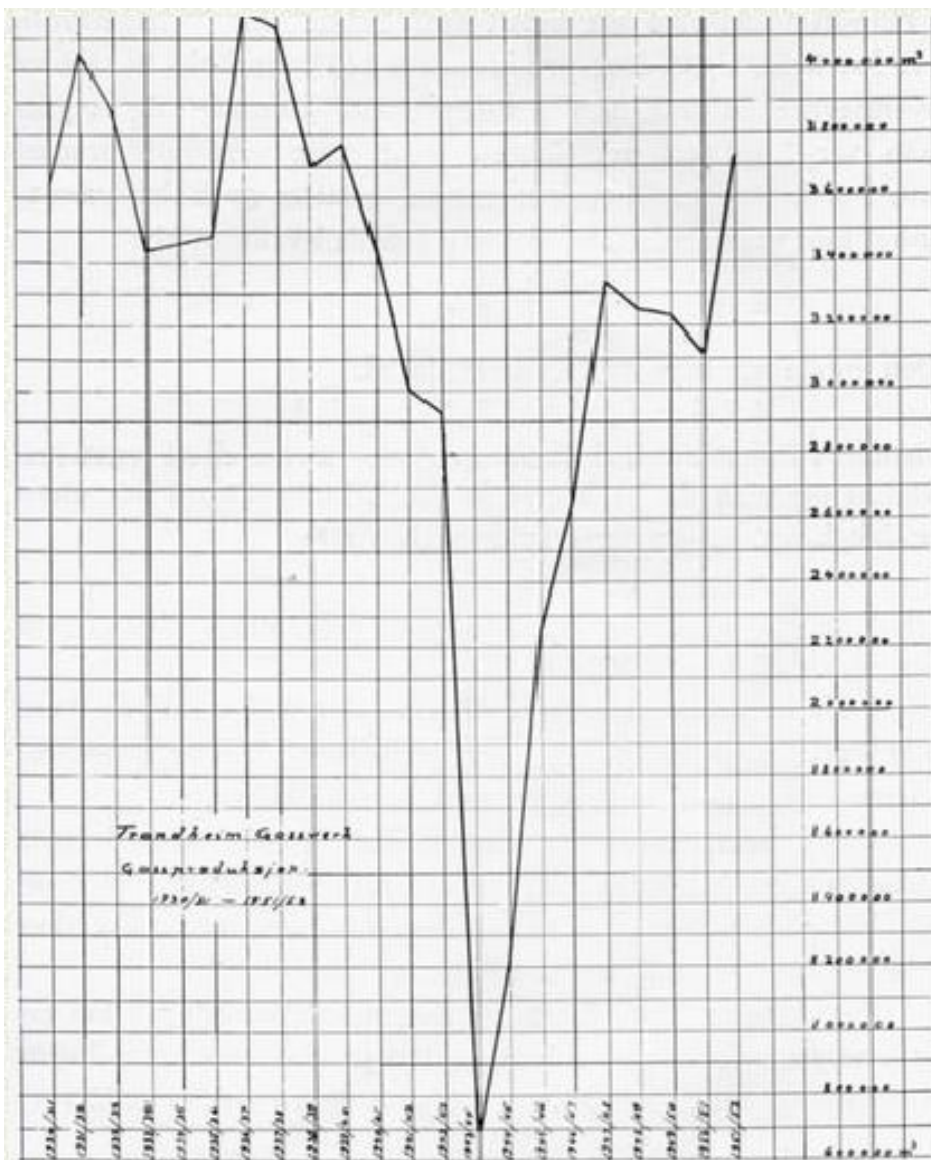
Figur 47: Temperaturendringer på den nordlige halvkule fra 1725 (Meteorologisk institutt, udatert).

Figur 47 viser topper med høy og stabil temperatur kan finnes ved omtrent 1813-1830 og 1935-1945. Hvis en antar omtrent samme sedimenteringshastighet som i Gaula vil 1813-1830 være perioden som samsvarer best. Hvis dette skulle stemme vil gjennomsnittlig sedimenteringshastigheten være på 2,4 mm/år (jf. ligning 22 og 23).

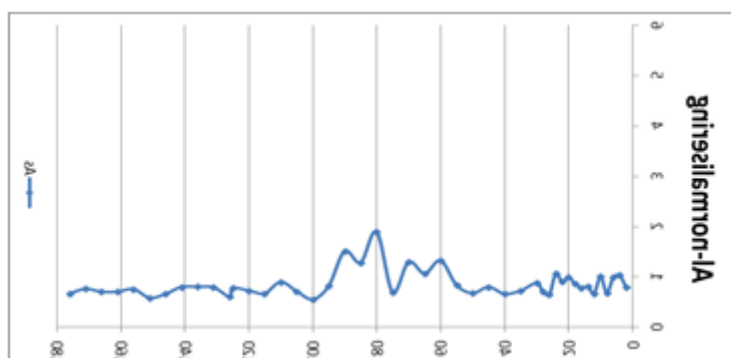
$$500 \text{ mm}/200 \text{ år} = 2,5 \text{ mm/år} \quad (22)$$

$$400 \text{ mm}/183 \text{ år} = 2,2 \text{ mm/år} \quad (23)$$

Den andre muligheten er å se på Al-normaliseringen og den som skiller seg mest ut med tanke på utslag er den for arsen (jf. figur 43), som har flere positive utslag mellom 60-90 cm. Arsen er et typisk biprodukt fra gruvedrift og kan komme fra blant annet kjemisk avfall, energiproduksjon, smelteverk og raffinering (jf. tabell 6 og 7) eller det kan komme av kontaminerte fosfatgjødsler. I følge Alloway (2013, s. 244) har berikelser med arsen i dybdeprofiler fra myr kunne forklares med økt brensel av kull. Trondheim har hatt to gassverk, en på Kalvskinnet og en ved Jarlheimsletta (jf. tabell). Lademoen historielag (2011) forteller at disse var drevet på kull. Gassverket på Kalvskinnet ble åpnet i 1853 og gassforbruket fordoblet seg fra 1878 til 1892, fra 1892 til 1910 og den neste fra 1910 til 1914/15. Før andre verdenskrig var den høyeste årsproduksjonen i 1919/20 på 4,89 millioner m³. Figur 48 viser gassproduksjonskurven mellom 1930/31 og 1951/52.



Figur 48: a) Gassproduksjon mellom 1930/31 og 1951/52. X aksen viser år, men y-aksen viser produksjonsmengde i m³.



Figur 49: AI-normaliseringen for arsen fra Nidelva 2 lagt på siden og speilvendt.

Selve verdiene i figur 48 er av betydning, men hvis denne kurven sammenlignes denne med Al-normaliseringen for arsen (jf. figur 49) mellom 60 cm og 90 cm er de veldig like. Dette kan forklare de høye arsenkonsentrasjonene, men den høye gassproduksjonen blant annet i 1919/20 taler i mot dette. Den var 4,89 millioner m³, mens den høyeste verdien i perioden 1930/31-1951/52 var på 4,2 millioner m³. Hvis dette derimot skulle stemme vil sedimenteringshastigheten kunne være:

$$900 \text{ mm}/83 \text{ år} = 10,8 \text{ mm/år} \quad (24)$$

$$600 \text{ mm}/61 \text{ år} = 9,8 \text{ mm/år} \quad (25)$$

Gjennomsnittlig gir dette en sedimenteringshastighet på 10 mm/år.

Der er også mulig at de høye arsenutslagene stammer fra annen industri. Et eksempel er aktiviteten til AS Killingdal, men hvis de høye konsentrasjonene skulle skyldes dette kunne det forventes å finne utslag av andre metaller som kobber, sink, kadmium og bly.

Lademoen historielag (2011) nevner at det ble drevet gassverk i Trondheim mellom 1853-1953. Dette gir et scenario hvor arsen utslagene viser hele perioden for gasskraftverket. Dette gir oss sedimenteringshastigheter på:

$$900 \text{ mm}/ 160 \text{ år} = 5,6 \text{ mm/år} \quad (26)$$

$$600 \text{ mm}/ 62 \text{ år} = 9,7 \text{ mm/år} \quad (27)$$

I og med at det er sannsynlig at andre kilder til arsen har bidratt til de tidlige (60-70 cm) positive utslagene vil sedimenteringshastigheten fra 5,6 mm/år brukes. Sammenligning av disse to sedimenteringshastighetene funnet (jf. ligning 26 og 27) for arsen er forklaringen for sedimenteringshastigheten 5,6 mm/år mest sannsynlig og denne vil derfor brukes.

Sedimenteringshastighetene 2,5 mm/år og 5,6 mm/år vil gi oss to svært ulike dateringer for Nidelva 2 og disse vises i tabell 24.

Tabell 24: To mulige sedimenteringshastigheter for Nidelva 2.

2,4 mm/år		5,6 mm/år	
Dybde (cm)	År	Dybde (cm)	År
2	2005	2	2009
4	1996	4	2006
6	1988	6	2002
8	1980	8	1999
10	1972	10	1995
12	1963	12	1991
14	1955	14	1988
16	1947	16	1984
18	1938	18	1981
20	1930	20	1977
22	1922	22	1973
24	1913	24	1970
26	1905	26	1966
28	1897	28	1963
30	1889	30	1959
35	1868	35	1950
40	1847	40	1941
45	1826	45	1932
50	1805	50	1923
55	1785	55	1915
60	1764	60	1906
65	1743	65	1897
70	1722	70	1888
75	1701	75	1879
80	1681	80	1870
85	1660	85	1861
90	1639	90	1852
95	1618	95	1843
100	1597	100	1834
105	1577	105	1826
110	1556	110	1817
115	1535	115	1808
120	1514	120	1799
125	1493	125	1790
126	1490	126	1788
131	1468	131	1779
136	1448	136	1770
141	1427	141	1761
146	1406	146	1753
151	1385	151	1744
156	1364	156	1735
161	1344	161	1726
166	1323	166	1717
171	1302	171	1708
176	1281	176	1699

For fjorden er det mest sannsynlig at den sedimenteringshastigheten som er riktig er den på 2,4 mm/år, men det er mulig at begge disse to hendelsene stemmer. Vannføring er en av faktorene som påvirker sedimentering og Nidelva ikke er en like stor flomelv som de to andre elvene. Derfor heller usannsynlig at sedimenteringshastigheten skal variere mer utenfor Nidelva enn det den har gjort i både Orkla og Gaula. Det er imidlertid noen ting som kan forklare en slik høy sedimenteringshastighet som ikke er knyttet til mengde partikkelmasse i selve elven. For eksempel de mange marine ras i området, utbyggingen av havnene, den høye båttrafikken og kloakkutslipp.

Kloakkutslipp kan komme fra Ladehammeren renseanlegg som ligger i nærheten av der Nidelva 1 ble tatt, men det er mulig at strømmen fra blant annet elva fører dette med til hvor Nidelva 2 ble tatt. Ladehammeren renseanlegg slipper ut rensed kloakk i 2 utslippsledninger 300 m fra land på 42 meters dyp (Trondheim kommune, 2009). Det er også mulig at årsakene som kan ha ført til høyere sedimenteringshastighet har ført til en høyere sedimenteringshastighet de senere årene. Dette kan ha ført til at dybdeprofilene og Al-normaliseringene har blitt mer ujevne og at det øverste laget strekker seg over noen få år. For eksempel ble Ladehammeren renseanlegg først åpnet i 1992 (Trondheim kommune, 2007).

5.3.3 Hendelser

55 cm:

I Al-normaliseringen for Nidelva 2 er det positive utslag for krom, magnesium, sink, kobber, nikkel og bly ved 55 cm (jf. figur 43 og 45). For å finne hva dette kan være har de vanligste kildene (de med høyest utslipp) for antropogene og naturlige kilder til atmosfæren (jf. tabell 5 og 6) og de vanligste kildene til forurensning i vann (jf. tabell 7) blitt listet opp i tabell 25. Metallene som bidrar mye har blitt haket av slik at en for en oversikt over de mulige kildene til disse utslagene.

Mange av disse ulike kildene er mulige for Trondheim. Av de antropogene kildene er både energiproduksjon, industrielt avfall, smelteverk og raffinering, produksjonsprosesser og avfallsforbrenning mulig. De mulige antropogene kilder i Trondheim er forbrenningsanleggene St. Olavs hospital og Heimdal, byens krematorier, metall og galvanotekniske industri som Ila jern, Ila stålindustri og Ila og Lilleby smelteverk eller energiproduksjon gjennom gassverk. Mange av disse er nedlagte i dag, men ved 55 cm er de mulige kilder hvis sedimenteringshastigheten ikke er høy. Det er vanskelig å si akkurat hvilke

kilder som har ført til dette utslaget ved 55 cm i Al-normaliseringene på grunn av tidsmessig overlapping mellom disse kildene. Disse kildene er også kilder som skal ha forurenset i en lengere periode og det er derfor mulig at dette utslaget har vært et punktutslipp ved for eksempel en ulykke ved et av disse anleggene.

Tabell 25: De vanligste kildene til berikelse av noen metaller i atmosfæren og vann.

Aktivitet	Cr	Mg	Zn	Cu	Ni	Pb
Energiproduksjon	x		x	x	x	x
Skogbranner			x	x		
Industrielt avfall			x	x		x
Surt gruvevann						
Smelteverk og raffinering			x	x		x
Vulkaner	x		x	x	x	
Produksjonsprosesser	x			x		x
Metallbelegg	x		x	x		
Rørsystem			x			
Mikrobial aktivitet/Biologiske kilder			x			
Avfallsforbrenning	x					
Gruvedrift				x		x
Brensel						x
Jordpartikler fra vind	x				x	
Kunstgjødsler		x				

Selv om sannsynligheten for å treffe en enkelthendelse er liten er det mulig at det er en naturlig kilde bak dette utslaget, som for eksempel et vulkanutbrudd. Et vulkanutbrudd slipper ut metaller som antimon, arsen, krom, kobolt, kobber, bly, mangan, kvikksølv, molybden, nikkel selen, vanadium og sink. Positive utslag for krom, sink, kobber, nikkel og bly er allerede registeret. Hvis en ser på Al-normaliseringen for kadmium, kvikksølv, antimon og vanadium (jf. figur 43 og vedlegg 10) er det vanskelig si om det er et utslag ved 55 cm. Verdiene varierer i stor grad og det lille positive utslaget er veldig lite. Dybdeprofilene til vanadium, kvikksølv og antimon (jf. vedlegg 8) viser at konsentrasjonene varierer mye og det er vanskelig å fastslå noen utslag for disse ved 55 cm. I dybdeprofilen til kadmium (jf. vedlegg 8) er konsentrasjonene ved 55 cm den sjette høyeste konsentrasjonen og dette kan tyde på et positivt utslag ved 55 cm. Al-normaliseringene for arsen, mangan, molybden og selen (jf. figur 43 og 45 og vedlegg 10) viser ingen utslag ved 55 cm og dybdeprofilene (jf. figur 44 og vedlegg 8) viser en nedgang i konsentrasjon for molybden, arsen og selen, men en økende verdi for mangan. Kobolts Al-normalisering (jf. vedlegg 8) er den eneste som viser et utslag ved 55 cm og konsentrasjonen i dybdeprofilen (jf. vedlegg 10) er ved en topp.

Det vil si at det finnes positive utslag for krom, sink, kobber, nikkel, bly og kobolt og i tillegg kan det være utslag for kadmium og mangan. Hvis sedimenteringshastigheten 2,4 mm/år stemmer vil 55 cm kunne ligge rundt 1785, og i 1783 var det et vulkanutbrudd på Island med en vulkansk eksplosivitetsindeks på 4. Dette er derfor en mulig kilde til dette utslaget.

141 cm og aluminium:

Dybdeprofilen til aluminium ved Nidelva 2 viser en markant nedgang i aluminiumkonsentrasjonen ved 141 cm og Al-normaliseringene til noen av grunnstoffene gir store positive utslag selv om konsentrasjonen deres i dybdeprofilen synker kraftig. Dette vil være fordi de ikke synker proporsjonalt med aluminiumkonsentrasjonen. Et eksempel på dette er nikkel (jf. figur 43). Andre igjen som sink (jf. figur 43) viser at den synker proporsjonalt med aluminiumkonsentrasjonen og har ingen utslag i Al-normaliseringen. Lav aluminiumkonsentrasjon, kan som nevnt tidligere, indikerer en varm eller en kald periode. Mens en lav total uorganisk konsentrasjon kan tyde på en stor organisk fraksjon og en varm periode. Dybdeprofilen for totalt uorganisk materiale (jf. figur 46) viser en veldig lav fraksjon ved 141 cm. Det at den organiske fraksjonen ser ut til å være så stor kan også skyldes biologisk liv, for eksempel at et dyr dør og synker til bunnen.

Hvis den lave aluminiumkonsentrasjonene kommer av en periode med varmt vær og sedimenteringshastigheten 2,4 mm/år stemmer vil dateringen være rundt 1426. Det er kjent at det var en varmere periode før den lille istid (1500-1850) og i følge Lauritzen og Lundberg (1999) ble det målt en varm periode i Paris med topper rundt 1375-1425. Denne perioden i Paris passer godt med deres målinger gjort i Norge. Dette passer godt med sedimenteringshastigheten 2,4 mm/år. I og med at avskjæringsintervallene er store (5 cm mellom 146-136 cm) og med en sedimenteringshastighet på 2,4 mm/år utgjør perioden 1406-1448. Derfor kan punktet med lav aluminiumkonsentrasjonen være lengere enn den synes å være. For å justere for dette er det mulig å si at 141 cm kan være rundt 1400.

Dette kan tyde på at de høye konsentrasjonene av aluminium og total uorganisk materiale mellom 126-75 cm kan være den lille istid (1500-1850). Over dette synker konsentrasjonene ved 70 cm og holder seg relativt stabil til 55 cm og dette kan forklare den trege oppvarmingen etter 1850. Deretter synker konsentrasjonen igjen og kan være den varmere perioden fra 1930.

Oppsummering:

Tabell 26 viser hendelser med antatt datering og nye sedimenteringshastigheter etter dateringene. Sedimenteringshastighetene utregnet ved hjelp av klima er merket grønn, mens de kalkulert ut i fra de høye arsenkonsentrasjonene er merket blå.

Tabell 26: Antatte hendelser i dybdeprofilen for Nidelva 2 (Sedimenteringshastighet forkortes i denne tabellen til Sh.).

Dybde (cm)	År	Grunnstoff	Kommentar	Sh.
				6 mm/år 2,4 mm/år
50	1930 1813-1830	Lav Al og tot. uorg.	Varm periode	
55	1783		Mulig vulkan utbrudd på Island Gasskraftverk stengt	
60		As		
65		As		
70		As		3,1 mm/år
75	1850	Høy Al og tot. urog., As	Slutten på den lille istiden.	
80		As		
85		As		5,6 mm/år 10 mm/år
90	1853 1923	As	Gasskraftverk åpnet. Etter produksjon kurven.	
				1,5 mm/år
126	1500	Høy Al og tot. uorg.	Starten på den lille istid.	
				1,5 mm/år
141	1400	Lav Al	Varm periode.	
146		Sb	Sb begynner å øke.	

Det er svært vanskelig å bestemme en sedimenteringshastighet for Nidelva i 5.5.2. I tabell 26 er det en sedimenteringshastighet på 1,5 mm/år i de nederste lagene. Dette er en sedimenteringshastighet som samsvarer bedre med forventningen på 1-2 mm/år. Hvis en antar at ulike aktiviteter, som marine ras, endring av elveutløpet, utbygning av havnen, båttrafikk og annet, har ført til en tidvis endret sedimenteringshastighet i de øverste lagene kan dette være den normale sedimenteringshastigheten for den partikkelmassen Nidelva normalt bidrar med. Det er imidlertid et usikkerhetsmoment med denne regningen, som ikke gjelder de andre; regningen er gjort i det området i sedimentkjernen hvor intervallene er større (5 cm). Det er mulig at sedimenteringshastigheten i denne delen av fjorden har endret seg med tiden,

for eksempel av endringer på havbunnen som fører til at strømmen har endret løp og også det at elveutløpet har endret seg mye fra 1875 (jf. figur 7). Fram til 1875 ser det ut til at elveutløpet pekte i samme retning som dagens elveutløp, mens i 1875 ble elvemunningen flyttet mot nord. I 1952 ble det flyttet igjen og elvemunningen var mer rettet mot dagens elveutløp. Elveutløpet fram til 1875 ville ha flyttet prøvepunktet omtrent 1 km bort i fra prøvepunktet. Det vil si en total lengde på omtrent 3 km fra prøvepunktet og det kan også forklare at sedimenteringshastigheten er mer lik den sedimenteringshastigheten som er funnet for fjorden utenfor Orkla (2,5 km fra prøvepunktet) enn i fjorden utenfor Gaula (2 km fra prøvepunktet).

5.3.4 Forurensing

Rapporter basert på Trondheim havn forteller oss at havnen er sterkt forurenset, og skal til og med være blant landets mest forurensete havner. Dette er ikke mulig å se dette i disse sedimentprøvene, mest sannsynlig fordi de er tatt i motsatt ende av havnen i forhold til Ila og et stykke unna båthavnene. Avrenningen fra Ila har for det meste inneholdt mye sink, kobber, kadmium og bly. I byjord kan det forventes å finne forurensning av blant annet bly, sink og kadmium og på grunn av avrenning kan det forventes å finne dette i sedimentene utenfor havnen også.

Annen aktivitet nærmere knyttet til Ladehammeren og Østmarknesset Ladehammeren renseanlegg og krigsetterlatenskaper. Ved Ladehammeren (området hvor Nidelv 1 ble tatt) er det registrert krigsetterlatenskap (tønner med klorsulfonsyre) som etter et ras i 1944 ble fraktet lenger ut i fjorden. I 1993 ble en slik tønne observert og denne ble fjernet i 1995. Ved Østmarkneset (området hvor Nidelva 2 prøven ble tatt) ble det under andre verdenskrig dumpet krigsmateriell. Blant annet ble eksplosiver sprengt og det ble dumpet uidentifiserbare kjemikalier (Laugesen, Møskeland og Kelley, 2003).

For å vurdere forurensningen av sedimentene brukes forurensningskriteriene fra KLIF (jf. tabell 9 og figur 23). Sammenligningene gjøres opp mot gjennomsnittet av de øverste 20 cm for å gi et bilde av dagens forurensningsnivå og i tillegg blir den høyeste verdien fra de øverste 20 cm vurdert. Tabell 27 viser resultatene for Nidelva 2, mens tabell 28 viser resultatene for Nidelva 1.

Tabell 27: Forurensingskriterier for gjennomsnittverdien av de øverste 20 cm og den høyeste verdien i de øverste 20 cm for Nidelva 2.

Metall	Gjennomsnitt (ppm)	Klassifisering	Høyeste verdi (ppm)	Klassifisering
As	3,5	I Bakgrunn	3,6	I Bakgrunn
Pb	8,7	I Bakgrunn	9,1	I Bakgrunn
Cd	0,060	I Bakgrunn	0,080	I Bakgrunn
Cu	17	I Bakgrunn	20	I Bakgrunn
Cr	107	II God	114	II God
Hg	0,0080	I Bakgrunn	0,018	I Bakgrunn
Ni	50	III Moderat	55	III Moderat
Zn	66	I Bakgrunn	70	I Bakgrunn

Gjennomsnittet av de ulike metallene viser at sedimentene ved der Nidelva 2 er tatt ikke er sterkt forurenset, alle metallene klassifiseres som bakgrunnsnivå eller som god bortsett fra nikkel som er moderat. Krom er det eneste av metallene som klassifiseres som god og ligger mye nærmere bakgrunnsnivået enn det moderate nivået. Dette gjelder også hvis en ser på den høyeste verdien av krom. Dette viser at nikkel er det eneste av metallene som klassifiseres som forurenset og er også klassifisert som moderat ved sin høyeste verdi. Effekten av den høye nikkel konsentrasjonen vil være kroniske effekter ved langtidseksposering.

Tabell 28: Forurensingskriterier for gjennomsnittverdien av de 20 øverste cm og den høyeste verdien i de 20 øverste cm for Nidelva 1.

Metall	Gjennomsnitt (ppm)	Klassifisering	Høyeste verdi (ppm)	Klassifisering
As	2	I Bakgrunn	3	I Bakgrunn
Pb	7	I Bakgrunn	12	I Bakgrunn
Cd	0,07	I Bakgrunn	0,09	I Bakgrunn
Cu	21	I Bakgrunn	34	I Bakgrunn
Cr	84	II God	119	II God
Hg	0,007	I Bakgrunn	0,03	I Bakgrunn
Ni	40	II God	63	III Moderat
Zn	50	I Bakgrunn	83	I Bakgrunn

Nidelva 1 (jf. tabell 25) som er tatt mye nærmere havnen og elvemunningen, viser stort sett de samme resultatene. Eneste forskjellen er at i gjennomsnittet klassifiseres nikkel som god.

Nikkel kan komme fra berggrunn (og finnes i nesten alle bergtyper), industrielle aktiviteter og spesielt produksjon av rustfritt stål, bruk av kloakkslam i jordbruk, utslipp i forbindelse med metallbehandlings operasjoner og forbrenning av kull og olje (Alloway, 2013, s. 313 og 317).

Nikkel er det eneste metallet som forurenses alle fjordene. Andersson, Ottesen og Langedal (2010) konkluderer i sin rapport om overflatejord i Trondheim at nikkels (og krom) opprinnelse i Trondheim er naturlig og stammer fra grønnstein som i området har høye nikkel (og krom) verdier.

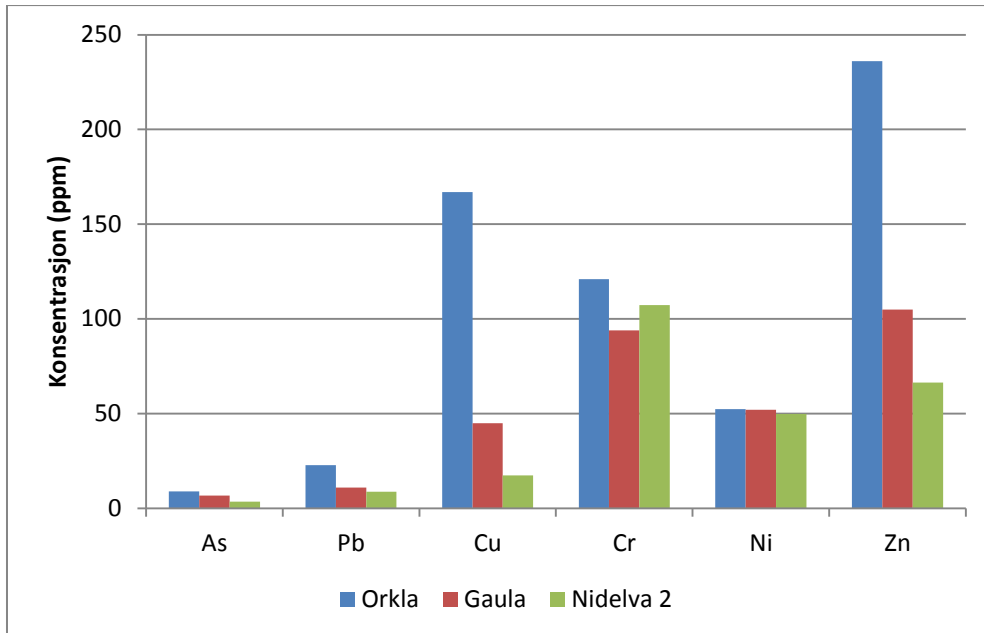
Disse resultatene stemmer også overens med resultater fra en tiltaksanalyse av sedimentene i Trondheimhavn og omgivelsene rundt fra 2003. Et av områdene de sjekket var Ladehammeren-Østmarkneset og området var da generelt lite forurenset. Det ble registrert høyere konsentrasjoner av kvikksølv ved den ene prøvelokaliteten, men denne lokaliteten var nær Nyhavna og ble antatt å ikke være representativ for prøveområdet. Det ble funnet noen organiske miljøgifter og området ble ansett for å være forurenset med organiske miljøgifter (Laugesen, Møskeland og Kelley, 2003).

5.4 Sammenligning av sedimentkjernene

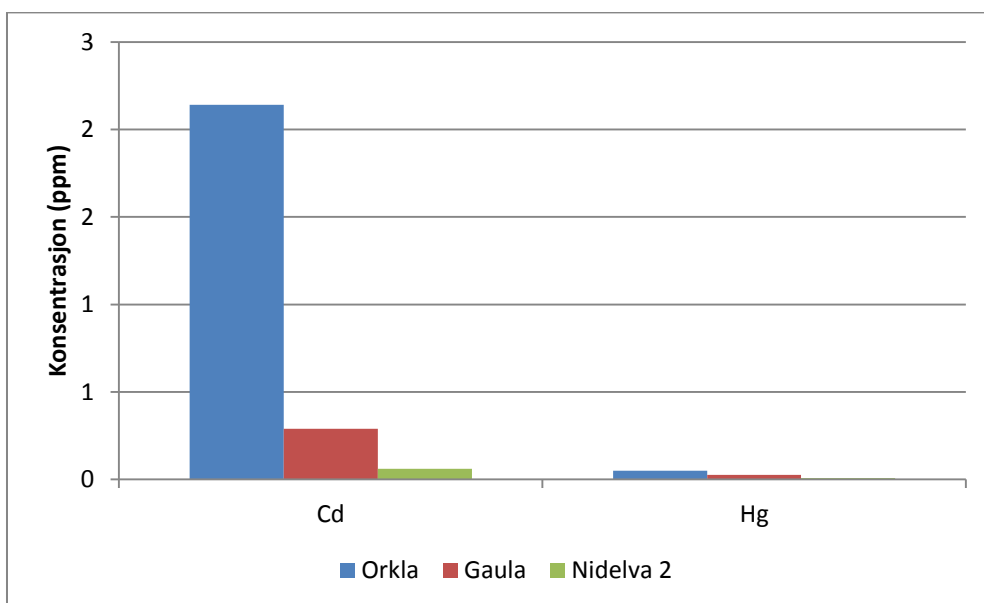
Sedimentkjernene tatt i Trondheimsfjorden utenfor Orkla, Gaula og Nidelva er alle tatt 2-2,5 km fra elvemunningen. En kunne derfor forvente relativ lik sedimenteringshastighet i alle elvene. Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla er tatt litt lengere ut fra elvemunningen enn de to andre og en kunne derfor forvente lavest sedimenteringshastighet i denne sedimentkjernen. De utregnede sedimenteringshastighetene for fjorden utenfor Orkla er på 1,52 mm/år, mens den er 1,9 mm/år i fjorden utenfor Gaula. Dette samsvarer med forventingen om at jo lengere bort i fra elvemunningen prøvepunktet er, jo lavere er sedimenteringshastigheten. Den sedimenteringshastigheten som er funnet lengere ned i sedimentkjernen Nidelva 2 (jf. tabell 26) er på 1,5 mm/år. Hvis en tar utgang punkt i at denne sedimenteringshastigheten er lavere enn de funnet i fjorden utenfor Orkla og Gaula. Dette kan skyldes at elveutløpet fram til 1875 var omtrent 1 km lengere bort i fra dagens elveutløp. Den lave sedimenteringshastigheten kan også skyldes at Nidelva ikke er en like stor flom elv som Orkla og Gaula og at vannføringen og partikkelmassen ført med elven i snitt er lavere.

Figur 50 og 51 viser forskjellene mellom forurensningen i fjordene utenfor de ulike elvene for de samme grunnstoffene. De viser gjennomsnittet av de øverste 20 cm i de ulike sedimentkjernene. Basert på figurene er det klart at fjorden utenfor Orkla er den mest forurensende fjorden. Dernest fjorden utenfor Gaula og den minst forurensende fjorden er fjorden utenfor Nidelva. Det er kjent at fjorden utenfor Orkla er forurenset på grunn av

industri og gruvedrift, men det er overraskende at fjorden utenfor Nidelva og Trondheim ikke er mer forurenset på grunn av industrien og befolkningstallet i området. Dette kan forklares med at prøven var tatt i motsatt ende av havnen og fjorden fra det tungt industrialiserte området Ila og et stykke unna havnen.



Figur 50: Sammenligning av gjennomsnittet av de øverste 20 cm av sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla, Gaula og Nidelva.



Figur 51: Sammenligning av gjennomsnittet av de øverste 20 cm av sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla, Gaula og Nidelva.

Det at fjorden utenfor Gaula er mer forurenset, med unntak av krom, enn fjorden utenfor Nidelva er vanskelig å forklare. Dette er også overraskende med tanke på at Trondheim har mer industri, biltrafikk, havnetrafikk og et høyere befolkningsantall enn områdene rundt Gaula. Det er mulig at forurensingen kan komme av jordbruk og moderniseringen av dette, men også av gruvene i området, som Trondheim ikke har (selv om de losset mye råmalm fra Ilsvika).

Aluminiumkonsentrasjonen i elvene varierer til tider mye (jf. figur 30, 36 og 42) og konsentrasjonene varierer også innad i elvene (jf. tabell 29). Dette kan komme av forskjeller i berggrunnen, mengden berggrunnen som er tilgjengelig for forvitring og hvor stort nedbørsfeltet er. Sedimentkjernen tatt utenfor Orkla er den med gjennomsnittlig høyest aluminiumkonsentrasjon, tett fulgt av sedimentkjernen tatt utenfor Nidelva. Sedimentkjernen tatt utenfor Gaula viser lavere konsentrasjoner av både aluminium og lavere fraksjon totalt uorganisk materiale, som igjen kan bety at den organiske fraksjonen er større. Dette kan komme av at området rundt Gaula er kjent for jordbruk og dyrehold. Den sedimentkjernen hvor aluminiumkonsentrasjonen varierer mest er Nidelva 2, hvor den høyeste konsentrasjonen er 59 599 ppm og den laveste er 21 480 ppm. Disse verdiene er lavere og høyere enn de laveste og høyeste verdiene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula og Orkla.

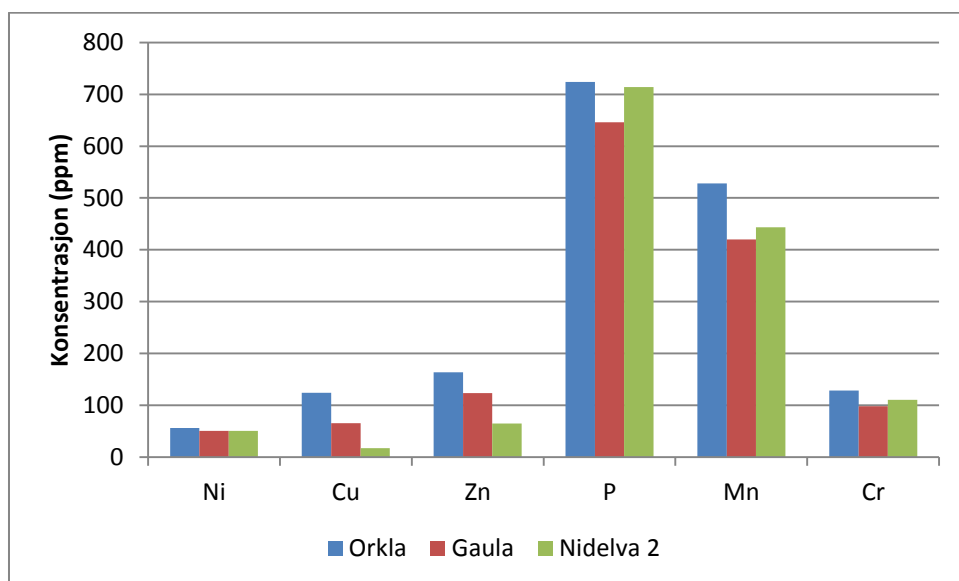
Tabell 29: Gjennomsnittlig konsentrasjon av aluminium og totalt uorganisk materiale for sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla og Gaula og sedimentkjernen Nidelva 2.

