

Undersøkelse av utfordringer knyttet til bruk av flomsedimenter som prøvedium i geokjemisk kartlegging

En studie av flomsedimenter i
Gudbrandsdalen

Kristin Kvitrud

Master i realfag

Innlevert: mai 2015

Hovedveileder: Øyvind Mikkelsen, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg problemstillinger knyttet til bruk av flomsedimenter som prøvemedium, med utgangspunkt i Gudbrandsdalen som lokalitet. Flomsedimenter er antatt å reflektere geokjemien i et område da disse er dannet ved prosesser som forvitring, erosjon, transport og avsetning av bergarter og mineraler i nedslagsfeltet. Det eksisterer likevel en pågående diskusjon om flomsedimentene er representative da sammensetningen kan påvirkes av ulike fysiske og kjemiske prosesser. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse.

Det ble samlet inn prøver ved totalt ti prøvepunkter av flomsedimenter ved ulike dybder i forskjellige profiler. Dypeste prøve ble tatt ved omtrent 80 cm dybde. Det ble også samlet inn prøver av elvesedimenter og filterprøver av partikulært elvemateriale, hvor dette lot seg gjøre.

Prøvene ble tørket ved romtemperatur, i tørkeskap eller ved frysetørring avhengig av fuktinnhold. Sedimentene ble dekomponert med 9 mL 50 % v/v HNO₃ i UltraCLAVE, mens filterprøvene ble dekomponert med 3 mL 50 % v/v HNO₃. Alle prøvene ble analysert med HR-ICP-MS. Det ble også bestemt glødetap på et utvalg topprøver langs Gudbrandsdalslågen, samt nedover i én profil.

Sammensetningen til flomsedimentene og tilhørende elvesedimenter ble sammenlignet og det ble funnet en relativt lik sammensetning av hovedelementene; Fe, Al, Mg, Ca, Si, Na, K og Mn. På bakgrunn av disse resultatene kan det konkluderes med at flomsedimenter og elvesedimenter er et resultat av de samme sedimentkildene, og at flomsedimenter dermed er like representative for geokjemien som elvesedimenter.

Flomsedimentprofilene viste litt ulike trender mellom de forskjellige prøvepunktene, noe som indikerer bidrag fra ulike aktive sedimentkilder og forurensningskilder langs elva. Lagene nedover i en profil viste en forholdvis lik sammensetning mellom hovedelementene. Dette er mest sannsynlig et resultat av små endringer i bidrag fra sedimentkilder ved ulike flomepisoder.

Det ble ved flere prøvepunkt observert en nedgang i konsentrasjon av ulike sporelementer som Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb og As oppover i profilene. Dette var noe uventet da en økning i konsentrasjon ville vært forventet som følge av antropogene bidrag. Ved spesielt ett prøvepunkt

ble det funnet antydninger til vertikal migrasjon av elementene Cd og Ni. Basert på dette kan det stilles spørsmål ved om de dyptliggende sedimentlagene kan benyttes til å bestemme naturlig bakgrunnsnivå ved det gitte prøvepunktet. Resultatene antyder også at valg av prøvepunkt vil være avgjørende for oppnådd resultat.

Summary

This paper studies the use of overbank sediments as a sampling medium, with Gudbrandsdalen as the locality. Overbank sediments are thought to reflect the geochemistry in an area as these are formed by processes such as weathering, erosion, transport and deposition of rocks and minerals in the catchment area. There is still an ongoing discussion whether or not these overbank sediments are representative when there is a possibility that various physical and chemical processes can affect their composition. The paper is written in collaboration with the Geological Survey of Norway.

The overbank sediments were collected at ten sampling points at different depths in different profiles. The deepest point a sample was taken was 80 cm. Samples of river sediments and filtered samples of particulate river matter were collected where it was possible.

The samples were dried at room temperature, by oven drying or freeze drying depending on the moisture content. The sediments were digested with 9 mL 50 % v/v HNO₃ in UltraCLAVE, while the filter samples were digested with 3 mL 50 % v/v HNO₃. All the samples were analyzed with HR-ICP-MS. The loss on ignition at a range of top samples along Gudbrandsdalslågen river, and down in one profile were also measured.

The composition of the overbank sediments and the associated river sediments were compared, and there was found a relatively equal composition of the main elements; Fe, Al, Mg, Ca, Si, Na, K, and Mn. Based on these results it can be concluded that overbank sediments and river sediments are a result of the same sediment sources, and that overbank sediments thus are equally representative for the geochemistry as river sediments.

The overbank sediment profiles showed some different trends between the different sampling points, indicating contributions from various active sediment sources and pollution sources along the river. The various layers down the profile showed a relatively similar composition of the main elements. This will most likely be due to small changes in the contribution of different sediment sources at different flooding incidents.

There were in several overbank sediment profiles observed a decrease in the concentration of various trace elements such as Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb and As upwards in the profiles. This was somewhat unexpected when the upward part is more likely to be affected by anthropogenic contributions. At particular one sampling point there were found indications of vertical migration of the elements Cd and Ni. Based on these results, it can be questioned whether the deeper parts of the sediments can be used to determine natural background levels at a given sampling point. The results also imply that the selection of sample point may be a factor in the accomplished results.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for kjemi ved Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet (NTNU), i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU). Oppgaven er en del av Lektorutdanning i realfag, med fordypning i kjemi.

Jeg vil først og fremst få takke Øyvind Mikkelsen for god veiledning og tips på denne masteroppgaven. Jeg vil også takke Rolf Tore Ottesen som har vært en stor inspirasjonskilde til valg av masteroppgave. Syverin Lierhagen fortjener også en takk for god hjelp på lab, HR-ICP-MS-analyse, ryddige Excel-filer og gode råd. Ola Anfin Eggen og Tor Erik Finne ved NGU takkes for god hjelp og bidrag med supplerende data.

Takk til Janne Trøstaker for god hjelp med ArcGIS. Jeg hadde ikke fått det til uten din hjelp. En takk også til Trude Walleraunet som har bidratt med mange gode tips og erfaringer i løpet av denne perioden og under hele studiet. For korrekturlesing på oppgaven fortjener min kjære søster Ingrid Kvitrud en stor takk som tok seg tid til dette i en travel eksamensperiode.

Mamma og pappa: Tusen takk for moralsk og økonomisk støtte disse fem årene. Nå har frøkna endelig blitt voksen, nesten. Besteforeldre fortjener også en takk for økonomiske bidrag og god oppmuntring.

Jeg vil til slutt få takke alle mine gode venner på LUR gjennom disse fem årene, og spesielt mine gode naboer på lesesalen, Sigrid Myhr Kveli og Mari Moen Slenes. Uten dere hadde disse årene på NTNU blir mye mindre minneverdige enn det de ble. Tida har gått så fort, og nå står vi her endelig som ferdige lektorer i realfag, klare til å erobre verden. Det kommer til å bli rart å ikke tilbringe like mye tid sammen lenger. Dere er topp!

Kristin Kvitrud

Trondheim, 25. mai 2015

Forkortelser

EM – elektronmultiplikator

HR-ICP-MS – høyoppløselig induktivt koblet plasma massespektroskopi

ICP – induktivt koblet plasma

ICP-MS – induktivt koblet plasma massespektroskopi

ISO – internasjonal organisasjon for standarder

MQ – Milli-Q vann (renset vann fra Millipore Milli-Q rensesystem)

NGU – Norges geologiske undersøkelse

NTNU – Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

RSD – Relativt standardavvik

SRC – enkelt-reaksjonskammer

XRF – røntgenfluoresens

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	I
Summary.....	III
Forord.....	V
Forkortelser.....	VII
1 Innledning.....	1
2 Bakgrunn.....	3
2.1 Geografi.....	3
2.2 Geologi.....	5
2.2.1 Området fra Lesjaskogvatnet til Sel.....	5
2.2.2 Området fra Sel til Fåberg.....	6
2.2.3 Området fra Fåberg til Mjøsa.....	10
2.3 Flomsletta.....	10
2.4 Hva er flomsedimenter?.....	11
2.4.1 Definisjon.....	11
2.4.2 Sedimentdannelse.....	11
2.4.3 Bestanddeler.....	14
2.5 Flomsedimenter og forurensning.....	15
2.5.1 Fysiske prosesser og kjemiske reaksjoner.....	15
2.5.2 Trender for forurensning av tungmetaller.....	20
2.5.3 Spormetaller.....	22
2.6 Forurensningskilder.....	23
2.6.1 Forurensningskilder i Gudbrandsdalen.....	24
2.7 Flomsedimenter som prøvemedium.....	26
2.8 Svakheter ved flomsedimenter som prøvemedium.....	29
2.9 Bruk av flomsedimenter internasjonalt.....	31
2.10 Prøvetaking av flomsediment.....	33
3 Analytiske metoder.....	35
3.1 Dekomponering.....	35
3.1.1 UltraCLAVE.....	37
3.2 ICP-MS.....	38
3.2.1 Feilkilder ved ICP-MS.....	40
3.3 Glødetap.....	41
3.3.1 Feilkilder ved glødetap.....	43

4	Metode.....	45
4.1	Prøvetaking	45
4.2	Preparering	47
4.3	Kjemisk analyse	49
4.3.1	ICP-MS.....	49
4.3.2	Glødetap.....	50
4.4	Metodevurdering	50
4.4.1	ICP-MS.....	50
4.4.2	Glødetap.....	51
4.5	Databehandling	52
4.5.1	Gjennomsnitt.....	52
4.5.2	Standardavvik	52
4.5.3	T-test.....	52
4.5.4	Korrelasjoner.....	53
4.5.5	Kartframstilling.....	53
5	Resultat og diskusjon.....	55
5.1	Profiler	55
5.1.1	Prøvepunktet Sel	56
5.1.2	Prøvepunktet Hundorp.....	59
5.1.3	Prøvepunktet Frya	61
5.1.4	Prøvepunktet Lågendeltaet 2	64
5.1.5	Oppsummering.....	66
5.2	Elvesediment.....	70
5.3	Filter	73
5.4	Fordeling i flomsediment, elvesediment og filter	75
5.4.1	Prøvepunktet Vinstra.....	76
5.4.2	Prøvepunktet Fåvang	78
5.4.3	Prøvepunktet Lågendeltaet 2	80
5.4.4	Oppsummering.....	81
5.5	Topp- og bunnprøver	83
5.5.1	Hovedelementer	83
5.5.2	Sporelementer	86
5.6	Fraksjoner	89
5.7	Glødetap.....	93
6	Konklusjon.....	95

7 Videre arbeid.....	97
Litteraturliste.....	99
Vedlegg A : Flomsedimentprofiler for hovedelementer.....	103
Vedlegg B : Flomsedimentprofiler for sporelementer.....	107
Vedlegg C : Prosentvis fordeling av hovedelementer i flomsediment, elvesediment og filter.....	109
Vedlegg D : Konsentrasjoner av sporelementer i flomsediment og elvesediment	113
Vedlegg E : Bilder av flomsedimentprøver	115
Vedlegg F : Bilder av flom- og elvesedimentprøver	119
Vedlegg G : Bilde av elvesedimentprøver	121
Vedlegg H : Korrelasjonstabeller for utvalgte flomsedimentprofiler.....	123
Vedlegg I : Data levert av Norges geologiske undersøkelse	129
Vedlegg J : UltraCLAVE-rapport	131

Figurer

Figur 2.1.1: Kart over Gudbrandsdalslågen (Kart hentet fra Kartverket, u.å., redigert, http://www.norgeskart.no/?_ga=1.65414765.236683208.1428588798#5/378604/7226208/-land/+enkel)	4
Figur 2.2.1: Kart over berggrunn fra Lesjaskogvatnet til Sel (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/)	6
Figur 2.2.2: Kart over berggrunn fra Sel til Fåberg (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/)	7
Figur 2.2.3: Kart over berggrunn fra Fåberg til Mjøsa (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/)	10
Figur 2.4.1: Skisse av sedimentavsetning under flom (Skisse tegnet på bakgrunn av figur i Ottesen et.al. (1989))	13
Figur 2.4.2: Illustrasjon av ulike sedimentlag i profil, separert av tynne og mørkere organiske lag, vist med piler (Foto: Øyvind Mikkelsen).....	13
Figur 2.5.1: Illustrasjon av hvordan pH påvirker binding av kation og anion (Figur tegnet etter inspirasjon fra Miller & Orbock Miller, 2007b)	18
Figur 2.5.2: Illustrasjon på hvordan overflateladning kan komme av isomorf erstatning i krystallstrukturen (Figur er tegnet på bakgrunn av figur i Stumm & Morgan, 1996).....	19
Figur 2.5.3: Skisse av forskjell i overflate-areal ratio mellom større og mindre partikler (Figur tegnet etter inspirasjon fra Miller & Orbock Miller, 2007b)	21
Figur 2.6.1: Utsikt over Gudbrandsdalen og Gudbrandsdalslågen. Bildet er tatt ved Ringeby, i retning sør og viser bruk av flomsletter til jordbruk (Foto: privat).....	25
Figur 2.8.1: Illustrasjon av hvordan vertikal migrasjon i en profil kan oppdages (Figuren er basert på resultater fra prøvepunktet Hundorp i denne oppgaven)	30
Figur 3.1.1: Illustrasjon av hvordan prøvene settes ned i loaden i UltraCLAVE (milestone, udatert).....	38
Figur 3.2.1: Enkel skisse av ICP-MS instrument (Tegnet etter inspirasjon fra Skoog et.al. (2004))	40
Figur 3.3.1: Prøver i digel satt til glødetap i glødeovn (Foto: privat)	41
Figur 3.3.2: Prøver til glødetap oppbevart i eksikator (Foto: privat)	42
Figur 4.1.1: Oversikt over de ulike prøvepunktene. Kartet er laget i ArcGIS.	46
Figur 4.2.1: RETCH AS 200 Siktemaskin benyttet til å skille ulike fraksjoner i utvalgte prøver (Foto: privat)	47
Figur 4.2.2: Illustrasjon av ulike fraksjoner av en prøve (Foto: privat)	48

Figur 4.2.3: Klargjøring av prøver til ICP-MS-analyse (Foto: privat).....	49
Figur 5.1.1: Sel: Flomsedimentprofil for hovedelementer	56
Figur 5.1.2: Hundorp: Flomsedimentprofil for hovedelementer.....	59
Figur 5.1.3: Frya: Flomsedimentprofil for hovedelementer	62
Figur 5.1.4: Lågendeltaet 2: Flomsedimentprofil for hovedelementer.....	64
Figur 5.3.1: Fordeling av hovedelementer i filterprøver	74
Figur 5.4.1: Vinstra: Fordeling av hovedelementer i prosent	76
Figur 5.4.2: Fåvang: Fordeling av hovedelementer i prosent	78
Figur 5.4.3: Lågendeltaet 2: Fordeling av hovedelementer i prosent.....	80

Tabeller

Tabell 2.2.1: Oppsummering av dominerende bergarter i prøveområde	9
Tabell 5.1.1: Sel: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil	57
Tabell 5.1.2: Hundorp: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil	59
Tabell 5.1.3: Frya: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil	62
Tabell 5.1.4: Lågendeltaet 2: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil	64
Tabell 5.2.1: Konsentrasjon av hovedelementer i elvedimentprøver	71
Tabell 5.2.2: Konsentrasjoner av utvalgte sporelementer i elvediment	71
Tabell 5.3.1: Prosentinnhold av hovedelementer i filterprøver	74
Tabell 5.4.1: Vinstra: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvediment	77
Tabell 5.4.2: Fåvang: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvediment	78
Tabell 5.4.3: Lågendeltaet 2: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvediment.....	80
Tabell 5.5.1: Konsentrasjoner av hovedelementer i topp- og bunnprøver ved de ulike prøvepunktene	84
Tabell 5.5.2: Konsentrasjoner av utvalgte sporelementer i topp- og bunnprøver ved de ulike prøvepunktene	87
Tabell 5.6.1: Fordeling av hovedelementer i ulike fraksjoner	90
Tabell 5.6.2: Fordeling av sporelementer i ulike fraksjoner	91
Tabell 5.7.1: Resultat av glødetap for overflateprøver og en profil	93

1 Innledning

Flomsedimenter er løse materialer som avsettes og akkumuleres på elvesletta under flom. Flom forekommer som regel ved jevne mellomrom i de fleste elvesystem, og flomsedimentene vil dermed bestå av en rekke lag av finkornet materiale hvor yngre sedimenter ligger over eldre sedimenter (Bolviken et al., 2004).

Sedimenter dannes ved prosessene forvitring, erosjon, transport og avsetning av bergarter og mineraler (Schou Jensen, Sunde, & Engen, 2006). Den kjemiske og fysiske sammensetningen til sedimentene vil være et resultat av disse prosessene, og det antas derfor at flomsedimenter representerer den underliggende geologien i området (Miller & Orbock Miller, 2007b).

Som følge av dette er det foreslått at flomsedimenter er et bedre prøvemedium enn for eksempel elvesedimenter til å bestemme naturlige bakgrunnskonsentrasjoner, samt påvise antropogene forurensninger. Flere sedimentkilder er aktive under flom, samtidig som at partiklene vil transporteres og blandes mer, og dermed kunne være mer representative for geokjemien og nedslagsfeltet i området over et gitt prøvepunkt enn andre prøvemedium (Bolviken et al., 1996; Ottesen, Bogen, Bolviken, & Volden, 1989).

En pågående diskusjon er om flomsedimenter kan gi et feil bilde av de naturlige bakgrunnskonsentrasjonene gjennom påvirkning av atmosfæriske avsetninger blant annet ved gjennomtrengning av porevann og begravd organisk materiale (Rognerud, Hongve, Fjeld, & Ottesen, 2000). Sekundær mobilisering av metaller kan også virke inn på bakgrunnsnivåene (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004). Dette vil være denne oppgavens utgangspunkt.

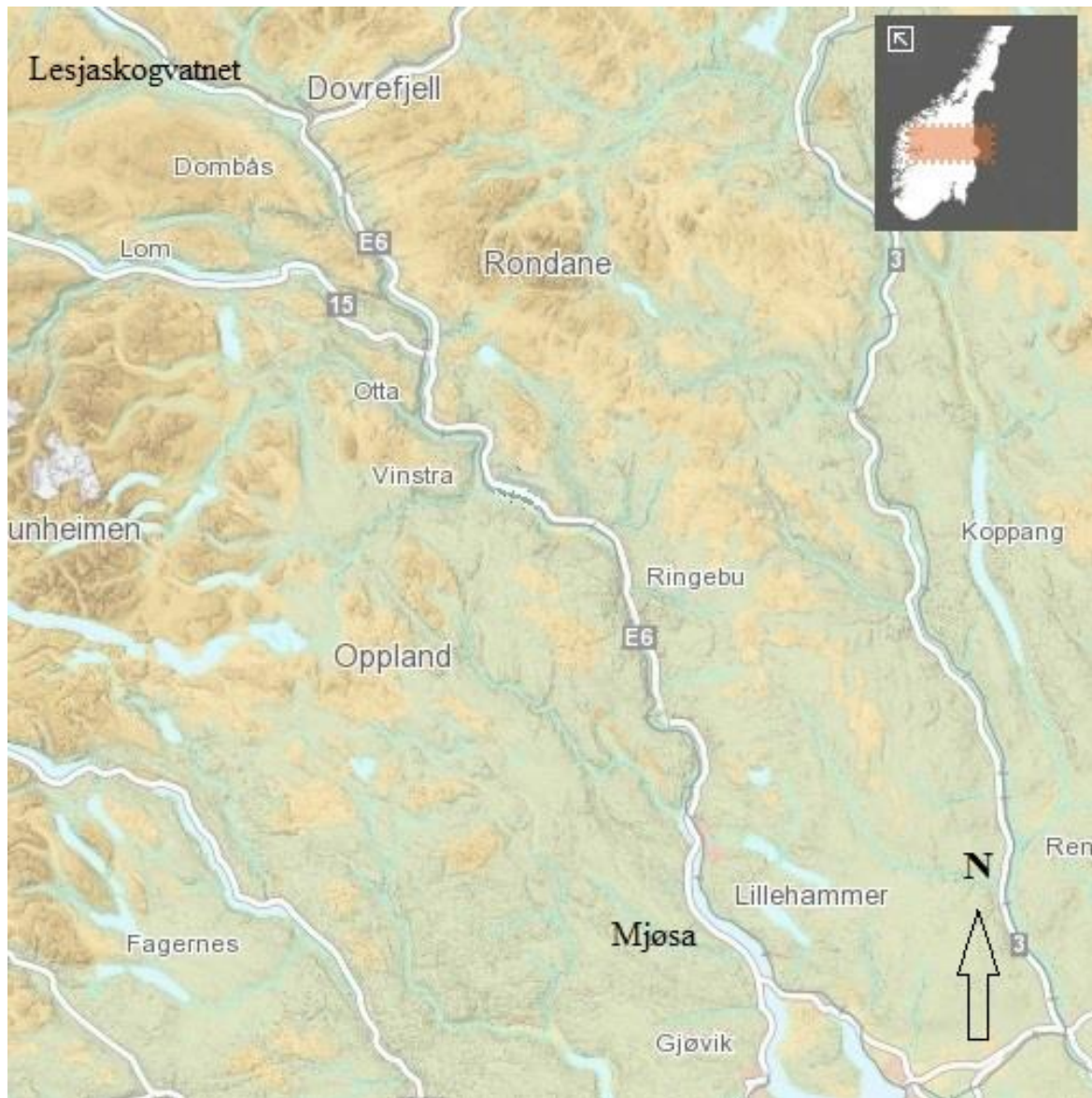
Opgaven vil ta for seg problemstillinger knyttet til flomsedimenter i Gudbrandsdalen. Det vil hentes prøver fra ulike prøvepunkt langs elva som renner gjennom dalen; Gudbrandsdalslågen. Ved hvert prøvepunkt hentes prøver fra ulike dybder. I tillegg vil det tas prøver av elvesediment og filterprøver av partikulært elvemateriale hvor dette lar seg gjøre. Det vil også separeres ut fraksjoner av enkelte prøver til analyse. Prøvene samles høsten 2014, dekomponeres ved UltraCLAVE og analyseres for flere utvalgte elementer ved HR-ICP-MS. Det vil også bli utført glødetap på et utvalg prøver. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse.

2 Bakgrunn

I denne delen presenteres først det aktuelle prøveområdets geografi (avsnitt 2.1) med tilhørende geologi (avsnitt 2.2). I avsnitt 2.3 kommer en presentasjon av flomsletta, før fokuset rettes mot flomsedimentene. Avsnitt 2.4 omhandler definisjon, dannelse og bestanddeler av sedimentene, mens forurensninger knyttet til flomsedimenter utdypes i avsnitt 2.5. Kilder til forurensning, både generelle og lokale beskrives i avsnitt 2.6. Deretter vil det bli presentert bakgrunn for bruk av flomsedimenter som prøvemedium (avsnitt 2.7) og svakheter knyttet til dette (avsnitt 2.8). Det vil også gis innblikk i bruk av flomsedimenter internasjonalt i avsnitt 2.9, før det til slutt gis bakgrunn for prøvetaking av flomsedimenter i avsnitt 2.10.

2.1 Geografi

Gudbrandsdalslågen, også kjent som Lågen eller Laugen, er elva som renner gjennom Gudbrandsdalen i Oppland fra Lesjaskogvatnet i nord til Mjøsa i sør (se Figur 2.1.1). Nedover dalen tar Lågen opp vann fra en rekke sideelver, både fra Jotunheimen, Rondane og Dovre, og elva tar dermed opp en del smeltevann (Thornæs, 2009). De største sideelvene knyttet til Lågen er Jora, Ula, Frya, Tromsa og Mesna fra øst, og Otta, Sjoa, Vinstra og Gausa fra vest. I tillegg bidrar en rekke småelver og bekker til vassdraget. Otta-elva er elva med høyest vannføring (Kartverket, u.å.).



Figur 2.1.1: Kart over Gudbrandsdalslågen (Kart hentet fra Kartverket, u.å., redigert, http://www.norgeskart.no/?_ga=1.65414765.236683208.1428588798#5/378604/7226208/-land/+enkel)

Lågen har en lengde på 202 km og strekker seg gjennom Lesja, Dovre, Sel, Nord-Fron, Sør-Fron, Ringebu, Øyer og Lillehammer kommune (Kartverket, u.å.; Thornæs, 2009). Nedbørsfelt til Lågen er på 11 459 km² og står for tilnærmet 70 % av vannføringen til Mjøsa (Vassdragsforbundet for Mjøsa med tilløpselver, 2012).

Selve Gudbrandsdalen er formet av elver og isbreer, og breenes erosjon har gitt dalen en U-form, hvor dalbunnen er vid og liene bratte (Thornæs, 2011). Slettene i dalbunnen er mye brukt til jordbruk, samt til bebyggelse. Gjennom dalen går også den trafikkerte europaveien E6 og Dovrebanen.

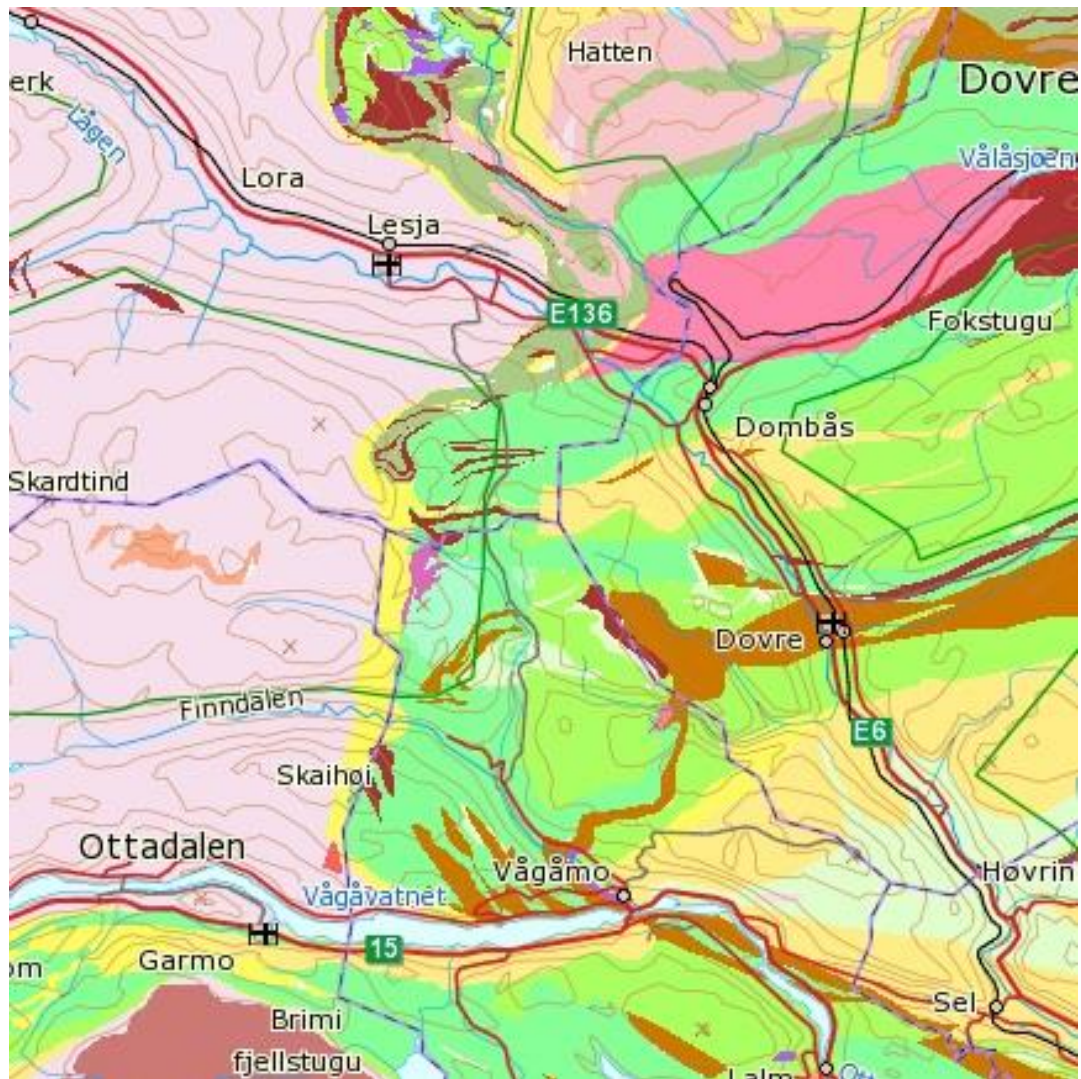
Flom kan defineres som fenomenet der vannføringen i en elv er høyere enn normalt, og at elven går over sine bredder som følge av dette (Tollan, 2015). Lågen opplever typisk to flommer per år, og begge skyldes i hovedsak snøsmelting. Den første flommen kommer fra fjellene i de nordlige og østlige delene av vassdraget, og flomtoppen nås som regel først i juni. Deretter følger en ny flom, som ofte blir kalt Ottaflommen. Navnet kommer av at det er elva Otta som bidrar med smeltevann fra vest. Denne flommen kommer ofte et par uker etter den første flommen på grunn av at snøen i Jotunheimen ligger lengre enn snøen som kommer fra andre deler av vassdraget, blant annet Dovre og Rondane (Norsk Skogmuseum & Norges vassdrags- og energidirektorat, u.å.).

2.2 Geologi

Lågen renner gjennom hele Gudbrandsdalen, og passerer samtidig mange ulike bergarter. Nedenfor gis det en presentasjon av disse. Hovedfokus er her lagt på prøveområdet fra Sel i nord til Fåberg i sør, men det gis også en presentasjon av bergartene som finnes nord og sør for prøveområdet. De vanligste bergartene innenfor området det ble samlet prøver fra utdypes mer detaljert.

2.2.1 Området fra Lesjaskogvatnet til Sel

I området fra Lågens utspring i Lesjaskogvatnet fram til det øverste prøvepunkt på Sel, finnes et vidt spekter av ulike bergarter. Området ved Lesjaskogvatnet domineres først av et stort område av diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Deretter følger områder av bergartene amfibolitt, glimmerskifer, fyllitt, metasandstein, glimmergneis, grønnstein, konglomerat og sedimentær breksje. Innimellom disse finnes også små områder med flere ulike bergarter. Disse er sandstein, granitt, øyegneis, foliert granitt, kvartselvoritt, tonalitt, trondhemitt og gabbro (Norges geologiske undersøkelse, u.å.) (se Figur 2.2.1).

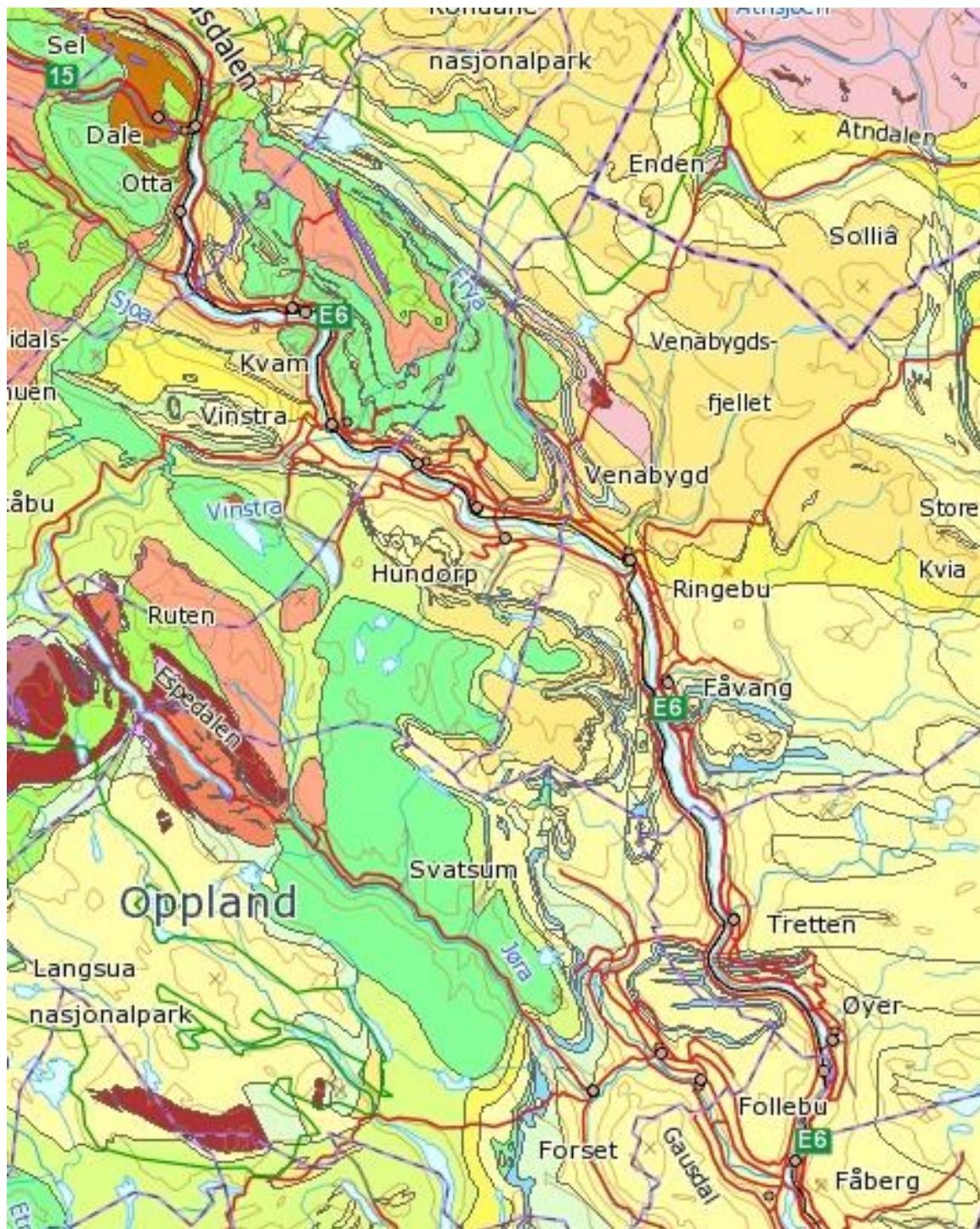


Figur 2.2.1: Kart over berggrunn fra Lesjaskogvatnet til Sel (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>)

2.2.2 Området fra Sel til Fåberg

Dette området ble benyttet som prøveområde i denne oppgaven. Ved Sel finnes bergarten sandstein, før det går over til et område med glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein og amfibolitt. I dette området finnes også et lite innslag av grønnstein med amfibolitt. Ved Otta går det over til et område med fyllitt og glimmerskifer, men med et lite område av amfibolitt, hornblendegneis, og glimmerskifer som stedvis er migmatittisk, samt et lite område med sandskifer og leirskifer. Etter dette kommer et større område av metasandstein som strekker seg nesten helt til Vinstra, med innslag av kalkstein, leirskifer og mergelstein. Mellom Kvam og Vinstra finnes et område med fyllitt og glimmerskifer. Rett før og fram til Vinstra dominerer kvartsitt. Deretter, og fram til Elstad sør for Ringebu er det sandstein som dominerer, men med et lite område av kvartsitt ved Frya som kan tenkes å bidra med sedimenter til elva, særlig under flom. Ved Elstad og nesten til Fåvang kommer så et område med metasandstein og

glimmerskifer, før sandstein igjen er hovedbergart. Ved Fåvang finnes områder med både kalkstein og dolomitt, samt konglomerat og sedimentær breksje. Sør for Fåvang og fram til Fåberg dominerer igjen sandstein, men med et lite område av konglomerat og sedimentærbreksje, kalkstein og dolomitt mellom Tretten og Øyer (Norges geologiske undersøkelse, u.å.) (se Figur 2.2.2).



Figur 2.2.2: Kart over berggrunn fra Sel til Fåberg (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>)

2.2.2.1 Sandstein og metasandstein

Sandstein dominerer i store deler av prøveområdet. Sandstein er en sedimentær bergart, det vil si at den er dannet ved herding eller sementering av løse sedimenter. Dette er en klastisk bergart og som dermed normalt har tydelige ulike lag som kan ha svært forskjellig tykkelse. Sandstein har fått navnet sitt etter størrelsen på klastene, det vil si sandkornstørrelsen som ligger mellom 0,06-2 mm. De fleste sandsteiner er bygget opp av kvarts, som er et silikatmineral bestående av silisium (Si) og oksygen (O). Ioner som ofte knytter seg til silikattetraedrene er ioner som kaliumion (K^+), natriumion (Na^{2+}) og kalsiumion (Ca^{2+}). Utenom kvarts, som kan utgjøre opptil 95 % av sandkornene, kan sandstein også bestå av for eksempel kalsitt, sideritt, hermatitt, limonitt, tungspat og gips. Kalsitt består av kalsiumkarbonat ($CaCO_3$), mens sideritt er jernkarbonat ($FeCO_3$), og hermatitt Fe_2O_3 . Limonitt er en blanding av jernhydroksider, tungspat består av bariumsulfat ($BaSO_4$) og gips har den kjemiske formelen $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Sandstein er hovedsakelig dannet av sandavsetninger i elvesystemer (Schou Jensen et al., 2006).

Prøveområdet inneholder også noen områder med metasandstein, som er omdannet sandstein (Sigmond, 2002). «Meta» kommer av at sandsteinen har undergått metamorfose, altså er dette en bergart dannet ved kjemisk og strukturell omdannelse av allerede eksisterende bergarter på grunn av en endring i trykk og/eller temperatur (Schou Jensen et al., 2006).

2.2.2.2 Glimmerskifer

Glimmerskifer er en metamorf bergart. Bergarten dannes ved omdanning av fyllitt, som også er en metamorf bergart. Glimmerskifer er ofte bygd opp av muskovitt- eller biotittmineraler. Muskovitt er også kjent som kråkesølv og har den kjemiske formelen $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OHF)_2$. Biotitt derimot er jern- og magnesiumholdig. Selv om glimmerskifer domineres av muskovitt eller biotitt, så inneholder den gjerne også kvarts- og/eller feltspatårer. Kvarts inneholder, som nevnt tidligere, silikater. Feltspat består enten av kalifeltspat ($KAlSi_3O_8$) eller plagioklas som på sin side er en blanding av albitt ($NaAlSi_3O_8$) i den ene enden og anoritt ($CaAl_2Si_2O_8$) i den andre. Granat forekommer også ofte, og er et jern-magnesiumholdig silikatmineral bygd opp av varierende grunnstoffer som jern (Fe), magnesium (Mg), mangan (Mn), aluminium (Al) og kalsium (Ca) (Schou Jensen et al., 2006).

2.2.2.3 Amfibolitt

Amfibolitt er en basisk, metamorf bergart med et innhold på omtrent 50 % silisiumdioksid (SiO_2) og er stort sett bygd opp av amfibol og plagioklas. Amfibolitt er normalt dannet fra de basiske bergartene gabbro og basalt. Disse består hovedsakelig av plagioklas og pyroksen, og inneholder også ca. 50 % SiO_2 . Plagioklas er bygd opp av en rekke mineraler med varierende forhold av natrium (Na) og Ca fra albitt ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) til anortitt ($\text{CaAlSi}_2\text{O}_8$). Pyroksen består av silisium-oksygentetraedere som gjerne knytter til seg ulike kationer, spesielt Fe og Mg. Amfibolitt har fått navnet sitt som følge av at pyroksen tilføres vann og danner amfiboler, som er en av hovedbestanddelene i bergarten (Schou Jensen et al., 2006).

2.2.2.4 Kvartsitt og fyllitt

Kvartsitt er en metamorf bergart dannet fra en sandsteinbergart. Den er nesten en ren kvartsbergart, men muskovitt kan også forekomme. En annen metamorf bergart som forekommer relativt ofte i området Sel-Fåberg, er fyllitt. Fyllitt er også kjent som leirglimmerskifer, og er hovedsakelig bygd opp av finkornede muskovittkorn. Fyllitt kan i noen tilfeller også være bygd opp av biotitt med kloritt, og av og til kvarts (Schou Jensen et al., 2006).

Tabell 2.2.1 viser en oppsummering av de mest dominerende bergartene i dette området.

Tabell 2.2.1: Oppsummering av dominerende bergarter i prøveområde

Bergart:	Hovedkomponenter (metall):	Dominerer ved lokalitet:
Sandstein/metasandstein	Si, K, Na, Ca, Fe, Ba, S	Sel, Otta - Vinstra, Vinstra - Elstad, Elstad - Fåvang, Fåvang - Fåberg
Glimmerskifer	Al, Si, K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe	Sel, Sel - Otta, Otta, Kvam - Vinstra, Elstad - Fåvang
Amfibolitt	Si, Al, Na, Ca, Fe, Mg	Sel - Otta
Kvartsitt	Som for sandstein/ metasandstein	Vinstra, Frya
Fyllitt	Al, Si, K	Sel - Otta, Otta, Kvam - Vinstra

2.2.3 Området fra Fåberg til Mjøsa

Dette området er ikke veldig stort, og her finnes kun sandstein (Norges geologiske undersøkelse, u.å.) (se Figur 2.2.3).



Figur 2.2.3: Kart over berggrunn fra Fåberg til Mjøsa (Berggrunnskart hentet fra Norges geologiske undersøkelse, u.å., <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>)

2.3 Flomsletta

Flomsletta kan defineres på mange måter. Den kan først og fremst defineres som en flat, lavtliggende overflate i direkte tilknytning til elva. Da Gudbrandsdalen har en del bebyggelse nærliggende Lågen, kan det også være hensiktsmessig å definere flomsletta ut i fra hvilken skade en flom kan gjøre i området. I dette tilfellet kan flomsletta sies å være det området som er dekket av vann under kraftig nedbør eller snøsmelt (Miller & Orbock Miller, 2007a). En tredje definisjon kan brukes i forbindelse med den naturlige sammensetningen til den underliggende berggrunnen. Her vil en flomslette beskrives som en stor, horisontaltliggende alluvial landform ved siden av en elvekanal, separert fra kanalen av elvebredden og bygd opp av sedimenter transportert av den foreliggende strømmen (Nanson & Croke, 1992).

Flomsletta kan dermed sies å være dannet av en kombinasjon av avsetning av sedimenter og erosjon av disse, i tillegg til erosjon av berggrunn og andre landmasser, sett sammen med elvas aktivitet. Erosjon vil avhenge av blant annet på styrken av elva, det vil si størrelsen på flommen, samt graden av vegetasjon (Miller & Orbock Miller, 2007a). Hvis graden av vegetasjon øker, vil dette beskytte mot erosjon og erosjonshastigheten vil avta. Dette kan sees i det skandinaviske landskapet hvor det generelt er lite erosjon, med lokale unntak. I tillegg vil andre faktorer kunne virke inn. Blant annet kan det finnes store mengder suspenderte sedimenter i elvevannet fra en aktiv, men begrenset lokal kilde som vil hindre erosjon lengre nedover i elva (Ottesen et al., 1989).

