Utbygging
Fagressurser Utbygging
Geofag Utbygging
11.02.2026

Statens vegvesen

Syrepotensial og metallmobilisering på E6 Svenningelv–Lien

FoUI MilGRO
Sølvgruver, tungmetall og syredannende berg i vegtrasé

STATENS VEGVESENS RAPPORTER Nr. 1107

Foto: Finn Sverre D. Karlsen

Tittel
Syrepotensial og metallmobilisering på E6 Svenningelv–Lien

Undertittel
FoUI MilGRO: Sølvgruver, tungmetall og syredannende berg i vegtrasé

Forfatter
Per Hagelia og Finn Sverre D. Karlsen

Avdeling
Fagressurser Utbygging

Seksjon
Geofag Utbygging

Prosjektnummer
VVB12055-013

Rapportnummer
1107

Prosjektleder
Finn Sverre D. Karlsen

Godkjent av
Lene Sørlie Heier og Marte Eik Skrede

Emneord
miljøgeologi, sulfider, karbonater, metallmobilisering, pH, vann

Sammendrag
Sur avrenning og metallutlekking fra gamle Svenningdal gruver var venta i forbindelse med bygging av nye E6 Svenningelv - Lien i Grane kommune på Helgeland. Resultatene viser så langt at dette ikke er et problem av betydning fordi at en i liten grad kom i berøring med gruvemasser og at dolomittisk kalkstein og marmor bidro til nøytralisering.

FoUI MilGRO la vekt på vannkjemiske og mineralogiske undersøkelser. Sulfidmineralene arsenkis, sinkblende og blyglans er de mest vanlige gjenværende sulfidmineralene i gruveområdet. Undersøkelsen har avdekket flere mineraler som til nå ikke er rapportert fra Svenningdal.

Title
Acid Potential and Metal Mobilization along the E6 Svenningelv–Lien

Subtitle
R&D&I MilGRO: Silver Mines, Heavy Metals, and Acid-Generating Rock in Road Alignments

Author
Per Hagelia and Finn Sverre D. Karlsen

Department
Planning and Engineering Services

Section
Geology and geotechnics

Project number
VVB12055-013

Report number
1107

Project manager
Finn Sverre D. Karlsen

Approved by
Lene Sørlie Heier and Marte Eik Skrede

Key words
environmental geology, sulphides, carbonates, water, pH, toxic metals

Summary
Acid runoff and metal leaching from Svenningdal mines were expected during construction of new E6 in Grane, Helgeland, Norway. The results so far show that this is not a significant problem because there has been little contact with the mine leftovers and that widespread dolomitic limestone and marble contribute to neutralization.

FoUI MilGRO has emphasized on water chemistry and mineralogical investigations. The sulfide minerals arsenite, sphalerite and galena are the most common remaining sulfide minerals. The investigation has also revealed several minerals, not yet reported from Svennigdal.

Antall sider 84

Pages 84

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING 5
1.1 Bakgrunn 5
1.2 Miljøgeologisk problematikk 7
1.3 FOUI-prosjektet MilGRO 7
1.4 Hensikt med rapporten 8
2 TIDSLINJE 10
2.1 Innledning 10
2.2 Tidslinje til prosjektet 11
3 GEOLOGI 13
3.1 Geologisk oversikt 13
3.2 Miljøgeologisk feltkartlegging vår og sommer 2021 13
3.3 Berggrunnsgeologi 13
3.4 Strukturgeologi 14
3.5 Malmgeologi 15
3.6 Konklusjoner i mai 2021 17
3.7 Feltgeologisk oppfølging av anleggsfasen – 2022 18
3.7.1 Feltobservasjoner perioden 20 – 22.6.2022 i og ved BS2 18
3.7.2 Prøver for MilGRO 21
3.7.3 Løsmassesone og ekstremt svakt berg i Bergåstunnelen 21
4 UTSLIPPSTILLATELSE OG TILTAKSPLAN 23
4.1 Bakgrunn 23
4.2 Grenseverdier for vann 24
4.3 Tiltaksplanen for Massehåndtering og deponering 27
4.3.1 Innledning 27
4.3.2 Boring ved BS2 og totalkjemisk analyse 28
4.3.3 Møte med Statsforvalter om grenseverdier for syredannende berg 30
4.3.4 Tiltaksplan for overvåkning av uttak i BS2 30
4.3.5 Ønska håndtering av sprengsteinsmasse fra BS2 30
4.4 Massehåndtering og monitorering av vann slik det er praktisert 31
4.4.1 Massetransport fra bergskjæring BS2 31
4.4.2 Monitorlokaliteter for vannanalyser 33
5 RESULTATER OG DISKUSJON 34

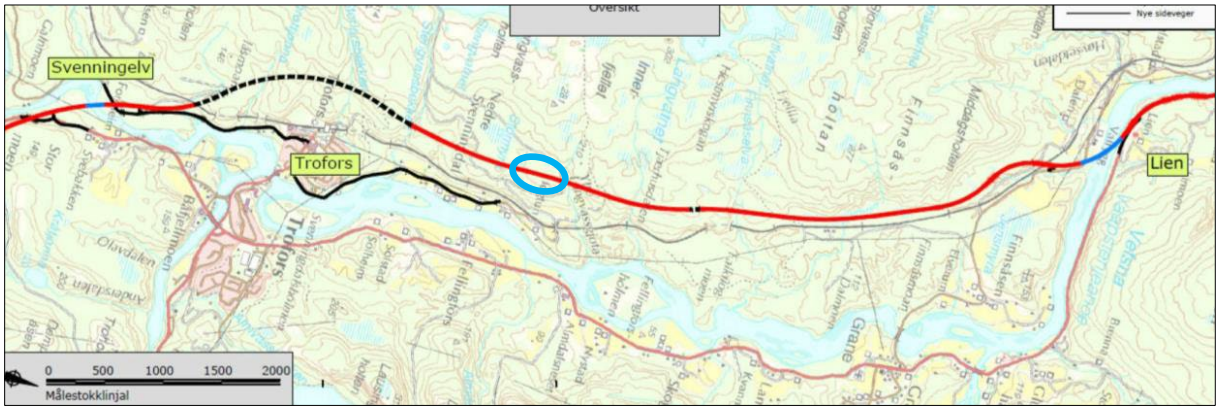
5.1 Vannprøver ... 34
5.1.1 Innledning ... 34
5.1.2 Vannprøver fra forprosjektet ... 34
5.1.3 Vannprøver fra anleggsfasen ... 36
5.2 Vannprøver fra anleggsfasen utført av MilGRO ... 40
5.2.1 Vannprøver fra anleggsveg ved Svenningdal gruver, profil 9000-9050 ... 40
5.2.2 Vannprøver sør for BS2 ved profil 8550 og 8560. ... 44
5.3 Analyse med HH XRF på utvalgte MilGRO-prøver ... 46
5.4 Mineralidentifikasjon og mineralkjemisk analyse ved XRD og SEM ... 48
5.4.1 XRD-analyse utført av Sweco ... 48
5.4.2 XRD-analyse utført av LNS/NGI ... 49
5.5 XRD og SEM utført i MilGRO ... 50
5.5.1 Innledning ... 50
5.5.2 XRD analyser ... 51
5.5.3 SEM analyser ... 54
5.6 Statisk utlekkingstest på prøver med kjent kjemi og delvis kjent mineralogi ... 66
5.6.1 Serie 1 ... 67
5.6.2 Serie 2 ... 67
5.6.3 Analyse av vann fra Serie 1 og vurdering av metallpotensiale ... 68
5.7 Oppsummering ... 74
5.7.1 Utlekkingstesten ... 74
5.7.2 Monitorlokalitetene ... 74
5.8 AP og NP vurdert i lys av utlekkingstesten ... 75
6 HOVEDKONKLUSJONER ... 78
7 REFERANSER ... 79
8 VEDLEGG ... 84

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

E6 Svenningelv – Lien går flere år tilbake og ble bestemt lagt på vestsida av elva Vefsna og Trofors på Helgeland i Nordland. Etter litt justeringer av trasé mellom 2010 og 2019 og pga. løsmasseforhold, blei den endelige traséen bestemt slik den er vist på figur 1 fra reguleringsplanen (Statens vegvesen (SVV) 2020). Reguleringsplanen for prosjektet blei vedtatt i Grane kommune 24 juni 2021. Forut for denne ble det bl.a. utført undersøkelser av naturmangfold (Miljøfaglig Utredning AS, 2019) og utarbeidet en fagrapport om naturverdier (Statens vegvesen 2020).

I denne rapporten er det detaljerte beskrivelser om geokjemi og lange navn. For å gjøre stoffet lettere for leseren, og å forstå utredninger osv, har vi lagt til periodesystemet, kjemiformler og fulle navn i hhvis Vedlegg 7 og 8.

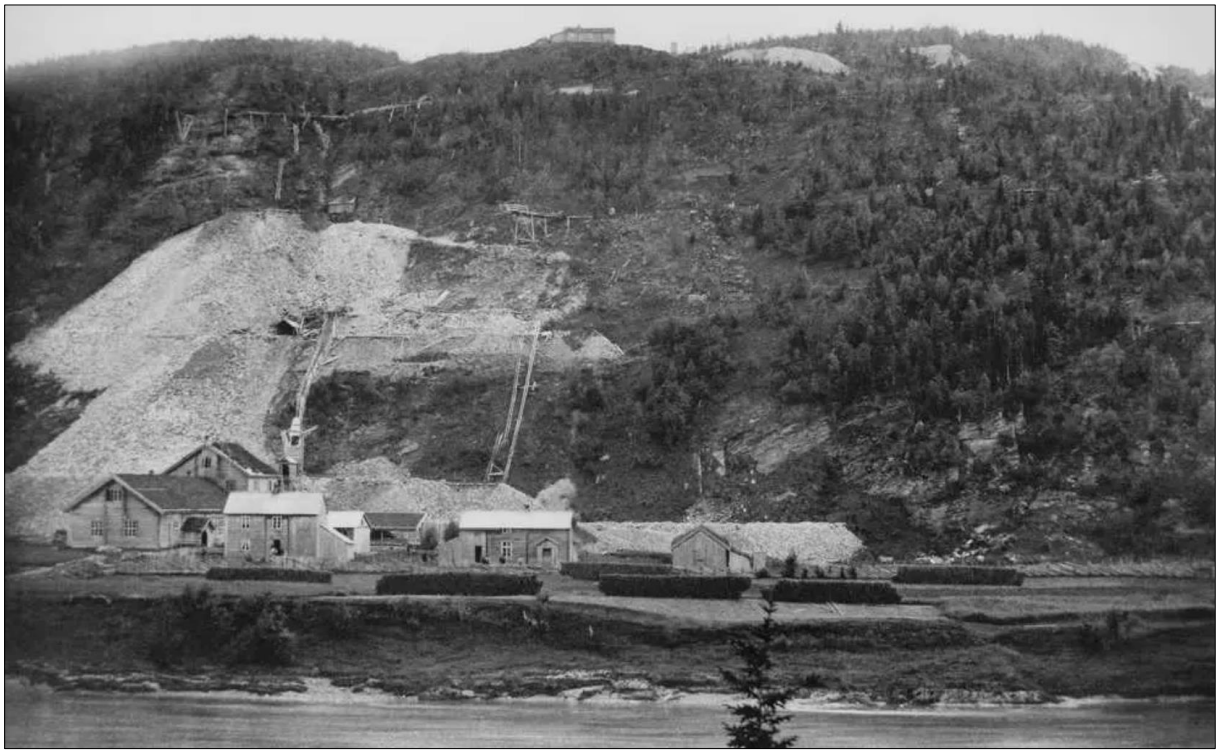


Figur 1: Oversiktskart til prosjektet [2]. Blå ring markerer ca. plassering av BS2. Ill: Statens vegvesen.

I planområdet til prosjektet, nærmere bestemt i bergskjæring 2 (BS2), befinner de nedlagte Svenningdal Sølvgruber seg, figur 1, 2. På seint 1800-tall var Svenningdal Sølvgruber Norges nest største sølvgruver og Norges største arbeidsplass, figur 3. Den planlagte BS2 utgjør om lag 250 meter av prosjektet.

Figur 2: Nordre del av prosjektet med Vefsna t.h. Blå ellipse er ca. plassering der Svenningelv Sølvgruber lå og der BS2 er planlagt. Ill: Statens vegvesen.

De gamle sølvgruvene kunne komme til å by på både miljøgeologiske og ingeniørgeologiske utfordringer. Da traséen var endelig vedtatt, blei det nødvendig å få gjort detaljerte og grundige grunnundersøkelser som geologiske og geokjemiske kartlegginger før byggefasen. De 250 kritiske meterne til BS2 ligger i profil 8810 – 9060. BS1 og BS3 krysser også områder med tidligere gruvedrift. Flere bekker krysser gjennom anleggsområdet og renner ut i lakseelva Vefsna like nedenfor.



Figur 3: Foto fra ca. 1887 av Svenningelv Sølvgruber. Merk de store tippene (Helgeland Museum, 2024).

1.2 Miljøgeologisk problematikk

Det ble tidlig klart at etablering av bergskjæringer gjennom gruvene i Svenningdal ville kunne gi sur avrenning og mobilisering av tungmetaller til bekker som renner ned mot Vefsna. Ifølge NGU (1976) er malmen i Svenningdal svært kompleks og fører kanskje opp til 30 ulike mineraler rike på tungmetaller som bly (Pb), sink (Zn), arsen (As), kobber (Cu) og antimon (Sb). Sulfidene svovelkis (pyritt, FeS_2), arsenkis (arsenopyritt, FeAsS), sinkblende (sphaleritt, ZnS), blyglans (galena, PbS), kobberkis (chalcopyritt, $CuFeS_2$), fahlerts $(Cu,Fe)_{12}(Sb,As)_4S_{13}$) og meneghinite ($Pb_{13}CuSb_7S_{24}$) forekommer i store mengder. Mineralet jamesonitt ($Pb_4FeSb_6S_{14}$) finnes i tilknytning til fahlerts (Neumann, 1985). Gruva leverte 18 tonn sølv og 37 kg gull.

Sølvet forekommer som sporstoff i blyglans og fahlerts, men også i mindre mengder av sølvholdige antimonider som pyrargyritt, Ag_3SbS_3 og dyscrasitt, Ag_3Sb. I følge Mindat.org forekommer også bly-, arsen- og antimonførende sulfider, samt karbonatene cerussitt (PbCO3) og ankeritt ($Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2$ og sulfatene anglesitt (PbSO4) og barytt (BaSO4). Malmmineralene er avsatt i kvartsrike ganger som er dannet hydrotermalt (NGU 1976, Birkeland mfl. 1993).

Undersøkelser utført av SVV (2021) viste en god del rustskorper dannet ved forvitring eller hydrotermal omvandling i områdene ved de gamle malmårene.

Mineralene i rustskorpene er så vidt vi har kunne bringe på det rene, ikke beskrevet tidligere.

Det er vel etablert at mineraler dannet ved oksidasjon av sulfidmineraler inneholder tungmetaller. Noen av disse er lettløselige og kan danne syre og føre til utlekking av tungmetaller (Hammarstrom og Smith, 2002). Kalksteiner og marmor er utbredt i planområdet til E6 Svenningelv – Lien – dei representerer en viktig pH-buffer.

1.3 FOUI-prosjektet MilGRO

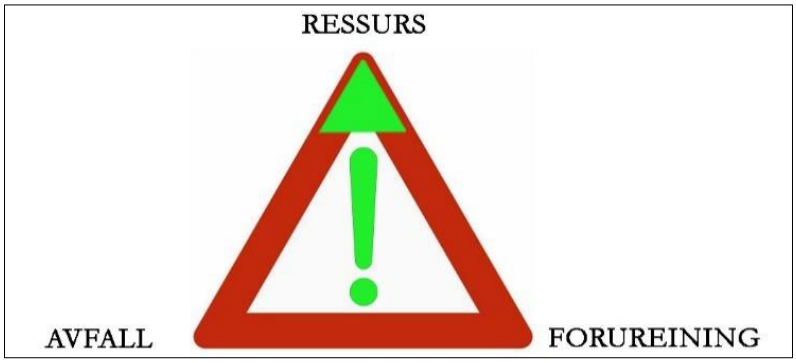
I januar 2022 fikk Geofag Utbygging midler til et FoUI-prosjektet. MilGRO, Miljøgeologisk riktig planlegging og bygging, blei etablert for å brukes i aktive anlegg der geologiske, miljøfaglige og ressursfaglige vurderinger er sentrale (Statens vegvesen 2022, Forskning.no 2023). Prosjektet fokuserer på bergmasse som ressurs og som problem, for å få en mer optimal forvaltning ved *riktig bruk av berg*. MilGRO har sammenheng med andre forskningsprosjekt om bærekraft i Statens vegvesen (Forskning.no):

- Nedføringsløsninger for bruk ved deponering av masser på store dyp.
- Partikkelforurensning i anleggsprosjekt – effekter og tiltak.

Daglige erfaringer fra våre utbyggingsprosjekt danner avgjørende og viktig grunnlag for å lære om hvordan vi best mulig må handtere problem- og ressursgrunn. Med MilGRO har vi tatt utgangspunkt i utbyggingsprosjekt med konkrete miljøgeologiske utfordringer. MilGROs mål er å vise hvordan miljøgeologiske undersøkinger kan nytte seg av prosjektenes

berggrunn for å redusere kostnader og miljøpåvirkninger i Statens vegvesens prosjekt. MilGRO tar sikte på å sammenstille miljøgeologiske data fra utvalgte vegprosjekter, for på den måten å imøtekomme miljølovgivningen. Det blir også lagt vekt på å kartlegge geologisk arv og mangfold mht. undervisnings- og vitenskapelige formål (Statens vegvesen, 2021). MilGRO bidrar derfor positivt for at Statens vegvesen oppnår sine mål og ambisjoner med sin miljøpolicy (Vegvesen.no, 2023). Detaljkunnskap om grunnforhold er kritisk for alle vegprosjekter, da slik kunnskap alltid vil være viktig med tanke på kostnader, risiko, kvalitet og HMS. Grundig miljøgeologisk (for)arbeid vil bidra til at prosjekt planlegges, bygges og driftes kostnadseffektivt og miljøsmart.

En viktig oppgave i FOUI-prosjektet er å forstå hvordan forskjellig geologi, mineralogi og geokjemiske egenskaper påvirker lokale vannressurser og resipienter. Også identifisering og lokalisering av bergarter med egnede materialegenskaper med hensyn til bruk som steinmaterialer og tilslagsformål står sentralt. MilGRO har derfor introdusert «Den miljøgeologiske varseltrekanten» (Statens vegvesen, 2022).



Et relevant og pågående utbyggingsprosjekt med konkrete miljøgeologiske utfordringer var prosjektet E6 Svenningelv – Lien. Prosjektet ble valgt som forskningsområde for MilGRO på grunn av potensialet for syredannelse og metallmobilisering fra et gruveområde med kompleks malmgeologi. Statens vegvesen/MilGRO har utført egne undersøkelser og analyser som oppsummeres sammen med resultater fra rådgiver og totalentreprenør.

1.4 Hensikt med rapporten

Hensikten med rapporten er å dokumentere arbeidet med miljøgeologiske problemstillinger som er utført i forbindelse med planlegging og gjennomføring av E6 Svenningelv-Lien. Rapporten oppsummerer sentrale resultater fra deltakende rådgivere, Statens vegvesen og FOUI prosjektet MilGRO. E6 Svenningelv – Lien er et eksempel på hvordan forskning og utvikling kan utføres i et vegprosjekt, bidra konstruktivt til miljøstyring i Statens vegvesen for oppfylling av Norges klima og miljømål i henhold til FN sine bærekraftsmål. Rapporten fokuserer på følgende tema:

- Gi en oversikt over miljøgeologiske problemstillinger og arbeidet med utslippstillatelsen og tiltaksplanen.
- Gjennomgang av vannkjemiske data fra forundersøkelsen og anleggsfasen for å avdekke sammenhenger mellom pH-utvikling og tungmetallutlekking.

- Utføre totalkjemisk analyse og mineralidentifikasjon for å avklare hvordan sulfider, rustskorper og kalksteiner påvirker pH-utvikling og tungmetallutlekking.
- Utføre statiske utlekkingstester for å avklare hvordan prøver med forskjellig mineralsammensetning påvirker pH og vannkjemi.
- Sammenlikne faktisk målte pH-verdier i utlekkingstesten med syrepotensial basert på totalt svovelinnhold fra håndholdt XRF, og vurdere treffsikkerheten til Miljødirektoratets veileder M-310.

2 TIDSLINJE

2.1 Innledning

Undersøkelsene for reguleringsplanen startet opp i 2019. SVV utførte geologisk kartlegging og forundersøkelser for tunneler og bergskjæringer (Statens vegvesen 2019a, 2019b). Reguleringsplan ble vedtatt i Grane kommunestyre 24. juni 2020. Vurdering av problematikk knyttet til miljøgeologiske tiltak ble utført av Sweco for SVV (Sweco 2021a), geologer fra Statens vegvesens (2021) og senere av NGI som konsulent for totalentreprenør LNS, inklusive svar til reguleringsplanen (LNS/NGI 2022). Det ble etablert monitorlokaliteter for analyse av vann i bekker som drenerer ned mot Vefsna. Prøver fra vann og berg er samlet inn og analysert i flere omganger og omfatter også undersøkelser utført i MilGRO. Resultatene er presentert og sammenstilt i kapittel 5. Tabell 1 gir en oversikt over aktiviteter, prøvetaking og rapporter i prosjektet fra tidlig reguleringsplan og inn i anleggsfasen.

Bergskjæringene fra sør - nord heter BS1, BS2 og BS3. Det er BS2 som går gjennom de gamle gruvene, figur 4. BS2 ble satt i geoteknisk kategori 3 med utvida prosjekteringskontroll. Deler av BS2-massene var potensielt syredannende og eksponert for vann og luft ville de kunne bidra til avrenning av tungmetaller og lav pH.

Potensialet for syredannelse og metallmobilisering i BS2 tilsa krav om deponeringsplikt for deler av masser som ble uttatt, jfr. forurensningsloven. Sweco (2021a, b) foreslo å benytte lokal kalkstein som pH-buffer. Slik prosjektledelsen så det, måtte spesielt punktene 1, 2, 3 under avklares før endelig et vedtak av reguleringsplanen.

1. Avklare potensiale for sur avrenning og metallmobilisering fra sulfidførende og forvitra bergarter, spesielt ved og omkring BS2.

2. Lage et konsept for eventuell lagring i deponi av bergarter beskrevet i nr. 1.

3. Stabilitetsproblematikk knytta til BS2 spesielt i områder der gamle gruveganger (stoller og sjakter) krysser vegtraséen.

4. Lokalisere bergarter til vegteknologiske formål og utføre Los Angeles, Micro Deval og flisighetstest. Granittgneisen, som ble antatt å representere best egnet berg til vegteknologisk formål, har størst utbredelse vest for planlagt vegtraséen.

5. Supplerende prøvetakinger for geokjemisk-mineralogisk analyse av bergprøver og påvirkning av ulike bergarter på vannkvaliteten.

2.2 Tidslinje til prosjektet

Tabell 1. *E6 Svenningelv – Lien. Tidslinje for aktiviteter, prøvetaking, rapporter og saksgang. Egen regi (SVV), konsulent (Sweco), FoU-prosjekt i SVV (MilGRO), Totalentreprenør/konsulent (LNS/NGI).*

År	***Aktivitet***	***Prøver/analyse***	***Rapporter/dokument***	***Saksgang vegprosjektet/tema***
2019	SVV: Geologiske forundersøkelser for reguleringsplan, forberedende entrepriser og tiltaksplan.	Visuell undersøking av blottlagt berg og bergprøver	Geologiske rapporter om bergskjæringer og tunnel (Statens vegvesen 2019a,b)	SVV: Behov for nøyaktig lokalisering av områder med tungmetall- og syrepotensial
2020	SWECO: Oppstart undersøking av forurensa berg. Reguleringsplanen i sluttfasen	SWECO: Kjemisk analyse av vann og berg.	SWECO: Foreløpig rapport vs. forurensa berg og tiltak (Sweco 2021a). SVV: Reguleringsplanrapport ferdig.	**Reguleringsplan vedtatt** 24. juni. Grane kommune
2021	SVV: 5-7.05: Geologisk detaljkartlegging, profil 8240 – 9545 område med tungmetall, syrepotensial og grense mot kalkstein og granittisk gneis. Prøvetaking.	SVV: Oppstart mineral-analyse; prøver av berg og forvitring (SVV, Naturhistorisk museum)	SVV: 16.06: Geologisk notat om innledende analyser av mineraler og pH og geologisk detaljkart (Statens vegvesen 2021).	SVV: Status etter feltarbeid og analyse: forvitring gir pH = 5: Funn av sulfid med. As, Sb, Pb, Zn, Ni (Statens vegvesen 2021).
	SWECO: Arbeider med miljøgeologisk rapport grunnlag for grenseverdier og tiltaksplan	SWECO: Analyse av vann og bergprøver før anleggsstart	SWECO: (2021a): Endelig rapport. 22.06.	SWECO: (2021b): **Tiltaksplan**, forslag om håndtering og grenseverdier
				Utslippstillatelse fra Statsforvalteren (23.06.) basert på SWECO (2021a)
				Kontraktsignering 24.09 mellom LNS og SVV.

2022	01.01: Oppstart *FoUI-prosjektet MilGRO* der E6 Svenningelv-Lien inngår.		MilGRO: 12-15.08: Rapporter (SEM fra UiO).	MilGRO: Rapporterer status i møter
	Oppstart anlegg: 13.02. Området ved Svenningdal gruver blottlagt, etablering av anleggsveg langs linja.	LNS/NGI: Innsamling av vann på monitorlokaliteter (anleggsfasen). Kaksprøver og bergprøver, geokjemi. MilGRO: Prøvetaking og analyse av berg, mineraler, vann & forvitring fra Profil 8900-9050 (Svenningdal	MilGRO: 1.09: Rapport XRD resultat mineral identifikasjon (Natur-historisk museum)	LNS: I svar på tiltaksplanen søkes det om fritak fra bruk av membran grunnet HMS-utfordringer. Godkjent av statsforvalter 18.02.22, med vilkår om overvåking av avrenning i henhold til overvåknings-program.
	SVV/MilGRO: Oppfølging av prosjektet i felt. Møte med NGU 17 juni; avtale om samarbeid	MilGRO: Prøvetaking og analyse av berg, mineraler, vann & forvitring fra Profil 8900-9050 (Svenningdal gruve).	14.09: Rapport HH-XRF (SVV Laboratorium øst).	LNS/NGI: Resultater fra BS2 sier at det ikke er identifisert potensielt syredannende områder.
	LNS/NGI: BS2 (kaksboring, geologi mm) og vann		LNS/NGI: fortløpende analyserapporter fra monitorlokalitetene (Eurofins)	SVV/LNS/NGI 30.08: Møte om BS2 med Statsforvalteren
	15.12: LNS driver inn i løsmasse i Bergåstunnelen 15. desember: Full stans av tunneldriving		LNS/NGI: Rapport. Svar på tiltaksplanen. 26.03: Rapport geokjemi fra boringer i BS2 fra 12.08.	
	NGU blir tilkalt. Oppstart spesialundersøkelser		Statsforvalteren 16:11: Inspeksjonsrapport med 2 avvik og 1 merknad.	
2023	1.08 - oppstart driving etter om lag 6 mnd drivestopp i Bergåstunnelen	LNS/NGI: analyse av vann på monitor-lokaliteter (anleggsfasen)	MilGRO: 8.06. Rapport fra Laboratorium Øst, langtidsmåling av pH-utvikling for utvalgte prøver.	
2024		LNS/NGI: analyse av vann på monitor-lokaliteter	NGU (2024) rapport om løsmassesone i Bergåstunnelen	LNS: LNS søker om å endre grenseverdien for sulfat fra 7 mg/l til 100 mg/l og endring av prøvetakingsfrekvens til annenhver måned. Statsforvalteren hadde ingen merknader, datert 10.09.2024.
2025	MilGRO: April - prøvetaking vann	MilGRO: analyse av vann i anleggsfasen	MilGRO: Mai. Rapport, vannkjemi og partikler (Nemko Norlab)	
	10.12: Vegåpning, E6 Svenningelv - Lien ferdig bygget	LNS/NGI: analyse av vann på monitor-lokaliteter		

3 GEOLOGI

3.1 Geologisk oversikt

I forbindelse med reguleringsplanarbeidet ble det utført en grundig geologisk kartlegging i målestokk 1:5000 av SVV (2019a, b).

3.2 Miljøgeologisk feltkartlegging vår og sommer 2021

I det videre arbeidet med miljøgeologiske undersøkelser var det nødvendig å utføre en mer detaljert kartlegging for å avklare betydningen av de gamle gruvene i området.

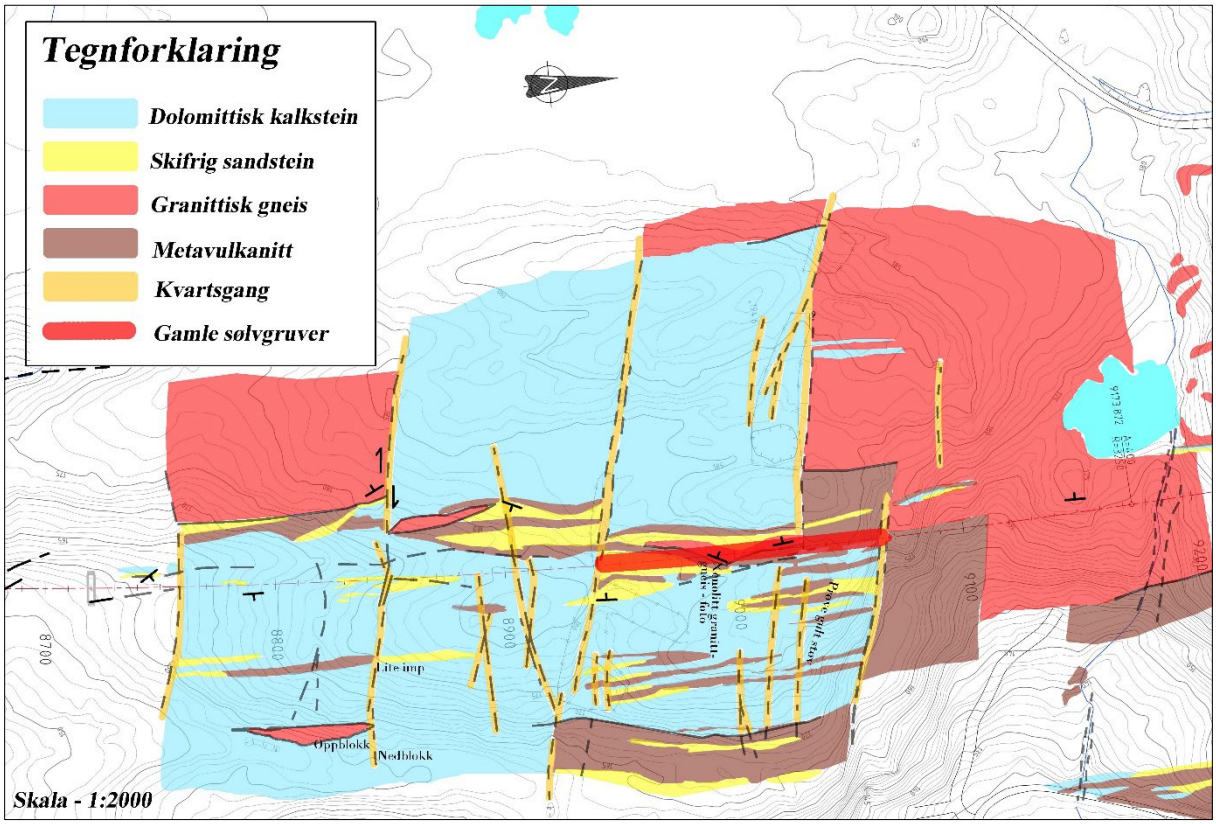
Feltkartleggingen tok utgangspunkt i tidligere detaljert kartlegging for tunneler og bergskjæringer (Statens vegvesen 2019a,b). Mellom 4-7 mai 2021 blei feltarbeidet utført av geologene Karlsen og Hagelia fra Geofag utbygging, Utbyggingsdivisjonen (Statens vegvesen 2021). Kartlegginga blei gjort på grunnlag av 1:1000-kart, ekvidistanse 1 meter og jfr krav i Handbok N200. Været var tørt, klart og delvis varmt alle dagene. Blotningsgraden var ca. 25 % - god nok til tilstrekkelig detaljkartlegging av geologien, selv om det lå litt snø igjen på bakken. Detaljkartleggingen var avgrensa til vedtatt trasé med bredde 100 - 130 meter til begge sidene fra profil 8200 i sør til profil 9550 ved skogsveg i nord og med størst vekt på området der den planlagte E6-traséen ved BS2 krysser gjennom Svenningdal gruve.

3.3 Berggrunnsgeologi

NGUs berggrunnskart og egenkartlegging viser at traséen er i grensa mellom to regionalt dominerende bergarter; granittgneis i vest og dolomittisk kalkstein i øst, figur 4, 5. Ved gruvene ble det også kartlagt kropper av metasediment, mørk metavulkanitt og amfibolitt.

Figur 4: Foto av grensa mellom lys granittisk gneis og mørk skifrig kalkstein, illustrert med bergarts-grense i stipla gult. Ill: Statens vegvesen.

I nordlig og vestlig del av planområdet profil 9070 – 9550, nesten akkurat langs CL, dominerer den granittiske gneisen langs traséen. Bergarten er lett synlig i terrenget med kvitgrå farge, ensarta fin middelskorna med enkelte innslag av mer grovkorna mineral. I området omkring Svenningdal gruve, profil 8900 – 9070, består berggrunnen omkring traséen av vekslende innslag av metavulkanitt, metasedimenter og dolomittisk kalkstein. Metasandsteinen er synlig med forvitra preg som rustutfellinger på sprekkeplan og langs foliasjonsplan. Kalksteinen har utbredelse vest og øst for traséen. I østlig og sørlig del av området dominerer kalkstein og opptrer som skifrig til massiv kalkstein, dolomittisk kalkstein eller marmor. Kalksteinene er ofte ikke reine og har mørkere striper og lag med silikatmineraler. I tillegg er det innslag av metasandstein, metavulkanitt og linser av amfibolitt. Alle bergarter bærer preg av tektonisk foliasjon. Malmen forekom i øst-vest-orienterte ganger med hovedsakelig kvarts. Kvartsen ble dannet hydrotermalt (NGU 1976).



Figur 5. Geologisk tolkningskart fra mai 2021. Profil 8750-9320. Merk gulfarga øst-vest-orienterte kvartsganger. Ill: Statens vegvesen.

3.4 Strukturgeologi

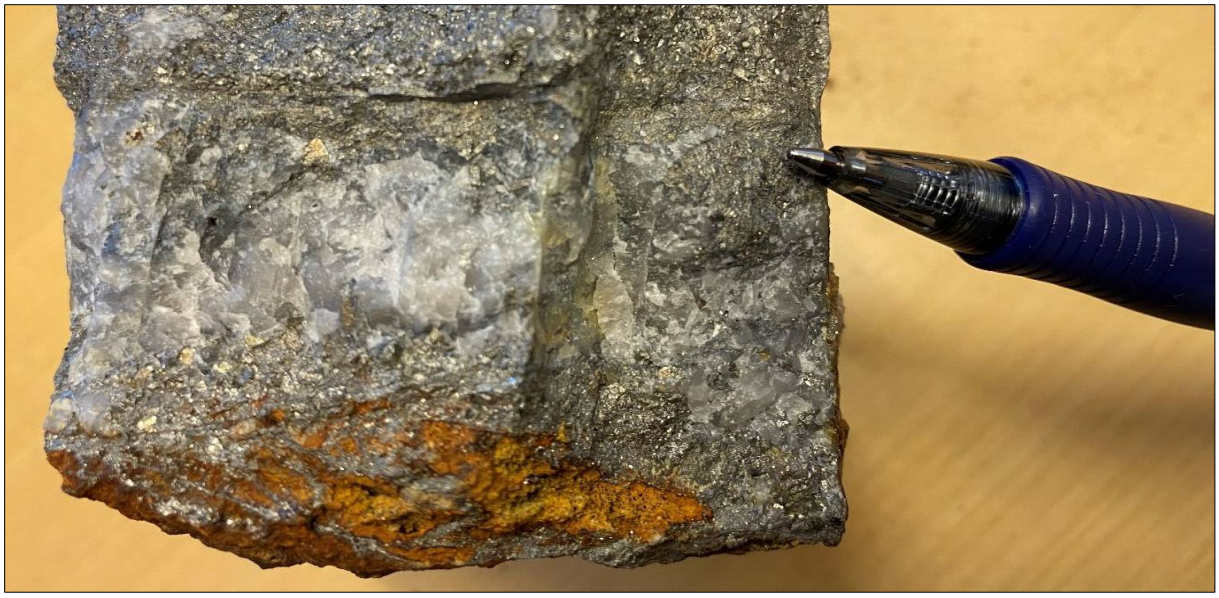
Planområdet domineres av to framtredende strukturer S1 og S2. S1 er en mer eller mindre penetrativ regional tektonisk foliasjon med en gjennomsnittlig orientering på 170°/60°, parallell bergartsgrensene. I et område ca. 70 meter øst for profil 9570 er det også observert folding av denne strukturen. Den andre dominerende strukturen, S2, en sprø øst-vest-orientert sprekkeretning, som sammenfaller med retningen til malmgangene. I planområdet har S2 en gjennomsnittlig orientering på 260°/80°. I tillegg forekommer også S3 og S4 som mer lokalt utvikla sprekkesett, orientert hhv. 45°/50° og 315°/80°.

Figur 6 viser den komplekse strukturgeologien, med bla innfløkte forkastninger, særlig langs S2-strukturene.

Figur 6. *Foto tatt i ca. profil 9030 i BS2, mot nord. Svart er S1, blå er S2, rød er S3 og grønn er S4. Sammenlign med kart i figur 5 over. Ill: Statens vegvesen.*

3.5 Malmgeologi

Kartleggingen viste at malmårene fra Svenningelv Sølvgruber opptrer som hydrotermale kvartsganger med bredde 1 - 3 meter, i samsvar med Vogt (1900) og sammenfallende med de øst-vest-orienterte S2-strukturene, figur 8. Observasjoner i kvartsgangene og gruvetippene viste svært lite av opprinnelig malm, unntaksvis som vist i figur 7 der vi observerte blyglans (PbS), sinkblende (ZnS) og arsenkis (FeAsS). Det er tydelig at det meste av rik malm blei henta ut under gruvedrifta. Berghallene var dominert av svakt forvitra metasandstein, metavulkanitt og granittisk gneis, uten innslag av rik malm. Det var ellers innslag av karbonatbergarter.

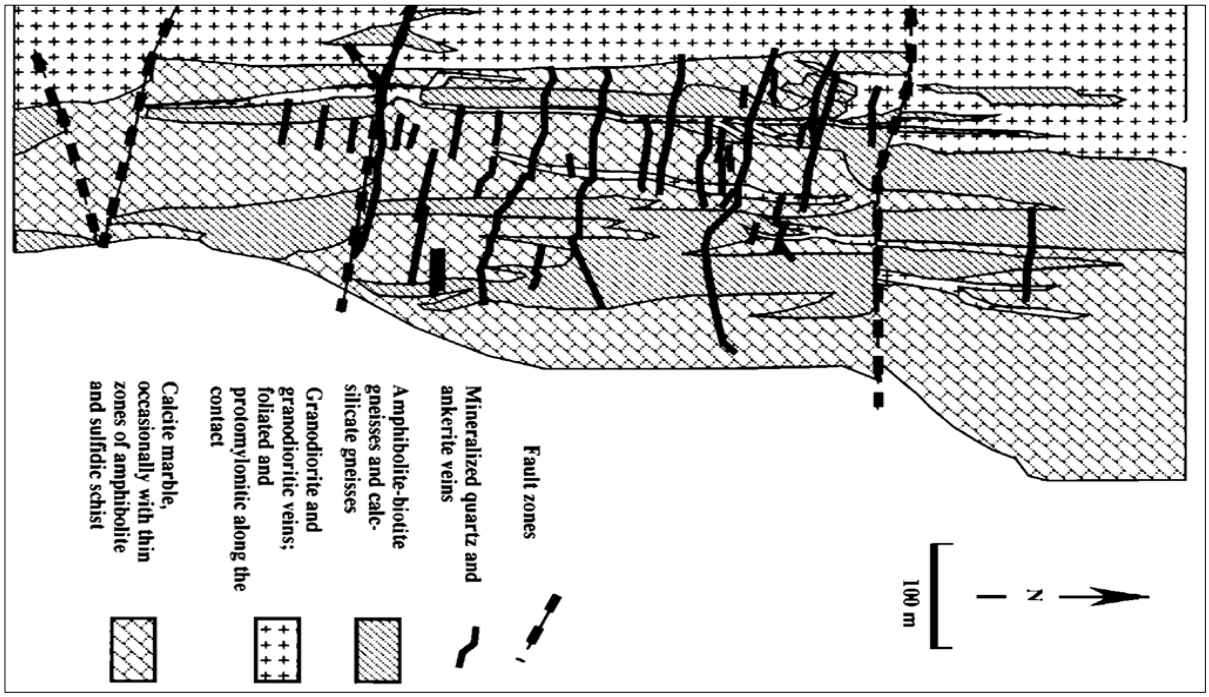


Figur 7. *Foto av handstuff fra ca. profil 9010 som viser kvartsgang med bla arsenkis, kopperkis og blyglans. Merk gulbrun rustforvitring nederst. Ill: Statens vegvesen.*

Prøver som blei tatt av hydrotermal kvarts i berghallene viste lite innhold av sulfidmineral. Sulfidminerala i hydrotermalkvartsen var for det meste *uforvitra* etter mer enn 125 års eksponering for vann og luft. Vi observerte ikke mineralet ankeritt, $CaFe^{2+}(CO_3)_2$, som tidligere rapportert (Vogt 1900, NGU 1976). Kartlegging i og omkring de gamle gruvene viste at sideberget ved og rundt malmgangene var impregnert av gulbrunt sulfid og rust, spesielt i metavulkanitt og metasandstein i ca. profil 8940 – 9030.

Gruver og skjerp var tydelig markerte som søkk eller grøfter i terrenget der man tok ut eller forsøkte å ta ut malm, figur 8. Mange av disse grøftene var i sin tid påbegynte med fjerning av torv og løsmasser før man forlot dem eller fortsatte med uttak. I selve søkka var det ofte gode bergblotninger.

Sideberget nær de hydrotermale malmgangene i Svenningdal gruver er impregnert av sulfider, med tilknyttet rusta og gulaktig forvitring, oftest i metavulkanitt og metasandstein. Det ble også observert noe impregnering av sulfider omkring de mindre malmgangene lenger sør langs traséen. Det ser ut til å være en sammenheng mellom omfang av impregnering og tykkelsen og omfang av malmgangene. Analyse med Scanning elektronmikroskop (SEM) av rusta-gulgrønn forvitringsprodukt viste innhold av jarositt ($KFe3(SO4)2(OH)6$), som er en syregiver dannet på bekostning av sulfider (pyritt, sphaleritt, mfl.) SEM-analysen viste ellers forekomst av arsenopyritt, blyglans og et antimonmineral. Testing av rusta forvitrings-materialer gav generelt pH omkring 5 i reaksjon med vann, tilsvarende pH målt i bekker (Statens vegvesen 2021).



Figur 8. Skjematisk geologikart over Svenningdal gruver. Opprinnelig malm var knyttet til øst-vest-gående hydrotermale ganger av kvarts og ankeritt, markert som tykke streker på kartet (Vogt 1900).

3.6 Konklusjoner i mai 2021

Undersøkelsene utført av SVV (2021) ga følgende konklusjoner:

1. Omfanget av sulfidmineral er mindre enn rapportert fra SWECO (2021a).
2. Det er mer granittisk gneis enn beskrevet fra før. Likeså er det mye uforvitra metasandstein og metavulkanitt.
3. Det meste av malmen i hydrotermalkvarts fra gruvene er tatt ut. Derfor tror vi ikke det er sannsynlig å komme over soner med rik malm i BS2.
4. Det må legges vekt på forvitra berg i området ved BS2. Også anleggsveger fram til hovedtraséen, i østhellinga mot Vefsna, har innslag av forvitra berg med sannsynlig syrepotensial.
5. Buffring av potensielt syredannende masser med bruk av kalkstein i området er fornuftig. Eventuell geokjemisk modellering bør omfatte typiske sulfidmineraler og forvitringsmineraler som finnes i Svenningdal gruver.
6. Det er manglende oversikt over gruvegangene i Svenningdal. Dette vil kunne innvirke på stabilitet til alle bergskjæringene, spesielt BS2.
7. Grane kommune har plan for å bevare fysiske spor etter driftsperioden og formidle industrihistoria til Svenningdal gruver (Grane kommune, 2019).
8. har plan for bruk av gruveområdet ifm turisme og undervisning (2019).

9. Det er behov for å samle inn flere vannprøver for kjemisk analyse.

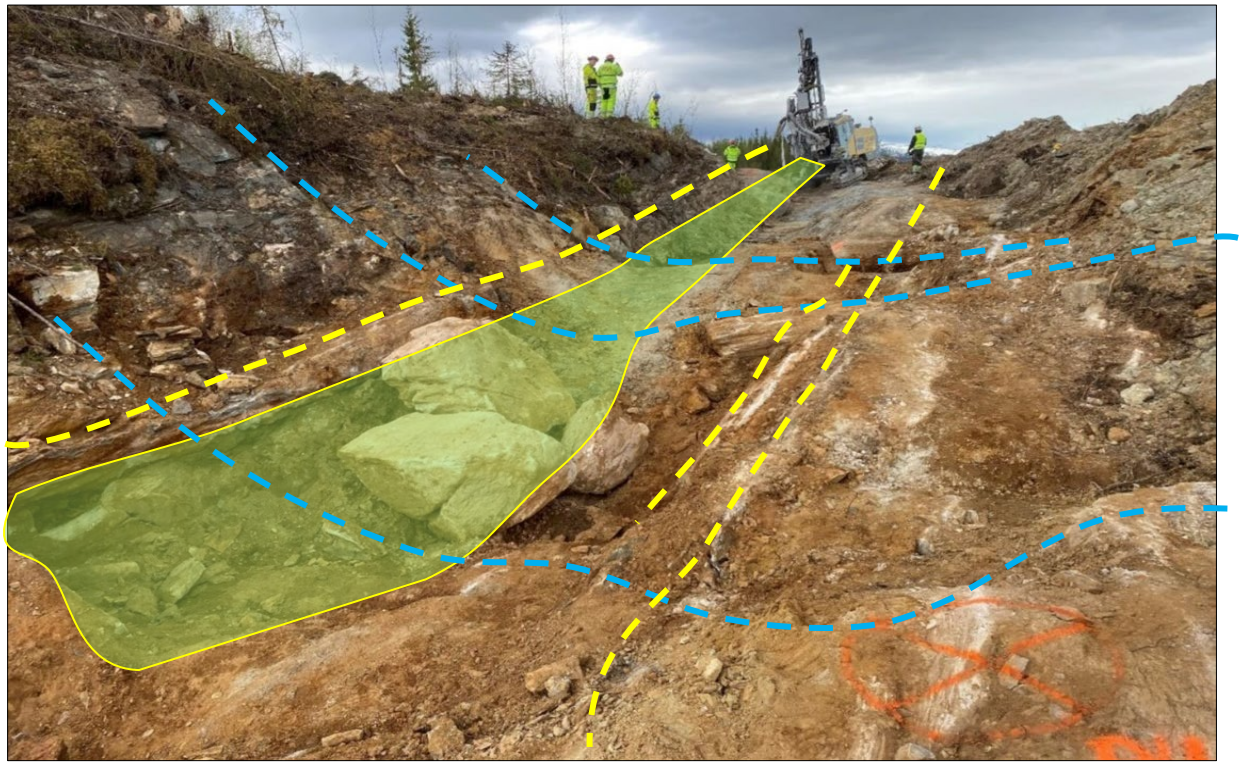
10. Det er behov for å samle inn granittgneisprøver til vegteknologiske formål.

3.7 Feltgeologisk oppfølging av anleggsfasen - 2022

3.7.1 Feltobservasjoner perioden 20 - 22.6.2022 i og ved BS2

Anleggsbeltet og linja var nå avdekt og NGI var blitt ferdige med kaksboring for BS2 og prøvetaking av kaks, kapittel 5. Det ble observert hulrom 5 meter til høyre for CL i BS3, ca. profil 9250. Berggrunnen i området ved den planlagte BS2 er illustrert i figur 9, 10, 11. Geolog Karlsen i SVV hadde møte med Christian Sætre, Olav Roset og Gabrielle Dublet-Adli, ansatte i NGI, for å diskutere miljøproblematikk og skjæringsstabilitet.

Nå var BS2 klar for detaljkartlegging og uttak av bergprøver til MilGRO, kap. 3.2.2. Prøvene ble samla inn av Karlsen i videokommunikasjon med Per Hagelia.



Figur 9: *Hovedstrukturene S1 og S2 i hhv. gult og blått. Felt med transparent grønn er ei 2-3 meter brei svakhetssone parallelt S1, sterkt forskifret. I bakgrunnen ser vi borerigg og personale som tar ut borkaks i BS2. Foto mot nord fra ca. profil 8970.*

Teorien vi hadde i mai 2022 var at det i samband med S2-strukturene tøt inn sluttsmelte med kvarts anrika på metallene Au, Ag, Cu, Pb mm. Hydrotermale prosesser har deretter bidratt til anrikning på flater og småsprekker til kvartsgangene. Observasjoner i felt tydet på at ertsen kun var anrika på de S2-relaterte strukturene.

Detaljkartlegging viser at det lokalt er anrikning av bl.a. blyglans, sinkblende, svovelkis og kopperkis *også* langs S1.

Noe av forklaringen kan finnes i Birkeland et al (1993). Enten har det *opprinnelig* vært rikt med erts i berget og/eller det har blitt *anrika in situ* i tilknytta skjærdeformasjon og/eller hydrotermale prosesser i minst tre påviste episoder.

I terrenget ved BS2 blei det kartlagt ei 2-3 meter brei svakhetssone parallell S1. Lokalt er den orientert ca. 170°/45° og til venstre for CL, figur 9, og var en sterkt skifra karbonat som framsto som et søkk i terrenget. Mellom karbonatskiferen og overliggende metavulkanitt er det observert horisonter av ertsmineraler med tykkelse på 1-5 cm, noe som tilsier forbindelse mellom S1- og S2-strukturene - muligens også S3- og S4.

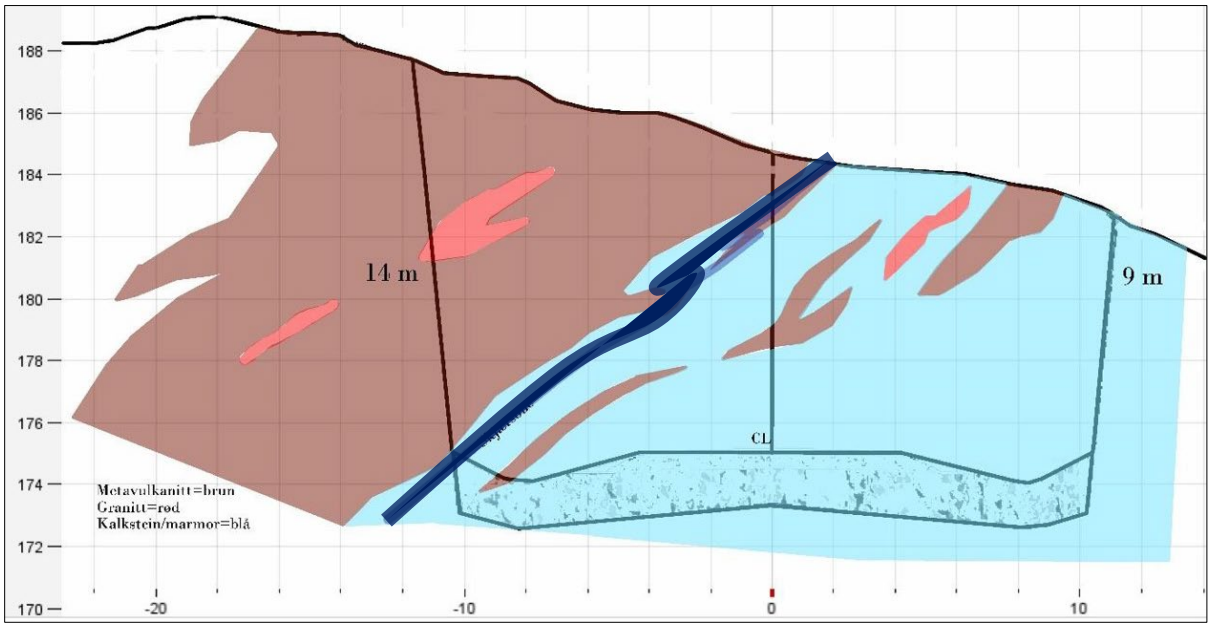
***Figur 10**: Inni svakhetssona med den sterkt forskifra karbonatbergarten, gule ellipser, ble det gjort funn av ertsmineraler. Foto mot nordvest fra ca. profil 8995.*

Svakhetssonen ble påvist 25.5.22, da en bora for borkaksprøver og for å sonderbore for borsynk og anna bergmassekvalitet (LNS/NGI 2022b). Borsynken stemte med både hvordan svakhetssona går i dypet og med ei nylig oppdaga gruvesjakt i ca. profil 8980, figur 11, 12.

Figur 11: Foto av gruvesjakt mot nordvest. Sjakta går diagonalt langs S4-strukturene mellom profil 8980 i CL, blå ellipse, til ca. profil 8985, gul ellipse. Gruvesjakta har bredde 1,5 – 2,0 meter. Se også kart figur 5. Foto SVV.

Ytterligere kartlegging viste at det er sulfidmineralisering langs alle strukturene; S1, S2, S3 og S4. Spesielt er mineraliseringa knytta til metavulkanitt og karbonatskifer og i langt mindre grad granitten. Men det er et unntak, for i granitten mellom sjaktene i profil 8980 – 8990 finnes det knust granitt med tydelig mineralisering i småsprekker.

Bygging og uttak av BS2 nærmet seg, og det ble behov for å illustrere et tolka tverrprofil gjennom BS2 for å best mulig kunne beregne stabilitet og sikringsbehov. Det ble gjort avtale mellom SVV og ENT om å lage et tverrprofil av tolka geologi, se figur 12.



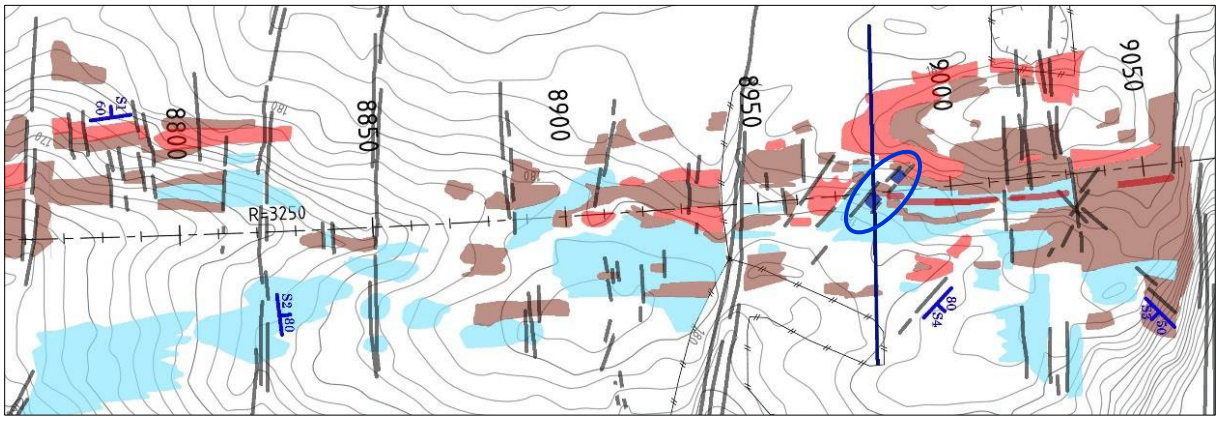
Figur 12. Tolka geologisk tverrprofil i ca. profil 9010 i BS2, sett nordover. Metavulkanitt = brun, granitt = rød, dolomittisk kalkstein = lys blå, skjærsone = mørk blå. Størst høyde på venstre side. Siktelinje ca. parallelt S1-strukturene.

3.7.2 Prøver for MilGRO

23 – 25 mai og 20–22 juni 2022 ble det tatt ut bergprøver for laboratorieundersøkelser, mineralogi og kjemi med HH XRF. Vi tok 21 prøver av forvitra berg, og bergprøver med forvitringsskorper i CL + 10 meter til høyre og venstre i profil 8970 – 9040, figur 13. Prøvene viste gul, gulbrun, brun og oransje farge. Mest intens oransjefarge finnes inni selve svakhetssona i profil 8910 – 8950. Prøvene blei sendt til Laboratorium Øst i Oslo medio juni 2022.

De nordligste 6 prøvene ble tatt i ca. profil 9030 – 9027. Det blei så tatt 3 prøver i profil 9015 – 9012. De sørligste prøvene blei tatt i en gruvesjakt i profil 8980 – 8990, og var forvitra som finsand og knust finmateriale langs S1. En prøve ble tatt i sørvegg i gruvesjakt og 3 prøver som lå løse på bakken i selve sjakta ble samla inn. Utvalgte prøver ble analysert med XRF hos SVV – Laboratorium Øst og deretter mineralogisk analyse på Naturhistorisk museum – Økern og Institutt for geofag, Universitetet i Oslo.

Et utvalg av 10 prøver ble så testet for pH i et utlekkingsforsøk ved Laboratorium Øst. Til sist ble vann fra fem av utlekkingsforsøkene kjemisk analysert ved Institutt for energiteknikk på Kjeller. Per Hagelia, Geofag Utbygging var ansvarlig for analysene.