	Orkla	Gaula	Nidelva 2
Al (ppm)	39 918	33 322	41 016
Minimum Al (ppm)	27 271	21 939	21 480
Maksimum Al (ppm)	47 710	42 114	59 599
Totalt uorganisk materiale (ppm)	159 927	130 271	156 593

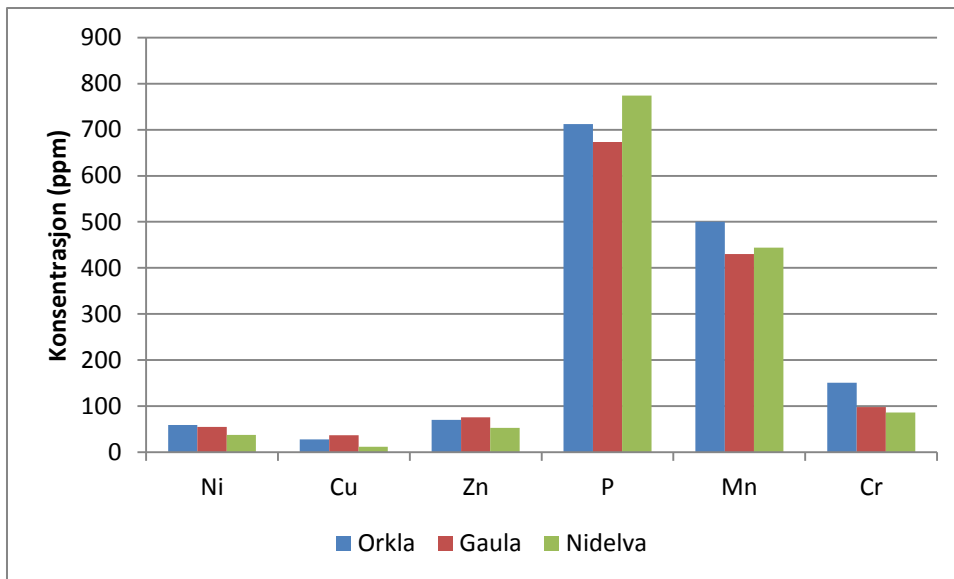
For å sammenligne sammensetningen av noen av de viktigste grunnstoffene i elvene brukes konsentrasjonen fra 12 cm og 50 cm. 12 cm ble valgt fordi dette er stykke ned i sedimentene slik at migrering på grunn av redoksreaksjonene ikke skal påvirke konsentrasjonene. Det ble også valgt fordi at dette er en dybde i elvene hvor aluminiumkonsentrasjonen er lik og den er i tillegg innenfor den delen hvor antropogene kilder vil påvirke konsentrasjonene. 50 cm ble valgt fordi dette er den siste felles dybde for disse elvene og i tillegg fordi dette skal være så langt tilbake i tid at det ikke skal være stor antropogen påvirkning på konsentrasjonene (i hvert fall for Gaula og Orkla).

Konsentrasjonene ved 12 cm (jf. figur 52) viser at fjorden utenfor Orkla er den med høyest konsentrasjoner av grunnstoffer. Dette gjenspeiler forurensningssituasjonen i fjordene, men forskjellene er ikke så store som når gjennomsnittet for de øverste 20 cm sammenlignes. Det som er overraskende er at fosforkonsentrasjonene er lavest i Gaula når en kunne forvente det motsatte på grunn av bruk av fosfatgjødslar. Dybdeprofilen til fosfor (jf. figur 39) viser at konsentrasjonene ved 50 cm er høyere her enn ved 12 cm. Konsentrasjonene i dybdeprofilen for fosfor (jf. figur 39) viser en mer varierende trend enn det en kunne tenke seg ut i fra disse grafene.

Konsentrasjonene ved 50 cm (jf. figur 53) er jevnere og sedimentene utenfor Orkla er ikke lenger den med de høyeste konsentrasjonene. Konsentrasjonene er også mye lavere for kobber og sink som er typiske metaller som forurenses av antropogene kilder. Konsentrasjonene for krom og nikkell endrer seg heller ikke og dette støtter opp om antagelsen at disse metallene i hovedsak kommer fra berggrunnen i dette området. Mangan og fosfor konsentrasjonene ser ut til å ha endret seg noe, men dette kan komme av naturlige svingninger i konsentrasjon.



Figur 52: Konsentrasjoner av noen utvalgte metaller ved 12 cm fra sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla, Gaula og Nidelva.



Figur 53: Konsentrasjoner av noen utvalgte metaller ved 50 cm fra sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla, Gaula og Nidelva.

5.5 Feilkilder og metodekritikk

Kjemiske analyser kan påvirkes av tre ulike typer feilkilder. Disse deles inn i tilfeldige feil, systematiske feil og grove feil. Tilfeldige feil påvirker presisjonen til en analyse og får resultatene fra analysen til å spre seg mer eller mindre systematisk rundt en middelværdi. Dette er en feilkilde som eksisterer i alle analyser og kan aldri elimineres helt. I en bestemmelse er dette en stor kilde for unøyaktighet. De fleste årsaker til feilkilden er vanskelig å identifisere og er så små at de ikke kan detekteres individuelt. Derimot vil effekten av alle de små feilene føre til at replikatmålinger varierer tilfeldig rundt middelværdien til settet av målinger (Skoog et al., 2004, s. 95 og 105). Tilfeldig feil kan i denne analysen være endringer i temperatur eller trykk.

Systematiske feil er en type feil som fører til at middelværdien til et datasett er forskjellig fra den godtatte/antatte verdien. Dette påvirker nøyaktigheten av resultatene og fører generelt til for høye eller for lave verdier. Det finnes tre forskjellige typer systematiske feil (Skoog et al., 2004 s.95-96):

1. Instrumentellefeil som kan komme av ikke ideell instrumentell atferd, for eksempel feil kalibrering eller bruk under ikke ideelle forhold. Elektriske instrumenter som ikke kalibreres ordentlig eller ofte nok kan føre til feil.

2. Metodefeil kan komme av ikke ideell kjemisk eller fysisk adferd i analytiske systemer. Kilder til slik feil kan være treghet i noen reaksjoner, ufullstendige reaksjoner, ustabile specier eller ikke intensjonale side reaksjoner. Dette er den vanskeligste feilkilden av de systematiske å oppdage, og derfor den mest alvorlige feilen.
3. Personlige feil er feil som oppstår av uforsiktighet, uoppmerksomhet eller personlige begrensninger av personene som foretar analysen.

Grove feil er vanligvis menneskelige feil. Det er feil som bare påvirker et enkelt resultat og skjer bare noen ganger. Dette er store feil som kan føre til for høy eller for lav verdi (Skoog et al., 2004, s. 95). Et eksempel på dette er en kontaminering av en enkelt prøve. Feil prøvenummerering og feil i matematiske beregninger er andre.

Flere tiltak for å forhindre og minimere kontaminering ble gjort. Blant annet ble det brukt et PVC plastrør (uten metaller) som kjernefanger, og prøven ble også tatt midt i den 10 cm vide sedimentprøven slik at prøvene som ble tatt bare var skåret gjennom med en plastkniv. Denne plastkniven ble skylt mellom hver prøve, men ikke vasket. Dette kan ha ført til noe kontaminering mellom prøvene. Etter prøvetakningen ble det satt lokk på prøvene og de ble fryst ned. Når prøven var blitt ristet slik at det var mulig å få tatt en prøve ble denne helt direkte ned i prøvebeholderen som den skulle i under dekomponeringen. Slik at prøven var i minimal kontakt med andre overflater med mulige kontamineringer. All plasten som ble brukt under dekomponeringen, og også prøvetakningen, er plast som ikke skal kontaminerer prøven med metaller.

Systematiske feil som spesielt kan oppstå i denne type analyse er for eksempel feilkildene som nevnes i 3.1.1 og 3.2.2. En av feilkildene til dekomponering er tap av flyktige bestanddeler, men ved å bruke UltraCLAVE er tapet mindre fordi prøvebeholderen er lukket. Det er imidlertid mulig at tap av flyktige forbindelser skjer før dette for eksempel under oppdelingen av de lange sedimentkjernene ved at det kommer i kontakt med luften som er varmere. Når prøvene skulle dekomponeres ble de med risting og slag løst til pulver med lokket på. I tillegg ble de rett etter oppmåling løst i syre og lokk ble satt på. Det at prøvebeholderen er lukket reduserer også mengden reaksjonsmiddel som behøves slik at kontaminering via dem reduseres. Oppløsningen av prøven var derimot ufullstendig og noen få rester etter store partikler ble igjen etter fortynningen. Det er også mulig at de som hadde brukt beholderne før ikke har fulgt rett vaskeprosedyre og at beholderne var kontaminert. Det

finnes tre sett med beholdere på UltraCLAVE laboratoriet, og en av dem er spesifikt brukt til jord og sediment prøver. Dette fører til at kontamineringen fra andre typer prøve (hår osv.) ikke skal kunne forekomme.

Under dekomponeringen ble det brukt en milliliterpumpe for å minimere personlige og menneskelige feil under oppmålingen av syren. Ulempen med dette var at milliliterpumpene var gamle og slitte, og det kunne lekke fra tuten. Dette kan ha ført til feil volum, men i og med at dette var kjent på forhånd var det rettet spesiell oppmerksomhet mot dette for å forhindre at det skjedde. Når noe blir fortynnet er det mulig at feil oppstår under målingen, men i dette tilfelle ble fortynningen gjort på vekt og hvis prøven ble fortynnet for mye ble dette notert og korrigert for under ICP-MS analysen.

For ICP-MS analysen er de to viktige feilkildene spektrale forstyrrelser og matrikseffekter. Matrikseffekter oppstår blant annet av at løsningen ikke fortynnes nok, og i denne analysen gjøres fortynningen i preparering fasen for ICP-MS analysen i et automatisksystem. Det automatiske fortynningssystemet er svært nøyaktig og rask, og dette fjerner feilkilder som personlige feil ved fortynningen og forbedrer kvaliteten med analysen. For å forhindre spektrale forstyrrelser velges det ut isotoptopper hvor det er lav sannsynlighet for spektrale forstyrrelser. Disse velges ut i fra erfaringer om spektrale forstyrrelser. Deteksjonsgrensen for ICP-MS er god, men den kan være for høy for noen grunnstoffer. I følge Schropp og Windom (1998) er for eksempel kadmium og kvikksølv typiske grunnstoffer som det finnes så lite av i sedimenter at deteksjonen kan være vanskelig. Dette er imidlertid ikke et problem i denne masteroppgaven fordi det ikke alene trekkes konklusjoner på basert på konsentrasjoner av enkelt grunnstoffer som er så lav. Kontaminering fra reaktanter ble eliminert via blankprøver.

Det å bruke sedimenter som historiearkiver bygger på noen antagelser som ikke trenger å være sanne og dette påvirker påliteligheten til metoden. Det at sedimentene er uforstyrrede, at sedimenteringen legger seg jevnt, at sedimentene ikke endrer seg over tid (dvs. at grunnstoffene ikke migrerer) og at analyseresultatene er representative for hele prøven kan være slike antagelser.

Sedimentene kan forskyves og det kan oppstå ujevnheter i lagene etter ujevn sedimentering. Dette fører til ujevne lag, som i metoden antas å være er rette. En prøve som da representerer en spesifikk dybde trenger ikke gjøre det. For eksempel er dette en mulig forklaring for den

høye kobberkonsentrasjonen i fjorden utenfor Orkla ved 2 cm. Det er mulig at forskyvninger i sedimentene eller ujevn sedimentering har ført til at konsentrasjonen som er målt ikke er representativ for denne dybden. Andre forstyrrelser som kan forstyrre sedimentene er marine ras, biologiskliv, bølger, strømminger og skred.

For å prøve å få prøvene så representative som mulige var avskjæringsintervallene i de øverste sedimentene korte, dette fordi det her var forventet at endringene i konsentrasjonene ville være størst. Etter dette ble det brukt større intervaller. Etter avskjæringen ble en liten del av den avskårede delen samlet i et prøveglass og under dekomponeringen ble bare en liten fraksjon av denne igjen sendt til analysen. Det er derfor bare en liten del av prøven (0,25-0,3 g) som representerer et tykt lag. For de større avskjæringsintervallene fører dette til at deler av prøvene med høye eller lavere konsentrasjoner ikke kommer med slik at utvalget ikke representerer hele avskjæringsintervallet. En mulig måte å gjøre prøvene mer representative er å analysere flere prøver fra prøven i prøveglasset og/eller flere prøver fra den avskårede delen. Det har før vært vanlig å utføre analyser med 0,1 g prøver, det at prøven er på 0,25-0,3 g fører til bedre kvalitet av analysen og en større representativitet enn før. Dette fører også til større homogenitet og troverdigheten øker.

Sedimentene er i denne metoden antatt å fungere som et reservoar, mens det i følge (Baudo, Giesy og Muntau, 1990, s. 66) også er mulig at de fungerer som en kilde til metaller. Det er flere faktorer som påvirker hvordan metallene migrerer i sedimentene og hvordan de byttes ut med andre metaller i havet. Derfor blir det ufullstendig å anta at alle metallene som avsettes i sedimentene forblir i sedimentene og at de ikke beveger på seg innad i sedimentene. Dette kan føre til at dybdeprofilen ikke gir et riktig bilde av tilførselen av metaller til sedimentene.

Andre usikkerhetsmomenter er dateringen gjort etter denne metoden. For eksempel kan ras eller storflommer få sedimenteringshastigheten til å øke og perioder med tørke kan føre til lavere vannføring og mindre avrenning. Dette ble forsøkt å rette dette ved at flere hendelser ble forsøkt identifisert og sedimenteringshastighetene ble regnet mellom disse. Problemet med dette igjen er at det er vanskelig å si om det er en økt sedimenteringshastighet gjennom hele perioden eller om det er et ekstra tykt lag med sediment fra en flom eller et ras. Det samme gjelder for perioder med mindre sedimenteringshastigheter. Dateringene kan derfor være misvisende og antagelser kan være feil.

Hvilken type sediment kjernene tas fra kan også påvirke resultatene. Marine sedimenter (og innsjø-sedimenter) er antatt å ha de beste forholdene for opptak og permanent tilførsel av metaller. Det er antatt at en sedimenteringshastighet på rundt 1 cm/år vil være den ideelle sedimenteringshastigheten for minimal blanding (forstyrrelser) og for å unngå fortynning av forurensingen. Analysene i denne masteroppgaven er basert på marine sedimenter, mens den antatte sedimenteringshastigheten ligger lang under den ideelle sedimenteringshastigheten.

6. Kvalitetskontroll/kvalitetssikring

Målingen gjort med ICP-MS instrumentet har vært gjennom 3 viktige kvalitetssikringer:

1. Analysen ble ført etter krav fra sertifiserte standarder.
2. Det ble brukt sertifiserte standardløsninger.
3. Gjennomsnittet er regnet ut i fra opp til 5 målinger.

Analyttene som ble brukt er beregnet for denne typen grunnstoffanalyse og det ble brukt syre med høy renhet (superpure HNO₃) og det destillerte vannet var ultra rent vann (18 MΩ). I og med at resultatene i denne oppgaven kommer fra to ulike analyser vil denne delen inneholde data fra begge disse analysene. Analysene blitt gjort på samme måte, med de samme sertifiserte standardløsningene og det samme sertifiserte referansematerialet Soil GBW-07408.

Presisjon er nærheten av et sett av målinger i forhold til hverandre, og viser oss repeterbarheten av en analyse. Disse tallene sier oss noe om tilfeldige feil fra målingene, og er vanligvis uttrykt gjennom relativstandardavvik for n replikatmålinger (Alloway, 2013, s. 99). Presisjonen for ICP-MS instrumentet er målt gjennom RSD for 3 målinger for sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Nidelva og for 5 målinger for sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla og Gaula. Avvik mindre enn 5 % er merket grønn, avvik mellom 5-10 % er merket blå og avvik større enn 10 % er merket rød. Tabell 30 og 31 viser RSD for noen utvalgte grunnstoffer for sedimentkjernen tatt utenfor henholdsvis Orkla, Gaula og Nidelva 2.

Tabell 30: Gjennomsnittlig relativt standardavvik og avviket fra referansematerialet Soil GBW-07408 for sedimentkjernene tatt utenfor Orkla og Gaula.

Grunnstoff	Orkla Gjennomsnittlig RSD (%)	Gaula Gjennomsnittlig RSD (%)	Avvik fra referanse (%)
P	4,0	4,3	0,9
Cr	4,9	4,0	11
Cu	3,8	5,7	7,8
Zn	3,7	4,4	6,4
Cd	17	16	16
Pb	3,3	3,2	26
U	2,9	3,0	34
As	3,0	3,0	5,5
Hg	32	31	7,1
Bi	5,4	5,3	1,7
Sb	17	19	88
Mn	4,7	5,0	3,5

Tabell 31: Gjennomsnittlig relativt standardavvik og avviket fra referansematerialet Soil GBW-07408 for sedimentkjernen tatt utenfor Nidelva (for Nidelva 2).

Grunnstoff	Gjennomsnitt RSD (%)	Avvik fra referanse (%)
P	2,9	0,52
Cr	4,6	4,7
Cu	3,7	9,5
Zn	2,9	7,4
Cd	20	3,8
Pb	2,4	32
U	2,7	34
As	2,9	0,16
Hg	41	53
Bi	6,0	1,0
Sb	20	95
Mn	4,2	3,1

Nøyaktighet til en analytisk metode er nærheten av en måling for den sanne verdi og vil vise om det er systematiske feil i målingen. Denne verdien kan vurderes for en prøve hvor analyttenes konsentrasjon er ukjent, her brukes ofte sertifiserte referansematerialer. Dette bør gjøres regelmessig for å sikre at den analyse metoden er under kontroll (Alloway, 2013, s. 98-99). Nøyaktigheten av ICP-MS instrumentet er verifisert mot et sertifisert referansemateriale og reproduserbarheten oppnås gjennom kontinuerlige analyser av det sertifiserte referansematerialet.

Tabell 30 og 31 viser RSD og avviket fra referansematerialet Soil GBW-07408 (jf. vedlegg 13 for verdiene) for noen utvalgte grunnstoffer for sedimentkjerenen tatt utenfor henholdsvis Orkla, Gaula og Nidelva 2. Hvis nøyaktigheten og/eller presisjonen er lav burde ikke analyseresultatene for disse grunnstoffene alene brukes til å identifisere en kilde eller en hendelse. For eksempel har kadmium, kvikksølv, antimon og uran har enten lav presisjon, nøyaktighet eller begge og burde derfor ikke brukes alene som bakgrunn for en tolkning.

Analytiske metoder er utsatt for bakgrunnsstøy fra ulike kilder. Bakgrunnsstøyen kan gjøre det vanskelig å skille mellom ut et signal fra analytten (Alloway, 2013, s. 99) Det ble også kjørt blankprøver ved ulike intervall for å fange opp bakgrunnsstøy slik at prøvene kunne bli korrigert for disse.

7. Konklusjon

Målet med denne masteroppgaven har vært å studere sedimentkjerner fra elveosene til tre større elver i Sør-Trøndelag som renner ut i Trondheimsfjorden. Kystsonen er en viktig sone for produksjon av viktige næringsstoffer og den er sårbar for forurensning. Ved å studere en kjemisk grunnstoffanalyse av sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor disse tre elvene har det blitt forsøkt å avdekke historiske hendelser av både naturlig og antropogen art.

Forurensningen i fjordene har også blitt undersøkt ved å kartlegge konsentrasjoner i det øvre sedimentlaget. Denne oppgaven har gitt en bedre oversikt over metallnivåene i fjorden utenfor de største elvene Orkla, Gaula og Nidelva i Sør-Trøndelag. I tillegg viser dybdeprofilene og Al-normaliseringene forurensningssituasjonen lengere ned i sedimentet og derfor også lenger tilbake i tid.

Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla viser en økende trend i konsentrasjoner i de øverste lagene for kobber, sink, arsen, kadmium, vismut og antimon (jf. figur 31 og 33). Dybdeprofilene viser til tider svært høye konsentrasjoner for kobber og nikkel. Basert på Al-normaliseringene er det mulig å finne spor etter det som kan være aktivitet fra andre verdenskrig, gruvedriften og annen industriell aktivitet. Sedimenteringshastigheten som er forslått (1,5 mm/år) ligger innenfor den forventede sedimenteringshastigheten i området. Det er også tegn til (jf. tabell 17) at flommer og klima endringer har påvirket sedimenteringshastigheten og tilførselen av metaller. Forurensningssituasjonen i fjorden utenfor Orkla er alvorlig og det er funnet mye kobber, sink, nikkel og kadmium.

Sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula viser en økende trend i konsentrasjonen for blant annet kobber, sink, kadmium, uran, vismut, bly, kvikksølv, antimon og arsen (jf. figur 37 og 38). Al-normaliseringene viser utslag i de øverste lagene som tyder på antropogen tilførsel av metaller. Disse er knyttet opp mot aktiviteter fra andre verdenskrig, industrialiseringen og modernisering av jordbruk og gruvedrift. Det som er overraskende er at det ikke er funnet spor en kan knytte til jordbruk. Blant annet viser fosfor, magnesium og kalium ingen positive utslag i Al-normaliseringene etter 20 cm (antatt å være rundt 1902) da det ble vanlig med kunstgjødsler. I tillegg viser fosforkonsentrasjonen en synkende trend i dybdeprofilen mellom 25 cm og 14 cm. Sedimenteringshastighetene er foreslått å være rundt 1,9 mm/år. Det er mulig at flommene Gaula ofte rammes av ikke har ført til økte sedimenteringshastigheter (jf.

tabell 21), og det er også mulig at den normale sedimenteringshastighet er så lav at den økte vannføringen under flom fører til det som antas å være den forventede sedimenteringshastigheten. Fjorden utenfor Gaula er forurenset med blant annet kobber og nikkel.

Sedimentkjernen tatt ved Nidelva 2 viser ingen typiske tegn til økte konsentrasjoner av metaller i det øverste sedimentlaget (jf. figur 43 og 45). Det kan tenkes at dette skyldes en konstant forurensning fra ulike kilder langt tilbake i tid, slik at Al-normaliseringene ikke viser utslag. En unormalt høy sedimenteringshastighet eller et marint ras kan også forklare dette. I forhold til konsentrasjonene i sedimentkjernene tatt i fjorden utenfor Orkla og Gaula er mange av metallkonsentrasjonene lavere i Nidelva 2 og de klassifiseres som ikke forurensende. Dette tyder på at konsentrasjonene vi finner ved Nidelva 2 stammer fra naturlige kilder som berggrunnen og ikke en konstant forurensning. Det eneste unntaket er konsentrasjonene av arsen mellom 60-90 cm dybde (jf. figur 43), som det ikke har vært mulig å identifisere kilden til.

8. Videre arbeid

Denne oppgaven har blant annet gitt en bedre oversikt over metallnivåene i fjorden utenfor de største elvene Orkla, Gaula og Nidelva i Sør-Trøndelag. Forurensningssituasjonen i fjordene vises tydelig for Orkla og Gaula, mens kjernen fra fjorden utenfor Nidelva er mer uklare. For å få en bedre oversikt over metallnivåene lengere tilbake i tid i fjorden utenfor Trondheim og Nidelva anbefales det å ta en sedimentkjerne nærmere Ila og havnene (for eksempel ved kanalen eller hvor det gamle utløpet for Nidelven var).

Det kan tas sedimentkjerner nærmere alle elvemunningene hvor en vil finne en mer ideell sedimenteringshastighet (1 cm/år). Det kan eventuelt settes ut sedimentfangere for å måle suspendert materiale i området for å finne den ideelle plassen å ta sedimentkjerner fra. Det er også mulig å ta flere sedimentkjerner fra flere ulike lokaliteter i områdene for å få mer homogene resultater. Det er også mulig å kjøre flere analyser på de eksisterende prøvene for å korrigere resultatene og få en bedre representativitet. For å bedømme analysen og dateringen er det mulig å gjøre en kjemisk datering, for eksempel ved å måle den naturlige isotopen Pb^{210} eller Cs^{137} .

En kan også studere en mer detaljert studie av den organiske fraksjonen i sedimentkjerner og se på kornfordelingen.

Litteraturliste

Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, 3. utgave. USA: Springer.

Alsaker, S., Sognnes, K., Stenvik, L., Skevik, O. og Røskoft, M. (2005). *Trøndelags historie, bind 1. Fram til 1350*. Norge: Tapir Akademisk Forlag.

Andersson, M., Ottesen, R. T. og Langedal, M. (2010). Geochemistry of urban surface soils – Monitoring in Trondheim, Norway. *Geoderma*, 156, s. 112-118.

Audry, S., Schäfer, J., Blanc, G. og Jouanneau, J. M. (2004). Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environmental Pollution* 132, s. 413-426.

Banks, D., Younger, P. L., Arnesen, R. T., Iversen E. R. og Banks, S. B. (1997). Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. *Environmental Geology*, Vol 32 (3), s. 157-174.

Bargel, T. H., Boyd, R og Dahl R. (1995). En vandring i tid og rom: geologien i Narvik. Norge: NGU.

Baudo, R., Giesy, J. P og Muntau, H. (1990). *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. USA: CRC Press Inc.

Bergverkshistorie (udatert). *Svovelkis*. Tilgjengelig fra: <http://bergverk.preform.no/Artikkel/Svovelkis> (Hentet 13/03-14).

Bjervamoen, S. G., Bjørk, T. B., Elgen, M., Gaut, S., Hauan, G., Herman, S., Ilestad, I., Johnsen, C. C., Knapstad, H., Nordløkken, M., Stoeckert, K., Stokkan, T., og Ottesen, R. T. (2006). *NGU: Spredning av miljøgifter fra tetteflater i Trondheim*. Tilgjengelig fra: http://www.ngu.no/FileArchive/235/2006_024.pdf (Hentet 10/05-14).

Bogen, J. (1983). Morphology and sedimentology of deltas in fjord and fjord valley lakes. *Sedimentary Geology*, 36, s. 245-267.

Buckley, D. E., Smith, J. N. og Winters, G. V. (1995). Accumulation of contaminant metals in marine sediments of Halifax Harbour, Nova Scotia: environmental factors and historical trends. *Applied Geochemistry*, 10, s. 175-195.

Calmano, W., Hong, J. og Förstner, U. (1993). Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Science and Technology*, 28(8-9), s. 223-235.

Cheatham, M. M., Sangrey, F. og White, W. M. (1993). Sources of error in external calibration ICP-MS analysis of geological samples and an improved non-linear drift correction procedure. *Spectrochimica Acta*, 48B(3), s. E487-E506.

Delphin, I. L. A. (2010). *Vulkansk aske*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/vulkansk_aske (Hentet 27/01-14).

Drageset, T. A. (2002). *Flomberegning for Orkla ved Meldal og Orkanger (121.Z)*. Oslo: NVEs hustrykkeri.

Emelyanov, E. M. (2005). *The Barrier Zones in the Ocean*. The Netherlands: Springer.

Encyclopaedia Britannica (2014). *Turbidity current*. Tilgjengelig fra: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/609538/turbidity-current> (Hentet 27/01-14).

Farmer, J. G. (1991). The perturbation of historical pollution records in aquatic sediments. *Environmental Geochemistry and Health*, 13, s. 76-83.

Faye, G. (1992). *Geokjemiske undersøkelser i Trondheimsfjorden*. Tilgjengelig fra: http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1992/92_211.pdf (Hentet 24/05-14).

Geoportalen (udatert). *Gneis*. Tilgjengelig fra: <http://www.geoportalen.no/nasjonalt/gneis> (Hentet 23/03-14).

Goldberg, E. D., Griffin, J. J., Hodge, V. og Koide, M. (1979). Pollution History of the Savannah River Estuary. *Environmental Science & Technology*, 13(5), s. 588-594.

Hampton, M. A., Homa, J. L. og Locat, J. (1996). Submarine landslides. *Reviews of Geophysics*, 34, s. 33-59.

Hatje, V., Payne, T. E., Hill, D. M., McOrist, G, Birch, G. F. og Szymczak, R. (2003). Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity and particle loading. *Environment International*, 29, s. 619-629.

Heggestad, R. (2012). *Gaula*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Gaula> (Hentet 11/03-14).

Heggestad, R. (2014). *Orkla*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Orkla> (Hentet 11/03-14).

Hornberger, M. I., Luoma, S. N., van Green, A., Fuller, C og Anima R. (1999). Historical trends of metals in the sediments of San Francisco Bay, California. *Marine Chemistry* 64, s. 39-55.

Jensen, K. og Rimstad N. Ø. (2013). *Brann*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/brann#menuitem3> (Hentet 11/03-14).

Jørstad, F. A. (1968). Leirskred I Norge. *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*, 22, s. 214-219.

Klaassen, C. (2013). *Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*. 8. utg. USA: McGraw-Hill.

Kullerud, K. (udatert a). *M-6: Muskovitt*. Tilgjengelig fra: <http://ansatte.uit.no/kare.kullerud/geostudiesamling/muskovitt.htm> (Hentet 20/03-14).

Kullerud, K. (udatert b). *M.7: Biotitt*. Tilgjengelig fra: <http://ansatte.uit.no/kare.kullerud/geostudiesamling/biotitt.htm> (Hentet 23/03-14)

- Lademoen Historielag (2011). *Trondheim gassverk 1853-1953*. Tilgjengelig fra: <http://lademoenhistorielag.com/gassverket.htm> (Hentet 18/05-14).
- Laugesen, J., Møskeland, T. og Kelley, A. (2003). *Tiltaksanalyse for opprydding i forurensede sedimenter i Trondheim havn og omgivelser*. Tilgjengelig fra: <http://trondheimhavn.no/uploads/dokumenter/utvikling/pilotprosjektet/Tiltaksanalyse.pdf> (Hentet 27/05-14).
- Lauritzen, S. E. og Lundberg, J. (1999). Calibration of the speleothem delta function: an absolute temperature record for the Holocene in northern Norway. *The Holocene*, 9(6), s. 659-669.
- L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. og Vingerhagen, G. (2007). 'The 1990 submarine slide outside the Nirelv river mouth, Trondheim, Norway', i V. Lykousis, D. Sakellariou og J. Locat (red.). *Submarine Mass Movements and their Consequences*. The Netherlands: Springer, s. 259-267.
- Manahan, S. E. (2010). *Environmental chemistry*. 9 utg. USA: CRC Press.
- Mann, M. E. (2002). Little Ice Age. I T. Munn (Sjefsred.), M. C. MacCracken og J. S. Perry (Red.), *Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change*, s. 504-509.
- May, T. W. og Wiedmeyer, R. H. (1998). A Table of Polyatomic Interferences in ICP-MS. *Atomic Spectroscopy*, 19(5), s. 150-155.
- Meteorologisk institutt (udatert). *Klimaet i Noreg dei siste 1000 år*. Tilgjengelig fra: http://met.no/Klima/Klimautvikling/Klima_siste_1000_ar/ (Hentet 07/05-14).
- Mihelčić, G., Šurića, B., Juračić, M., Barišić, D. og Branica M. (1996). History of the accumulation of trace metals in sediments of the saline Rogoznica Lake (Croatia). *The Science of the Total Environment* 182, s. 105-115.
- Milestone (2008). *UltraCLAVE – The Next Generation Microwave Digestion System*. Tilgjengelig fra: <http://milestonesci.com.powweb.com/files/UC-Brochure.pdf> (Hentet 21/03-14).
- Miljødirektoratet (2007a). *Elvedatabasen*. Tilgjengelig fra: <http://elvedelta.miljodirektoratet.no/delta-108.htm> (Hentet 25/02-14).
- Miljødirektoratet (2007b). *Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sediment*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2229/ta2229.pdf> (Hentet 15/03-14).
- Miljødirektoratet (2012). *150 millioner til miljøoppdydding i Trondheim*. Tilgjengelig fra: http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/Old-klif/2012/November_2012/150_millioner_til_miljooppdydding_i_Trondheim/ (Hentet 14/03-14).

- Miljøstatus (2013a). *Gruver i Sør-Trøndelag*. Tilgjengelig fra: http://www.miljostatus.no/Tema/Ferskvann/Miljogifter_ferskvann/Avrenning-fra-gruver/Mindre-kisgruver/Sor-Trondelag-gruve/ (Hentet 12/03-14).
- Miljøstatus (2013b). *Killingdal gruver*. Tilgjengelig fra: http://www.miljostatus.no/Tema/Ferskvann/Miljogifter_ferskvann/Avrenning-fra-gruver/Killingdal-gruve/ (Hentet 17/04-14).
- Miljøstatus (2013c). *Kjøli gruver*. Tilgjengelig fra: http://www.miljostatus.no/Tema/Ferskvann/Miljogifter_ferskvann/Avrenning-fra-gruver/Kjoli-gruve/ (Hentet 17/04-14).
- Miljøstatus (2013d). *Klima*. Tilgjengelig fra: <http://fylker.miljostatus.no/Nord-Trondelag/Tema-A-A/Klima/> (Hentet 29/04-14).
- Miljøstatus (2014). *Løkken Gruber*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/lokken-gruber> (Hentet 12/03-14).
- Miller, J. C. og Miller, J. N. (1992). *Statistics for analytical chemistry*. 2 utg. England: Ellis Horwood Limited.
- Milleman, J. D. og Meade, R. H. (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91(1), s. 1-21.
- Moens, L. og Dams, R. (1995). NAA and ICP-MS: A comparison between two methods for trace and ultra-trace element analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, 192(1), s. 29-38.
- Murck, B. W. og Skinner B. J. (1999). *Geology Today: Understanding Our Planet*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Norges geologiske undersøkelse (2004). *Farlige miljøgifter lekker ut i havnebassenget*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/Aktuelt/2004/180/> (Hentet 23/03-14).
- Norges geologiske undersøkelse (udatert a). *Nasjonal berggrunnsdatabase*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (Hentet 18/10-13).
- Norges geologiske undersøkelse (udatert b). *Nasjonal løsmassedatabase*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (Hentet 18/10-13).
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2013). *122/1 Gaula*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/verneplan/Verneplanarkiv/Sor-Trondelag-arkiv/1221-Gaula/> (Hentet 11/03-14).
- Niragu, J. O., Kemp, A. L. W., Wong, H. K. T. og Harper, N. (1978). Sedimentary record of heavy metal pollution in Lake Erie. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, s. 247-258.
- Olesik, J. W. (1991). Elemental Analysis Using – An Evaluation and Assessment of Remaining Problems. *Analytical Chemistry*, 63(1), s. 12-21.