Menneskelig aktivitet, som endringer i landbruk, vil kunne ha en effekt på avsetningshastigheten. Avsetningshastigheten vil også avta med økende avstand fra elva. Dette kommer av at strømmen er sterkere og dypere i selve elvekanalen (Miller & Orbock Miller, 2007a). Klimaendringer, som følge av menneskelig påvirkning, kan gi mer nedbør, og dermed øke størrelsen og frekvensen på flommene. Samtidig kan den også gi økt hastighet i erosjon, transport og avsetning. Dette kan gi økt forurensningsinput i elvesystemet (Walling et al., 2003).

2.4 Hva er flomsedimenter?

2.4.1 Definisjon

Ordet sediment kommer av det latinske ordet *sedimentum*, som betyr avsetning eller opphoping. Sedimenter er derfor en samlebetegnelse på avsatte, løse og usammenkittede materialer, for eksempel sand, grus og leire. Disse sedimentene er dannet ved prosesser som forvitring, erosjon, transport og avsetning (Schou Jensen et al., 2006). Forvitring er nedbrytning av bergarter som følge av fysiske og kjemiske prosesser, mens erosjon defineres som fjerning og transport av de forvitrede produktene ved enten vind, vann eller is (Manahan, 2010). Flomsedimenter kan derfor defineres som løse materialer som har blitt avsatt under flom.

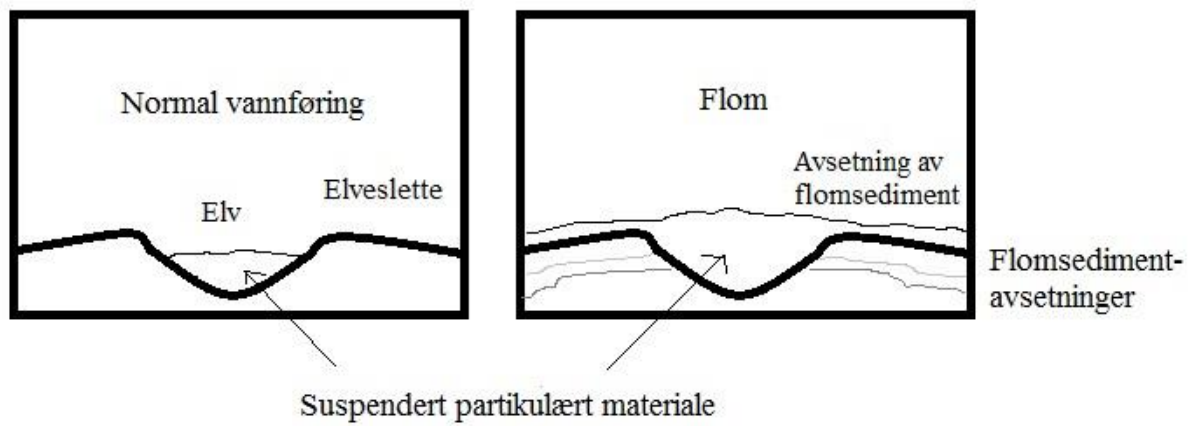
2.4.2 Sedimentdannelse

Rundt 66 % av Norge er fjell. De resterende 34 % er sletter og semi-fjellaktig terreng. Norske elver er veletablerte og har en ekstrem evne til å erodere. De tilgjengelige sedimentene er dermed begrenset av vegetasjon, og transport av disse er derfor generelt assosiert med flom (Demetriades & Volden, 1997).

Under forvitring frigjøres mineralbestander til vannsystemet, og de består ofte av grovkornede partikler (Rognerud et al., 2000). Den kjemiske og fysiske sammensetningen til sedimentene vil, som følge av forvitring av bergarter og mineraler, generelt reflektere den underliggende geologien, samt mekaniske og kjemiske prosesser involvert i forvitringen (Miller & Orbock Miller, 2007b).

Beregninger har vist at mellom 10-60 % av sedimentene som leveres til elva ikke når selve elveutløpet. Disse sedimentene er derfor nødt til å bli avsatt og lagret på flomsletta som flomsedimenter, eventuelt på elvebunnen. Sedimentene kan lagres på flomsletta i perioder opp til et årtusen, eller enda lengre (Miller & Orbock Miller, 2007a). Det som avgjør hvor mye av sedimentene som avsettes på flomsletta og lagres er utstrekningen til selve flomsletta og de hydrologiske og hydrauliske forholdene (Walling et al., 2003).

Flomsedimenter dannes under større flommer og nye sedimentkilder åpnes opp (Rognerud et al., 2000). Sedimentene blir avsatt på flomsletter langs elver med variabel vannføring, og partiklene i vannet fraktes nedover elva og avsettes (se Figur 2.4.1). Disse flomsedimentene vil som følge av de store vannmengdene dannes når et større antall sedimentkilder er aktive (Bogen & Ottesen, 2008; Bölviken et al., 1996). Spesielt vil flomsedimentene akkumuleres på flomsletta i siste del av flommen, altså i perioden hvor vannstanden begynner å synke (Bolviken et al., 2004). Over lengre tid så vil det dannes en rekke lag av finkornet materiale som akkumuleres på flomsletta. Hvert lag representerer en flom, og vil som regel være mellom noen millimeter til noen desimeter tykke. I Norge hvor avsetningshastigheten er generelt lav, er flomsedimentlagene dermed forventet å være kun noen centimeter tykke (Bölviken et al., 1996; Ottesen et al., 1989). Figur 2.4.2 viser hvordan disse lagene kan sees ute i felt. De ulike sedimentlagene kan være separert av et mørkere tynt, organisk lag av døde blader, planter og lignende som har grodd eller blitt avsatt mellom de ulike flommene.



Figur 2.4.1: Skisse av sedimentavsetning under flom (Skisse tegnet på bakgrunn av figur i Ottesen et.al. (1989))



Figur 2.4.2: Illustrasjon av ulike sedimentlag i profil, separert av tynne og mørkere organiske lag, vist med piler (Foto: Øyvind Mikkelsen)

De fleste elver viser en stor differanse i partikkeltyper (Miller & Orbock Miller, 2007b). Sedimentsammensetningen vil variere fra flom til flom som følge av flommens størrelse, utfellingsmønster, mulige forurensningskilder og sedimentkilder. Selve partikkelstørrelsen på avsatte flomsedimenter vil avta med økende avstand fra elvekanalen, og dette kan forklares med at større partikler er tyngre, og dermed synker og avsettes raskere (Miller & Orbock Miller, 2007a).

2.4.3 Bestanddeler

Flomsedimentene består hovedsakelig av mineralkorn og bergartfragmenter som stammer fra forvitring og erosjon i nedslagsfeltet. Disse partiklene kan utgjøre opptil 90-99 % av flomsedimentene. Fragmentene har normalt en radius på mindre enn 0,2 mm (Ottesen, Bogen, Bølviken, Volden, & Haugland, 2000).

I tillegg til mineraler og bergartsfragmenter kan flomsedimentene også inneholde litt organisk materiale. Det organiske materialet i sedimentene kan være plantefragmenter begravd i sedimentene enten under flommen, rester av planter som har vokst på flomslettene eller ha kommet til ved omrøring senere (Ottesen et al., 2000). Det kan også være ulike humusforbindelser som kan ha blitt transportert med porevannet (Rognerud et al., 2000). Humusforbindelser er definert som ikke-levende, delvis dekomponerte og visuelt udefinerbare forbindelser med stor variasjon i kjemisk sammensetning og struktur. Humusforbindelser kategoriseres etter deres molekylvekt, men også i noen grad deres kjemiske karaktertrekk (Miller & Orbock Miller, 2007b). Andelen organisk materiale i sedimentene kan være relevant da det er blitt vist en sammenheng mellom organisk materiale og tungmetallkonsentrasjon i sedimentene (Fjeld, Rognerud, & Steinnes, 1994).

De suspenderte sedimentene som flommen fører med seg er viktige for transport og sirkulering av næringsstoffer, i tillegg til forurensninger (Bradley, 1984; Walling et al., 2003). Hovedandelen av spormetallene, over 90 %, vil transporteres gjennom elvesystemet assosiert med suspenderte sedimenter. Denne transporten, avsettingen og redistribusjonen av sedimentbårne næringsstoffer er sterkt kontrollert av prosesser som påvirker selve sedimentene, slik som redistribusjon av sedimenter (Walling et al., 2003).

2.5 Flomsedimenter og forurensning

Forurensning i denne oppgaven defineres som endring i sedimentsammensetning sett opp mot den lokale geologien i området, hvor at denne endringen er et resultat av enten antropogen eller naturlig tilførsel, eller oppkonsentrasjon. Mulige kilder til antropogen forurensning utdypes i avsnitt 2.6.1.

Sammen med sedimentene vil også forurensninger, deriblant tungmetaller avsettes, og affiniteten til tungmetaller og mange andre forurensninger for det partikulære materialet vil til sist kunne resultere i lagring av potensielt giftige forbindelser ved elvekanten og flomsletta (Miller & Orbock Miller, 2007b). Tungmetaller akkumuleres raskt på bunnen av elva, og kan inneholde opptil tre ganger så høye konsentrasjoner enn det som finnes i overflatevannet. Samtidig vil en generell tendens være at små elver er mer utsatt for forurensning enn store (Bubb & Lester, 1991). Andelen forurensninger som avsettes vil være avhengig av flere faktorer, blant annet hvor nær forurensningskilden er og hvilken type forurensning det er snakk om. I tillegg vil for eksempel partikkelstørrelse og andel organisk materiale kunne virke inn på forholdet mellom sediment og forurensning. Videre vil størrelsen på flomsletta ha en påvirkning, samt mekanismen og hastigheten på dannelsen av denne. Elvesystemet vil også påvirke avsetningen, blant annet vil vannføringshastigheten, nedbørsmengde ha noe å si. Det kan som følge av dette være store forskjeller i sedimentbårne spormetallkonsentrasjoner nedover elva. Likevel vil normalt konsentrasjonen øke med økende dalvidde, det vil si med avtagende strømstyrke (Bradley, 1984; Miller & Orbock Miller, 2007a).

2.5.1 Fysiske prosesser og kjemiske reaksjoner

Tungmetallene i en avsetning kan være bundet til forskjellige forbindelser og ved ulike mekanismer. Adferden og skjebnen til metallforurensninger er påvirket av en rekke forskjellige fysiokjemiske prosesser og bestemmer tilgjengelighet og mobilitet til disse persistente og ikke-nedbrytbare forbindelsene (Bubb & Lester, 1991). Metallenes speciering angir i hvilken form et metall eksisterer i, for eksempel som komplekser eller som utfelte forbindelser (Stumm & Morgan, 1996). Metallene, avhengig av blant annet deres speciering, kan både være løst bundet og biotilgjengelige, eller sterkt bundet og ikke tilgjengelig for biologisk opptak. Det kreves derfor god kjennskap til kjemisk speciering av tungmetallene, som kanskje er den viktigste faktoren som kontrollerer giftighet og mekanisme for fjerning, for å kunne si noe om påvirkningen de ulike forurensningene har på mennesker og ulike økosystem. Spesielt er frie

metallioner sett på som de mest giftige speciene på grunn av høy mobilitet og stor sannsynlighet for akkumulering i biota (Bubb & Lester, 1991; Valerie Cappuyns, 2005; Driscoll, Otton, & Iverveldt, 1994; Miller & Orbock Miller, 2007b).

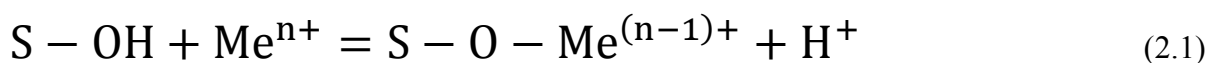
Det er spesielt tre prosesser som påvirker mobiliteten til metallene: utfelling, absorpsjon og adsorpsjon, som vil kunne redusere tilgjengeligheten til metallene. Fellesbetegnelsen for absorpsjon og adsorpsjon er kjent som sorpsjon (Miller & Orbock Miller, 2007b). Absorpsjon er prosessen hvor for eksempel metaller inkorporeres i et annet materiale, mens adsorpsjon er definert som akkumulering av stoffer på overflaten til et materiale (Manahan, 2010). Adsorpsjon utdypes i avsnitt 2.5.1.1. Reaksjoner som oppløsning og desorpsjon vil kunne ha motsatte effekter, altså gi økt tilgjengelighet (Driscoll et al., 1994). Desorpsjon er prosessen der et stoff frigjøres fra overflaten til et materiale, altså motsatt reaksjon av adsorpsjon (Erbil, 2006).

Adsorpsjon, kompleksering og utfelling er reaksjoner som typisk reduserer tilgjengeligheten til metallene, med andre ord de kan redusere giftigheten. Hvis konsentrasjonen av metallene i vannet overskrider et visst nivå, altså at vannet overmettes, vil det skje en rask økning i frie metallspecier som følge av oppløsning av komplekser (Bubb & Lester, 1991). Likevel vil den frie andelen av metallkonsentrasjonen under flom bli fortynnet som følge av de store vannmengdene, i tillegg til at de også avsettes raskt på sedimentene. Dette har blitt påvist blant annet for metaller som bly (Pb), kobber (Cu) og kadmium (Cd) som viser en tendens med lavest konsentrasjon på sedimentene rett etter flommens topp, men som øker ettersom sedimentkonsentrasjonen i vannet avtar (Bradley, 1984).

2.5.1.1 Adsorpsjon

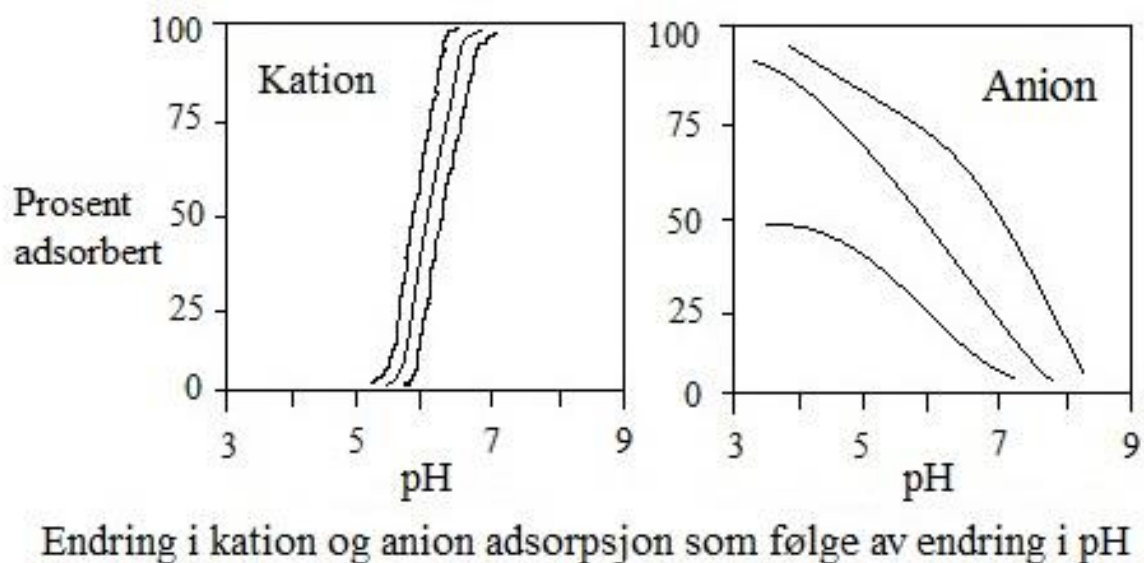
Adsorpsjon er, som nevnt, akkumulering av stoff på overflaten til et materiale. Reaksjonene som finner sted kan derfor også kalles overflatereaksjoner i skillet mellom fast fase og vannfasen. Affiniteten de oppløste stoffene, herunder metallene, har til overflaten av de uorganiske og organiske partiklene som avsettes regulerer residenstid, restkonsentrasjon og til sist skjebnen til de ulike metallene. Adsorpsjon er derfor avgjørende for distribusjon av metaller. Adsorpsjon påvirker også de elektrostatiske egenskapene til de suspenderte partiklene, og kolloidene, som igjen påvirker deres tendens til å aggregere og kobles sammen ved blant annet koagulering, og dermed avsettes (raskere). Adsorpsjon påvirker videre reaktiviteten til overflaten. Det har blitt vist at hastigheten på reaksjoner som utfelling og oppløsning av mineraler og katalyse og fotokatalyse av redoksprosesser er avhengige av egenskapene til overflaten (Stumm & Morgan, 1996).

De fleste naturlig forekommende faste partikler har på overflaten funksjonelle grupper som hydroxidgrupper ($-OH$), tiolgrupper ($-SH$) og karboksylgrupper ($-COOH$). Adsorpsjon av metallion (og proton (H^+)) kan tolkes som en konkurrerende kompleksdannelse, hvor sentralionet på overflaten, ofte et metall, oppfører seg som en Lewis syre og bytter for eksempel OH -gruppen mot andre ligander (Stumm & Morgan, 1996). Likning 2.1, hentet fra Stumm and Morgan (1996), viser en generell reaksjonslikning for binding av metallion på en partikkeloverflate. S står her for surface (= partikkeloverflate). Metallionene konkurrerer med H^+ om bindingssted. Metallionene vil binde bedre til overflaten ved høyere pH på grunn av at H^+ vil spaltes av for å kompensere for den økte pHen, og dermed danne en negativ overflate som metallionene kan bindes på.



Oksider av spesielt Si, Al og Fe, er vanlige komponenter i jordskorpa. Dette gjør at en stor andel av partiklene i vann, sedimenter og jord inneholder slike oksider og hydroksider. I nærvær av vann vil overflaten av disse oksidene generelt være dekket av hydroxylgrupper på overflaten, og betegnes vanligvis som $S - OH$ i reaksjonslikninger. Overflate-kompleksdannelse av kationer med vannholdige oksider involverer koordinasjon av metallion med oksygen som donatorom og frigjøring av protoner, slik som vist i likning 2.1 (Stumm & Morgan, 1996).

Binding av metaller ved overflateligander er sterkt pH-avhengig og Figur 2.5.1 illustrerer hvordan ulike kation og anion adsorberes som en funksjon av endring i pH. Adsorpsjon av anion er også avhengig av pH, og kalles ligandadsorpsjon. Hovedmekanismen er ligandutbytte, hvor hydroxylgruppen på overflaten byttes ut med en annen ligand. Mekanismen er konkurrerende, det vil si –OH og andre ligander konkurrerer for Lewis syren til sentralionet til det vannholdige oksidet. Siden adsorpsjonen av anion er kombinert med frigjøring av OH⁻ ion, er denne typen adsorpsjon favorisert ved lav pH (Stumm & Morgan, 1996).

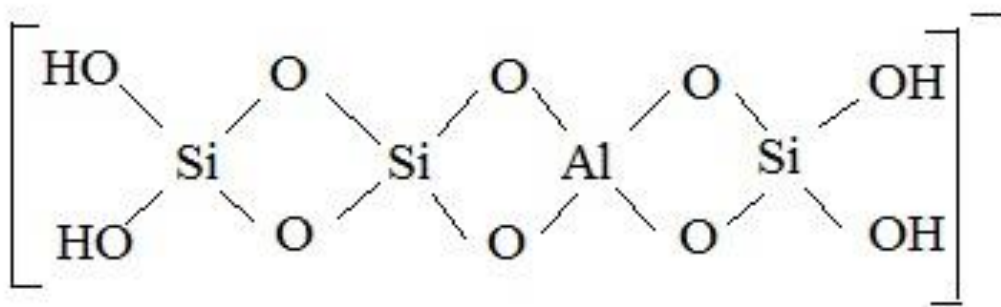


Figur 2.5.1: Illustrasjon av hvordan pH påvirker binding av kation og anion (Figur tegnet etter inspirasjon fra Miller & Orbock Miller, 2007b)

2.5.1.2 Partikkeloverflaten

Årsaken til forskjeller i elementkonsentrasjoner på ulike partikler kommer blant annet av forskjeller i reaksjoner som ligger til grunn. Samling, oppkonsentrering og binding av de ulike tungmetallene skjer på partikkeloverflaten. Denne overflaten er variabel, og derfor avgjørende for akkumulering av tungmetaller på ulike partikkeltyper. Overflatens ladning, og faktorer som pH, temperatur, redokspotensiale, oksidasjonstilstander, kompleksering og konsentrasjon har noe å si for løseligheten til partiklene (Valerie Cappuyns, 2005; Miller & Orbock Miller, 2007b).

Overflaten til partiklene kan utvikle elektrisk ladning. Ladningen kan komme fra kjemiske reaksjoner ved overflaten. Mange overflater inneholder ioniserbare funksjonelle grupper, slik som –OH, –COOH og –SH. Ladningen til disse partiklene er avhengige av grad av ionisering og dermed pH. De fleste oksider og hydroksider viser amfotær opptreden, hvor ladningen er pH-avhengig og positiv ved lav pH. Overflateladning kan også komme av uregelmessigheter i krystallstruktur eller isomorf erstatning i strukturen, som vist i Figur 2.5.2 (Stumm & Morgan, 1996). Figur 2.5.2 viser en overflatestruktur av SiO₂-tetraeder hvor et Si-atom er blitt erstattet av et Al-atom. Al har et elektron mindre enn Si, og overflaten får dermed en total negativ ladning. En overflateladning kan i tillegg oppnås ved adsorpsjon av en hydrofob specie. En slik adsorpsjon kan komme av hydrofob binding eller fra binding via hydrogenbånd eller London-van der Waals interaksjoner (Stumm & Morgan, 1996).



Figur 2.5.2: Illustrasjon på hvordan overflateladning kan komme av isomorf erstatning i krystallstrukturen (Figur er tegnet på bakgrunn av figur i Stumm & Morgan, 1996)

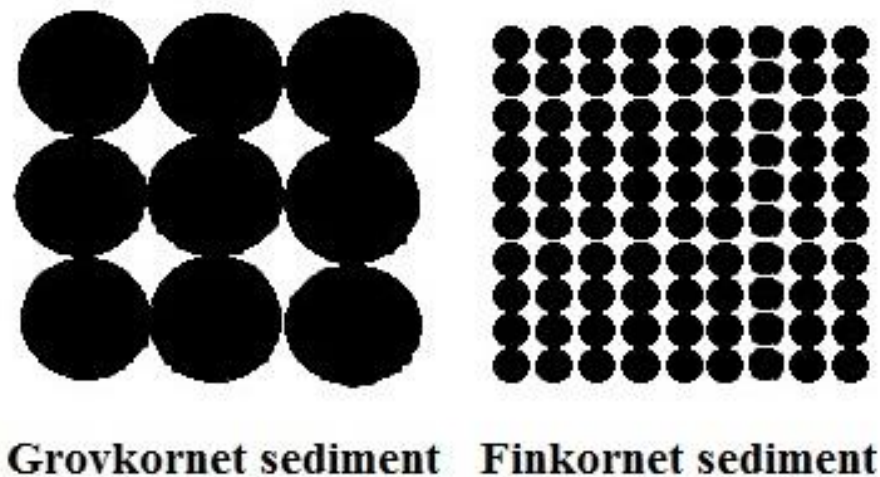
Det er på bakgrunn av dette derfor mange faktorer som påvirker metallers speciering og disse faktorene påvirkes av lokal berggrunn-, jord- og sedimentkarakteristikk som bufrer vannets pH og bestemmer naturlig innhold av organiske og uorganiske forbindelser. Biologisk aktivitet kan også påvirke vannkjemien (Bubb & Lester, 1991). Et eksempel på en slik faktor er økt syrenøytraliserende kapasitet, ANC, som generelt gir lavere tungmetallmobilitet. Et annet eksempel er kompleksformasjon med oppløst organisk karbon, DOC, som kan resultere i økt mobilitet til nikkel (Ni) og Cu (Valerie Cappuyns, 2005). Økt mengde kalsiumklorid gir på sin side økt mobilitet til spesielt Cd, men lavere mobilitet for arsen (As) (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004). Det finnes også faktorer som påvirker fastfase-speciering, blant annet direkte adsorpsjon på uorganiske partikler som leire, adsorpsjon eller desorpsjon på vannholdige Fe-

og Mn-hydroksider. Adsorpsjon og kompleksing med organiske partikler som bakterier, samt assosiering med humus- eller fulvosyrer, i tillegg til ioneutbytte med leirekolloider og utfelling er også eksempel på dette (Bubb & Lester, 1991).

2.5.2 Trender for forurensning av tungmetaller

Spormetallkonsentrasjonene vil normalt avta nedover elva. Konsentrasjonen vil med andre ord forventes å være høyest nær selve forurensningskilden, og deretter avta nedover elva som følge av avsetting. I tillegg kan faktorer som biologisk opptak og fortynning være med på å redusere konsentrasjonen nedover langs elva (Miller & Orbock Miller, 2007a). Alvorlig forurensning finnes som regel ikke lengre enn ti km fra forurensningskilden. Transporten av forurensninger langs vannkolonna til bunnen av elva eller flomsletta bestemmes av ulike hydrodynamiske faktorer som flux, retning, vanddybde og turbiditet. I tillegg vil partikkelstørrelse og andre fysiske faktorer, for eksempel tetthet ha noe å si. Biologiske prosesser kan også ha en effekt på forurensningstransporten (Bubb & Lester, 1991).

Det er vist en sammenheng mellom tungmetallkonsentrasjon og partikkelstørrelse: desto mindre partikler, jo høyere konsentrasjon (de Groot, Zschuppel, & Salomons, 1982; Miller & Orbock Miller, 2007a). Dette kommer av overflate-areal ratio, hvor reduksjon i areal resulterer i økt overflate, som vist i Figur 2.5.3. De finkornede partikler inneholder ofte også et høyere andel Al-silikater (Salomons & Förstner, 1984, i (Rognerud et al., 2000)). Til Al-silikatene er det også vist en positiv assosiasjon til elementene Co, Cr, Cu, Ni og sink (Zn). Spesielt kan Ni, Zn og Cu erstatte Al, eller de kan adsorberes på overflaten eller mellom lagene (Loring, 1976; Sparks, 1995, i (Rognerud et al., 2000)). Partikkelstørrelsen er avhengig av sedimentkilden, erosjonshastigheten og endrede hydrologiske forhold, og endringer i vegetasjonsdekke (Miller & Orbock Miller, 2007a). Tungmetallene og de andre forurensningene er dermed ikke homogent fordelt i elveavsetningene, siden sedimentkildene kan variere fra flom til flom og være ulike i ulike deler av elva (Miller & Orbock Miller, 2007b).



Figur 2.5.3: Skisse av forskjell i overflate-areal ratio mellom større og mindre partikler (Figur tegnet etter inspirasjon fra Miller & Orbock Miller, 2007b)

Økte metallkonsentrasjoner i de finere sedimentene kan altså komme av overflatearealet. Det kan være et resultat av større mengder reaktive forbindelser som organisk materiale eller Fe- og Mn-hydroksider i silt- og leirefraksjonene av sedimentene, som er finkornede sedimenter. En annen årsak kan være forskjeller i mineralogi. I motsetning til fine sedimenter, så vil partikler på størrelse med sand være dominert av ikke-reaktive mineraler som kvarts, feldspar og andre primærsilikater (Miller & Orbock Miller, 2007b).

Partikulært materiale av amorf oksider og hydroksider av Al, Fe og Mn kan bidra til utvasking av tungmetaller i akvatiske miljø, og spiller en viktig rolle mellom løs og partikulær fase i elva. Fe og Mn er spesielt viktige, men er i tillegg veldig sensitive for endringer i redokspotensiale. Generelt er også løsning-partikkelinteraksjoner ekstremt komplekse (Miller & Orbock Miller, 2007b). I tillegg er Mn- og Fe-oksyhydroksider ($-OOH$) kjent for å absorbere eller koutfelle metaller som kobolt (Co), Ni og As. Disse kan remobiliseres under endringer i pH eller redokspotensiale (Hudson-Edwards, Macklin, Curtis, & Vaughan, 1998).

Metallkonsentrasjonen vil kunne variere i et vertikalt utsnitt av flomsedimentene. Dette kan være et resultat av de tilgjengelige forurensnings- og sedimentkildene som bidrar til sedimentsammensetningen, som vil kunne påvirkes av størrelsen på flommen. Hyppigheten vil også kunne ha noe å si, det vil si hvor ofte flomsletta er dekket av vann og utsatt for forurensninger, i tillegg til at de avsatte sedimentene kan utsettes for omrøring (Miller & Orbock Miller, 2007a).

Dette avsnittet kan oppsummeres med at størrelsen, utstrekningen og de tidsmessige variasjonene på avsetningen og lagring av sediment-assosierte forurensninger på flomsletta er kontrollert både av forurensningsinnholdet i sedimentene og deres interaksjon. Dette reflekterer beliggenheten til kilden av både forurensningen og sedimentene. Videre vil også fordelingen av partikkelstørrelser i avsetningen og de lokale hydrologiske forholdene virke inn (Walling et al., 2003).

2.5.3 Spormetaller

Mange spormetaller er viktige elementer i biokjemien for både terrestriske og akvatiske økosystem, ved at de er næringsstoffer for planter og dyr. Organismer kan vise næringsmangel på enkelte spormetall ved lave konsentrasjoner eller lav tilgjengelighet (Driscoll et al., 1994). Alle metaller er dermed ikke nødvendigvis giftige. Elementer som krom (Cr), molybden (Mo), selen (Se), tinn (Sn), vanadium (V), Co, Cu, Fe, Mn, Ni og Zn er essensielle. Andre har ingen essensiell funksjon overhodet, og kan være svært giftige. Eksempler på disse er vismut (Bi), kvikksølv (Hg), titan (Ti), Cd og Pb (Bubb & Lester, 1991).

Menneskelige aktiviteter, som gruvedrift, bruk av fossile brensler og industri, har endret de biokjemiske syklusene til mange av disse spormetallene. I noen tilfeller har dette økt deres biotilgjengelighet. Også naturlige prosesser ved biota kan være med på å endre syklusen til metallene via opptak ved assimilering eller overflateadsorpsjon, og frigjøring ved mineralisering, metylering eller desorpsjon (Driscoll et al., 1994). Flere metaller kan undergå biometylering av bakterier og sopp. Vanligst er Hg, men også Pb, Cd, Sn og As (Bubb & Lester, 1991).

2.6 Forurensningskilder

Mengden forurensning transportert av elva vil variere over tid, og avhenge av faktorer som tilgjengelige forurensningskilder. Disse kan endres som følge av endring i produksjon, teknologi og reguleringer. Videre vil endring i elvekanelen, for eksempel som et resultat av menneskelig påvirkning, kunne øke eller redusere transporthastigheten av sedimentene og forurensningene. I tillegg vil en slik endring kunne gi tilgang til nye kilder eller eldre kilder kan lukkes. Dette kan påvirke distribusjonen av tungmetallene (Bogen & Ottesen, 2008; Miller & Orbock Miller, 2007a).

Geokjemiens bidrag til tungmetaller i vannsystemer vil overgå i de fleste tilfeller av menneskelig påvirkning fra ulike kilder, for eksempel ulik industrivirksomhet. Urban avrenning fra veier i form av eksos, dekkslitasje, veisalt, maling og støv kan stå for opptil 40-70 % av metallinputen til elvene. 50-70 % av dette vil komme fra atmosfærisk avsetning av metaller i støvpartikler (Bubb & Lester, 1991).

Elvene i lavlandet, blant annet i daler, benyttes ofte både som en transportrute for behandlet avløps- og industrivann og som kilde til vanning og drikkevann. Avløpsvannet kan inneholde relativt høye konsentrasjoner av tungmetaller, spesielt Al, Cu, Fe, Pb og Zn som brukes i mange husholdningsprodukt (Bubb & Lester, 1991).

Kildene til forurensningen trenger ikke finnes direkte i tilknytning til elva. Små elver og elver dannet som følge av mye nedbør eller snøsmelt kan frakte med seg mange typer forurensning fra områder lengre unna. I tillegg kan forurensningene være et resultat av atmosfærisk avsetning, som er en viktig rute for influx av spormetaller i økosystem (Bogen & Ottesen, 2008; Miller & Orbock Miller, 2007a). Atmosfærisk avsetning er blitt rapportert å være en viktig komponent for total økosyseminput for spormetaller som Cd, Cu, Pb og Zn. For andre elementer, for eksempel Al, Fe og Mn, kan atmosfæren være en dårligere bidragsyter sammenlignet med prosesser som forvitring, mineralisering og desorpsjon (Driscoll et al., 1994).

Selv om flomsletta i mange tilfeller fungerer som et lager for forurensninger, og dermed reduserer mengden av tungmetaller som transporteres nedover elva, er det likevel en mulighet for at disse forurensningene kan remobiliseres (Bogen & Ottesen, 2008; Miller & Orbock Miller, 2007a). Elva sørger for redistribusjon av sedimenter og andre løsmasser som følge av

erosjon. Dermed kan flomsletta også være en kilde til forurensning (Bogen & Ottesen, 2008; Miller & Orbock Miller, 2007a; Walling et al., 2003). Lekking av elementer kan påvirke overflatevannet og grunnvannet (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004).

Eventuelle kilder til forurensning kan både være av naturlig opphav i form av forvittrings- og erosjonsprosesser, men også fra menneskelige bidrag. I mange tilfeller vil likevel det menneskelige bidraget til tungmetallkonsentrasjonen være lik eller større enn det naturlige bidraget (de Groot et al., 1982).

2.6.1 Forurensningskilder i Gudbrandsdalen

I tillegg til generelle kilder, som atmosfærisk avsetning og bidrag fra berggrunn, finnes også noen lokale kilder som kan være enda større bidragsytere. I hvert fall i korte perioder, for eksempel under flom.

2.6.1.1 Landbruk

Flomslettene i Gudbrandsdalen er mye brukt til jordbruk, mye på grunn av at flom ofte bringer med seg næringsrike sedimenter som gjør jorda spesielt dyrkbar (Spink, Sparks, Van Oorschot, & Verhoeven, 1998). Figur 2.6.1 viser et eksempel på dette ved Ringebru. Selv om sedimentene ofte er næringsrike vil gjødsel ofte benyttes i disse områdene, og dette kan tilføre metaller som kan akkumuleres på flomsletta. Under flom kan også eventuelle metaller som stammer fra gjødselen vaskes ut og fraktes nedover elva og deretter avsettes. Uorganisk (industrielt produsert) gjødsel inneholder først og fremst makronæringsstoffer som nitrogen (N), fosfor (P) og kalium (K), men også andre næringsstoffer som svovel (S), Ca og Mg. Enkelte gjødseltyper er også tilsatt ulike mikronæringsstoffer, blant annet bor (B), Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni og Zn. Siden dette er mikronæringsstoffer, så er det mengden av disse til stede som avgjør om de kan sees på som giftige. I tillegg til næringsstoffene inneholder gjødsel også som regel litt tungmetaller, som uran (U), As, Cd, Pb, og Hg (Alloway, 2013). Gjødsel kan derfor være en kilde til en rekke ulike metaller.

Innen landbruk benyttes også en del sprøytemidler, eller plantevernmidler, for blant annet å hindre eller fjerne ugress, eller for å bekjempe insekt, virus og sopp. De kjemiske sprøytemidlene kan inneholde flere metaller, og kan dermed være en signifikant kilde til ulike metaller i flomsedimenter benyttet spesielt til landbruk. Omsetting og bruk av disse

sprøytemidlene er regulert etter Lov om matproduksjon og mattrygghet av 2003. I Norge benyttes ingen sprøytemidler som det er bevist kan føre til langsiktige forurensninger (Hofsvang, 2009). Eksempler på metaller som kan finnes i sprøytemidlene er Cu, Zn, Fe, Mn og As (He, Yang, & Stoffella, 2005).



Figur 2.6.1: Utsikt over Gudbrandsdalen og Gudbrandsdalslågen. Bildet er tatt ved Ringebru, i retning sør og viser bruk av flomsletter til jordbruk (Foto: privat)

2.6.1.2 Vei

Europavei 6 er hovedveien som går gjennom hele Gudbrandsdalen, og er på flere steder ofte dekket av vann under flom. Eksos, slitasje av vei, bildekk og bremseser kan være kilder til en rekke typer metaller, blant annet Pb, Cu, Zn, Ni og Cr (Duong & Lee, 2011; Thorpe & Harrison, 2008; Åstebøl, Hvitved-Jacobsen, & Kjølholt, 2011). I tillegg vil også bruk og slitasje av piggdekk bidra med metaller som antimon (Sb), wolfram (W) og Mo. Piggdekk vil samtidig bidra til økt slitasje på veidekket (Åstebøl et al., 2011). Metallene kan enten transporteres med vannet under flom eller være et resultat av atmosfærisk transport og avsetning.

2.6.1.3 Renseanlegg

Det finnes flere renseanlegg i Gudbrandsdalen som har utslipp til Lågen, blant annet på Sel, Kvam, Frya, Ringebu, Fåvang og Tretten (Norske utslipp, u.å.). Avløpsvannet kan, som nevnt tidligere, inneholde metaller som Al, Cu, Fe, Pb og Zn fra ulike husholdningsprodukt (Bubb & Lester, 1991).

2.7 Flomsedimenter som prøvemedium

Tidligere har det blitt benyttet aktive sedimenter fra bunnen av små elver i geokjemisk kartlegging. Det har blitt antatt at sammensetningen av de aktive sedimentene i elva representerer geokjemien til nedslagsfeltet over det valgte prøvepunktet. Det har vist seg at dette ikke alltid stemmer, og fokuset ble rettet mot flomsedimenter (Ottesen et al., 1989). Flomsedimenter er foreslått til å være et bedre prøvemedium siden partiklene transporteres og mikses under flom, og dermed blir sedimentene representative for hele geokjemien og nedslagsfeltet til området over prøvepunktet (Demetriades & Volden, 1997; Ottesen et al., 1989; Swennen & Van Der Sluys, 1998).

Svakheten med elvedimenter er at disse sedimentene ofte kommer fra et begrenset antall kilder og de kan endres over tid (Bogen & Ottesen, 2008; Bölviken et al., 1996; Demetriades & Volden, 1997). De er i tillegg mer utsatt for erosjonsprosesser som finner sted i elva (Swennen & Van Der Sluys, 1998). Elvedimentene kan derfor i noen tilfeller ikke kunne representere den naturlige distribusjonen. Disse sedimentene er også sensitive for tungmetallforurensning som et resultat av menneskelig aktivitet (Bölviken et al., 1996). Prosessene som produserer flomsedimentene er episodiske, i tillegg til at flere sedimentkilder er aktive, for eksempel i form av økt antall jordskred som følge av nedbør, i motsetning til tilfellet med aktive elvedimenter som normalt er av begrenset opphav (Bogen, Boelviken, & Ottesen, 1992).

Et annet alternativ til flomsedimenter er innsjøsedimenter. En stor ulempe med denne typen prøver er at det forutsetter en viss tetthet av passende innsjøer. Videre kan ikke selve sedimentene inspiseres visuelt før prøvetaking. Det kan også være stor variasjon i avsetningshastighet av sedimentene, selv over korte avstander. Sedimentsammensetningen vil også kunne variere i selve innsjøen, hvis den for eksempel har flere elvetilløp som bringer med seg ulike typer sedimenter. I tillegg vil sammensetningen kunne påvirkes av organisk materiale og oksider, noe som kan gjøre databehandlingen vanskeligere (Ottesen et al., 1989).

Flomsedimenter er et viktig prøvemedium for kartkonstruksjon av geokjemiske elementer i større regioner. Geokjemisk kartlegging inkluderer systematisk prøvetaking av naturlig materiale, slik som sedimenter, kjemisk analyse av disse og framstilling av kart (Bolviken et al., 2004). Flomsedimenter kan benyttes til å bestemme naturlige bakgrunnskonsentrasjoner som representerer hele området oppover elva ved å ta dyptliggende prøver. Dette er fordi eldre sedimentavsetninger ofte er bevart under nyere avsetninger (Bogen & Ottesen, 2008; Bølviken et al., 1996). Prøvene kan brukes på vannbasseng som varierer i størrelse fra et par til flere tusen km². I tillegg kan de brukes til å detektere forurensninger og endringer i mengde forurensninger over tid, det vil si forurensningshistorien. Dette kan gjøres ved å ta overflateprøver eller et vertikalt utsnitt, en profil, av sedimentene (Bølviken et al., 1996; Eden & Bjorklund, 1996). Det er mulig å rekonstruere forurensningshistorien til tungmetallene i den vertikale profilen ved å benytte isotopdatering ved bruk av ¹⁴C, ²¹⁰Pb eller ¹³⁷Cs, eller ved pollenanalyser, analyse av kart og gjenstander (Ciszewski, 2003).

De naturlige bakgrunnskonsentrasjonene i miljøet vil variere både regionalt og lokalt. Den naturlige fordelingen av metaller burde derfor være inkludert i vurderingen av de mengdene metallforurensning som finnes i ulike økosystem. Geologiske kart gir liten informasjon om mengden og distribusjonen av tungmetallene (Rognerud et al., 2000).

Vertikale trender i kjemisk sammensetning kan ha to mulige opphav. Den første er variasjon i sammensetning av det originale kildematerialet, det vil si endring av sedimentkildene. I tillegg kan endringen være et resultat av sekundær migrasjon av forbindelser etter avsetning. Sekundær migrasjon er avhengig av faktorer som pH, klima, redoks-forhold, mengde og type organisk materiale, biologisk aktivitet og tid (Bogen & Ottesen, 2008). Dette fenomenet utdypes i avsnitt 2.8.

