

Marte Pettersen

Kjemiske endringer i jordsmonnet etter skogbrann

Masteroppgave i Kjemi
Veileder: Øyvind Mikkelsen
August 2022

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for kjemi



Marte Pettersen

Marte Pettersen

Kjemiske endringer i jordsmonnet etter skogbrann

Masteroppgave i Kjemi
Veileder: Øyvind Mikkelsen
August 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for kjemi

Sammendrag

Denne oppgaven er en studie av kjemiske endringer i jordsmonnet etter to skogbranner på Sørlandet. Mer spesifikt er oppgaven en studie av innholdet av ulike tungmetaller, spormetaller og PAHer i jordsmonnet i både bakgrunnsområde og skogbrannområde på Froland og i Birkenes. Det ble tatt til sammen 16 prøver på Froland og 15 prøver i Birkenes på to ulike datoer høsten 2021. Hensikten med oppgaven var å undersøke endringer av utvalgte metaller og PAH i jordsmonn som er påvirket av større skogbrann.

Hypoteser: H_{01} – det er ikke ulik konsentrasjon av tungmetaller i jordsmonn som er påvirket av skogbrann og jordsmonn fra bakgrunnsområdet. H_{11} – det er ulik konsentrasjon av tungmetaller i jordsmonn som er påvirket av skogbrann og jordsmonn fra bakgrunnsområdet. H_{02} – det er ikke ulik konsentrasjon av PAH i jordsmonn som er påvirket av skogbrann og jordsmonn fra bakgrunnsområdet. H_{12} – det er ulik konsentrasjon av PAH i jordsmonn som er påvirket av skogbrann og jordsmonn fra bakgrunnsområdet.

Jordprøvene ble tatt i oktober 2021, og ble tørket før de ble videre behandlet og analysert for spormetaller og PAHer. Halvparten av prøvene ble dekomponert/oppsluttet med UltraClave og så analysert med ICP-MS, og andre halvparten ble ekstrahert med ASE, fordampet med Turbovap og så analysert med GC-MS.

Det ble funnet ulike trender for flere av metallene og PAHene i bakgrunns- og skogbrannområdene, og ulike trender på Froland og i Birkenes. Noen metaller akkumulerte under brann, noen fordampet og noen ble vasket ut. For PAHene var det noen som ble dannet under brann, noen fordampet, og noen ble ikke påvirket.

Abstract

This thesis is a study of chemical changes in the soil after two forest fires in Southern Norway. More specifically, the thesis is a study of the content of various heavy metals, trace metals and PAHs in the soil in both the background area and forest fire area in Froland and in Birkenes. A total of 16 samples were taken at Froland and 15 samples at Birkenes on two different dates in the autumn of 2021. The purpose of the thesis was to investigate changes in selected metals and PAHs in soils affected by major forest fires.

Hypotheses: H_{01} – there is no different concentration of heavy metals in soils affected by forest fires and soils from the background area. H_{11} – there is a different concentration of heavy metals in soils affected by forest fires and in soils from the background area. H_{02} – there is no different concentration of PAH in soils affected by forest fires and in soils from the background area. H_{12} – there is a difference in concentrations of PAH in soils affected by forest fires and in soils from the background area.

The soil samples were taken in October 2021 and were dried before they were further processed and analyzed for trace metals and PAHs. Half of the samples were decomposed/dissolved with UltraClave and then analyzed with ICP-MS, and the other half were extracted with ASE, evaporated with Turbovap, and then analyzed with GC-MS.

Different trends were found for several of the metals and PAHs in the background and forest fire areas, and different trends in Froland and in Birkenes. Some metals accumulated during fire, some evaporated and some were washed out. For the PAHs, some were formed during fire, some evaporated, and some were not affected.

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende masteroppgave på lektorutdanning i realfag ved institutt for kjemi på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Prøvetaking foregikk høsten 2021, og videre analyser og skriving foregikk våren 2022.

Jeg ønsker først å takke min veileder som er professor Øyvind Mikkelsen ved NTNU, Trondheim. Jeg er takknemlig for både hjelpen med valg av oppgave, valg av undersøkelsesområde, og råd og tips angående gjennomføringen og skrivingen av oppgaven. Jeg vil også takke Kyyas Seyitmuhammedov og Anica Simic for utføring av ICP-MS-analyse, og Julie Asmussen og Susana Villa Gonzalez for utføring av GC-MS-analyse.

Ønsker til slutt å takke både familie og venner for å ha heiet på meg gjennom hele studiet, og spesielt i innspurten og under litt tøffere perioder. En ekstra takk til Ingrid Gederø Torgersen, Julie Navelsaker og Marita Hestnes som har vært fantastiske venninner både på og utenfor skolen de årene vi har hatt sammen i Trondheim.

Trondheim, 02.august 2022

Marte Pettersen

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-------------|
| SAMMENDRAG | I |
| ABSTRACT | II |
| FORORD | III |
| FIGURER | VI |
| TABELLER | VIII |
| FORKORTELSER | X |
| 1 INNLEDNING | 1 |
| 2 TEORI | 3 |
| 2.1 JORD OG JORDKJEMI | 3 |
| 2.1.1 Tungmetaller..... | 4 |
| 2.1.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) | 5 |
| 2.2 SKOG OG SKOGBRANN..... | 7 |
| 2.2.1 Mykland i Froland | 8 |
| 2.2.2 Vindslandsheia i Birkeland..... | 9 |
| 2.3 PRØVETAKING AV JORD OG ANALYSER AV JORDPRØVER | 10 |
| 2.3.1 Prøvetaking..... | 10 |
| 2.3.2 UltraClave | 11 |
| 2.3.3 Induktivt koblet plasmamassespektrometri (ICP-MS) | 12 |
| 2.3.4 Akselerert løsemiddelekstraksjon (ASE)..... | 14 |
| 2.3.5 Turbovap..... | 15 |
| 2.3.6 Gasskromatografi-massespektrometri (GC-MS)..... | 16 |
| 2.4 STATISTIKK/KVALITETSSIKRING | 17 |
| 2.4.1 Gjennomsnitt og standardavvik..... | 17 |
| 2.4.2 Boksdiagram | 17 |
| 2.4.3 Retensjonstid..... | 18 |
| 2.4.4 Kvantifisering | 19 |
| 2.4.5 Limit of detection (LOD) og limit of quantification (LOQ)..... | 19 |
| 2.4.6 Korrelasjon | 20 |
| 2.4.7 Prinsipal komponentanalyse (PCA)..... | 20 |
| 3 METODE | 21 |
| 3.1 PRØVEPUNKT OG PRØVETAKING..... | 21 |
| 3.2 LABORATORIEARBEID | 24 |
| 3.2.1 Ultraclave | 25 |
| 3.2.2 ICP-MS | 27 |
| 3.2.3 ASE | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.4 Turbovap..... | 27 |
| 3.2.5 GC-MS..... | 28 |
| 4 RESULTATER..... | 29 |
| 4.1 RESULTATER FRA ICP-MS | 29 |
| 4.1.1 Magnesium..... | 29 |
| 4.1.2 Kalium..... | 30 |
| 4.1.3 Kalsium | 31 |
| 4.1.4 Natrium | 32 |
| 4.1.5 Fosfor..... | 33 |
| 4.1.6 Svovel..... | 34 |
| 4.1.7 Krom | 35 |
| 4.1.8 Mangan..... | 36 |
| 4.1.9 Jern | 37 |
| 4.1.10 Kobolt | 38 |
| 4.1.11 Nikkel..... | 39 |
| 4.1.12 Sink | 40 |
| 4.1.13 Kvikksølv..... | 41 |
| 4.1.14 Bly..... | 42 |
| 4.2 RESULTATER FRA GC-MS | 44 |
| 5 DISKUSJON | 47 |
| 5.1 KORRELASJONSMATRISER | 47 |
| 5.2 PCA-ANALYSE | 51 |
| 5.3 OPPSUMMERING TUNGMETALLER..... | 54 |
| 5.4 PAHER | 56 |
| 6 KONKLUSJON | 59 |
| 7 REFERANSER..... | 60 |
| 8 VEDLEGG | 66 |
| VEDLEGG 1: KALIBRERINGSKURVER FOR PAH MÅLANALYTTER..... | 67 |

Figurer

| | |
|--|----|
| FIGUR 2.1: FIGUREN VISER KOMPONENTENE I ET ENKELT KVADRUPOL ICP-MS-INSTRUMENT | 13 |
| FIGUR 2.2: FIGUREN VISER KOMPONENTENE I ET TRIPPEL KVADRUPOL ICP-MS-INSTRUMENT | 13 |
| FIGUR 2.3: OVERSIKT OVER SELEKTIV EKSTRAKSJON VED BRUK AV AKSELERERT LØSNINGSMIDDELEKSTRAKSJON | 14 |
| FIGUR 2.4: DE ULIKE KOMPONENTENE I FORDAMPEREN | 16 |
| FIGUR 2.5: FIGUREN VISER HOVEDKOMPONENTENE I ET BOKSDIAGRAM | 18 |
| FIGUR 3.1: OVERSIKT OVER DE 10 PRØVEPUNKTENE FRA BRENT OMRÅDE PÅ FROLAND. | 22 |
| FIGUR 3.2 + FIGUR 3.3: OVERSIKT OVER DE 6 PRØVEPUNKTENE FRA UBRENT OMRÅDE PÅ FROLAND. FIGUR 3.2 PÅ NÆRT HOLD, FIGUR 3.3 PÅ LITT AVSTAND FOR Å FÅ MED SAURDALSVATN. | 23 |
| FIGUR 3.4: OVERSIKT OVER DE 5 PRØVEPUNKTENE FRA UBRENT OMRÅDE I BIRKENES. | 23 |
| FIGUR 3.5: OVERSIKT OVER DE 10 PRØVEPUNKTENE FRA BRENT OMRÅDE I BIRKENES. | 23 |
| FIGUR 4.1: BOKSDIAGRAM MED MENGDE MG FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 30 |
| FIGUR 4.2: BOKSDIAGRAM MED MENGDE K FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 31 |
| FIGUR 4.3: BOKSDIAGRAM MED MENGDE CA FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 32 |
| FIGUR 4.4: BOKSDIAGRAM MED MENGDE NA FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 33 |
| FIGUR 4.5: BOKSDIAGRAM MED MENGDE P FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 34 |
| FIGUR 4.6: BOKSDIAGRAM MED MENGDE S FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 35 |
| FIGUR 4.7: BOKSDIAGRAM MED MENGDE CR FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 36 |
| FIGUR 4.8: BOKSDIAGRAM MED MENGDE MN FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 37 |
| FIGUR 4.9: BOKSDIAGRAM MED MENGDE FE FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE PÅ BIRKENES. | 38 |
| FIGUR 4.10: BOKSDIAGRAM MED MENGDE CO FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE I BIRKENES. | 39 |
| FIGUR 4.11: BOKSDIAGRAM MED MENGDE NI FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE I BIRKENES. | 40 |
| FIGUR 4.12: BOKSDIAGRAM MED MENGDE ZN FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE I BIRKENES. | 41 |
| FIGUR 4.13: BOKSDIAGRAM MED MENGDE HG FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE I BIRKENES. | 42 |
| FIGUR 4.14: BOKSDIAGRAM MED MENGDE PB FRA PRØVEPUNKTENE FORDELT PÅ DE TO OMRÅDENE PÅ FROLAND OG DE TO OMRÅDENE I BIRKENES. | 43 |

| | |
|--|----|
| FIGUR 5.1: SCORE PLOT FOR PRØVEPUNKTENE PÅ FROLAND. | 51 |
| FIGUR 5.2: LOADINGS FOR DE ULIKE METALLENE I JORDPRØVENE FRA FROLAND. | 52 |
| FIGUR 5.3: SCORE PLOT FOR PRØVEPUNKTENE I BIRKENES..... | 52 |
| FIGUR 5.4: LOADINGS FOR DE ULIKE METALLENE I JORDPRØVENE FRA BIRKENES. | 53 |

Tabeller

| | |
|---|----|
| TABELL 2.1: LISTE OVER 16 US EPA PAHER MED NAVN, FORKORTELTSE, CAS-NUMMER, MOLEKYLMASSE (M), SMELTEPUNKT (SP) OG KOKEPUNKT (KP)..... | 6 |
| TABELL 3.1: PRØVENUMMER OG KOORDINATER FOR PRØVEPUNKTENE..... | 21 |
| TABELL 3.2: OVERSIKT OVER TEFLON VIAL, PRØVETYPE/PRØVENUMMER, STARTVEKT, PLASS PÅ POSISJONSKARUSELL, PLASS PÅ PLAST REAGENSØR, OG SLUTTVEKT I FORBINDELSE MED ULTRACLAVE... 26 | 26 |
| TABELL 4.1: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 30 |
| TABELL 4.2: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 31 |
| TABELL 4.3: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 32 |
| TABELL 4.4: ANTALL PRØVEPUNKT, SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 33 |
| TABELL 4.5: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVEPUNKTSOMRÅDENE..... | 34 |
| TABELL 4.6: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 35 |
| TABELL 4.7: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 36 |
| TABELL 4.8: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 37 |
| TABELL 4.9: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 38 |
| TABELL 4.10: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 39 |
| TABELL 4.11: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 40 |
| TABELL 4.12: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 41 |
| TABELL 4.13: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 42 |
| TABELL 4.14: SNITT, MINIMUMSVERDI, MAKSIMUMSVERDI OG STANDARDAVVIK FOR DE ULIKE PRØVETAKINGSSOMRÅDENE..... | 43 |
| TABELL 4.15: LOD OG LOQ FOR ANALYTTENE..... | 44 |
| TABELL 4.16: SNITTVERDIER OG STANDARDAVVIK FOR RESULTATENE FOR ALLE FIRE OMRÅDENE, SAMT DIFFERANSEN MELLOM GJENNOMSNIITTENE FOR FROLAND OG BIRKENES. RESULTATENE INKLUDERER KONSENTRASJONENE UNDER LOD OG LOQ, OG KONSENTRASJONEN ER OPPGITT I PPB. IF STÅR FOR «IKKE FUNNET»..... | 45 |
| TABELL 4.17: PRØVER SOM VAR MED I UTREGNINGENE FOR TABELL 4.16 MEN SOM VAR UNDER LOD..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| TABELL 5.1: KORRELASJONSMATRISE FOR UTVALGTE METALLER PÅ FROLAND. | 48 |
| TABELL 5.2: KORRELASJONSMATRISE FOR UTVALGTE METALLER PÅ BIRKENES..... | 50 |

Forkortelser

| | | | |
|--------------------------------|---|------|-----------------------------------|
| Al ₂ O ₃ | Alumina | LOD | Limit of Detection |
| ASE | Akselerert løsemiddelekstraksjon | LOQ | Limit of Quantification |
| CRC | Kollisjons-/reaksjonscelle | NIVA | Norsk institutt for vannforskning |
| EPA | US Environmental Protection Agency | | |
| GC | Gasskromatografi | | |
| GC-MS | Gasskromatografi massespektrometri | | |
| HNO ₃ | Salpetersyre | | |
| H ₂ O ₂ | Hydrogenperoksid | | |
| H ₂ SO ₄ | Svovelsyre | | |
| ICP | Induktivt koblet plasma | | |
| ICP-MS | Induktivt koblet plasmamassespektrometri | | |
| ISO | Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen | | |
| MS | Massespektrometer | | |
| NO _x | Nitrøse gasser | | |
| NRK | Norsk rikskringkasting | | |
| NTNU | Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet | | |
| PAH | Polysykliske aromatiske hydrokarboner | | |
| TDS | Totalt oppløst stoff | | |
| 3-F-CHR | 3-Fluorochrysene | DBA | Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene |
| 3-F-PHE | 3-Fluorophenanthrene | FLU | Fluorene |
| 4-F-BP | 4-Fluorobiphenyl | FLT | Fluoranthene |
| ACE | Acenaphtene | IND | Indeno[1.2.3- <i>cd</i>]pyrene |
| ACY | Acenaphtylene | NAP | Naphtalene |
| ANT | Anthracene | PHE | Phenanthrene |
| BaA | Benzo[<i>a</i>]anthracene | PYR | Pyrene |
| BaP | Benzo[<i>a</i>]pyrene | | |
| BbF | Benzo[<i>b</i>]fluoranthene | | |
| BgP | Benzo[<i>ghi</i>]perylene | | |
| BkF | Benzo[<i>k</i>]fluoranthene | | |
| CHR | Chrysene | | |

1 Innledning

Vi lever i en tid der global oppvarming som følge av klimaendringer er et faktum, og det innebærer at gjennomsnittstemperaturen på jorden øker. Det er en rimelig antagelse at høyere temperaturer kan skape alvorlige problemer [1], og en konsekvens av både naturlige og menneskeskapte klimaendringer er større skogbranner både på verdensbasis og i Norge [2]. Peter Lohmander gjennomførte en studie der det gjennomsnittelige relative forbrente området ved skogbrann ble undersøkt som en funksjon av forskjellige forhold. Lohmander henviser til John T. Abatzoglou og Alton Park Williams som opplyser at menneskeskapte klimaendringer forårsaket over halvparten av tørken siden 1970 tallet, og doblet det kumulative skogbrannarealet siden 1984. De spådde at menneskeskapte klimaendringer ville fortsette å øke skogbrannene [1].

Slik verdensbildet ser ut nå, vil det forekommer færre skogbranner, men når de først slår ut vil de være mer ekstreme og mer ødeleggende. Hovedårsakene til at det forekommer færre skogbranner er økt bevissthet rundt, og tiltak rundt brannsikkerhet. Aktiv brannslukking over lenger tid har bidratt til noe som omtales som villmarksbrannparadokset [3]. Ettersom det er færre skogbranner, får skogene vokse mer i fred over lenger tid, noe som fører til mer tettpakket skog. Mer tettpakket skog fører til at når skogen først tar fyr, er det mer materiale som brenner, og dermed er det lettere for brannen å spre seg og bli mer intens. Det vil også være vanskeligere å komme til med slukking fra bakken når tettpakket skog brenner. Dette er årsakene til at brannene blir mer ekstreme og omfattende når de først slår ut.

Som biologisk samfunn gjennomgår skogen en gradvis utvikling, og dette kalles suksesjon [4]. Naturlig suksesjon kan bygge opp eller utvikle et økosystem, mens ulike forstyrrelser gjør det motsatte. Skogbrann er et eksempel på en slik forstyrrelse, og det kan føre til at det biologiske samfunnet settes tilbake til et tidligere stadie i utviklingen, eller skape helt nye type samfunn i økosystemet. Skogsamfunnet fornyes eller endres grunnet raske forandringer i økologiske prosesser eller artssammensetning etter en ødeleggende skogbrann [4]. Større og mer alvorlige skogbranner gjør det på flere måter vanskeligere for skogen å regenerere [5]. Frøkilder fra gjenværende trær er lenger unna, og varmen fra ekstreme branner kan fordampe jordnæringsstoffene, noe som effektivt utarmer jorda slik at ingenting kan gjenopprettes i lange perioder. Arven etter de ekstreme skogbrannene kan dermed vare i flere århundrer, og det kan redusere karbonbæreevnen til skogkledde økosystemer betydelig [5].

Men skogbranner er ikke bare ødeleggende. For karbondynamikken i de boreale skogene er brann et viktig naturlig forstyrrelsesmiddel [6]. Det finnes flere måter der brann påvirker skog på en positiv måte. Noen eksempler er at brann skaper mosaikk av brente og ubrente områder, og påvirker artssammensetninger og aldersklassefordelingen av skogbestander. En skogbrann åpner opp trekronene, slipper til lys, og frigjør næringsstoffer til undervegetasjonen. Dette hjelper skogen med å bygge seg opp på ny, og det skaper strukturelle elementer som trekull og forkullet og råtnende tre, som alle er viktige for biologiske mangfold både over og under skogbunnen. På denne måten er altså brann en viktig del av skogens økosystemer, og på mange måter viktig for å skape en strukturell kompleksitet som fremmer mangfold i skogen. Skogbranner skaper variasjoner i skogen, og det finnes sjeldne arter av spesielt sopp og insekt som er avhengig av denne variasjonen [6].

Denne oppgaven har som formål å analysere og tolke jordprøver fra Mykland/Froland og Vindlandsheia/Birkenes, to steder på Sørlandet som har hatt to av de største skogbrannene de siste årene i Norge i henholdsvis 2008 og 2018. Områdene som ble berørt av skogbrannene skal sammenlignes med områder i nærheten som ikke ble berørt. Det som studeres i jordprøvene er organisk materiale, hovedioner, sporelementer samt PAH-er. Dette gjøres ved bruk av UltraClave, ASE og turbovap til forbehandling, og ved bruk av analysemetodene ICP-MS og GC-MS. I teorikapittelet skal det gjøres rede for jord og jordkjemi, skog og skogbrann, og prøvetaking av jord og analyser av jordprøver, slik at prøveresultatene kan forstås fra et kjemisk perspektiv. Det forventes en viss forskjell i resultatene for de to områdene Froland og Birkenes ettersom skogbrannene hadde ulikt omfang. Brannen i Froland var større, varmere og varte lenger enn brannen i Birkenes. Det er også en forskjell i vegetasjonen de ulike stedene.

2 Teori

Teorien i denne oppgaven vil ta for seg jord og jordkjemi, skog og skogbrann, prøvetaking av jord, analyser av jordprøver, og statistikk som er relevant for resultater og diskusjon.

2.1 Jord og jordkjemi

I Det Store Norske Leksikon blir jord definert som «alt løsmateriale som finnes over fast fjell» [7]. Dette løsmaterialet kan være av både uorganisk og organisk opprinnelse, og porene mellom de faste partiklene er fylt med jordluft. Jordluft er luft som inneholder mindre oksygen enn det som anses som «vanlig» luft [8]. Det organiske og uorganiske løsmaterialet kan deles inn i jordarter, og videre inn i jordsmonn. Etter siste istid ble de fleste jordartene dannet, og ulike typer jordsmonn ble formet av klima og levende organismer i etterkant [7]. Jordsmonn skiller seg fra mineraljord ved at jordsmonnet blir påvirket av både klima, vegetasjon, dyreliv og mikrobielle omsetninger [9].

Jorden fysiske og kjemiske egenskaper bestemmes av ulike faktorer. Det geologiske opphavet til jorden, og hvilke mineraler dette opphavet bestod av spiller en stor rolle, og også forvitringen som jorden har gjennomgått [7]. Mineraler som kommer fra jordsmonnets grunnmateriale er den litogene kilden, men det er også antropogene kilder, altså menneskeskapte kilder til bestanddelene i jordsmonnet [10]. Historisk forurensning påvirker jordsmonn i mange områder, og kan ha konsekvenser i flere tiår eller århundrer i etterkant.

Det er vanlig å skille mellom den totale og den tilgjengelige konsentrasjonen av grunnstoffer i jord, der sistnevnte er brøkdelen av totalen som er tilgjengelig for planter [10]. Den tilgjengelige konsentrasjonen av grunnstoffer er andelen av elementet som enten er tilgjengelig som frie ioner, løselige komplekser eller i labile former. Faktorer som påvirker tilgjengeligheten til disse elementene i jorden er pH, redoksstatus, makronæringsstoffnivåer, tilgjengelig vanninnhold og temperatur [10].