- Orkdal historielag (1997). *Bilder fra Orkdal, bind 3*. Orkanger: Orkla grafiske as.
- Orkla Industrimuseum (2011a). *Gammelgruva*. Tilgjengelig fra: <http://www.oi.no/historie/gammelgruva/> (Hentet 11/03-14).
- Orkla Industrimuseum (2011b). *Thamshavnsbanen*. Tilgjengelig fra: <http://www.oi.no/historie/thamshavnbanen/> (Hentet 12/03-14).
- Ottesen, R. T. og Langedal, M. (2001). Urban geochemistry in Trondheim, Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin 438*, s. 63-69.
- Pettersson, Lars-Evan (2000). *Flomberegning for Gaulavassdraget (122.Z)*. Oslo: NVEs hustrykkeri.
- Raade, Gunnar (2009). *Kloritt*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/kloritt> (Hentet 20/03-14).
- Raade, Gunnar (2012). *Amfiboler*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/amfiboler> (Hentet 23/03-14).
- Regjeringen (2002). *Stortingsmelding nummer 12 (2001-2002): Rent og rikt hav*. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/kld/dok/regpubl/stmeld/20012002/stmeld-nr-12-2001-2002-/3.html?id=326584> (Hentet 14/03-14).
- Regjeringen (2008). Skogbrannberedskap og håndtering av den senere tids skogbranner i Norge. Hentet 13/03-14, klokken 14.31 fra <http://www.regjeringen.no/upload/JD/Vedlegg/Rapporter/Skogbrannrapport.pdf>.
- Rosvold, Knut A. (2013). *Ila – Trondheim*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Ila/Trondheim> (Hentet 19/03-14).
- Ruiz-Fernández, A. C., Hillaire-Marcek, C., Páez-Osuna, Ghaleb, B. og Soto-Jiménez M. (2003). Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico. *Applied Geochemistry 18*, s.577-588.
- Sakshaug, E. og Sneli, J. A. (2000). *Trondheimsfjorden*. Trondheim: Tapir forlag.
- Schropp, S. J. og Windom, H. L. (1988). *A guide to the interpretation of metal concentrations in estuarine sediments*. Tilgjengelig fra: http://www.floridadep.org/waste/quick_topics/publications/documents/sediment/estuarine.pdf (Hentet 26/05-14).
- Skogbrand Forsikringselskap (2013). *Skogbrann*. Tilgjengelig fra: <http://skogbrand.no/content/uploads/2013/10/svs.pdf> (Hentet 13/03-14).
- Skoog, D. A, West, D. M. Holler, F. J. og Crouch, S. R. (2004). *Fundamentals of Analytical Chemistry*. USA: Brooks/Cole.
- Spjeldnæs, N. og Bryhni I. (2012). *Vulkan – geologi*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/vulkan/geologi> (Hentet 27/01-14).
- Stokkan, J. (2010). *Orkdal*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Orkdal> (Hentet 15/05-14).

- Store norske leksikon (2009a). *Grønnstein*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/gr%C3%B8nnstein.%2Fgeologi> (Hentet 20/03-14).
- Store norske leksikon (2009b). *Glimmerskifer*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/glimmerskifer> (Hentet 20/03-14).
- Store norske leksikon (2009c). *Dioritt*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/dioritt> (Hentet 23/03-14).
- Store norske leksikon (2009d). *Sorpsjon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/sorpsjon> (Hentet 29/05-14).
- Store norske leksikon (2009e). *Adsorpsjon – kjemi*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/absorpsjon/kjemi> (Hentet 29/05-14).
- Store norske leksikon (2012). *Sør-Trøndelag*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/S%C3%B8r-Tr%C3%B8ndelag> (Hentet 29/05-14).
- Store norske leksikon (2013a). *Fyllitt*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/fyllitt> (Hentet 20/03-14).
- Store norske leksikon (2013b). *Bergarter*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/bergarter> (Hentet 23/03-14).
- Stumm, W. og Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry*. 3 utg. USA: John Wiley og Sons.
- Syverud G. og Bratberg E. (2013). *Jordbruk i Norge*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/Jordbruk_i_Norge (Hentet 22/04-14).
- Syvitski, J. og Murray J., (1981). Particle interaction in fjord suspended sediment. *Marine Geology*, 39, s. 215-242.
- Tanner, P. A., Leong, L. S. og Pan, S. M. (2000). Contamination of Heavy Metals in Marine Sediment Cores from Victoria Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 40(9), s. 769-779.
- Thorsnæs, G. (2012). *Gauldalen*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Gauldalen> (Hentet 11/03-14).
- Trondheim kommune (2007). *Avløpssystem*. Tilgjengelig fra: <http://www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=48206> (Hentet 19/05-14).
- Trondheim kommune (2009). *Ladehammeren renseanlegg*. Tilgjengelig fra: www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=48251 (Hentet 18/05-14).
- Tsunogai, S., Yonemaru, I. og Kusakabe, M. (1979). Post depositional migration of Cu, Zn, Ni, Co, Pb and Ba in deep sea sediments. *Geochemical Journal*, 13, s. 239-252.
- Valette-Silver, Nathalie J. (1993). Historical Trends in Contamination of Estuarine and Coastal Sediments. *Estuaries*, 16(3B), s. 577-588.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. og Ye, K. (2011). *Probability og Statistics for engineers and scientists*. 9 utg. USA: Pearson.

Westrich, B. og Förstner U. (2007). *Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers – An Interdisciplinary Approach*. USA: Springer.

Vedlegg

Vedlegg 1: Vulkansk eksplosivitetsindeks.

Vulkansk eksplosivitetsindeks er en klassifisering av utbruddets størrelse der 0 er en ikke eksplosiv vulkan. 1 er mildt utbrudd med en aske/røyksøyle på 100-1000 m og et lava og tefra volum på $10\,000\text{ m}^3$. 2 er et eksplosivt utbrudd med en aske/røyksøyle på 1-5 km og et lava og tefra volum på $1\,000\,000\text{ m}^3$. 3 er et voldsomt utbrudd med en aske/røyksøyle på 3-15 km og et lava og tefra volum på $10\,000\,000\text{ m}^3$. 4 er klassifisert som et kataklysmisk utbrudd med en røyk/askesøyle på 10-25 km og et lava og tefra volum på $100\,000\,000\text{ m}^3$. 5 er et paroksymalt utbrudd med en røyk/aksesøyle på over 25 km og som har et lava og tefra volum på 1 km^3 . 6 er et kolossalt utbrudd, 7 er et super-kolossalt utbrudd og 8 er et mega-kolossalt utbrudd og de har alle røyk/askesøyler på over 25 km^3 . De har henholdsvis et lava og tefra volum på 10 km^3 , 100 km^3 og 1000 km^3 . Vulkansk eksplosivitetsindeks er en klassifisering av utbruddets størrelse. 4 er klassifisert som et kataklysmisk utbrudd med en røyk/askesøyle på 10-25 km og et lava og tefra volum på $100\,000\,000\text{ m}^3$. 5 er et paroksymalt utbrudd med en røyk/aksesøyle på over 25 km og som har et lava og tefra volum på 1 km^3 (Spjeldnæs og Bryhni, 2012).

Vedlegg 2: Analyseresultater for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Li (ppm)	Be (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)
2	20,99	0,43	13,6	4 794	11 895	27 271	7 557
4	26,72	0,54	35,3	26 255	16 127	30 871	6 960
6	24,15	0,49	17,9	4 686	13 736	29 313	7 825
8	25,16	0,53	17,3	3 974	14 793	31 204	7 332
10	26,89	0,61	21,8	8 113	15 565	31 722	8 671
12	25,71	0,56	17,3	3 970	16 600	34 215	8 166
14	27,34	0,67	28	18 058	18 133	34 267	7 673
16	30,11	0,7	23,2	5 355	19 274	40 097	8 880
18	25,19	0,64	15,4	8 174	16 616	35 961	7 930
20	34,07	0,78	19,2	7 525	22 272	43 844	9 126
25	37,09	0,87	21,6	9 074	23 338	43 903	9 722
30	32,67	0,79	18,7	4 618	21 358	45 543	9 755
35	33,21	0,91	27,2	30 712	22 067	43 775	9 829
40	35,75	0,86	23,8	20 808	23 193	43 240	9 244
45	36,29	0,86	22,7	16 825	23 931	47 710	9 088
50	34,73	0,84	28,5	32 790	21 378	43 085	9 701
55	33,34	0,86	31,3	33 419	22 573	45 923	9 522
58	37,02	0,84	22	10 224	24 822	46 082	8 110
65	31,64	0,88	19,3	11 382	21 376	39 763	7 840
70	35,71	0,91	27,6	32 484	24 322	44 730	9 528
80	34,62	0,93	22,3	12 955	22 399	43 311	9 092
80	34,24	0,9	23,8	18 261	22 308	45 077	9 280
90	33,08	0,84	26,3	30 591	21 194	41 394	10 160
100	35,82	0,87	28,5	17 746	21 110	44 002	4 620
110	34,88	0,73	30,2	30 389	20 378	41 719	4 075
120	32,95	0,75	38,4	44 667	19 598	38 792	4 283
130	34,22	0,87	26,7	19 958	24 217	44 354	4 527

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	P (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Sc (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)
2	501	1 450	5 600	14 132	1 450	1 636,70	88,1
4	664	2 828	8 226	15 359	2 828	1 985,20	101,6
6	538	2 311	6 570	14 007	2 311	1 937,40	93,4
8	643	2 576	7 068	17 289	2 576	2 063,60	99,5
10	736	3 775	7 719	17 086	3 775	1 856,40	107,9
12	724	2 595	7 839	17 051	2 595	2 264,80	109,8
14	717	2 913	9 499	18 571	2 913	2 313,50	110,2
16	805	2 579	9 209	18 309	2 579	2 475,90	126,1
18	571	1 390	8 886	15 605	1 390	2 151,50	100,5
20	789	1 608	12 864	17 613	1 608	2 606,20	119,6
25	780	1 314	13 303	17 408	1 314	2 548,00	130,5
30	817	1 630	13 277	21 366	1 630	2 393,90	130,2
35	706	1 912	12 893	17 152	1 912	2 329,30	124,3
40	777	1 100	14 137	17 875	1 100	2 451,40	126,7
45	753	2 058	14 992	18 628	2 058	2 594,80	127,9
50	712	1 968	13 546	16 502	1 968	2 311,50	124,8
55	763	2 558	14 196	16 898	2 558	2 371,80	122,2
58	760	1 433	13 900	17 832	1 433	2 347,30	131,4
65	807	1 551	12 393	19 408	1 551	2 193,10	121,8
70	668	1 828	14 785	15 988	1 828	2 583,10	123,4
80	788	1 750	13 490	16 472	1 750	2 496,40	125,5
80	792	2 347	13 595	17 437	2 347	2 272,10	119,5
90	731	1 193	11 919	16 885	1 193	2 308,00	116,8
100	812	1 671	11 625	15 077	1 671	2 050,60	120,5
110	729	1 443	12 531	15 824	1 443	1 688,70	112,1
120	693	1 856	12 691	15 010	1 856	2 013,10	97
130	779	1 640	12 694	16 358	1 640	2 182,90	123,3

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
2	86,1	433	28 643	11,94	39,95	600,94	293,9
4	107,7	436	31 338	12,17	44,02	113,46	141,9
6	97,9	441	32 014	12,36	43,6	156,41	164,6
8	113,1	495	34 837	13,83	45,38	133,66	153
10	117,1	486	36 473	14,95	53,46	183,28	179,2
12	128,9	528	33 565	15,41	56,16	124,42	164,1
14	125,8	515	41 302	21,96	55,93	147,58	673
16	145,7	546	44 505	19,87	60,17	133,95	423,3
18	124,4	753	34 646	13,73	52,3	39,28	89,2
20	161,6	633	42 026	18,59	72,32	36,43	75,6
25	167,2	566	43 124	17,44	72,21	32,85	80
30	165,1	578	42 873	17,45	68,25	32,33	72
35	157,2	557	40 565	16,35	62,84	30,43	70,2
40	165,9	600	43 795	17,75	70,02	32,69	76,8
45	169	619	43 131	19,13	82,47	38,38	83,4
50	150,8	500	38 672	15,3	59,61	28,09	70,5
55	164,2	533	38 953	15,92	64,34	32,11	73,5
58	153,8	600	43 754	16,59	71,35	33,31	75,5
65	163	577	37 382	16,78	70,04	29,31	67,2
70	168,9	591	42 142	15,84	63,19	29,83	76,8
80	163	583	41 466	16,7	68,86	31,95	69,7
80	159,6	653	42 347	17,52	70,25	33,53	70,2
90	146,2	525	36 686	14,71	59,06	27,44	63,3
100	135,5	510	43 003	14,84	60,56	29,56	70,6
110	148,6	529	39 520	15,78	60,94	28,25	69,2
120	131,8	513	38 228	15,9	57,71	27,81	61,4
130	164,4	580	44 086	18,1	68,59	35,32	71,7

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ga (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Ag (ppm)	Cd 111 (ppm)	Cd 114 (ppm)
2	8,83	31,4	105,8	16,09	0,092	0,898	0,891
4	9,84	38,65	112,1	17,44	0,09	0,23	0,225
6	9,32	34,35	100	17,59	0,085	0,704	0,723
8	9,62	36,24	106	18,16	0,074	0,908	0,902
10	10,69	39,8	114,6	19,21	0,077	0,77	0,814
12	10,28	43,73	118,2	20,05	0,048	0,864	0,874
14	11,28	44,42	116,7	20,71	0,157	11,174	11,533
16	12,51	53,11	111,2	22,38	0,133	4,93	5,175
18	10,88	46,28	99,5	19,54	0,038	0,179	0,2
20	14,4	65,16	112,4	22,08	0,049	0,112	0,077
25	13,87	66,42	106,8	23,28	0,042	0,118	0,089
30	13,15	64,25	110,9	22,52	0,044	0,075	0,075
35	13,26	65,09	119,6	20,16	0,036	0,083	0,07
40	14,2	69,13	109,8	21,19	0,036	0,068	0,058
45	13,72	72,35	107,6	21,5	0,044	0,095	0,062
50	13,58	64,53	117,3	19,16	0,033	0,051	0,052
55	13,45	64,72	117,4	20,08	0,033	0,06	0,068
58	13,77	67,35	108,1	21,47	0,046	0,067	0,06
65	13,04	58,81	110,9	22,07	0,042	0,093	0,081
70	13,59	69,86	118,7	20,28	0,042	0,066	0,05
80	13,8	66,67	110,6	21,69	0,045	0,063	0,074
80	13,94	65,8	112,4	21,89	0,033	0,081	0,094
90	12,53	58,05	114	20,8	0,031	0,095	0,051
100	13,89	58,96	111,2	22,5	0,04	0,067	0,072
110	12,4	58,76	118,7	21	0,043	0,092	0,076
120	12,25	53,04	109,8	19,09	0,034	0,083	0,071
130	13,52	60,77	108,7	23,05	0,037	0,095	0,067

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Mo (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)
2	0,488	0,057	0,961	0,079	1,6	95,3	16,1
4	0,687	0,06	1,078	0,054	2,18	131,4	18,1
6	1,241	0,057	0,786	0,078	1,86	108,6	16,1
8	1,298	0,065	0,666	0,069	1,9	125,2	19
10	1,114	0,078	0,772	0,062	2,14	136,9	21,2
12	0,779	0,065	0,635	0,043	2,15	146,2	21,3
14	0,821	0,087	1,096	0,129	2,45	169,8	20,8
16	0,678	0,079	0,878	0,088	2,77	184,8	24,2
18	0,696	0,049	0,611	0,024	2,33	151,4	19
20	0,568	0,061	0,679	0,028	3,46	222	26,9
25	0,676	0,063	0,663	0,032	3,45	220,9	24,8
30	0,552	0,063	0,553	0,023	3,38	214	25,5
35	0,876	0,056	0,906	0,029	3,2	218,7	23,6
40	0,591	0,058	0,791	0,022	3,37	230,8	25,2
45	0,637	0,059	0,743	0,022	3,67	243,1	26,6
50	0,545	0,056	1,028	0,028	3,19	215,6	25
55	0,804	0,049	1,079	0,034	3,35	227,5	25,2
58	0,585	0,057	0,628	0,029	3,36	216,6	26,7
65	0,523	0,062	0,577	0,018	3,07	200,8	25
70	0,835	0,058	1,027	0,029	3,35	227	24,8
80	0,655	0,056	0,687	0,02	3,22	223,5	25,9
80	0,76	0,065	0,73	0,025	3,28	212,7	25,5
90	0,715	0,059	0,84	0,026	2,77	201	22,7
100	0,756	0,061	0,745	0,032	3,06	189,2	25
110	0,782	0,054	0,806	0,034	3,18	199,1	24,4
120	1,076	0,051	0,964	0,04	2,79	179,9	23,1
130	1,173	0,057	0,823	0,023	3,2	210,7	25,9

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)
2	34	4,14	15,41	3,2	0,506	3,01	0,578
4	39,8	4,82	17,92	3,94	0,554	3,19	0,652
6	32,6	4,18	16,17	3,44	0,539	3,11	0,642
8	39,7	4,81	17,91	3,89	0,603	3,48	0,703
10	46,3	5,78	22,6	4,63	0,67	3,77	0,757
12	43,3	5,21	21	4,36	0,636	3,8	0,771
14	44,6	5,46	20,32	4,24	0,662	3,69	0,728
16	50,7	6,17	24,67	4,91	0,722	4,08	0,858
18	40,8	4,99	19,19	4,01	0,592	3,5	0,694
20	56,6	6,27	24,86	5,15	0,75	4,36	0,843
25	57,5	6,99	25,84	5,26	0,737	4,23	0,832
30	53,4	6,26	25,42	5,38	0,744	4,23	0,858
35	49,1	5,89	24,28	4,74	0,703	3,91	0,766
40	53,9	6,52	23,24	4,77	0,715	3,84	0,803
45	56,9	6,97	26,38	5,21	0,737	4,29	0,823
50	56,3	6,31	24,93	4,94	0,669	3,82	0,778
55	51,6	6,27	23,65	4,77	0,722	3,96	0,779
58	55,5	6,24	24,68	5,15	0,7	4,16	0,826
65	51,9	6,14	24,92	5,05	0,713	4,09	0,841
70	56,8	6,12	23,57	4,95	0,733	3,95	0,745
80	53,7	6,11	25,55	5,08	0,721	4,34	0,818
80	54,6	6,58	25,61	5,17	0,714	4,25	0,846
90	50,7	5,87	23,66	4,74	0,679	3,85	0,781
100	53,9	5,86	25,26	5,07	0,72	4,24	0,873
110	50,6	5,84	24,27	4,94	0,677	3,93	0,782
120	50,9	5,88	22,89	4,58	0,623	3,72	0,732
130	58,1	6,25	26,48	5,3	0,741	4,16	0,831

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Ta (ppm)	Au (ppm)	Tl (ppm)
2	1,84	0,257	1,57	0,226	0,06	0,004	0,217
4	1,88	0,284	1,82	0,265	0,003	0,003	0,244
6	1,87	0,274	1,74	0,241	0,002	0,008	0,229
8	2,04	0,286	1,83	0,279	0,002	0,004	0,28
10	2,26	0,314	2,07	0,29	0,003	0,006	0,284
12	2,17	0,307	2,03	0,296	0,003	0,002	0,295
14	2,26	0,308	2	0,276	0,002	0,004	0,42
16	2,42	0,323	2,12	0,32	0,002	0,006	0,338
18	2,13	0,304	1,91	0,274	0,001	0,006	0,262
20	2,45	0,358	2,16	0,319	0,002	0,002	0,379
25	2,49	0,352	2,23	0,321	0,002	0,005	0,392
30	2,46	0,334	2,28	0,328	0,001	0,004	0,356
35	2,33	0,318	1,95	0,272	0,002	0,002	0,355
40	2,35	0,335	2,13	0,281	0,001	0,001	0,378
45	2,43	0,34	2,02	0,306	0,002	0,002	0,433
50	2,25	0,321	2	0,278	0,002	0,002	0,347
55	2,41	0,333	2,01	0,269	0,004	0,002	0,385
58	2,5	0,332	2,16	0,312	0,002	0,004	0,389
65	2,46	0,348	2,18	0,312	0,002	0,003	0,366
70	2,44	0,324	2,08	0,277	0,002	0,002	0,374
80	2,36	0,342	2,13	0,296	0,001	0,002	0,366
80	2,54	0,36	2,35	0,336	0,002	0,002	0,37
90	2,29	0,313	2,04	0,276	0,001	0,002	0,329
100	2,39	0,328	2,05	0,296	0	0,002	0,33
110	2,25	0,313	2,02	0,286	0,001	0,001	0,336
120	2,21	0,318	1,97	0,267	0,001	0,004	0,318
130	2,46	0,338	2,2	0,296	0,001	0,001	0,373

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ge (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)
2	16,17	0,259	4,4	1,09	0,57	7,19	0,15
4	16,37	0,258	5,77	1,21	0,52	6,69	-0,18
6	12,85	0,222	4,49	1,27	0,48	8,4	0,31
8	12,34	0,206	5,34	1,37	0,53	8,29	0,28
10	14,63	0,231	6,16	1,43	0,62	10,67	0,33
12	12,64	0,211	5,72	1,44	0,53	8,97	0,27
14	83,69	1,54	5,94	1,32	0,66	18,53	0,31
16	40,94	0,708	7,08	1,43	0,78	11,56	0,3
18	8,08	0,12	5,59	1,18	0,67	4,44	0,16
20	9,74	0,155	8,03	1,52	0,61	4,8	0,25
25	9,53	0,158	7,99	1,52	0,66	4,15	0,2
30	9,79	0,156	7,63	1,53	0,58	3,39	0,12
35	8,94	0,139	7,06	1,39	0,64	3,82	0,15
40	9,04	0,144	7,57	1,4	0,66	4,24	0,11
45	9,37	0,164	8,12	1,64	0,57	4,48	0,12
50	8,84	0,148	7,24	1,42	0,49	4,97	0,17
55	8,81	0,147	7,39	1,41	0,73	4,34	0,24
58	9,29	0,152	7,61	1,48	0,6	4,78	0,12
65	8,71	0,148	7,21	1,49	0,52	4,16	0,14
70	9,26	0,145	7,26	1,43	0,65	4,04	0,17
80	9,19	0,146	7,21	1,4	0,61	4,18	0,16
80	9,01	0,146	7,55	1,45	0,64	3,23	0,21
90	8,96	0,145	6,57	1,33	0,66	3,69	0,1
100	9,12	0,154	7,41	1,41	0,42	4,79	0,25
110	8,92	0,143	8,41	1,47	0,35	5,02	0,26
120	8,19	0,126	6,73	1,35	0,44	5,25	0,13
130	9,32	0,157	7,58	1,47	0,41	4,4	0,15

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ge (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)
2	16,17	0,259	4,4	1,09	0,57	7,19	0,15
4	16,37	0,258	5,77	1,21	0,52	6,69	-0,18
6	12,85	0,222	4,49	1,27	0,48	8,4	0,31
8	12,34	0,206	5,34	1,37	0,53	8,29	0,28
10	14,63	0,231	6,16	1,43	0,62	10,67	0,33
12	12,64	0,211	5,72	1,44	0,53	8,97	0,27
14	83,69	1,54	5,94	1,32	0,66	18,53	0,31
16	40,94	0,708	7,08	1,43	0,78	11,56	0,3
18	8,08	0,12	5,59	1,18	0,67	4,44	0,16
20	9,74	0,155	8,03	1,52	0,61	4,8	0,25
25	9,53	0,158	7,99	1,52	0,66	4,15	0,2
30	9,79	0,156	7,63	1,53	0,58	3,39	0,12
35	8,94	0,139	7,06	1,39	0,64	3,82	0,15
40	9,04	0,144	7,57	1,4	0,66	4,24	0,11
45	9,37	0,164	8,12	1,64	0,57	4,48	0,12
50	8,84	0,148	7,24	1,42	0,49	4,97	0,17
55	8,81	0,147	7,39	1,41	0,73	4,34	0,24
58	9,29	0,152	7,61	1,48	0,6	4,78	0,12
65	8,71	0,148	7,21	1,49	0,52	4,16	0,14
70	9,26	0,145	7,26	1,43	0,65	4,04	0,17
80	9,19	0,146	7,21	1,4	0,61	4,18	0,16
80	9,01	0,146	7,55	1,45	0,64	3,23	0,21
90	8,96	0,145	6,57	1,33	0,66	3,69	0,1
100	9,12	0,154	7,41	1,41	0,42	4,79	0,25
110	8,92	0,143	8,41	1,47	0,35	5,02	0,26
120	8,19	0,126	6,73	1,35	0,44	5,25	0,13
130	9,32	0,157	7,58	1,47	0,41	4,4	0,15

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Hf (ppm)	Ir (ppm)	Pt (ppm)
2	13,68	0,641	0,85	3,47	0,451	0	0,001
4	16,83	0,54	0,89	3,96	0,49	0,001	0,002
6	14,25	0,62	0,86	3,55	0,479	0,001	0
8	16,48	0,61	0,88	3,88	0,557	0,003	0
10	16,16	0,627	1,08	4,52	0,533	0	0,001
12	18,01	0,534	1,04	4,32	0,547	0	0,001
14	17,64	0,46	0,96	4,29	0,546	0,001	0
16	20,39	0,657	1,21	4,96	0,683	0,002	0,001
18	16,3	0,52	0,86	3,98	0,515	0,001	0,002
20	22,15	0,558	1,1	5,05	0,717	0,004	0,001
25	21,76	0,551	1,17	5,5	0,691	0	0
30	20,53	0,515	1,18	5,15	0,681	0	0,002
35	20,65	0,359	1,1	4,57	0,615	0	0,004
40	21,46	0,406	1,15	4,9	0,633	0,001	0,004
45	20,97	0,42	1,16	5,37	0,627	0,001	0,005
50	20,19	0,428	1	4,63	0,615	0,002	0,003
55	19,74	0,545	1,05	5,01	0,628	0	0,003
58	19,56	0,422	1,16	4,88	0,565	0,001	0,002
65	18,55	0,4	1,08	4,92	0,577	0,003	0,003
70	20,14	0,535	1,11	4,83	0,61	0,001	0,002
80	19,16	0,493	1,16	4,93	0,62	0,002	0,011
80	18,95	0,321	1,19	5,16	0,56	0,001	0,005
90	19,52	0,42	1,12	4,66	0,614	0,001	0,005
100	23,17	0,312	1,14	4,81	0,762	0	0,001
110	21,61	0,294	1,13	4,77	0,752	0,001	0
120	21,24	0,404	1,01	4,78	0,762	0	0,008
130	22,96	0,397	1,19	5,24	0,822	0,001	0,002

Tabell 2: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Dybde (cm)	W (ppm)	Hg (ppm)
2	0,053	0,033
4	0,041	0,052
6	0,047	0,027
8	0,047	0,022
10	0,067	0,028
12	0,051	0,023
14	0,041	0,186
16	0,051	0,104
18	0,039	0,014
20	0,056	0,012
25	0,051	0,005
30	0,047	0,005
35	0,026	0,008
40	0,039	0,01
45	0,048	0,008
50	0,043	0,019
55	0,05	0,007
58	0,038	0,007
65	0,041	0,011
70	0,037	0,014
80	0,042	0
80	0,028	0,008
90	0,034	0,009
100	0,028	0,011
110	0,029	0,008
120	0,038	0,016
130	0,035	0,013

Vedlegg 3: Analyseresultater for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Li (ppm)	Be (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)
2	26,38	0,74	31,5	15396	17375	33 393	4 341
4	27,67	0,77	24,3	8952	17947	34 547	4 462
6	28,37	0,78	26,2	10407	16864	34927	4639
8	28,69	0,87	24,7	8560	17959	36959	4612
10	25,9	0,77	34,4	32784	17544	34098	4131
12	24,5	0,69	34,5	15542	16267	32703	4529
14	25,83	0,68	36,3	11208	14769	27986	4310
16	22,48	0,55	25,2	6024	14033	27140	4505
18	22,49	0,54	18,4	3491	13533	26762	5017
20	22,09	0,55	14,8	4958	13506	26071	5160
25	18,23	0,5	12,1	4600	12752	21939	4636
30	25,73	0,76	25,9	19467	16938	33495	5134
35	26,96	0,74	24	13262	17066	33962	4907
40	27,96	0,77	22,9	11688	16985	35909	6860
45	26,21	0,84	26,1	24252	17864	35475	6235
50	27,83	0,87	27,5	17701	18066	34124	6952
55	25,44	0,85	39,6	26909	17731	35931	5967
58	28,81	0,76	21,8	6266	17288	34789	6932
65	25,52	0,78	24,9	26110	17137	36419	6251
70	28,33	0,77	19,2	4601	16045	35517	6852
80	26,97	0,82	20,6	6601	17976	42114	6569
90	24,22	0,61	19,3	10855	14876	31545	8486
100	24,78	0,8	20,7	7444	15237	32861	8113
110	29,54	0,88	24,1	10591	17198	39279	6878
120	27,26	0,86	28,6	24014	17774	38109	8655
135	25,71	0,77	25,9	15230	16132	33283	10676
145	23,04	0,69	18,2	5840	16375	31891	8715
147	24,17	0,74	24,1	13636	15065	31795	8906
135	27	0,73	19	4091	16093	35362	10676
145	23,27	0,69	18,2	5840	13521	32922	12222

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	P (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Sc (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)
2	733	1832	11061	9726	1832	1903	95
4	656	2360	11712	11970	2360	1823,4	96,3
6	668	2451	13047	10837	2451	1637,9	97,4
8	719	2101	13560	11795	2101	1796,4	99,3
10	691	2918	12192	11068	2918	1548,4	86,9
12	646	2976	12422	10282	2976	1651,1	104,4
14	584	5147	9095	9927	5147	1638,3	93,1
16	580	4251	9003	10600	4251	1595,6	73,7
18	515	2803	7773	10521	2803	1666,6	75,1
20	570	1806	7270	10924	1806	1672,6	73
25	586	1495	7914	11079	1495	1598,9	69,3
30	643	1712	12114	10818	1712	1746,7	86,9
35	670	2023	12190	10096	2023	1728,9	90,3
40	700	1692	14481	10301	1692	1754,6	91,2
45	681	1657	13521	9518	1657	1762,9	88,4
50	673	1871	13179	9470	1871	1921,5	88,4
55	651	2664	13678	10207	2664	1642,2	91,5
58	723	2229	12678	10394	2229	1222,6	84,4
65	668	2011	12861	10550	2011	1504,8	88,1
70	731	2506	12136	11375	2506	1684,6	89,6
80	689	1701	13164	10973	1701	1654,1	104,2
90	640	1862	10504	10969	1862	1848	79
100	701	1987	11662	11368	1987	1777,3	89,6
110	749	1901	13397	11879	1901	1708,3	96,4
120	611	1509	13335	10104	1509	1847	88,7
135	669	1738	11662	10848	1738	1767,7	85,6
145	567	3090	11608	11842	3090	1639,1	84,3
147	684	2403	11286	12463	2403	1662,3	82,6
135	669	1738	11662	11805	1738	1857,6	85,6
145	674	2531	11172	11842	2531	1907,2	84,3

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
2	101,5	469	35949	14,72	55,72	36	90,5
4	100,7	460	34288	14,92	60,21	38,56	91,2
6	102,4	434	33476	13,5	54,13	38,69	99
8	104,8	462	33696	14,17	59,01	44,3	100,2
10	94,3	436	31336	12,61	49,72	65,89	113,6
12	98,3	420	32132	13,44	50,81	65,57	123,8
14	88	379	29762	13,44	52,85	56,9	142,5
16	83	416	28926	10,84	44,54	35,78	105,9
18	81,5	426	29996	11,92	47,75	36,28	101,9
20	83,8	427	27172	11,45	45,79	30,32	80,6
25	78,9	449	25183	10,4	40,73	24,56	66,6
30	97,4	533	30708	12,99	53,35	37,04	96,6
35	105,1	420	33472	14	54,92	35,5	106,5
40	108,5	417	34718	14,68	55,16	37,07	83,1
45	100,8	440	34682	13,96	55,58	33,32	74,2
50	98,5	430	34251	14,06	55,16	32,12	76,3
55	94,8	419	33349	13,11	51,39	29,9	73,1
58	101,8	444	35024	14,8	54,69	31,51	73,7
65	98,2	400	33046	13,74	57,33	32,34	71,4
70	104,8	466	36933	16,71	64,27	42,15	73,9
80	107,6	443	35600	15,12	60,69	34,59	80,4
90	94,3	440	30499	14,5	55,41	34,17	66,3
100	98,1	450	32695	14,28	57,16	37,39	76,5
110	110,8	465	35268	15,03	56,61	34,91	78,8
120	93	422	34339	14,38	51,26	27,43	72,7
135	103,6	436	34180	14,17	52,42	35,22	75,4
145	92,8	399	32409	13,58	50,94	28,13	62
147	92,7	385	33338	14,21	51,43	32,41	66,5
135	103,6	459	34180	14,17	52,42	35,22	75,4
145	92,6	417	32409	13,2	50,94	28,13	65,2

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ga (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Ag (ppm)	Cd 111 (ppm)	Cd 114 (ppm)
2	10,19	57,56	65,7	19,18	0,062	0,155	0,113
4	11,32	60,15	60,4	19,02	0,062	0,143	0,14
6	11,42	64,19	67,4	19,69	0,079	0,154	0,145
8	11,12	67,96	65,5	18,82	0,087	0,112	0,131
10	9,77	58,77	74,9	19,1	0,068	0,151	0,13
12	10,88	55,86	61,1	18,24	0,075	0,231	0,231
14	9,04	50,3	62,2	18,46	0,066	0,709	0,752
16	8,33	46,27	56,1	16,44	0,047	0,611	0,466
18	8,13	44,35	51,2	15,29	0,055	0,469	0,412
20	7,87	41,28	55,4	16,09	0,045	0,383	0,34
25	7,44	39,2	51,2	16,89	0,037	0,229	0,182
30	9,69	58,65	64,7	18,42	0,073	0,283	0,208
35	11,4	67,3	58,7	18,63	0,057	0,184	0,178
40	11,55	73,01	60	18,86	0,055	0,147	0,118
45	11,2	72,94	63,6	17,99	0,061	0,103	0,126
50	11,7	75,02	59,2	19,24	0,06	0,14	0,108
55	10,19	68,35	66,6	17,77	0,051	0,115	0,07
58	11,44	66,41	58,5	19,13	0,059	0,081	0,088
65	11,53	64,67	72,5	19,07	0,057	0,097	0,087
70	11,8	68,54	64,7	22,1	0,06	0,15	0,14
80	11,06	76,22	59,2	20	0,046	0,11	0,086
90	9,4	59,27	57,2	17,93	0,057	0,167	0,133
100	10,62	64,72	53,6	18,71	0,053	0,122	0,103
110	11,69	76,77	63,3	19,76	0,06	0,104	0,102
120	11,24	70,01	63,6	19,88	0,043	0,109	0,112
135	10,96	59,73	58,9	19,44	0,055	0,109	0,098
145	9,45	63,97	66,1	17,67	0,052	0,095	0,071
147	9,65	61,32	58,2	19,06	0,054	0,125	0,096
135	10,96	66,7	64,6	19,44	0,055	0,144	0,113
145	9,65	60,88	56,6	17,67	0,048	0,129	0,071

