

Ingrid Stuland Evensen

Tungmetallavrenning til Folla, studier av lokale kilder. Langtidstrender for vassdraget

Masteroppgave i kjemi

Veileder: Øyvind Mikkelsen

Juni 2021

Ingrid Stuland Evensen

Tungmetallavrenning til Folla, studier av lokale kilder. Langtidstrender for vassdraget

Masteroppgave i kjemi
Veileder: Øyvind Mikkelsen
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for kjemi

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg Folldal Verk og forurensninger knyttet til avrenning fra nedlagte gruver og velt. Folldal Verk er delt inn i to områder: Tverrfjellet gruve på Hjerkinns og gruvene ved Folldal sentrum. Nedfor gruvene renner elva Folla. Det ble tatt vannprøver fra 9 prøvepunkt i elva. Ett prøvepunkt var referansepunkt oppstrøms for Tverrfjellet gruve. Prøvepunkt 2 ligger ved Tverrfjellet gruve, mens prøvepunkt 3 til 5 ligger mellom Tverrfjellet gruve og gruvene ved Folldal sentrum. Prøvepunkt 6 ligger ved gruvene ved Folldal sentrum, og prøvepunkt 7 til 9 ligger nedstrøms for gruveanlegget. Hensikten med oppgaven er å undersøke om metallkonsentrasjoner i avrenning fra Tverrfjellet gruve og gruvene ved Folldal sentrum påvirker elva Folla.

Det ble tatt vannprøver i perioden august–oktober 2020 som senere ble analysert med ionekromatografi for ioner og ICP-MS for elementanalyse. I tillegg ble det målt standardparameterne pH, ledningsevne, redokspotensial og turbiditet under prøvetaking. Diffusive prøvetakere, DGT, ble lagt ut i løpet av prøvetakingsperioden for å kunne fremskaffe døgn- og ukemiddel.

Resultatene viser en økning i metallkonsentrasjon i prøvepunkt 2 og 6, som ligger nedfor gruvene. Svovel og jern hadde generelt høye metallkonsentrasjoner i prøvepunkt 2, men som raskt ble fortynnet nedover i elva. Det ble igjen en økning i konsentrasjoner i prøvepunkt 6 og 7. PCA-analyse antyder at prøvepunkt 2 ikke har en stor påvirkning på prøvepunktene nedover i elva, som kan være fordi metallene felles fort ut i dette punktet. Ved å regne om sulfat til svovel, viser det seg at svovel også forekommer i en annen form enn sulfat. Dette kan for eksempel være sulfid eller thiosulfat.

Det ble generelt funnet høye kobber- og sinkkonsentrasjoner i prøvepunkt 6 og 7. For kobber ble det funnet konsentrasjoner over miljødirektoratets krav på 7,8 µg/l, som vil si at kobberkonsentrasjonene i avrenning fra gruvene ved Folldal sentrum kan påvirke fisk og dyreliv i elva. Årsaken til lavere kobber- og sinkkonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 2 kan være at renseanlegget ved Tverrfjellet gruve fungerer bra.

Abstract

This master thesis focuses on Folldal Verk and contaminants related to the runoff situation from closed mines and landfills. Folldal Verk is divided into two areas: Tverrfjellet mine at Hjerkin and the mines at the center of Folldal. Below the mines, the river Folla flows. Water samples were taken from 9 locations in the river. A reference point was placed upstreams for the Tverrfjellet mine. The second location was at Tverrfjellet mine, and location three to five was placed between the Tverrfjellet mine and the mines at the center of Folldal. Location six was at the mines at center of Folldal, and locations seven to nine is downstream the mines from the mines. The purpose of this thesis was to investigate the runoff from the mines and how it affects the river Folla.

Water samples were taken in the period August–October 2020, and was later analysed with ion chromatography for ions and ICP-MS for elemental analysis. In addition, standard parameters pH, conductivity, redox potential and turbidity were measured. Diffusive samplers, DGT, were placed in the river during the sampling period to provide daily and weekly means.

The results show an increase in metal concentration at location two and six, which are located below the mines. Sulfur and iron had generally high metal concentrations in location two, that was quickly diluted downstream. An increase in sulfur- and iron concentration was seen in location six and seven. PCA analysis suggests that location two does not have an effect on the locations down the river, which may be because the metals precipitates quickly at this point. By converting sulphate to suflur it shows that sulfur also occurs in another form than sulphate, for example sulphide or thiosulphate.

High copper and zinc concentrations were generally found at location six and seven. Copper concentrations higher than the Norwegian Environmental Agency's limit of 7,8 µg/l were registered, which means that the copper concentrations in runoff from the mines at the center of Folldal can possibly affect fish and the wildlife in the river. The reason for lower copper and zinc concentration found in location two could be attributed to the Tverrfjellet treatment plant working well.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet under lektorutdanning i realfag, LUR, ved institutt for kjemi på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven ble utført i perioden august 2020 til juni 2021, og markerer avslutningen på en femårig utdanning.

Jeg ønsker å takke min veileder, professor Øyvind Mikkelsen, for uvurdelig bistand gjennom hele arbeidet med oppgaven. Jeg har fått hjelp til planlegging av prøvetakingsturer, analyse av prøver og resultater, og gjennom skriveprosessen. Takk for alle gode råd! Jeg vil også takke Øyvind Garmo fra NIVA for gode innspill og nyttig informasjon. Takk for all hjelp og gode tilbakemeldinger! I tillegg vil jeg takke Anica Simic for ICP-MS analyse av vannprøvene.

Til slutt vil jeg takke min samboer, Truls Torgersen, for støtte og oppmuntring gjennom hele prosessen. Takk til min far, Tom Gederø, for korrekturlesing av oppgaven. Jeg vil også rette en stor takk til min tante, Solvor Motland Kirkemo, for å ha introdusert meg for forurensningsproblematikken rundt gruvearbeid. Helt til slutt vil jeg takke mine fantastiske studievenninner, Julie Navelsaker, Marte Pettersen og Marita Hestnes. Uten dere hadde studietiden vært elendig. Takk for all støtte og gode samtaler.

Trondheim, 2. juni 2021

Ingrid Stuland Evensen

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	V
ABSTRACT	VI
FORORD	VII
INNHOLDSFORTEGNELSE	VIII
FIGURER	X
TABELLER	XIII
1 INNLEDNING	1
2 TEORI	3
2.1 NORSK GRUVEDRIFT	3
2.2 KILDER TIL FORURENSNING FRA GRUVEDRIFT	4
2.3 MILJØKONSEKVENSER AV NEDLAGTE GRUVER	7
2.4 FOLLDAL GRUVER.....	9
2.4.1 Kilder til forurensning.....	10
2.5 OVERVÅKING	12
2.6 MILITÆRAKTIVITET PÅ HJERKINN	15
2.7 INSTRUMENTELLE TEKNIKKER	16
2.7.1 Prøvetaking	16
2.7.2 DGT.....	17
2.7.3 ICP-MS.....	19
2.7.4 Ionekromatografi.....	20
2.8 STATISTISK BEHANDLING AV DATA	23
2.8.1 Generell statistikk.....	23
2.8.2 Boksdiagram.....	24
2.8.3 Prinsipal komponentanalyse (PCA).....	25
3 EKSPERIMENTELT	25
3.1 PRØVETAKING OG MÅLING.....	25
3.1.1 Beskrivelse av prøvepunktene	27
3.2 DGT.....	37
3.3 ICP-MS	38
3.4 IONEKROMATOGRAFI	38
4 RESULTATER	39
4.1 RESULTATER PARAMETERE.....	39
4.1.1 Redokspotensial.....	39
4.1.2 pH.....	40

4.1.3	<i>Ledningsevne</i>	41
4.2	RESULTATER IONEKROMATOGRAFI.....	42
4.2.1	<i>Klorid</i>	43
4.2.2	<i>Sulfat</i>	44
4.3	RESULTATER FRA ICP-MS.....	46
4.3.1	<i>Svovel</i>	46
4.3.2	<i>Jern</i>	48
4.3.3	<i>Kobber</i>	50
4.3.4	<i>Sink</i>	51
4.3.5	<i>Bly</i>	52
4.3.6	<i>Kobolt</i>	53
4.4	RESULTATER FRA DGT.....	54
4.4.1	<i>Jern</i>	55
4.4.2	<i>Kobber</i>	56
4.4.3	<i>Sink</i>	57
4.4.4	<i>Bly</i>	58
4.4.5	<i>Kobolt</i>	59
5	DISKUSJON	60
5.1	RESULTATER AV PCA-ANALYSE.....	60
5.2	KORRELASJONSKURVER.....	64
5.3	OPPSUMMERING METALLER	66
5.4	SAMMENLIGNING MED TIDLIGERE STUDIER	69
6	KONKLUSJON	73
7	REFERANSER	74
	VEDLEGG	78

Figurer

Figur 2.1: Eksempel på gruvedrift i Norge, fra Olavsgruva på Røros (11).....	4
Figur 2.2: Kart over Folldal Verk og elven Folla (31).	9
Figur 2.3: Bildet viser Hovedgruva i Folldal (8).....	10
Figur 2.4: Bildet viser et vertikalutsnitt av Tverrfjellet gruve. Til venstre er malmsone 1 (35).	12
Figur 2.5: Prøvepunkter i Folla nedstrøms Folldal Verk.	14
Figur 2.6: Kobberkonsentrasjoner i målestasjonene i Folla (36).	15
Figur 2.7: Fire faktorer som betraktes før prøvetaking (40).	17
Figur 2.8: Presentasjon av DGT. Det første laget er et filterpapir, det andre laget en diffusjonsgel og det tredje laget chelex (43).	18
Figur 2.9: Illustrasjon av delene av et massespektrometer, basert på følgende kilde (45).....	19
Figur 2.10: Illustrasjon av et HPLC-system (45).	22
Figur 2.11: Toppen i (d) viser «fronting», toppen i (e) viser «tailing» (50).	23
Figur 2.12: Figuren viser et eksempel på et boksdiagram (54).....	25
Figur 3.1: Prøvepunkt 1.....	28
Figur 3.2: Prøvepunkt 2.....	29
Figur 3.3: Bildet viser myren rundt prøvepunkt 2.....	30
Figur 3.4: Prøvepunkt 3.....	31
Figur 3.5: Prøvepunkt 4.....	32
Figur 3.6: Prøvepunkt 5.....	33
Figur 3.7: Prøvepunkt 6.....	34
Figur 3.8: Prøvepunkt 7.....	35
Figur 3.9: Prøvepunkt 8.....	36
Figur 3.10: Prøvepunkt 9.....	37
Figur 4.1: Gjennomsnittlig redokspotensial fra de ni prøvepunktene, med standardavvik.....	40
Figur 4.2: Gjennomsnittlig pH fra de ni prøvepunktene, med standardavvik.....	40
Figur 4.3: Gjennomsnittlig ledningsevne fra de ni prøvepunktene med standardavvik.....	41
Figur 4.4: Gjennomsnittlig ledningsevne uten prøvepunkt 2 med standardavvik.....	41
Figur 4.5: Konsentrasjon funnet for klorid fra de ni prøvepunktene analysert med ionekromatografi.	44
Figur 4.6: Gjennomsnittskonsentrasjonen av klorid i prøvepunktene med standardavvik.	44

Figur 4.7: Konsentrasjon funnet for sulfat fra de ni prøvepunktene analysert med ionekromatografi.	45
Figur 4.8: Konsentrasjon funnet for sulfat fra prøvepunktene bortsett fra punkt 2 analysert med ionekromatografi.	45
Figur 4.9: Gjennomsnittskonsentrasjonen av sulfat i prøvepunktene med standardavvik.	46
Figur 4.10: Gjennomsnittskonsentrasjon av sulfat i prøvepunktene, bortsett fra prøvepunkt 2, med standardavvik.	46
Figur 4.11: Konsentrasjon av svovel i prøvepunktene analysert med ICP-MS.	47
Figur 4.12: Konsentrasjon av svovel i prøvepunktene, bortsett fra prøvepunkt 2, analysert med ICP-MS.	47
Figur 4.13: Boksdiagram for svovel i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	48
Figur 4.14: Boksdiagram for svovel i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla uten prøvepunkt 2.	48
Figur 4.15: Konsentrasjon funnet for jern i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.	49
Figur 4.16: Konsentrasjon av jern funnet i prøvepunktene bortsett fra prøvepunkt 2 ved ICP- MS analyse.	49
Figur 4.17: Boksdiagram for jern i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	50
Figur 4.18: Konsentrasjon av kobber funnet i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS. .	50
Figur 4.19: Boksdiagram for kobber i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	51
Figur 4.20: Konsentrasjon funnet for sink i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.	51
Figur 4.21: Boksdiagram for sink i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	52
Figur 4.22: Konsentrasjon funnet for bly i de ni prøvepunktene ved ICP-MS analyse.	53
Figur 4.23: Boksdiagram for bly i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	53
Figur 4.24: Konsentrasjon funnet for kobolt i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS. .	54
Figur 4.25: Boksdiagram for kobolt i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.	54
Figur 4.26: Konsentrasjon funnet for jern i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved DGT.	55
Figur 4.27: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.	55
Figur 4.28: Kobberkonsentrasjon funnet ved bruk av DGT i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7.	56
Figur 4.29: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.	57
Figur 4.30: Sinkkonsentrasjon funnet ved bruk av DGT i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7.	57
Figur 4.31: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.	58

Figur 4.32: Blykonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT.	58
Figur 4.33: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.	59
Figur 4.34: Koboltkonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT.	59
Figur 4.35: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobolt i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.	60
Figur 5.1: Score plot for prøvepunktene langs elva Folla.	61
Figur 5.2: Score plot for prøvepunktene uten punkt 2.	62
Figur 5.3: Loading plot for prøvepunktene.	63
Figur 5.4: Loading plot for prøvepunktene uten prøvepunkt 2.	63
Figur 5.5: Korrelasjonskurve klorid mot sulfat fra prøvepunktene.	64
Figur 5.6: Korrelasjonskurve klorid mot sulfat fra prøvepunktene uten punkt 2.	65
Figur 5.7: Korrelasjonskurve sulfat mot svovel for prøvepunktene.	66
Figur 5.8: Korrelasjonskurve sulfat mot svovel for prøvepunktene uten punkt 2.	66
Figur 5.9: Gjennomsnittskonsentrasjon av sulfat fra NIVA og denne undersøkelsen.	70
Figur 5.10: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern fra NIVA og denne undersøkelsen.	70
Figur 5.11: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber fra NIVA og denne undersøkelsen.	71
Figur 5.12: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink fra NIVA og denne undersøkelsen.	71
Figur 5.13: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly fra NIVA og denne undersøkelsen.	72

Tabeller

Tabell 2.1: En oversikt over de viktigste vannkvalitetsparameterne som er relevant for sulfidmalmgruver, basert på tilgjengelige definisjoner som er forenklet for lesbarhetens skyld (36).	13
Tabell 3.1: Koordinatene for de ni prøvepunktene.	26
Tabell 3.2: Informasjon om bruk av ionekromatografi.	39
Tabell 4.1: Resultater fra ionekromatografi. Tabellen viser konsentrasjoner funnet for henholdsvis fluorid, klorid, nitrat og sulfat i mg/l. Tomme ruter indikerer konsentrasjon under deteksjonsgrense. Røde tall indikerer konsentrasjon utenfor kalibreringskurven, og dermed større usikkerhet.	42

1 Innledning

Gruvedrift har spilt en sentral rolle i Norges historie, og har vært en viktig del av norsk næringsliv siden begynnelsen av 1600-tallet. Med store mineralressurser sikres arbeidsplasser lokalt i mange kommuner, som igjen gir økonomiske positive ringvirkninger. Flere steder i Norge er nedlagte gruver omgjort til museum, som også bidrar til lokale arbeidsplasser og næringsliv (1, 2). Til tross for mange positive faktorer ved gruvedrift, representerer de også et forurensningspotensial. Av steinmassene som hentes ut fra berg og fjell for å utvinne mineraler og metaller, utgjør mer enn 90% restavfall. De store mengdene avfallsmasse må deponeres, enten på land eller i sjø (3, 4). Avfallsdeponiene og gruvene er ofte forurenset av tungmetaller, med avrenning til lokale bekker og vassdrag (5). I vassdragene utgjør tungmetallforurensningene en direkte fare for fisk og annet dyreliv. Dette har vi blant annet sett i Orkla nedstrøms Løkken Verk, hvor høye kobbernivåer fryktes å skade laks (6, 7).

Folldal Verk er en sulfidmalmgruve som var i drift i 250 år fra 1748 til 1993. Her ble det hentet ut kobber, sink og svovel. Gruvene er delt inn i to områder: gruvene ved Folldal sentrum og Tverrfjellet gruve på Hjerkin (8). Nedstrøms gruveområdene renner elva Folla. Gruvene ved Folldal sentrum er i dag omgjort til museum, og området er fredet som et kulturminne. Forurensningsproblemene ved Folldal Verk er hovedsakelig knyttet til avrenning fra deponier og gruvene i Folldal sentrum (3). Selv 15 år etter staten slo fast at forurensningen fra gruvene måtte stoppe, renner det årlig rundt 15 tonn kobber, 10 tonn sink, 200 tonn jern og 1000 tonn sulfat fra Folldal Verk ut i Folla (9).

Denne masteroppgaven tar for seg forurensningsproblematikken i Folla fra Tverrfjellet gruve og gruvene i Folldal sentrum. Det ble gjennomført prøvetaking i Folla flere ganger i perioden august–oktober 2020. Både ufiltrerte og filtrerte prøver ble samlet inn fra ni punkter i Folla, som strekker seg fra oppstrøms Tverrfjellet gruve til nedstrøms Folldal sentrum. Standardparameterne pH, redokspotensial, ledningsevne og turbiditet ble målt ved hvert punkt under prøvetaking. Passive prøvetakere ble plassert ut to ganger i løpet av prøvetakingsperioden for å fremkalle døgn- og ukemiddel. Prøvene ble analysert ved ICP-MS for elementanalyse og ionekromatografi for anioner. Oppgaven vil også ta for seg det omfattende materiale som foreligger fra tidligere og nåværende overvåking i Folla. Det vil

bli sett på trender og variasjoner mellom tilgjengelig data. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med NIVA.

2 Teori

Teorien i denne oppgaven vil først se på norsk gruvedrift generelt, kilder til forurensning fra gruvedrift samt miljøkonsekvenser av nedlagte gruver. Deretter går teorien inn på Follidal Gruver, overvåkning og militær aktivitet på Hjerkin. Til slutt omtales instrumentelle teknikker som er brukt i prøvetaking og analyse i forbindelse med oppgaven.

2.1 Norsk gruvedrift

Gruvedrift har stått sentralt i Norges historie, og har pågått flere tusen steder. I norsk gruvevirksomhet er det hovedsakelig metallene kobber, sink, kadmium, bly, jern og nikkel som har vært aktuelle for utvinning. Sulfidmalmgruvene har dominert i norsk gruvevirksomhet, hvor sulfidmalm er en forbindelse mellom svovel og metaller som kobber, jern og bly (7). I steinmassene som blir hentet ut fra gruvene utgjør metaller og mineraler kun noen få prosent. Resten av massen er reststoffer, som sand, silt og steinstøv. Dette medfører at det er store mengder avfallsmasse som må deponeres, enten på land eller i sjø. For å unngå forurensning i miljøet, må avfallsmassene ha så lave konsentrasjoner av tungmetaller og produksjonsmaterialer som mulig (4). Tungmetaller vil i denne oppgaven være definert som metaller med tetthet større enn 5 g/cm^3 som det knyttes et miljøaspekt til i forurensningssituasjoner (10). Utfelling av tungmetaller og svovelsyre fra avfallsmassene kan skje i flere hundre år etter nedleggelse gjennom kjemiske prosesser, hvor tilgang på luft og vann vil øke utfellingshastigheten. Metallenes konsentrasjon i avrenning fra gruvene er avhengig av malmtypen og deponeringsforhold. Surt og tungmetallforurenset vann fra gruveområder kan havne i omkringliggende vassdragene og føre til skadelige konsekvenser. Kobber, sink, kadmium, bly, jern og nikkel er de mest aktuelle metallene i avrenning fra norsk gruvevirksomhet, hvor kobber som regel er den største forurensningskilden. Avrenningen av tungmetaller fra norske kisgruver varierer fra år til år på grunn av variasjon i nedbør og temperatur (7).



Figur 2.1: Eksempel på gruvedrift i Norge, fra Olavsgruva på Røros (11).

Et eksempel på et nedlagt gruveområde som i dag representerer et forurensningspotensial er Løkken Verk. Avrenningen på Løkken har lenge vært et problem, da det til tider har vært høye utslipp av tungmetaller. Avrenningen er hovedsakelig knyttet til gruvevann, sigevann fra velter, avløp fra oppredningsverk og avrenning fra avfallsdeponier (12). Det forurensede vannet utgjør en direkte fare for fisk og annet dyreliv i nærliggende vassdrag. Blant annet renner avrenningene fra Løkken-området til Orkla, hvor det tidvis har vært forhøyede kobberkonsentrasjoner (6).

2.2 Kilder til forurensning fra gruvedrift

Som tidligere sagt vil malmen som hentes ut av gruver kun inneholde få prosent av metaller og mineraler. På Løkken Verk ble det hentet ut 24 tonn kis, som besto av 41% svovel, 37,5% jern, 2,2% kobber, 1,9% sink, 0,07% kobolt og 0,02% bly (13, 14). Som vi ser fra eksempelet fra Løkken, vil det være store mengder restavfall som må deponeres. Driften av sulfidmalmgruvene i Norge har vanligvis pågått under jordoverflaten, og det er derfor relativt lite avfall som har blitt deponert sammenlignet med andre gruver. Gruveavfallet kan plasseres i velter, også kalt avfallsdeponier, eller deponeres under vann i innsjøer eller kunstige damanlegg (3). Avfallsdeponiene inneholder mye malm, da det ikke fantes teknologi for optimal utnyttelse av malmen som ble hentet ut av gruvene. Av den grunn er deponiene en kilde til forurensning (5).

Avfallet som deponeres på land i velter fra sulfidmalmgruvene inneholder ofte høye konsentrasjoner av sulfider. Det største miljøproblemet knyttet til velter er avrenning, som

ofte inneholder høye konsentrasjoner av metaller. Det er flere nedlagte gruveområder i Norge med store forurensningsproblemer knyttet til metallholdig avrenning fra velt, deriblant Løkken Verk og Folldal Verk. Sulfidmalmgruvene er forbundet med de største miljøproblemene, da forvitringsegenskapene til pyrittmineraler vil forårsake frigjøring av metaller (3). Pyritt, FeS_2 , er det vanligste mineralet i sulfidmalmgruver, og finnes ofte i forbindelse med andre elementer som arsen, vismut, kadmium, kobolt, kobber, gallium, indium, kvikksølv, molybden, bly, rhenium, antimon, selen, tinn, tellur og sink (15). Frigjøring av metaller gjør at avrenningen fra veltene vil inneholde høye metallkonsentrasjoner, og kan påvirke elver og innsjøer i området rundt, som igjen vil ha stor negativ innflytelse på fisk og andre organismer (3). Hvor høye metallkonsentrasjoner fisk tåler er artsavhengig. Det er likevel satt en grense på at fisk vil kunne overleve med kobberkonsentrasjoner mellom 10-15 mikrogram per liter (7).

I Norge har vi begrenset erfaring med avfallsdeponering i det marine miljø, mye på grunn av at flere av de store kismalmgruvene, som Røros og Folldal, ligger inne i landet. Deponering av gruveavfall i sjø er forbudt eller strengt regulert i flere land (3). Likevel mener norske og utenlandske fagmiljø at deponering i sjø kan gi mindre utlekking av metaller enn avfallsdeponering i velt på land (16). Et prinsipp om sjødeponering er at massene ikke skal komme i kontakt med det øvre laget i havet hvor primærproduksjonen skjer. I tillegg fokuseres det å legge deponeringene i rørsystem for å unngå at suspensjonen fra gruveavfallet ikke transporteres oppover i vannet. Når massene transporteres til sjøen, er det viktig at massene transporteres bort fra utslippsområdet. Dette er sentralt for å unngå at massene samles i en stor haug med en stor skråning, da det da er fare for ras som kan forflytte løsmasser. Et annet viktig punkt er at avgangsledningen må være fri for luftbobler, da luftboblene vil kunne frakte med seg små partikler til overflaten. For å kunne deponere gruveavfall i sjø i Norge, må forurensningsmyndighetene gi en tillatelse. Dette vurderes ut fra type avgangsmateriale, mengde, utslippsarrangement og resipientens egenhet (3).

Ved flere nedlagte gruveområder, som Folldal Verk og Løkken Verk, har gruvene naturlig blitt fylt opp med vann. Dette blir gjort for å redusere oksidasjon av sulfidmineraler (3). På Løkken Verk ble Wallenberg gruve fylt med forurenset gruvevann for å bli brukt som et selvrensende anlegg. Med tiden ble graven tildekket med jernslam, og mistet da evnen til å regulere pH. Dette fører til at pH-verdien synker, noe som gir økt utvasking av metaller (17). Med tiden vil graven bli fylles med vann. Det vil gi avrenning og utlekking av metaller i

nærområdet. Avrenningen må derfor håndteres før surt gruvevann lekkers ut i nærområdet, noe som kan gi biologiske effekter i vassdragene rundt (3).

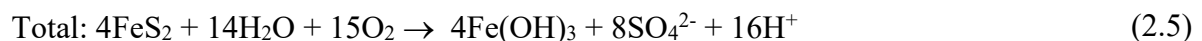
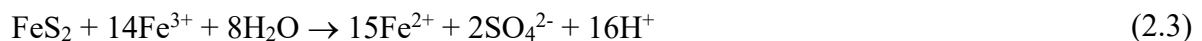
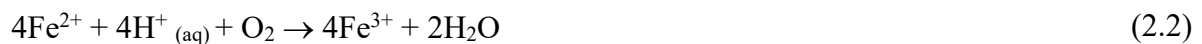
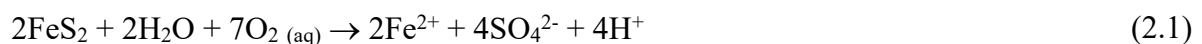
Etter at gravemasser har blitt deponert rundt et gruveområde, kan det besluttes å flytte massene til andre steder, som for eksempel under vann. En grunn til at en ønsker å flytte avfallsdeponier er å redusere avrenning fra forurensede områder. Å flytte velt kan medføre økt oksidasjon og avrenning under og etter flytting av avfallsdeponiene. Store terrenginngrep og fjerning av kulturminner er også medfølgende risiko, og det er ikke alltid at slike flyttetiltak forbedrer den forurensede avrenningen (18).

I forbindelse med gruvedrift kan det også være forurensning knyttet til før og under produksjonsfasen. Tungmetaller eksisterer naturlig i jorden, og er til stede i mineraler. Når mineraler gjennomgår kjemisk forvitring, vil tungmetaller og halvmetaller kontinuerlig slippes ut i miljøet ved ulike hastigheter og konsentrasjoner. Frigjøring av tungmetaller til miljøet kommer fra kjemiske prosesser, som oppløsning av mineraler og desorpsjon av kjemiske specier. Sorpsjon er en samlebetegnelse for adsorpsjon og absorpsjon (19). Adsorpsjon er avsetning av en væske, gass eller ioner på overflaten på et fast stoff, mens absorpsjon er når en væske eller gass går inn i et annet stoff (20, 21). Desorpsjon er den motsatte reaksjonen av adsorpsjon, hvor det adsorberte stoffet vil fjernes fra overflaten til det faste stoffet (22). I høye nok konsentrasjoner kan tungmetaller forurense jord og grunnvann. Tungmetallets toksisitet og biotilgjengelighet avhenger av dens reaktivitet og løselighet, som bestemmes av elementets speciering eller kjemisk form. Speciering refererer til identiteten til elementet, dens oksidasjonstilstand, dens fysiske tilstand (blant annet hvilken fase den forekommer i: væske, gass eller fast form), dens empiriske formel og detasjert molekylstruktur (23). Svovel er et metall som oftest prates om i forbindelse med antropogen forurensning, med kilder fra blant annet økt forvitring på grunn av gruvedrift og den påfølgende eksponeringen av kull- og sulfidmalmmineraler til oksygenholdig vann, utslipp av svovelavfall fra industri til elver, og utlekking av svovelholdig gjødsel. Likevel kommer også svovel i elver fra naturlige kilder. Dette inkluderer bergforvitring, hvor hovedformene for svovel i sedimenter er pyritt og gypsum og anhydritt (CaSO_4). Vulkaner, fumaroler og spesielt varme kilder, samt syklisk svovel fra havet som transporteres med atmosfæren er andre svovelbidrag til elver (24).