Det er generelt tre hovedtrender i det vertikale distribusjonsmønsteret i flomsedimentene. Den første trenden viser enten lav eller høy konsentrasjon gjennom hele profilen, og er en indikasjon på at det ikke har vært noen stor grad av menneskelig påvirkning. En annen mulighet er at profilen ikke viser noen variasjoner i partikkelstørrelse eller litologi, men en gradvis økning i tungmetallkonsentrasjon mot toppen av profilen. I dette tilfellet vil de økende konsentrasjonene mest sannsynligvis komme av luftbåren forurensning. En tredje mulighet er en brå endring i tungmetallkonsentrasjon ved en viss dybde og en tilsvarende endring i litologi. Det kan her

antas at endringene kommer av en forurensningskilde langs elva. De to sistnevnte trendene er en effekt av menneskelig påvirkning (Bogen & Ottesen, 2008). En endring i tungmetallkonsentrasjon i den vertikale profilen vil reflektere endringer i elveforurensning i perioden sedimentene ble avsatt (Ciszewski, 2003). Endringer i geokjemi og mineralogi som skjer nedover i en profil er et resultat av en kombinasjon av primære og sekundære prosesser, hvor de primære består av selve avsetningen av sedimentene, mens de sekundære involverer remobilisering av metaller (Hudson-Edwards et al., 1998). Det har blitt estimert at de øverste 15 cm av flomsedimentprofilen kan brukes til å vurdere luftbåren og elvebåren forurensning (Macklin, Ridgway, Passmore, & Rumsby, 1994).

Flomsedimenter brukes til å estimere grad av forurensning ved å sammenligne overliggende lag med dyptliggende lag. De kan dermed også brukes til overvåkning (de Groot et al., 1982; Eden & Bjorklund, 1996). Flomsedimentene kan også si noe om naturlige reparasjonshastigheter etter at det har blitt foretatt opprydning eller det har vært en form for forurensning. I tillegg kan de si noe om forurensningskildene og endringer av disse over tid. De kan også muligens si noe om sedimentbårne spormetallers remobilisering over tid (Miller & Orbock Miller, 2007a).

Selv om flomsletta og den nærliggende elvebredden er dannet av den samme elva, viser det seg at flomsedimentene har store variasjoner i spormetallkonsentrasjoner. Dette kan forklares ved at flomsletta består av sedimenter med store forskjeller i partikkelstørrelse og har en sammensetning som vil variere over korte avstander. I tillegg har flomsedimentene lengre residensetid, det vil si tiden de lagres på flomsletta, og vil dermed også ha større spenn i avsetningsalder enn elvesedimentene. Flomsedimenter er også mindre utsatt for omrøring mellom ulike flommer i forhold til elvesedimentene (Miller & Orbock Miller, 2007a). Det kan være hensiktsmessig å separere ulike partikkelstørrelser i en flomsedimentprøve før analyse da flomsedimentene varierer i partikkelstørrelse og det er vist en sammenheng mellom partikkelstørrelse og tungmetallkonsentrasjon (de Groot et al., 1982).

Flomsedimentene er lette å samle og analysere, og de kan representere store nedslagsfelt. Prøvene kan også tas med lav tetthet, med fortsatt representative og gode resultater. Det er blitt estimert at et prøvepunkt per 500 km² er tilstrekkelig for et nedbørsfelt med en størrelse på mellom 60-600 km². Dette er derfor også en kostnadseffektiv metode (Bogen et al., 1992; Bølviken et al., 1993). Best representativitet fås ved gruppering av flere flommer sammen, det

vil si hvis prøvene er store, flere desimeter tykke. Dette er fordi sedimentkildene ofte er ujevnt fordelt gjennom nedslagsfeltet, og bidraget fra hver kilde og deres beliggenhet kan endres over tid (Bölviken et al., 1996; Swennen & Van Der Sluys, 1998).

Kort oppsummert kan flomsedimenter brukes til geokjemisk kartlegging til miljøforskning, utforskning av mineralressurser, geomedisin, landbruk og arealplanlegging (Bölviken et al., 2004).

2.8 Svakheter ved flomsedimenter som prøvemedium

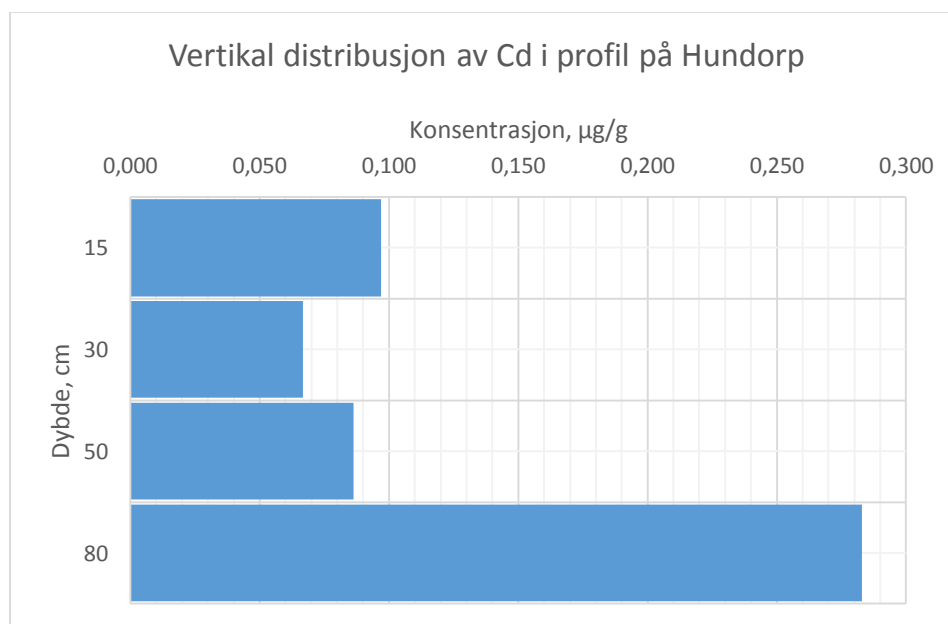
Flomsedimenter har en del fordeler som prøvemedium, men også flere svakheter. For det første vil det i noen elvesystem være en mulighet for at de eldre sedimentlagene kan omrøres og redistribueres ved spesielt større flommer (Bölviken et al., 1996). Spesielt langs elver med ustabile elvebredder hvor elva kan blande sedimentene, kan det være vanskelig å finne den naturlige bakgrunnen (Rognerud et al., 2000). Valg av prøvepunkt er derfor viktig, og prøvepunkt vil avhenge av hvilken type elvesystem vi snakker om (Bogen et al., 1992).

En annen svakhet er at ved prøvetaking må prøvene tas fra stor dybde for å finne bakgrunnsnivåer. I tillegg er viktig at de tas over grunnvannsnivå. Dette for å unngå mulig menneskelig forurensning (Ottesen et al., 1989). Det kan også hende at før-industrielle flomsedimenter, altså sedimenter som representerer bakgrunnsnivå, kan være påvirket av porevann og organisk materiale som blir begravd ved flom (Rognerud et al., 2000). De naturlige geokjemiske mønstrene kan bare registreres ved sedimenter som stammer fra tider før mennesker begynte å påvirke. Avskoging og andre jordbruksaktiviteter kan også virke inn. For eksempel kan akselerert jorderosjon som et resultat av at land har blitt gjort tilgjengelig for jordbruksvirksomhet ha endret geokjemien til materialene som fraktes til elva og flomslettene, uten at sedimentene viser noen form for forurensning (Macklin et al., 1994).

Prøvetaking av flomsedimenter blir ofte foretatt med lav prøvetetthet, men det vil alltid være vanskelig å si med sikkerhet om resultatet er representativt for hele nedslagsfeltet. Det er altså stor usikkerhet i hva som er tilstrekkelig antall prøver for å få representative resultater for hele området (Bölviken et al., 2004). I mange tilfeller vil nok dette antallet være individuelt for hvert prøveområde. Den lave prøvetettheten krever i tillegg høy datakvalitet (Bölviken et al., 1996).

Et viktig punkt ved analyse av flomsedimenter er at elementer med lave konsentrasjoner viser i mange tilfeller å ha dårlig reproduserbarhet. Avvik i disse dataene stammer mest sannsynligvis fra analytiske begrensninger (Bölviken et al., 1996).

I noen tilfeller er det registrert at enkelte element, blant annet Cd og As som er relativt mobile elementer, viser vertikal migrasjon nedover i en profil (Swennen & Van Der Sluys, 1998). Et eksempel på hvordan en slik vertikal migrasjon kan se ut vises i Figur 2.8.1. Figuren viser mulig vertikal migrasjon av Cd i profilen fra Hundorp. Profilen vil bli diskutert nærmere i avsnitt 5.1.2. Dette er spesielt tydelig i områder med lite CaCO_3 , det vil si i områder med lav bufferkapasitet og som er sterkt påvirket av sur nedbør. Dette er ikke sett på som et stort problem i geokjemisk kartlegging (Bogen & Ottesen, 2008; Bolviken et al., 2004). Det eksisterer få konkrete resultater som støtter signifikant migrasjon i profilen, spesielt virker det som at det er liten sannsynlighet for migrasjon av elementer som Zn, Pb og Cu. Likevel vil vertikal migrering av enkelte elementer kunne forstyrre den originale konsentrasjonen i de underliggende lagene (Swennen & Van Der Sluys, 1998). Høye konsentrasjoner av Zn midtveis ned i en profil kan være et resultat av etter-avsetningsakkumulering av migrerende Zn-komplekser inne i Fe- eller Mn-oksyhdroksider, eller utfelling av Zn fra grunnvann, ikke primær Zn-akkumulering (Hudson-Edwards et al., 1998).



Figur 2.8.1: Illustrasjon av hvordan vertikal migrasjon i en profil kan oppdages (Figuren er basert på resultater fra prøvepunktet Hundorp i denne oppgaven)

Sekundær mobilisering av tungmetaller i flomsedimenter kan påvirke det geokjemiske registeret og virke negativt på rekonstruksjonen av forurensningshistorien og bestemmelsen av bakgrunnsverdiene. De sekundære prosessene involverer kompleksering av metaller med løste organiske og uorganiske ligander, modifisering av overflateegenskaper hos adsorbative partikler og dannelse og oppløsning av metallutfellinger. Denne kjemiske remobiliseringen som kan endre mobiliteten til tungmetallene er hovedsakelig avhengig av endringer i parametere som pH, redokspotensiale, surgjøring av jorda, gjennomtrengende regnvann og liknende (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004). Selve fenomenet kjemisk remobilisering av metaller i flomsedimenter har lenge vært kjent, men kun noen studier har dokumentert bevis på dette. Det er overraskende siden det har blitt vist at metaller lekker sakte i jord (Hudson-Edwards et al., 1998).

2.9 Bruk av flomsedimenter internasjonalt

Etter at Ottesen et al. (1989) introduserte ideen om å bruke flomsedimenter som prøvemedium, er flomsedimenter nå blitt mye brukt internasjonalt til ulike geologiske undersøkelser.

Macklin et al. (1994) benyttet flomsedimenter for geokjemisk kartlegging av engelske og waliske flomsletter til å vurdere grad av forurensning i ulike elvesystem, med hovedfokus på metallene Pb og Zn. Studien viste at flomsedimentene kunne brukes til å undersøke påvirkningen av menneskelig aktivitet, og det ble observert en klar endring i metallkonsentrasjon over tid som følge av gruvedrift og mineralprosessering. Likevel viste studien også at det eksisterer flere problem ved bruk av flomsediment som prøvemedium, da det ble funnet indikasjoner på at sedimentlag dannet før den industrielle revolusjonen ikke nødvendigvis representerer den naturlige geokjemien i området, selv om de ikke viste noen form for tungmetallforurensning. Årsaken til den endrede geokjemien var heller et resultat av økt erosjon som følge av avskoging og rydding av land til bruk av beite og dyrking av avlinger.

I et gammelt gruveområde i Spania med store Pb-Zn-årer kartla Gonzalez-Fernandez, Jurado-Roldan, and Queralt (2011) flomsedimenter og elvesedimenter for forurensning. Studien viste tydelig forurensning som et resultat av gruvedriften, men også forskjell i konsentrasjoner mellom flom- og elvesedimentene. Studien demonstrerte også at flomsedimenter kan være et lager for en rekke tungmetaller, men at de i tillegg er en viktig kilde. En tilsvarende studie i et område tidligere karakterisert av gruvedrift av Pb-Zn-årer er gjort i Belgia av V. Cappuyns,

Swennen, Vandamme, and Niclaes (2006). Mye av den samme trenden ble vist, nemlig at de vertikale distribusjonsmønstrene til Zn og Pb er et resultat av gruvedriften og at sedimentene kan være en kilde til forurensning.

Flomsedimenter har også blitt brukt som prøvemedium i Belgia og Luxembourg, hvor distribusjonsmønstrene til Zn, Pb, Cu og As i flom- og elvedimenter ble kartlagt av Swennen and Van Der Sluys (1998). Resultatene viste generelt økning i konsentrasjon av tungmetaller og As oppover i profilen som et resultat av menneskelig påvirkning. Elvedimenterne viste relativt like konsentrasjoner som øverste del av flomsedimentprofilen. Noen av prøvepunktene viste også unormale verdier. Årsaken til dette ble konkludert med å være enten et resultat av migrasjon av forurensning nedover i profilen eller at dette rett og slett er et karaktertrekk til de før-industrielle eller urørte sedimentkildene.

Ridgway et al. (1995) studerte flomsedimenter i sentral-Mexico for geokjemisk kartlegging og vurdering av forurensning som resultat av gruvedrift. Konklusjonen var at geokjemisk kartlegging av naturlige bakgrunnsnivå ved bruk av flomsedimenter i dette området er vanskelig på grunn av høy avsetningshastighet av sedimenter, og at det kan være nødvendig å bore for å komme dypt nok. Videre ble det også funnet forskjeller i konsentrasjoner i profiler som lå relativt nær hverandre, og at kun én profil dermed ikke er representativ. Forfatterne observerte likevel en endring i kjemisk sammensetning i profilene, og denne var mest tydelig i områdene som har vært benyttet til gruvedrift, men at nivåene ikke viser det fulle bidraget fra gruvedriften. Forfatterne har i tillegg gjort den antagelsen at migrasjon av metaller ikke er signifikant fordi mobile elementer som Cu, Zn og As viser samme trend som immobile (Pb, Cr og Sn). Avslutningsvis konkluderes det også med at elvedimenter er et bedre prøvemedium i denne studien, samtidig som at flomsedimenter kan være et nyttig hjelpemiddel, men at dette krever gode kunnskaper om elvas historie og dannelse, samt nøyaktig datering.

2.10 Prøvetaking av flomsediment

Standardene ISO 10381-2 og ISO 10381-5 forteller hva det bør tas hensyn til ved prøvetaking. Standardene er skrevet med utgangspunkt i jordprøver, men det er likevel naturlig å benytte disse standardene i denne oppgaven.

I ISO 10381-2 står det at prøvene som tas bør være så representative for området som mulig (Standard Norge, 2002). Dette støttes også av Bogen et al. (1992) om valg av prøvepunkt ved bruk av flomsedimenter er viktig for å kunne få resultater som er representative for hele nedslagsfeltet. I standarden ISO 10381-5 står det at det må gjøres en vurdering av hvilken dybde prøvene skal tas fra og hvilken type prøver som skal hentes, avhengig av formålet med undersøkelsen. Det må også gjøres en vurdering på hvor stor avstand det skal være mellom hvert prøvepunkt. Generelt vil et større areal på prøveområdet bety flere prøver. Bestemmelse av prøvepunktene kan være planlagt på forhånd eller tas i felt ut i fra en skjønnsbasert vurdering. Normalt utføres en kombinasjon av de to (Standard Norge, 2006).

Ved geokjemiske undersøkelser og bestemmelse av bakgrunnsnivåer er det viktig at det tas prøver som er ikke utsatt for noen form for menneskelig påvirkning (Standard Norge, 2002). Dette er tidligere utdypet i avsnitt 2.7. For å finne disse bakgrunnsnivåene er det viktig at prøvene tas dypt nok (Macklin et al., 1994; Ottesen et al., 1989). Hvis målet er å estimere grad av forurensning, så bør det, som også nevnt i avsnitt 2.7, tas store prøver slik at flere flommer grupperes sammen og disse dermed blir sett under ett (Bölviken et al., 1996; Swennen & Van Der Sluys, 1998).

Hvis distribusjon og konsentrasjon av elementer eller forbindelser i et område er av interesse, benyttes normalt det som kalles punktprøver. Prøvene bør være store nok til å kunne kjøre alle ønskelige analyser, eventuelt to ganger, samt være representative. Prøvene kan heller ikke være for store slik at en spesiell karakteristikk overses (Standard Norge, 2002, 2006).

Ved prøvetaking av ulike lag bør enkeltprøvene hentes fra avgrenset dybdesjikt slik at eventuell forurensning og forurensningskilder kan isoleres. Best representativitet vil i mange tilfeller fås ved å ta prøver av de ulike lagene i en profil. Det bør spesielt ta prøver fra lag som er forventet å være forurenset (Standard Norge, 2006).

Ettersom prøvene tas så bør de merkes tydelig og med et unikt navn eller nummer for å unngå blanding av prøvene (Standard Norge, 2002). Etter at prøvene er tatt, bør de oppbevares på en slik måte at de ikke kontamineres, sammensetningen endres og tap unngås før analyse (de Groot et al., 1982; Standard Norge, 2002).

Eventuell kontaminering kan komme fra flere steder i prosessen, både fra prøveinnsamling, prøvebeholdere, lagring, prosessering, sentrifugering, reaksjoner under analyse, eller også selve analysen (Driscoll et al., 1994). Utstyret må derfor være rent og av kjent/kontrollert kjemisk kvalitet og sammensetning. Normalt benyttes beholdere av inert polyetylen. Prøvene bør så forsegles slik at tap av fuktighet og flyktige stoffer unngås. Beholderne bør også inneholde minimalt med luft. Deretter bør prøvene oppbevares kaldt (<5°C) (Standard Norge, 2002).

Det er hovedsakelig to typer kjemisk endring som kan skje i geokjemiske prøver lagret utenfor deres naturlige miljø. Den første er oksidasjon og andre kjemiske reaksjoner som følge av luft eller kjemiske og/eller biologiske stoffer i prøven, eller ved kontaminering fra prøvebeholdere, luftstøv og vann. Kjemisk endring av første type kan minimaliseres med lagring ved lave temperaturer, mens kjemiske endringer som følge av kontaminering kan reduseres ved spesiell utvelgelse av beholdere, håndtering og lagring under ikke-forurensende forhold (Bölviken et al., 1996).

Oppsummert vil valg av teknikk, utstyr og metode være avhengig av størrelse på området som skal undersøkes, type grunn, om det finnes indikasjon på mulig horisontal eller vertikal variasjon i lag, geologien i området, dybde på grunnvann, prøvedybde, vegetasjon og sikkerhet for prøvetaker (Standard Norge, 2002).

3 Analytiske metoder

I denne delen gis en presentasjon av de benyttede instrumentene i oppgaven. I avsnitt 3.1 beskrives noen ulike dekomponeringsmetoder med fokus på instrumentet UltraCLAVE som er benyttet i denne oppgaven. Deretter gis en presentasjon av analyseinstrumentet ICP-MS og feilkilder knyttet til denne metoden i avsnitt 3.2. Til slutt gis en innføring i bestemmelse av innhold organisk materiale i prøvene ved metoden glødetap og dens feilkilder (avsnitt 3.3).

3.1 Dekomponering

En homogen løsning er som regel nødvendig for å kunne utføre en ICP-MS-analyse, og sedimentprøver må derfor dekomponeres før analyse (Balaram & Rao, 2003; Gonzalez et al., 2009; Kingston & Walter, 1998). Det finnes flere ulike metoder for dekomponering og disse kan deles inn i total og pseudototal dekomponering. Den totale metoden er spesielt aktuell ved geokjemiske undersøkelser, mens det for eksempel i forurensningsstudier, hvor målet å vurdere antropogene innslag, er mer vanlig å benytte en pseudototal oppløsning (Alloway, 2013).

Til fullstendig dekomponering kan flussyre (HF) benyttes siden denne kan løse silikater som ikke andre syrer klarer å angripe. Likevel kan ikke HF benyttes til totalbestemmelse da Si vil omdannes til gassen silisium tetrafluorid (SiF_4) (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2004).

En annen mye brukt metode for fullstendig dekomponering og totalbestemmelse er fusjon i et smeltet saltmedium. Enkelte forbindelser, spesielt silikater og noen andre mineraloksider løses ofte sakte eller ikke i det hele tatt ved bruk av andre dekomponeringsmetoder. Prinsippet går ut på at en finkornet prøve blandes med en «flux», som regel et alkaliemetallsalt. Dette smeltes for så å danne et vannløselig produkt. Fluxene dekomponerer stort sett alle forbindelser som følge av de høye temperaturene, som normalt ligger på 300-1000 °C, og de høye konsentrasjonene av reagenser som kreves. Ofte benyttes en ti ganger større mengde reagens enn prøve. Produksjon av en klar smelte indikerer en fullstendig dekomponering. Natriumkarbonat (Na_2CO_3) er et eksempel på et salt som benyttes til å dekomponere silikater og andre motstandsdyktige materialer. Kationbestanddelene omdannes til syreløselige karbonater eller oksider, mens ikke-metallene vil danne løselige Na-salter (Skoog et al., 2004).

Selv om fusjonsmetoden gir fullstendig dekomponering, eksisterer det likevel noen ulemper. Blant annet kan prøven kontamineres som følge av urenheter i fluxen som benyttes. Beholderen er en annen kilde til kontaminering da denne ofte vil angripes av fluxen. En annen feilkilde er at den resulterende løsningen som dannes ved fusjon vil inneholde en stor mengde salt som kan skape problemer ved videre analyse. I tillegg kan de høye temperaturene som kreves øke sjansen for tap av flyktige stoffer (Skoog et al., 2004).

Det finnes flere typer pseudototale dekomponeringsmetoder. Disse involverer som regel en blanding av saltsyre (HCl), salpetersyre (HNO₃) eller hydrogenperoksid (H₂O₂). Normalt veies noen gram prøve i en beholder som så fuktet med vann og deretter tilsettes *aqua regia*, en blanding av tre deler HCl og en del HNO₃. Dette står over natten før temperaturen økes og prøven står til reflux. Prøven kjøles ned, filtreres og fortynnes (Alloway, 2013).

Al- og grafitblokkdekomponeringsmetoder kan ekstrahere metaller fra jord ved kontrollerte temperaturer. Denne dekomponeringen kan foregå i kalibrerte beholdere som plasseres direkte til prøveintroduksjon til for eksempel ICP-MS-analyse, eventuelt kan prøven filtreres først. Bombe-dekomponering er en annen pseudototal metode, og involverer at en prøve med passende syreblanding plasseres i en forseglet beholder og varmes på et plate eller i ovn. Dette er et lukket system som dermed reduserer sjansen for tap av flyktige forbindelser og kontaminering (Alloway, 2013).

En vanlig pseudototal dekomponeringsmetode er mikrobølgeassistert dekomponering. Denne metoden gir en mye raskere og uniform oppvarming enn de eldre metodene som benyttet flamme eller varmeplate fordi energien fra mikrobølgene absorberes direkte av løsningen (Alloway, 2013). Systemet kan enten være åpent eller lukket, men lukket er mest brukt siden høyere trykk og temperatur kan oppnås, samtidig som tap av prøve og kontaminering kan unngås (Skoog et al., 2004).

I denne oppgaven er det valgt å benytte instrumentet UltraCLAVE, en pseudototal, mikrobølgeassistert dekomponeringsmetode, da dette er en standardmetode selv om silikater ikke vil dekomponeres fullstendig.

3.1.1 UltraCLAVE

UltraCLAVE er et instrument som benyttes til å dekomponere prøver, det vil si gjøre prøvene om til væskeform før analyse ved for eksempel ICP-MS. Det kan også defineres som å overføre innholdet i prøvene fra organisk til uorganisk, ionisk form. Teknologien baserer seg på et mikrobølgeoppslutningssystem og benytter et Single Reaction Chamber, SRC, oversatt «enkeltreksjonskammer». Et SRC-system involverer at alle prøvene dekomponeres samtidig og under like forhold ved samme trykk og temperatur, og dette gir derfor sammenlignbare resultater (Milestone productivity tools, u.å.).

UltraCLAVE benytter mikrobølger som energikilde. Mikrobølgene trenger i gjennom prøvebeholderne og varmer dermed opp prøvene (Kingston & Walter, 1998). Høye temperaturer oppnås som følge av at systemet er lukket og under trykk. UltraCLAVE kan oppnå en temperatur opp mot 300 °C og et trykk på 200 bar. Til å begynne med tilføres inert nitrogengass (N₂) for å unngå koking av prøvene og dermed hindre krysskontaminering (Milestone productivity tools, u.å.).

Prøvene veies opp i teflonbeholdere og tilsettes ønsket syre. Flere ulike syrer kan benyttes, men de vanligste er HNO₃, H₂O₂, HF, svovelsyre (H₂SO₄) og perklorisyre (HClO₄), eller en blanding av disse (Kingston & Walter, 1998). Av disse vil HF gi den mest fullstendige dekomponeringen av for eksempel silikater, men må som følge av HMS-årsaker benyttes med forsiktighet (Kingston & Walter, 1998).

Ofte benyttes oksiderende syrer, spesielt dersom det er sannsynlighet for at prøven inneholder organisk materiale (Gonzalez et al., 2009). Samtlige prøver senkes ned i en blanding, eller en «load», av HNO₃, HCl og H₂O₂ (se Figur 3.1.1). H₂O₂ har som oppgave å reagere med eventuelle nitrøse gasser som kan dannes ved tilføring av N₂. UltraCLAVE inneholder også et vannbad for å absorbere energien til mikrobølgene (Milestone productivity tools, u.å.).



Figur 3.1.1: Illustrasjon av hvordan prøvene settes ned i loaden i UltraCLAVE (milestone, udatert)

UltraCLAVE kan dekomponere opptil 40 prøver om gangen med en total prøvemengde på opptil 25 g, og er derfor en effektiv dekomponeringsmetode (Milestone productivity tools, u.å.).

3.2 ICP-MS

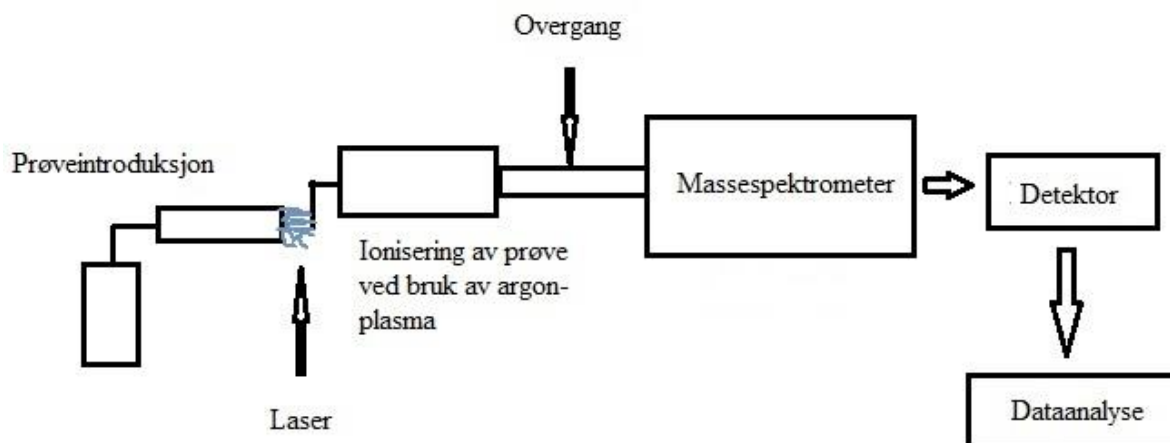
ICP-MS står for «inductively coupled plasma mass spectrometry», på norsk oversatt til «induktivt koblet plasma massespektrometri». ICP-MS er en mye brukt analytisk teknikk for elementbestemmelse, og kan benyttes til å bestemme over 70 grunnstoff. Deteksjonsgrensen for høy-oppløsningsinstrumentene, forkortett HR-ICP-MS, kan være så lave som ppt (10^{-12}) (Skoog et al., 2004). På grunn av plasmaets høye temperatur er det er også mulighet for å håndtere både enkle og komplekse matrikser med minimalt av matrikseffekter. Normalt ligger plasmatemperaturen på mellom 6 000-10 000 °K. Selve plasmaet består av Ar-atomer, -ioner og elektroner. ICP-MS gir ikke bare elementkonsentrasjoner, men også mulighet for å få informasjon om isotopfordeling (Montaser, McLean, Liu, & Mermet, 1998; Skoog et al., 2004).

Prøven introduseres i plasmaet som en aerosol, enten ved at prøven i væskeform føres inn via en spraydannerenhet, eller en laser kan konvertere fast stoff til en aerosol. ICP-kilden omdanner prøvens elementer fra atomer til ioner, med andre ord ioniseres de i en plasma. Ionene som dannes fra ICP er normalt positivt ladet, og elementer som danner negative ioner er derfor vanskelige å bestemme. Ionene blir deretter separert som funksjon av deres masseladningsforhold og detekteres ved hjelp av massespektrometeret. Ioner sendes i stor fart, i vakuum, gjennom en magnet som skiller de forskjellige massene. Det vanligste

massespektrometeret er kvadrupol-massefilter, bestående av fire stenger og som fungerer som et elektrostatiske filter. Kvadrupolen tillater kun ioner med et bestemt masseladningsforhold å passere gjennom til detektoren i et gitt tidsøyeblikk. I detektoren omformes antall innkommende elektroner til et elektrisk signal (se Figur 3.2.1). Den vanligste detektoren i bruk er dynodedektoren, en elektronmultiplikator (EM). Ionene som treffer dynoden produserer elektroner, som igjen generer nye sekundære elektroner. Dette medfører at hvert enkelt ion kan generere 10^6 elektroner eller mer for å forsterke signalet. Det finnes både diskret-dynode EM og kontinuerlig-dynode EM. I diskret-dynode EM benyttes individuelle dynoder, mens dynoden i kontinuerlig-dynode EM er en kjegle (Koppelaar et al., 2005).

Til å analysere prøvene i denne oppgaven benyttes et høyoppløselig massespektrometer, HR-ICP-MS. I motsetning til kvadrupol-massefilter, som har lavere oppløsning, reduserer dette interferenser som følge av masseoverlapp. Dette skjer ved å benytte både en magnetisk og en elektrisk sektor for separering og fokusering av ioner. Ionene fokuseres så mot en dynodedetektor, hvor signalet fra de produserte elektronene forsterkes ved bruk av en elektronmultiplikator, som beskrevet over (Gießmann & Greb, 1994). HR-ICP-MS kan benytte flere typer oppløsning. Ved lavere oppløsning går deteksjonsgrensen ned, mens sensitiviteten går opp. Dette gjør at en ofte velger lav oppløsning ved enkle prøvematrikser, mens man ved mer komplekse matrikser heller benytter høyoppløselig for å unngå overlapp i spekteret. I denne oppgaven benyttes tre oppløsninger: Lav oppløsning – 300 , medium oppløsning – 4 000 og høy oppløsning – 10 000 (Thermo Fisher Scientific Inc., 2008).

ICP-MS er en sekvensiell analysemetode som detekterer element for element, men dette går så raskt at det oppleves som en simultandeteksjon av flere elementer. I tillegg vil den lave deteksjonsgrensen og gode presisjonen bidra til at analysemetoden har en rekke fordeler (Montaser et al., 1998; Skoog et al., 2004).



Figur 3.2.1: Enkel skisse av ICP-MS instrument (Tegnet etter inspirasjon fra Skoog et al. (2004))

3.2.1 Feilkilder ved ICP-MS

Det finnes i prinsippet to hovedtyper interferenser i ICP-MS. Den første typen er spektroskopiske interferenser som er et resultat av at ioniske specier i plasmaet har samme masseladningsforhold som ionet som analyseres (Skoog et al., 2004). Dette vil dermed kunne gi høyere verdier enn det som egentlig finnes i den aktuelle prøven. Disse spektroskopiske interferensene kommer hovedsakelig av fleratomiske ion, dobbeltladede ion og elementer som har isotoper med tilnærmet samme masse. HR-instrumenter kan reduserer eller eliminere mange av disse interferensene (Balaram & Rao, 2003; Skoog et al., 2004).

Matrikseffekter er den andre hovedtypen og involverer interferenser som kan påvirke resultatet både i positiv og negativ retning og oppstår normalt ved høyere konsentrasjoner i prøvene. Det er slik at ICP-MS fungerer best ved beregning av spormetaller i en prøve, så prøvene må i en del tilfeller fortynnes dersom konsentrasjonene er forventet å være høye (Balaram & Rao, 2003; Skoog et al., 2004). Dette åpner igjen for feilkilder i forbindelse med fortynning. Matrikseffekter kan også komme av faktorer som endringer i plasmaionisering, ionespredning som følge av kollisjon med matriksioner, prøvetransport og lignende (Balaram & Rao, 2003; Evans & Giglio, 1993).

Drift vil også kunne være en feilkilde fordi instrumentrespons endres over tid. Instrumentet må derfor kalibreres med jevne mellomrom (Cheatham, Sangrey, & White, 1993).

3.3 Glødetap

Glødetap kan benyttes for å bestemme mengde organisk materiale i en prøve. Prinsippet går ut på at oppveid prøve glødes i ovn til konstant vekt oppnås (se Figur 3.3.1). Temperaturen bør ligge på 550 ± 25 °C. Organisk materiale vil på denne måten brennes opp. Tapt mengde organisk materiale kan dermed beregnes ved veiing før og etter gløding (Standard Norge, 2007).



Figur 3.3.1: Prøver i digel satt til glødetap i glødeovn (Foto: privat)

Under glødetap er det viktig å ta forholdsregler for å unngå at prøven og prøvebeholderen absorberer fuktighet fra atmosfæren. Dette kan gjøres ved å oppbevare prøven i eksikator mellom gløding og veiing (se Figur 3.3.2). Til glødetap benyttes porselensdigeler som prøvebeholder. Disse bør før innveiing glødes i minimum 20 minutter og avkjøles til romtemperatur. Digelene bør etter dette glødes en omgang til, fram til konstant vekt oppnås. Vekten bør noteres til nærmeste 1 mg. Konstant vekt regnes innenfor 2 mg forskjell mellom første og andre gløding (Standard Norge, 2007).



Figur 3.3.2: Prøver til glødetap oppbevart i eksikator (Foto: privat)

Anbefalt mengde innveid prøve er 0,5-5 g, eller en høyde på rundt 5 mm i digelen. Prøven glødes i minst én time og avkjøles til romtemperatur før veiing. Prøvene bør så glødes en stund til, helt til konstant vekt er oppnådd, og deretter veies så raskt som mulig etter at romtemperatur er nådd (Standard Norge, 2007).

Prosentvis glødetap bør presenteres med 0,1 %, og kan beregnes ved følgende formel (Standard Norge, 2007):

$$W_{LOI} = \left(\frac{m(d) - m(c)}{m(d) - m(a)} \times 100 \right) \quad (3.1)$$

W_{LOI} : Glødetap i prosent

$m(d)$: vekt av digel og oppveid prøve

$m(c)$: vekt av digel og glødet prøve

$m(a)$: vekt av tom digel

3.3.1 Feilkilder ved glødetap

En mulig feilkilde ved glødetap kan være feil ved veiing. Dette kan virke inn på resultatet både i positiv og negativ retning. I tillegg vil et eventuelt vanninnhold i prøven fordampe under gløding, og dermed påvirke resultatet. Denne feilkilden kan elimineres ved å tørke prøven før veiing og gløding. I tillegg kan Fe og andre metaller som finnes i prøven, som er svakt bundet eller i metallisk form kunne oksideres og virke inn på resultatet ved å gi en økning i vekt. Det samme gjelder for sulfider (Standard Norge, 2007).

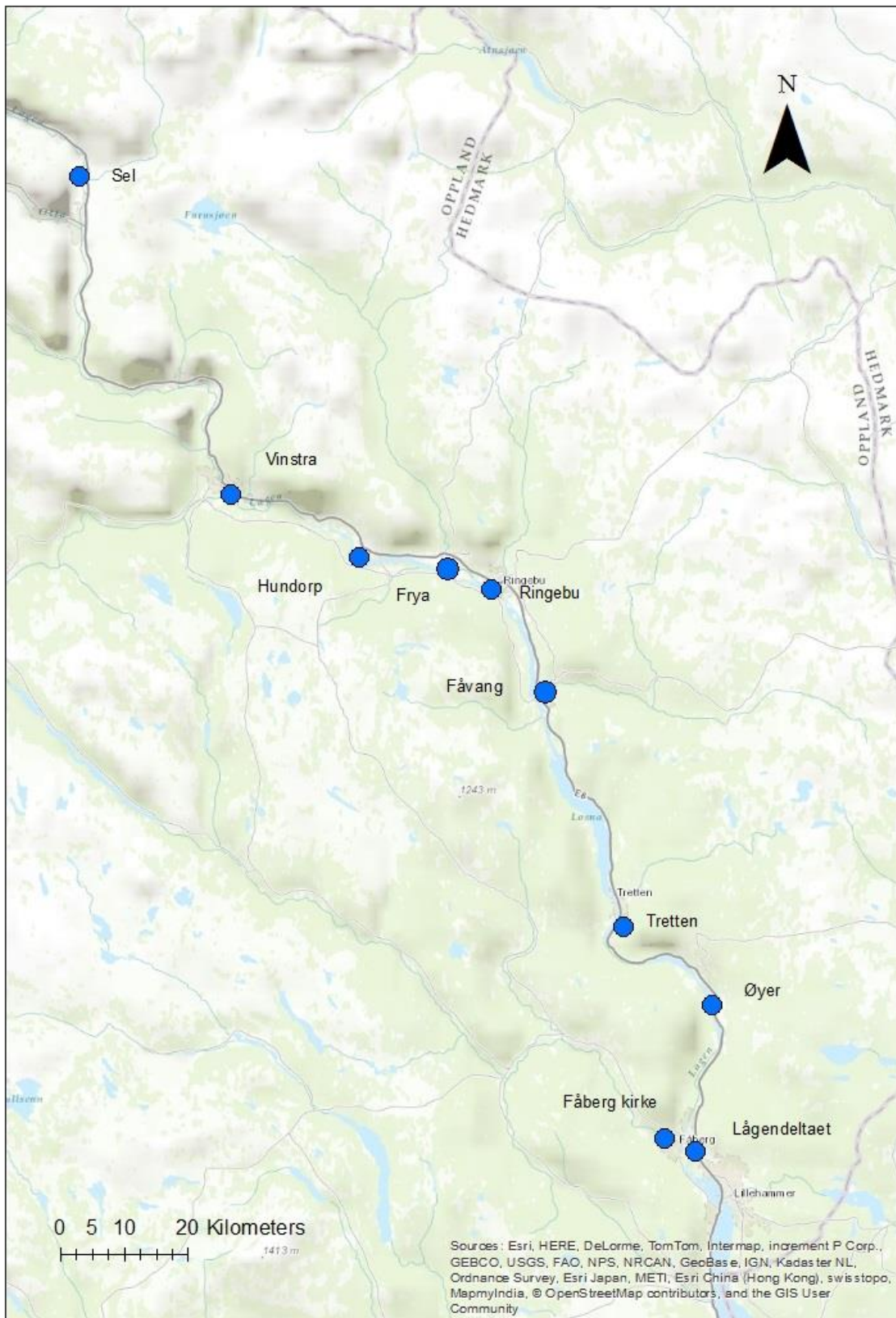
4 Metode

Denne delen omhandler prøvetakingen av sedimentene (avsnitt 4.1), prepareringen av prøvene for analyse (avsnitt 4.2), selve analysen (avsnitt 4.3) og vurdering av metoden (avsnitt 4.4). Det gis også en presentasjon av metodene benyttet i databehandlingen av resultatene. Dette er presentert i avsnitt 4.5.

4.1 Prøvetaking

11. november 2014 ble 55 prøver samlet langs Gudbrandsdalslågen, fra Fåberg i sør til Sel i nord. Prøvene bestod av både flomsedimenter fra ulike lag i forskjellige profiler, elvebunnssedimenter og filtrert partikulært elvemateriale. Totalt ble det tatt prøver på ti ulike prøvepunkt. Prøvepunktene ble valgt ut basert på kart over elveavsetninger i Gudbrandsdalen, samt hvor tilgjengelige områdene var. Disse prøvepunktene har fått navnene Fåberg kirke, Lågendeltaet, Øyer, Tretten, Fåvang, Ringebu, Frya, Hundorp, Vinstra og Sel. De angitte prøvepunktene er vist i Figur 4.1.1. Det ble tatt prøver av to profiler ved Lågendeltaet. Ved Ringebu ble det i tillegg også tatt en vannprøve, men det er valgt å ikke ha fokus på denne prøven i oppgaven. Flomsedimentprofilen ble gravd ut med en spade og selve prøven ble tatt med en liten hagespade. De ulike profilene varierte i dybde og antall lag det ble tatt prøver av, avhengig av hvor lett det var å grave selve profilen og hvor tydelige de ulike lagene var. Dypeste prøve ble tatt på Hundorp, omtrent 80 cm ned i avsetningen.

Spaden ble skylt med litt ellevann og/eller sedimenter fra det det nye aktuelle prøvepunktet mellom hver gang før prøvetaking. Prøvene ble lagt i lynlåsposer av plast. Papirposer ble ikke benyttet siden de fleste prøvene var våte, noe som kunne resultere i ødeleggelse av posen. Plastposene ble så markert med prøvestedsnavn og nummer. Elvebunnssedimentene ble tatt direkte i små plastbeger, CC-Cups. Prøvene med partikulært elvemateriale ble samlet ved å filtrere 50-200 mL, avhengig av hvor grumsete vannet var. Filterne hadde en porestørrelse på 0,45 µm. Filterne ble oppbevart i lynlåsposer etter prøvetaking. Hvert prøvepunkt ble markert med GPS-koordinater ved bildetaking med mobiltelefon.

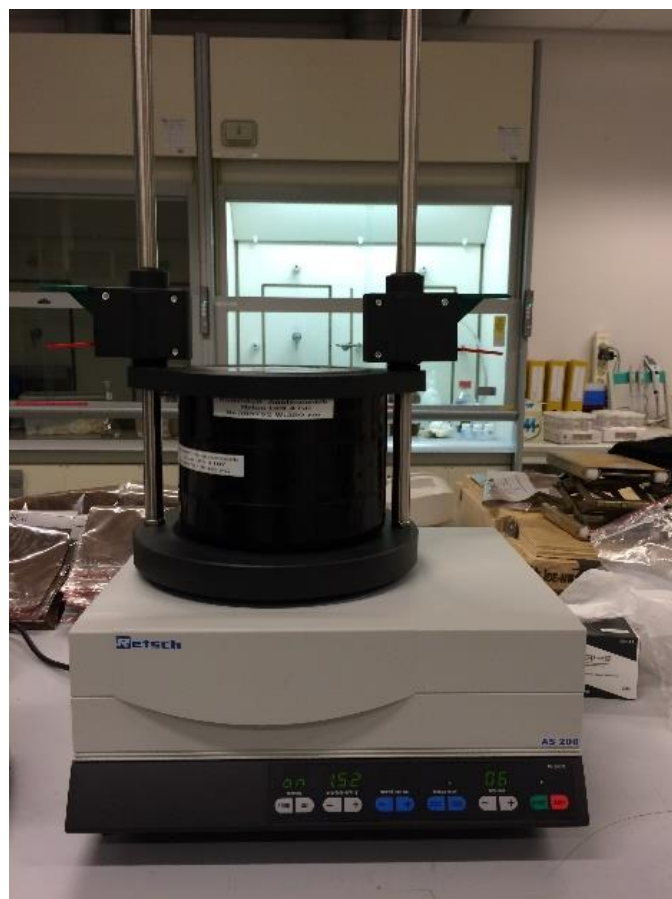


Figur 4.1.1: Oversikt over de ulike prøvepunktene. Kartet er laget i ArcGIS.