***Figur 13**: Blotningskart med området sør og nord for BS2 kartlagt mai – juni 2022. Rødt er granitt, blått er dolomittisk kalkstein, brunt er metavulkanitt, grå streker er de fire struktursettene. Blå firkanter i blå ellipse er dagåpninger til gamle gruveganger vist i figur 11. Nord t.h. på kartet. Ill: Statens vegvesen.*

3.7.3 Løsmassesone og ekstremt svakt berg i Bergåstunnelen

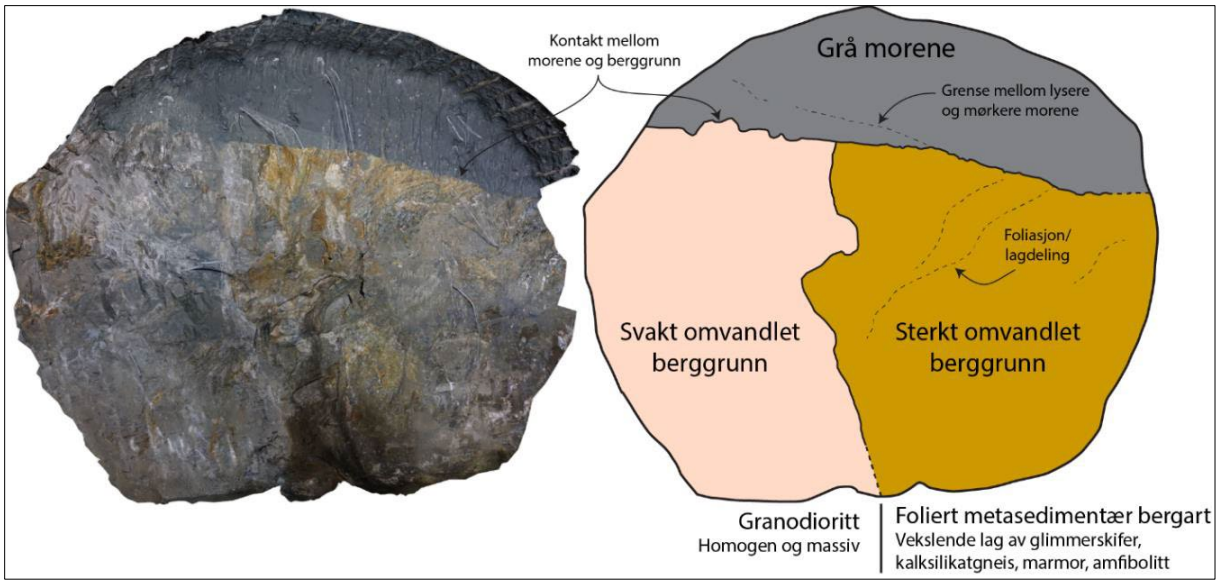
Under driving av Bergåstunnelen påtraff man ei løsmassesone 15 desember 2022. Den var avsatt over en sterkt omvandlet, svært svak, nærmest jordaktig masse. Denne Bergdalssonen utgjør ca. 90 meter av tunnelen i profil 6767 – 6860. Om lag et halvt år gikk det før man begynte å drive tunnel på nordsiden av sonen (pers meddel). Den spesielle geologien i sona tilsa behov for både vitenskapelige undersøkelse og uttesting av geofysiske undersøkelsesmetoder mhp sikrere forutsigbarhet i geologiske forundersøkelser.

SVV hadde alt den 17 juni 2022 inngått en avtale med Norges geologiske undersøkelse (NGU) om samarbeid i vegprosjektet gjennom Svenningdal, i utgangspunktet med fokus på mineralressurser. Prosjektet var derfor allerede på prioriteringslista til NGU, som raskt kom i gang med undersøkelser i Bergdalssonen.

Det viste seg at løsmassene besto av leire og morenemateriale. Palynologiske undersøkelser av morenematerialet viste forekomst av marine arter som er kjent fra 2,6 og 9 millioner siden. Dette indikerer at morenematerialet er mye eldre enn Elster, den første store istida, eller for 490.000 - 410.000 år tilbake. Morenematerialet er avsatt over sterkt omvandla berggrunn, figur 14. K-Ar-datering av mineraler i omvandlet berg viser effekter av hydrotermal aktivitet fra sen Trias, 230 millioner år siden.

Forekomst av bl.a. zeolitt, epidot og kloritt i omvandlet berg, identifisert med XRD på NGU, danna ved temperaturer høyere enn det som kjennetegner forvitring. Dette forklares oftest som hydrotermale dannelser.

Bergdalssonen har avdekket svært mye nytt om geologisk historie i Norge, og har stor vitenskapelig verdi (NGU 2024).



Figur 14. *Tre typiske deler/trekk av Bergdalssonen ved profil 6802,5, sett nordover (NGU 2024).*

NGUs undersøkelser omfattet også uttesting av geofysisk metodikk i den hensikt å avklare om en kunne avdekt løsmassesona på forhånd. Sikrest mulig kunnskap og avklaring under slike forhold er en forutsetning for miljøgeologisk riktig planlegging og bygging av vegtunneler og er *avgjørende* for å unngå store og uforventede ekstrakostnader.

NGU (2024) utførte både elektrisk resistivitetstomografi (ERT) og seismisk tomografi over tunneltraséen. Begge metodene viser en klar sone med lav resistivitet (ERT) og lav seismisk hastighet. Tunnelen påvirker ERT i noen grad og gir mindre informasjon mot dypet enn seismisk tomografi. Seismikken viste at Bergdalssona strekker seg omtrent 15 meter under tunnelnivået på det dypeste. ERT utført før tunneldriving ville trolig gitt sikrere informasjon også mot dypet. NGU-rapporten gir flere anbefalinger for seinere tunnelprosjekter.

Takket være et svært godt samarbeid mellom SVV, ENT og KONS ble tunneldrifta og sikringa av Bergdalssonen utført med gode resultat. Tunnelbransjen har hentet inn nye og viktige erfaringer både når det gjelder sikringsmetoder og samarbeidsformer i kritiske forhold. Sikringskonseptet er utvikla av NGI og Aas Jacobsen og forklart i en film (Youtube).

4 UTSLIPPSTILLATELSE OG TILTAKSPLAN

4.1 Bakgrunn

Utslippstillatelsen og tiltaksplanen bygger på arbeidet til Sweco (2021a, b) og undersøkelser utført av SVV, LNS og NGI. Kapittelet gir en kortfatta oppsummering.

Omtale og analyse av bergarter, mineraler og vann er samlet under ett i kap 5.

Sweco (2021a) rapporterte at «det er betydelige mengder avgangsmasser fra gruvedriften som er spredt utover i terrenget i området». Ni bergprøver ble analysert for totalkjemi.

Tre prøver (M3, M7 og M8), alle fra gammelt gruveavfall klassifiserer som syredannende etter Miljødirektoratets veileder (2015), NP:AP = 0,10-0.33. Det totale S-innholdet varierer mellom 1,9 og 3,6 vekt %. *Felles for disse prøvene er at de er ganske sterkt forvitra og har lav bufferevne med TIC - 0,07 til 0,31 vekt-%.*

De resterende seks prøvene har S ≤ 0,175 vekt-% og antatt ubetydelig AP. Marmorprøver M1 og M9 har høyt NP. De syredannende prøvene ble beskrevet som følger:

- M3 – Forvitret metadioritt med synlig mineralisering. Tatt ut av gruveavfall ved den planlagte vegtraséen.
- M7 – Forvitret marmor med synlig mineralisering. Tatt ut av gruveavfall øst for vegtraséen.
- M8 – Svært forvitret dioritt – tatt ut av gruveavfall øst for vegtraséen.

Dette indikerte at det kunne være større mengder syredannende masser langs den planlagte traséen, og behov for ganske omfattende tiltak for håndtering av masser med syredannende potensial. En foreslo utsortering ved hjelp av HH XRF, og pekte på muligheten for å benytte lokal marmor/kalkstein som pH-buffer. Sweco (2021a) rapporterte de første kjemiske analyser av fire vannprøver fra lokalitetene V1, V2, V3 og V4, figur 15. Analysene viste at vannkvaliteten før anleggsstart er mest påvirka av tungmetallene As, Cd, Cr, Sb og Zn, men også Pb og Ni forekommer i noe lavere konsentrasjoner.

Prøve V1, fra bekk rett nedstrøms hovedgruva, med pH = 7,4, hadde høyest innhold av tungmetaller; As = 31 µg/L , Cd = 0,12 µg/L, Cr = 0,51 µg/L, Sb = 23 µg/L og Zn = 23 µg/L. Prøvene V3, V2 og V4, fra samme bekk nord for hovedgruva, hadde generelt lavere innhold av tungmetaller enn bekk. Al var forhøyet i vannprøvene V2 og V3; 340 og 420 og V4 µg/L, med pH hhv. 5,7, 6,6, og V4 langt nedenfor (260 µg/L) med pH = 7,4. Ca var 47 og 9,7 µg/L i hhv V1 og V4, men mye lavere i prøvene med pH < 7; Ca = 2.0-2.6 µg/L. Ca antas å representere oppløst kalsitt som er en pH-buffer; Ca er høyest ved høy pH og lavest med lav pH.

Undersøkelser utført av SVV (2021, Vedlegg 1) mai 2021 omfatta geologisk detaljkartlegging i profil 8200 – 9600 og innsamling av fire prøver fra Svenningdal gruve, nær profil 9000, øst for planlagte BS2. Traséen er lagt i et område der det meste av malmen var tatt ut.

Gruvetippene er lokaliserte i området ved gruva og i hellinga øst mot Vefsna. Sideberget nær de hydrotermale malmgangene i Svenningdal gruve er i noen grad impregnert av sulfider, og tilknyttet rustgul forvitring i gneisene. En viktig konklusjon var at vi ikke fant bevis for større mengder gjenværende sulfidmineraler og at en heller burde legge vekt på forurensnings-potensialet i forvitringsmineralene som var utbredd i gruveområdene.

På vegne av SVV presenterte Sweco (2021b) et grunnlag for etablering av grenseverdier for utslipp i anleggsfasen og driftsfasen, og forslag til tiltaksplan for håndtering av forurenset bergmasse. Dolomittisk kalkstein dominerer langs traséen og inneholder ofte andre mineraler enn de rene karbonatene dolomitt og kalsitt, men vil være en god pH-buffer, selv om den vil virke noe saktere enn en ren kalsittmarmor.

Geokjemisk modellering med PHREEQC, ved Universitetet i Oslo for Sweco (2021b), viste at 3-4 % pyritt kan nøytraliseres på svært lang sikt med 10 % ren kalkspatmarmor. SVV (2021) konstaterte at modelleringen var basert på ren pyritt og ren kalkspatmarmor. Det ble ikke utført modellering av tungmetallutlekking. En eventuell hydrogeokjemisk modellering på et senere tidspunkt bør i stedet omfatte viktige lokale sulfidmineraler som arsenopyritt, sphaleritt, blyglans mm, i lokale løselige forvitringsmineraler og lokal kalkstein. Lokale kalksteinsvarianter er rike på dolomitt og varierer i sammensetning. De er ikke rene kalksteiner og inneholder ofte større mengder silikatmineraler, og de er uten buffervirkning.

4.2 Grenseverdier for vann

Statsforvalteren (2021a) la til grunn forslag fra Sweco (2021b) om grenseverdier for utslipp av vann i anleggsfasen og driftsfasen. Tabell 2 viser grenseverdiene for utslipp til vann i anleggsfasen. De er her sammenlikna med grenseverdiene i drikkevannsforskriften.

Tabell 2. *Øverste rad viser grenseverdier for utslipp til vann i anleggsfasen tilsvarende Tilstandsklasse IV gitt i Vannforskriften (Dårlig). TSS = Totalt oppløst faststoff. Nederste rad viser grenseverdiene i drikkevannsforskriften.*

pH	TSS	Labilt Al	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	Sulfat
	mg SS/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
6,0	200	40	85	57	46146	46188	46115	0.14	67	60	100
6,5-9,5	ingen	200 for total Al	10,0	10,0	5,0	2000,0	50,0	1,0	20,0	ingen	250,0

Tabell 3 viser grenseverdiene som gjelder for to store fyllinger i driftsfasen, henholdsvis nord og sør for BS2. Det er satt strengere krav til den søndre fyllinga mellom BS2 og BS1. Dersom målte konsentrasjoner for avrenningsvann overstiger grenseverdier i tabellen, men ikke overstiger konsentrasjoner *samtidig målt* i bekk oppstrøms for tiltaksområdet med mer enn måleusikkerhet, vurderes likevel ikke grenseverdiene for brutt. Prøvelokalitetene som følges opp, er vist på figur 15:

- Nordre bekk: V0 & V3 oppstrøms og V4 nedstrøms
- Søndre bekk. V6 oppstrøms og V7 nedstrøms

Tabell 3. *Grenseverdier for Nordlig bekk og Sørlig bekk i driftsfasen, i hhvis Tilstandsklasse IV og III (Sweco 2021b, Tabell 7-1).*

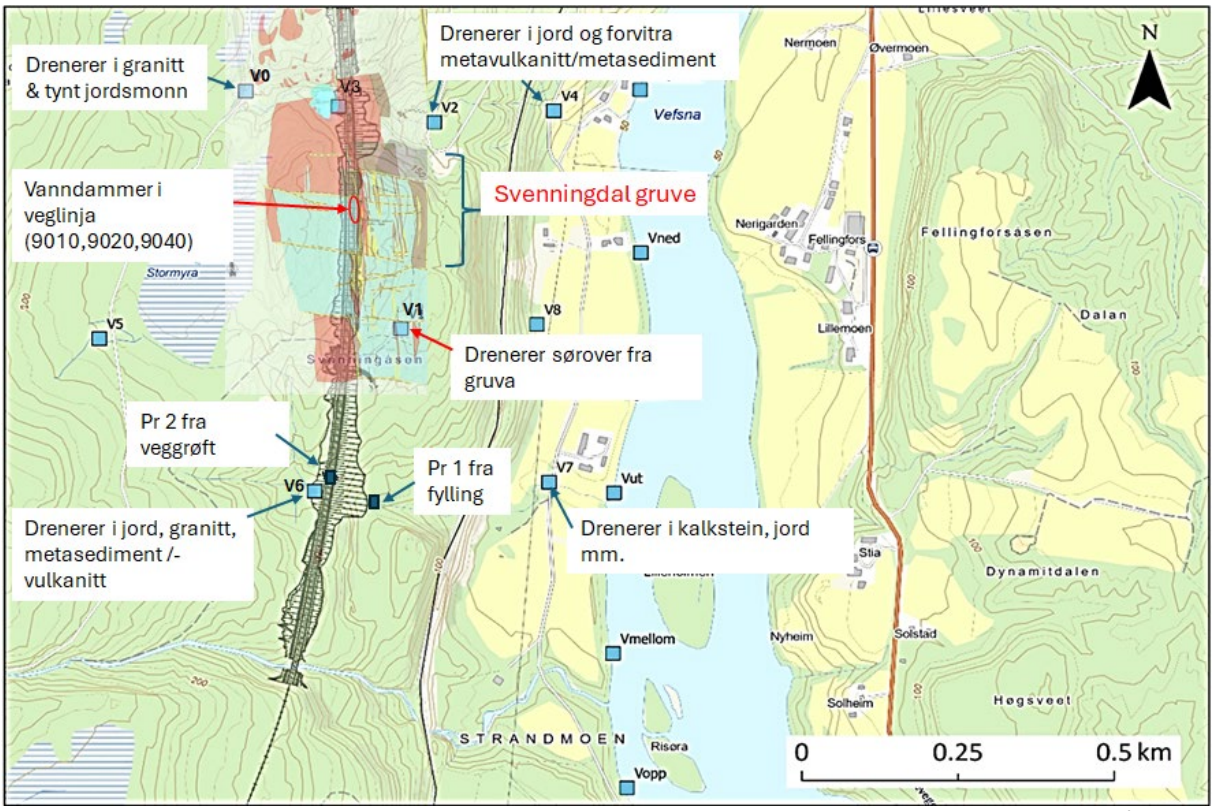
Stoff	Grenseverdi **Nordlig bekk** Tilstandsklasse IV (µg/l)	Grenseverdi **Sørlig bekk** Tilstandsklasse III (µg/l)	Tilstandsklasse II (M-608/2016) (µg/l)
Metaller			
Potensielt giftig aluminium (LAI/UM-Al)	40	20	10
Arsen	85	8,5	0,5
Bly	57	14	1,2
Kadmium	4,5	0,45	0,08
Kobber	15,6	7,8	7,8
Krom	3,4	3,4	3,4
Kvikksølv	0,14	0,07	0,047
Nikkel	67	34	4
Sink	60	11	11
Sulfat	7000	7000	Ingen tilstandsklasse
Hydrokarboner			
Olje C5 – C35	50 mg/L	50 mg/L	Ingen tilstandsklasse
Andre parametere			
pH	6,5	6,5	Ingen tilstandsklasse
Suspendert stoff (SS)	100 mg SS/L	100 mg SS/L	Grenseverdi for utslipp til sårbare resipienter

Tungmetalla As, Cd, Cr, Pb og Hg er oppført på den norske prioritetslista (Miljødirektoratet). Statsforvalteren satte ikke grenseverdier for Sb, selv om bekkevann fra hovedgruva hadde Sb= 23 µg/L (Sweco 2021a).

Drikkevannsforskriftens grenseverdi er 5 µg/liter Sb. Sb-førende mineraler er utbredt i malmen i Svenningdal gruver (NGU, 1976). Dette gjelder også flere av forvitringsmineralene, kap 5.3 og 5.5. Sb betraktes som såkalt *«pollutant of interest»* av miljømyndighetene i USA og EU (Filella et al., 2002). Det bemerkes videre at Sb står oppført av EU og Norge blant kritiske metaller (NGU, 2023):

Sb er akutt giftig for mennesker, og er årsaken til den strenge grenseverdien for drikkevann i Norge.

Sb oppløst i vann forkommer som tre- og femverdig (Sb^{III} og Sb^{V}), der førstnevnte antas å være kreftfremkallende. Sb har liten giftighet for planter, men når det gjelder vannlevende organismer og jordorganismer er det lite data (Okkenhaug 2013). MilGRO har i tillegg til de prioriterte tungmetallene også fokusert på Sb. Sweco (2021a,b), LNS/NGI (2022) og SVV har utført analyser av vann fra lokalitetene vist på figur 15.



Figur 15. *Oversikt over monitorlokaliteter for vann i forholdet til bergarter. Rød = granitt; lys blå = dolomittisk kalkstein; brun = metavulkanitt; gul = metasediment. Hydrotermale gangar (øst-vest orienterte) med malm = gule øst vest. I forundersøkelsene ble det samla inn prøver fra alle lokaliteter. I anleggsfasen ble V0 og V4 (nordre bekk) og V6 og V7 (søndre bekk) benyttet i blant også noen av det andre lokalitetene. MilGRO samla inn vannprøvene 9010, 9020, 9040, Pr 1 og Pr 2.*

En bør merke seg at:

G*renseverdiene i utslippstillatelsen for BS2/Svenningdal gruver, Tilstandsklasse IV, er mindre strenge enn i tilsvarende vegprosjekter med forurenset bergmasse som skal disponeres lokalt*.

Ved lokal deponering av alunskifer på Rv 4 Gran var grenseverdiene for As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni og Zn i anleggsfasen satt til henholdsvis 8,5 µg/L, 14 µg/L, 1,5 µg/L, 7,8 µg/L, 3,4 µg/L, 0,07 µg/L, 34 µg/L og 11 µg/L, dvs mest tilsvarende Tilstandsklasse III. Krav til Tilstandsklasse II var lenge gjeldende for utpumping av vann i driftsfasen fra basseng ved lavbrekket i Granstunnelen, men det ble søkt om endringer av Ni, Pb, Cr, Cu og Zn, differensiert, tilsvarende Tilstandsklasse III og IV. Det ble ikke satt krav til Al og sulfat på Gran (Fjermestad mfl. 2018).

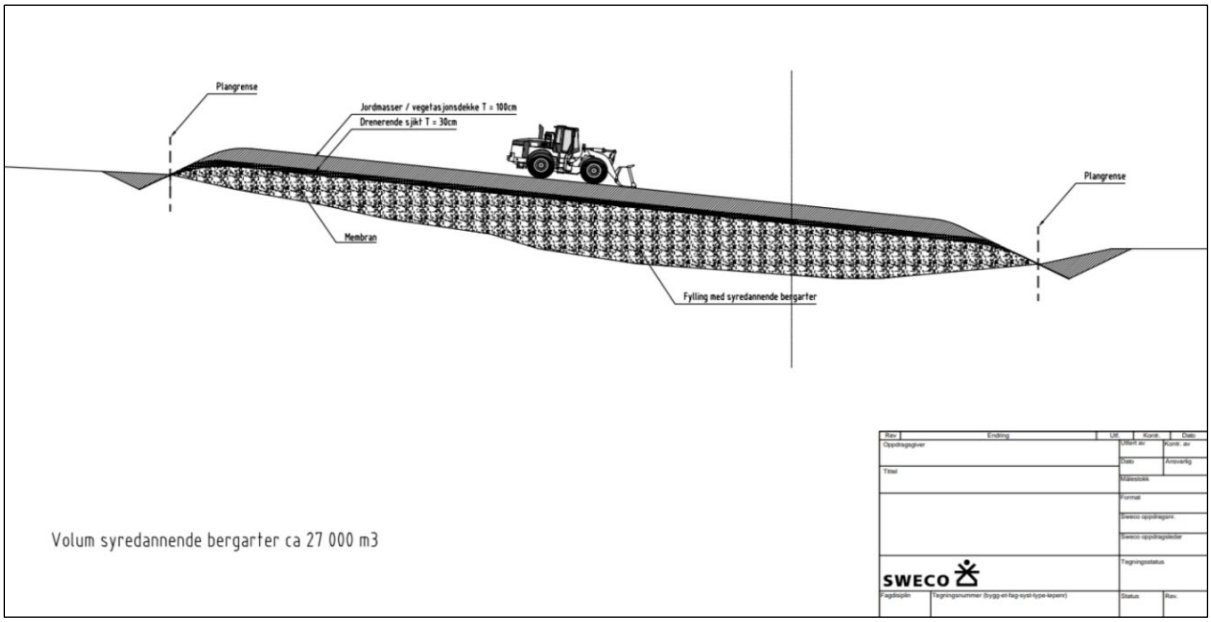
Tabell 4. Grenseverdier for klassifisering av ferskvann (Miljødirektoratet 2016).

Tilstandsklasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
	Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter (AA-EQS)	Kroniske effekter ved langtids-eksponering (MAC-EQS)	Akutt toksiske effekter ved korttids-eksponering	Omfattende akutt toksiske effekter
Kadmium	0,03				
<40 mgCaCO3/l		0,08	0,45	4,5	> 4,5
40- <50 mgCaCO3/l		0,08	0,45	4,5	> 4,5
50 - <100 mgCaCO3/l		0,09	0,6	6	> 6
100 - <200 mgCaCO3/l		0,15	0,9	9	> 9
>200 mgCaCO3/l		0,25	1,5	15	> 15
Bly	0,02	1,2	14	57	> 57
Nikkel	0,5	4	34	67	> 67
Kvikksølv	0,001	0,047	0,07	0,14	> 0,14
Kobber	0,3	7,8	7,8	15,6	> 15,6
Sink	1,5	11	11	60	> 60
Arsen	0,15	0,5	8,5	85	> 85
Krom	0,1	3,4	3,4	3,4	> 3,4

4.3 Tiltaksplanen for Massehåndtering og deponering

4.3.1 Innledning

Masselager predisponert for masser fra BS2 i vedtatt reguleringsplan vurderes å være en god miljømessig løsning for sluttdisponering av mulig syredannende og metallmobiliserende masser fra BS2 i det tidligere gruveområdet, figur 16, 18. Masselageret vil likevel ha begrensa kapasitet, og det vil være viktig å skille potensiell syredannende- fra ikke syre-dannende berg i løpet av anlegget. Tiltaksplanen la opp til kontrollert sprengning og utgraving av BS2 der en sorterer massene ved hjelp av et feltbasert måleprogram med XRF.

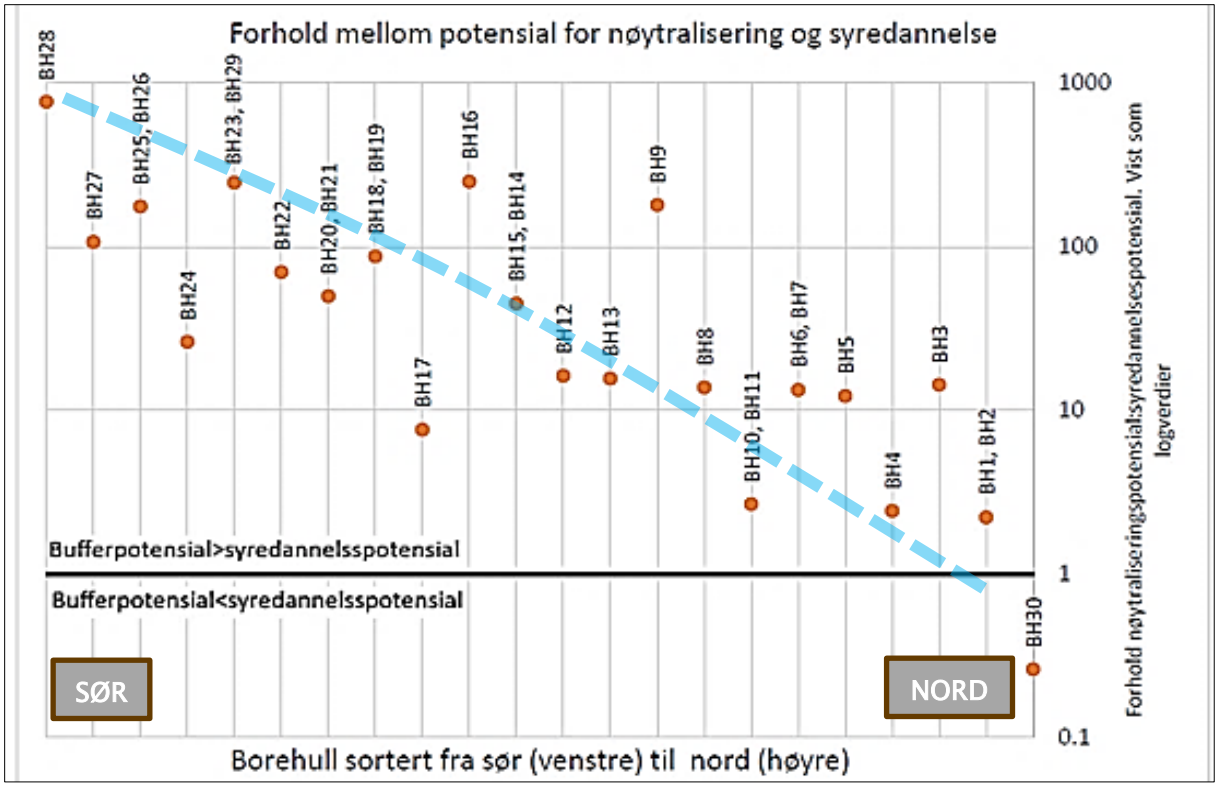


Figur 16a. Prinsippskisse for etablering av planlagt deponi. Kilde: Sweco.

***Figur 16b**. Anlegging av planlagt deponi. Om lag 50 meter øst for ca. profil 8700 er man i gang med å etablere planlagt deponi. Sikt mot øst. Foto: Statens vegvesen.*

4.3.2 Boring ved BS2 og totalkjemisk analyse

NGI utførte analyser av borestøv fra 30 borehull langs planlagt BS2. En utførte geokjemiske analyser av borestøv som *blandprøver av hele borelengden*. Det ble ikke påvist potensielt syredannende berg. Høyest innhold av S er observert i borehull BH24 med verdi S = 0,56 %, (NGI/LNS 2022). S-innholdet er relativt likt i alle borehull, med et snitt på 0,236 %. TIC er generelt høyere enn S, og gir mer bufferkapasitet enn syredannelse. Bufferkapasitet og NP:AP-forhold øker sørover i BS2, se figur 17. Håndstykker blei plukket ut for å vise hva som kunne være i årene - de representerer yttergrensene. Noen av håndstykkene har førhøyet S-innhold på 0,2-3,3 vekt-%, men gjennomsnittet i samtlige borehull er mindre enn 0,56%. Dette er i godt samsvar med det geologiske kartet fra området (Statens vegvesen 2021).



***Figur 17**: Figur viser NP:AP-forhold i BS2. Bufferkapasitet øker mot sør jfr stigende borehullsnummer. Om lag trend i stipla blått. Unntaket er BH30 som er boret rett nord for BS2.*

LNS/NGI (2022b) rapporterte også XRD-resultater fra åtte bulkprøver fra BS2, dvs både ytre forvitringsskorper og indre stort sett intakt bergart er knust. Bare en prøve, H1, viste innhold av sulfid i form av 0.1 % blyglans. Prøver H8 og HP3 var av nesten rein dolomittisk kalkstein. Alle andre prøver hadde et stort innhold av vanlige bergartsdannende mineraler, som kvarts, feltspat, amfibol og glimmer. Det ble i tillegg utført ristetest av bulkprøver av metavulkanitt, ren marmor og granittisk gneis. Marmoren som ble testet, prøve UT2, var ganske ren og gav pH = 9,7 mens de andre bergartene gav pH = 6.8-6.9.

NGI konkluderte med at BS2 ikke representerer et syreproblem, men uttalte seg ikke om mulighet for tungmetallavrenning fra forvitringsmineraler.

Spesielt i norddel av BS2 har bergmassen et tydelig innslag av tungmetallførende mineraler danna ved forvitring eller hydrotermal omvandling av sulfidmineralene. Disse forkommer som mm-tynne belegg til metertykkere soner langs sprekkesoner og foliasjonsplan, med mer intakt berg med lite svovel og tungmetaller mellom.

Vi konstaterer at:

Rapportene fra Sweco (2021a,b) og LNS/NGI (2022b) gir inntrykk av at syredannelse alltid *er en forutsetning for tungmetallutlekking.*

Erfaring fra alunskifer og svartskifer viser derimot at *tungmetaller også kan bli oppløst selv om pH er nøytral eller litt basisk* på grunn av høyt karbonatinnhold (Fjermestad mfl. 2017). Under gitte omstendigheter kan dolomitt og kalsitt likevel fange opp tungmetaller ved

sorpsjon. Det må derfor anses som mulig at den lokale bergmassen i Svenningdal, med marmor og relativt uren karbonatfattig kalkstein, kan føre til tungmetallutlekking selv ved høyt karbonatinnhold. Disse problemstillingene er ikke blitt belyst av KONS. Dette blir omtalt i kapittel 5 og kapittel 6.

4.3.3 Møte med Statsforvalter om grenseverdier for syredannende berg

Den 30.8.22 ble det holdt en presentasjon for Statsforvalteren i Nordland hvor SVV, ENT og KONS deltok. Tema var tiltaksplanen vedrørende potensielle bergmasser med syredannelse og metallmobilitet i BS2. I dokumentet «Svar på tiltaksplan syredannende masser» (LNS/NGI 2022) ble stedegen grenseverdi for syredannende berg definert. Man kom fram til følgende angående grenseverdier for S:

- Berg som inneholder under 1 % S pr. salve anses som ikke syredannende.
- Grensa settes på bakgrunn av grenseverdier for syredannende svartskifer.
- *Salver hvor S-innholdet i snitt overstiger 2% skal ikke gjenbrukes i fyllingen mellom BS1 og BS2, men legges tørt, under membran i spesialdeponiet (LNFR7#1)*,
- Dersom det observeres berg som har økt forvitringsgrad eller utfellinger må disse vurderes særskilt om de skal gjenbrukes i fyllingen mellom BS1 og BS2, eller legges tørt i LNRF7#1.

4.3.4 Tiltaksplan for overvåkning av uttak i BS2

I området ved BS2 skal det utføres månedlig pH-måling og vannanalyser av metaller og turbiditet. Vannovervåkning nedstrøms planlagt spesialdeponi i profil 8700 mellom BS1 og BS2 er tidsfordelt slik:

1. Før anleggsfasen
2. I anleggsfasen
3. I driftsfasen

I følge Sweco (2021b, side 30) *ventes det ikke avrenning fra syredannende berg i driftsfasen*, men det er viktig å verifisere dette.

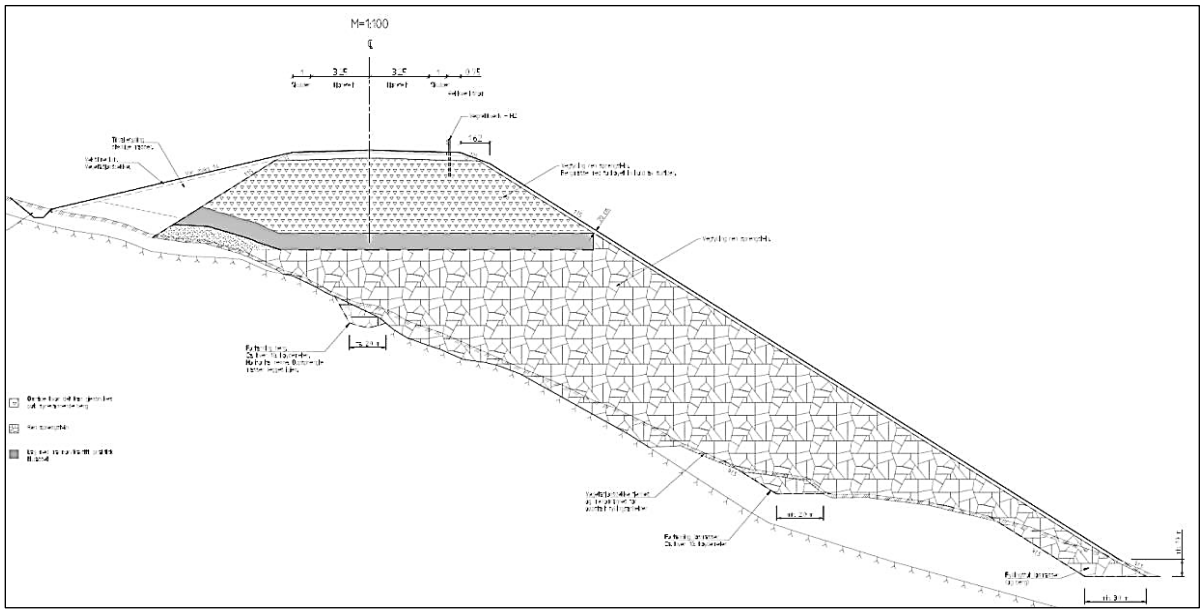
4.3.5 Ønska håndtering av sprengsteinsmasse fra BS2

XRD-undersøkelser av håndstykker viser at S er fordelt på flere sulfidmineraler (LNS/NGI (2022b). Ett av dem er for eksempel blyglans/blysulfid - det er i dette mineralet at sølvet trolig var:

Da det ikke er påvist potensielt syredannende og metallmobiliserende berg, gis det derfor ingen føringer på rekkefølge til utlegging av berg, hvor massene gjenbrukes, og innblanding av marmor.

Man blei også *enige om ei oppfølging av masseuttak i og rundt der borehull BH30 blei bora. BH30 viste syredannende potensial og er lokalisert rett nord for BS2.*

Dette for å verifisere at disse ikke inneholder kritiske verdier av sulfider. Videre blei man enige om å holde av et gitt volum til fyllinga sør for BS2 for eventuelt gjenbruk av mulig syredannende og metallmobiliserende berg. I dette området skulle man kunne legge ut et en-meters lag av kalkstein *under* syredannende og metallmobiliserende bergmasser. Det anbefales videre at dette området skulle legges så høyt som mulig i fyllingen, se figur 18.



***Figur 18**: Utklipp med prinsipp for lagring av eventuelle syredannende og metallmobiliserende masser. Under selve massene legges et en meter tykt lag med dolomittisk kalkstein, som er ment å bufre dem.*

4.4 Massehåndtering og monitorering av vann slik det er praktisert

4.4.1 Massetransport fra bergskjæring BS2

Ettersom BS2 ble friskmeldt, ble det endring i planene for massehåndtering utarbeidet i tiltaksplanen. Det ble *ikke* lenger føringer mht:

- Rekkefølge for utlegging av berg
- Gjenbruk av masser,
- Innblanding marmor (ref. avklaringa med Statsforvalteren 30.8.22).

MilGRO har hele tida fokusert på BS2 da det geologisk sett er masseuttaket i den nordre halvdelen av BS2 fra området der hovedgruva i Svenningdal var. Den søndre halvdelen av BS2 er dominert av dolomittisk kalkstein og krysser bare noen få gamle gruveganger og malmårer. Derfor var det interessant for MilGRO å avklare hvor masser fra området ved Svenningdal gruve ble transportert. Dette var motivert av flere årsaker:

1. Våre feltundersøkelser langs BS2 etter blottlegging av veglinja viste forekomst av sulfider og forvitringsprodukter mellom profil 9040 og 8910 (se kapittel 3.2 og analyser i kapittel 5).

2. NP:AP-resultatene etter boring i BS2 viste synkende NP mot nord i dette området. Borehull B30 rett nord for BS2 viste ikke noe nøytraliseringspotensial, figur 17.

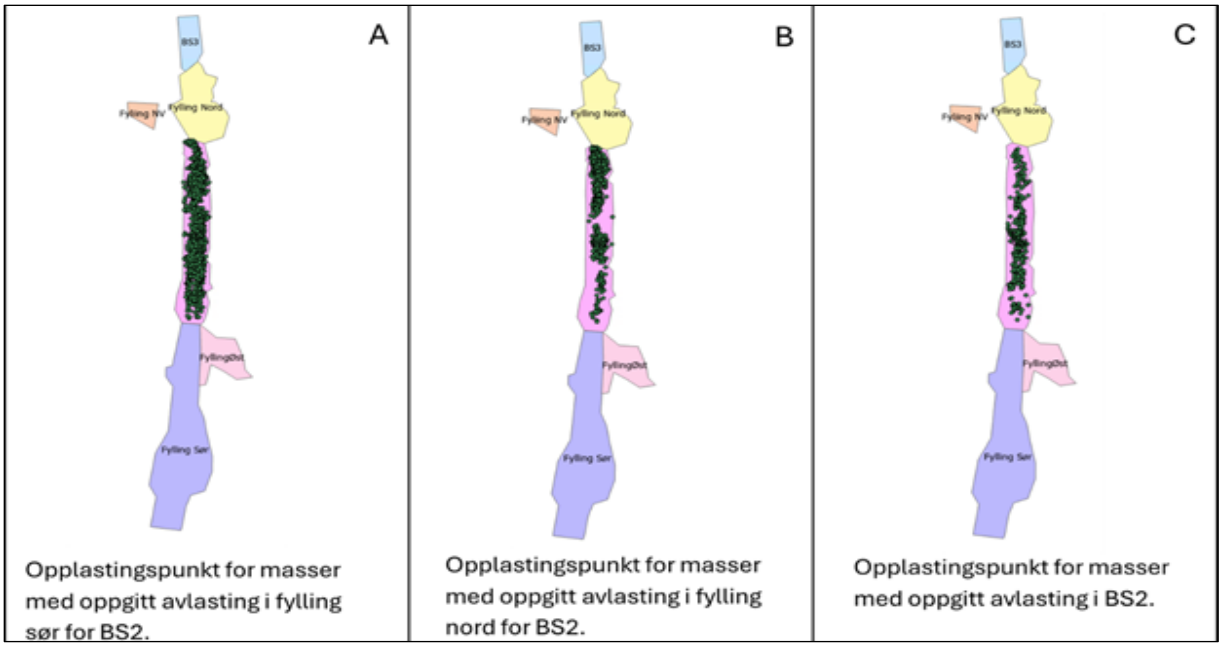
3. NP:AP var her bestemt som gjennomsnitt av hele borestrengen. Det fanger ikke nødvendigvis opp innslag av syredannende materiale innimellom. Metoden sier heller ikke noe om mulighet for metallavrenning ved nøytral pH, som vi har sett i forbindelse med andre prosjekt (Fjermestad mfl. 2017, 2018).

4. Selv om utløste metallkonsentrasjoner ligger under grenseverdier gitt i utslipps-tillatelsen for E6 Trofors, Tilstandsklasse IV, er det av interesse å avklare hvor masser med innslag fra Svenningdal gruve ligger, for å skaffe informasjon om innholdet i den diffuse avrenninga.

MilGRO vendte seg til NGI, dvs KONS for ENT, og i en e-post fra NGI (Sætre 2025) avklarte man at massen er plassert *både* nord og sør for BS2, men også gjenbrukt langs veglinja i BS, figur 19. Opplastningspunkta er i alle tilfeller fordelt langs hele BS2. Kriteria for deponering er basert på analysedata fra borkjernene samt bruk av bl.a. syre for å avklare innhold av karbonatmineraler. Det ble ikke anvendt HH-XRF i forbindelse med utvelgelsen. Behovet for innkapsling av gruvemasse falt bort. Sætre (2025) uttrykker at:

«Det bemerkes at opplastingspunkt ikke alltid representerer området hvor berget ble sprengt ut og dette vil være en feilkilde».

Foreliggende informasjon sier lite eksakt om hvor det meste av sulfidførende og forvitret masse fra nordre deler av BS2 befinner seg, og det er usikkert hvor stor usikkerheten i den nevnte feilkilden er. En kan med et visst forbehold anta at opplastning av masse med innslag av sulfid og tilhørende forvitringsmineraler fra nordre deler av BS2 ble transportert til nordre fylling, all den stund dette er korteste vei.



***Figur 19**: Opplastingspunkt i BS2 og fordeling av masser til fylling sør for skjæringa (A), til fylling nord for skjæringa (B) og masse plassert i vegen langs BS2 (C) (Sætre, 2025).*

4.4.2 Monitorlokaliteter for vannanalyser

Oppfølging med vannanalyser i anleggsfasen omfatter oppstrøms- og nedstrømslokaliteter. Det foreligger vannanalyser fra V0 og V4, henholdsvis oppstrøms og nedstrøms nordre masselager. Tilsvarende er det utført analyser av V6 (oppstrøms) og V7 (nedstrøms) ved det søndre masselageret. Analysene av nedstrøms vann, dvs. V4 og V7, har i all hovedsak ligget langt under grenseverdiene gitt i utslippstillatelsen. Begge prøvetakingspunktene ligger svært langt nedenfor masselagrene, hhv. Ca. 300 og 450 m. Det finnes ingen analyser av nedstrøms vann *nær* masselagrene.

Om anleggsarbeidene sier utslippstillatelsen at (Statsforvalteren 2021):

«*Vi vil presisere at selv om det kun settes konkrete grenseverdier for disse punktutslippene, så kan også den diffuse avrenninga fra anleggsområdene gi betydelig påvirkning på resipienten. Denne må derfor også begrenses i så stor grad som mulig*».

I Miljødirektoratets «Veileder til forurensningsforskriften kapittel 33» står det:

«Gjennom internkontrollen skal det komme fram at virksomheten har vurdert diffuse utslipp, både til luft, vann og grunn, og beskrive hvilke tiltak som er vurdert eller eventuelt er satt i verk, for å begrense ulempene».

Avrenning av tungmetaller mot Vefsna overskrider ikke grenseverdiene på de definerte punktutslippene i utslippstillatelsen (Tilstandsklasse IV), men det mangler tilstrekkelig dokumentasjon av syredannelse og tungmetallbelastning i den diffuse avrenningen.

5 RESULTATER OG DISKUSJON

Dette kapittelet beskriver vannanalyser fra felt, utlekkingstester, analyseresultater med HH-XRF og mineralogiske analyser ved XRD og SEM. Hensikten er å skaffe et grunnlag for å kunne avklare hvilke årsaker og mekanismer som styrer den lokale forurensningen. Forurensningen i E6SL viste seg å være liten, og årsaken til dette er først og fremst at de utsprengte massene inneholder lite gruvemasse. Erfaringene fra Svenningdal har likevel stor faglig interesse og vil kunne få betydning for framtidige vegprosjekt.

5.1 Vannprøver

5.1.1 Innledning

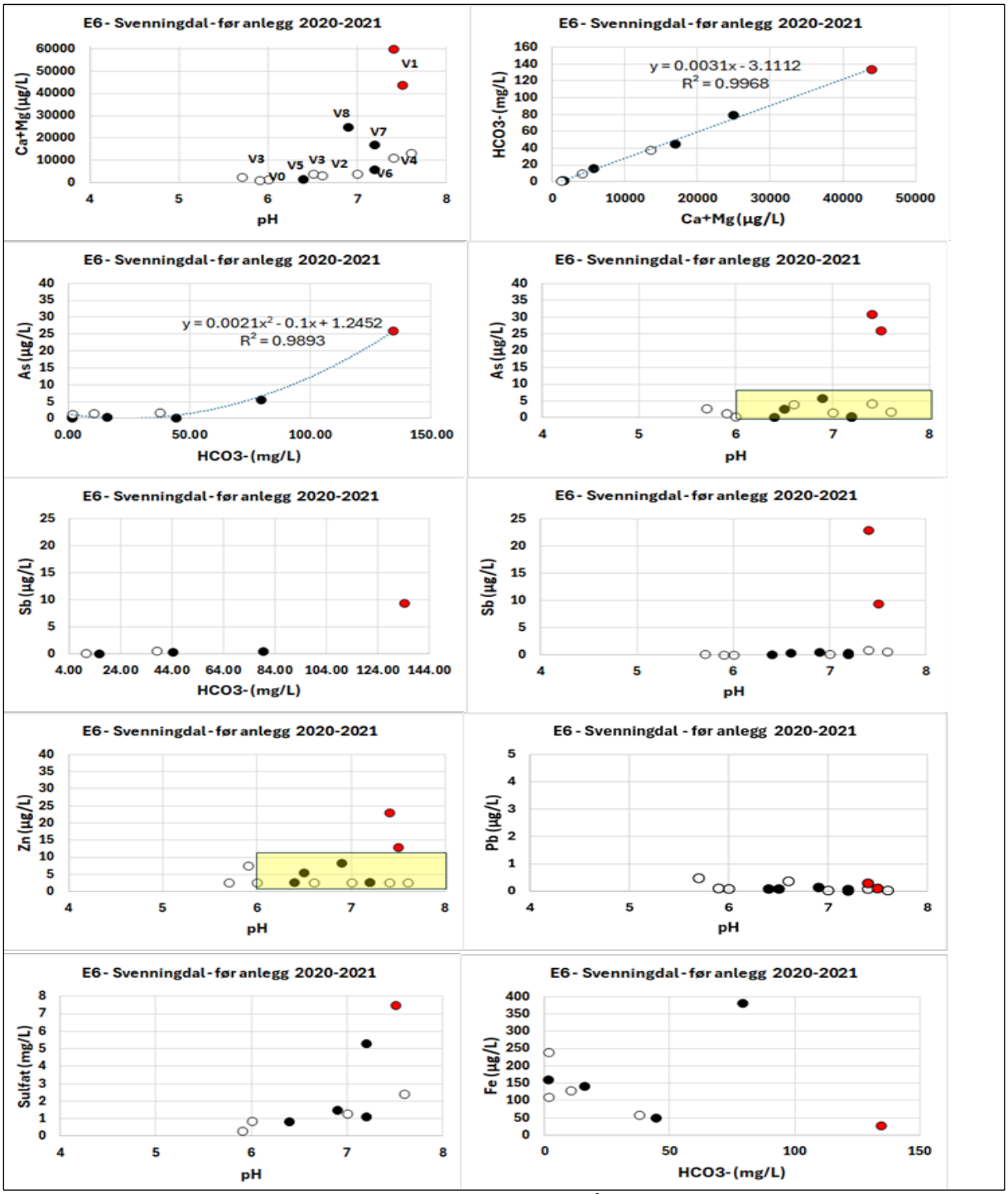
E6-prosjektet har analysert vann på flere lokaliteter i forbindelse med forundersøkelsene, figur 15. Noen av disse (V0, V4, V6, V7) følges opp med prøvetaking i anleggsfasen og etter at vegprosjektet er ferdigstilt. MilGRO har samla inn vannprøver som supplement fra anleggsveien ved BS2 (9010, 9020, 9040) og ved profil 8550 og 8560 (Pr 1, Pr 2) sør for BS2 nær lokalitetene V6 og V7. I MilGRO ble det også utført utlekkingstester på utvalgte prøver, med jevnlig måling av pH, og analyse av vann etter avsluttet forsøk, kapittel 5.6.

Sweco (2021) og LNS/NGI (2022, 2022b) gjengir analysene i tabeller uten særlig vannfaglig bearbeiding. I denne rapporten ser vi nærmere på et utvalg av vannkjemiske data fra forprosjektet og anlegget for å kaste lys over sammenhenger mellom stedegne mineraler, sulfider, forvitringsmineraler, karbonatmineraler, metallutlekking, bufferevne og pH.

Det er lagt vekt på elementene As, Zn, Pb, Sb, Fe, Ca, Mg og S som dominerer i mineralene i Svenningdal , kapitler 5.3 og 5.4. Vannkjemien er plottet opp i samlediagram for vannprøver fra ulike steder og tidspunkt. Diagrammene viser lignende samvariasjon. Selv om bekkene drenerer i litt forskjellig geologi og med varierende innslag av gruvemasse, antyder samlediagrammene at det finnes noen fellestrekk som styrer metallmobiliseringen og effekter av pH-buffer.

5.1.2 Vannprøver fra forundersøkelsene

De vannkjemiske analysene fra Sweco (2021b) før anleggsstart omfatter bla alkalinitet og sulfationer, som er nødvendig for vurderinger av forholdene. Alkalinitet (mmol/L) bestemt ved titrering til pH = 4,5 er uttrykk for karbonatbuffer og vi har regnet ut oppløst bikarbonat (HCO_3^-) i mg/L, ved å gange alkalinitet med molekylvekta til bikarbonat (61,02 amu). Alkalinitet ble analysert for ni av totalt 14 prøver. Alle tungmetallene har vesentlig lavere konsentrasjoner enn kravene i utslippstillatelsen, Tilstandsklasse IV i Vannforskriften, mens As og Zn er lokalt høyere enn Tilstandsklasse III, figur 20. Figur 20 skiller mellom lokalitetene V0, V2, V3 og V4 i nord, åpne symbol, og V5, V6, V7 og V8 i sør, svarte symbol. Bekk V1 drenerer direkte fra Svenningdal gruver og ut i terrenget mot sørøst og vekk fra vegtraseen, røde symbol.



Figur 20. Vannprøver fra forundersøkelsene (Sweco 2021b). Åpne sirkler = nordre bekk med lokalitetene V0 (oppstrøms vest for trase), V3 (nedstrøms ved senterlinja), V2 (nedstrøms øst) og V4 (langt nedstrøms mot Vefsna). Svarte sirkler = søndre bekk: V6 (oppstrøms vest for senterlinja), V7 (langt nedstrøms øst mot Vefsna) og V8 (separat bekk i foten av Svenningåsen mot Vefsna). Rødt symbol = lokalitet V1, drenerer fra Svenningdal gruve. Orange felt = vannkvaliteter i samsvar med Tilstandsklasse III.

Analysene viser en klar positiv korrelasjon mellom Ca+Mg og pH, og med en lineær positiv korrelasjon mellom Ca+Mg og bikarbonat. pH øker fordi noe kalsitt og dolomitt i kalksteinen løses opp.

As øker også jfr summen av Ca, Mg og bikarbonat. *As, Sb og Zn-førende mineraler i gruveområdet er tilsynelatende mest løselig ved høyt innhold av oppløst dolomittisk kalkstein og høy pH*.

Høyeste konsentrasjoner av As, Sb og Zn er målt i V1 nedstrøms Svenningdal gruver med høyest HCO_3^- (134 mg/L) og pH = 7.5. Det bemerkes at en tidligere analyse av V1 (Sweco 2021a) hadde enda høyere As og Sb (hhv. 31 og 23 µg/L).

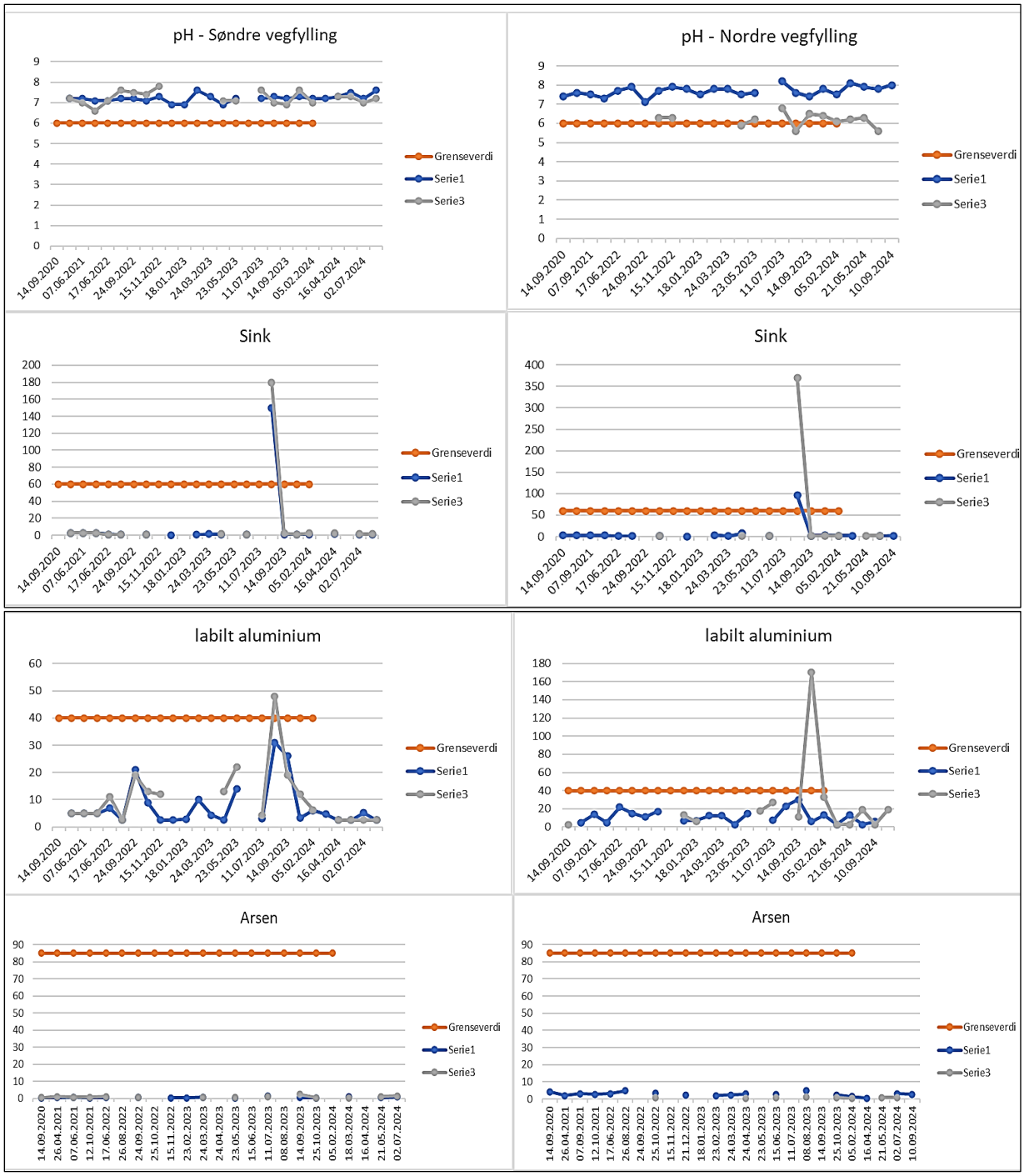
As, Sb og Zn korrelerer positivt med sulfat. Sulfatinnholdet er lavt (< 8 mg/L) og høyest ved høy pH. Konsentrasjonene av Sb og Zn korrelerer ikke med pH i intervallet 5.7 til 7.6. Bekk V1 med høyeste konsentrasjoner av Ca+Mg og bikarbonat har de høyeste konsentrasjonene av As, Sb og Zn. Pb hadde derimot svært lave konsentrasjoner uavhengig av bufferevne og pH. Oppløst Fe, toverdig jern, er negativt korrelert med bikarbonat, pH og Ca+Mg, og er lavest i bekk V1. Unntaket er bekk V8 som har den høyeste konsentrasjonen (Fe = 380 µg/L) ved relativt høy HCO_3^- = 79 mg/L og pH = 6.9.

Hovedtendensen er at nedstrøms-prøver oftest har høyere konsentrasjoner enn oppstrøms prøver, men *det var ikke noen tydelig forskjell mht. metallmobilisering* mellom nordre (V0 til V4) og søndre (V6 til V7) monitorbekker *før anleggsstart*.