Tungmetaller og metalloider adsorberes sterkt av de organiske og uorganiske, kolloidale bestanddelene i jord [11]. Humus er det organiske produktet av pågående nedbrytning av fauna og flora i et jordmiljø, og befinner seg i det øverste laget av jorden. Humus øker jordens evne til å holde på vann og næringsstoffer [12], og har et bredt pH-område, der adsorpsjonen av metaller er sterkest ved høy pH [11].

Om lag 75% av det gjennomsnittlige organiske materiale i jordsmonnet som er ansvarlig for metallbinding er humus- og fulvosyrer [11]. Humus- og fulvosyrer er sterkt adsorbent på mineraloverflater gjennom kjemisorpsjon til vannholdige oksidmineraler som jern, aluminium og mangan. Anioniske metalloider som arsenat og selenat, og metaller som kromat må konkurrere med disse humus- og fulvosyrene om deres foretrukne adsorpsjonssteder på jern- og manganvannholdige oksider [11].

2.1.1 Tungmetaller

Det er vanskelig å finne en nøyaktig definisjon på begrepet «tungmetall», men det har i lang tid generelt vært normalt å bruke begrepet for å referere til en gruppe av metaller og metalloider med atommasse på over 5 g/cm³ [13]. As, Sb, og Se er noen ikke-metaller som har utseende og/eller noen like egenskaper som metaller, og disse blir ofte referert til som «metalloider» ettersom de ikke er metaller [13].

99% av det totale elementinnholdet i jordskorpen består av de ti «hovedelementene»: oksygen (O), silisium (Si), aluminium (Al), jern (Fe), kalsium (Ca), natrium (Na), kalium (K), magnesium (Mg), fosfor (P), og titan (Ti). Resten av grunnstoffene som utgjør 1 masseprosent av jordskorpen kalles «sporelementer» [10].

Jord inneholder mer eller mindre alle tungmetaller som finnes i det periodiske systemet, men noen kan være under deteksjonsgrensene for ulike analytiske prosesser ettersom konsentrasjonene varierer stort [10]. Det totale innholdet av tungmetaller og metalloider i jorden er summen av konsentrasjonene av grunnstoffer som er avledet fra mineraler i det geologiske grunnmaterialet som jorden er utviklet på, og tilførsel fra ulike antropogene kilder. Noen eksempler på dette er atmosfærisk avsetning av aerosolpartikler, regndråper som inneholder tungmetaller, direkte tilføringer fra landbruksgjødsel, landbrukskjemikalier og ulike organiske materialer, inkludert kloakkslam, husdyrgjødsel, matavfall og kompost. Materialer som aske, gruveavfall og rivningsstein kan være forurensninger i eksisterende jordarter, eller kan danne grunnmaterialer til ny, menneskeskapt jord.

Den totale konsentrasjonen av et metall eller metalloid i jorden er summen av alle de ulike tilførselene, minus tapene gjennom høsting eller beiting, erosjon av jordpartikler av vind eller vann, utvasking, og tap ved fordampning. Dette er oppsummert i formel 2.1 [10]:

$$M_{\text{total}} = (M_{\text{pm}} + M_{\text{atm}} + M_{\text{sed}} + M_{\text{f}} + M_{\text{ac}} + M_{\text{tm}} + M_{\text{om}} + M_{\text{ic}}) - (M_{\text{cr}} + M_{\text{e}} + M_{\text{l}} + M_{\text{v}}) \quad (2.1)$$

Der: M = metall/metalloid, pm = modermateriale, atm = atmosfærisk avsetning, sed = avsatt sediment, f = gjødsel, ac = landbrukskjemikalier, tm = teknologiske kjemikalier, om = organisk materiale, ic = andre uorganiske forurensninger, cr = høsting, e = jorderosjon, l = lekkning, og v = volatilisering [10]. M_{v} og M_{l} er spesielt viktige tap etter skogbrann.

2.1.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er en av de eldste og vanligste organiske miljøgiftene [14]. De er allestedsværende, og dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale [15]. PAHer inneholder minst to sammensveidede benzenringer som kun inneholder karbon og hydrogen [16].

PAH som påvises i miljøet kan stamme fra både naturlige og fra menneskeskapte utslipp, og PAHer deles ofte inn i tre kategorier basert på hovedprosessene som danner dem [16]. Disse tre kategoriene er pyrogene, petrogene, og biogene PAHer. Pyrogene PAHer dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale, eller ved pyrolyse. Naturlige kilder er vulkaner og forbrenning av plantemateriale under skogbrann, og menneskeskapte kilder er forbrenning av fossilt brensel som kull og eksos fra biler. Ved geologiske prosesser dannes det petroleumsprodukter, og petrogene PAHer har sine kilder. Slike PAHer slippes ut til miljøet gjennom oljesøl og oljesiv. Kjemiske og biologiske prosesser i miljøet omdanner biologiske forbindelser som er kilder til biogene PAHer. Forbrenning av fossilt brensel og av biomasse er det som anses som de største og viktigste kildene til PAHer i miljøet [16].

PAH som stammer fra kildene nevnt over vil først slippes ut i luften som aerosoler, før de beveger seg videre [15]. PAH er hydrofobe, og binder seg dermed normalt til overflatevann ettersom løseligheten i vann er lav. Etter å ha bundet seg til overflatevann fester de seg til partikulært materiale, eller går inn i vannsystem og avsettes senere på sedimenter [17]. Dette er måten PAH sprer seg på i miljøet, og kan både være en forklaring på hvorfor det er mer eller mindre tilstedeværelse enn hva som er forventet. Andre egenskaper for PAH-forbindelser er at de har høyt koke- og smeltepunkt samt relativt lavt damptrykk [18].

Det finnes et stort antall ulike PAH-forbindelser. US Environmental Protection Agency (EPA) har laget en liste over de 16 forbindelsene av PAH som anbefales å overvåke [14]. Tabell 2.1 viser disse 16 PAHene med engelske navn, forkortelser, CAS-nummer, molekylmasse, smeltepunkt og kokepunkt.

Tabell 2.1: Liste over 16 US EPA PAHer med navn, forkortelse, CAS-nummer, molekylmasse (M), smeltepunkt (sp) og kokepunkt (kp) [16, 18, 19].

| Navn | Forkortelse | CAS-nummer | M (g/mol) | Sp (°C) | Kp (°C) |
|-------------------------------|-------------|------------|-----------|---------|---------|
| Naphtalene | NAP | 91-20-3 | 128,17 | 80-82 | 218 |
| Acenaphtylene | ACY | 208-96-8 | 152,20 | 78-82 | 280 |
| Acenaphtene | ACE | 83-32-9 | 154,21 | 90-94 | 279 |
| Fluorene | FLU | 86-73-7 | 166,22 | 111-114 | 298 |
| Phenanthrene | PHE | 85-01-8 | 178,23 | 98-100 | 340 |
| Anthracene | ANT | 120-12-7 | 178,23 | 218 | 342 |
| Fluoranthrene | FLT | 206-44-0 | 202,26 | 111 | 375 |
| Pyrene | PYR | 129-00-0 | 202,26 | 149-150 | 385 |
| Benzo[a]anthracene | BaA | 56-55-3 | 228,29 | 167 | 228,3 |
| Chrysene | CHR | 218-01-9 | 228,29 | 252-254 | 448 |
| Benzo[b]fluoranthene | BbF | 205-99-2 | 252,32 | 168,3 | |
| Benzo[k]fluoranthene | BkF | 207-08-9 | 252,32 | 215,7 | |
| Benzo[a]pyrene | BaP | 50-32-8 | 252,32 | 178,1 | 495 |
| Indeno[1,2,3-cd]pyrene | IND | 193-39-5 | 276,33 | 163,6 | |
| Dibenzo[a,h]anthracene | DBA | 53-70-3 | 278,35 | 266,6 | 524 |
| Benzo[ghi]perylene | BgP | 191-24-2 | 276,33 | 278,3 | >500 |

2.2 Skog og Skogbrann

Skogen blir ansett for å være et av de viktigste økosystemene som finnes på jorden, og mye av grunnen til det er at det er i skogen det meste av det biologiske mangfoldet på landjorda befinner seg [20]. Ordet «skog» brukes om områder som er tilvokst med trær som står tett nok til å gjensidig påvirke hverandre, og hvor trærne er av en viss høyde. Areal og tetthet må sammen gi vilkår for et eget klima som skiller seg fra det klimaet som omgivelsene har. En av skogens viktigste oppgaver er å regulere klimaet, og den har stor betydning for vannhusholdning (vannopptak, vanntransport og vannfordamping), binding av karbondioksid, og frigjøring av oksygen. Det er vanlig å skille mellom urskog og naturskog, der urskog er skog som har hele det opprinnelige økosystemet intakt ettersom det ikke har blitt påvirket av mennesker, mens naturskog er skog som har gjennomgått endringer grunnet mennesker [20].

I Norge er det boreale barskoger som dominerer av de ulike skogtypene [4]. Denne skogtypen er en vestlig utløper av den eurasiatiske taigaen, og består oftest av gran og/eller furu, med innslag av andre lauvtrær.

Skogbranner er ikke-planlagte branner som ofte er forårsaket av lynnedslag, mennesker, eller foreskrevne branner som kommer ut av kontroll [21]. Grunnet menneskeskapte klimaendringer har hyppigheten av økonomisk katastrofale skogbranner økt regionalt, og dette er bekymringsverdig [22]. Skogbrann anses som en del av det normale klimaet til biosfæren, ettersom skogbranner i millioner av år har blitt naturlig påført av ting som lynnedslag, gnistslag i ras, og vulkanutbrudd [23]. Av de klimatiske faktorene som finnes, er det ild som er den faktoren mennesker har lettest for å kontrollere, og derfor har forekomsten av skogbranner endret seg etter ild ble oppdaget. Det er kun lynnedslag som anses som en naturlig årsak til skogbrann i Norge [23].

Økoregioner som er mest sårbare for skogbrannkatastrofer, som boreale skoger og skoger på middels breddegrad, viser tydelig økning i brannaktivitet assosiert med hyppigere ekstrembrannvær og lengre brannsesong [22]. Utilstrekkelig data er en stor barriere i forskningen på hvordan klimaendringene påvirker skogbranner [24]. Tilgjengelig brannhistoriske data er inkonsekvente i kvalitet, tidsintervall og geografisk dekning, og er ofte avhengig av ressursene til regionale eller nasjonale myndigheter [22]. I møte med denne usikkerheten har det blitt lagt mer vekt på trender i mål på skogbrannpotensial.

Brannfareindekser er blant de mest vanlige proxyene, og det er en kombinasjon av meteorologiske og klimatologiske data [22]. Disse indeksene blir i økende grad beregnet og analysert ved hjelp av historiske reanalysedata. Tidligere studier har brukt reanalysedata og utledede brannfareindekser for å oppdage betydelige regionale økninger i brannværsesonglengden, endringer i frekvensen av lange brannværsesonger, ekstremiteten av brannvær [25], og trender i det totale brente området. Ved å bruke anslag fra det 21. århundre fra generelle sirkulasjonsmodeller, har andelen av brannsesonger med ukontrollerbart brannpotensial blitt anslått å øke under menneskeskapte klimaendringer både globalt, og for noen regioner som vest i Nord-Amerika og sørøst i Australia [22].

En kan bruke trestubbers årringer og brannsårlinjer til å finne informasjon om både hvor gammelt treet var da det falt, og om hvilke år, og når på året, skogen eventuelt brant [26]. Dette er en av årsakene til at forskere har kunnet finne ut hvordan både klima og mennesker de siste 700 årene har påvirket skogbranner. Forskere har kommet frem til at de fleste skogbrannene frem til 1625 ble forårsaket av klima, mens mellom 1600 og 1700 ble de aller fleste brannene forårsaket av mennesker. På 1800- og 1900-tallet ble det observert en nedgang i antall skogbranner, som antas å være grunnet forbud mot bål i skog og mark, samt at tømmer ble ansett som verdifullt [26].

2.2.1 Mykland i Froland

Mykland var tidligere en kommune på 306 km² i Aust-Agder, som siden 2010 har vært en del av Froland kommune [27]. Den 9. juni 2008 startet en brann som i ettertid ble kalt «Frolandsbrannen», og den skulle vise seg å bli den største brannen i Norge siden 2. verdenskrig [28]. Det som startet som en liten gnist fra en skogsmaskin, førte til en skogbrann i Mjåland skog grunnet en kombinasjon av en uvanlig tørr skogbunn og sterk vind. Til slutt var det 27000 mål som brant, hvor 19000 var produktiv skog. Brannen startet som nevnt den 9. juni 2008, og det var ikke før 20. juni at det aller siste helikopteret ble trukket ut. I løpet av disse dagene trodde de flere ganger at de hadde kontroll på brannen, men grunnet vind og tørke fortsatte brannen å spre seg til tross for brannmannskapets innsats [28].



Foto: Tor Erik Schröder / NTB Scanpix. Til venstre ser en et oversiktsbilde av røykutviklingen fra brannen på Froland. Til høyre ser en de aktive flammene fra skogbrannen rett ved bilveien.

2.2.2 Vindslandsheia i Birkeland

Birkeland er et tettsted i Birkenes, som er en kommune i Agder fylke, tidligere Aust-Agder [29]. Torsdag 26. juli 2018 ble det meldt om brann i terrenget ved Vindslandsheia. Brannen spredte seg fort, og vinden gjorde det vanskelig å få kontroll ettersom den tok med seg glør som startet nye branner [30]. Tidlig under slokkingen av brannen ble det meldt om at det var ca. 15 mål som brant, men på kvelden den samme dagen var brannen oppe i hele 150 mål [31].



Foto: Anita Arntzen / Dagbladet. Bildet er et oversiktsbilde av røykutviklingen fra brannen i Birkenes.

2.3 Prøvetaking av jord og analyser av jordprøver

2.3.1 Prøvetaking

For å få informasjon om jorden og dens sammensetningen av ulike forbindelser er det flere analysemetoder som kan benyttes, avhengig av hva man ser etter. Før man kan sette i gang med selve analysen av jorden, er man nødt til å samle den inn fra ønsket område, og frakte den til laboratoriet på en passende måte. Måten man velger å innhente, frakte og oppbevare prøvene på er viktig å planlegge for å minske sannsynligheten for krysskontaminering og tap av materiale. I tilfellet der en ønsker å undersøke jordsmonnets kjemiske sammensetning, bør det innhentes informasjon om blant annet lokalitetens jordsmonn slik som det nevnes i ISO 10381-5 [32]. Prøvetakingen er det første, men også det minst korrigerbare praktiske trinnet i hele analyseprosessen [33]. Prøvetaking betyr generelt å samle inn en prøve i en form og mengde som egner seg for analyse, som er representativ for det totale materialet som skal analyseres [33].

Når en jordprøve fra overflatejord samles inn, plasserer man jorden i en prøvebeholder. Det anbefales metallfrie beholdere for analyse av sporelementer, som for eksempel papirposer [34]. Hver jordprøve må merkes med et eget unikt nummer, og prøvetakingsdato og GPS-koordinater bør noteres ned [35]. Når prøvene ankommer laboratoriet må de tørkes, og en mulig tørkemetode er lufttørring ved romtemperatur [35]. Fra tidligere analyser vet en at ved lufttørring er det normalt at 5-8% av vannet blir igjen i jordprøvene. Dette kan påvirke resultatene, og det antas at dette er tilfellet også i denne oppgaven.

Etter tørking følger det flere trinn for forbehandling før analyse, som innebærer homogenisering, sikting og lagring inntil videre bruk [35]. Etter å ha fjernet større partikler som stener og røtter kan en bruke morter og pistill til homogenisering, og sikting utføres vanligvis med en sikt med 2 mm maskevidde [36]. Det er viktig å unngå kilder til forurensning under prøvetaking og forbehandling [33]. Det er fare for forurensning ved hvert eneste trinn i den analytiske prosessen, og jo lavere konsentrasjon av en analytt som skal måles, jo mer problematisk er det med forurensning [35]. Eksempler på kilder til forurensning med metaller er støv, maling og plast [35].

Prøver som skal analyseres ved bruk av ICP-MS er nødt til å være i væskefase. I dette tilfellet var utgangspunktet finmalte jordprøver som måtte bli dekomponert ved hjelp av UltraClave for å gå fra fast form til væskeform. På samme måte som prøver som skal analyseres ved bruk av ICP-MS må også prøver som skal analyseres ved bruk av GC-MS være i væskefase. Ekstrahering ved hjelp av ASE og fordamping med Turbovap for å analysere etter PAH med GC-MS.

2.3.2 UltraClave

UltraClave er en metode som kan brukes for dekomponering dersom en trenger å oppnå homogene prøver, eller trenger å få prøver på væskeform [37]. UltraClave baseres på mikrobølgeteknikk. Teflonrør som inneholder enten jordprøve, blankprøve eller referansemateriale blir plassert i beholdere og satt i et vannbad som også inneholder syre. Teflonrørene blir tilsatt syre i tillegg til jordprøve, blankprøve eller referansemateriale. Etter at prøvene har blitt plassert i beholdere i vannbadet er det en antenne som sender ut mikrobølger, og disse beveger seg gjennom et elektromagnetisk felt [37]. Dipolrotasjon og ionisk migrasjon skaper friksjon og varme, og dette varmer opp prøvene [37].

For å dekomponere prøven må det brukes en syre som er tilpasset materialet i prøven. I tilfeller med organisk materiale i prøven velges det ofte en oksiderende syre. I denne oppgaven ble det tilsatt salpetersyre (HNO_3 9ml 50% v/v) til prøvene. Med unntak av edelmetaller og silikater løser HNO_3 de fleste grunnstoffer, i tillegg til at det er svært oksiderende og gir få interferenser. Kombinasjonen av høy temperatur og HNO_3 fører til liten rest av organisk materiale i prøven, og dette fører til god nøyaktighet [37].

I denne oppgaven ble det tilsatt svovelsyre (H_2SO_4) og hydrogenperoksid (H_2O_2) til vannbadet i UltraClave. Etersom vann blir upolart ved høye temperaturer er det hensiktsmessig å tilsette H_2SO_4 i vannbadet, ettersom det beholder polariteten i løsningen [37]. Hensikten med å tilsette H_2O_2 er at det oksiderer nitrøse gasser (NO_x) til nitrat og hindrer dermed ukontrollert trykkøkning ettersom systemet trykkes med nitrogen gass til 40-50 bar. Det finnes et bevegelig lokk som løftes når trykket øker for å regulere et eventuelt for høyt trykk. Grunnet det høye trykket inne i UltraClaven kan det oppnås høye temperaturer uten at vann og prøve koker, og dette forhindrer kontaminering fra andre prøver, og tap av prøve.



Foto: Marte Pettersen. Bildet viser teflonrør fylt med enten jordprøve, blankprøve eller referansemateriale samt tilsatt HNO_3 . Teflonrørene er plassert på posisjonskarusellen som senere ble plassert i et vannbad med H_2SO_4 og H_2O_2 .

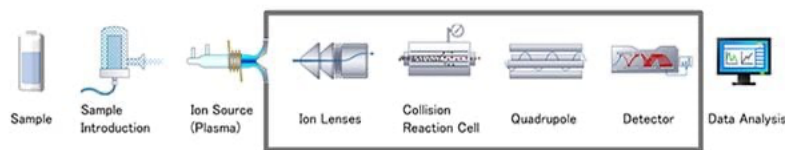
2.3.3 Induktivt koblet plasmamassespektrometri (ICP-MS)

Induktivt koblet plasmamassespektrometri (ICP-MS) er en analysemetode som brukes til elementbestemmelse [38]. Denne elementære analyseteknikken kan brukes for å studere elementære distribusjonsprofiler i jordsmonn, for å få kunnskap om deres geokjemiske status [16]. De viktigste fordelene med ICP-MS i forhold til andre spektrometriteknikker er kapasiteten til å analysere flere elementer raskt, og at det er mulig å oppnå deteksjonsgrenser i ppt-nivåer [16]. Grunnet den svært høye temperaturen i plasmaet får man muligheten til å håndtere både enkle og komplekse matriser med minimalt av matriseeffekter, og man får også muligheten til å få informasjon om isotopfordeling [39].

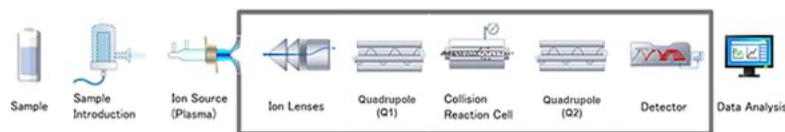
ICP-MS kombinerer en høytemperatur Argon (Ar) ICP (Inductively Coupled Plasma) kilde med et massespektrometer [38]. ICP omdanner først elementene i prøven fra atomer til ioner, og disse ionene blir deretter separert og detektert ved hjelp av massespektrometeret [39]. ICP er ved atmosfærisk trykk, mens MS og detektor opererer i et vakuumkammer, så et ICP-MS-instrument krever også en vakuumpumpe, et vakuumbegrensningssnitt og elektrostatiske ionelinser for å fokusere ionene gjennom systemet [38].

Et enkelt kvadrupol ICP-MS-instrument har åtte hovedkomponenter [38], som er: 1. Prøveinnføringsystem for å danne en fin aerosoltåke fra væskeprøven, 2. Plasma (ICP) for å omdanne elementene i prøveaerosolen til ioner, 3. Grensesnitt for å trekke ut ionene inn i vakuumsystemet, 4. Ionelinse for å fokusere ionene og skille dem fra bakgrunnsignaler, 5. Kollisjons-/reaksjonscelle (CRC) for å løse analyttionene fra interfererende ioner, 6. Massespektrometer (MS) for å filtrere analyttionene etter masse, 7. Elektronmultiplikator-detektoren, og 8. Databehandling [38].

Det finnes også trippel kvadrupol ICP-MS-instrumenter, disse inkluderer de samme komponentene som enkelt kvadrupol ICP-MS-instrument, men med tillegg av et annet kvadrupol massefilter mellom Ionelinsen (punkt 4), og CRC (punkt 5). For at bare en enkelt masse skal komme inn i cellen til enhver tid vil massefilteret filtrere ionestrålene før ionene når frem til CRC. Denne type instrument har lavere deteksjonsgrense og bedre nøyaktighet for noen vanskelige analytter [38].



Figur 2.1: Figuren viser komponentene i et enkelt kvadrupol ICP-MS-instrument [38].



Figur 2.2: Figuren viser komponentene i et trippel kvadrupol ICP-MS-instrument [38].

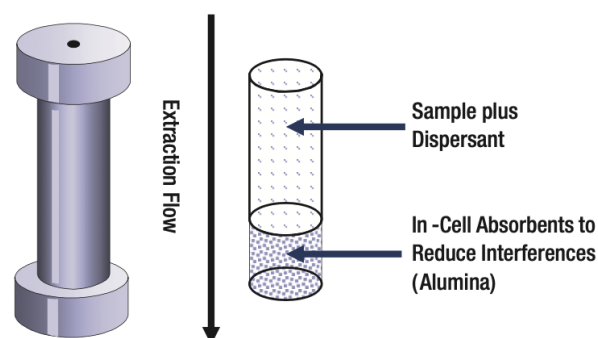
For å analysere faste jordprøver med ICP-MS er prøvene nødt til å løses opp eller utvaskes, ettersom forstøveren som brukes til prøveinnføring i ICP krever at prøvene i de fleste tilfeller er flytende [16]. I denne oppgaven ble det brukt UltraClave, som er beskrevet tidligere, for å få jordprøvene på væskeform. ICP-MS har begrensninger når det kommer til mengde total oppløst fast stoff i prøven [39]. Det finnes anbefalinger for totalt oppløst stoff (TDS) for å oppnå best mulig instrumentell ytelse og stabilitet, og denne anbefalingen er 0.2% TDS.