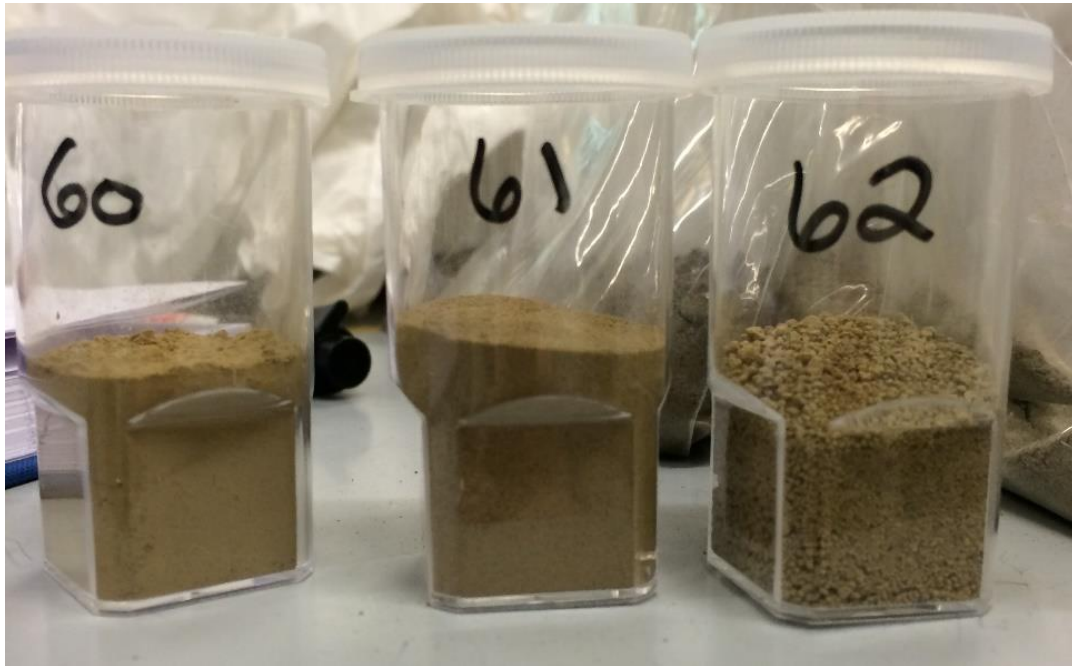
4.2 Preparering

Etter prøvetaking ble lynlåsposene med prøvene lagt i skap på laboratoriet. Det ble åpnet en liten åpning på noen cm av lynlåsposene hos flomsedimentprøvene, slik at de kunne begynne å tørke i romtemperatur før de ble preparert og analysert. En del av prøvene var fortsatt ikke tørre ved prøvepreparering. Disse ble satt i tørkeskap i to døgn ved 36 °C.

I denne oppgaven er det også aktuelt å se på om det er en sammenheng mellom partikkelstørrelse og tungmetallkonsentrasjon. Et utvalg på ni av sedimentprøvene ble derfor fraksjonert i RETCH siktemaskin AS 200 (se Figur 4.2.1). Totalt tre fraksjoner ble siktet ut og det ble benyttet sikter med porestørrelse på 250 µm og 63 µm. Figur 4.2.2 viser et eksempel på hvordan disse tre fraksjonene kan se ut. Samtlige prøver ble siktet i to minutter med en amplitude på 1,5 mm. Siktene ble børstet, vasket og lufttørket mellom hver prøve.



Figur 4.2.1: RETCH AS 200 Siktemaskin benyttet til å skille ulike fraksjoner i utvalgte prøver (Foto: privat)



Figur 4.2.2: Illustrasjon av ulike fraksjoner av en prøve (Foto: privat)

De opprinnelige flomsedimentene, samt de ulike fraksjonene og elvesedimentene ble deretter overført til plastbeger. Prøvene som ikke hadde blitt tørket i tørkeskap, eller ikke var helt tørre etter tørking ble deretter satt til frysetørk på rundt $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Under frysetørking utsettes prøvene for høyt trykk i et vakuum slik at is går direkte over til vanndamp.

Det ble veid inn 200-300 mg prøve i teflonrør som ble satt etter rekkefølge i stativ for å unngå blanding av prøver. Før bruk står teflonrørene konservert i 1 mL 50 % v/v HNO_3 og Milli-Q vann (MQ-vann), «ultrarent» vann som er blitt deionisert (Merck Millipore, u.å.). Teflonrørene skylles først med MQ-vann to ganger og ristes tørre før innveining av prøve. Prøvene ble tilsatt 9 mL 50 % v/v HNO_3 , og dekomponert i UltraCLAVE. I Vedlegg J er det gitt et eksempel på rapport over temperaturprogrammet som ble kjørt. Teflonrørene ble etter dekomponering banket forsiktig på toppen. De dekomponerte prøvene ble deretter overført til en teflonflaske. Teflonrørene ble skylt to ganger. Prøvene ble så fortynnet til $109,8 \pm 0,5$ g med MQ-vann. Teflonflasken som ble benyttet stod konservert i 3 mL 50 % v/v HNO_3 og vaskes to ganger mellom fortynning av hver prøve. De fortynnete prøven ble til slutt overført til 15 mL PP-rør for HR-ICP-MS analyse, som vist i Figur 4.2.3. Rørene ble først skylt en gang med den fortynnete prøven. Sedimentprøvene ble dekomponert i to omganger, med 40 prøver hver gang. I disse 40 prøvene inngikk også blankprøver og referansemateriale.



Figur 4.2.3: Klargjøring av prøver til ICP-MS-analyse (Foto: privat)

Åtte filtere med partikulært elvemateriale ble dekomponert i en omgang for seg selv. Prøvene ble tilsatt 3 mL 50 % v/v HNO_3 før dekomponering. De dekomponerte filterne ble deretter fortynnet til $30,5 \pm 0,3$ g og overført til 15 mL PP-rør. I tillegg til blankprøver, ble også tre blanke filtere dekomponert. Under dekomponeringen ble filterne hentet ut fra plastbeskyttelsen de lå i. Disse ble knust mens de lå inne i lynlåsposer. Et pinsett av plast ble benyttet for å overføre filterne fra plastbeskyttelsen til teflonrørene. Under denne prosessen var det ikke alltid mulig å få med hele filteret da noe satt godt fast.

4.3 Kjemisk analyse

4.3.1 ICP-MS

Etter dekomponering i UltraCLAVE ble prøvene analysert i HR-ICP-MS for 59 grunnstoff av Syverin Lierhagen ved NTNU.

4.3.2 Glødetap

Totalt 13 prøver ble analysert for organisk materiale. Prøvene bestod av overflateprøver fra samtlige prøvepunkt, ti prøver, i tillegg til tre prøver ned i profilen samlet ved Hundorp.

Digelene som ble benyttet ble først glødet i ovnen på 550 °C i 30 minutter. De ble deretter avkjølt i eksikator til romtemperatur. Digelene ble så veid, og på nytt satt inn i ovnen i 15 minutter, avkjølt og veid igjen. Dersom vekta ikke var konstant, ble de satt inn i nye 15 minutter. Prøvene ble etter dette veid opp i digelene og satt i tørkeskap ved 105 °C over natta. Prøvene ble deretter avkjølt i eksikator før ny veiing.

Digelene med de oppveide prøvene ble satt til gløding i ovn på 550 °C i tre timer. De ble deretter avkjølt i eksikator til romtemperatur og veid, før de ble satt inn i ovnen i 15 minutter, avkjølt og veid på nytt. Hvis vekten mellom første og andre runde i ovnen ikke var konstant, ble de glødet i nye 15 minutter. Denne rutinen ble utført til vekten var konstant. All vekt ble notert med en nøyaktighet på 0,1 mg. Konstant vekt ble definert som innenfor 1 mg, halvparten av det norske standard krever (Standard Norge, 2007). Mye av årsaken til dette er det naturlig lave innholdet av organisk materiale i sedimenter. Digelene ble alltid kun berørt med tang. Glødetapet ble deretter regnet ut etter norsk standard (likning 3.1).

4.4 Metodevurdering

4.4.1 HR-ICP-MS

HR-ICP-MS er, som utdypet tidligere, en analyseteknikk med lav deteksjonsgrense og god presisjon. De fleste mulige interferenser kan begrenses eller elimineres ved jevnlig kalibrering og ved bruk av blankprøver. Blankprøvene benyttes til å trekke fra eventuelle interferenser fra løsningen. Dekomponeringen med UltraCLAVE av prøvene før analysen ble gjort over tre dager og minimum to blankprøver ble dekomponert hver dag. I tillegg ble referansemateriale benyttet. Totalt fire paralleller med referansemateriale GBW07408 ble dekomponert og analysert. Resultatet av analysen av referansematerialet sier noe om kvaliteten på hele prosessen fra utveiing, dekomponering og analyse da referansematerialet har kjent innhold. Resultatet av de analyserte parallellene sier noe om presisjonen. Det er verdt å nevne at den gitte elementsammensetningen til referansematerialet er bestemt ved bruk av HF i dekomponeringen, mens det i dette tilfellet ble benyttet HNO₃ som ikke vil gi fullstendig dekomponering. I dekomponeringen og analysen av filterprøvene ble det analysert tre

blankfiltere. Dette ble gjort for å kunne si noe om elementsammensetningen til filterne, og dermed kunne trekke fra disse nivåene fra resultatet til de analyserte filterne.

Under dekomponering ble HNO_3 benyttet, og blant annet silikater vil derfor ikke dekomponeres fullstendig. En annen ting å bemerke er at det er vanskelig å si noe om hvor vidt den analyserte andelen av prøven var homogen og dermed er representativ for hele prøven, altså prøvepunktet.

En del av elementene som ble analysert finnes kun i små mengder naturlig, og de lave konsentrasjonene kan derfor i mange tilfeller være vanskelig å detektere, selv ved HR-ICP-MS.

ICP-MS er i utgangpunktet en analyseteknikk med god presisjon og lav deteksjonsgrense, og dermed vil kvaliteten på resultatet av analysen av sedimentprøvene avhenge først og fremst av dekomponeringsprosedyren, og deretter i reduksjonen, elimineringen eller korrigeringen av interferenser (Schnetger, 1997).

4.4.2 Glødetap

Ved glødetap vil de største feilkildene kunne oppstå under veiing, både av prøve og digeler. Disse feilkildene kan forsøkes og elimineres ved å benytte tang til å berøre digelene, samt å sette digelene på rene flater. Likevel vil det alltid være en mulighet for eventuell kontaminering av prøven som kan virke inn på vekten, og dermed resultatet. Digelene med prøve ble veid så raskt som mulig, og ellers oppbevart i eksikator for å hindre tilførsel av fuktighet. Eventuelt vanninnhold som kunne fordampet under gløding ble fjernet ved tørking over natta og ny innveiing før gløding. I tillegg er det vanskelig å si noe om eventuelle metaller har blitt oksidert. Videre er det en mulighet for at det var igjen rester av organisk materiale, selv om prøvene og digelene ble veiet til stabil vekt. Resultatet av glødetapet representerer kun en liten del av den opprinnelige prøven, og det er vanskelig å si noe om den opprinnelige prøven var homogen, og dermed om resultatet er representativt for hele prøven.

4.5 Databehandling

Alle data i denne oppgaven er behandlet i dataprogrammet Excel.

4.5.1 Gjennomsnitt

Gjennomsnittet (\bar{x}) er definert som summen av alle dataene delt på antall data (N), som vist i likning 3.2 (Skoog et al., 2004):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.2)$$

4.5.2 Standardavvik

Standardavvik (S) benyttes til å måle spredningen i et datasett. Standardavviket sier noe om presisjonen og om hvor langt de ulike resultatene ligger fra gjennomsnittsverdien. Standardavviket er definert som kvadratroten av variansen i et datasett, og kan beregnes ved bruk av likning 3.3 (Skoog et al., 2004).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (3.3)$$

x_i er prøve nr. i , \bar{x} er gjennomsnittet og N er antall prøver i det aktuelle utvalget. N-1 betegnes som antall frihetsgrader.

I stedet for det absolute standardavviket benyttes ofte det relative standardavviket (RSD), da dette kan gi et bedre bilde på datakvaliteten. RSD beregnes ved å dividere standardavviket (S) på gjennomsnittsverdien (\bar{x}), ofte oppgitt i prosent, som vist i likning 3.4. RSD ligger vanligvis mellom 1-5 % for rutinemålinger (Hibbert & Gooding, 2006).

$$RSD = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (3.4)$$

4.5.3 T-test

T-test har flere bruksområder, men benyttes i denne oppgaven til å identifisere mulige outlierer i et datasett. Til dette benyttes Grubbs t-test. Dataene i denne oppgaven vil antas å være normalfordelt, selv om dette ikke er tilfellet, da t-testen forutsetter dette. I en ensidig t-test tester man enten minimumsverdien eller maksimumsverdien i datasettet, og til dette benyttes likning 3.5. Denne t-verdien sammenlignes så med verdier for t i tabell for rett konfidensintervall, i

dette tilfellet 95 % konfidensintervall, og antall frihetsgrader. Dersom t er større enn t-verdien i tabell, så regnes verdien som en outlier (Grubbs, 1969).

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{S} \quad (3.5)$$

x_i er den mistenkte outlieren, \bar{x} er gjennomsnittet og S er standardavviket.

4.5.4 Korrelasjoner

En korrelasjonskoeffisient (R) sier noe om den lineære sammenhengen mellom to variabler, for eksempel to ulike grunnstoff, og hvor sterk denne er. Korrelasjonskoeffisienten varierer mellom -1 og 1, hvor -1 antyder en sterk negativ sammenheng og 1 en sterk positiv sammenheng. En korrelasjonskoeffisient på 0 indikerer liten eller ingen lineær sammenheng. Korrelasjonen mellom to variabler beregnes ved å dele kovarians (likning 3.6) på deres standardavvik, som vist i likning 3.7 (Løvås, 1999).

$$S_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (3.6)$$

$$R = \frac{S_{XY}}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.7)$$

4.5.5 Kartframstilling

Kart over prøvepunkt ble framstilt ved bruk av karttegningsprogrammet ArcGIS. Koordinater til prøvepunktene ble hentet fra metadataen til bilder tatt ved de aktuelle prøvepunktene, ført inn i Excel, og overført fra Excel til ArcGIS.

5 Resultat og diskusjon

I denne delen presenteres resultatene og tilhørende drøfting. Kapittelet tar for seg hvordan hovedelementene og sporelementene fordeler seg i utvalgte flomsedimentprofiler i 5.1. Videre i avsnitt 5.2 og 5.3 presenteres og drøftes resultatene av elvesedimentene og filterprøvene ved de ulike prøvepunktene. Deretter sammenlignes resultatene fra filterprøver, elvesedimenter og flomsedimenter opp mot hverandre for utvalgte prøvepunkt i avsnitt 5.4. I avsnitt 5.5 sammenlignes topp- og bunnprøver for de ulike elementene ved hvert prøvepunkt. Resultatet av fraksjonene vises i avsnitt 5.6. Til slutt presenteres resultatet av glødetap i avsnitt 5.7.

Hovedelementene i denne oppgaven er definert til å være elementene Fe, Al, Mg, Ca, Si, Na, K og Mn da summen av disse elementene utgjør over 90 % ($\approx 96\%$) av de analyserte elementene i gjennomsnitt.

Sporelementer i resten av oppgaven er definert til å være P, S, Ti, V, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb og As. Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb og As ble valgt ut på bakgrunn av at konsentrasjonen av disse elementene ofte er et resultat av menneskelig påvirkning, i tillegg til at disse er giftige hvis høy konsentrasjon oppnås. P, S og V ble sett på som interessante da de er essensielle næringsstoffer. Ti er også inkludert siden de ulike prøvene inneholdt en del Ti.

Det er i denne oppgaven valgt å presentere resultatene med tre signifikante siffer, selv om deteksjonsgrensen til enkelte elementer kun indikerer ett sikkert siffer. Det er viktig å påpeke at siste signifikante siffer bør betraktes som en usikkerhet i resultatene da det har blitt utført en avrunding.

5.1 Profiler

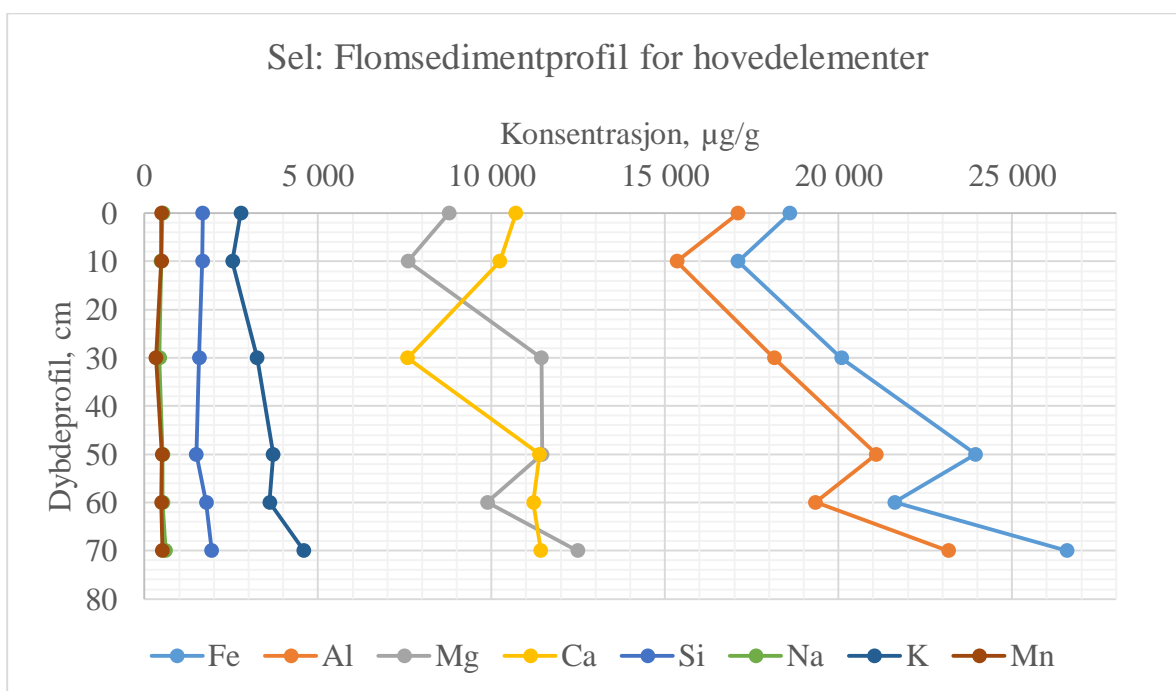
I dette underkapittelet vises et utvalg profiler av hovedelementer og sporelementer fra ulike prøvepunkter i prøveområdet. Profilene for Vinstra, Ringebu, Fåvang, Tretten, Øyer og profil 1 fra Lågendeltaet som viser resultatet av hovedelementene er vedlagt i Vedlegg A siden flere av disse kun hadde få prøvepunkter i profilen og dermed ikke gir et like godt drøftingsgrunnlag som de følgende profilene. De ulike profilene i Vedlegg A viser en lignende fordeling av hovedelementer som prøvepunktene Sel, Hundorp, Frya og Lågendeltaet 2 (Figur 5.1.1, Figur 5.1.2, Figur 5.1.3 og Figur 5.1.4), vist nedenfor. Konsentrasjonene av sporelementene i de samme profilene som for hovedelementene er presentert i Vedlegg B.

I Vedlegg H finnes korrelasjonstabeller for de utvalgte prøvepunktene. Korrelasjonskoeffisienter $R \geq 0,7$ defineres til å være «god» korrelasjon og er farget i lyseblått. Korrelasjonskoeffisienter $R \geq 0,9$ defineres til å være «sterk» korrelasjon og er farget i blått.

5.1.1 Prøvepunktet Sel

Figur 5.1.1 viser konsentrasjonen til hovedelementene i profilen ved Sel. Det observeres at det er mest av Fe og Al, og at disse viser en lignende tendens nedover i profilen. Det finnes også en del Mg og Ca, men disse viser derimot ikke en tydelig trend. Elementene K, Si, Na og Mn viser ingen stor spredning i konsentrasjon ved dette prøvepunktet. Na og Mn har de laveste konsentrasjonene, men også disse viser en lignende tendens nedover.

Tabell 5.1.1 viser konsentrasjonen til de ulike sporelementene nedover i profilen ved Sel. Tabellen viser en økning i konsentrasjon av de ulike elementene fra 30 cm dybde og nedover som en generell trend. Med unntak av Cd, viser prøven tatt ved 70 cm dybde de høyeste konsentrasjonene.



Figur 5.1.1: Sel: Flomsedimentprofil for hovedelementer

Tabell 5.1.1: Sel: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	245	43,0	763	44,0	29,8	5,62	66,6	23,7	0,0545	5,74	0,289
10 cm	176	28,4	702	39,8	27,7	6,03	61,2	22,0	0,0655	5,90	0,326
30 cm	193	27,2	691	42,1	39,0	6,91	85,4	32,2	0,0413	5,38	0,416
50 cm	393	87,2	1 040	56,4	41,8	12,1	93,3	37,6	0,0710	7,04	0,763
60 cm	350	70,1	1 000	53,0	34,8	9,15	87,5	29,6	0,0875	6,65	0,501
70 cm	418	104	1 210	63,7	46,7	16,3	111	45,7	0,0800	7,38	0,882

Basert på resultatene over ser det ut til at Fe og Al har en lignende utvikling nedover i profilen, og dette støttes av korrelasjonstabellen (Tabell H.1) i Vedlegg H som viser at det en sterk positiv korrelasjon mellom Fe og Al. Mn og Na viser også en god korrelasjon. Den høye andelen Fe og Al som observeres i Figur 5.1.1 kan tenkes å sannsynligvis være et resultat av forvitring og erosjon i forbindelse med flom da oksider av disse elementene er vanlige komponenter i jorda, i tillegg til Si (Stumm & Morgan, 1996). Den lave andelen Si som observeres her kan være et resultat av dekomponeringsmetoden hvor HNO₃ ble benyttet, og dette ikke ga fullstendig dekomponering av silikatene i prøvene, jf. avsnitt 3.1.1. Konsentrasjonen til Si burde kanskje forventes å ligge i det samme området som Fe og Al, eller høyere på grunn av at berggrunnen i dette området består hovedsakelig av sandstein som i utgangspunktet inneholder en god del Si, jf. avsnitt 2.2.2. Dette kan også støttes med at Si viser en lignende tendens nedover i profilen som Fe og Al.

Endring i konsentrasjon av de ulike elementene nedover i profilen for både hovedelementer og sporelementer kan ut i fra teorien (se avsnitt 2.4.2) være et resultat av at ulike sedimentkilder har dominert ved ulike flommer. Faktorer som størrelse på flommen vil kunne være en årsak til dette. Det observeres også at konsentrasjonen til Fe og Al, og i mindre grad Si, avtar oppover i profilen. Det kan tenkes at dette enten kan komme av ulike sedimentkilder, men også at de øverste lagene kan være mer utsatt for fortykning av for eksempel organisk materiale eller porevann.

Sammenlignes Tabell 5.1.1 med Figur 5.1.1 observeres det antydninger til at verdiene til Zn, Cu, Cr og Ni viser en lignende utvikling nedover i profilen som Fe og Al. Dette støttes også av korrelasjonstabellen (Tabell H.1) i Vedlegg H. Dette kan være et resultat av at disse elementene

ofte er positivt assosiert med for eksempel Al-hydroksider (Loring, 1976; Sparks, 1995, i (Rognerud et al., 2000)). Denne trenden observeres også for P. Generelt så viser korrelasjonstabellen Tabell H.1 (Vedlegg H) en sterk korrelasjon for mange av sporelementene med Fe og Al.

Sporelementene i profilen fra Sel i Tabell 5.1.1 viste en økning i konsentrasjon fra 30 cm og nedover, men likevel ingen stor endring og med noe variasjon nedover profilen. Dette vil sannsynligvis kan komme av at sporelementene stort sett er blitt transportert og avsatt under flom fra ulike lokale kilder, og ikke nødvendigvis er et resultat av antropogen påvirkning i form av atmosfærisk avsetning. Denne antagelsen forsterkes ved at atmosfæren ofte er en mindre relevant kilde til elementer som Al og Fe sammenlignet med for eksempel forvitring, jf. avsnitt 2.6, og at korrelasjonstabell Tabell H.1 i Vedlegg H viser sterke korrelasjoner mellom de ulike sporelementene og hovedelementene Al og Fe. Ulike kjemiske reaksjoner i sedimentlagene vil også kunne forklare elementenes utvikling i profilen da adsorpsjon av tungmetaller på partikkeloverflaten er avhengig av ulike faktorer, blant annet pH og overflatens ladning. Ulike kjemiske reaksjoner har blitt utdypet i avsnitt 2.5.1.

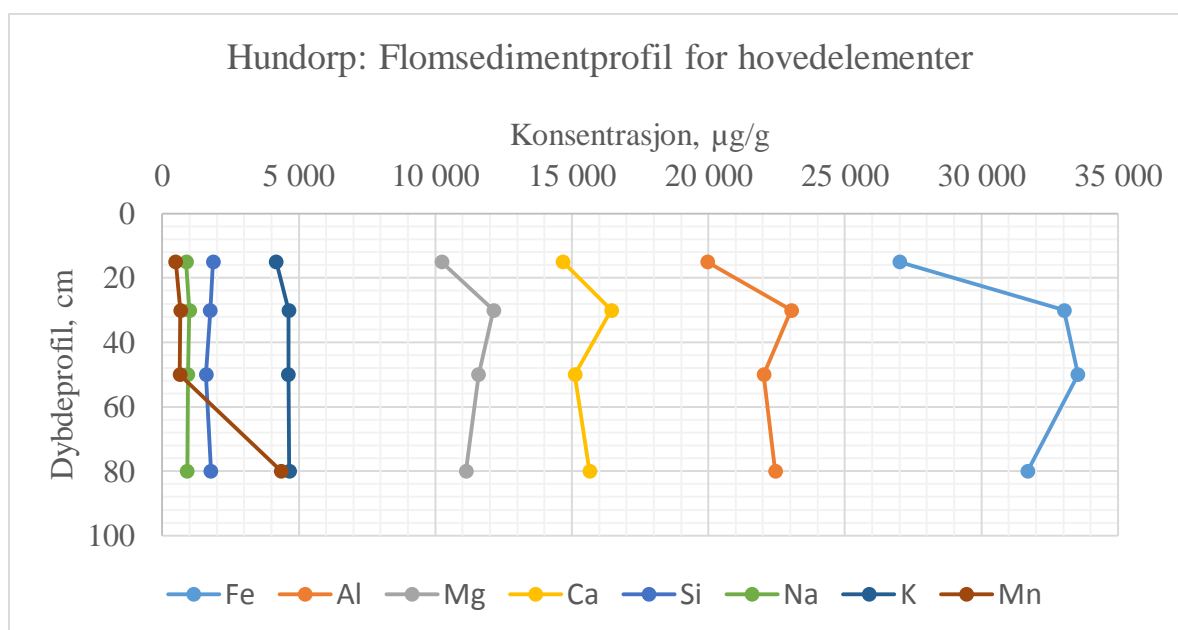
Flere av elementene viser en liten økning i konsentrasjon fra 10 cm til overflaten som kan komme av atmosfærisk avsetning. Dette er lite sannsynlig da elementene Fe og Al viser samme tendens og disse høyst sannsynlig kommer fra berggrunnen (jf. forrige avsnitt). Denne profilen er tatt i nærheten av et jorde, så den observerte økningen i konsentrasjon for blant annet elementene Mg, Ca, P og S, kan være et resultat av bruk av gjødsel i området (Alloway, 2013).

En inspeksjon av flomsedimentprøvene fra Sel viser en tydelig reduksjon i partikkelstørrelse nedover i profilen, jf. Figur E.1 i Vedlegg E. Den resulterende endringen i overflate-areal ratio kan forklare økningen i sporelementkonsentrasjon nedover profilen, men også økningen i blant annet Al-konsentrasjon i Figur 5.1.1 da Al-innhold er positivt assosiert til finere partikler (jf. avsnitt 2.5.2). Denne endringen i partikkelstørrelse indikerer også en endring i fysiske prosesser, eksempelvis forvitring og erosjon (Miller & Orbock Miller, 2007a).

5.1.2 Prøvepunktet Hundorp

Figur 5.1.2 viser flomsedimentprofilen for Hundorp. Også ved dette prøvepunktet dominerer først og fremst Fe, men det finnes også mye Al. Disse elementene, samt Ca og Mg viser en relativt lik utvikling nedover i profilen. K, Si og Na viser liten variasjon i konsentrasjon. Na og Mn har relativt lik konsentrasjon langs hele profilen med unntak av prøven tatt ved 80 cm dybde, hvor Mn viser en høyere konsentrasjon.

Konsentrasjonen av de utvalgte sporelementene ved Hundorp vises i Tabell 5.1.2. Ved dette prøvepunktet observeres ingen klar trend nedover i profilen. For noen elementer (P og S) avtar konsentrasjon nedover i større eller mindre grad, mens for andre (Zn, Ni, Pb og As) øker den. Noen elementer (Ti, V, Cu, Cr og Cd) viser ingen slik tendens nedover i profilen i det hele tatt. Med andre ord; trenden avhenger av elementet.



Figur 5.1.2: Hundorp: Flomsedimentprofil for hovedelementer

Tabell 5.1.2: Hundorp: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
15 cm	1 170	183	1 360	77,4	39,5	23,5	73,5	27,8	0,0969	6,75	1,50
30 cm	1 050	88,8	1 460	90,5	40,8	35,2	84,8	35,7	0,0666	7,34	1,79
50 cm	957	86,2	1 340	83,7	42,2	33,6	80,3	36,6	0,0864	7,44	1,75
80 cm	981	80,8	1 470	86,5	43,4	43,6	80,7	94,0	0,283	7,84	1,84

Flomsedimentprofilen for hovedelementer ved Hundorp (Figur 5.1.2) viser mye av den samme trenden som profilen ved Sel (Figur 5.1.1). Fe og Al dominerer og viser en lignende tendens, jf. også korrelasjonstabell Tabell H.2 i Vedlegg H. Likevel viser elementene noe større spredning i konsentrasjon og en annen trend nedover i profilen enn ved Sel (Figur 5.1.1). Konsentrasjonen til disse elementene er også høyere, spesielt Fe. Dette styrker påstanden om at hovedkilden til disse elementene er berggrunnen. Det er den samme bergarten som dominerer i begge områder, nemlig sandstein, men lokale variasjoner, for eksempel ulik grad av erosjon, kan forklare forskjellene som observeres. Dette kan også forklare trenden til de andre hovedelementene. Elementene Mg og Ca viser i denne profilen en relativ lik tendens som Fe og Al ved at verdiene øker en del fra 15 cm til 30 cm dybde, for deretter å avta noe i konsentrasjon. Korrelasjonstabellen (Tabell H.2) i Vedlegg H støtter dette. Det kan tenkes at disse elementene er assosiert til partikler av for eksempel Fe-hydroksider da disse er kjent som reaktive forbindelser (Miller & Orbock Miller, 2007b). Fe-oksider og Fe-hydroksider utgjør ofte en stor andel av partiklene i sedimenter da blant annet Fe-oksider er vanlige komponenter i jordskorpa (Stumm & Morgan, 1996). Fe finnes ofte sammen med blant annet Mg som følge av krystallografisk slektskap, mens Ca ofte opptrer sammen med Mg (Ottesen et al., 2000).

Profilen fra Hundorp (Figur 5.1.2) viser, slik som profilen fra Sel (Figur 5.1.1), en lavere konsentrasjon i det øverste laget for hovedelementene. Igjen kan dette tyde på en form for fortynning av organisk materiale eller porevann. Denne profilen ble tatt ved en oppgravd grøft ved et jorde, så nedgangen i konsentrasjon mot toppen av profilen kan komme av biologisk opptak hos planter av essensielle næringsstoffer som Mg, Ca og Fe, jf. avsnitt 2.5.3.

For sporelementene i Tabell 5.1.2 som viser profilen fra Hundorp kan det registreres en tilsvarende utvikling som hovedelementene med en lavere i konsentrasjon i det øverste laget for enkelte mikronæringsstoffer som Cu og Ni. Det kan tenkes at dette er et resultat av biologisk opptak av disse elementene. Næringsstoffene P og S viser ikke dette, men har en økning i konsentrasjon. Elementene P og S viser også en sterk korrelasjon med hverandre, jf. Tabell H.2 i Vedlegg H. Mulig bruk av gjødsel kan forklare dette, men det er heller ikke usannsynlig at økningen i konsentrasjon for S kan komme fra lokale sedimentkilder da sandstein kan inneholde S, jf. Tabell 2.2.1 som viser hovedkomponentene i de aktuelle bergartene.

Hvis Tabell 5.1.2, som viser sporelementene i profilen ved Hundorp, sammenlignes med Figur 5.1.2, som viser hovedelementene ved samme punkt, ser man også i denne profilen en lignende trend for sporelementene Cu og Cr som for Al. Det registreres først en økning i konsentrasjon fra 15 cm til 30 cm, og deretter en liten nedgang. Dette støttes av korrelasjonstabell (Tabell H.2) i Vedlegg H. Adsorpsjon på partikkeloverflaten til reaktive Al-hydroksider i den finkornede andelen av sedimentene kan være en mulig forklaring, jf. avsnitt 2.5.2. Dette observeres ikke for Zn og Ni, som for prøvepunktet Sel (avsnitt 5.1.1).

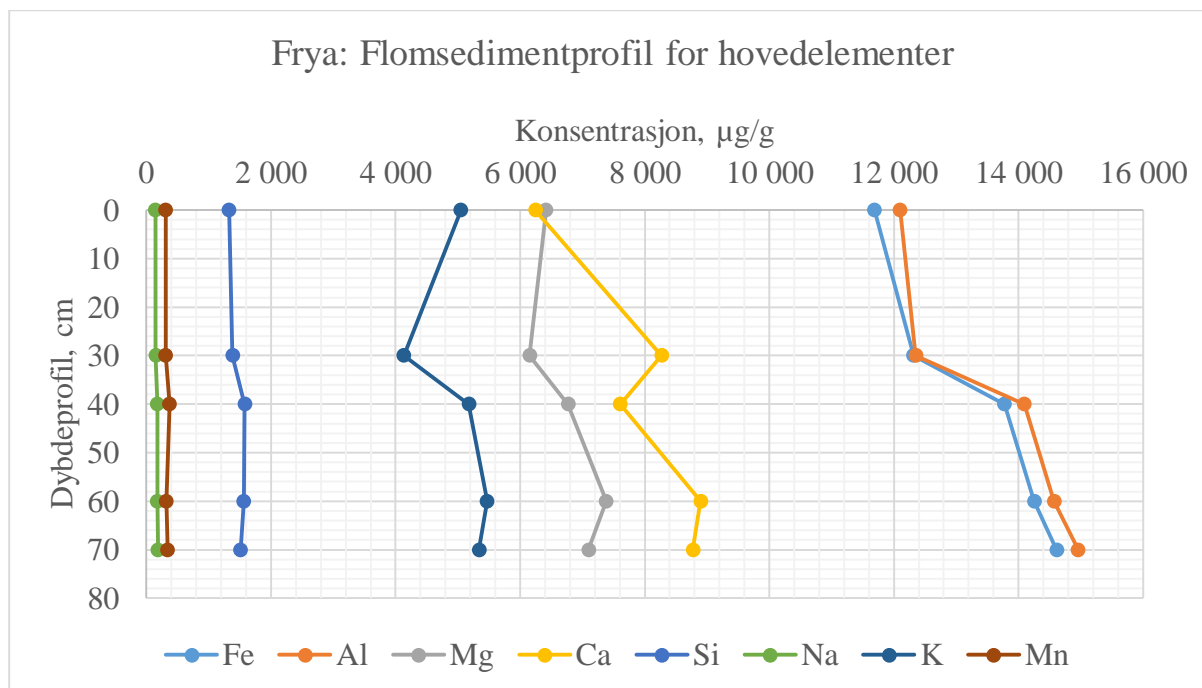
Da sporelementene ikke viser en stor økning i konsentrasjon hverken oppover eller nedover i profilen, med unntak av en brå økning i konsentrasjon ved 80 cm for Ni og Cd, er det tvilsomt at det er atmosfærisk avsetning som er hovedkilden. Dette tyder i stedet på at disse elementene kommer fra aktive sedimentkilder avsatt ved flom (Bogen & Ottesen, 2008). Det registreres heller ingen synlig forskjell i partikkelstørrelse mellom de ulike prøvene ved Hundorp (se Figur E.2 i Vedlegg E), som støtter opp under resultatene for sporelementene i Tabell 5.1.2. Sammenhengen mellom partikkelstørrelse og konsentrasjon av sporelementer har blitt utdypet i avsnitt 5.1.1.

De høye verdiene av Mn, Ni og Cd ved 80 cm dybde kan komme av at disse elementene har migrert fra overliggende lag. Dette kan ha skjedd for eksempel ved kompleksering med ulike løste ligander eller oppløsning av metallutfellinger (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004). En annen mulighet er at det i den perioden disse sedimentene ble avsatt var aktive sedimentkilder som inneholdt en del av disse elementene, og som ikke lenger er åpne eller har et markant bidrag til nyere sedimentlag, altså kan dette være et naturlig karaktertrekk til sedimentene. En siste mulighet som må tas i betraktning er at disse verdiene også kan være et resultat av kontaminering. Likevel er kontaminering lite sannsynlig da disse elementene viser sterk korrelasjon med hverandre, jf. Tabell H.2, Vedlegg H.

5.1.3 Prøvepunktet Frya

Figur 5.1.3 viser konsentrasjonen til hovedelementene nedover i profilen ved Frya. Fe og Al dominerer samtidig som de også viser en relativt lik trend i profilen. Elementene Mg og K viser også en forholdvis lik tendens seg imellom. Det samme gjør Si, Mn og Na. Disse elementene viser i tillegg de laveste konsentrasjonene. Mn og Na har en relativt lik konsentrasjon og denne varierer lite nedover i profilen.

Tabell 5.1.3 viser profilen tatt ved Frya og de tilhørende konsentrasjonene av de utvalgte sporelementene. De laveste konsentrasjonene finnes ved 0 cm for de fleste elementene, med unntak av for Zn, Ni og Cd. Konsentrasjonen av disse elementene i dette laget er likevel nær minstekonsentrasjon, som ble funnet ved 30 cm dybde. Konsentrasjonen til de ulike sporelementene varierer generelt lite nedover i profilen.



Figur 5.1.3: Frya: Flomsedimentprofil for hovedelementer

Tabell 5.1.3: Frya: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	385	64,9	595	19,8	20,8	4,36	13,6	7,45	0,0575	6,83	0,791
30 cm	592	91,2	677	23,3	19,5	4,60	16,8	7,09	0,0529	8,23	0,886
40 cm	523	91,1	773	26,0	23,7	6,05	18,2	9,23	0,0641	9,08	1,06
60 cm	592	151	780	25,9	23,6	5,70	18,6	8,66	0,0681	8,86	1,13
70 cm	602	138	751	27,1	23,8	6,61	20,3	9,18	0,0649	10,6	1,11

Profilen fra Frya (Figur 5.1.3) viser en del av de samme trendene som profilene ved Sel (Figur 5.1.1) og Hundorp (Figur 5.1.2), men har et noe lavere innhold av spesielt Fe, Al, Mg og Ca. De ulike lagene i profilen inneholder mest Al, i motsetning til Sel og Hundorp hvor Fe viser de høyeste konsentrasjonene. Profilen viser også liten forskjell i konsentrasjon mellom Fe og Al,

mens det observeres en større spredning i de to andre prøvepunktene. Mest sannsynlig er dette på grunn av ulike sedimentkilder som har bidratt ved de ulike prøvepunktene, men at sammensetningen hovedsakelig er den samme som følge av at det er den samme bergarten som dominerer. I motsetning til Sel og Hundorp, finnes bergarten kvartsitt ved Frya, men denne er i hovedsak bygd opp av de samme elementene som sandstein, jf. Tabell 2.2.1. Ulik grad av bidrag fra ulike sedimentkilder kan også forklare trenden til de andre hovedelementene. Fe og Al korrelerer også sterkt i denne profilen, jf. Tabell H.3 i Vedlegg H. Det samme gjør elementene Mg og K, og Si, Mn og Na, som også vises antydninger til i Figur 5.1.3.