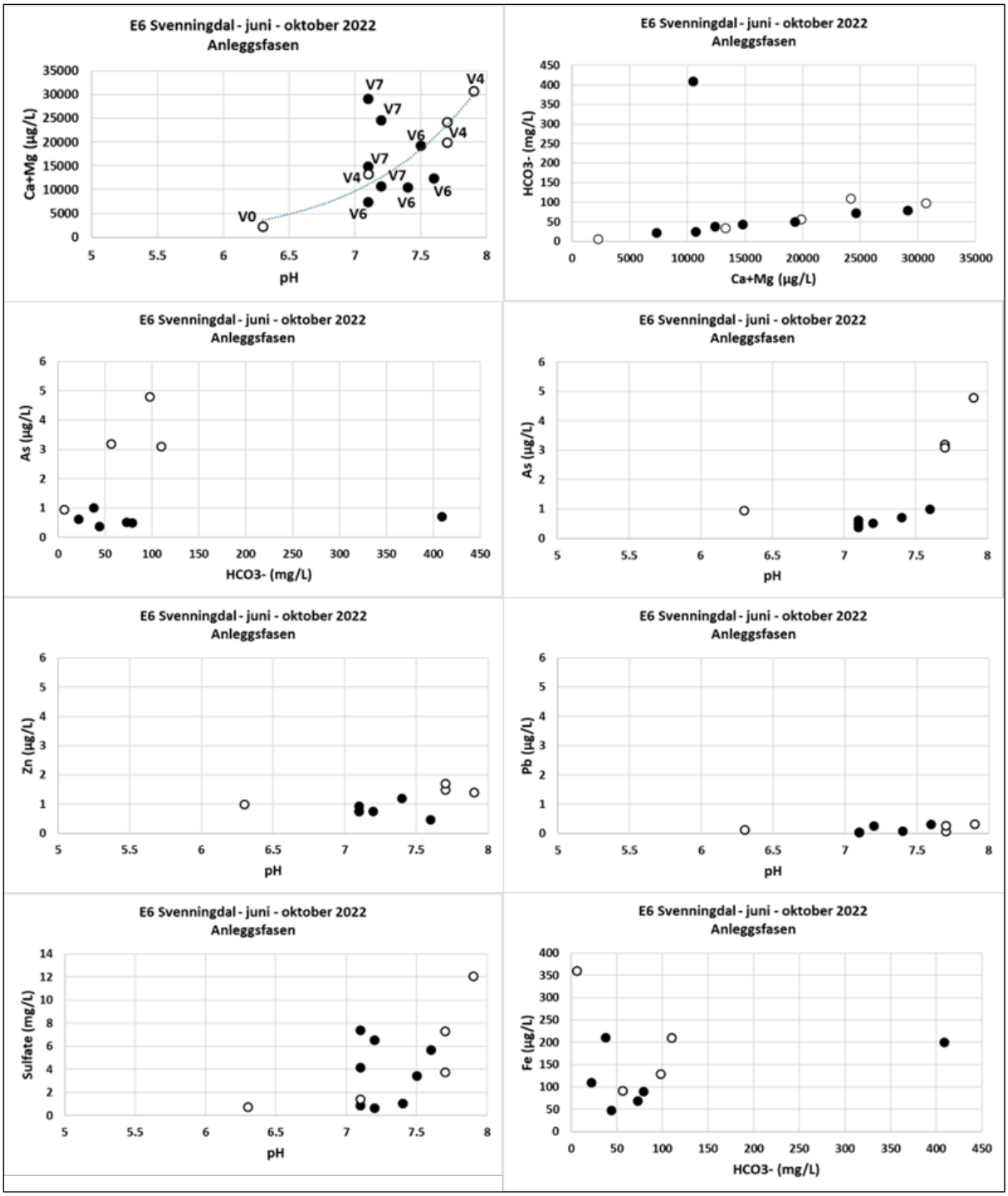
Resultatene fra forundersøkelsen viser at det ikke er noen generell sammenheng mellom syredannelse og tungmetallmobilisering.

5.1.3 Vannprøver fra anleggsfasen

Vi har ikke bearbeidet alle tilgjengelige vannanalyser fra prosjektet, men gjennomgått det vesentligste med tanke på tilstanden. Med et par unntak ligger alle konsentrasjoner langt under grenseverdiene gitt i utslippstillatelsen september 2020 til juli 2024, altså Tilstandsklasse IV. Unntaket er Zn som overskred grenseverdien den 11.9.2023 og labilt Al som overskred grenseverdiene 11.9 og 14.9.2023, figur 21. Dette kan ha sammenheng med høy aktivitet i masseuttak og håndtering i dette korte tidsrommet.



***Figur 21**. Utdrag av vannkjemiske data fra søndre fylling, t.v, og nordre fylling, t.h, 14.9.2020 til 2.7.2024. NGI (2022-2025).*

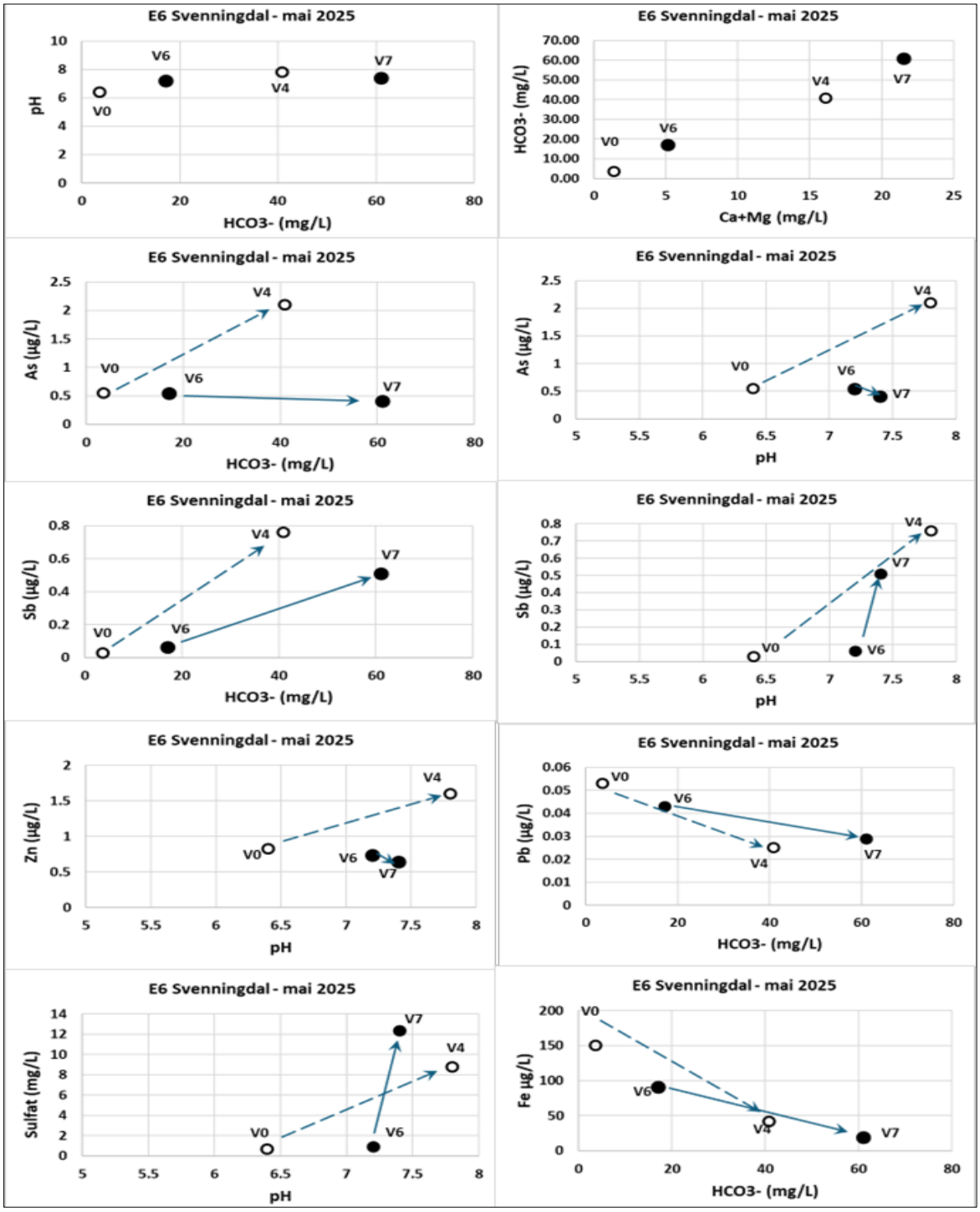


***Figur 22**. Sammenstilling av vannanalyser fra juni, august, september og oktober 2022. Basert på regneark fra LNL/NGI (NGI-2022-2025). Åpne symbol = nordre bekk (oppstrøms V0 og nedstrøms V4. Fylte symbol = søndre bekk (oppstrøms V6 og nedstrøms V7). Det foreligger ikke analyser av Sb.*

Figur 22 er en sammenstilling av analysedata fra perioden juni-oktober 2022. Det ble ikke analysert for Sb. Hovedtendensen er at nedstrømsprøver ofte har høyere konsentrasjoner enn oppstrømsprøver. Unntatt V0, med pH=6,3, ligger pH-verdiene på 7 - 8. Bikarbonat er lineært positivt korrelert med summen av Ca+Mg, unntatt en analyse fra V6 som på ett tidspunkt er svært høyt (HCO_3^- = 400 mg/L). Med unntak av V6 øker As ved økende pH, sulfat og bikarbonat. Sulfat er høyest ved høy pH. Pb og Zn har lave konsentrasjoner

tilsynelatende uavhengig av pH og HCO_3^-. Fe i V6 til V7 korrelerer ikke med bikarbonat og pH, mens Fe er høyest i V0 og minker mot V7. Nordover fra V0 til V4 øker As merkbart mot pH og HCO_3^- i de tre prøvene fra V4, mens As i V6 til V7, sør, er mer konstante. Sulfat øker nedstrøms i nord og sør, med litt høyere konsentrasjon enn før anleggsstart, figur 20.

Nordre og søndre bekker har nå fått litt ulik utvikling og viser effekter av massetransport.



***Figur 23**. Data fra mai 2025 (Eurofins 2025), her også med Sb.*

Figur 23 viser tilsvarende diagram for analyser fra de viktigste monitorlokalitetene i mai 2025, dvs. seint i anlegget. Det foreligger analyser fra V0, oppstrøms, V4, nedstrøms, i nord og V6, oppstrøms, og V7, nedstrøms, i sør. Også her øker Ca+Mg, bikarbonat og pH nedstrøms. Sulfat øker mot høyere bikarbonat og pH i både nord og sør, mens Fe og Pb minker mot både bikarbonat og pH (ikke vist). As skiller seg ut ved økende konsentrasjon nedstrøms i nord (V0 til V4), men med svært svak minkende As-konsentrasjon nedstrøms i sør (V6-V7).

Variasjonen er her ganske lik tilfellet vist i figur 21. Noe av årsaken til denne forskjellen kan være at nordre fylling inneholder mer gruvemasse enn fyllinga i sør. I begge tilfeller øker derimot Sb nedstrøms, i takt med økende bikarbonat og pH.

5.2 Vannprøver fra anleggsfasen utført av MilGRO

5.2.1 Vannprøver fra anleggsveg ved Svenningdal gruver, profil 9000-9050

MilGRO la vekt på analyse av vann omkring Svenningdal gruver, figur 15, der det er størst forekomst av tungmetallførende og mulig syregivende bergmasse. Den 31.10.2022 ble det samlet inn tre vannprøver fra pytter i anleggsvegen etter noe regn, og er derfor litt fortynna. Prøvene ble tatt fra profil 9010, 9020 og 9040 langs hovedtraséen i området der vegtraséen krysser hovedgruva. Prøvene ble vann- og partikkelanalysert av Nemko-Norlab, Mo i Rana.

Tabell 5 og 6 viser de viktigste resultatene fra hhv. vann og partikler. Laboratorierapport med partikkelanalyser er gjengitt i Vedlegg 2.

Analysene viser at alle parameterne ligger godt under grenseverdiene for vann i utslipps-tillatelsen. pH varierer mellom 7.8 og 8.0 og sulfat varierer mellom 39 og 48 mg/L. De toksiske tungmetallene, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, var for det meste under deteksjons-grensene for analysemetoden. Cr og Cd er her mulige unntak, fordi grenseverdiene gitt i tillatelsen på hhv 3,4 µg/L og 4,5 µg/L er lavere enn deteksjonsgrensene (hhv. 10 µg/L og 5 µg/L).

Tabell 5. *Kjemiske analyser av elementer oppløst i filtrert vann, oppgitt i µg/L bortsett fra SO_4^{2-} og HCO_3^- (mg/L). Verdier < X er deteksjonsgrenser. Se Vedlegg 2 for flere refererte analyser. * = har deteksjonsgrenser høyere enn krav etter Tilstandsklasse III.*

Prøve	As*	Cd*	Cr*	Cu	Hg	Ni	Pb	*Sb*	Zn	Fe	Mn	U	Th	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca	Mg	*pH*
9010	<10	<5	<10	15	<0,05	<10	<10	***18***	<5	89	220	2,9	<0,05	39	120	40000	9100	***7,9***
9020	<10	<5	<10	<5	<0,05	<10	<10	***16***	<5	82	180	5,2	<0,05	48	130	43000	11000	***8***
9040	<10	<5	<10	<5	<0,05	<10	<10	***14***	<5	68	350	2,4	<0,05	47	140	38000	7300	***7,8***

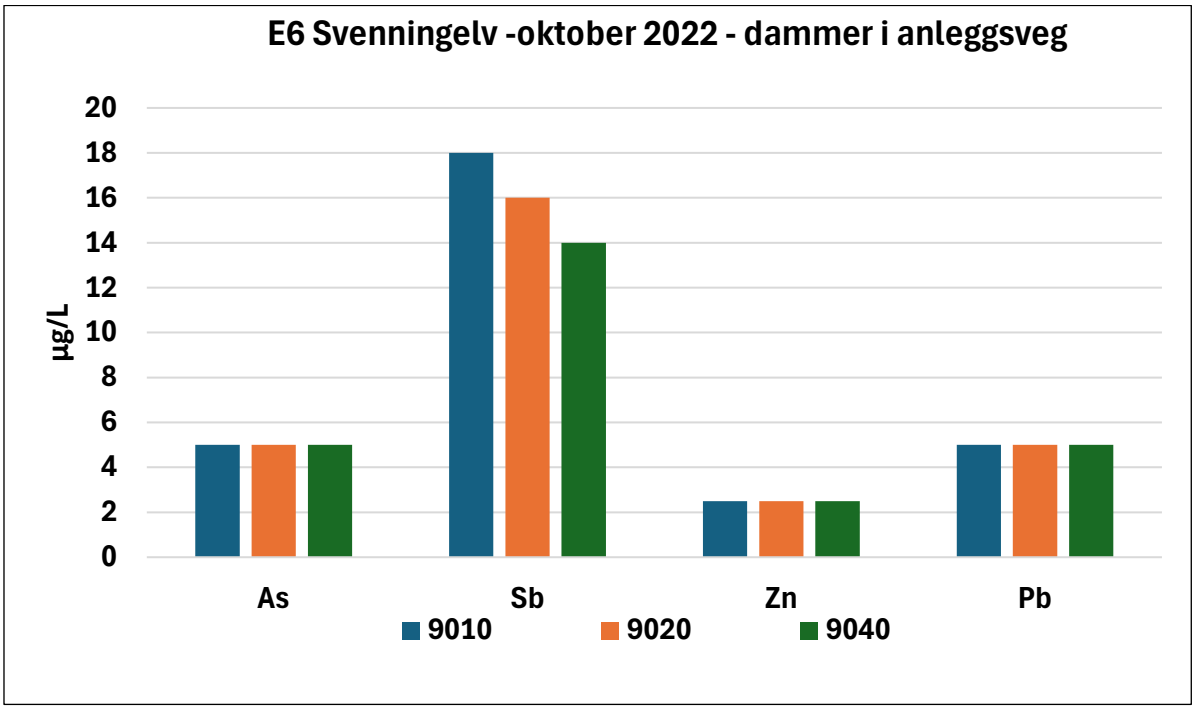
Tabell 6. *Kjemisk analyse av partikler oppgitt i mg/kg eller ppm, bortsett fra Fe, Mn, K og glødetap, LOI, som er oppgitt i vekt-%.*

Prøve	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	*Sb*	Zn	Fe	Mn	U	Th	S	K	Ca	Mg	*LOI*
9010	330	46115	75	80	0.11	74	210	***1,8***	450	0,10	0.13 %	3.0	4,5	1240	1.8 %	39000	39000	***4.7 %***
9020	190	46235	59	57	0,11	63	120	***1,4***	320	0,09	0,00	2,5	3,6	1100	0,02	27000	34000	***2.8 %***
9040	220	0,62	64	64	0,06	57	150	***2,0***	360	0,08	0,11	2,6	4,2	1620	0,01	43000	36000	***0,05***

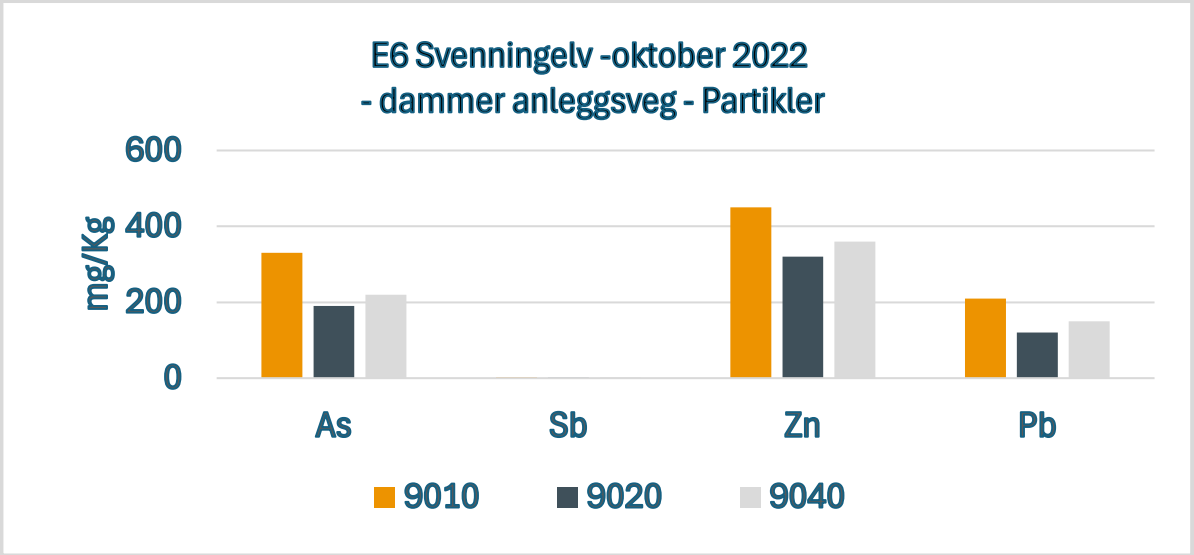
Sb. Det ble ikke satt krav til Sb i utslippstillatelsen. Analyser viser konsentrasjoner på *14-18 µg/L og er tydelig anrika i vann. Dette er omkring tre ganger grenseverdien for drikkevann på 5 µg/L og 80-160 ganger høyere enn i vanlige vannforekomster* (<0,1-0,2 µg/L) (FHI 2025), men ikke fullt så høyt som tidligere registrert i bekken V1 (23 µg/L), som renner fra det gamle gruveområdet.

Oppløst Sb i de tre vannpyttene er høyere enn Sb-konsentrasjoner registrert i bekker ved skytebaner (Sb = 4-12 (14) µg/L), hvor Sb i liten grad er bundet til partikkelfraksjonen (Heier mfl. 2004, 2010). Sb er, med unntak av Cu i prøve 9010, det eneste toksiske elementet som ble sikkert detektert mellom pel 9010 og 9024.

Sammenligning av elementkonsentrasjoner viser at de fleste tungmetallene, unntatt Sb, er bundet til partikkelfraksjonen og med svært lave konsentrasjoner i vann. As, Zn og Pb er bundet til partiklene, figur 24, 25. As er i dette tilfellet sterkt bundet til partiklene, mens Sb er sterkt anriket i vannet. Det ser ut til å ha en sammenheng med bikarbonatkonsentrasjoner som her er mye høyere (120-140 mg/L) enn i bekkeprøvene (opp til ca. 60 mg/L). Se ellers kapittel 5.7.



Figur 24*. Anrikning av Sb i filtrert vann i anleggsvegen. As, Zn og Pb ligger under deteksjonsgrensa, her angitt med 0,5 x deteksjonsgrensene. Sb er sterkt anrika i vann, men er svært lavt i partiklene, se figur 24.*



Figur 25. *Anrikning av AS, Zn og Pb i partikkelfraksjonen i anleggsvegen. Sb-konsentrasjonene er veldig lave, bare 1.4-2.0 mg/kg.*

pH-buffer: Ca og Mg var svakt anrika i vann, men likevel sterkt anrika i partikkelfraksjonen. Dette reflekterer høyt innhold av dolomitt og kalsitt. Verdiene for bikarbonat er høye, tabell 5, som i kontakt med karbonatmineralene gir høy bufferkapasitet og pH = 7.8 til 8.0.

Fe og Mn er litt forhøyet i vann og sterkt konsentrert i partikkelfraksjonen.

U- og Th-konsentrasjonene er < 5 mg/kg lave i partiklene og viser at det ikke er strålefare knyttet til disse prøvene. Se også XRF-analysene av forvitringsmaterialer i kap 5.3. U er svakt anrika i vannfasen, 2,4-2,9 µg/L. Th er under deteksjonsgrensen. U er alltid mer løselig i vann enn Th.

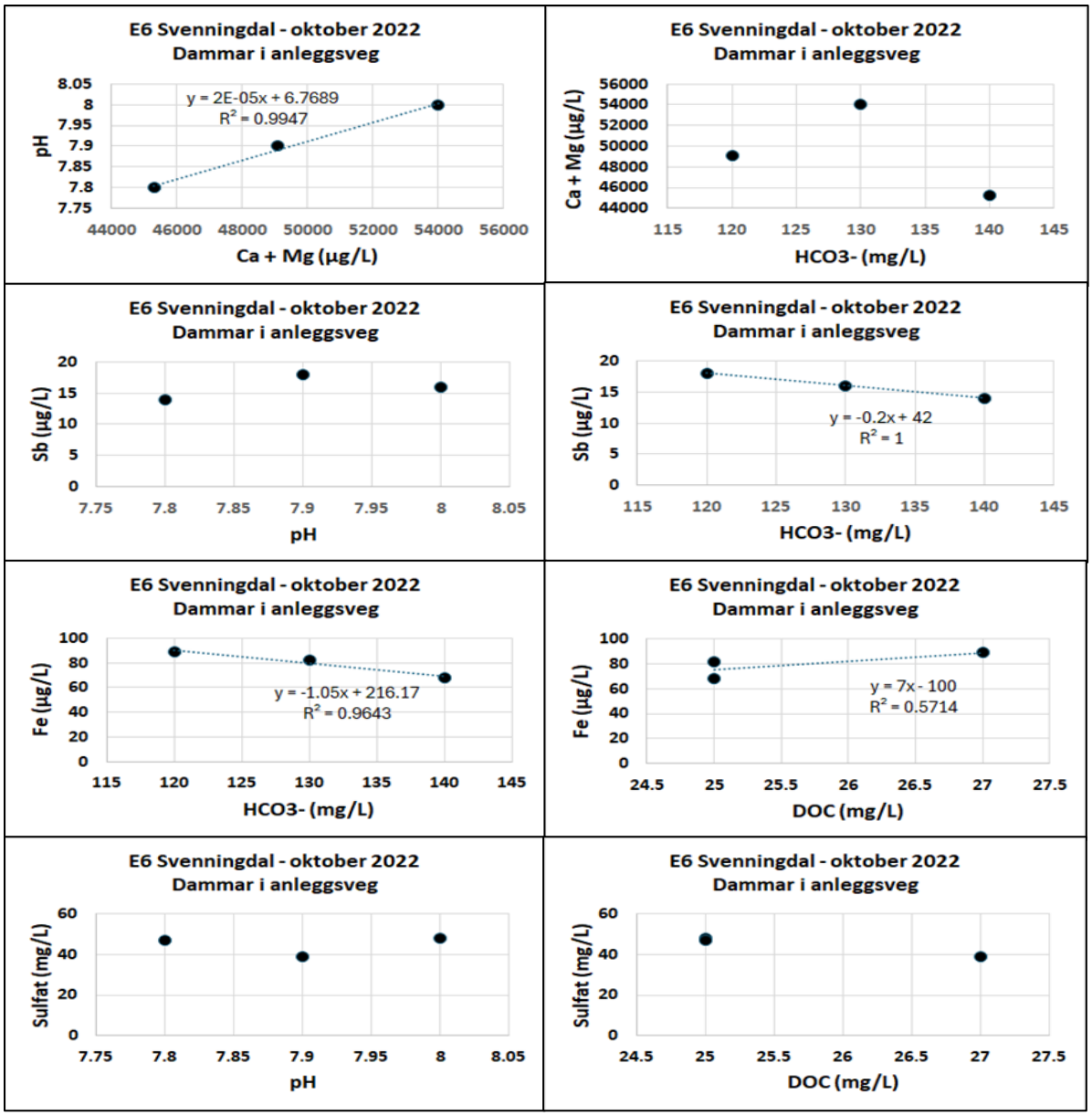
N. Vedlegg 2 viser analyser av nitrat, nitritt og ammonium i moderate konsentrasjoner (hhv. NO_3^- = 0,53 -0,91mg/L, NO_2^- = 0,44-0,74 mg/L, NH_4^+ = 0.27-0,79 mg/L). Det ble ikke utført analyse av N-forbindelser før anleggsstart, men det er sannsynlig at dette delvis omfatter ikke-omsatte sprengstoffrester. N-avrenning kan føre til eutrofiering og avhenger av tilstedeværelse av fosfat. Fosfatinnholdet i vannet er lavere enn deteksjonsgrensa (<0,010 mg/L) og gir en indikasjon på at eventuelle sprengstoffrester neppe vil bidra til eutrofiering fra avrenningsvann. Det er derimot sannsynlig at akutt giftig ammoniakk kan dannes fra ammonium ved høy pH (>9).

Ag forekommer i svært små mengder i partiklene ved pel 9010-9040 (3,2-5,4 mg/kg), men er neppe oppløst i vannfasen (< 3 µg/L). Det er derimot funnet innslag av sølv i forvitringsmaterialet, kapittel 5.3.

DOC i filtrerte prøver var relativt høyt (25-27 mg/L), Vedlegg 2, figur 26. Organisk innhold i tilstrekkelige konsentrasjoner kan føre til kjemisk reduksjon og motvirke effekter av oksygen. Prøvene viser en mulig svak effekt av reduksjon med høyest oppløst toverdig Fe ved høyeste DOC og samtidig lavere oppløst sulfat.

Figur 26 viser lineær positiv korrelasjon mellom Ca+Mg og pH, og en mindre tydelig korrelasjon mellom Ca+Mg og bikarbonat. Høyeste bikarbonat sammenfaller med laveste Ca+Mg, men de to andre prøvene med bikarbonatverdi 120 og 130, antyder en positiv korrelasjon som vist i bekkeprøvene. Oppløsning av Sb i vann ved pH = 7.8-8 samsvarer med det generelt høye innholdet av bikarbonat, men avtar likevel litt mot økende bikarbonat. Fe minker med økende bikarbonat, og ser ut til å øke litt med økende DOC. Sulfat-konsentrasjonen er ikke tydelig påvirka av pH, Ca+Mg og bikarbonat, men ser ut til å minke svakt mot høyeste DOC.

Den kjemiske variasjonen i dammene i anleggsveien er kvalitativt ganske lik det vi har sett i monitorbekkene på ulike tidspunkt. Men bikarbonatkonsentrasjonene er høyere enn i bekkene, 120-140 mg/L, og Sb er sterkt anrika i filtrert vann sammenligna med partiklene. As, Zn og Pb skiller seg ut ved å være sterkere bundet til partiklene enn Sb ved høyt bikarbonat.



Figur 26. Variasjon av kjemisk innhold i vann fra lokalitetene 9010, 9020 og 9040.

5.2.2 Vannprøver sør for BS2 ved profil 8550 og 8560.

MilGRO samla inn en vannprøve som drenerer fra Søndre fylling ved profil 8550 (Pr 1) og en prøve fra veggrøft ved profil 8560 (Pr 2) den 14 mai 2025. Det oppsto en misforståelse om analyseprogrammet, og prøvene ble stående i noen uker før analyse. Alkalinitet ble ikke analysert for Pr 2 og partikler ble ikke analysert i Pr 1, trolig pga for liten partikkelmengde, Tabell 7 og 8 viser de viktigste resultatene. Laboratorierapporten er gitt i Vedlegg 2.

Alle parameterne ligger under grenseverdiene i utslippstillatelsen (Tilstandsklasse IV), unntatt Pr 2 med svært høy pH = 9,4. Flere parametere ligger også under verdiene for Tilstandsklasse III, *men en bør merke seg at deteksjonsgrensene i analysene er høyere enn grenseverdiene for flere av prøvene*, Tabell 7.

Vannet er på samme måte som i prøvene fra dammer i anleggsvegen relativt anrika i Sb. De relativt høye deteksjonsgrensene for As, Zn og Pb gir en mulighet for at disse elementene kan være tilstede i filtrerte vannprøver. As, Zn og Pb er likevel klart anrika i partikkel-fraksjonen fra Prøve Pr 2 mens Sb i partiklene fra Prøve 2 er nær null.

Alkalinitet ble ikke analysert i Pr 2, men vi antar det er mulig å gi et estimat ut fra innholdet av Ca+Mg: I de andre prøveseriene er det for det meste en veldefinert positiv lineær korrelasjon mellom Ca+Mg og bikarbonat. De analyserte verdiene i Pr 1, HCO3- =37 mg/L og Ca+Mg = 17.9 mg/L, sammenfaller helt med trendene i figur 19, 21 og 22. I lys av svært høy pH = 9,4 og Ca+Mg = 63 mg/L i Pr 2, må en anta at bikarbonatinnholdet var ca. 160 mg/L, ved ekstrapolasjon, altså svært høyt.

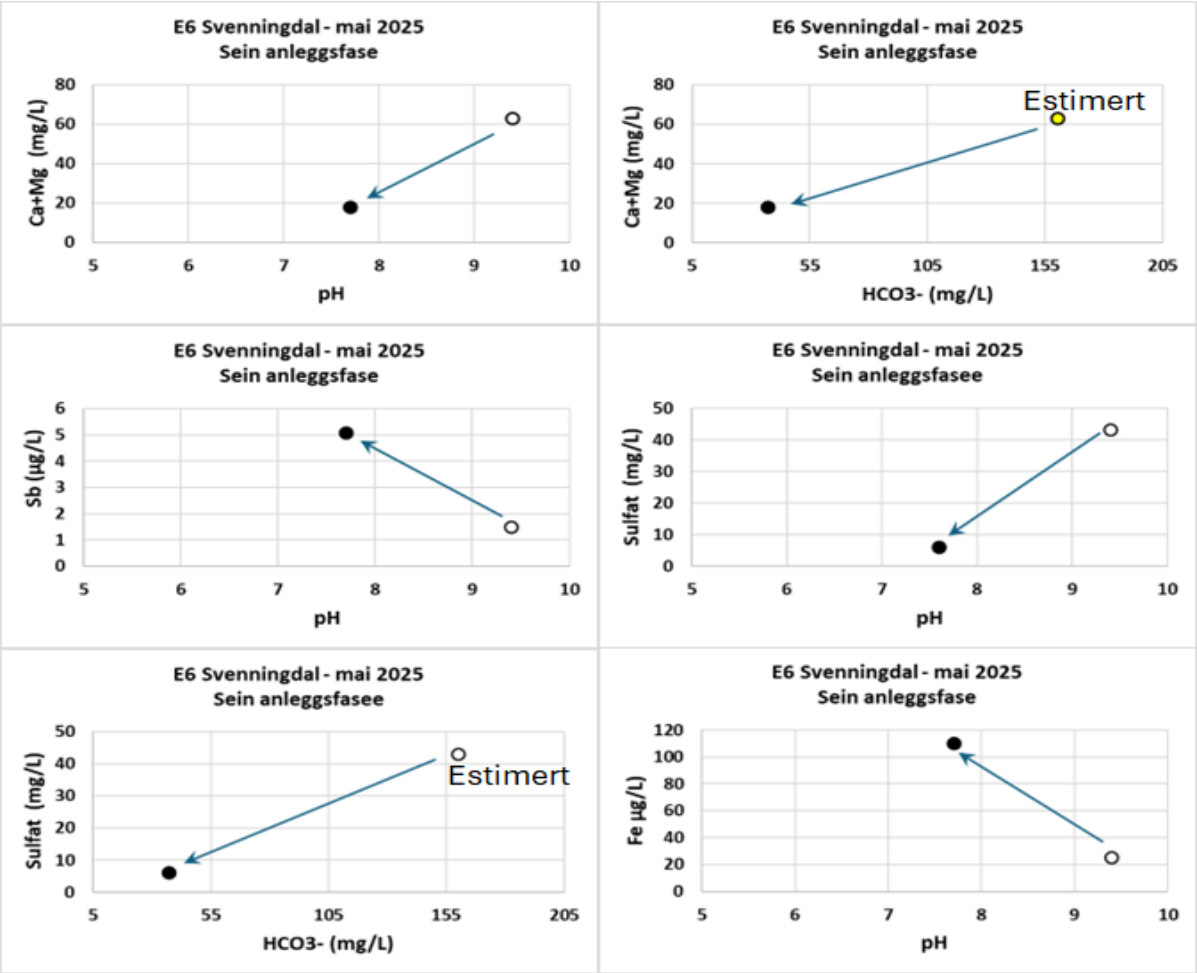
Tabell 7. *Kjemianalyser av elementer oppløst i filtrert vann oppgitt i µg/L. SO_4^{2-} og HCO_3^- angitt i mg/L. Verdier < X er deteksjonsgrenser. na = ikke analysert. * = har deteksjonsgrenser høyere enn krav i Tilstandsklasse III. Bikarbonat i Prøve 2 i profil 8560 er estimert ut korrelasjonen med Ca+Mg i andre prøver.*

Prøve	As*	Cd*	Cr*	Cu	Hg	Ni	Pb	*Sb*	Zn	Fe	Na	U	Th	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca	Mg	pH
Pr 1	<10	<5	<10	<5	<0,05	<10	<10	***5,1***	<5	0,11	4100	0,44	<0,06	6,1	37	14000	3900	7,6
Pr 2	<10	<5	<10	5,5	<0,05	<10	<10	***1,5***	<5	25	7800	15	<0,06	43	160	51000	12000	9,4

Tabell 8. *Kjemianalyse av partikler oppgitt i mg/kg (ppm). na = ikke analysert. Tørrstoff oppgitt i g/L.*

Prøve	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	*Sb*	Zn	Fe	Mn	U	Th	S	K	Ca	Mg	Tørrstoff
Pr 1	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Pr 2	9,3	<0,2	39	20	<0,01	24	6,4	***0.0***	88	na	na	2,3	5,7	1500	na	na	na	0,076

Figur 27 viser diagram for viktige kjemiske parametere oppløst i vann. As, Zn og Pb er ikke plotta fordi de ligger under deteksjonsgrensene i metodikken. pH er høyest i Pr 2 fra grøft, med høyest Ca+Mg og trolig høyest bikarbonat. Sb er høyest i Pr 1, 5.1 µg/L; dvs. marginalt høyere enn drikkevannsnormen, med pH = 7.6; Ca+Mg = 17.9 mg/L og bikarbonat = 37 mg/L. Sb er lav i Pr 2 (1.5 µg/L) med pH = 9.4 og Ca+Mg = 63 mg/L, ved antatt bikarbonat ~160 mg/L. Sulfat og Fe er høyest i Pr 2 (hhv. 43 mg/L og 25 mg/L) og Fe er høyest i Pr 1, med pH = 7.6.



Figur 27. *Pilene viser nedstrøms retning, men det er ikke observert direkte kommunikasjon mellom grøft Pr 2 og Pr 1, hhvis åpne og fylte symbol, som drenerer fra søndre fylling. Bikarbonat er estimert for Pr 2, se teksten.*

5.3 Analyse med HH XRF på utvalgte MilGRO-prøver

Prøvene som ble samlet inn i området ved Svenningdal gruver i 2022 viste mye rustfarga omvandling pga forvitring eller hydrotermal aktivitet. Det ble lagt størst vekt på analyse av rusta materiale da tidligere rapporter ikke gir samlet omtale av omvandlings-produktene i Svenningdal gruver (NGU 1976, Neumann, 1985, Mindat.org). Foto av prøvene er vist i Vedlegg 3.

Hensikten med analysene i MilGRO er å finne ut betydningen mineralene i omvandlings-skorpene har i forbindelse med E6 gjennom Svenningdal gruver, og for å innhente mer kunnskap om denne type miljøgeologisk problematikk. XRF-analysene ble utført som overflateanalyser i sirkulære områder, 8 mm diameter, for det meste i to områder av samme materiale per prøve. Analysetiden var 2 minutter/område. Områdene ble valgt ut på forhånd etter visuell bedømming ved hjelp av 12x lupe, og så analysert av SVV - Laboratorium Øst.

Prøve 06-10, finkornet brunforvitra grus, ble preparert i prøveholder og utført som en bulkanalyse. Tabell 9 viser analyseresultatene. XRF-analysene la grunnlag for å velge ut delmateriale for mineralogisk analyse med XRD og SEM, kap 5.4, samt utvalg av prøver for statisk utlekkingstest, kap 5.5. Hensikten med analysene i MilGRO er å finne ut hvilken betydning mineralene i omvandlingskorpene har i forbindelse med E6 gjennom Svenningdal gruver, men også for å innhente mer kunnskap om denne type miljøgeologisk problematikk.

Tabell 9. *Analyseresultater fra HH XRF oppgitt i ppm (10000 ppm = 1 vekt-%), utført på områder av større prøver, Vedlegg 3. Totalt 10 prøver ble videreført i utlekkingstester, kapittel 5.6: Blå symbol; Prøver i 4 måneders utlekkingstest med påfølgende analyse av vann. Røde symbol: Prøver i 2 måneders utlekkingstest uten påfølgende analyse av vann. Utdrag av rapport fra Laboratorium Øst, 2022-09-14.*

Prøve nr	Beskrivelse	Si	Al	K	Ca	S	Fe	Mn	P	Mg
E6-21 punkt 1	Brun rust på lys kvartsrik	27957	10138	3494	3254	24674	374737	332	9441	<LOD
E6-21 punkt 2	Lys kvartsrik spor av kis (hydrotermal?)	230034	61764	37219	7332	76729	31099	<LOD	650	6273
P2 pkt 1	Rødbrun rust på kalkstein	37355	27363	867	36341	7141	100470	3369	708	<LOD
P2 pkt 2	Rødbrun rust på kalkstein (tykk)	20535	28126	912	3388	17778	172746	3261	480	<LOD
P3 pkt 1	Rød rust	10798	6859	1330	<LOD	71414	239533	<LOD	1832	<LOD
P3 pkt 2	Rød rust	14161	7854	821	<LOD	64253	256022	<LOD	2368	16781
P4 pkt 1	Beige skorpe	144008	48918	14619	19426	2021	81434	779	1009	15186
P4 pkt 2	Beige skorpe	75371	71440	4491	8361	1916	86951	1549	1645	10788
06-01 pkt 1	Brun rust på metavulkanitt	12349	6486	2868	9092	32504	177724	466	1566	<LOD
06-01 pkt 2	Metavulkanitt	151762	31843	3080	78403	7708	125215	1874	682	18541
06-03 pkt 1	Brun rust på metavulkanitt	19567	8039	8856	5077	34348	220787	637	<LOD	5361
06-03 pkt 2	Beig skorpe på brun rust på metavulkanitt	56781	17735	12754	17008	15102	164944	883	577	<LOD
06-06 pkt 1	Brun rust på muleg metavulkanitt	46617	13515	5731	4486	2507	117260	295	6728	<LOD
06-10 prøve kop	Brunt forvitringsmateriale massse finstoff	139733	25551	8559	13683	1146	51876	750	1068	31349
06-12 pkt 1	Brun rust på malm	34709	14239	1814	4185	14912	378229	1189	618	50695
06-12 pkt 2	Malm rik på arsenopyritt	220369	5227	293	1016	74796	138111	234	<LOD	28687
06-12 pkt 3	Beige skorpe på malm	26482	38323	1540	3679	6345	345861	1307	674	41642
06-13C pkt 1	Brun rust + beige	17881	10793	3894	1270	13218	269955	4077	948	15604
06-13C pkt 2	Brun rust	54707	16989	10186	1250	3987	122187	15751	640	<LOD
Prøve nr	**Beskrivelse**	**As**	**Cd**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Pb**	**Sb**	**Zn**	**Ag**
E6-21 punkt 1	Brun rust på lys kvartsrik	241	<LOD	89	677	186	<LOD	203	101	<LOD
E6-21 punkt 2	Lys kvartsrik spor av kis (hydrotermal?)	25	<LOD	112	244	69	<LOD	<LOD	20	<LOD
P2 pkt 1	Rødbrun rust på kalkstein	97	<LOD	451	627	604	<LOD	<LOD	363	<LOD
P2 pkt 2	Rødbrun rust på kalkstein (tykk)	119	<LOD	551	557	251	<LOD	<LOD	108	<LOD
P3 pkt 1	Rød rust	14724	4642	1071	708	<LOD	86243	4384	197472	710
P3 pkt 2	Rød rust	11403	1296	5480	739	<LOD	149177	27167	40560	14947
P4 pkt 1	Beige skorpe	99	<LOD	108	604	61	161	<LOD	177	<LOD
P4 pkt 2	Beige skorpe	119	<LOD	<LOD	711	89	203	<LOD	1639	<LOD
06-01 pkt 1	Brun rust på metavulkanitt	94	<LOD	41	427	180	127	<LOD	41	<LOD
06-01 pkt 2	Metavulkanitt	49	<LOD	<LOD	586	103	16	<LOD	181	<LOD
06-03 pkt 1	Brun rust på metavulkanitt	66	<LOD	82	679	278	49	<LOD	153	<LOD
06-03 pkt 2	Beig skorpe på brun rust på metavulkanitt	192	<LOD	56	339	136	61	<LOD	320	<LOD
06-06 pkt 1	Brun rust på muleg metavulkanitt	339	<LOD	<LOD	415	74	32	<LOD	105	<LOD
06-10 prøve kop	Brunt forvitringsmateriale massse finstoff	520	<LOD	37	138	<LOD	4524	45	583	7
06-12 pkt 1	Brun rust på malm	79430	181	957	1118	114	1810	2214	3483	39
06-12 pkt 2	Malm rik på arsenopyritt	142482	<LOD	491	319	109	2179	309	110	50
06-12 pkt 3	Beige skorpe på malm	73679	166	1714	722	189	24267	500	2775	55
06-13C pkt 1	Brun rust + beige	141662	738	3621	579	<LOD	1735	5096	7095	62
06-13C pkt 2	Brun rust	33601	191	1705	662	<LOD	925	577	3198	196

Si, Al og K er typisk for kvarts og feltspatførende bergarter. Ca og Mg indikerer kalsitt eller dolomitt, men Ca finnes også i plagioklas. For eksempel har metavulkanitt uten karbonater Ca og Mg på hhv. 7,8 og 1.8 vekt % (analyse 06-01 pkt. 2). Dette reflekter innhold av plagioklas (Ca), biotitt og amfibol (Mg). Uten god mineralogisk kontroll kan det være vanskelig å gi en entydig konklusjon ut fra HH-XRF. Selv en mindre mengde karbonat kan virke som en effektiv pH-buffer.

Høye konsentrasjoner av Fe reflekter innhold av Fe-oksyhydroksider. S varierer fra 0,11 til 7,7 vekt %, og *11 av totalt 19 analyser har mer enn 1 vekt % S*. Tungmetallene As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb og Zn er utbredt i rustomvandlinga, men har lavere konsentrasjoner i meta-vulkanitt uten rust, prøve 06-1, og hydrotermal kvarts, E6-21. Rød rust i prøve P3 er mest anrika i As, Cd, Cu, Pb, Sb og Zn, mens Ni her ligger under deteksjonsgrensa. Også en del brun rust i 06-10, 06-12 og 06-13C har anrikning av disse elementene. Ag forekommer også i noen prøver. P3 har høyeste konsentrasjon Ag = 1,5 vekt-%. Det er ellers et lite innslag av P, som stort sett varierer mellom 0,05 og 1 vekt-%.

5.4 Mineralidentifikasjon og mineralkjemisk analyse ved XRD og SEM

5.4.1 XRD-analyse utført av Sweco

Sweco (2021b) referer til utførte XRD analyser av de mulige syredannende prøvene M3, M7 og M8, med totalt svovelinnhold på hhv. 3,6, 2,49 og 1,94 vektprosent. XRD-resultatene i Tabell 10 viste derimot ingen forekomst av sulfidmineraler i noen av prøvene, og ingen svovelførende mineraler i de to prøvene med høyest total svovel (M3 og M7). Det eneste svovelførende mineralet er litt kaliumsulfat i prøve M8.

Det er derfor tydelig at analysene av prøvene for XRD ikke representerer eksakt samme materialet som ble analysert kjemisk.

Sweco viser ikke hvordan prøvepreparering er utført forut for XRD analysene.

Mineralene kvarts, labradoritt, albitt, hornblende og muskovitt er vanlige bergartsdannende mineraler i granitt og metavulkanitt i Svenningdal. Det klorittlignende mineralet amesitt og zeolitten chamositt er påvist. Carnegieitt, $NaAlSiO_4$, i M3 virker svært usannsynlig fordi dette mineralet av kjemiske årsaker aldri forkommer i bergarter sammen med kvarts, og egentlig er et kunstig framstilt mineral.

Forbindelsen C_3MnO_7P i M7 virker også svært kryptisk. Det er ikke oppgitt hvordan prøvene ble preparert.

Tabell 10. Mineralidentifikasjon av potensielt syredannande prøver M3, M7 og M8 (Sweco 2021b).

Quantitative Analysis, order N2101434, ALS lab services

Prøvenummer 747401_M3				
Fase	Navn på fase	Kjemisk formel	COD (Crystallography Open Database)	% av material
1	Quartz low	SiO_2	1011097	3
2	Labraodorite	$Al_{0.83}Ca_{0.34}Na_{0.15}O_4Si_{1.17}$	9000749	10.5
3	Hornblende	$Al_{2.42}Ca_{1.802}Fe_{1.846}H_2Mg_{2.224}Na_{0.628}O_{24}Si_{6.44}Ti_{0.07}$	9001225	61
4	low carnegieite	$AlNaO_4Si$	2100988	25.5

Prøvenummer M7				
Fase	Navn på fase	Kjemisk formel	COD (Crystallography Open Database)	% av material
1	Muscovite	$Al_{1.94}H2K_{0.86}O_{12}Si_{3.86}$	9004409	91
2		C_3MnO_7P	7006428	3
3		SiO_2	9006285	2
4	Amesite	$Al_2H_4Mg_2O_9Si$	9015989	4

Prøvenummer M8				
Fase	Navn på fase	Kjemisk formel	COD (Crystallography Open Database)	% av material
1	Chamosite	$Al_{1.2}Fe_{2.482}H_{10}Mg_{2.518}O_{18}Si_{3.8}$	9009233	20
2	Albite	$AlNaO_8Si_3$	2107372	77
3	Potassium sulfate HT	K_2SO_4	1000049	3

5.4.2 XRD-analyse utført av LNS/NGI

LNS/NGI (2022b) rapporterte XRD-analyser av åtte prøver, Tabell 11. Bulkkjemisk analyse av prøvene viste stort sett lavt innhold av S (< 1 vekt %), unntatt prøvene HP4, H6 og H7 med hhv. 2,8; 2,8 og 3.7 vekt-% S. Likevel var det bare prøve H1 som inneholder sulfid/blyglans, med mulig spor av jarositt i tre prøver. De S-førende prøvene viste derimot ikke forekomst av S-førende mineraler. Prøvene HP3 og HP8 består hovedsakelig av dolomitt og mindre mengder kalsitt.

Resultatene tyder også i dette tilfellet på at *prøvene for totalkjemisk analyse ikke er identiske med XRD-prøvene.*

Det er ikke oppgitt hvordan prøvene ble tatt ut og preparert.

Tabell 11. XRD analyser rapportert av LNS/NGI (2022b).

Prøvemerking/ Mineral		H1	H3	H6	H8	HP1	HP3	HP4	HP7
illitt + glimmer	%	0,0	12,0	9,6	0,0	0,8	0,0	7,6	5,7
kaolinitt		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
kloritt		3,0	7,0	3,9	sp	3,0	0,0	39,8	0,9
kvarts		96,4	31,3	0,9	0,4	0,8	1,4	10,2	sp
K-feltspat		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0
plagioklas		0,0	15,1	9,3	0,0	27,0	0,0	30,2	71,6
amfibol		0,0	18,0	40,9	0,0	60,5	1,1	0,0	0,0
klinozoisitt		0,0	9,6	26,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8
titanitt		0,0	4,1	9,3	0,0	7,9	0,0	3,4	14,0
kalsitt		0,5	0,0	0,0	3,1	0,0	3,7	0,0	0,0
dolomitt		0,0	0,0	0,0	96,5	0,0	93,8	0,0	0,0
Galena (blyglans)		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ilmenitt		0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

*sp = spormengde
Mulig spormengde av jarositt i H3, H6 og HP1.

5.5 XRD og SEM utført i MilGRO

5.5.1 Innledning

Hensikten med MilGRO-analysene var å avdekke hvilke mineraler som forekom langs traséen i Svenningdal og hvordan de virker inn på syre- og metallpotensialet. Det ble ikke lagt veldig stor vekt på lokal kalkstein fordi de helt klart representerer pH-buffere, om så i variabel grad. Totalkjemisk analyse ved HH XRF, kap. 5.3, kombinert med mineralogisk- og mikrokjemisk analyse er nyttig for å avdekke hvor S, tungmetaller mfl befinner seg.

Det er *løseligheten og andre egenskaper som sorpsjon mm hos de enkelte mineralene som samlet avgjør hva som egentlig vil skje*.

Sulfidmineraler som pyritt, pyrrhotitt, arsenopyritt, sphaleritt og galena danner syre ved oksidasjon og metallmobilisering. I tillegg til hovedmetallene i disse sulfidene, hhv Fe, As, Zn og Pb, inneholder sulfidene ofte mindre mengder av andre tungmetaller som Cd, Cu, Ni, etc.

Ved oksidasjon av sulfidene dannes det sekundære sulfatmineraler, arsenater og jernrike rustfarga mineraler med varierende løselighet i vann. Disse er dannet ved forvitring og/eller hydrotermale prosesser som er utbredt omkring Svenningdal gruver. Flere slike mineraler kan bidra til sur avrenning og tungmetallmobilisering, mens noen bidrar til innfangning av metaller ved utfelling eller sorpsjon (Jambor mfl. 2000, Hammarstrom og Smith 2002).

Mer detaljkunnskap om lokal mineralogi er dermed viktig fordi det vil øke vår forståelse av hvordan mottiltak kan settes inn for å forhindre skadelig avrenning, også andre steder.

SVV (2021, se Vedlegg 1) utførte geologikartlegging og foreløpige SEM-analyser av rustfarga finstoff fra omvandlingsprodukt i metasedimenter og metavulkanitt fra Svenningdal gruver. Prøve 1 viste dominerende innhold av jarositt. Prøve 3 inneholdt et S-førende jernhydroksid. En prøve av sulfidførende hydrotermal kvarts, dvs. opprinnelig malm, Prøve 4, inneholdt relativt 0,5 mm grov arsenkis, galena og et uidentifisert Sb-mineral. Finstoff fra omvandlingsproduktene ble testet i vann over 1-2 dager og gav pH ~ 5.

Undersøkelsene viste at *vektleggingen av pyritt som mest sannsynlig syregiver er en overforenkling av mineralogien* i Svenningdal gruver.

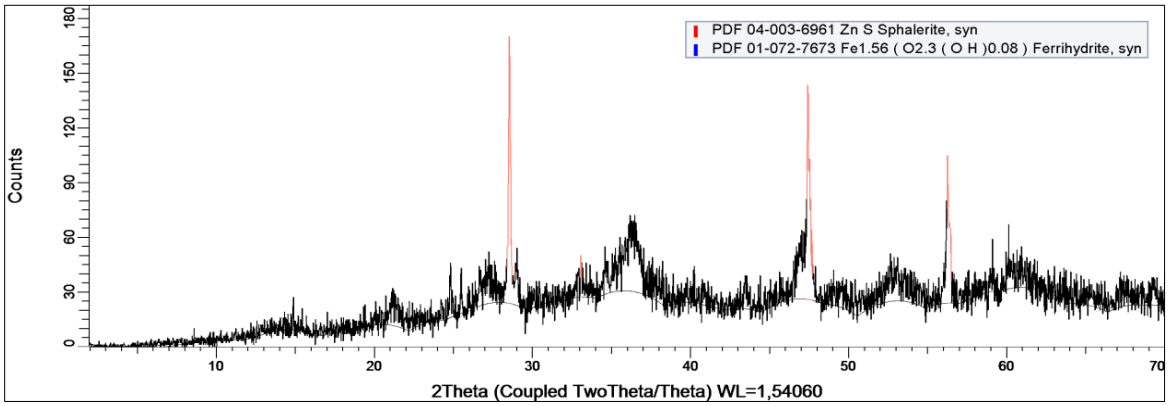
Innledende analyser med SEM viste forekomst av arsenkis og blyglans med lite tegn på omvandling/forvitring etter 130 års eksponering for luft og vann. Dette kan tyde på at relativt friske sulfider ikke uten videre avgir syre og tungmetaller, da dette avhenger av en viss grad av oksidasjon.

Konklusjonen ble at en må ha et større fokus på lokale sulfider som arsenkis, blyglans og sinkblende, samt finkornede rustfarga sekundære omvandlingsprodukter som er utbredt i og omkring Svenningdal gruver.

5.5.2 XRD-analyser

XRD-analysene ble utført på små delprøver tatt ut fra de samme prøvene som ble analysert ved XRF. Binokularlupe med 10 - 50x forstørrelse ble benyttet. Prøvene ble så finknust i agatmorter under etanol, montert på Al-holdere og analysert med et Siemens D 5005 Spectrometer. Diffraktogrammene ble tatt opp fra 2° til 70° (2-theta) med 0.050°/sekund. Instrumentet var satt til 40 kV og 40 nA med Ni-filtrert CuKα-stråling og bølgelengde λ =1.54178 Å. Minerala blei identifisert ved «PDF-4/minerals»-databasen fra International Centre for Diffraction Data. XRD-analysene viser hovedmineralene, men ikke mineraler < 1 %. Mineraler med dårlig krystallstruktur vises ved høy bakgrunn i XRD-diffraktogrammene. Analysene ble utført ved Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.

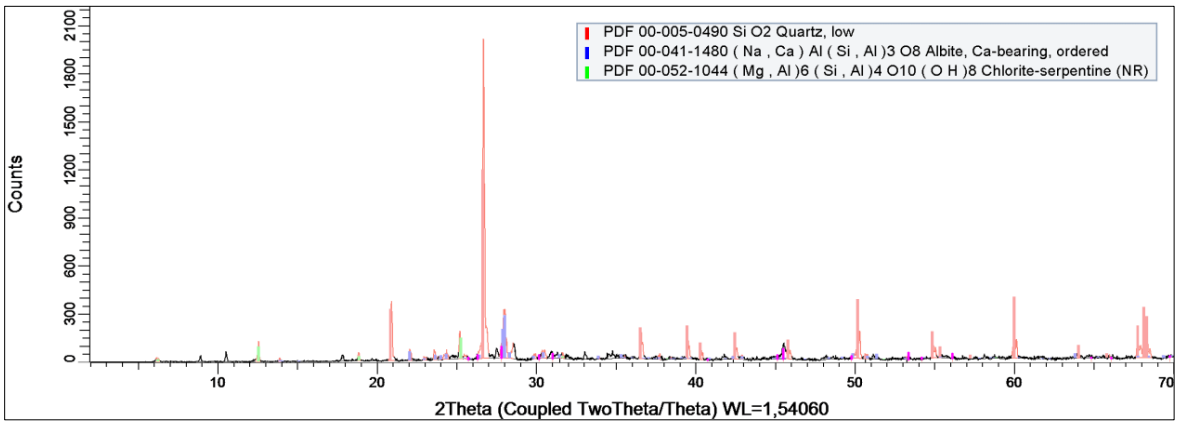
Analyserapporten fra Naturhistorisk museum, UiO, er vist i Vedlegg 4. Røntgenopptaka vist i figur 28 - 33 referer til delprøvenummer gitt i vedlegget. Basert på erfaringer legger vi til grunn at alle identifiserte sulfidmineraler, sinkblende, arsenkis, galena, danner svovelsyre ved oksydasjon (Appelo og Postma 2005, Asta mfl. 1981).



Figur 28. *XRD opptak av delprøve P3 viser hovedinnhold av sinkblende og ferrihydritt.*

Prøve P3, figur 28, inneholder hovedsakelig sinkblende og ferrihydritt med dårlig/nær amorf krystallstruktur, som vist med den høye bakgrunnen. Egenskapene til disse mineralene er som følger:

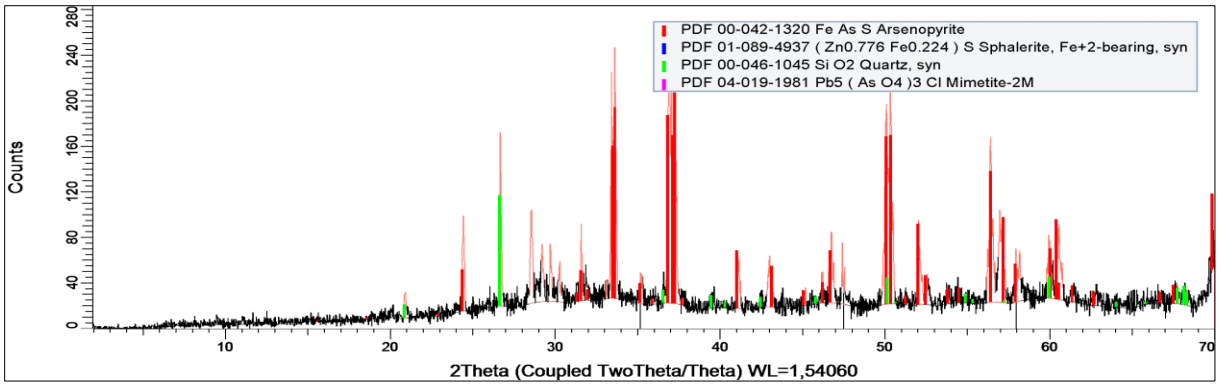
- Ferrihydritt fanger opp tungmetall ved sorpsjon, særlig As, men også Sb, Pb og Zn.
- Løseligheten til ferrihydritt i vann varierer fra noe løselig til tungt løselig og er avhengig av pH (Big Chemical Encyclopedia, Appelo and Postma 2005).
- *As sorbert til ferrihydritt kan bli fortrengt av bikarbonat og løse seg ut i vannfasen*. Dette er særlig viktig ved høye HCO_3^- konsentrasjoner og relativt høy pH (Appelo and Postma 2005, Sø mfl. 2008, Aziz mfl., 2019).



Figur 29. XRD opptak delprøve 06-10 med hovedmineralene kvarts, plagioklas og kloritt-serpentin.