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Mo (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)
2	0,878	0,045	0,983	0,04	2,63	173,5	24
4	1,197	0,05	0,939	0,03	2,78	183,1	25
6	0,865	0,051	0,853	0,044	2,83	190,8	26,5
8	0,767	0,052	0,862	0,03	2,97	208,7	27
10	0,705	0,046	1,123	0,032	2,74	179,7	23,5
12	0,924	0,044	1,026	0,043	2,57	175,1	24,4
14	2,436	0,046	0,86	0,055	2,43	148	22,8
16	2,165	0,041	0,74	0,037	2,1	127,6	20,1
18	1,592	0,041	0,616	0,039	2,19	124	18,6
20	0,875	0,036	0,706	0,033	1,99	118,7	18,5
25	0,577	0,037	0,643	0,025	1,85	112,4	18,8
30	1,109	0,047	1,163	0,031	2,71	172,7	23,6
35	0,966	0,047	0,946	0,032	2,79	203,4	26,7
40	0,679	0,052	0,917	0,025	3,14	225	26,5
45	0,825	0,046	1,178	0,03	3,04	217,3	24,9
50	0,819	0,043	1,141	0,027	2,99	235,1	27,6
55	1,174	0,045	1,105	0,028	2,87	213,4	25,2
58	0,58	0,045	0,594	0,026	2,8	198	26,6
65	0,919	0,047	1,01	0,02	2,91	210,9	24,9
70	0,825	0,051	0,623	0,02	3,02	189	28,9
80	0,79	0,052	0,693	0,018	3,17	229,3	27,4
90	0,869	0,042	0,823	0,029	2,65	174,9	24,2
100	0,651	0,046	0,756	0,02	2,68	199,6	25,2
110	0,922	0,046	0,737	0,025	3,18	226,6	27,8
120	0,904	0,047	0,945	0,016	3,14	224,1	25,3
135	0,889	0,037	0,927	0,024	2,76	196,1	23
145	0,674	0,043	0,825	0,022	2,74	196,2	24,9
147	0,855	0,041	0,83	0,032	2,77	186,6	24,2
135	0,689	0,048	0,739	0,023	2,76	217,1	27
145	0,674	0,038	0,825	0,023	2,62	190,4	24,9

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)
2	50,8	5,95	24,4	4,53	0,668	3,8	0,722
4	52,3	6,21	24,37	4,62	0,656	3,57	0,755
6	53,7	6,27	25,14	4,77	0,664	3,71	0,707
8	56	6,4	26,01	5,11	0,712	3,86	0,755
10	50,1	5,97	24,04	4,81	0,616	3,68	0,712
12	53,3	6,06	24,17	4,78	0,625	3,77	0,727
14	47,3	5,55	22,94	4,55	0,592	3,51	0,664
16	40,8	4,67	20,06	3,87	0,545	3,27	0,609
18	39,3	4,48	18,43	3,61	0,496	2,93	0,55
20	37,9	4,61	19,88	3,95	0,52	3,05	0,602
25	37,7	4,69	20,3	3,72	0,503	2,97	0,605
30	51,3	6,03	25,45	4,64	0,632	3,86	0,73
35	56,2	6,55	26,06	5,03	0,677	3,85	0,734
40	57,4	6,71	26,49	4,73	0,68	4	0,798
45	54,8	6,68	27,24	4,96	0,628	3,8	0,743
50	56,2	6,73	28,51	4,87	0,696	3,9	0,784
55	51,5	6,34	24,8	4,83	0,649	3,76	0,746
58	55,4	6,7	28,39	5,19	0,685	3,79	0,808
65	54,9	6,7	25,71	4,44	0,634	3,84	0,721
70	63,9	7,33	29,41	5,52	0,745	4,25	0,81
80	57,7	6,92	27,74	4,93	0,737	4,17	0,804
90	50,8	6,04	24,68	4,43	0,63	3,59	0,762
100	54,2	6,43	25,16	4,31	0,671	3,8	0,745
110	58,8	6,95	28,62	5,17	0,718	3,89	0,792
120	52,1	6,27	25,45	4,5	0,653	3,66	0,757
135	53,9	6,22	25,95	4,64	0,703	3,84	0,778
145	51,1	6,13	25,03	4,19	0,62	3,6	0,707
147	49,4	5,88	23,79	4,48	0,66	3,53	0,708
135	53,9	6,22	26,04	4,72	0,703	3,84	0,778
145	51,1	6,13	25,03	4,38	0,62	3,61	0,707

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Ta (ppm)	Au (ppm)	Tl (ppm)
2	2,21	0,289	1,88	0,289	0,001	0,001	0,376
4	2,25	0,311	1,95	0,276	0,001	0,003	0,4
6	2,26	0,295	1,98	0,291	0,012	0,001	0,409
8	2,29	0,325	2,07	0,29	0,001	0,004	0,437
10	2,1	0,289	1,85	0,265	0,003	0,004	0,345
12	2,19	0,32	2,02	0,287	0,001	0,003	0,393
14	2,09	0,302	1,89	0,26	0,001	0,002	0,369
16	1,96	0,286	1,82	0,255	0,001	0,01	0,339
18	1,68	0,261	1,59	0,231	0,003	0,004	0,347
20	1,88	0,268	1,7	0,243	0,002	0,005	0,328
25	1,8	0,273	1,64	0,246	0,001	0,005	0,321
30	2,2	0,319	2,06	0,291	0,001	0,038	0,411
35	2,31	0,317	2	0,287	0,001	0,003	0,441
40	2,42	0,341	1,94	0,302	0,002	0,005	0,472
45	2,25	0,325	1,91	0,286	0,001	0,004	0,435
50	2,42	0,312	1,9	0,273	0,002	0,004	0,437
55	2,28	0,317	1,92	0,273	0,002	0,003	0,395
58	2,19	0,326	2,02	0,273	0,002	0,003	0,427
65	2,09	0,292	1,88	0,287	0,002	0,004	0,441
70	2,63	0,354	2,05	0,3	0,001	0,003	0,455
80	2,44	0,309	2	0,297	0,002	0,003	0,455
90	2,31	0,304	1,9	0,281	0,003	0,003	0,429
100	2,33	0,317	1,76	0,271	0,002	0,003	0,437
110	2,61	0,37	2,02	0,29	0,003	0,003	0,452
120	2,19	0,31	1,91	0,276	0,002	0,002	0,441
135	2,18	0,298	1,86	0,28	0,003	0,002	0,405
145	2,09	0,299	1,87	0,272	0,003	0,002	0,418
147	2,35	0,324	1,88	0,285	0,003	0,003	0,371
135	2,45	0,338	1,89	0,296	0,003	0,002	0,405
145	2,19	0,312	1,87	0,268	0,003	0,005	0,418

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ge (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)
2	9,67	0,155	6,6	1,41	0,37	7,16	0,36
4	9,99	0,148	6,6	1,49	0,36	5,23	0,23
6	10,88	0,167	6,86	1,47	0,35	5,77	0,3
8	11,01	0,179	7,21	1,53	0,35	6,05	0,28
10	11,33	0,171	6,18	1,3	0,33	6,32	0,22
12	11,93	0,185	6,76	1,6	0,36	7,91	0,3
14	13,43	0,211	6,12	1,55	0,41	8,65	0,31
16	10,99	0,174	4,71	5,2	0,33	8,12	0,18
18	8,97	0,148	4,41	1,17	0,31	7,25	0,19
20	7,85	0,136	4,66	1,31	0,36	4,04	0,27
25	6,2	0,115	4,76	1,17	0,34	3,74	0,13
30	9,12	0,158	6,62	1,45	0,4	5,53	0,23
35	9,76	0,166	7,34	1,55	0,34	5,7	0,18
40	10,13	0,149	7,35	1,49	0,49	4,85	0,25
45	9,53	0,159	7,34	1,58	0,48	4,7	0,26
50	9,67	0,157	7,45	1,52	0,5	4,96	0,35
55	9,39	0,162	6,73	1,52	0,42	5,39	0,21
58	9,51	0,163	7,37	1,49	0,42	5,82	0,21
65	9,13	0,154	6,64	1,47	0,37	4,37	0,24
70	9,98	0,195	7,34	1,54	0,39	6,06	0,32
80	9,84	0,169	7,33	1,56	0,41	4,81	0,11
90	8,42	0,159	6,51	1,39	0,39	5,27	0,22
100	9,5	0,164	6,74	1,48	0,48	5,02	0,22
110	10,07	0,172	7,77	1,57	0,53	4,81	0,24
120	9,2	0,155	6,88	1,41	0,51	4,11	0,21
135	8,43	0,156	6,41	1,38	0,48	4,18	0,2
145	7,99	0,14	6,35	1,32	0,51	4,67	0,18
147	8,34	0,155	6,22	1,33	0,48	4,64	0,25
135	9,52	0,185	6,78	1,48	0,53	4,18	0,25
145	8,22	0,141	5,97	1,32	0,51	4,92	0,15

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Hf (ppm)	Ir (ppm)	Pt (ppm)
2	25,08	0,521	1,02	4,57	0,973	0,00101035	0,00082517
4	27,05	0,447	1,08	4,4	0,936	0,00167916	0,0024163
6	26,57	0,418	0,97	4,58	0,952	0	0,00165005
8	26,94	0,415	1,04	4,71	0,976	0	0,00150152
10	23,33	0,36	0,95	4,38	0,844	0,00070078	0,00259941
12	27,02	0,504	1,02	4,71	0,942	0	0,00253622
14	24,25	0,475	0,95	4,02	0,807	0,00085474	0,00247627
16	21,5	0,411	0,86	3,83	0,744	0,00118197	0,00306619
18	20,36	0,502	0,85	3,47	0,692	0,00072049	0
20	22,06	0,524	0,79	3,63	0,754	0,00247876	0,00264241
25	20,36	0,561	0,86	3,79	0,756	0	0,00171647
30	25,62	0,451	1,06	4,38	0,84	0,00221828	0,00392391
35	26,66	0,387	1,09	4,55	0,863	0,00148885	0,00119177
40	27,52	0,498	1,04	4,61	0,997	0,00162873	0,00363291
45	28,54	0,438	1,13	4,58	1,08	0	0,00208786
50	28,01	0,49	1,13	4,81	0,875	0,00110325	0,00530224
55	25,28	0,4	1,05	4,13	0,798	0	0,00059523
58	23,98	0,354	1,1	4,43	0,754	0	0,00198384
65	24,62	0,345	1,03	4,02	0,821	0,00065003	0,00840482
70	26,03	0,385	1,21	4,93	0,846	0	0,00061639
80	28,42	0,357	1,13	4,6	0,852	0,00132519	0,00182985
90	25,47	0,513	1,05	4,07	0,791	0	0
100	26,45	0,484	1,09	4,41	0,841	0,00163941	0
110	28,01	0,341	1,15	4,49	0,822	0,00126546	0,00122934
120	25,06	0,423	1,03	4,17	0,839	0,00073462	0,00136632
135	26,53	0,603	1,06	4,11	0,809	0,00088762	0
145	24,42	0,597	1,14	3,65	0,749	0	0,00061226
147	25,3	0,441	1,08	3,91	0,742	0	0,00125918
135	26,53	0,603	1,06	4,11	0,741	0,00101495	0,00805715
145	25,64	0,597	1,14	3,65	0,743	0	0,00449542

Tabell 3: Analyseresultatene for sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.

Dybde (cm)	W (ppm)	Hg (ppm)
2	0,04950669	0,02609423
4	0,03953733	0,01882361
6	0,03987458	0,01661137
8	0,03045015	0,01966359
10	0,03535814	0,02714557
12	0,04824122	0,02970722
14	0,03216223	0,05324085
16	0,03747976	0,03770521
18	0,03890598	0,02228512
20	0,03905851	0,01227062
25	0,03811219	0,01122669
30	0,03260404	0,01568722
35	0,03881306	0,01430775
40	0,02663562	0,01599285
45	0,03631486	0,02229696
50	0,04453753	0,02741378
55	0,03201	0,02295307
58	0,02963468	0,00755981
65	0,02352558	0,01278127
70	0,03953563	0,01230475
80	0,03227743	0,00985236
90	0,05145382	0,004594
100	0,03894388	0,01230832
110	0,03978284	0,01584772
120	0,02816276	0,00665858
135	0,04317837	0,00603462
145	0,0260062	0,00816041
147	0,04167303	0,00609391
135	0,05846228	0,00049048
145	0,04675531	0,00719479

Vedlegg 4: Analyseresultater for sedimentkjernen Nidelva 1 tatt utenfor Nidelva.

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Li (ppm)	Be (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)
1	28,56	1,00	24,85	10 878	21885	40 800	2 902
2	30,62	1,02	25,04	10 321	23511	41 396	2 599
3	22,88	0,64	18,91	7 347	15408	30 444	2 823
4	19,65	0,62	14,37	3 812	13533	26 744	2 225
5	21,21	0,57	14,92	8 726	13805	28 043	2 663
6	18,58	0,54	13,15	9 510	13307	25 512	2 623
7	20,32	0,57	15,81	9 096	15167	25 390	2 657
8	19,89	0,55	14,79	8 285	13003	25 230	3 094
9	18,86	0,54	17,16	11 134	13609	24 178	2 756
10	19,72	0,57	16,32	9 704	13903	24 980	2 733
11	19,40	0,50	22,80	17 974	12942	24 226	3 122
12	19,34	0,54	16,52	12 745	12714	24 987	2 384
13	20,63	0,55	15,94	11 945	13615	25 979	2 858
14	19,85	0,60	16,51	13 123	13845	26 825	3 072
15	21,25	0,61	22,04	15 986	15510	27 556	2 944
16	21,69	0,60	19,84	17 054	15745	28 598	3 041
17	21,69	0,58	14,14	8 269	14970	27 250	2 661
18	20,65	0,55	15,08	10 520	14203	26 595	3 055
19	20,97	0,57	13,87	5 831	14379	27 071	2 683
20	21,41	0,61	13,40	6 890	15384	27 104	2 811
22	21,96	0,56	13,42	5 831	15643	28 240	3 025
24	20,72	0,57	15,30	12 052	14260	25 140	2 930
26	20,80	0,59	19,42	15 667	14691	26 423	2 867
28	19,27	0,57	25,28	24 556	14632	25 661	2 778
30	22,19	0,64	19,61	16 533	15513	27 111	2 963
35	18,81	0,55	13,95	4 733	14198	25 123	2 684
40	20,91	0,55	15,22	8 531	14368	26 127	2 977
45	22,45	0,64	23,51	14 676	15568	27 470	2 805
50	22,07	0,61	19,62	15 946	16106	28 053	2 846
55	20,51	0,54	16,33	6 497	15936	26 617	2 921
60	28,49	0,72	19,56	13 819	20062	36 705	2 978
65	27,18	0,74	20,79	10 620	20388	35 808	3 129
70	21,39	0,60	13,46	8 499	17414	33 664	2 961
75	33,71	0,90	21,44	12 714	24982	40 322	3 150
80	27,94	0,84	18,39	12 037	21413	38 167	3 128
85	17,58	0,54	11,76	9 208	14535	25 890	2 743
90	25,05	0,72	16,80	11 812	19228	34 086	3 003
95	28,63	0,81	18,93	9 157	20082	39 248	3 216
100	25,67	0,79	17,26	9 580	20123	34 216	2 746
105	28,20	0,81	20,60	8 845	19899	36 155	2 761
107	27,76	0,82	20,14	18 898	21074	37 291	2 907

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	P (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Sc (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)
1	676	1 879	12 410	16 237	1 879	754,4	87,5
2	671	2 098	14 479	15 653	2 098	785,2	85,7
3	744	2 599	8 196	15 117	2 599	862,5	72,8
4	674	2 050	7 195	13 405	2 050	874,1	70,6
5	770	2 176	7 464	15 205	2 176	879,8	66,2
6	682	2 111	6 970	14 809	2 111	816,1	64,0
7	744	2 370	6 710	15 060	2 370	796,7	65,7
8	654	2 668	6 868	13 145	2 668	961,7	66,3
9	618	2 799	6 405	13 161	2 799	863,9	63,3
10	612	2 624	6 769	12 737	2 624	876,3	61,9
11	590	3 059	6 644	12 315	3 059	889,3	61,9
12	597	2 707	6 802	11 576	2 707	792,6	61,9
13	615	2 490	7 402	12 833	2 490	822,5	65,1
14	667	2 431	7 752	12 798	2 431	924,5	65,5
15	638	3 181	8 237	13 131	3 181	904,5	73,6
16	623	2 698	8 615	12 716	2 698	902,7	68,8
17	719	2 079	7 561	13 708	2 079	801,1	67,9
18	648	2 105	7 455	13 385	2 105	1 012,3	68,8
19	669	1 939	7 695	13 324	1 939	921,1	70,5
20	653	1 949	7 656	12 680	1 949	958,1	69,0
22	708	2 127	7 575	14 458	2 127	930,9	70,5
24	682	2 213	6 987	13 154	2 213	730,2	63,9
26	661	2 285	7 322	14 204	2 285	763,5	68,7
28	625	2 592	7 872	18 612	2 592	685,1	65,5
30	644	2 513	7 734	12 070	2 513	807,4	67,7
35	712	1 976	6 740	14 617	1 976	817,6	65,0
40	700	2 131	7 282	14 570	2 131	860,3	68,6
45	682	2 392	8 752	15 883	2 392	781,8	71,2
50	677	2 146	8 628	15 361	2 146	778,3	69,2
55	621	2 222	8 071	51 377	2 222	766,1	71,9
60	615	2 019	11 844	25 522	2 019	822,1	80,3
65	687	3 024	11 209	28 909	3 024	829,8	85,5
70	498	1 324	9 067	18 581	1 324	841,7	81,1
75	660	1 487	14 867	15 791	1 487	849,1	93,7
80	681	1 315	12 601	17 325	1 315	839,9	80,7
85	761	1 477	7 740	18 309	1 477	791,9	63,6
90	700	1 287	11 380	17 066	1 287	817,7	74,7
95	691	1 257	13 208	18 173	1 257	885,8	82,1
100	707	1 273	11 354	17 664	1 273	810,3	75,6
105	678	1 068	13 271	16 378	1 068	784,1	80,1
107	693	1 303	13 124	17 802	1 303	812,4	75,0

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
1	115,2	522,6	36 523	16,0	58,6	33,8	82,4
2	118,8	571,6	38 717	16,8	62,9	30,0	83,4
3	91,1	425,4	28 540	11,0	41,4	19,6	54,7
4	79,8	369,7	24 450	10,2	35,1	16,8	46,6
5	80,7	415,3	24 391	10,1	37,2	18,8	44,8
6	78,9	380,1	23 783	9,4	34,6	16,7	44,7
7	83,4	407,0	24 890	9,7	37,9	19,5	44,2
8	77,6	369,2	24 153	9,5	35,5	18,6	42,9
9	75,0	379,2	22 523	9,0	34,6	17,2	41,3
10	78,5	370,2	24 294	9,9	36,2	20,7	44,7
11	74,1	343,2	21 681	9,0	34,1	16,2	40,7
12	72,6	366,3	23 757	9,2	34,5	20,3	42,3
13	79,6	377,8	25 586	10,1	37,7	24,6	47,4
14	77,9	394,2	26 169	10,3	35,1	17,9	44,8
15	83,9	388,4	26 879	10,2	39,5	21,0	48,9
16	82,3	384,5	27 342	11,0	42,3	20,4	49,9
17	79,7	398,2	27 230	10,6	39,3	19,7	48,6
18	80,8	385,2	25 629	9,9	39,1	21,8	47,4
19	81,4	378,5	26 641	11,1	39,3	21,8	51,0
20	84,1	404,7	26 513	11,2	40,6	22,9	52,0
22	88,4	407,4	27 380	11,4	44,3	24,8	52,5
24	85,5	381,7	25 133	10,4	38,7	21,3	49,7
26	81,2	381,4	26 053	10,4	37,8	19,3	47,9
28	85,8	375,9	24 326	10,1	38,6	19,5	46,8
30	84,2	365,8	26 345	10,5	40,6	19,3	49,8
35	78,8	391,8	26 094	10,0	35,6	15,1	43,4
40	84,6	400,8	25 664	10,0	35,9	17,0	46,5
45	89,2	385,1	26 795	10,9	41,9	18,4	49,7
50	87,5	389,5	28 152	11,1	42,3	18,9	49,7
55	99,7	447,5	28 904	11,7	43,4	17,9	52,5
60	116,9	504,8	36 091	14,7	58,7	26,9	68,1
65	106,2	482,4	34 383	13,8	54,8	22,3	65,7
70	121,2	419,1	29 304	13,2	61,2	36,5	55,6
75	129,3	544,3	41 004	18,0	72,6	32,4	83,5
80	111,6	527,0	37 548	16,1	63,3	30,4	71,5
85	82,1	450,9	25 990	11,2	45,9	24,0	46,7
90	106,0	507,6	32 051	14,6	58,8	28,7	65,3
95	120,8	538,9	37 116	15,9	66,4	31,6	72,1
100	106,2	518,8	34 551	14,8	61,6	29,2	65,2
105	116,4	492,8	36 014	15,4	65,9	29,7	69,9
107	115,9	528,6	37 169	15,6	62,1	30,3	71,6

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ga (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Ag (ppm)	Mo (ppm)	Cd 111 (ppm)
1	11,45	72,6	79,7	20,15	0,12	0,40	0,11
2	12,09	82,6	74,5	20,04	0,07	0,31	0,10
3	8,75	48,8	79,0	19,57	0,05	0,40	0,09
4	7,48	41,5	68,2	17,67	0,03	0,32	0,08
5	7,90	42,5	78,4	19,39	0,03	0,43	0,08
6	7,76	39,8	77,1	18,54	0,02	0,46	0,07
7	7,59	40,6	74,5	18,88	0,03	0,70	0,06
8	7,48	39,5	68,8	18,35	0,03	0,71	0,09
9	7,50	38,9	74,2	17,89	0,03	1,19	0,11
10	7,56	41,4	70,6	17,80	0,03	0,77	0,07
11	7,23	39,1	80,3	16,10	0,03	1,57	0,15
12	6,98	39,2	75,1	16,83	0,04	0,62	0,08
13	7,78	43,3	75,1	17,05	0,04	0,61	0,09
14	8,03	41,3	76,5	18,40	0,03	0,83	0,07
15	8,41	45,5	90,0	17,94	0,04	1,14	0,13
16	8,67	47,3	78,7	18,24	0,04	0,82	0,09
17	7,95	42,7	74,6	19,20	0,03	0,48	0,08
18	8,13	40,7	73,7	18,46	0,04	0,61	0,08
19	8,08	44,3	71,1	17,99	0,04	0,55	0,07
20	8,55	45,0	70,4	18,64	0,04	0,83	0,11
22	8,53	45,1	71,6	20,18	0,03	0,53	0,10
24	8,01	40,2	73,2	18,12	0,04	0,75	0,10
26	8,10	42,9	85,5	18,19	0,03	0,71	0,07
28	8,11	42,2	107,3	18,34	0,04	1,07	0,11
30	8,28	45,6	78,4	17,71	0,04	1,14	0,09
35	7,70	39,2	70,4	19,11	0,02	0,51	0,09
40	7,98	42,6	74,9	18,40	0,03	0,81	0,07
45	8,63	46,3	89,1	18,02	0,03	1,24	0,08
50	8,59	44,6	82,1	18,56	0,04	1,07	0,10
55	8,67	46,0	242,4	18,97	0,02	0,68	0,07
60	11,06	65,4	124,5	18,02	0,04	0,72	0,08
65	10,30	63,0	150,5	19,52	0,04	0,70	0,13
70	9,64	46,7	94,2	16,56	0,03	0,48	0,07
75	12,82	79,7	79,1	20,28	0,06	0,37	0,09
80	10,77	68,6	80,1	20,96	0,04	0,28	0,08
85	7,64	39,4	82,0	18,87	0,04	0,30	0,10
90	10,47	57,0	74,9	19,93	0,07	0,29	0,07
95	11,75	68,6	74,2	20,24	0,04	0,27	0,07
100	10,48	62,1	75,2	19,86	0,04	0,28	0,12
105	11,26	69,4	72,9	20,29	0,04	0,23	0,10
107	11,10	66,9	79,5	19,84	0,20	0,31	0,11

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Cd 114 (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)
1	0,06	0,55	0,049	0,020	3,07	212,1	27,9
2	0,05	0,41	0,051	0,014	3,39	225,4	28,9
3	0,06	0,38	0,042	0,021	2,13	133,0	24,2
4	0,05	0,28	0,038	0,022	1,82	113,9	22,0
5	0,06	0,34	0,037	0,022	1,71	115,4	22,5
6	0,07	0,36	0,037	0,015	1,85	112,3	21,4
7	0,05	0,36	0,038	0,015	1,69	112,8	22,6
8	0,07	0,39	0,038	0,018	1,67	108,3	21,7
9	0,07	0,44	0,040	0,021	1,63	98,6	21,2
10	0,07	0,56	0,038	0,017	1,74	105,2	21,0
11	0,12	0,59	0,039	0,034	1,73	104,3	19,2
12	0,08	0,55	0,036	0,021	1,69	102,6	20,8
13	0,08	0,67	0,039	0,020	1,84	116,0	20,4
14	0,07	0,49	0,037	0,020	1,81	117,1	22,0
15	0,08	0,44	0,039	0,030	2,00	131,2	21,3
16	0,07	0,48	0,041	0,015	2,11	132,9	22,7
17	0,06	0,32	0,040	0,017	1,89	112,3	22,6
18	0,07	0,50	0,032	0,019	1,86	113,7	20,9
19	0,05	0,39	0,042	0,018	1,97	118,7	21,6
20	0,09	0,42	0,042	0,021	1,98	121,0	22,3
22	0,06	0,50	0,040	0,017	1,98	122,1	22,8
24	0,07	0,44	0,038	0,026	1,84	108,9	21,8
26	0,08	0,48	0,036	0,027	1,85	114,6	21,0
28	0,11	0,61	0,037	0,027	1,89	120,3	20,6
30	0,06	0,51	0,043	0,022	2,05	123,2	22,0
35	0,06	0,26	0,035	0,022	1,76	102,6	21,6
40	0,06	0,36	0,037	0,021	1,82	112,0	21,2
45	0,08	0,41	0,041	0,024	2,07	133,0	22,4
50	0,08	0,48	0,038	0,026	2,16	131,8	22,5
55	0,07	0,29	0,042	0,021	1,96	127,9	22,2
60	0,09	0,40	0,049	0,015	2,83	182,9	24,9
65	0,10	0,34	0,043	0,024	2,81	173,4	24,1
70	0,07	0,32	0,041	0,013	2,10	138,6	17,6
75	0,08	0,39	0,049	0,012	3,72	226,8	27,7
80	0,08	0,41	0,048	0,009	2,98	207,8	27,0
85	0,06	0,38	0,039	0,006	1,72	124,1	23,1
90	0,07	0,35	0,044	0,009	2,54	184,1	26,2
95	0,08	0,43	0,049	0,008	2,93	210,9	27,4
100	0,09	0,35	0,048	0,011	2,67	193,8	26,7
105	0,08	0,34	0,047	0,004	3,11	204,1	27,6
107	0,08	0,54	0,044	0,008	2,99	203,8	27,0

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)
1	59,4	6,79	26,6	5,42	0,67	3,62	0,78
2	59,6	6,93	27,0	5,52	0,67	3,78	0,78
3	50,2	5,75	22,9	4,95	0,62	3,49	0,74
4	46,8	5,51	22,0	4,65	0,57	3,25	0,67
5	45,8	5,52	22,5	4,80	0,63	3,52	0,74
6	46,2	5,42	21,5	4,30	0,56	3,37	0,70
7	48,2	5,55	21,6	4,58	0,60	3,49	0,70
8	45,7	5,38	21,0	4,15	0,58	3,37	0,68
9	45,6	5,24	20,9	4,26	0,55	3,33	0,65
10	46,1	5,26	20,5	4,13	0,56	3,29	0,67
11	41,4	4,87	18,6	3,74	0,51	2,96	0,62
12	45,1	5,26	21,2	4,10	0,52	3,13	0,64
13	45,6	5,10	21,0	4,01	0,55	3,33	0,66
14	48,6	5,59	22,0	4,37	0,58	3,47	0,68
15	46,9	5,69	21,9	4,49	0,56	3,33	0,66
16	49,7	5,76	22,8	4,24	0,57	3,49	0,69
17	49,9	5,70	22,9	4,14	0,57	3,59	0,70
18	45,9	5,51	21,5	4,16	0,55	3,25	0,67
19	50,0	5,73	22,5	4,22	0,55	3,55	0,68
20	48,3	5,77	22,2	4,27	0,57	3,58	0,71
22	52,5	5,96	24,3	4,62	0,63	3,71	0,75
24	49,1	5,85	21,9	4,15	0,59	3,52	0,69
26	46,3	5,34	21,1	3,99	0,57	3,39	0,70
28	45,2	5,50	21,0	4,15	0,59	3,45	0,70
30	48,4	5,62	22,9	4,23	0,56	3,33	0,69
35	47,3	5,83	22,8	4,49	0,60	3,44	0,71
40	46,2	5,60	22,4	4,40	0,59	3,36	0,69
45	49,5	5,89	22,6	4,65	0,61	3,44	0,71
50	49,5	5,87	23,5	4,49	0,58	3,53	0,71
55	49,3	5,57	21,6	4,22	0,59	3,51	0,70
60	54,5	6,41	26,0	4,98	0,62	3,48	0,73
65	54,1	6,44	25,0	5,04	0,65	3,69	0,78
70	38,2	4,61	18,4	3,75	0,53	2,94	0,63
75	61,3	7,15	28,6	5,69	0,70	3,84	0,80
80	56,3	6,72	26,7	5,28	0,69	3,76	0,74
85	49,0	5,65	23,2	4,70	0,63	3,46	0,75
90	56,8	6,49	24,4	5,11	0,64	3,70	0,78
95	59,2	6,90	26,7	5,48	0,70	3,96	0,81
100	54,9	6,59	25,7	5,25	0,68	3,65	0,74
105	58,2	6,88	27,2	5,57	0,70	3,69	0,79
107	56,6	7,03	26,4	5,19	0,70	3,77	0,79

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Hf (ppm)	W (ppm)	Au (ppm)
1	2,14	0,30	1,74	0,275	0,50	0,00	0,003
2	2,16	0,29	1,84	0,286	0,56	0,00	0,001
3	2,18	0,28	1,77	0,275	0,50	0,01	0,001
4	1,93	0,26	1,66	0,254	0,49	0,01	0,001
5	2,07	0,29	1,76	0,269	0,49	0,02	0,001
6	2,05	0,27	1,74	0,251	0,47	0,01	0,001
7	2,09	0,28	1,75	0,266	0,45	0,01	0,002
8	1,99	0,27	1,69	0,251	0,50	0,01	0,002
9	1,94	0,27	1,75	0,257	0,50	0,02	0,002
10	1,95	0,27	1,70	0,249	0,44	0,01	0,001
11	1,80	0,25	1,61	0,227	0,46	0,02	0,003
12	1,86	0,27	1,76	0,243	0,42	0,01	0,000
13	1,89	0,27	1,80	0,234	0,43	0,01	0,002
14	1,97	0,28	1,93	0,249	0,52	0,01	0,001
15	1,96	0,28	1,76	0,247	0,49	0,01	0,001
16	1,98	0,27	1,82	0,257	0,49	0,01	0,001
17	2,05	0,30	1,97	0,249	0,44	0,00	0,000
18	1,98	0,29	1,88	0,252	0,54	0,01	0,001
19	2,02	0,29	1,91	0,264	0,51	0,01	0,001
20	2,08	0,28	1,92	0,253	0,52	0,02	0,001
22	2,20	0,31	2,11	0,267	0,51	0,01	0,001
24	2,07	0,28	1,90	0,253	0,42	0,01	0,001
26	2,10	0,27	1,87	0,249	0,45	0,01	0,001
28	2,08	0,29	1,89	0,269	0,44	0,01	0,001
30	1,98	0,26	1,82	0,250	0,50	0,00	0,002
35	2,11	0,29	2,04	0,270	0,47	0,01	0,001
40	2,03	0,28	1,90	0,254	0,45	0,00	0,001
45	2,06	0,28	1,88	0,252	0,50	0,01	0,002
50	2,09	0,29	1,94	0,265	0,48	0,01	0,001
55	2,17	0,30	1,96	0,260	0,47	0,00	0,000
60	2,05	0,28	1,83	0,264	0,56	0,01	0,001
65	2,20	0,31	1,98	0,265	0,53	0,00	0,002
70	1,83	0,25	1,70	0,237	0,46	0,01	0,001
75	2,17	0,31	2,11	0,278	0,66	0,01	0,000
80	2,20	0,30	2,04	0,268	0,65	0,02	0,001
85	2,09	0,28	1,93	0,263	0,51	0,01	0,020
90	2,15	0,29	2,02	0,281	0,57	0,00	0,001
95	2,34	0,31	2,09	0,271	0,72	0,01	0,002
100	2,22	0,29	1,91	0,277	0,62	0,01	0,001
105	2,26	0,30	1,96	0,265	0,69	0,00	0,001
107	2,25	0,31	1,96	0,260	0,64	0,01	0,002

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1 (Fortsetter neste side).

Dybde (cm)	Tl (ppm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ge (ppm)	As (ppm)
1	0,375	12,25	0,177	8,47	1,64	0,32	2,79
2	0,400	9,59	0,159	9,42	1,67	0,32	3,24
3	0,249	7,46	0,117	6,64	1,48	0,32	2,94
4	0,211	6,01	0,111	5,91	1,24	0,34	1,85
5	0,201	6,42	0,121	6,10	1,35	0,29	2,08
6	0,204	6,10	0,107	5,63	1,23	0,33	1,70
7	0,212	6,19	0,118	5,83	1,34	0,32	1,76
8	0,207	6,07	0,101	5,34	1,31	0,35	1,97
9	0,189	6,19	0,112	5,21	1,30	0,34	1,70
10	0,213	6,62	0,101	5,31	1,28	0,34	1,71
11	0,199	6,56	0,101	4,98	1,29	0,39	1,81
12	0,210	6,29	0,099	5,08	1,31	0,30	1,83
13	0,229	6,58	0,112	5,53	1,31	0,27	1,82
14	0,241	6,67	0,111	5,83	1,42	0,30	1,73
15	0,251	6,98	0,123	5,97	1,42	0,28	1,82
16	0,251	7,00	0,126	6,15	1,35	0,36	1,90
17	0,221	6,53	0,119	5,59	1,34	0,28	1,80
18	0,237	6,61	0,126	5,47	1,39	0,27	1,86
19	0,242	6,72	0,116	5,70	1,39	0,30	1,96
20	0,241	6,66	0,130	5,99	1,33	0,30	2,01
22	0,240	6,81	0,128	6,37	1,43	0,33	1,82
24	0,226	6,67	0,118	5,77	1,38	0,28	1,72
26	0,224	6,57	0,116	5,65	1,52	0,32	2,57
28	0,230	7,43	0,110	5,62	1,51	0,30	1,90
30	0,231	6,80	0,112	5,89	1,37	0,35	2,72
35	0,208	5,98	0,121	5,67	1,45	0,28	2,13
40	0,219	6,49	0,117	5,51	1,38	0,29	1,67
45	0,240	6,86	0,123	6,19	1,49	0,28	1,87
50	0,226	6,93	0,121	6,21	1,45	0,28	1,96
55	0,237	6,06	0,112	5,98	1,83	0,33	2,74
60	0,321	8,23	0,128	7,52	1,57	0,26	2,84
65	0,312	8,02	0,143	7,45	1,76	0,33	3,10
70	0,245	6,18	0,103	5,59	1,10	0,27	1,93
75	0,393	9,97	0,163	9,42	1,65	0,30	2,93
80	0,352	9,06	0,144	8,49	1,49	0,28	2,68
85	0,242	7,05	0,124	6,03	1,33	0,30	2,30
90	0,314	8,96	0,146	7,72	1,42	0,37	2,48
95	0,369	9,23	0,155	8,40	1,50	0,29	3,00
100	0,326	8,34	0,136	7,96	1,46	0,33	2,68
105	0,340	8,69	0,141	8,60	1,54	0,29	2,30
107	0,345	9,70	0,147	8,14	1,50	0,29	2,44

Tabell 4: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 1.