Grunnet dette må prøver som inneholder mye oppløst jord og steinmateriale fortynnes før analyse [39], noe som ble gjort under denne oppgaven.

En feilkilde i forbindelse med bruk av ICP-MS som analysemetode er interferens/forstyrrelser. Norsk Standard skriver i NS-EN 1617/2016 «Slam, behandlet organisk avfall og jord. Bestemmelse av sporstoffer ved bruk av induktorkoplet plasma i massespektrometri (ICP-MS)» at forstyrrelser skal vurderes, og at gyldige korreksjoner skal brukes [40]. Korreksjon av interferens skal inkludere kompensasjon for bakgrunnsioner som kommer fra plasmagasen, reagensene, og bestanddelene i prøvematriksen. Korrigeringsalternativer er ofte inkludert i programvaren som følger med instrumentet [40].

2.3.4 Akselerert løsemiddelekstraksjon (ASE)

ASE er en automatisert ekstraksjonsteknikk som kan brukes for å ekstrahere faste og halvfaste jordprøver ved å bruke forhøyet temperatur og trykk [41]. Utførelsen av ekstraksjonen innebærer at den faste prøven blir lastet inn i en prøvecelle, og ovnen holdes på en valgt driftstemperatur gjennom ekstraksjonen. En pumpe leverer umiddelbart det valgte løsningsmiddelet til prøvecellen når cellen er plassert i ovnen. Designet på ekstraksjonskammeret tillater at ekstraksjonene foregår ved forhøyet trykk (1500 psi) slik at løsningsmidlene opprettholdes som væsker ved temperaturer over kokepunktet. Fordelen med ASE i forhold til mikrobølgeassistert ekstraksjon er at temperatur og trykk kontrolleres uavhengig for hver celle uavhengig av hvilket løsemiddel som brukes, fuktighet eller mineralinnhold i prøven [41].



Figur 2.3: Oversikt over selektiv ekstraksjon ved bruk av akselerert løsningsmiddelekstraksjon [41].

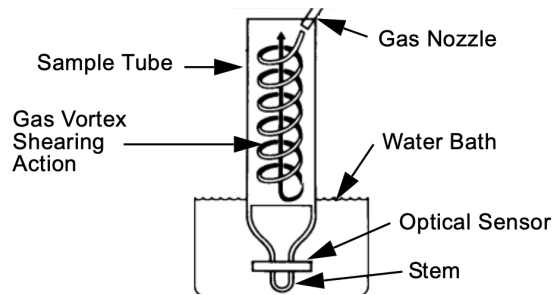
ASE-ekstraksjonscellen (vanligvis rustfritt stål) pakkes først for celleoppdrydding av ekstrakter, og i denne oppgaven ble det brukt kobber og alumina (Al_2O_3) [16]. Kobber brukes for å fjerne svovel og lipider som viser en lignende løselighet som klororganiske forbindelser, og som derfor kan forstyrre under deteksjon. Alumina hjelper med å fjerne upolare lipider og fargede forbindelser. For å begrense aggregering av prøvepartikler, redusere celledødvolumet og bidra til å øke prøveoverflaten til løsningsmiddelekstraksjonen tilsettes prøven vanligvis i blanding med et dispergeringsmiddel som kiselgur [16].

Cellen plasseres i ovnen etter den er pakket med prøve, og første trinn av ekstraksjonen er et dynamisk ekstraksjonstrinn der cellen varmes opp, og løsemiddel pumpes gjentatte ganger gjennom prøven. Den statiske ventilen lukkes deretter, noe som tillater trykksetting av cellen. Neste trinn er et statisk ekstraksjonstrinn der volumet av løsemiddel, temperatur og trykk forblir konstant i en bestemt tid [42]. Dette trinnet kan gjentas en eller to ganger med ferskt løsemiddel, og etter den siste syklusen skylles prøven med ferskt løsemiddel under lavt trykk. Gjenværende løsningsmiddel blir skylt ut av cellen med N_2 . I løpet av en ekstraksjon i en 22 mL ekstraksjonscelle brukes det 1,5 ganger cellestørrelsen, dvs. 30-40 mL løsemiddel, og en ekstraksjon med 3 statiske sykluser tar 20-25 minutter [16].

2.3.5 Turbovap

Etter ekstraksjon av jordprøver kan det være nødvendig å fordampe løsemiddel før prøvene kan analyseres med enkelte analysemetoder. Turbovap er et eksempel på en avansert metode som bruker flere midler for å redusere tap av analytt under fordamping av løsemiddel [43]. Turbovap II (Biotage) er en patentert nålefordamper som fjerner overskudd av løsemiddel under en nitrogenstrøm [43]. Turbovap gir automatisert prøvefordampning, uovervåket drift, bekvemmelighet og hastighet [44].

Som nevnt bruker fordamperen en «gassvirvelskjærvirkning» som opprettholder høye fordampningshastigheter uavhengig av prøvehøyden i rørene [44]. Strømmen av gass som ledes inn i hvert prøverør skaper en spiralformet luftstrøm, og denne spiralformede strømmen sørger for prøvehomogenitet og kontinuerlig skylning av rørveggen. Den dampladede gassen kommer opp via en uhindret bane opp midtdelen av rørene, og fjernes med en avtrekksvifte til avtrekksporten på baksiden av enheten [44].



Figur 2.4: De ulike komponentene i fordampere [44].

2.3.6 Gasskromatografi-massespektrometri (GC-MS)

Kromatografi er en prosess der komponenter i en blanding selektivt fordeles mellom en mobil fase og en stasjonær fase [16]. Gasskromatografi (GC) er en separasjonsteknikk som brukes på mindre flyktige og halvflyktige organiske molekyler [45]. GC kombinert med deteksjonskraften til massespektrometri (MS) gjør at GC-MS kan brukes til å kvantifisere analytter, identifisere ukjente topper, skille komplekse blandinger, og til å bestemme spornivåer av forurensing. GC-MS kan brukes til å studere både flytende, gassformige og faste prøver [45].

Analysen begynner med at prøven effektivt blir fordampet inn i gassfasen til kromatografen, og separeres i forskjellige komponenter ved hjelp av en kapillærkolonne som har et lag av stasjonærfase [45]. Den stasjonære fasen kan være enten flytende eller fast form.

Forbindelsene drives frem av en inert bæregass, og når komponentene i blandingen separeres eluerer hver forbindelse fra kolonnen til ulike tidspunkt basert på kokepunkt og polaritet.

Tiden som elueringen tar, blir referert til som en forbindelsens retensjonstid [45].

Når komponentene forlater GC-kolonnen, blir de ionisert og fragmentert av massespektrometeret ved bruk av enten elektron- eller kjemiske ioniseringskilder [45]. Ioniserte molekyler og fragmenter akselerer så gjennom instrumentets masseanalysator, og det er her ionene separeres basert på deres ulike masse-til-ladning (m/z) forhold [45].

Til slutt foregår det en ionedeteksjon og analyse, der fragmenterte ioner vises som en funksjon av deres m/z -forhold [45]. Topparealer er proporsjonale med mengden av den tilsvarende forbindelsen. Det dannes mange forskjellige topper i gasskromatogrammet, og hver topp genererer et unikt massespekter som brukes for identifikasjon av forbindelsene.

Ukjente forbindelser og målanalytter kan identifiseres og kvantifiseres ved bruk av omfattende kommersielt tilgjengelige biblioteker av massespektre [45].

2.4 Statistikk/kvalitetssikring

2.4.1 Gjennomsnitt og standardavvik

Gjennomsnitt er et tall som representerer middelveidien i et sett av data, og symbolet \bar{x} brukes ofte i denne sammenhengen. For å regne ut gjennomsnittet i et datasett deler man summen av alle målingene på antall målinger, slik som i formel 2.2 [46].

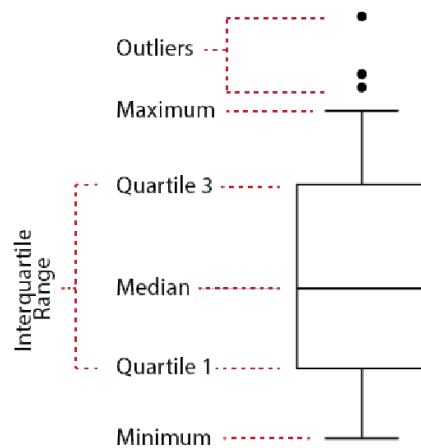
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.2)$$

Standardavvik er et mål på presisjon, og det kan bestemmes ved hjelp av gjennomsnittet. Standardavviket sier noe om hvor langt unna gjennomsnittet en verdi er. Formel 2.3 viser hvordan en kan regne ut standardavviket som har symbolet σ [46].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2.3)$$

2.4.2 Boksdiagram

Når resultater skal presenteres kan det brukes boksdiagram som lages i excel. Et boksdiagram viser fordelingen av data, og det fremhever gjennomsnitt og utliggere [47]. Fordelingen av data vises i kvartiler, der det dannes en boks mellom første og tredje kvartil. Det dannes også en linje i andre kvartil som markerer median. Boksene kan ha en linje som strekker seg vertikalt som kalles whisker, og den viser variasjonen utenfor nedre og øvre kvartil. Utliggere er punkter som ligger utenfor whiskerene [47]. Figur 2.5 viser et eksempel på et boksdiagram [48].



Figur 2.5: Figuren viser hovedkomponentene i et boksdiagram [48].

2.4.3 Retensjonstid

Retensjonstid er et mål på tiden det tar for en forbindelse fra prøveinjeksjon inn i systemet til eluering fra kolonnen og deteksjon [16]. Retensjonstiden er avhengig av hver enkelt analytt sin fordelingskoeffisient mellom stasjonær og mobil fase, også referert til som distribusjonskonstanten (K_D). Distribusjonskonstanten beskrives av følgende formel [49]:

$$K_D = c_s/c_m \quad (2.4)$$

Der c_s er konsentrasjonen til analytten i stasjonær fase, og c_m er konsentrasjonen til analytten i mobil fase. Større K_D -verdi betyr mer affinitet til stasjonærfasen for en forbindelse, og de vil da bevege seg saktere gjennom systemet og ha en lenger retensjonstid enn forbindelser med lavere K_D -verdi [16]. Ved å sammenligne retensjonstiden for en prøve med retensjonstiden for en ekstern standard analysert under samme forhold kan forholdet brukes til å identifisere forbindelser [50].

2.4.4 Kvantifisering

I GC-MS er internstandardmetoden er den metoden med mest nøyaktig kvantifisering for målanalytten [16]. Kvantifisering av analytter baserer seg på forholdet mellom detektorsignal og konsentrasjonen av målanalytten generelt. Intern standard (IS) tilsettes i en kjent konstant mengde til kalibreringsløsninger med forskjellig konsentrasjon av målanalytt, og tilsettes til prøver. For hver målanalytt etableres det en kalibreringskurve fra forholdet mellom analyttrespons og responsen til IS i hver målte standardløsning. Den relative responsen (RR) plottes mot konsentrasjonen av analytten. RR får man fra følgende formel [16]:

$$RR = Area_A / Area_{IS} \quad (2.5)$$

Der $Area_A$ er størrelsen på toppen til analytten, og $Area_{IS}$ er størrelsen på toppen til intern standard [16].

IS må tilsettes til prøven før ekstraksjon i en kjent mengde som bør være i konsentrasjonsområdet til målanalytter i prøven [16]. IS bør ha lignende fysisk-kjemiske egenskaper som målanalyttene, bør ikke være til stede i miljøet, og bør ha lignende retensjonstid som målanalyttene [16]. For PAH-analyse har F-PAH'er vist seg å være passende alternativ [51].

2.4.5 Limit of detection (LOD) og limit of quantification (LOQ)

LOD er den laveste konsentrasjonen av en analytt der det kromatografiske signalet kan detekteres pålitelig ved den analytiske prosessen [52]. Denne deteksjonsgrensen baseres ofte på signal-til-støy-forholdet (S/N), som er forholdet mellom intensiteten til signalet i forhold til støyet sin intensitet [53]. LOQ er en grense for kvantifisering, og defineres som den laveste konsentrasjonen som er kvantifiserbar med akseptabel nøyaktighet og presisjon [54]. Formel 2.6 og 2.7 viser hvordan LOD og LOQ ble regnet ut i denne oppgaven.

$$LOD = \frac{5 \cdot 3}{\frac{S}{N}} \quad (2.6)$$

$$LOQ = \frac{5 \cdot 10}{\frac{S}{N}} \quad (2.7)$$

2.4.6 Korrelasjon

Korrelasjon er den statistiske sammenhengen mellom to målbare størrelser, og det finnes både positiv og negativ korrelasjon [55]. Korrelasjonskoeffisienten oppsummerer graden av samsvar, og er styrken av korrelasjonen. Positiv korrelasjon gir positivt tall, og negativ korrelasjon gir negativt tall. Korrelasjonskoeffisienten er et tall mellom -1 og 1, og jo nærmere 1 eller -1 tallet er, jo sterkere kan en si at sammenhengen mellom størrelsene er [55]. En korrelasjonsmatrise er en matrise av mange korrelasjoner.

2.4.7 Prinsipal komponentanalyse (PCA)

En prinsipal komponentanalyse (PCA) er en teknikk som kan brukes for å analysere et datasett [56]. Målet med PCA er å trekke ut viktig informasjon fra en tabell som representerer et datasett, og presentere denne informasjonen som et sett med ortogonale variabler. Likhetsmønsteret mellom observasjonene og variablene vil presenteres som punkter på et kart [56].

3 Metode

3.1 Prøvepunkt og prøvetaking

Prøvene fra Froland/Mykland ble samlet 22. oktober 2021, og prøvene fra Vindslandsheia/Birkenes ble samlet 23/24. oktober 2021. Det ble først brukt stikkspade for å spa opp jorden der prøvene skulle bli tatt, og deretter ble det brukt en skuffe i rustfritt stål (VWR 450 ml) for å hente ut den delen av jorden som var ønsket. Jordprøvene ble oppbevart i henholdsvis papirposer (VWR) og i aluminiumsbokser (VWR) på hvert punkt. Koordinatene til alle prøvepunktene er vist nedenfor i tabell 3.1.

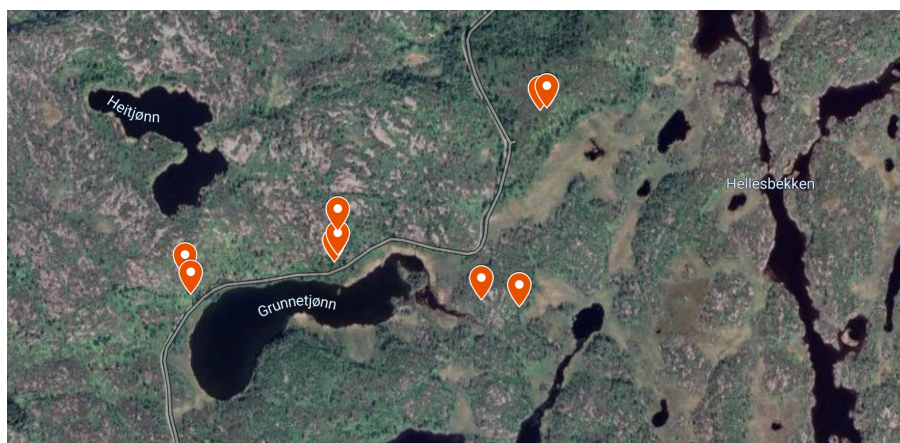
Tabell 3.1: Prøvenummer og koordinater for prøvepunktene.

| Prøvenummer | Koordinater (desimalgrader, DD) | Koordinater (grader, minutter og sekunder, DMS) |
|--------------------|--|--|
| 1 | 58.619138, 8.286104 | 58° 37' 8.9"N 8° 17' 9.97"E |
| 2 | 58.61585, 8.272577 | 58° 36' 57.06"N 8° 16' 21.28"E |
| 3 | 58.615506, 8.272786 | 58° 36' 55.82"N 8° 16' 22.03"E |
| 4 | 58.616124, 8.278175 | 58° 36' 58.05"N 8° 16' 41.43"E |
| 5 | 58.61626, 8.278301 | 58° 36' 58.54"N 8° 16' 41.88"E |
| 6 | 58.61674, 8.278281 | 58° 37' 0.26"N 8° 16' 41.81"E |
| 7 | 58.615402, 8.283661 | 58° 36' 55.45"N 8° 17' 1.18"E |
| 8 | 58.615261, 8.285044 | 58° 36' 54.94"N 8° 17' 6.16"E |
| 9 | 58.61908, 8.285835 | 58° 37' 8.69"N 8° 17' 9.01"E |
| 10 | 58.619138, 8.286104 | 58° 37' 8.9"N 8° 17' 9.97"E |
| 11 | 58.593506, 8.262108 | 58° 35' 36.62"N 8° 15' 43.59"E |
| 12 | 58.59365, 8.262054 | 58° 35' 37.14"N 8° 15' 43.39"E |
| 13 | 58.593995, 8.262203 | 58° 35' 38.38"N 8° 15' 43.93"E |
| 14 | 58.593207, 8.259707 | 58° 35' 35.55"N 8° 15' 34.95"E |
| 15 | 58.593386, 8.259327 | 58° 35' 36.19"N 8° 15' 33.58"E |
| 16 | 58.593683, 8.259288 | 58° 35' 37.26"N 8° 15' 33.44"E |
| 17 | 58.344376, 8.30657 | 58° 20' 39.75"N 8° 18' 23.65"E |
| 18 | 58.344512, 8.306117 | 58° 20' 40.24"N 8° 18' 22.02"E |
| 19 | 58.344404, 8.305229 | 58° 20' 39.85"N 8° 18' 18.82"E |
| 20 | 58.344462, 8.305205 | 58° 20' 40.06"N 8° 18' 18.74"E |
| 21 | 58.344539, 8.3050113 | 58° 20' 40.34"N 8° 18' 18.04"E |
| 22 | 58.353972, 8.32429 | 58° 21' 14.3"N 8° 19' 27.44"E |

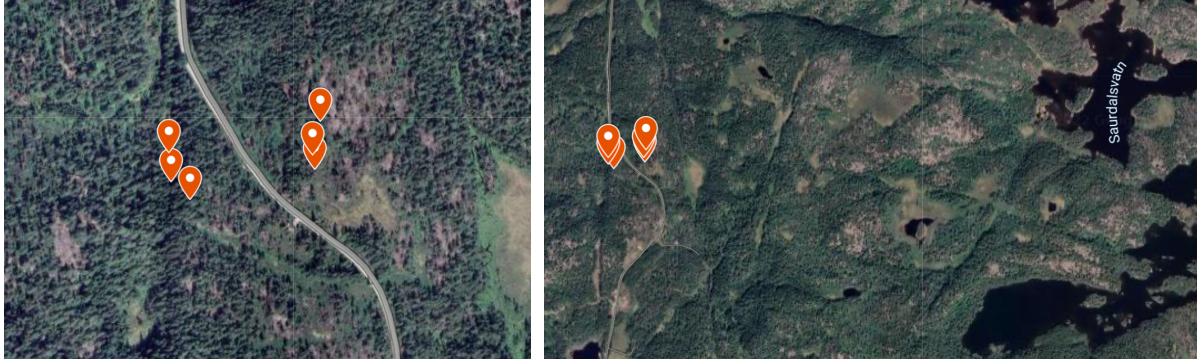
| | | |
|----|---------------------|--------------------------------|
| 23 | 58.353933, 8.324296 | 58° 21' 14.16"N 8° 19' 27.47"E |
| 24 | 58.353961, 8.32425 | 58° 21' 14.26"N 8° 19' 27.3"E |
| 25 | 58.354589, 8.32582 | 58° 21' 16.52"N 8° 19' 32.95"E |
| 26 | 58.34459, 8.323629 | 58° 20' 40.52"N 8° 19' 25.06"E |
| 27 | 58.354622, 8.32359 | 58° 21' 16.64"N 8° 19' 24.92"E |
| 28 | 58.354583, 8.323571 | 58° 21' 16.5"N 8° 19' 24.86"E |
| 29 | 58.353495, 8.326489 | 58° 21' 12.58"N 8° 19' 35.36"E |
| 30 | 58.353513, 8.326672 | 58° 21' 12.65"N 8° 19' 36.02"E |
| 31 | 58.35344, 8.326726 | 58° 21' 12.38"N 8° 19' 36.21"E |

Det ble tatt jordprøver fra to ulike områder det det har vært større skogbranner. Det ble samlet jord fra både nedbrent område, og fra ubrent område i nærheten. Prøve 1-10 er fra skogbrannområdet område på Froland, prøve 11-16 er fra ubrent område på Froland, prøve 17-21 er fra bakgrunnsområdet i Birkenes, og prøve 22-31 er fra skogbrannområdet i Birkenes. Det var det øverste laget av jorden som var ønsket å analysere, så prøvene som ble tatt bestod av det øverste laget av jorden i tillegg til vegetasjon.

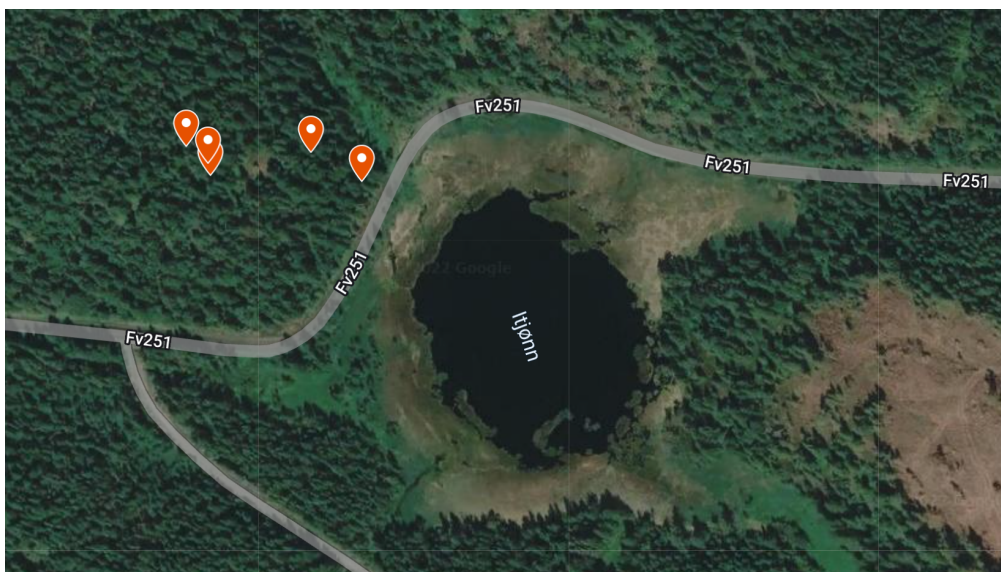
Det har blitt laget kart med punkter ved bruk av «Google My Maps» som viser hvordan prøvepunktene er fordelt for de fire ulike områdene.