Transport av forurensninger med luften kan forekomme ved direkte overføring av flyktige specier eller partikler. Atmosfæriske suspenderte partikler, inkludert aerosol og støv, kan spille en viktig rolle i transport av miljøforurensninger, spesielt de med lav flyktighet og lav vannløselighet som forblir bundet til jordpartikler. Gruveproduksjon vil produsere støv og aerosoler som kan inneholde høye konsentrasjoner av metaller. Gjennom transport med luft og atmosfæriske partikler med potensiell høy hastighet og avstand, kan partiklene forurense et stort område. Støv- og aerosolutslipp fra gruveproduksjon er vanligvis assosiert med høye konsentrasjoner av kvikksølv, bly, arsen og krom (25).

2.3 Miljøkonsekvenser av nedlagte gruver

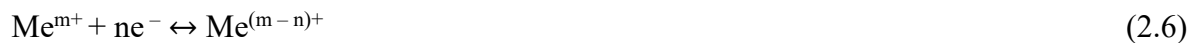
Når en gruve fylles med vann og blir utsatt for oksygen, kan dette føre til oksidasjon av mineraler, deriblant pyritt. Oksidasjon av pyritt i vann vil gi surt vann, som kan føre til syreavrenning og dermed miljøproblemer i nærområdet (15). Oksidasjon av pyritt i vann vil danne sulfat, samt to- og treverdige jern. I tillegg kan det forekomme svovel, polysulfider, hydrogensulfider, toverdige jernhydroksider, jernoksider og treverdige jernoksohydroksider. Det er også foreslått at det kan oppstå mellomprodukter som tiosulfat, sulfitt og polytionater. Hvilke av elementene som forekommer avhenger av en rekke faktorer: pH, oksidasjonstilstand, konsentrasjon, temperatur, trykk, overflateareal, hydrodynamikk og reduksjonspotensial. Sistnevnte er den mest avgjørende faktoren (26). Oksidasjon av pyritt er vist ved følgende ligninger, hvor redoksovergangene til jern står sentralt (15, 26):



Pyritt, FeS_2 , i vann i surt miljø med oksygen til stede oksideres til treverdige jern (ligning 2.1 og 2.2). Treverdige jern kan oksidere svovel i pyritt og danne mer toverdige jern (ligning 2.3), eller reagere med vann og danne jern(III)hydroksid (ligning 2.4). Et fall i pH skjer grunnet

dannelse av syre etter oksidasjon av pyritt. Syreavrenning vil derfor forekomme ved oksidasjon av pyritt.

Oksidasjon av pyritt er den best kjente oksidasjonen av svovelkis. I tillegg vil oksidasjon av andre metallsulfider finne sted, som kobberkis (CuFeS_2), sinkblende (ZnS) og arsenkis (AsFeS_2). Krystallstrukturen til disse metallsulfidene kan inneholde forurensninger eller andre sporelementer, som for eksempel at sinkblende kan inneholde signifikante mengder kadmium. Oksidasjon av de nevnte metallsulfidene har likhetstrekk med pyritt. Jern er et metall som ofte er til stede i forbindelsen. I tillegg impliserer oksidasjon med treverdige jern og biologisk katalyse at i oksidasjon av de fleste metallsulfidene vil pH være et sentral parameter. Oksidasjon av andre metallsulfider som kobber, sink, kadmium og arsen, vil kunne forurense avrenning fra gruvevann (27). En generell ligning for oksidasjon av metaller er vist i ligning 2.6, hvor Me er et metall (28).



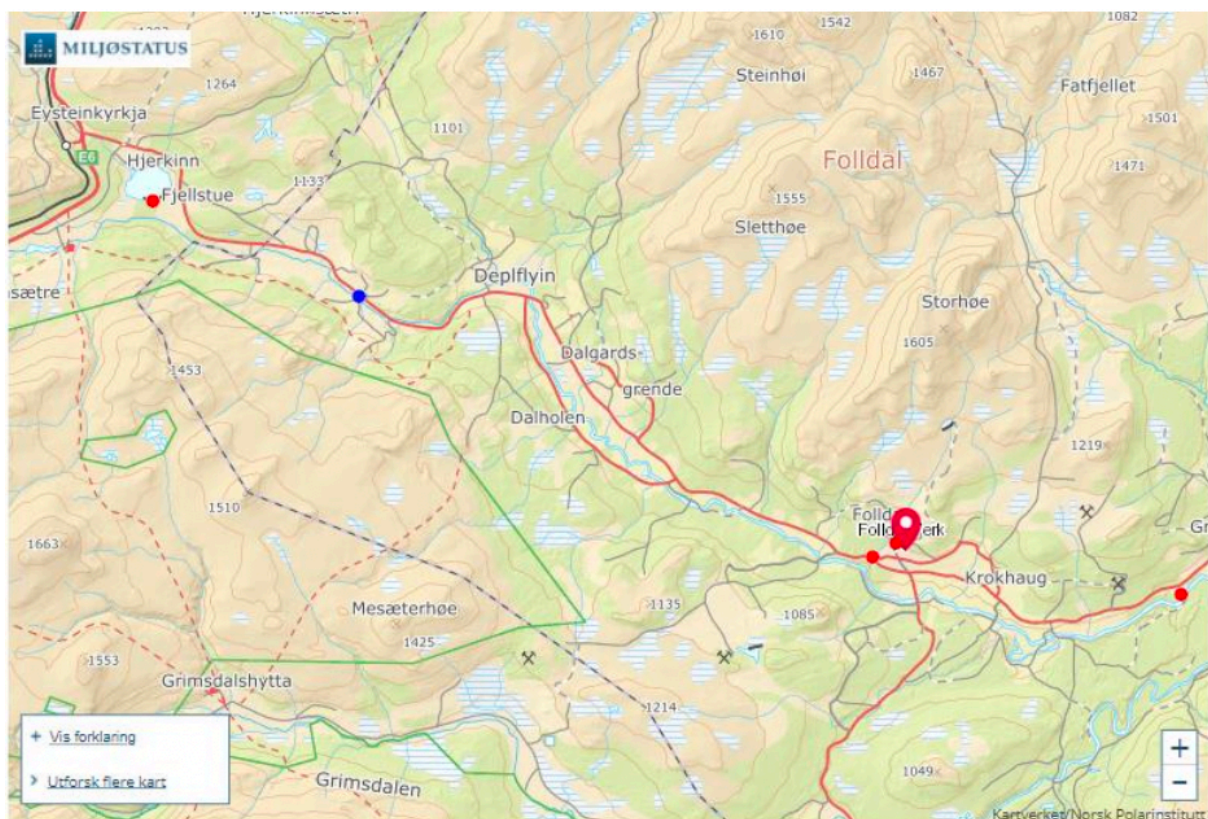
Oksidasjon av mineraler vil også forekomme i gruveavfall som er deponert i velt (15). Sulfater, karbonater og særlig sulfider vil være ustabile i kontakt med vann og/eller luft. Når avfallsdeponiene utsettes for oksygen og vann, vil forvitningsprosesser oppstå. Vannet og oksygenet reagerer med pyritt som danner svovelsyre, som igjen vil akselerere forvitningsprosessen (3). Avrenning fra avfallsdeponier som utsettes for vann og oksygen vil dermed gi utlekking av surt vann med jern og andre metaller.

Sur avrenning med høyt metallinnhold fra nedlagte gruver og avfallsdeponier skaper miljøproblemer, blant annet kan det medføre dårlig vannkvalitet i vassdragene rundt gruveområdene. Dyre- og planteliv som normalt sett skulle vært til stede kan reduseres eller bortfalle helt. Fisken i vassdragene kan få betydelig høyere metallkonsentrasjoner, og i noen tilfeller så høye konsentrasjoner at fisken ikke kan spises (3). Kobber er et av metallene som i høye konsentrasjoner vil ha negative biologiske konsekvenser, og det er satt en grense på at kobberkonsentrasjoner ikke skal overskride $7,8 \mu\text{g/L}$. Kobber er et metall å være bekymret for i surt og metallholdig gruvevann, da det er akutt giftig i visse bindingsformer for vannlevende organismer, samt påvirker reproduksjonsevnen til fisk (7, 29). Et eksempel på hvor

gruveavrenning har overskredet kobberkonsentrasjon på 10 µg/L er Orkla nedstrøms Løkken Verk (30).

2.4 Folldal gruver

Folldal er et annet viktig geografisk område med gruvedrift. Her hadde Folldal Gruver drift fra 1748 til 1993, og i 1964 startet Folldal Verk Tverrfjellet gruve på Hjerkin. Det ble hentet ut kobber, sink og svovel fra gruvene, og til sammen ble det produsert rundt 4,5 millioner tonn kismalm (8).



Figur 2.2: Kart over Folldal Verk og elven Folla (31).

Gruvedriften i Folldal hadde stor betydning for veksten i regionen fra 1700-tallet. Folldal Verk ble til et eget samfunn, hvor det ble bygget boligbrakker, bakeri, butikk, slakter, vaskeri, skole og festlokale. Til sammen ble det drevet fem gruver i Folldal: Hovedgruva, Søndre Geitryggen gruve, Nygruva, Grimsdalsgruva og Nordre Geitryggen gruve. Etter Tverrfjellet gruve på Hjerkin ble startet i 1964, ble med tiden all produksjon flyttet hit. Da alle

tilgjengelige ressurser va utnyttet, ble gruvedriften i 1993 avviklet. I dag utgjør de fleste av bygningene kulturminnet Folldal Gruver (32).



Figur 2.3: Bildet viser Hovedgruva i Folldal (8).

Nedenfor for gruveområdet renner elven Folla. Her ender avrenningene fra Tverrfjellet gruve på Hjerkinns og gruvene i Folldalområdet – avrenninger som er sure og metallholdige. Det er konkludert med at årsaken til at det ikke finnes fisk i deler av Folla, er det metallholdige vannet som renner fra gruvene (33).

2.4.1 Kilder til forurensning

I Folldal Gruver er et av de største avrenningsproblemene knyttet til gruvene i Folldal sentrum. Dette inkluderer avrenning fra deponier og gruvevann (3). Det er store veltområder rundt gruvene i Folldal sentrum, og i dalsiden nord for bebyggelsen i Folldal er et stort område dekket av velt. Etter gruvedriften ble nedlagt, ble mye av avfallsmassene flyttet og deponert i Tverrfjellet gruve (31). Fordi gruveområdet ved Folldal sentrum har blitt fredet som et kulturminne, setter dette begrensninger på hvilke tiltak som er mulig å gjøre. Derfor står det i dag flere gamle velt igjen som det ikke kan gjøres noe med (3, 31). Forurenset gruvevann og avrenning fra velt som renner fra Folldal sentrum til Folla varierer fra år til år, grunnet variasjon i nedbør og klima. Ved flere anledninger har det blitt rapportert

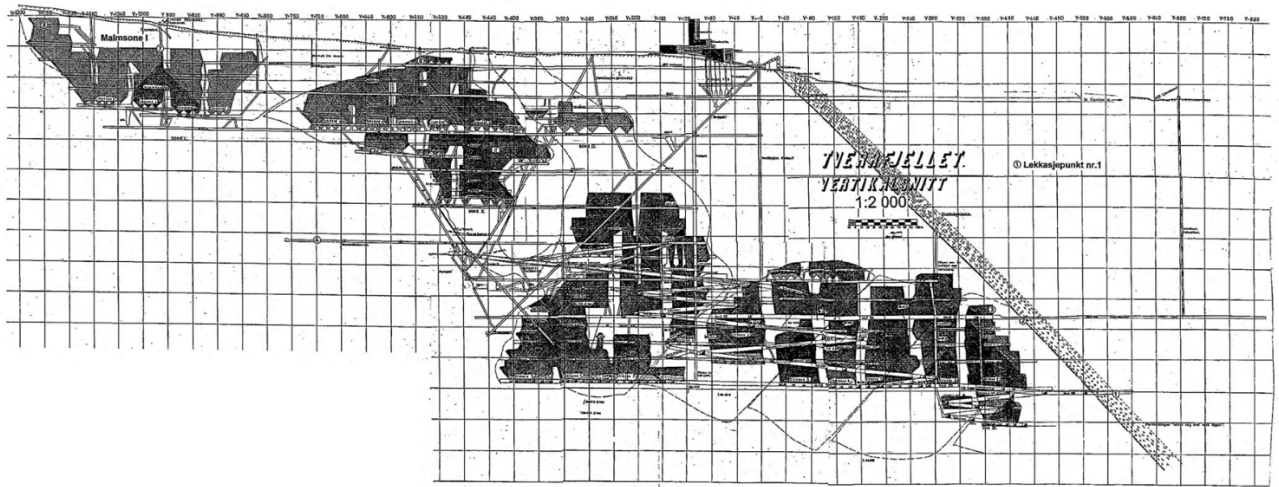
kobberkonsentrasjoner høyere enn 50 µg/l, som er langt over Miljødirektoratets grense på 7,8 µg/l. På grunn av de høye metallkonsentrasjonene finnes det ikke fisk i Folla i 12 kilometers avstand nedstrøms Folldal sentrum (29, 34).

Ettersom Tverrfjellet gruver på Hjerkinns ble opprettet relativt nylig, ble det tatt i bruk en ny deponeringsteknologi for å unngå de kjente miljøproblemene i Folldal sentrum.

Avfallsmassene ble deponert under vann i en anlagt dam for å begrense forvitningsprosessene samt kontrollere spredning av avgangspartikler. Selv om deponeringen i seg selv gikk bra, endret vanntilførselen fra Hjerkinndammen den kjemiske vannkvaliteten i Folla på grunn av kjemikalieutslipp, og det ble langt høyere konsentrasjoner av sulfat og kalsium enn naturlig. Mens driften pågikk, ble det deponert rundt 300.000 tonn masse per år i Hjerkinndammen. Det ble observert en effekt på bunndyrbestanden i Folla på grunn av utslippene, og før vårflommen kunne det observeres avsetninger av avgangspartikler i bunnsedimentene i elva (3).

Da Tverrfjellet gruve på Hjerkinns skulle legges ned, ble det utarbeidet en tiltaksplan. Det ble planlagt at gruva, ved hjelp av naturlig tilrenning, skulle fylles med vann. På Tverrfjellet er det etablert flere malmsoner. I Malmsone 1, som er et avgrenset område, ble gruveavfall fra gruveområdet i Folldal sentrum deponert i 1993. Et vertikalutsnitt av Tverrfjellet gruve er vist i figur 3.4 (35). Dette avfallet var sulfidholdig og sterkt forvitret. Det ble også tilsatt kalk i massene (35). Kalk er et nøytraliseringsmiddel som vil heve pH og metaller felles ut som hydroksider. I tillegg vil sulfat skilles ut som gips (34). Det ble også planlagt å legge deponiet under vann. Mot slutten av 1998 ble forurensningstilstanden i området fulgt opp av Norsk institutt for vannforskning. Det ble besluttet at det ville ta flere år før gruva ble fylt opp med vann, og at det derfor ikke trengtes et videre program for å følge opp vannfyllingen på dette tidspunktet. Det viste seg imidlertid at gruva ble fylt med vann mye raskere enn først antatt, og i 2008 kom overløpet. Et program ble satt i gang for å undersøke tilstanden ved overløpet av gruva, ved utløpet av Hjerkinndammen og der vannet renner ned til Folla (35). Mengden tungmetaller i avrenningen var økende, og det ble derfor satt i gang et renseanlegg i 2013/2014 for å redusere mengden metaller og utfelling av jern. Det rensede gruvevannet har utløp til Hjerkinndammen. I dag er tungmetallkonsentrasjonene i Hjerkinndammen ikke så høye at det er giftig for dyreliv, og på grunn av den høye pH-en foreligger kobber som utfelte partikler. Fisk ble satt ut allerede i 1993 i Hjerkinndammen, som i dag blir brukt som et fiskeområde for interesserte. Avrenningene fra veltområdene på Hjerkinns er betydelig

reduisert etter at deponering av forurensede masser endte, og har i dag en veldig liten lekkasje av tungmetaller (34).



Figur 2.4: Bildet viser et vertikalutsnitt av Tverrfjellet gruve. Til venstre er malmsone 1 (35).

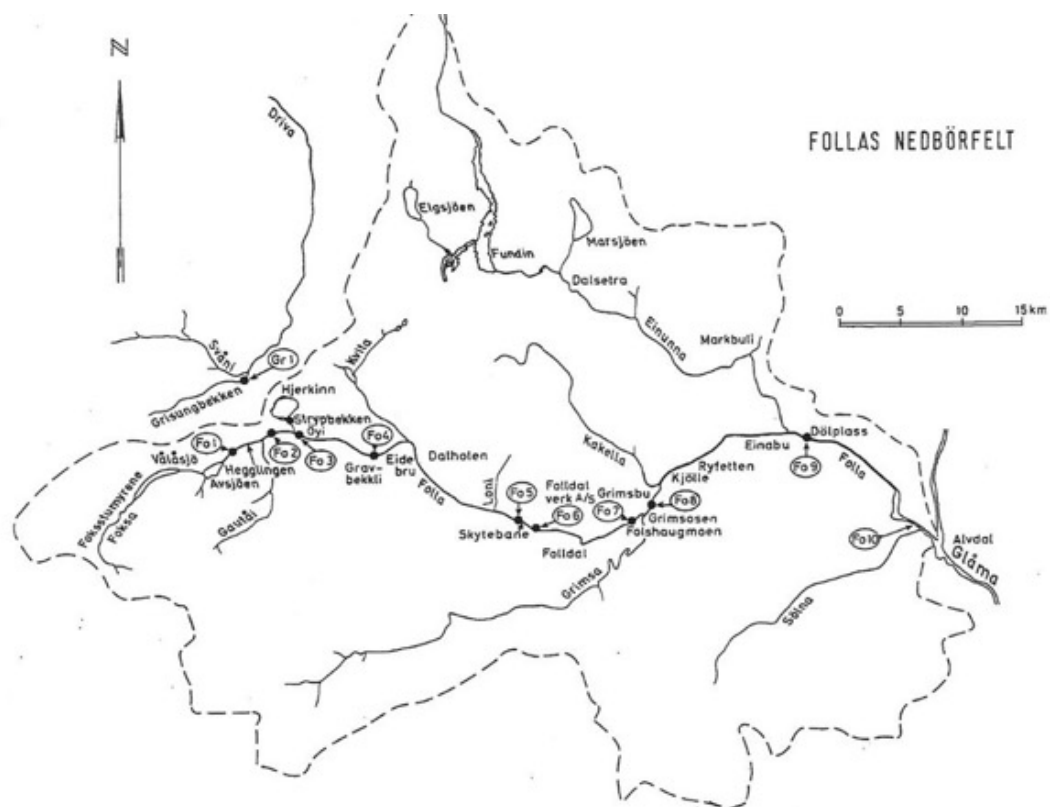
2.5 Overvåking

For å sikre at tilstanden til sjø- og ellevann er i henhold til fastsatte miljømål og for å vurdere om eventuelle tiltak skal gjennomføres for å forbedre vannforekomster, vil første steg være overvåking. Overvåkingen gjennomføres i den matriksen hvor stoffene forventes å være, som i vann, sediment eller biota. Hvilken matriks som velges avhenger derfor av egenskapene til stoffet. Etersom stoffer ofte finnes i flere matrikser, overvåkes kjemisk tilstand i alle de tre gitte. I gruveområder og nærliggende elvesystemer, som i elven Folla, er det stor sedimenttransport av masser. Derfor er det lite relevant å analysere i sedimenter. I overvåkningsprogram her er det derfor kun analysert vann og fisk. Når det skal analyseres forurensninger fra sulfidmalmgruver, tas det i bruk flere relevante parametere som kan gi informasjon om vannkvaliteten. Parameterne er gitt i tabell 2.1 (36).

Tabell 2.1: En oversikt over de viktigste vannkvalitetsparametere som er relevant for sulfidmalmgruver, basert på tilgjengelige definisjoner som er forenklet for lesbarhetens skyld (36).

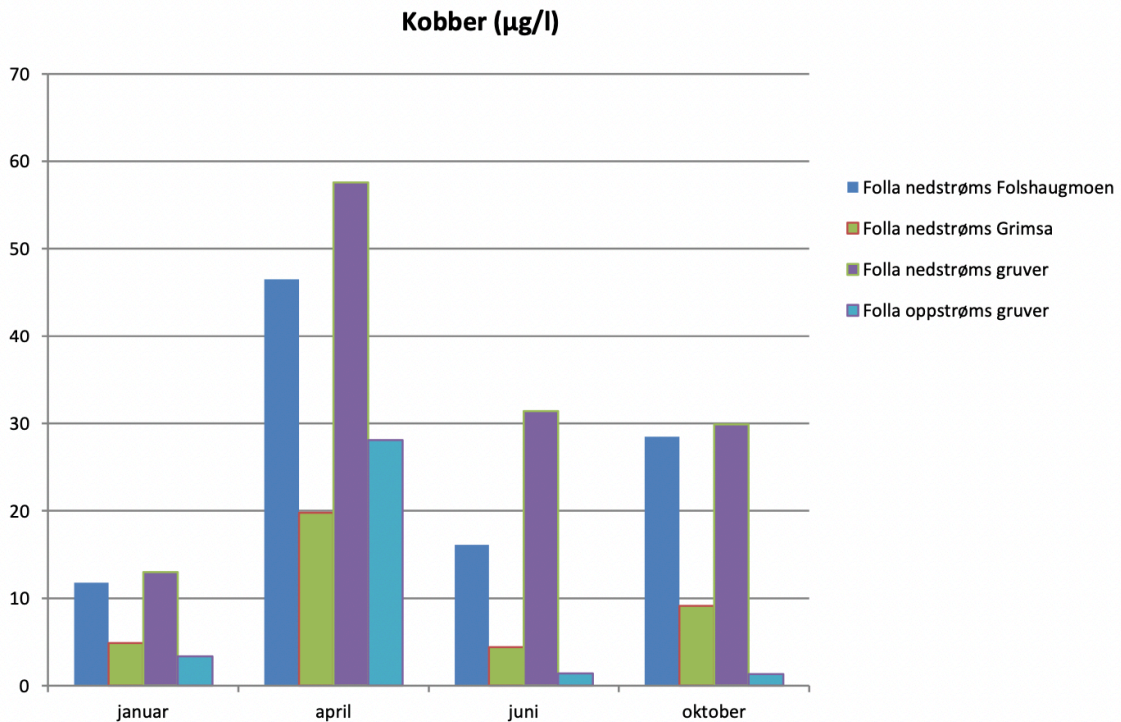
Analyseparametere	Beskrivelse
pH	Beskriver om vannet er surt eller basisk. Dette kan være på grunn av avrenning av surt vann fra gruveområder, eller ved bruk av kalk som nøytraliseringsmiddel
Spesifikk ledningsevne	Er et mål på vannets saltinnhold, og vil være nyttig for å detektere forurensninger
Sporelementer med bekymring knyttet til miljø (tungmetaller)	Vil analyseres for de viktigste, som Cu, Fe, Zn og Cd. Er miljøgifter og kan være giftige
Løst aluminium	Er meget giftig for fisk
Kalsium	Benyttes for å vurdere vannets kalkinnhold
Alkalitet	Karbonat/biokarbonat-innhold, og er et mål på vannets bufferevne. Er definert som alle negative ioner med baseegenskaper i vann.
Sulfat	Gir svovelinnholdet i vannet, og vil gi mulighet for dannelse av metallsulfider
Turbiditet	Beskriver vannets uklarhet i form av små partikler. Partikler kan inneholde metaller, og vil derfor være et støtteparameter i resultater fra tungmetallanalyser
Redokspotensial (ORP)	Vannets kapasitet til å frigjøre eller motta elektroner fra kjemiske reaksjoner

Det har blitt utført flere overvåkingsprogrammer i Folla nedstrøms Tverrfjellet gruve og gruvene i Folldal sentrum. Analyser har blitt utført på de samme punktene helt siden 1966 og frem til i dag. I tillegg har fisketetthet og metaller i fisk blitt analysert. I figur 2.5 er det vist et kart over NIVAs prøvepunkter. I 2015 gjennomførte COWI i regi av Direktoratet for mineralforvaltning med Bergemesteren for Svalbard prøvetaking i punktene Fo6, Fo7 og Fo8, i tillegg til et punkt i samlet avrenning fra gruveområdet i Folldal sentrum og et nedstrøms Folldal sentrum (36).



Figur 2.5: Prøvepunkter i Folla nedstrøms Follidal Verk.

Resultatene fra COWI viste blant annet at kobberkonsentrasjonene i Folla oppstrøms gruveområdet i Follidal sentrum var lavere enn nedstrøms gruveområdet. Dette er vist i figur 2.6. Den samme trenden ble funnet for sink (36).



Figur 2.6: Kobberkonsentrasjoner i målestasjonene i Folla (36).

2.6 Militæraktivitet på Hjerkins

Militæret har preget naturen på Hjerkins i omtrent hundre år med et 165 kvadratmeter stort skytefelt (37). I 1999 vedtok Stortinget atv skytefeltet på Hjerkins skulle legges ned og tilbakeføres til sin naturlige tilstand. Norgeshistoriens største naturrestaureringsprosjekt ble dermed satt i gang, hvor Forsvarsbygg hadde ansvaret for opprydningen (38).

Opprydningsarbeidet ble ferdig i 2020. Forsvarets aktiviteter satte preg på Dovrefjell, og vil etter opprydningen være en del av Dovrefjells kulturhistorie, og dermed bli bevart som kulturminner (39). Skytefeltet har vært preget av deponering av store mengder metaller på grunn av militær aktivitet, spesielt etter andre verdenskrig. Blant annet er det deponert rundt 770 tonn kobber og 250 tonn bly. Vannet i hovedbekkene rundt skyteområdet har hatt metallkonsentrasjoner som anses som lave, og det er ikke observert negative effekter på biota. De lave metallkonsentrasjonene i bekkene kan være et resultat av et kalkrikt jordsmonn, i kombinasjon med fortykning av vann fra lite forurensede deler av nedbørsfeltet. Kalk i jordsmonnet fører til skorpedannelse av metallkarbonater, metallbikarbonater og metall-sulfater på prosjekttilfragmentene som er deponert i området. Skorpedannelsen fører til at korrosjonshastighetene reduseres kraftig. Selv om hovedbekkene rundt skyteområdet hadde

lave metallkonsentrasjoner, ble det funnet høyere konsentrasjoner i sidebekkene. Disse ble vurdert som forurenset (40).

2.7 Instrumentelle teknikker

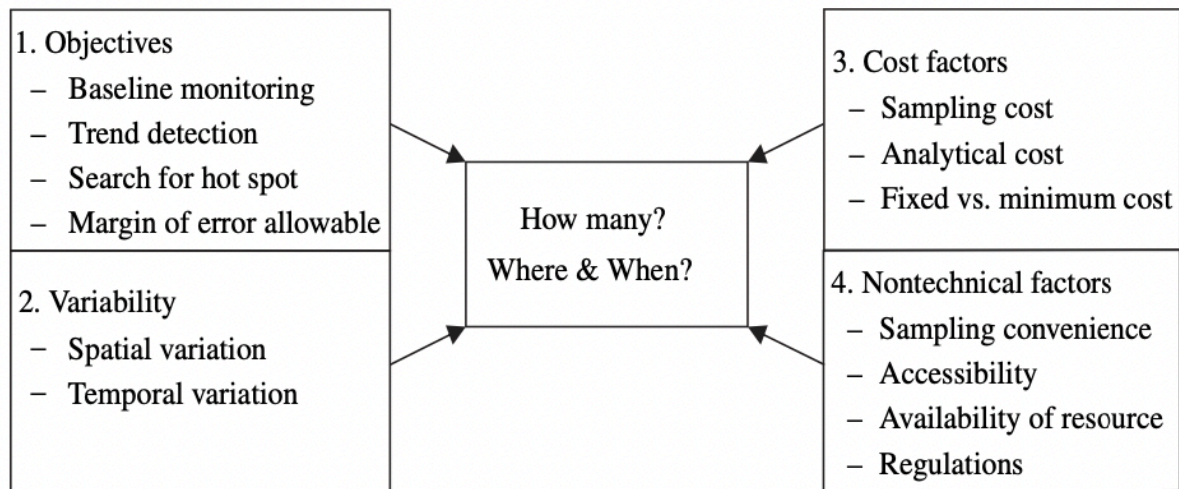
I forbindelse med vannprøver er det vanlig å kartlegge metallkonsentrasjoner ved bruk av analysemetoder som ICP-MS og ionekromatografi, samt måling av pH, ledningsevne, temperatur, turbiditet og redokspotensial. Det kan i tillegg brukes passiv prøvetaking basert på diffusjonsgradient i tynne filmer, DGT, for å bestemme metallkonsentrasjoner over en tidsperiode.