Dybde (cm)	Se (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Pt (ppm)	Hg (ppm)
1	0,16	25,2	0,09	1,11	4,92	0,002	0,025
2	0,17	26,0	0,11	1,03	4,88	0,006	0,006
3	0,11	25,1	0,12	0,98	4,48	0,002	0,018
4	0,14	21,9	0,15	0,95	3,94	0,003	0,001
5	0,12	23,4	0,14	0,98	4,21	0,002	-0,001
6	0,11	21,6	0,14	0,94	4,13	0,004	0,010
7	0,12	20,9	0,13	0,96	4,14	0,002	-0,003
8	0,10	22,3	0,21	0,97	4,23	0,002	0,002
9	0,10	22,2	0,18	0,85	3,97	0,011	0,005
10	0,11	19,9	0,16	0,87	3,97	0,003	0,010
11	0,12	18,9	0,17	0,79	3,52	-0,001	0,008
12	0,10	19,0	0,14	0,93	4,01	0,004	0,008
13	0,13	20,3	0,13	0,90	3,90	0,004	0,011
14	0,11	22,0	0,18	0,84	4,06	0,002	0,003
15	0,12	20,7	0,15	0,79	3,76	0,002	0,006
16	0,09	21,2	0,14	0,93	4,16	0,002	0,008
17	0,07	20,5	0,13	0,94	4,26	0,000	0,002
18	0,12	22,5	0,19	0,95	4,21	0,000	0,001
19	0,09	23,1	0,18	0,89	4,09	0,001	0,002
20	0,09	22,0	0,19	0,86	3,98	0,002	0,008
22	0,12	22,8	0,12	0,99	4,10	0,003	0,000
24	0,09	19,0	0,15	0,89	4,06	0,001	0,002
26	0,14	19,7	0,10	0,88	4,04	0,003	-0,003
28	0,12	19,0	0,10	0,90	3,94	0,001	0,014
30	0,10	21,3	0,14	0,92	3,95	0,002	0,003
35	0,12	21,1	0,13	0,99	4,31	0,002	0,004
40	0,14	21,3	0,14	0,98	4,14	0,001	0,003
45	0,12	22,7	0,14	0,98	4,12	0,002	0,010
50	0,10	21,9	0,12	0,99	4,28	0,003	0,005
55	0,11	21,4	0,14	0,97	4,12	0,003	0,001
60	0,13	25,0	0,13	1,05	4,26	0,000	0,013
65	0,19	26,7	0,13	1,09	4,48	0,004	0,006
70	0,08	20,3	0,15	0,83	3,34	0,005	0,002
75	0,09	28,8	0,14	1,18	4,59	0,003	-0,004
80	0,09	27,7	0,14	1,09	4,65	0,001	0,004
85	0,08	21,2	0,15	0,99	4,12	0,004	-0,001
90	0,04	25,5	0,15	1,11	4,56	0,002	0,002
95	0,11	30,6	0,13	1,17	5,03	0,006	0,007
100	0,09	27,1	0,13	1,12	4,33	0,000	0,001
105	0,13	29,9	0,09	1,10	4,57	0,003	-0,003
107	0,09	29,3	0,11	1,04	4,44	0,003	0,017

Vedlegg 5: Analyseresultater for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Li (ppm)	Be (ppm)	B (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)
2	28,75	0,75	26,03	15804	18862	34007	2601
4	26,36	0,77	27,69	20827	17161	32698	2943
6	28,16	0,79	26,56	18627	19372	35213	2783
8	30,22	0,91	30,14	18114	20987	38841	2772
10	29,94	0,80	28,61	17157	19929	35793	2307
12	30,69	0,84	26,89	12326	19169	35810	2668
14	29,62	0,80	28,05	15651	19356	35468	2467
16	29,43	0,89	29,93	17797	20338	37203	2828
18	32,45	0,88	27,75	9893	20614	38393	2959
20	31,40	0,85	25,82	9451	20480	36736	2991
22	29,70	0,82	28,42	15636	19044	36626	2912
24	26,18	0,74	25,86	23337	18306	33843	2279
26	27,91	0,79	25,96	17101	19527	34128	2433
28	28,24	0,78	27,05	15419	18514	36721	2373
30	27,06	0,76	25,39	13721	18370	34387	2589
35	25,34	0,72	25,99	14254	16445	33309	2631
40	24,25	0,72	24,50	11897	17098	32019	2879
45	22,84	0,71	18,83	12652	16035	30718	2939
50	22,32	0,72	19,42	10388	16839	31829	2831
55	33,21	0,96	28,40	15433	22555	38122	3254
60	31,67	0,95	26,87	12554	21633	41016	3335
65	29,41	0,89	26,76	11420	19801	37195	3187
70	30,67	0,91	27,44	9533	19760	39848	3158
75	35,22	1,09	33,01	14551	23585	43860	3556
80	31,25	0,99	29,60	14888	21351	40336	2990
85	33,09	1,04	32,04	12003	22435	44237	3531
90	31,95	1,10	29,68	9831	22027	43591	3344
95	29,36	1,13	32,70	16282	21316	43842	3317
100	36,63	1,25	39,69	12972	24814	51483	3913
105	35,83	1,19	34,88	9672	24320	48179	3546
110	28,16	1,02	29,45	12797	21424	41514	3294
115	27,82	0,98	23,87	7204	18868	38598	3087
120	33,20	1,12	26,84	14445	23558	45062	3305
125	30,11	1,10	26,42	11127	22012	42649	3668
126	39,48	1,33	41,49	20011	26050	54805	3394
131	31,41	1,28	30,63	15136	21814	47439	3006
136	32,23	1,28	27,64	12975	22537	47879	3265
141	12,51	0,44	5,13	1786	10131	21480	3405
146	40,78	1,67	42,28	18649	24640	59599	3651
151	32,60	1,20	29,03	13957	21543	49194	3357
156	33,09	1,30	32,60	16816	24421	48560	3490
161	34,81	1,35	30,65	10507	23701	50831	3084
166	36,82	1,37	30,57	11381	23733	52278	3202
171	36,13	1,48	36,20	15350	22887	53996	3225
176	40,34	1,49	37,85	10581	23848	56366	3533

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	P (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Sc (ppm)	Ti (ppm)	V (ppm)
2	722	2108	10894	13534	2108	794	75,85
4	723	2853	10373	13469	2853	850	80,94
6	721	2480	11203	12846	2480	843	82,98
8	714	2962	12999	13075	2962	887	85,36
10	663	3060	11972	12938	3060	762	81,57
12	714	2141	11584	13640	2141	873	79,33
14	707	2705	11855	13449	2705	786	83,77
16	733	2619	11860	14104	2619	915	83,38
18	728	1750	12700	15398	1750	878	86,18
20	759	2346	12928	15087	2346	917	87,44
22	754	3465	11640	14123	3465	870	84,31
24	708	2746	11356	13619	2746	735	69,74
26	707	2202	11254	15183	2202	753	73,89
28	695	2373	12317	13955	2373	771	78,06
30	720	2435	10864	15423	2435	829	80,22
35	723	3365	10341	16554	3365	813	73,28
40	763	2696	9477	16959	2696	744	70,05
45	753	2290	9521	17800	2290	836	69,98
50	774	2137	9126	17854	2137	934	72,77
55	731	2035	14350	16350	2035	982	90,16
60	706	2768	14504	18599	2768	810	92,57
65	735	2170	13086	18003	2170	869	89,34
70	739	2412	14213	17982	2412	874	92,69
75	688	1454	15319	24395	1454	832	93,46
80	700	2388	14513	22277	2388	739	89,70
85	675	2002	15272	22608	2002	862	94,81
90	697	1815	15018	22168	1815	766	92,03
95	771	2314	15520	28061	2314	812	95,31
100	683	1534	17763	28951	1534	830	104,14
105	685	1492	16923	27796	1492	871	106,01
110	716	2002	14577	27418	2002	790	88,38
115	680	1113	12644	25195	1113	722	88,58
120	705	1833	14437	29422	1833	824	93,13
125	753	1404	14463	28067	1404	789	91,07
126	642	1961	19890	28214	1961	704	109,96
131	671	1963	17953	25588	1963	849	102,68
136	761	1496	16071	28527	1496	705	102,40
141	583	888	5863	19739	888	833	53,33
146	625	1806	22570	27458	1806	793	125,12
151	661	1166	17558	26181	1166	709	100,78
156	666	1614	17517	27450	1614	776	111,03
161	622	1175	17621	26914	1175	782	105,78
166	707	1248	18313	26651	1248	788	108,27
171	696	1781	19683	29353	1781	868	116,85
176	629	1198	22233	27314	1198	874	122,41

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
2	97	422	32112	12,43	44,89	16,09	61,64
4	97	412	31591	12,18	44,40	14,60	60,37
6	105	441	33922	13,65	48,08	16,49	64,02
8	108	449	36247	14,13	49,49	18,04	67,74
10	111	461	33406	14,12	52,48	18,02	67,85
12	111	444	34263	13,39	51,14	17,43	65,26
14	110	445	34326	13,84	50,45	17,28	67,73
16	107	449	33938	13,64	49,79	17,64	67,48
18	114	476	34344	15,29	54,73	19,55	70,36
20	113	483	36649	14,63	53,97	18,86	70,41
22	104	427	35209	14,04	49,50	17,10	66,40
24	99	428	32217	13,22	44,69	14,64	59,25
26	102	452	32035	12,88	48,19	16,33	63,31
28	103	428	33384	12,99	47,40	16,61	66,23
30	98	433	31388	12,90	45,66	15,08	61,85
35	93	440	31316	11,89	44,65	14,18	56,05
40	90	438	29531	11,51	42,23	13,29	54,51
45	87	432	29072	11,38	38,35	11,77	52,03
50	87	444	30041	11,13	38,09	11,98	53,25
55	124	536	39911	16,54	60,82	24,01	74,32
60	113	513	36889	16,29	57,39	21,34	74,63
65	108	522	37274	14,79	52,43	19,20	71,22
70	110	544	38896	16,96	56,30	20,00	71,05
75	115	667	43374	18,13	67,88	28,68	83,10
80	108	600	40823	17,78	58,09	25,25	76,63
85	116	611	41916	18,40	62,87	25,23	80,30
90	110	619	39883	17,46	58,07	26,82	79,58
95	100	610	41276	18,41	59,32	30,69	80,54
100	122	731	48156	19,64	69,02	30,75	91,40
105	125	735	44724	19,32	72,18	33,23	95,76
110	102	638	40379	18,67	60,44	31,31	77,53
115	102	674	37151	16,09	55,97	28,84	73,22
120	111	672	42568	20,05	69,79	31,80	87,47
125	107	680	42488	17,69	64,95	29,75	78,52
126	125	747	48935	19,24	66,23	28,99	94,31
131	113	660	41672	18,17	63,76	31,62	80,19
136	112	703	41349	17,09	61,28	30,65	81,28
141	58	375	20293	9,37	39,67	18,32	33,61
146	110	729	47745	18,14	64,95	35,68	92,74
151	108	678	42442	15,57	54,39	28,91	77,08
156	119	698	44014	18,85	68,92	30,76	85,26
161	113	684	46112	17,89	67,09	33,34	84,92
166	121	695	44842	20,76	76,19	29,95	88,52
171	119	718	46434	17,62	59,75	33,84	93,29
176	118	691	47420	19,72	67,83	34,03	91,92

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Ga (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Ag (ppm)	Mo (ppm)	Cd 111 (ppm)
2	10,38	63,15	81,50	18,55	0,019	0,257	0,063
4	9,90	62,21	88,26	19,18	0,034	0,397	0,077
6	10,64	66,94	83,12	19,47	0,022	0,384	0,059
8	11,55	72,27	83,67	20,24	0,022	0,462	0,063
10	10,70	72,77	83,66	19,28	0,023	0,398	0,074
12	10,52	69,53	78,90	20,31	0,020	0,321	0,058
14	10,86	67,42	79,41	20,13	0,029	0,392	0,076
16	11,06	68,20	83,50	19,86	0,025	0,397	0,043
18	11,51	74,96	73,84	20,04	0,025	0,297	0,051
20	11,41	74,37	76,87	21,10	0,025	0,373	0,058
22	10,82	65,38	81,43	20,08	0,023	0,458	0,066
24	9,89	63,69	84,78	19,62	0,023	0,402	0,070
26	10,47	67,19	84,33	19,51	0,022	0,312	0,057
28	10,70	66,29	81,13	19,95	0,021	0,353	0,052
30	9,81	63,04	88,42	18,82	0,020	0,422	0,066
35	9,31	58,82	99,79	18,86	0,024	0,407	0,073
40	9,06	56,48	98,68	19,08	0,023	0,392	0,071
45	9,07	51,72	87,32	21,08	0,019	0,499	0,069
50	9,22	52,66	91,09	20,95	0,022	0,365	0,076
55	12,19	76,32	83,07	21,42	0,033	0,316	0,100
60	11,37	78,86	105,32	20,73	0,029	0,343	0,069
65	11,00	72,47	91,16	21,05	0,026	0,287	0,057
70	11,73	79,80	92,19	20,19	0,028	0,300	0,078
75	12,54	86,47	107,57	20,87	0,048	0,202	0,068
80	12,37	79,68	109,75	21,39	0,038	0,312	0,110
85	12,55	85,02	109,29	20,36	0,033	0,298	0,079
90	12,56	88,17	107,35	20,81	0,033	0,221	0,082
95	13,00	80,90	125,22	22,12	0,038	0,310	0,108
100	14,36	96,96	117,45	21,16	0,041	0,234	0,092
105	13,87	95,43	111,24	21,10	0,038	0,248	0,088
110	11,79	77,79	125,49	23,49	0,044	0,259	0,090
115	11,01	71,57	108,09	20,64	0,032	0,190	0,082
120	12,95	79,53	123,24	20,54	0,057	0,276	0,132
125	12,54	79,03	119,08	22,00	0,043	0,269	0,095
126	13,81	104,40	119,46	21,16	0,048	0,273	0,064
131	13,42	90,99	114,49	21,15	0,042	0,289	0,070
136	13,56	91,74	123,02	22,19	0,034	0,247	0,105
141	6,14	29,49	68,72	14,30	0,024	0,270	0,071
146	15,23	119,17	121,01	22,25	0,042	0,347	0,070
151	12,97	91,70	114,99	20,63	0,039	0,227	0,063
156	14,50	93,39	118,58	21,23	0,041	0,287	0,104
161	13,73	97,67	112,49	19,75	0,045	0,245	0,073
166	14,21	98,99	110,76	20,60	0,050	0,242	0,075
171	14,86	108,24	126,66	22,15	0,050	0,347	0,083
176	15,21	119,44	117,75	20,91	0,038	0,290	0,079

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Cd 114 (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Sb (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	La (ppm)
2	0,048	0,440	0,048	0,020	2,763	170	25,99
4	0,071	0,524	0,040	0,027	2,780	166	26,02
6	0,059	0,463	0,051	0,025	2,933	176	26,95
8	0,071	0,507	0,047	0,032	3,283	197	28,08
10	0,059	0,478	0,046	0,027	3,176	192	27,69
12	0,062	0,405	0,046	0,025	3,058	182	28,04
14	0,061	0,424	0,040	0,029	3,101	174	27,30
16	0,066	0,485	0,051	0,029	3,055	185	26,48
18	0,064	0,368	0,047	0,017	3,299	196	27,76
20	0,054	0,351	0,048	0,027	3,178	199	28,35
22	0,067	0,447	0,049	0,023	3,006	176	26,94
24	0,036	0,454	0,043	0,023	2,866	162	26,49
26	0,056	0,404	0,047	0,024	2,880	175	26,90
28	0,047	0,397	0,043	0,019	2,994	172	27,13
30	0,061	0,380	0,042	0,019	2,688	162	25,86
35	0,062	0,391	0,041	0,018	2,543	157	26,78
40	0,064	0,295	0,042	0,019	2,466	146	26,38
45	0,034	0,380	0,045	0,022	2,351	143	25,34
50	0,051	0,351	0,041	0,013	2,320	147	26,17
55	0,067	0,471	0,055	0,021	3,548	221	29,15
60	0,060	0,397	0,053	0,014	3,509	211	28,37
65	0,091	0,403	0,045	0,015	3,124	192	28,01
70	0,068	0,378	0,051	0,018	3,376	213	29,67
75	0,076	0,465	0,055	0,012	3,848	247	30,45
80	0,073	0,410	0,048	0,017	3,579	222	29,91
85	0,084	0,385	0,048	0,017	3,697	234	29,24
90	0,081	0,348	0,051	0,020	3,799	229	29,55
95	0,118	0,436	0,050	0,017	3,684	237	31,10
100	0,079	0,357	0,050	0,015	4,330	269	31,95
105	0,087	0,361	0,049	0,013	4,105	265	32,96
110	0,099	0,380	0,052	0,012	3,341	231	31,51
115	0,077	0,300	0,043	0,016	3,214	195	27,58
120	0,117	0,390	0,052	0,016	3,461	226	29,83
125	0,087	0,338	0,054	0,023	3,564	234	30,35
126	0,068	0,475	0,050	0,013	4,487	283	33,04
131	0,064	0,523	0,049	0,011	3,755	292	30,02
136	0,072	0,406	0,053	0,008	3,740	274	31,03
141	0,065	0,172	0,034	0,010	1,304	106	16,85
146	0,070	0,487	0,058	0,006	5,165	357	33,85
151	0,060	0,408	0,051	0,003	3,863	286	28,45
156	0,084	0,469	0,058	0,005	3,827	300	30,29
161	0,057	0,276	0,051	0,003	4,167	305	31,42
166	0,083	0,355	0,057	0,007	4,080	303	30,97
171	0,076	0,514	0,060	0,011	4,578	325	32,47
176	0,102	0,346	0,059	0,008	4,691	343	32,86

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)
2	57,31	6,62	26,58	5,36	0,66	3,62	0,78
4	56,00	6,55	25,64	5,33	0,67	3,67	0,75
6	56,64	6,44	26,27	5,48	0,70	3,60	0,76
8	61,09	7,13	27,69	5,56	0,73	3,79	0,79
10	56,85	6,75	27,55	5,48	0,70	3,74	0,77
12	59,83	6,89	27,58	5,71	0,71	3,70	0,79
14	60,39	6,87	26,94	5,65	0,72	3,79	0,78
16	59,25	6,77	26,82	5,63	0,69	3,55	0,77
18	61,05	6,99	28,04	6,04	0,74	3,62	0,80
20	61,32	7,18	28,21	5,96	0,74	3,75	0,84
22	57,27	6,82	25,90	5,43	0,73	3,59	0,79
24	54,53	6,41	25,12	5,41	0,70	3,46	0,77
26	57,82	6,70	26,40	5,58	0,71	3,78	0,77
28	57,44	6,83	26,56	5,53	0,71	3,52	0,74
30	54,47	6,51	25,63	5,49	0,69	3,63	0,75
35	55,27	6,44	25,90	5,19	0,70	3,49	0,75
40	57,17	6,29	25,95	5,30	0,67	3,48	0,77
45	53,33	6,34	25,00	5,29	0,77	3,57	0,81
50	56,18	6,57	26,21	5,50	0,76	3,59	0,79
55	60,72	7,41	28,81	5,92	0,77	3,83	0,80
60	59,43	7,10	28,20	5,56	0,74	3,63	0,83
65	61,48	7,13	28,51	5,91	0,74	3,67	0,80
70	64,08	7,49	28,54	5,84	0,75	3,86	0,83
75	65,07	7,56	28,96	5,70	0,77	3,75	0,79
80	63,11	7,19	28,51	5,56	0,74	3,79	0,80
85	62,41	7,24	28,73	5,74	0,75	3,80	0,78
90	64,28	7,45	29,14	5,52	0,75	3,83	0,80
95	66,55	7,74	30,09	5,88	0,73	3,99	0,87
100	68,22	7,83	30,65	5,86	0,80	3,86	0,83
105	68,45	8,09	30,26	5,90	0,79	3,96	0,82
110	66,59	7,74	30,27	6,06	0,80	4,09	0,86
115	58,32	6,81	26,67	5,27	0,72	3,80	0,79
120	65,04	7,42	29,41	5,68	0,76	3,94	0,84
125	62,31	7,35	29,88	5,66	0,75	3,89	0,82
126	69,46	7,75	30,52	5,88	0,74	3,92	0,78
131	66,54	7,51	29,11	5,52	0,76	4,00	0,84
136	67,95	7,69	29,43	5,78	0,80	4,13	0,85
141	36,06	4,06	16,22	3,23	0,47	2,59	0,56
146	71,11	8,04	30,88	6,09	0,79	4,19	0,83
151	61,48	7,18	27,67	5,35	0,74	3,82	0,80
156	62,37	7,39	27,82	5,54	0,77	3,85	0,80
161	62,84	7,37	29,77	5,60	0,73	3,77	0,76
166	66,38	7,40	28,85	5,50	0,73	3,86	0,81
171	70,45	8,17	31,93	5,68	0,78	4,03	0,87
176	69,47	8,10	31,86	5,78	0,76	4,11	0,82

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Hf (ppm)	W (ppm)	Au (ppm)
2	2,22	0,28	1,91	0,27	0,55	0,00891	0,00096
4	2,16	0,29	1,80	0,26	0,54	0,00814	0,00249
6	2,27	0,30	1,91	0,26	0,55	0,00923	0,00104
8	2,22	0,31	2,00	0,27	0,58	0,01248	0,00145
10	2,25	0,30	1,87	0,26	0,53	0,00949	0,00139
12	2,22	0,29	1,97	0,27	0,58	0,01600	0,00145
14	2,26	0,29	1,90	0,28	0,55	0,01047	0,00072
16	2,22	0,30	1,83	0,26	0,57	0,01591	0,00128
18	2,27	0,31	1,98	0,27	0,56	0,01670	0,00139
20	2,40	0,31	2,01	0,28	0,59	0,01368	0,00044
22	2,20	0,30	1,95	0,27	0,56	0,01387	0,00635
24	2,14	0,30	1,79	0,26	0,49	0,00957	0,00085
26	2,20	0,30	1,85	0,26	0,50	0,01544	0,00099
28	2,12	0,29	1,85	0,27	0,55	0,01340	0,00199
30	2,25	0,30	1,76	0,26	0,55	0,01042	0,00002
35	2,15	0,30	1,83	0,27	0,52	0,01643	0,00151
40	2,21	0,32	1,78	0,27	0,54	0,00954	0,00072
45	2,21	0,30	1,83	0,27	0,54	0,01306	0,00211
50	2,30	0,31	1,92	0,28	0,56	0,00590	0,00028
55	2,27	0,33	1,96	0,29	0,62	0,01144	0,00153
60	2,24	0,32	1,88	0,27	0,60	0,00744	0,00062
65	2,31	0,33	1,90	0,28	0,60	0,00005	0,00268
70	2,40	0,33	1,88	0,28	0,64	0,00578	0,00154
75	2,32	0,32	1,90	0,28	0,65	0,00674	0,00130
80	2,30	0,31	1,83	0,29	0,66	0,00197	0,00094
85	2,27	0,31	1,82	0,28	0,69	0,00408	0,00116
90	2,36	0,31	1,86	0,27	0,65	0,00461	0,00059
95	2,44	0,36	1,97	0,30	0,70	0,00853	0,00197
100	2,38	0,34	1,99	0,30	0,69	0,00088	0,00196
105	2,44	0,34	1,94	0,30	0,71	0,01414	0,00078
110	2,40	0,35	2,00	0,31	0,67	0,00663	0,00247
115	2,33	0,33	1,91	0,28	0,64	0,00160	0,00176
120	2,50	0,35	1,90	0,28	0,64	0,00509	0,00040
125	2,44	0,33	1,92	0,30	0,71	0,00557	0,00108
126	2,35	0,33	1,82	0,29	0,72	-0,00035	0,00162
131	2,47	0,35	1,94	0,29	0,68	0,00587	0,00283
136	2,55	0,36	1,92	0,32	0,68	0,00384	0,00199
141	1,65	0,24	1,30	0,20	0,38	0,01093	0,00113
146	2,38	0,34	1,86	0,29	0,75	0,00188	0,00130
151	2,35	0,33	1,87	0,28	0,66	0,00005	0,00181
156	2,40	0,34	1,83	0,28	0,63	0,01356	0,00174
161	2,23	0,31	1,71	0,28	0,67	0,00329	0,00153
166	2,37	0,36	1,86	0,29	0,66	0,00373	0,00105
171	2,45	0,36	1,97	0,30	0,77	0,01081	0,00133
176	2,42	0,35	1,91	0,29	0,74	0,00614	0,00103

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

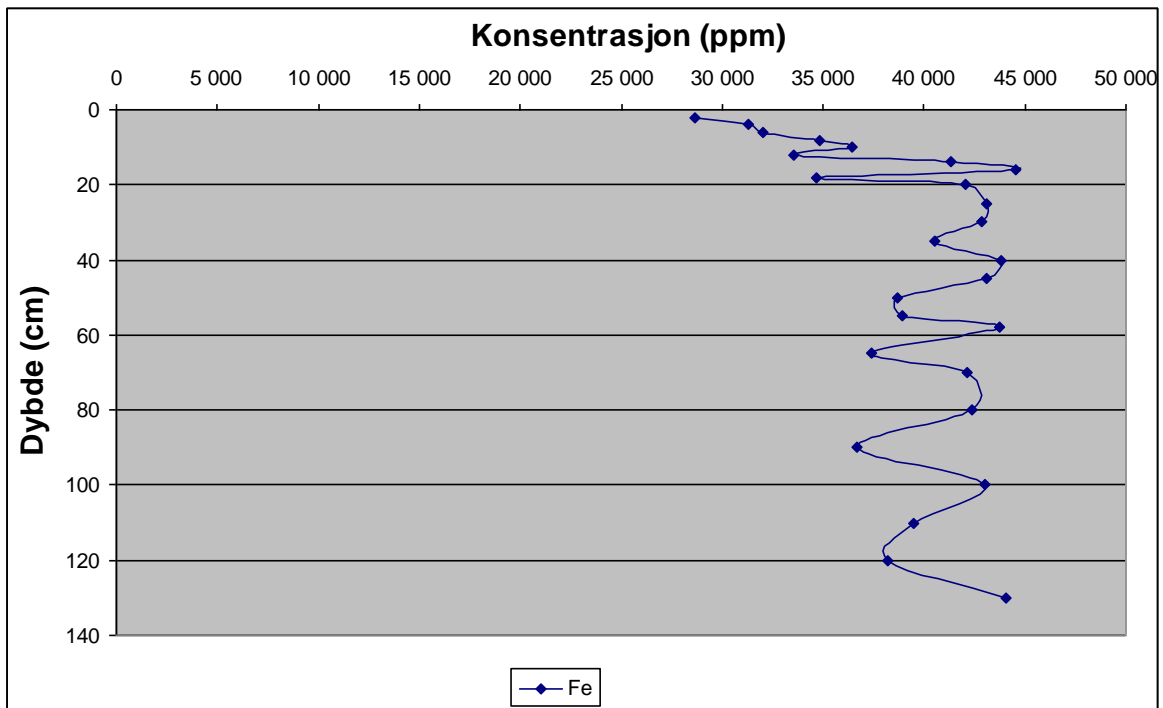
Dybde (cm)	Tl (ppm)	Pb (ppm)	Bi (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ge (ppm)	As (ppm)
2	0,28	8,17	0,13	7,96	1,60	0,29	2,67
4	0,29	8,22	0,13	8,01	1,56	0,39	3,36
6	0,30	8,95	0,14	8,28	1,64	0,38	3,47
8	0,32	9,05	0,15	8,82	1,87	0,31	2,64
10	0,31	8,84	0,14	8,64	1,70	0,31	3,59
12	0,31	8,72	0,14	8,74	1,65	0,33	2,40
14	0,31	8,97	0,14	8,74	1,69	0,31	2,87
16	0,29	8,17	0,13	8,53	1,65	0,40	2,90
18	0,32	9,02	0,15	9,21	1,77	0,41	3,30
20	0,32	8,83	0,14	8,97	1,80	0,45	3,64
22	0,29	8,04	0,13	8,14	1,68	0,38	3,30
24	0,28	8,32	0,13	8,09	1,63	0,31	3,59
26	0,28	8,19	0,14	8,59	1,69	0,32	2,20
28	0,27	8,41	0,13	8,46	1,66	0,35	2,57
30	0,29	8,00	0,14	8,11	1,66	0,31	3,01
35	0,25	7,50	0,12	8,11	1,58	0,35	2,41
40	0,25	7,31	0,13	7,73	1,62	0,30	2,11
45	0,24	6,98	0,12	7,20	1,63	0,36	2,45
50	0,25	6,98	0,13	7,43	1,73	0,38	2,15
55	0,35	9,29	0,14	9,37	1,97	0,34	3,17
60	0,37	9,32	0,15	9,15	1,96	0,33	5,43
65	0,33	8,60	0,15	9,01	2,00	0,32	3,95
70	0,36	9,51	0,15	9,70	2,11	0,35	5,17
75	0,40	10,89	0,16	10,01	1,82	0,34	3,06
80	0,39	10,47	0,16	9,45	2,23	0,24	7,65
85	0,39	9,97	0,15	9,82	2,12	0,38	5,67
90	0,43	9,88	0,15	9,78	2,50	0,29	6,58
95	0,42	12,09	0,15	9,64	2,07	0,34	3,57
100	0,44	11,67	0,17	10,54	1,93	0,33	2,86
105	0,47	11,10	0,20	10,21	2,18	0,26	3,43
110	0,41	10,30	0,15	9,71	2,15	0,35	3,73
115	0,36	9,52	0,14	8,47	2,18	0,30	2,59
120	0,42	10,74	0,16	9,36	2,06	0,33	3,28
125	0,40	10,83	0,15	9,34	1,88	0,29	3,32
126	0,49	11,21	0,16	10,64	1,75	0,28	3,32
131	0,46	10,37	0,16	9,75	2,29	0,49	3,75
136	0,45	10,53	0,16	9,42	2,10	0,48	3,84
141	0,20	5,00	0,09	4,40	1,40	0,28	1,72
146	0,59	13,13	0,18	11,12	1,98	0,67	3,92
151	0,43	9,81	0,15	8,88	1,82	0,51	2,87
156	0,46	10,86	0,16	9,66	2,18	0,48	3,67
161	0,46	11,17	0,16	9,97	1,75	0,46	3,57
166	0,46	11,44	0,16	9,56	1,83	0,48	3,67
171	0,55	12,49	0,16	10,42	1,91	0,53	4,10
176	0,55	12,23	0,18	10,32	1,91	0,52	3,77

Tabell 5: Analyseresultatene for sedimentkjernen Nidelva 2.