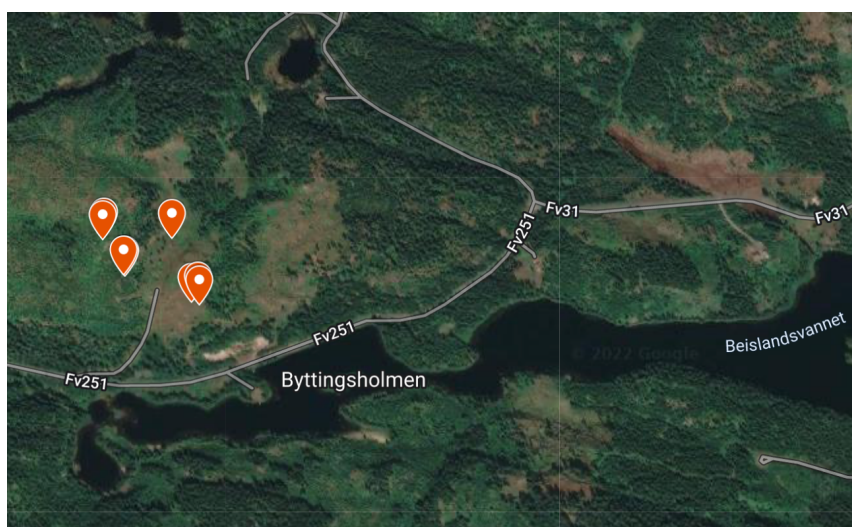
Figur 3.1: Oversikt over de 10 prøvepunktene fra brent område på Froland.



Figur 3.2 + Figur 3.3: Oversikt over de 6 prøvepunktene fra ubrent område på Froland. Figur 3.2 på nært hold, Figur 3.3 på litt avstand for å få med Saurdalsvatn.



Figur 3.4: Oversikt over de 5 prøvepunktene fra ubrent område i Birkenes.



Figur 3.5: Oversikt over de 10 prøvepunktene fra brent område i Birkenes.

Det ble tatt bilder av stikkspade og skuffe i rustfritt stål på prøvetakingspunkt 1.



Foto: Marte Pettersen. Bildene viser stikkspaden og skuffen som ble brukt til å samle inn jordprøvene på hvert punkt, her fra prøvetakingspunkt 1.

3.2 Laboratoriarbeid

Etter prøvetaking ble prøvene lagt til tørking over en periode på 4-5 uker. Prøvene ble veid 27. oktober 2021, 11. november 2021, og 22. november 2021.

Etter tørkeperioden ble prøvene i papirposer først most ved bruk av porselensmorter og overført til analysebeger i plast (VWR). Morteren ble vasket mellom hver jordprøve. Deretter ble prøvene filtrert gjennom en 2mm sikt over på en utbrettet papirpose (VWR) og overført tilbake til analysebeger i plast. Det ble brukt ny papirpose for hver jordprøve, og sikten ble vasket mellom hver jordprøve.

Prøvene i aluminiumsformer ble preparert for ASE ved at alt av kvister, blader og steiner ble fjernet ved bruk av en porselensskje, før den gjenværende jorden ble most i en porselensmorter. Porselensmorteren ble vasket mellom hver jordprøve. Etter prøvene ble most ble de filtrert gjennom en 2mm sikt over på aluminiumsfolie, og deretter overført til små plastposer.

Det ble tatt bilder av papirpose, sikt og jord som var ferdig most og klar for å filtreres.

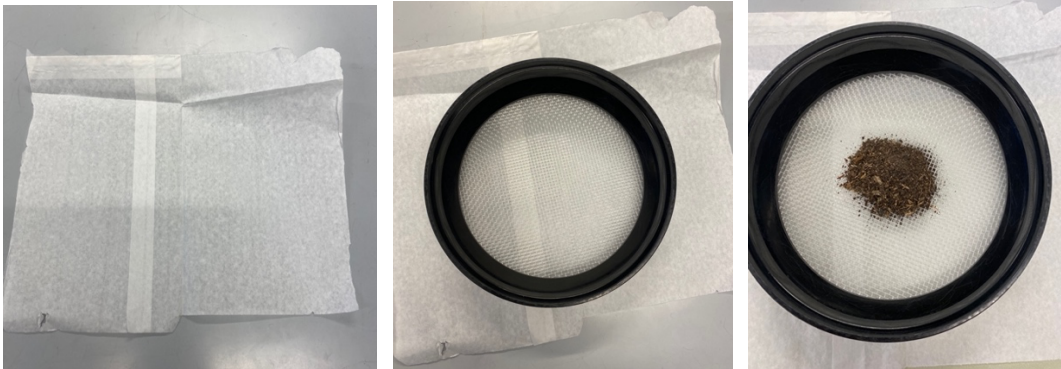


Foto: Marte Pettersen. Bilde 1 viser papirposen som er åpnet og lagt ut på benken, bilde 2 viser sikten som er plassert oppå papirposen, og bilde 3 viser ferdig most jord klar for å filtreres oppå sikten og oppå papirposen.

3.2.1 Ultraclave

Teflonrør ble klargjort ved at hver enkelt teflonrør ble vasket med destillert vann i 3 omganger. Det ble overført mellom 250-350mg jordprøve over i hvert sitt teflonrør (korrekte data for mengde overført i tabell 3.2), og i tilfeldig rekkefølge ble det også overført referansemateriale i 3 teflonrør og det ble lagt inn 3 blankprøver. Referansemateriale var elvemunningssedimenter (SGK, identifikasjonsnr 0622).

Det ble tilsatt HNO_3 (9ml 50% v/v) i hvert teflonrør før de ble plassert i posisjonskarusell slik at teflonrør 121 ble plassert på posisjon 1 på posisjonskarusellen, teflonrør 122 ble plassert på posisjon 2 på posisjonskarusellen osv. helt til teflonrør 157 ble plassert på posisjon 37.

Prøvene, tilsatt syre, plassert i posisjonskarusell ble så plassert i et vannbad som var tilsatt H_2SO_4 og H_2O_2 . Denne sammensetning ble plassert i UltraClave, og behandlet. Prøvene var ferdig behandlet og nedkjølt etter litt over 3 timer.

Prøvene ble tatt ut en av gangen, overført til en plastbeholder der de ble fortynnet med destillert vann (ELGA PURELAB flex 3) til ønsket vekt ($109.8\text{g} \pm 0.5\text{g}$), og overført til hvert sitt 15ml plast reagensrør med samme nummerering som teflonrørene, og til slutt lagret på laboratoriet slik at de var klare for å sendes videre til ICP-MS analyser. Tabell 3.2 viser oversikt over teflonrør, prøvetype/prøvenummer, startvekt, plass på posisjonskarusell, plass på plast reagensrør, og sluttvekt.

Tabell 3.2: Oversikt over teflon vial, prøvetype/prøvenummer, startvekt, plass på posisjonskarusell, plass på plast reagensrør, og sluttvekt i forbindelse med UltraClave.

| Teflonrør | Prøvetype/nr. | Startvekt (mg) | Plassering posisjonskarusell | Sluttvekt (g) |
|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 121 | Prøvenummer 1 | 308 | 1 | 109,91 |
| 122 | Prøvenummer 2 | 330 | 2 | 109,75 |
| 123 | Referanse | 332,3 | 3 | 109,9 |
| 124 | Prøvenummer 3 | 335 | 4 | 109,85 |
| 125 | Prøvenummer 4 | 350 | 5 | 110,29 |
| 126 | Prøvenummer 5 | 350 | 6 | 109,77 |
| 127 | Blank | | 7 | 109,71 |
| 128 | Prøvenummer 6 | 339 | 8 | 109,74 |
| 129 | Prøvenummer 7 | 350 | 9 | 109,82 |
| 130 | Prøvenummer 8 | 329 | 10 | 109,77 |
| 131 | Prøvenummer 9 | 350 | 11 | 109,78 |
| 132 | Prøvenummer 10 | 336 | 12 | 109,89 |
| 133 | Prøvenummer 11 | 350 | 13 | 109,91 |
| 134 | Prøvenummer 12 | 320 | 14 | 109,85 |
| 135 | Prøvenummer 13 | 330 | 15 | 110,10 |
| 136 | Referanse | 320 | 16 | 109,94 |
| 137 | Prøvenummer 14 | 320 | 17 | 109,78 |
| 138 | Prøvenummer 15 | 320 | 18 | 109,90 |
| 139 | Prøvenummer 16 | 320 | 19 | 109,92 |
| 140 | Prøvenummer 17 | 322 | 20 | 109,88 |
| 141 | Blank | | 21 | 109,73 |
| 142 | Prøvenummer 18 | 320 | 22 | 110,01 |
| 143 | Prøvenummer 19 | 320 | 23 | 110,09 |
| 144 | Prøvenummer 20 | 320 | 24 | 109,74 |
| 145 | Prøvenummer 21 | 320 | 25 | 110,01 |
| 146 | Prøvenummer 22 | 327 | 26 | 109,99 |
| 147 | Prøvenummer 23 | 329 | 27 | 109,78 |
| 148 | Prøvenummer 24 | 326 | 28 | 110,00 |
| 149 | Referanse | 344 | 29 | 110,01 |
| 150 | Prøvenummer 25 | 337 | 30 | 109,91 |
| 151 | Prøvenummer 26 | 337 | 31 | 110,02 |
| 152 | Prøvenummer 27 | 333 | 32 | 109,81 |

| | | | | |
|------------|----------------|-----|----|--------|
| 153 | Prøvenummer 28 | 310 | 33 | 109,97 |
| 154 | Blank | | 34 | 109,77 |
| 155 | Prøvenummer 29 | 350 | 35 | 110,07 |
| 156 | Prøvenummer 30 | 336 | 36 | 110,00 |
| 157 | Prøvenummer 31 | 310 | 37 | 109,99 |

3.2.2 ICP-MS

Prøvene som ble oppsluttet med UltraClave ble sendt videre til analyse. ICP-MS ble brukt for å analysere jordprøvene for Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Si, Sn, Sr, Tl, U, V, og Zn.

3.2.3 ASE

Det ble først ekstrahert 3x metodeblank der cellen inneholdt fra bunn: 2 filter, kobber (Cu, 2g), filter, alumina (Al₂O₃, 2g), filter, en blanding av aktivert kiselgur (2g) og internstandard (2x 50µL), og tørket Ottawa sand. Deretter ble instrumentet rensert ved å kjøre ekstraksjonen med en tom celle, før hver enkelt jordprøve ble ekstrahert hver for seg. Cellen hadde samme innhold for jordprøvene som for metodeblank, i tillegg til at jordprøve (0,5g) ble tilsatt sammen med aktivert kiselgur (2g) og internstandard (2x 50µL). Det ble også ekstrahert en prøveblanding som var tilsatt en blanding av prøve 1-31, med samme fremgangsmåte som for de andre prøvene. Deretter ble instrumentet rensert igjen på samme måte som tidligere, før det ble ekstrahert 2 jordprøver fra hvert område som ble tilsatt ekstern standard (2x 100µL) i stedet for intern standard, for å kvalitetssikre metoden. Prøvenumrene som ble tilsatt ekstern standard var prøvenummer 3, 15, 17, og 30. Hver prøve endte opp med et volum på 37 ml etter ekstraksjon.

3.2.4 Turbovap

Temperatur og trykk ble valgt ut fra hvilket løsningsmiddel som var til stede i prøvene som skulle fordampes. Løsningsmiddelet var diklormetan (Sigma-Aldrich), temperatur ble satt til 28 grader, og trykket ble først satt på 5 og deretter økt til 10 for at hastigheten på fordampingen skulle øke. Etter prøvene ble plassert i turbovapreservoaret/turbovapsystemet ble prøvene fulgt med på slik at de ikke fordampet for mye. Prøve nummer 9, 13, og 14 fordampet helt bort. Prøvene fordampet med ujevnt tempo, og for hver gang én prøve hadde 1ml igjen ble de tatt ut og overført til mindre glassbeholdere med lokk slik at de ble klare for analyse ved GC-MS.

3.2.5 GC-MS

Prøvene som ble ekstrahert med ASE og fordampet med Turbovap ble sendt videre til analyse. GC-MS ble brukt for å analysere jordprøvene for PAHer. Analysen ble utført med en Agilent 7890A gasskromatograf med en GC Pal autosampler (CTC Analytics, Zwingen, CH) koblet til et Agilent 5975 enkelt kvadrupol massespektrometer. Separasjon av målforbindelser ble utført på en Thermo Scientific™ TraceGOLD™ TG-5MS GC-kolonne (5% difenyl/95% dimetylpolysiloksan, 30 m x 0,25 mm indre diameter x 0,5 µm filmtykkelse) som holdt bæregasstrømmen (helium) ved 1 mL/min, og temperaturen for overføringsledningen og injeksjonsporten på 290 °C.

PAHene som jordprøvene ble analysert for var naphtalene, acenaphtylene, acenaphtene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthrene, pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]flouranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,h]anhtracene og benzo[ghi]perylene. Internstandardene som ble brukt var 4-F-Biphenyl, 4-Fluorophenanthrene og 3-Fluorochrysene.

4 Resultater

Dette kapitlet tar for seg resultatene fra ICP-MS analysen, og deretter resultatene fra GC-MS analysen. Resultatene vil så diskuteres i neste kapittel.

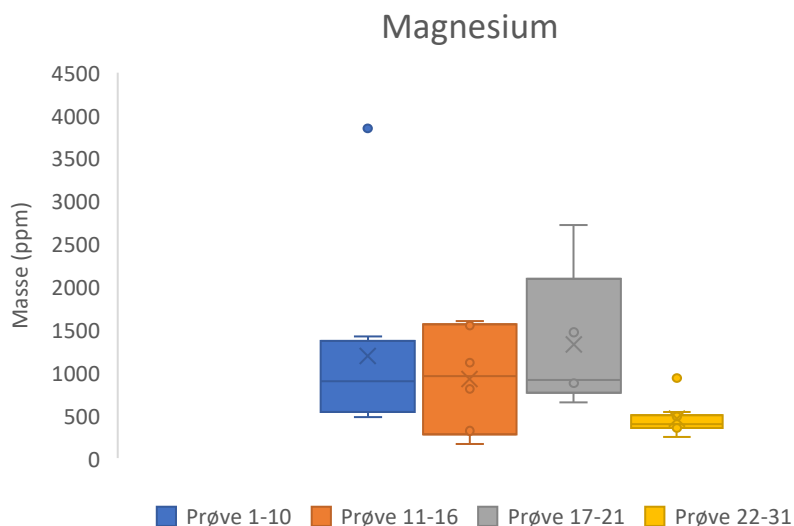
4.1 Resultater fra ICP-MS

Resultatene fra ICP-MS analysen vil presenteres i form av tabeller og figurer for utvalgte metaller (Mg, K, Ca, Na, P, S, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Hg og Pb). Tabellene vil inneholde snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for utvalgte metaller for prøvepunktene til de ulike områdene, og figurene vil bestå av boksdiagram for de samme utvalgte metallene. Hovedioner kommer først, deretter tungmetaller og spormetaller.

For alle tabeller og boksdiagram i dette kapitlet vil områdene ha navnene «Prøve 1-10», «Prøve 11-16», «Prøve 17-21» og «Prøve 22-31». Prøve 1-10 tilhører skogbrannområdet på Froland, og prøve 11-16 tilhører bakgrunnsområdet på Froland. Prøve 17-21 tilhører bakgrunnsområdet på Birkenes, og prøve 22-31 tilhører skogbrannområdet på Birkenes.

4.1.1 Magnesium

Figur 4.1 er et boksdiagram som viser magnesium i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.1 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 5 skiller seg ut med betydelig større mengde magnesium enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Froland, og prøve 27 skiller seg ut med større mengde magnesium enn skogbrannområdet på Birkenes.



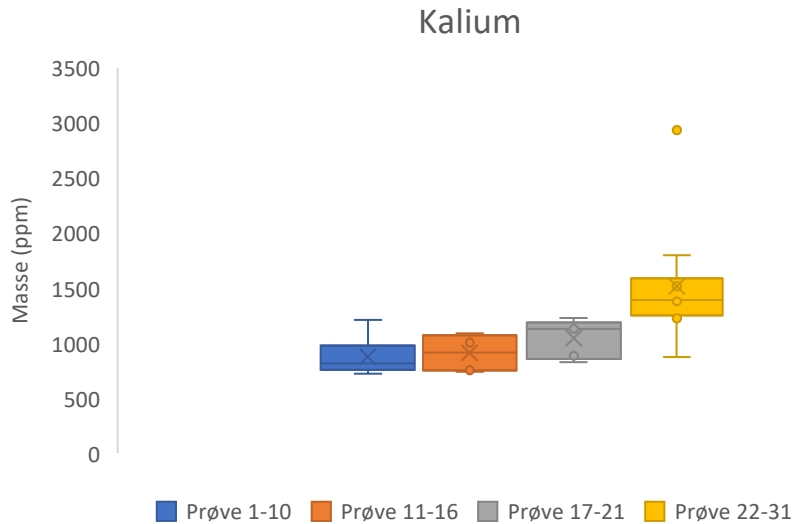
Figur 4.1: Boksdiagram med mengde Mg fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.1: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.1 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 1190 | 481,0 | 3850 | 992,0 |
| Prøve 11-16 | 923,4 | 160,2 | 1596 | 606,5 |
| Prøve 17-21 | 1323 | 646,7 | 2720 | 837,6 |
| Prøve 22-31 | 455,8 | 249,0 | 935,4 | 187,9 |

4.1.2 Kalium

Figur 4.2 er et boksdiagram som viser kalium i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.2 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 31 skiller seg ut med betydelig større mengde kalium enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Birkenes.



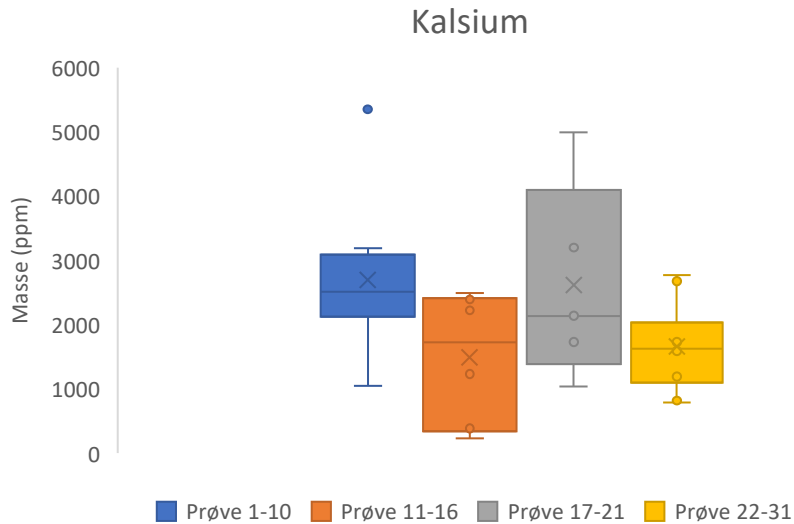
Figur 4.2: Boksdiagram med mengde K fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Frøland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.2: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.2 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 876,1 | 719,8 | 1212 | 181,6 |
| Prøve 11-16 | 910,5 | 738,5 | 1090 | 159,0 |
| Prøve 17-21 | 1041 | 822,6 | 1227 | 176,5 |
| Prøve 22-31 | 1515 | 869,7 | 2934 | 550,3 |

4.1.3 Kalsium

Figur 4.3 er et boksdiagram som viser kalsium i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.3 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 5 skiller seg ut med betydelig større mengde kalsium enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Frøland.



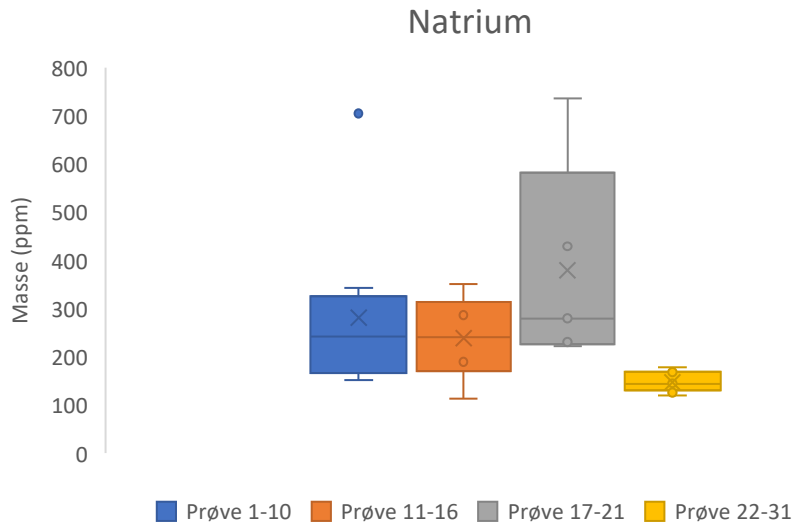
Figur 4.3: Boksdiagram med mengde Ca fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.3: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.3 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 2698 | 1045 | 5353 | 1121 |
| Prøve 11-16 | 1490 | 228,9 | 2488 | 1023 |
| Prøve 17-21 | 2620 | 1039 | 4993 | 1541 |
| Prøve 22-31 | 1663 | 788,1 | 2768 | 665,5 |

4.1.4 Natrium

Figur 4.4 er et boksdiagram som viser natrium i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.4 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 5 skiller seg ut med betydelig større mengde natrium enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Froland.



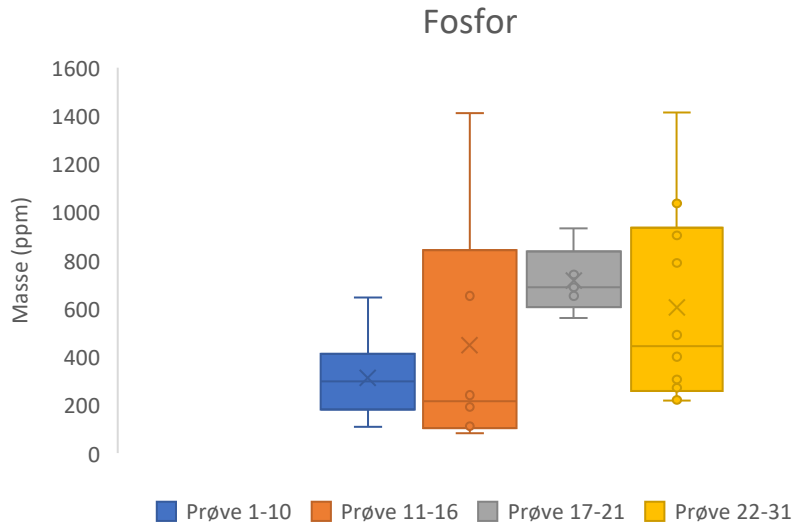
Figur 4.4: Boksdiagram med mengde Na fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.4: Antall prøvepunkt, snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.4 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 280,6 | 150,9 | 704,7 | 161,9 |
| Prøve 11-16 | 239,0 | 113,4 | 350,4 | 88,05 |
| Prøve 17-21 | 379,3 | 221,7 | 735,7 | 216,0 |
| Prøve 22-31 | 146,6 | 119,8 | 178,0 | 19,63 |

4.1.5 Fosfor

Figur 4.5 er et boksdiagram som viser fosfor i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.5 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



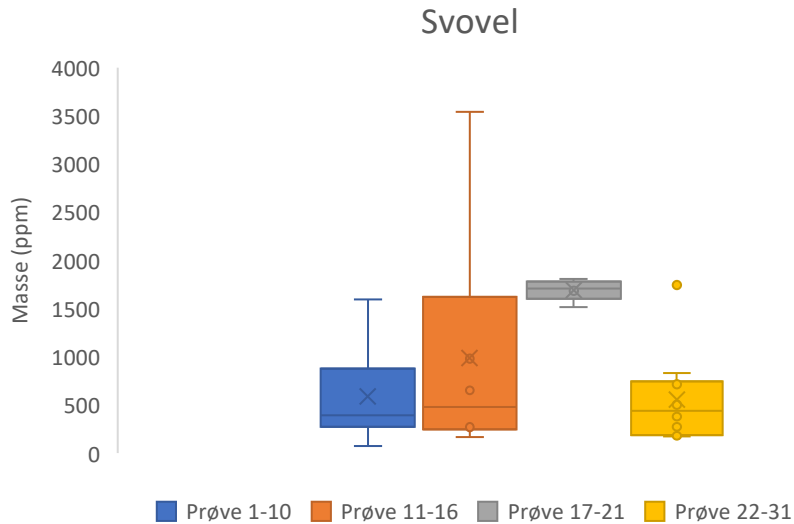
Figur 4.5: Boksdiagram med mengde P fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.5: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvepunktsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.5 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 312,9 | 107,9 | 645,2 | 171,0 |
| Prøve 11-16 | 447,6 | 80,83 | 1411 | 515,0 |
| Prøve 17-21 | 715,3 | 561,5 | 932,8 | 138,2 |
| Prøve 22-31 | 604,7 | 218,8 | 1414 | 410,6 |

4.1.6 Svovel

Figur 4.6 er et boksdiagram som viser svovel i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.6 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 27 skiller seg ut med større mengde svovel enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Birkenes.