2.7.1 Prøvetaking

Hvor og hvor ofte prøvetaking skal finne sted avhenger av hva som er formålet med analysen. Det beste for en studie er å ha flest mulig prøver, men det finnes ofte begrensninger i form av mangel på tilgjengelige ressurser. Likevel er kvalitet viktigere enn kvantitet, og antall prøver må derfor ikke gå på bekostning av kvaliteten. Dårlig kvalitet vil kunne gi flere feilkilder, og dermed mindre pålitelig statistikk og resultater (41).

I forbindelse med prøvetaking i elver og bekker finnes det sertifiserte prosedyrer. I denne sammenheng vil NS 5667-6:2014 være relevant (42). Før prøvetakingen er det flere faktorer som må tas i betraktning, blant annet formål, variasjon, pris og ikke-tekniske faktorer (figur 2.7), samt hvor i elven prøvetakingen skal gjennomføres. Formålet med prøvetakingen må først bestemmes. Hvis det for eksempel skal tas vannprøver, er formålet å vise en trend eller naturlige bakgrunnsnivåer i elven? Hvis formålet er å vise en trend må prøvetakingen gjøres over en lengre periode, men det er ikke behov for mange prøver hver gang. Hvis formålet er å vise naturlige bakgrunnsnivåer i elven, trengs det flere prøver på kortere tid. Et annet viktig hensyn er variasjon i miljøet. Variasjoner i både tid og sted er ofte av interesse. Noen ganger er det interesse for å se mønster i forurensninger både i tid og sted, mens andre ganger kun en av faktorene. Overflatevann av ulike typer kan være heterogene både i tid og sted, som et resultat av lagdeling. Lagdelingen gjør det vanskelig å samle representative prøver, og er et vanlig problem i hav, dype innsjøer og elver med lav strømningshastighet. Dersom for eksempel kloakkvann møter en elv, kan det også her oppstå lagdeling. Kostnader knyttet til prøvetaking og analyse er en betraktning som må ta hensyn til i studier, og å sikre et ønsket

nivå av kvalitet ved lavest mulig kostnad. I tillegg er det andre faktorer som hvor lett vint prøveinnsamlingen er, tilgjengelighet av prøvetakingsutstyr og reguleringer (41).



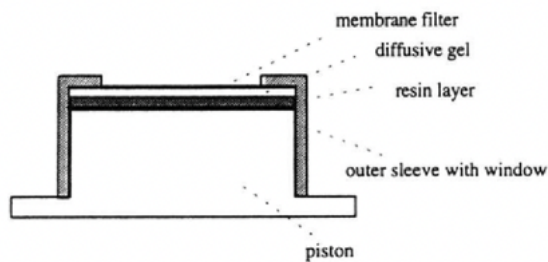
Figur 2.7: Fire faktorer som betraktes før prøvetaking (40).

Når prøvetaking foregår langs elvekanten, er det viktig å unngå forurensning fra bunnen og siden av elven. Derfor skal prøvetaking foregå kun der elvekanten er stabil, og det bør unngås silt-soner. Det er også ønskelig at det er god strøm i elven langs elvekanten. Dersom det er mulig, kan det brukes en stang for å ta vannprøver lenger borte fra elvekanten. Hvis elven er smal, er det ønskelig å ta vannprøvene fra midt i elva. Der det er gjennomførbart skal prøvene samles inn fra rundt 30 cm under vannoverflaten, hvis ikke skal de samles inn midt mellom overflaten og elvebunnen. Turbiditet bør noteres ned, samt andre tegn til forurensning og avvik. Det er viktig at prøveutstyr som kommer i kontakt med vannet renses, helst tre ganger. Prøvetakingsbeholderne bør merkes på innsamlingstidspunktet, slik at etterfølgende analytiske resultater kan tolkes riktig (42).

2.7.2 DGT

Diffusjonsgradient i tynne filmer, DGT, er en teknikk som brukes til å prøveta labile i ferskvann og marine systemer for å senere brukes til kvantitativ analyse. Under utplassering akkumuleres metallioner kontinuerlig. Den totale mengden metallioner akkumulert etter en gitt tid vil måles og bli brukt til å kalkulere konsentrasjonen av labile specier tilstede. DGTs oppbygning er vist i figur 2.8. Det innerste laget består av et ionebyttelag (chelex), som vil akkumulere metallioner. Over chelexen ligger et diffusjonslag for å etablere kjente

diffusjonsbetingelser. Til slutt kommer et filterpapir med en porestørrelse på 0,45 μm , for å hindre at partikler skal komme inn i gelen. Temperatur og pH vil være faktorer som påvirker resultatene. Chelexen vil være uavhengig av pH i området 5-8,3, og effekten av temperatur kan kalkuleres (43).



Figur 2.8: Presentasjon av DGT. Det første laget er et filterpapir, det andre laget en diffusjonsgel og det tredje laget chelex (43).

Ved bestemmelse av konsentrasjonen av de frie metallionene i chelexen, brukes ligning 2-1. C_b er konsentrasjonen av de frie metallionene, M er masse, Δg er tykkelsen på diffusjonsgelen, D er diffusjonskoeffisienten i gelen, t er tiden som DGT ligger i vannet og A er overflatearealet av membranen (43).

$$C_b = \frac{M\Delta g}{DtA} \quad (2-1)$$

Metallene bundet i chelexen kan analyseres ved bruk av x-ray fluorescens (XRF) eller ved å eluere metallene i et kjent volum salpetersyre (HNO_3) før analyse i ICP-MS. Massen av diffunderte ioner, M , kan også beregnes ved bruk av ligning 2-2. Her er C_e konsentrasjonen av ionene i syreeluenten, V_g er volumet av chelexen (og er ofte neglisjerbar), V_e er volumet av HNO_3 løsningen og f_e er elusjonsfaktoren (43).

$$M = \frac{C_e(V_g + V_e)}{f_e} \quad (2-2)$$

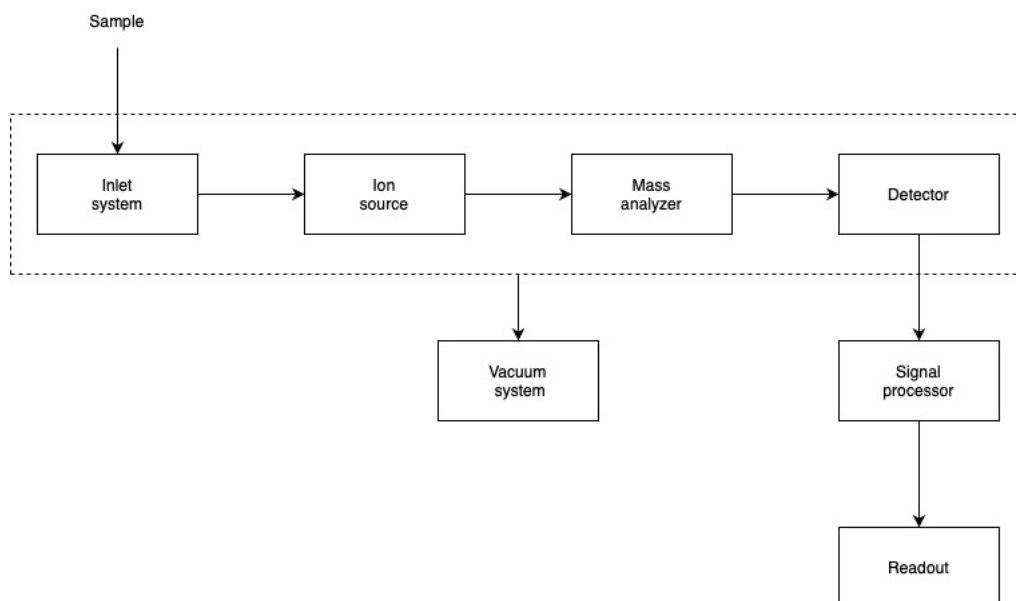
Når DGT legges ut i vann, kan de festes til en flaske som synker til bunn. Flasken kan så festes med tråd til land, slik at den er enkel å få opp igjen. For å sikre at flasken ligger godt under vann, kan den festes til en sten under vann. Det er viktig at DGT-ene ligger under vann

hele perioden, slik at den ikke tørker ut. DGT er en teknikk som er egnet for å måle blant annet metallkonsentrasjoner over lengre tidsperioder, og ved bruk av denne metoden unngås forurensning knyttet til innsamling og filtrering av vann med lave metallkonsentrasjoner. Kun frie ioner og relativt små labile komplekser kan gå gjennom diffusjonsgelen. Porestørrelsen i diffusjonsgelen vil avgjøre hvilke komplekser som kan diffundere gjennom (44).

2.7.3 ICP-MS

Massespektrometri er en av de viktigste analytiske teknikkene, og er et allsidig verktøy for å innhente informasjon om identiteten til en ukjent forbindelse – dens molekylære masse, elementære sammensetning og i mange tilfeller kjemisk struktur. I massespektrometeret konverteres analyttmolekyler til ioner ved tilføring av energi. Ionene separeres basert på deres masseladningsforhold som går videre til signalformerer som konverterer antallet ioner til elektrisk signal. Signalet plottes som et massespektrum (45).

En illustrasjon av komponentene i et massespektrometer er vist i figur 2.9. Prøver sendes inn i maskinen gjennom prøveintroduksjonsenhet. Etter introduksjon omdannes prøven til ioner i plasma, som går videre til kvadropol og treffer detektorsystemet. Induktiv koblet plasma massespektroskopi, ICP-MS, er en form for atomisk massespektrometri. Ionekilden til ICP-MS er induktiv koblet plasma, og bruker høy-temperatur argon plasma (45).



Figur 2.9: Illustrasjon av delene av et massespektrometer, basert på følgende kilde (45).

ICP-MS er en analytisk teknikk godt egnet for multielementanalyser og for bestemmelse av isotopforhold. Teknikken har et bredt dynamisk spekter, og produserer et spekter som generelt er lettere å tolke enn andre analytiske teknikker. Kvadropole instrumenter har en lav deteksjonsgrense, og er ofte mindre enn 1 ppb. Kvantitative analyser er normalt utført ved å forberede kalibreringskurver ved hjelp av eksterne standarder (45).

Atomisk massespektrometri har støtt på interferensproblemer som faller innenfor to kategorier: spektroskopiske interferenser og matriks interferenser. Spektroskopiske interferenser oppstår når en ionisk specie i plasma har samme masseladningsforhold som et analyttion. Dette oppstår som oftest fra polyatomiske ioner, elementer som har samme isotoper med omtrentlig lik masse, dobbeltladede ioner og ildfaste oksidioner.

Høyoppløsningsspektrometri kan redusere eller eliminere mange av disse interferensene. Matriks interferenser kan oppstå når konsentrasjonen av matriksspecie overskrider 500-1000 µg/mL, som kan redusere analyttsignalet. En slik interferens kan reduseres ved å fortygne prøvene, separere interferens specier eller bruke en interstandard med omtrent samme masse og ioniseringspotensial som analytten (45). Et annet problem er spektral overlapp på grunn av isobarisk interferens, som er et resultat av at ulike elementer i prøven har like masseisotoper. For eksempel interfererer ^{58}N med ^{58}Fe . Det samme gjelder for hovedisotopene for Ar^+ , med en masse på 39,948, og de mest forekommende isotopene av Ca^+ , med en masse på 40,08. Slik isobarisk interferens kan korrigeres ved å måle mer enn én isotop av interferensspecien, for å så bruke den kjente isotopen til å korrigere med interferensen. Alternativt kan en annen analyttisotop brukes (46).

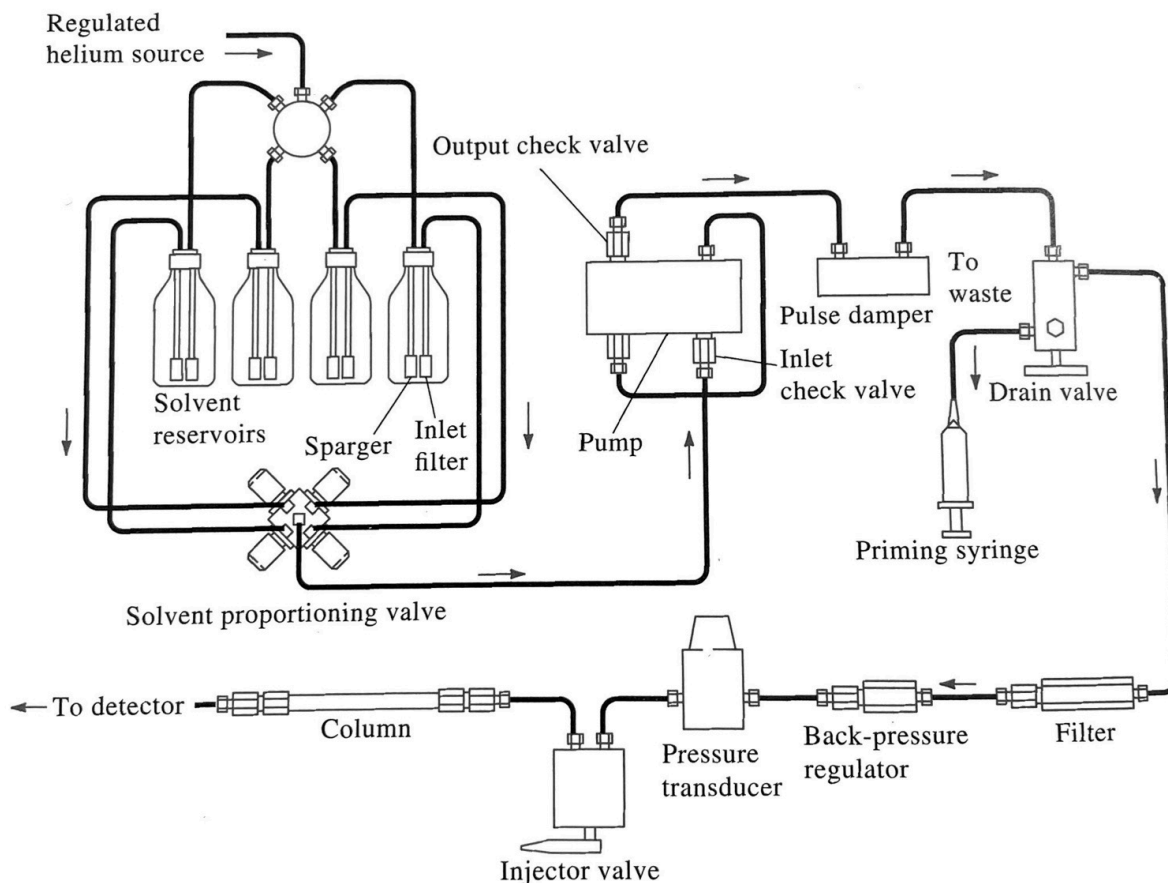
2.7.4 Ionekromatografi

Væskekromatografi, high-performance liquid chromatography (HPLC), er en av de mest allsidige og allment brukte metodene i elueringskromatografi. Det finnes flere typer HPLC klassifisert ut fra separasjonsmekanisme eller type stasjonærfase, hvor ionekromatografi er en av dem. Her brukes en ionebytter som stasjonærfase for å separere ladede specier (45).

Ionebytteren består av et uløselig, polymert materiale med ioniske grupper. På grunn av elektrostatisk tiltrekning vil disse ionene tiltrekkes motioner, og på grunn av ulik affinitet til ionene i stasjonærfasen vil ionene i løsningen separeres (47).

Et diagram av de ulike viktige komponentene i en typisk HPLC er vist i figur 2.10. Den første delen er løsemiddelreservoar, som er mobilfasen/elueringsmiddelet. Elueringen kan foregå

isokratisk, hvor løsemiddelets komposisjon holdes konstant. Gradient eluering er en annen metode, hvor komposisjonen av løsemiddelet endres kontinuerlig eller i en rekke trinn. Den sistnevnte metoden forbedrer separasjonen effektivt. Det er viktig at løsemiddelet er fritt for gasser og støv, da løste gasser kan føre til ikke-reprodusere strømningshastigheter. For å unngå dette kan det brukes avgassere i form av for eksempel et vakuum pumpesystem. Videre kommer pumpesystemet, hvor det stilles fem krav: (1) generering av høyt trykk, (2) pulseringsfritt *output*, (3) strømningshastighet i området 0,1–10 mL/min, (4) flytreproduserbarhet på 0,5% relativt eller bedre, og (5) resistans mot korrosjon av en rekke løsningsmidler. Etter pumpesystemet kommer injeksjonssystemet, hvor det mest brukte er basert på prøvetakingsloop. En slik injeksjon gir god reproduserbarhet. Mange HPLC-instrumenter har en autosampler med en automatisk injektor, som vil injisere en fast mengde prøve fra autosampleren. Etter injeksjonssystemet kommer kolonnen, som er den stasjonære fasen. I ionekromatografi er kolonnen pakket med ionebytter. Til slutt kommer detektoren. HPLC-detektorer må ha lavt dødvolum for å minimere utvidelse av ekstra kolonnebånd, og i tillegg være kompatibel med væskestrømmen. De mest brukte detektorene i HPLC er basert på absorpsjon av ultrafiolett eller synlig stråling. Det brukes både fotometere og spektrofotometere, hvor sistnevnte er mer allsidig og mest brukt i HPLC (45).



Figur 2.10: Illustrasjon av et HPLC-system (45).

Det brukes i dag to ulike typer av ionekromatografi: suppressorbasert og enkel-kolonne. De skilles ut fra metodene brukt for å unngå at ledningsevne av eluerings elektrolytten forstyrrer måling av analyttledningsevnen. I suppressorbasert ionekromatografi er ionebytterkolonnen etterfulgt av en suppressorkolonne. Suppressorkolonnen konverterer ionisk eluent til en ikke-ionisk specie som ikke forstyrrer deteksjonen av analyttionene. I enkel-kolonne ionebytterkromatografi separeres analyttionene på en ionebytter med lav kapasitet ved hjelp av elueringsmiddel med lav ionisk styrke som ikke forstyrrer deteksjonen av analyttionene (45).

Det er ønskelig at analyttene skal ha god separasjon, samt at toppene er smale. Smale topper gir større sikkerhet ved identifisering, sikrere og enklere kvantifisering og mindre fare for overlapp med andre topper. Den ideelle toppen har Gauss distribusjon (48). Ved overbelastning av kolonnen kan tidlig eluerte oppløste stoffer ha «fronting» toppformer og redusert platetall. Topper med «tailing»-form, også kalt haledannelse, kan være et resultat av

at noen steder av stasjonærfasen holder igjen løsningen sterkere enn andre steder. Tilbakeholdende analytter kan skyldes ubelagte steder på kolonnen som kan beskyttes av endringer i mobilfasen (49). Figur 2.11 viser eksempel på topper med «fronting» og «tailing» (50). I kombinasjon med delvis overlappende topper, utgjør asymmetriske topper et problem for måling av areal av toppene. Retensjonen til stoffer er temperaturavhengig, hvor økende temperatur reduserer retensjonen for de fleste forbindelser. Ved å øke kolonnetemperaturen kan asymmetriske topper bedres, ettersom økt temperatur reduserer viskositeten av mobilfasen og dermed reduserer mottrykket, gir økt hastighet og forbedrer oppløsning (49).



Figur 2.11: Toppen i (d) viser «fronting», toppen i (e) viser «tailing» (50).

2.8 Statistisk behandling av data

2.8.1 Generell statistikk

Gjennomsnitt er en matematisk metode for å beregne middelerdien i et datasett, og representeres ofte med symbolet \bar{x} . Å beregne gjennomsnitt gjøres ved å dele summen av alle målingene på antall målinger i datasettet 2-3 (45).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-3)$$

Ved hjelp av gjennomsnittet kan standardavvik bestemmes, som er et mål på presisjon. Standardavviket vil gi et mål på verdienes gjennomsnittlige avstand til gjennomsnittet. I statistikk av analyser brukes ofte en modifisert formel når utvalget av data er lite. Formelen for standardavvik er gitt i ligning 2-4 (45).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (2-4)$$

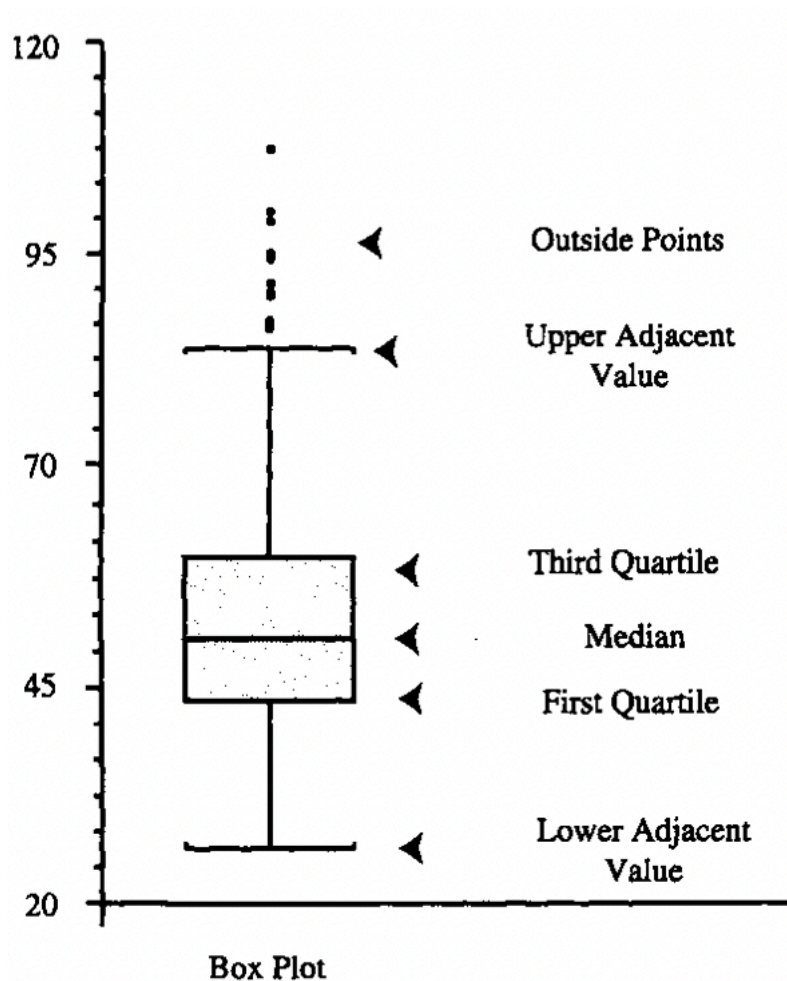
For å finne ut om forskjellen mellom to gjennomsnittsverdier i to datasett er signifikant eller skyldes en tilfeldig feil, brukes t-test. T-test kan kun brukes dersom datasettet er normalfordelt. Formel for t-test er gitt i ligning 2-5 (45).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{pooled} \sqrt{\frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2}}} \quad (2-5)$$

Dersom datasettet ikke er normalfordelt, kan Mann-Whitney U-test brukes. Mann-Whitney U-test finner ut om datasettet til to ulike grupper er signifikant forskjellig. I motsetning til t-test, som sammenligner gjennomsnittet til to datasett, sammenligner Mann-Whitney U test hele distribusjonen (51).

2.8.2 Boksdiagram

Når resultater skal presenteres, kan det i tillegg til vanlige stolpediagram brukes boksdiagram. Et boksdiagram viser fordelingen av et datasett, og vil fremheve gjennomsnitt og uteliggere. Datasettet deles inn i kvartiler, og en boks lages mellom det første og tredje kvartilet. Det vil i tillegg lages en linje i andre kvartil for å markere median. En vertikal linje, kalt whisker, kan strekke seg gjennom boksen. Whisker vil gi minimums- og maksimumsverdien utenfor første og tredje kvartil. Alle punktene utenfor disse linjene eller whiskere vil være uteliggere. Et eksempel på et boksdiagram er gitt i figur 2.12 (52, 53).



Figur 2.12: Figuren viser et eksempel på et boksdiagram (54).

2.8.3 Prinsippal komponentanalyse (PCA)

Når et datasett skal analyseres kan prinsippal komponentanalyse, PCA, brukes. PCA er en metode for å redusere dimensjonaliteten til store datasett samtidig som den beholder det meste av variasjonen. Målet er å hente ut viktig informasjon fra en tabell som presenteres som et sett med nye ortogonale variabler kalt prinsippale komponenter. Et likhetsmønster mellom observasjonene og variablene presenteres som punkter i et kart (55).

3 Eksperimentelt

3.1 Prøvetaking og måling

Vannprøver, i tillegg til måling av parameterne pH, redokspotensial, ledningsevne, turbiditet og temperatur, ble tatt ved ni forskjellige punkter langs elven Folla. Det ble tatt prøver i løpet av høsten 2020: 31. august, 23. september, 24. september, 15. oktober og 23. oktober. I

vedlegg 1 er et kartutsnitt med de ni forskjellige prøvepunktene langs elven Folla lagt ved. Punktene går fra 1–9 fra venstre mot høyre. Koordinatene for de ni prøvepunktene er gitt i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Koordinatene for de ni prøvepunktene.

Prøvepunkt	Koordinat
1	62.195812, 9.543563
2	62.209437, 9.596063
3	62.198812, 9.613937
4	62.188937, 9.700312
5	62.133688, 9.966312
6	62.126438, 9.988437
7	62.135437, 10.140937
8	62.153937, 10.181312
9	62.191312, 10.460938

Vannprøvene fra hvert punkt ble tatt med en plastflaske. Prøvene til ICP-MS ble tatt med en 10 mL sprøyte fra plastflasken, og det ble tilsatt 10 mL i plastrør. Det ble tatt en filtrert og en ufiltrert prøve i hvert punkt på hver av prøvetakingsdagene. Prøvene til ionekromatografi ble også tatt med en 10 mL sprøyte fra plastflasken, hvor det ble tilsatt 40 mL i plastrør. Det ble tatt ufiltrerte prøver.

Det ble også målt pH, redokspotensiale, ledningsevne, turbiditet og temperatur i hver av punktene. pH og redokspotensialet ble målt med en WTW 3430 multimeter, med en SensoLyte orp 900-P redokselektrode og en SenTix 940 pH elektrode. Ledningsevne ble målt med et WTW 350i Multimeter med en ConOX elektrode. Både enhetene og elektrodene var fra wtw. Turbiditet ble målt med et Turbiquant 1100 IR instrument.

23. september var det en del regn, som medførte at det ikke ble tatt prøver i prøvepunkt 2. Det samme gjaldt 24. september, da det hadde kommet rundt 5 cm med snø.

3.1.1 Beskrivelse av prøvepunktene

Folla er en elv som renner fra Dovrefjell og ned til Alvdal, hvor den møter Glomma (56). Som tidligere sagt er det valgt ut ni punkter i Folla. Punktene er valgt ut fra tidligere prøvepunkter bestemt av NIVA, noe som gjør det mulig å sammenligne med historisk data. Prøvepunkt 1 er et referansepunkt, da det ligger før Tverrfjellet gruve på Hjerkinns og gruvene i Folldal sentrum. Prøvepunkt 2 er tatt i en sidebekk av Folla, Strypbekken, som renner fra Hjerkinndammen og ned til Folla. Punktet er plassert nedfor Tverrfjellet gruve. Prøvepunkt 3, 4 og 5 er plassert mellom Tverrfjellet gruve og gruvene ved Folldal sentrum. I prøvepunkt 6 er det forventet å finne høye metallkonsentrasjoner fra gruveområdet ved Folldal sentrum, da det er plassert rett nedfor gruveområdet. Prøvepunkt 7 er plassert like etter, mens prøvepunkt 8 og 9 er plassert lenger ned i elva.

3.1.1.1 Prøvepunkt 1

Punktet ligger rett før en bro som går over til et hyttefelt. Omtrent 600 meter fra prøvepunktet ligger den trafikkerte veien E6. Vannet er nokså grunt, men blir dypere ved mye nedbør. Vannet er klart, og langs elven er det vegetasjon i form av busker og trær. Elven er bred med normal strømningshastighet. Punktet ligger 24,15 km oppstrøms Folldal Verk. Figur 3.1 viser prøvepunktet.



Figur 3.1: Prøvepunkt 1.

3.1.1.2 Prøvepunkt 2

Punktet blir tatt i Strypbekken som er preget av å være gjengrodd av vegetasjon. Figur 3.2 viser prøvepunktet. For å komme til punktet måtte vi gå rundt 300 meter i gress og myr fra riksvei 29. Myren hadde flere steder en kraftig brunfarge, som vises i figur 3.3. Ettersom punktet var preget av å være gjengrodd, var det sakte vannstrøm i elven. I tillegg var vannet grunt og elven tilsynelatende smal. Punktet ligger 21,93 km oppstrøms Folldal Verk.



Figur 3.2: Prøvepunkt 2.



Figur 3.3: Bildet viser myren rundt prøvepunkt 2.