Hovedmineralene i prøve 06-10, figur 29, er kvarts, plagioklas og kloritt-serpentin. Egenskapene er:

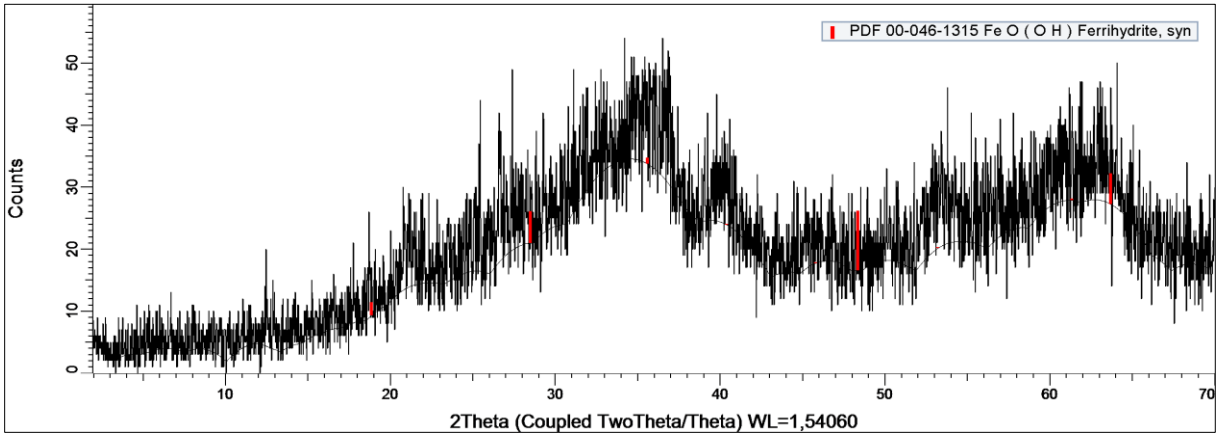
- Oppløsning av plagioklas, som gir abrasjons-pH = 9 (Stephens and Carron 1948), vil gi en buffervirkning på pH over tid, men i mindre grad enn effekten av kalsitt og dolomitt.
- Klorittmineraler sorberer tungmetaller som Ni ved pH = 7-11, ikke ved pH = 4, (Gustafsson 2004).
- Serpentin sorberer Cr (Mpouras mfl. 2017), men Cr er ikke utbredt i Svenningdal.



Figur 30. XRD-opptak prøve 06-12B, med hovedmineralene arsenkis, sinkblende, kvarts og mimetitt.

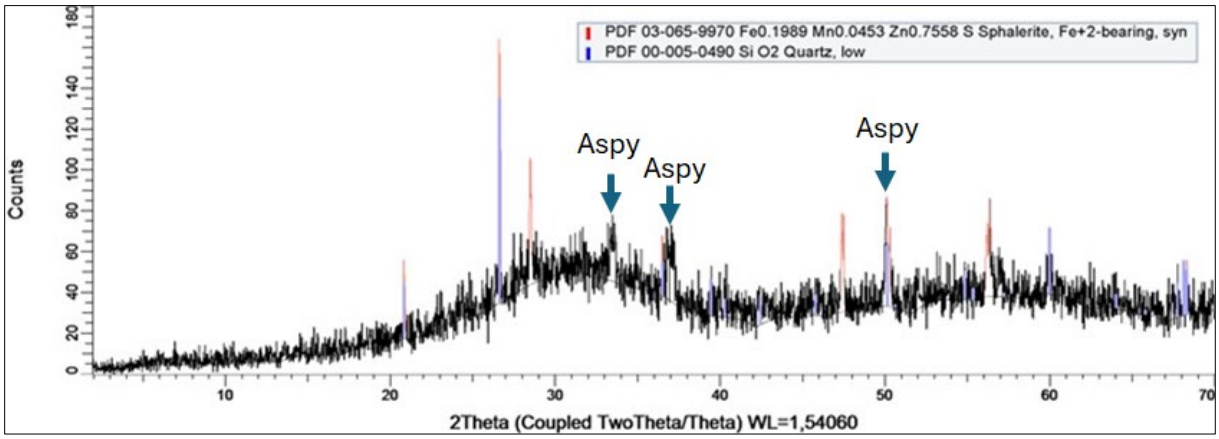
Prøve 06-12, figur 30, har hovedmineralene arsenkis, sinkblende, kvarts og mimetitt ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$).

- Arsenkis og sinkblende avgir svovelsyre i kontakt med luft og vann.
- Mimetitt, se figur 33, 34, er tungt løselig ved pH = 6-8 (Bajda 2010), tilsvarende pH-variasjonen i monitorbekkene. Dette betyr at Pb utløst ved oksidasjon av blyglans kan bli utfelt som mimetitt og dermed gi lave Pb-konsentrasjoner i vann. Mimetitt er derimot mer løselig ved pH = 2-3.
- Tilsvarende vil utfelling av Pb-karbonatet cerussitt, som er mest stabilt mellom pH = 7 - 8 (Domènech mfl. 2017), kunne fange opp Pb fra vann. Cerussitt forekommer også i Svenningdal (mindat.org) og ble funnet i prøve 06-15, figur 42.

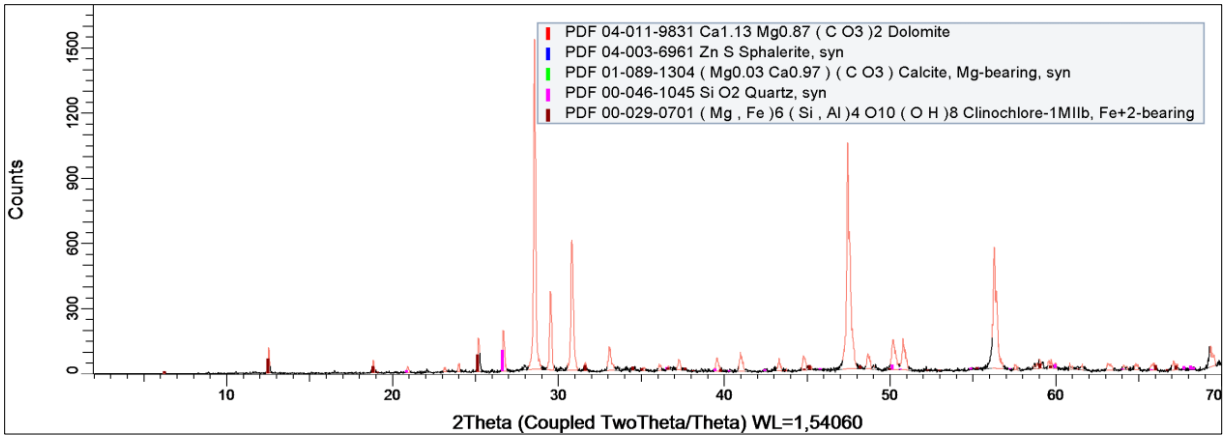


Figur 31. XRD-opptak prøve 06-13B som hovedsakelig består av amorf ferrihydritt. Se også 06-13C, figur 32.

Delprøve 06-13B, figur 31, er totalt dominert av amorf ferrihydritt mens delprøve 06-13C, figur 32, består av hovedmineralene kvarts, sinkblende og arsenkis, men med tydelig tegn på amorf ferrihydritt; samme bølgete bakgrunn som 06-13B.



Figur 32. XRD-opptak av delprøve 06-13C med hovedmineralene kvarts og sinkblende. Det er også tydelige topper av arsenkis/Aspy, som er lagt til etter analysen. Den bølgete høye bakgrunnen i denne rustprøva viser i tillegg forekomst av amorf ferrihydritt.



Figur 33. *XRD-opptak av prøve 06-15 med hovedmineralene dolomitt, kalsitt, sinkblende og klinoklor.*

Figur 33 viser hovedmineralene sinkblende, dolomitt og kalsitt, samt klinoklor. Sinkblende er syregivende i kontakt med luft og vann, mens karbonatene vil delvis løses i kontakt med syre; de frigir Ca og bikarbonat og motvirker dermed svært lave pH-verdier i vann.

5.5.3 SEM-analyser

SEM gjør det mulig å identifisere mineraler som ikke detekteres ved XRD, inklusive mineraler som utgjør mindre enn 1 %. Analysene ble utført på små delprøver tatt ved hjelp av 10 - 50x binokularlupe, fra samme delprøver som for XRD før utlekkingstesten. Analyserapportene fra UiO er i Vedlegg 5. Mikroanalysene er angitt med punkter på foto i backscattermodus. Lyse mineraler inneholder tyngre elementer enn mineraler med lettere elementer. Tabell 12 gir en oversikt over teoretisk kjemisammensetning- og egenskaper til identifiserte og mulig identifiserte mineraler fra området ved Svenningdal gruver.

I tillegg finnes det flere uidentifiserte metallførende mineraler, som vi ikke kjenner egenskapene til. Flere av de tidligere rapporterte sulfidmineralene og arsenatene, kap 1.3, ble ikke gjenfunnet i vårt prosjekt. Unntatt cerussitt og anglesitt, er sekundærmineralene knyttet til forvitring- eller hydrotermalaktiviteter, ikke tidligere rapportert fra Svenningdal gruver.

*Tabell 12. Teoretiske kjemiformler og egenskaper til mineraler fra Svenningdal gruve, identifisert i MilGRO. * = mest vanlige. ? = usikkert identifikasjon. I tillegg kommer bergartsdannende mineraler som kvarts, feltspat, amfibol og sjiktsilikater, som også opptrer som spredte korn i rustskorpene.*

Mineral	Kjemisk formel	Syre/base	Metallpotensial
Primære sulfidmineraler			
* Arsenkis	FeAsS	Syre ved oksidasjon	As, Sb, Fe
* Blyglans (galena)	PbS	Syre ved oksidasjon	Pb
Svovelkis	FeS_2	Syre ved oksidasjon	Fe, Cd, Ni, As
* Sinkblende	ZnS	Syre ved oksidasjon	Zn, Fe
Primære karbonatmineraler			
* Dolomitt	$CaMg(CO_3)_2$	pH-buffer	Sorberer Cd, Cu, Pb, Zn
* Kalsitt	$CaCO_3$	pH-buffer	Sorberer (-«-)
* Mg-kalsitt	$(Mg_{0.03}Ca_{0.97})CO_3$	pH-buffer	Sorberer (-«-)
Sekundære sulfater, karbonater, arsenater og hydratiserte jernoksider i rustskorper			
Angelellitt	$Fe_4(AsO_4)_2O_3$		As, (Sb), Fe
Anglesitt	$PbSO_4$		Pb
Apuanitt?	$Fe^{2+}Fe^{3+}{}_4Sb^{3+}{}_4O_{12}S$		Fe, Sb
Cerussitt	$PbCO_3$		Pb
* Ferrihydritt	$Fe_2O_3 \cdot 2FeOOH \cdot 2.6H_2O$	Sannsynlig bidrag til syre	Sorberer As, Sb, Pb, Zn
Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Avgir ikke syre	
* Goethitt	FeOOH		Sorberer As, Sb, Pb, Zn
Hematitt	Fe_2O_3		
Jarositt	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	Syre ved oppløsning	Fe, Cd, Ni, As etc
Ludlockitt?	$PbFe^{3+}{}_4As^{3+}{}_{10}O_{22}$		Pb, Fe, As (Sb)
Mimetitt-Cl	$Pb_5(AsO_4)_3Cl$		Pb, As
Pb-kalsitt	$(Pb,Ca)CO_3$		Pb
Pharmacosideritt	$KFe_4(AsO_4)_3(OH)_4\ n\ H_2O$		As (Sb), Fe
Paulmooreitt	$Pb_2(As_2O_5)$		Pb, As (Sb)
Schneiderhøhnitt?	$Fe^{2+}Fe^{3+}{}_3As_5O_{13}$		As (Sb), Fe
Schultenitt	$Pb(HAsO_4)$		Pb, As (Sb)
Segnititt	$PbFe_3AsO_4(AsO_3OH)(OH)_6$		Pb, As, Fe
* Uidentifiserte	As, Sb, Pb, Zn-mineraler	Ikke avklart	As, Sb, Pb, Zn, Fe

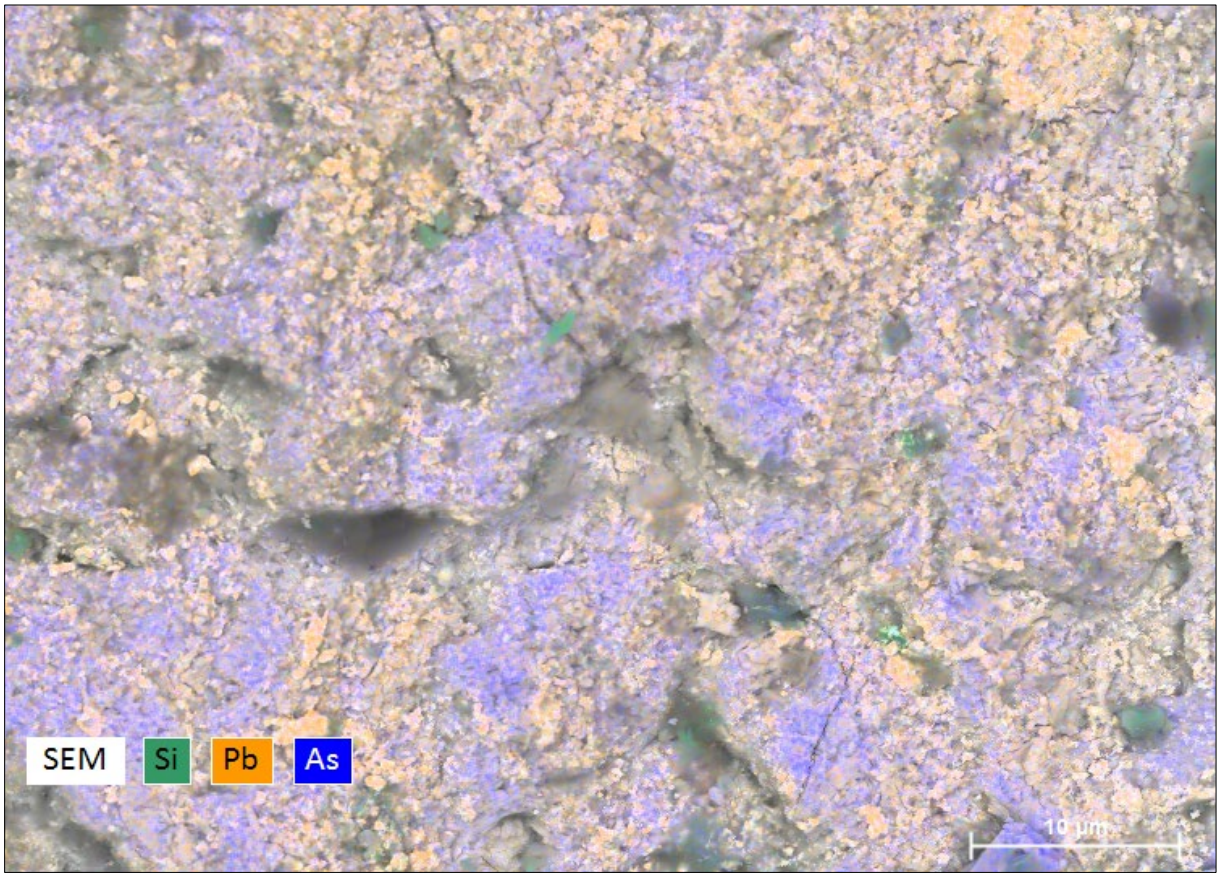
De forskjellige sulfidmineralene er aldri helt rene faser, som vist ved teoretiske formler i Tabell 12. Tungmetaller som Cd, Ni, As, Pb og Cu kan forekomme i arsenkis, svovelkis og sinkblende. Spormengder vil ofte ikke vises ved semikvantitativ SEM-analyse, men kan likevel ha miljømessig betydning i noen sammenhenger.

Analysene viser at sinkblende i Svenningdal har en mindre mengde Fe substituert for Zn og blyglans inneholder litt Zn substituert for Pb. Arsenkis fra Svenningdal inneholder av og til en betydelig mengde Sb, analysert område 06-12-04d, Vedlegg 5. Sekundærmineralene har også ofte innslag av tungmetaller; for eksempel inneholder flere av de uidentifiserte As-mineralene grunnstoffene Sb og Zn.

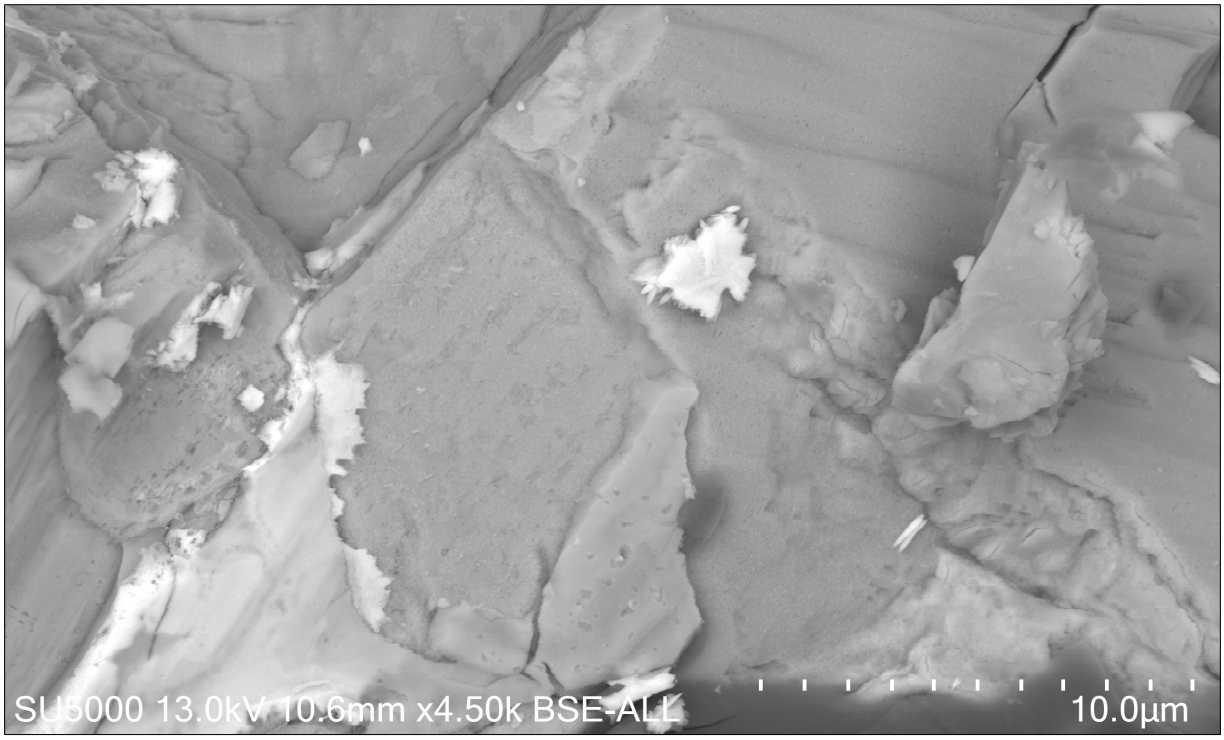
Ved direkte forvitring av sinkblende vil det vanligvis dannes rene Zn-hydroksid, men dette har vi ikke sett i analysene. Tilstedeværelse av Sb, Pb, As og Fe i tillegg til Zn i sekundære

mineraler utfelt på sinkblende. For eksempel P3-d og P3-e, i Vedlegg 5, viser at det må være tilført oppløste stoffer i denne sekundære omvandlinga, som tyder på *hydrotermal genese* snarere enn overflateforvitring.

Figur 34 - 43 viser en del typiske mineralassosiasjoner fra utvalgte analyseområder. Se óg flere detaljer i Vedlegg 5.



Figur 34. *Prøve E6-21, analyseområde E6-5-01c. Elementkart som viser arsenkis (blå), Pb-arsenatet mimetitt (oransje) og spredte partikler av silikatmineraler (grønn).*

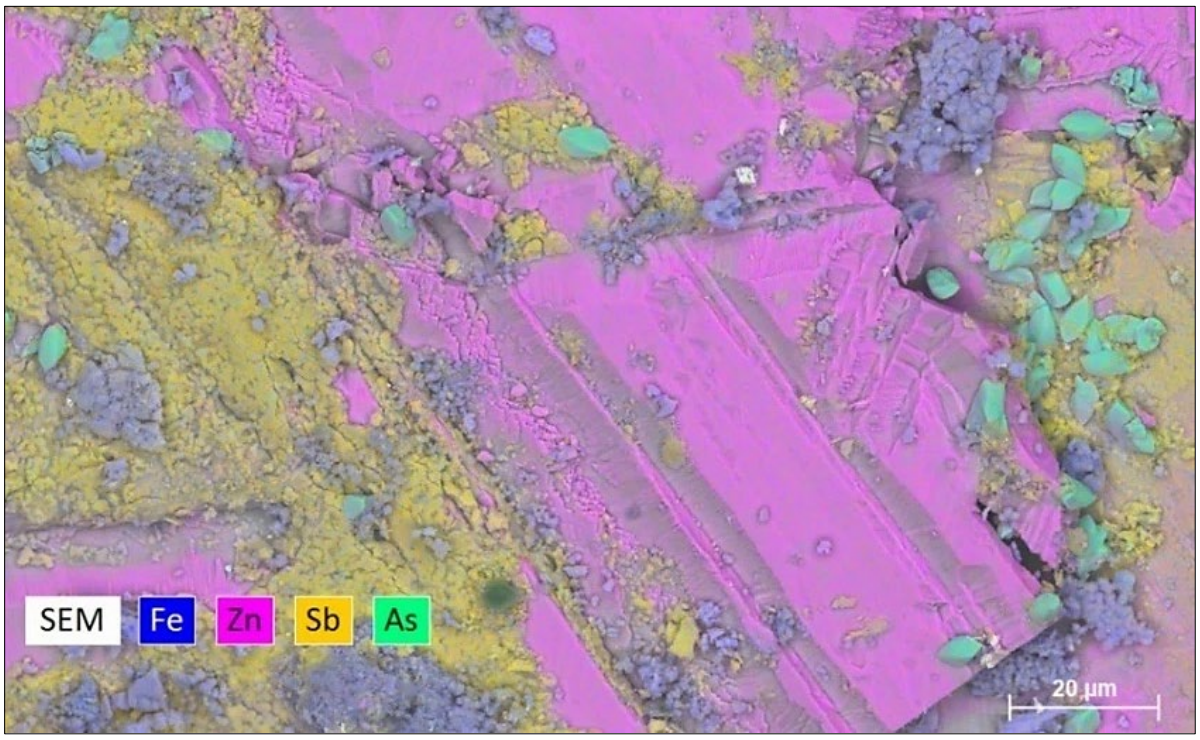


Figur 35. *SEM-backscatterfoto av prøve E6-21, område E5-5-05, med arsenkis (grå) og utfelling av mimetitt (kvit).*

Figurene 34 og 35 viser mimetitt, blyarsenat med As^{5+}, som er utfelt på arsenkis i feltprøve E6-21. Dette betyr at oppløste Pb^{2+} og arsenationer, AsO_4^{3-}, har blitt bundet i Pb-arsenat under dannelsen av de sekundære mineralene i Svenningdal. Pb-ioner er trolig tilført ved oksidasjon av blyglans, og AsO_4^{3-} er dannet ved oksidasjon av arsenkis.

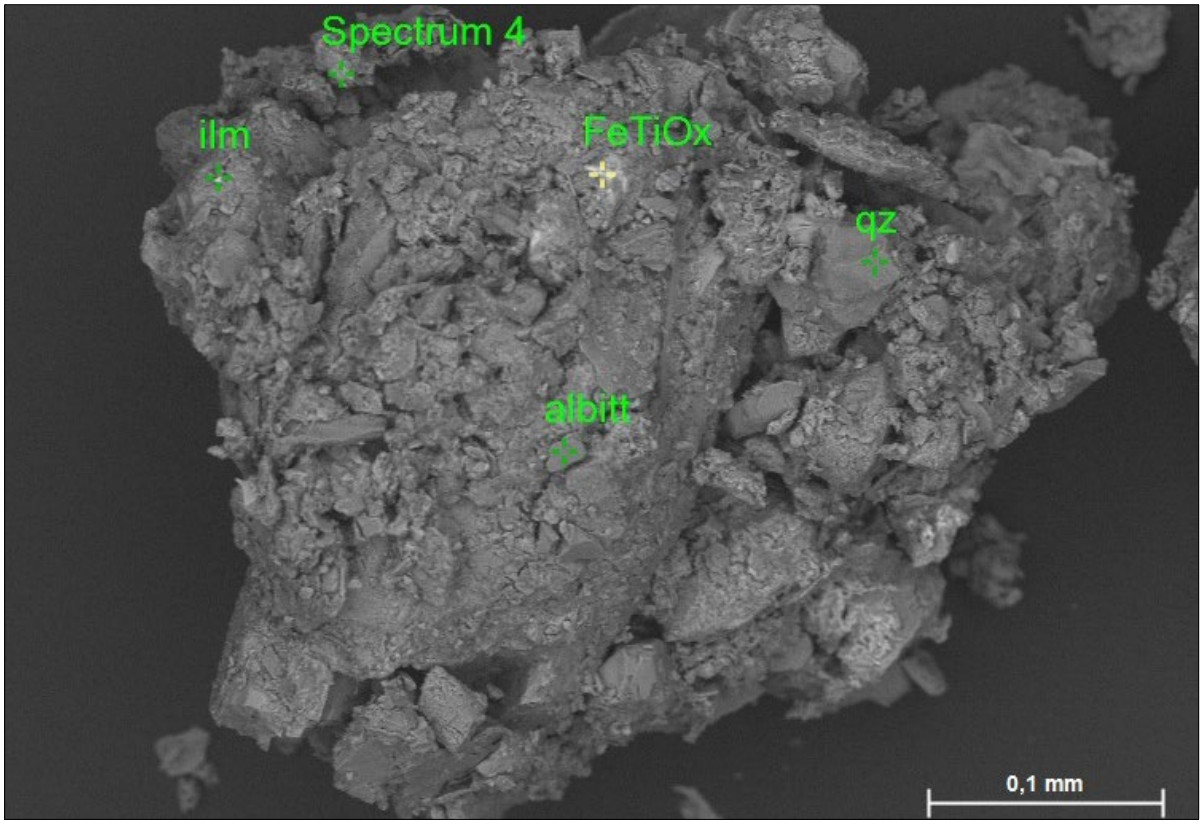
Figur 36. *Prøve P2, område P2-map1-area. Elementkart viser Fe-oksyhydroksidet ferrihydritt og goethitt med litt S (lys blå til rosa) og har ellers litt Al, Si og Ca. Mineralet er utfelt på dolomitt (grønn).*

Figur 36 viser at dolomitt dominerer i Prøve P2, som sammen med kalsitt og Mg-kalsitt er vanlig i kalksteinene i Svenningdal. Rust i Prøve P2 inneholder ferrihydritt og goethitt, men ikke sulfidmineraler (Vedlegg 5).



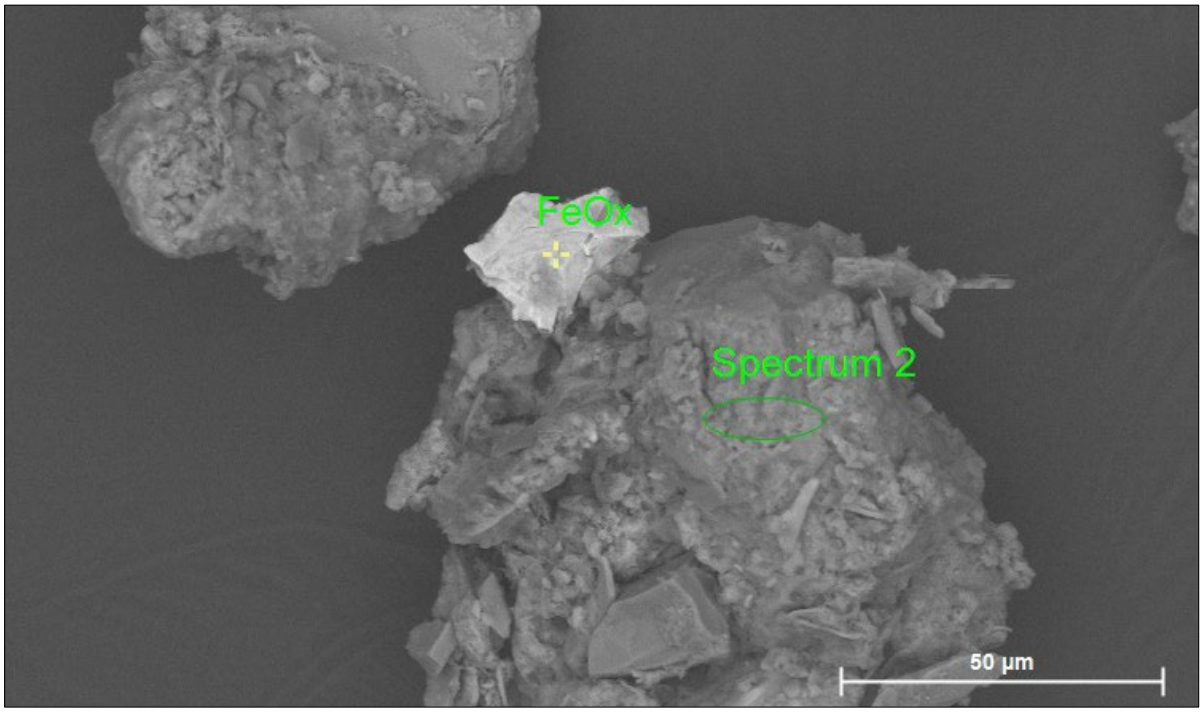
Figur 37. *Prøve P3 (område P3-e). Elementkart som viser sinkblende (rosa), og forvitringsmineraler med As (grønn) og Sb (gul), samt Fe-oksyhydroksid (blå). De små As-rike mineralene (lys grønn) er Pb-Fe-arsenat og tolka som mulig ludlockitt. Det gule mineralet med Sb er ikke identifisert.*

Ved forvitring av sinkblende vil det vanligvis dannes rene Zn-hydroksid. Tilstedeværelse av Sb, Pb, As og Fe i forvitringsmineralene i tillegg til Zn, figur 37, P3-d, P3-e og Vedlegg 5, viser at det er tilført oppløste stoffer i den sekundære omvandlinga, noe som tyder på hydrotermal dannelse. Løseligheten til As- og Pb-mineralene i prøva er usikker fordi vi ikke har en sikkert identifikasjon.



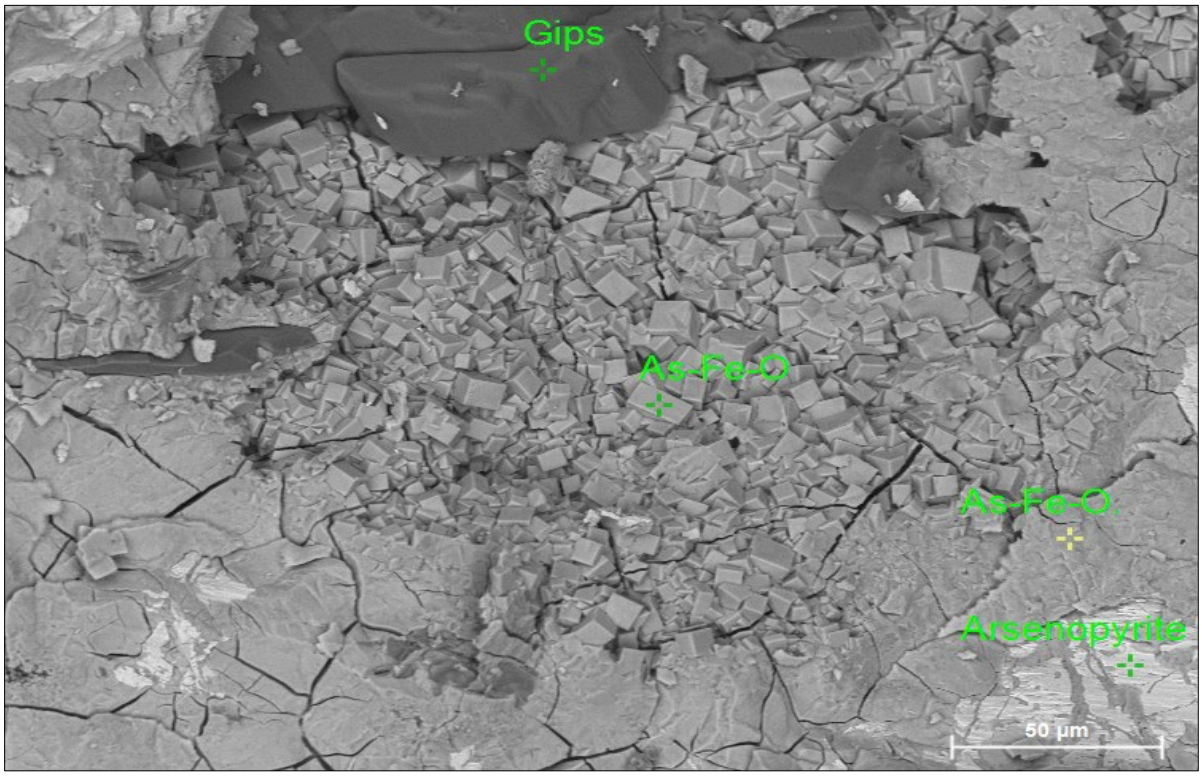
Figur 38. *Prøve 06-10 (SEM-backscatter, område 06-10 -4) med ilmenitt (ilm), kvarts (qz), albitt, Fe-Ti -oksid og et uidentifisert Fe, Ca, K, Al og Mg- førende silikatmineral (Spectrum 4).*

Prøve 06-10, figur 38, inneholder mye kvarts, albitt, ilmenitt og et Fe-Ti oksid, samt kloritt-serpentin. Disse mineralene er lite løselige og har liten innvirkning på vannkjemien.



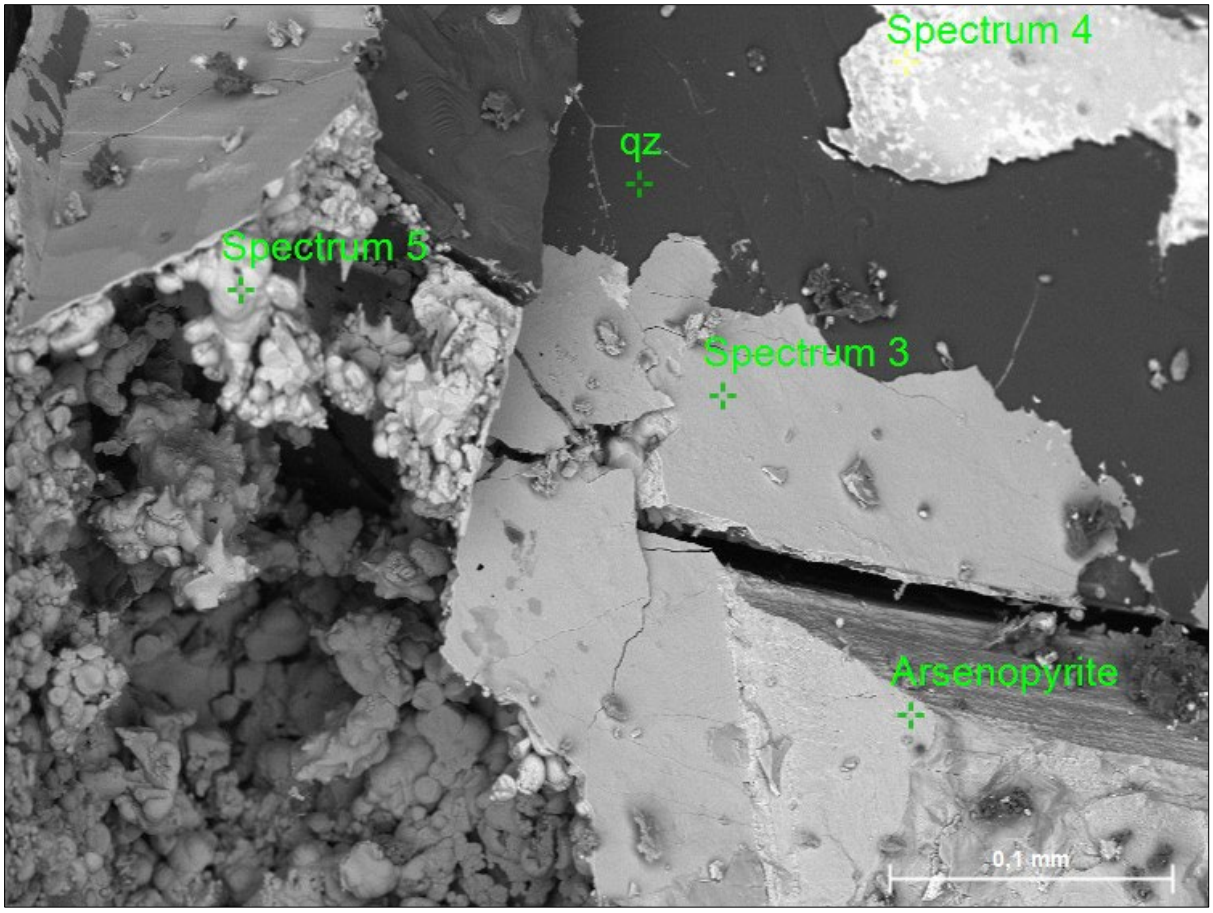
Figur 39. *Prøve 06-10 (SEM-backscatter), område 06-10-1, viser goethitt (lyst) på et uidentifisert Fe, K, Al, Mg silikat mineral (Spectrum 2).*

Rust i denne prøva er dominert av goethitt, figur 39, som har en ordnet krystallstruktur og er derfor mindre løselig enn ferrihydritt - ikke påvist.



Figur 40. *Prøve 06-11, fra område 06-11b-01c (SEM-backscatter) viser pharmacosideritt (et hydrøst K-Fe-arsenat) med kubiske krystaller og anhedrale former (middels grå), sammen med gips (mørk grå) og rester av arsenkis (lysest grå) i pharmacosideritt og gips (mørk).*

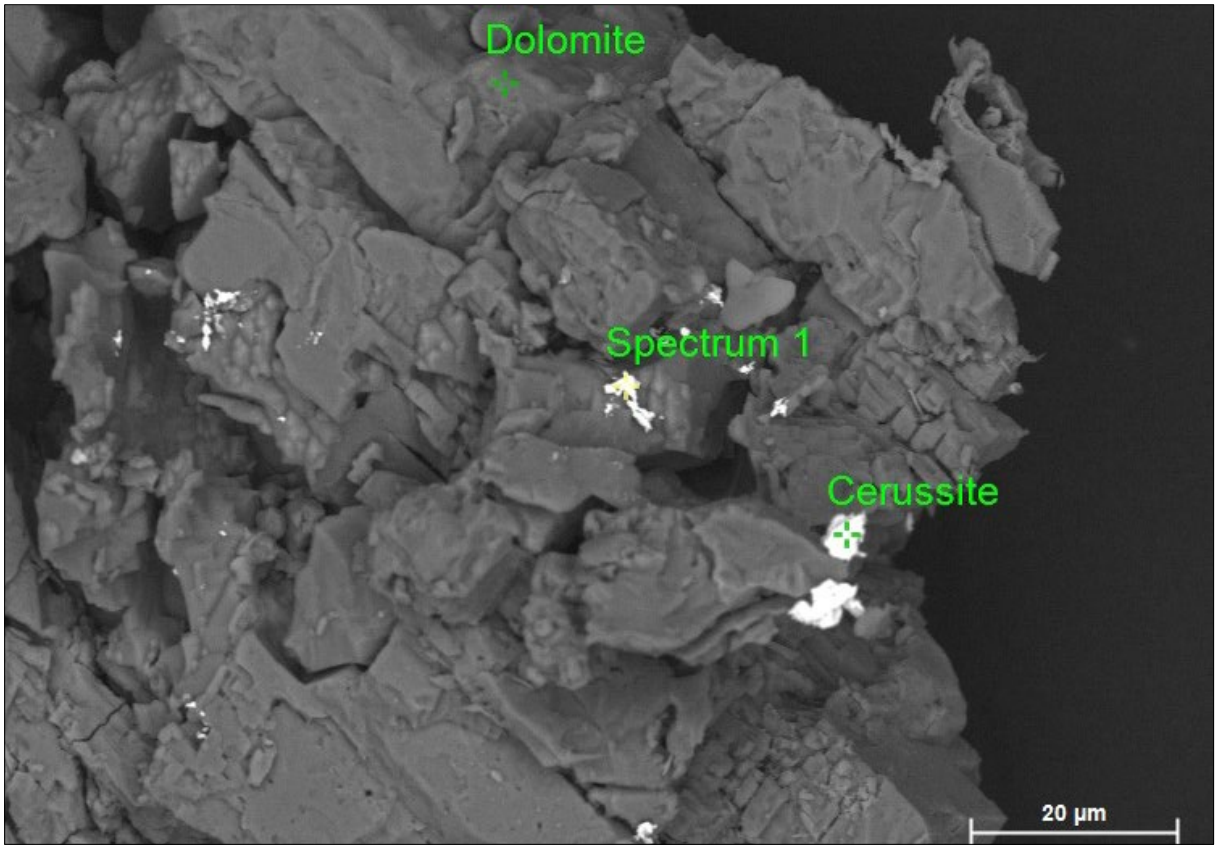
Figur 40 viser eksempel på hydrotermal omvandling av arsenkis til gips og pharmacosideritt under tilførsel av Ca, K, vann og oksygen, se formel i tabell 12. Løseligheten til pharmaco-sideritt er svært lav ved lav sur pH ifølge Majzlan mfl. (2019), men er ikke godt undersøkt for pH-intervallet 6-8 og høyere. Pharmacosideritt ble bare funnet i denne prøva, men det er vanskelig å anslå utbredelsen i Svenningdal kun basert på stikkprøver.



Figur 41. *Prøve 06-12-1, område 06-12-04d (SEM-backscatter) med Sb-førende arsenkis; Pb-Fe arsenat- hydratet segnetitt (lyse kuler = Spectrum 5) og Pb-arsenatet schultenitt, lyst flak, Spectrum 4.*

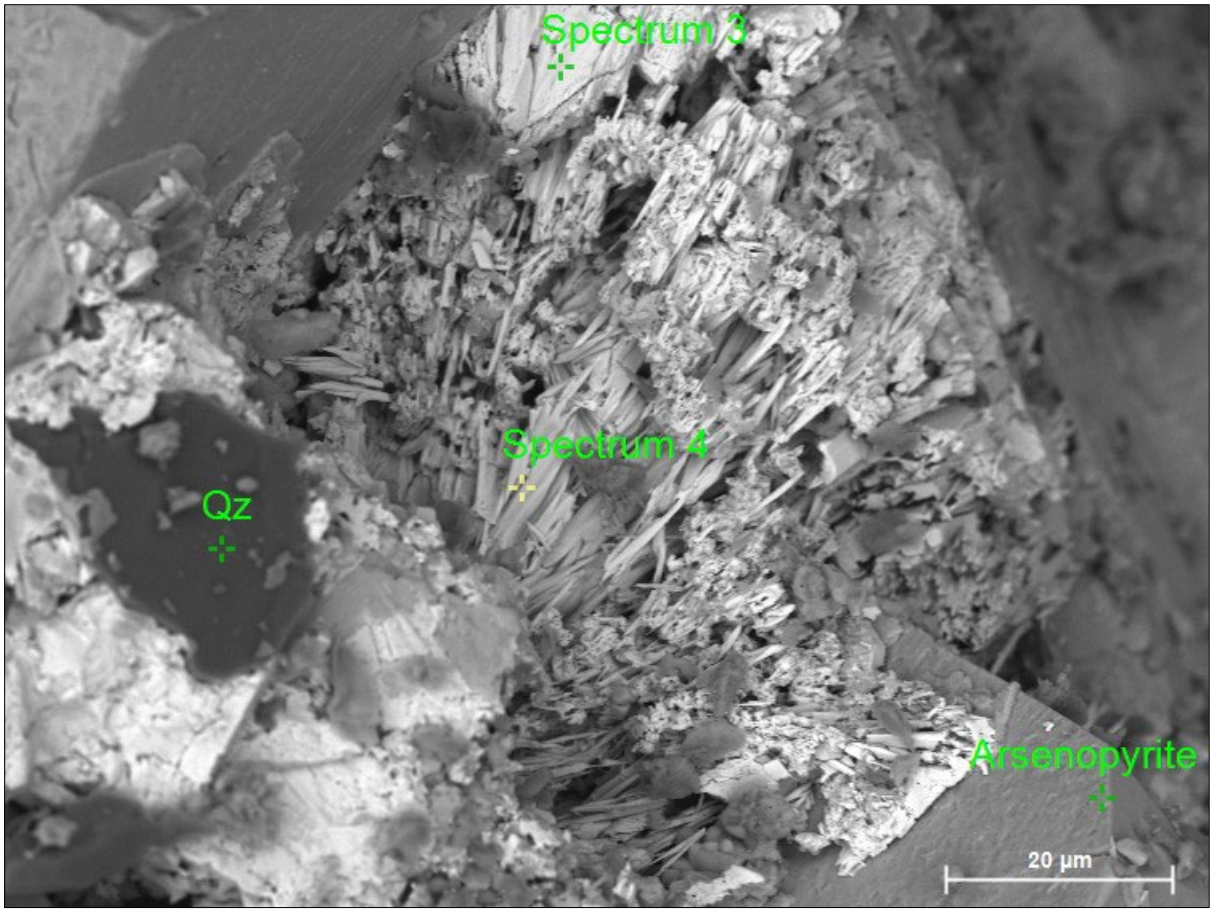
Prøve 06-12 inneholder Sb-førende arsenkis i form av Pb-arsenathydratet schultenitt og Pb-Fe-arsenatet segnetitt, figur 41. Schultenitt er lettløselig i kontakt med fosfat og i alle fall ved lav pH (Bajda mfl. 2012). I tabell 9 viser fosforinnhold på 0.06 % i prøve 06-12 og kan tyde på at dette mineralet vil avgi Pb og As til vann. Analysene viser at segnetitt (Spectrum 5) inneholder en del Sb i tillegg til As. Segnetitt er løselig og avgir Pb, As, og Fe til vannfasen (Escot-Espinoza mfl. 2021) og i vil i dette tilfellet også avgi Sb som kjemisk står nær As.

Sikker identifikasjon av schultenitt og segnetitt ble bare oppnådd i prøve 06-12, og det er vanskelig å anslå utbredelsen i Svenningdal gruver basert på stikkprøvetaking.



Figur 42. *Prøve 06-15, område 06-12-04d Pb-karbonatet cerussitt og Pb-Ca-karbonat (Spectrum 1) som opptrer sammen med dolomitt.*

Figur 42 viser Pb-karbonater som tilsynelatende er utfelt på dolomitt. Dolomitt er fri for Pb, så disse mineralene viser at Pb er tilført hydrotermalt i seinere omvandlingsprosesser.



Figur 43. *Stenglige krystaller av paulmooreitt (Pb-arsenitt), analyse Spectrum 3 & 4, som har vokst på arsenkis. Kvarts forekommer også (Qz).*

Figur 43 viser Pb-arsenittet paulmooreitt som har vokst på bekostning av arsenkis. Løseligheten til paulmooreitt er ikke undersøkt systematisk, så vidt vi vet, men Luo mfl. (2023) rapporterer at mineralet er en viktig vert for Pb og As som kan avgi Pb og As til miljøet.

Tabell 13 gir en sammenstilling av analysedata fra XRF, XRD, SEM og pH-variasjoner gjennom utlekkingsforsøkene, oppgitt som første og siste pH-målinger, se detaljer i kap 5.6. I noen tester økte pH gjennom langtidstestene, mens andre prøver gav lavest pH mot slutten.

Tabellen gir mulige tolkninger av årsakene til pH-endringene, basert på vurderinger av totalkjemi, mineralogi og reaksjon med HCl.

Det generelle inntrykket er at *forsuring er knyttet til oksidasjon av sulfidene arsenkis, sinkblende og blyglans*.

Økt pH gjennom testperioden forklares med buffervirkning fra dolomitt og/eller kalsitt der disse mineralene er påvist. Oppløsning av plagioklas og/eller ferrihydritt ser ut til å gi en buffervirkning i tester som gir økt pH og der karbonatmineraler ikke ble påvist.

Tabell 13. *Sammenstilte resultater fra analyser med HH XRF, XRD, SEM og pH fra utlekkingstestene. pH er oppgitt som første og siste måling. Blåe og røde prøver inngikk i utlekkingstesten. --- = 4 mnd. Utlekkingstest med kontinuerlig pH-måling og påfølgende analyse av vann (Serie 1). --- = 3,5 mnd. Utlekkingstest med kontinuerlig pH-måling uten analyse av vann (Serie 2). ***)** = basert på gjennomsnitt av to analyser. Kjemiske formler er oppgitt i Tabell 12. CL = senterlinje E6.*

Prøve	Materialtype	HH-XRF, tab 9	Mineralogi, Vedlegg 4, 5, tab 12	pH-forsøk, kap 5.6	Profilnummer ca.
1	Gulbrun forvitring i metasediment		Jarositt, jernoksid & titanitt (SEM)	5,0 etter 2 døgn ved jarositt- oppløsning	9010 25 m ø for CL
2	Lys gneis m rustskorpe		Ikke utført	5,0 etter 2 døgn	9010 25 m ø for CL
3	Mørk metallisk rust		Jernhydroksid m svovel, alkalifeltspat (SEM)	5,0 etter 2 døgn	9010 25 m ø for CL
4	Hydrotermal kvarts med kismineral		Arsenkis, blyglans (m litt As & Sb), kvarts (SEM)		8990 50 m ø for CL
E6-21	Brun rustutfelling fra lys kvartsrik BA m kismineral - *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre*	Ca = 0.33 % Mg <LOD S= 1,78% Fe = 37.47 % As = 241 ppm Pb <LOD Sb = 203 ppm Zn =101 ppm	Rust (Fe-oksyhydroksid), arsenkis, mimetitt, plagioklas, hornblende, kloritt, organisk karbon (SEM)	4,00/2,74 - Syre fra oksidasjon av arsenkis og sannsynlig ferrihydritt	Hovedgruva 9000 - 50 m ø for CL
P2	Tykk løs rust (utfelt på dolomittisk kalkstein) - *Brusing ved tilsatt saltsyre. Ingen brusing på rein rust*	Ca = 0.34 % Mg <LOD S= 2,47% Fe = 17.27 % As = 119 ppm Pb <LOD Sb = <LOD Zn =108 ppm	Ferrihydritt, goethitt (med litt S), dolomitt -(SEM)	5,60/7,08 - Bufring til nøytral pH v/oppløsning av dolomitt	8970, 4 m øst for CL
P3	*) Løs rød rust på sinkblende - *Litt brusing ved tilsatt saltsyre.* Ingen brusing på rein rust	Ca < 0.04 % Mg = 0.84 % S = 6.78 % Fe = 24.78 % As = 1.31 % Pb = 11.77 % Sb = 1.58 % Zn = 11.90 % Ag = 0.78 %	Sinkblende, blyglans, amorf ferrihydritt, anglesitt, Sb-sulfat?, ludlockitt?, apuanitt? Uidentifiserte As,Sb, Pb mineraler. (XRD, SEM)	4,65/5,95 - Svakt sur: oksidasjon. av sink-blende og blyglans og mulig ferrihydritt. - Buffer: litt karbonat	8975 - i CL
P4	*) Beige skorpe på metavulkanitt. *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.*	Ca = 1.39 % Mg =1.37 % S = 0.20 % Fe = 8.42 % As = 109 ppm Pb = 182 ppm Sb <LOD Zn = 908 ppm	Sinkblende, klinoklor, hematitt, plagioklas, biotitt, uidentifisert Pb,Sb-mineral. (XRD, SEM)	4,36/4,80. Syre pga. oksidasjon av sinkblende	8990 - 5 m v for CL
P5	Skifrig karbonatbergart		Ferrihydritt, kalsitt, glimmer/flogopitt - (SEM)		9007 - 5 m v for CL
P6	Metavulkanitt m rustbelegg		Amfibol, *uidentifiserte:* Fe, Ca, Al, Mg silikat. (SEM).		9040 - 5 m v for CL
06-01	Mørk brunt rustbelegg fra metavulkanitt. Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.	Ca = 0.91 % Mg <LOD S = 3.35 % Fe = 17.77 % As = 94 ppm Pb = 127 ppm Sb <LOD Zn = 41 ppm	Mg ikke utført. Høy Fe og S antyder Fe-sulfid. Pb uten karbonater	4,07/3,99	9030 - 2 m v for CL
06-02	Metavulkanitt		Plagioklas, hornblende. *Uidentifiserte* Fe, Si, Al Mg-mineraler. (XRD, SEM).		9030 - i CL

Tabell 13. Fortsatt.

06-03	*) Beige -brunt rustbelegg fra metavulkanitt. Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.	Ca = 1.10 % Mg = 0.26 % S = 2.47 % Fe = 19.29 % As = 129 ppm Pb = 55 ppm Sb = <LOD Zn = 237 ppm	Mg ikke utført. Høy Fe og S antyder Fe-sulfid. Sb uten karbonater	4,78/4,10	9030 - 6 m v for CL
06-06	Brun rustbelegg fra mulig metavulkanitt. *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.*	Ca = 0.45 % Mg <LOD S = 0.25 % Fe =11.73 % As = 339 ppm Pb = 32 ppm Sb <LOD Zn = 105 ppm	Mg ikke utført. Fe indikerer lite sulfid. Pb uten karbonater.	5,99/6,87 - Nøytral pH pga. antatt lavt sulfidinnhold.	9027 - 11m ø for CL
06-07	Metasediment		Albitt, kvarts, klinoklor (XRD)		9017 - 5m ø for CL
06-08 - A/B	Gulbrunt til beige belegg på metasediment		Kvarts, albitt, klinoklor, illitt, pyritt, rutil, monazitt, Fe- (XRD, SEM)		9015 - 2-3 m v av CL
06-09	Glimmerrik gneis		Biotitt (SEM)		8995 - 4 m v av CL
06-10	Forvitringsmateriale. Analyserte finkorna i holder. *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.*	Ca = 1.37 % Mg = 3.13 % S = 0.11 % Fe = 5.19 % As = 520 ppm Pb = 0.45 % Sb = 45 ppm Zn = 583 ppm	Kvarts, albitt, plagioklas, kloritt-serpentin, goethitt, epidot, rutil, titanitt, ilmenitt, monazitt. (XRD, SEM)	5,47/4,80 - Syrebidrag usikker, mulig fra blyglans.	8987 - 3 m v av CL
06-11	Rusta utfelling på stor prøve		Klinoklor, kvarts, muskovitt. Arsenkis, gips, pharmacosideritt, angelellitt. *Uidentifiserte;* Fe,As,Pb- mineraler (XRD, SEM)		8987-8990 - fra gruvesjakt
06-12	*) Brun & beige rust tatt fra malm rik på arsenopyritt. *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.*	Ca = 0.39 % Mg = 3.97 % S = 1.06 % Fe = 25.82 % As = 7.67 % Pb = 1.30 % Sb = 0.14 % Zn = 0.31 %	Arsenkis, kvarts, mimetitt, sinkblende, amorf-ferrihydritt, paulmooreitt, schneiderhøhnitt? schultenitt, segnetitt. *Uidentifiserte;* Pb,As,Sb,Fe-mineraler (XRD, SEM)	4,85/6,11 - Syre fra arsenkis, sinkblende og mulig ferrihydritt. Sterkt bufra; uklar årsak.	8988 - 2 m v for CL
06-13 - C	*) Brun til rød rust. (svakt flak). *Ingen brusing ved tilsatt saltsyre.*	Ca = 0.13 % Mg = 0.78 % S = 0.86 % Fe = 19.61 % As = 8.76 % Pb = 0.13 % Sb = 0.28 % Zn = 0.51 % Ag = 129 ppm	Sinkblende, arsenkis, amorf ferrihydritt, kvarts. Fe (XRD)	3,91/4,41 - Syre fra sinkblende arsenkis og mulig ferrihydritt. Svakt bufra, kanskje fra plagioklas?	8992 - 2 m ø av CL
06-14	Jordaktig sleppemateriale		Goethitt. *Uidentifiserte:* kloritt?; Mn-Fe mineral mm (SEM)		8990 - 1 m v for CL
06-15	Løs rust på sinkblende		Sinkblende (lokalt med Ag), cerussitt, dolomitt, Mg-kalsitt, Pb-kalsitt, kvarts, klinoklor. *Uidentifiserte:* Fe, Zn, Pb-mineral og Ag, Hg, Fe, Zn, S-mineral (XRD, SEM)		8980 - fra gruvesjakt

5.6 Statisk utlekkingstest på prøver med kjent kjemi og delvis kjent mineralogi

De første pH-testene på typiske feltprøver av den utbredte rustomvandlinga omkring Svenningdal gruver ga pH = 5 etter korttidsforsøk (Statens vegvesen 2021, Vedlegg 1. En av prøvene inneholdt jarositt. MilGRO valgte å følge opp med et mer omfattende utlekkings-forsøk på typiske prøver over lang tid, da det ville kaste lys over utviklingen og gi mulighet for å sammenlikne pH-utvikling og testvann med totalkjemi og mineralogi til testprøvene.

Det ble valgt ut 10 delprøver på bakgrunn av den totalkjemiske analysen ved XRF, tabell 9. Unntatt prøvene 06-01, 06-03 og 06-06, ble testprøvene analysert mht. mineralogi ved XRD og/eller SEM, se kap 5.5 og tabell 13. Det ble utført to utlekkingstester over 4 og 3 ½ måneder, hhvis Serie 1 og 2. Forsøkene regnes som statiske utlekkingsforsøk. Prosedyren var:

- Valg av prøver i lys av utført analyse, HH XRF, XRD og SEM, og visuelle trekk.
- Lett knusing av prøvene i agatmorter. De svakeste mineralene avgir mest finfraksjon og er potensielt mer reaktive enn hardere korn av bergartsdannende mineraler. Kornfordelingen i testfraksjonene ligger mellom ca. 50-100 µm.
- En liten delmengde av hver prøve ble testet med 10 % HCl for identifikasjon av karbonater.
- Det ble veid inn ca. 30 ml knuste prøver plassert i plastkopper, så tilsatt destillert vann med pH = 6,0 til 100ml-merket og så dekket med tette skrulokk.
- Første pH-måling ble utført etter10-60 minutter og deretter målt jevnlig over lang tid. Forsøkene ble utført med fysisk risting av prøvene etter hver pH-måling.
- Vann fra Serie 1 ble analysert kjemisk etter endt forsøk.