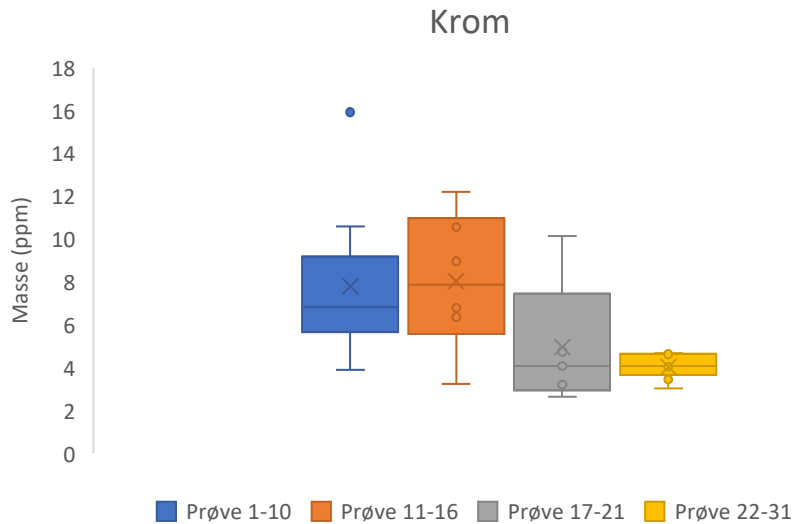
Figur 4.6: Boksdiagram med mengde S fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.6: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.6 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 587,0 | 73,88 | 1595 | 459,4 |
| Prøve 11-16 | 986,9 | 168,3 | 3543 | 1287 |
| Prøve 17-21 | 1693 | 1516 | 1804 | 109,6 |
| Prøve 22-31 | 554,3 | 171,7 | 1742 | 477,4 |

4.1.7 Krom

Figur 4.7 er et boksdiagram som viser krom i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.7 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 5 skiller seg ut med betydelig større mengde krom enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Froland.



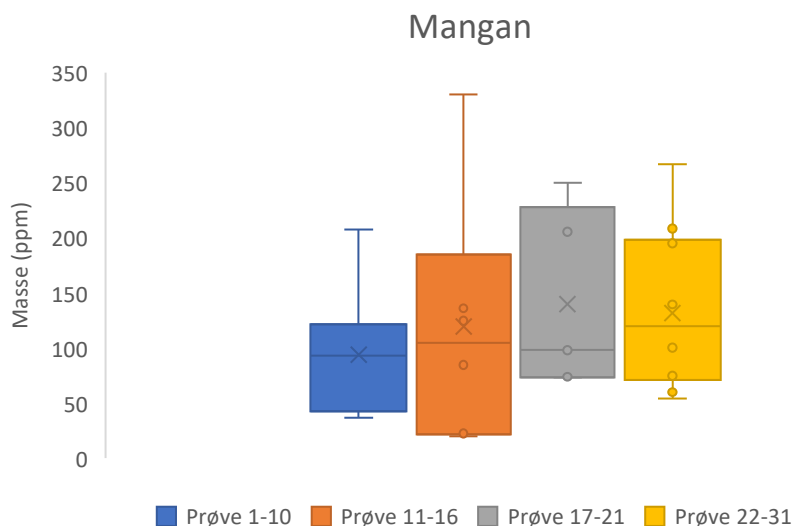
Figur 4.7: Boksdiagram med mengde Cr fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.7: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.8 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 7,778 | 3,883 | 15,92 | 3,442 |
| Prøve 11-16 | 8,016 | 3,240 | 12,21 | 3,226 |
| Prøve 17-21 | 4,953 | 2,629 | 10,12 | 3,001 |
| Prøve 22-31 | 4,016 | 3,030 | 4,675 | 0,550 |

4.1.8 Mangan

Figur 4.8 er et boksdiagram som viser mangan i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.8 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



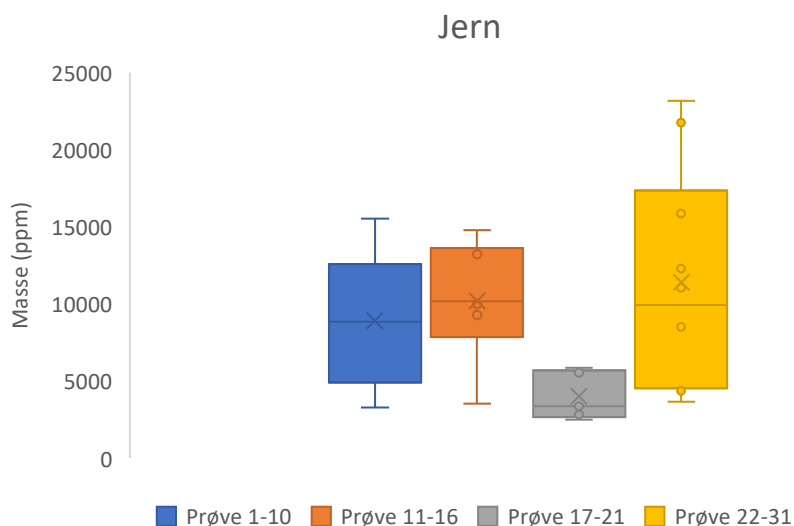
Figur 4.8: Boksdiagram med mengde Mn fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.8: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.8 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 93,95 | 36,46 | 207,7 | 53,45 |
| Prøve 11-16 | 119,6 | 19,83 | 330,5 | 114,4 |
| Prøve 17-21 | 140,0 | 73,06 | 250,0 | 82,18 |
| Prøve 22-31 | 131,9 | 54,17 | 267,0 | 72,10 |

4.1.9 Jern

Figur 4.9 er et boksdiagram som viser jern i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.9 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



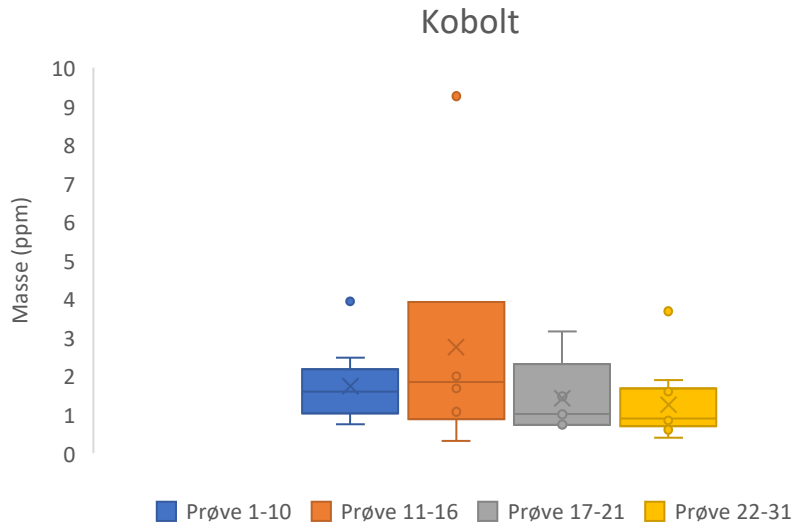
Figur 4.9: Boksdiagram med mengde Fe fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene på Birkenes.

Tabell 4.9: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.9 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 8925 | 3284 | 15549 | 4516 |
| Prøve 11-16 | 10190 | 3529 | 14772 | 3885 |
| Prøve 17-21 | 4012 | 2493 | 5843 | 1567 |
| Prøve 22-31 | 11407 | 3671 | 23162 | 6969 |

4.1.10 Kobolt

Figur 4.10 er et boksdiagram som viser kobolt i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.10 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 5 skiller seg ut med betydelig større mengde kobolt enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Froland, prøve 15 skiller seg ut med større mengde kobolt enn de andre prøvepunktene i bakgrunnsområdet på Froland, og prøve 29 skiller seg ut med større mengde kobolt enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet i Birkenes.



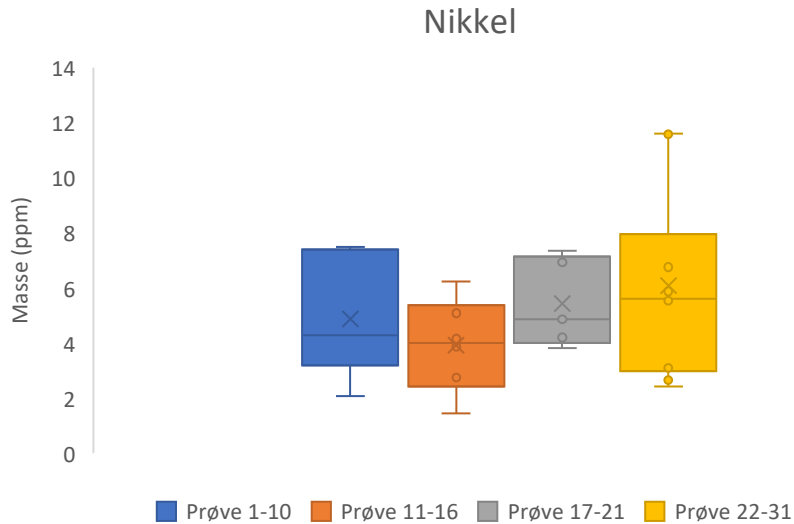
Figur 4.10: Boksdiagram med mengde Co fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene i Birkenes.

Tabell 4.10: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.10 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 1,731 | 0,7380 | 3,937 | 0,9533 |
| Prøve 11-16 | 2,743 | 0,3141 | 9,261 | 3,263 |
| Prøve 17-21 | 1,416 | 0,7230 | 3,147 | 1,014 |
| Prøve 22-31 | 1,249 | 0,4040 | 3,681 | 0,9646 |

4.1.11 Nikkel

Figur 4.11 er et boksdiagram som viser nikkel i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.11 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



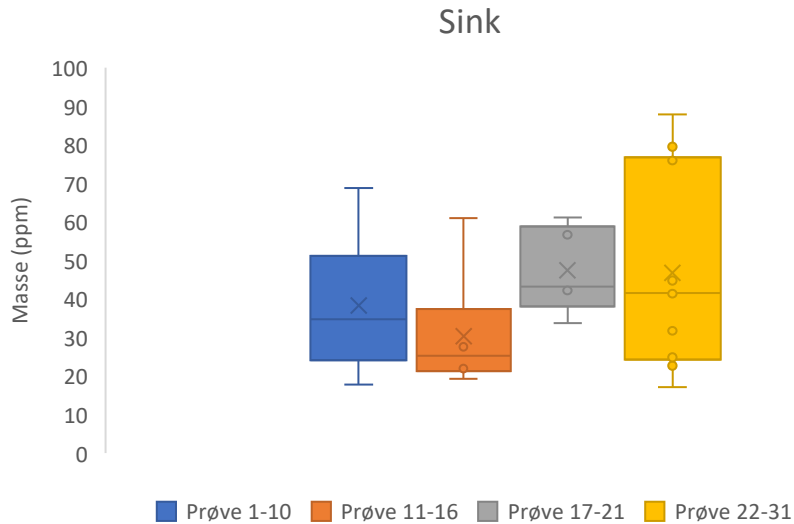
Figur 4.11: Boksdiagram med mengde Ni fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene i Birkenes.

Tabell 4.11: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.11 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 4,859 | 2,066 | 7,478 | 2,031 |
| Prøve 11-16 | 3,912 | 1,430 | 6,221 | 1,690 |
| Prøve 17-21 | 5,430 | 3,812 | 7,349 | 1,612 |
| Prøve 22-31 | 6,072 | 2,423 | 11,60 | 3,267 |

4.1.12 Sink

Figur 4.12 er et boksdiagram som viser sink i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.12 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



Figur 4.12: Boksdiagram med mengde Zn fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene i Birkenes.

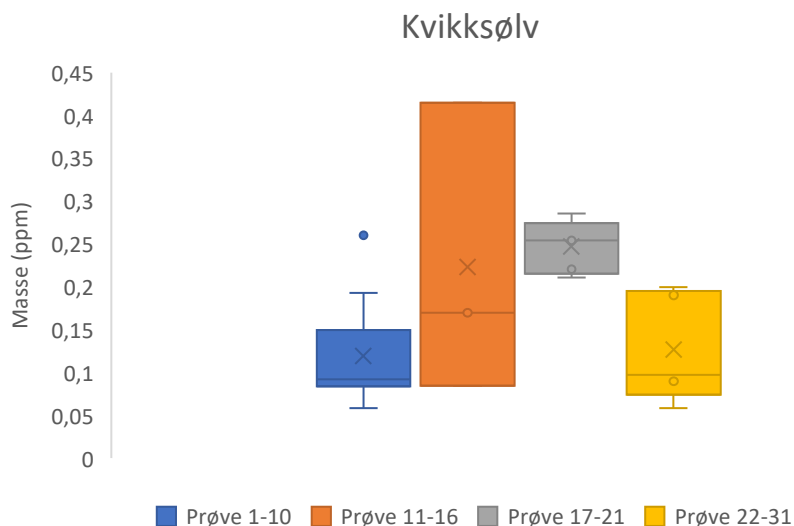
Tabell 4.12: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.12 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 38,32 | 17,71 | 68,80 | 15,91 |
| Prøve 11-16 | 30,37 | 19,34 | 60,97 | 15,45 |
| Prøve 17-21 | 47,37 | 33,76 | 61,12 | 11,23 |
| Prøve 22-31 | 46,75 | 17,11 | 87,90 | 25,46 |

4.1.13 Kvikksølv

Figur 4.13 er et boksdiagram som viser kvikksølv i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.13 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene. Prøve 6 skiller seg ut med større mengde kvikksølv enn de andre prøvepunktene i skogbrannområdet på Froland.

Uten prøve 5, 11, 13, 16, 25, 26, 29, 31, og 31 grunnet for lave verdier.



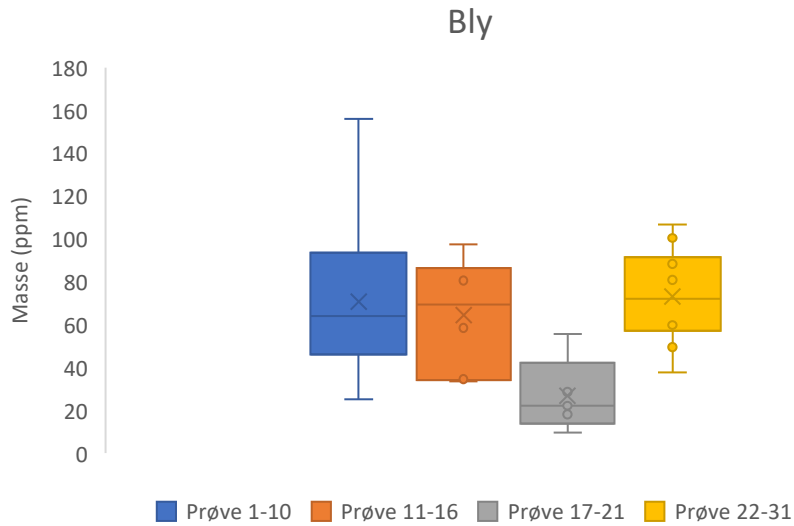
Figur 4.13: Boksdiagram med mengde Hg fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene i Birkenes.

Tabell 4.13: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.13 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|--------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 0,1188 | 0,0582 | 0,2601 | 0,06482 |
| Prøve 11-16 | 0,2232 | 0,08468 | 0,4151 | 0,1716 |
| Prøve 17-21 | 0,2468 | 0,2106 | 0,2855 | 0,0309 |
| Prøve 22-31 | 0,1270 | 0,05840 | 0,1999 | 0,06392 |

4.1.14 Bly

Figur 4.14 er et boksdiagram som viser bly i de ulike prøvetakingsområdene. I Tabell 4.14 vises snitt, minimumsverdier, maksimumsverdier og standardavvik for de samme prøvetakingsområdene.



Figur 4.14: Boksdiagram med mengde Pb fra prøvepunktene fordelt på de to områdene på Froland og de to områdene i Birkenes.

Tabell 4.14: Snitt, minimumsverdi, maksimumsverdi og standardavvik for de ulike prøvetakingsområdene. Alle verdiene er hentet fra boksdiagrammet i Figur 4.14 og er oppgitt i ppm.

| Område | Snitt | Minimum | Maksimum | Standardavvik |
|--------------------|-------|---------|----------|---------------|
| Prøve 1-10 | 70,71 | 25,12 | 156,0 | 37,04 |
| Prøve 11-16 | 64,49 | 33,36 | 97,60 | 26,80 |
| Prøve 17-21 | 26,78 | 9,473 | 55,70 | 17,58 |
| Prøve 22-31 | 73,10 | 37,58 | 106,9 | 22,30 |

4.2 Resultater fra GC-MS

Tabell 4.15 viser utregnet limit of detection (LOD) og limit of quantification (LOQ) for analyttene. Analyttene er de 16 PAHene listet opp i tabell 2.1. Utregnet LOD og LOQ gjelder for konsentrasjoner funnet ved bruk av kalibreringskurver før omregning for egne prøver.

Tabell 4.15: LOD og LOQ for analyttene, rundet av til ett desimal.

| Analytt | LOD (ppb) | LOQ (ppb) |
|----------------|------------------|------------------|
| NAP | 0,2 | 0,7 |
| ACY | 0,5 | 1,5 |
| ACE | 5,6 | 18,5 |
| FLU | 1,0 | 3,3 |
| PHE | 0,4 | 1,2 |
| ANT | 0,5 | 1,5 |
| FLT | 0,4 | 1,2 |
| PYR | 0,4 | 1,2 |
| BaA | 1,2 | 3,9 |
| CHR | 1,0 | 3,5 |
| BbF | 0,8 | 2,6 |
| BkF | 0,8 | 2,5 |
| BaP | 1,1 | 3,7 |
| IND | 1,0 | 3,3 |
| DBA | 1,3 | 4,4 |
| BgP | 0,8 | 2,7 |

Tabell 4.16 viser snittverdier og standardavvik for resultatene av hvert enkelt analytt inkludert de under LOD/LOQ. Tabellen viser også differansen mellom snittene for de ulike områdene for hver enkelt analytt.

Tabell 4.16: Snittverdier og standardavvik for resultatene for alle fire områdene, samt differansen mellom gjennomsnittene for Froland og Birkenes. Resultatene inkluderer konsentrasjonene under LOD og LOQ, og konsentrasjonen er oppgitt i ppb. IF står for «ikke funnet».

| Analytt | Froland brent | Froland ubrent | ΔSnitt | Birkenes brent | Birkenes ubrent | ΔSnitt |
|------------|------------------|-------------------|--------|-------------------|--------------------|--------|
| NAP | 6,39 ± 2,84 | IF | - | 13,00 ± 11,76 | IF | - |
| ACY | 1,03 ± 0,26 | 1,49 ± 0,16 | 0,45 | 0,8 ± 0,19 | 1,13 ± 0,23 | 0,26 |
| ACE | 1,59 ± 0,49 | IF | - | 0,44 ± 0,32 | 0,44 ± 0,21 | 0,01 |
| FLU | 1,61 ± 1,40 | 0,98 ± 0,07 | 0,63 | 0,97 ± 1,08 | 1,24 ± 0,36 | 0,27 |
| PHE | 8,14 ± 4,03 | 8,57 ± 1,66 | 0,43 | 8,34 ± 10,73 | 9,42 ± 3,78 | 1,08 |
| ANT | 6,51 ± 5,48 | IF | - | 1,16 ± 0,00 | IF | - |
| FLT | 4,77 ± 1,74 | 12,10 ± 2,96 | 7,33 | 9,78 ± 8,52 | 19,03 ± 14,23 | 9,25 |
| PYR | 2,94 ± 1,31 | 8,12 ± 1,80 | 5,18 | 6,15 ± 5,27 | 8,82 ± 4,56 | 2,67 |
| BaA | 3,15 ± 1,38 | 5,60 ± 1,04 | 2,45 | 3,07 ± 2,07 | 7,03 ± 3,08 | 3,96 |
| CHR | 5,21 ± 3,19 | 23,38 ± 8,40 | 18,17 | 7,71 ± 9,29 | 25,60 ± 14,17 | 17,89 |
| BbF | 9,46 ± 6,74 | 48,77 ± 15,54 | 39,31 | 10,93 ± 10,94 | 38,62 ± 14,66 | 27,69 |
| BkF | 3,86 ± 2,72 | 14,71 ± 5,03 | 10,85 | 5,82 ± 4,49 | 13,06 ± 5,27 | 7,24 |
| BaP | 1,66 ± 1,58 | 6,63 ± 0,96 | 4,97 | 1,45 ± 2,11 | 7,51 ± 3,48 | 6,06 |
| IND | 4,33 ± 4,46 | 18,73 ± 4,47 | 14,40 | 3,33 ± 4,38 | 15,54 ± 6,08 | 12,21 |
| DBA | 2,86 ± 1,07 | 7,94 ± 5,87 | 5,08 | 2,71 ± 2,77 | 8,97 ± 7,16 | 6,26 |
| BgP | 1,48 ± 0,97 | 14,80 ± 8,24 | 13,32 | 5,58 ± 5,19 | 11,97 ± 8,98 | 6,39 |

Tabell 4.17 viser hvilke prøver som ble tatt med i utregningene for tallene i tabell 4.16, og hvilke prøver som eventuelt var under LOD.