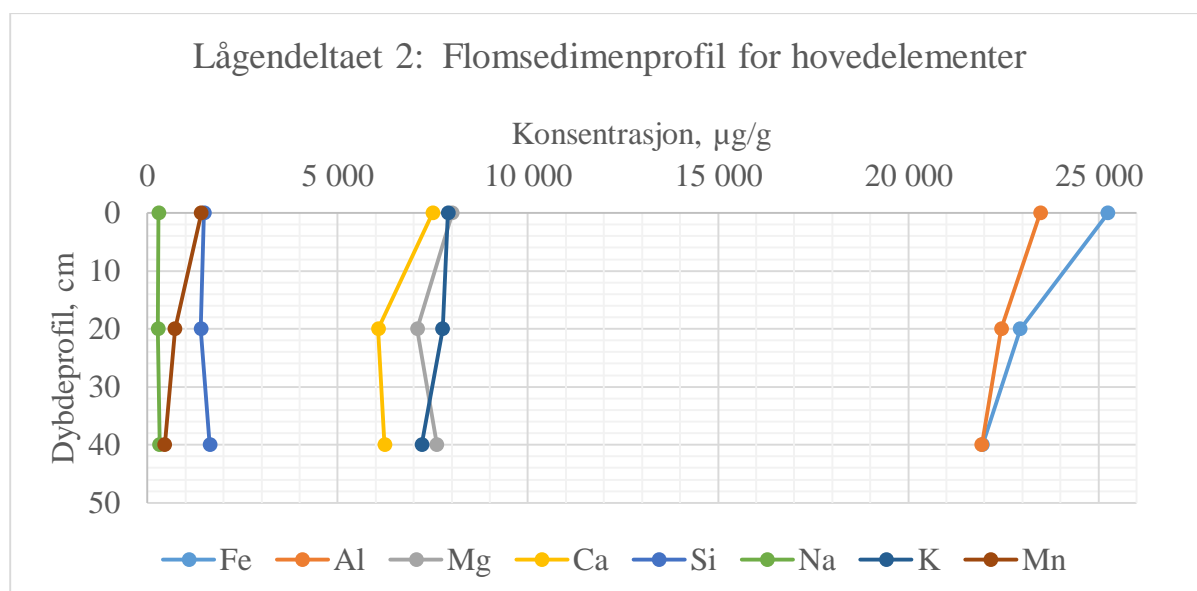
Tabell 5.1.3 fra prøvepunktet Frya viser en større konsentrasjon av sporelementer i forhold til hovedelementer i Figur 5.1.3 fra samme prøvepunkt, sammenlignet med de to andre prøvepunktene Sel og Hundorp (avsnitt 5.1.1 og 5.1.2). Tabell 5.1.3 viser i tillegg at de laveste konsentrasjonene ble funnet i de øverste lagene, men med liten variasjon nedover i profilen. Dette støttes også av at det ikke observeres en markant forskjell i partikkelstørrelse ved prøvepunktet Frya, jf. Figur E.3 i Vedlegg E, som potensielt kunne påvirket konsentrasjonen av sporelementene med en økning i konsentrasjon ved redusert partikkelstørrelse (de Groot et al., 1982). Disse resultatene antyder liten grad av antropogen påvirkning, og at hovedkilden til disse elementene mest sannsynlig er berggrunnen. Prøvepunktet Frya er lokalisert i et område beskyttet av en del trær og ligger et stykke unna bebyggelse, industri og trafikkerte veier, som også kan forklare disse funnene. Atmosfærisk avsetning er likevel en mulighet, men resultatene viser ingen tydelig antydning til dette.

Profilene ved Sel og Hundorp (avsnitt 5.1.1 og 5.1.2) viste antydning til assosiasjon mellom elementene Zn, Cu, Cr og Ni og Al og Fe. Ut i fra korrelasjonstabell (Tabell H.3) i Vedlegg H, kan det se ut som om dette stemmer også her, selv om det er mindre tydelig ut i fra sammenligningen av sporelementene i Tabell 5.1.3 og hovedelementene i Figur 5.1.3 for prøvepunktet Frya. Dette er, som tidligere belyst, ikke overraskende da disse sporelementene ofte opptrer sammen med spesielt Fe (Ottesen et al., 2000).

5.1.4 Prøvepunktet Lågendeltaet 2

Figur 5.1.4 viser konsentrasjonen av hovedelementene til flomsedimentprofilen fra Lågendeltaet 2. Fe og Al har de høyeste konsentrasjonene, mens de laveste konsentrasjonene observeres for Si, Mn og Na. Mg og Ca viser en lignende trend seg imellom nedover i profilen. Det samme kan det se ut som det gjør for elementene Na og Si.

Tabell 5.4.3 viser profilen for sporelementene ved prøvepunktet Lågendeltaet 2. I denne profilen avtar konsentrasjonen av samtlige elementer nedover i profilen. Høyeste konsentrasjon finnes i det øverste laget for alle elementer, mens laveste konsentrasjon ble funnet ved det dypeste sedimentlaget.



Figur 5.1.4: Lågendeltaet 2: Flomsedimentprofil for hovedelementer

Tabell 5.1.4: Lågendeltaet 2: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	679	395	723	52,8	54,8	18,6	44,1	28,5	0,246	12,3	4,61
20 cm	595	211	653	48,5	48,7	14,3	37,1	22,5	0,130	10,2	3,66
40 cm	558	114	614	48,1	45,6	10,0	35,7	21,4	0,090	8,2	2,09

Figur 5.1.4 viser at Fe og Al utgjør en større andel av hovedelementene ved Lågendeltaet 2 enn de gjør i de andre profilene fra Sel, Hundorp og Frya (5.1.1, 5.1.2 og 5.1.3). Dette gjelder også for K. Det observeres også en lignende tendens for Fe og Al som i de andre profilene. En forskjell i denne profilen sammenlignet med de andre prøvepunktene, er at her øker

konsentrasjonen av først og fremst Fe og Al oppover i profilen. Disse elementene korrelerer sterkt med hverandre også i denne profilen, jf. korrelasjonstabell (Tabell H.4) i Vedlegg H. Prøvepunktet Lågendeltaet 2 ligger i området hvor elva Gausa renner ut i Gudbrandsdalslågen, så en mulig forklaring kan være at Gausa har bidratt med sedimenttransport av partikler som inneholder en større andel Fe og Al enn det kildene langs Gudbrandsdalslågen består av.

Samtlige sporelementer i profilen fra Lågendeltaet 2 viser en avtagende konsentrasjon nedover i profilen (Tabell 5.1.4), den samme trenden som vises for Fe og Al i Figur 5.1.4. Dette støttes også av korrelasjonstabell (Tabell H.4) i Vedlegg H. En forklaring på denne økningen i konsentrasjon oppover i profilen for sporelementene kan være antropogen forurensning. Da disse elementene viser en trend i profilen som tilsvarende tendensen til Fe og Al i Figur 5.1.4, så kan dette forklares med at disse elementene ofte er assosiert til disse partiklene. Dette støttes blant annet av Rognerud et al. (2000) som påpeker en positiv assosiasjon mellom Al og Fe og Cr, Cu, Ni og Zn. Da det kan tyde på at det eksisterer en slik positiv assosiasjon kan dette være en indikasjon på at disse elementene ikke er et resultat av atmosfærisk avsetning, men heller at disse elementene har blitt transportert og avsatt ved flom fra sedimentkilder lenger opp langs elva (Bogen & Ottesen, 2008). Ved inspeksjon av prøvene fra Lågendeltaet 2 (Figur E.4, Vedlegg E) observeres det ikke en tydelig forskjell i partikkelstørrelse som, i følge de Groot et al. (1982), kunne vært en forklaring på økningen i konsentrasjon oppover i profilen.

Det er vanskelig å fastslå om tendensen som observeres fortsetter nedover i profilen da dypeste prøvepunkt ved Lågendeltaet 2 ble tatt ved 40 cm ned i profilen, i motsetning til de andre prøvepunktene som viser prøver fra flere og dypere lag.

Det observeres mange sterke korrelasjoner i denne profilen, jf. Tabell H.4 i Vedlegg H, men det er i dette prøvepunktet kun tatt tre prøver ned i profilen. Det er altså knyttet noe større usikkerhet til disse sammenhengene sammenlignet med korrelasjonstabellene for de andre profilene i Vedlegg H.

5.1.5 Oppsummering

I dette avsnittet gis det en oppsummering av funnene fra de utvalgte profilene fra Sel, Hundorp, Frya og Lågendeltaet 2 (5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 og 5.1.4).

For hovedelementene viser samtlige figurer, inkludert de i Vedlegg A, en del av det samme, nemlig at Al og Fe viser de høyeste konsentrasjonene nedover i profilen. Disse elementene korrelerer også sterkt med hverandre i de ulike profilene, jf. Vedlegg H. Na, og i de fleste tilfeller Mn, viser de laveste konsentrasjonene, ofte med liten variasjon nedover i profilen. Elementene Mg, Ca og K har en tendens til å gruppere seg imellom Al/Fe og Si/Mn/Na, med noen unntak, spesielt for K. Konsentrasjonen til hovedelementene varierer ofte nedover i profilen og mellom de ulike prøvepunktene. Det varierer også mellom prøvepunktene om konsentrasjonen øker eller avtar nedover i profilen. Det samme gjelder for sporelementene, både i de utvalgte profilene Sel, Hundorp, Frya og Lågendeltaet 2, og prøvepunktene i Vedlegg B. Da profilene ofte viser varierende konsentrasjoner nedover i profilene for både hovedelementer og sporelementer tyder dette på at disse vertikale trendene hovedsakelig er et resultat av endring i sedimentkilder og ikke av atmosfærisk avsetning (Bogen & Ottesen, 2008).

Under dekomponering ble det observert at ikke hele prøven ble dekomponert, mest sannsynlig silikater da HNO_3 ikke klarer å bryte disse fullstendig ned, jf. avsnitt 3.1.1. Dette betyr at en del av elementene i virkeligheten har høyere verdier enn det resultatene viser. Dette ville nok gitt størst utslag for Si som er en hovedbestanddel i silikater, men også eventuelt elementer som er sterkt bundet til disse partiklene. Ofte er det de større partiklene som består av silikater, og som dermed kan gjøre dekomponeringen mer utfordrende. Disse partiklene vil også mest sannsynlig bestå av ikke-reaktive silikatmineraler (Miller & Orbock Miller, 2007b).

I forbindelse med utarbeidelsen av *Geokjemisk atlas for Norge* av Ottesen R.T, Bogen J., Bølviken, B., Volden, T. og Haugland, T. (2000) ble det samlet prøver av flomsedimenter for å finne deres geokjemiske sammensetning. Arbeidet ble utført i perioden 1984-85. I dette arbeidet ble blant annet den prosentvise sammensetningen av mineralene bestemt ved bruk av XRF. Det ble tatt en sammenblandet prøve ved 10 cm dybde med en spade (Finne, T.E. ved Norges geologiske undersøkelse, excel-fil, 2015). Kart over de aktuelle prøvepunktene (Figur I.1) og sammensetningen av mineralene (Tabell I.1) er gitt i Vedlegg I. Her observeres det at SiO_2 i gjennomsnitt utgjør omtrent 70 % av mineralsammensetningen i det aktuelle prøveområdet,

mens aluminiumoksid (Al_2O_3) og jern(III)oksid (Fe_2O_3) utgjør henholdsvis omtrent 13 % og 7 %. Basert på dette, ville Si forventes å eksistere i en del høyere verdier enn Fe og Al enn det resultatene fra analysene viser som følge av ufullstendig dekomponering.

Ved prøvepunktene Sel, Hundorp og Frya (5.1.1, 5.1.2 og 5.1.3) ble det tatt prøver ved henholdsvis 70 cm, 80 cm og 70 cm dybde. Basert på teorien i avsnitt 2.4.2, om at sedimentlag dannet ved ulike flommer som regel ikke er mer enn noen cm tykke, kanskje mindre, kan det antas at konsentrasjonen ved disse dybdene mest sannsynlig viser bakgrunnsnivåene ved de aktuelle punktene. Denne påstanden ville blitt forsterket dersom det hadde vært utført en form for isotopdatering, eventuelt tatt prøver enda lengre ned i avsetningen for å se om konsentrasjonene stabiliserer seg. Et annet punkt er at desto dypere ned i profilen prøvene tas, jo større sjanse er det at disse flomsedimentene er påvirket av grunnvann. Ottesen et al. (1989) påpeker viktigheten av å ta prøver over grunnvannsspeilet da grunnvannet kan påvirke bakgrunnsnivåene ved å bidra med antropogene forurensninger. Dette kan gi et urealistisk bilde på det naturlige innholdet av ulike elementer. I denne oppgaven er det lite sannsynlig at dette er tilfellet da observasjoner i felt ikke ga noen indikasjon på at prøvene ble tatt under grunnvannsspeilet.

Konsentrasjonen til sporelementene har en tendens til å følge trenden til Al og Fe ved de ulike prøvepunktene. Ut i fra observasjonene fra de ulike profilene og korrelasjonstabellene i Vedlegg H kan det se ut som sporelementene generelt følger trenden til de partikkeltypene de ofte er adsorbent til, for eksempel reaktive forbindelser som Fe-hydroksider, som beskrevet i avsnitt 2.5. Det kan tenkes at en mulig antropogen forurensning av spesielt sporelementer ville gitt utslag med en endring i trenden for disse sammenlignet med hovedelementene, spesielt Fe, Al og i noen grad Si. Dette kan støttes av Bogen and Ottesen (2008) som definerer en tendens i det vertikale distribusjonsmønsteret ved en økning i tungmetallkonsentrasjon oppover i profilen, men ingen endring i partikkelstørrelse eller litologi, som er et tegn på atmosfærisk avsetning. En eventuell tendens for Si ville nok blitt observert lettere dersom en annen dekomponeringsmetode hadde blitt benyttet.

De ulike prøvepunktene viser litt ulike trender for sporelementene. Dette vises også i Vedlegg H da de ulike sporelementene korrelerer noe forskjellig i de ulike utvalgte prøvepunktene, spesielt skiller profilen fra Hundorp seg ut. For eksempel viser verdiene av Ni og Cd ved 80 cm dybde ved Hundorp en del høyere konsentrasjoner enn de overliggende lagene (se avsnitt 5.1.2).

Det er lite sannsynlig at dette er de naturlige bakgrunnsnivåene da dette gjelder kun for noen elementer og bare akkurat ved dette prøvepunktet. En mulig forklaring er vertikal migrasjon. Swennen & Van Der Sluys (1998) trekker fram observasjoner på et slikt fenomen for mobile elementer som Cd. Det kan tenkes at Ni også har migrert, selv om det ikke finnes noen tidligere forskning på at dette er vanlig. En annen mulighet er at disse forhøyede verdiene kommer fra gravemaskinen som gravde grøfta profilen ble hentet fra, men da ville det vært forventet høyere verdier gjennom hele profilen. Eventuell kontaminering ved prøvetaking og prøvebeholdere må også vurderes som en mulig forklaring. Kontaminering er likevel lite sannsynlig da samme prosedyren ble benyttet på alle prøver og de forhøyede verdiene observeres for noen elementer og kun ved dette prøvepunktet. Fjernes disse outlierne i denne profilen observeres en økning i korrelasjon (Tabell H.2 i Vedlegg H).

Sporelementene varierer generelt lite i konsentrasjon mellom de ulike prøvepunktene, med enkelte unntak. I tillegg til sporelementer som Cr, Cu, Ni og Zn, vil elementer som V og Ti ofte opptre sammen med Fe, og dette kan forklare trenden disse viser i profilene, samt korrelasjonene i Vedlegg H (Ottesen et al., 2000). Verdiene som vises for Ti kan forklares med at Ti vil finnes som titandioksid (TiO_2) i tilnærmet 1 % i gjennomsnitt for de ulikeprøveområdene, jf. Tabell I.1 i Vedlegg I.

Ved de aller fleste prøvepunktene observertes det ikke en tydelig forskjell i partikkelstørrelse ved visuell inspeksjon, med unntak av prøvepunktene Fåvang og Sel, jf. Vedlegg E. Ved Fåvang (Figur E.5) observeres det en større partikkelstørrelse for den midterste prøven. I Vedlegg A vises det en lavere konsentrasjon av Fe og Al i den samme prøven ved prøvepunktet Fåvang (Figur A.3). I tillegg vises det i Vedlegg B en lavere sporelementkonsentrasjon i dette laget ved Fåvang, med unntak av for Cr og Pb, som viser en økning oppover profilen (se Tabell B.3). En mulig forklaring på dette kan blant annet være bidrag fra vei og trafikk da prøvepunktet er lokalisert nær hovedveien E6. Dette er utdypet i avsnitt 5.4.2. Ved prøvepunktet Sel var det en tydelig forskjell i partikkelstørrelse gjennom profilen, hvor de tre nederste lagene bestod av finere partikler enn de tre øverste (se Figur E.1 i Vedlegg E). Ved Sel (avsnitt 5.1.1) ble det observert en lignende tendens mellom Fe- og Al-konsentrasjon og sporelementkonsentrasjon, med en økning nedover i profilen. Ved disse to prøvepunktene kan det ses en sammenheng mellom partikkelstørrelse, Al- og Fe-innhold og sporelementkonsentrasjon som støttes av teori basert på de Groot et al. (1982) og Rognerud et al. (2000), altså at de mindre partiklene inneholder høyere verdier av sporelementer, Fe og Al.

I de andre tilfellene, hvor en forskjell i partikkelstørrelse ikke ble registrert, vises litt ulike trender for hovedelementer og sporelementer. I noen tilfeller observeres det en lignende trend for innhold av Fe og Al og sporelementkonsentrasjon. Da partikkelstørrelse ikke nødvendigvis forklarer forskjellene i konsentrasjon av sporelementer i enkelte profiler, kan det tenkes at prøvene som viser høyere innhold av sporelementer inneholder en større andel reaktive forbindelser som organisk materiale eller Fe- og Mn-hydroksider (Miller & Orbock Miller, 2007b). Det observeres også tilfeller hvor de enkelte sporelementer ikke viser en lignende tendens som Fe eller Al. Dette kan for eksempel forklares med atmosfærisk avsetning (Bogen & Ottesen, 2008).

Siden det observeres litt ulike tendenser ved de ulike prøvepunktene kan det virke som om ikke alle prøvepunkt, spesielt de som viser konsentrasjoner av sporelementer som ikke tydelig kan knyttes til partikkelstørrelse eller Fe- og Al-innhold, er like egnede for å få en representativ forurensningshistorie. Tilfellene hvor sporelementene viser en økning i konsentrasjon nedover profilen er av spesiell interesse det da kan stilles spørsmål ved om dette representerer de naturlige bakgrunnsnivåene. Det kan tenkes at enkelte prøvepunkt kan være ekstra utsatt for naturlig eller menneskelig påvirkning, for eksempel i form av omrøring. Dette støttes blant annet av Bogen et al. (1992). Ulike kjemiske forhold og prosesser vil også kunne ha noe å si for de resulterende profilene da sekundære prosesser kan føre til kjemisk remobilisering av elementer som følge av for eksempel oppløsning av metallutfellinger eller endringer i overflateegenskapene til partiklene (utdypet i avsnitt 2.8). Noen profiler viser indikasjon på dette ved vertikal migrasjon av enkelte elementer.

Usikkerheter ved prøvetaking, dekomponering og analyse må også tas i betraktning ved vurdering av disse resultatene. De analyserte prøvene bør være så representative som mulig og kontaminering og tap av prøve bør unngås (Standard Norge, 2002). For å forhindre dette ble spaden ble skylt med litt elvevann og/eller sedimenter fra det nye aktuelle prøvepunktet mellom hver prøvetaking for å redusere sjansen for kontaminering. Prøvene ble også oppbevart i lynlåsposer. Ved tørking i tørkeskap ble en temperatur på 36 °C benyttet da en høyere temperatur kan gi økt fordampning av eventuelle flyktige forbindelser som Hg (de Groot et al., 1982). Det er også fare for tap av flyktige forbindelser ved frysetørking da det påførte trykket gjør at prøvene kokes (de Groot et al., 1982; Mudroch & MacKnight, 1994). I denne oppgaven det liten sannsynlighet for at dette har påvirket resultatene signifikant.

Bruk av spatel og lignende ved innveiling av prøve i teflonrør be unngått da dette kan bidra med ulike elementer som kan påvirke resultatet. I tillegg ble de benyttede teflonrørene under dekomponering først skylt med MQ-vann to ganger og ristet tørre før innveiling for å sørge for at rørene var helt rene og ikke inneholdt elementer som kunne virke inn på hverken vekt eller resultat. Tilsvarende ble rørene som ble benyttet til oppbevaring av de fortynnede prøvene før HR-ICP-MS analyse skylt først en gang med den fortynnede prøven for å unngå kontaminering i dette steget. De benyttede teflonrørene i dekomponeringen ble banket forsiktig på toppen etter dekomponering i UltraCLAVE og før fortynning, slik at eventuell kondens av syre, som muligens kan inneholde elementer, falt ned i rørene. Dette ble gjort for å unngå tap av prøve. Teflonrørene ble i tillegg skylt to ganger ved fortynning for å sikre at all prøve ble overført. I tillegg kan eventuelle feil ved veiling og fortynning påvirke resultatet. Avvik her ble notert, men det er fortsatt muligheter for unøyaktigheter. En usikkerhet vil også være om prøven var homogen og dermed om resultatet er representativt for hele prøven og flomsedimentene da kun en liten del ble analysert.

5.2 Elvediment

Tabell 5.2.1 viser konsentrasjonen av hovedelementene i de ulike elvedimentprøvene. Prøvepunktet Øyer viser de høyeste konsentrasjonene av nesten alle hovedelementene, med unntak av Ca og Si. Vinstra har de laveste konsentrasjonene, med unntak av elementene Ca, Si og Na. Ved prøvepunktet Øyer observeres en god del høyere konsentrasjon av Mn enn de andre prøvepunktene. Det ble utført t-test på denne verdien og den ble funnet til å være 2,39, og er dermed definert til å være en outlier med 95 % konfidensintervall (Grubbs, 1969). Tabell 5.2.1 viser også gjennomsnittsverdien og standardavviket til de ulike hovedelementene. Verdien til outlieren er inkludert i standardavviket.

Tabell 5.2.2 viser konsentrasjonen av de ulike sporelementene ved prøvepunktene. Tabellen inneholder også gjennomsnittskonsentrasjonene og standardavviket for de ulike elementene. Prøvepunktet Øyer har de høyeste konsentrasjonene av samtlige elementer. Det ble også utført t-test på verdien av Cu ved prøvepunktet Øyer. T-testverdien ble funnet til å være 2,42 og med 95 % konfidensintervall er dette en outlier (Grubbs, 1969).

Tabell 5.2.1: Konsentrasjon av hovedelementer i elvesedimentprøver

Prøvepunkt	Fe (µg/g)	Al (µg/g)	Mg (µg/g)	Ca (µg/g)	Si (µg/g)	Na (µg/g)	K (µg/g)	Mn (µg/g)
Sel	17 000	15 900	9 250	6 910	1 590	367	3 090	300
Vinstra	10 700	9 120	4 060	5 050	1 270	283	1 890	263
Frya	14 300	13 600	6 350	5 840	1 330	196	4 960	306
Ringebu	22 100	18 200	8 230	10 200	1 680	505	4 720	587
Fåvang	19 400	18 300	5 730	3 780	1 230	199	8 100	644
Øyer	38 000	33 400	13 200	9 160	1 740	875	9 700	2 320
Lågendeltaet	21 900	20 100	6 920	6 250	1 690	330	5 940	442
Fåberg kirke	23 700	21 800	7 170	8 680	1 800	336	6 820	730
Gjennomsnitt	20 900	18 800	7 620	6 990	1 540	386	5 650	699
Standardavvik	8 180	7 100	2 750	2 200	229	221	2 560	677
RSD (%)	39,2	37,8	36,1	31,5	14,9	57,2	45,3	96,9
t-test								2,39

Tabell 5.2.2: Konsentrasjoner av utvalgte sporelementer i elvesedimenter

Prøvepunkt	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Sel	180	27,1	706	38,1	34,4	6,46	71,0	28,7	0,0517	4,80	0,405
Vinstra	285	35,9	426	20,5	22,1	6,86	18,9	13,1	0,0414	4,17	0,459
Frya	382	175	634	25,7	24,0	3,90	18,6	9,42	0,0508	6,04	0,850
Ringebu	689	193	1 050	49,1	37,9	16,7	47,6	21,7	0,0933	8,82	0,984
Fåvang	574	263	684	27,1	39,7	11,0	20,6	11,4	0,105	9,09	2,15
Øyer	999	321	1 410	83,6	76,8	64,7	73,3	42,5	0,170	13,0	3,24
Lågendeltaet	469	165	592	44,3	39,6	10,6	36,5	20,1	0,0586	6,87	2,01
Fåberg kirke	736	269	919	56,6	48,0	12,9	43,6	20,9	0,124	10,7	2,80
Gjennomsnitt	539	181	803	43,1	40,3	16,7	41,3	21,0	0,0868	7,94	1,61
Standardavvik	267	107	312	20,6	17,1	19,8	22,1	10,8	0,0448	3,04	1,09
RSD (%)	49,5	59,1	38,9	47,8	42,4	118,6	53,5	51,4	51,6	38,3	67,7
t-test						2,42					

Ut i fra Tabell 5.2.1 observeres det at sedimentene inneholder mest Al og Fe. Det kan antas at innholdet av Si er en god del høyere enn det tabellen viser på grunn av ufullstendig dekomponering av silikatene, som diskutert tidligere (avsnitt 5.1.5). Hvis det tas utgangspunkt i dette, kan det se ut som at innholdet i sedimentene hovedsakelig kommer fra avsetning av sedimenter dannet fra forvitring og erosjon av lokal berggrunn, og transport og avsetning av

disse sedimentene langs elva (Miller & Orbock Miller, 2007a). Unntaket er prøvepunktet Øyer som viser et høyere innhold av Mn enn de andre prøvepunktene. Dette kan tyde på en aktiv lokal forurensningskilde. Denne påstanden styrkes av at det i flomsedimentprofilen for dette prøvepunktet, vist i Figur A.5 (Vedlegg A), ikke observeres høye verdier av Mn. Det vil si at Mn kan være et resultat av bidrag fra noe annet enn berggrunnen. En annen mulighet er at en ny sedimentkilde er åpnet opp siden prøvepunktet Øyer også viser de høyeste verdiene for de aller fleste av de andre elementene. Sammensetningen til de ulike flomsedimentlagene vil variere noe på grunn av at den vil være et resultat av flere ulike faktorer, for eksempel flommens størrelse (beskrevet i avsnitt 2.4.2). Miller and Orbock Miller (2007a) påpeker en korrelasjon mellom avtagende vannføring og økt metallkonsentrasjon, som også kan være en mulig forklaring. Det kan likevel ikke konkluderes med dette i denne oppgaven på grunn av mangel på observasjoner og data som kan støtte dette.

Tabell 5.2.1 viser også en del variasjon i konsentrasjon av metaller nedover Gudbrandsdalslågen. Elva vil bidra til forvitring og erosjon langs hele dalen og partiklene som dannes vil etter hvert avsettes både ved normal vannføring og flom (Miller & Orbock Miller, 2007a). På bakgrunn av dette er det forventet av de ulike prøvepunktene vil ha bidrag fra ulike lokale kilder lokalisert et stykke oppover elva og dermed gi noe variasjon i konsentrasjon ved de ulike prøvepunktene (Bölviken et al., 1996). Dette kan forklare mye av det Tabell 5.2.2 viser, det vil si variasjon i konsentrasjon for sporelementene ved de ulike prøvepunktene.

Ved inspeksjon av de ulike elvesedimentprøvene observeres det en forskjell i partikkelstørrelse mellom enkelte prøvepunkt, se Vedlegg G. Prøvene tatt ved Ringebu og Øyer viser en tydelig mindre partikkelstørrelse enn de andre prøvene. I Tabell 5.2.1 viser Øyer, som nevnt, en høyere konsentrasjon av samtlige elementer. Spesielt Al, som påpekt flere ganger tidligere, er ofte positivt assosiert med finere partikler i følge Rognerud et al. (2000), og partikkelstørrelse kan dermed være en forklaring på konsentrasjonen av Al som vises ved Øyer. Basert på teori av de Groot et al. (1982) er finere partikler er også knyttet til høyere tungmetallkonsentrasjoner, og dette kan forklare de høye konsentrasjonene ved prøvepunktet Øyer i Tabell 5.2.2. Prøvepunktet Ringebu viser også høyere konsentrasjoner for enkelte elementer enn de andre prøvepunktene.

Selv om det ble tatt forholdsregler for å unngå kontaminering og tap av prøve, som diskutert i avsnitt 5.1.5, er det likevel en mulighet for at resultatene ikke er helt representative. I tillegg er det viktig å påpeke at det kun er analysert en liten del av de innhentede elvesedimentene. Det

er vanskelig å si om prøvene er homogene og dermed om resultatet er representativt for hele prøven. En usikkerhet er også at det kun ble samlet én prøve av elvedementene ved hvert prøvepunkt. Prøvene ble også samlet nær elvebredden. Det er derfor uvisst om den sammensetningen som ble funnet her gjelder for hele det gitte prøvepunktet. Sammensetningen til elvedementene vil mest sannsynligvis variere noe fra elvebredden til midt i elva.

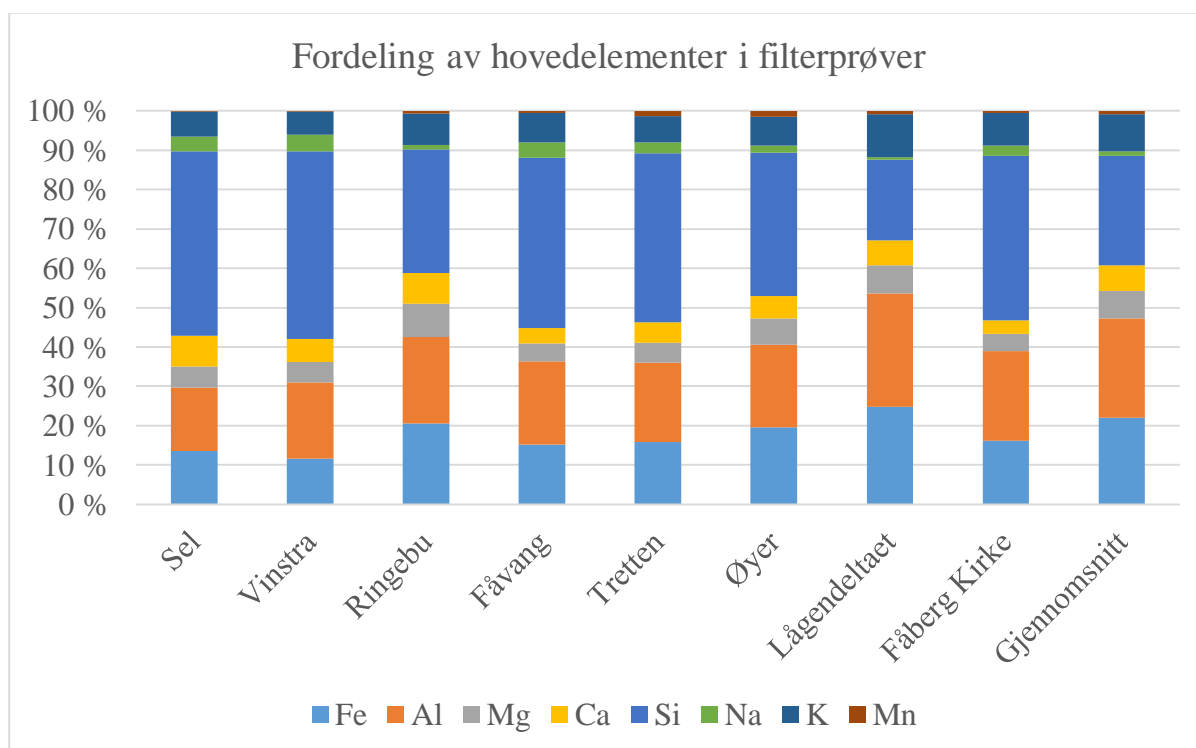
5.3 Filter

Resultatet av hovedelementene for filterprøvene tatt ved de ulike prøvepunktene er presentert i denne delen. Resultatene er gitt i prosent i stedet for konsentrasjon, da det under dekomponering av prøvene ikke var mulig å få analysert hele filteret. Konsentrasjonene av elementene er derfor ikke sammenlignbare i seg selv, men den prosentvise sammensetningen kan fortsatt benyttes. Som følge av dette er det ikke presentert resultater for sporelementene da det ikke er noen hensikt i å se på prosentvis sammensetning i dette tilfellet.

Tabell 5.3.1 viser prosentinnholdet av hovedelementene i filterprøvene ved de ulike prøvepunktene, samt gjennomsnittet. Det observeres at det er Si som utgjør hovedandelen av hovedelementene, med unntak av prøven fra Lågendeltaet. Si utgjør opptil 47,7 % av hovedelementinnholdet, og denne verdien er registrert i prøven fra Vinstra. I prøven fra Lågendeltaet utgjør Si 20,6 %. Det er den laveste andelen av Si i de ulike prøvene. Her utgjør Al den største andelen av prøven med 28,8%, etterfulgt av Fe med 24,8 %. Mn viser det laveste prosentinnholdet i alle prøvene (0,2-1,4 %), unntatt i prøven fra Lågendeltaet hvor Na utgjør den laveste andelen (0,6 %). Utenom Si inneholder filterprøvene en del Fe og Al. Andelen Fe ligger mellom 11,6-24,8 %, mens Al har en andel mellom 16,1-28,8 %. Figur 5.3.1 viser det samme som tabellen, illustrert med stolpediagram. Figur 5.3.1, sammen med Tabell 5.3.1, indikerer at det er noe variasjon i sammensetning mellom de ulike filterne, det vil si mellom de ulike prøvepunktene.

Tabell 5.3.1: Prosentinnhold av hovedelementer i filterprøver

Prøvepunkt	Fe (%)	Al (%)	Mg (%)	Ca (%)	Si (%)	Na (%)	K (%)	Mn (%)
Sel	13,5	16,1	5,3	7,8	47,0	3,7	6,3	0,2
Vinstra	11,6	19,3	5,2	5,8	47,7	4,3	5,8	0,3
Ringebu	20,5	22,1	8,4	7,9	31,3	1,2	8,0	0,6
Fåvang	15,2	21,1	4,5	3,9	43,3	3,9	7,5	0,5
Tretten	15,8	20,3	5,0	5,3	42,9	2,8	6,7	1,3
Øyer	19,5	21,0	6,8	5,6	36,4	1,8	7,4	1,4
Lågendeltaet	24,8	28,8	7,1	6,4	20,6	0,6	11,0	0,8
Fåberg Kirke	16,2	22,7	4,5	3,4	41,8	2,6	8,3	0,5
Gjennomsnitt	22,0	25,2	7,1	6,4	27,9	1,2	9,4	0,8



Figur 5.3.1: Fordeling av hovedelementer i filterprøver

Tabell 5.3.1 og Figur 5.3.1 viser at det er Si, Al og Fe som utgjør hovedandelen av elementene i samtlige prøver. Siden partiklene i elva hovedsakelig er et resultat av forvitring og erosjon av berggrunn og omrøring av partikler på elvebunnen er det ikke uventet at filterprøvene vil reflektere dette. Det observeres også at sammensetningen varierer noe mellom prøvepunktene. Dette kan tolkes som at det er ulike lokale kilder som har bidratt med partikler og sedimenter med noe ulik sammensetning, som beskrevet av blant annet Bølviken et al. (1996).

Da filteret som ble benyttet hadde en porestørrelse på 0,45 μm og filteråpningen vannet ble sprøytet gjennom er omtrent 1 mm (= 1000 μm) vil de analyserte partiklene ligge i dette størrelsesområdet. Det er vanskelig å si om sammensetningen til elementene ville endret seg dersom et større eller annerledes spekter av partikkelstørrelser hadde blitt analysert.

Et annet moment som må tas i betraktning er at ikke hele filteret for enkelte prøvepunktet ble analysert. I utgangspunktet burde den prosentvise sammensetningen være lik, men dette vil likevel være noe uvisst. Et annet punkt er også at filteret i seg selv ble dekomponert og analysert og dermed vil kunne påvirke resultatet. Det ble dekomponert tre blanke filter for å finne den opprinnelige sammensetningen til filterne som så ble trukket fra de analyserte prøvene. Det vil her være stor usikkerhet knyttet til resultatet av de prøvene hvor ikke hele filteret ble analysert. For å unngå kontaminering av prøvene ved ekstraksjon av filterne fra beholderne ble disse knust mens de lå inne i lynlåsposer. Det ble også benyttet pinsett av plast for å hindre tilførsel av metaller til filteret.

5.4 Fordeling i flomsediment, elvesediment og filter

I dette avsnittet vises fordelingen i prosent av de ulike hovedelementene i flomsedimentprofilene, sammen med elvesedimentprøvene og filterprøvene. Det presenteres også tabeller som viser konsentrasjonen til sporelementene ved tilhørende prøvepunkt. Det ble ikke tatt elvesedimentprøver og filterprøver for alle de ti prøvepunktene. Figurer for hovedelementene i prøvepunktene Sel, Frya, Ringebu, Tretten, Øyer, Lågendeltaet 1 og Fåberg kirke finnes i Vedlegg C da disse viser mye av de samme trendene som vises i figurene under. Tabeller som viser konsentrasjonen av sporelementer for de tilsvarende prøvepunktene finnes i Vedlegg D.

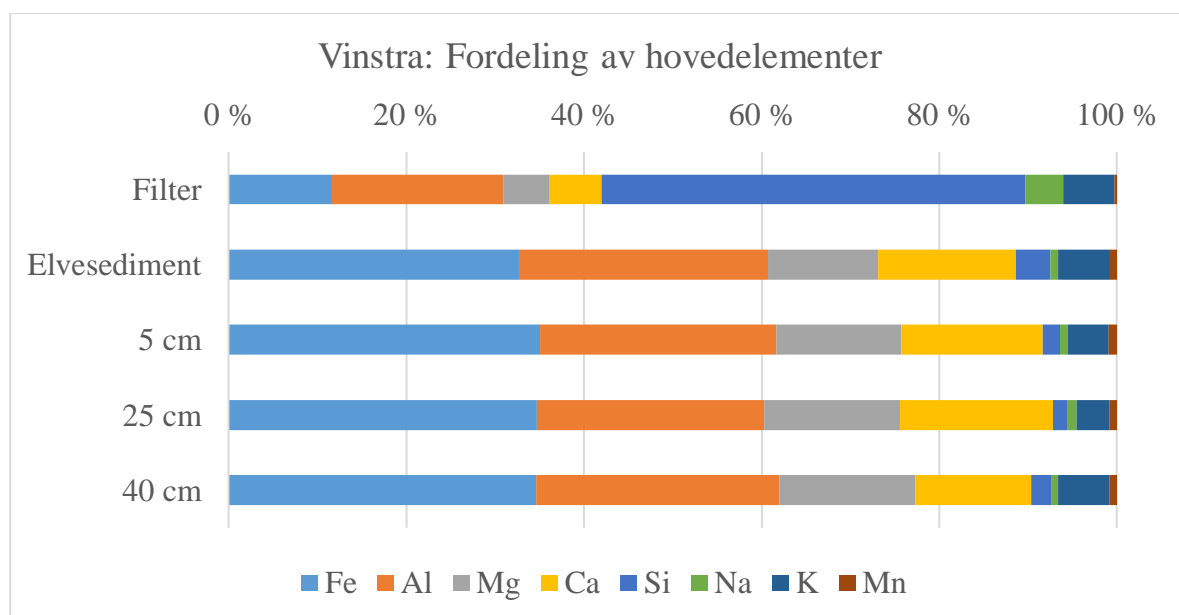
Innledningsvis ble hovedelementene definert til å være de elementene som utgjorde rundt 96 % av de analyserte elementene. De tilnærmede 4 % resterende elementene er i de følgende figurene utelatt og summen av hovedelementene er dermed satt til å være 100 %. Dette er gjort fordi det er fordelingen av disse hovedelementene seg imellom som er mest interessant. Sammenligningen av de ulike prøvetypene flomsediment, elvesediment og filter er gjort i prosent da resultatene av analyse av flomsediment og elvesediment er gitt i $\mu\text{g/g}$, mens resultatene for filterprøvene er gitt i $\mu\text{g/L}$.

I motsetning til de tilsvarende resultatene av hovedelementene, er ikke filterprøvene inkludert i tabellene som viser konsentrasjoner av sporelementene. Dette er på grunn av at konsentrasjonen av disse elementene er gitt i $\mu\text{g/L}$ for filterne, mens de ulike sedimentprøvene har konsentrasjonene oppgitt i $\mu\text{g/g}$. I tillegg er konsentrasjonen av de ulike elementene i filterprøvene, som nevnt i avsnitt 4.3, ikke sammenlignbare som følge av dekomponeringsprosedyren da det ikke var mulig å få ut hele filteret fra beholderen i flere tilfeller. Dette resulterte i at vekten til de filtrerte partiklene ikke kan beregnes og konsentrasjonene oppgis dermed ikke i $\mu\text{g/g}$. Det er heller ikke relevant å se på den prosentvise sammensetningen til disse elementene, så de aktuelle elementene er her presentert i en tabell med konsentrasjoner.

5.4.1 Prøvepunktet Vinstra

Figur 5.4.1 viser fordelingen av hovedelementer i de ulike prøvetypene ved Vinstra. Elved sedimentprøven viser relativt lik sammensetning av hovedelementer som de ulike lagene i flomsedimentprofilen. I disse prøvene er det mye Fe og Al og relativt lite Si, Na, K og Mn. Filterprøven viser en annen sammensetning hvor innholdet av Al og Fe er en del lavere, i tillegg til innholdet av Mg og Ca. Prøven viser derimot en høyere andel Si, og i noen grad Na.

Tabell 5.4.1 viser konsentrasjonene av sporelementene ved Vinstra. Det observeres at elved sedimentprøven har lavere konsentrasjoner for samtlige elementer enn lagene i profilen.