3.1.1.3 Prøvepunkt 3

For å komme oss til prøvepunkt 3 måtte vi gå rundt 200 meter fra riksvei 29. Vannet er klart, og elven er brei med mye vegetasjon. Elven har normal strømningshastighet og vannet er dypt. Punktet ligger i skogen uten bygninger, gårder eller industri rundt. Figur 3.4 viser området rundt prøvepunktet. Prøvepunktet ligger 20,76 oppstrøms Folldal Verk.



Figur 3.4: Prøvepunkt 3.

3.1.1.4 Prøvepunkt 4

Punktet ligger rett før en bru som ligger langs riksvei 29. I elven er det nokså sterk strøm. Elven er brei og dyp, og vannet ser klart ut. Her er det lite vegetasjon, og det ligger steiner langs elven. Ikke langt fra prøvepunktet ligger en gård. Prøvepunktet ligger 16,26 km fra Follidal Verk. Figur 3.5 viser prøvepunktet.



Figur 3.5: Prøvepunkt 4.

3.1.1.5 Prøvepunkt 5

Prøvepunktet ligger rett etter en skytebane som ligger omtrent 100 meter fra riksvei 29. Elven er bred med klart og nokså grunt vann med vegetasjon langs elva. Strømningshastigheten i elven er normal. Figur 3.6 viser området hvor prøvepunkt 5 ligger. Prøvepunktet ligger i Follalområdet, 1,61 km fra Follidal Verk.



Figur 3.6: Prøvepunkt 5.

3.1.1.6 Prøvepunkt 6

Punktet ligger i Folldalområdet, 1,64 km fra Folldal Verk. Langs elven ligger det gårder, i tillegg til industri som gjenvinner plast. Ved prøvepunktet er det steiner og vegetasjon. Steinene i og langs elven har fått et brun-rødt belegg. Vannet har normal strømningshastighet, elven er bred og dyp. Figur 3.7 viser prøvepunktet.



Figur 3.7: Prøvepunkt 6.

3.1.1.7 Prøvepunkt 7

Punktet ligger i en bratt skråning rundt 20 meter fra riksvei 29. Vannet er ikke like klart som ved de tidligere punktene, hvor rask strømningshastighet kan være årsaken til dette. Elven er bred og dyp med mye vegetasjon i området. Figur 3.8 viser prøvepunkt. Prøvepunktet ligger 7,64 km nedstrøms Folldal Verk.



Figur 3.8: Prøvepunkt 7.

3.1.1.8 Prøvepunkt 8

Punktet ligger rett etter en bru som splitter elven i to. Riksvei 29 ligger rundt 600 fra prøvepunktet. Elven er bred og nokså grunn med normal strømningshastighet. Vannet er klart, med noe hvit skum langs elvekanten. Rett ved prøvepunktet ligger en gård og et jorde med beitedyr. Figur 3.9 viser området rundt punktet. Prøvepunktet ligger 9,83 km nedstrøms Follidal Verk.



Figur 3.9: Prøvepunkt 8.

3.1.1.9 Prøvepunkt 9

Punktet ligger langs riksvei 29 rett før en bru. Elven er bred og dyp. Vannet er preget av høy strømningshastighet, men vannet er klart. Langs elven er det noe vegetasjon, i tillegg til gårder og jorder for beitedyr. Figur 3.10 viser prøvepunktet. Prøvepunktet ligger 25,02 km fra Folldal Verk.



Figur 3.10: Prøvepunkt 9.

3.2 DGT

Dagen før prøvetaking ble DGT preparert i laboratoriet. Hylsene ble vasket med destillert vann før bruk. Ved hjelp av en pinsett av plast ble chelexen først lagt på med den ruglete siden vendt opp. Videre ble det lagt på diffusjonsgelen. Til slutt ble det lagt på et cellulose

filterpapir med porestørrelse 0,45 μm . Lokket til hylsen ble så satt på. Tre DGT ble samlet i en lukket plastpose med rundt tre dråper av natriumnitrat 0,01M.

Det ble lagt ut DGT ved to forskjellige anledninger som lå ute ulike tidsperioder. Den 23. september ble det lagt ut DGT i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7, som ble tatt opp igjen 24. september. 15. oktober ble det også lagt ut DGT i prøvepunkt 3, 5 og 7, som ble tatt opp igjen 23. oktober. I hvert målepunkt ble det lagt ut tre DGT festet til en plastflaske. Flaskene ble festet til en sten under vann, for å forsikre at DGT ble liggende under vann hele måleperioden. Plastflasken ble så festet til land ved bruk av fiskesene. Etter den gitte tidsperioden ble DGT hentet opp og lagt i separate plastposer, merket med prøvepunkt og tid. DGT ble etter prøvetakingsturen lagt i kjøleskap til dagen etter.

Dagen etter prøvetakingsturen ble DGT tatt ut av plastposene. Det ble unngått kontakt mellom DGT og plasthanske. Ved hjelp av et skrujern ble lokket til hylsene tatt av. Filterpapiret og diffusjonsgelen ble så tatt bort med en plastklype, og chelexen ble lagt i et plastrør. Etter hver DGT ble pinsetten vasket med desinfisert vann. I plastrøret ble det tilsatt HNO_3 (1 M) som ble veid ut. Plastrørene med chelex og syre ble så satt i kjøleskapet i ett døgn. Dagen etter ble løsningen i chelexen tatt over i et nytt plastrør og fortynnet 1:10 med destillert vann. Vekt før og etter fortynning ble notert. Plastrørene ble oppbevart sammen med vannprøvene og senere sendt til analyse i ICP-MS.

3.3 ICP-MS

De ufiltrerte og filtrerte (0,45 μm) prøvene som skulle til ICP-MS ble på laboratoriet samme dag eller dagen etter prøvetakingstur tilsatt 3 dråper HNO_3 (0,1 M). De ble deretter satt i kjøleskap frem til de ble sendt til analyse i januar 2021. Før prøvene ble levert, ble de ufiltrerte prøvene filtrert over i nye plastrør. Sprøyten og filteret som ble brukt ble vasket med deionisert vann før hver prøve.

3.4 Ionekromatografi

Prøvene som ble analysert i ionekromatografi ble lagret i kjøleskap uten tilsatt syre frem til analysedag. Informasjon om ionekromatografien er gitt i tabell 3.2, og er bestemt ut fra ISO 10304-1 (57).

Tabell 3.2: Informasjon om bruk av ionekromatografi.

Maskin	Metrohm
Detektor	Ledningsevnedetektor 1 (940 Professional IC Vario 1)
Tid	38 min
Integrasjon	Automatisk
Kolonne	Metrosep A Supp 7 – 250/4.0
Kolonnetemperatur	45 °C
Elueringsmiddel	Anion elueringsmiddel – 3,6 mM Na ₂ CO ₃
Strømningshastighet	0,700 mL/min
Trykk	10,30 MPa
Injeksjonsvolum	20 µL

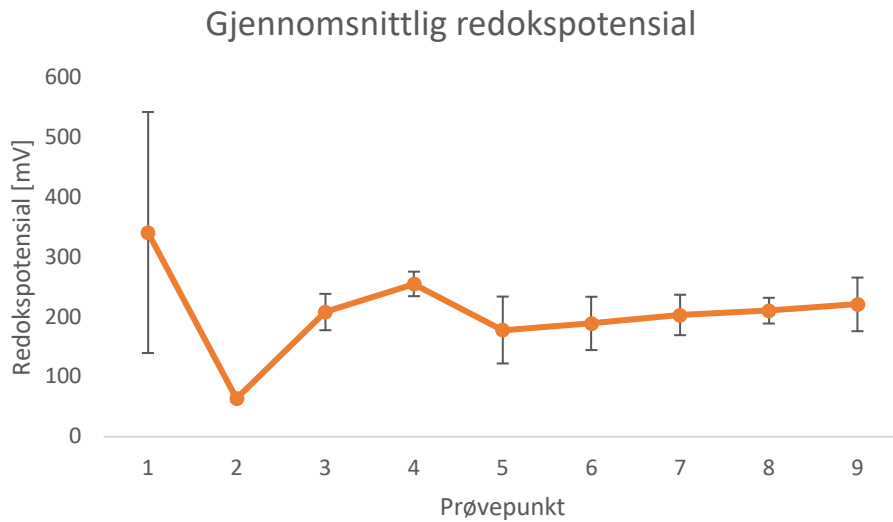
4 Resultater

I dette kapittelet vil jeg først ta for meg resultater fra parameterne redokspotensial, pH og ledningsevne. Deretter kommer resultater fra analyse med ionekromatografi og ICP-MS. Til slutt kommer resultater fra DGT. Diskusjonen vil komme i et eget kapittel.

4.1 Resultater parametere

4.1.1 Redokspotensial

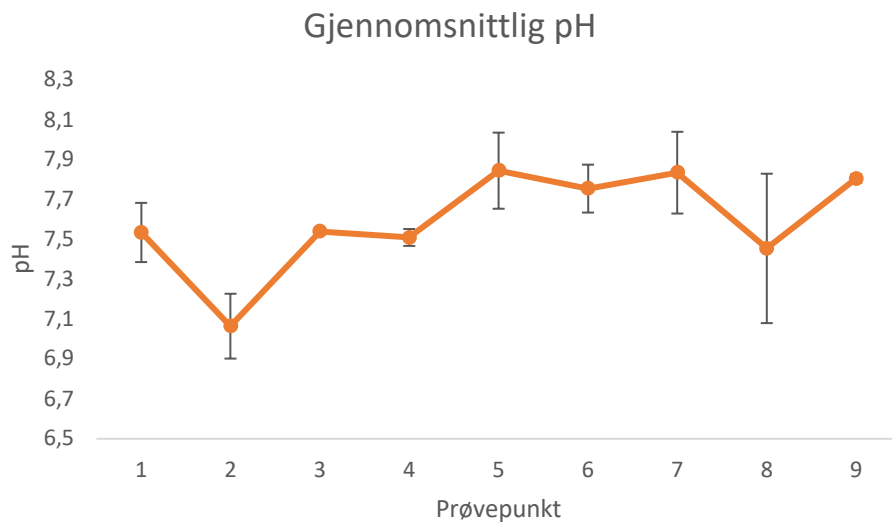
Et gjennomsnitt av redokspotensialet målt ved de ulike prøvepunktene er vist i figur 4.1. Det kan observeres et fall i redokspotensial i prøvepunkt 2. For punktene 5 til 9, hvor prøvepunkt 5 er oppstrøms Folldal sentrum og prøvepunkt 7 til 9 er nedstrøms Folldal sentrum, observeres det en svak økning i redokspotensial.



Figur 4.1: Gjennomsnittlig redokspotensial fra de ni prøvepunktene, med standardavvik.

4.1.2 pH

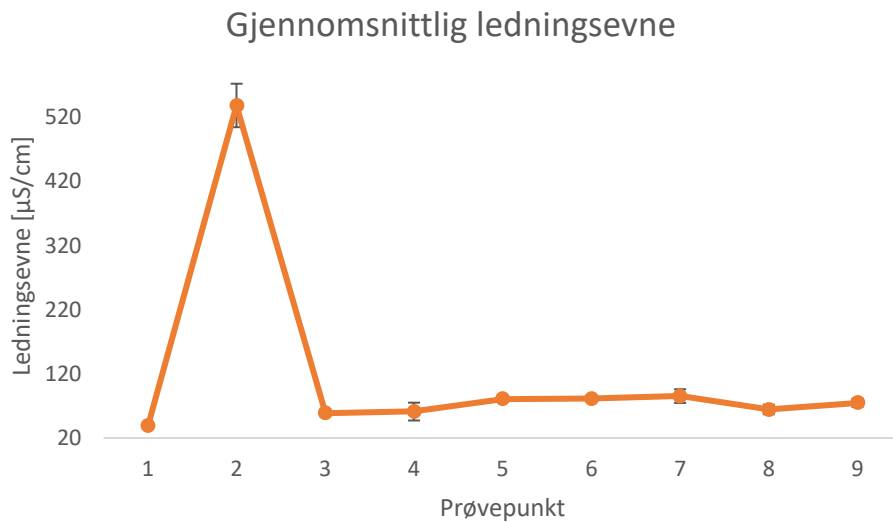
Et gjennomsnitt av pH som ble målt ved prøvepunktene er vist i figur 4.2. Det kan observeres et fall i pH i prøvepunkt 2, som er plassert ved Tverrfjellet gruve. Deretter kan det observeres en økning for prøvepunkt 3 til 7. I punkt 8 faller pH, før den øker i punkt 9.



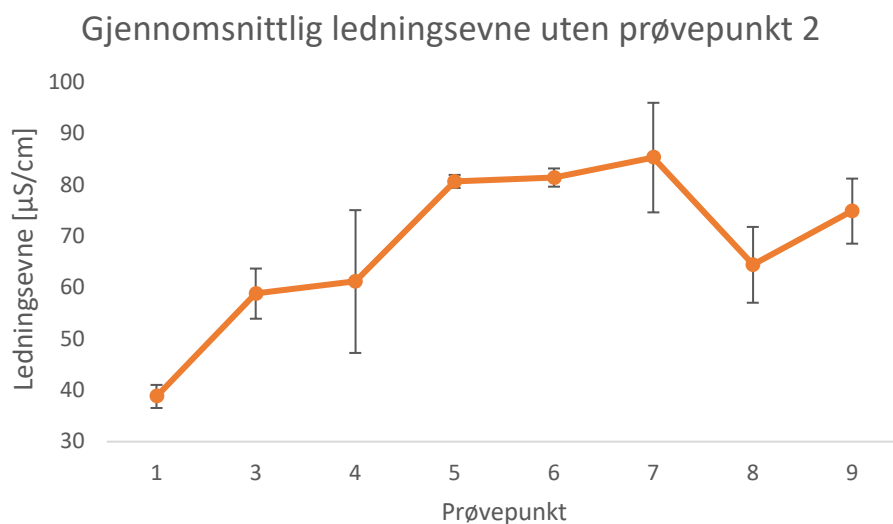
Figur 4.2: Gjennomsnittlig pH fra de ni prøvepunktene, med standardavvik.

4.1.3 Ledningsevne

Et gjennomsnitt av ledningsevnen målt ved de ulike prøvepunktene er vist i figur 4.3. I prøvepunkt 2 ble det målt signifikant høyere verdier. For å bedre vise variasjon i de resterende prøvepunktene, er det laget en figur uten prøvepunkt 2 i figur 4.4. Det kan observeres en kraftig økning i ledningsevne fra prøvepunkt 3 til 7. I prøvepunkt 8 faller ledningsevnen, før den får en svak økning i prøvepunkt 9.



Figur 4.3: Gjennomsnittlig ledningsevne fra de ni prøvepunktene med standardavvik.



Figur 4.4: Gjennomsnittlig ledningsevne uten prøvepunkt 2 med standardavvik.

4.2 Resultater ionekromatografi

Resultatene fra analyse med ionekromatografi er gitt i tabell 4.1. Det ble detektert klorid og sulfat gjennom alle prøvene i prøvetakingsperioden. I tillegg ble det detektert fluorid og nitrat. Analyse for fluorid og nitrat ga kun resultater ved analyse av to prøver, mens resterende prøver ga konsentrasjoner under deteksjonsgrense. Dette gjør at resultatene kun indikerer analyse av fluorid og nitrat.

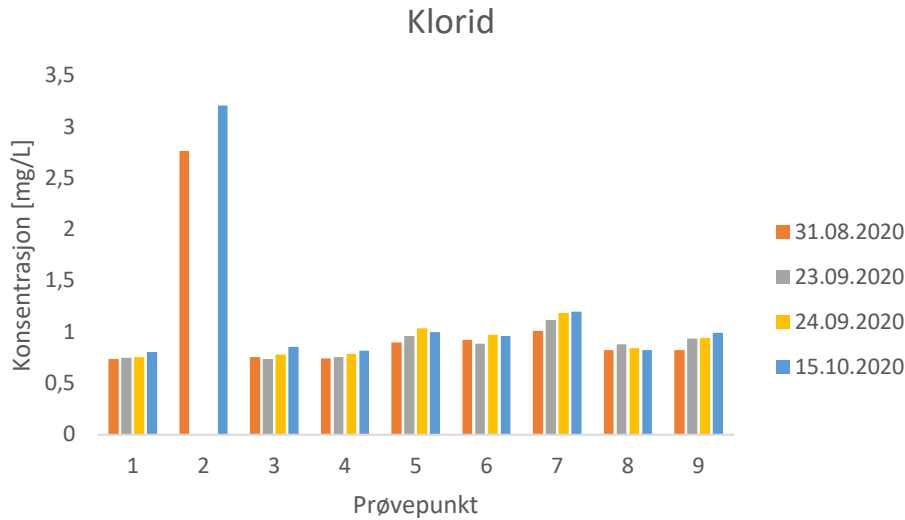
Tabell 4.1: Resultater fra ionekromatografi. Tabellen viser konsentrasjoner funnet for henholdsvis fluorid, klorid, nitrat og sulfat i mg/l. Tomme ruter indikerer konsentrasjon under deteksjonsgrense. Røde tall indikerer konsentrasjon utenfor kalibreringskurven, og dermed større usikkerhet.

Prøvepunkt	Dato	Fluorid (ppm)	Klorid (ppm)	Nitrat (ppm)	Sulfat (ppm)
1	31.08.2020		0,739		2,66
	23.09.2020		0,750		2,71
	24.09.2020		0,754		2,96
	15.10.2020		0,807		3,29
2	31.08.2020	0,512	2,77		89,6
	15.10.2020	0,514	3,21		102
3	31.08.2020		0,758		6,78
	23.09.2020		0,741		6,37
	24.09.2020		0,785		7,26
	15.10.2020		0,859		9,11
4	31.08.2020		0,742		5,95
	23.09.2020		0,755		6,07
	24.09.2020		0,787		6,35
	15.10.2020		0,822		6,96
5	31.08.2020		0,901		5,21
	23.09.2020		0,963		5,87
	24.09.2020		1,04		6,01
	15.10.2020		1,00		6,27
6	31.08.2020		0,927		6,30
	23.09.2020		0,887		5,88

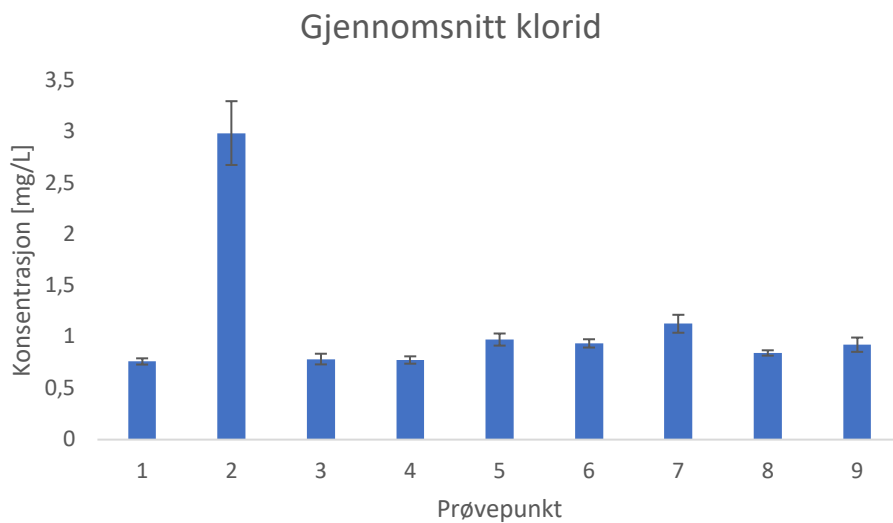
	24.09.2020		0,978		7,85
	15.10.2020		0,962		7,16
7	31.08.2020		1,01		6,97
	23.09.2020		1,12		8,62
	24.09.2020		1,19		6,96
	15.10.2020		1,20		8,95
8	31.08.2020		0,826		5,87
	23.09.2020		0,882		7,42
	24.09.2020		0,845		6,23
	15.10.2020		0,828	0,474	5,54
9	31.08.2020		0,828		5,45
	23.09.2020		0,935		6,57
	24.09.2020		0,947		6,61
	15.10.2020		0,993	0,410	6,40

4.2.1 Klorid

Resultatene fra analyse av klorid for de ni prøvepunktene er gitt i figur 4.5. Figur 4.6 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av klorid i prøvepunktene med standardavvik. Det kan observeres en økning i kloridkonsentrasjonene i prøvepunkt 2, samt en økning i kloridkonsentrasjon fra prøvepunkt 5 til 7. Prøvepunkt 2 ligger ved Tverrfjellet gruve, mens prøvepunkt 8 og 9 ligger nedstrøms Folldal sentrum. I prøvepunkt 8 og 9 synker kloridkonsentrasjonen. Det kan også observeres en svak økning av konsentrasjon over tidsperioden i de fleste prøvepunktene.



Figur 4.5: Konsentrasjon funnet for klorid fra de ni prøvepunktene analysert med ionekromatografi.



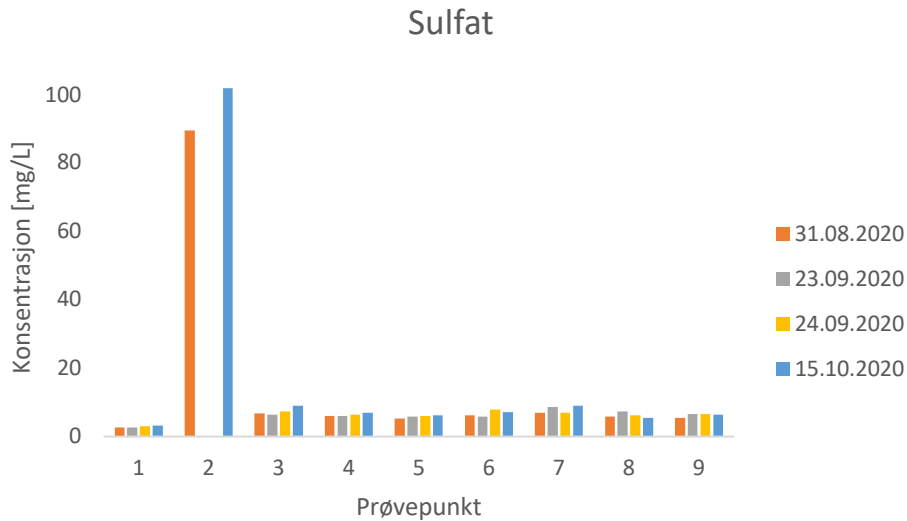
Figur 4.6: Gjennomsnittskonsentrasjonen av klorid i prøvepunktene med standardavvik.

4.2.2 Sulfat

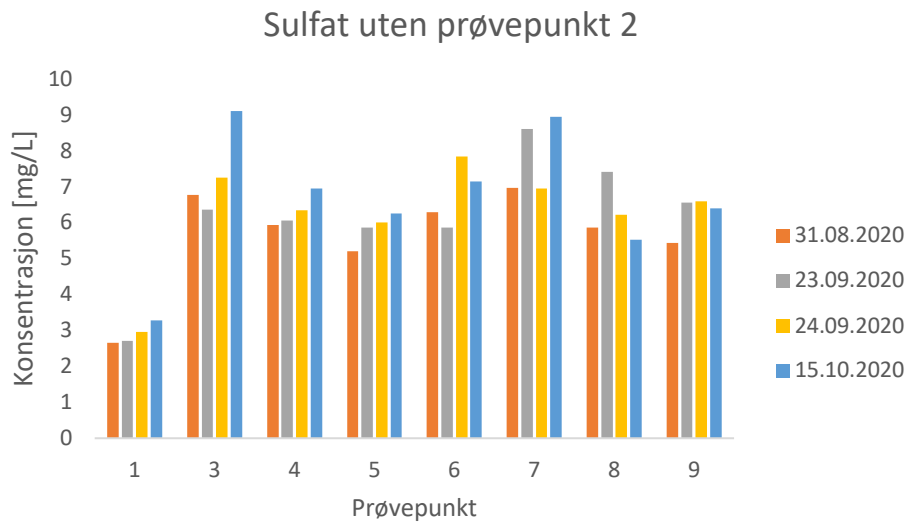
Resultatene fra analyse for sulfat i prøver tatt i prøvepunktene er gitt i figur 4.7.

Sulfatkonsentrasjonene funnet i prøvepunkt 2 er betydelig høyere enn fra de resterende punktene. Det er derfor laget en figur 4.8 uten prøvepunkt 2, for å lettere kunne se variasjoner i de ulike prøvepunktene. Figur 4.9 og 4.10 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av sulfat i prøvepunktene med standardavvik. Det kan observeres en økning av sulfatkonsentrasjon i

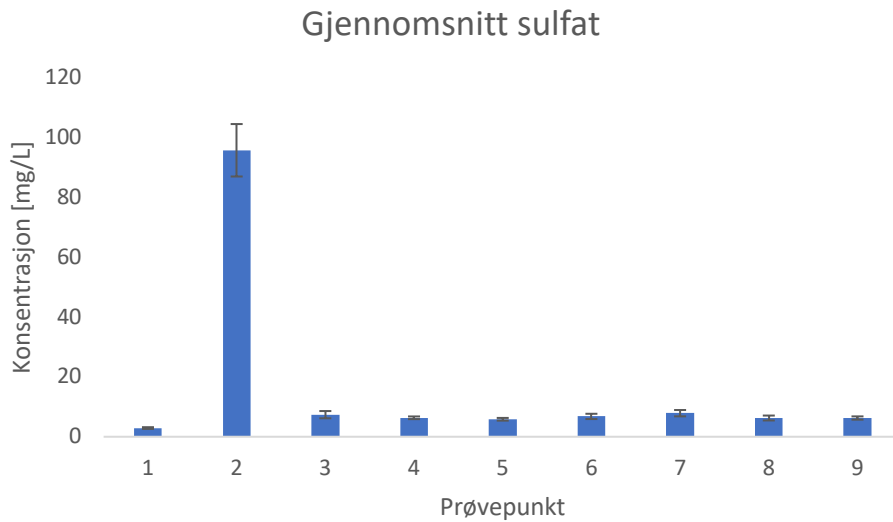
prøvepunkt 3. For de neste prøvepunktene observeres det et fall i sulfatkonsentrasjon. I prøvepunkt 6 og 7 øker sulfatkonsentrasjonen, som så faller i prøvepunkt 8 og 9. Generelt observeres det en økning i sulfatkonsentrasjon over tidsperioden i de fleste prøvepunkt.



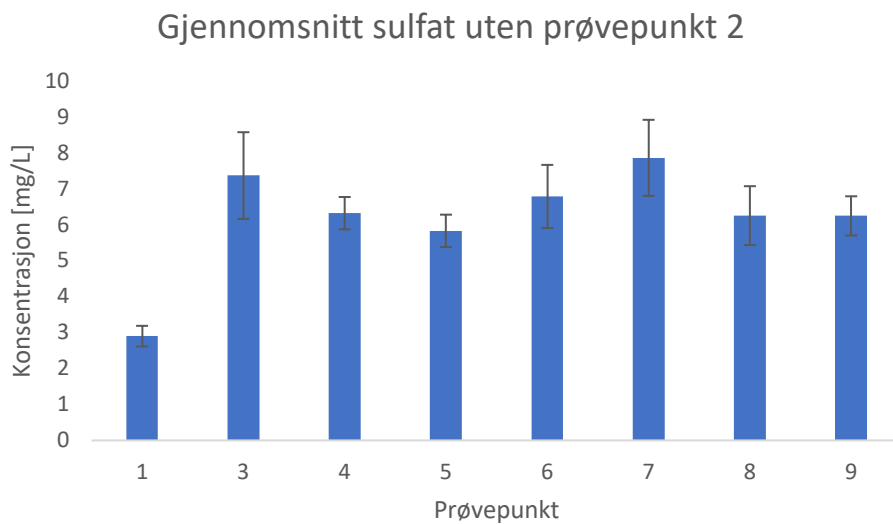
Figur 4.7: Konsentrasjon funnet for sulfat fra de ni prøvepunktene analysert med ionekromatografi.



Figur 4.8: Konsentrasjon funnet for sulfat fra prøvepunktene bortsett fra punkt 2 analysert med ionekromatografi.



Figur 4.9: Gjennomsnittskonsentrasjonen av sulfat i prøvepunktene med standardavvik.