Tabell 4.17: Prøver som var med i utregningene for tabell 4.16 men som var under LOD.

| Analytt | Område | Prøvenummer med i tabell 4.16 | <LOD |
|------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| NAP | Froland brent | 1, 4 | |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | | |
| | Birkenes brent | 22, 25, 29 | |
| ACY | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | 20 |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 26, 27, 29, 30 |

| | | | |
|------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| ACE | Froland brent | 1, 4 | 1, 4 |
| | Froland ubrent | | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19 | 17, 18, 19 |
| | Birkenes brent | 23, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 25, 26, 27, 29, 30 |
| FLU | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 1, 7, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | 11, 15, 16 |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | 17, 18, 19, 20, 21 |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 |
| PHE | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | |
| ANT | Froland brent | 1, 4 | |
| | Froland ubrent | | |
| | Birkenes ubrent | | |
| | Birkenes brent | 22 | |
| FLT | Froland brent | 1, 7 | |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 24, 27 | 27 |
| PYR | Froland brent | 1, 7 | |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 24, 27 | 27 |
| BaA | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 25, 26, 27 |
| CHR | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 26, 30 |
| BbF | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | |

| | | | |
|------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| BkF | Froland brent | 1, 7, 8 | 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | 23, 29 |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 27, 29 | |
| BaP | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4, 7, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | 23, 25, 26, 27, 29 |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29 | |
| IND | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 25, 26, 27, 29, 30 |
| DBA | Froland brent | 1, 4, 7, 8 | 4, 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 | 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30 |
| BgP | Froland brent | 1, 7, 8 | 8 |
| | Froland ubrent | 11, 15, 16 | |
| | Birkenes ubrent | 17, 18, 19, 20, 21 | |
| | Birkenes brent | 22, 23, 24, 25 | 23, 25 |

5 Diskusjon

Diskusjonen vil ta for seg korrelasjonsmatriser, PCA-analyse, oppsummering av resultater for metaller, og deretter resultatene for PAHer.

5.1 Korrelasjonsmatriser

Først presenteres det en korrelasjonsmatrise for de utvalgte metallene på Froland for både bakgrunns- og skogbrannområdet (prøve 1-21), deretter en tilsvarende korrelasjonsmatrise for de samme metallene på Birkenes for både bakgrunns- og skogbrannområdet (prøve 22-31). De utvalgte metallene er de samme som det ble lagt vekt på under kapittel 4.1. Generelt sett vil korrelasjon på over 0,5 bli ansett som «god» ettersom det er få prøver og prøvepunktene er tatt på tilfeldige plasser innen utvalgte områder, men det vil legges mest vekt på korrelasjon på over 0,8.

Mulige årsaker til korrelasjon kan være felles kilde, lignende transportmekanismer, lignende geokjemiske egenskaper [57], eller at metallene ofte kan være til stede i jorden i kombinasjon med hverandre. Det skal diskuteres nærmere hva som kan være årsaken til de ulike korrelasjonene for tabell 5.1 og tabell 5.2.

Tabell 5.1: Korrelasjonsmatrise for utvalgte metaller på Froland. Markert korrelasjoner på mer enn 0,5 med fet skrift utenom de som har verdi på 1 ettersom det er korrelasjon mellom samme metall.

| | Na | Mg | P | S | K | Ca | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Zn | Hg | Pb |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|----|
| Na | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,99 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| P | -0,40 | -0,45 | 1 | | | | | | | | | | | |
| S | -0,40 | -0,47 | 0,96 | 1 | | | | | | | | | | |
| K | 0,62 | 0,55 | 0,27 | 0,19 | 1 | | | | | | | | | |
| Ca | 0,82 | 0,84 | -0,51 | -0,49 | 0,38 | 1 | | | | | | | | |
| Cr | 0,81 | 0,86 | -0,26 | -0,34 | 0,52 | 0,60 | 1 | | | | | | | |
| Mn | 0,46 | 0,52 | -0,19 | -0,34 | 0,42 | 0,31 | 0,74 | 1 | | | | | | |
| Fe | 0,50 | 0,50 | 0,10 | -0,03 | 0,49 | 0,11 | 0,57 | 0,37 | 1 | | | | | |
| Co | 0,26 | 0,30 | 0,07 | -0,08 | 0,44 | 0,13 | 0,54 | 0,93 | 0,26 | 1 | | | | |
| Ni | 0,13 | 0,12 | 0,38 | 0,34 | 0,44 | 0,29 | 0,30 | 0,18 | -0,04 | 0,20 | 1 | | | |
| Zn | -0,33 | -0,38 | 0,59 | 0,64 | 0,04 | -0,08 | -0,35 | -0,37 | 0,43 | -0,23 | 0,69 | 1 | | |
| Hg | -0,48 | -0,67 | 0,92 | 0,97 | 0,36 | -0,51 | -0,19 | -0,23 | 0,03 | -0,01 | 0,44 | 0,60 | 1 | |
| Pb | -0,50 | -0,50 | 0,56 | 0,56 | -0,08 | -0,23 | -0,40 | -0,23 | -0,35 | -0,08 | 0,55 | 0,82 | 0,58 | 1 |

Som man kan se i tabell 5.1 er det god korrelasjon mellom flere av metallene. Det er noen metaller som skiller seg ut ved å ha gruppevis ganske god korrelasjon med hverandre.

Natrium, magnesium, kalium, kalsium og krom er en gruppe, og fosfor, svovel, sink, kvikksølv og bly er en annen gruppe. Utenom disse to gruppene har mangan god korrelasjon med krom og kobolt. En annen observasjon er at bly har negativ korrelasjon med flere av metallene.

Både natrium, magnesium, kalium, kalsium og krom går under kategorien mineraler og sporstoffer som er grunnstoffer som er nødvendige for alle levende organismer. Det observeres fra tabell 5.1 at det er svært god korrelasjon mellom alle disse, og det kan ha en sammenheng med at de er til stede samtidig i organisk jord.

Når det kommer til fosfor, svovel, sink, kvikksølv og bly kan en mulig forklaring være at disse tungmetallene har lignende geokjemiske egenskaper, og at de ikke nødvendigvis finner sted på egenhånd i jorden. Kvikksølv kan være til stede som kvikksølvulfat ($\text{Hg}_3\text{O}_8\text{P}_2$), eller som svovelforbindelsen kvikksølvulfid (HgS). Konsentrasjonen av svovelforbindelser er generelt ofte høyere enn for kvikksølv, og derfor er det vanlig at de dominerende formene av kvikksølv og metylkvikksølv (CH_3Hg^+) er komplekser med organiske og uorganiske svovelforbindelser [58].

Mangan-oksidmineraler er rapportert å virke som naturlige oksidasjonsmidler for redokstransformasjon av Cr^{3+} til Cr^{6+} i bergarter og jordsmonn [59]. Dette kan være en årsak til den gode korrelasjonen mellom krom og mangan som observeres i tabell 5.1.

Den gode korrelasjonen mellom kobolt og mangan skyldes nok at kobolt er sterkt adsorbent i mangan-oksider som Co^{III} , og er sterkt korrelert med Mn^{2+} -frigjøring under anaerobe forhold [11]. I boken *Heavy metals in soils* nevnes det også at kobolt og mangan er nært assosiert i jord ettersom de har lignende kjemiske egenskaper [60].

Det observeres at bly har negativ korrelasjon med både natrium, magnesium, kalium, kalsium, krom, mangan, jern og kobolt. En mulig forklaring på dette er at bly trenger mer organisk jord enn hva disse andre metallene trenger, og at jo mer uorganisk jord – jo mindre bly finner man.

Tabell 5.2: Korrelasjonsmatrise for utvalgte metaller på Birkenes. Markert korrelasjoner på mer enn 0,5 med fet skrift utenom de som har verdi på 1 ettersom det er korrelasjon mellom samme metall.

| | Na | Mg | P | S | K | Ca | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Zn | Hg | Pb |
|----|-------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|------|-------|----|
| Na | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,97 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| P | 0,06 | 0,15 | 1 | | | | | | | | | | | |
| S | 0,60 | 0,69 | 0,25 | 1 | | | | | | | | | | |
| K | -0,19 | -0,21 | 0,26 | -0,52 | 1 | | | | | | | | | |
| Ca | 0,83 | 0,87 | -0,04 | 0,52 | -0,25 | 1 | | | | | | | | |
| Cr | 0,83 | 0,83 | 0,05 | 0,28 | 0,02 | 0,81 | 1 | | | | | | | |
| Mn | 0,38 | 0,45 | -0,09 | 0,28 | 0,02 | 0,67 | 0,46 | 1 | | | | | | |
| Fe | -0,37 | -0,44 | -0,56 | -0,57 | -0,05 | -0,10 | -0,12 | -0,08 | 1 | | | | | |
| Co | 0,45 | 0,40 | -0,37 | 0,07 | -0,09 | 0,55 | 0,49 | 0,50 | 0,24 | 1 | | | | |
| Ni | 0,02 | 0,17 | 0,09 | 0,27 | -0,18 | 0,24 | 0,28 | 0,50 | -0,15 | 0,05 | 1 | | | |
| Zn | 0,19 | 0,30 | 0,26 | 0,19 | 0,33 | 0,44 | 0,27 | 0,77 | -0,28 | 0,08 | 0,51 | 1 | | |
| Hg | 0,39 | 0,44 | 0,21 | 0,87 | -0,62 | 0,33 | 0,08 | 0,40 | -0,81 | 0,30 | 0,21 | 0,49 | 1 | |
| Pb | -0,60 | -0,55 | 0,40 | -0,60 | 0,62 | -0,43 | -0,18 | -0,06 | 0,17 | -0,25 | 0,27 | 0,28 | -0,53 | 1 |

Sammenlignet med tabell 5.1 korrelasjonsmatrisen for Froland kan det observeres at det er noe mindre korrelasjon mellom metallene i Birkenes. En mulig forklaring på dette kan være at brannen skjedde senere enn den på Froland, og at metaller som eventuelt samhandler i jorden og har like egenskaper og oppførsel ikke har rukket å oppkonsentrere seg igjen.

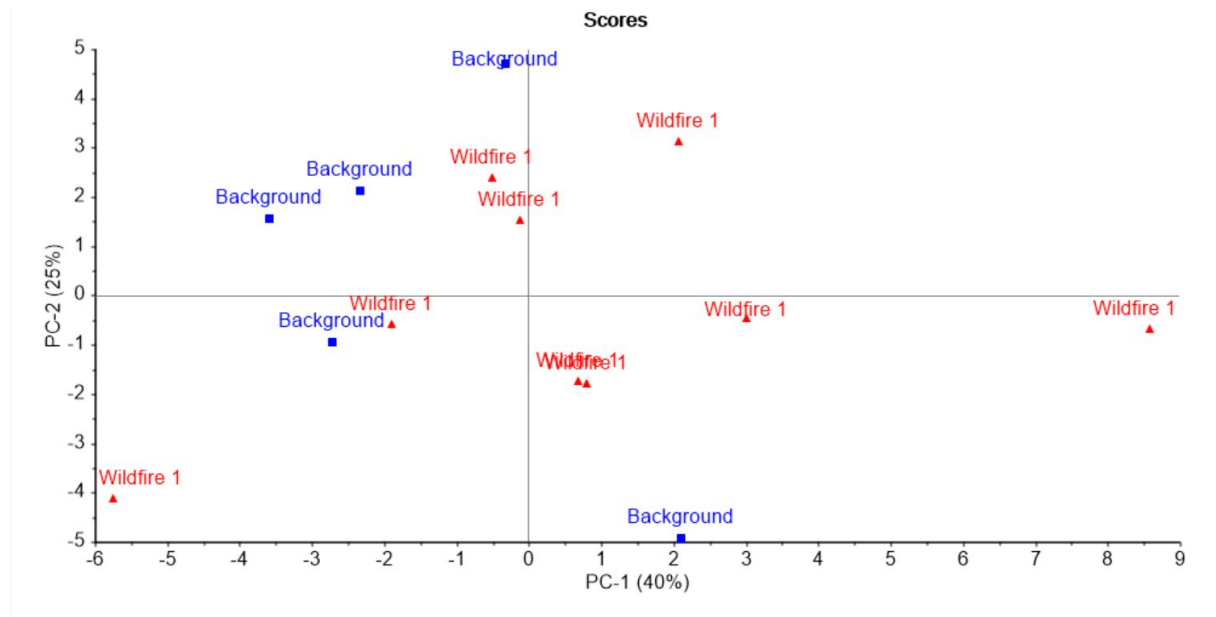
Det er god korrelasjon i en lignende gruppe av metaller som for Froland. Dette gjelder natrium, magnesium, kalsium og krom, men i motsetning til Froland er det svovel i stedet for kalium som også korrelerer bra med denne gruppen. Svovel går også under kategorien mineraler og sporstoffer slik som kalium og resten av disse metallene, så det er ikke overraskende.

Chalkofanitt er et mineral som vanligvis inneholder sink og mangan [61], og den gode korrelasjonen av disse metallene kan tyde på at chalkofanitt er felles kilde til sink og mangan i Birkenes.

Bly har samme trend i tabell 5.2 som i tabell 5.1, og det er antagelig av samme årsak som nevnt tidligere.

5.2 PCA-analyse

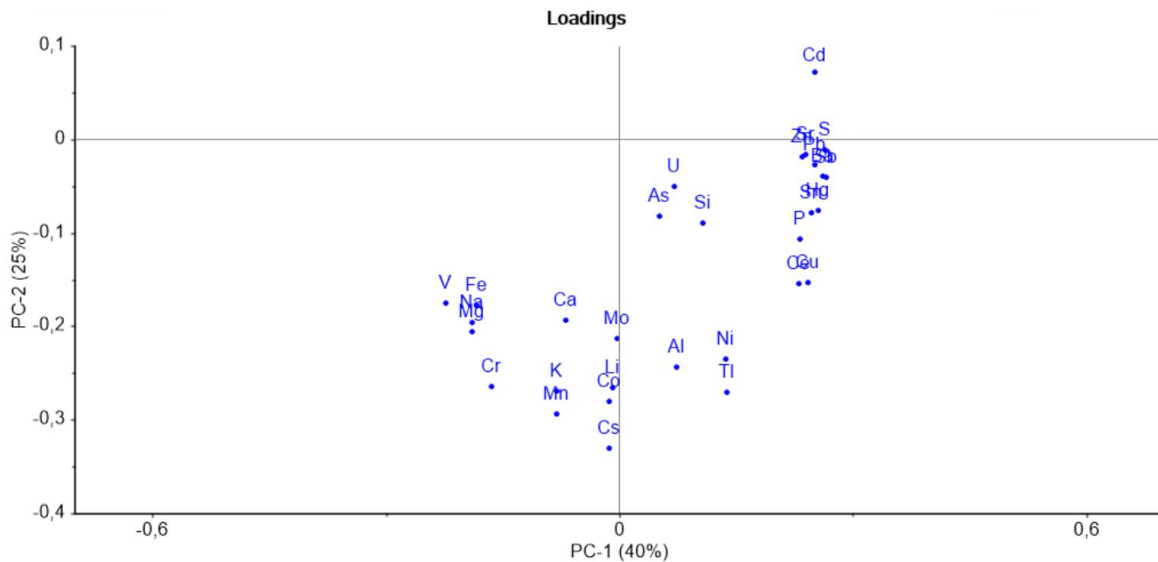
Figur 5.1 viser score plot for prøvepunktene på Froland der prøve 1-10 kalles «Wildfire» for skogbrannområde og prøve 11-16 kalles «Background» for bakgrunnsområde.



Figur 5.1: Score plot for prøvepunktene på Froland.

Det observeres at det er større varians i skogbrannområdet enn i bakgrunnsområdet, da 4 av 5 prøver fra bakgrunnsområdet er på venstresiden av y-aksen, mens prøvene fra skogbrannområdet er jevnt fordelt utover både x- og y-aksen. Bakgrunnsområdet har fortsatt en god del spredning ettersom prøvene er jevnt fordelt utover y-aksen.

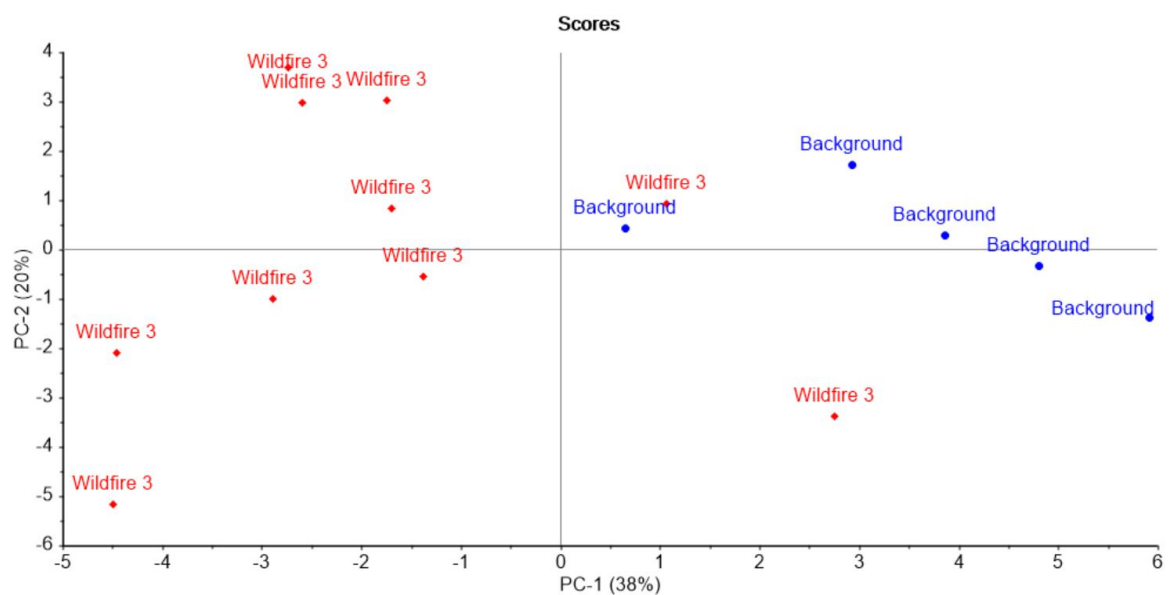
Figur 5.2 viser loadings for de ulike metallene i jordprøvene fra Froland.



Figur 5.2: Loadings for de ulike metallene i jordprøvene fra Froland.

Det observeres at venstresiden av y-aksen domineres av metaller som en finner i bergarter, som jern, krom, magnesium, natrium, kalium og kalsium. Disse assosieres mest med bakgrunnsområdet. Høyresiden domineres av tungmetaller som kadmium, kvikksølv, svovel, bly og kobber. Disse assosieres mest med skogbrannområdet.

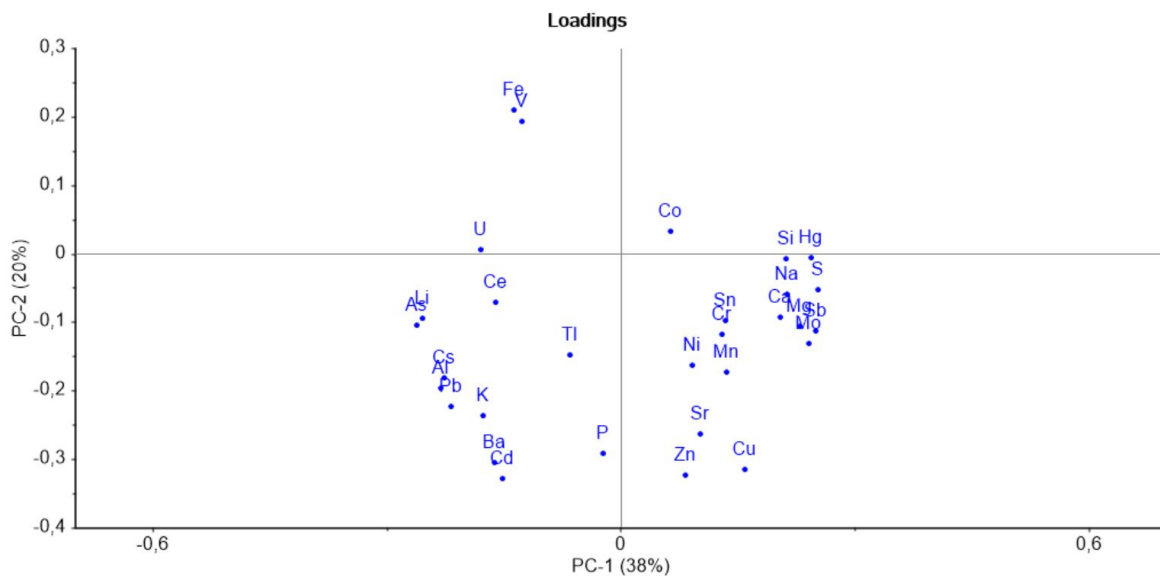
Figur 5.3 viser score plot for prøvepunktene i Birkenes der prøve 17-21 kalles «Background» for bakgrunnsområde og prøve 22-31 kalles «Wildfire» for skogbrannområde.



Figur 5.3: Score plot for prøvepunktene i Birkenes.

Det observeres at Birkenes har en litt annen fordeling og trend enn hva Froland har. Det er generelt mindre varians, og bakgrunns- og skogbrannområdene er mer fordelt på hver sin side av y-aksen, med unntak av enkelte prøver. Det er større varians blant prøvene fra skogbrannområdet, men det er også flere prøver enn hva det er fra bakgrunnsområdet.

Figur 5.4 viser loadings for de ulike metallene i jordprøvene fra Birkenes.



Figur 5.4: Loadings for de ulike metallene i jordprøvene fra Birkenes.

For Birkeland ser en fra figur 5.3 og 5.4 at jern assosieres med skogbrannområdet, og det samme gjør kalium, noe som er motsatt enn hva figur 5.1 og 5.2 viser for Froland. Kvikksølv assosieres spesielt med bakgrunnsområdet.

Det som observeres med PCA-analysen ser en også trenden av i boksdiagrammene og tabellene fra kapittel 4.1. Det skal diskuteres nærmere under neste delkapittel.

5.3 Oppsummering tungmetaller

Hvis en fokuserer på snittverdiene for metallene som er listet opp i tabellene 4.1-4.14 kan en se at det er ulike trender for de utvalgte metallene. For jern og kalium er konsentrasjonene høyere i bakgrunnsområdet enn skogbrannområdet på Froland, men motsatt i Birkenes. For magnesium, kalsium, natrium, og sink er konsentrasjonene høyere i skogbrannområdet enn i bakgrunnsområdet på Froland, men motsatt i Birkenes. Både for fosfor, svovel, krom, mangan, kobolt og kvikksølv er det høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene for Froland og Birkenes enn for skogbrannområde. For nikkel og bly er det høyere konsentrasjoner i skogbrannområdene enn i bakgrunnsområdene for både Froland og Birkenes.

Ulik trend for Froland og Birkenes

I de tilfellene der metaller opplever ulik trend for Froland og Birkenes, som for magnesium, kalium, kalsium, natrium, jern og sink, kan forklaringen ha sammenheng med at brannene hadde såpass ulikt omfang som de hadde. Som nevnt tidligere var brannen på Froland hele ti år tidligere enn brannen i Birkenes, og i tillegg var Frolandbrannen mye mer omfattende i størrelse og temperatur. Forskjellene i tid og omfang kan både ha ført til at ikke de samme metallene har fordampet ut i Birkenes som på Froland grunnet lavere temperaturer, og at noen metaller på Froland har rukket å oppkonsentrere seg mer.