Årsaken til at en valgte lett knusing av prøvene er at reaktiviteten bl.a. er styrt av mekanisk styrke og kornstørrelse: Mineralpartikler i finstoffet har høyere spesifikk overflate og er dermed mer reaktive enn grøvre korn av samme mineral. Dette gjelder i prinsipp alle mineraler. Syredannende finstoff av sulfider eller enkelte sulfatmineraler som jarositt, gir størst syrebidrag. På den andre siden vil finstoff av kalsitt og dolomitt, som i seg selv er svake, også lett danne finstoff: Buffervirkningen fra finfraksjonen vil dominere.

Tilsvarende vil mineraler som plagioklas, biotitt og kloritt kunne gi en bufrende effekt, særlig fra finfraksjoner, fordi disse mineralene gir abrasjons-pH = 8 - 9 i finknust form (Stephens and Carron 1948). Lett knusing innebærer at de mekanisk svake bestanddelene blir oppkonsentrert i finfraksjonen på tilsvarende måte som ved bergsprenging og massehåndtering (Hagelia og Iversen 2003).

5.6.1 Serie 1

Figur 44 viser pH-utviklinga for fem prøver. Alle prøvene inneholder rust, for det meste ferrihydritt eller goethitt. Ingen av prøvene viste en helt jevn utvikling over tid. Dette tyder på effekter av kjemiske reaksjoner styrt av ulike mineraler med ulik syre og buffervirkning.

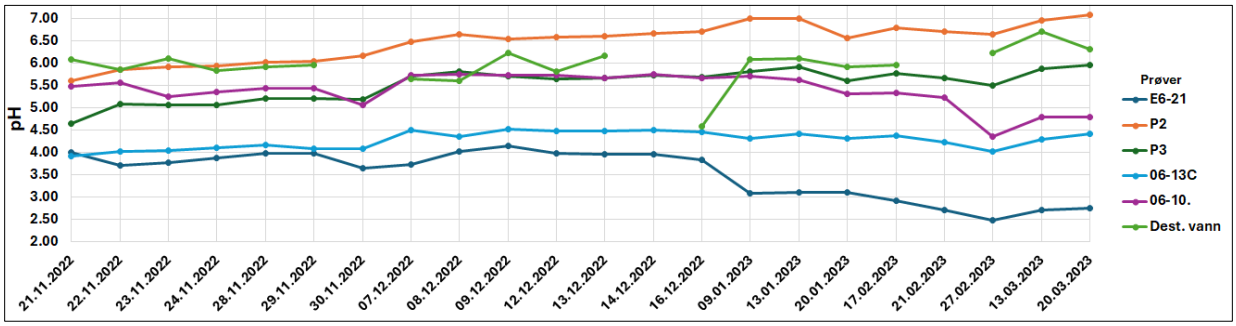
Prøve E6-21 med arsenkis gav forsuring gjennom forsøket. pH varierte stort sett omkring 4 med tydelig fall til pH ca. 3,5 ved dag 9 til dag 17. Deretter økte pH igjen til litt under 4,0, fulgt av en langsomt fallende trend med tydelig knekkpunkt til pH omkring 3. Deretter sank pH videre til slutt-pH = 2,74.

Prøve P2, med dolomitt og uten sulfidmineraler viste en ganske jevnt økende pH fra pH = 5,60 til pH = 7,08, men med noen knekkpunkt.

Prøve P3 med sinkblende og blyglans gav en start-pH = 4,65 og økte noe ujevnt til en slutt pH = 5,95.

Prøve 06-10 uten sikkert detektert sulfid (muligens blyglans vurdert fra totalkjemien) gav en svakt sur start pH = 5,47 som økte litt til ca. pH = 5,7 før pH begynte å falle. Lokket ble tatt av i tre dager seint i forsøket (med noe fordamping) og pH lå da på omkring 5,3. Etter at lokket ble satt på falt pH først til 4,3 og stabiliserte seg til slutt på pH = 4,80.

Prøve 06-13C med sinkblende og arsenkis gav en lav start pH = 3,91 som økte noe ujevnt til pH =4,41. Karbonat ble ikke påvist ved HCl.

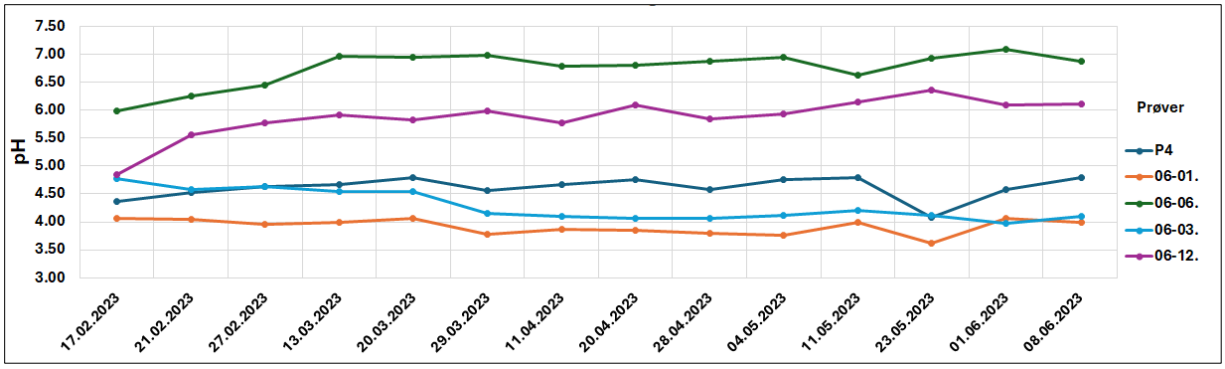


***Figur 44**. pH-utvikling i Serie 1. Prøvene ble tilsatt destillert vann med pH = 6,0.*

5.6.2 Serie 2

Figur 45 viser pH utviklinga som også her varierte noe over tid. Det foreligger XRF-analyse av alle fem prøvene, men XRD og SEM ble bare utført for Prøve P4 og 06-12. Alle prøvene inneholder rust. Karbonatmineraler ble ikke påvist ved HCl-test i disse prøvene.

Prøve P4 med sinkblende gav start pH = 4,36 og hadde stort sett en ganske stabil utvikling med slutt-pH = 4,80. Prøve 06-12 med arsenkis hadde start pH på 4,85 med litt ujevn utvikling mot slutt pH = 6,11. Årsaken til økende pH mot slutten er uklar, tabell 13.



Figur 45. pH-utvikling i Serie 2.

Det resterende prøvene ble bare analysert med håndholdt XRF og er ikke fullt karakteriserte, men alle inneholdt mye rust (Vedlegg 3) som tolkes som sannsynlig innhold av ferrihydritt og trolig også noe goethitt.

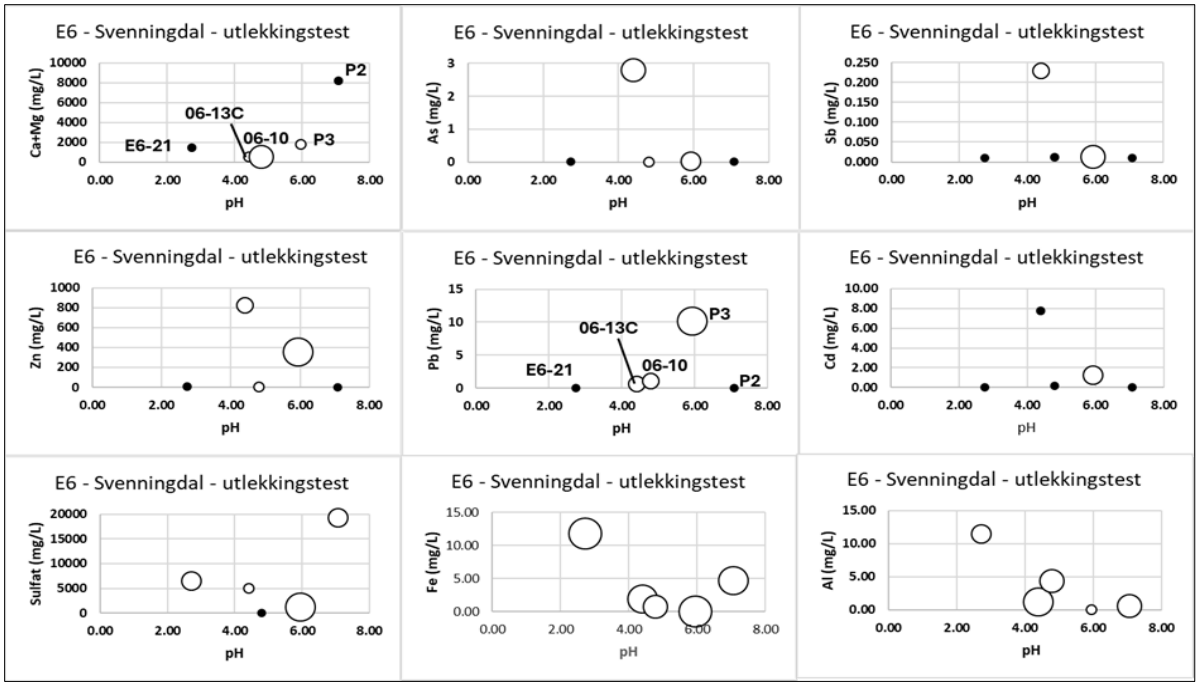
pH utvikling i Prøve 06-01 med start pH = 4,07 varierte mellom pH = 4,0-3,5, med siste målte pH = 3,99.

Prøve 06-03 viste en svak forsuring gjennom forsøket, fra start pH = 4,78 med noe ujevn utvikling som endte på pH = 4,10.

Prøve 06-06 hadde start pH = 5,99, tilsvarende destillert vann brukt i testen med pH = 6,0 og økte til pH tett under 7,0 etter en måneds tid. Deretter lå pH stort sett på det samme og endte med pH = 6,87. Karbonater ble ikke påvist ved HCl-test.

5.6.3 Analyse av vann fra Serie 1 og vurdering av metallpotensiale

Det ble utført kjemisk analyse av vann ved ICP-OES (Vedlegg 6). Det ble ikke analysert for alkalinitet. Figur 46 viser vannkjemiske data plotta mot pH for de fem best karakteriserte prøvene. Konsentrasjoner av de ulike elementene i testprøvene ved XRF er illustrert som boblediagram i tabell 9.



Figur 46. Kjemianalyser utførte på vann etter avslutning av Serie 1. Totalkonsentrasjoner av As, Sb, Zn, Pb, Cd i testprøvene ved XRF (Tabell 9) er vist som følger: Svart < 500 ppm; åpne symbol med økende diameter: 500-1000 ppm, 1000-10000 ppm (1%), 1-1,5 %, 1,5-10 % og > 10 %. Innhold av elementa Ca+Mg, S, Fe, Al: Svart <0,5 %; åpne symbol med økende diameter: 0,5-1 %, 1-2,5 %, 2,5-5 %, 5-20 % og > 20 %.

Diagrammene i Figur 46 viser følgende generelle trekk:

- Konsentrasjonen av utløste metaller i utlekkingsforsøket er i flere tilfeller mye høyere enn i monitorbekkene, her er de angitt i mg/L.
- Det er ingen generell sammenheng mellom utløst metall i utlekkingstesten og konsentrasjoner av metaller i testprøvene, i vekt-%, selv om det i noen tilfeller er høy utlekking av stoffer med høy totalkonsentrasjon i testprøvene.
- Dette betyr at utlekkingen er styrt av både løseligheten til mineralene og av tilgjengeligheten til de ulike stoffene.

Årsaken til metallutlekkinga må *diskuteres enkeltvis sett i lys av:*

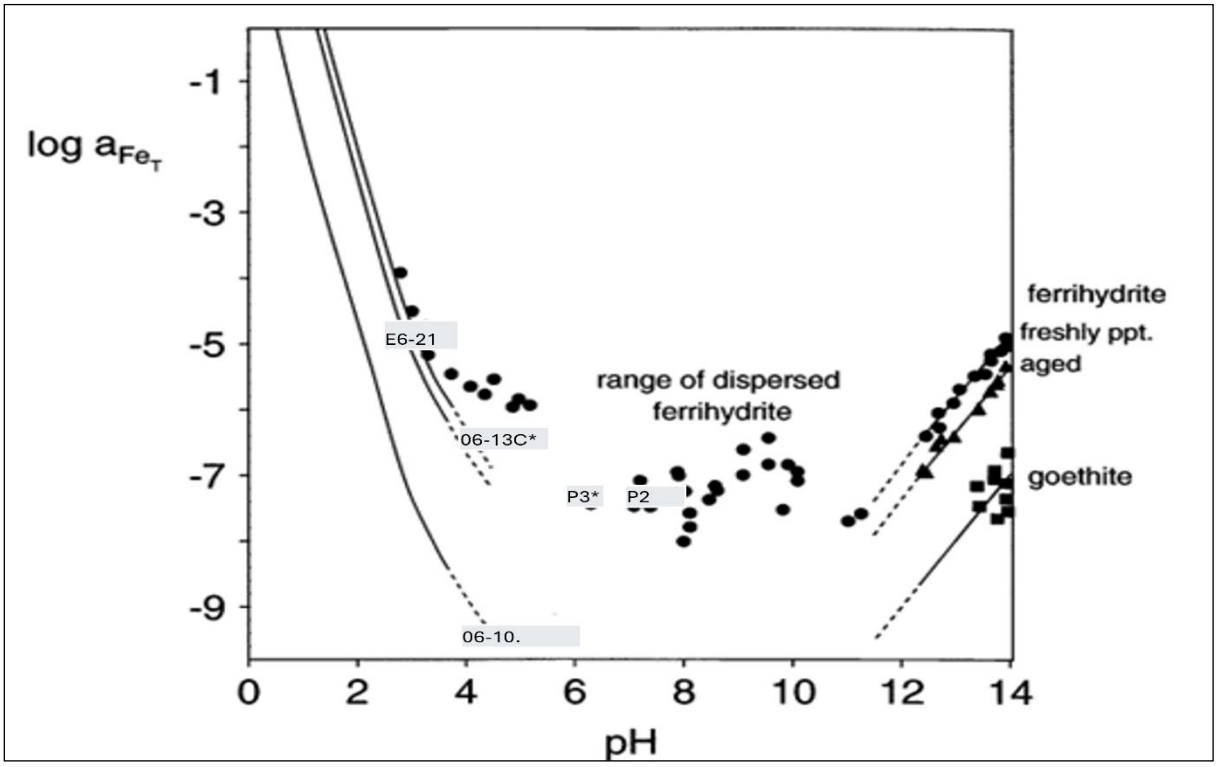
- Mineralogisk analyse
- Totalkjemi
- pH-utvikling og mobilisering av elementer i utlekkingstesten
- Publisert kunnskap om løselighet og sorpsjonsegenskaper til mineralene.

Det viser seg at *rustdannelsen og særlig mineralet ferrihydritt spiller en viktig rolle*.

<u>Prøve E6-21</u> inneholder arsenkis som er en viktig årsak til syredannelsen. Prøvene har Fe = 37,5 vekt %, som trolig består vesentlig av ferrihydritt, i stor grad er bevart etter testen. Det

er også innslag av et organisk materiale med litt Fe, Pb og As, område E6-5-01b, Vedlegg 5. Konsentrasjonen av oppløst Fe er høy (11,7 mg/L, Fig 45). Dette samsvarer med relativt høy løselighet av ferrihydritt ved pH = 2,24, figur 46. Ferrihydritt vil binde As, og Sb som har lignende kjemiske egenskaper, ved adsorpsjon, spesielt ved lave pH verdier, figur 47. Dette forklarer hvorfor As og Sb ikke er blitt anrika i testvannet.

Videre er Al-konsentrasjonene høye både i prøve og i vann, og dersom Al delvis foreligger som Al-hydroksid kan dette ha sorbert noe As og Sb, figur 47. Konsentrasjonene av As og Sb i testprøvene er likevel lave, 241 og 203 ppm. Zn, Pb og Cd vil ikke bli sorbert til ferrihydritt ved pH = 2-3, figur 48, men er lave i testprøva (Zn =101 ppm; Pb og Cd er under deteksjonsgrensa). Pb-arsenatet mimetitt forekommer i mindre mengder i Prøve E6-21. Løseligheten til mimetitt ved pH = 3 er middels høy (Bajda 2012) og Pb og ville blitt synlig i testvannet dersom konsentrasjonen var tilstrekkelig høy. Årsaken til at Zn, Pb og Cd ikke ble oppløst i vannet er begrenset av liten tilgjengelighet.



Figur 47. *Løseligheten til ferrihydritt, her uttrykt som aktivitet av Fe i løsning, avhenger av pH og er 2-3 størrelsesordener høyere enn goethitt (Big Chemical Encyclopedia, 2025). Fire testprøver med ferrihydritt og forskjellig slutt-pH fra Serie 1 er plassert på kurva for ferrihydritt. Den femte, 06-10 med goethitt uten ferrihydritt og pH = 4,8, er plassert på kurva for goethitt.*

Første måling i eksperimentet gav pH = 4,0, sannsynligvis dominert av oksidasjon av arsenkis.

Men på bakgrunn av det relativt lave innholdet av arsenkis i E6-21 (As totalt = 241 ppm) kan det stilles spørsmål om dette er tilstrekkelig for å oppnå den svært lave slutt pH-en. Såpass lavt innhold av arsenkis vil trolig bli forbrukt i langtidseksperimentet.

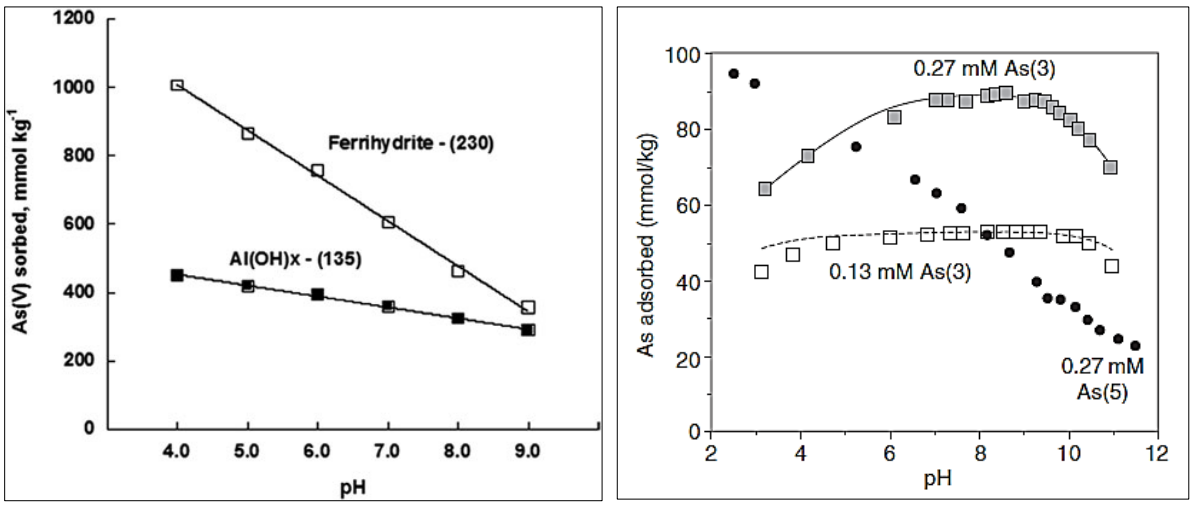
Oppløsning av ferrihydritt ($Fe(OH)_3$) ved lav pH vil konsumere syre og frigi Fe^{3+}, Reaksjon 1. Men det treverdige jernet vil deretter kunne danne syre ved videre utfelling av goethitt (FeOOH) i reaksjon med vann, Reaksjon 2, (Appelo og Postma 2005):

1. $Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 3H_2O$
2. $Fe^{3+} + 2H_2O \rightarrow FeOOH + 3H^+$
3. $4Fe^{2+} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+$.

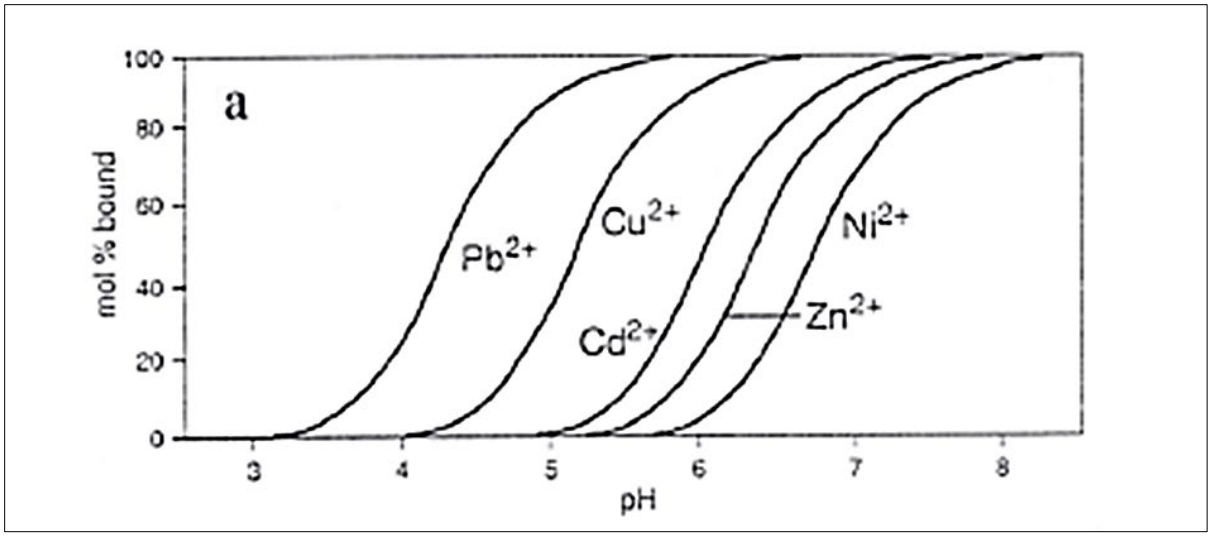
Organiske anioner kan svekke Fe^{3+}-O bindingen (Schwertmann 1991). Det er dermed sannsynlig at det organiske materialet i Prøve E6-21 har ført til at noe *Fe^{3+} har blitt løst direkte* og deretter dannet syre etter Reaksjon 2. I senere tid er det også etablert at Fe^{2+} ioner sorberer til ferrihydritt (Sheng mfl. 2021), dvs. at både Fe^{2+} og Fe^{3+} etter alt å dømme er til stede i rustforbindelsene. Dermed vil syre kunne dannes ved både Reaksjon 2 og 3.

Prøve E6-21 viser at antagelsen om at syredannelse *kun* er relatert til svovelinnholdet, neppe alltid holder.

Ferrihydritt vil binde As, og Sb som har lignende kjemiske egenskaper, ved adsorpsjon, spesielt ved lave pH-verdier, figur 48. Dette forklarer hvorfor As og Sb ikke er blitt anrika i testvannet. Videre er Al-konsentrasjonene høye både i prøve og i vann, og dersom Al delvis foreligger som Al-hydroksid kan dette ha sorbert noe As og Sb, figur 47. As- og Sb-konsentrasjonene i testprøvene er likevel lave (hhv. 241 og 203 ppm). Zn, Pb og Cd vil ikke bli sorbert til ferrihydritt ved pH = 2-3, figur 49, men er lave i testprøva (Zn =101 ppm; Pb & Cd er under deteksjonsgrensa). Pb-arsenatet mimetitt forekommer i mindre mengder i Prøve E6-21. Løseligheten til mimetitt ved pH = 3 er middels høy (Bajda 2012) og Pb ville blitt synlig i testvannet dersom konsentrasjonen var tilstrekkelig høy. Årsaken til at Zn, Pb og Cd ikke ble oppløst i vannet er begrenset av liten tilgjengelighet.



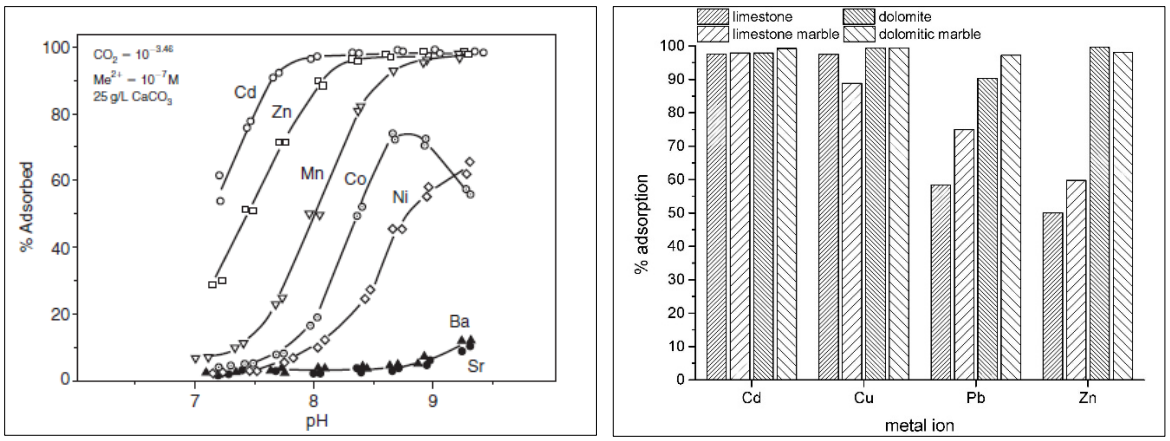
Figur 48. *Sorpsjon av As^{5+} til ferrihydritt og Al-hydroksid minker ved økende pH (Pigna mfl. 2015). Diagrammet til høyre viser sorpsjon av både As^{3+} og As^{5+} til goethitt (Appelo og Postma 2005). Merk at ferrihydritt sorberer omtrent 10x mer As enn goethitt.*



Figur 49. *Sorpsjon av Pb, Cu, Cd, Zn og Ni på ferrihydritt er høyest ved pH > 5 (Bigham and Nordstrom 2000).*

Prøve P2 inneholder ferrihydritt, goethitt, begge med noe S, og dolomitt, og er uten sulfidmineraler. Dolomitt er årsaken til bufring fra første målte pH = 5,6 til slutt pH = 7,08. Ca+Mg i vann (8176 mg/L) er svært høyt og reflekterer oppløsning av dolomitt. Prøva inneholder 17 vekt-% Fe som viser høy tilgjengelighet på jern. Oppløst Fe = 4,65 mg/L er under halvparten sammenlignet med den syredannende Prøve E6-21 og reflekterer lavere løselighet av ferrihydritt og goethitt ved nøytral pH, figur 47.

Innholdet av S i Prøve 2 er 1,78 % vekt-% mens oppløst sulfat er hele 19046 mg/L, altså 19 g/L. *Dette S er ikke knytta til sulfidmineraler*, men er muligens løst fra S-førende ferrihydritt eller evt. gips. As og Zn i prøva er hhv. 119 og 108 ppm mens Sb, Pb og Cd er under deteksjonsgrensa. Zn i testvannet er 0.03 mg/L, som samsvarer med at Zn bare delvis sorberer til karbonater, figur 50, ved pH = 7. Ferrihydritt vil ved samme pH kunne sorbere ca. 90 % av oppløst Zn, figur 49. Konsentrasjonene av de andre tungmetallene i testvannet ligger under deteksjonsgrensene pga lav tilgjengelighet, dvs under deteksjonsgrensene for XRF-analysen.



Figur 50. *Sorpsjon av Cd, Zn, Mn, Co, Ni og Ba på kalkstein er avhengig av pH (Appelo and Postma 2005). Histogrammet til høyre viser at sorpsjon ved pH omkring 9 av Cd og Cu til dolomittisk kalkstein er omtrent lik kalkstein mens dolomitt sorberer mer Pb og Zn (Farmaki mfl. 2018).*

Prøve P3 inneholder mest ferrihydritt, Fe-total = 25 vekt-%, sinkblende og blyglans, Zn- og Pb-total = 12 vekt %. pH økte fra 4,56 til 5,95 i forsøket. Syrebidraget er knytta til oksidasjon av sinkblende og blyglans, men også i dette tilfellet kan det ikke utelukket at ferrihydritt har bidratt. Økt pH samsvarer med mye oppløst Ca+Mg (1777 mg/L), antagelig litt kalsitt eller dolomitt pga. svak brusing ved reaksjon med HCl. Prøva har lavt totalt Ca+Mg, og karbonater ble ikke identifisert hverken ved XRD eller SEM. Innholdet av Fe i Prøve P3 er høyt og viser høy tilgjengelighet på Fe, men bare en svært liten mengde er oppløst i testvannet (0.01 mg/L). Årsaken til denne store forskjellen kan forklares ved mye lavere løselighet av ferrihydritt ved pH = 5,95 (minst tre størrelsesordener lavere enn ved pH = 2,5).

Innholdet av S i Prøve 3 er 6,78 vekt % og oppløst sulfat er 1094 mg/L pga sulfidoksidasjon, med et mulig bidrag fra oppløsning av anglesitt ($PbSO_4$) som er noe løselig (Keim and Mark 2015). As, Sb, Pb, Zn og Cd i prøva er hhv. 1,31 %, 1,58 %, 11,77 %, 11,90 % og 0,30 %. As og Sb i testvannet er under deteksjonsgrensa, og stemmer med sterk adsorpsjon til ferrihydritt ved pH = 5,95. Zn og Pb har hhv 348 og 10,11 mg/L i testvannet. Kvalitativt stemmer dette overens med figur 49, der Pb er sterkt sorbert mens Zn bare delvis er sorbert ved aktuell pH. Cd-konsentrasjonen er bare 1,18 mg/L i samsvar med lav sorpsjon til ferrihydritt og lavt innhold i testprøva.

Prøve 06-10 inneholder de jernførende mineralene goethitt, ilmenitt, epidot og kloritt-serpentin, men *ikke ferrihydritt*. Fe-totalt på 5,2 vekt-% representerer alle disse mineralene. Det ble *ikke identifisert sulfidmineraler* som sinkblende og blyglans ved XRD og SEM, som stemmer overens med lavt totalt S på 0,11 vekt-%. Til tross for dette sank pH fra 5,47 til 4,80 i utlekkingsforsøket. Pb-konsentrasjonen i prøva er litt høy, 0,45 vekt-%, og indikerer muligens en mindre mengde blyglans som kan ha bidratt til forsuringa i løpet av utlekkingstesten. Ellers er Ca+Mg-konsentrasjonene i prøvene høye på hhvis = 1,37- og 3,13 vekt-%. Ca er i dette tilfelle bundet til plagioklas og epidot og Mg-innholdet er knytta til kloritt-serpentin. Det ble ikke observert karbonater i prøva, hverken ved mineralogisk analyse eller ved HCl-test. Ca+Mg i testvannet var 439 mg/L, trolig utluta fra plagioklas og kloritt-serpentin uten bidrag fra dolomitt/kalsitt.

As, Sb og Zn i 06-10 er hhv. 520 ppm, 45 ppm, 583 ppm. Cd er lavere enn deteksjons-grensa, dvs ca. 10-15 ppm. As og Sb i testvannet er under deteksjonsgrensene (hhv < 0,006 og <0,011 mg/L). As og Sb er her etter alt å dømme bundet eller sorbert til goethitt, figur 48. Oppløst Pb, Cd og Zn, hhvis 1,08-, 0,14- og 1,95 mg/L, er kvalitativt det vi ville forventer ved sorpsjon til goethitt som har egenskaper som ligner ferrihydritt.

Prøve 06-13C ble bare undersøkt med HH XRF og XRD. pH økte fra 3,9 til 4,4 i forsøket. Prøva inneholder syregivende sinkblende, arsenkis og ferrihydritt, som også kan ha bidratt med syre. Prøva viste ikke reaksjon med HCl og er uten vesentlig karbonat. Men Ca+Mg-konsentrasjonene er på hhv. 0,13 % og 0,78 %, og Ca+Mg i testvannet var 552 mg/L som forklarer den moderat økte pH-verdien. Dette er eneste prøva som viser signifikant utlekking av As og Sb. Fe-konsentrasjonen i 06-13C er høy, med 19,6 vekt-%, og representerer både ferrihydritt og noe arsenkis. As er høyt (8,76 %) i forhold til totalt S (0,86 %) og kan tyde på at en del As i utgangspunktet er bundet til ferrihydritt og arsenkis. Sb-konsentrasjonen i

prøva var 0,28 %, med oppløst As og Sb i testvannet på hhvis 2,78 og 0,23 mg/L og reflekterer oksidasjon av arsenkis. Men de oppløste konsentrasjonene er relativt lave, og det er venta at det i tillegg er en effekt av sorpsjon til ferrihydritt. Prøve 06-13C inneholder 0,13 % Pb, 0.51% Zn og 465 ppm Cd, som i dette tilfellet er knyttet til sulfidmineralene som blir oppløst ved oksidasjon. Oppløst Pb, Cd og Zn, hhvis 1,08-, 0,14- og 1,95 mg/L, følger ikke klart mønsteret for sorpsjon til ferrihydritt i figur 49.

5.7 Oppsummering

5.7.1 Utlekkingstesten

Analyse av mineralogi, totalkjemi og pH-utvikling med analyse av vann etter langtids statisk utlekking viser at syredannelse og metallutlekking er komplisert. Oksidasjon av sulfider gir som venta viktige syrebidrag, men det er også vist at syre dannes selv i tilfeller der det ser ut til å være lite innhold av sulfider høyt innhold av rust. Det er derfor mulig at Fe^{2+}- eller Fe^{3+}-ioner i rustforbindelser med ferrihydritt forårsaker syredannelse, spesielt i tilfeller med assosiert organisk karbon som svekker Fe^{3+}-O bindingene. Ved oppløsning eller utluting av toverdig jern vil dette kunne reagere med vann og oksygen til ferrihydritt eller goethitt under frigivelse av H^+ ioner, dvs Reaksjon 2 og/eller 3, uavhengig av bidrag fra sulfidoksidasjon. Undersøkelsene våre er likevel ikke grundige nok til å skille mellom toverdig og treverdig jern i rustmineralene.

Bufring av pH med økende pH gjennom noen av utlekkingstestene er klart virksom i prøver med dolomitt og kalsitt. Men det er også tilfeller der årsaken ikke kan knyttes til kalsitt og dolomitt, men i alle fall delvis knytta til oppløsning av Ca fra plagioklas og trolig også Mg-førende mineraler.

Vi har observert at pH-utvikling kan være nokså forskjellig fra start til slutt. Langtidsmåling av pH på representative prøver gir ofte et riktigere bilde enn korttidsmålinger. Både Serie 1 og Serie 2 viser at pH delvis fluktuerer en god del over flere måneder. Årsaken til dette er sannsynligvis at det er mange ulike syregivende mineraler og variabelt bufrende mineraler. Motsatt, i tilfeller der vi har *en dominerende syregiver*, som jarositt i Lillesand, eller svovelkis i alunskifer, ser vi ofte en jevnere pH-utvikling mot en stabil pH, selv om tiden det tar før stabilisering inntreffer kan være svært forskjellig fra prøve til prøve (Fjermestad mfl. 2017, Hagelia 2023).

Gjennomgangen av de enkelte prøvene viser at mye av tungmetallmobiliseringa kan forklares ut fra prøvenes mineralogi, totalkjemi og vannkjemi i lys av etablert hydrogeokjemisk litteratur. Gruvemassene i Svenningdal er på grunn av den spesielle mineralogien svært forskjellig fra andre tilfeller med syre- og metallpotensial, som for eksempel alunskifer og syredannende gneis i Lillesandsdistriktet.

5.7.2 Monitorlokalitetene

Monitorlokalitetene representerer interaksjon mellom vann og mineraler påvirka av buffer fra kalkstein og dolomittisk kalkstein, og med et visst innslag av gruvemasse. Avstandene mellom oppstrøms og nedstrøms monitorlokaliteter er lange. Det relative forholdet mellom

gruvemasse og antatt kalkførende masse er forskjellig fra utlekkings-testen, som er dominert av gruvemasse. Men bergarter og mineraler er de samme i begge tilfeller.

Selv om vannprøvene fra monitorlokalitetene er samla inn på ulike tidspunkt og steder, er det mange fellestrekk som går igjen. pH, bikarbonat og Ca+Mg øker for det meste tydelig nedstrøms og viser innflytelse fra dolomittisk kalkstein etter kryssing av traseen, østover. As og Sb blir mobilisert ved økende pH og bikarbonat. Årsaken til dette er at HCO_3^- blir sorbert av ferrihydritt og konkurrerer med As og Sb som dermed blir desorbert og går i oppløsning (Appelo og Postma 2005). Også sulfat øker med økende pH og bikarbonat ofte sammen med Zn. Pb-konsentrasjonene er ganske lave og delvis uavhengig av pH, men minker også med høyere pH. Årsaken til dette ser ut til å være knytta til sorpsjon til karbonatmineraler eller utfelling av Pb-karbonatet cerussitt.

Vannprøvene fra dammer i anleggsvegen i profil 9010-9040 hadde HCO_3^- = 120-140 mg/L, der As er sterkt knytta til partiklene, mens Sb er anrika i vann. Partiklene var svært rike på Ca+Mg og har derfor mye karbonat, men ble ikke analysert mineralogisk. As er sorbert eller bundet, mens Sb ikke er sorbert til partiklene. Sammen med Pr 2 ser det ut til at Sb-konsentrasjonen i vann har et maksimum på 18 µg/L ved HCO_3^- = 130 mg/L, Ca+Mg = 54 mg/L og pH = 7,9. Ved svært høy pH = 9,4, Ca+Mg = 62 mg/L og HCO_3^- = 160 mg/L (estimert) er Sb = 1,1 µg/L. Ved lavere HCO_3^- intervall ser det ut til at både As og Sb mobiliseres ved økende pH og Ca+Mg.

5.8 AP og NP vurdert i lys av utlekkingstesten

Tabell 14 viser utregning av AP basert på total S og NP basert på total Ca fra XRF-analysene.

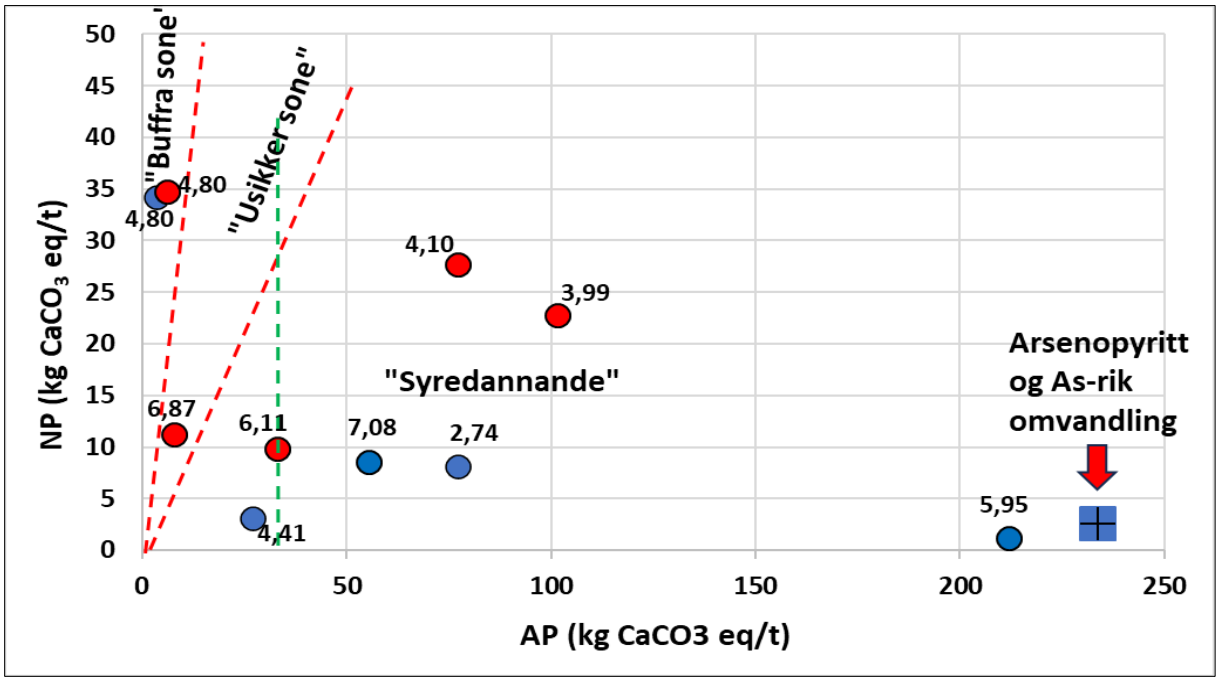
I det aktuelle tilfellet i Svenningdal er det vist at Ca-innholdet representerer kalsitt, dvs rein $CaCO_3$, dolomitt og Ca bundet til plagioklas og muligens andre mineraler.

Analysene av vann etter utført utlekkingstester og i vannanalysene fra monitorbekkene, viste at Ca har gjennomgående høyere konsentrasjon enn Mg. Med dette som utgangspunkt har vi lagt til grunn at totalt Ca målt ved XRF er et uttrykk for bufferkapasitet utrykt som NP hvis Ca er bundet til karbonater. Dette fordi vi ikke har utført separate analyser av TIC. I veilederen til Miljødirektoratet er NP = TIC x 83,33. Vi har derfor regnet ut TIC som % C i $CaCO_3$. Det er like mange atomer av Ca som C i formelen, og basert på vekt-% er innholdet av NP = 0,3 x Ca (vekt-%) x 83,33 (C = 12,01 amu; Ca = 40,08 amu). Så lenge en vet at Ca og Mg i vesentlig grad representerer karbonat er det hensiktsmessig å regne ut NP på denne måten. Ca fra plagioklas vil også ha en buffervirkning, men atskillig mindre effektiv på kort sikt.

Syre- og nøytraliseringsbidrag av eventuelle andre årsaker er ikke representert i denne utregningen.

Tabell 14. Utregning av AP og NP gitt at NP er styrt av karbonater.

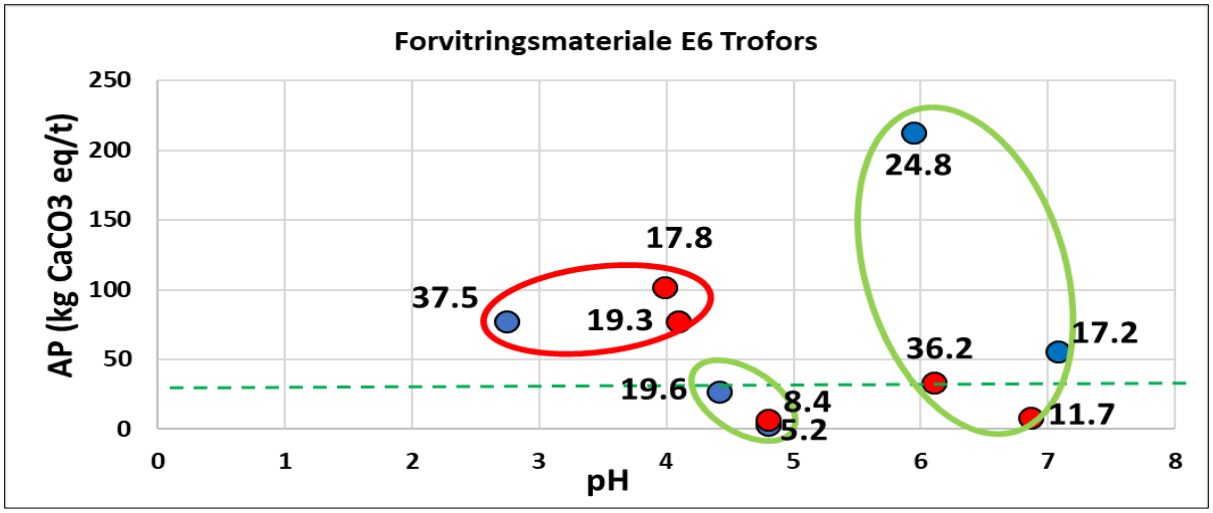
Prøve	AP	NP	NP/AP	% S	% Ca
E6-21-1	77.1	8,1	0,11	2,46	0,33
P2-2	55.5	8,5	0,15	1,78	0,34
P3-1 &2	212.0	1,1	0,01	6,78	0,04
06-13C-1 &2	26,9	3,1	0,12	0,86	0,13
06-10 kopp	3,8	34.2	9,55	0,11	1,37
P4-1 &2	6,2	34.7	5,65	0,20	1,39
06-01-1	101.6	22,7	0,22	3,25	0,91
06-06-1	7,8	11,2	1,43	0,25	0,45
06-03-1 &2	77.3	27,6	0,36	2,47	1,10
06-12-1 &3	33.2	9,8	0,30	1,06	0,39
06-12-2	233.7	2,5		7,48	0,10



Figur 51. NP og AP basert på total Ca og S vist sammen med målte pH-verdier i utlekkingsforsøkene. AP = 31,25 (1 vekt-% S) er vist ved grønn stipla linje. Serie 1 = blå og Serie 2 = rød.

Figur 51 og 52 viser at det ikke er noen sammenheng mellom AP og faktisk målt pH i langtidsforsøk. AP er regnet ut på samme måte som i veilederen (AP = 31,25 x S (vekt-%)). Prøver med AP < 31,25, tilsvarer total S < 1 vekt-%, regnes oftest som ikke syredannende. Bare prøve P2, med pH = 7,08, har et sikkert innhold av dolomitt. Bortsett fra Prøve P3 gav ingen andre prøver tydelig indikasjon på karbonater ved testing med saltsyre, så den potensielle bufferevnen er i større grad styrt av Ca fra plagioklas eller andre Ca-kilder.

NP ligger derfor reelt antakelig mye lavere enn vist på figuren. Prøve 06-12-2, «Arsenopyritt og As-rik omvandling», ble ikke testet i utlekkingstesten, så vi kjenner ikke reell pH reaksjon for dette materialet.



***Figur 52**. Det er svært dårlig korrelasjon mellom faktisk målt pH og AP basert på totalt S-innhold. Totalt Fe i vekt-% er vist for hver prøve. Fargesymbol som i Figur 51.*

Figur 52 viser målt pH plotta mot AP. To prøver med målt pH = 5,95 og 7,08 klassifiserer som syredannende der AP > 31,25. En prøve med pH = 6,11 klassifiserer på grensa til syredannende, AP = 33,2. Samtidig klassifiserer prøver med målt pH = 4,4-4,8 som ikke syredannende. Det tre mest syredannende med pH = 2,74-4,10 klassifiserer derimot som syredannende Det er likevel verd å merke seg at den desidert mest syredannende prøva (E6-21; pH = 2.74) har mye lavere AP enn prøve P3 med pH = 5,95. En prøve med pH = 6,87 klassifiserer riktig som ikke syredannende.

Flere syredannende prøver ligger lavere enn total S = 1 vekt %. (AP < 31,25). Disse vil ikke bli vurdert som syregivende etter denne metoden, og det er tydelig at syredannelsen her ikke bare er knytta til sulfidmineraler som arsenkis, sinkblende og blyglans. Jern i form av rustforbindelser er svært viktig i alle prøvene og både toverdig og treverdig jern kan ved utlekking i test kunne danne syre ved reaksjon 2 og reaksjon 3, kap 5.6.3.

De undersøkte prøvene er for det meste svært rike på jern, og ferrihydritt og goethitt er viktig. Vi har likevel sett innslag av svært amorf ferrihydritt og det er mulig at to- og/eller treverdig jern kan lekke ut og danne syre. Det er behov for en nærmere undersøkelse av Fe- for å avklare i hvilken grad reaksjonene 2 og 3 kan være årsak til syredannelse i prøver med lavt S-innhold. Faktisk viser monitorprøvene at høyest oppløste sulfat er oppnådd ved nøytral pH-verdi (7,08) i Prøve P2, som ikke inneholder sulfider.

Mhp kjemisk testing av AP- og NP er det klart at den mye brukte testmetoden ikke er pålitelig (Miljødirektoratet 2015) da det ble utvikla med basis i erfaringer fra svart- og alunskifer der svovelkis og magnetkis er de viktige sulfidene og Ca ofte er representert med kalsitt. Men i andre sammenhenger er geologien annerledes. Det er tidligere vist at S-førende gneis i Lillesandsdistriktet danner syre i stor grad på grunn av oppløsning av sulfatmineralet jarositt (Hagelia og Iversen, 2003, Hagelia og Huizenga, 2025). Også i dette tilfellet er det vist at metodikken ikke gir entydige resultater (Hagelia 2023).

6 HOVEDKONKLUSJONER

Bygging av E6 Svenningelv-Lien ved Svenningdal gruver i Trofors viser seg å ikke gi sur avrenning og metallutlekking av betydning. Årsaken til dette er at en i liten grad har kommet i berøring med gruvemasser og at dolomittisk kalkstein og marmor er utbredt langs linja og dermed bidrar sterkt til nøytralisering.

Monitorering viser så langt at en ligger godt under grenseverdiene i utslippstillatelsen, som er basert på Tilstandsklasse IV. E6 Svenningelv-Lien skiller seg likevel fra andre lignende vegprosjekt med syre- og metallpotensiale, der en ofte har lagt til grunn Tilstandsklasse III. Fordi minitorlokalitetene ligger flere hundre meter nedstrøms veganlegget er det vanskelig å vurdere omfanget av diffus avrenning.

FoU-prosjektet MilGRO har brukt E6 Svenningelv-Lien for å lære mer og det ble vektlagt å karakterisere typiske prøver mht. mineralogi og deres påvirkning på lokalt vannmiljø. Sulfidmineralene arsenkis, sinkblende og blyglans er de mest vanlige gjenværende sulfidmineralene i gruveområdet. Undersøkelsen har videre avdekket flere mineraler (arsenater, antimon og blyførende mineraler og ferrihydritt). Det er vist at As og Sb til forskjell fra andre tungmetaller blir mobilisert med økende pH og bikarbonat og at Sb blir anrika i vannfasen. Den spesielle mineralogien i området har gitt oss en ny innsikt i forhold som kan gi sur avrenning og metallutlekking. Kunnskapen vil ha verdi i andre prosjekter.

Undersøkelsene viser videre at syrepotensialet ikke ene og alene er knyttet til sulfidmineralene, men også rustdannelse og særlig ferrihydritt-liknende mineraler. Syrepotensial kun estimert fra totalt S-innhold, gir ikke sikre resultater og det er derfor anbefalt å måle pH direkte ved forsøk på veldefinerte prøver, lenge nok til at pH-verdien har stabilisert seg.

Takkens ord

Vi takker Odin Gundersen og Jan Fredrik Hertzenberg ved Laboratorium Øst, SVV for utføring av hhv utlekkingsforsøk og XRF-analyse.

XRD analysen ble utført av Nélia Castro, Naturhistorisk museum Universitetet i Oslo, som sammen med Siri Simonsen, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, utførte SEM analysene.

Fred Kaaby og Ingar Johansen ved Institutt for energiteknikk, Kjeller skal ha takk for kjemisk analyse av vann.

En særskilt takk til Marte Eik Skrede, Geofagseksjon, Utbyggingsdivisjonen i SVV, for god informasjon, rapporter fra E6 Svenningelv - Lien og gjennomlesing av denne rapporten.

Stor takk til Lene Sørlie Heier på seksjon for Klima og Miljø-seksjonen, Utbyggingsdivisjonen i SVV, for faglige innspill og gjennomlesning av denne rapporten.

7 REFERANSER

Appelo, C.A.J., Postma, D. (2005). Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema Publishers.

Asta, M.A.P., Cama, J., Acero, P. (1981). Dissolution kinetics of marcasite at acidic pH. European Journal of Mineralogy. DOI: 10.1127/0935-1221/2010/0022-1981.

Aziz, S., Jahin, A, Zarin, A. Tasnim, Z., Ali, M.A. (2019). Effect of Bicarbonate on Arsenic Removal by Coagulation. Global Science and Technology Journal, 6-2, 107-122.

Bajda, T. (2010). Solubility of mimetite $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ at 5-55°C. Environmental Chemistry, 7, 268-278.

Bajda, T., Manecki, M., Ciesla, A. (2012). Effect of phosphate on the solubility of schultenite $PbHAsO_4$ and mimetite $Pb_5(AsO_4)_3Cl$. European Mineralogical Conference Vil. 1, EMC2012-361.

Big Chemical Encyclopedia. (2025). Ferrihydrite 349 solubility - Big Chemical Encyclopedia

Birkeland, A., Ihlen, P.M., Bjørlykke, A. (1993). The Sources of Metals in Sulfide Deposits in the Helgeland Nappe Complex, North-Central Norway: Pb Isotope Evidence. Economic Geology, 88, 1810-1829.

Bigham, J.M., Nordstrom, D.K. (2000). Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters. In: Alpers, C.N., Jambor, J-L., Nordstrom, D.K. (Eds.), Sulfate Minerals: Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, pp. 351-403.

Domènech, C., Canals, À., Soler, A., Sabanès, A., Dumestre, A. (2017). Evolution assessment of soils contaminated by roasted pyrite wastes. Procedia Earth and Planetary Science 17, 432 -435.

Escot-Espinoza, V.M., Ramos-Arroyo, Y.R., Lázaro, I., Montes-Avila, I., Carrizalez-Yañez, L. Briones-Gallardo, R. (2021). Presence of Arsenic in Potential Sources of DrinkingWater

Supply Located in a Mineralized and Mined Area of the Sierra Madre Oriental in Mexico. Toxics 9, 307.

Eurofins (2025). Analyserapport AR-25-MM Domènech -054138-0, ref. E6SLMai25. Rapport til NGI.

Farmaki, S., Vorrisi, E., Karakasi, O., Moutsatsou, A. (2018). The role of limestone and dolomite tailings particle size in retention of heavy metals from liquid waste. Mining of Mineral Deposits, 12-2, . 95-103

FHI (2025). Håndbok om innhold i drikkevann. Håndbok om innhold i drikkevann - FHI

Filella, M., Belzile, N., Chen, Y.W. (2002). Antimony in the environment: a review focused on natural waters I. Occurrence, Earth-Sci. Rev. 57, 125-176.

Fjermestad, H., Hagelia, P., Thomassen, T. (2017). Utlekkingsforsøk med svartskifer fra Rv 4, Hadeland. Statens vegvesens rapporter nr. 665.

Fjermestad, H., Gundersen, E., Hagelia, P., Moen, A.B., Torp, M. (2018). Rv 4 på Gran, nyttiggjering av svartskifer. Sluttrapport og erfaringar. Statens vegvesens rapportar nr. 333.

Forskning.no (2023). https://www.forskning.no/forurensning-geologi-miljoteknologi/dette-skal-gjore-veibyggingen-i-norge-mer-miljovennlig/2258107

Grane kommune (2019). Grane kommune (2019): Kulturminneplan 2019-2022.

Gustafsson. Å. (2004). Sorption and weathering properties of naturally occurring chlorites. Licentiate Thesis, KTH.

Hagelia, P., Iversen, E. (2003). Motorveg E18 Grimstad-Kristiansand. Sulfidførande gneisar, sur avrenning, konsekvensar og avbøtande tiltak. Statens vegvesen Oppdrag I-279A, rapport nr 1.

Hagelia, P., Fjermestad, H. (2016). Bruk av XRF på bergartar for vurdering av miljørisiko. Eksempel frå Rv 4 Gran og E18 Grimstad - Kristiansand. Statens vegvesens rapportar nr. 516.

Hagelia, P. (2023). Sur avrenning frå rusta svovelførande gneis. FoUI-prosjektet MilGRO 2022-2024. Statens vegvesens rapportar nr. 922.

Hagelia, P., Huizenga, J.M. (2025). Acid Rock Drainage caused by hydronium-bearing and Fe-deficient jarosite: An example from Lillesand, Southern Norway. Preprint. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5239518

Hammarstrom, J.N., Smith, K. (2002). Geochemical and mineralogical characterization of solids and their effects on waters in metal-mining environments. Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types, Chapter B (Eds: R.R. Seal, N.K. Foley). U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0195.

Heier, L.S., Strømseng, A.E., Ljønes, M. (2004). Analyse og vurdering av ulike tilstandsformer til tungmetaller i avrenningsbekker fra skytebaner. Forsvarets forskningsinstitutt, FFI Rapport-2004/02971.

Heier, L.S., Meland, S., Ljønes, M., Salbu. B., Strømseng, A.E. (2010). Short-term temporal variations in speciation of Pb, Cu, Zn and Sb in a shooting range runoff stream. Science of The Total Environment, 408-11, 2409-2417.

Helgeland Museum (2024). https://digitaltmuseum.org/hmf

Jambor, J.L., Nordstrom, D.K., Alpers, C.N. (2000). Metal-sulfate salts from sulfide mineral oxidation, in C.N. Alpers, J-L. Jambor, D. Kirk Nordstrom (Eds.). Sulfate Minerals:

Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 6, 303-350.

Keim, M.F., Markl, G. (2015). Weathering of galena: Mineralogical processes, hydrogeochemical fluid path modeling, and estimation of the growth rate of pyromorphite. American Mineralogist, 100, 1584-1594.

LNS/NGI (2022). E6 Svenningelv-Lien. Svar på tiltaksplan, syredannende masser. Teknisk notat N-MGEOL-03. 26.03.2022

LNS/NGI (2022b). E6 Svenningelv-Lien. 06. Resultater geokjemiske analyser, BS2. Teknisk notat N-MGEOL-06. 12.08.2022.

Luo, X., Xiang, C., Wu, C., Gao, W., Ke, W., Zeng, J., Li, W., Xue, S. (2023). Geochemical fractionation and potential release behaviour of heavy metals in lead-zinc smelting soils. Journal of Environmental Sciences. 139, 1-11.

Majzlan, J., Haase, P., Plášil, J., Dachs, E. (2019). Synthesis and stability of some members of the pharmacosiderite group, $AFe_4(OH)_4(AsO_4)3nH_2O$(A¼K, Na, 0.5Ba, 0.5Sr. The Canadian Mineralogist, 57, 663-675.