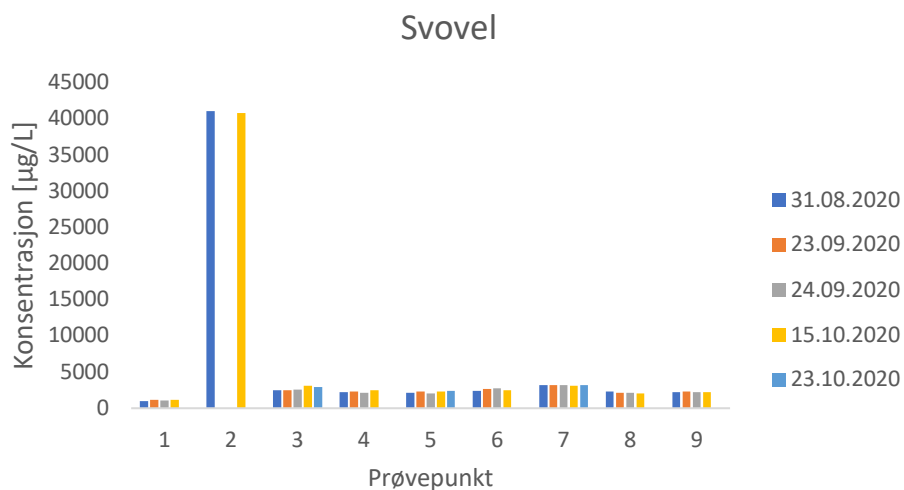
Figur 4.10: Gjennomsnittskonsentrasjon av sulfat i prøvepunktene, bortsett fra prøvepunkt 2, med standardavvik.

4.3 Resultater fra ICP-MS

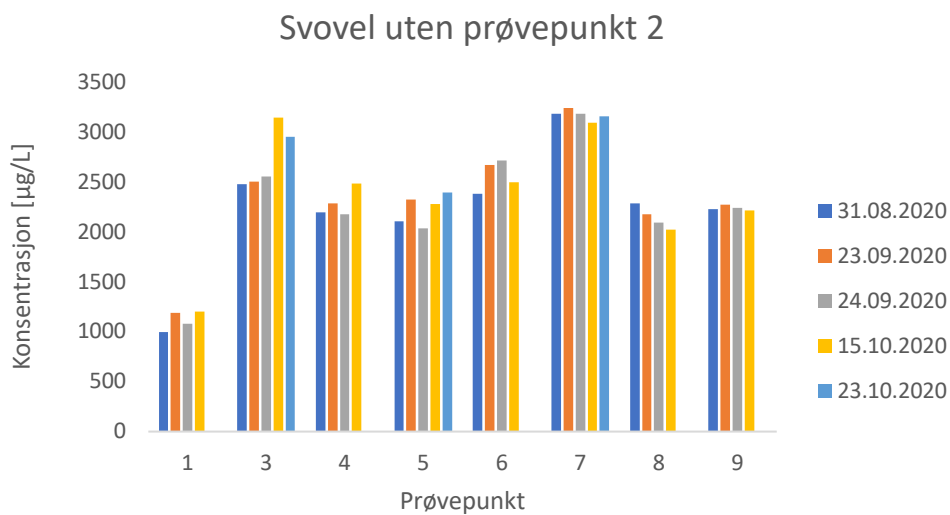
4.3.1 Svovel

Figur 4.11 viser konsentrasjon av svovel funnet i prøvepunktene. Det ble laget en figur 4.12 for å lettere kunne se variasjon i punkt 1 og 3 til 9, på grunn av mye høyere konsentrasjoner i prøvepunkt 2. Figur 4.13 og 4.14 viser boksdiagram av svovel i prøvepunktene. Det kan observeres en økning i svovelskonsentrasjon i prøvepunkt 3, som så faller i prøvepunkt 4 og 5.

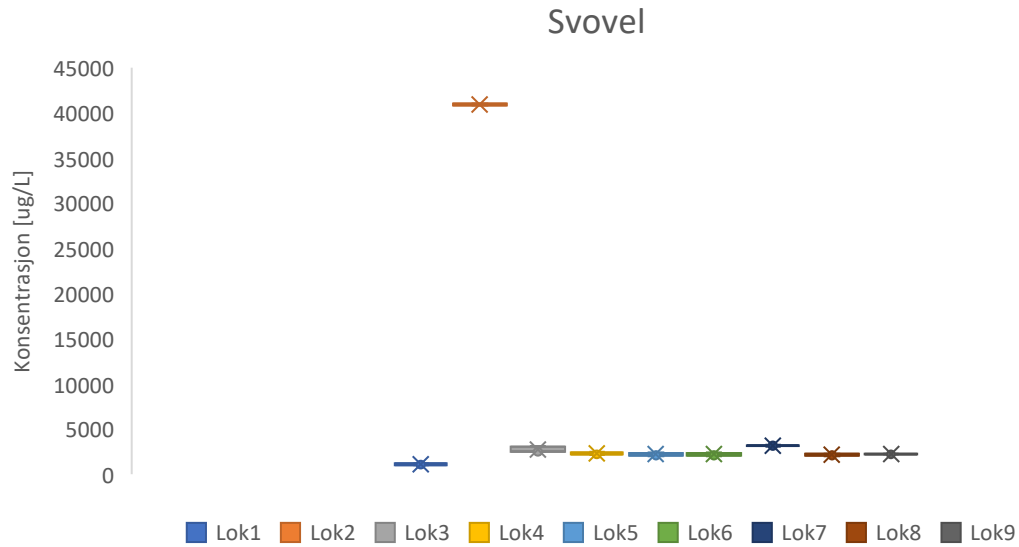
I prøvepunkt 6 kan det observeres en liten økning i svovelkonsentrasjon, som så øker enda mer i prøvepunkt 7. Prøvepunkt 6 ligger ved Folldal sentrum og prøvepunkt 7 ligger nedstrøms Folldal sentrum. I prøvepunkt 8 og 9 faller svovelkonsentrasjonen igjen.



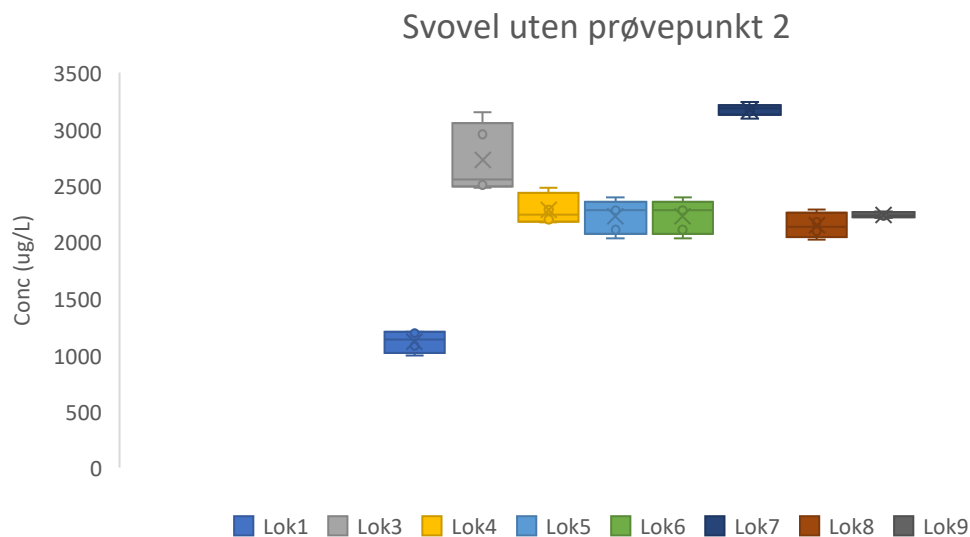
Figur 4.11: Konsentrasjon av svovel i prøvepunktene analysert med ICP-MS.



Figur 4.12: Konsentrasjon av svovel i prøvepunktene, bortsett fra prøvepunkt 2, analysert med ICP-MS.



Figur 4.13: Boksdiagram for svovel i 9 utvalgte prøvепункter i elva Folla.



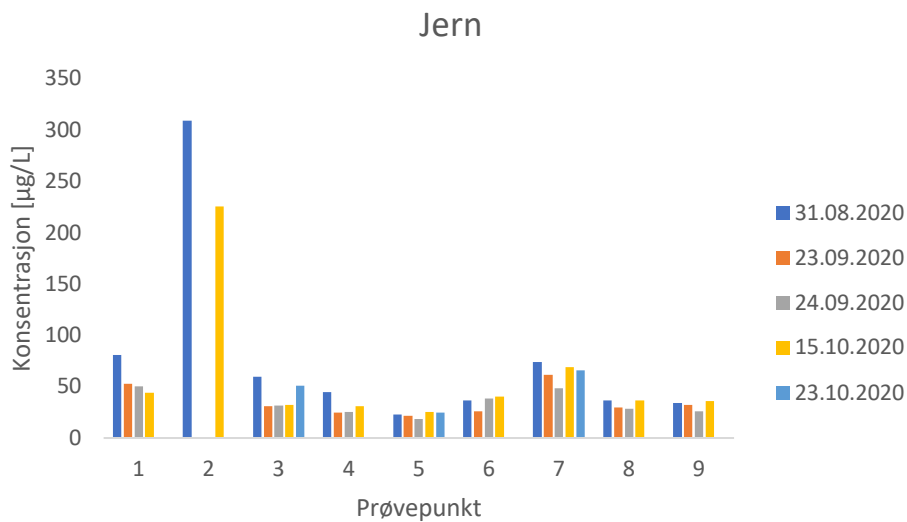
Figur 4.14: Boksdiagram for svovel i 9 utvalgte prøvепункter i elva Folla uten prøvепункт 2.

4.3.2 Jern

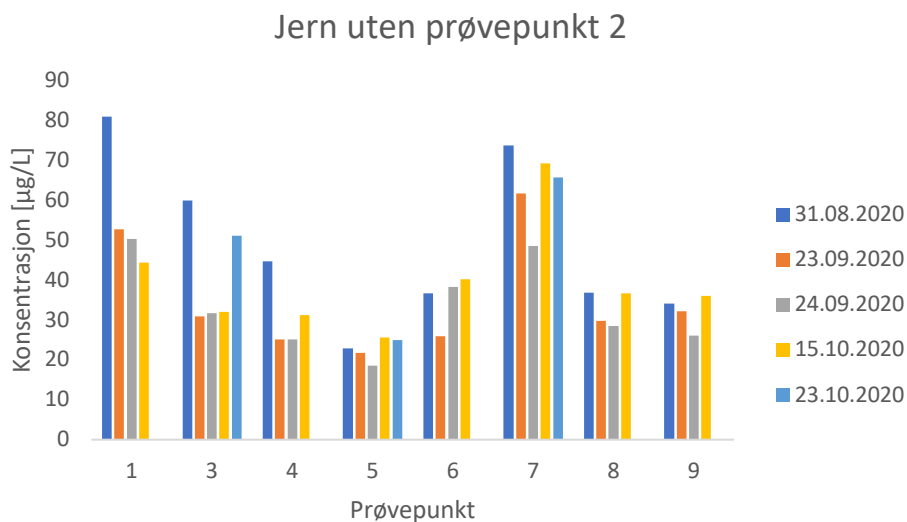
Resultatene fra analyse av jern i de ni prøvепункtene er gitt i figur 4.15. Resultater fra prøvепункт 2 viser en mye høyere jernkonsentrasjon enn de andre prøvепункtene. For å lettere kunne observere variasjoner i jernkonsentrasjon i de resterende prøvепункtene, er det i figur 4.16 laget en graf uten prøvепункт 2. Figur 4.17 viser boksdiagram av jern i prøvепункtene. Det kan observeres en reduksjon i jernkonsentrasjon fra punkt 3 til 5. I

prøvepunkt 6 øker jernkonsentrasjonen, som øker ytterligere i prøvepunkt 7.

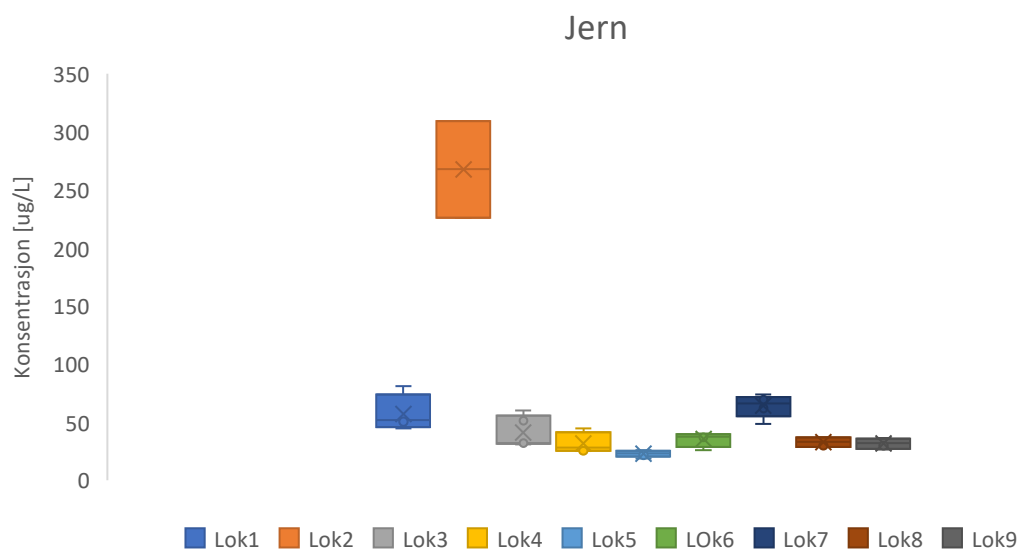
Jernkonsentrasjonen avtar så i prøvepunkt 8 og 9. Generelt for prøvepunktene observeres det høye jernkonsentrasjoner ved første prøvetaking. Konsentrasjonene avtar så de to kommende datoene, 23. og 24. september, før de øker igjen de siste to datoene.



Figur 4.15: Konsentrasjon funnet for jern i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.



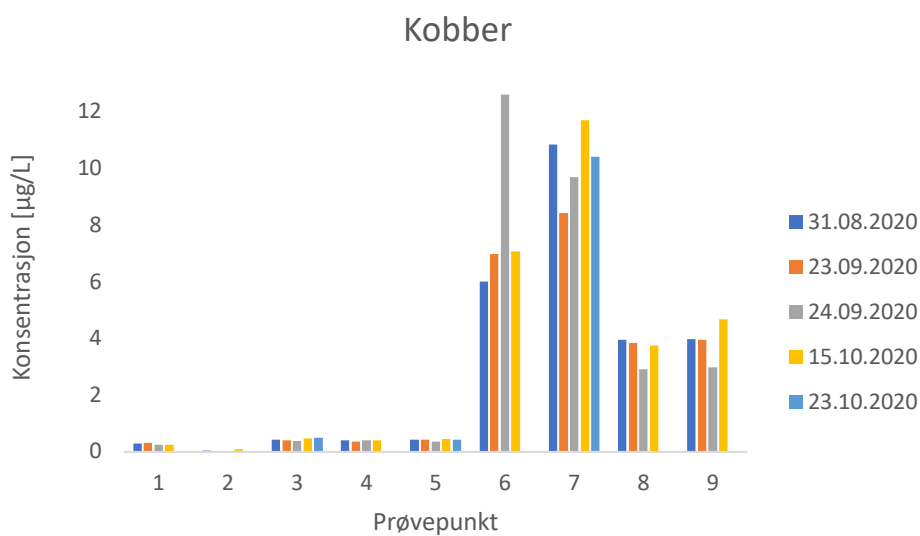
Figur 4.16: Konsentrasjon av jern funnet i prøvepunktene bortsett fra prøvepunkt 2 ved ICP-MS analyse.



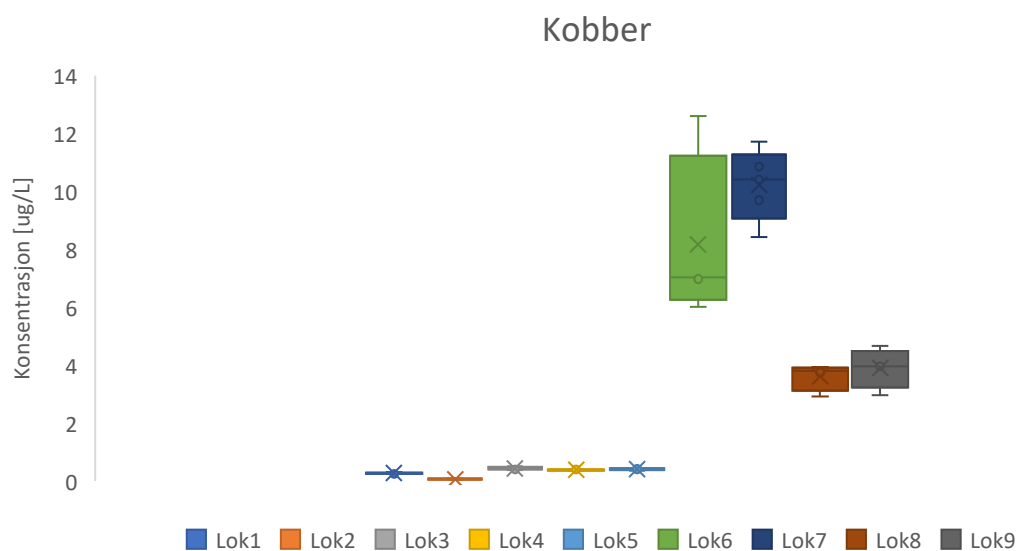
Figur 4.17: Boksdiaagram for jern i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.

4.3.3 Kobber

Resultatene for analyse av kobber er vist i figur 4.18. Figur 4.19 viser boksdiaagram av kobber i prøvepunktene. Det observeres generelt lave kobberkonsentrasjoner i prøvepunkt 1 til 5. I prøvepunkt 6 og 7 øker kobberkonsentrasjonen, før de så faller noe i prøvepunkt 8 og 9. Generelt for de ulike prøvepunktene øker kobberkonsentrasjonene over tidsperioden.



Figur 4.18: Konsentrasjon av kobber funnet i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.

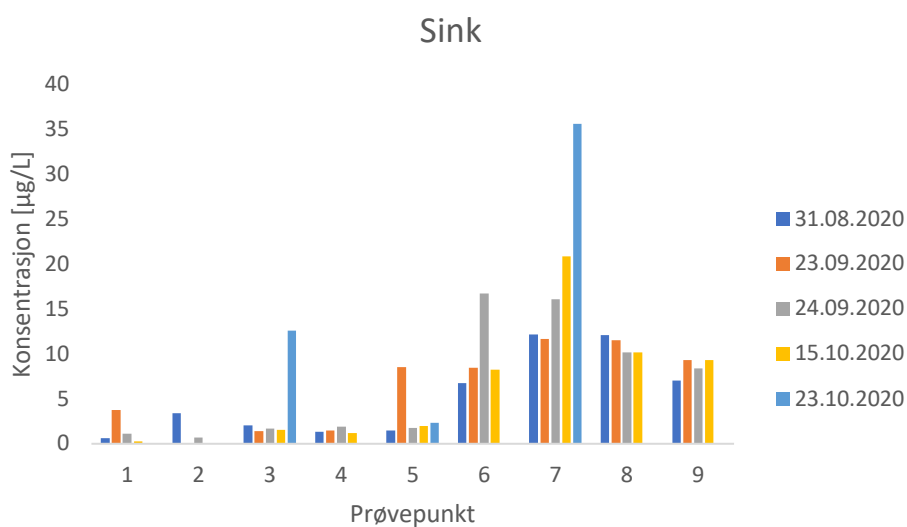


Figur 4.19: Boksdiagram for kobber i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.

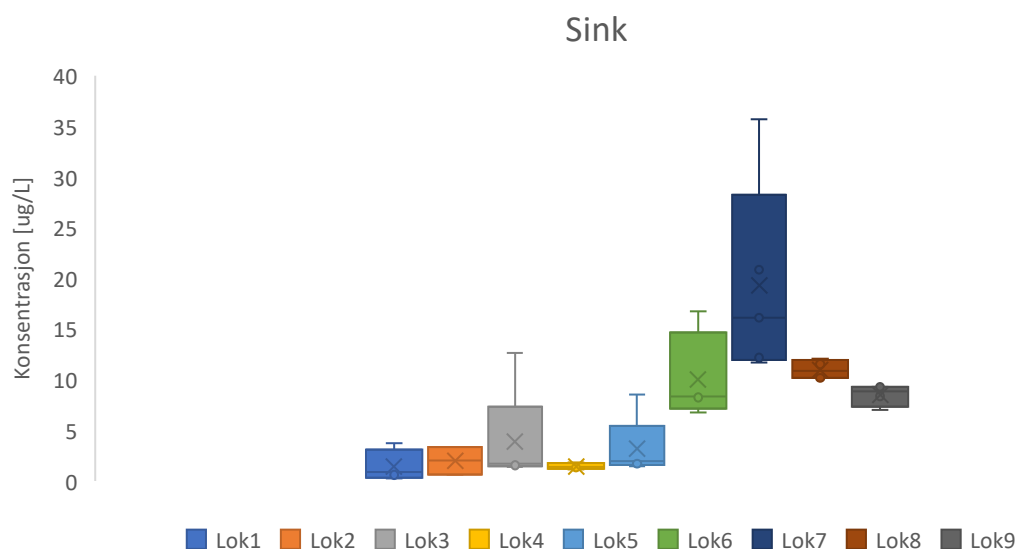
4.3.4 Sink

Resultatene for analyse av sink er vist i figur 4.20. Figur 4.21 viser boksdiagram av sink i prøvepunktene. Det observeres lave sink-konsentrasjoner i prøvepunkt 1 og 2.

Konsentrasjonene øker så noe i prøvepunkt 3 til 5. I prøvepunkt 6 og 7 observeres det høye sink-konsentrasjoner, før de så faller i prøvepunkt 8 og 9. Generelt observeres det en økning i konsentrasjon over tidsperioden.



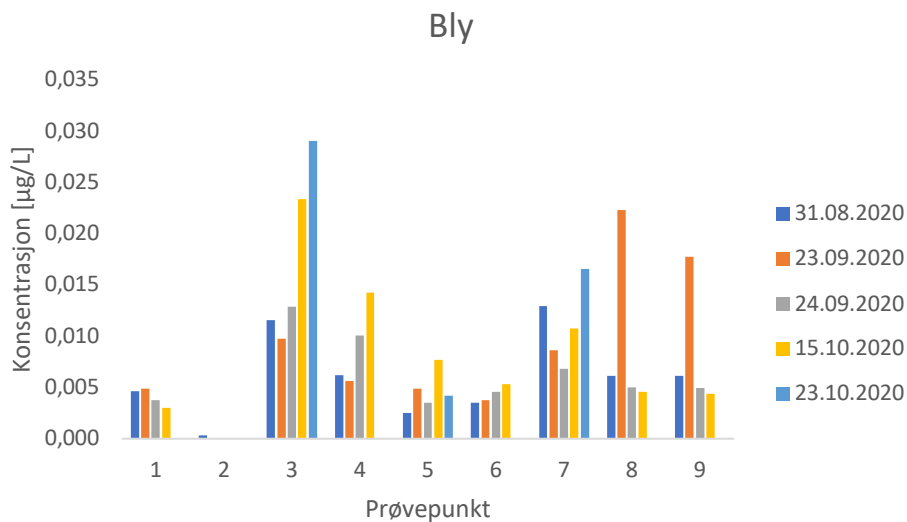
Figur 4.20: Konsentrasjon funnet for sink i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.



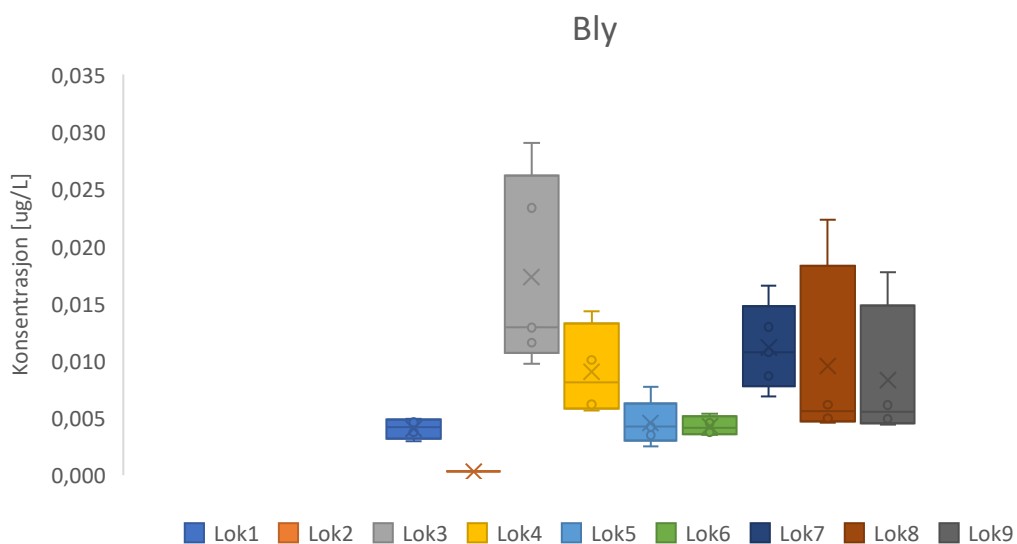
Figur 4.21: Boksdiaagram for sink i 9 utvalgte prøvепункter i elva Folla.

4.3.5 Bly

Resultatene for analyse av bly fra de ni prøvепunktene er vist i figur 4.22. Figur 4.23 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av bly i prøvепunktene med standardavvik. Det observeres lavere blykonsentrasjoner i prøvепunkt 2 enn i prøvепunkt 1. Blykonsentrasjonen øker i prøvепunkt 3, som ligger nedstrøms Tverrfjellet gruve. Det kan observeres et fall i blykonsentrasjon fra prøvепunkt 4 til 6. I prøvепunkt 7 ser vi en økning i blykonsentrasjon, som faller igjen i prøvепunkt 8 og 9. Dette gjelder ikke for prøvetaking 23. september, som har høyere konsentrasjoner enn resterende prøvedatoer. Generelt observeres det en økning av blykonsentrasjoner over tidsperioden i alle prøvепunktene. I noen punkter er det et unntak for den første prøvetakingsturen, 31. august, som flere steder har høyere konsentrasjoner enn påfølgende prøvetakingstur.



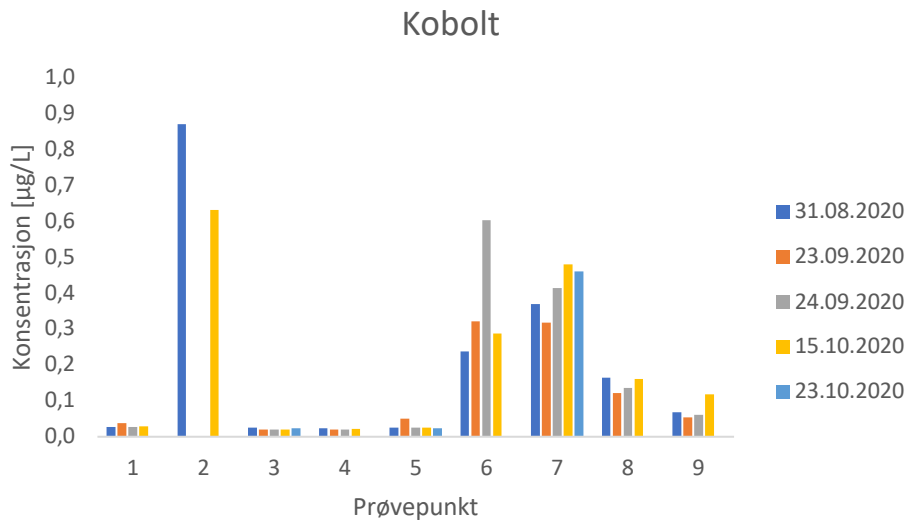
Figur 4.22: Konsentrasjon funnet for bly i de ni prøvepunktene ved ICP-MS analyse.



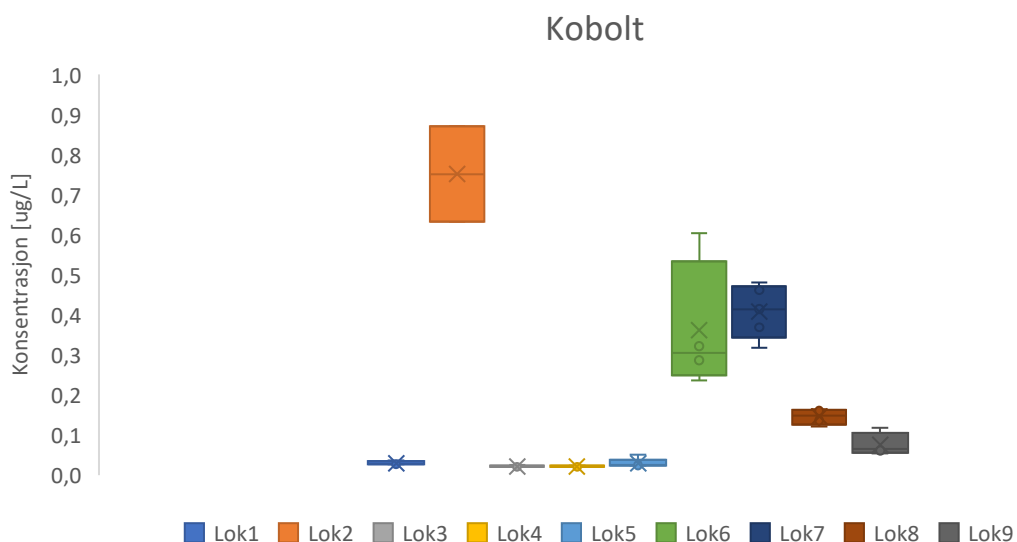
Figur 4.23: Boksdiagram for bly i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.