Høyere konsentrasjon i skogbrannområdene

På Froland er det flere metaller som har høyere konsentrasjon i skogbrannområdet enn i bakgrunnsområdet, dette gjelder både for magnesium, kalsium, natrium, nikkel, sink og bly. I Birkenes er det kalium, jern, nikkel og bly som har høyest konsentrasjon i skogbrannområdet. Når det er høyest konsentrasjon i skogbrannområdet tyder det på at metallene heller har akkumulert enn at de har blitt vasket ut eller fordampet under skogbrannen. På Froland kan det være vanskelig å si sikkert hvorvidt noen av metallene egentlig ble vasket ut eller fordampet, men at de har blitt oppkonsentrert i senere tid, ettersom det på prøvetakingstidspunktet var 13 år siden brannen fant sted. De metallene som hadde høyere konsentrasjon i skogbrannområdet på Froland, men ikke i Birkenes er altså magnesium, kalsium, natrium og sink, så for disse metallene kan det være at det har skjedd ting i etterkant.

Høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene

På Froland er det kalium, fosfor, svovel, krom, mangan, jern, kobolt og kvikksølv som har høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdet enn i skogbrannområdet. I Birkenes gjelder det samme for magnesium, kalsium, natrium, fosfor, svovel, krom, mangan, kobolt, sink og kvikksølv. Når det er høyest konsentrasjon i bakgrunnsområdet tyder det på at metallene kan ha blitt vasket ut eller at de har fordampet under skogbrannen.

Sammenheng med NIVA-rapport

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fulgte opp de kjemiske effektene i innsjøer og bekker rundt skogbrannområdet på Froland i to år etter brannen, og rapporterte varierende reaksjon på brannen blant de metallene de valgte å fokusere på [62]. De funnene NIVA hadde som er viktigst i sammenheng med denne oppgaven er at konsentrasjonen av fosfor, nitrogen, sink, bly, kadmium, kobber, nikkel og kvikksølv økte i innsjøer og bekker etter brannen. Noe av årsaken til økende konsentrasjoner i innsjøer og bekker etter brann kan være utvasking fra jorden.

I formel 2.1 i teorien vises hva som påvirker den totale konsentrasjonen av et metall eller metalloid i jorden av tilførsler og tap. Det som nevnes som tap er høsting, jorderosjon, lekkning og volatilisering, og i denne oppgaven er det de to siste som er mest relevant, altså utlekking og fordampning av metallene. Ut fra det NIVA kan rapportere av økt konsentrasjon i innsjøer og bekker kombinert med analyseresultatene fra ICP-MS på hvilke metaller som hadde høyest konsentrasjon i bakgrunns- og skogbrannområdet kan en danne seg et inntrykk av hvilke metaller som ble vasket ut, og hvilke som eventuelt kan ha fordampet under brannen på Froland.

Utlekkede metaller

De metallene som så ut til å ha lekket ut av de det fokuseres på i denne oppgaven på Froland er fosfor, sink, bly og kvikksølv, mens de metallene som mest sannsynlig har fordampet er magnesium, svovel, krom, mangan, jern og kobolt. Sink og bly hadde høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet enn bakgrunnsområdet da prøvene ble tatt i 2021, og det kan være en mulighet at disse metallene har oppkonsentrert seg i etterkant av brannen. For Birkenes som hadde en litt annen sammensetning er det vanskelig å si om metallene hadde samme oppførsel som på Froland ettersom brannen i Birkenes var mindre og dermed ikke nådde de samme temperaturene. Metaller som fordampet på Froland, trenger ikke nødvendigvis å ha fordampet

i Birkenes grunnet ulike temperaturer, men en kan anta at metallene som lakk ut på Froland hadde samme trend i Birkenes. Dette gjelder da fosfor, sink, og kvikksølv.

Bly viser samme trend i Birkenes som på Froland med høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet, noe som tyder på at bly kan ha akkumulert under brannen. Sink hadde også som nevnt høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet for Froland, men NIVA rapporterte høyere konsentrasjoner av sink i innsjøer og bekker etter brannen på Froland. Dette gjør at man kan anta at sink hadde en annen oppførsel enn bly, og at sink ble vasket ut, men har oppkonsentrert seg igjen i etterkant.

5.4 PAHer

De 16 PAHene som ble analysert i jorden fra bakgrunns- og skogbrannområdene på Froland og i Birkenes hadde ulike trender. Noen ble kun funnet i skogbrannområdene, noen hadde ikke betydelig endring i konsentrasjoner, noen oppførte seg ulikt fra sted til sted, og noen hadde høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene. Som i teorien og resultatdelen brukes de engelske navnene for PAHene.

Kun funnet i skogbrannområdene

Som en kan se i tabell 4.16 ble naphtalene kun funnet der det hadde vært skogbrann, både for Froland og Birkenes. Det er rimelig å anta at naphtalene blir dannet under skogbrann, og at det ikke er til stede naturlig i jordsmonnet. Det ble funnet høyere konsentrasjoner fra Birkenes enn fra Froland. Brannen i Birkenes var som nevnt hele 10 år senere enn brannen på Froland, og en kan anta at det var høyere konsentrasjoner av naphtalene i Birkenes ettersom jordsmonnet ikke har kommet like langt i reparasjonsfasen etter brannen.

Slik som for naphtalene ble det kun funnet anthracene i skogbrannområdene fra Froland og Birkenes, og ikke i bakgrunnsområdene. Det ble funnet høyere konsentrasjoner på Froland enn i Birkenes. En mulig årsak til dette kan være at brannen på Froland var større og varmere, og det kan være at det ble dannet større mengder anthracene under denne brannen enn under brannen i Birkenes. Det at det fortsatt er høyere konsentrasjoner på Froland enn Birkenes etter så mange år tyder på at dette er et molekyl som skogen eller jorden ikke klarer å kvitte seg så lett med.

Ikke betydelige forskjeller i konsentrasjoner

Det var ikke store forskjellene i konsentrasjonene for acenaphtylene, hverken mellom bakgrunns- og skogbrannområdene, og heller ikke mellom Froland og Birkenes. Det samme gjelder fluorene, phenanthrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[a]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene og dibenzo[a,h]anthracene. Dette tyder på at disse molekylene ikke ble særlig påvirket av brannene.

Ulik trend

Det var høyere konsentrasjoner av acenaphtene i skogbrannområdet på Froland enn i Birkenes. Det ble ikke funnet i bakgrunnsområdet på Froland, og det var like konsentrasjoner i bakgrunn- og skogbrannområdet i Birkenes. Det var altså ulike trender for acenaphtene innad de to ulike områdene Froland og Birkenes, hvor det kan se ut som at det ble dannet mer under brannen på Froland, men at brannen i Birkenes ikke påvirket mengden på noen måte.

Høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet

Noen PAHer kan genereres under forbrenning av organisk materiale under brann, og noen PAHer kan være produkter av termisk nedbryting av andre PAHer. Dette er mulige forklaringer for tilfellene der PAHer kun blir funnet i skogbrannområdene, eller der det er høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet enn i bakgrunnsområdet. PAHer kan med andre ord dannes på ulike måter under skogbrann, enten fra organisk materiale inkludert fossilt brensel, eller fra andre PAHer. Måten PAHer dannes under forbrenning av organisk materiale går ut på at organisk materiale først vil oksideres til organiske molekyler med lav molekylvekt dersom forbrenningen skjer i et oksygen-fattig miljø [63]. Disse nye molekylene vil så kondenseres og danne nye molekylære strukturer, som for eksempel PAH. Denne prosessen kalles pyrolyse [63].

Høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene

For benzo[b]fluoranthene var det høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene både på Froland og i Birkenes, men i skogbrannområdene var det høyere konsentrasjoner i Birkenes enn på Froland. Benzo[k]fluoranthene og benzo[ghi]perylene fulgte den samme trenden. Ettersom det var høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene, men høyere konsentrasjoner i Birkenes enn på Froland etter brannene tyder det på at disse molekylene kan ha fordampet eller blitt vasket vekk under brannene, og at det er mer igjen i Birkenes ettersom den brannen var mindre.

Det ble funnet høyere konsentrasjoner av fluoranthene i bakgrunnsområdene fra både Forland og Birkenes, og mer i Birkenes enn på Froland. Dette kan komme av at fluoranthene finnes naturlig i jordsmonnet, og at ettersom brannen i Birkenes ikke var like omfattende som den på Froland ble ikke like mye fordampet ut under brannen i Birkenes.

For pyrene ble det funnet ganske like konsentrasjoner i bakgrunnsområdene på både Froland og Birkenes, og litt lavere konsentrasjoner i skogbrannområdene. Konsentrasjonene var litt lavere i skogbrannområdet på Froland enn i Birkenes, noe som kan tyde på at pyrene fordampet under brannene, og at det er mindre på Froland ettersom denne brannen var mer omfattende.

Av de PAHene som hadde høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene er det benzo[ghi]perylene som har høyest kokepunkt på over 500 grader celsius, fluoranthene har kokepunkt på 375 grader, og pyrene har kokepunkt på 385 grader. Det er ukjent hva som er kokepunktene for benzo[b]fluoranthene og benzo[k]fluoranthene, men om en sammenligner med smeltepunktene fra tabell 2.1 ser det ut til at de muligens vil ha kokepunkt som ligger et sted mellom det for pyrene og benzo[ghi]perylene. En skogbrann har ofte svært høye temperaturer og det er derfor ikke urimelig å tenke seg at disse PAHene da har fordampet under brannene.

6 Konklusjon

Både boksdiagram, korrelasjonsmatriser, PCA-analyse og PAH-resultater viser at tungmetallene, spormetallene og PAHene oppfører seg ulikt på Froland og i Birkenes, og at noen av de også oppfører seg ulikt i bakgrunns- og skogbrannområdene. Fe og K hadde høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdet på Froland, men motsatt i Birkenes. Mg, Ca, Na og Zn hadde høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet på Froland, men motsatt i Birkenes. P, S, Cr, Mn, Co og Hg hadde høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene for både Froland og Birkenes. Ni og Pb hadde høyere konsentrasjoner i skogbrannområdene for både Froland og Birkenes.

NAP og ANT ble kun funnet der det har vært skogbrann, der NAP hadde høyest konsentrasjoner i Birkenes, mens ANT hadde høyest konsentrasjoner på Froland. Både ACY, FLU, PHE, BaA, CHR, BaP, IND og DBA hadde små forskjeller i konsentrasjonene for de fire områdene. ACE hadde høyere konsentrasjoner i skogbrannområdet på Froland enn i Birkenes, samtidig som det ikke ble funnet i bakgrunnsområdet på Froland, men Birkenes hadde like konsentrasjoner i bakgrunns- og skogbrannområdet. De PAHene som hadde høyere konsentrasjoner i bakgrunnsområdene var BbF, BkF, BgP, FLT og PYR.

Forskjellene mellom resultatene for Froland og Birkenes kommer i stor grad av det ulike omfanget på brannene, samt tiden mellom brannene. Brannen på Froland var mer omfattende i størrelse og temperatur, mens brannen i Birkenes er nyere og er preget av at jorden ikke har rukket å hente seg like mye inn igjen. Forskjellene mellom de ulike metallene kommer av at noen har akkumulert, noen har fordampet og noen har blitt vasket ut etter skogbrann. Forskjellene mellom de ulike PAHene kommer av at noen finnes naturlig i jorden, noen dannes under skogbrann, og noen er upåvirket av skogbrann.

Funnene støtter opp hypotese H₁ og H₂ ettersom det er ulik konsentrasjon av både metaller og PAHer i jordsmonn som er påvirket av skogbrann og jordsmonn fra bakgrunnsområdet. Det er vanskelig å si helt sikkert hvorfor metallene og PAHene oppfører seg som de gjør, og det ville vært interessant å sammenligne resultatene fra denne oppgaven med resultater fra flere områder som har blitt påvirket av skogbranner med ulikt omfang fra ulike år.

7 Referanser

- [1] Lohmander, P. (2020). Forest fire expansion under global warming conditions: multivariate estimation, function properties and predictions for 29 countries. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, 1(5), 262-276. doi: 10.22034/CAJESTI.2020.05.03
- [2] Abatzoglou, J. T. & Williams, A. P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Science*, 113(42), 11770-11775. doi: 10.1073/pnas.1607171113
- [3] Prichard, S. J., Hagmann, K. & Hessburg, P. (2021). How years of fighting every wildfire helped fuel the Western megafires today. [cited 17.03.2022]. Available from: <https://theconversation.com/how-years-of-fighting-every-wildfire-helped-fuel-the-western-megafires-of-today-163165>
- [4] Rolstad, J., Framstad, E., Gundersen, V. & Storaunet, K. O. (2002). Naturskog i Norge. Definisjoner, økologi, og bruk i norsk skog- og miljøforvaltning. – *Aktuelt fra skogforskningen 1-2002*. 1-53.
- [5] Jack-Scott, E. (2018). What do we know about wildfire attribution and climate change? [cited 15.03.2022]. Available from: <https://energyinnovation.org/2018/09/25/what-do-we-know-about-wildfire-attribution-and-climate-change/>
- [6] Rolstad, J., Blanck, Y.-L. & Storaunet, K. O. (2017). Fire history in a western Fennoscandian boreal forest as influenced by human land use and climate. *Ecological Society of America*, 87(2), 219-245. doi: 10.1002/ecm.1244
- [7] Almås, Å. R. *jord* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 15.01.2022; cited 09.03.2022]. Available from: <https://snl.no/jord>
- [8] Almås, Å. R., Kjeldsen, R. & Bedin, T. (2021, 26. april). *Jord og jordsmonn*. NDLA. [cited 19.06.2022]. Available from: <https://ndla.no/article/30089>
- [9] Bratberg, E. *jordsmonn* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 29.07.2019; cited 24.02.2022]. Available from <https://snl.no/jordsmonn>
- [10] Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In Springer, Dordrecht (Red.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third edition, p. 11-50). doi:10.1007/978-94-007-4470-7
- [11] Young, S. D. (2013). Chemistry of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In Springer, Dordrecht (Red.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third edition, p. 51-96). doi:10.1007/978-94-007-4470-7

- [12] Almås, Å. R. *humus* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 27.08.2021; cited 24.05.2022]. Available from <https://snl.no/humus>
- [13] Alloway, B. J. (2013). Introduction. In Springer, Dordrecht (Red.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third edition, p. 3-10). doi:10.1007/978-94-007-4470-7
- [14] Moe, I. M. D. (2015). *Kartlegging av forurensning i urbane løsmasser: Innhold av uorganiske miljøgifter of organiske forbindelser av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i overflatejord fra Trondheim – utvikling og sammenligning med undersøkelsen fra 1994* (Masteroppgave). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- [15] Wang, G., Zhang, Q., Ma, P., Rowden, J., Mielke, H. W., Gonzales, C. & Powell, E. T. (2008). Sources and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Soils: Case Studies of Detroit and New Orleans. *Soil and Sediment Contamination*, 17(6), 547-563. doi: 10.1080/15320380802425055
- [16] Weging, S. (2021). *Study of trace elements, natural organic matter and selected environmental toxicants in soil at Mitrahølvøya, to establish bias correction for studies of long-range atmospheric transported pollutants in Ny-Ålesund* (Masteroppgave). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- [17] Pettersen, A.-M. (2012). *Geokjemisk kartlegging av overflatejord i Sandnes og Stavanger: Identifisering av mulige kilder til arsen, tungmetaller, PAH og PCB i jord, og forslag til byjordsområder* (Masteroppgave). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- [18] Arbeidstilsynet (2020). Grunnlag for fastsettelse av grenseverdi: Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). [cited 17.07.2022]. Available from: <https://www.arbeidstilsynet.no/contentassets/e0c3d6ac910d43c1b15acbf4e83452ef/grunlagdokument-pah---horingsutkast-september-2020.pdf>
- [19] Merck. [cited 17.07.2022]. Available from: <https://www.sigmaaldrich.com/NO/en>
- [20] Sunding, P., Larsson, J. Y., Tomter, S. M. & Dalen, L. S. *skog* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 02.05.2022; cited 20.04.2022]. Available from: <https://snl.no/skog>
- [21] Hoover, K. & Hanson, L. A. *Wildfire Statistics* i *Congressional Research Service* på crsreports.congress.gov. [updated 11.07.2022; cited 22.03.2022]. Available from: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF10244>

- [22] Ellis, T. M., Bowman, D. M. J. S., Jain, P., Flannigan, M. D. & Williamson, G. J. (2021). Global increase in wildfire risk due to climate-driven declines in fuel moisture. *Global Change Biology*, 28(4), 1544-1559. Doi: 10.1111/gcb.16006
- [23] Bleken, E., Mysterud, I. & Mysterud, I. (1997). *Skogbrann og miljøforvaltning: en utredning om skogbrann som økologisk faktor*. Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern. ISBN: 8277680198
- [24] Bowman, D. (2018). Wildfire science is at a loss for comprehensive data. *Nature*, 560(7). doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05840-4>
- [25] Jain, P., Wang, X. & Flannigan, M. D. (2017). Trend analysis of fire season length and extreme fire weather in North America between 1979 and 2015. *International Journal of Wildland Fire*, 26(12), 1009-1020. doi: <https://doi.org/10.1071/WF17008>
- [26] Dalen, L. S. (2017, 27. februar). Skogbranner forteller en 700 år lang historie. *Forskning.no* [cited 19.04.2022]. Available from: <https://forskning.no/nibio-partner-skog/skogbranner-forteller-en-700-ar-lang-historie/362658>
- [27] Nilse, J. E., Thorsnæs, G. & Lauritzen, P. R. *Froland* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 18.03.2022; cited 17.03.2022]. Available from: <https://snl.no/Froland>
- [28] Skår, K. L. & Andersen, E. W. (2018, 9. juni). De trodde de hadde kontroll – så blusset brannen opp. *NRK.no* [cited 19.06.2022]. Available from: <https://www.nrk.no/sorlandet/xl/brannen-som-blusset-opp-og-aldri-sa-ut-til-a-stoppe-1.14068222>
- [29] Thorsnæs, G. & Lauritzen, P. R. *Birkenes* i *Store norske leksikon* på snl.no. [updated 18.03.2022; cited 19.06.2022]. Available from: <https://snl.no/Birkenes>
- [30] Olaussen, Y. (2018, 26. juli). Skogbrann i tre fylker. *Tv2.no* [cited 19.06.2022]. Available from: <https://www.tv2.no/a/9990124/>
- [31] Turnage, V. (2018, 26. Juli). Kraftig brann i Aust-Agder sprer seg. *Dagbladet.no* [cited 19.06.2022]. Available from: <https://www.dagbladet.no/nyheter/kraftig-brann-i-aust-agder-sprer-seg/70050284>
- [32] International Standard. (2006). *ISO 10381-5:2005 Soil quality – Sampling Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination*. Available from: <https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=210132>
- [33] Wagner, G. (1995). Basic approaches and methods for quality assurance and quality control in sample collection and storage for environmental monitoring. *The Science of*

- the Total Environment*, 176(1-3), 63-71. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04830-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04830-8)
- [34] Rubio, R. & Ure, A. M. (1993). Approaches to Sampling and Sample Pretreatments for Metal Speciation in Soils and Sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51(1-4), 205-217. doi: 10.1080/03067319308027626
- [35] Davidson, C. M. (2013). Methods for the Determination of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In Springer, Dordrecht (Red.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third edition, p. 97-140). doi:10.1007/978-94-007-4470-7
- [36] Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C. & Soil Survey Staff. (2012). Field book for describing and sampling soils. *Natural Resources Conservation Service, National Survey Center, Lincoln, NE* (Version 3.0).
- [37] Glomstad, B. (2010). *Utvikling av metode for bestemmelse av metylkvikksølv i ekstraherte og oppluttede prøver av sediment og biota ved hjelp av kalddamp atomabrospsjonsspektroskopi* (Masteroppgave). Universitet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- [38] Agilent. *ICP-MS Frequently Asked Questions: A Beginner's Guide to ICP-MS, ICP-MS analysis and basic mass spectrometry* på [agilent.com](http://www.agilent.com). [cited 02.05.2022]. Available from: <https://www.agilent.com/en/support/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry-icp-ms/icp-ms-instruments/what-is-icp-ms-icp-ms-faqs>
- [39] Mikkelsen, Ø. (2017). *ICP-MS og HR-ICP-MS* [Powerpoint lysbilder].
- [40] International Standard. (2016). *ISO 16171:2016 Slam, behandlet organisk avfall og jord – Bestemmelse av sporstoffer ved bruk av induktorkoplet plasma i massespektrometri (ICP-MS)*. Available from: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=871048>
- [41] Kettle, A. (2013). Use of Accelerated Solvent Extraction with In-Cell Cleanup to Eliminate Sample Cleanup During Sample Preparation. *Thermo Fischer Scientific, Sunnyvale, CA, USA*.
- [42] Lundstedt, S., van Bavel, B., Haglund, P., Tysklind, M. & Öberg, L. (2000). Pressurised liquid extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. *Journal of Chromatography A*, 883(1-2), 151-162. doi: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00419-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00419-2)

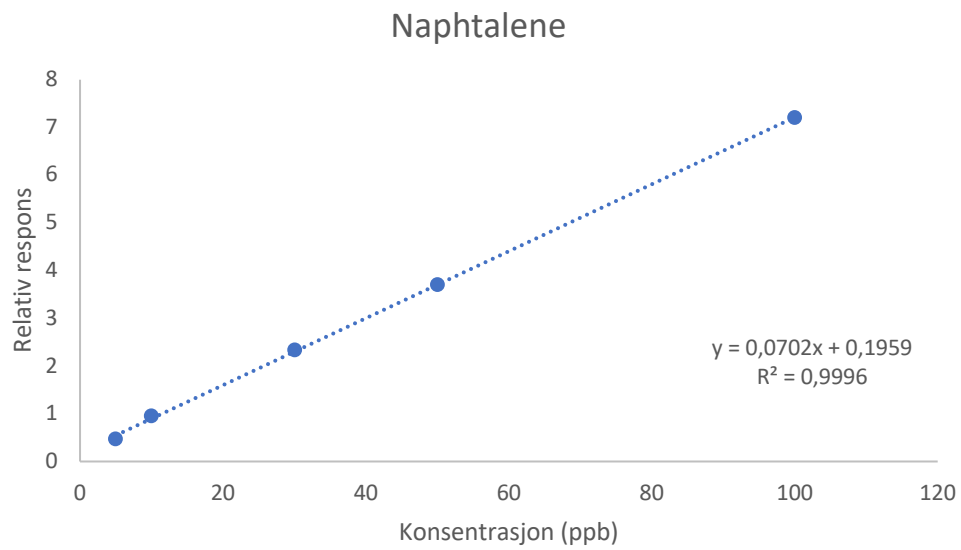
- [43] Dabrowski, L. (2015). Review of use of keepers in solvent evaporation procedure during the environmental sample analysis of some organic pollutants. *Trends in Analytical Chemistry*, 80(2016), 507-516. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2015.10.014>
- [44] Biotage AB. Turbovap® II User`s Manual. [cited 04.05.2022]. Available from: http://www.jysco.com/archives/Biotage/TurboVap_II/TurboVap_II_users_manual.pdf
- [45] Thermo Fischer Scientific. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Information* på thermofischer.com. [cited 04.05.2022]. Available from: <https://www.thermofisher.com/no/en/home/industrial/mass-spectrometry/mass-spectrometry-learning-center/gas-chromatography-mass-spectrometry-gc-ms-information.html>
- [46] Stanley, C., Douglas, S., Holler, F. & West, D. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (9th ed). Brooks/Cole.
- [47] Microsoft. *Opprette et boksdigram* på support.microsoft.com. [cited 06.06.2022]. Available from: <https://support.microsoft.com/nb-no/office/opprete-et-boksdigram-62f4219f-db4b-4754-aca8-4743f6190f0d>
- [48] Kreiley, A. (2020). Spatial and Temporal Variability of the Saline Intrusion in the Lower Charles River. *ResearchGate*. doi: 10.13140/RG.2.2.27771.34087
- [49] Forgács, E. & Cserháti, T. (2003). CHROMATOGRAPHY | Principles. I Caballero, B., Finglas, P. & Toldrá, F. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, (1259-1267). doi: 10.1016/B0-12-227055-X/00230-3
- [50] Niessen, W.M.A. (Ed.). (2001). *Current Practice of Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (1st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9780367801274>
- [51] Luthe, G., Ramos, L., Dallüge, J. & Brinkman, U. A. Th. (2003). Monofluorinated analogues of polycyclic aromatic hydrocarbons as internal standards for GC-MS in environmental analysis. *Chromatographia*, 57, 379-383. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02492411>
- [52] MacDougall, D., Crummett, W. B. Et al. (1980). Guidelines for Data Acquisition and Data Quality Evaluation in Environmental Chemistry. *Analytical Chemistry*, 52(14), 2242-2249. doi: 10.1021/ac50064a004
- [53] Wells, G., Prest, H. & Russ, C. W. (2011). *Singal, Noise and Detection Limits in Mass Spectrometry*. Wilmington, US. Available from: <https://www.agilent.com/cs/library/technicaloverviews/Public/5990-7651EN.pdf>