Miljødirektoratet (2015). Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for Miljødirektoratet. NGI Rapport DOK.NR. 20120842-01R. REV.NR 0/2015-02-09.

Miljødirektoratet. https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/kjemikalier/den-norske-prioritetslista/tungmetaller

Miljødirektoratet (2016). Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder M-608.

Miljøfaglig Utredning AS (2019). E6 Svenningelv - Lien i Grane. Supplerende vurdering av naturmangfold. Notat 2019-N38.

Mindat.org. Svenningdalen Mines, Svenningdalen, Grane, Nordland, Norway. https://www.mindat.org/loc-25981.html

Mpouras, T., Chrysochoou, M., Dimitris Dermatas, D. (2017). Investigation of hexavalent chromium sorption in serpentine sediments. Journal of Contaminant Hydrology, 197, 29-38.

Neumann, H. (1985). Norges mineraler. NGU Skrifter 68.

NGI (2022-2025). Vannprøver sammenstilling resultater. Excel ark v. Christian Sætre.

NGU (1976). Mineralundersøkelser i Svenningdal. Grane kommune. Råstoffundersøkelser i Nord-Norge. NGU rapport nr, 1339/2.

NGU (1991). IP-målinger Svenningdal gruvefelt, Grane, Nordland. NGU rapport nr. 91.053. Dato 1991-03-15.

NGU. Berggrunnskart for Norge 1:250.000. http://www.ngu.no/

NGU (2023). Oversikt over kritiske metaller og mineraler i Norge. NGU RAPPORT

2023.021.

NGU (2024). Geologiske undersøkelser av Bergdalssonen i Bergåstunnelen (E6), Trofors. NGU rapport 2024.018.

Okkenhaug, G. (2013). Antimon – Nytt fokus på gammelt element. Miljøringen Temamøte, Bergen 11-12 juni 2013. https://miljoringen.no/onewebmedia/2013-06-12%2003%20Okkenhaug.pdf.

Pigna, M., Caporale, A.G., Cavalca, L., Sommella, A., Violante, A. (2015). Arsenic in the Soil Environment: Mobility and Phytoavailability. Environmental Engineering Science, 32-7, 551-563.

Schwertmann, U. (1991). Solubility and dissolution of iron oxides. Plant and Soil, 130, 1-25 https://doi.org/10.1007/BF00011851

Sheng, A., Liu, J., Li, X., Luo, L.; Ding, Y., Chen, C., Zhang, X., Wang, C., Rosso, K.M. (2021). Labile Fe(III) supersaturation controls nucleation and properties of product phases from Fe(II)-catalyzed ferrihydrite transformation. Geochimica et Cosmochimica Acta 309, 272-285.

Statens vegvesen (2024). Håndbok N200 Vegbygging. Statens vegvesen (2019a). Geologi. E6 Svenningelv-Lien. Bergskjæringer. Ingeniørgeologisk rapport til reguleringsplan. Utbygging nord 51006-GEOL-001.

Statens vegvesen (2019b). Geologi. Tunnel 1. Ingeniørgeologisk rapport til reguleringsplan. Utbygging nord 51006-GEOL-001.

Statens vegvesen (2020): Reguleringsplan for E6 Svenningelv-Lien. Reguleringsplan for ny E6 Svenningelv – Lien. Fagrapport naturmangfold. 22 januar 2020

Statens vegvesen (2021): Reguleringsplan for E6 Svenningelv-Lien. 24 juni 2021.

Statens vegvesen (2021). Ny E6 gjennom Svenningdal gruver – Notat frå feltarbeid mai 2021. Notat utarbeidd av Finn Sverre Karlsen og Per Hagelia. 16.01.2021.

Statens vegvesen (2022). Miljøgeologisk riktig planlegging og bygging. FOUI-prosjektet MilGRO. Statens vegvesens rapporter Nr. 913.

Statsforvalteren (2021). Tillatelse etter forurensningsloven til utslipp fra midlertidig anleggsvirksomhet – vaske- og drensvann fra tunnel i drift – ny E6 strekninga Svenningelv – Lien i Grane. 23.06.2021.

Statsforvalteren (2022). Inspeksjonsrapport: Inspeksjon ved ny E6 Svenningelv-Lien.

Kontrollnummer: 2022.108.I.SFNO. 16.11.2022.

Stephens, R.N., Carron, M.K. (1948). Simplified field test for distinguishing minerals by abrasion. American Mineralogist 33, 31-49.

Sø, H.U., Postma, D., Jakobsen, R., Larsen, F. (2008). Sorption and desorption of arsenate and arsenite on calcite. Geochimica et Cosmochimica Acta 72, 5871-5884.

Sweco (2021a) Vurdering av syredanningspotensiale i bergprøver med tiltaksplan. Svenningdal miljøkartlegging 10217368_RIM_R01 Rev. 1. 19.01.2021

Sweco (2021b). Syredannende gneis i Svenningåsen, geokjemisk modellering, miljørisikovurdering og tiltaksplan. Prosjektnummer 10217368_RIM_R02 Rev.:A02.

Sætre, Chr (2025): e-post til Statens vegvesen ved Per Hagelia, Marte Eik Skrede og Finn Sverre Daniel Karlsen, 2025-08-20.

Vannforskriften: Forskrift om rammer for vannforvaltningen - Lovdata.

Vegvesesen.no (2023): https://www.vegvesen.no/om-oss/om-organisasjonen/om-statens-vegvesen/samfunnsoppdrag-ansvar-oppgaver/barekraft/

Veileder til forurensningsforskriften kapittel 33. Miljødirektoratet. https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/industri/for-naringsliv/betongproduksjon/hvordan-handtere-diffuse-utslipp/#:~:text=Diffuse%20utslipp%20til%20vann%20kan%20for%20eksempel%20v%C3%A6re,til%20hvordan%20deres%20utslipp%20p%C3%A5virker%20resipienter%20i%20n%C3%A6rheten.

Vogt, J.H.L., 1900. Svenningdalens sølvertsgange. Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) 29, 113-149.

Youtube (https://www.youtube.com/watch?v=FHdliGDCS9Q).

8 VEDLEGG

Vedlegg 1 – Feltarbeid 2021 – E6 gjennom Svenningdal gruver. Statens vegvesen (2021)

Vedlegg 2 – Vannanalyser av feltprøver

Vedlegg 3 – Foto av prøver

Vedlegg 4 – XRD-analyser

Vedlegg 5 – SEM-analyser

Vedlegg 6 – Vannanalyser etter utlekkingstesten

Vedlegg 7 – Periodesystemet og kjemi

Vedlegg 8 – Forkortelser og fulle navn

VEDLEGG 1 - FELTARBEID 2021

Bodø/Oslo 16.6.21

Ny E6 gjennom Svenningdal gruver – notat frå feltarbeid mai 2021

Innleiing

Sweco (2020) har utarbeidd ein rapport for Statens vegvesen der det visast til at etablering av vegskjeringar gjennom gruveområda i Svenningdal truleg vil føre til sur avrenning. Bergskjeringane frå sør til nord heiter bergskjering 1, 2 og 3. Det er bergskjering 2 som går gjennom Svenningdal gruver. Kartlegging av NGU (1:50 000) og registringar av SWECO viser at traséen ligg omkring grensa mellom granittisk gneis i vest og kalkstein, metasandstein og amfibolittisk metavulkanitt som dominerer i aust skråninga ned mot Vefsna.

Reguleringsplanen er endeleg vedtatt. Geologisk kartlegging som låg til grunn for reguleringsplanen var ikkje detaljert nok. Ei geologisk detaljkartlegging i målestokk 1:1000 (Hb N200, Hb N500) ville derimot ha gitt eit sikrare grunnlag for kostnadsoptimalisering, ved å legge traseen i gunstigare geologi.

Gjenverande hovudproblematikk:

1. Avklare omfang og potensiale for sur avrenning og metallmobilisering frå sulfidførande og forvitra bergartar, samt konsept for lagring av dette.
2. Steinmaterialar – behov for best mogleg utnytting av lokal sprengstein i veganlegget, dvs kortreist stein.
3. Problematikk som t.d. stabilitet knytta til bygging og etablering av bergskjeringar ved gamle gruvegangar (stollar og sjakter).

Hensikten med feltarbeidet i mai 2021 var å:

a) Utføre geologisk kartlegging i nødvendig detalj for avklaring av grenseforholda mellom bergartar som kan føre til sur avrenning og andre bergartar som granittisk gneis med relativt gode mekaniske eigenskapar. Granittgneisen har si største utbreiing rett vest for den planlagde vegtraséen.
b) Samle inn eit lite utval av prøver for undersøking i binokularlupe, samt undersøking av pH-reaksjon i vatn og analyse ved Scanning elektronmikroskop.
c) Avgrense område med mest kritisk geologi, herunder; potensiell sur avrenning og driving, stabilitet, massehandtering og anleggslogistikk.

Feltarbeidet blei utført av Finn Sverre Karlsen og Per Hagelia, Fagressurs Geo, Utbyggingsavdelinga i Statens vegvesen. Kartlegginga blei utført på kart i skala 1:1000 med ekvidistanse 1 meter, i samsvar med krava frå Hb N200. Karlsen utførte rekognosering i området den 4 mai og Hagelia deltok 5 til 7 mai. Det var fint og delvis varmt ver alle dagar. Blotningsgraden er liten. Det var likevel muleg å utføre til dels detaljert geologisk kartlegging/registrering ved å leite opp blotningar i søkk og skrått terreng, samt på knausar.

Områda med tidlegare gruvedrift er knytta til aust-vestgåande forkastningar og sprekkesystem. Gruver og skjerp var tydeleg markert som søkk i terrenget der det var henta ut malm. I sjølve søkka var det ofte muleg å finne blotta berg. Kartlegginga var avgrensa til vedtatt trasé og 80 til 130 meter ut til begge sidene.

Dette feltarbeidet omfatta ikkje innsamling av prøver for testing av steinmaterialkvalitet. Representative prøver bør samlast inn systematisk med utgangspunkt i vår geologiske kartlegging.

Berggrunnsgeologi

Den granittiske gneisen er lys i farga, er svært einsarta fin til middelkorna med lokalt innslag av grøvre mineral.

Berget i austhellingane vekslar mellom metasandstein, kalkstein/marmor og amfibolittisk metavulkanitt. Metasandstein har ofte forvitra preg med rustutfellingar på sprekkeplana. Statens vegvesen har i andre prosjekt erfart at slike utfellingar kan ha syrepotensiale. Dette krev ei vidare undersøking av mineralinnhald og pH-reaksjon. Det er her gjort innleiande undersøkingar.

Malmen i Svenningsdalen gruver (Svenningelv Sølvgruber) forekommer i 1 - 3 meter breie hydrotermale kvartsgangar som går langs aust-vest-orienterte forkastningar. Observasjonar av gamle gruvetippar viste svært lite av opprinneleg malm. Våre observasjonar viste at tippane er dominert av lite forvitra berg; mest metasandstein, metavulkanitt og granittisk gneis med mindre innslag av urein kalkstein.

Prøver av hydrotermal kvarts i berghallane inneheld lite sulfidmineral. Vi observerte ikkje «feit» malm. Det er tydeleg at det meste av rik malm blei henta ut under gruvedrifta. Vi observerte blyglans (PbS), sinkblende (ZnS), svovelkis (FeS_2), magnetkis (Fe_7S_8), og eit mørkt prismeforma mineral som kan vere menighinitt (bly-kobber-antimon sulfid). Dette samsvarer med mineral i Svenningdal rapportert av NGU (1975).

Sulfidminerala i hydrotermalkvarts var for det meste uforvitra etter meir enn hundre års eksponering for vatn og luft.

Kartlegginga omkring dei mange gruvene i Svenningdal viste at sideberget omkring malmgangane er impregnert av gulbrun sulfid og rust. Dette gjeld særleg mellom ca. profil ca. 8940 - 9070, men er også i austhellinga ned mot Vefsna, bl.a. langs vegen forbi berghallane der det vil bli bygd lokale vegar/anleggsvegar.

Berghallane framstår som ikkje sterkt forvitra, men vi kan bekrefte Sweco sine observasjonar av forvitring i deler av gruvetippane.

Geologisk kartlegging i skala 1:1000.

I tabell 1 er vist hovudtrekk frå den geologiske kartlegginga med vekt på bergartane i bergskjering 1-2-3. Kolonna til høgre i tabellen gir råd om bruk av bergmassane! og vidare undersøkingar av berget. Prosjektet bør utføre dette for å få oversikt over kostnadane.

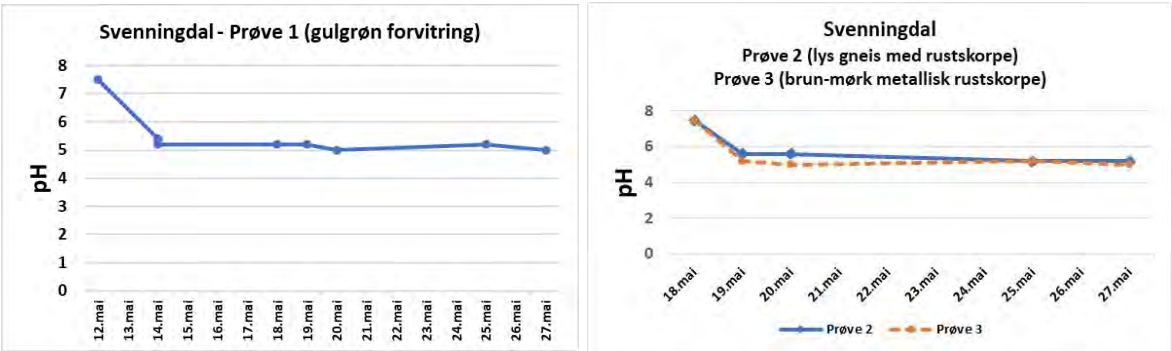
Tabell 1: *Oppsummering av observasjonar gjort i felt. Det meste er sikre observasjonar, men nokre av desse er* ***tolka*** *og er difor mindre sikre. BS1, BS2 og BS3 er bergskjeringane frå sør til nord. Pelnumra referer til senterlinja. Lokaliseringa av gamle gruvegangar i området er i stor grad ukjent. Raudt er profilstrekk vi skal vere ekstra varsame på- og grøne er greiare strekk fom BS1 tom BS3.*

Pelnummer	Del av veg*	Geologi	Gruvegeologi/syrepot.	Bruk av bergmassane
8240-8380	BS1. 2-sidig	Granittisk gneis 8260-8380 h. side. ***Tolka*** det same på h. side.		***Tolka*** som stort sett eigna til vegføremål. Behov for vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
8380-8450	BS1. 1-sidig vest	Granittisk gneis 8380-8425 h. og v. side. 8425-8460 ingen blotningar 8460- metavulkanitt, kalkstein og granittgneis	Muleg skjerp i pel 8390.	***Tolka*** som stort eigna til vegføremål. Behov for vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
8450-8780	Fylling i elvedal der fyllmassar utgjer ca. 98. 650 m³			Bruke bergmasser ved å legge granitt i botn. Syredannande bergartar i vanntett "membranpølse" i vegfylling nede/aust om veg. Sørge for bufrande massar av kalkstein rundt pølsa.
8780-8850	BS2. 2-sidig	Kalkstein m innslag av metasandstein	Grensa markerer gruve/skjerp i pel 8850	Variabel steinmaterialkvalitet. Treng vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
8850-8940	BS2. 2-sidig	Metasandstein og meta-vulkanitt på v. side. Kalkstein på h. side.	Grensa markerer gruve/skjerp i pel 8940	Variabel steinmaterialkvalitet. Treng vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
8940-8985	BS2. 2-sidig	Veksling av hovudsakleg meta-vulkanitt og metasandstein med innslag av kalkstein og granitt v. og h. side.	NB! Dette området utgjer **hovuddelen** av malmgangane. Viktigaste del av desse gangane ligg på austsida at traseen.	*NB muleg syredanning - varsam handtering av berg.* *Behov for gjennomgang av alle tilgjengelege data (SWECO-rapportane mfl.) som grunnlag for spesiell handtering.*
8985-9030	BS2. 2-sidig	Metavulkanitt og granittisk gneis v. side. Granittisk gneis og kalkstein h. side.	Kryssing av 3 stk. gamle malmganger. I pel 9030 er ei forkasting knytta til ein malmgang.	*NB muleg syredanning - varsam handtering av berg.* *Behov for gjennomgang av alle tilgjengelege data (SWECO-rapportane mfl.) som grunnlag for spesiell handtering.*
9030-9065	BS2. 2-sidig	Veksling av kalkstein med innslag av metasandstein og meta-vulkanitt h. og v. side.		Variabel steinmaterialkvalitet. Treng vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
9065-9080	BS2. 2-sidig	***Tolka*** veksling mellom granitt, sandstein og kalkstein på v. side. Meta-vulkanitt på h. side.		Variabel steinmaterialkvalitet. Treng vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).
9080-9200	Fylling over bekk/elv			Ikke bruke annet enn granittisk gneis i fyllinga - essensielt at man etablerer BS3 FØR fylling her!
9200-9545	BS3. 2-sidig	Granittisk gneis	Bekk og søkk som renn austover i pel 9200 som truleg er ei gamal gruve. Dette må undersøkast nærmare.	Mulege innslag av kalkstein, metasandstein og meta-vulkanittar. Behov for vegteknologiske undersøkingar (LA, MicroDeval og flisigheit).

Testing / analysar:

I pel 9000 ved «Hovudgruva» blei det utført felt-pH-testing av gulbrunt-brunt forvitringsmateriale som gav pH = 4.5. Figur 1 viser testar utført på ulikt materiale i laboratorium. Vi ser at dei ulike prøvene går ned til pH = 5.2 til 5,6 etter 1-2 dagar, og deretter flatar ut ved pH omkring 5.

Det er usikkert om det er kismineral i desse prøvene. Inspeksjon i binokularlupe tyder ikkje på at prøvene vi testa har kismineral. Det blir derfor også utført mineralogisk analyse (XRD) ved Naturhistorisk museum tidleg i juni. Vi vil også utføre kjemisk analyse med handhaldt XRF på materialet for å avdekke innhaldet av tungmetall.



Figur 1. *pH-test av forvitringsprodukt med start pH = 7,5 i vatn. Forholdet prøvematerial: vatn var omkring 1:8. Prøve 1: finkorna støv av gulgrønt svakt forvitringsmateriale. Prøva blei rista kraftig 14 og 19 mai og gav ein litt lågare pH. Prøve 2: Bruddstykker av lyst metasediment (gneis) med rustskorper. Prøve 3: finknust rustskorpe. Alle prøvene blei samla nær pelnummer 9000 og flater ut kring pH = 5,0.*

Vedlegg 2 viser resultat frå undersøkingar i SEM (semi-kvantitative). Gulgrønt svakt forvitringsmateriale (Prøve 1) inneheld svovelførande jernoksyd og jarositt. Prøve 3 (brun-mørk metallisk rustskorpe) var dominert av jernoksid med ein del svovel. Resultata viser at forvitringsmaterialet i Svenningdal er ein syregivar som truleg kan gi pH 4,5 - 5,0. Det er sannsynleg at sprenging i slikt materiale kan gi pH noko lågare, men dette er ikkje avklara. Det er muleg at forvitringsmaterialet, som også finst i impregneringar i sideberget, kan vere den mest viktige bidragsytaren til sur avrenning og metallmobilisering. Dette fordi kisminerala vi kunne observerte verka svært lite forvitra og upåverka etter langtids eksponering, og at det neppe finst mykje gjenverande berg med høg kisgehalt i området. Vår undersøking av ei enkelt prøve av hydrotermal kvarts med kis (Prøve 4, Vedlegg 2) viste uforvitra arsenkis, blyglans og eit mindre innhald av eit antimonmineral.

Også rapporten til Sweco kan tyde på dette: Prøvene M3, M7 og M8 har alle høgt innhald av svovel og med til dels høge innhald av tungmetall, særleg arsen. Fellestrekket for desse prøvene er at dei er til dels sterkt forvitra.

M3, M7 og M8 representerer ikkje den opprinnelege malmen: sulfidminerala var knytta til kvartsrike årer. Det ser derfor ut til at det gjenverande potensialet for sur avrenning og metallmobilisering etter gruvedrifta ***i stor grad er knytta til forvitra og impregnert sideberg. Fokus på tiltak i anlegget i vidare arbeid bør derfor også legge vekt på forvitringsprodukta.***

Vassanalysar i Swecos rapport viser for det meste høge konsentrasjonar av aluminium, og til dels høge konsentrasjonar av arsen (As), sink (Zn), kadmium (Cd) og antimon (Sb). Lågaste målte pH er 5,7 i «Vann 3» som ligg tett ved senterlinja. Same rapport fortel elles at pH varierte mellom 6,6 og 7,4. I felt målte vi pH i bekk frå «Vann 3». Han gav litt surare vatn med pH = 5,0.

Behov for vidare arbeid

I møte med prosjektet før feltarbeidet vårt vart det påpeika behov for vidare arbeid/prøvetaking:

1. Samle inn fleire prøver av vatn for kjemisk analyse.
2. Samle inn prøver av granittisk gneis og berg med variabel kvalitet for Los Angeles test, MicroDeval og flisigheit.
3. Ha ein gjennomgang med utførande med tanke på å skaffe dei mest viktige prøvene.
4. Vi vil lage eit detaljert geologisk kart etter feltarbeidet.

Konklusjonar så langt

Under kjem delpunkta i konklusjonen vi har etter arbeidet i mai 2021.

1. Omfanget av sulfidmineral er noko mindre enn rapportert frå SWECO (2020), og det meste av syredannande berg er lokalisert mellom profil 8940 og 9070.
2. Områda i skjering BS2 sør for profil 8940 inneheld mykje (urein) kalkstein så det *kan* vere eit visst innslag av syregivande berg vidare søranfor (forvitra og muleg gjenverande kismalm).
3. Det er meir granittisk gneis enn beskrive frå før. Det er også mykje relativt uforvitra berg av metasandstein og metavulkanitt.
4. Det er tydeleg at malmen i hydrotehermalkvartsen frå Svenningdal gruver stort sett er driven ut. Vi trur at det er lite sannsynleg at ein kjem inn i område med «feit» malm då dette blei drive ut for lenge sidan.
5. Det må leggast eit auka fokus på forvitra berg omkring gruvene og elles i området.
6. Anleggsvegar fram til vegtraseen vil etter alt å dømme uansett måtte leggast i austhellinga mot Vefsna, der det er innslag av forvitra berg med syrepotensial.
7. Nøytralisering ved bruk av kalkstein i området er fornuftig. Men modelleringa av syrebidraget utført av UiO på Swecos bestilling er basert *berre* på svovelkis. Relevant modellering bør derfor omfatte forvitringsminerala, samt alle viktige kismineral som er rapportert i eldre publikasjonar (sjå NGU 1975). Det er nødvendig å få drøfta denne problemstillinga med Sweco før tiltaksplanen blir sendt.
8. Det er mangelfull oversikt over gruvegangane i Svenningdal. Dette vil kunne verke inn på stabilitet i skjeringane og spesielt bergskjering 2.
9. Grane kommune har ein plan for bruk av gruveområdet i samband med bl.a. turisme og undervisning.
10. Direktoratet for mineralforvaltning (DIRMIN) har sett nokre krav til rapportering og dokumentasjon etter bygging.

11. Vi deltar gjerne i eventuelle møter mellom SSV og kommunen og DIRMIN med tanke på å tilføre geologisk informasjon.

Forslag gjennomføring og avvikling anlegg mhp geologien

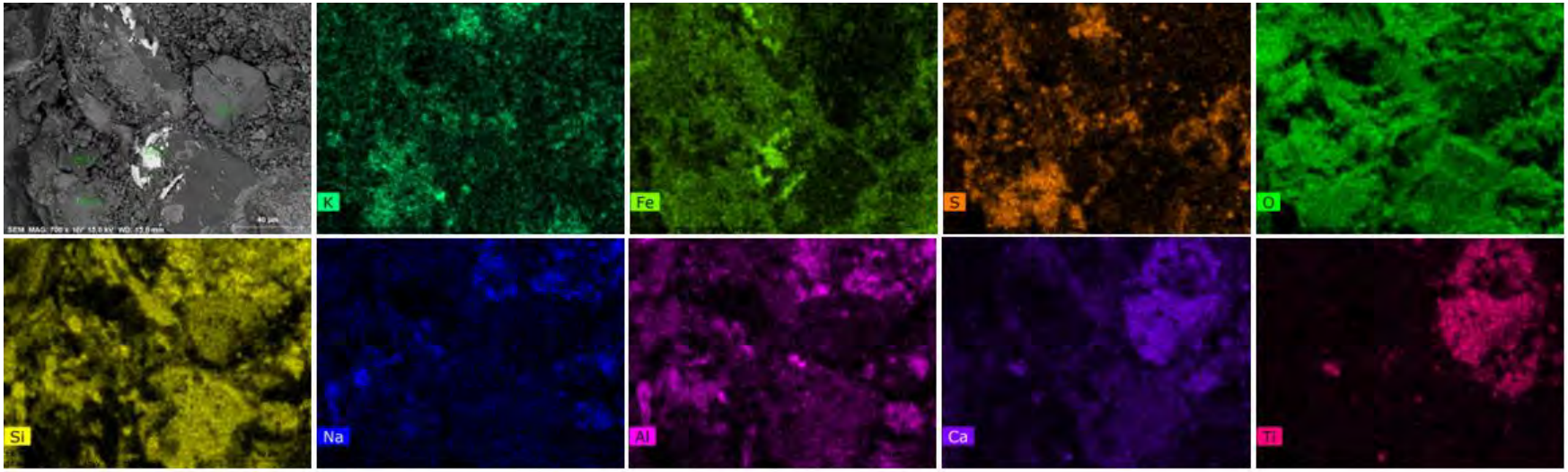
Til sist og under her kjem nøkkelpunkt frå geologane i Statens vegvesen om korleis vi tenker og vil anbefale gjennomført gjeremåla under anlegget. Dei er satt opp og ***bør avviklast kronologisk*** som vist under:

1. Det er viktig at anleggsvegane ikke «berør» de syredannende bergarter. Vi har kartlagt sannsynleg syredannende bergarter i og langs skogsveg (kart, foto film). Vi etterspør derfor om anlegga skal breies ut slik at det blir sprenging i desse bergartane?
2. Etter løsmassefjerning kan vi få verifisert geologisk kart etter kvart som bergflater avdekkast.
3. Deretter må geolog beskrive bergmassane som tas ut – dermed kan vi måle dei verste bergartane – volum og generell geologi. Slik har vi kontroll på kor dei uttatte bergmassane plasserast; dvs ALLE bergarter.
4. Vi anbefaler systematisk måling med XRF særlig i det «verste» området, og generelt der tilsvarende potensielt syregjevande bergartar dukkar opp. XRF-målingar av kalkstein og andre bergartar med kisdannelse og bl.a rustforvitring.
5. Vi er ennå ikke sikre på bufferkapasiteten til lokal, urein kalkstein/marmor. Dette er ikke dokumentert, men vil garantert variere sterkt. Kva for bufferverknad han vil kunne ha, er dermed ennå uklart. Dette må derfor dokumenterast.
6. Granitt uttatt i BS1 og søndre del av BS2 leggast i botn i sør og nord for bekk/elv.
7. Syredannande bergartar leggast i tett «pølse» nedside av veg i vegkroppen/fylling mellom BS1 og BS2. Med tett meinast her at dei syredannande bergartane ikkje reagerer med fukt og vann.
8. En slik «pølse» må det lagast ei klar og tydeleg planteikning og modell over – der kor det tydeleg kjem fram plasseringa i fylling og deponi på nedside av veg.
9. Over tid voktast og monitorerast pH-verdiar i avrenning.
10. Entreprenør må kunne gjere/dokumentere effekten av den ureine kalksteinens bufferemne.

Per Hagelia & Finne Sverre Karlsen
Geofag – Utbyggingsdivisjonen – Statens vegvesen

Vedlegg 1 – Geologiske kart
Vedlegg 2 – Analysar av forvitringsskorper og kismineral

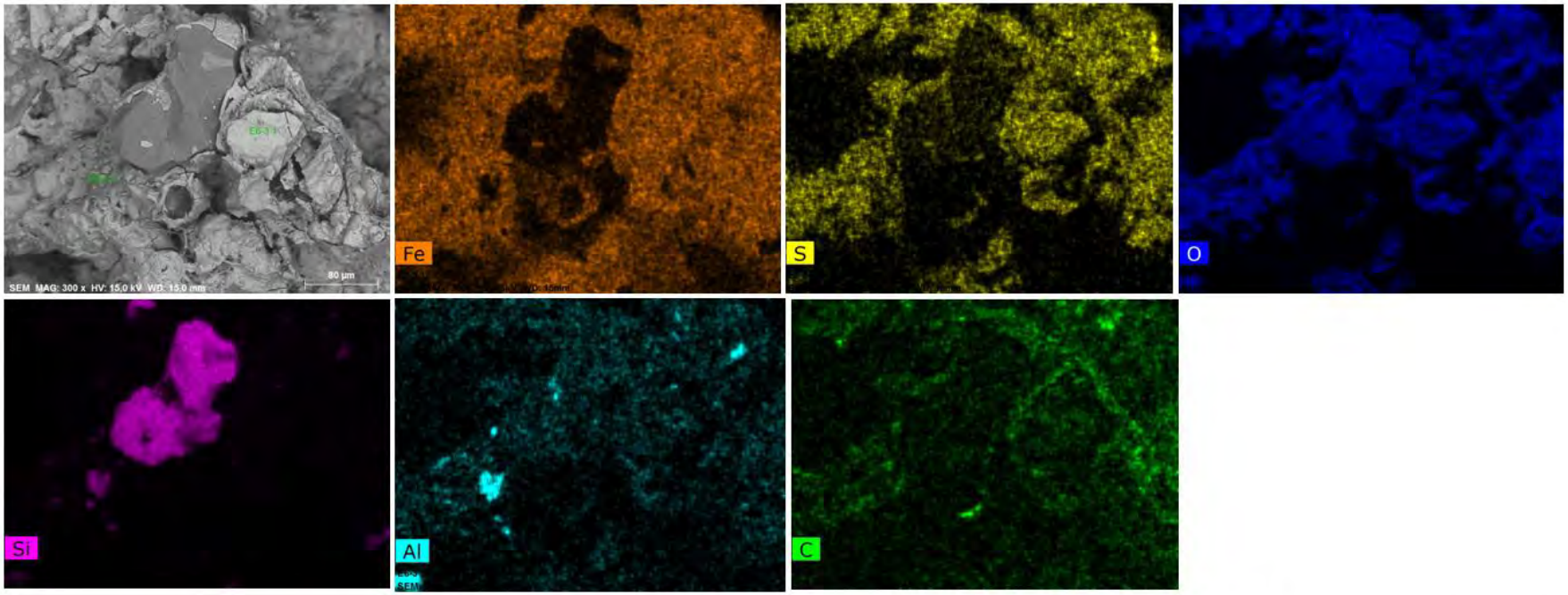
Analysar av forvitringsskorper og kismineral



Quantification results
Atomic percent (%)
Date: 02.06.2021

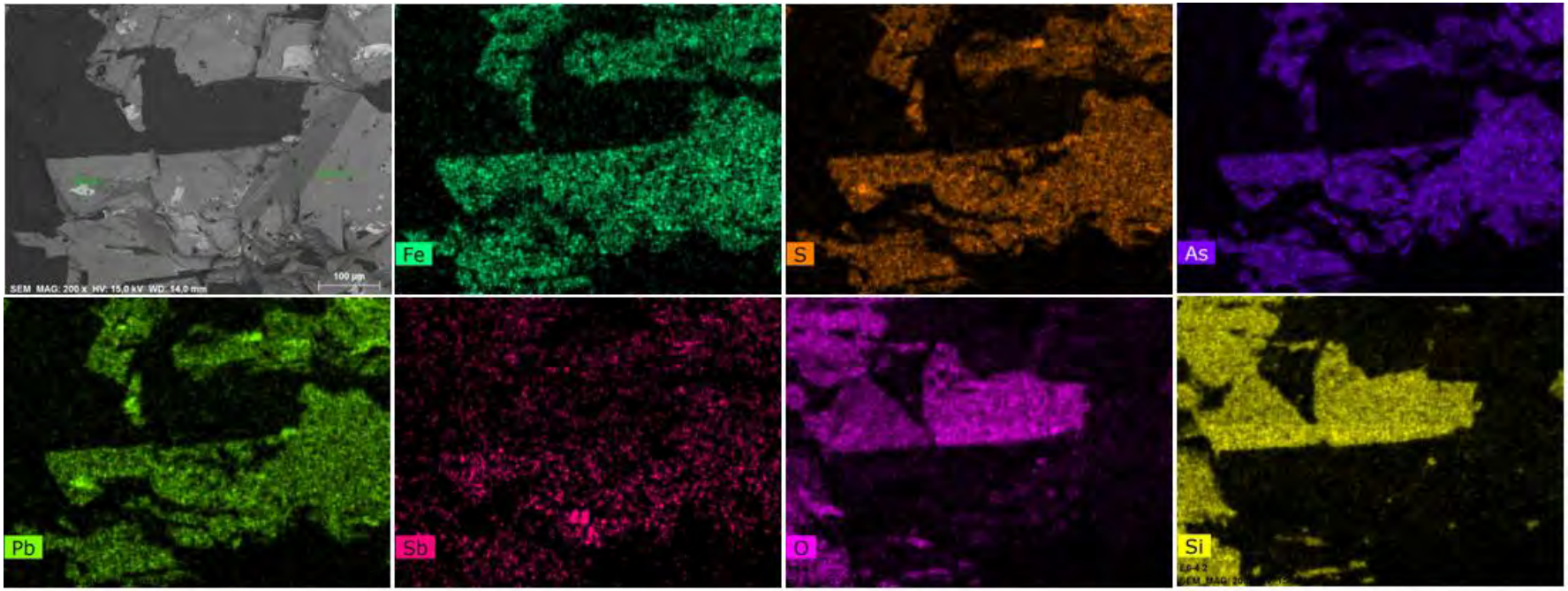
Prøve 1 – Gulgrøn forvitring. Elementfordeling og 4 analysar av dominerande mineral

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Mineral
E6-1 1.spx	12,4504	59,85788	0,285293	0,42543	1,342707	8,937045		0,165302		8,197245	7,32942		1,009281		**Titanitt**
E6-1 2.spx	18,54441	14,62154		3,361866	3,560654	5,758092		0,495254		0,87511		8,283212	41,01244	3,487423	**Jernoksyd**
E6-1 3.spx	10,27719	68,94264	0,485116	0,879726	1,08949	2,077405	0,213419	4,200603	1,497185	0,405891			9,931337		**Jarositt-alunitt *)**
E6-1 4.spx	11,37048	69,38159	0,29129	1,90302	1,795148	3,108791	0,008279	2,541165	1,624177				7,97606		**Jarositt-alunitt *)**
														***) innblanda litt kvarts**	
Mean value	13,16062	53,20091	0,3539	1,642511	1,947	4,970333	0,110849	1,850581	1,560681	3,159415	7,32942	8,283212	14,98228	3,487423	
Sigma:	3,697227	26,0915	0,113676	1,3022	1,114665	3,065384	0,145056	1,886495	0,089797	4,369192	0	0	17,77088	0	
Sigma mea	1,848613	13,04575	0,056838	0,6511	0,557332	1,532692	0,072528	0,943247	0,044899	2,184596	0	0	8,885442	0	



Prøve 3 – Brun/mørk metallisk rustskorpe med svovel.
Elementfordeling (Si viser kvartskorn) og analysar (mest jernoksid med S)

Quantification results									
Atomic percent (%)									
Date:	02.06.2021								
Spectrum	C	O	Na	Al	Si	P	S	Fe	
E6-3 1.spx	12,98316	65,31547		0,237265	0,355304	0,349417	2,663754	18,09563	Jernoksid med svovel
E6-3 2.spx	9,978048	65,04902	5,110703	4,202538	12,55182		0,216092	2,891782	Feltspat
Mean value	11,4806	65,18225	5,110703	2,219901	6,453561	0,349417	1,439923	10,4937	
Sigma:	2,124936	0,18841	0	2,803871	8,624236	0	1,730758	10,75074	
Sigma mea	1,502557	0,133226	0	1,982636	6,098256	0	1,223831	7,601922	



Prøve 4 – Hydrotermal kvarts med arsenkis, blyglans og antimon mineral (Sb).
Elementfordeling og 2 analysar av dominerande mineral

Quantification results
Atomic percent (%)
Date: 02.06.2021

Spectrum	C	O	Al	Si	S	Fe	As	Sb	Pb	**Mineral**
E6-4 1.spx	35,46433	8,731277		1,372738	18,63849	18,67135	17,12181			**Arsenkis**
E6-4 2.spx	30,1548	27,66659	1,034127	2,222803	14,83232	4,807858	2,52285	0,745566	16,01309	**Blyglans**
Mean value	32,80957	18,19893	1,034127	1,79777	16,73541	11,73961	9,822327	0,745566	16,01309	
Sigma:	3,754407	13,38929	0	0,601087	2,691372	9,802972	10,32302	0	0	
Sigma mea	2,654767	9,467656	0	0,425033	1,903088	6,931748	7,299478	0	0	

VEDLEGG 2 - VANNANALYSER

MilGRO fikk utført følgende analyser hos NemkoNorlab:

- Prøvene 9010, 9020 og 9040 fra dammer i anleggveien i mai 2022 (ordrenummer 129606)
- Prøvene 8550 og 8560 fra etabler vegkropp og fylling i mai 2025 (ordrenummer 0000270)

Analyse av antimon (Sb) ble i forbindelse med ordrenummer 0000270 gløm bort for noen prøver, men ble seinere mottatt som rådata. Se under.

Fra: Anja Gull <anja.gull@nemkonorlab.com>
Sendt: mandag 1. september 2025 09:33
Til: per.hagelia18@gmail.com
Kopi: 'Finn Sverre Daniel Karlsen' <finn.karlsen@vegvesen.no>
Emne: Sv: Rapport ordrenummer: 0000270

Hei,

Her kommer en tabell med rådata.

Prøvemerking	Antimon, mg/l		
	i fast stoff	i ufiltrert prøve	i filtrert prøve
Pr. 1 ca. prof. 8550, bekk nedstrøms			0,0051
Pr. 2 ca. prof. 8560, i grøft oppstrøms	0	0,015	0,0015

Mvh Anja Gull

Nemko Norlab AS
Org. nr.: NO 953 018 144 MVA
Postboks 611
NO-8607 Mo I Rana
www.nemkonorlab.com

Tlf: (+47) 404 84 100

Ordrenr: 129606
Ankomststed: Mo I Rana
Antall prøver: 6
Bestillingsnr:

ANALYSERAPPORT

Vannprøver, E6 Trofors

Revidert rapport versjon 1: Total alkalinitet på prøver - 001, -002 og -003 er beregnet på nytt i mg/l.Gammel rapport er ikke gyldig.

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-001	Fast stoff	31.10.22	9010	Oppdragsgiver	01.11.22

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
pH	7.9		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	22.6	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
Konduktivitet 25°C	33	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993	a)
*) Glødetap 550°C	4.7	%	10 %	09.11.22	Intern metode	a)
*) Al, Aluminium	60000	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen	330	mg/kg TS	20-30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium	260	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium	39000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	3.4	mg/kg TS	40 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	75	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	80	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	100000	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium	18000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium	39000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mn, Mangan	1300	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium	1100	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	74	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	210	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium	130	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	450	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv	0.11	mg/kg TS	40 %	08.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) Tørrstoff	5.86	%	-	09.11.22	NS 4764	a)
*) S, Svovel	1240	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium	1210	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	9.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Co, Kobolt	44	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Mo, Molybden	0.8	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	144	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Anja Gull

06.12.22 kl 14.47

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-001	Fast stoff	31.10.22	9010			Oppdragsgiver	01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
*) Ag, Sølv		5.4	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium		1.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob		0.9	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sb, Antimon		1.8	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium		17	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Se, Selen		<2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn		1.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium		4.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran		3.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram		0.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium		18.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:	
129606-001-1	Div vann	31.10.22	9010 Filtrert				01.11.22	
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse		
F, Fluorid		0.36	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009		a)
Cl, Klorid		2.8	mg/l	20-10 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009		a)
NO3-N, Nitrat-Nitrogen		0.75	mg/l	15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009		a)
*) NO2, Nitritt		0.74	mg/l	20 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009		a)
SO4, Sulfat		39	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009		a)
Total Alkalitet (pH 4,5)		120	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996		a)
*) Sammensatt Alkalitet (pH 8,3)		0.0	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996		a)
pH		7.9		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012		a)
*) Temperatur		22.7	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012		a)
*) DOC, Løst organiskt karbon		27	mg/l	15-25 %	15.11.22	NS-EN 1484:1997 (NPOC)		a)
Konduktivitet 25°C		32	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993		a)
Fosfat		<0.010	mg/l	20 %	11.11.22	NS-EN-ISO 6878		a)
Ammonium-N		0.27	mg/l	10-20 %	04.11.22	Intern metode basert på NS 4743		a)
*) Al, Aluminium		0.046	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
As, Arsen		<0.01	mg/l	30 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) B, Bor		<0.030	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Ba, Barium		0.016	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) Ca, Kalsium		40	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Cd, Kadmium		<0.0050	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Co, Kobolt		<0.010	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Cr, Krom		<0.010	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Cu, Kobber		0.015	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Fe, Jern		0.089	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) K, Kalium		16	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) Mg, Magnesium		9.1	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
Mn, Mangan		0.22	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) Mo, Molybden		<0.005	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)
*) Na, Natrium		7.3	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770		a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Anja Gull

06.12.22 kl 14.47

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-001-1	Div vann	31.10.22	9010 Filtrert				01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodebeskrivelse	
Ni, Nikkel		<0.010	mg/l	20 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly		<0.010	mg/l	30 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Sb, Antimon		0.018	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Se, Selen		<0.01	mg/l	30 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium		<0.005	mg/l	25 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink		<0.005	mg/l	30 %	28.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv		<0.05	µg/l	40 %	10.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) S, Svovel		19.5	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium		2.2	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor		57	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium		200	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølv		<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium		<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob		<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium		0.16	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn		<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium		<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran		2.9	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram		0.25	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Yttrium		0.13	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-002	Fast stoff	31.10.22	9020			Oppdragsgiver	01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodebeskrivelse	
pH		7.9		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur		22.6	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
Konduktivitet 25°C		35	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993	a)
*) Glødetap 550°C		2.8	%	10 %	09.11.22	Intern metode	a)
*) Al, Aluminium		54000	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen		190	mg/kg TS	20-30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium		300	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium		27000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium		1.8	mg/kg TS	40 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom		59	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber		57	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern		87000	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium		20000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium		34000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mn, Mangan		820	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium		840	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel		63	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly		120	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium		120	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink		320	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Nortabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonortab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-002	Fast stoff	31.10.22	9020			Oppdragsgiver	01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
Hg, Kvikksølv		0.11	mg/kg TS	40 %	08.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) Tørrstoff		15.9	%	-	09.11.22	NS 4764	a)
*) S, Svovel		1150	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium		1430	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor		10.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Co, Kobolt		41	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Mo, Molybden		0.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium		168	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølver		3.2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium		1.3	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob		0.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sb, Antimon		1.4	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium		15.7	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Se, Selen		<2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn		1.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium		3.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran		2.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram		0.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium		14.8	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-002-1	Div vann	31.10.22	9020 Filtrert				01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
F, Fluorid		0.19	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Cl, Klorid		3.0	mg/l	20-10 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
NO3-N, Nitrat-Nitrogen		0.53	mg/l	15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
*) NO2, Nitritt		0.44	mg/l	20 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
SO4, Sulfat		48	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Total Alkalitet (pH 4,5)		130	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
*) Sammensatt Alkalitet (pH 8,3)		0.0	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
pH		8.0		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur		22.7	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) DOC, Løst organiskt karbon		25	mg/l	15-25 %	15.11.22	NS-EN 1484:1997 (NPOC)	a)
Konduktivitet 25°C		33	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993	a)
Fosfat		<0.010	mg/l	20 %	11.11.22	NS-EN-ISO 6878	a)
Ammonium-N		0.79	mg/l	10-20 %	04.11.22	Intern metode basert på NS 4743	a)
*) Al, Aluminium		0.041	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen		<0.01	mg/l	30 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) B, Bor		<0.030	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium		0.025	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium		43	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium		<0.0050	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Co, Kobolt		<0.010	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-002-1	Div vann	31.10.22	9020 Filtrert		01.11.22

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodebeskrivelse	
Cr, Krom	<0.010	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	<0.005	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	0.082	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium	17	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium	11	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Mn, Mangan	0.18	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mo, Molybden	<0.005	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium	8.1	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	<0.010	mg/l	20 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	<0.010	mg/l	30 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Sb, Antimon	0.016	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Se, Selen	<0.01	mg/l	30 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium	<0.005	mg/l	25 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	<0.005	mg/l	30 %	06.12.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv	<0.05	µg/l	40 %	10.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) S, Svovel	16.4	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium	2.5	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	56	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	238	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølver	<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium	0.08	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn	<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran	5.2	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram	0.43	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium	0.13	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-003	Fast stoff	31.10.22	9040	Oppdragsgiver	01.11.22

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodebeskrivelse	
pH	7.7		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	22.6	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
Konduktivitet 25°C	37	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993	a)
*) Glødetap 550°C	5.2	%	10 %	09.11.22	Intern metode	a)
*) Al, Aluminium	48000	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen	220	mg/kg TS	20-30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium	210	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium	43000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	0.62	mg/kg TS	40 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	64	mg/kg TS	30 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	64	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	82000	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Anja Gull

06.12.22 kl 14.47

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-003	Fast stoff	31.10.22	9040			Oppdragsgiver	01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
*) K, Kalium		14000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium		36000	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mn, Mangan		1100	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium		910	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel		57	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly		150	mg/kg TS	20 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium		110	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink		360	mg/kg TS	25 %	11.11.22	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv		0.060	mg/kg TS	40 %	08.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) Tørrstoff		8.05	%	-	09.11.22	NS 4764	a)
*) S, Svovel		1620	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium		1520	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor		10.3	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Co, Kobolt		39.3	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Mo, Molybden		0.79	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium		151	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sliver		4.7	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium		1.5	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob		1.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sb, Antimon		2.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium		14.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Se, Selen		<2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn		1.0	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium		4.2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran		2.6	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram		0.46	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium		17.2	mg/kg TS		06.12.22	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:			Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-003-1	Div vann	31.10.22	9040 Filtrert				01.11.22
Analyse/Parameter		Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
F, Fluorid		0.17	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Cl, Klorid		3.3	mg/l	20-10 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
NO3-N, Nitrat-Nitrogen		0.91	mg/l	15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
*) NO2, Nitritt		0.45	mg/l	20 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
SO4, Sulfat		47	mg/l	10-15 %	07.11.22	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Total Alkalitet (pH 4,5)		140	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
*) Sammensatt Alkalitet (pH 8,3)		0.0	mg/l HCO3	10 %	01.11.22	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
pH		7.8		0.2	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur		22.7	°C	-	01.11.22	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) DOC, Løst organiskt karbon		25	mg/l	15-25 %	15.11.22	NS-EN 1484:1997 (NPOC)	a)
Konduktivitet 25°C		37	mS/m	10 %	01.11.22	NS EN 27888:1993	a)
Fosfat		<0.010	mg/l	20 %	11.11.22	NS-EN-ISO 6878	a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Anja Gull

06.12.22 kl 14.47

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
129606-003-1	Div vann	31.10.22	9040 Filtrert		01.11.22

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
Ammonium-N	0.53	mg/l	10-20 %	04.11.22	Intern metode basert på NS 4743	a)
*) Al, Aluminium	0.040	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen	<0.01	mg/l	30 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) B, Bor	<0.030	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium	0.016	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium	38	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	<0.0050	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Co, Kobolt	<0.010	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	<0.010	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	<0.005	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	0.068	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium	19	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium	7.3	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Mn, Mangan	0.35	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mo, Molybden	<0.005	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium	8.1	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	<0.010	mg/l	20 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	<0.010	mg/l	30 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Sb, Antimon	0.014	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Se, Selen	<0.01	mg/l	30 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium	<0.005	mg/l	25 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	<0.005	mg/l	30 %	17.11.22	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv	<0.05	µg/l	40 %	10.11.22	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) S, Svovel	23.3	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium	2.2	mg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	52	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	203	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølv	<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium	0.11	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn	<3	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium	<0.05	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) U, Uran	2.4	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram	0.20	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium	0.13	µg/l		06.12.22	Underleverandør ALS	

Utførende laboratorium:
a) Nemko Norlab AS (Mo i Rana), Halvor Heyerdalsvei 50, 8626 Mo i Rana. ISO/IEC 17025:2017, TEST 032)

Angitt måleusikkerhet er beregnet med dekningsfaktor k=2. Ved intervallangivelse viser det høyeste tallet usikkerheten nært rapporteringsgrensen. For nærmere informasjon gjeldende usikkerhet, vennligst ta kontakt. Nemko Norlab er akkreditert med test nr. 032. Hvilke analyser som inngår i akkrediteringen fremkommer i rapporten, *) = ikke akkreditert, n.d. = ikke påvist

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:

Anja Gull

06.12.22 kl 14.47

Statens Vegvesen
Finn Karlsen

Nemko Norlab AS
Org. nr.: NO 953 018 144 MVA
Postboks 611
NO-8607 Mo I Rana
www.nemkonorlab.com

Tlf: (+47) 404 84 100

ANALYSERAPPORT

Ordrenr: 0000270
Ankomststed:
Antall prøver: 5
Bestillingsnr:

Kommentar: Alkalinitet er ikke analysert innenfor 24 t og resultatet kan ha blitt påvirket. Dette er derfor ikke en akkreditert analyse.

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-001	Vann	14.05.25	Pr. 1 ca. prof. 8550, bekk nedstrøms (ufiltrert)	Oppdragsgiver	15.05.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
pH	7.7		0.2	15.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	20.0	°C	-	15.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Tørrstoff	0.076	g/l	-	18.06.25	NS 4764	a)
*) Konduktivitet 25°C	13	mS/m	10 %	15.05.25	Intern metode	a)
*) pH	7.7		0.2	15.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	20.0	°C	-	15.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-002	Jord/slam/sediment	14.05.25	Pr. 2 ca. prof. 8560, I grøft oppstrøms	Oppdragsgiver	15.05.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
As, Arsen	9.3	mg/kg TS	20-30 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	<0.2	mg/kg TS	40 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	39	mg/kg TS	30 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	20	mg/kg TS	20 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	24	mg/kg TS	25 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	6.4	mg/kg TS	20 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Sb, Antimon	<5.0	mg/kg TS	30 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	88	mg/kg TS	25 %	04.06.25	NS-ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv	<0.01	mg/kg TS	40 %	04.06.25	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) S, Svovel	1500	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium	3100	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	6.5	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Co, Kobolt	13	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Mo, Molybden	1.1	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	100	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølv	<0.3	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium	0.52	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob	0.720	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS	

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:
Labtekniker
Maja Svartkjøneng

23.07.25 kl 11.13

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-002	Jord/slam/sediment	14.05.25	Pr. 2 ca. prof. 8560, i grøft oppstrøms	Oppdragsgiver	15.05.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse
*) Sb, Antimon	0.150	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) Sc, Scandium	4.8	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) Se, Selen	<2	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) Sn, Tinn	0.77	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) Th, Thorium	5.70	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) U, Uran	2.30	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) V, Vanadium	46	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) W, Wolfram	0.13	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS
*) Y, Ytterium	13	mg/kg TS		17.07.25	Underleverandør ALS

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-003	Vann	12.06.25	Pr. 1 ca. prof. 8550, bekk nedstrøms (filtrert)	Oppdragsgiver	12.06.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
F, Fluorid	<0.03	mg/l	10-15 %	16.05.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Cl, Klorid	4.9	mg/l	20-10 %	16.05.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
NO3-N, Nitrat-Nitrogen	0.29	mg/l	15 %	16.05.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
*) NO2, Nitritt	<0.075	mg/l	20 %	16.05.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
SO4, Sulfat	6.1	mg/l	10-15 %	16.05.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
				23.07.25	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
Total Alkalitet (pH 4,5)	0.61	mg/l HCO3	10 %	15.05.25	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
*) Sammensatt Alkalitet (pH 8,3)	0.0	mg/l HCO3	10 %	15.05.25	NS-EN ISO 9963-1:1996	a)
*) Ammonium-N.	<0.005	mg/l	10-20 %	09.07.25	NS 4746.E	a)
DOC, Løst organiskt karbon	6.7	mg/l	25 %	17.06.25	NS-EN 1484:1997 (NPOC)	a)
*) Al, Aluminium	0.13	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen	<0.01	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) B, Bor	<0.030	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium	<0.005	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium	14	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	<0.0050	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Co, Kobolt	<0.010	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	<0.010	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	<0.005	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	0.11	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium	0.36	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium	3.9	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Mn, Mangan	<0.0100	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mo, Molybden	<0.005	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium	4.1	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	<0.010	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	<0.010	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium	<0.005	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	<0.005	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) S, Svovel	2.6	mg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjenneise. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:
Labtekniker
Maja Svartkjøneng

23.07.25 kl 11.13

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-003	Vann	12.06.25	Pr. 1 ca. prof. 8550, bekk nedstrøms (filtrert)	Oppdragsgiver	12.06.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
*) Si, Silisium	7.1	mg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	6.6	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	38.0	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølv	<3.75	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn	<3.75	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) U, Uran	0.44	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram	<0.125	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium	0.17	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
Hg, Kvikksølv	<0.05	µg/l	40 %	24.06.25	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)
*) PO4	<0.01	mg/l		30.06.25	NS-EN-ISO 6878	a)
*) Fosfat.	<0.01	mg/l	20 %	30.06.25	NS-EN-ISO 6878	a)
*) Konduktivitet 25°C	9.6	mS/m	10 %	17.06.25	Intern metode	a)
*) pH	7.6		0.2	17.06.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	21.7	°C	-	17.06.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-004	Vann	26.06.25	Pr. 2 ca. prof. 8560, i grøft oppstrøms (Ufiltrert)	Oppdragsgiver	26.06.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
*) Konduktivitet 25°C	25	mS/m	10 %	16.05.25	Intern metode	a)
*) pH	9.4		0.2	16.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) Temperatur	21.0	°C	-	16.05.25	NS-EN ISO 10523:2012	a)
*) S, Svovel	18	mg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Si, Silisium	13.0	mg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) B, Bor	43	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sr, Strontium	160	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Ag, Sølv	<3.75	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Be, Beryllium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Nb, Niob	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sc, Scandium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Sn, Tinn	<3.75	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Th, Thorium	<0.0625	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) U, Uran	15.0	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) W, Wolfram	1.7	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	
*) Y, Ytterium	0.099	µg/l		17.07.25	Underleverandør ALS	

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-005	Vann	26.06.25	Pr. 2 ca. prof. 8560, i grøft oppstrøms (Filtrert)	Oppdragsgiver	26.06.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodbeskrivelse	
F, Fluorid	0.26	mg/l	10-15 %	27.06.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
Cl, Klorid	8.1	mg/l	20-10 %	27.06.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Nortabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonortab.com for disse betingelser.

Rapportert av:
Labteknikker
Maja Svartkjøneng

23.07.25 kl 11.13

Prøvenr.:	Prøvetype:	Dato:	Prøvemerking:	Prøvetaker:	Mottaksdato:
0000270-005	Vann	26.06.25	Pr. 2 ca. prof. 8560, I grøft oppstrøms (Filtrert)	Oppdragsgiver	26.06.25

Analyse/Parameter	Resultat	Enhet	Usikkerhet	Analysedato	Metodebeskrivelse	
NO3-N, Nitrat-Nitrogen	0.81	mg/l	15 %	27.06.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
*) NO2, Nitritt	<0.075	mg/l	20 %	27.06.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
SO4, Sulfat	43	mg/l	10-15 %	27.06.25	NS-EN ISO 10304-1:2009	a)
*) Al, Aluminium	0.089	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
As, Arsen	<0.01	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) B, Bor	0.037	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ba, Barium	0.012	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Ca, Kalsium	51	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cd, Kadmium	<0.0050	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Co, Kobolt	<0.010	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cr, Krom	<0.010	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Cu, Kobber	0.0055	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Fe, Jern	0.025	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) K, Kalium	3.8	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mg, Magnesium	12	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Mn, Mangan	<0.0100	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Mo, Molybden	<0.005	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) Na, Natrium	7.8	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Ni, Nikkel	<0.010	mg/l	20 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Pb, Bly	<0.010	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
*) V, Vanadium	<0.005	mg/l	25 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Zn, Sink	<0.005	mg/l	30 %	26.06.25	NS-EN ISO 11885:2009 & NS 4770	a)
Hg, Kvikksølv	<0.05	µg/l	40 %	27.06.25	Intern metode (NS-EN 1483:2007)	a)

Utførende laboratorium:
a) Nemko Norlab AS (Mo I Rana), Halvor Heyerdalsvei 50, 8626 Mo I Rana. ISO/IEC 17025:2017, TEST 032)

Angitt måleusikkerhet er beregnet med dekningsfaktor k=2. Ved intervallangivelse viser det høyeste tallet usikkerheten nært rapporteringsgrensen. For nærmere informasjon gjeldende usikkerhet, vennligst ta kontakt. Nemko Norlab er akkreditert med test nr. 032. Hvilke analyser som inngår i akkrediteringen fremkommer i rapporten, *) = ikke akkreditert, n.d. = ikke påvist

Resultater gjelder utelukkende de prøvede objekt(er). Dersom laboratoriet ikke er ansvarlig for prøvetaking og/eller prøveuttak, gjelder resultatet slik de prøvede objekt(er) ble mottatt. Rapporten skal ikke gjengis i utdrag uten vår skriftlige godkjenning. Selve rapporten representerer eller inneholder ingen produkt- eller driftsgodkjennelse. Rapporteres i henhold til Nemko Norlabs standard leveringsbetingelser dersom ikke annet er avtalt. Se www.nemkonorlab.com for disse betingelser.