Dybde (cm)	Se (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Pt (ppm)	Hg (ppm)
2	0,16	23,93	0,12	1,05	4,26	0,00058	0,00389
4	0,19	24,33	0,13	1,12	4,35	0,00380	0,01182
6	0,16	25,10	0,12	1,11	4,52	0,00335	0,00219
8	0,20	24,47	0,13	1,04	4,17	0,00375	0,00409
10	0,20	24,25	0,11	1,19	4,71	0,00354	0,01767
12	0,17	26,34	0,12	1,16	4,71	0,00388	0,01027
14	0,16	25,61	0,13	1,22	4,61	0,00247	0,00750
16	0,21	26,68	0,12	1,15	4,29	0,00504	0,00777
18	0,17	27,69	0,15	1,18	4,83	0,00991	0,00848
20	0,19	28,47	0,13	1,20	4,83	0,01148	0,01012
22	0,16	25,66	0,10	1,07	4,44	0,00205	0,01274
24	0,16	23,79	0,12	1,15	4,30	0,00097	0,00589
26	0,18	24,71	0,12	1,12	4,59	0,00281	0,01381
28	0,17	24,82	0,11	1,15	4,40	0,00124	0,01075
30	0,21	24,87	0,14	1,15	4,38	0,00361	0,00816
35	0,14	24,49	0,14	1,10	4,35	0,00407	0,01163
40	0,15	24,04	0,12	1,15	4,42	0,00349	0,00334
45	0,10	24,57	0,14	1,17	4,59	0,00569	0,00273
50	0,11	24,74	0,15	1,12	4,24	0,00072	0,00526
55	0,16	28,46	0,18	1,20	4,77	0,00145	0,01015
60	0,18	27,74	0,13	1,17	4,62	0,00293	0,00450
65	0,19	27,53	0,16	1,23	4,88	0,00189	0,01596
70	0,14	29,11	0,15	1,17	4,69	0,00429	0,00875
75	0,13	29,56	0,18	1,17	4,76	0,00182	0,01070
80	0,15	28,37	0,16	1,26	4,65	0,00068	0,00868
85	0,10	29,92	0,17	1,12	4,86	0,00789	0,00809
90	0,10	30,07	0,14	1,21	4,77	0,00165	0,00862
95	0,08	30,69	0,14	1,30	5,23	0,00073	0,00669
100	0,09	32,71	0,15	1,24	4,83	0,00306	0,01822
105	0,11	32,82	0,18	1,24	5,18	0,00238	0,00856
110	0,10	30,18	0,20	1,18	5,01	0,00399	0,00963
115	0,11	27,35	0,13	1,13	4,66	0,00276	0,00906
120	0,09	29,47	0,17	1,30	4,85	0,00484	0,01288
125	0,07	29,97	0,17	1,23	5,13	0,00293	0,00888
126	0,07	32,90	0,12	1,25	4,66	0,00358	0,01241
131	0,11	31,25	0,07	1,20	4,94	0,00189	0,00704
136	0,09	30,74	0,07	1,27	5,07	0,00588	0,00456
141	0,12	15,04	0,14	0,77	2,75	0,00068	0,00349
146	0,10	38,26	0,06	1,28	5,30	0,00818	0,01590
151	0,11	29,27	0,07	1,14	4,49	0,00160	0,00718
156	0,16	31,11	0,07	1,14	4,85	0,00000	0,00261
161	0,06	30,49	0,06	1,11	4,70	0,00368	0,01835
166	0,14	29,81	0,08	1,15	4,72	0,00070	0,00791
171	0,11	34,84	0,09	1,27	5,15	0,00205	0,00740
176	0,12	33,14	0,09	1,21	4,91	0,00931	0,01472

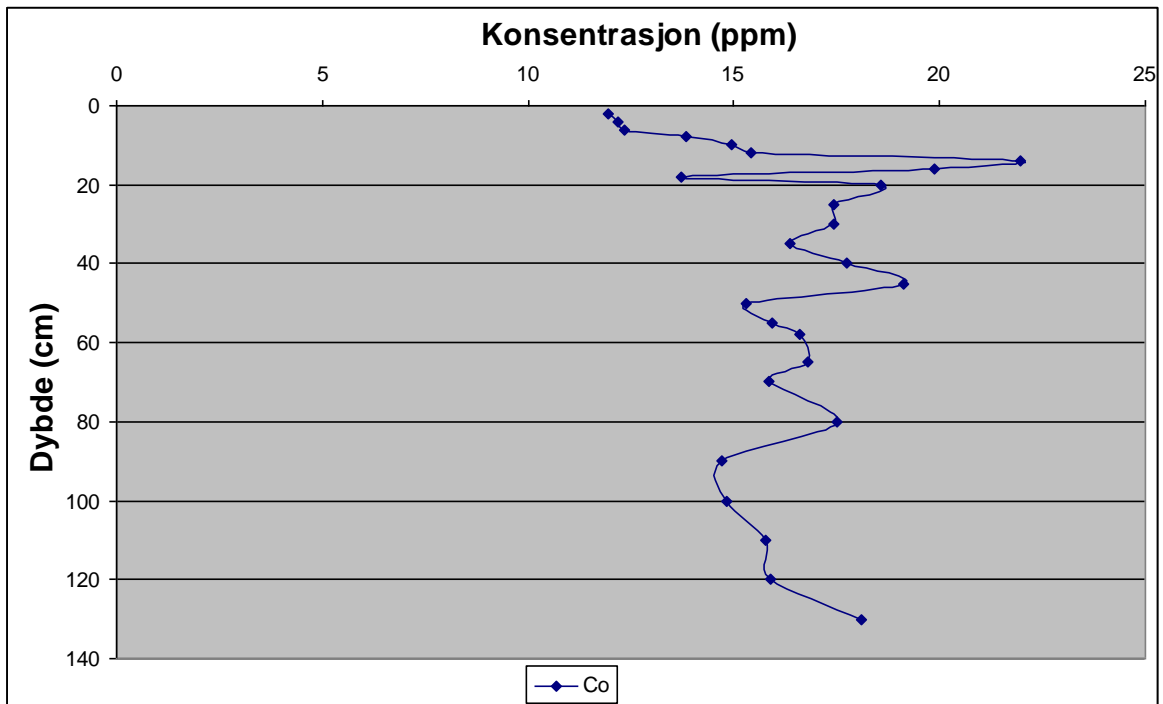
Vedlegg 6: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

Jern:



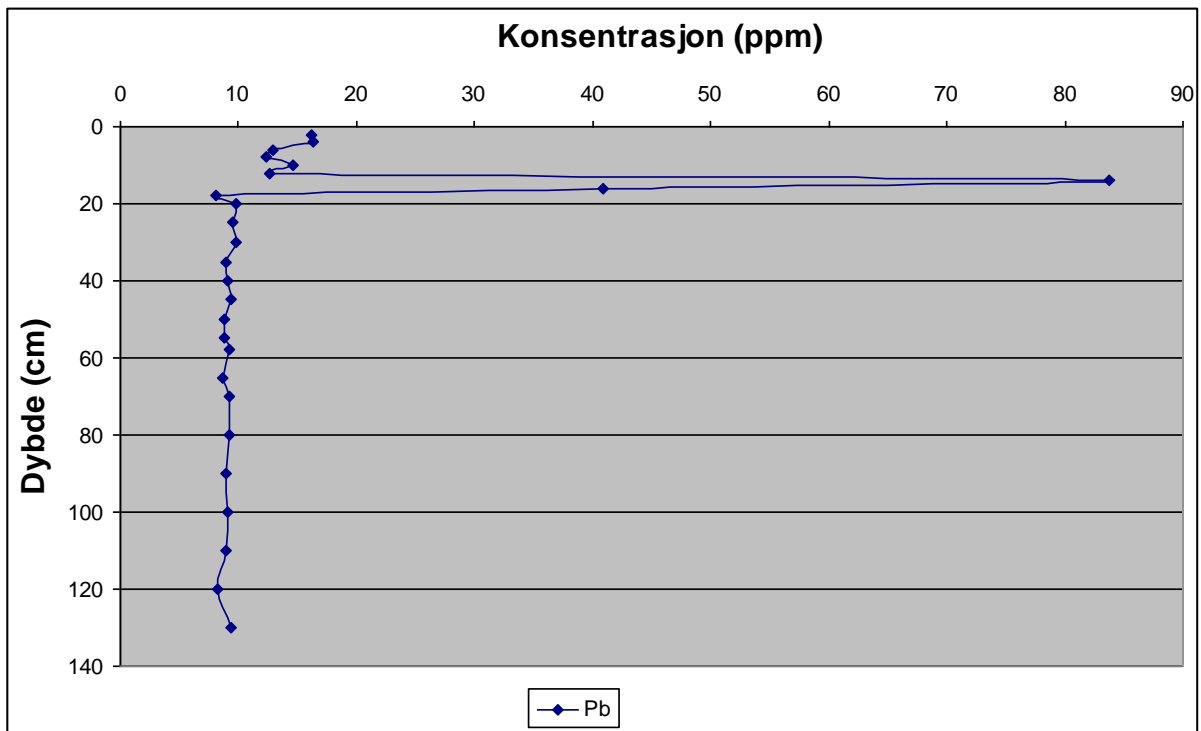
Figur 1: Dybdeprofilen for jern fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Kobolt:



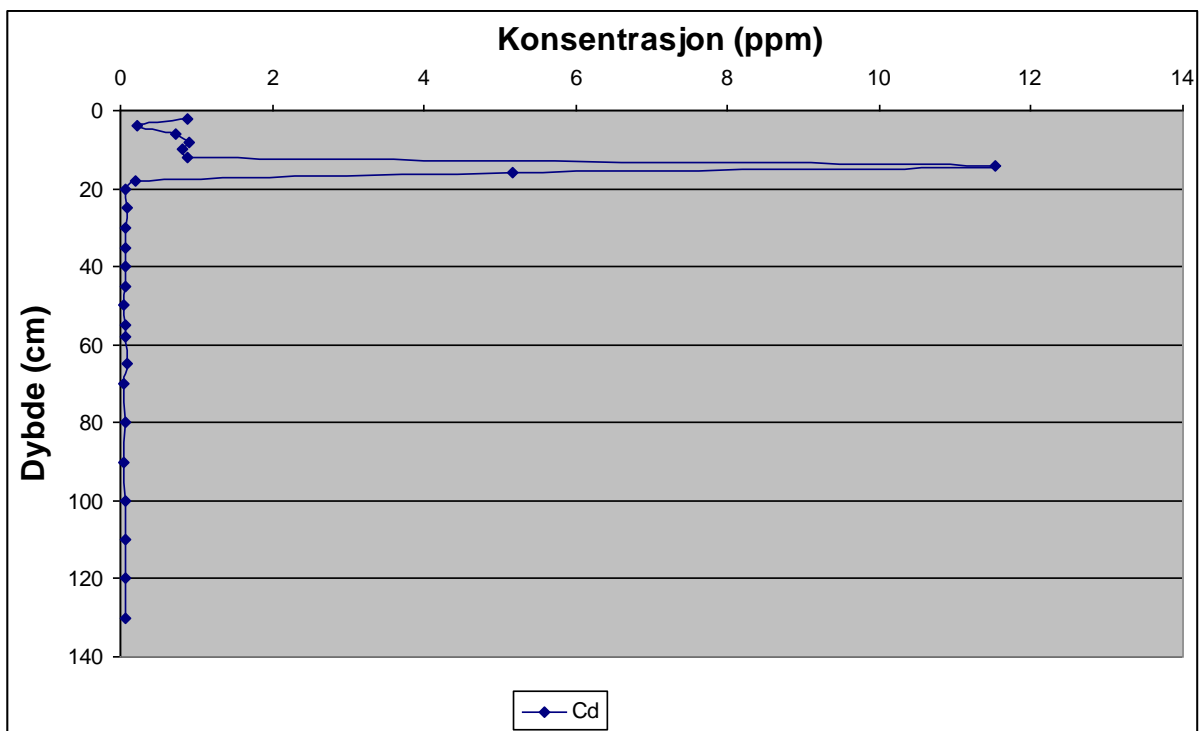
Figur 2: Dybdeprofilen for kobolt fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Bly:



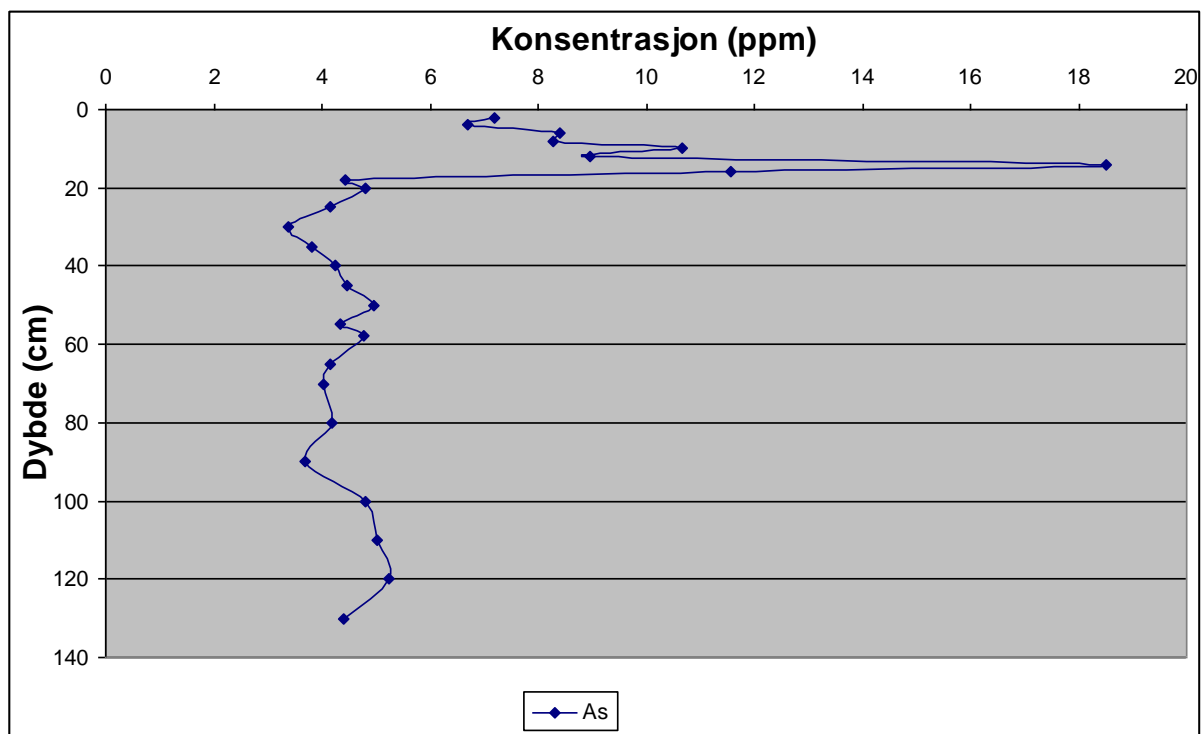
Figur 3: Dybdeprofilen for kobolt fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

Kadmium:



Figur 4: Dybdeprofilen for kadmium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

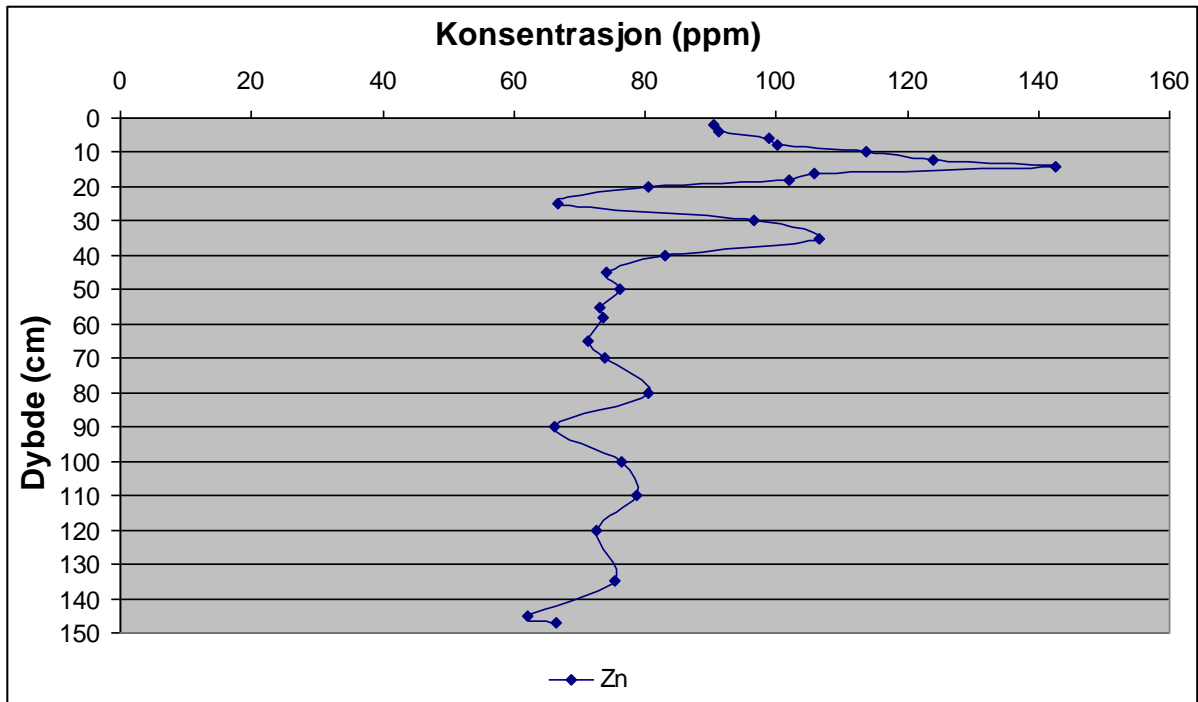
Arsen:



Figur 5: Dybdeprofilen for kadmium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Orkla.

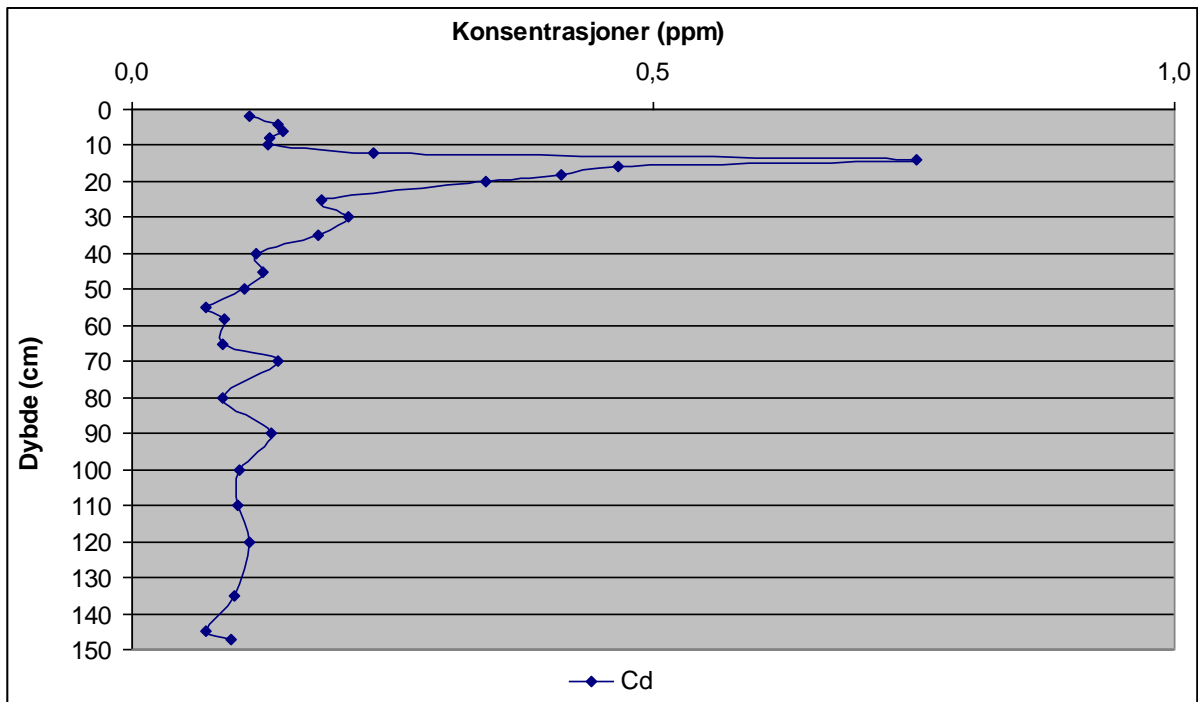
Vedlegg 7: Dybdeprofiler til sedimentkjernen tatt utenfor Gaula.

Sink:



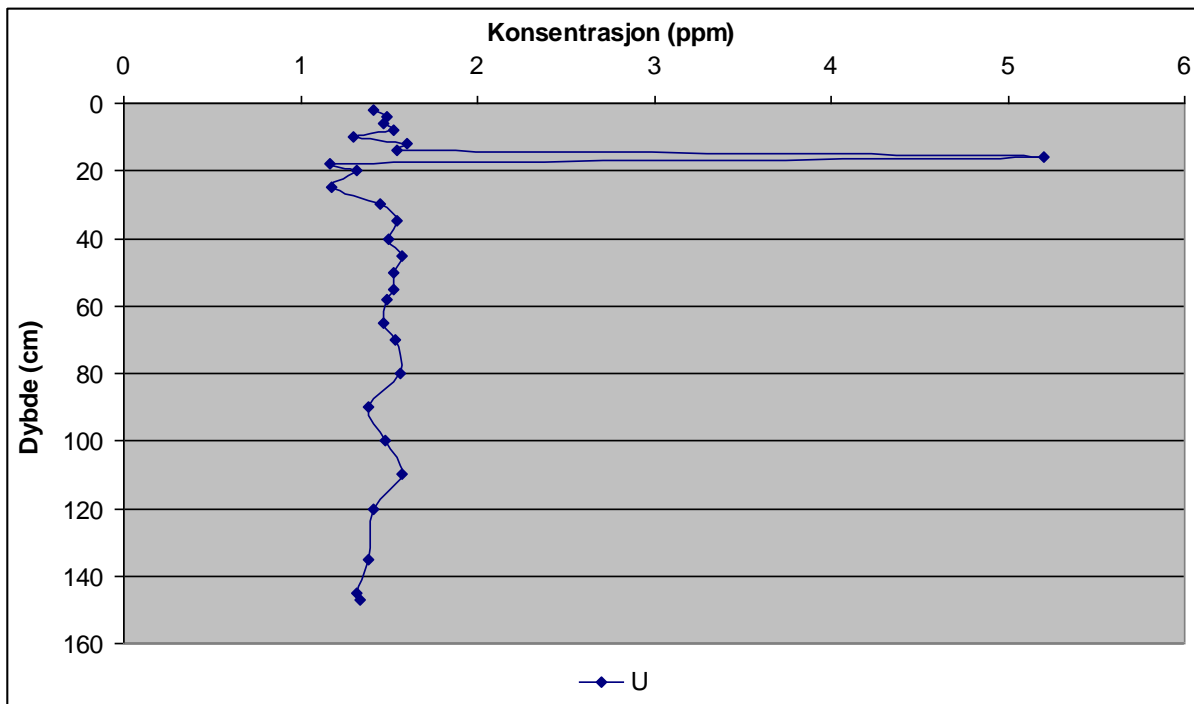
Figur 6: Dybdeprofilen for sink fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Kadmium:



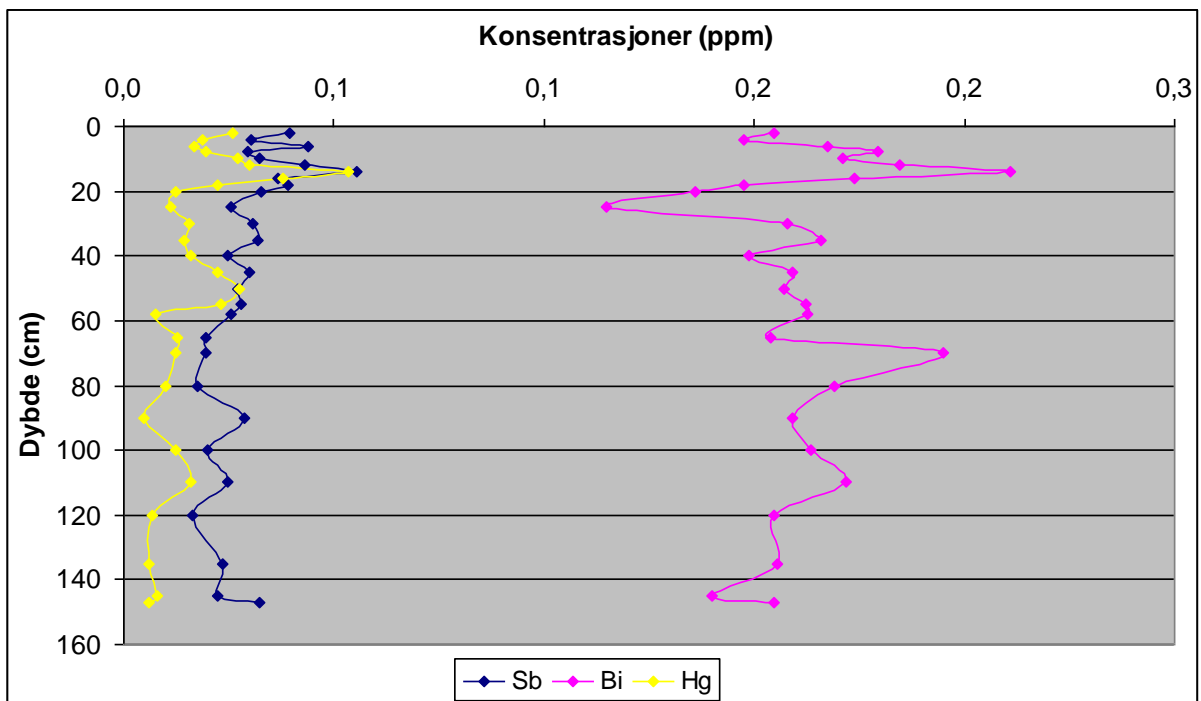
Figur 7: Dybdeprofilen for sink fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Uran:



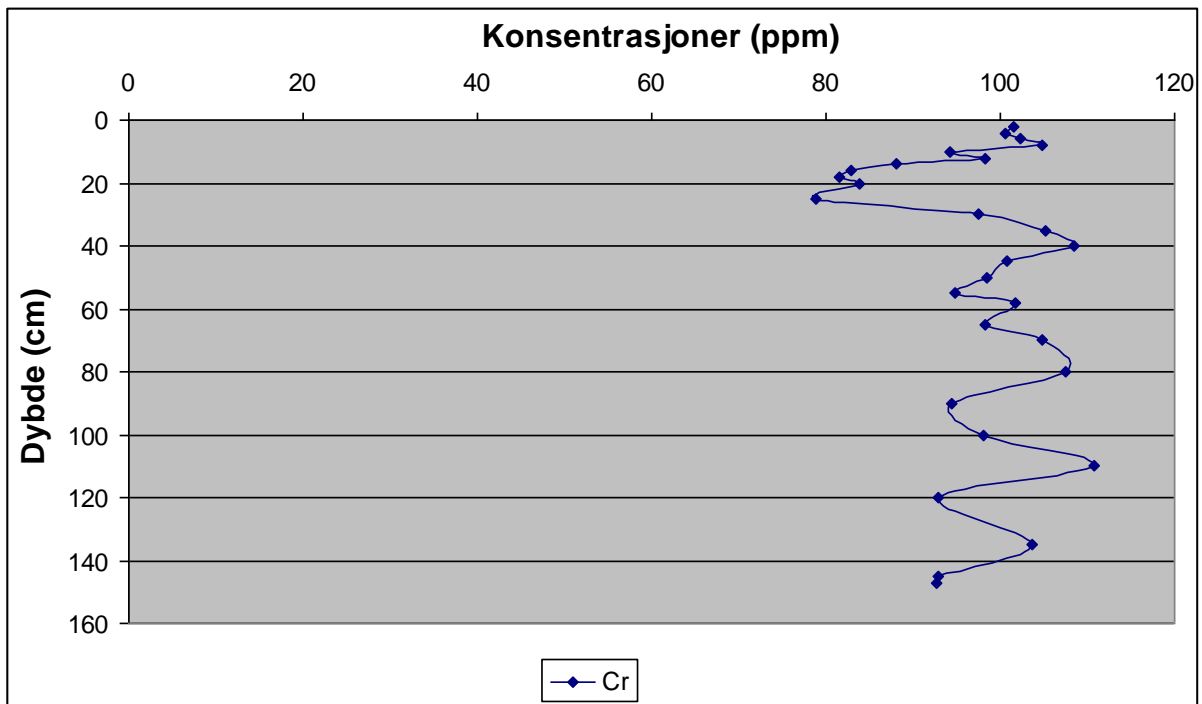
Figur 8: Dybdeprofilen for uran fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Antimon, vismut og kvikksølv:



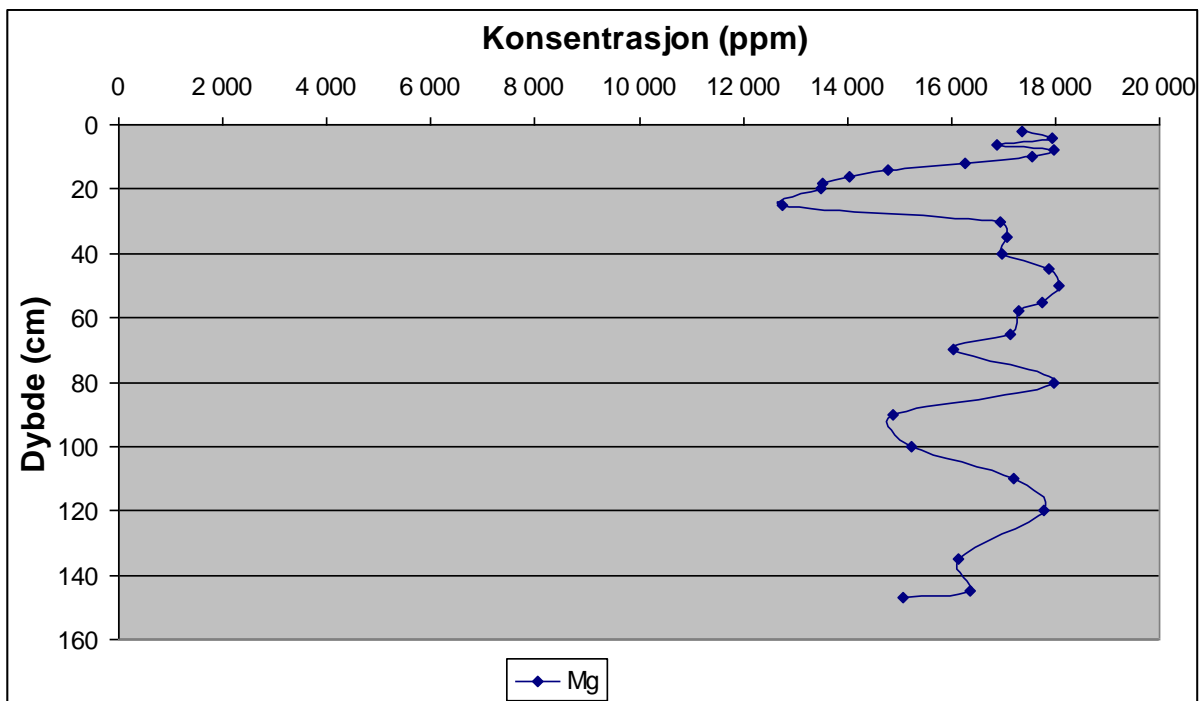
Figur 9: Dybdeprofilen for antimon, vismut og kvikksølv fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Krom:



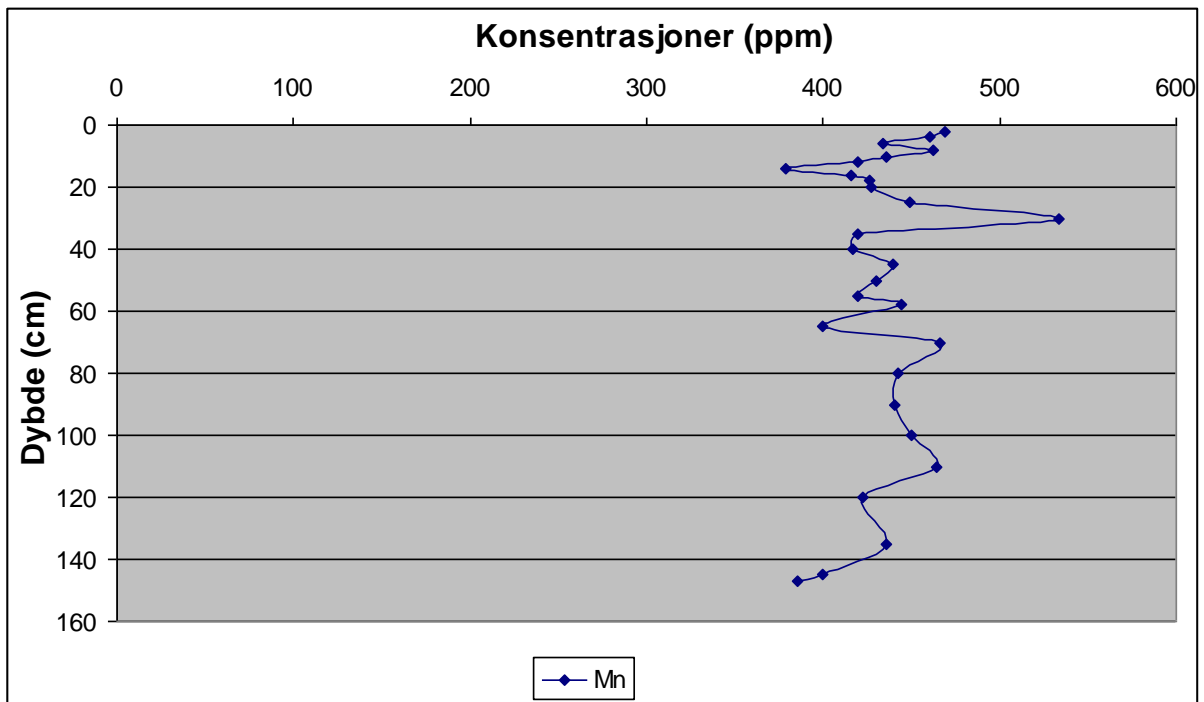
Figur 10: Dybdeprofilen for krom fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Magnesium:



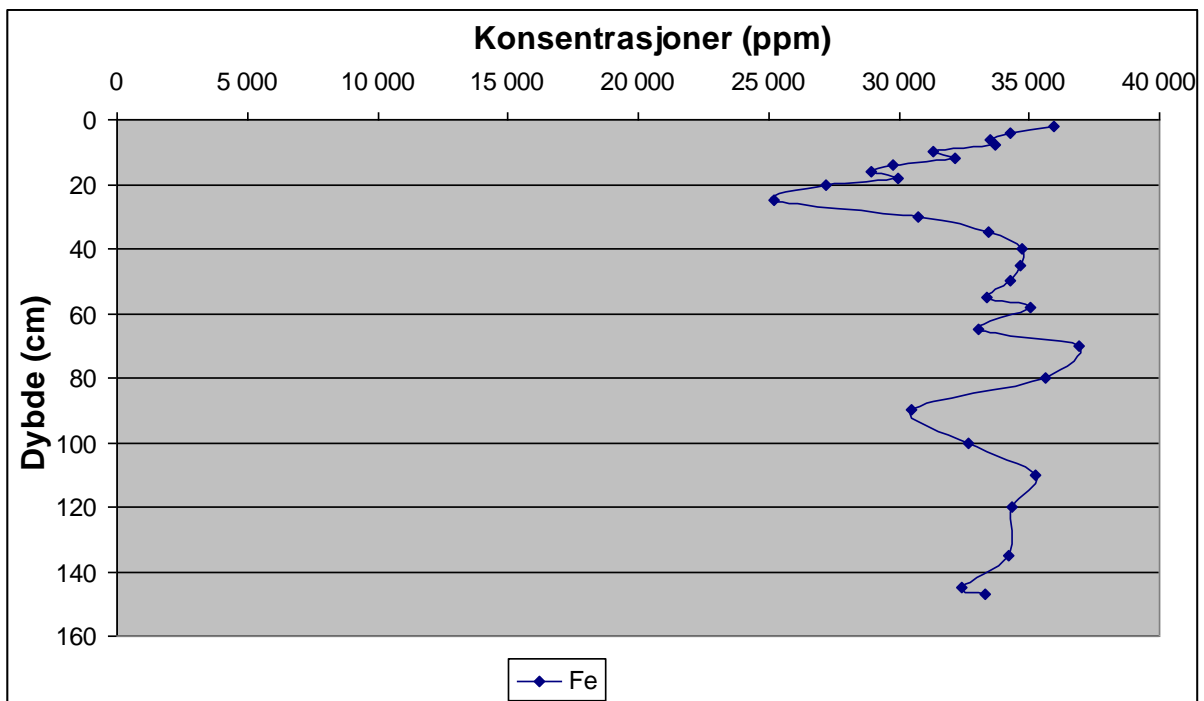
Figur 11: Dybdeprofilen for magnesium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Mangan:



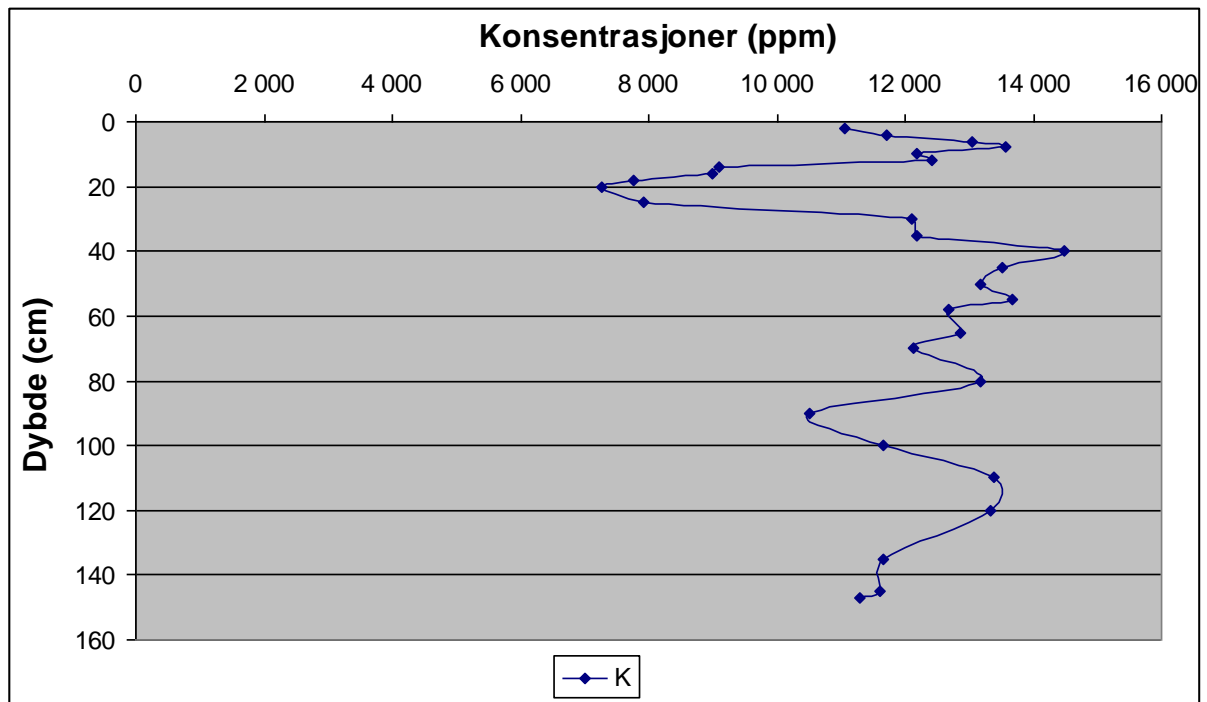
Figur 12: Dybdeprofilen for mangan fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

Jern:



Figur 13: Dybdeprofilen for jern fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

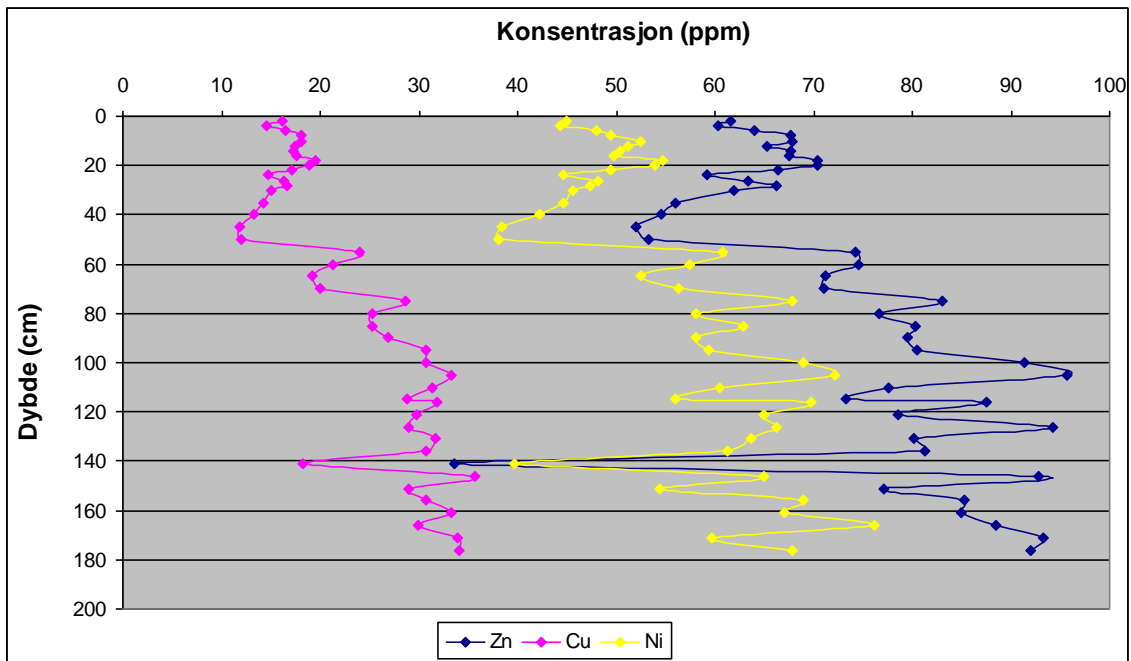
Kalium:



Figur 14: Dybdeprofilen for kalium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Gaula.