4.3.6 Kobolt

Resultatene for analyse av kobolt fra de ni prøvepunktene er vist i figur 4.24. Figur 4.25 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av kobolt i prøvepunktene med standardavvik. Generelt observeres det lave koboltkonsentrasjoner i prøvepunkt 1 til 5, før konsentrasjonene øker i prøvepunkt 6 og 7. Koboltkonsentrasjonene avtar så i prøvepunkt 8 og 9. Det er et unntak i prøvepunkt 2, som har høye konsentrasjoner.



Figur 4.24: Konsentrasjon funnet for kobolt i de ni prøvepunktene analysert med ICP-MS.



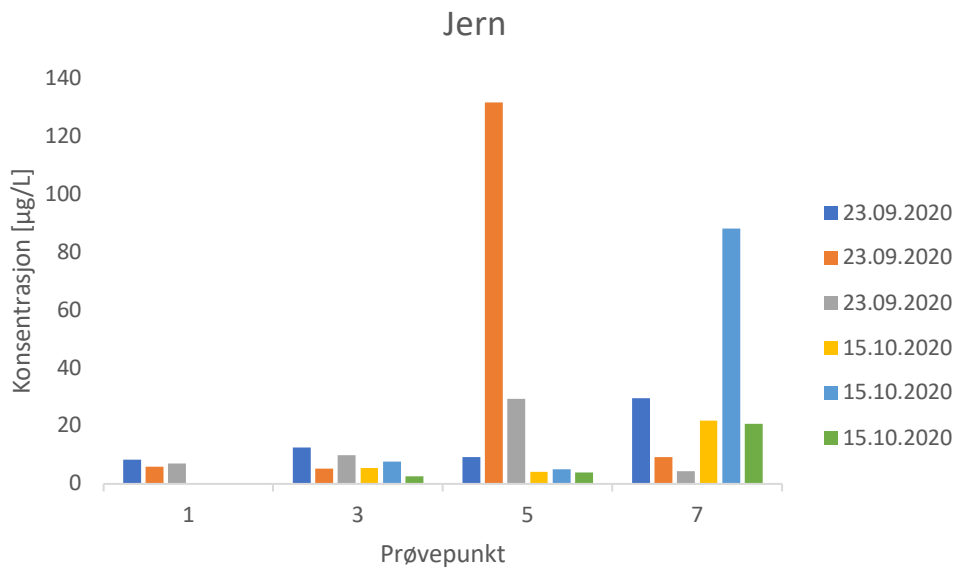
Figur 4.25: Boksdiagram for kobolt i 9 utvalgte prøvepunkter i elva Folla.

4.4 Resultater fra DGT

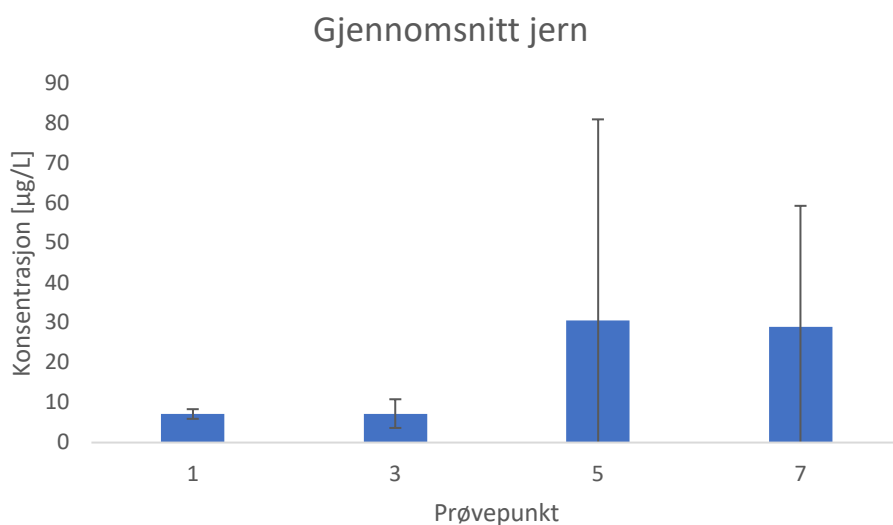
Det ble plassert ut passive prøvetakere, DGT, i prøvepunktene 1, 3, 5 og 7 ved to anledninger. Prøvepunkt 1 ligger oppstrøms Tverrfjellet gruve, mens prøvepunkt 3 ligger nedstrøms Tverrfjellet gruve. Prøvepunkt 5 ligger oppstrøms gruvene i Folldal sentrum, mens prøvepunkt 7 ligger nedstrøms Folldal sentrum. Det ble først lagt ut DGT 23. september,, som ble tatt opp 24. september. Det ble så lagt ut DGT 15. oktober, som ble tatt opp 23. oktober. I hvert punkt ble det lagt ut tre DGT-er. I prøvepunkt 1 ble det kun lagt ut DGT 23. september.

4.4.1 Jern

Figur 4.26 viser konsentrasjoner funnet for jern i prøvepunktene det ble lagt ut DGT. Figur 4.27 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av jern i prøvepunktene med standardavvik. Det observeres generelt høyere jernkonsentrasjoner i prøvepunkt 5 og 7. I prøvepunkt 3 og 5 observeres det lavere konsentrasjoner fra DGT lagt ut 15. oktober, enn konsentrasjonene funnet 23. september. I en av prøvene tatt 23. september i prøvepunkt 5 er det funnet mye høyere jernkonsentrasjoner. Tilsvarende ser vi i en av prøvene tatt 15. oktober i prøvepunkt 7.



Figur 4.26: Konsentrasjon funnet for jern i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved DGT.

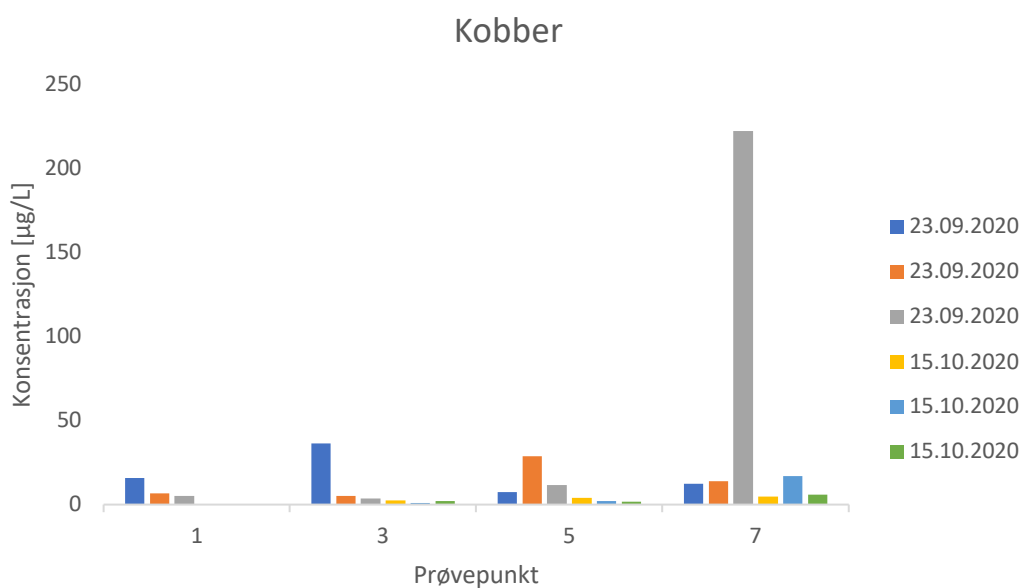


Figur 4.27: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.

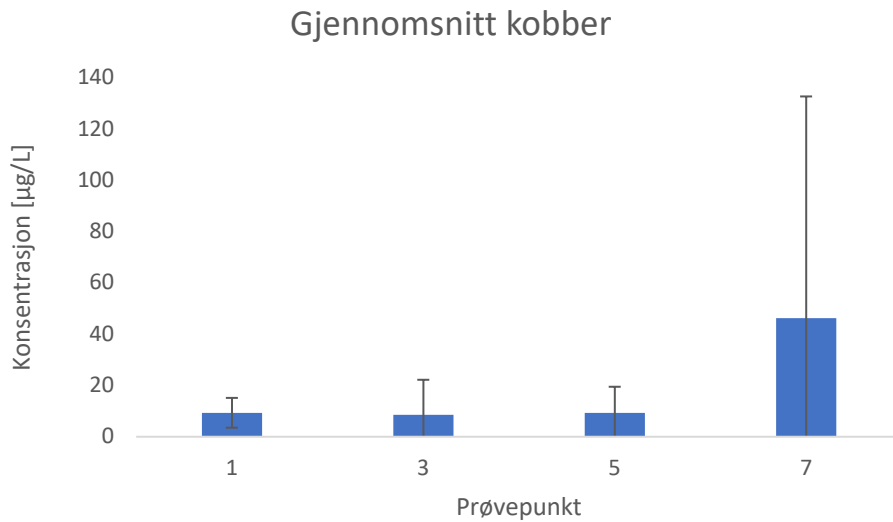
4.4.2 Kobber

Figur 4.28 viser kobberkonsentrasjon funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT. Figur 4.29 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av kobber i prøvepunktene med standardavvik.

Generelt observeres det lavere kobberkonsentrasjoner 15. oktober enn 23. september. For en av prøvene 23. september i prøvepunkt 7 er det funnet mye høyere kobberkonsentrasjoner enn de resterende prøvene.



Figur 4.28: Kobberkonsentrasjon funnet ved bruk av DGT i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7.

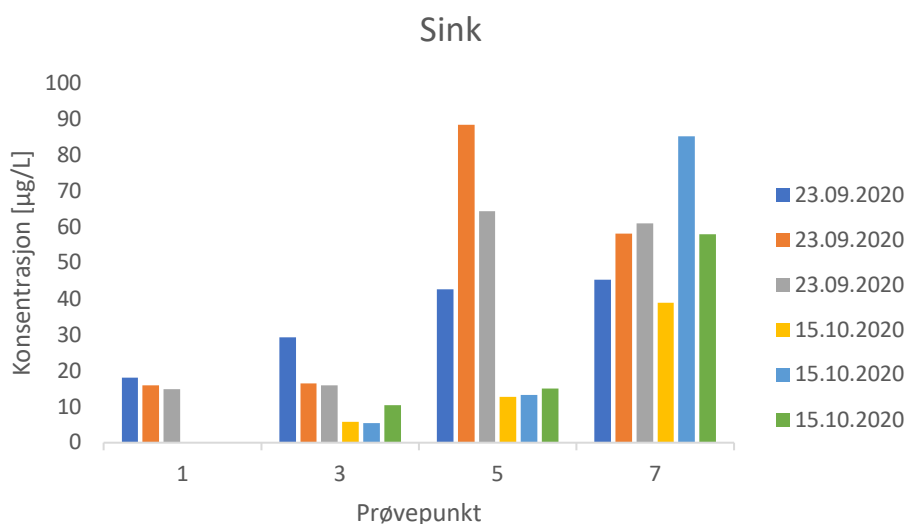


Figur 4.29: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.

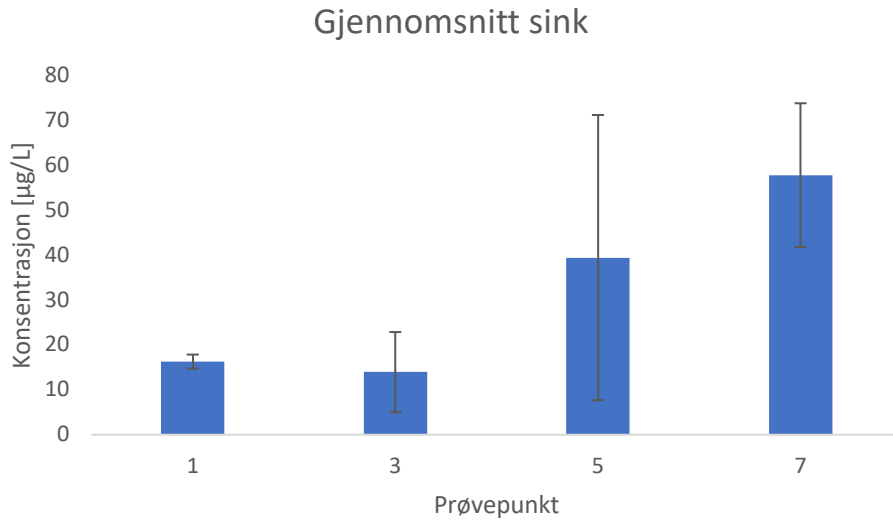
4.4.3 Sink

Figur 4.30 viser sinkkonsentrasjon i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 funnet ved bruk av DGT. Figur 4.31 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av sink i prøvepunktene med standardavvik.

Generelt for de fleste prøvepunktene er det høyere konsentrasjoner fra DGT lagt ut 23.09 enn fra DGT lagt ut 15.10.



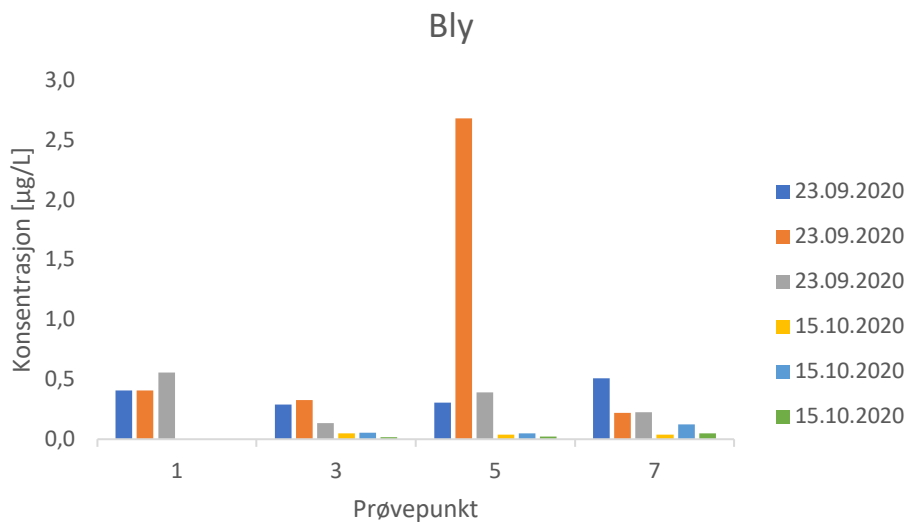
Figur 4.30: Sinkkonsentrasjon funnet ved bruk av DGT i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7.



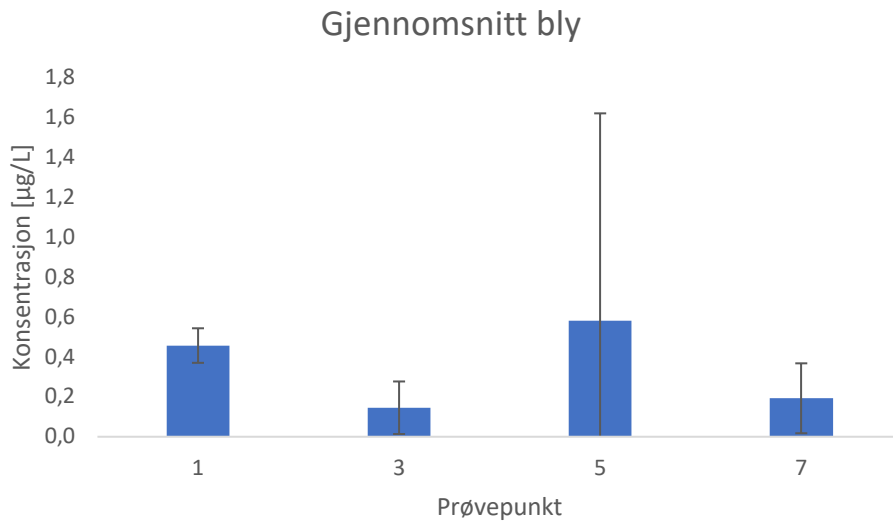
Figur 4.31: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.

4.4.4 Bly

Figur 4.32 viser blykonsentrasjon funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT. Figur 4.33 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av bly i prøvepunktene med standardavvik. Generelt observeres det lavere blykonsentrasjoner fra DGT lagt ut 15. oktober enn for DGT lagt ut 23. september. Fra en av prøvene i prøvepunkt 5 fra 23. september er det funnet mye høyere blykonsentrasjoner enn for resterende prøvepunkter.



Figur 4.32: Blykonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT.



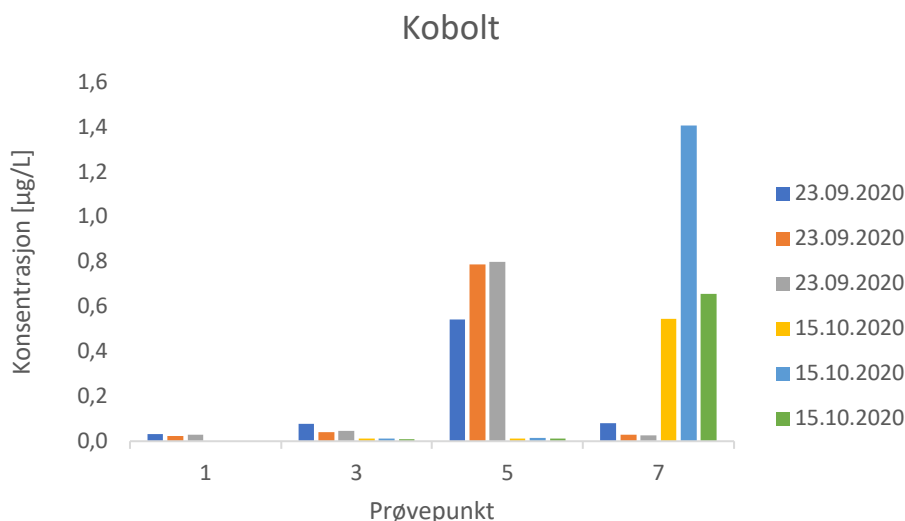
Figur 4.33: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.

4.4.5 Kobolt

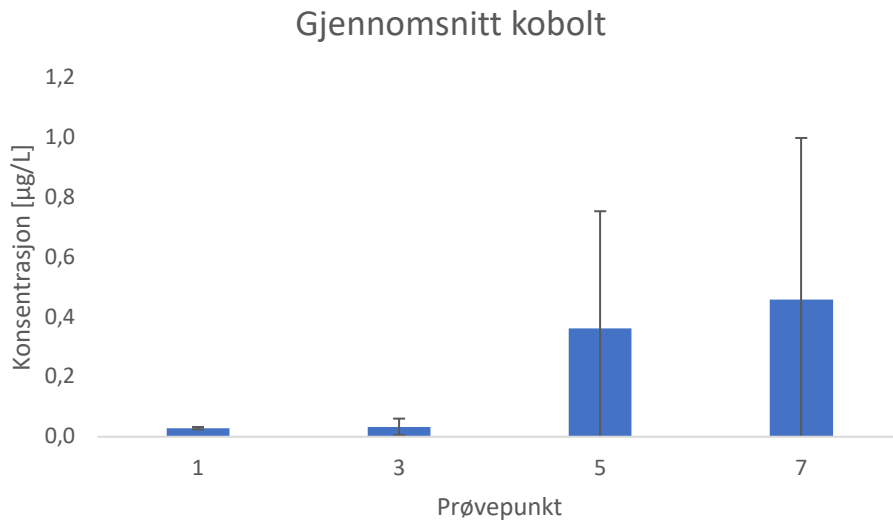
Figur 4.34 viser koboltkonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT.

Figur 4.35 viser gjennomsnittskonsentrasjonen av kobolt i prøvepunktene med standardavvik.

I prøvepunkt 3 og 5 observeres det høyere konsentrasjoner fra DGT lagt ut 23. september enn 15. oktober. Det motsatte kan observeres i prøvepunkt 7. Generelt kan det observeres en økning i koboltkonsentrasjoner jo lenger ned i elva Folla vi kommer.



Figur 4.34: Koboltkonsentrasjoner funnet i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 ved bruk av DGT.



Figur 4.35: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobolt i prøvepunkt 1, 3, 5 og 7 med standardavvik.

5 Diskusjon

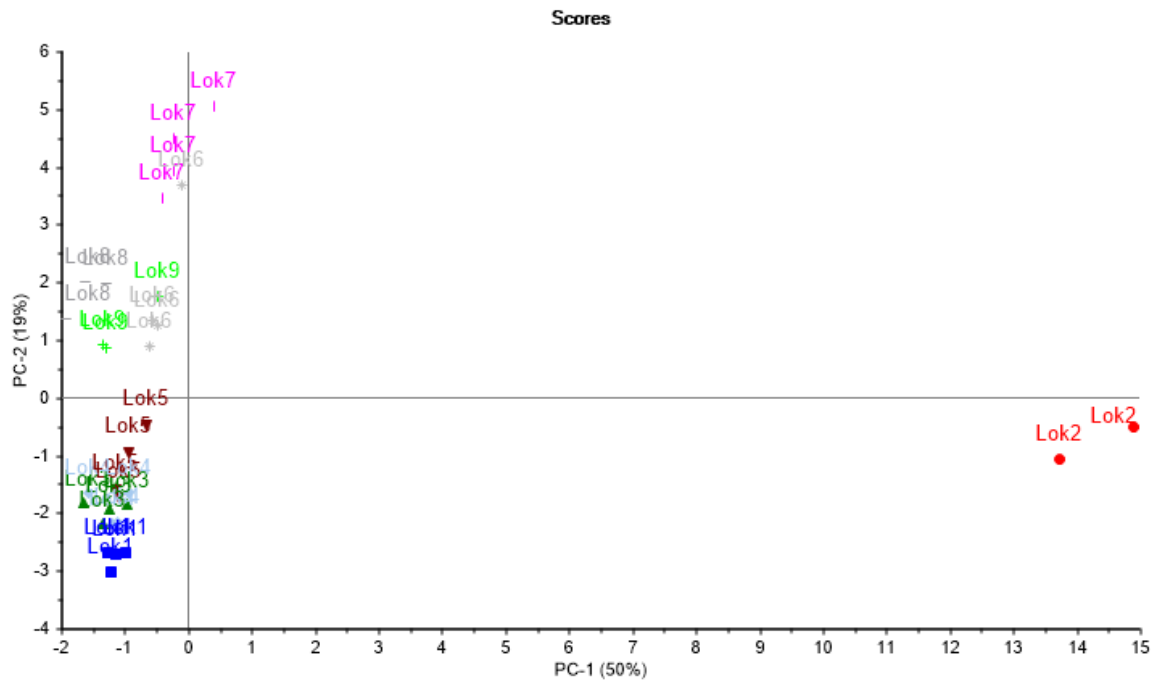
Diskusjonen vil først ta for seg resultater fra PCA-analyse. Deretter kommer korrelasjonskurver og en oppsummering av metaller. Til slutt kommer en sammenligning med tidligere studier.

Som resultatene for DGT viser, avviker konsentrasjonene funnet ved bruk av DGT fra de manuelle prøvene. Derfor ses konsentrasjonene funnet for DGT som lite relevante for oppgaven. Likevel blir resultatene tatt med, da de viser samme trender som de manuelle prøvene. Oppgaven vil ikke gå mer inn på DGT, da det bare er en liten del av prøvemateriale.

Diskusjonen vil se på bidragene fra tungmetaller i Folla fra gruveområdene Tverrfjellet gruve og gruvene ved Folldal sentrum. Vurdering av forurensningsgrad som sådan er ikke vektlagt i denne oppgaven, da det finnes mange rapporter på dette (34, 58).

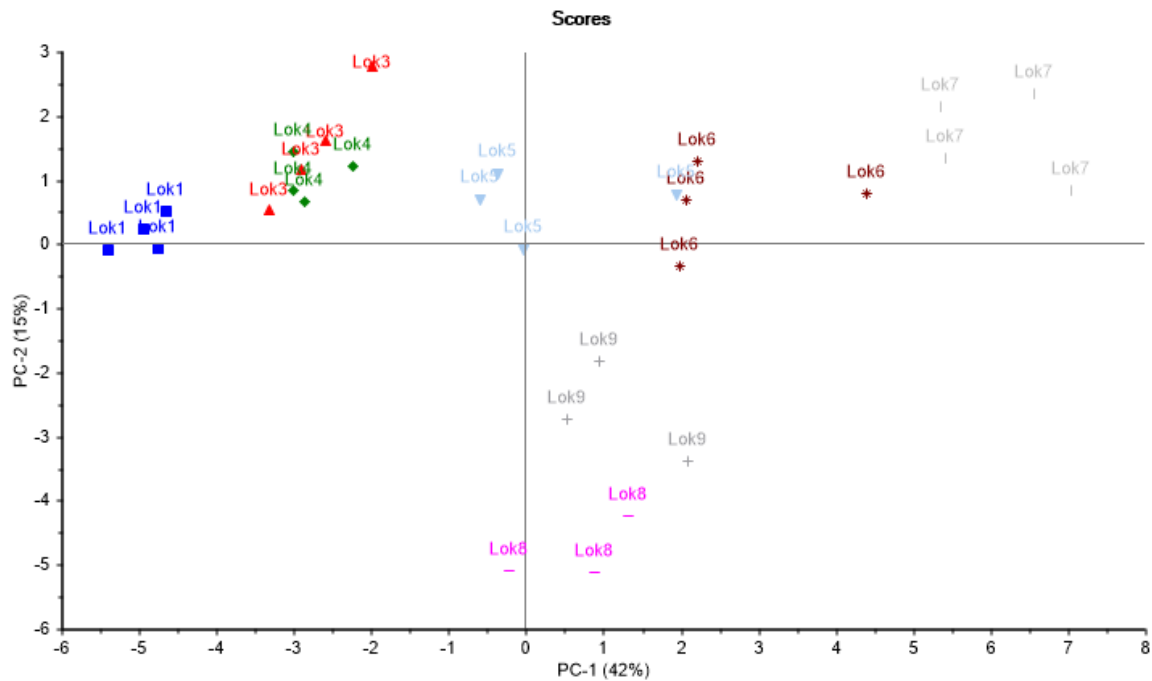
5.1 Resultater av PCA-analyse

Figur 5.1 viser score plot for prøvepunktene. Det observeres at prøvepunkt 2 skiller seg ut fra alle andre prøvepunkt.



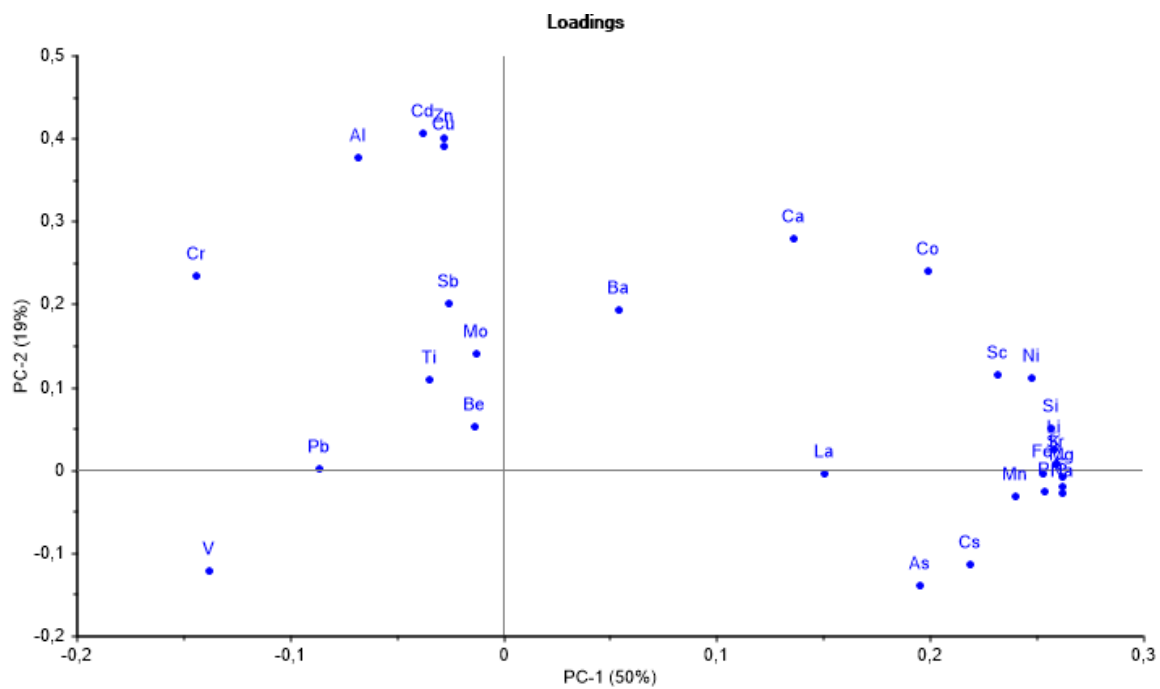
Figur 5.1: Score plot for prøvepunktene langs elva Folla.