Rapportert av:
Labtekniker
Maja Svartkjøneng

23.07.25 kl 11.13

VEDLEGG 3 - FOTO AV PRØVER TIL XRF

Det ble i de fleste tilfeller utført overflateanalyser på typiske materiale. En del av punktene går fram av bildene i dette vedlegget.

Det mangler foto av prøve 06-10. Denne prøva besto av brunt forvitringsmateriale som var sterkt dominert av svakt finstoff med noen grovere partikler. Finstoffet ble preparert i standard prøvekopper for XRF-instrumentet.

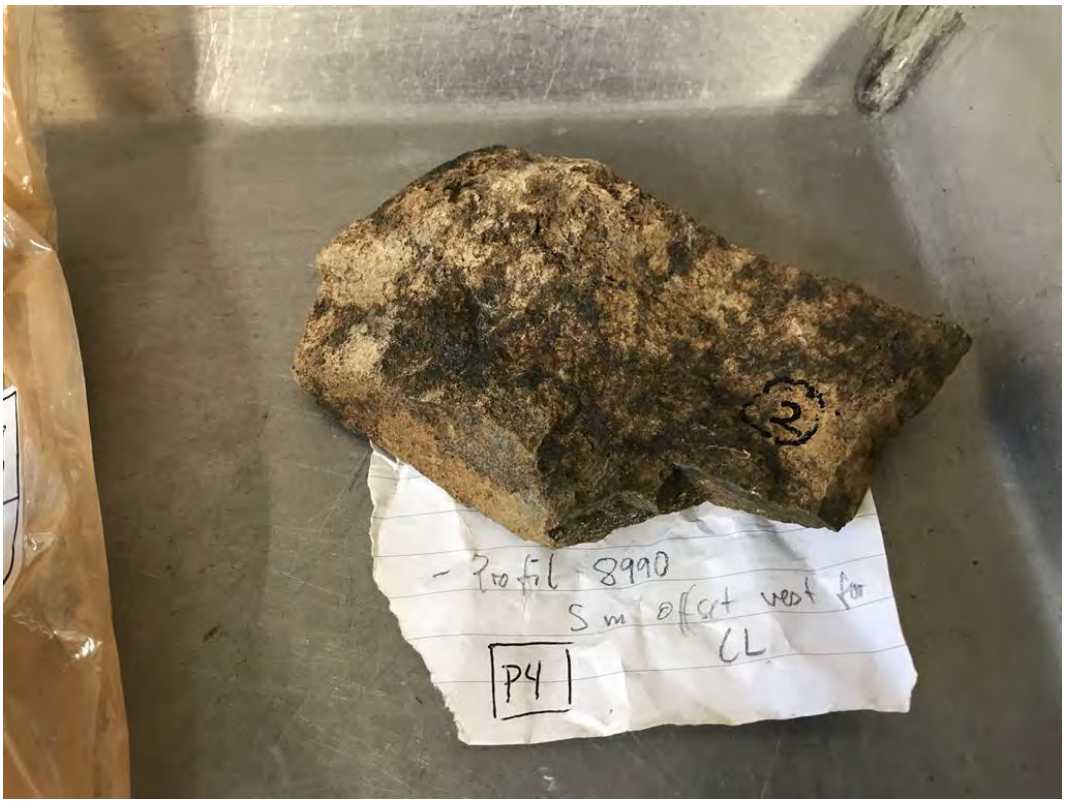
Små delprøver ble tatt ut for XRD, SEM. Alle prøvene inngikk deretter i utlekkingstesten.

E6-21

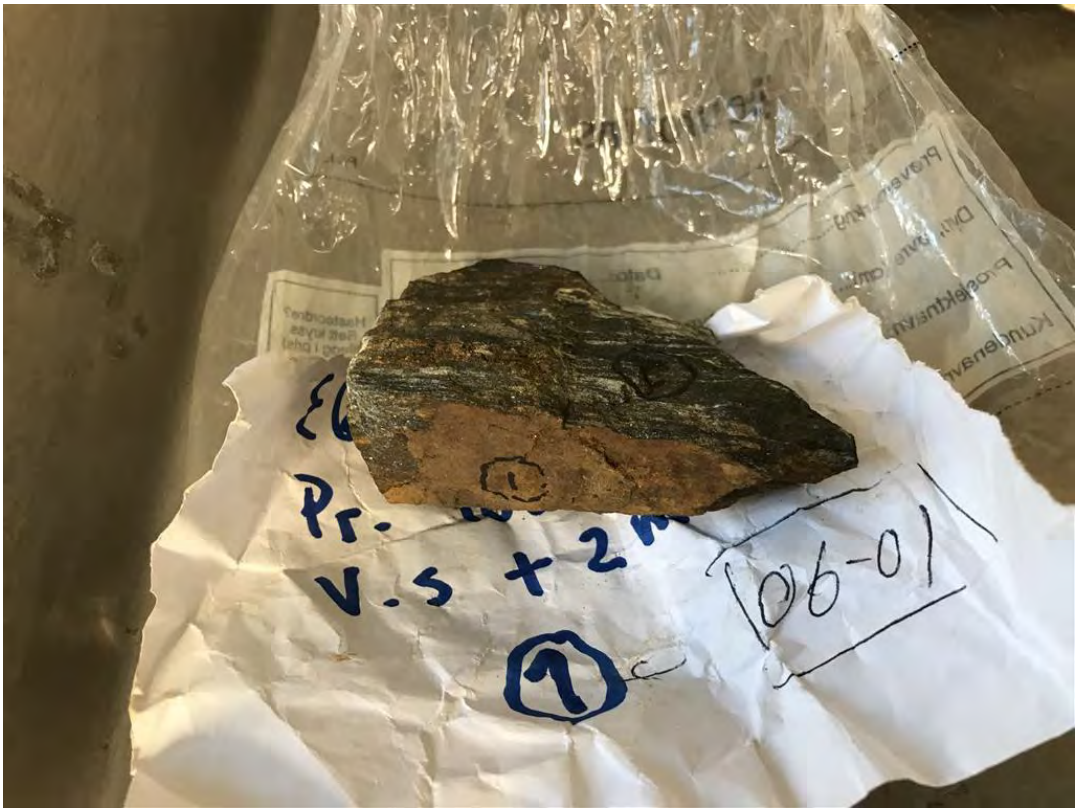
P2

eurofins
Dyp, øvre (
Hasteordre?
Sett kryss
(tilegg i pris)
Prøve 3
- Vitreskorpe på metavolk
(galena - pyritt
- Profil 8975
CL
P3

P3

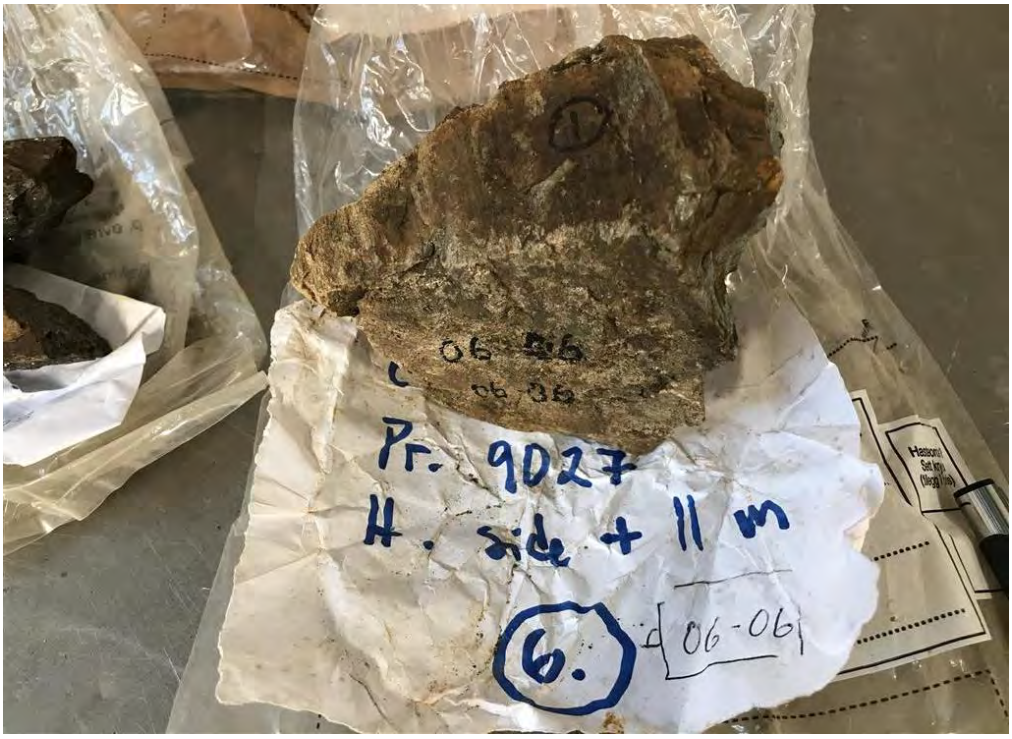

- Profil 8990
5 m offset vest for
CL
P4

P4



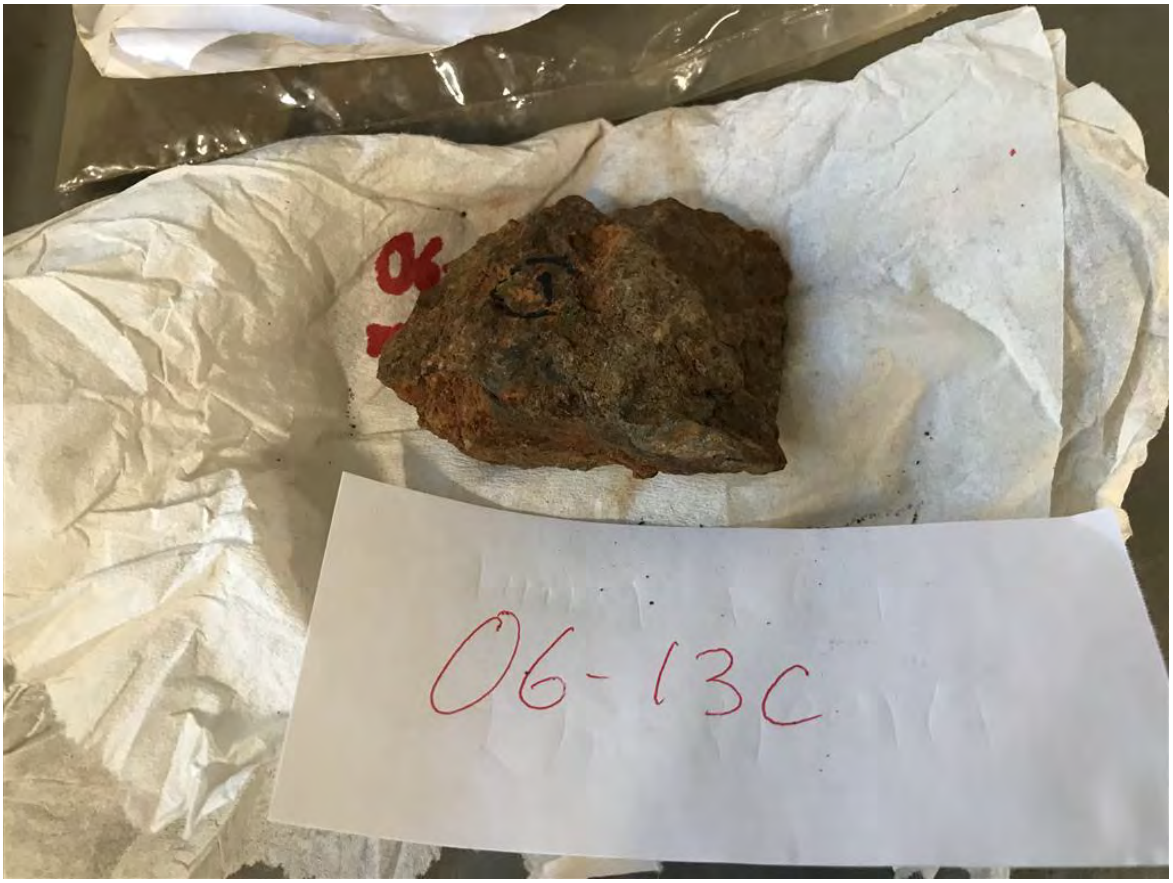
06-01

06-03



06-06

06-12



06-13C

VEDLEGG 4 - XRD

UiO : Naturhistorisk museum

Geo Lab

Department of technical and scientific conservation

Report

Powder X-ray Diffraction

Client name	Per Hagelia
Client affiliation	Statens Vegvessen
Report date	2022/09/01
NHM - technician	Nélia Castro

Contact

Lab manager
Nélia Castro tlf: 228 51641* e-mail: nelia.castro@nhm.uio.no

Instrument:

Siemens D5005 Powder X-ray diffractometer (PXRD) in Bragg-Brentano geometry with a scintillation counter and Cu X-ray source. Installed in 1998.

Software:

Bruker AXS DIFFRAC.MEASUREMENT for control and navigation of the X-ray diffractometer.

Bruker AXS DIFFRAC.EVA for phase identification based on the Crystallography Open Database (COD) and the most recent PDF-4 database from the International Center of Diffraction Data (ICDD).

Data collection settings:

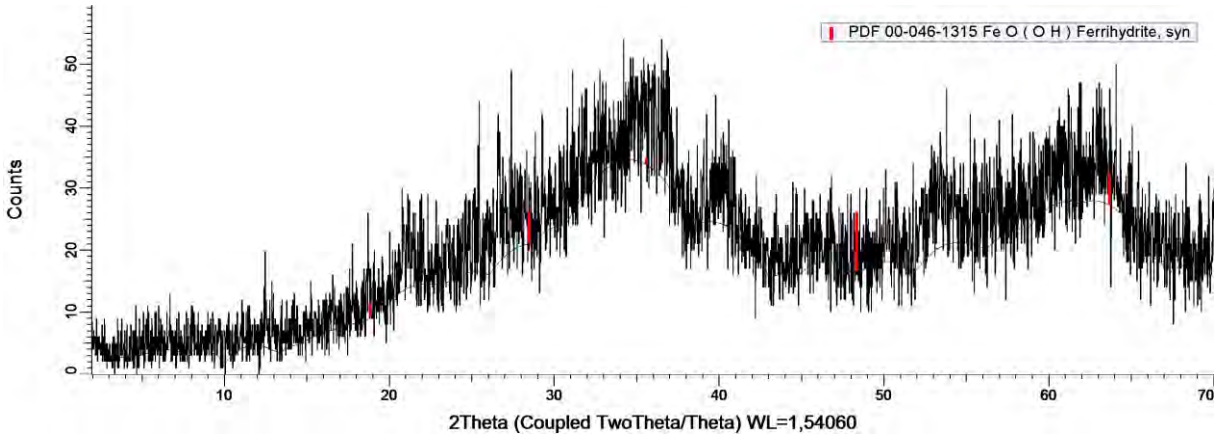
Sample(s)	Settings
06-13B ; 06-12 ; P3 ; 06-07 ; 06-10 ; 06-13 : 06-12B ; P4 ; 06-11A ; 06-13C ; 06-15 ; 06-08A ; 06-08B ; 06-02	Hagelia, 56min, 2˚-70˚ 2θ range, 0.02˚ step size, 1 sec, 60 rpm, v6 mm

Results:

Raw data is compiled and send separately in the excel file: 20220901PH Report4rawdata.xls

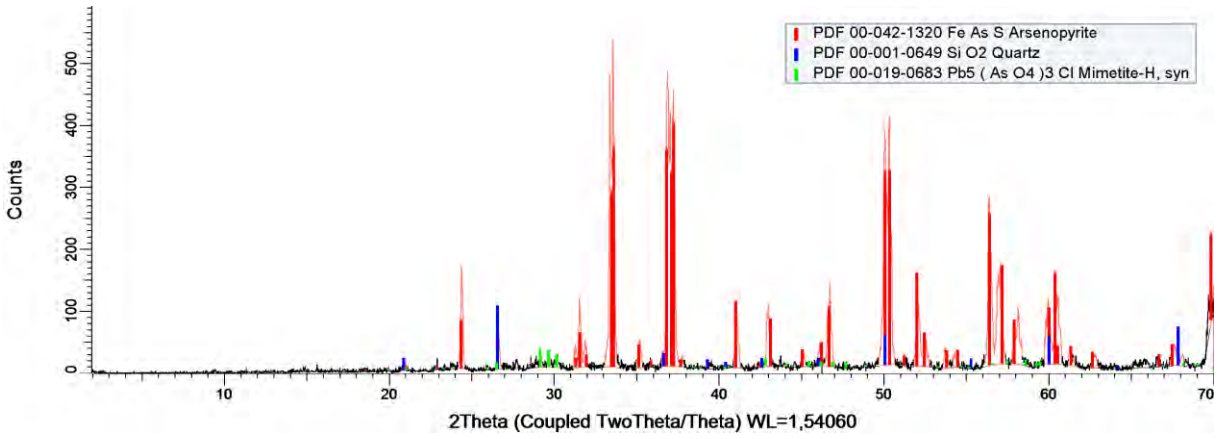
Additional analytical methods (e.g chemical or petrographic) will help in detailing the interpretation.

Sample name	06-13B
Raw file name	20220816PH0613B
Suggested interpretation	

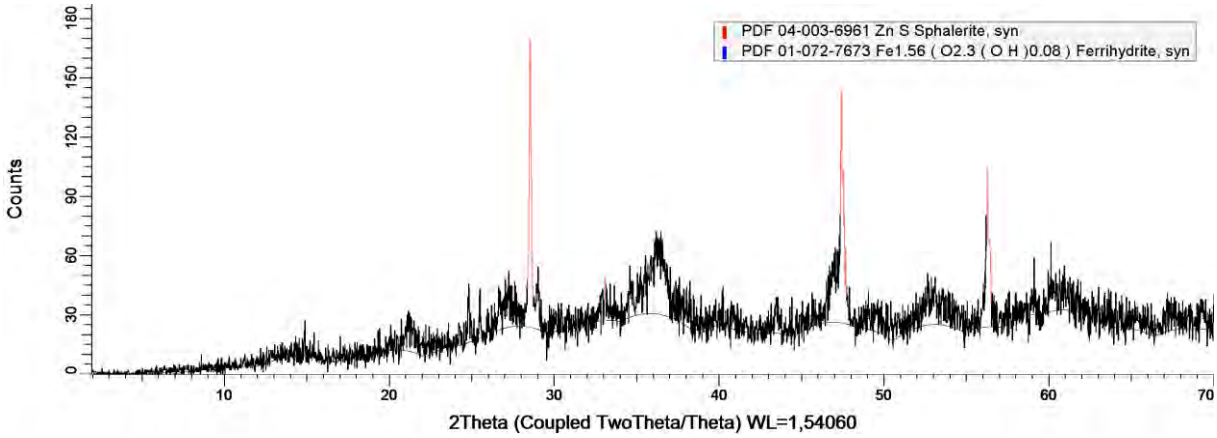


Note Background could indicate presence of amorphous material in the sample.

Sample name	06-12
Raw file name	20220816PH0612
Suggested interpretation	

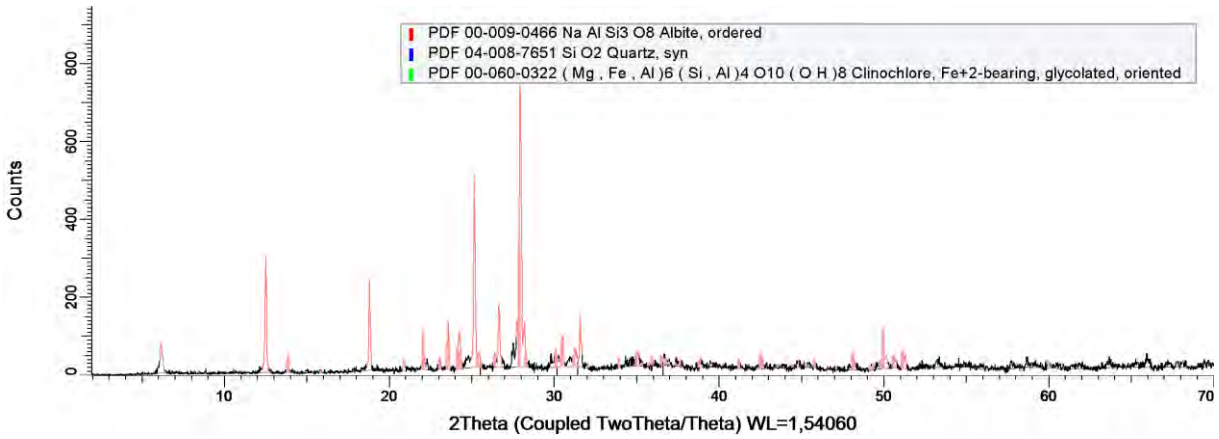


Sample name	P3
Raw file name	20220816PHP3
Suggested interpretation	

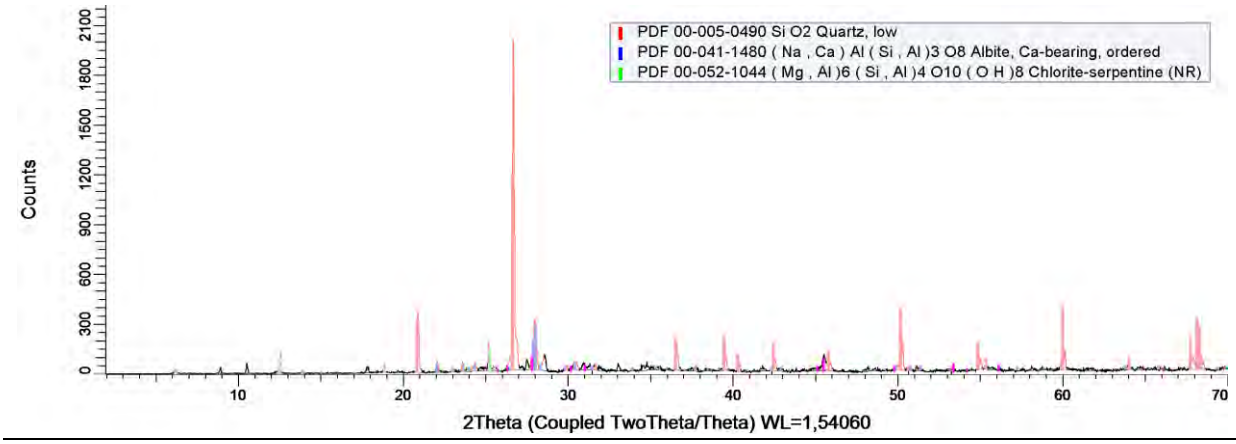


Note Background could indicate presence of amorphous material in the sample.

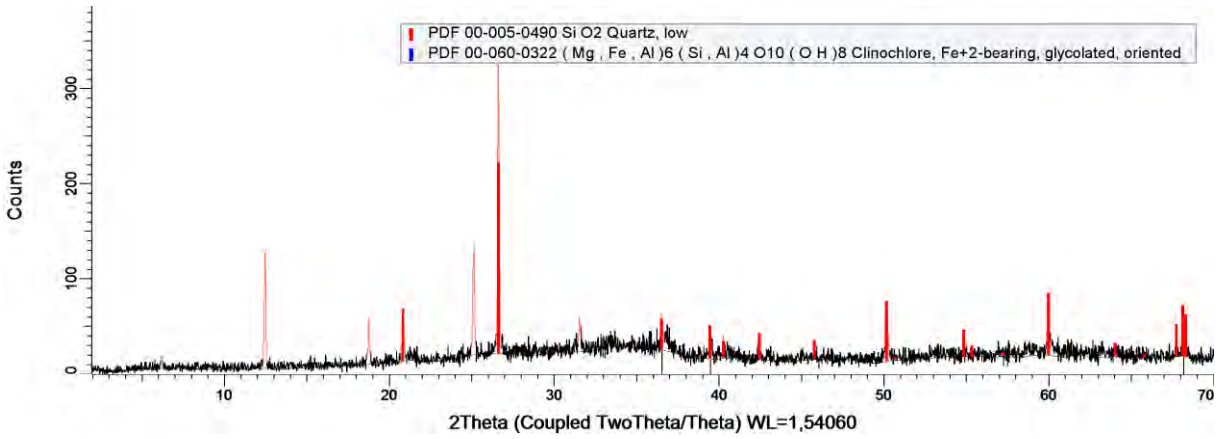
Sample name	06-07
Raw file name	20220816PH0607
Suggested interpretation	



Sample name	06-10
Raw file name	20220816PH0610
Suggested interpretation	

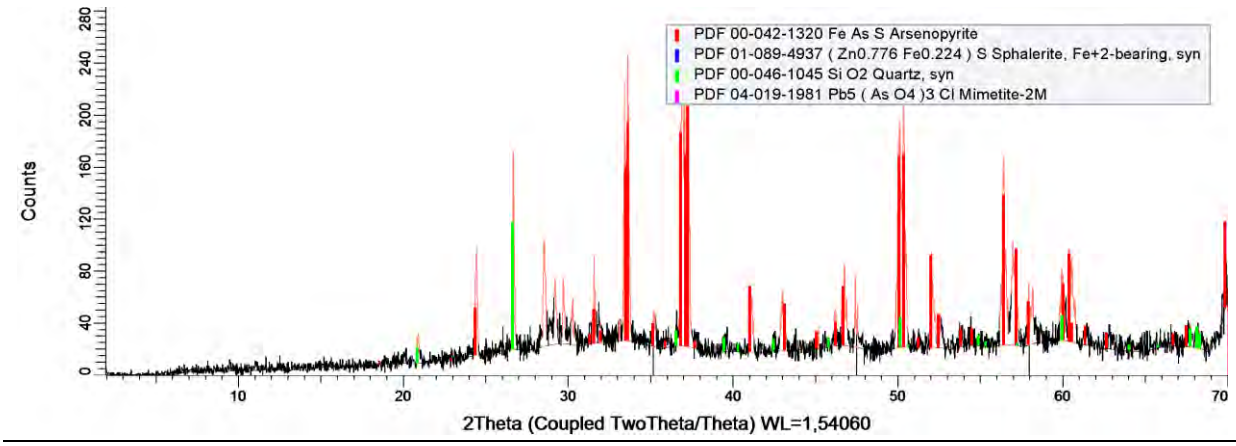


Sample name	06-13
Raw file name	20220816PH0613
Suggested interpretation	



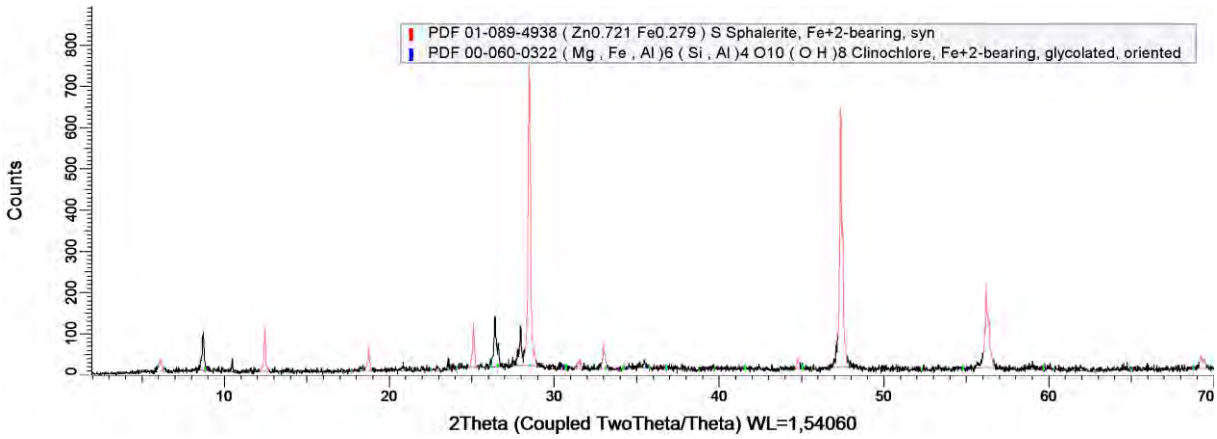
Note Background could indicate presence of amorphous material in the sample.

Sample name	06-12B
Raw file name	20220817PH0612B
Suggested interpretation	

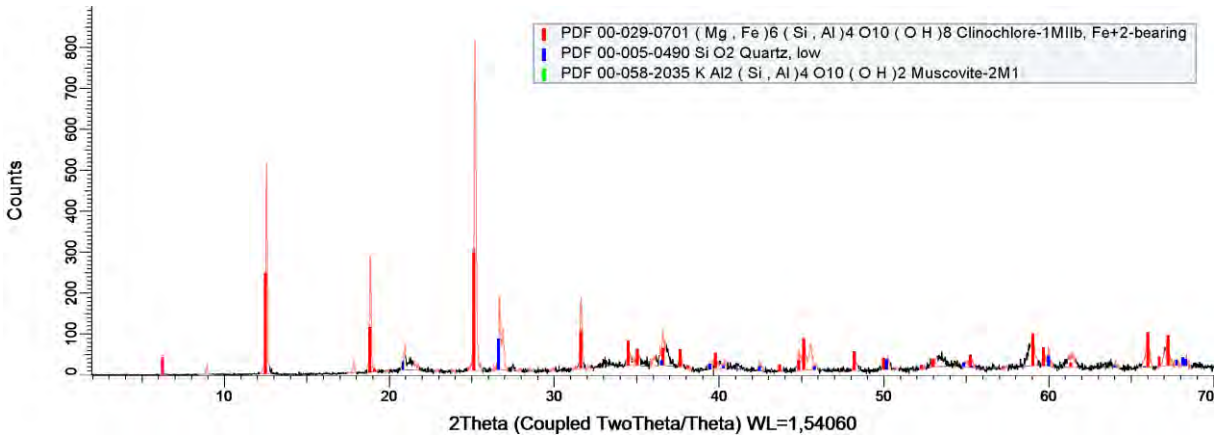


Note Background could indicate presence of amorphous material in the sample.

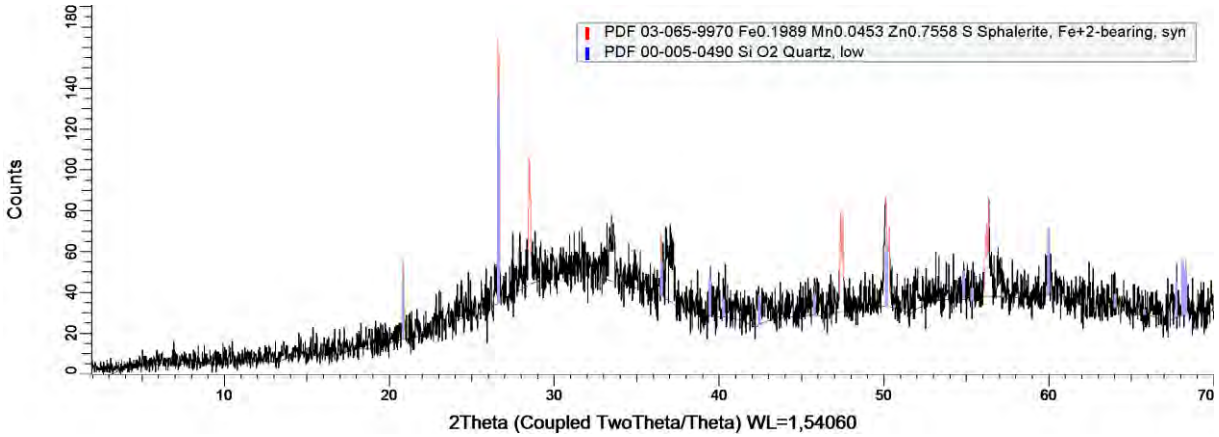
Sample name	P4
Raw file name	20220817PHP4
Suggested interpretation	



Sample name	06-11A
Raw file name	20220817PH0611A
Suggested interpretation	

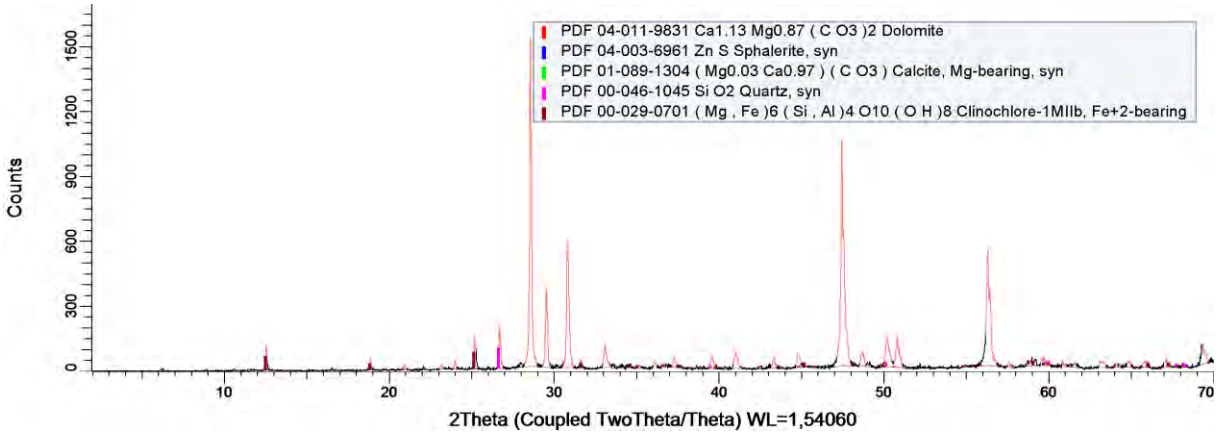


Sample name	06-13C
Raw file name	20220817PH0613C
Suggested interpretation	

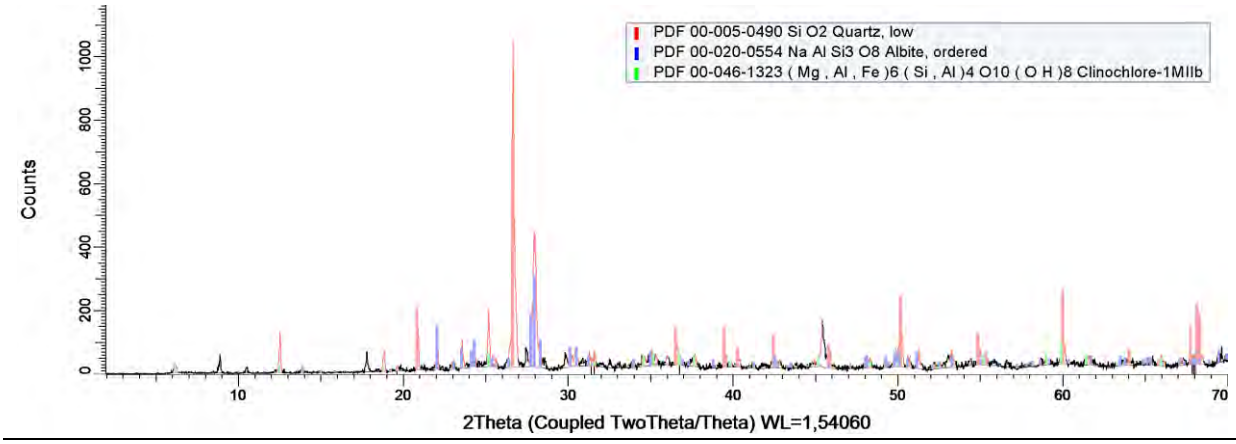


Note Background could indicate presence of amorphous material in the sample.

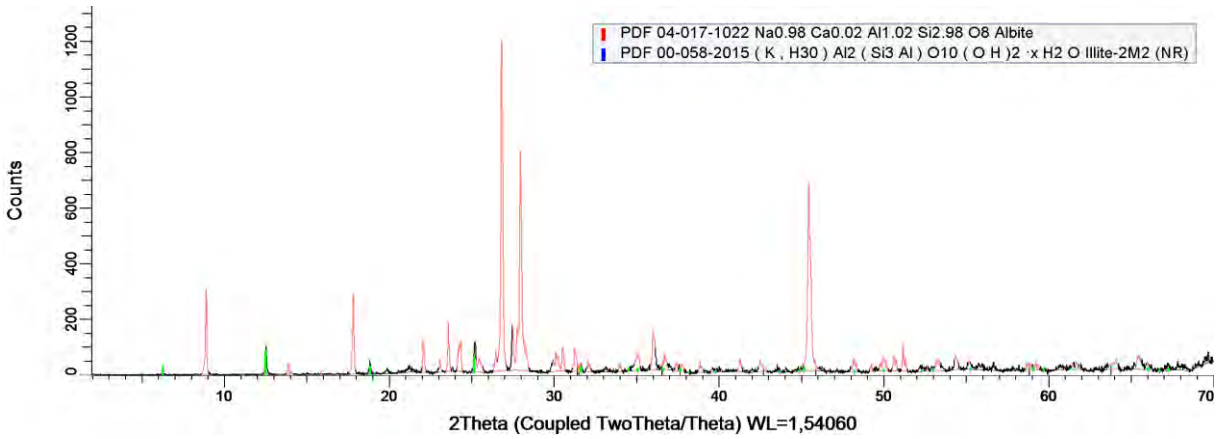
Sample name	06-15
Raw file name	20220817PH0615
Suggested interpretation	



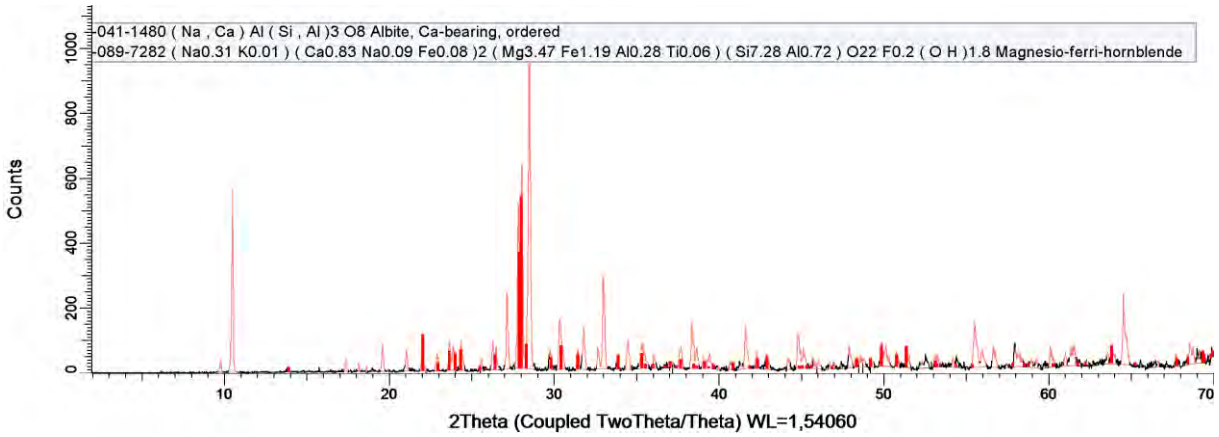
Sample name	06-08A
Raw file name	20220818PH0608A
Suggested interpretation	



Sample name	06-08B
Raw file name	20220818PH0608B
Suggested interpretation	



Sample name	06-02
Raw file name	20220818PH0602
Suggested interpretation	



VEDLEGG 5 - SCANNING ELEKTROMIKROSKOPI - SEM

De vedlagte analyserapportene fra Universitetet i Oslo viser identifiserte mineraler og flere uidentifiserte mineraler. Alle analyser er oppgitt i atom % og er halvkvantitative.

Ved gjennomgang av analysene var det mulig å identifisere flere mineraler i ettertid (Tabell 5-1). Dette gjøres ved å sammenlikne element/element-forhold fra analysene med teoretiske formler.

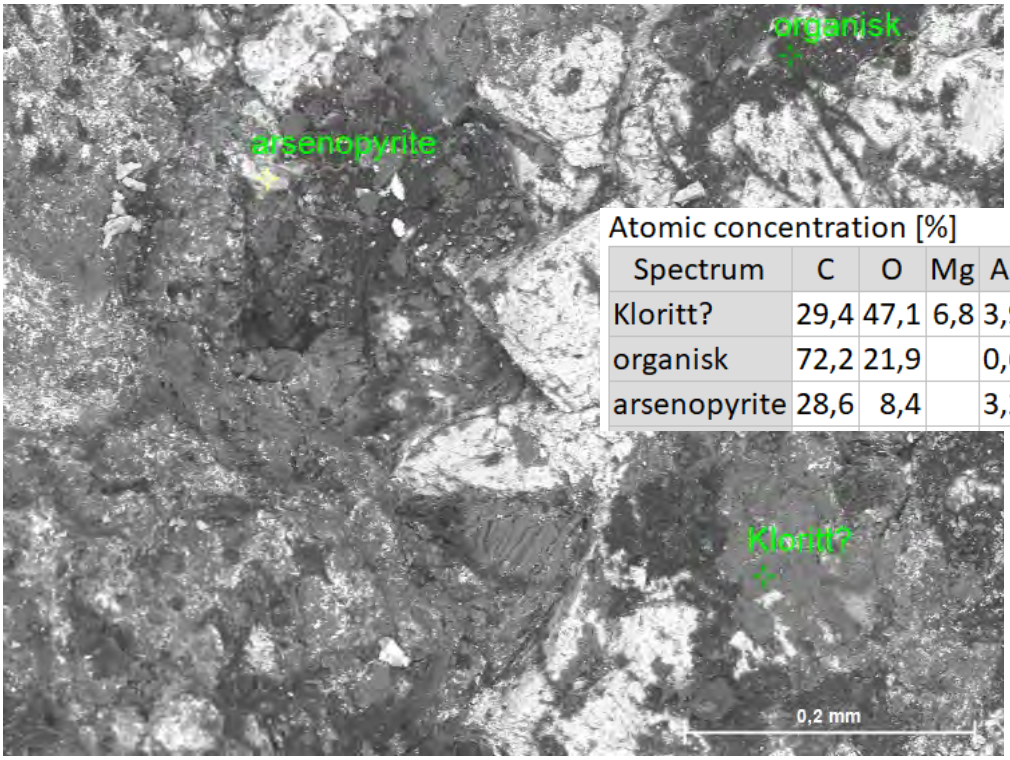
Noen mineraler er oppgitt med spørsmålstegn, fordi den kjemiske sammensetningen avviker litt fra teoretiske sammensetning.

De resterende uidentifiserte mineralene er delvis blandinger av mer enn ett mineral (på mikroskala) og delvis mulig ukjente mineraler.

Tabell 5-1: Identifiserte mineraler med referanse til område og spektrum i analyserapportene.

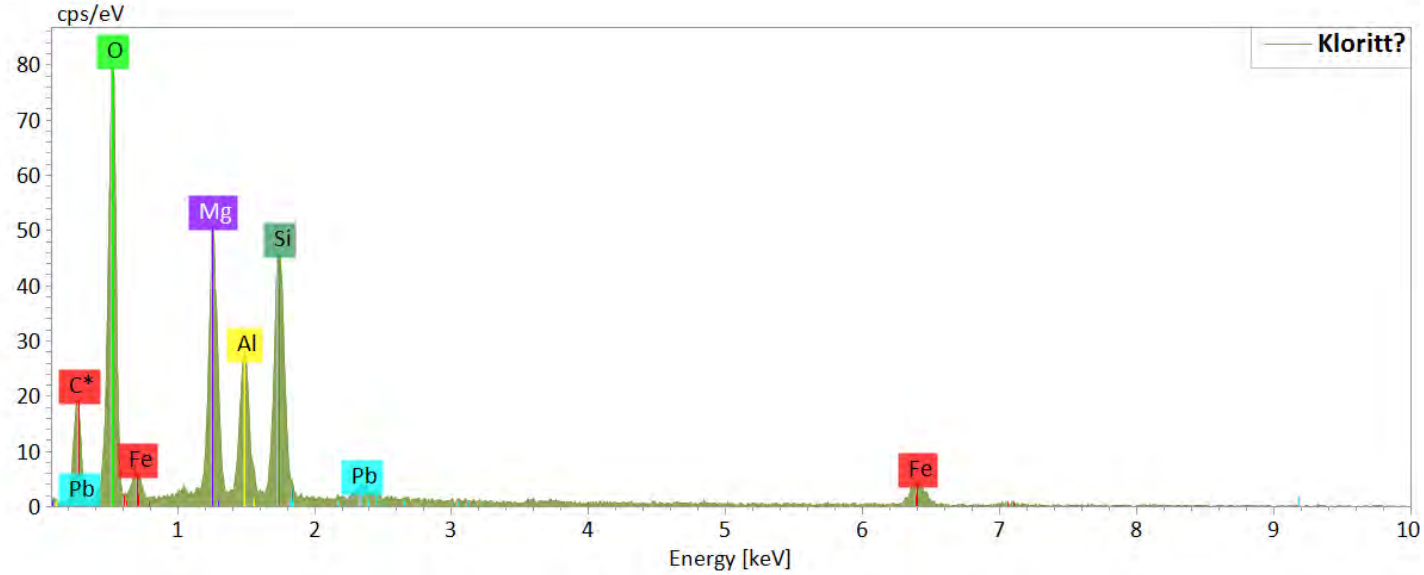
Prøvenr.	**Område**	**Spektrum**	**Mineral**
P2	P2-map1-area	Spectrum 1 & 2	Ferrihydritt m litt Al, S, Si
	P2-02	«FeOx, FeOx-2 & FeOx-3»	Ferrihydritt m litt Al, S, Si
	P2-02b	«FeOx, FeOx-2 & FeOx-3»	Goethitt m litt Al, S, Si
P3	P3-h	Spectrum 3	Apuanitt?
	P3-d/P3-e	Spectrum 2	Ludlockitt?
	P3-2	Spectrum 2	Fe-oxyhydroksid (m/Pb, Sb,Zn)
	P3-2	Spectrum 3	Anglesitt
P4	P4-01b	«FeOx»	Hematitt m litt Al, Si
P5	P5-01	«FeOx»	Ferrihydritt m litt Al, Si, K, Mg
06-10	06-10-01	«FeOx»	Goethitt
06-11	06-11b-01d &-03	«Ar-Fe-O» & Spectrum 1	Angelellitt
	06-11b-01b & -01c	«As-Fe-O»	Pharmacosideritt
06-12	06-12-01e	Spectrum 2	Mimetitt
	06-12-04b	Spectrum 3 & 4	Paulmooreitt
	06-12-04	Spectrum 3	Schneiderhøhnitt?
	06-12-02	Spectrum 2	Mimetitt
	06-12-04d	Spectrum 4	Schultenitt
	06-12-04c & -04d	Spectrum 2 & Spectrum 4	Segnititt
06-14	06-14-01d	«FeOx»	Goethitt
06-15	06-15-02	Spectrum 1	Pb-kalsitt
	06-15-03	Spectrum 1	Sinkblende m sølv

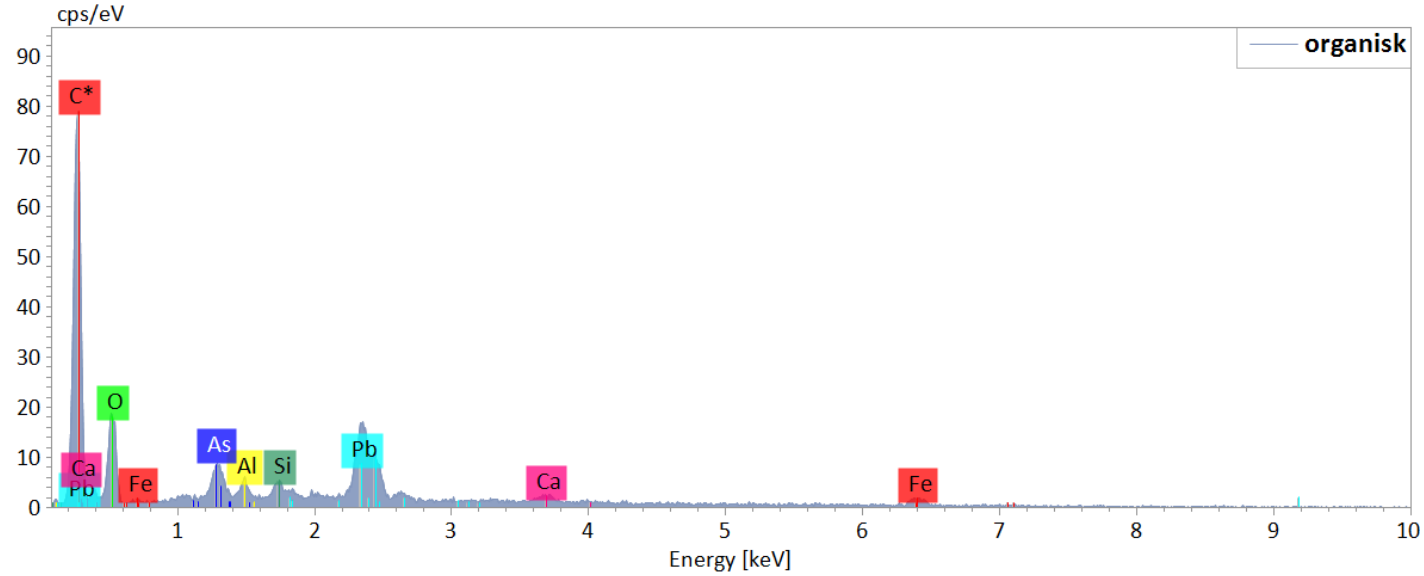
E6-5-01b



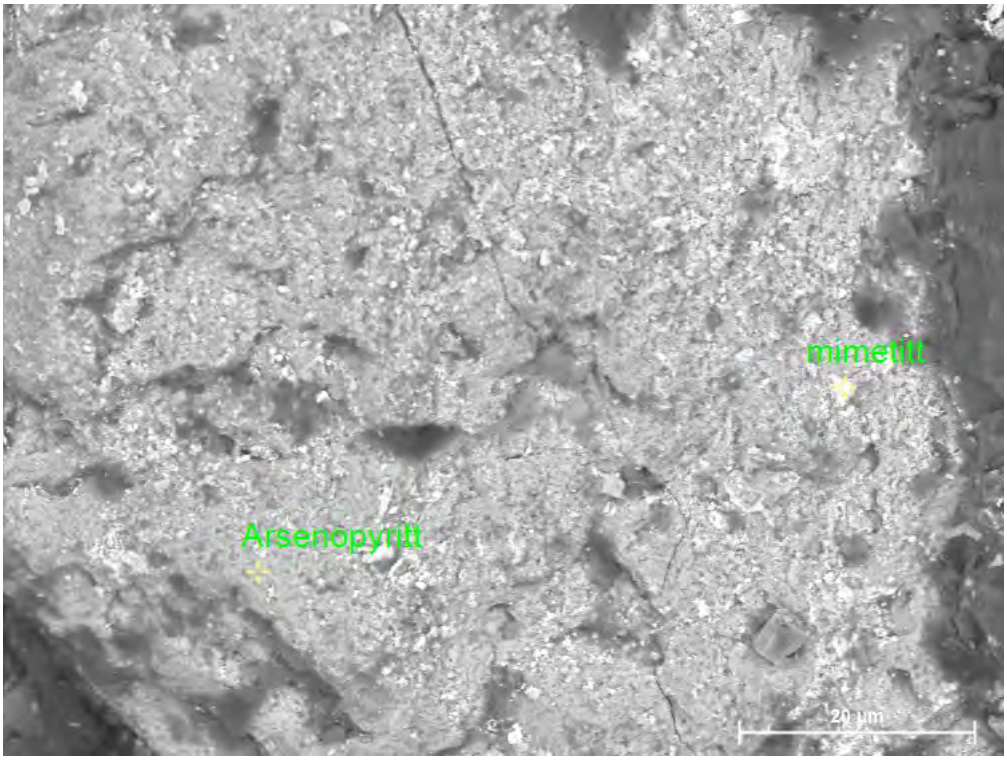
Atomic concentration [%]

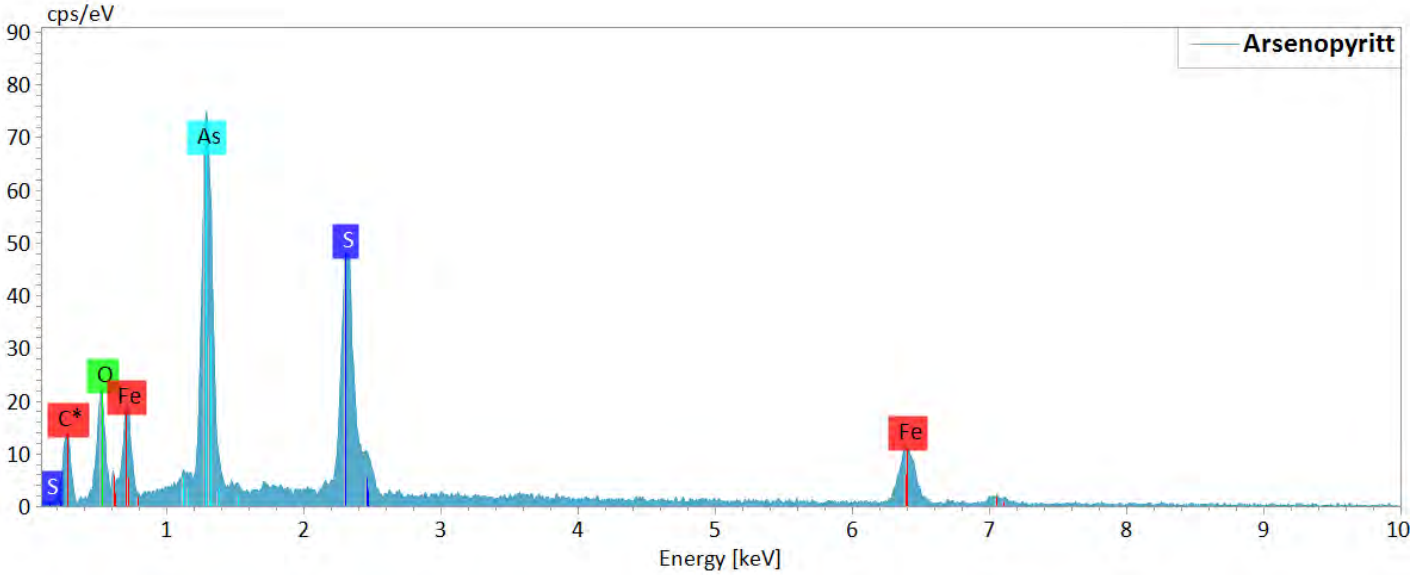
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	As	Pb
Kloritt?	29,4	47,1	6,8	3,9	8,6			3,9		0,3
organisk	72,2	21,9		0,6	0,6		0,5	1,7	0,9	1,6
arsenopyrite	28,6	8,4		3,2	3,6	19,7		24,3	12,4	