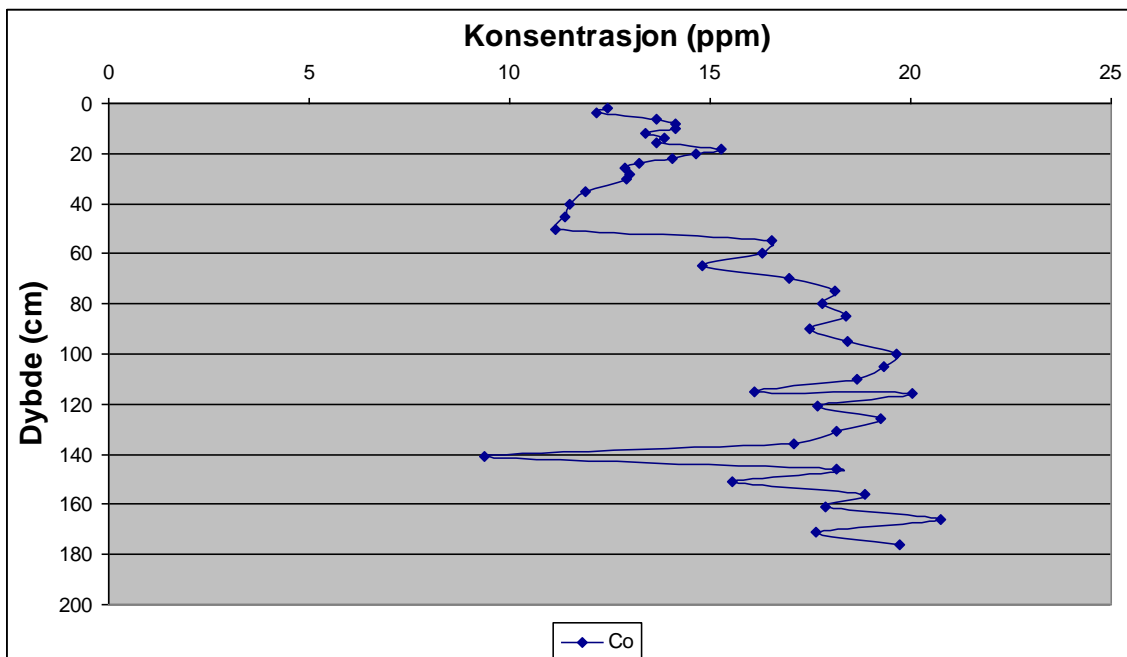
Vedlegg 8: Dybdeprofiler til sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Sink, kobber og nikkell:



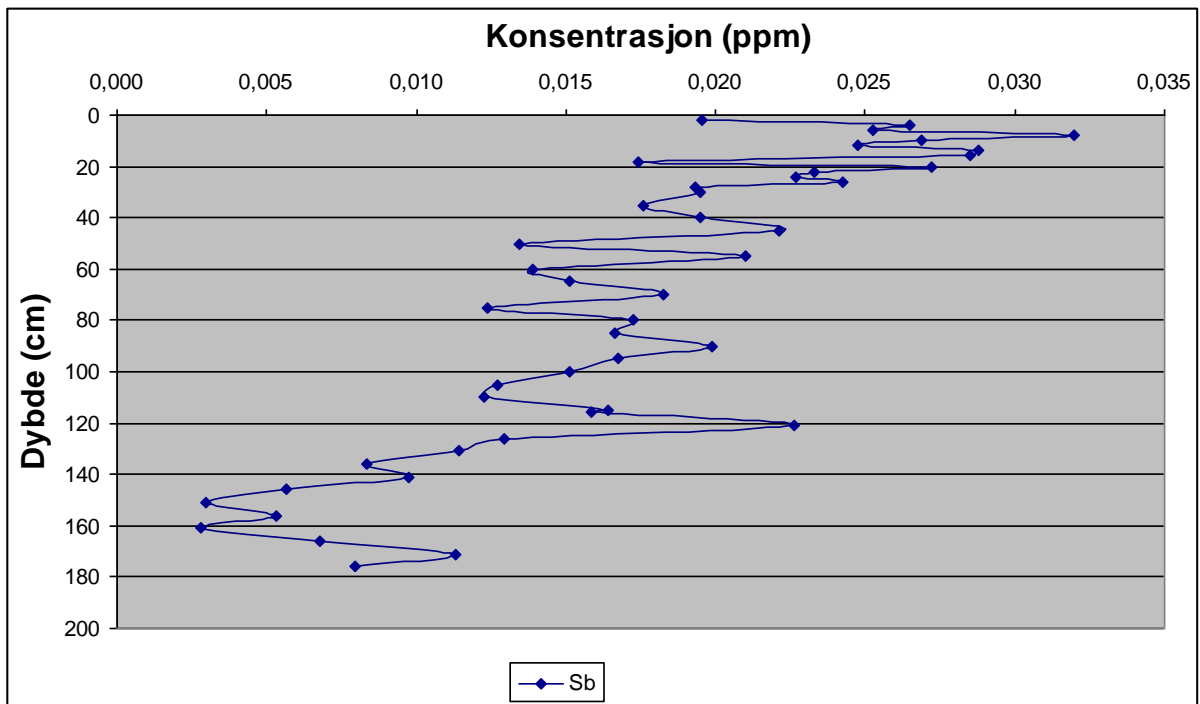
Figur 15: Dybdeprofilen for sink, kobber og nikkell fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Kobolt:



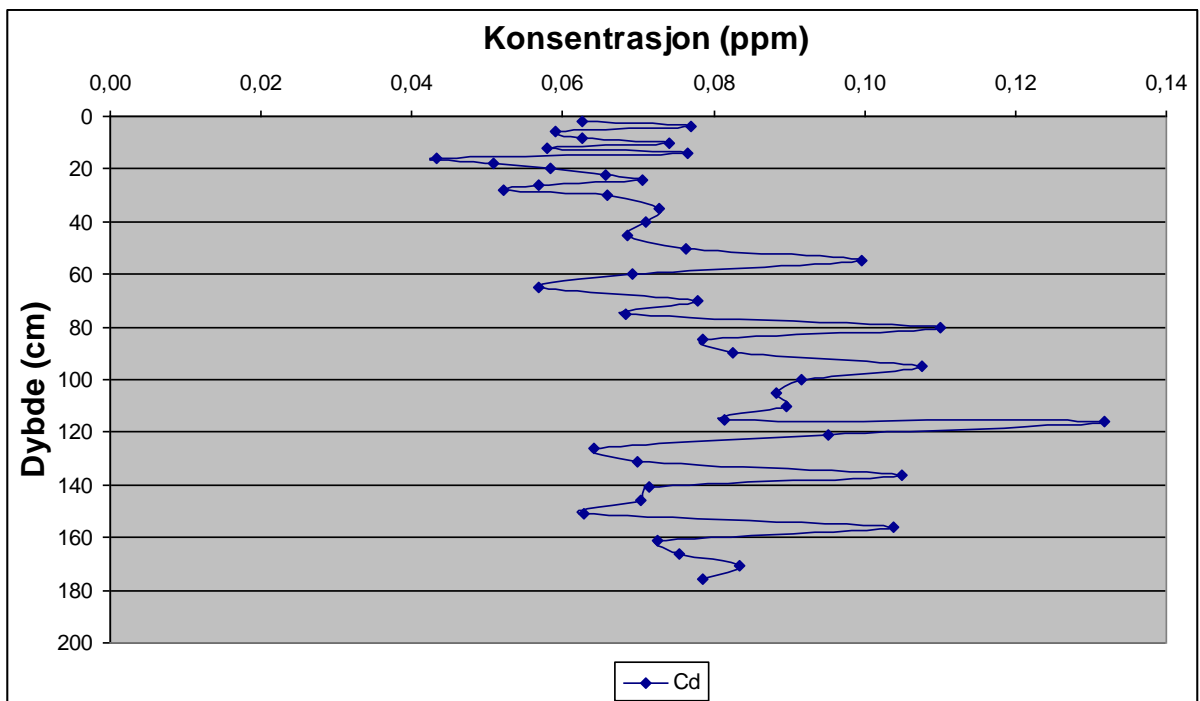
Figur 16: Dybdeprofilen for kobolt fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Antimon:



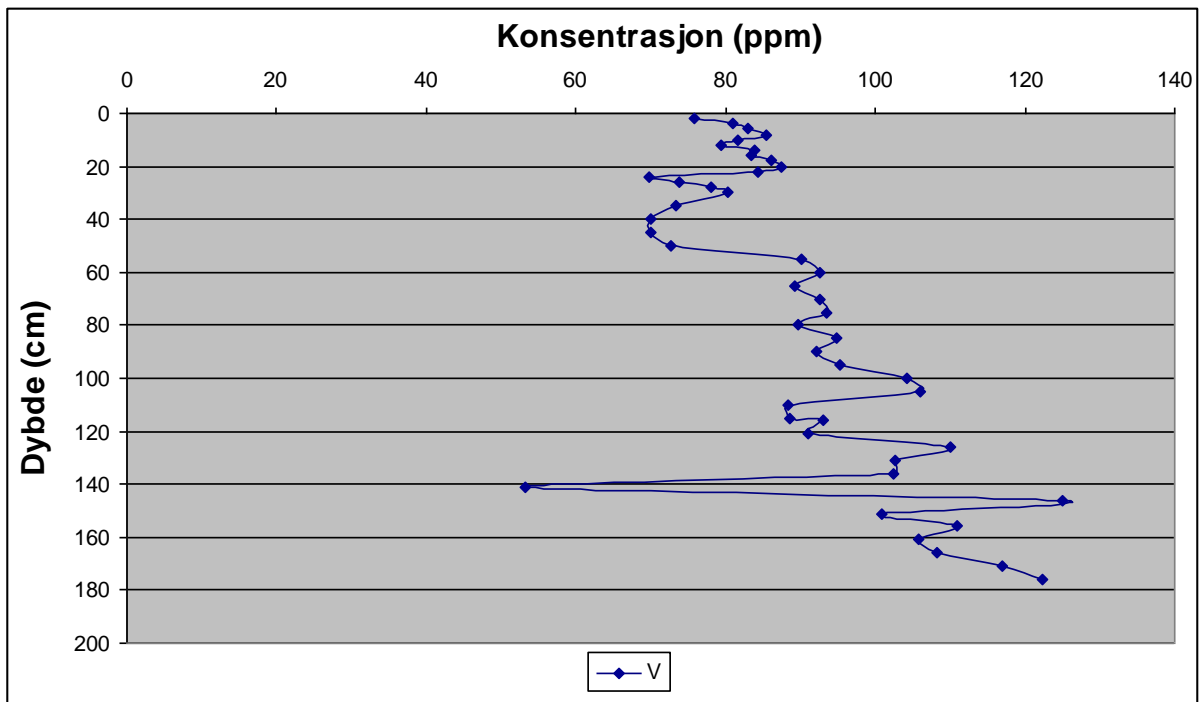
Figur 17: Dybdeprofilen for antimon fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Kadmium:



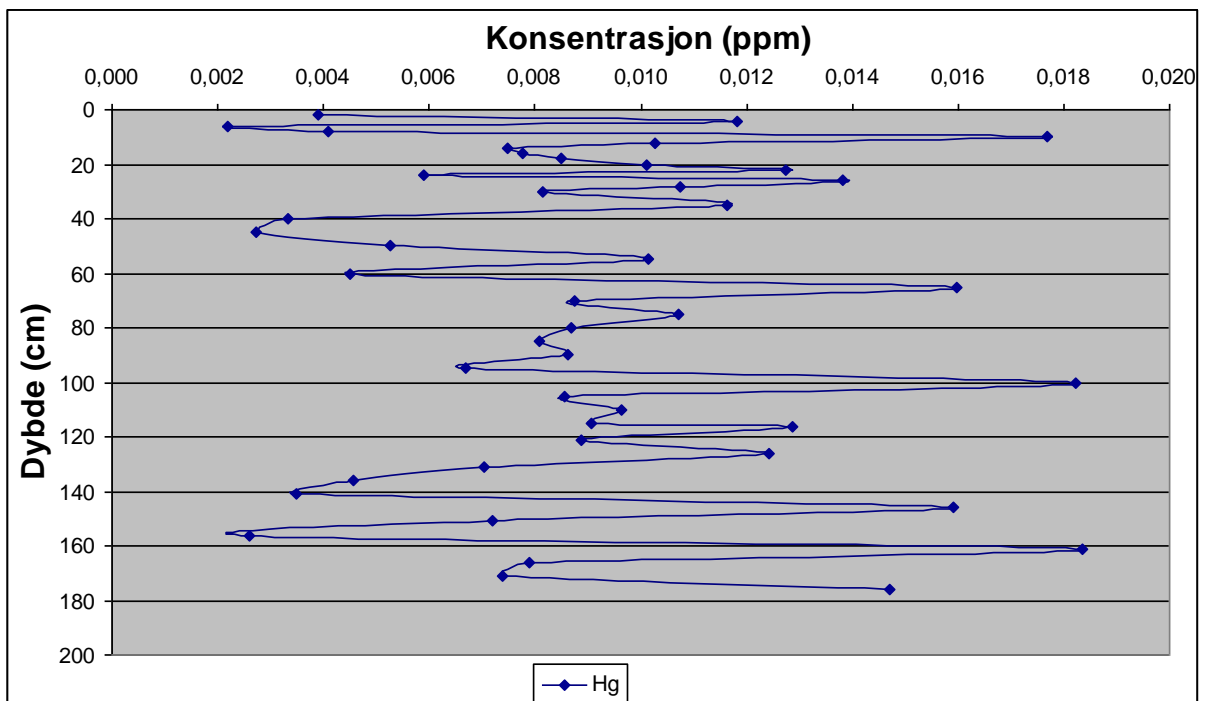
Figur 18: Dybdeprofilen for kadmium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Vanadium:



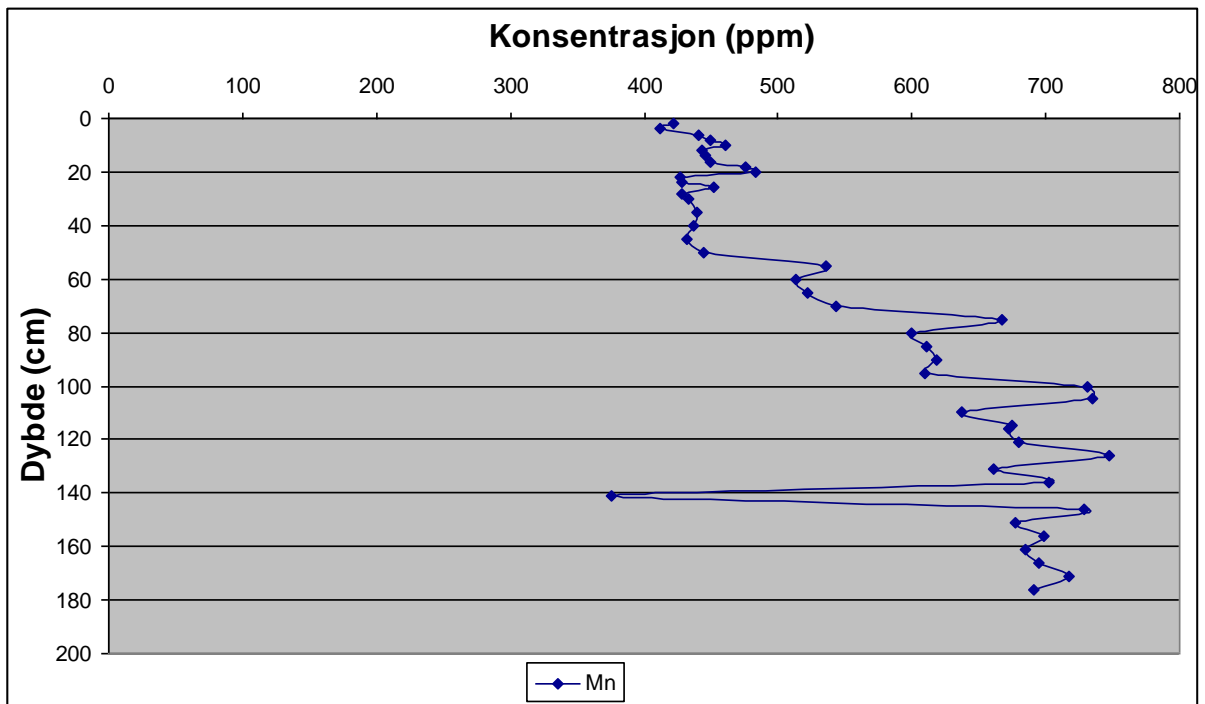
Figur 19: Dybdeprofilen for vanadium fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Kvikksølv:



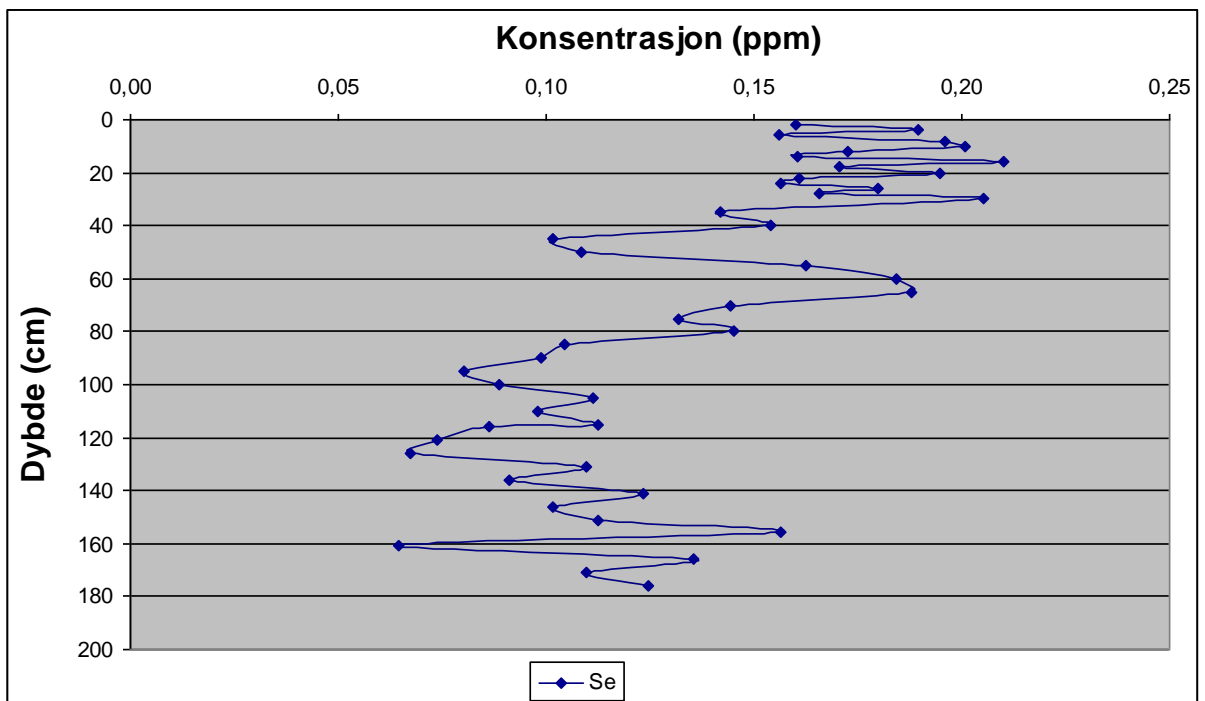
Figur 20: Dybdeprofilen for kvikksølv fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Mangan:



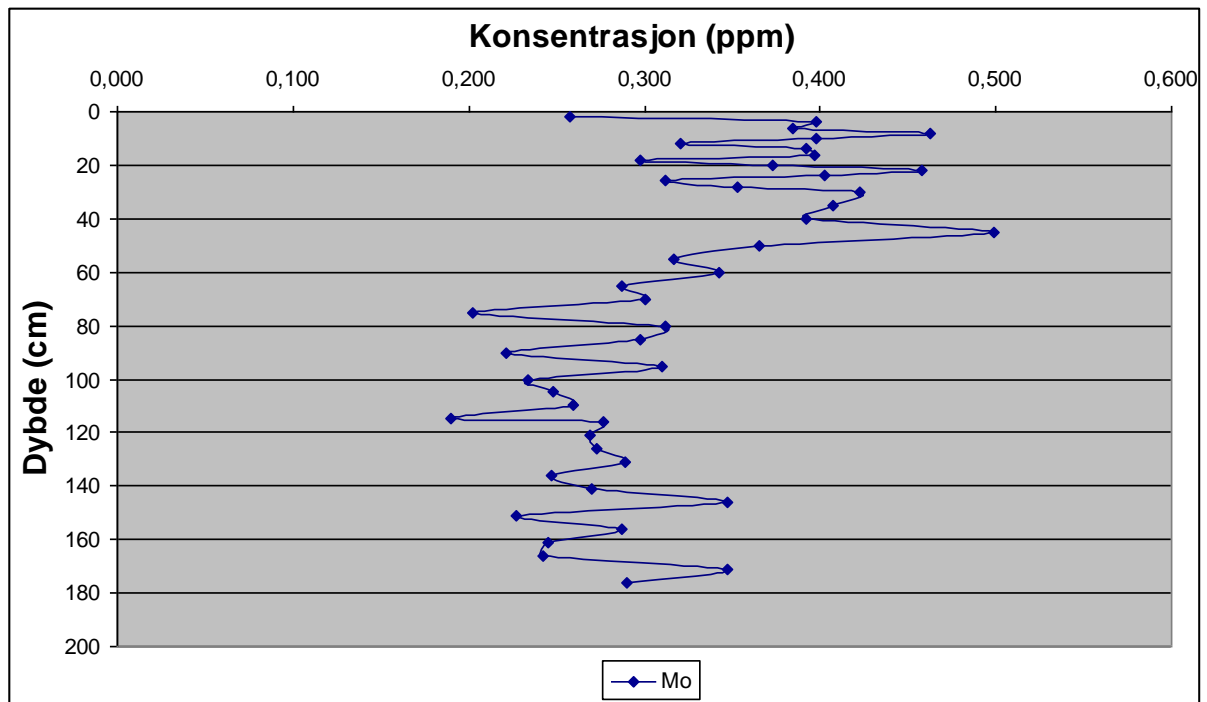
Figur 21: Dybdeprofilen for mangan fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Selen:



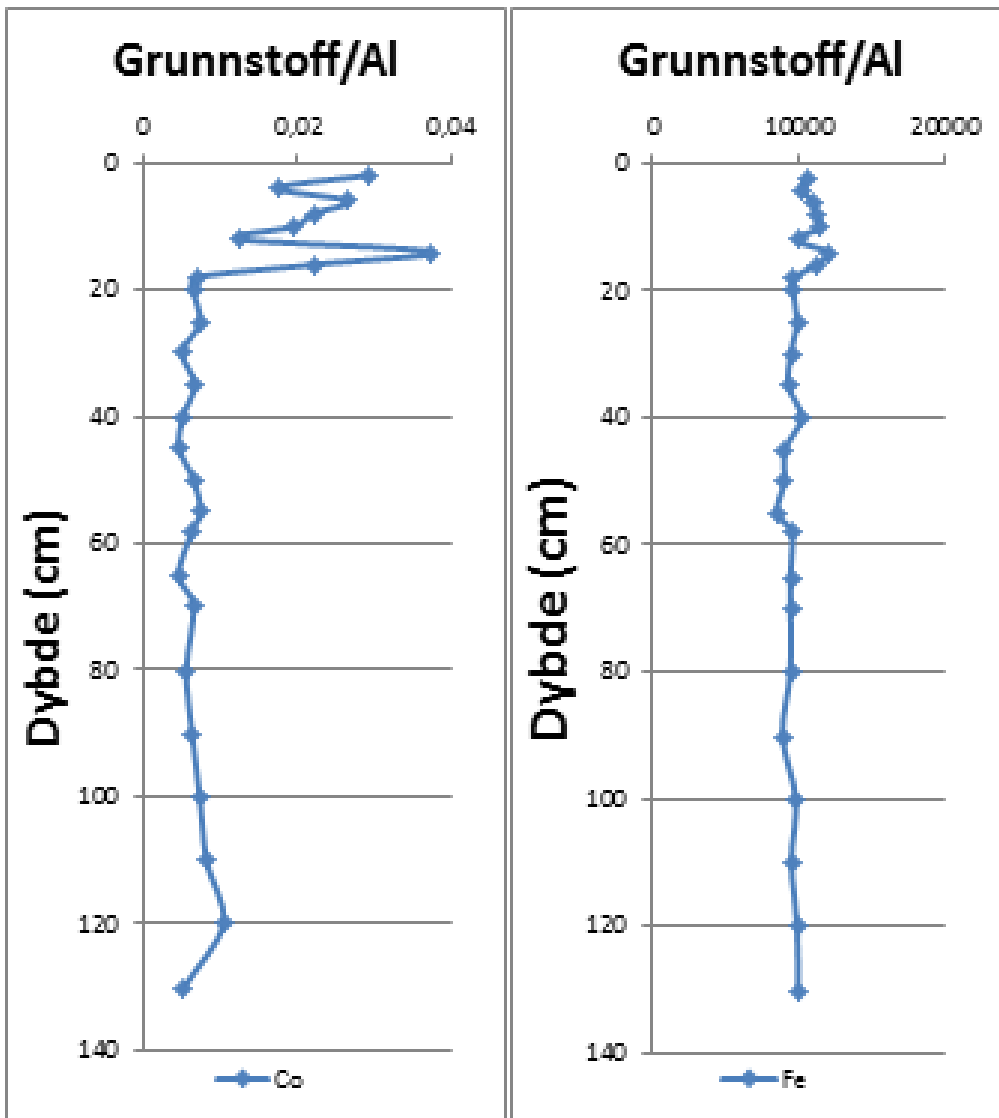
Figur 22: Dybdeprofilen for selen fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Molybden:



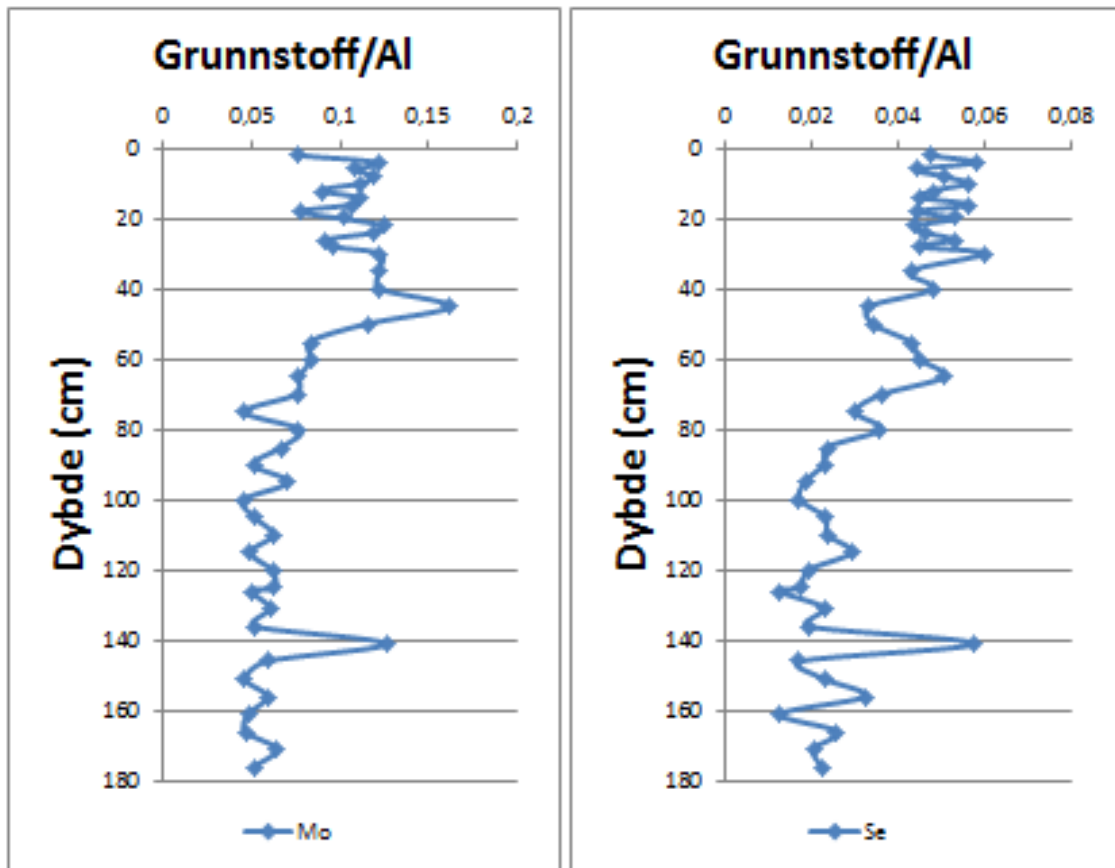
Figur 23: Dybdeprofilen for molybden fra sedimentkjernen tatt i fjorden utenfor Nidelva.

Vedlegg 9: Al-normaliseringer for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

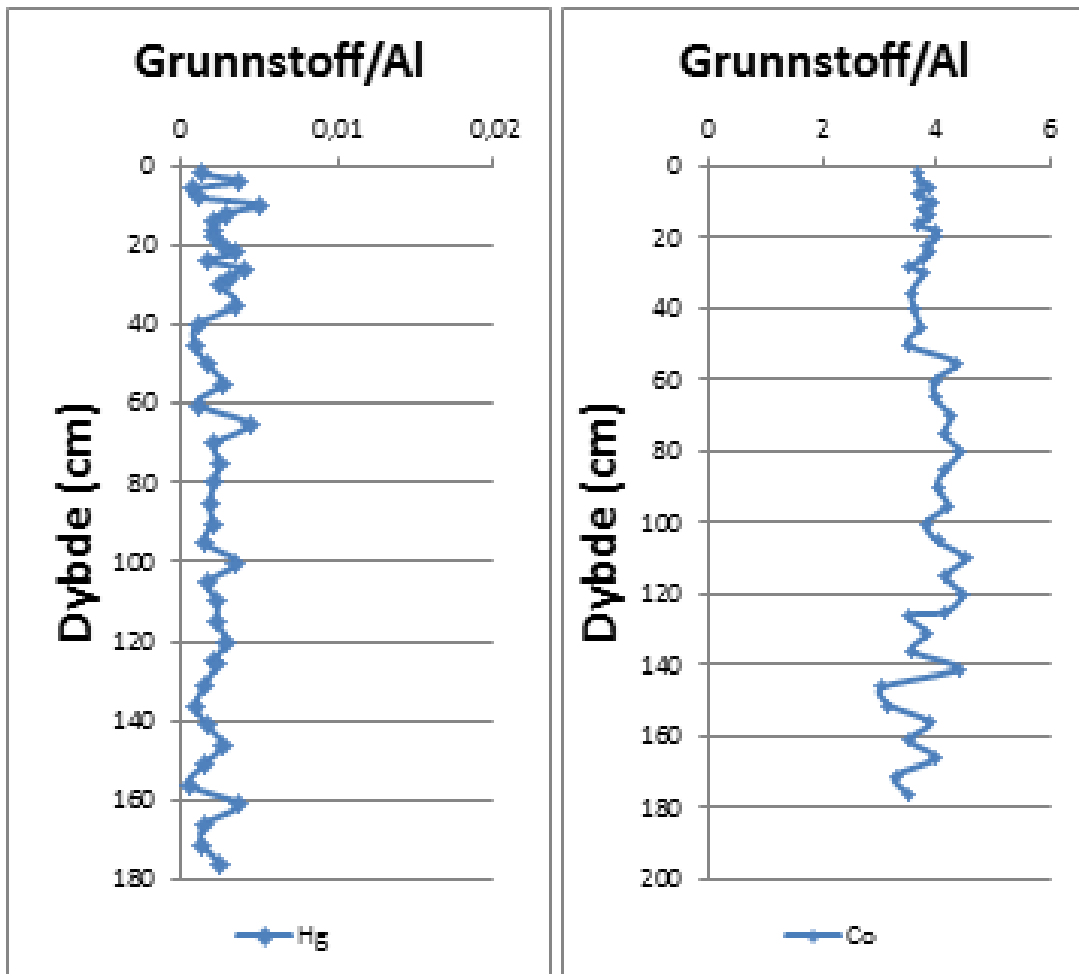


Figur 24: Al-normaliseringer fra sedimentkjernen i fjorden utenfor Orkla. Første diagrammet viser kobolt og det andre viser jern.