Figur 5.4.1: Vinstra: Fordeling av hovedelementer i prosent

Tabell 5.4.1: Vinstra: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvesediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elvesediment	285	35,9	426	20,5	22,1	6,86	18,9	13,1	0,0414	4,17	0,459
5 cm	331	49,3	644	40,1	31,1	9,01	46,7	19,6	0,0515	4,94	0,618
25 cm	513	46,3	718	44,3	31,7	12,2	61,6	27,7	0,0558	4,65	0,843
40 cm	303	29,8	640	42,1	30,2	9,35	50,5	21,1	0,0739	4,47	0,702

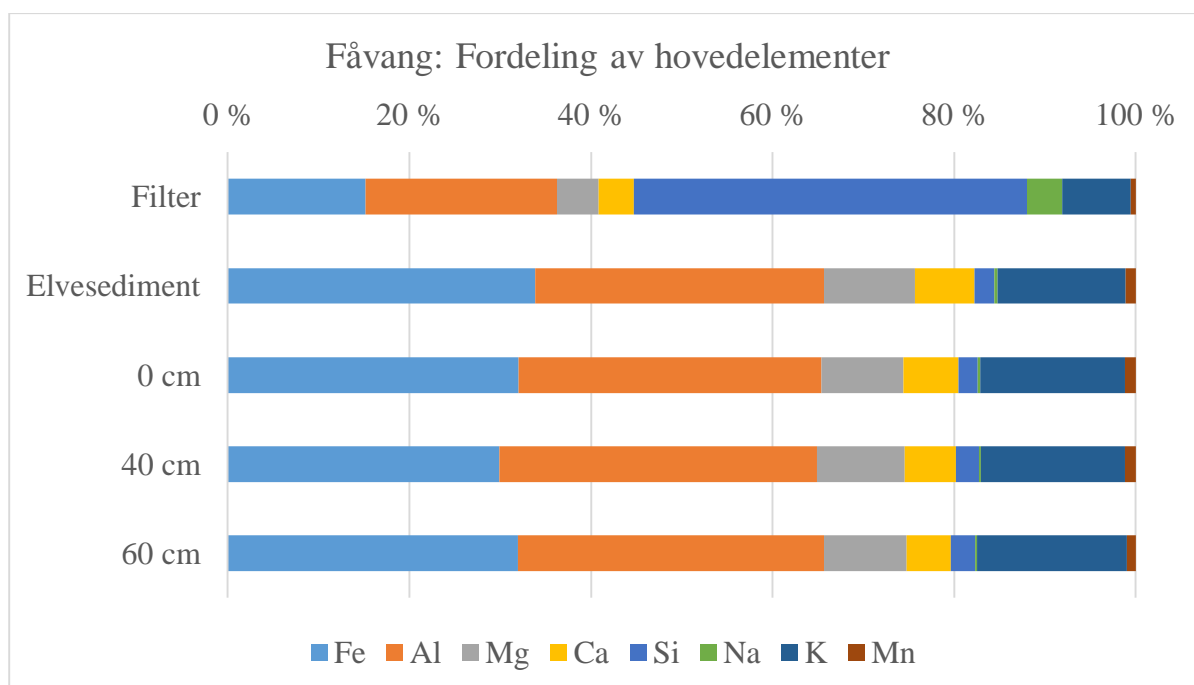
Av Figur 5.4.1 kan det se ut som det er mye av de samme kildene som bidrar til både elvesedimentene og flomsedimentene da fordelingen av hovedelementene er relativt lik. Det observeres også en tydelig forskjell mellom filterprøven og de ulike sedimentprøvene. En mulig forklaring på dette kan være at partiklene i vannet på tidspunktet prøvene ble samlet er et resultat av en annen sedimentkilde. En annen forklaring kan være at partiklene i vannet mest sannsynlig består av mindre partikler enn de som finnes i elvesedimentprøven og flomsedimentprøvene. Dette kan ha noe å si blant annet for dekomponeringen av partiklene. Den høyere andelen av Si som ble funnet i filterprøven kan komme av at en større andel av silikatene har blitt dekomponert. Feilkildene involvert i dekomponeringen er et viktig punkt i tolkningen av resultatene. Disse har blitt drøftet tidligere i oppgaven.

I Tabell 5.4.1 observeres det en lavere konsentrasjon av elementene i elvesedimentprøven enn flomsedimentene. Bölviken et al. (1996) skriver at elvesedimenter er mer utsatt for tungmetallforurensning, og en lavere konsentrasjon i elvesedimentene er dermed litt uventet. En potensiell årsak til dette kan være at sedimentene i elva muligens kan bestå av større partikler da disse kan ha blitt avsatt raskere enn partiklene som finnes i flomsedimentene, altså lengre vekk fra elva (Miller & Orbock Miller, 2007a). De finere partiklene er ofte assosiert til høyere konsentrasjon av tungmetaller som Zn, Cu, Cr, Ni, Cd og Pb (de Groot et al., 1982). Ved inspeksjon av prøvene observeres ingen tydelig forskjell i partikkelstørrelse (se Figur F.2 i Vedlegg F) som kunne støttet dette. En annen mulig årsak kan være utvasking av ulike metaller. Det er trukket fram blant annet av Walling et al. (2003) at flomsedimenter kan fungere som et lager for forurensninger og resultatene kan være en indikasjon på dette.

5.4.2 Prøvepunktet Fåvang

Figur 5.4.2 viser fordelingen av hovedelementene ved Fåvang. Fordelingen av hovedelementene er relativt lik for elved sedimentprøven og for de ulike flomsedimentprøvene. Filterprøven avviker noe fra dette, spesielt for Si, men også Na og K. I de ulike sedimentprøvene er det mest av Fe og Al, mens i filterprøven dominerer Si. Filterprøven viser også en økning i Na og en reduksjon av K sammenlignet med sedimentprøvene.

Tabell 5.4.2 viser prøvepunktet Fåvang og konsentrasjonen til de ulike sporelementene i flomsedimentprofilen og elved sedimentprøven. Resultatene viser ingen tydelige forskjeller mellom elved sediment- og flomsedimentprøvene for sporelementene.



Figur 5.4.2: Fåvang: Fordeling av hovedelementer i prosent

Tabell 5.4.2: Fåvang: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elved sediment

Dybde	P ($\mu\text{g/g}$)	S ($\mu\text{g/g}$)	Ti ($\mu\text{g/g}$)	V ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Ni ($\mu\text{g/g}$)	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	As ($\mu\text{g/g}$)
Elved sediment	574	263	684	27,1	39,7	11,0	20,6	11,4	0,105	9,09	2,15
0 cm	757	276	591	21,0	37,1	6,12	12,2	8,78	0,115	12,0	6,60
40 cm	562	178	548	19,7	32,0	4,60	12,7	6,70	0,0831	9,85	1,51
60 cm	587	325	683	25,0	39,6	6,21	15,3	8,91	0,0979	8,98	3,65

Av Figur 5.4.2 observeres mye av det samme som for prøvepunktet Vinstra (avsnitt 5.4.1). Også i dette tilfellet viser elvedimentprøven relativt lik sammensetning av hovedelementer som flomsedimentene. Fe og Al har de høyeste andelene i sedimentene, mens filterprøven viser et mye høyere innhold av Si. Dette støtter påstanden fra avsnitt 5.4.1 om at partiklene i vannet kan stamme fra en annen sedimentkilde enn de som har bidratt til sedimentene på elvebunnen og på flomsletta. En høyere andel finkornede partikler i vannet kan også være en forklaring.

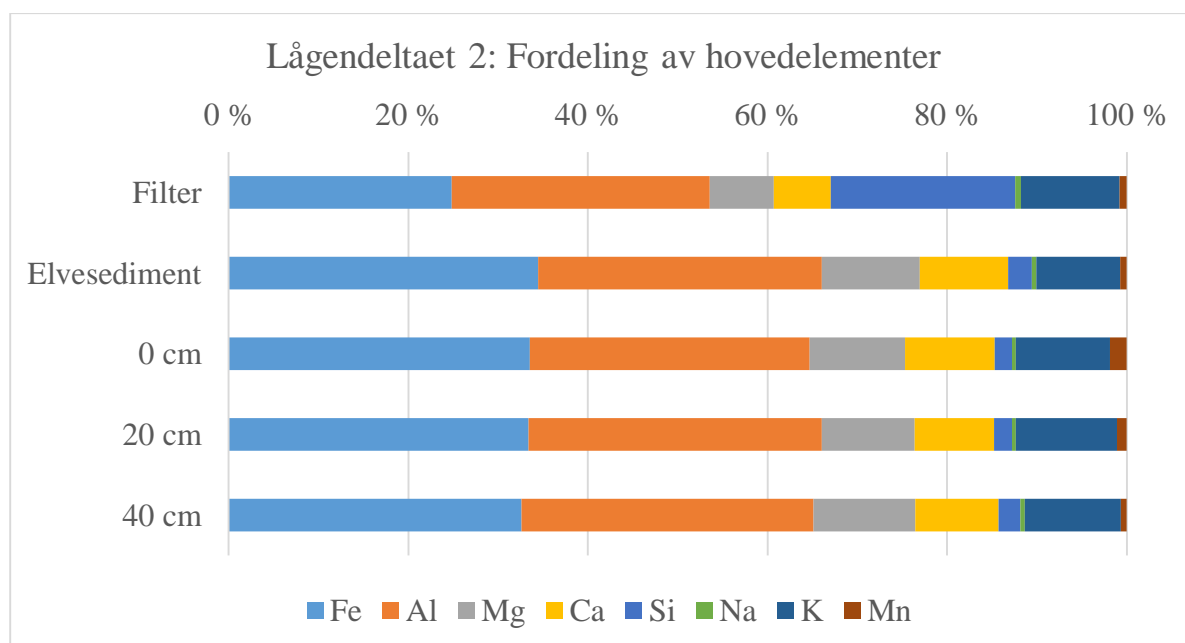
Et interessant moment ved dette prøvepunktet er at flomsedimentprofilen er lokalisert ca. 1,5 m over vannivå ved normal vannføring. Det kan dermed tenkes at disse sedimentene ikke er utsatt for flom hvert år. Likevel er sammensetningen av hovedelementene relativt lik mellom flom- og elvediment. Dette kan tyde på at det er mange av de samme sedimentkildene som har vært aktive i en lengre periode.

Tabell 5.4.2 som viser konsentrasjonene av sporelementene ved Fåvang viser en litt annen trend enn det Tabell 5.4.1 gjorde for prøvepunktet Vinstra. Her er noen av konsentrasjonene i elvedimentprøven høyere enn de som ble funnet i sedimentene, noe som er forventet da elvedimentene ofte er mer utsatt for tungmetallforurensning (Bölviken et al., 1996). Det observertes ikke noen tydelig forskjell i partikkelstørrelse, jf. Figur F.3 i Vedlegg F. Tabell 5.4.2 viser også ulike tendenser for ulike elementer. En forklaring på dette kan være, som nevnt over, at flomsedimentprofilen er lokalisert et stykke over elva. Den er også lokalisert nær hovedveien, E6. Konsentrasjonene funnet i elvedimentprøven kan dermed være noe påvirket av trafikken langs denne hovedveien ved avrenning eller atmosfærisk avsetning. Vei og trafikk er kilder til tungmetaller som Pb, Cr, Cu, Ni og Zn. Dette er utdypet i avsnitt 2.6.1.2. Av disse vises ikke en høyere konsentrasjon av Pb i elvedimentene. Dette kan også forklare de noe høyere konsentrasjonene av blant annet Pb, As og Cd som observeres i det øverste flomsedimentlaget. Det er også viktig å nevne at disse flomsedimentene kan ha vært utsatt for omrøring ved for eksempel veiarbeid.

5.4.3 Prøvepunktet Lågendeltaet 2

Figur 5.4.3 viser fordelingen av hovedelementer i de ulike prøvetypene ved prøvepunktet Lågendeltaet 2. Også her vises noe av den samme trenden som for de foregående prøvepunktene, nemlig at Si utgjør en større andel av elementene i filterprøven enn i sedimentprøvene. Elved sedimentprøven har en forholdsvis lik sammensetning som de ulike lagene i flomsedimentprofilen. Alle prøvene har generelt et høyt innhold av Fe og Al.

Konsentrasjonen av sporelementene i prøvene tatt ved Lågendeltaet 2 er presentert i Tabell 5.4.3. Resultatene for sporelementene viser at elved sedimentprøven har en lavere konsentrasjoner av samtlige elementer enn ved det øverste laget i profilen.



Figur 5.4.3: Lågendeltaet 2: Fordeling av hovedelementer i prosent

Tabell 5.4.3: Lågendeltaet 2: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elved sediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elved sediment	469	165	592	44,3	39,6	10,6	36,5	20,1	0,0586	6,87	2,01
0 cm	679	395	723	52,8	54,8	18,6	44,1	28,5	0,246	12,3	4,61
20 cm	595	211	653	48,5	48,7	14,3	37,1	22,5	0,130	10,2	3,66
40 cm	558	114	614	48,1	45,6	10,0	35,7	21,4	0,0901	8,21	2,09

Figur 5.4.3 for prøvepunktet Lågendeltaet 2 viser en forholdsvis lik sammensetning av hovedelementer for elv- og flomsedimenter. Fe og Al utgjør hovedandelen, akkurat som for prøvepunktene Vinstra og Fåvang (avsnitt 5.4.1 og 5.4.2). Si utgjør også i dette tilfellet en større andel av filterprøven, men ikke i like stor grad som for de andre prøvepunktene. Dette kan forklares med at denne filterprøven ble hentet fra en liten «avstikker» fra Gudbrandsdalslågen som hovedsakelig benyttes ved sterkere vannføring. Vannet i denne delen var grunt og rolig og partiklene i vannet vil dermed kunne være av begrenset opphav eller et resultat av omrøring av hovedsakelig små partikler i elvesedimentene.

Tabell 5.4.3 viser samme utviklingen for sporelementer som prøvepunktet ved Vinstra (Tabell 5.4.1), nemlig at de ulike elementene i elvesedimentprøven viser en lavere konsentrasjon enn verdiene i flomsedimentene, med enkelte unntak. Visuell inspeksjon av prøvene viser ingen tydelig forskjell i partikkelstørrelse, og dermed forskjeller i overflate-areal ratio, som kunne ha forklart forskjellene i konsentrasjon, basert på teorien i avsnitt 2.5.2. Figur F.4 som viser dette er gitt i Vedlegg F. De økende konsentrasjonene av sporelementene i flomsedimentprofilen kan tyde på en form for antropogen forurensning (Bogen & Ottesen, 2008). Det noe lavere innholdet av disse elementene i elvesedimentprøven kan også være et resultat av at denne delen av elva ligger et stykke unna trafikkerte veier og heller ikke er i direkte tilknytning til jordbruk. Da denne delen også ikke opplever høy vannføring store deler av året kan dette resultere i lavere konsentrasjoner som observeres her.

5.4.4 Oppsummering

I dette avsnittet gis en oppsummering av funnene fra prøvepunktene Vinstra, Fåvang og Lågendeltaet 2 (5.4.1, 5.4.2 og 5.4.3).

Samtlige prøvepunkt viser mye av den samme tendensen, nemlig at elvesedimentprøvene har forholdsvis lik sammensetning av hovedelementer som de ulike flomsedimentprøvene. Filterprøvene skiller seg ut fra de andre prøvetypene ved at innholdet av spesielt Si er en del høyere, mens innholdet av Fe og Al avtar. For sporelementene vises det ingen tydelig generell tendens for de ulike prøvepunktene.

Det kan se ut som om flomsedimentene ofte dannes fra de samme sedimentkildene som elvesedimentkildene da sammensetningen av hovedelementene er relativt lik for elvesedimentene og de ulike lagene i flomsedimentprofilene. Flomsedimentene kan dermed

være representative som prøvemedium ved geokjemisk kartlegging av naturlig bakgrunn og forurensning. De små variasjonene i flomsedimentenes sammensetning som observeres vil mest sannsynligvis være et resultat av at flommens størrelse, utfellingsmønster, sedimentkilder og forurensningskilder vil variere fra flom til flom, og mellom de ulike områdene (Miller & Orbock Miller, 2007a).

Filterprøvene viste en noe annen sammensetning med et høyere innhold av Si. Dette kan, som utdypet tidligere, ha flere mulige forklaringer. For eksempel kan det være et resultat av forskjeller i partikkelstørrelse mellom partikulært elvemateriale, elvesediment og flomsediment, og at de silikatpartiklene som finnes i vannet er lettere å dekomponere som følge av en potensielt mindre partikkelstørrelse. En annen mulighet kan være at ulike sedimentkilder er aktive ved ulike årstider. Med andre ord kan sedimentkildene som er aktive under flom bestå av et høyere innhold av Fe- og Al-partikler. Disse kildene kan også være de som bidrar mest til sammensetningen av elvesedimentene. Resultatene av filterprøvene må likevel betraktes med forsiktighet som følge av feilkilder knyttet til dekomponeringen.

For sporelementene ble det observert noe mer variasjon mellom elvesediment og flomsedimenter, samt mellom de ulike prøvepunktene. Dette kan komme av ulik grad av antropogen påvirkning, for eksempel med ulike bidrag fra trafikk og jordbruk, jf. avsnitt 2.6.1. Elvedimenter er ofte mer utsatt for tungmetallforurensning, og et høyere innhold av tungmetaller ville derfor vært forventet (de Groot et al., 1982). Likevel ble ikke dette observert i flere tilfeller. Inspeksjon av de ulike prøvene viste også at det varierte mellom de ulike prøvepunktene om det var en tydelig visuell forskjell på partikkelstørrelse mellom elvesediment og flomsediment, og som dermed kan forklare høyere konsentrasjon i flomsedimentene, se Vedlegg F (de Groot et al., 1982). For eksempel viser prøvepunktet Sel, Tabell D.1 i Vedlegg D, en økende konsentrasjon av sporelementer nedover i profilen. Her observeres det også en avtagende partikkelstørrelse, jf. Figur F.1 i Vedlegg F.

En forklaring på variasjonen mellom elvesediment og flomsediment i sporelementkonsentrasjon kan være at dette er et resultat av varierende avstand mellom elvesedimentene og flomsedimentprofilene. Dette kan blant annet gi forskjeller i partikkelstørrelse som vil kunne ha en effekt på konsentrasjonen til sporelementene (jf. avsnitt 2.5.2). Forskjeller i høydeforskjell mellom elv og flomsediment ved de ulike prøvepunktene kan også tenkes å resultere i ulike trender.

5.5 Topp- og bunnprøver

5.5.1 Hovedelementer

Tabell 5.5.1 viser konsentrasjonene for hovedelementene i topp- og bunnprøver for de ulike prøvepunktene. Gjennomsnitt og standardavvik for topprøver og bunnprøver vises også. Toppunktene har ingen klare outliere, men det ble utført t-test på Mn-konsentrasjonen i bunnprøven ved Hundorp. Verdien ble funnet til å være 2,67, og er dermed en outliner ved 95 % konfidensintervall (Grubbs, 1969). Outlieren er inkludert i beregningen av standardavvik. Topprøvene ved Vinstra, Hundorp og Tretten er tatt ved henholdsvis 5 cm, 15 cm og 30 cm dybde da sedimentene her var dekket av et lag med organisk materiale. Dybden på bunnprøvene varierer mellom 40 cm og 80 cm, avhengig av hvor lett det var å grave profilen. De opparbeidede resultatene viser stort sett høyere konsentrasjon i bunnprøvene enn topprøvene. Motsatt trend vises spesielt for elementene Ca, Mn og K ved henholdsvis fire, fire og tre prøvepunkt. Elementene Fe, Al, Mg, Si og Na viser motsatt tendens ved to prøvepunkt.

Tabell 5.5.1: Konsentrasjoner av hovedelementer i topp- og bunnprøver ved de ulike prøvepunktene

Lokalitet		Fe (µg/g)	Al (µg/g)	Mg (µg/g)	Ca (µg/g)	Si (µg/g)	Na (µg/g)	K (µg/g)	Mn (µg/g)
Sel	Topp (0 cm)	18 600	17 100	8 770	10 700	1 680	529	2 780	488
	Bunn (70 cm)	26 600	23 200	12 500	11 400	1 930	605	4 590	513
Vinstra	Topp (5 cm)	18 700	14 200	7 470	8 500	1 050	443	2 480	477
	Bunn (40 cm)	18 900	15 000	8 340	7 110	1 230	426	3 170	445
Hundorp	Topp (15 cm)	27 000	20 000	10 200	14 700	1 860	874	4 170	487
	Bunn (80 cm)	31 700	22 500	11 100	15 700	1 780	909	4 650	4 360
Frya	Topp (0 cm)	11 700	12 100	6 410	6 240	1 320	142	5 050	308
	Bunn (70 cm)	14 600	15 000	7 100	8 770	1 510	182	5 340	341
Ringebu	Topp (0 cm)	19 800	17 200	7 690	9 380	1 600	386	4 850	479
	Bunn (40 cm)	28 000	22 500	11 000	13 500	1 850	887	5 180	610
Fåvang	Topp (0 cm)	17 400	18 100	4 930	3 280	1 170	130	8 670	641
	Bunn (60 cm)	18 200	19 200	5 190	2 770	1 510	139	9 400	566
Tretten	Topp (30 cm)	31 600	26 400	9 850	7 260	1 690	711	8 170	1 520
	Bunn (50 cm)	33 500	27 300	11 000	7 990	1 810	810	8 400	2 290
Øyer	Topp (0 cm)	36 900	33 200	12 500	7 370	1 420	740	7 360	1 550
	Bunn (50 cm)	33 800	29 900	12 100	8 090	1 160	822	7 120	1 310
Lågendeltaet 1	Topp (0 cm)	23 600	22 600	7 120	9 200	1 600	359	6 870	832
	Bunn (40 cm)	26 700	24 600	7 860	10 900	1 710	444	6 660	847
Lågendeltaet 2	Topp (0 cm)	25 200	23 500	8 010	7 500	1 490	294	7 900	1 410
	Bunn (40 cm)	22 000	21 900	7 610	6 240	1 640	322	7 210	453
Fåberg kirke	Topp (0 cm)	24 500	22 300	7 420	10 300	1 500	401	6 360	811
	Bunn (60 cm)	26 000	23 90	7 900	10 000	1 720	393	6 920	961
Gjennomsnitt	Topp	23 200	20 600	8 220	8 580	1 490	455	5 880	819
Standardavvik	Topp	7 060	5 920	2 050	2 890	239	240	2 150	461
RSD (%)	Topp	30,5	28,7	24,9	33,7	16,1	52,7	36,6	56,3
Gjennomsnitt	Bunn	25 400	22 300	9 200	9 310	1 620	540	6 240	1 150
Standardavvik	Bunn	6 380	4 560	2 370	3 540	248	282	1 830	1 200
RSD (%)	Bunn	25,1	20,5	25,7	38,0	15,3	52,2	29,4	104
t-test									2,67

Av Tabell 5.5.1 er det tydelig at sammensetningen av hovedelementene varierer i større eller mindre grad mellom topp- og bunnprøvene. Dette tyder på at det er ulike sedimentkilder som har hatt ulike bidrag til dannelsen av disse sedimentene. Den økende konsentrasjonen fra topp til bunn som observeres for mange elementer ved flere av prøvepunktene kan være et resultat av at toppprøvene muligens inneholder en større andel organisk materiale. Det kan også være et resultat av sekundære kjemiske prosesser som kan ha ført til remobilisering av enkelte element, for eksempel i form av oppløsning av metallutfellinger (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004; Hudson-Edwards et al., 1998).

For prøvepunktene Sel, og i noe mindre grad Frya og Ringebu, observeres en forskjell i partikkelstørrelse mellom topp- og bunnprøvene, hvor bunnprøvene har de mest finkornede partiklene. Dette kan forklare økningen i konsentrasjon til spesielt Al, som i følge Rognerud et al. (2000) ofte har en positiv sammenheng med finere partikler. Ved de resterende prøvepunktene registreres det ingen synlig forskjell i partikkelstørrelse. Utvasking og vertikal migrasjon av elementer kan derfor være en mulig forklaring på trendene som observeres.

Prøvene som viser en motsatt trend, altså en høyere konsentrasjon av hovedelementer i toppprøvene, kan forklares med at disse sedimentene kan ha vært utsatt for en type omrøring, enten ved flom eller menneskelig påvirkning. Det kan også, som nevnt over, komme av en endring i bidrag fra ulike sedimentkilder (Miller & Orbock Miller, 2007a).

Sammenlignes toppprøvene fra de ulike prøvepunktene med hverandre og en tilsvarende sammenligning for bunnprøvene, observeres forskjeller i konsentrasjon av hovedelementer mellom de ulike prøvepunktene. Prøvepunktene er lokalisert på ulike steder langs Gudbrandsdalslågen og vil dermed være dannet fra ulike sedimentkilder. Likevel er det vanskelig å sammenligne toppprøver eller bunnprøver da disse nødvendigvis ikke er tatt fra samme dybde. I tillegg trenger ikke flomsedimentene tatt fra samme dybde å være et resultat fra den samme flommen da vannføringen vil variere fra år til år.

Prøvene ved Lågendeltaet 1 og 2 er tatt i umiddelbar nærhet av hverandre og disse viser en noe ulik trend for topp- og bunnprøvene. Disse prøvepunktene vil mest sannsynlig være dekket av de samme flommene og være dannet av de samme sedimentkildene. I tillegg vil de også høyst sannsynlig være utsatt for samme eventuelle omrøring. De ulike trendene i konsentrasjon som observeres mellom disse punktene kan være forårsaket av at de ulike sedimentlagene er dannet

ved ulike flommer selv om de er tatt ved tilnærmet samme dybde. Det kan også være ulike kjemiske prosesser som ligger til grunn i de ulike profilene. Ulikt bidrag fra organisk materiale kan også være en forklaring. Det kan stilles spørsmål ved hvilken av disse profilene som er tatt i nærheten av hverandre som er mest representative for prøveområdet, og om det hadde blitt funnet tilsvarende variasjoner ved å ta flere profiler i nærheten av hverandre ved de andre prøvepunktene. Eventuell kontaminering av prøvene fra prøvetaking til analyse må også vurderes som en mulig forklaring. Dette er tidligere blitt utdypet i avsnitt 5.1.5.

5.5.2 Sporelementer

Tabell 5.5.2 viser konsentrasjonene for de utvalgte sporelementene i topp- og bunnprøver for de ulike prøvepunktene. Tabellen viser også gjennomsnitt for toppprøvene og bunnprøvene, samt standardavviket. I tillegg er resultatet av t-testene som ble utført på enkelte verdier inkludert. Det ble utført t-test på Ni- og Cu-konsentrasjonen i bunnprøven ved Hundorp. T-testverdiene ble funnet til å være henholdsvis 2,72 og 2,42. Det ble også utført t-test på Pb-konsentrasjonen funnet i toppprøven ved Tretten. Denne verdien ble funnet til å være 2,55. Alle disse er outliere ved 95 % konfidensintervall, basert på t-verdier i Grubbs (1969), og er inkludert i beregningen av standardavviket. Tabellen viser ingen tydelig trend for sporelementene i topp- og bunnprøvene, men det kan se ut som konsentrasjonen av de ulike elementene stort sett er høyere i bunnprøvene enn toppprøvene.

Tabell 5.5.2: Konsentrasjoner av utvalgte sporelementer i topp- og bunnprøver ved de ulike prøvepunktene

Prøvepunkt		P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Sel	Topp (0 cm)	245	43,0	763	44,0	29,8	5,62	66,6	23,7	0,0545	5,74	0,289
	Bunn (70 cm)	418	104	1 210	63,7	46,7	16,3	110,9	45,7	0,0800	7,38	0,882
Vinstra	Topp (5 cm)	331	49,3	644	40,1	31,1	9,01	46,7	19,6	0,0515	4,94	0,618
	Bunn (40 cm)	303	29,8	640	42,1	30,2	9,35	50,5	21,1	0,0739	4,47	0,702
Hundorp	Topp (15 cm)	1 170	183	1 360	77,4	39,5	23,5	73,5	27,8	0,0969	6,75	1,50
	Bunn (80 cm)	981	80,8	1 470	86,5	43,4	43,6	80,7	94,0	0,283	7,84	1,84
Frya	Topp (0 cm)	385	64,9	595	19,8	20,8	4,36	13,6	7,45	0,0575	6,83	0,791
	Bunn (70 cm)	602	138	751	27,1	23,8	6,61	20,3	9,18	0,0649	10,6	1,11
Ringebu	Topp (0 cm)	728	177	967	43,6	35,9	14,0	37,0	18,4	0,104	9,33	1,41
	Bunn (40 cm)	925	204	1 190	70,3	46,7	27,3	72,9	27,1	0,104	10,9	1,19
Fåvang	Topp (0 cm)	757	276	591	21,0	37,1	6,12	12,2	8,78	0,115	12,0	6,60
	Bunn (60 cm)	587	325	683	25,0	39,6	6,21	15,3	8,91	0,0979	8,98	3,65
Tretten	Topp (30 cm)	719	326	1 160	59,5	57,5	31,2	47,2	25,0	0,150	26,0	2,76
	Bunn (50 cm)	743	281	1 310	68,5	62,2	39,5	58,3	30,6	0,166	23,9	2,85
Øyer	Topp (0 cm)	531	302	1 060	71,4	61,9	46,5	69,6	37,1	0,121	13,6	2,69
	Bunn (50 cm)	507	306	1 010	70,3	61,3	39,2	66,8	30,8	0,152	13,0	2,63
Lågendeltaet 1	Topp (0 cm)	790	339	877	54,8	48,2	17,7	43,0	22,6	0,186	11,8	3,38
	Bunn (40 cm)	895	244	1 040	64,9	54,7	16,5	50,0	21,5	0,147	16,4	3,77
Lågendeltaet 2	Topp (0 cm)	679	395	723	52,8	54,8	18,6	44,1	28,5	0,246	12,3	4,61
	Bunn (40 cm)	558	114	614	48,1	45,6	10,0	35,7	21,4	0,0901	8,21	2,09
Fåberg kirke	Topp (0 cm)	821	222	929	59,3	46,3	14,5	46,3	20,5	0,145	13,0	3,57
	Bunn (60 cm)	803	229	943	61,3	52,4	15,2	48,0	22,0	0,168	14,3	3,86
Gjennomsnitt	Topp	650	216	878	49,4	42,1	17,4	45,4	21,8	0,121	11,1	2,56
Standardavvik	Topp	263	124	245	18,3	12,8	12,7	20,0	8,50	0,0597	5,86	1,92
RSD (%)	Topp	40,5	57,4	27,9	36,9	30,4	72,9	44,1	39,0	49,3	52,8	74,7
t-test											2,55	
Gjennomsnitt	Bunn	666	187	987	57,1	55,4	30,2	20,9	46,0	0,130	11,5	2,23
Standardavvik	Bunn	220	98,9	289	19,3	27,4	23,5	14,1	11,8	0,0633	5,35	1,19
RSD (%)	Bunn	33,0	52,9	29,3	33,8	49,5	77,8	67,5	25,7	48,7	46,5	53,4
t-test									2,72	2,42		

Tabell 5.5.2 viser en mindre tydelig trend for sporelementene enn det Tabell 5.5.1 gjør for hovedelementene i topp- og bunnprøvene. Trenden er avhengig av prøvepunkt og i noen tilfeller elementet. Ved Sel og Frya viser alle elementene en økning i konsentrasjon fra topp til bunn. Lågendeltaet 2 viser en økning fra bunn til topp. De resterende prøvepunktene viser begge tendensene i større eller mindre grad. Disse ulike tendensene kan ha flere ulike forklaringer.

For det første kan enkelte prøvepunkt ha vært utsatt for omrøring i større eller mindre grad som kan ha ført til at det ikke er en lik tendens for alle prøvepunkt. En annen mulighet er at forskjellene i konsentrasjon er et resultat av ulike kjemiske prosesser som har funnet sted ved de ulike prøvepunktene. Vertikal migrasjon kan her være en mulighet, for eksempel av Ni og Cd ved Hundorp. Det har tidligere vært registrert tilfeller av vertikal migrasjon for blant annet Cd av Swennen and Van Der Sluys (1998). Slike sekundære prosesser som kan føre til remobilisering av ulike elementer, og som disse resultatene viser antydning til, kan gjøre det vanskelig å finne de naturlige bakgrunnskonsentrasjonene og dermed også svekke påliteligheten til kartleggingen av forurensning ved bruk av flomsedimenter (Valerie Cappuyns & Swennen, 2004).

Ulik andel organisk materiale kan også ha påvirket konsentrasjonene. Mengde organisk materiale vil antageligvis variere mellom topp- og bunnprøver og mellom de ulike prøvepunktene. Biologisk opptak fra planter kan forklare tilfellene hvor konsentrasjonen avtar oppover, spesielt for de essensielle elementene. I avsnitt 2.5.3 er det gitt eksempler på essensielle metaller, blant annet Zn og Cu. Dette er elementer som viser en nedgang i konsentrasjon fra bunn til topp ved enkelte prøvepunkt.

I tilfellene hvor konsentrasjonen øker oppover fra bunn til topp, kan det tenkes at dette området har vært utsatt for en form for forurensning fra lokale kilder eller luftbåren forurensning (Bogen & Ottesen, 2008). Macklin et al. (1994) anslår at de øverste 15 cm av flomsedimentprofilen kan benyttes til å estimere luftbåren og elvebåren forurensning. Da samtlige toppprøver er tatt over 15 cm og samtlige bunnprøver er tatt et stykke under 15 cm bør disse prøvene dermed kunne gi et godt sammenligningsgrunnlag til å trekke en slik slutning. Økningen i konsentrasjon av elementer som Zn, Cu, Cd, Ni og Pb som observeres ved enkelte prøvepunkt kan ofte være et resultat av luftbåren forurensning (Driscoll et al., 1994). Disse elementene kan blant annet stamme fra nærliggende veier og trafikk, jf. avsnitt 2.6.1.2. Ved enkelte prøvepunkt kan for

eksempel bruk av gjødsel ha ført til denne trenden, jf. avsnitt 2.6.1.1. Dette kan være en mulig forklaring på verdiene for P og S ved Hundorp da området er brukt til jordbruk.

I topp- og bunnprøvene fra Lågendeltaet 1 og 2 observeres noen forskjeller mellom de to profilene. Et slikt resultat kan forklares med at flomsedimentene ofte består av partikler i ulike størrelser og sammensetningen av disse sedimentene vil kunne variere innenfor et lite område. Dette gjør at flomsedimentene også kan vise variasjoner i sporelementkonsentrasjon selv over korte avstander, som i dette tilfellet (Miller & Orbock Miller, 2007a).

Bunnprøvene og toppprøvene vil mest sannsynlig være dannet fra ulike sedimentkilder, eller fra sedimentkilder med ulikt bidrag siden sedimentavsetningen vil avhenge av blant annet flommens størrelse (Miller & Orbock Miller, 2007a). Sedimentkildene vil også variere nedover elva og kan derfor gi forskjeller i konsentrasjon og tendens ved de ulike prøvepunktene.

5.6 Fraksjoner

Tabell 5.6.1 og Tabell 5.6.2 viser resultatet av de ulike fraksjonene for henholdsvis hovedelementene og sporelementene. Det ble separert tre fraksjoner ved toppprøvene ved seks ulike prøvepunkt langs Gudbrandsdalslågen og nedover i en av profilene.

Ca viser de høyeste konsentrasjonene i de minste fraksjonene ved hvert prøvepunkt. As viser de høyeste konsentrasjonene i de største fraksjonene. Disse er de eneste elementene som viser en slik generell trend ved hvert prøvepunkt. For de andre elementene observeres det ulike tendenser for hvert prøvepunkt og for hvert element.

Tabell 5.6.1: Fordeling av hovedelementer i ulike fraksjoner

Prøve	Fraksjon	Fe (µg/g)	Al (µg/g)	Mg (µg/g)	Ca (µg/g)	Si (µg/g)	Na (µg/g)	K (µg/g)	Mn (µg/g)
	<63 µm	32 400	30 200	8 680	13 600	1 610	539	9 400	987
0 cm	63 µm <x< 250 µm	23 800	26 200	7 810	7 700	2 030	398	9 170	630
Lågendeltaet	>250 µm	26 700	27 000	7 600	11 300	1 620	363	9 560	1 440
	<63 µm	45 800	40 500	15 800	9 970	1 840	1 120	8 730	1 670
0 cm	63 µm <x< 250 µm	39 100	38 000	12 900	7 280	1 570	779	10 100	1 550
Øyer	>250 µm	40 000	35 300	13 000	7 710	1 480	833	9 180	1 830
	<63 µm	22 300	19 700	6 560	15 200	1 760	514	4 650	513
0 cm	63 µm <x< 250 µm	21 100	20 600	7 900	10 100	2 060	495	6 470	459
Ringebu	>250 µm	23 200	21 100	8 950	10 100	1 570	450	6 840	677
	<63 µm	28 800	22 900	8 560	25 400	1 700	1 100	3 080	601
15 cm	63 µm <x< 250 µm	29 100	23 600	11 200	16 600	1 880	1 070	4 990	534
Hundorp	>250 µm	31 800	22 800	11 500	15 600	1 960	1 020	5 270	641
	<63 µm	33 100	24 200	10 400	23 800	1 710	1 280	3 830	735
30 cm	63 µm <x< 250 µm	33 500	25 300	12 600	17 400	2 180	1 190	5 590	695
Hundorp	>250 µm	38 100	29 100	14 800	17 900	1 810	1 230	6 610	1 210
	<63 µm	28 800	22 600	7 910	24 900	1 880	1 070	2 930	602
50 cm	63 µm <x< 250 µm	31 300	24 200	11 400	17 800	1 890	1 120	4 960	594
Hundorp	>250 µm	36 300	25 700	13 200	17 100	1 690	1 070	5 550	1 170
	<63 µm	29 600	21 400	7 210	25 000	1 950	1 000	2 510	566
80 cm	63 µm <x< 250 µm	29 100	22 200	10 400	17 100	1 660	1 050	4 390	521
Hundorp	>250 µm	36 400	27 000	13 400	17 600	1 940	1 150	5 980	2 490
5 cm	63 µm <x< 250 µm	25 800	19 900	8 110	17 600	1 600	688	2 420	896
Vinstra	>250 µm	17 000	15 500	7 270	5 810	1 960	471	4 140	291
0 cm	63 µm <x< 250 µm	17 200	17 500	5 420	16 200	1 540	450	1 930	696
Sel	>250 µm	20 800	19 000	9 070	13 300	1 710	558	2 690	614

Tabell 5.6.2: Fordeling av sporelementer i ulike fraksjoner

Prøve	Fraksjon	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
	<63 µm	1 230	345	1 180	77,5	59,0	18,6	63,3	24,7	0,183	15,5	4,31
0 cm	63 µm <x< 250 µm	649	197	860	58,1	48,9	12,5	44,4	23,1	0,0996	9,25	2,92
Lågendeltaet	>250 µm	950	763	1 040	63,8	64,7	26,0	49,6	27,0	0,349	16,2	4,78
	<63 µm	631	386	1 060	93,3	73,8	57,7	96,7	48,0	0,133	15,6	2,99
0 cm	63 µm <x< 250 µm	550	318	1 180	81,9	66,7	45,5	75,1	37,3	0,135	13,4	2,88
Øyer	>250 µm	534	300	970	79,4	63,7	46,6	76,4	39,9	0,0973	14,1	3,11
26	<63 µm	1 170	119	913	54,0	29,6	9,80	53,5	15,2	0,0992	11,2	1,26
0 cm	63 µm <x< 250 µm	670	126	1 060	48,5	35,7	11,5	43,6	17,3	0,0820	8,86	1,17
Ringebu	>250 µm	674	485	984	48,9	45,8	26,0	49,1	27,5	0,158	12,2	2,41
	<63 µm	1 700	103	1 230	94,1	32,2	14,3	96,5	22,8	0,0972	8,27	1,05
15 cm	63 µm <x< 250 µm	1 170	179	1 380	87,5	43,6	23,2	86,0	30,2	0,0872	6,96	1,36
Hundorp	>250 µm	1 320	382	1 310	93,8	46,7	37,6	89,6	37,8	0,142	8,09	2,54
	<63 µm	1 510	68,7	1 310	104	34,2	24,0	99,0	28,4	0,0908	8,07	1,81
30 cm	63 µm <x< 250 µm	1 040	95,6	1 540	94,8	45,6	34,7	89,6	35,5	0,0666	7,54	1,81
Hundorp	>250 µm	1 160	429	1 470	111	56,7	81,5	149	63,4	0,0984	9,67	2,69
	<63 µm	1 610	44,7	1 270	94,4	27,0	14,1	92,5	20,9	0,0727	7,60	1,18
50 cm	63 µm <x< 250 µm	1 070	66,7	1 370	89,6	38,8	25,3	83,8	30,1	0,0756	7,06	1,52
Hundorp	>250 µm	1 030	196	1 240	101	48,8	54,4	115	54,8	0,0915	8,66	2,61
	<63 µm	1 630	46,9	1 330	100	25,8	13,0	92,4	19,8	0,0757	7,68	1,38
80 cm	63 µm <x< 250 µm	1 030	55,7	1 190	85,3	36,7	23,5	77,7	27,5	0,0656	6,71	1,66
Hundorp	>250 µm	1 010	105	1 510	101	54,6	48,3	104	67,9	0,220	8,90	2,35
5 cm	63 µm <x< 250 µm	562	95,8	814	58,9	26,7	27,2	60,9	17,2	0,120	7,57	0,463
Vinstra	>250 µm	314	28,6	572	37,5	31,2	9,47	35,9	19,0	0,0620	4,60	0,583
0 cm	63 µm <x< 250 µm	364	56,0	725	44,6	18,8	4,51	53,1	14,7	0,0735	8,19	0,315
Sel	>250 µm	411	52,1	898	48,8	31,9	6,93	74,1	25,2	0,0720	7,04	0,608

Det ble utført separasjon på ulike fraksjoner for å se om det ble observert noen sammenheng mellom partikkelstørrelse og konsentrasjon, spesielt med tanke på tungmetaller. En høyere andel tungmetaller på mindre partikler som følge av overflate-areal-ratio ville vært forventet, jf. avsnitt 2.5.2. Det observeres ikke en slik tendens i Tabell 5.6.2 for sporelementene. Det registreres heller flere tilfeller av høyest konsentrasjon i de største fraksjonene. Det finnes likevel en del unntak som resulterer i at det ikke kan trekkes noen klare slutninger rundt dette da de ulike sporelementene, med unntak av As, ikke viser en generell trend for sammenheng mellom konsentrasjon og partikkelstørrelse. Det er ofte også en sammenheng mellom liten partikkelstørrelse og høyere Fe- og Al-innhold (Rognerud et al., 2000). Tabell 5.6.1 for hovedelementene viser heller en indikasjon på det motsatte.

En forklaring på disse varierende trendene kan være at prøvene ikke ble siktet lenge nok og at partikler på størrelse med de minste fraksjonene dermed har bidratt i resultatet av de større fraksjonene. Samtlige prøver ble siktet i to minutter med en amplitude på 1,5 mm for å kunne få sammenlignbare resultater. Det er viktig at prøvene ikke siktes for lenge eller for kort, eller på for høy eller lav amplitude. Siktes de på for lav amplitude eller for kort, så er det ikke sikkert alle partiklene blir siktet gjennom de ulike filterne. Siktes de på for høy amplitude eller for lenge, kan partikler som egentlig er større enn den gitte porestørrelsen knuses på gitteret, og dermed gi opphav til feilkilder. Siktene ble børstet, vasket og lufttørket mellom hver prøve for å unngå kontaminering.

Da de ulike elementene også viser forskjellig trend ved ulike prøvepunkt kan det være en mulighet for at det er sammensetningen av sedimentene som er avgjørende, og ikke selve partikkelstørrelsen. Ulike kjemiske og fysiske prosesser og egenskaper kan også være en forklaring på resultatene som Tabell 5.6.1 og Tabell 5.6.2 viser. Blant annet kan forskjeller på partikkeloverflaten, for eksempel i form av ulike funksjonelle grupper, eller forskjeller i pH ha bidratt til de ulike tendensene. Dette har blitt utdypet i avsnitt 2.5.1.