- [54] Armbruster, D. A. & Pry, T. (2008). Limit of blank, limit of detection and limit of quantification. *The Clinical biochemist. Reviews* 29, Suppl 1. Suppl 1, S49-S52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18852857/>
- [55] Frøslie, K. F. *korrelasjon i Store norske leksikon* på snl.no. [updated 27.01.2022; cited 08.07.2022]. Available from: <https://snl.no/korrelasjon>
- [56] Abdi, H. & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *WIREs Computational Statistics*, 2(4), 433-459. doi: <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- [57] Peckenham, J., Kahl, S. & Mower, B. (2003). Background Mercury Concentrations in River Water in Maine, U.S.A. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89(2), 129-152. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026077824228>
- [58] Beckius, J. (2014). *Kunnskapsinnhenting – metylkvikksølv i sedimenter*. (Rapport M-266, 2014-1201, Rev. 0). Miljødirektoratet.
- [59] Papazotos, P., Perraki, M. & Vasileiou, E. (2019). *Chromium-manganese redox couple resulting in elevated Cr6+ concentration in groundwater of the Psachna basin, Central Euboea, Greece*. 15th International Congress of the Geological Society of Greece. Available from: https://www.researchgate.net/publication/333647798_Chromium-manganese_redox_couple_resulting_in_elevated_Cr6_concentration_in_groundwater_of_the_Psachna_basin_Central_Euboea_Greece
- [60] Uren, N. C. (2013). Cobalt and Manganese. In Springer, Dordrecht (Red.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Third edition, p. 355-366). doi:10.1007/978-94-007-4470-7
- [61] Bryhni, I. *Chalkofanitt i Store norske leksikon* på snl.no. [updated 21.11.2021; cited 21.07.2022]. Available from: <https://snl.no/chalkofanitt>
- [62] Høgberget, R. (2010). *Skogbrannen i Mykland 2008. Resultater etter to års oppfølging av kjemiske effekter i vann*. (NIVA 5979-2010). Norsk institutt for vannforskning. ISBN 978-82-577-5714-4
- [63] Ruus, A., Arp, H. P., M-P-Oen, A., Grung, M. & Breedveld, G. (2015). *PAH i forurenset sediment: Utredning av egnethet av PAH-komponenter/grupperinger for vurdering av tiltaksbehov*. (NIVA 6927-2015). Miljødirektoratet. ISBN 978-82-577-6662-7

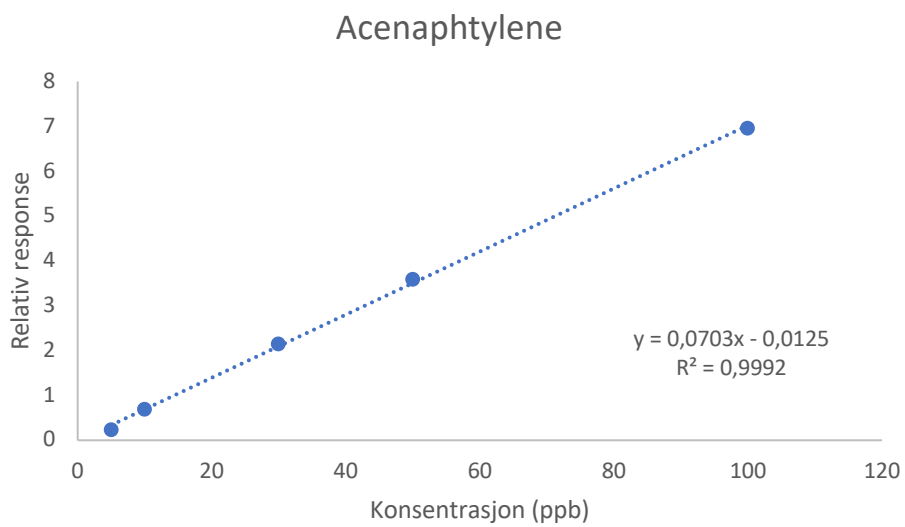
8 Vedlegg

Vedlegg 1: Kalibreringskurver for PAH målanalytter

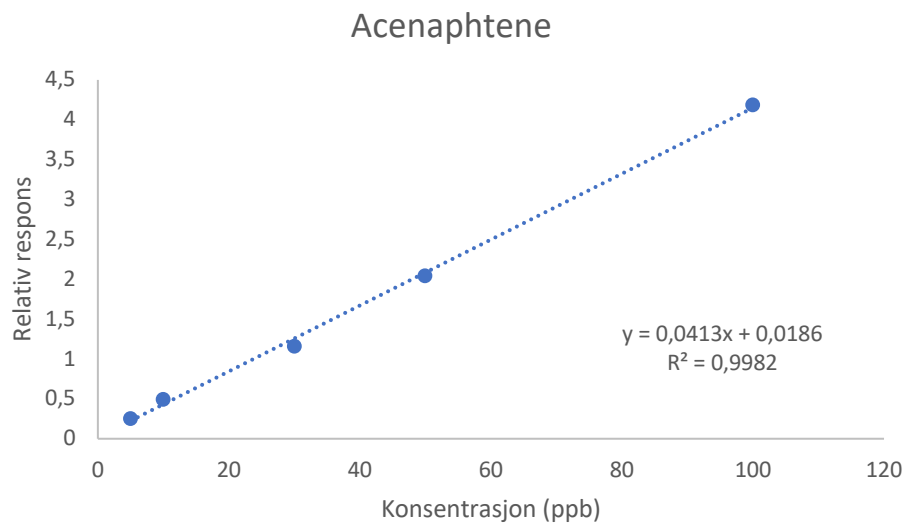
Vedlegg 1: Kalibreringskurver for PAH målanalytter



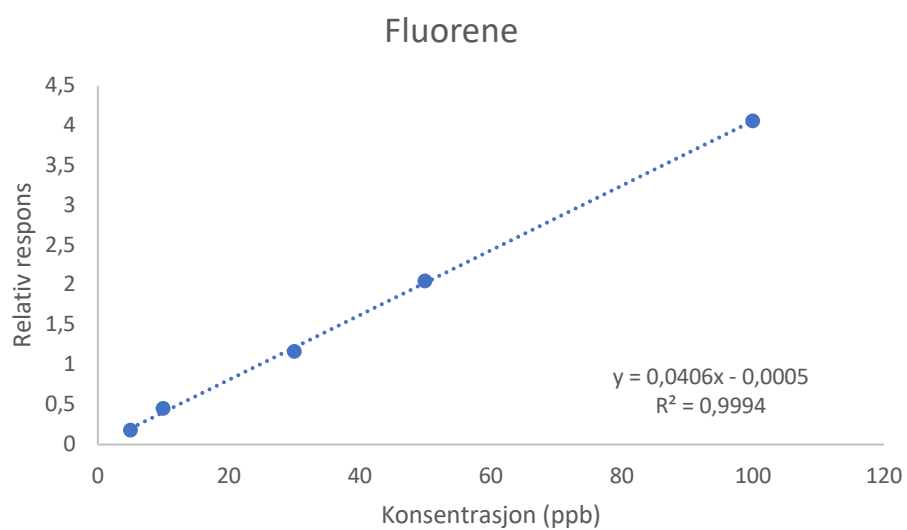
Figur 8.1.1: Kalibreringskurve for naphtalene basert på relativ respons.



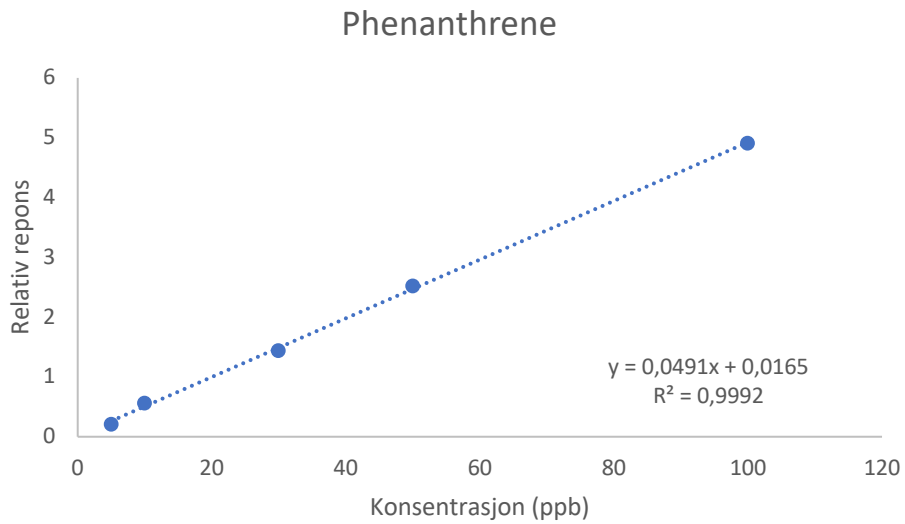
Figur 8.1.2: Kalibreringskurve for acenaphtylene basert på relativ respons.



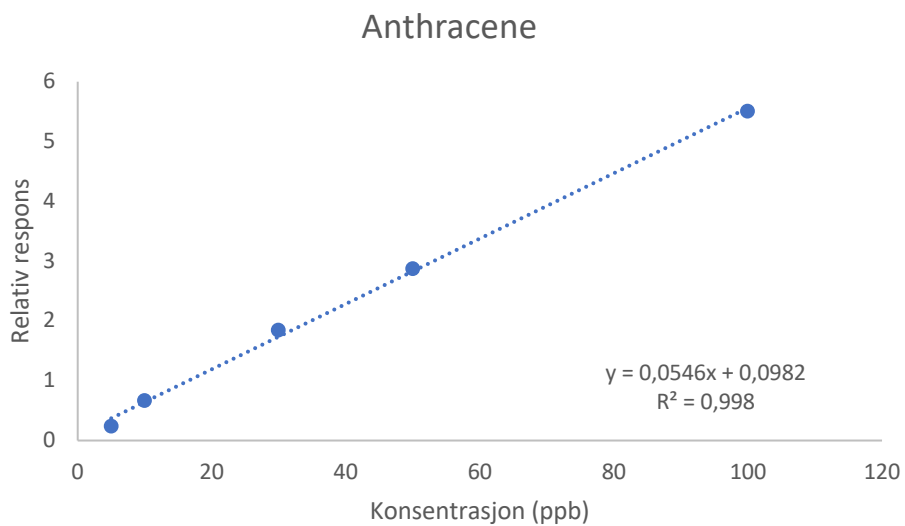
Figur 8.1.3: Kalibreringskurve for acenaphtene basert på relativ respons.



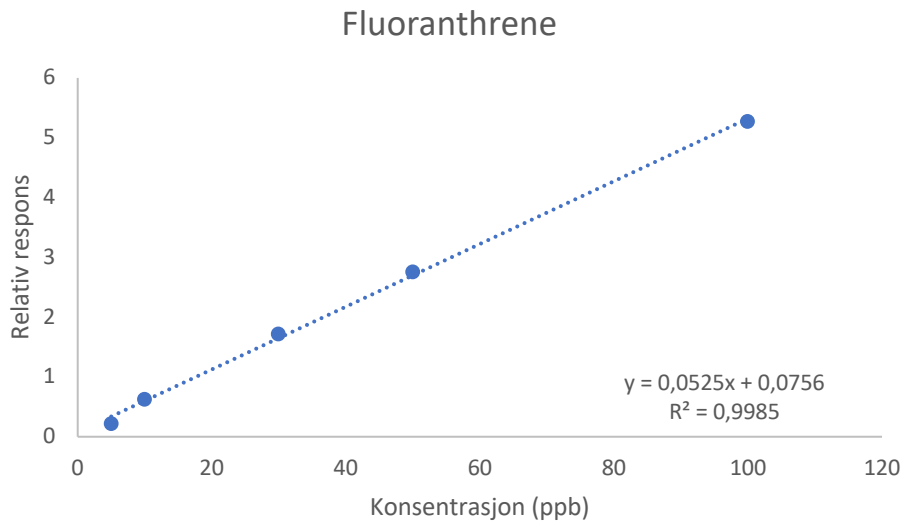
Figur 8.1.4: Kalibreringskurve for fluorene basert på relativ respons.



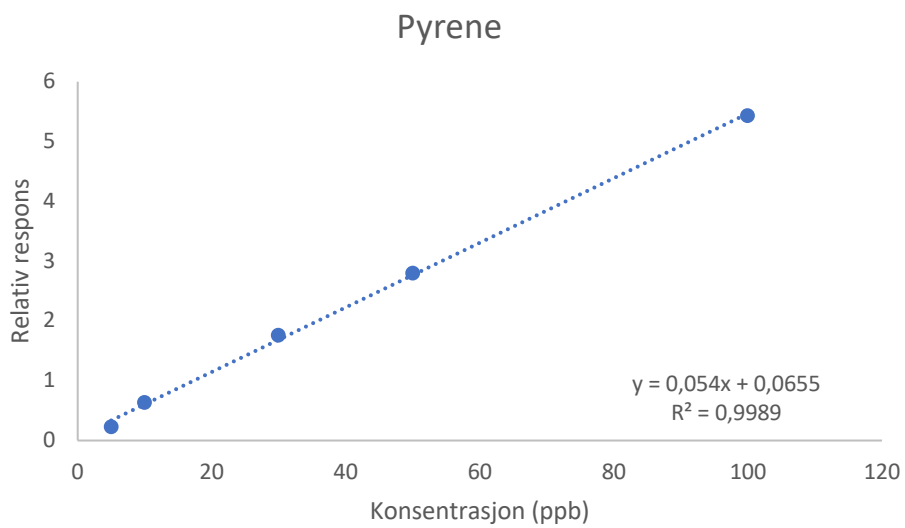
Figur 8.1.5: Kalibreringskurve for phenanthrene basert på relativ respons.



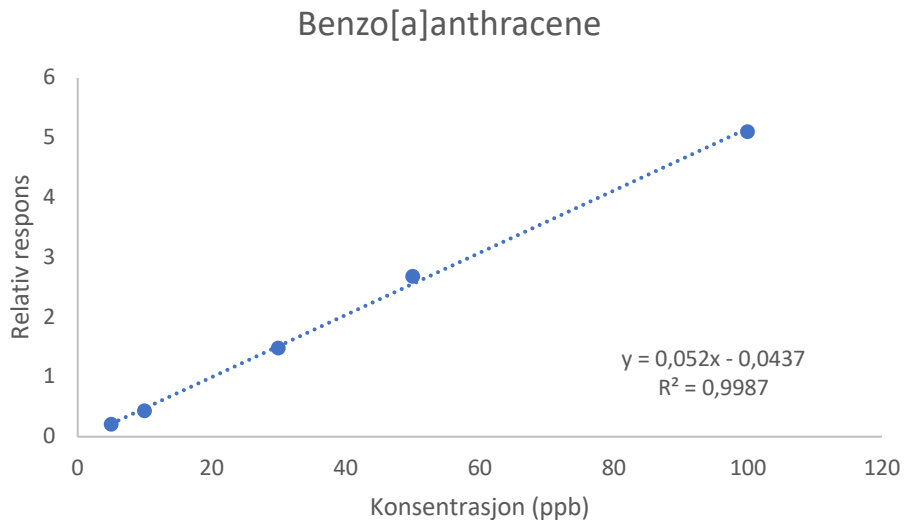
Figur 8.1.6: Kalibreringskurve for anthracene basert på relativ respons.



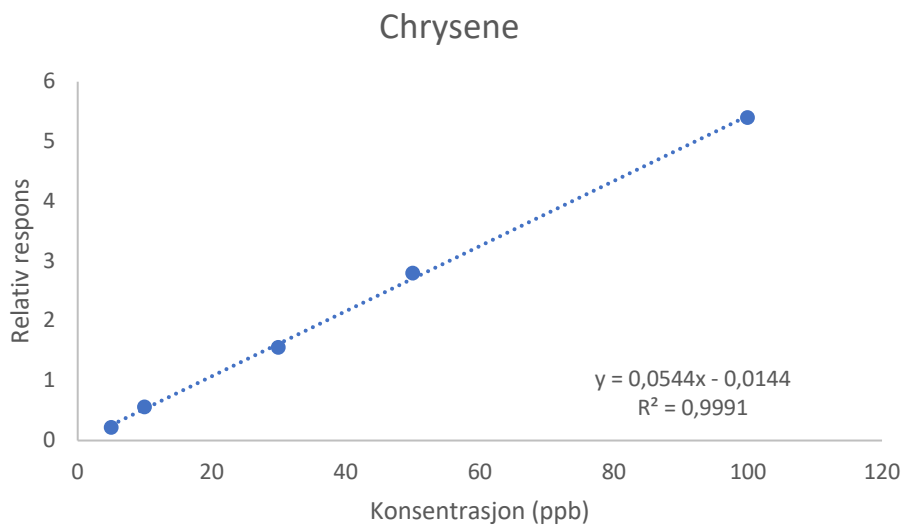
Figur 8.1.7: Kalibreringskurve for fluoranthrene basert på relativ respons.



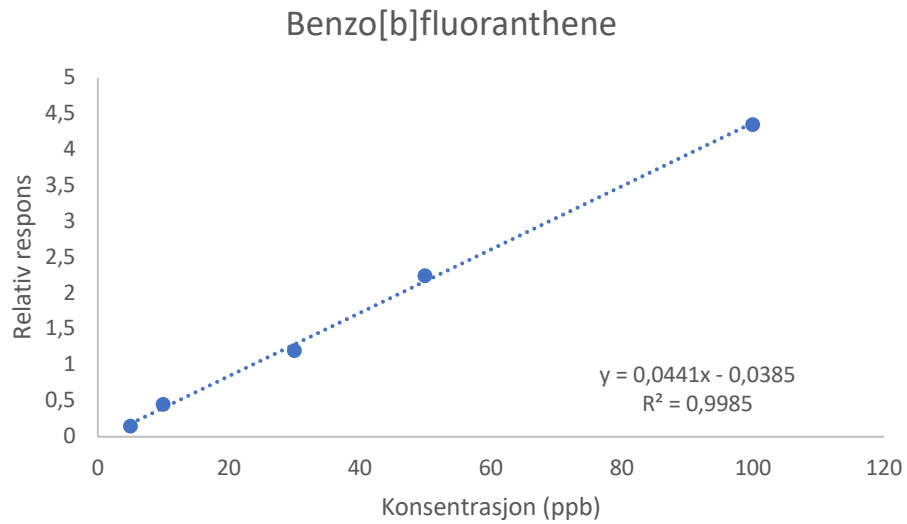
Figur 8.1.8: Kalibreringskurve for pyrene basert på relativ respons.



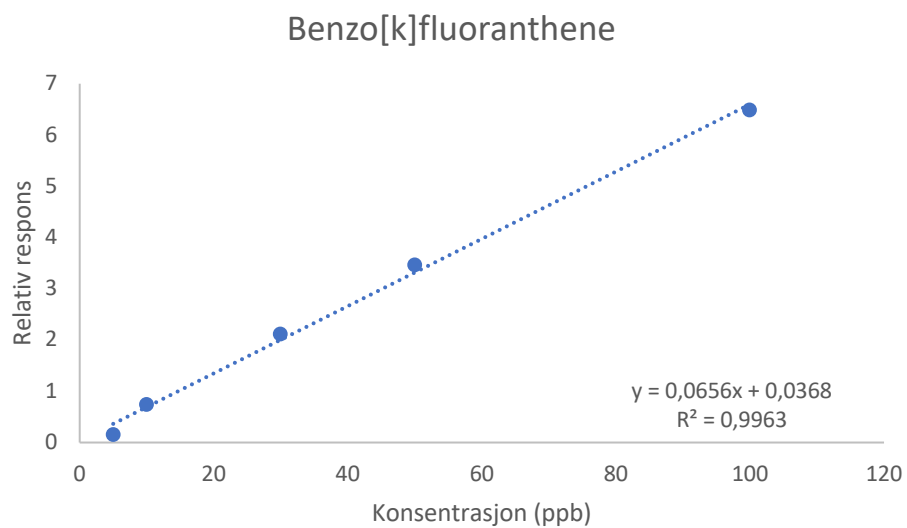
Figur 8.1.9: Kalibreringskurve for benzo[a]anthracene basert på relativ respons.



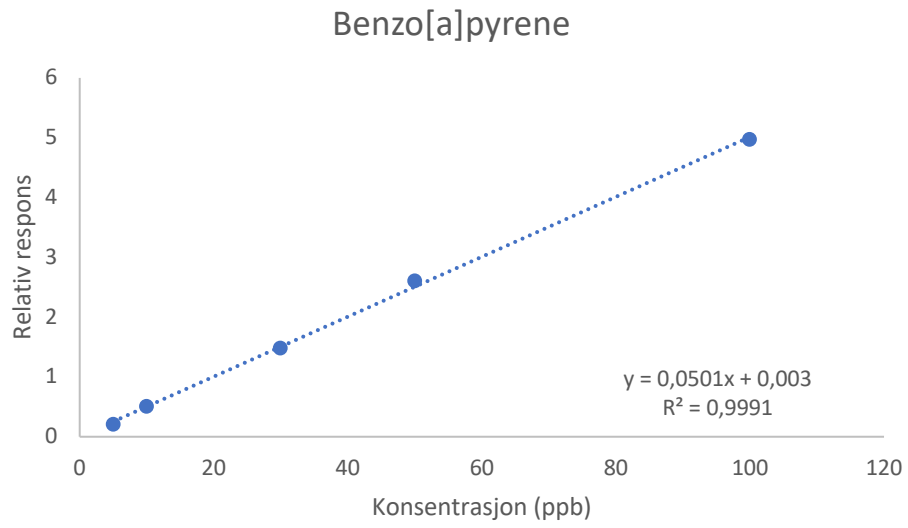
Figur 8.1.10: Kalibreringskurve for chrysene basert på relativ respons.



Figur 8.1.11: Kalibreringskurve for benzo[b]fluoranthene basert på relativ respons.



Figur 8.1.12: Kalibreringskurve for benzo[k]fluoranthene basert på relativ respons.



Figur 8.1.13: Kalibreringskurve for benzo[a]pyrene