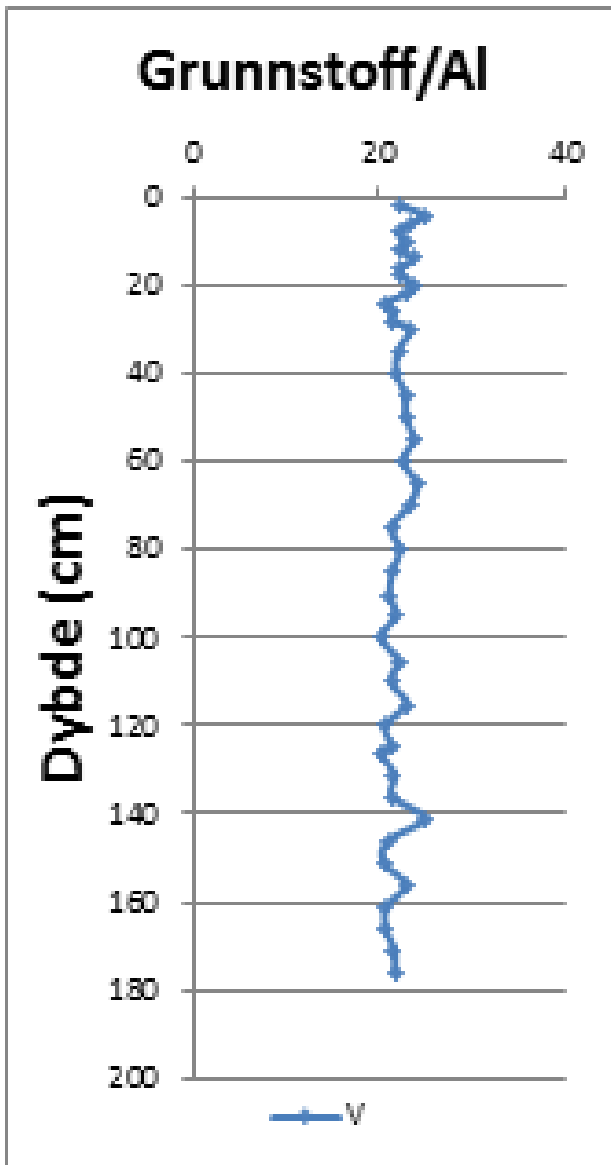
Vedlegg 10: Al-normaliseringer for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.



Figur 25: Al-normaliseringer fra Nidelva 2. Det første diagrammet viser molybden og det andre selen.



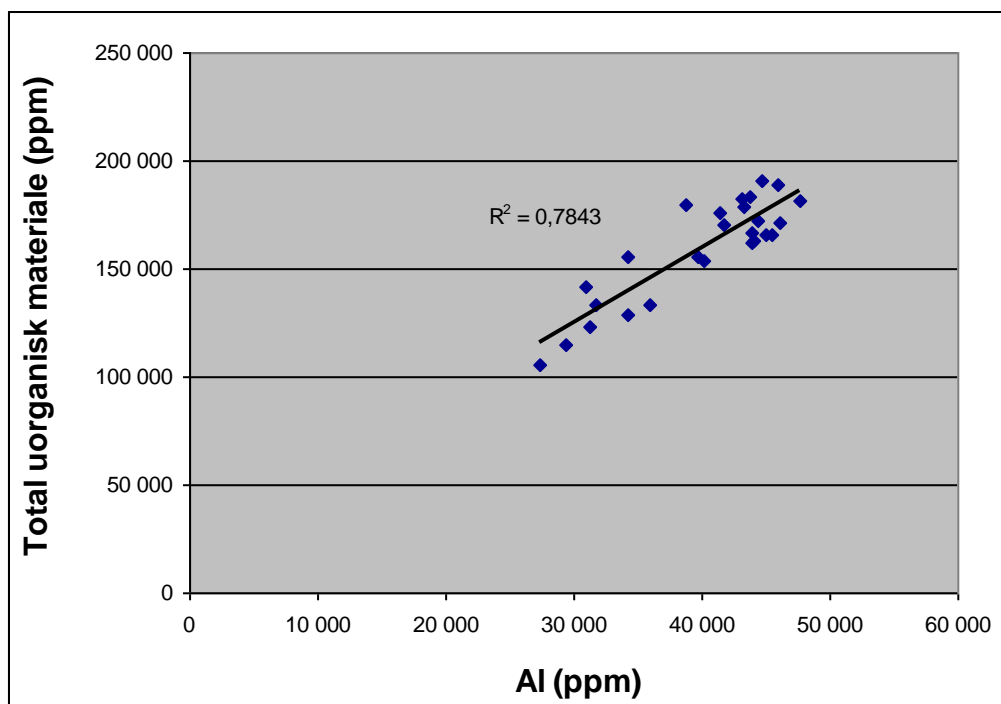
Figur 26: Al-normaliseringer fra Nidelva 2. Det første diagrammet viser kvikksølv og det andre kobolt.



Figur 27: Al-normaliseringer av vanadium fra sedimentkjernen Nidelva 2.

Vedlegg 11: Korrelasjonsanalyse med aluminium for sedimentkjernen tatt utenfor Orkla.

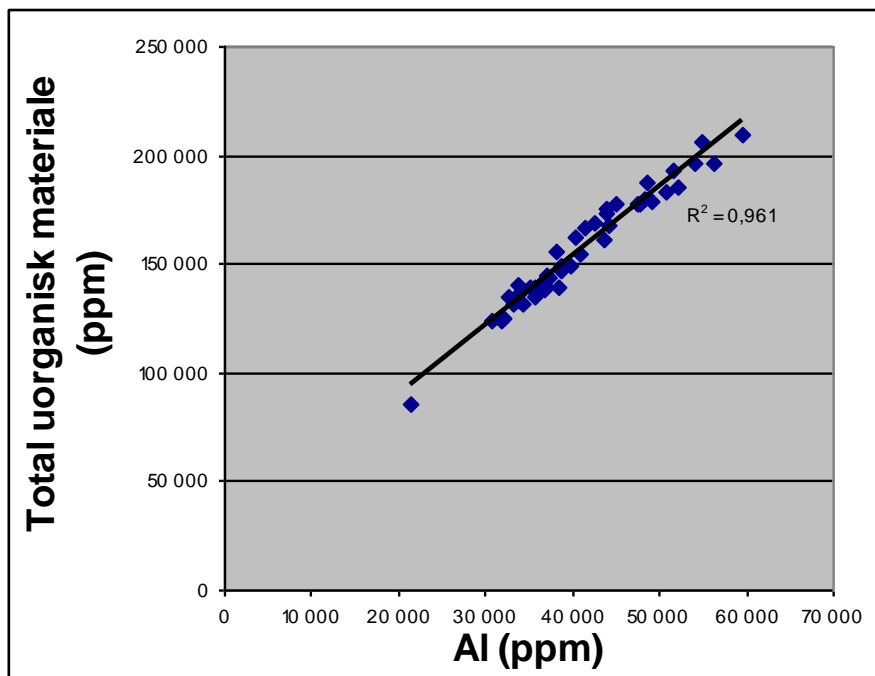
Totalt uorganisk materiale og aluminium:



Figur 28: Viser korrelasjonen mellom aluminium og totalt uorganisk materiale fra sedimentkjernekjernen tatt utenfor Orkla.

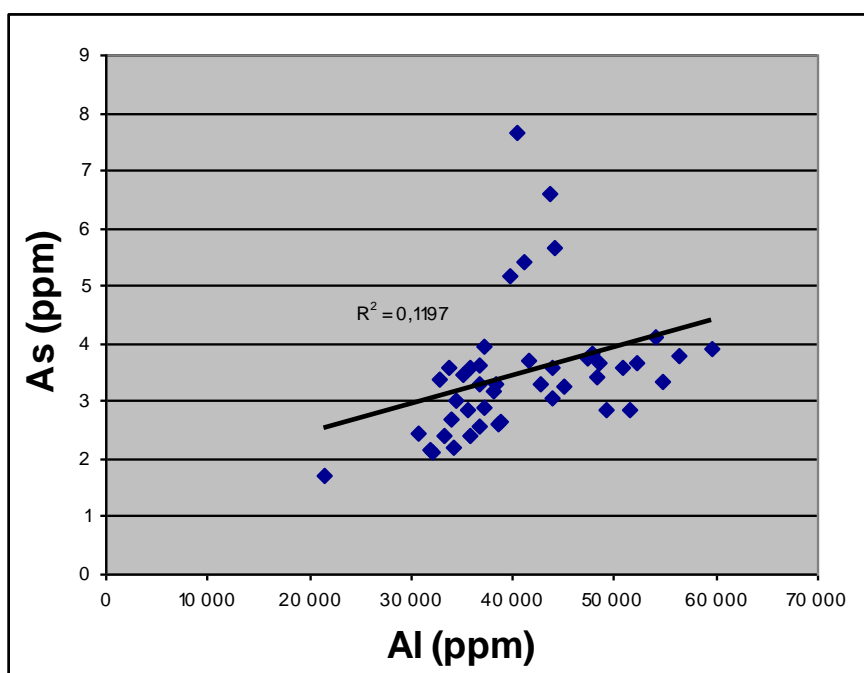
Vedlegg 12: Korrelasjonsanalyse med aluminium for sedimentkjernen Nidelva 2 tatt utenfor Nidelva.

Totalt uorganisk materiale og aluminium:



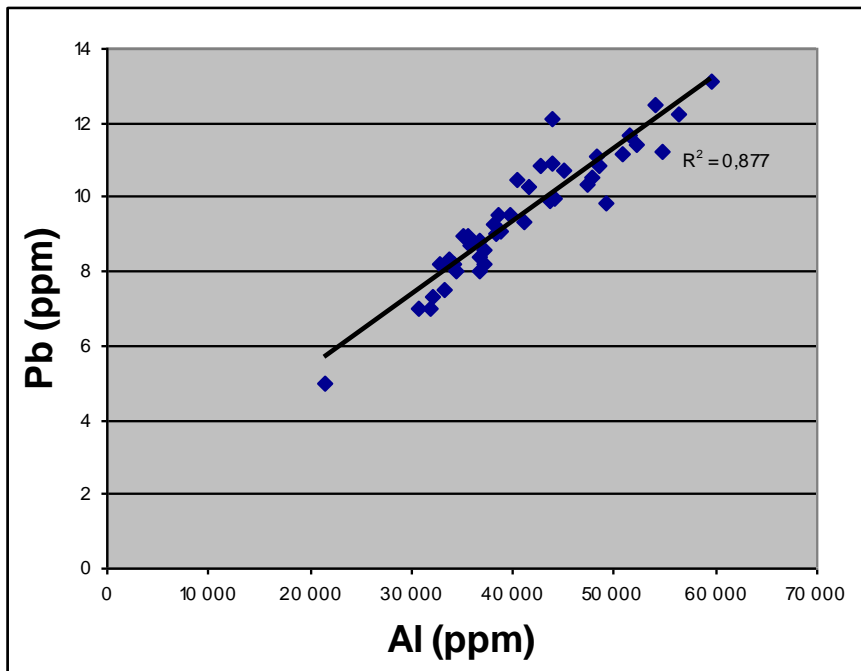
Figur 29: Viser korrelasjonen mellom aluminium og totalt uorganisk materiale i sedimentkjernen Nidelva 2.

Arsen og aluminium:



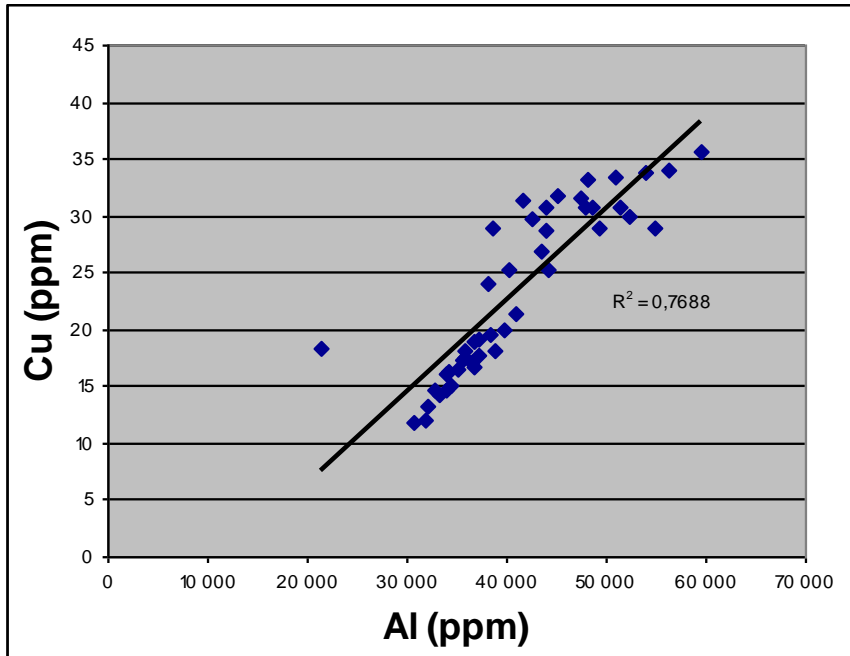
Figur 30: Viser korrelasjonen mellom aluminium og arsen i sedimentkjernen Nidelva 2.

Bly og aluminium:



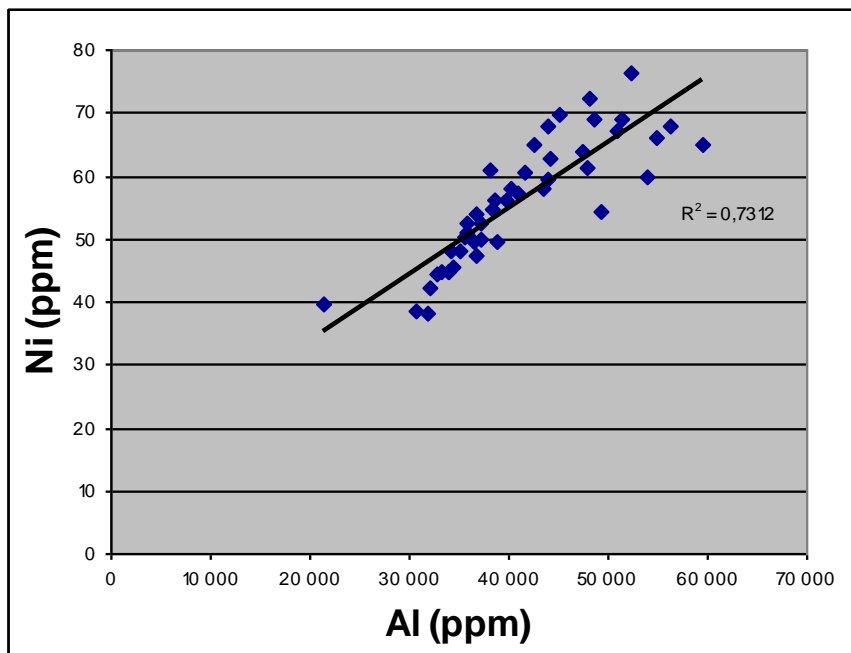
Figur 31: Viser korrelasjonen mellom aluminium og bly i sedimentkjernen Nidelva 2.

Kobber og aluminium:



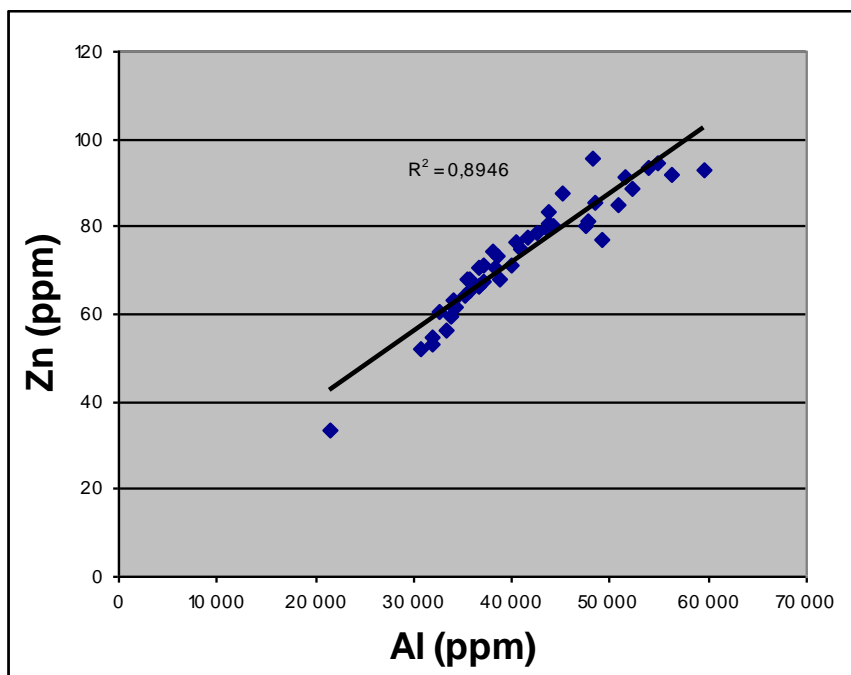
Figur 32: Viser korrelasjonen mellom aluminium og kobber i sedimentkjernen Nidelva 2.

Nikkel og aluminium:



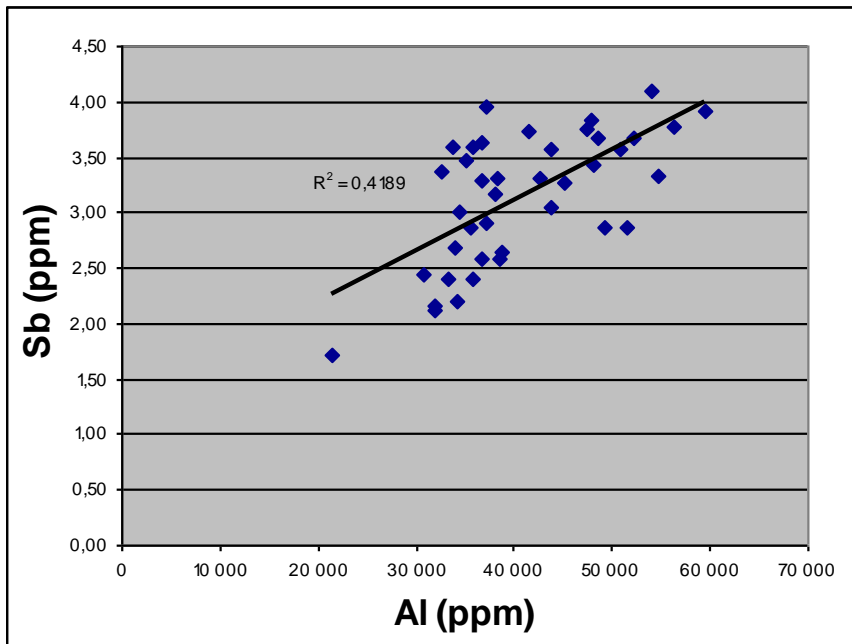
Figur 33: Viser korrelasjonen mellom aluminium og nikkel i sedimentkjernen Nidelva 2.

Sink og aluminium:



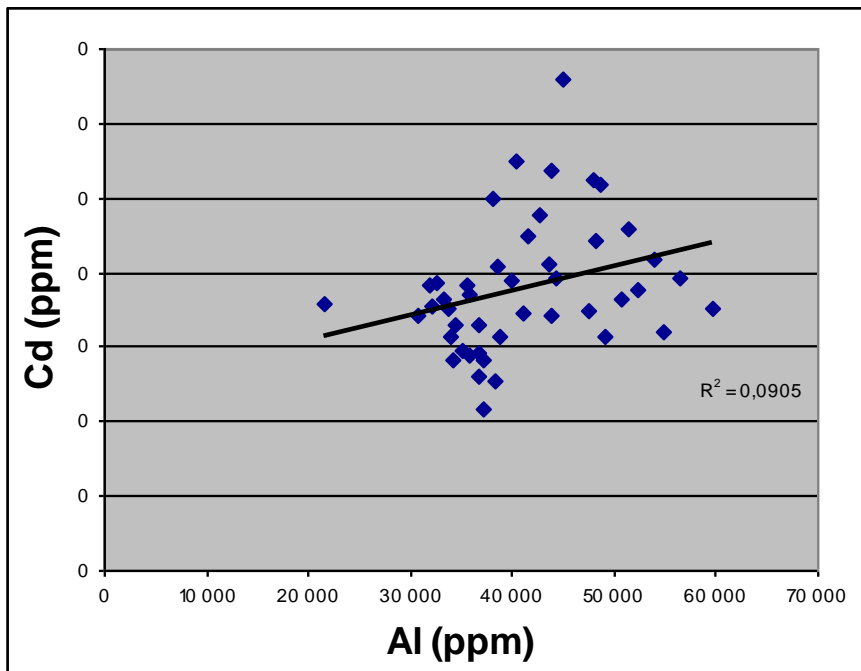
Figur 34: Viser korrelasjonen mellom aluminium og sink i sedimentkjernen Nidelva 2.

Antimon og aluminium:



Figur 35: Viser korrelasjonen mellom aluminium og antimon i sedimentkjernen Nidelva 2.

Kadmium:



Figur 36: Viser korrelasjonen mellom aluminium og kadmium i sedimentkjernen Nidelva 2.

Vedlegg 13: Nøyaktighetsanalyse for sedimentkjernene

Tabell 29: ICP-MS målinger for referansematerialet Soil GBW-07408 for Nidelva 1 og 2 analysen.


Metall	Soil GBW-07408 (ppm)	Verdier funnet ved NTNU (ppm)	Avvik fra referanse (%)	RSD for NTNU-målingene (%)
P	775	771	0,52	5,6
Cr	68	64,8	4,7	4,3
Cu	24,3	22	9,5	3,8
Zn	69	63	7,4	5,8
Cd 114	0,13	0,125	3,8	30
Pb	21	14,3	32	2,7
U	2,7	1,77	34	2,3
As	12,7	12,2	0,16	3,9
Hg	0,017	0,008	53	24
Bi	0,3	0,297	1,0	7,3
Sb	1	0,047	95	18
Mn	650	630	3,1	3,4

Tabell 30: ICP-MS målinger for referansematerialet Soil GBW-07408 for analysen av sedimentprøvene utenfor Gaula og Orkla.

Metall	Soil GBW-07408 (ppm)	Verdier funnet ved NTNU (ppm)	Avvik fra referanse (%)	RSD for NTNU-målingene (%)
P	775	768	0,9	2,6
Cr	68	60,7	11	2,7
Cu	24,3	22,4	7,8	2,4
Zn	69	64,6	6,4	2,9
Cd 114	0,13	0,109	16	20
Pb	21	15,6	26	2,7
U	2,7	1,79	34	2,8
As	12,7	13,4	5,5	2,8
Hg	0,017	0,0158	7,1	32
Bi	0,3	0,305	1,7	4,2
Sb	1	0,116	88	4,7
Mn	650	627	3,5	4,1

Vedlegg 14: Risikoanalyse og SJA

Risikoanalyse:

NTNU		Hazardous activity identification process		Prepared by	Number	Date
				HSE section	HMSRV/2801	22.03.2011
HSE				Approved by	Page	Replaces
				The Rector		01.12.2006

Unit: *(Institute)* Department of Chemistry Date: 21.08.2013

Line manager: Supervisor + master student

Participants in the identification process (incl. function):

(supervisor, student, co-supervisor, others)

Short description of the main activity/main process:

master project for student Ida Jenssen og Matt Emano. Study of core sample from marine sediments, and rivers in Trondheim


Is the project work purely theoretical? (YES/NO)

No

An answer "YES" implies that supervisor is assured that no activities requiring risk assessment are involved in the work. If YES, skip rest of the form.

Signatures: Responsible supervisor: Øyvind Mikkelsen Student: Ida Jenssen

ID nr.	Activity/process	Responsible person	Existing documentation	Existing safety measures	Laws, regulations etc.	Comment
1	Operation of lifting crane, heavy equipment (300 kg +)	Staff at Gunnerus	Certificates, crane operator licences - staff at Gunnerus lifting equipment certified and approved (e.g. Norsk Veritas)	Personal protective equipment, emergency stop device, evacuation routine at Gunnerus	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guideline, Gunnerus work operation guidelines	Sediment sampling is handled by dedicated staff at RV Gunnerus.
2	Decomposition / dissolution of sediment samples - use of UltraClave and freeze-dry system.	Supervisor / Masterstudent	Internal risk assessment documents: - Risikoverdning_D2-184_Fysstorkr.doc - Risikoverdning_E2-144_UltraClave.doc	Personal protective equipment (lab coat, glasses and gloves)	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guidelines	Training will be given before using equipments
3	Spill of acid (HNO3)	Supervisor / Masterstudent	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guidelines	Personal protective equipment (lab coat, glasses and gloves)	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guidelines	Using protective equipment streams, always two or more persons present with communications and rescue equipment
4	Water sampling	Supervisor, masterstudents	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guidelines	Telecommunication, rescue service, extra person for assisting	Employment Protection Act, NTNU and NT HSE guidelines	

NTNU		Risk assessment		Prepared by	Nummer	Date
				HSE section	HMSRV2803	04.02.2011
HMS /KS				Approved by	Page	Replaces
				The Rector		09.02.2010



Unit: *(Institute)* _____ Date: _____

Line manager: _____

Participants in the identification process (incl. function): _____

(supervisor, student, co-supervisor, others)

Risk assessment of: Master project for student Torá Jenssen og Watterland: Study of core sample from marine sediments and rivers in Trondheim

Signatures: _____ Responsible supervisor: *Ø. Mikkelsen* Student: *L. Leal*

ID nr.	Activity from the identification process form	Potential undesirable incident/strain	Likelihood: (1-5)	Consequence:			Risk value (human)	Comments/status Suggested measures
				Human (A-E)	Environment (A-E)	Economy/material (A-E)		
1	Operation of lifting crane, heavy equipment (300 kg +)	Snap of cable	1	D	A	A	D1	Operation of lift crane will only be handled by trained and dedicated staff on RV Gunnerus and in accordance to operation guideline documentation at Gunnerus. Lifting equipment brought to Gunnerus shall be certified (e.g. by Norsk Veritas).
2	Decomposition / dissolution of sediment samples - use of UltraClave and freeze-dry system.	Release of nitrous fumes	5	A	A	A	A5	Limited concentrations and waste gas is directed to fume cupboard. If ventilation stops, the room should be evacuated until ventilation is running again. Inform supervisor

3	Spill of acid (HNO ₃)	Contact with concentrated acid (skin, eye)	3	B	B	B	B	B	B3	Using protective equipment, work should be carried out in the fume cupboard.
4	Water sampling	Man overboard or in river	1	B	A	A	A	B1		
5										
6										

Risk value = Likelihood (1, 2, ...) x consequence (A, B, ...). Risk value A1 means very low risk. Risk value E5 means very large and serious risk

Likelihood		Consequence				
Value	Criteria	Grading	Human	Environment	Economy/material	
1	Minimal: Once every 50 year or less	E Very critical	May produce fatality/ies	Very prolonged, non-reversible damage	Shutdown of work >1 year.	
2	Low: Once every 10 years or less	D Critical	Permanent injury, may produce serious health damage/sickness	Prolonged damage. Long recovery time.	Shutdown of work 0.5-1 year.	
3	Medium: Once a year or less	C Dangerous	Serious personal injury	Minor damage. Long recovery time	Shutdown of work < 1 month	
4	High: Once a month or less	B Relatively safe	Injury that requires medical treatment	Minor damage. Short recovery time	Shutdown of work < 1week	
5	Very high: Once a week	A Safe	Injury that requires first aid	Insignificant damage. Short recovery time	Shutdown of work < 1day	

MATRIX FOR RISK ASSESSMENT

CONSEQUENCE	Very critical	E1	E2	E3	E4	E5
	Critical	D1	D2	D3	D4	D5
	Dangerous	C1	C2	C3	C4	C5
	Relatively safe	B1	B2	B3	B4	B5
	Safe	A1	A2	A3	A4	A5
		Minimal	Low	Medium	High	Very high
LIKELIHOOD						

Explanation of the colors used in the risk matrix.

Color	Description
Red	Unacceptable risk. Safety measures must be implemented.
Yellow	Measures to reduce risk shall be considered.
Green	Acceptabel risk.

SJA:

SJA tittel: Prøvetaking av elvevann / sjøvann / sedimenter for analyse med ICP-MS og TOC/TN	
Dato: oppdatert 02.09.2013	Sted: Nord- og Sør-Trøndelag med kystområdet
Kryss av for utfylt sjekklister: <input checked="" type="checkbox"/>	
Deltakere: (navn fylles ut ved ethvert nytt feltarbeid / tokt knyttet til aktiviteten)	
Øyvind Mikkelsen	August 2011
SJA-ansvarlig:	
Arbeidsbeskrivelse: (Hva og hvordan?)	
<p>Generell aktivitet knyttet til prøvetaking i elver, vassdrag og på sjøen. Prøvetaking i utvalgte elver i Trøndelag og sedimentprøvetaking i Trondheimsfjorden sept/okt 2013.</p>	

Risiko forbundet med arbeidet:

Risiko er først og fremst forbundet med prøvetaking i større elver med sterk strøm, og når prøvetaking foregår på sjøen ved bruk av forskningsfartøyet F/F Gunnerus.

For det aktuelle feltarbeidet er området godt kjent og elva er av mindre størrelse. Det er derfor svært liten risiko forbundet med det aktuelle oppdraget. Oppdrages utføres alene under gode forhold, men samband pr mobil telefon opprettes.

Beskyttelse/sikring: (tiltaksplan, se neste side)

Ved eventuell prøvetaking når høy vannstand/sterk strøm skal alltid en ekstra person være med som støtte og ha tilgang til samband samt sikkerhetsmateriell som tau/redningsbøye etc. (I det aktuelle arbeidet vil eventuell støtteperson være Roy A. Mikkelsen. Aktiviteten planlegges da i gruppen før aktiviteten gjennomføres. Det fylles ut egne feltkort for faglig ansvarlig (HMSRV0702) og feltkort for deltagere (HMSRV0703). Kopi av feltkort oppbevares på instituttet. Plan for kommunikasjon følger veiledning gitt i HMSRV0704. Videre benyttes veiledning for "Sjekkliste for kartlegging av risikoforhold ved feltarbeid" gitt i HMSRV0701.

Ved bruk av Gunnerus gjennomføres obligatorisk sikkerhetskurs og sikkerhetsrutiner om bord administrert av båtens faste personell (http://www.cesos.ntnu.no/marcow/gunnerus_info.pdf), videre planlegges og beskrives toktet detaljert i Opplysningskjema for tokt med F/F Gunnerus. Eventuell aktivitet som skal utføres på båtens laboratorier risikovurderes på vanlig måte (Ecoonline og HMSRV2603) etter veiledning HMSR26 og kjemikalieforskriften. Avfallshåndtering følger veiledning gitt i HMSR18, og melding om avvik rapporteres til linjeleder etter rutiner gitt i gjennom dokumentasjon i HMSR04 og dokumenteres gjennom bruk av skjema HMSRV0401. **Spesielt hensyn og planlegging for sedimentprøvetaking som inkluderer tungt utstyr som skal løftes med kran (utføres alltid av operatør på Gunnerus).**

Konklusjon/kommentar:

Prøvetaking skal foretas under trygge arbeidsbetingelser der vær- og vindforhold samt strømningsforhold alltid vurderes fortløpende, og sikringstiltak er på plass før og under utførelse ved prøvetaking i større elver og på sjøen.

Anbefaling/godkjenning:	Dato/Signatur:	Anbefaling/godkjenning:	Dato/Signatur:
SJA-ansvarlig:	Ø.M	Områdeansvarlig:	
Ansvarlig for utføring:	Ø.M og Bruker	Annen (stilling):	

HMS aspekt	Ja	Nei	Ikke aktuelt	Kommentar / tiltak	Ansv.
Dokumentasjon, erfaring, kompetanse					
Kjent arbeidsoperasjon?	X				
Kjennskap til erfaringer/uønskede hendelser fra tilsvarende operasjoner?			X		
Nødvendig personell?			X		
Kommunikasjon og koordinering					
Mulig konflikt med andre operasjoner?			X		
Håndtering av en evt. hendelse (alarm, evakuering)?			X		
Behov for ekstra vakt?			X	Ved eventuell prøvetaking på sjøen eller når høy vannstand/sterk strøm i elver skal alltid en ekstra person være med som støtte og ha tilgang til samband samt sikkerhetsmateriell som tau/redningsbøye etc.. Det fylles ut egne feltkort for faglig ansvarlig og feltkort for deltagere.	Ø.M
Arbeidsstedet					
Uvante arbeidsstillinger?		X			
Arbeid i tanker, kummer el.lignende?		X			
Arbeid i grøfter eller sjakter?		X			
Rent og ryddig?			X		
Verneutstyr ut over det personlige?		X			
Vær, vind, sikt, belysning, ventilasjon?	X			Prøvetaking skal foregå under vurdering av at vær og vindforhold tillater sikker operasjon (vurderinger baserer seg på info om direkte værobservasjoner og info gitt på yr.no samt info fra Norges vassdrags- og energidirektorat).	Ø.M
Bruk av stillaser/lift/seler/stropper?		X			
Arbeid i høyden?		X			
Ioniserende stråling?		X			
Rømningsveier OK?			X		
Kjemiske farer					
Bruk av helseskadelige/giftige/etsende kjemikalier?	X			Prøver konservers ved tilsats av konsentrert HNO ₃ og H ₃ PO ₄ . Konservering foretas fortrinnsvis når man er tilbake på laboratoriet. Når dette ikke er mulig tilsettes syre gjennom bruk av små dråpeflasker direkte i prøvene på stedet; det brukes da vernehansker og beskyttelsesbriller.	Ø.M Bruker
Bruk av brannfarlige eller eksplosjonsfarlige kjemikalier?		X			
Må kjemikaliene godkjennes?		X			
Biologisk materiale?		X			
Støv/asbest?		X			
Mekaniske farer					
Stabilitet/styrke/spenning?		X			
Klem/kutt/slag?		X			
Støy/trykk/temperatur?		X			

Behandling av avfall?		X		Kun mindre volum av prøver av naturlig vann konservert med mindre mengder HNO ₃ ev. H ₃ PO ₄ for konservering skal avhendes. Følger rutiner for avhending av kjemikalier gitt i veiledning HMSR18.	Ø.M Bruker
Behov for spesialverktøy?		X			
Elektriske farer					
Strøm/spenning/over 1000V?		X			
Støt/krypstrøm?		X			
Tap av strømtilførsel?		X			

Området					
Behov for befaring?	X			Ved prøvetaking i nye områder eller ukjente elver vil aktiviteten utføres etter en befaring og planleggingsfase.	Ø.M Bruker
Merking/skilting/avsperring?		X			
Miljømessige konsekvenser?		X			
Sentrale fysiske sikkerhetssystemer					
Arbeid på sikkerhetssystemer?		X			
Frakobling av sikkerhetssystemer?		X			
Annet					