For å lettere kunne se variasjon for prøvepunktene, ble det laget figur 5.2 uten prøvepunkt 2. Det observeres at prøvepunkt 1, 3 og 4 er ulike prøvepunkt 6 og 7. På grunn av dette kan det se ut til at prøvepunkt 2 ikke er en forurensningskilde til metaller nedover elva. Det vil si at metallene som ble analysert i prøvepunkt 2 ble raskt felt ut, og Tverrfjellet gruve på Hjerkin har liten påvirkning på metallkonsentrasjonene som måles i Follidal sentrum.

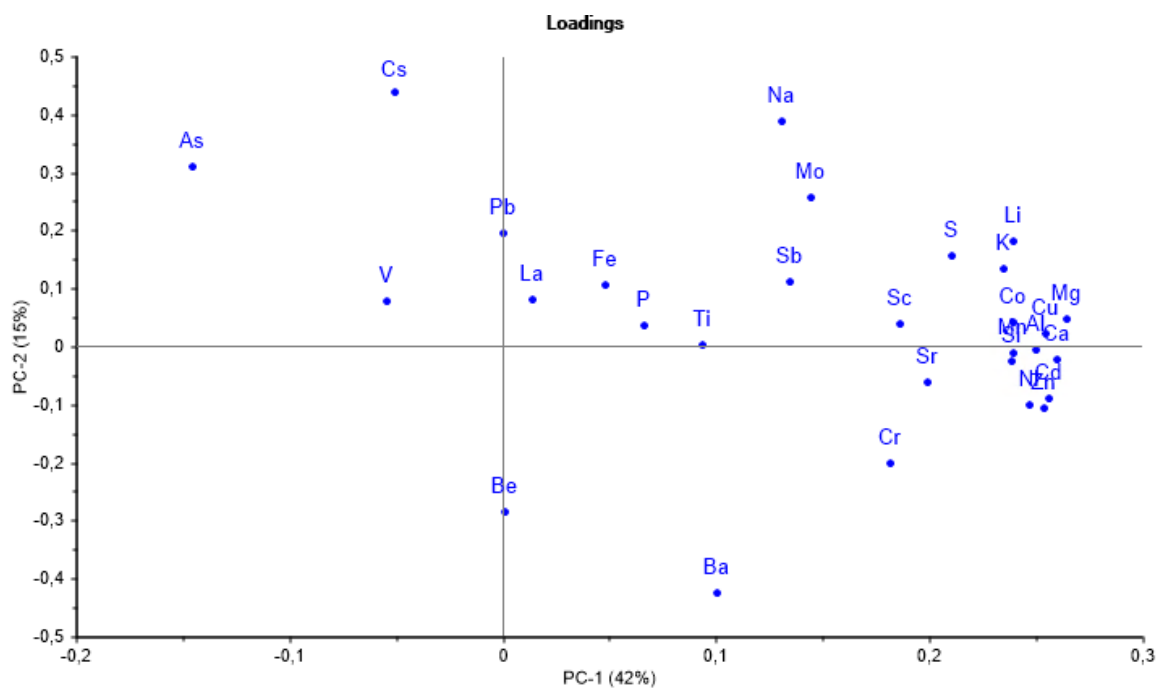


Figur 5.2: Score plot for prøvepunktene uten punkt 2.

Figur 5.3 og 5.4 viser loading plot for prøvepunktene, hvor sistnevnte er uten prøvepunkt 2. Når prøvepunkt 2 er med ser vi en helt annen korrelasjon mellom metaller og prøvepunktene 6 og 7. Dette tyder på at metallene kommer fra to ulike kilder, der prøvepunkt 2 ikke påvirker prøvepunkt 6 og 7 nedover elva. I loading plottet med prøvepunkt 2 er PC1 en kilde assosiert med Fe, S, Mg, Na, Li, K, Sr, og PC2 en kilde assosiert med Zn, Cu, Cd og Al. Når prøvepunkt 2 utelates ser PC1 ut til å være en kilde assosiert med Mg, Ca, Cu, Al, Cd, Zn, og PC2 Pb, Na, Mo, As og Cs.



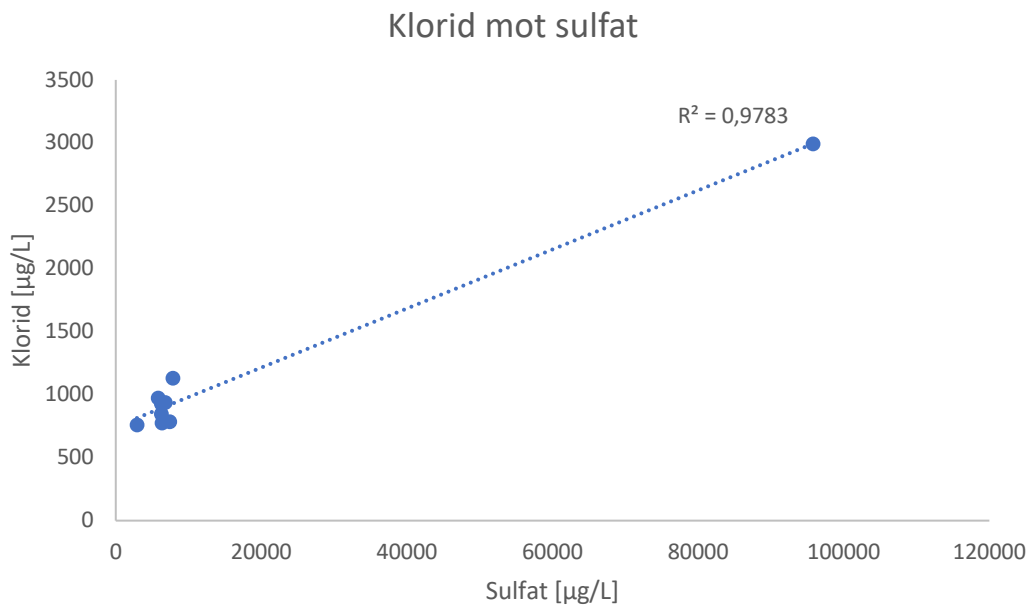
Figur 5.3: Loading plot for prøvepunktene.



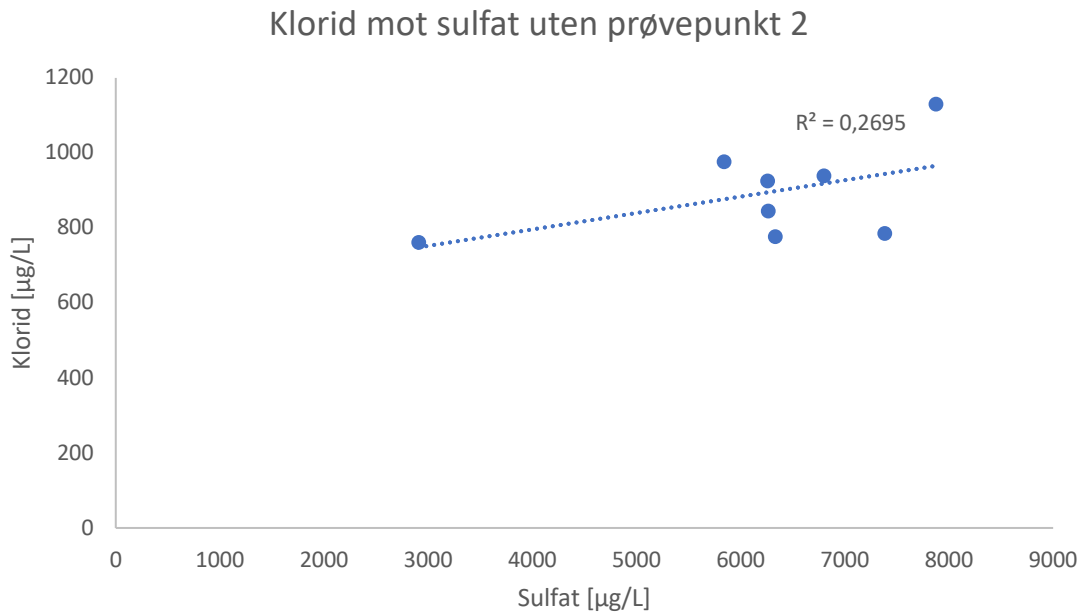
Figur 5.4: Loading plot for prøvepunktene uten prøvepunkt 2.

5.2 Korrelasjonskurver

Det er laget en korrelasjonskurve mellom klorid og sulfat i figur 5.5. Det ble også laget tilsvarende figur 5.6 uten prøvepunkt 2, ettersom punkt 2 dominerer veldig. Når prøvepunkt 2 tas med ser vi en korrelasjon mellom klorid og sulfat. Det er lite klorid i bergarter i Norge, og det kan antas at hovedkilden til klorid funnet i Folla kommer fra sjø (59). Når prøvepunkt 2 utelates ser vi ikke en korrelasjon mellom klorid og sulfat. Det vil si at det er andre kilder til klorid enn sjøsalt. Som tidligere skrevet ble det gjennomført flere prøvetakingsrunder langs Folla, og været var svært varierende. Ved første prøvetakingstur var det sol og fint vær, mens for de resterende turene var det regn og snø. Elva ligger flere steder nært bilvei. På grunn av snø og kaldt vær, kan det antas at veiene var saltet. Saltet som brukes på norske veier er natriumklorid, NaCl (60). Det kalde været kan også ha gjort at mindre tilsig til elva var frosset til is, som gir mindre vann i elva og dermed høyere verdier av ioner på grunn av større kontaktflate med berggunn. Dette kan være grunnen til at det ikke er en korrelasjon mellom klorid og sulfat.



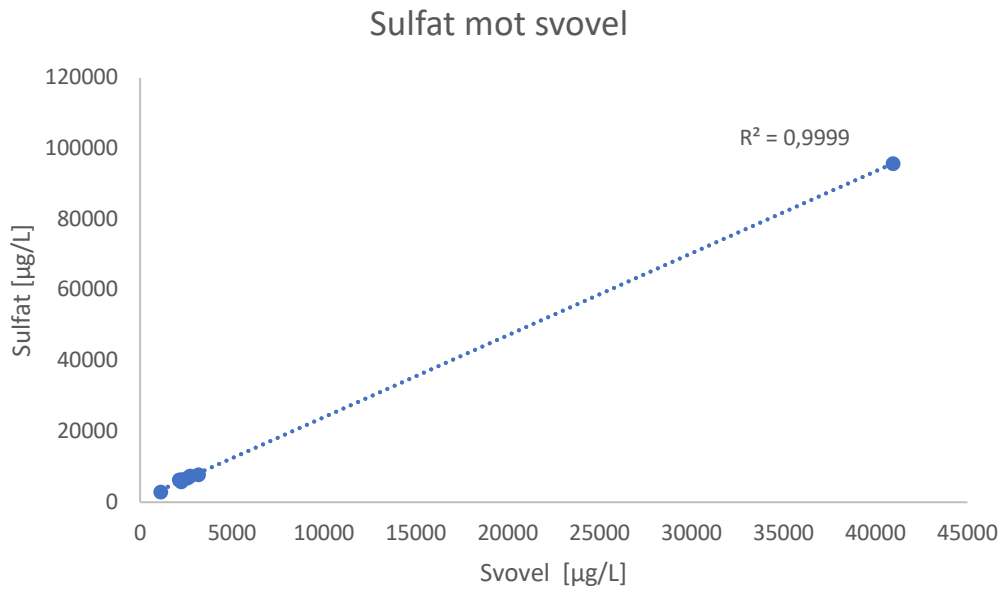
Figur 5.5: Korrelasjonskurve klorid mot sulfat fra prøvepunktene.



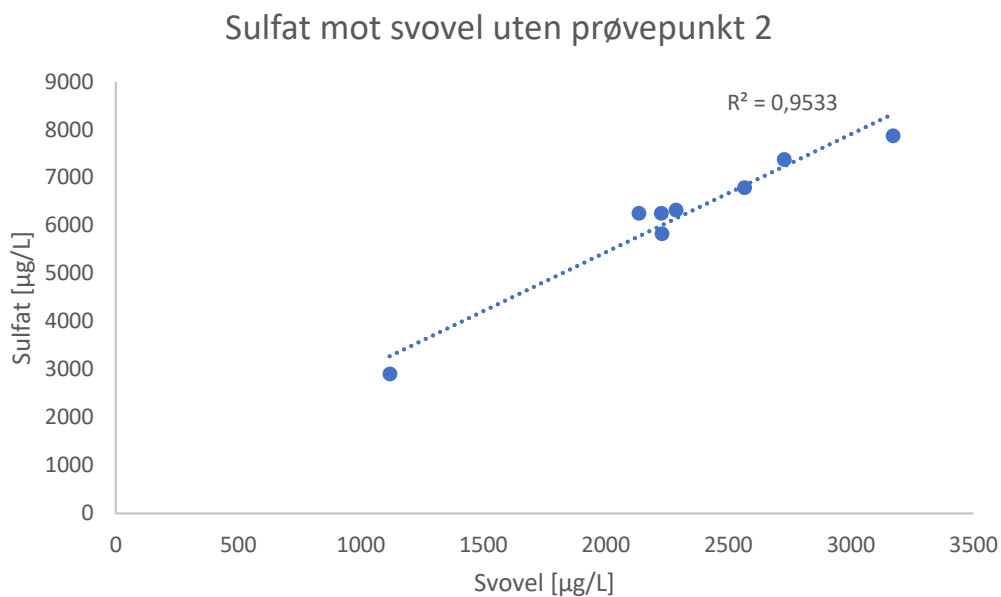
Figur 5.6: Korrelasjonskurve klorid mot sulfat fra prøvepunktene uten punkt 2.

Det ble også laget en korrelasjonskurve fra svovel og sulfat vist i figur 5.7. Det ble også ved dette tilfellet laget en figur 5.8 uten prøvepunkt 2, grunnet høyere konsentrasjoner. Ved begge tilfellene ser vi en korrelasjon mellom sulfat og svovel.

For å sjekke at all svovel forekommer som sulfat, ble sulfat regnet om til svovel. Resultatet viser at svovel også forekommer i andre former enn sulfat. Når pyritt oksideres, er vanligvis sulfat det dominerende produktet. Likevel kan oksidasjon av pyritt også gi polysulfider, sulfoksyonioner og thiosulfat (27). Det kan derfor tenkes at noe av svovelet funnet i forbindelse med denne oppgaven er i disse formene.



Figur 5.7: Korrelasjonskurve sulfat mot svovel for prøvepunktene.



Figur 5.8: Korrelasjonskurve sulfat mot svovel for prøvepunktene uten punkt 2.

5.3 Oppsummering metaller

Ved å se på figurene av de ulike metallkonsentrasjonene i resultater, er det tydelig at flere metaller har samme trender. Generelt for jern, svovel og kobolt er det høye konsentrasjoner i prøvepunkt 2. Kobber, sink og kobolt har også lignende trender med høye konsentrasjoner i prøvepunkt 6 og 7.

Generelt har jern og svovel lignende trender, som er mulig å se i figur 4.11 og 4.15. Det kan observeres en kraftig økning i konsentrasjon i prøvepunkt 2, som så reduseres for prøvepunkt 3 til 5. I prøvepunkt 6 og 7 ser vi en liten økning i konsentrasjonen igjen, som reduseres i prøvepunkt 8 og 9. Kobolt har samme trend som jern og svovel i prøvepunkt 2. Generelt vil det si at metallkonsentrasjonene øker ved Tverrfjellet gruve og gruvene ved Folldal sentrum. Mann-Whitney U-test for indikerer at det er en signifikant forskjell i svovelkonsentrasjoner i prøvepunkt 1 og prøvepunktene 2, 3 og 4, med en p-verdi på 0,001. Tilsvarende test for jern og kobolt viser ikke en signifikant forskjell i konsentrasjoner for prøvepunkt 1 og prøvepunkt 2, 3 og 4, med en p-verdi på henholdsvis 0,291 og 0,498. Det observeres en høy ledningsevne i prøvepunkt 2. Høyere konsentrasjoner i dette prøvepunktet bekreftes delvis med høyere ledningsevne. Høy ledningsevne indikerer mer oppløst stoff, som igjen kan gi høyere metallkonsentrasjoner.

Som lest i teorien er pyritt det vanligste mineralet i sulfidmalmgruver, og finnes ofte i forbindelse med blant annet kobolt. Det vil da være naturlig at disse metallene viser samme trend. Oksidasjon av pyritt i vann vil danne sulfat, samt to- og treverdig jern. Som vist i figur 5.7 observeres det en korrelasjon mellom sulfat og svovel. At det ble observert en signifikant høyere verdi for svovel i prøvepunktene 2, 3 og 4 sammenlignet med prøvepunkt 1, og ikke for jern, kan være fordi svovel også finnes i forbindelse med andre metaller i bergarter. Oksidasjon av disse metallsulfidene, som kobberkis, vil også finne sted gruver og avfallsdeponier, som vil kunne gi høyere svovelavrenning.

Generelt observeres det lignende trender for kobber og sink, med lave konsentrasjoner i prøvepunktene 1 til 5, og deretter en kraftig økning i prøvepunkt 6 og 7. En reduksjon av kobber- og sinkkonsentrasjoner observeres i prøvepunkt 8 og 9. Tilsvarende trender for prøvepunktene 3 til 9 observeres også for kobolt. Mann-Whitney U-test indikerer en signifikant forskjell i kobberkonsentrasjon mellom prøvepunkt 1 til 5 og prøvepunkt 6 og 7, med en p-verdi på 0,025. Tilsvarende test for sink og kobolt viser ikke en signifikant forskjell mellom prøvepunkt 1 til 5 og prøvepunkt 6 og 7, med en p-verdi på henholdsvis 0,129 og 0,199. Det observeres en økende ledningsevne fra prøvepunkt 3 til 7, med høyest målinger i prøvepunkt 6 og 7. Høyere ledningsevne i prøvepunkt 6 og 7 kan delvis bekrefte høyere metallkonsentrasjoner funnet i disse prøvepunktene.

Som lest i teorien har gravene ved Folldal sentrum de største avrenningsproblemene sammenlignet med Tverrfjellet gruve, på grunn av flere gruver og store deponier. Kobber er et av metallene som det ved flere anledninger er rapportert veldig høye konsentrasjoner. Dette sammenfaller med mine resultater, hvor kobber har signifikant høyere konsentrasjoner ved Folldal sentrum. At det ikke registreres høye konsentrasjoner ved Tverrfjellet gruve, kan være en god indikator på at renseanlegget fungerer. Gjennomsnittskonsentrasjonen for kobber ved prøvepunkt 6 og 7 er henholdsvis 8,2 og 10,2 µg/L. For at kobber ikke skal forårsake negative konsekvenser på fisk og andre biologiske organismer i vann, er det satt en grense på 7,8 µg/L. NIVA har i flere år foretatt analyser langs Folla, og i 2020 fant de i prøvepunkt 6 og 7 kobberkonsentrasjoner på henholdsvis 53 og 46 µg/L. Det skal legges til at dette er ufiltrerte prøver, som kan være årsaken til en mye høyere konsentrasjon enn funnet i denne oppgaven. Samtidig antyder dette en for høy kobberkonsentrasjon i avrenningene fra gravene ved Folldal sentrum, som kan påvirke fisk- og dyreliv.

Oksidasjon av sinkblende kan være en kilde til sink i avrenning fra gruveområdet, og være årsaken til høye konsentrasjoner funnet i prøvepunkt 6 og 7. Lavere konsentrasjoner funnet i prøvepunkt 2, det vil si avrenning fra Tverrfjellet gruve, kan være fordi renseanlegget fungerer bra. Det ble også funnet høye koboltkonsentrasjoner i prøvepunkt 6 og 7. Årsaken til dette kan også her være oksidasjon av metaller i forbindelse med kobolt.

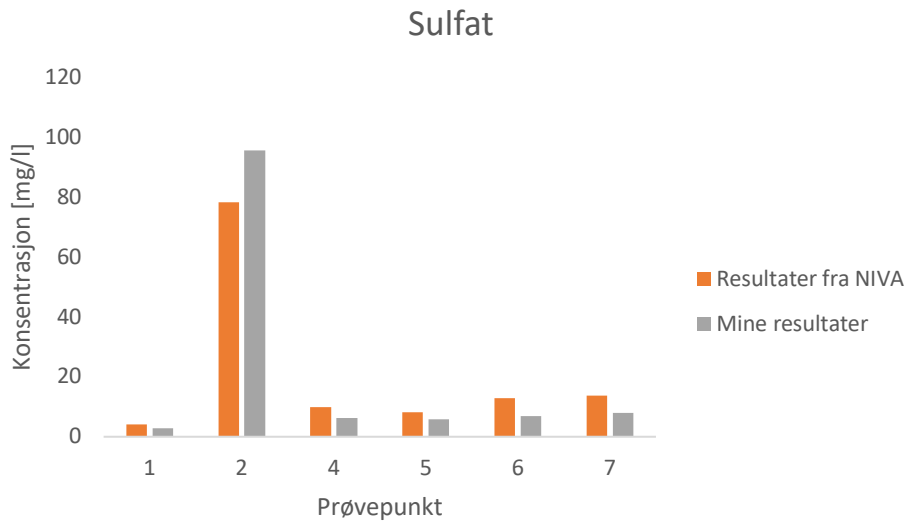
Generelle trender for blykonsentrasjoner avviker fra de andre metallene. Det ble generelt funnet høye blykonsentrasjoner i prøvepunkt 3 og 7. I prøvepunkt 2 ble det funnet svært lave konsentrasjoner av bly. I dette punktet var det veldig spesielle forhold, med lavt redokspotensial og pH og høy ledningsevne, sammenlignet med de andre prøvepunktene. Det kan tenkes to grunner til at det ble funnet lave konsentrasjoner av bly i dette prøvepunktet. Den ene hypotesen er at bly ble mobilisert som følge av redoksreaksjoner av jern. Den andre hypotesen er at lav pH og redokspotensial har gitt økt mobilisering av bly. Videre kan det tenkes at dette påvirker prøvepunkt 3, som kan være årsaken til de høyere blykonsentrasjonene funnet der. Tilsvarende prosesser kan tenkes at finner sted i prøvepunkt 6, som er årsaken til de høyere blykonsentrasjonene i prøvepunkt 7. Sammenlignet med norske innsjøer, som i 2019 hadde en gjennomsnittskonsentrasjon av bly på 0,079 µg/l, ble det i denne oppgaven funnet lave blykonsentrasjoner (59). Det skal likevel bemerkes at det forventes å finne ulike konsentrasjoner av metaller i innsjøer og elver, samtidig gir det en viss pekepinn på hvilke konsentrasjoner som forventes å finne.

For jern, kobber, sink og bly ble det generelt observert økende konsentrasjoner gjennom tidsperioden. For jern og bly ble det også observert høye konsentrasjoner ved første prøvetakingstur. Første prøvetakingstur ble foretatt på sensommeren, mens siste ble foretatt sent på høsten. Ved første prøvetakingstur, 31. august, var det sol og fint vær. Det regnet en god del under prøvetaking 23. september, og 24. september hadde det kommet snø. Det var snø de to neste prøveturene også, 15. oktober og 23. oktober, hvor det ved sistnevnte hadde lagt seg is flere steder langs elva. Kaldere temperatur kan ha ført til at tilsig langs elva hadde fryst til is. Lavere temperatur kan ha ført til lavere vannstand i elva og dermed høyere konsentrasjoner av flere metaller, deriblant jern, kobber, sink og bly.

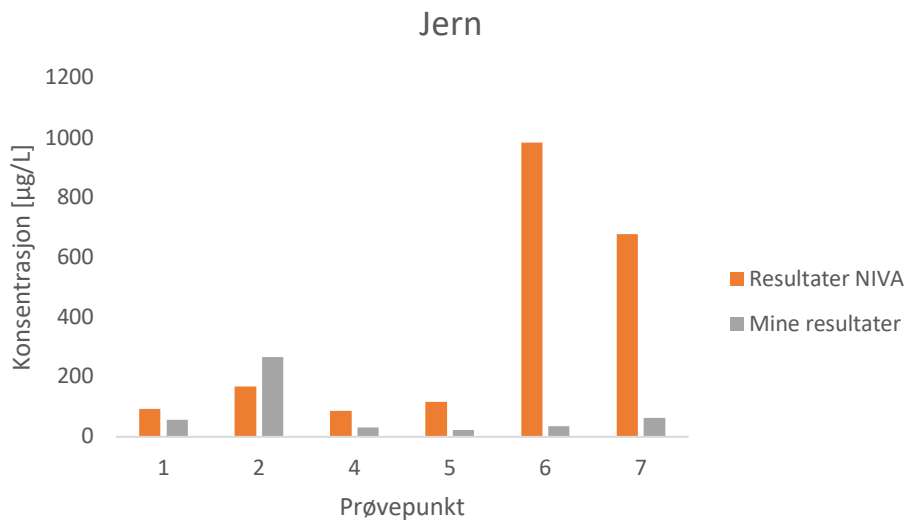
5.4 Sammenligning med tidligere studier

NIVA har siden begynnelsen av 1980-tallet analysert vannprøver langs Folla i omtrent samme punkt som prøvepunkt 1, 2, 4, 5, 6 og 7 i denne oppgaven. For å sammenligne NIVAs resultater med resultatene fra denne oppgaven, er det tatt gjennomsnittskonsentrasjon av målinger gjort mellom 2015 og 2020. I prøvepunkt 6 er det kun tatt prøver i 2019 og 2020. Sammenligning av konsentrasjoner for sulfat, jern, kobber, sink og bly er vist i figur 5.9-5.13.

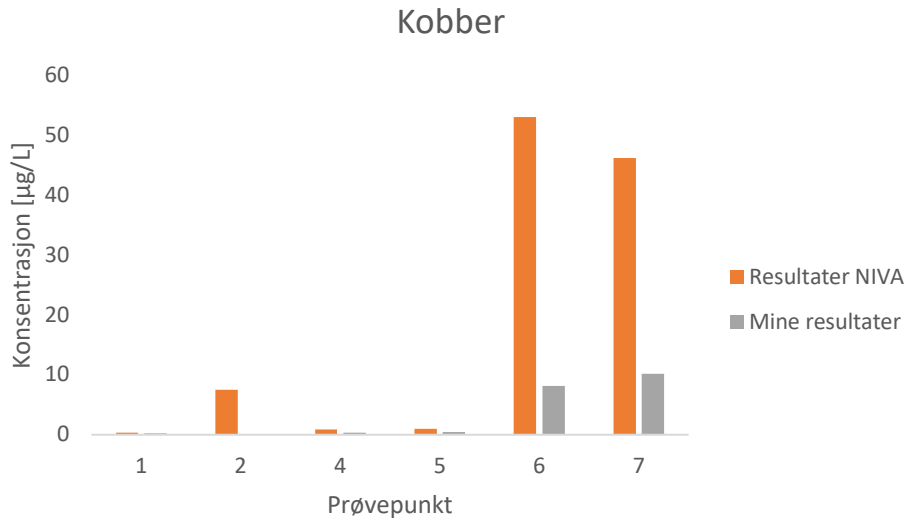
Generelt for alle metallene er det funnet høyere konsentrasjoner i NIVAs analyser. Grunnen til dette er fordi det er brukt ufiltrerte prøver, mens resultatene i denne oppgaven er basert på filtrerte prøver. En annen grunn til at det ble funnet høyere konsentrasjoner i analysene fra NIVA kan være at det ble tatt gjennomsnitt over flere år ved ulike perioder av året. Det ble laget grafer for å kunne se trend for metallkonsentrasjoner over år og tidsperioder, som er lagt ved i vedlegg 4. Her kan det observeres variasjon i metallkonsentrasjoner både over år og ut fra hvilken tid på året prøvene ble tatt. Det ble blant annet i 2019 funnet lavere konsentrasjoner av både kobber og sink på høsten enn på våren. Dette kan være årsaken til høyere konsentrasjoner funnet ved analyse fra NIVA. Sammenlignet med prøvene fra denne oppgaven kan det likevel observeres de samme trendene fra begge resultatene.