Ved nærmere undersøkelse og sammenligning av Tabell 5.5.1 og Tabell 5.5.2 kan det se ut som det er en tendens mellom hvordan Fe og Al fordeler seg i de ulike fraksjonene og elementene Zn, Cu, Cr, Ni, og i mindre grad Cd, Pb og As. Dette kan forklares ved at disse sporelementene ofte har en positiv assosiasjon til disse hovedelementene (Ottesen et al., 2000). Det observeres også en lignende trend mellom Fe, Al og Mg.

Det ble siktet ut fraksjoner fra de fire prøvene som ble tatt nedover profilen ved Hundorp. Tabell 5.6.1 viser at de ulike hovedelementene stort sett viser samme trend for fordeling i fraksjoner ved de ulike prøvene. Det samme gjelder også for sporelementene i Tabell 5.6.2. Dette styrker påstanden om at sammensetningen av sedimentene ved de ulike prøvepunktene og kjemiske prosesser muligens er mer relevant for binding av tungmetaller til partikler enn selve partikkelstørrelsen.

5.7 Glødetap

Tabell 5.7.1 viser resultatet av glødetapet. Alle prøvene viste generelt et lavt innhold av organisk materiale. Høyeste glødetap som ble funnet var på 6,4 % og er fra overflateprøven ved Øyer. Vinstra og Sel viste de laveste verdiene på 0,4 %. I profilen fra Hundorp viste overflateprøven den høyeste andelen organisk materiale, med avtagende verdier nedover i profilen.

Tabell 5.7.1: Resultat av glødetap for overflateprøver og en profil

Lokalitet	Dybde	Vekt digel (g)	Vekt digel + prøve (g)	Vekt digel + glødet prøve (g)	Glødetap i prosent (%)
Sel	0 cm	17,3	20,8	20,8	0,4
Vinstra	5 cm	22,3	25,3	25,3	0,4
Hundorp	15 cm	21,3	23,3	23,3	3,9
Hundorp	30 cm	18,3	20,7	20,7	1,5
Hundorp	50 cm	19,4	21,4	21,4	1,4
Hundorp	80 cm	24,5	26,5	26,4	0,8
Frya	0 cm	23,8	25,7	25,7	0,8
Ringebu	0 cm	19,1	21,0	20,9	4,4
Fåvang	0 cm	22,4	25,7	25,7	0,7
Tretten	30 cm	18,70	20,8	20,8	2,3
Øyer	0 cm	17,3	19,3	19,2	6,4
Lågendeltaet 1	0 cm	21,0	23,2	23,0	5,9
Fåberg kirke	0 cm	20,0	22,0	21,9	4,6

Tabell 5.7.1 viser et lavt innhold av organisk materiale i sedimentene. Disse resultatene er som forventet da mineralkorn og bergartsfragmenter normalt utgjør 90-99 % av flomsedimentene (Ottesen et al., 2000). Dette tyder også på at det ved prøvetaking av de ulike sedimentlagene ikke ble tatt med bidrag fra de organiske lagene som kan finnes mellom disse. Det er også vist en sammenheng mellom andel organisk materiale og tungmetallkonsentrasjon som følge av at mange elementer har sterk affinitet til slike ligander (Fjeld et al., 1994). På grunn av det lave

innholdet av organisk materiale kan det i denne oppgaven antas at konsentrasjonen av tungmetaller vil være minimalt påvirket av dette.

Det ble utført glødetap på samtlige prøver ved en profil i et av prøvepunktene: Hundorp. Tabell 5.7.1 viser en nedgang i andel organisk materiale nedover i profilen. Dette kan ha sammenheng med at prøveområdet er benyttet til landbruk og de øvre lagene er mer utsatt for innhold av plantefragmenter, mens de nederste lagene er mindre utsatt for en slik påvirkning. Ved prøvepunktene Ringeby, Tretten, Øyer, Lågendeltaet 1 og Fåberg kirke ble det observert at flomsedimentene var dekket av et jordlag. Dette kan være årsaken til den noe høyere andelen organisk materiale i forhold til prøvepunktene Sel, Vinstra og Frya hvor et slikt jordlag ikke ble observert.

For å sikre best mulig nøyaktighet i analysen ble digelene som ble benyttet først glødet i ovnen på 550 °C i 30 minutter for å fordampe vekk mulig fukt, fettflekker fra fingrer og så videre. Digelene ble også kun plassert på rene flater. For å hindre ny tilførsel av fettflekker ble digelene berørt med tang i gjennom hele analyseprosessen. Prøvene ble i tillegg oppbevart i eksikator mellom gløding og veiing for å hindre tilførsel av fuktighet, og for dermed å oppnå mest mulig nøyaktig vekt. Prøvene stod også til gløding til stabil vekt var oppnådd. På bakgrunn av dette kan disse resultatene antas å være relativt nøyaktige. En usikkerhet vil likevel være at det ble kun utført glødetap på en liten del av prøven, og det er vanskelig å si om resultatet er representativt for hele prøven og for de ulike flomsedimentlagene ved de ulike prøvepunktene.

6 Konklusjon

Sammensetningen av hovedelementene ble funnet til å være relativt lik for elved sedimentene og de ulike lagene i flomsedimentprofilene. Det kan dermed se ut som flomsedimentene og elved sedimentene er dannet av de samme sedimentkildene. På bakgrunn av dette kan det konkluderes med at flomsedimenter kan være like representative som prøvemedium som elved sedimenter ved geokjemisk kartlegging av naturlig bakgrunn og forurensning. De små variasjonene i vertikale trender som ble observert i flomsedimentenes sammensetning, vil mest sannsynlig være et resultat av at flommens størrelse, utfellingsmønster og bidrag fra ulike sedimentkilder vil variere fra flom til flom og mellom de ulike områdene.

For sporelementene ble det observert noe mer variasjon mellom elved sedimentprøvene og flomsedimentene, samt mellom de ulike prøvepunktene. Dette kan komme av ulik grad av antropogen påvirkning, som fra trafikk og jordbruk. Forskjeller i partikkelstørrelse og kjemiske reaksjoner er også en mulighet. Prøvepunktene viser litt ulike trender for sporelementene i flomsedimentprofilene. Av spesiell interesse er profilene som viste en økning i konsentrasjon nedover profilen, for eksempel profilen ved Hundorp hvor Ni og Cd viste en del høyere konsentrasjoner ved 80 cm dybde. Profilen antyder at dette er et resultat av vertikal migrasjon. Slike kjemiske prosesser kan bidra til at de dypere sedimentlagene ikke lenger representerer de naturlige bakgrunnsnivåene og dermed svekke troverdigheten til flomsedimenter som prøvemedium. Dette indikerer også at ikke alle prøvepunkt er like egnede til prøvetaking for å estimere bakgrunns konsentrasjoner.

Basert på resultatene i denne oppgaven kan det se ut til at sporelementene har en tendens til å følge trenden til de partikkeltypene de ofte er adsorbent til, hovedsakelig partikler bestående av Fe og Al. Dette støttes også av resultatene fra de siktede fraksjonene hvor det kan observeres en sammenheng mellom hvordan Fe og Al fordeler seg i de ulike fraksjonene og elementene Zn, Cu, Cr, Ni, og i mindre grad Cd, Pb og As. De ulike elementene fra fraksjonene nedover profilen ved Hundorp viste stort sett de samme trendene i fordeling av elementer i de ulike sedimentlagene. Da det ikke alltid ble observert en forskjell i partikkelstørrelse styrker dette påstanden om at sammensetningen av sedimentene ved de ulike prøvepunktene og kjemiske prosesser muligens er mer relevant for binding av tungmetaller til partikler enn selve partikkelstørrelsen.

Det ble tatt prøver av to profiler i umiddelbar nærhet av hverandre, Lågendeltaet 1 og 2. Disse viste likevel en ulik trend for topp- og bunnprøver. Disse forskjellene skyldes sannsynligvis at flomsedimentene ofte består av partikler i ulike størrelser og sammensetning som vil kunne variere selv over korte avstander. De kan dermed også vise variasjoner i elementkonsentrasjoner. På bakgrunn av disse forskjellene i profiler tatt i nærheten av hverandre kan det stilles spørsmål ved hvilken av disse som er mest representativ og om det hadde blitt funnet tilsvarende variasjoner ved å ta flere profiler i nærheten av hverandre.

Funnene i denne oppgaven indikerer at flomsedimenter kan benyttes til geokjemisk kartlegging av elvesystemer da det tyder på at disse er dannet fra de samme sedimentkildene som elvesedimentene. Det er likevel presentert antydninger til påvirkning fra fysiske og kjemiske prosesser i profilene som kan gjøre det utfordrende å finne de naturlige bakgrunnsnivåene. Flomsedimentene ser i dag ut til å være det beste prøvemediet da kartlegging av bakgrunnsnivåene og bidrag fra antropogene kilder i elvesedimentene kan tenkes å by på flere utfordringer. Denne oppgaven er av begrenset omfang da kun ett avgrenset område med begrenset antall prøver har blitt undersøkt, og det er dermed vanskelig å trekke noen absolutte slutninger.

7 Videre arbeid

I denne oppgaven ble det, med unntak av prøvepunktet Lågendeltaet, tatt kun én profil fra hvert prøvepunkt. Dette gjør det vanskelig å si noe om profilene representerer større områder, og dette kan være noe det hadde vært interessant å undersøke videre. Det er også knyttet stor usikkerhet til alderen på flomsedimentene. Det ble i denne oppgaven antatt at flomlagene tatt ved 70-80 cm dybde ved enkelte prøvepunkt representerer de naturlige bakgrunnsnivåene. Denne påstanden hadde blitt styrket med en form for isotopdatering, og det kunne vært aktuelt å se nærmere på dette.

Et annet punkt er om elvesedimentene og det partikulære materialet i vannet varierer med årstidene. Det kunne vært aktuelt å se på verdiene for eksempel rett etter en flom eller under flom. På denne måten ville det vært mulig å trekke noen flere slutninger angående bruk av flomsedimenter kontra elvesedimenter som prøvemedium.

En mulighet er også å se på om avstanden fra elvebredden påvirker flomsedimentsammensetningen. Det er forventet at partikkelstørrelsen på avsatte flomsedimenter avtar med økende avstand fra elvekanten da større partikler vil synke og avsettes raskere (Miller & Orbock Miller, 2007a). Dette kan tenkes å ha en effekt på sammensetningen til sedimentene spesielt med tanke på tungmetaller som ofte viser en høyere konsentrasjon på mindre partikler (de Groot et al., 1982).

En svakhet ved denne oppgaven er ufullstendig dekomponering av prøvene, mest sannsynlig silikater. Da silikater er en hovedbestanddel i berggrunnen og disse ofte er assosiert til en rekke metaller, er det tenkelig at en del av de diskuterte metallene i utgangspunktet har en noe høyere verdi enn det som ble registrert, spesielt Si. Målinger i felt ved XRF kan være en aktuell metode.

Et siste punkt er at undersøkelse av ulike faktorer som pH og redokspotensiale er av interesse, da disse er relevante for de kjemiske reaksjonene som finner sted på partiklene og mobiliteten til elementene.

Litteraturliste

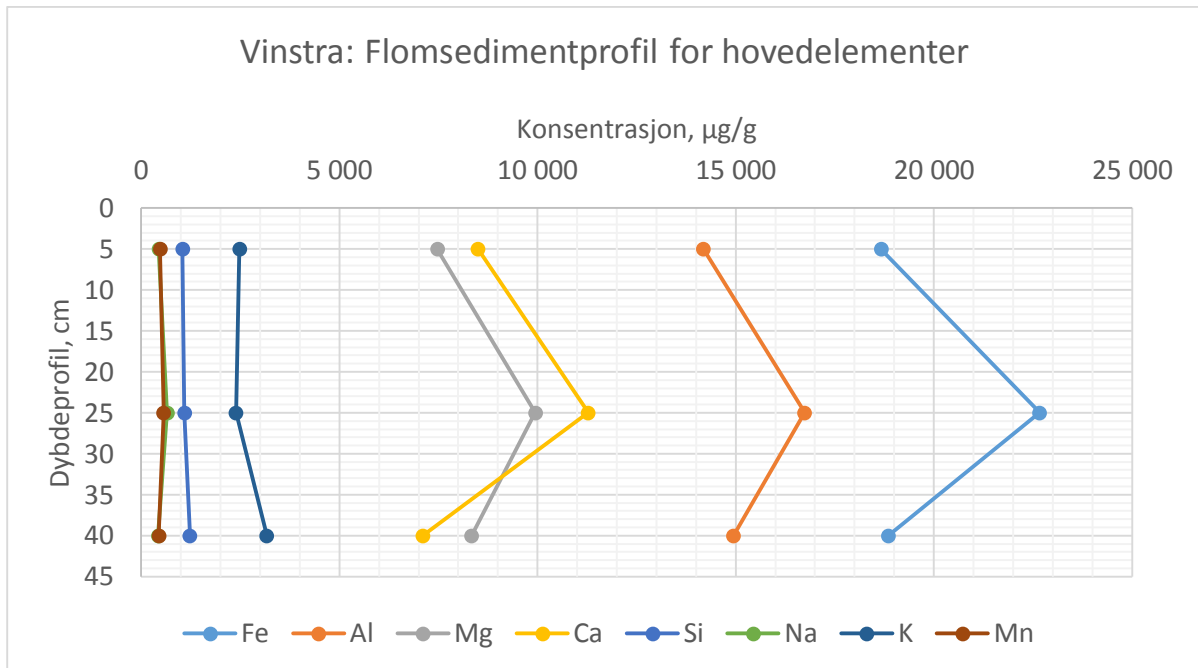
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (B. J. Alloway Ed. 3 ed.): Springer.
- Balaram, V., & Rao, T. G. (2003). Rapid determination of REEs and other trace elements in geological samples by microwave acid digestion and ICP-MS. *Atomic Spectroscopy*, 24(6), 206-212.
- Bogen, J., Boelviken, B., & Ottesen, R. T. (1992). Environmental studies in Western Europe using overbank sediment. *IAHS Publ.*, 210(Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins), 317-325.
- Bogen, J., & Ottesen, R. T. (2008). Global geochemical mapping and sediment-associated flux of major world rivers. In T. Slagstad (Ed.), *Geology for Society* (Vol. 11, pp. 83-92): Geological Survey of Norway Special Publication.
- Bolviken, B., Bogen, J., Jartun, M., Langedal, M., Ottesen, R. T., & Volden, T. (2004). Overbank sediments : a natural bed blending sampling medium for large-scale geochemical mapping. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 74(1), 183-199. doi: 10.1016/j.chemolab.2004.06.006
- Bradley, S. B. (1984). Flood effects on the transport of heavy metals. *International Journal of Environmental Studies*, 22(3-4), 225-230. doi: 10.1080/00207238408710121
- Bubb, J. M., & Lester, J. N. (1991). The impact of heavy metals on lowland rivers and the implications for man and the environment. *Science of The Total Environment*, 100(0), 207-233. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(91\)90379-S](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(91)90379-S)
- Bölviken, B., Bogen, J., Demetriades, A., De Vos, W., Ebbing, J., Hindel, R., . . . Volden, T. (1996). Regional geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000. *J. Geochem. Explor.*, 56(2), 141-166. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0375-6742\(96\)00025-8](http://dx.doi.org/10.1016/0375-6742(96)00025-8)
- Bølviken, B., Bogen, J., Demetriades, A., De Vos, W., Ebbing, J., Hindel, R., . . . Swennen, R. (1993). Final report of the Working Group on Regional Geochemical Mapping 1986-93 (pp. 18).
- Cappuyns, V. (2005). Theses in water sciences: Heavy metal behavior in overbank sediments and associated soils. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 33(2), 170-171. doi: 10.1002/aheh.200590006
- Cappuyns, V., & Swennen, R. (2004). Secondary mobilization of heavy metals in overbank sediments. *J. Environ. Monit.*, 6(5), 434-440. doi: 10.1039/b315625g
- Cappuyns, V., Swennen, R., Vandamme, A., & Niclaes, M. (2006). Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium. *J. Geochem. Explor.*, 88(1-3), 6-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.005>
- Cheatham, M. M., Sangrey, W. F., & 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 Part B: Atomic Spectroscopy*, 48(3), 487-506. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0584-8547\(93\)80054-X](http://dx.doi.org/10.1016/0584-8547(93)80054-X)
- Ciszewski, D. (2003). Heavy Metals in Vertical Profiles of the Middle Odra River Overbank Sediments: Evidence For Pollution Changes. *Water, Air, Soil Pollut.*, 143(1-4), 81-98.
- de Groot, A. J., Zschuppel, K. H., & Salomons, W. (1982). Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. *Hydrobiologia*, 91-92(1), 689-695. doi: 10.1007/BF00940158
- Demetriades, A., & Volden, T. (1997). Reproducibility of overbank sediment sampling in Greece and Norway. *J. Geochem. Explor.*, 59(3), 209-217. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00016-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00016-2)

- Driscoll, C. T., Otton, J. K., & Iverveldt, Å. (1994). Trace Metals Speciation and Cycling. In B. Moldan & J. Cerny (Eds.), *Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research* (pp. 299-322): John Wiley & Sons Ltd.
- Duong, T. T. T., & Lee, B.-K. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 554-562. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.010>
- Eden, P., & Bjorklund, A. (1996). Applicability of overbank sediment for environmental assessment according to wide-spaced sampling in Fennoscandia. *Appl. Geochem.*, 11(1-2), 271-276. doi: 10.1016/0883-2927(95)00069-0
- Erbil, H. Y. (2006). *Surface chemistry of solid and liquid interfaces*. Malden, Mass.: Blackwell.
- Evans, E. H., & Giglio, J. J. (1993). Interferences in inductively coupled plasma mass spectrometry. A review. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 8(1), 1-18. doi: 10.1039/JA9930800001
- Fjeld, E., Rognerud, S., & Steinnes, E. (1994). Influence of Environmental Factors on Heavy Metal Concentration in Lake Sediments in Southern Norway Indicated by Path Analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(8), 1708-1720. doi: 10.1139/f94-172
- Gießmann, U., & Greb, U. (1994). High resolution ICP-MS — a new concept for elemental mass spectrometry. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 350(4-5), 186-193. doi: 10.1007/BF00322469
- Gonzalez-Fernandez, O., Jurado-Roldan, A. M., & Queralt, I. (2011). Geochemical and Mineralogical Features of Overbank and Stream Sediments of the Beal Wadi (Cartagena-La Union Mining District, SE Spain): Relation to Former Lead-Zinc Mining Activities and Its Environmental Risk. *Water, Air, Soil Pollut.*, 215(1-4), 55-65. doi: 10.1007/s11270-010-0458-1
- Gonzalez, M. H., Souza, G. B., Oliveira, R. V., Forato, L. A., Nóbrega, J. A., & Nogueira, A. R. A. (2009). Microwave-assisted digestion procedures for biological samples with diluted nitric acid: Identification of reaction products. *Talanta*, 79(2), 396-401. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2009.04.001>
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11(1), 1-21.
- He, Z. L., Yang, X. E., & Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2-3), 125-140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.010>
- Hibbert, B., & Gooding, J. (2006). *Data Analysis for Chemistry: an introductory guide for students and laboratory scientists*. New York: Oxford University Press.
- Hofsvang, T. (2009). Plantevernmidler. *Store norske leksikon*. Retrieved 27. mars 2015, from <https://snl.no/plantevernmidler>
- Hudson-Edwards, K. A., Macklin, M. G., Curtis, C. D., & Vaughan, D. J. (1998). Chemical remobilization of contaminant metals within floodplain sediments in an incising river system: implications for dating and chemostratigraphy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(8), 671-684. doi: 10.1002/(SICI)1096-9837(199808)23:8<671::AID-ESP871>3.0.CO;2-R
- Kartverket (Cartographer). (u.å.). Norgeskart. Retrieved from <http://kartverket.no/Kart/>
- Kingston, H. M., & Walter, P. J. (1998). The Art and Science of Microwave Sample Preparation for Trace and Ultratrace Elemental Analysis. In A. Montaser (Ed.), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (pp. 33-78): Wiley-VCH.
- Koppelaar, D. W., Barinaga, C. J., Denton, M. B., Sperline, R. P., Hieftje, G. M., Schilling, G.

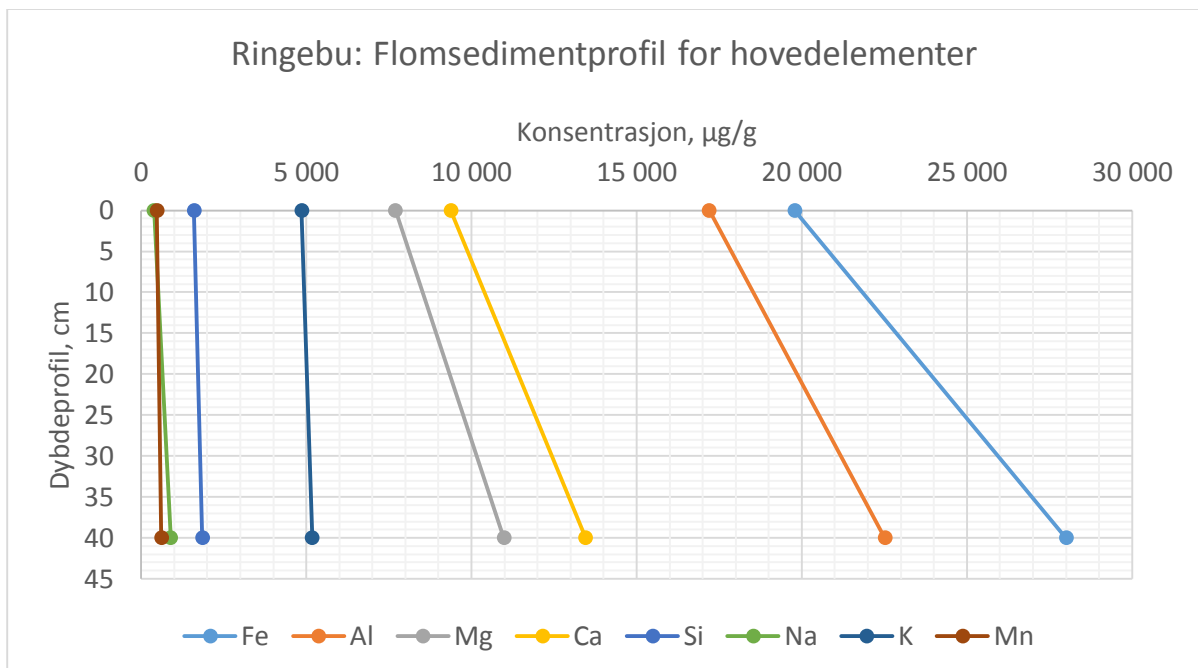
- D., . . . Iv, I. V. (2005). MS Detectors. *Analytical Chemistry*, 77(21), 418 A-427 A. doi: 10.1021/ac053495p
- Løvås, G. G. (1999). *Statistikk - for universiteter og høyskoler*. Oslo: Universitetsforl.
- Macklin, M. G., Ridgway, J., Passmore, D. G., & Rumsby, B. T. (1994). The use of overbank sediment for geochemical mapping and contamination assessment: results from selected English and Welsh floodplains. *Appl. Geochem.*, 9(6), 689-700. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927\(94\)90028-0](http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927(94)90028-0)
- Manahan, S. E. (2010). *Environmental Chemistry* (9 ed.): CRC Press.
- Merck Millipore. (u.å.). Type 1 (Ultrapure) Milli-Q® Water Purification Systems. Retrieved 27. februar 2015, from <http://www.merckmillipore.com/NO/en/products/water-purification/type-1/5cSb.qB.89EAAAFAJqykiQpx.nav>
- Milestone productivity tools. (u.å.). UltraCLAVE. Retrieved 26. februar 2015, from <http://www.milestonesci.com/ultraclave.html>
- Miller, J., & Orbock Miller, S. (2007a). Floodplains *Contaminated Rivers* (pp. 177-234): Springer Netherlands.
- Miller, J., & Orbock Miller, S. (2007b). Sediment-Trace Metal Interactions *Contaminated Rivers* (pp. 33-67): Springer Netherlands.
- Montaser, A., McLean, J. A., Liu, H., & Mermet, J.-M. (1998). An Introduction to ICP Spectrometries for Elemental Analysis. In A. Montaser (Ed.), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (pp. 1-28): Wiley-VCH.
- Mudroch, A., & MacKnight, S. D. (1994). *Handbook of techniques for aquatic sediments sampling*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Nanson, G. C., & Croke, J. C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4(6), 459-486. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-555X\(92\)90039-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0169-555X(92)90039-Q)
- Norges geologiske undersøkelse (Cartographer). (u.å.). Berggrunn. Nasjonal berggrunnsdatabase. Retrieved from <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- Norsk Skogmuseum, & Norges vassdrags- og energidirektorat. (u.å.). Gudbrandsdalslågen: Ottaflommen. Retrieved 3. mars 2015, from http://www.flommer.no/gudbrandsdalslagen/side.cfm?ID_art=94
- Norske utslipp. (u.å.). Avløpsrensaneanlegg. Retrieved 5. mars 2015, from <http://www.norskeutslipp.no/no/Avlopsannlegg/?SectorID=100>
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Boelviken, B., & Volden, T. (1989). Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. *J. Geochem. Explor.*, 32(1-3), 257-277. doi: 10.1016/0375-6742(89)90061-7
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Bølviken, B., Volden, T., & Haugland, T. (2000). *Geokjemisk atlas for Norge, del 1: Kjemisk sammensetning av flomsedimenter*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Ridgway, J., Flight, D. M. A., Martiny, B., Gomez-Caballero, A., Macias-Romo, C., & Grealley, K. (1995). Overbank sediments from central Mexico: an evaluation of their use in regional geochemical mapping and in studies of contamination from modern and historical mining. *Appl. Geochem.*, 10(1), 97-109. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927\(94\)00038-8](http://dx.doi.org/10.1016/0883-2927(94)00038-8)
- Rognerud, S., Hongve, D., Fjeld, E., & Ottesen, R. T. (2000). Trace metal concentrations in lake and overbank sediments in southern Norway. *Environ. Geol. (Berlin)*, 39(7), 723-732. doi: 10.1007/s002540050486
- Schnetger, B. (1997). Trace element analysis of sediments by HR-ICP-MS using low and medium resolution and different acid digestions. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 359(4-5), 468-472. doi: 10.1007/s002160050614
- Schou Jensen, E., Sunde, B., & Engen, Ø. (2006). *Bergarter og mineraler*. Oslo: Damm.
- Sigmond, E. M. O. (2002). Geologien på kartbladene Vinje 1514.3, Songavatnet 1414.1,

- Sæsvatn 1414.2 *NGU-rapport*.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2004). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (8 ed.): Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Spink, A., Sparks, R. E., Van Oorschot, M., & Verhoeven, J. T. (1998). Nutrient dynamics of large river floodplains. *Regulated Rivers Research & Management*, 14(2), 203-215.
- Standard Norge. (2002). ISO 10381-2. Soil quality - Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques: Standard Norge.
- Standard Norge. (2006). NS-ISO 10381-5. Jordkvalitet. Prøvetaking. Del 5: Veiledning for fremgangsmåte for undersøkelse av grunnforurensning på urbane og industrielle lokaliteter: Standard Norge.
- Standard Norge. (2007). NS-EN 15169:2007. Karakterisering av avfall. Bestemmelse av glødetap for avfall, slam og sedimenter: Standard Norge.
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (3 ed.). New York: Wiley.
- Swennen, R., & Van Der Sluys, J. (1998). Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium-order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry. *J. Geochem. Explor.*, 65(1), 27-45. doi: 10.1016/s0375-6742(98)00057-0
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2008). Thermo Scientific Element 2 & Element XR: Thermo Scientific.
- Thornæs, G. (2009). Gudbrandsdalslågen. *Store norske leksikon*. Retrieved 14. februar 2015, from <https://snl.no/Gudbrandsdalsl%C3%A5gen>
- Thornæs, G. (2011). Gudbrandsdalen. *Store norske leksikon*. Retrieved 13. februar 2015, from <https://snl.no/Gudbrandsdalen>
- Thorpe, A., & Harrison, R. M. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of The Total Environment*, 400(1-3), 270-282. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>
- Tollan, A. (2015, 12. januar 2015). Flom. Retrieved 3. mars 2015, from <https://snl.no/flom>
- Vassdragsforbundet for Mjøsa med tilløpselver. (2012). Fakta om Mjøsa. Retrieved 3. mars 2015, from <http://vassdragsforbundet.no/mikpublish/viewarticle.php?id=11>
- Walling, D. E., Owens, P. N., Carter, J., Leeks, G. J. L., Lewis, S., Meharg, A. A., & Wright, J. (2003). Storage of sediment-associated nutrients and contaminants in river channel and floodplain systems. *Appl. Geochem.*, 18(2), 195-220. doi: 10.1016/s0883-2927(02)00121-x
- Åstebøl, S. O., Hvitved-Jacobsen, T., & Kjølholt, J. (2011). NORWAT - Nordic Road Water: Veg- og vannforurensning - En litteraturgjennomgang og identifisering av kunnskapshull.

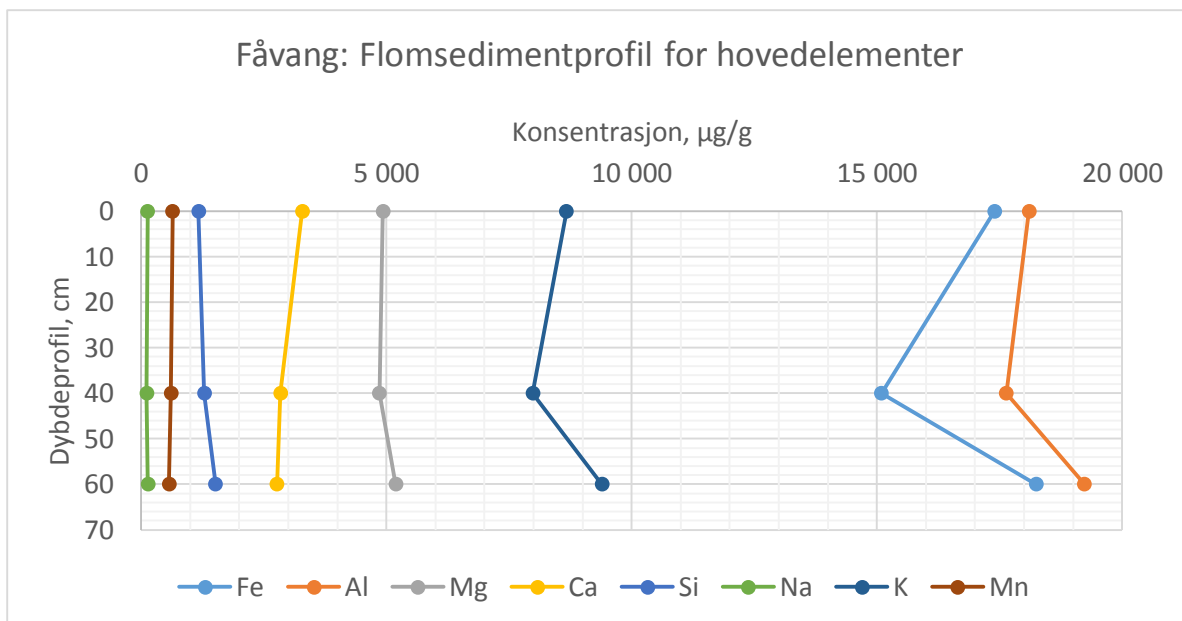
Vedlegg A : Flomsedimentprofiler for hovedelementer



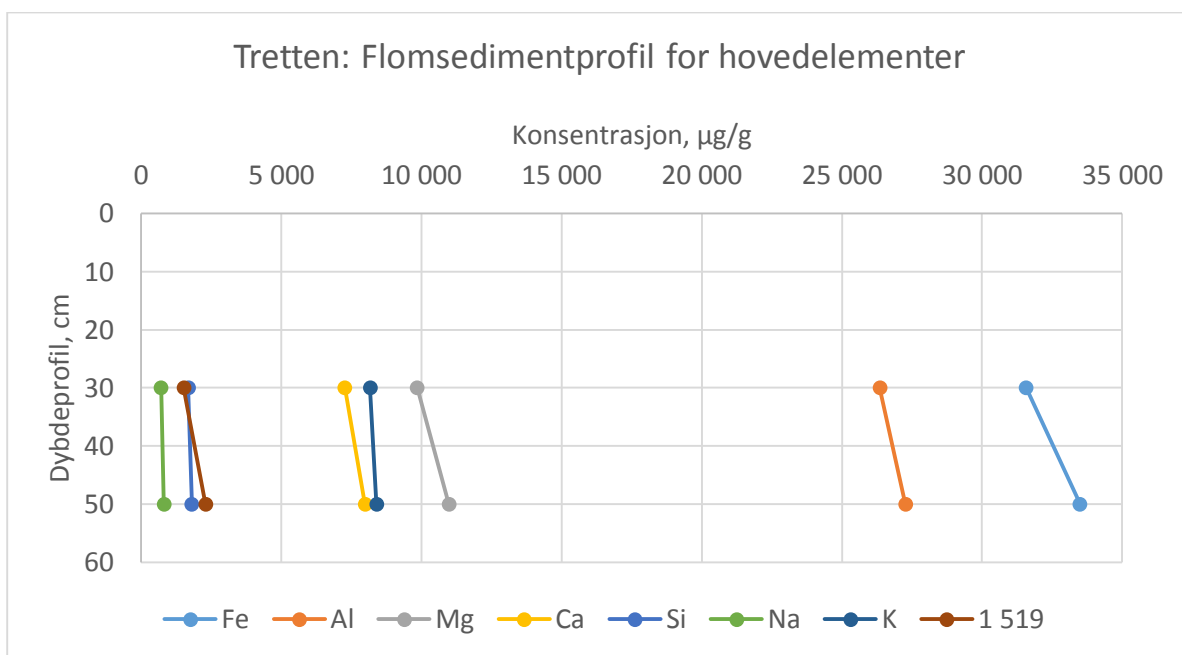
Figur A.1: Vinstra: Flomsedimentprofil for hovedelementer



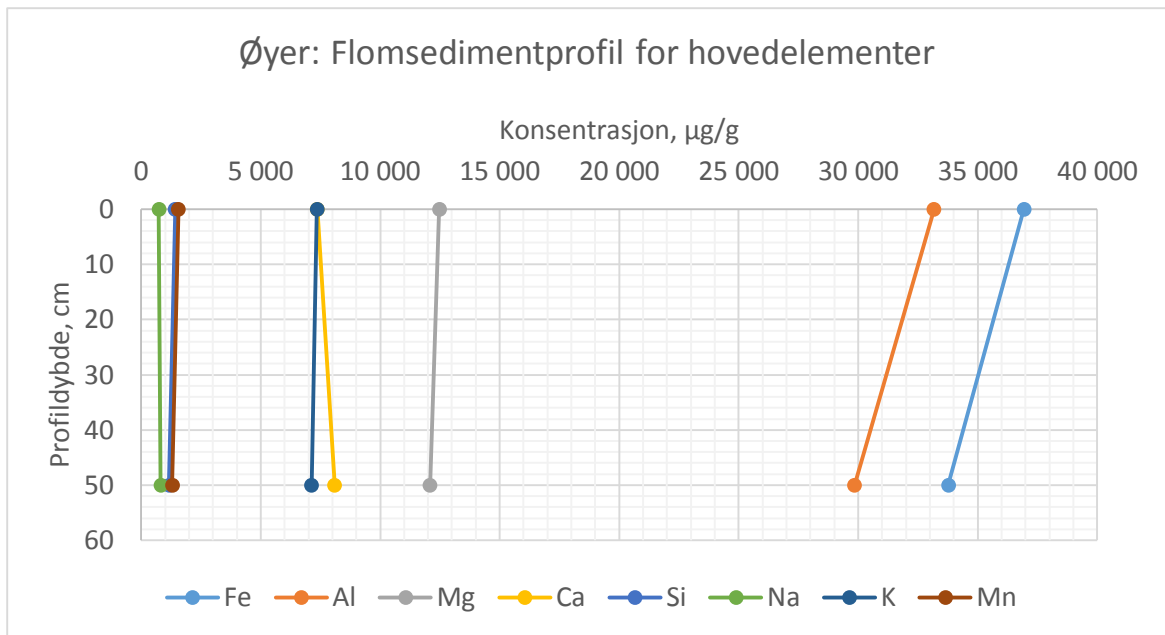
Figur A.2: Ringebu: Flomsedimentprofil for hovedelementer



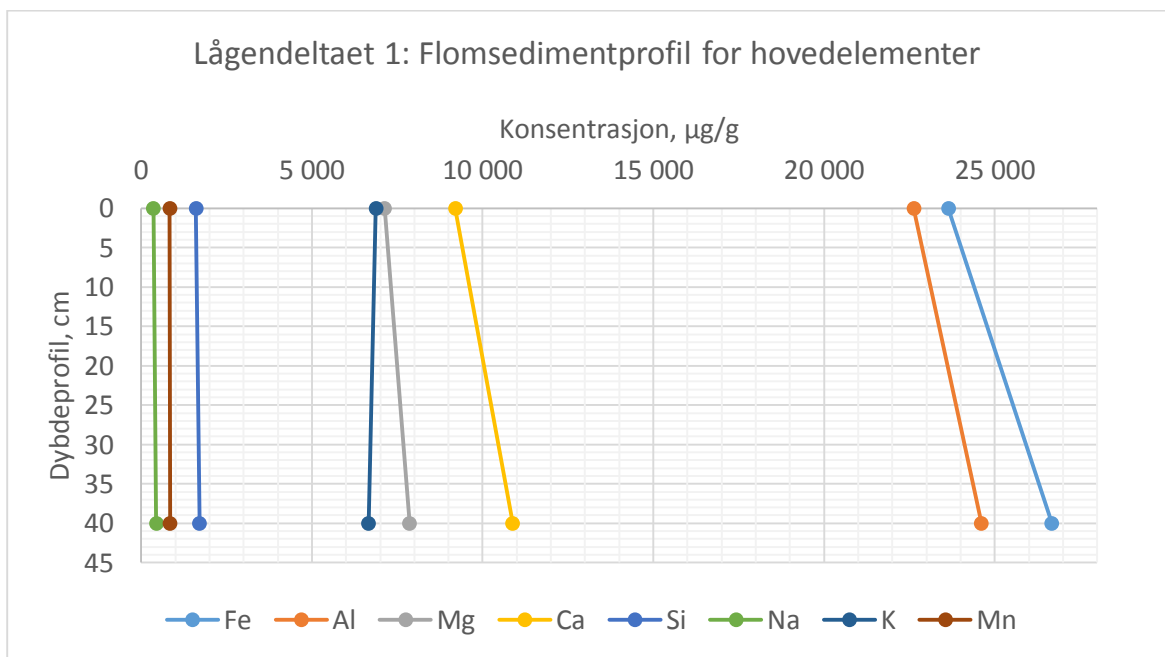
Figur A.3: Fåvang: Flomsedimentprofil for hovedelementer



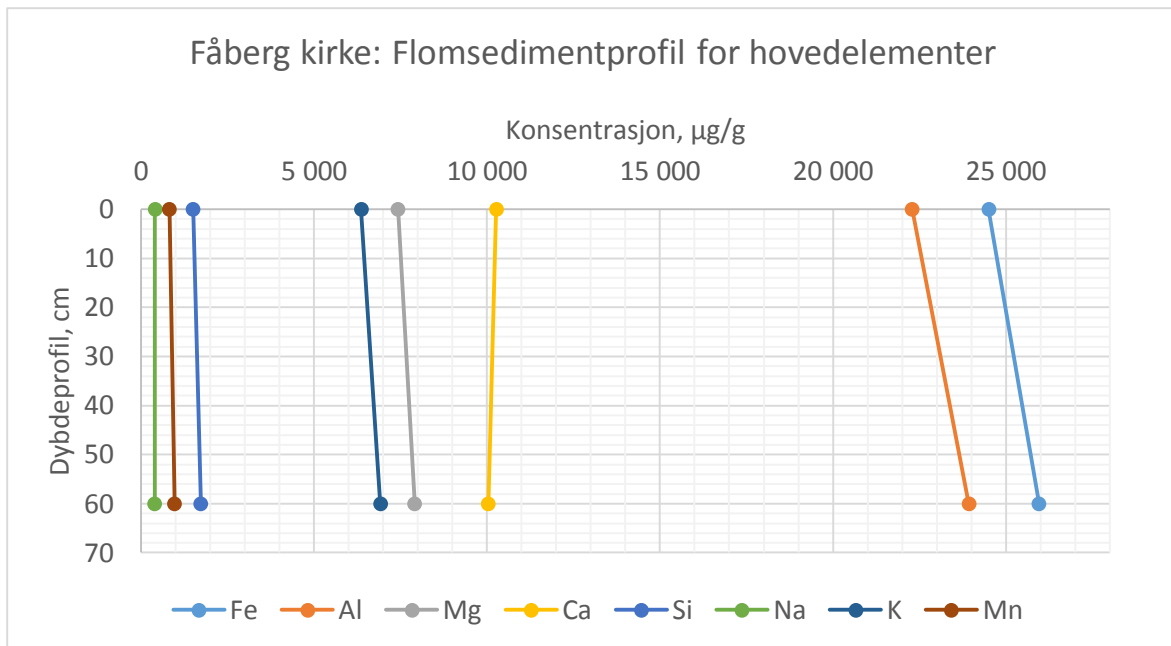
Figur A.4: Tretten: Flomsedimentprofil for hovedelementer



Figur A.5: Øyer: Flomsedimentprofil for hovedelementer



Figur A.6: Lågendeltaet 1: Flomsedimentprofil for hovedelementer



Figur A.7: Fåberg kirke: Flomsedimentprofil for hovedelementer

Vedlegg B : Flomsedimentprofiler for sporelementer

Tabell B.1: Vinstra: Konsentrasjon av et utvalg sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
5 cm	331	49,3	644	40,1	31,1	9,01	46,7	19,6	0,0515	4,94	0,618
25 cm	513	46,3	718	44,3	31,7	12,2	61,6	27,7	0,0558	4,65	0,843
40 cm	303	29,8	640	42,1	30,2	9,35	50,5	21,1	0,0739	4,47	0,702