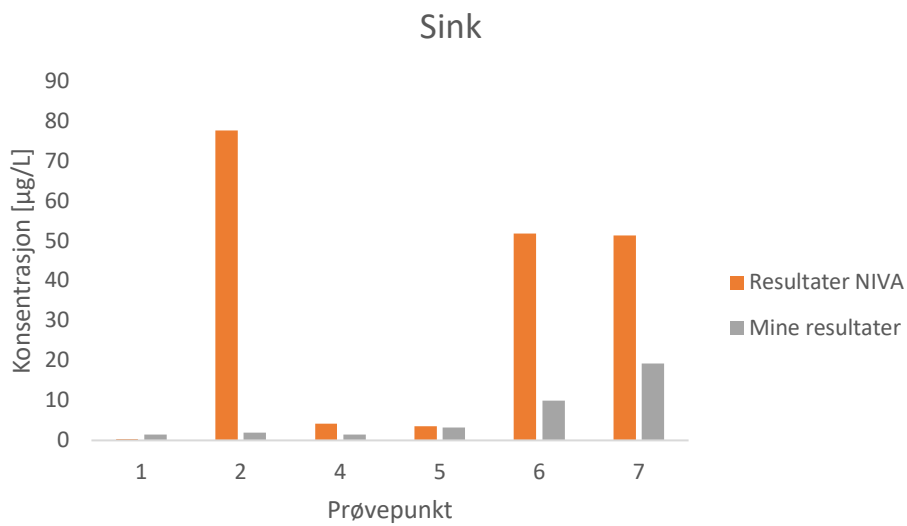
Figur 5.9: Gjennomsnittskonsentrasjon av sulfat fra NIVA og denne undersøkelsen.



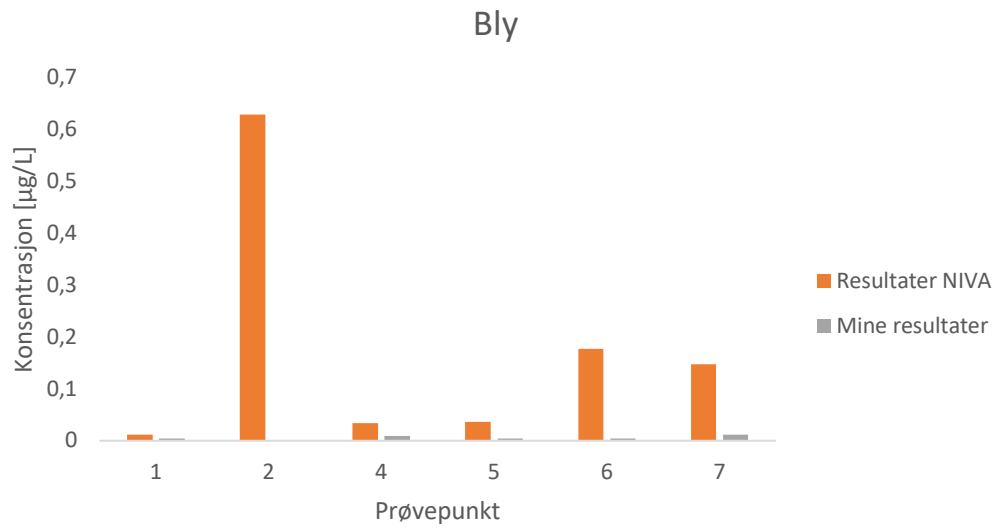
Figur 5.10: Gjennomsnittskonsentrasjon av jern fra NIVA og denne undersøkelsen.



Figur 5.11: Gjennomsnittskonsentrasjon av kobber fra NIVA og denne undersøkelsen.



Figur 5.12: Gjennomsnittskonsentrasjon av sink fra NIVA og denne undersøkelsen.



Figur 5.13: Gjennomsnittskonsentrasjon av bly fra NIVA og denne undersøkelsen.

6 Konklusjon

Det er tydelig at avrenningene fra Folldal Verk er metallholdig og kraftig forurenset.

Forurensningene i avrenning fra Tverrfjellet gruve er betydelig mindre sammenlignet med gruvene ved Folldal sentrum, som kan antyde at rensenanlegget fungerer som det skal.

Vannprøvene tatt i prøvepunkt 2, nedfor Tverrfjellet gruve, inneholdt høye konsentrasjoner av svovel og jern. Likevel ble konsentrasjonene raskt fortynnet, og ser ikke ut til å påvirke vannet nedover i elva. I prøvepunkt 6 ble det funnet høye konsentrasjoner av kobber og jern. Avrenningene fra gruvene ved Folldal sentrum ser ut til å påvirke vannet nedover i elva.

7 Referanser

1. Askheim S. Norsk bergindustrihistorie snl.no; 2020 [updated 09.01.2020; cited 2021 07.04]. Available from: https://snl.no/Norsk_bergindustrihistorie.
2. Elisabeth Veivåg Helseth, Ingunn Høyvik, Roar Werner. Verdiskaping basert på natur og kulturressursar distriktssenteret.no; 2017 [cited 2021 07.04]. Available from: <https://distriktssenteret.no/artikkel/verdiskaping-basert-pa-natur-kulturressursar/#target-4>.
3. Jens Skei, et.al. Bergverk og avgangsdeponier - status, miljøutfordringer og kunnskapsbehov. Miljødirektoratet.no: Klima- og forurensningsdirektoratet; 2010.
4. Hammer A-E. Gruvedriftens dilemma Forskning.no2011 [updated 11.11.2011; cited 2021 12.01]. Available from: <https://forskning.no/partner-forurensning-geofag/gruvedriftens-dilemma/742702>.
5. Miljøtiltak dirmin.no: Direktoratet for mineralforvaltning; 2015 [updated 10.07.2019; cited 2021 22.01]. Available from: <https://dirmin.no/tema/miljotiltak>.
6. Iversen E. R. Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde, Meldal kommune. Undersøkelser i 2009-2010. 2010.
7. Miljødirektoratet. Nedlagte kisgruver Miljøstatus2019 [updated 24.06.2019; cited 2021 12.01]. Available from: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/forurensning/nedlagte-kisgruver/>.
8. Rui IJ. Folldal Verk A/S snl.no: Store norske leksikon; 2020 [updated 27.01.2020; cited 2021 13.01]. Available from: https://snl.no/Folldal_Verk_A/S.
9. Kampestuen K. Å. Tonnevis med gift renner fortsatt ut etter gruvedrift nrk.no; 2021 [updated 24.04.2021; cited 2021 08.04]. Available from: <https://www.nrk.no/innlandet/tildekking-av-gruveanlegget-i-folldal-ikke-nok-for-a-lose-omfattende-forurensning-1.15424392>.
10. Bjørn Pedersen. Tungmetaller. snl.no; 2020 [updated 05.12.2020; cited 2021 17.02]. Available from: <https://snl.no/tungmetaller>.
11. Øyvind Gvein, Ingolf Jarle Rui, Rolv Magne Dahl. Bergverksdrift i Norge snl.no2018 [updated 20.02.2018; cited 2021 24.02]. Available from: https://snl.no/Bergverksdrift_i_Norge.
12. Miljødirektoratet. Løkken Gruber. 2017.
13. Rolf Tore Arnesen, Kari Nygaard, Eigil R. Iversen, Bjørn Christensen. Vannfylling av Wallenberg gruve. NIVA; 1994. Contract No.: 0-92174.

14. Bjørlykke A. Løkken gruve snl.no; 2020 [updated 21.12.2020; cited 2021 08.03]. Available from: https://snl.no/Lokken_gruve.
15. Banks D, et.al. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. Environmental geology. 1997;32(3):157-74.
16. NIVA. Ny kunnskap fra gamle sjødeponier NIVA [updated 03.05.2019; cited 2021 25.01.2021]. Available from: <https://www.niva.no/nyheter/ny-kunnskap-fra-gamle-sjodeponier>.
17. Iversen E. Forurensningssituasjonen ved nedlagte gruver. Vann nr 2/2009. 2009.
18. Mineralforvaltning Df. Løkken gruveområde tiltaksplan. 2013.
19. Grøn Ø. Sorpsjon snl.no; 2018 [updated 25.09.2018; cited 2021 08.03]. Available from: <https://snl.no/sorpsjon>.
20. Pedersen B. Adsorpsjon snl.no; 2018 [updated 27.03.2018; cited 2021 08.03]. Available from: https://snl.no/adsorpsjon_-_kjemi.
21. Pedersen B. Absorpsjon snl.no; 2020 [updated 26.08.2020; cited 2021 08.03]. Available from: https://snl.no/absorpsjon_-_kjemi.
22. Lydersen AL. Desorpsjon snl.no; 2020 [updated 11.02.2020; cited 2021 08.03]. Available from: <https://snl.no/desorpsjon>.
23. Gordon E. Brown Jr., Andrea L. Foster, John D. Ostergren. Mineral surfaces and bioavailability of heavy metals: A molecular-scale perspective. PNAS. 1999;96(7):3388-95.
24. Berner RA. Worldwide Sulfur Pollution of Rivers. Journal of geophysical research. 1971;76(27):6597-600.
25. Janae Csavina, Jason Field, Mark P. Taylor, Song Gao, Andrea Landázuri, Eric A. Betterton, et al. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. Science of the Total Environment. 2012;433(1):58-73.
26. A. P. Chandra, A. R. Gerson. The mechanisms of pyrite oxidation and leaching: A fundamental perspective. Surface Science Reports. 2010;65:293-315.
27. Rolf Arne Kleiv, Bjørge Brattli. Frigjøring av tungmetaller og produksjon av sur avrenning ved oksidasjon av metallsulfid fra sulfidgruver. VANN. 1997;3:312-23.
28. Werner Stumm, James J. Morgan. Aquatic chemistry. Third Edition ed: John Wiley & Sons, Inc.; 1996.
29. Klassifisering av miljøtilstander i vann. vannportalen.no; 02:2018.
30. Iversen E. Kontroll av massebalanse i Løkken gruveområde, Meldal kommune. Undersøkelser i perioden 1.9.2009 - 31.8.2010. NIVA; 2010.
31. Miljødirektoratet. Folldal Verk. 2017.

32. Historien folldalgruver.no [cited 2021 21.01]. Available from: <https://folldalgruver.no/historie>.
33. Prosjekt - Folldal gruver ngi.no: Norges geotekniske institutt; 2017 [cited 2021 15.01]. Available from: <https://www.ngi.no/Prosjekter/Folldal-gruver>.
34. Marianne Kvennås, Gudny Okkenhaug GB, Tom Lundgren, Ambiental,. Folldal gruver. dirmir.no; 2015 14.12.2015. Contract No.: 20140321-04-R.
35. Iversen E. Kontroll av avrenning fra Tverrfjellet gruve på Hjerkin, Dovre kommune. Undersøkelser i 2008-2009. NIVA; 2010.
36. Løvdal Ø. Overvåkning ved gruvepåvirkede vassdrag ved Folldal gruver. dirmin.no; 2016 17.03.
37. Norgeshistoriens største naturrestaurering på Hjerkin forsvarsbygg.no2020 [updated 24.06; cited 2021 01.02]. Available from: <https://www.forsvarsbygg.no/no/miljo/rive-og-ryddeprosjekt2/hjerkin/om-hjerkin/>.
38. Verneplanprosess for Hjerkin skytefelt statsforvalteren.no [cited 2021 01.02]. Available from: <https://www.statsforvalteren.no/hjerkin/>.
39. NIKU. Tilbakeføring av Hjerkin skytefelt til sivile formål. forsvarsbygg.no; 2003.
40. Rognerud S. Hjerkin skytefelt 2002 NIVA.no; 2003 20.01. Contract No.: 0-21958.
41. Zhang C. Fundamentals of Environmental Sampling and Analysis: WILEY; 2007. p. 456.
42. Norge S. Vannundersøkelse. Prøvetaking. Del 6: Veiledning i prøvetaking fra elver og bekker (NS-ISO 5667-6). standard.no; 2014.
43. Hao Zhang, William Davison. Performance Characteristics of Diffusion Gradients in Thin Films for the in Situ Measurement of Trace Metals in Aqueous Solution. Analytical Chemistry. 1995;67(19):3391-400.
44. Niels C. Munksgaard, David L. Parry. Monitoring of labile metals in turbid coastal seawater using diffusive gradients in thin-films. The Royal Society of Chemistry. 2003;5(1):145-9.
45. Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, Crouch SR. Fundamentals of Analytical Chemistry. 9th ed: Brooks/Cole, Cengage Learning; 2014.
46. Olesik JW. Elemental analysis using an evaluation and assessment of remaining problems. Analytical Chemistry. 1991;63(1):12-21.
47. Egeland ES. Kromatografi snl.no2020 [updated 22.12.2020; cited 2021 08.02]. Available from: <https://snl.no/kromatografi>.

48. Anja Schnepf, Maximilian Kolb, Andreas Seubert, Markus Läubli. Practical Ion Chromatography. An introduction. . Metrohm Monograph. 2020;8.108.5069EN.
49. Elsa Lundanes, Léon Reubsæet, Tyge Greibrokk. Chromatography. Basic Principles, Sample Preparations and Related Methods: WILEY-VCH; 2014.
50. Lloyd R. Snyder, Joseph J. Kirkland, John W. Dolan. Introduction to modern liquid chromatography: WILEY; 2010.
51. Mann-Whitney U Test statskingdom.com [cited 2021 16.05]. Available from: https://www.statskingdom.com/test_mann_whitney.html.
52. Create a box plot support.microsoft.com [cited 2021 22.05]. Available from: <https://support.microsoft.com/en-us/office/create-a-box-plot-10204530-8cdf-40fe-a711-2eb9785e510f>.
53. Opprette et boksdigram support.microsoft.com [cited 2021 22.05]. Available from: <https://support.microsoft.com/nb-no/office/opprette-et-boksdigram-62f4219f-db4b-4754-aca8-4743f6190f0d>.
54. Jerry L. Hintze, Ray D. Nelson. Statistical Computing and Graphics. The American Statistician. 1998;52(2).
55. Hervé Abdi, Lynne J. Williams. Principal component analysis. John Wiley & Sons. 2010;2:433-59.
56. Mæhlum L. Folla - elv i Folldal og Alvdal snl.no; 2020 [updated 15.01; cited 2021 02.01]. Available from: https://snl.no/Folla_-_elv_i_Folldal_og_Alvdal.
57. Metrohm. Dissolved anions in water according to EN 10304-1 applying Inline Ultrafiltration. metrohm.com; 2017.
58. Elvestrekninger påvirket av gruveforurensning. NIVA; 2003.
59. Atle Hindar, Øyvind Garmo, Kari Austnes, James Edvard Sample. Nasjonal innsjøundersøkelse 2019. miljødirektoratet.no; 2020.
60. Hva slags salt brukes på vegene? vegvesen.no2018 [cited 2021 25.05]. Available from: <https://www.vegvesen.no/fag/veg+og+gate/drift+og+vedlikehold/Vinterdrift/salting/sporsmal-og-svar/hva-slags-salt>.

Vedlegg

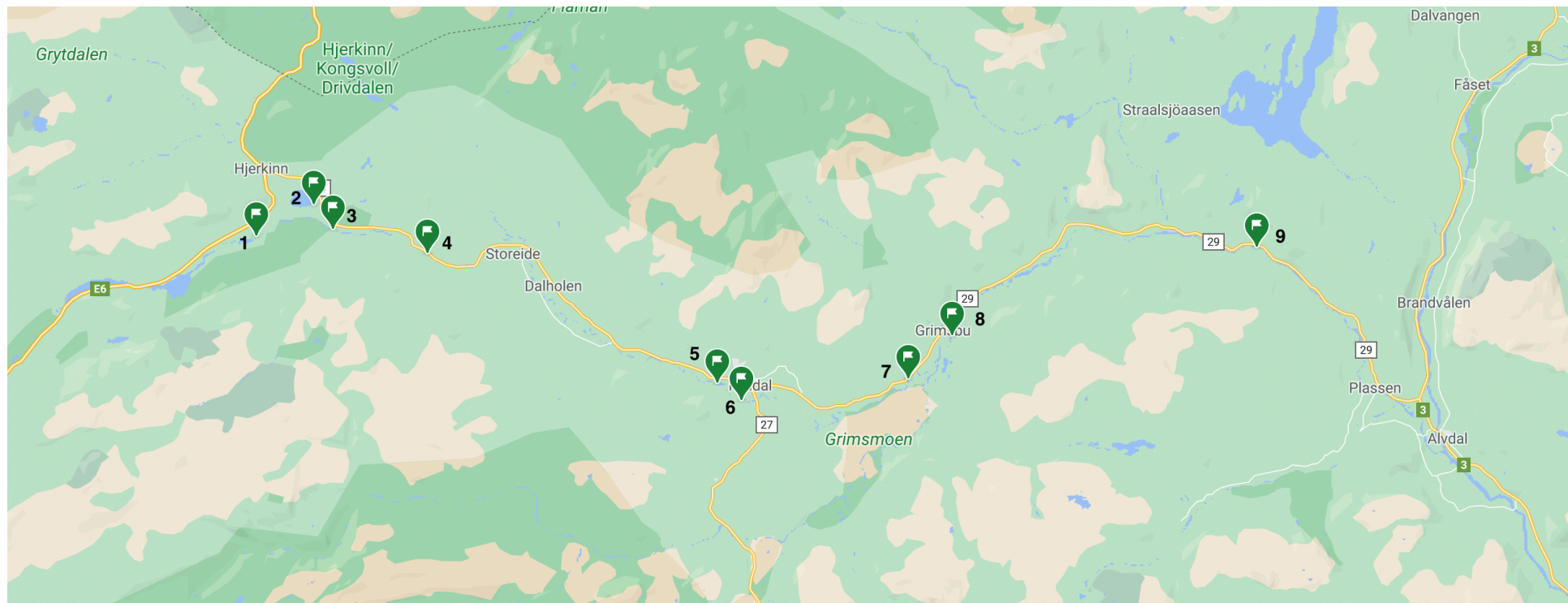
Vedlegg 1: Kart

Vedlegg 2: Parametere fra prøvepunkter

Vedlegg 3: Gjennomsnittsverdier og standardavvik fra ionekromatografi og ICP-MS

Vedlegg 4: NIVA-analyse

Vedlegg 1: Kart



Vedlegg 2: Parametere fra prøvepunkter

Tabellene viser parameterne ledningsevne, redokspotensial, pH, temperatur og turbiditet for prøvepunktene.

Tabell V.1: Parametere fra prøvepunkt 1.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10
Ledningsevne	36,1	38,6	39	41,6
Redokspotensial	484			199
pH	7,64			7,43
Temperatur	11,8	9,2	7,3	2,4
Turbiditet	3,88	1,37	0,18	

Tabell V.2: Parametere fra prøvepunkt 2.

Dato	31.08	15.10
Ledningsevne	515	75,7
Redokspotensial	60	189,6
pH	7,18	7,79
Temperatur	6,2	1,2
Turbiditet	5,7	

Tabell V.3: Parametere fra prøvepunkt 3.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10	23.10
Ledningsevne	55,6	54	56,5	64	64,3
Redokspotensial	187			230	
pH	7,55			7,53	
Temperatur	8,4	9,1	5,3	1,8	0
Turbiditet	1,7	0,92	0		

Tabell V.4: Parametere fra prøvepunkt 4.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10
Ledningsevne	53,4	53,9	55,5	57,4
Redokspotensial	270			241

pH	7,48			7,54
Temperatur	8,4	10,6	5	1,3
Turbiditet	1,58	2,64	0	

Tabell V.5: Parametere fra prøvepunkt 5.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10	23.10
Ledningsevne	80	82,3	81,3	79,5	86
Redokspotensial	218			138,9	
pH	7,98			7,71	
Temperatur	8,3	9	6,1	0,7	0
Turbiditet	0,87	2,44	0		

Tabell V.6: Parametere fra prøvepunkt 6.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10
Ledningsevne	81,4	83,9	79,6	81,2
Redokspotensial	221			158
pH	7,84			7,67
Temperatur	8,5	9,2	7,1	0,7
Turbiditet	1,45	3,22	0,36	

Tabell V.7: Parametere fra prøvepunkt 7.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10	23.10
Ledningsevne	91,8	94,2	81,7	91,1	68,3
Redokspotensial	227,5			179,7	
pH	7,98			7,69	
Temperatur	9,6	8,3	6,9	0,9	0
Turbiditet	2,91	3,22	0,26		

Tabell V.8: Parametere fra prøvepunkt 8.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10
Ledningsevne	68	71,1	54,1	64,8
Redokspotensial	226			195,6
pH	7,19			7,72

Temperatur	8,4	9	6,5	0,7
Turbiditet	1,93	1,16	0	

Tabell V.9: Parametere fra prøvepunkt 9.

Dato	31.08	23.09	24.09	15.10
Ledningsevne	77,4	80,8	66	75,7
Redokspotensial	253			189,6
pH	7,82			7,79
Temperatur	9	8,8	7,6	1,2
Turbiditet	0,89	1,34	0,18	

Vedlegg 3: Gjennomsnittsverdier og standardavvik fra ionekromatografi og ICP-MS

Tabell V.10 og V.11 viser gjennomsnittsverdier og standardavvik for henholdsvis ioner og metaller.

Tabell V.10: Gjennomsnitt (snitt) og standardavvik (avvik) for ioner analysert med ionekromatografi. Alle konsentrasjonene er gitt i mg/L.

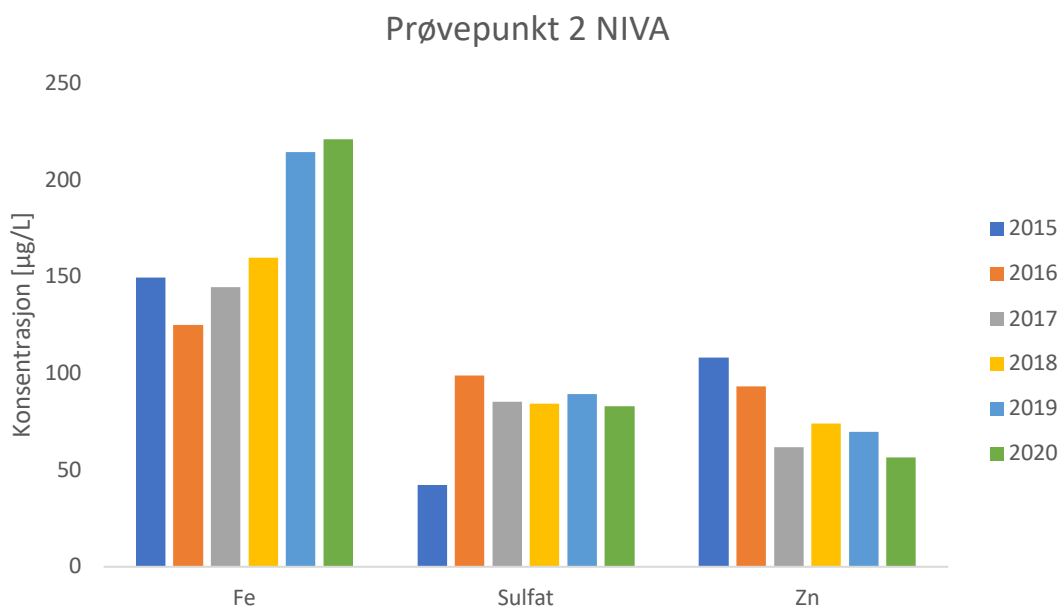
Prøvepunkt	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik
Klorid	0,763	0,03	2,99	0,31	0,786	0,05	0,777	0,04	0,976	0,06	0,939	0,04	1,13	0,09	0,845	0,03	0,926	0,07
Sulfat	2,91	0,288	95,8	1,21	7,38	1,21	6,33	0,451	5,84	0,452	6,80	0,881	7,88	1,06	6,27	0,820	6,26	0,546

Tabell V.11: Gjennomsnitt (snitt) og standardavvik (avvik) for metaller analysert med ICP-MS. Alle konsentrasjonene er gitt i µg/L.

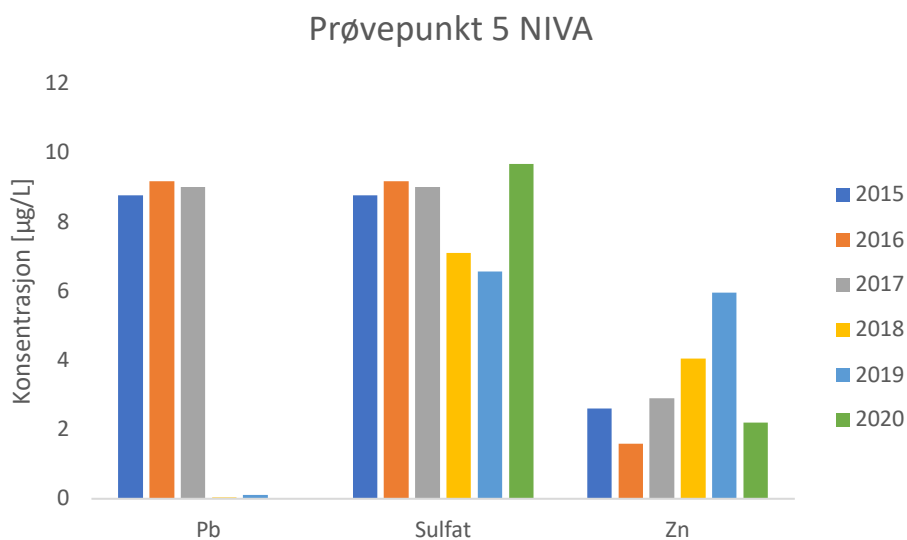
Prøvepunkt	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik	Snitt	Avvik
Svovel	1117	99,7	40957	151,3	2728	303,2	2285	139,6	2566	150,6	2566	153,2	3171	53,01	2145	113,3	2238	24,3
Jern	57,2	16,3	267,8	58,9	41,2	13,5	31,6	9,27	22,8	2,79	35,3	6,41	63,9	9,61	33	4,42	32,1	4,32
Kobber	0,277	0,029	0,071	0,03	0,441	0,047	0,396	0,027	0,418	0,033	8,18	2,99	10,23	1,24	3,62	0,468	3,9	0,7
Sink	1,44	1,58	2,03	1,9	3,88	4,89	1,46	0,3	3,22	2,99	10,1	4,52	19,31	9,87	10,99	0,97	8,51	1,08
Bly	0,0041	0,00087	0,0003		0,0173	0,0084	0,009	0,0019	0,0046	0,0019	0,0043	0,00084	0,011	0,0038	0,0095	0,0086	0,0083	0,0063
Kobolt	0,03	0,0048	0,752	0,169	0,022	0,0023	0,021	0,0015	0,03	0,012	0,362	0,165	0,409	0,067	0,146	0,019	0,076	0,029

Vedlegg 4: NIVA-analyse

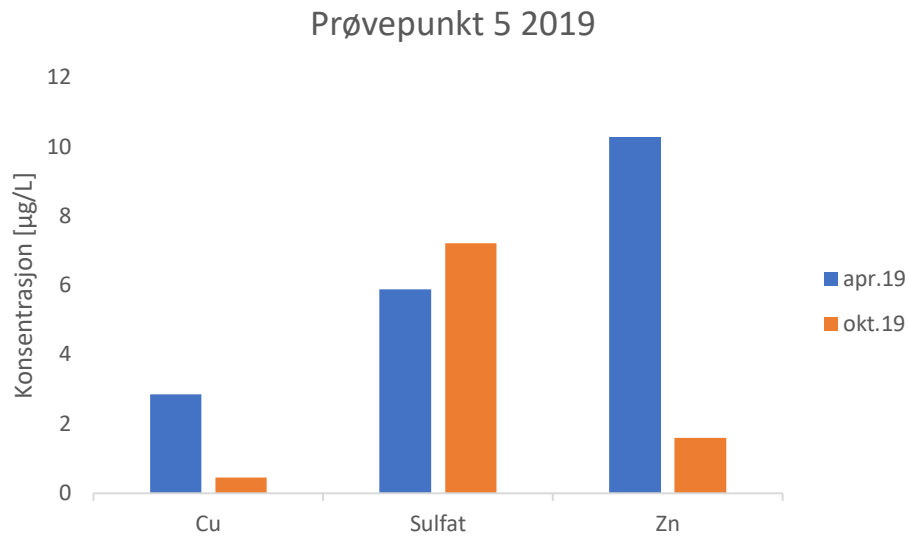
Dataene er hentet fra NIVA. Figur V.1 og V.2 viser variasjon av ulike metaller i prøvepunkt 2 og 5 over perioden 2015-2020. Figur V.3 viser variasjon i konsentrasjon av kobber, sulfat og sink i prøvepunkt 5 fra april 2019 til oktober 2019.



Figur V.1: Jern-, sulfat- og sinkkonsentrasjon i prøvepunkt 2 fra 2015-2020.



Figur V.2: Bly-, sulfat- og sinkkonsentrasjon i prøvepunkt 5 fra 2015-2020.



Figur V.3: Kobber-, sulfat- og sinkkonsentrasjon i prøvepunkt 2 fra april 2019 og oktober 2019.