Tabell B.2: Ringebu: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	728	177	967	43,6	35,9	14,0	37,0	18,4	0,104	9,33	1,41
40 cm	925	204	1 185	70,3	46,7	27,3	72,9	27,1	0,104	10,9	1,19

Tabell B.3: Fåvang: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	757	276	591	21,0	37,1	6,12	12,2	8,78	0,115	12,0	6,60
40 cm	562	178	548	19,7	32,0	4,60	12,7	6,70	0,0831	9,85	1,51
60 cm	587	325	683	25,0	39,6	6,21	15,3	8,91	0,0979	8,98	3,65

Tabell B.4: Tretten: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
30 cm	719	326	1 160	59,5	57,5	31,2	47,2	25,0	0,150	26,0	2,76
50 cm	743	281	1 310	68,5	62,2	39,5	58,3	30,6	0,166	23,9	2,85

Tabell B.5: Øyer: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	531	302	1 060	71,4	61,9	46,5	69,6	37,1	0,121	13,6	2,69
50 cm	507	306	1 010	70,3	61,3	39,2	66,8	30,8	0,152	13,0	2,63

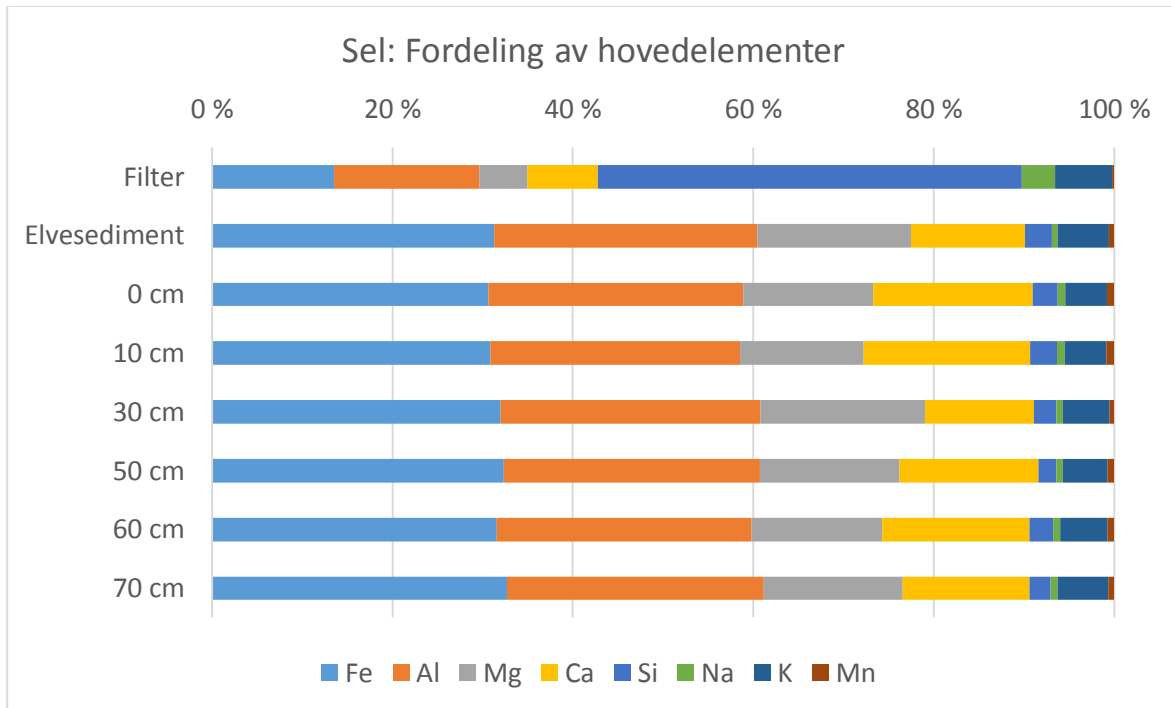
Tabell B.6: Lågendeltaet 1: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	790	339	877	54,8	48,2	17,7	43,0	22,6	0,186	11,8	3,38
40 cm	895	244	1 040	64,9	54,7	16,5	50,0	21,5	0,147	16,4	3,77

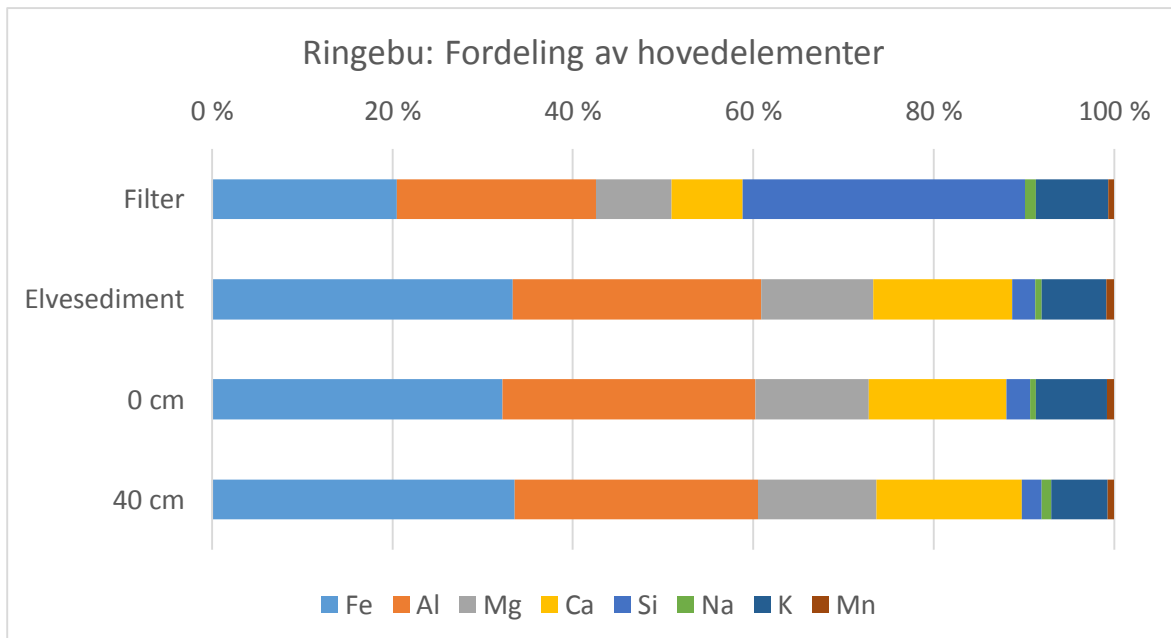
Tabell B.7: Fåberg kirke: Konsentrasjon av utvalgte sporelementer nedover i profil

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
0 cm	821	222	929	59,3	46,3	14,5	46,3	20,5	0,145	13,0	3,57
60 cm	803	229	943	61,3	52,4	15,2	48,0	22,0	0,168	14,3	3,86

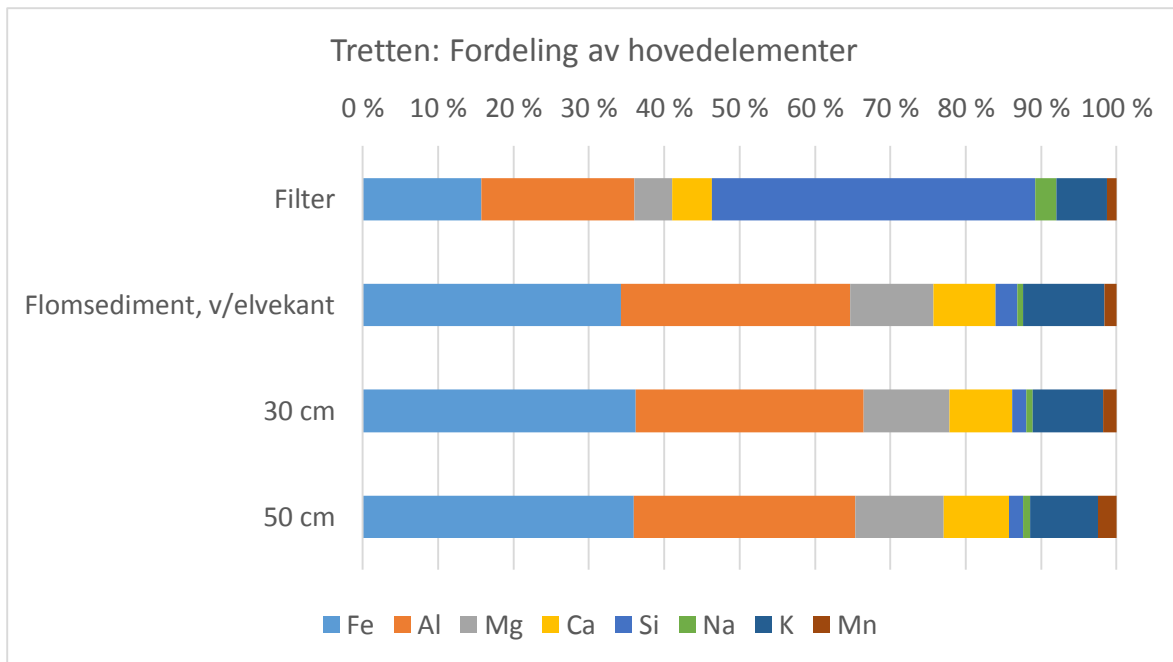
Vedlegg C : Prosentvis fordeling av hovedelementer i flomsediment, elved sediment og filter



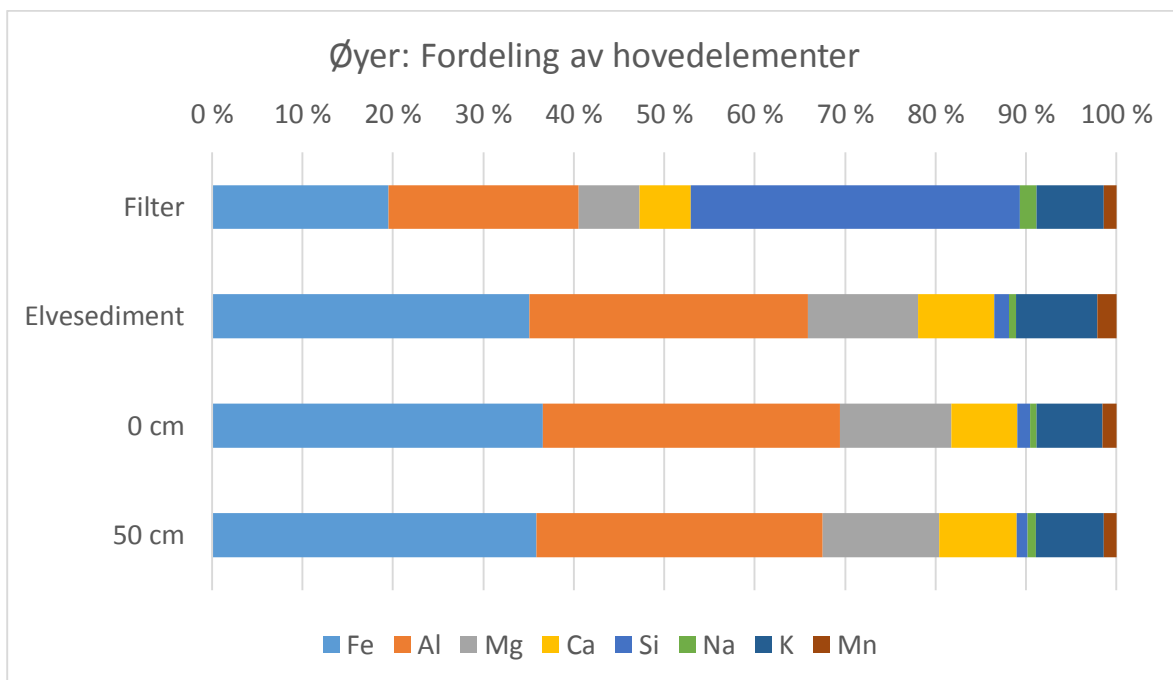
Figur C.1: Sel: Fordeling av hovedelementer i prosent



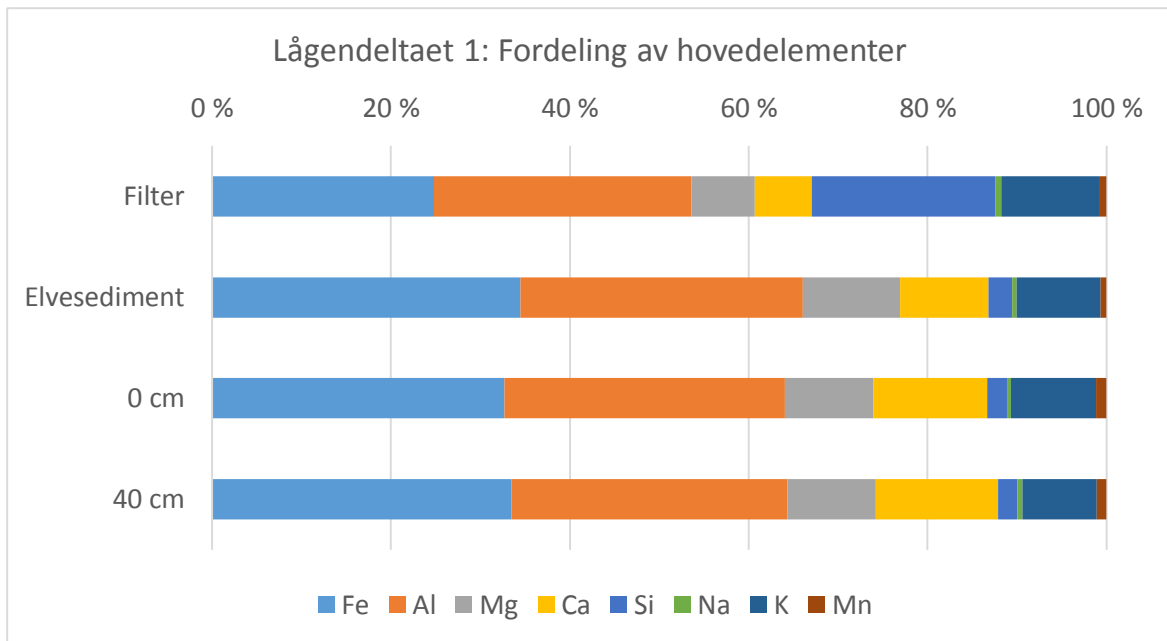
Figur C.2: Ringebu: Fordeling av hovedelementer i prosent



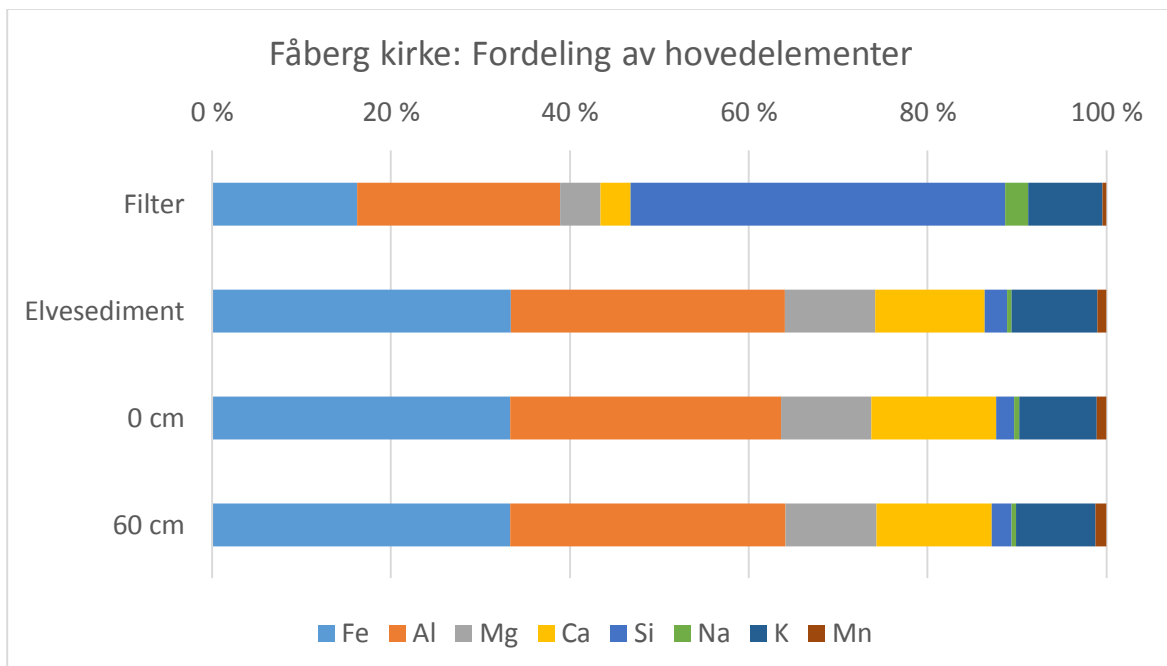
Figur C.3: Tretten: Fordeling av hovedelementer i prosent



Figur C.4: Øyer: Fordeling av hovedelementer i prosent



Figur C.5: Lågendeltaet 1: Fordeling av hovedelementer i prosent



Figur C.6: Fåberg kirke: Fordeling av hovedelementer i prosent

Vedlegg D : Konsentrasjoner av sporelementer i flomsediment og elved sediment

Tabell D.1: Sel: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elved sediment

	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elved sediment	180	27,1	706	38,1	34,4	6,46	71,0	28,7	0,0517	4,80	0,405
0 cm	245	43,0	763	44,0	29,8	5,62	66,6	23,7	0,0545	5,74	0,289
10 cm	176	28,4	702	39,8	27,7	6,03	61,2	22,0	0,0655	5,90	0,326
30 cm	193	27,2	691	42,1	39,0	6,91	85,4	32,2	0,0413	5,38	0,416
50 cm	393	87,2	1 040	56,4	41,8	12,1	93,3	37,6	0,0710	7,04	0,763
60 cm	350	70,1	1 000	53,0	34,8	9,15	87,5	29,6	0,0875	6,65	0,501
70 cm	418	104	1 210	63,7	46,7	16,3	111	45,7	0,0800	7,38	0,882

Tabell D.2: Frya: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elved sediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elved sediment	382	175	634	25,7	24,0	3,90	18,6	9,42	0,0508	6,04	0,850
0 cm	385	64,9	595	19,8	20,8	4,36	13,6	7,45	0,0575	6,83	0,791
30 cm	592	91,2	677	23,3	19,5	4,60	16,8	7,09	0,0529	8,23	0,886
40 cm	523	91,1	773	26,0	23,7	6,05	18,2	9,23	0,0641	9,08	1,06
60 cm	592	151	780	25,9	23,6	5,70	18,6	8,66	0,0681	8,86	1,13
70 cm	602	138	751	27,1	23,8	6,61	20,3	9,18	0,0649	10,6	1,11

Tabell D.3: Ringebu: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elved sediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elved sediment	689	193	1 050	49,1	37,9	16,7	47,6	21,7	0,0933	8,82	0,984
0 cm	728	177	967	43,6	35,9	14,0	37,0	18,4	0,104	9,33	1,41
40 cm	925	204	1 190	70,3	46,7	27,3	72,9	27,1	0,104	10,9	1,19

Tabell D.4: Øyer: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvesediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elvesediment	999	321	1 410	83,6	76,8	64,7	73,3	42,5	0,170	13,0	3,24
0 cm	531	302	1 060	71,4	61,9	46,5	69,6	37,1	0,121	13,6	2,69
50 cm	507	306	1 010	70,3	61,3	39,2	66,8	30,8	0,152	13,0	2,63

Tabell D.5: Lågendeltaet 1: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvesediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elvesediment	469	165	592	44,3	39,6	10,6	36,5	20,1	0,0586	6,87	2,01
0 cm	790	339	877	54,8	48,2	17,7	43,0	22,6	0,186	11,8	3,38
40 cm	895	244	1 040	64,9	54,7	16,5	50,0	21,5	0,147	16,4	3,77

Tabell D.6: Fåberg kirke: Konsentrasjoner av sporelementer i flomsedimentprofil og elvesediment

Dybde	P (µg/g)	S (µg/g)	Ti (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	As (µg/g)
Elvesediment	736	269	919	56,6	48,0	12,9	43,6	20,9	0,124	10,7	2,80
0 cm	821	222	929	59,3	46,3	14,5	46,3	20,5	0,145	13,0	3,57
60 cm	803	229	943	61,3	52,4	15,2	48,0	22,0	0,168	14,3	3,86

Vedlegg E : Bilder av flomsedimentprøver



Figur E.1: Flomsedimentprøver ved Sel. Nr.47: 70 cm, Nr.48: 60 cm, Nr.49: 50 cm, Nr.50: 30 cm, Nr.51: 10 cm, Nr.52: 0 cm (Foto: privat)



Figur E.2: Flomsedimentprøver ved Hundorp. Nr.37: 15 cm, Nr.38: 30 cm, Nr.39: 50 cm, Nr.40: 80 cm (Foto: privat)



Figur E.3: Flomsedimentprøver ved Frya. Nr.31: 70 cm, Nr.32: 60 cm, Nr.33: 40 cm, Nr.34: 30 cm, Nr.35: 0 cm (Foto: privat)



Figur E.4: Flomsedimentprøver ved Lågendeltaet 2. Nr.10: 0 cm, Nr.11: 20 cm, Nr.12: 40 cm (Foto: privat)

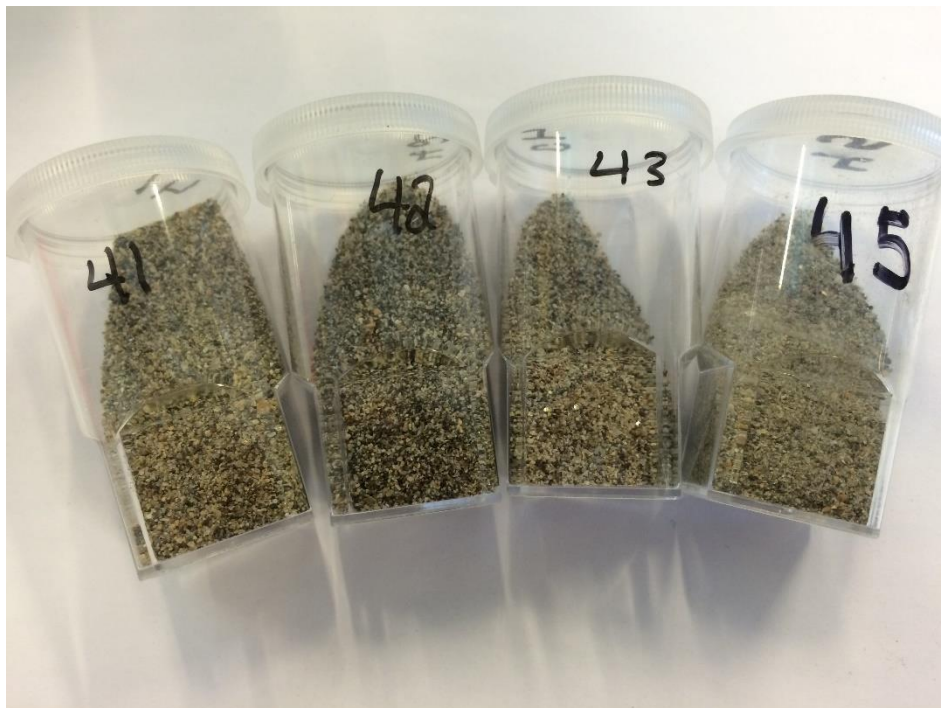


Figur E.5: Flomsedimentprøver ved Fåvang. Nr.21: 0 cm, Nr.22: 40 cm, Nr.23: 60 cm (Foto: privat)

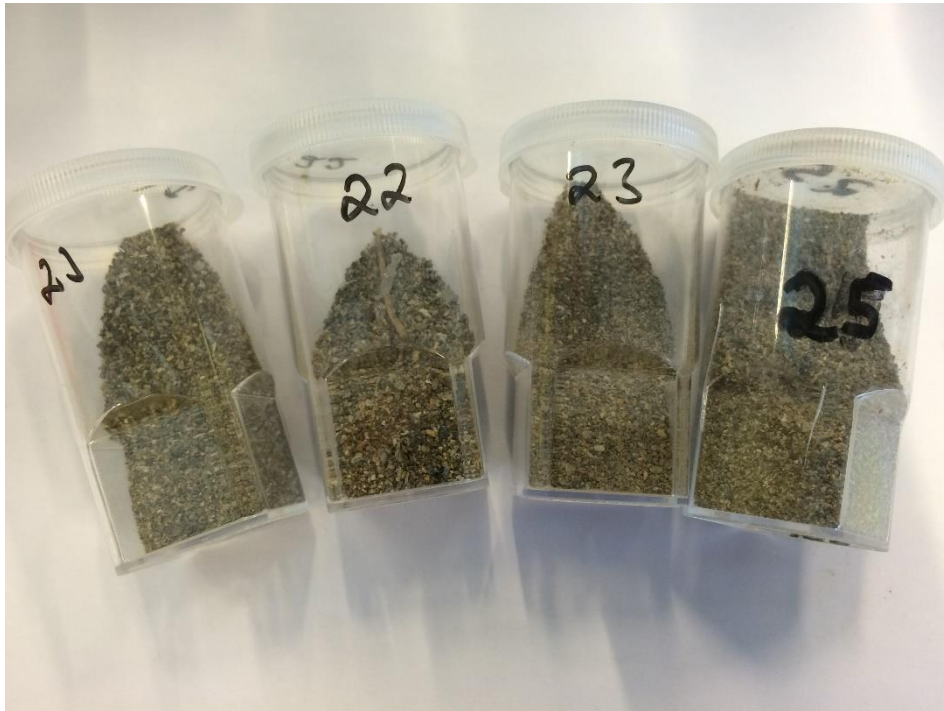
Vedlegg F : Bilder av flom- og elvesedimentprøver



Figur F.1: Flomsediment- og elvesedimentprøver ved Sel. Nr.47: 70 cm, Nr.48:60 cm, Nr.49: 50 cm, Nr.50: 30 cm, Nr.51: 10 cm, Nr.52: 0 cm, Nr.54: elvesediment (Foto: privat)



Figur F.2: Flomsediment- og elvesedimentprøver ved Vinstra. Nr.41: 40 cm, Nr.42: 25 cm, Nr.43: 5 cm, Nr.45: elvesediment (Foto: privat)



Figur F.3: Flomsediment- og elvesedimentprøver ved Fåvang. Nr.21: 0 cm, Nr.22: 40 cm, Nr.23: 60 cm, Nr.25: elvesediment (Foto: privat)



Figur F.4: Flomsediment- og elvesedimentprøver ved Lågendeltaet 2. Nr.10: 0 cm, Nr.11: 20 cm, Nr.12: 40 cm, Nr.8: elvesediment (Foto: privat)

Vedlegg G : Bilde av elvesedimentprøver



Figur G.1: Bilde av elvesedimentprøver. Nr. 3: Fåberg kirke, Nr. 8: Lågendeltaet, Nr. 16: Øyer, Nr. 25: Fåvang, Nr. 28: Ringebru, Nr.36: Frya, Nr. 45: Vinstra, Nr.54: Sel (Foto: privat)

Vedlegg H : Korrelasjonstabeller for utvalgte flomsedimentprofiler

Tabell H.1: Sel: Korrelasjonstabell for flomsedimenter

	Fe	Al	Mg	Ca	Si	Na	K	Mn	P	S	Ti	V	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	As
Fe	1																		
Al	1,00	1																	
Mg	0,88	0,89	1																
Ca	0,45	0,44	-0,01	1															
Si	0,38	0,38	0,15	0,39	1														
Na	0,70	0,69	0,33	0,83	0,70	1													
K	0,98	0,98	0,88	0,38	0,51	0,68	1												
Mn	0,31	0,29	-0,17	0,97	0,36	0,78	0,24	1											
P	0,92	0,92	0,66	0,73	0,37	0,80	0,88	0,59	1										
S	0,94	0,93	0,66	0,73	0,43	0,85	0,90	0,62	0,99	1									
Ti	0,94	0,93	0,66	0,72	0,52	0,85	0,92	0,59	0,98	0,99	1								
V	0,97	0,96	0,73	0,65	0,48	0,82	0,95	0,52	0,98	0,99	0,99	1							
Zn	0,94	0,94	0,98	0,12	0,23	0,45	0,93	-0,01	0,74	0,76	0,76	0,82	1						
Cu	0,97	0,96	0,79	0,52	0,47	0,76	0,95	0,43	0,89	0,94	0,95	0,96	0,89	1					
Cr	0,97	0,97	0,94	0,26	0,39	0,56	0,99	0,10	0,83	0,84	0,86	0,90	0,97	0,92	1				
Ni	0,97	0,96	0,94	0,25	0,33	0,57	0,96	0,13	0,79	0,83	0,83	0,88	0,99	0,95	0,98	1			
Cd	0,53	0,51	0,12	0,83	0,56	0,70	0,55	0,76	0,74	0,74	0,78	0,71	0,25	0,60	0,44	0,35	1		
Pb	0,87	0,85	0,54	0,79	0,43	0,82	0,83	0,71	0,95	0,97	0,97	0,95	0,67	0,92	0,76	0,76	0,83	1	
As	0,97	0,96	0,82	0,48	0,30	0,67	0,93	0,38	0,89	0,93	0,92	0,94	0,91	0,98	0,92	0,95	0,55	0,90	1

Tabell H.2: Hundorp: Korrelasjonstabell for flomsedimenter. Korrelasjonskoeffisient i parentes er verdi uten outlier

	Fe	Al	Mg	Ca	Si	Na	K	Mn	P	S	Ti	V	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	As
Fe	1																		
Al	0,91	1																	
Mg	0,92	0,92	1																
Ca	0,64	0,88	0,85	1															
Si	-0,82	-0,50	-0,63	-0,12	1														
Na	0,75	0,83	0,95	0,89	-0,41	1													
K	0,95	0,95	0,84	0,71	-0,65	0,67	1												
Mn	0,13 (0,98)	0,33 (0,98)	-0,08 (0,98)	0,18 (0,77)	0,17 (-0,75)	-0,21 (0,90)	0,43 (1,00)	1											
P	-0,87	-0,73	-0,62	-0,33	0,80	-0,35	-0,90	-0,44 (-0,84)	1										
S	-0,95	-0,94	-0,82	-0,67	0,67	-0,64	-1,00	-0,43 (0,99)	0,92	1									
Ti	0,28	0,66	0,41	0,82	0,31	0,48	0,52	0,61 (0,47)	-0,18	-0,48	1								
V	0,81	0,98	0,90	0,96	-0,34	0,88	0,87	0,28 (0,91)	-0,57	-0,85	0,76	1							
Zn	0,64	0,63	0,35	0,27	-0,48	0,10	0,81	0,79 (0,80)	-0,90	-0,82	0,38	0,49	1						
Cu	0,68	0,81	0,52	0,60	-0,30	0,36	0,88	0,80 (1,00)	-0,80	-0,88	0,70	0,74	0,92	1					
Cr	0,89	0,98	0,96	0,92	-0,49	0,92	0,90	0,17 (0,96)	-0,64	-0,88	0,63	0,98	0,48	0,70	1				
Ni	0,21 (1,00)	0,40 (0,91)	0,00 (0,93)	0,23 (0,62)	0,08 (-0,87)	-0,15 (0,79)	0,51 (0,99)	1,00 (0,98)	-0,52 (-0,93)	-0,51 (-1,00)	0,62 (0,27)	0,34 (0,80)	0,83 (0,91)	0,85 (0,98)	0,24 (0,88)	1			
Cd	-0,01 (-0,72)	0,17 (-0,93)	-0,23 (-0,92)	0,03 (-0,99)	0,23 (-0,26)	-0,37 (-0,99)	0,30 (-0,78)	0,99 (-0,84)	-0,36 (0,40)	-0,30 (0,75)	0,51 (-0,87)	0,12 (-0,99)	0,73 (-0,35)	0,71 (-0,84)	0,01 (-0,96)	0,97 (-0,70)	1		
Pb	0,73	0,79	0,52	0,50	-0,44	0,31	0,90	0,77 (0,97)	-0,89	-0,90	0,56	0,68	0,96	0,98	0,66	0,82 (1,00)	0,68 (-0,67)	1	
As	0,88	0,95	0,77	0,73	-0,51	0,62	0,98	0,56 (1,00)	-0,86	-0,98	0,64	0,88	0,84	0,94	0,88	0,63 (0,98)	0,43 (-0,84)	0,94	1

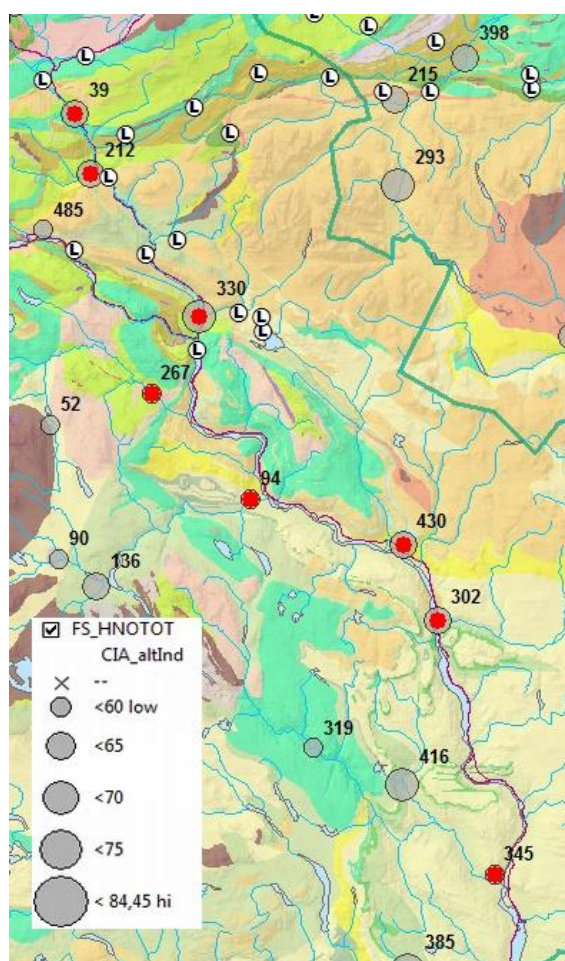
Tabell H.3: Frya: Korrelasjonstabell for flomsedimenter

	Fe	Al	Mg	Ca	Si	Na	K	Mn	P	S	Ti	V	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	As
Fe	1																		
Al	0,99	1																	
Mg	0,87	0,90	1																
Ca	0,77	0,71	0,58	1															
Si	0,91	0,90	0,79	0,63	1														
Na	1,00	0,99	0,85	0,74	0,92	1													
K	0,65	0,73	0,87	0,13	0,61	0,65	1												
Mn	0,59	0,61	0,35	0,12	0,73	0,66	0,44	1											
P	0,69	0,61	0,41	0,97	0,58	0,67	-0,05	0,16	1										
S	0,87	0,85	0,87	0,89	0,70	0,82	0,53	0,12	0,77	1									
Ti	0,92	0,89	0,75	0,77	0,98	0,93	0,48	0,65	0,74	0,77	1								
V	0,96	0,92	0,71	0,82	0,90	0,96	0,43	0,65	0,81	0,79	0,96	1							
Zn	0,90	0,93	0,89	0,42	0,89	0,91	0,88	0,73	0,31	0,66	0,81	0,79	1						
Cu	0,95	0,96	0,76	0,62	0,85	0,97	0,64	0,75	0,57	0,70	0,85	0,93	0,91	1					
Cr	0,94	0,91	0,68	0,87	0,82	0,94	0,37	0,55	0,86	0,82	0,89	0,98	0,72	0,91	1				
Ni	0,89	0,92	0,79	0,42	0,89	0,92	0,78	0,84	0,35	0,58	0,82	0,83	0,98	0,95	0,77	1			
Cd	0,86	0,90	0,97	0,46	0,86	0,85	0,92	0,54	0,30	0,74	0,78	0,71	0,96	0,80	0,64	0,88	1		
Pb	0,91	0,88	0,62	0,78	0,73	0,92	0,38	0,59	0,77	0,74	0,80	0,94	0,71	0,94	0,97	0,78	0,59	1	
As	0,99	0,97	0,88	0,79	0,95	0,98	0,63	0,58	0,71	0,87	0,97	0,96	0,88	0,91	0,92	0,87	0,87	0,85	1

Tabell H.4: Lågendeltaet 2: Korrelasjonstabell for flomsedimentprofil

	Fe	Al	Mg	Ca	Si	Na	K	Mn	P	S	Ti	V	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	As
Fe	1																		
Al	1,00	1																	
Mg	0,63	0,60	1																
Ca	0,92	0,90	0,88	1															
Si	-0,45	-0,48	0,41	-0,06	1														
Na	-0,40	-0,43	0,47	0,00	1,00	1													
K	0,85	0,87	0,13	0,58	-0,85	-0,82	1												
Mn	1,00	1,00	0,64	0,93	-0,44	-0,38	0,85	1											
P	1,00	1,00	0,62	0,92	-0,46	-0,40	0,86	1,00	1										
S	1,00	1,00	0,59	0,90	-0,49	-0,44	0,88	1,00	1,00	1									
Ti	1,00	1,00	0,58	0,89	-0,51	-0,45	0,88	1,00	1,00	1,00	1								
V	0,98	0,97	0,78	0,98	-0,24	-0,18	0,72	0,98	0,97	0,96	0,96	1							
Zn	1,00	1,00	0,60	0,90	-0,49	-0,43	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1						
Cu	0,98	0,98	0,45	0,81	-0,63	-0,58	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,91	0,98	1					
Cr	0,99	0,99	0,73	0,96	-0,33	-0,27	0,78	0,99	0,99	0,98	0,98	1,00	0,98	0,94	1				
Ni	0,99	0,98	0,74	0,97	-0,31	-0,25	0,76	0,99	0,99	0,98	0,98	1,00	0,98	0,93	1,00	1			
Cd	1,00	1,00	0,67	0,94	-0,41	-0,35	0,83	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,96	1,00	0,99	1		
Pb	0,98	0,98	0,44	0,81	-0,63	-0,59	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,90	0,98	1,00	0,94	0,93	0,96	1	
As	0,93	0,95	0,31	0,72	-0,74	-0,70	0,98	0,93	0,93	0,95	0,95	0,83	0,95	0,99	0,88	0,87	0,91	0,99	1

Vedlegg I : Data levert av Norges geologiske undersøkelse



Figur I.1: Kart over prøver tatt i Gudbrandsdalen under NGUs kartlegging av løsmassenes naturlige geokjemiske sammensetning i forbindelse med utarbeiding av Ottesen, Rolf Tore, Bogen, Jim, Bølviken, Bjørn, Volden, Tore og Haugland, Toril. 2000. Geokjemisk atlas for Norge (Kart levert av Norges geologiske undersøkelse, 2015)

Tabell I.1: Oversikt over mineralsammensetning ved relevante områder (Data levert av Norges geologiske undersøkelse)

Prøvenr.	Lokalitet	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)
330	Sel	11,79	0,96	5,46	3,65	1,41	0,08	1,66	0,22	73,42	0,67
430	Frya	12,12	2,75	6,27	2,55	2,55	0,09	2,30	0,40	70,29	0,82
302	Fåvang	13,97	3,17	7,42	2,53	3,04	0,12	2,47	0,36	65,59	0,82
345	Fåberg	12,95	4,36	8,05	2,16	3,31	0,14	2,42	0,39	65,54	0,96
	Gjennomsnitt	12,71	2,81	6,80	2,72	2,57	0,11	2,21	0,34	68,71	0,82

Vedlegg J : UltraCLAVE-rapport



MLS Microwave Report

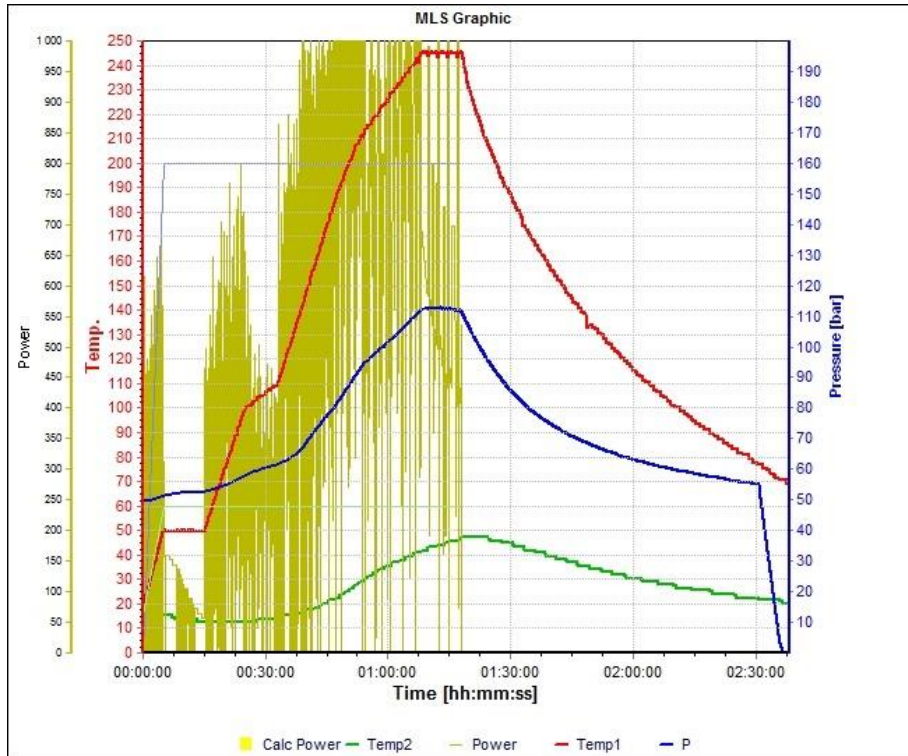
Application: ultraCLAVE

Report 06.03.2015 14:08:24

Operator: Administrator

Filename: M:\A\2015\PROJECT NOT FINISHED\KJEMI\MASTER\Kristin Kvitrud\891-110215-121-160-Kristin-Kvitrud-sed-46-79.dpr

MLS Milestone
www.milestonesrl.com



Parameter

Signature name :
Signature date :
Signature func. :
Operator : Administrator
Date :
Method filename : Stand-profile-245C-10-min-operit Adminis

Remark:

Snr: 121-160,
Prosedyre: 200-300 mg materiale tilsatt 9 ml 50 % HNO₃.
Kristin Kvitrud, prover: 46-79

MW Program

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	00:15:00	190	60	160	1 000
6	00:05:00	210	60	160	1 000
7	00:15:00	245	60	160	1 000
8	00:10:00	245	60	160	1 000