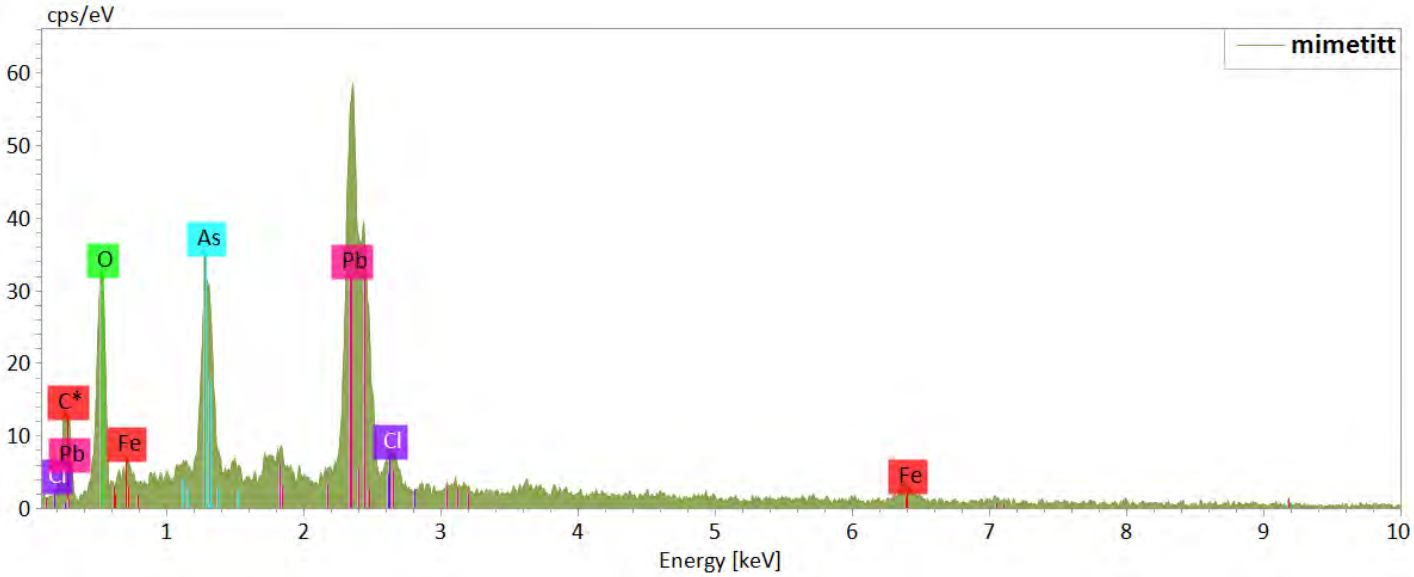




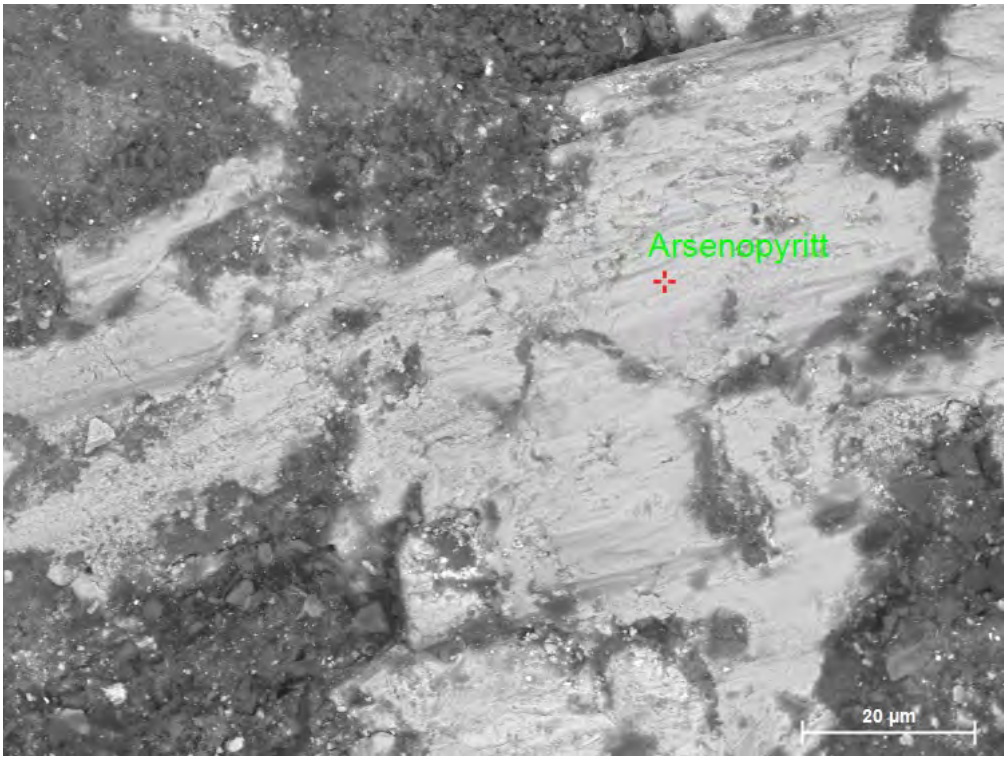
E6-5-01c

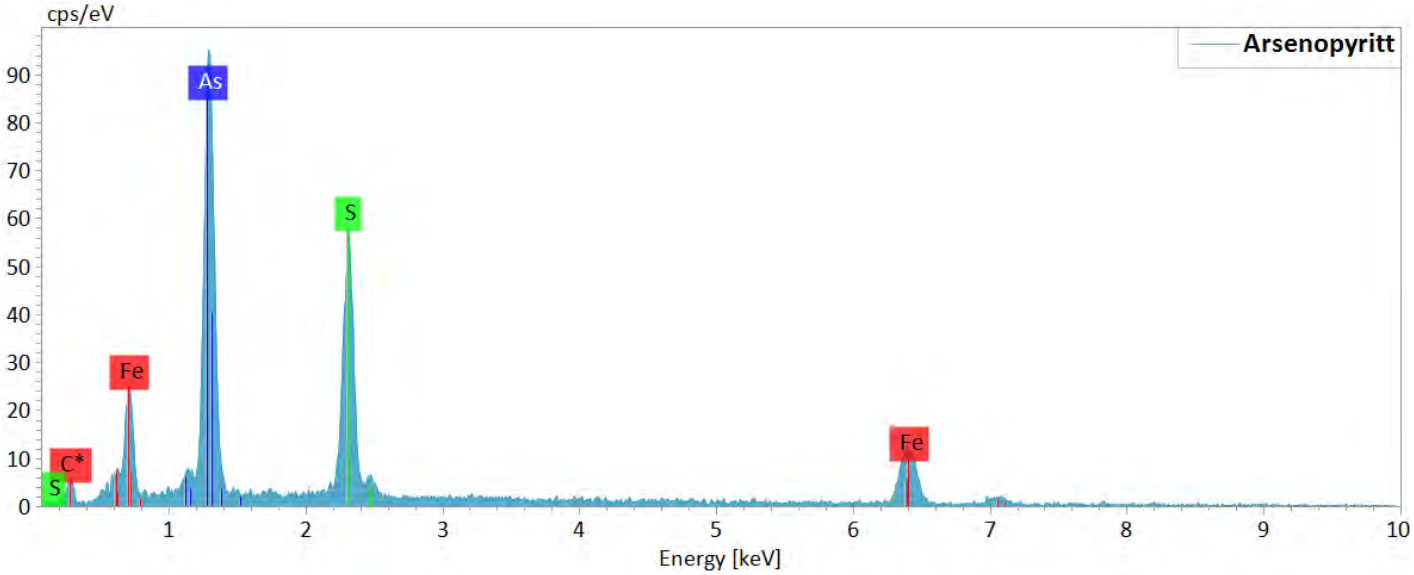

mimetitt
Arsenopyritt
20 µm


cps/eV
Arsenopyritt
As
S
O
Fe
C*
S
Fe
Energy [keV]


cps/eV
mimetitt
O
As
Pb
C*
Pb
Fe
Cl
Cl
Fe
Energy [keV]

E6-5-02

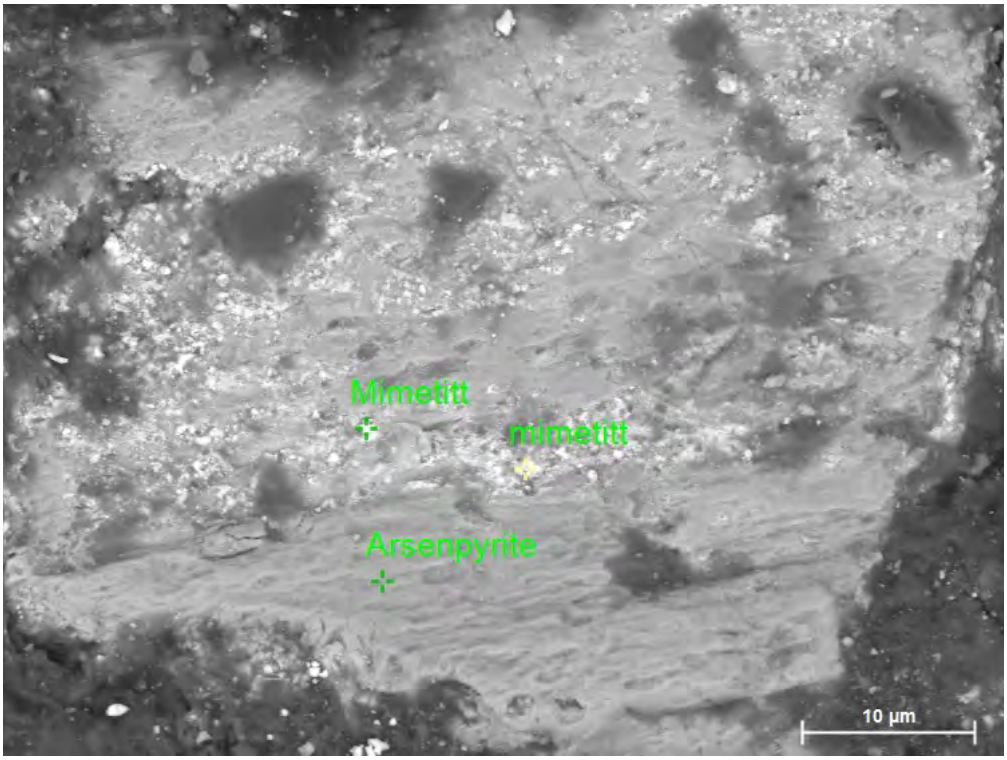


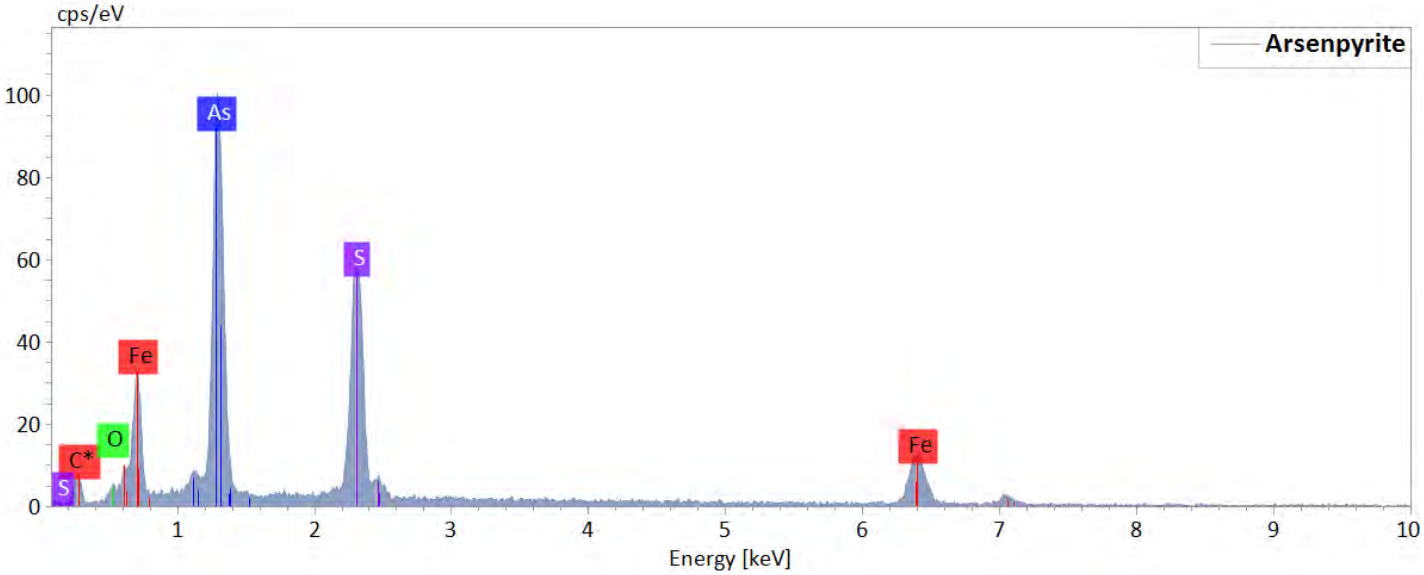


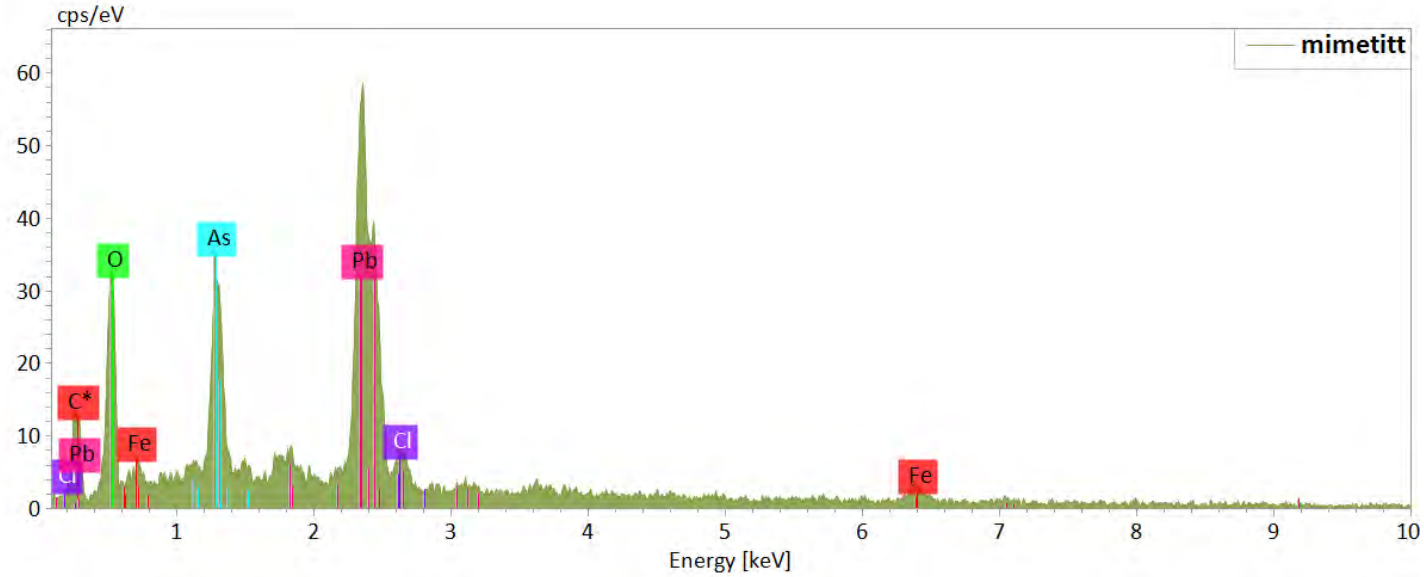
Arsenopyritt

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	366	8,4	9,0	31,0	0,7	8,2
S	16	7360	16,3	17,4	22,4	0,9	5,7
Fe	26	2729	30,3	32,3	23,9	2,3	7,7
As	33	11990	38,7	41,3	22,8	2,8	7,2
		Sum	**93,7**	**100,0**	**100,0**		

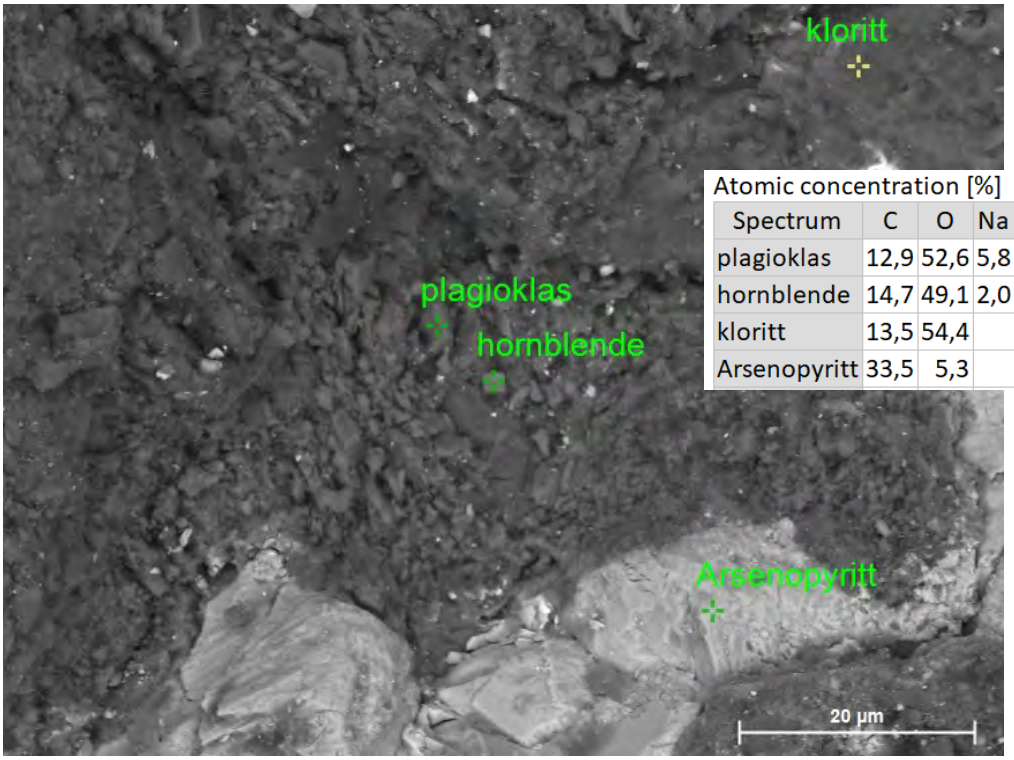
E6-5-03


Mimetitt
mimetitt
Arsenpyrite
10 µm


cps/eV
Arsenpyrite
As
S
Fe
O
C*
S
Fe
Energy [keV]

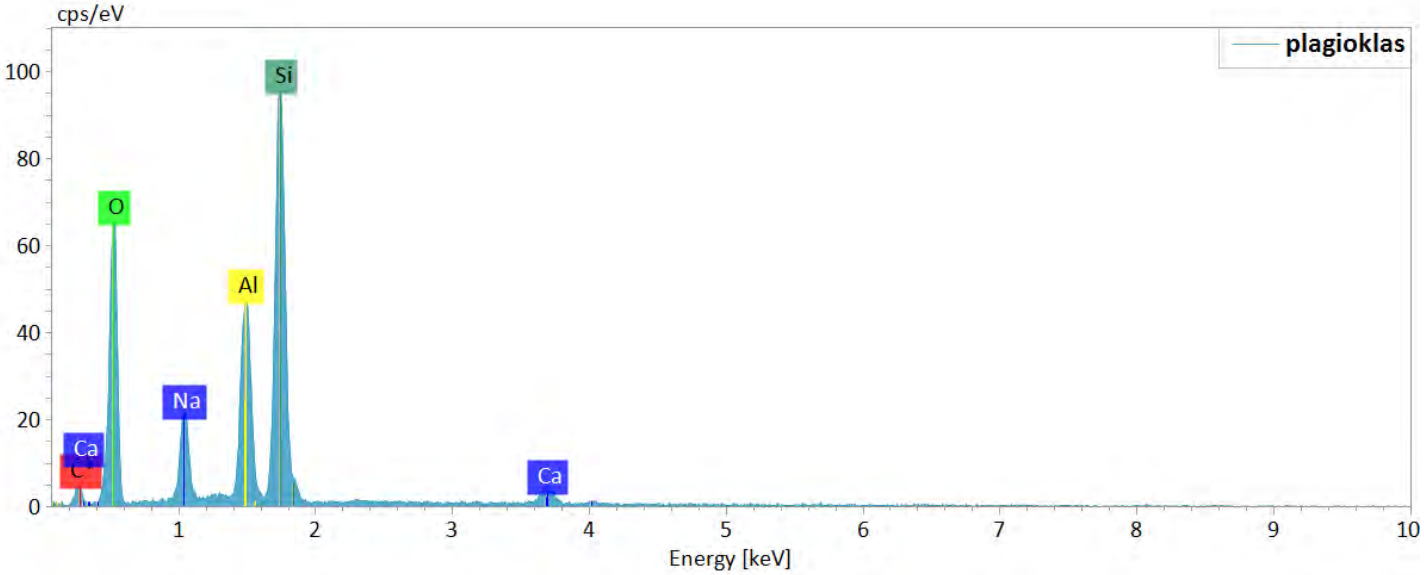

cps/eV
mimetitt
O
As
Pb
C*
Pb
Cl
Fe
Cl
Fe
Energy [keV]

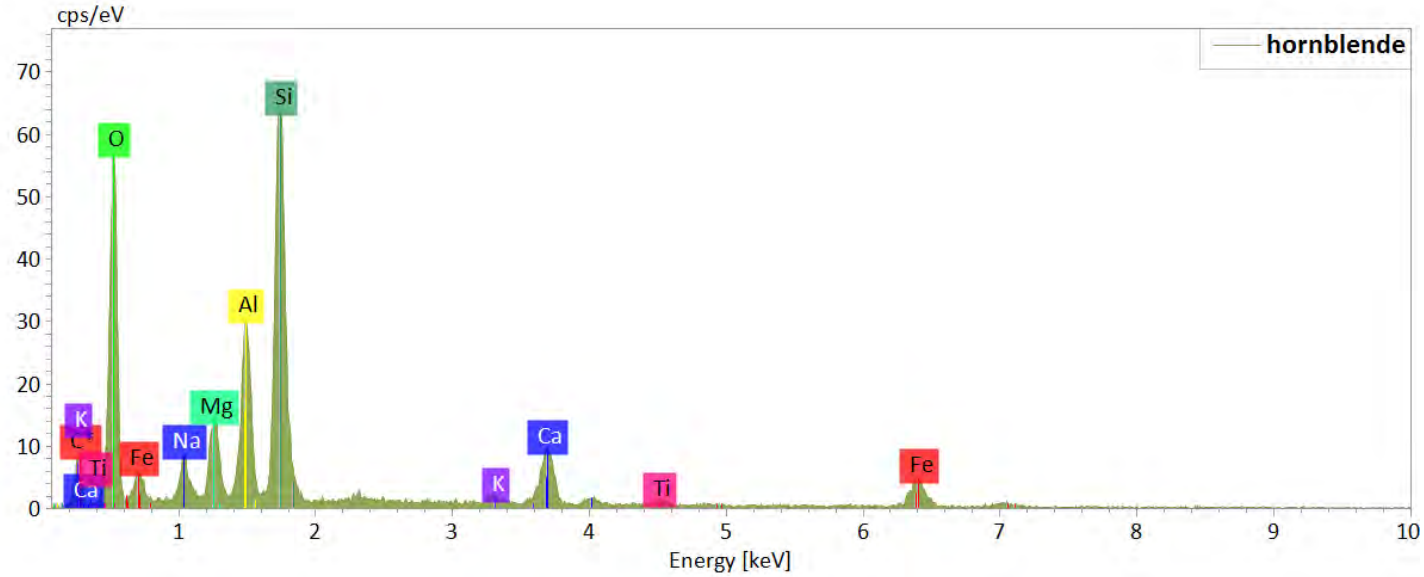
E6-5-04



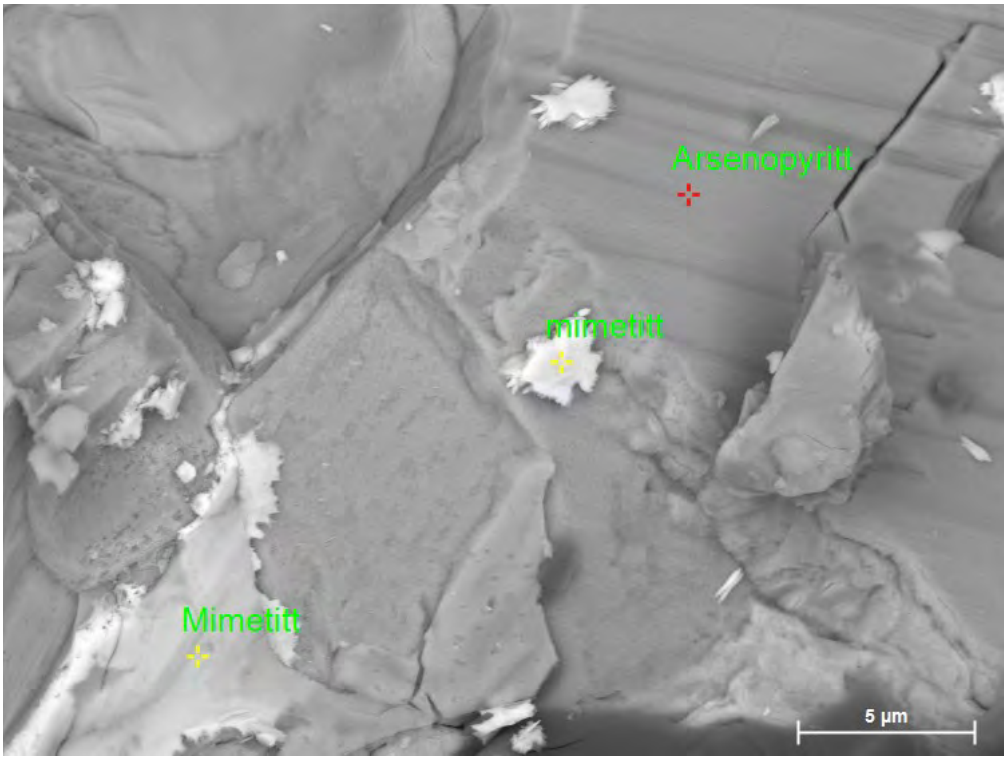
Atomic concentration [%]

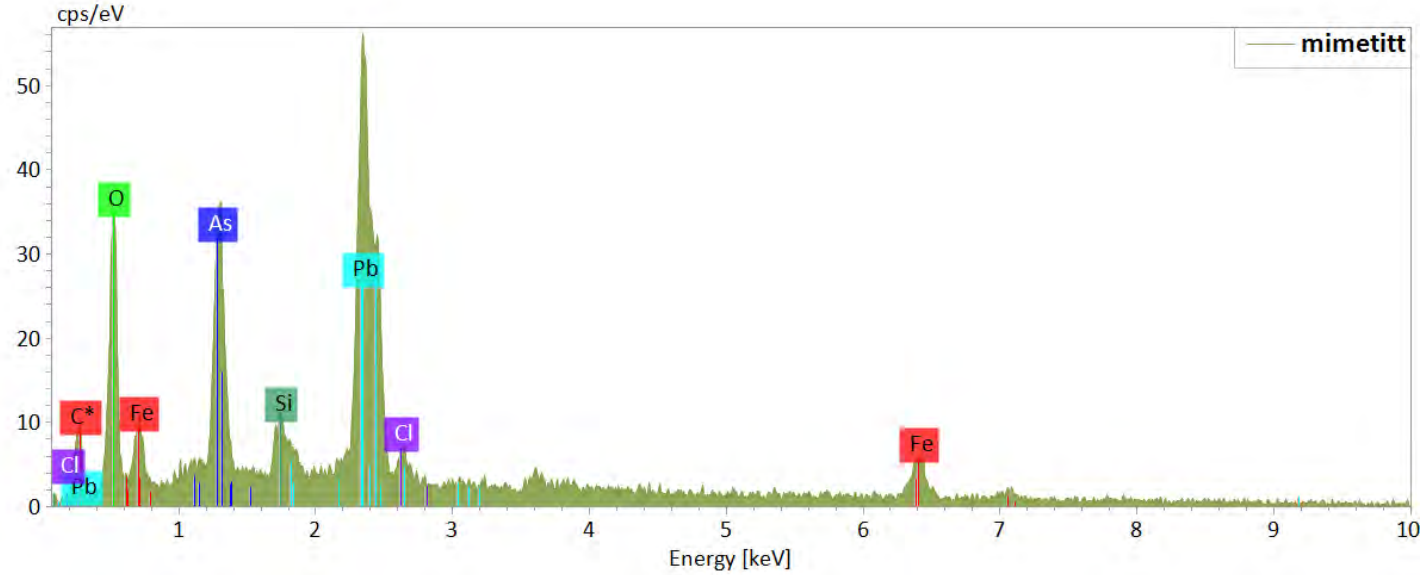
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	As
plagioklas	12,9	52,6	5,8		6,7	20,2			1,7			
hornblende	14,7	49,1	2,0	3,2	6,3	16,6		0,4	3,5	0,3	3,9	
kloritt	13,5	54,4		10,0	4,8	13,7			0,4		3,2	
Arsenopyritt	33,5	5,3				0,9	19,1				23,5	17,8

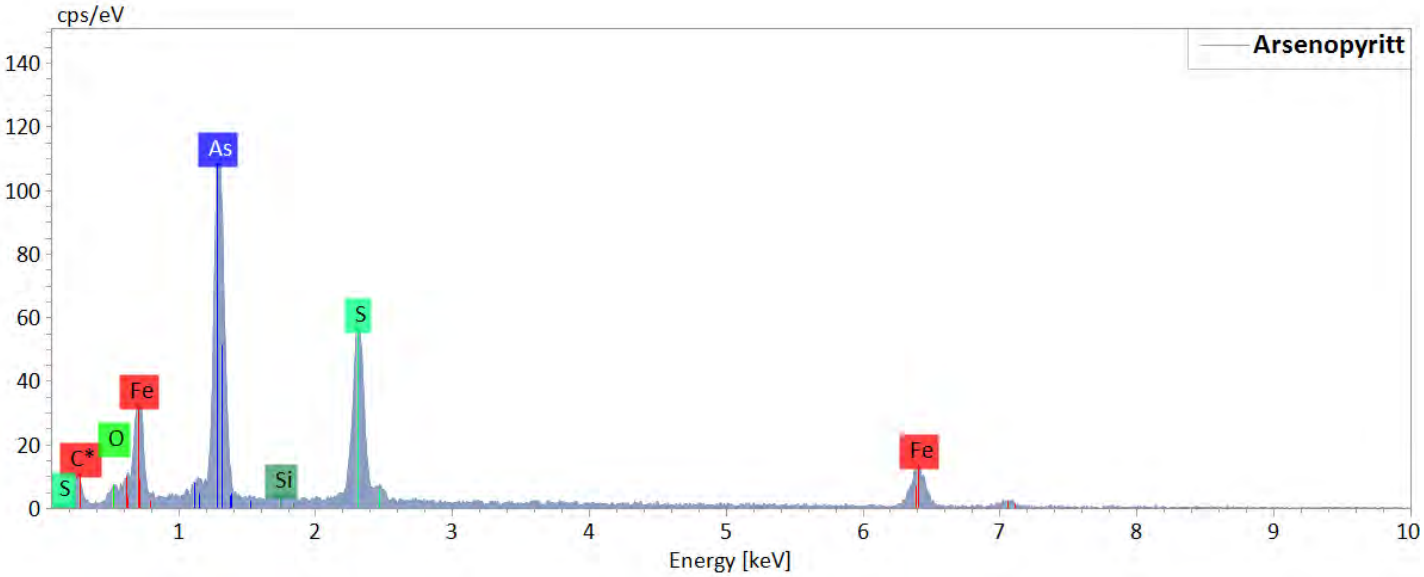




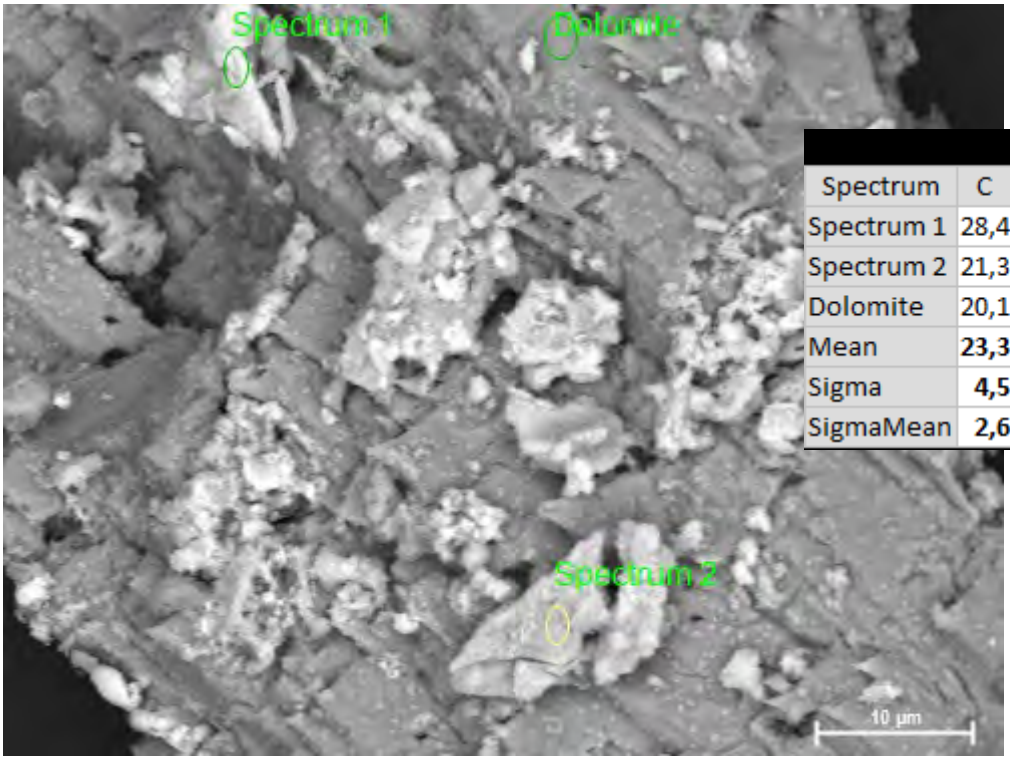
E6-5-05


Arsenopyritt
mimetitt
Mimetitt
5 µm

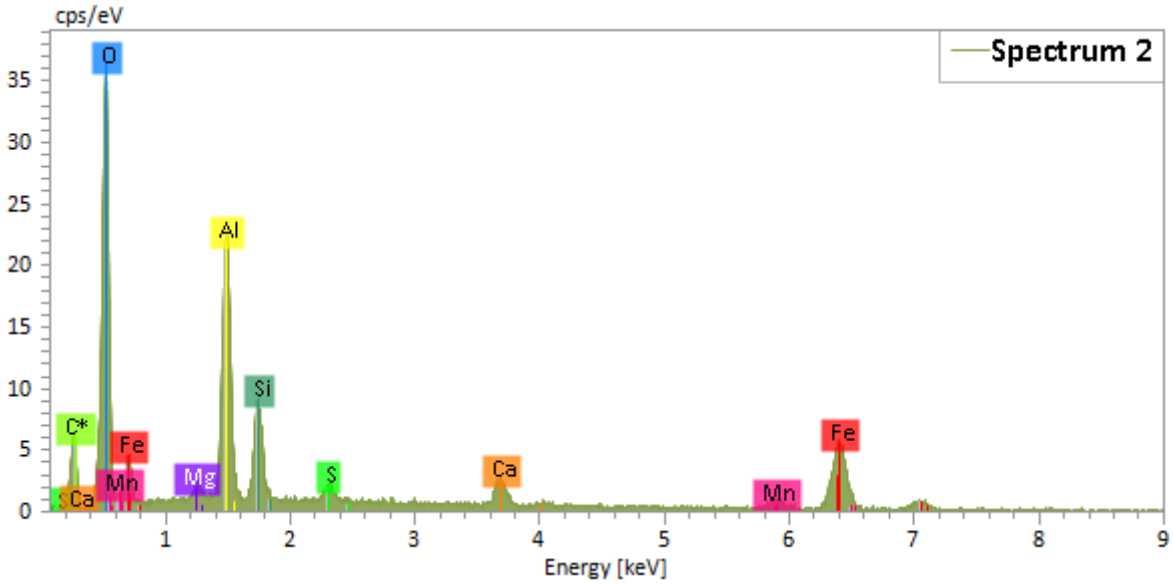

cps/eV
mimetitt
O
As
Pb
C*
Fe
Si
Cl
Cl
Pb
Fe
Energy [keV]

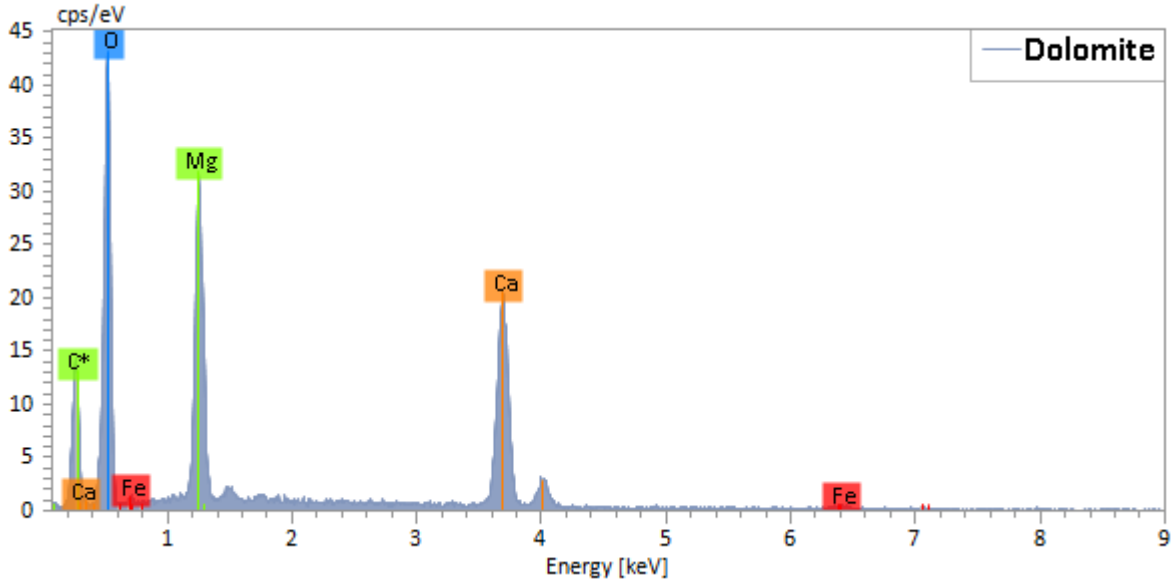

cps/eV
Arsenopyritt
As
S
Fe
O
C*
S
Si
Fe
Energy [keV]

P2-map1-area

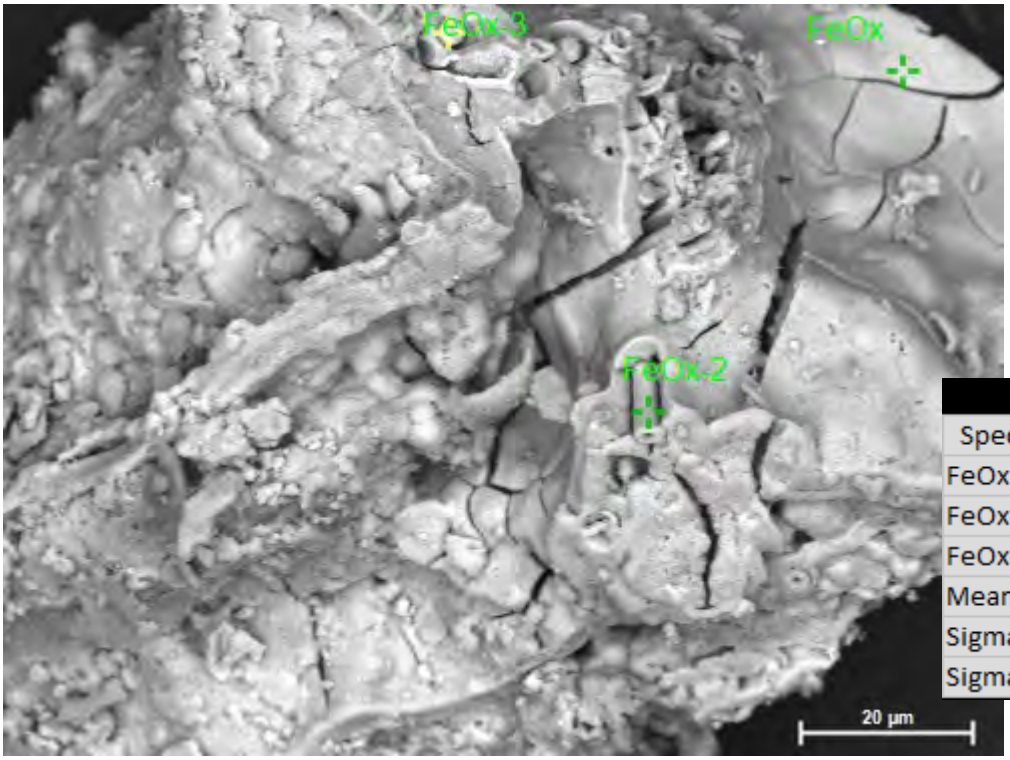


Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe
Spectrum 1	28,4	47,3		5,7	1,5	2,0	0,5		14,7
Spectrum 2	21,3	48,0	0,6	10,1	4,3	0,6	1,7	1,0	12,4
Dolomite	20,1	60,9	7,8				10,6		0,6
Mean	**23,3**	**52,1**	**4,2**	**7,9**	**2,9**	**1,3**	**4,2**	**1,0**	**9,2**
Sigma	**4,5**	**7,7**	**5,0**	**3,1**	**2,0**	**1,0**	**5,5**	**0,0**	**7,6**
SigmaMean	**2,6**	**4,4**	**2,9**	**1,8**	**1,1**	**0,6**	**3,2**	**0,0**	**4,4**

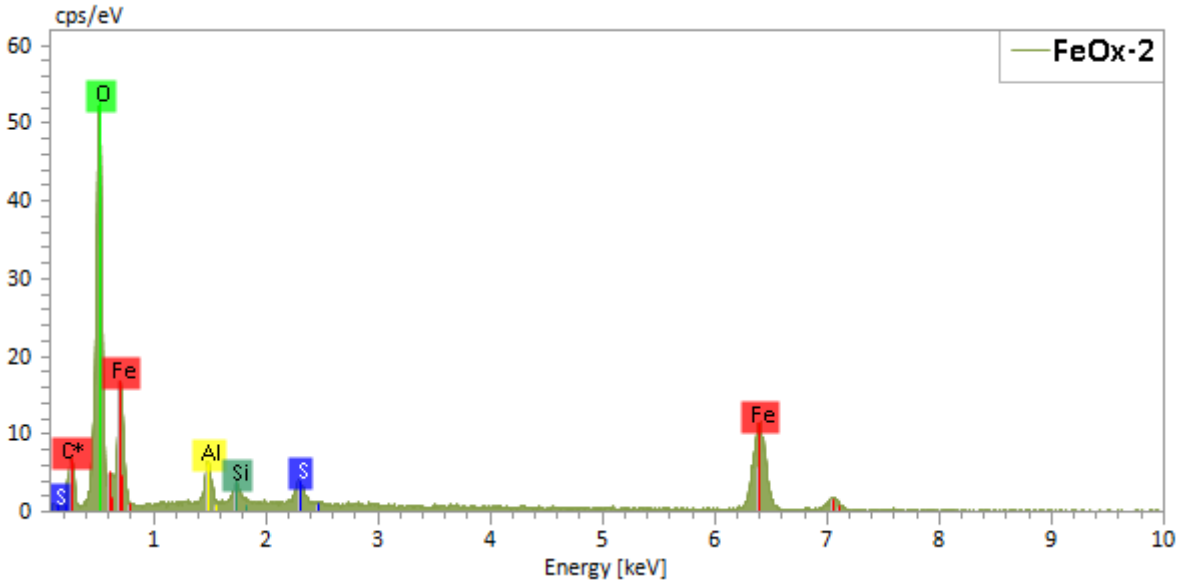


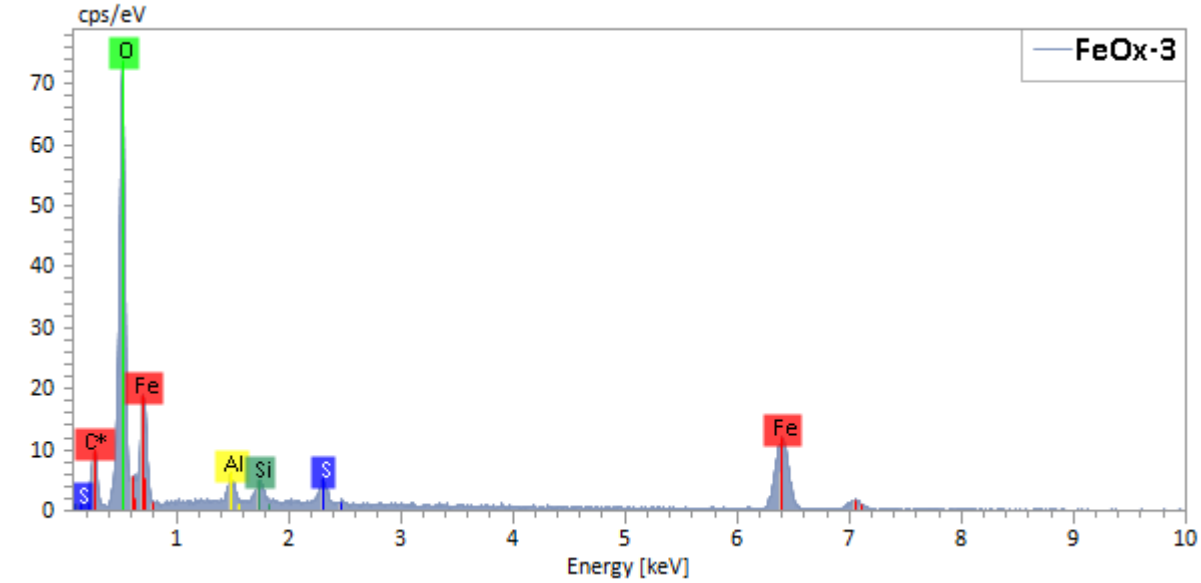


P2-02

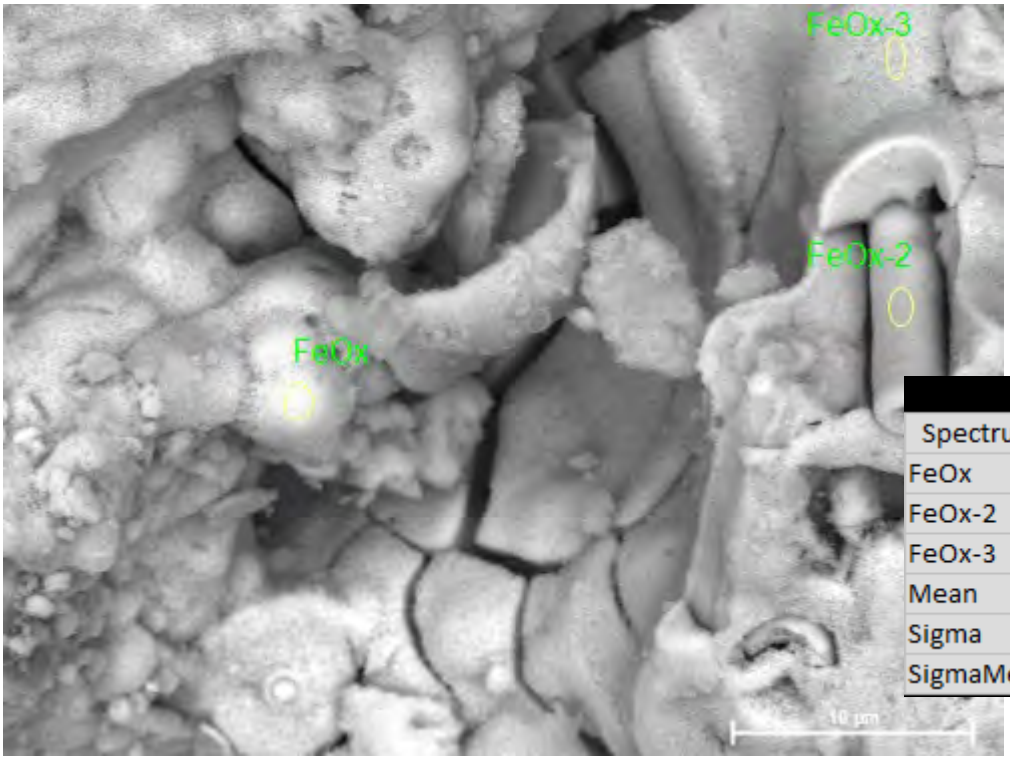


Spectrum	C	O	Al	Si	S	Fe
FeOx	18,8	59,8	0,9	0,7	1,3	18,5
FeOx-2	18,8	52,5	2,2	1,0	1,3	24,2
FeOx-3	17,8	57,9	1,3	1,1	1,2	20,8
Mean	**18,5**	**56,7**	**1,5**	**0,9**	**1,2**	**21,2**
Sigma	**0,6**	**3,8**	**0,7**	**0,2**	**0,0**	**2,8**
SigmaMean	**0,3**	**2,2**	**0,4**	**0,1**	**0,0**	**1,6**

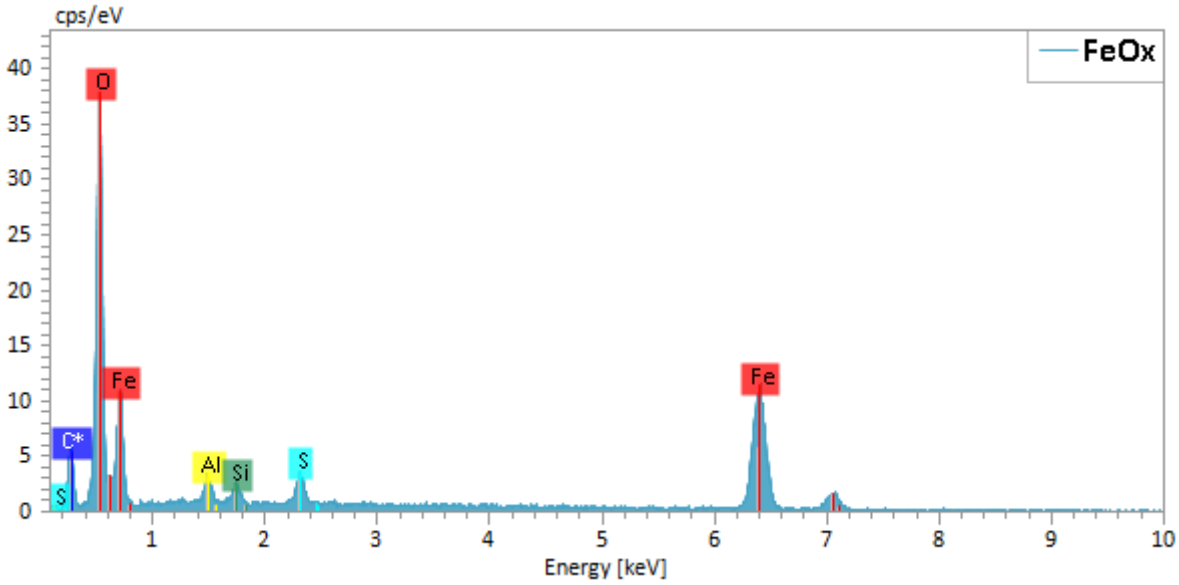


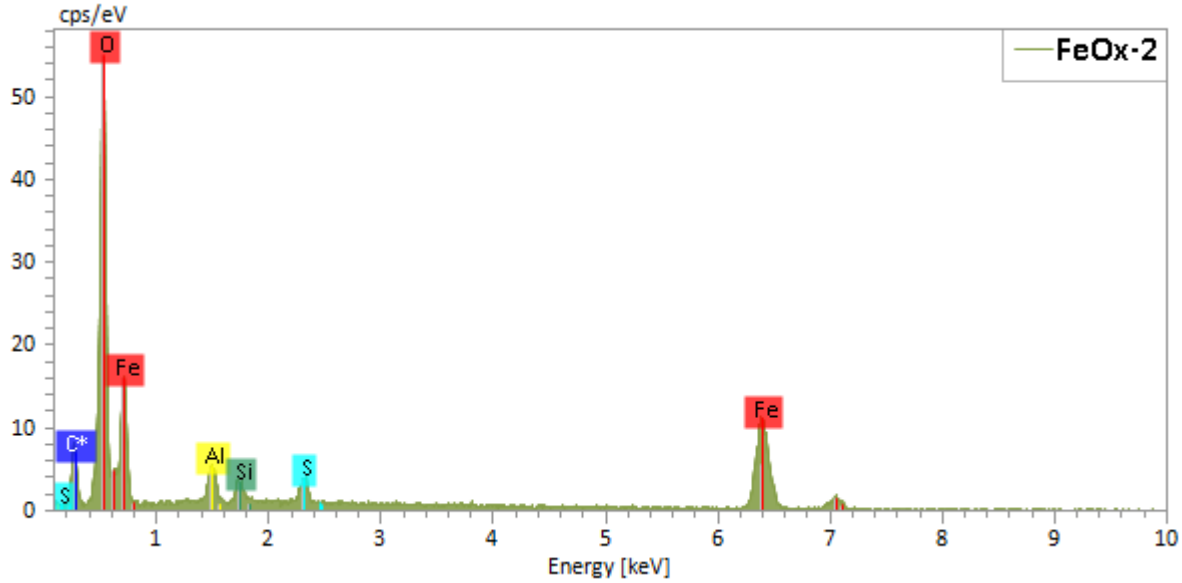


P2-02b

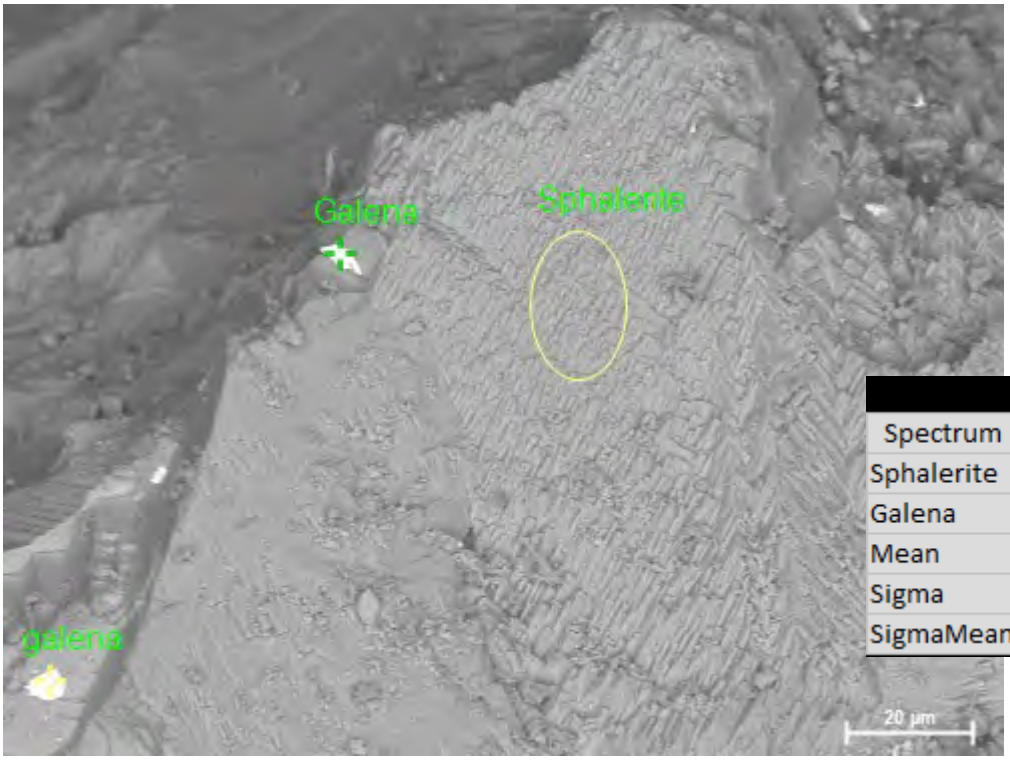


Spectrum	C	O	Al	Si	S	Fe
FeOx	19,3	47,2	1,5	1,2	1,9	28,9
FeOx-2	19,3	53,5	1,8	1,1	1,4	22,9
FeOx-3	17,2	51,3	1,3	1,3	1,5	27,3
Mean	**18,6**	**50,7**	**1,5**	**1,2**	**1,6**	**26,4**
Sigma	**1,2**	**3,2**	**0,3**	**0,1**	**0,3**	**3,1**
SigmaMean	**0,7**	**1,9**	**0,2**	**0,1**	**0,2**	**1,8**

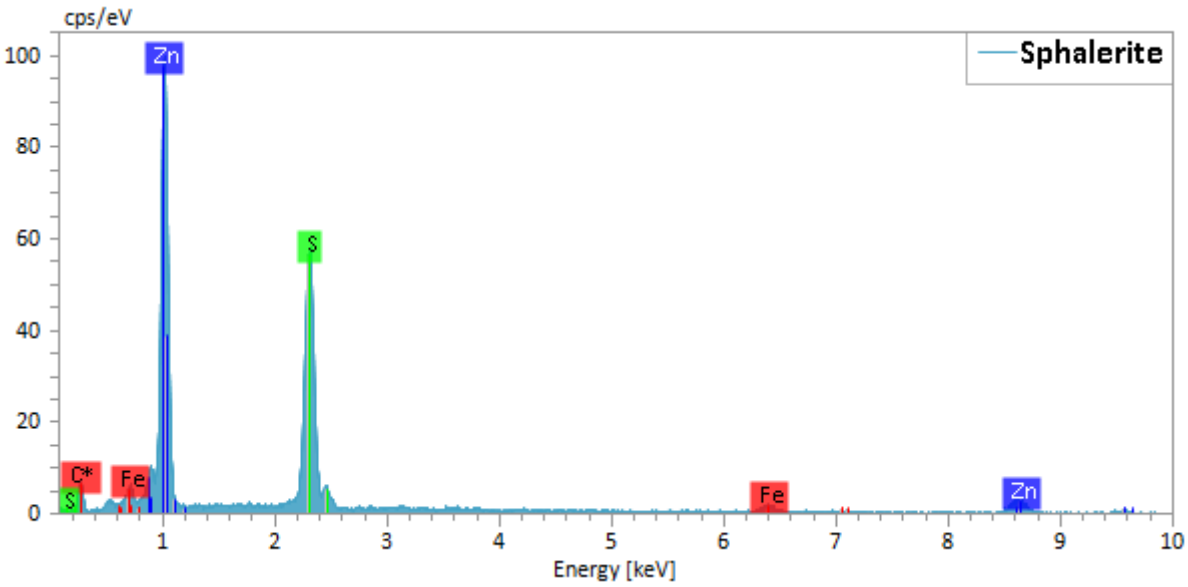


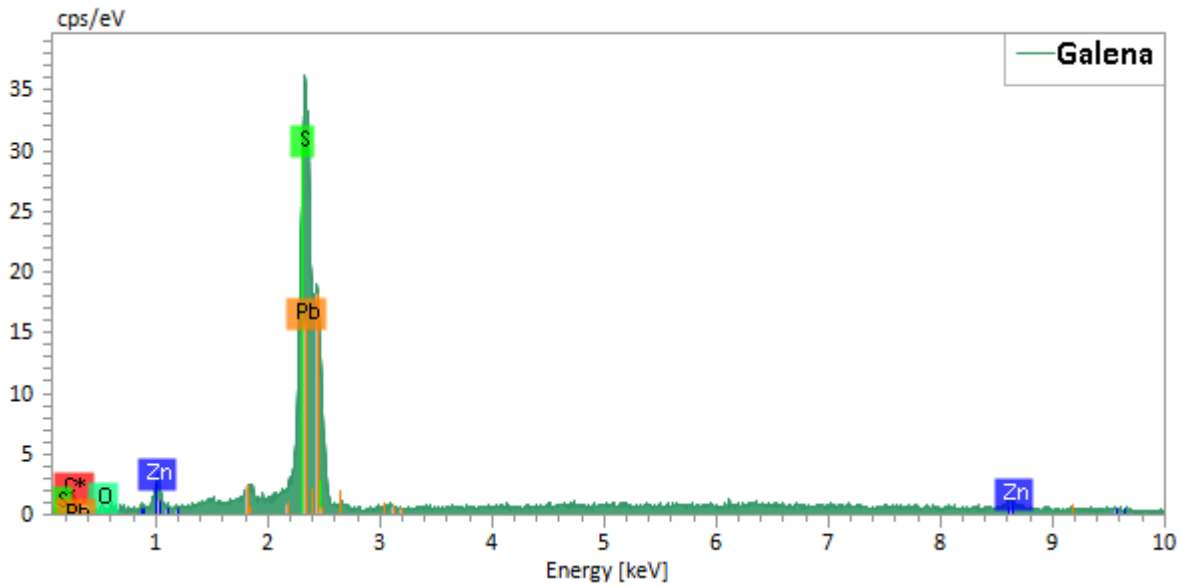


P3-b

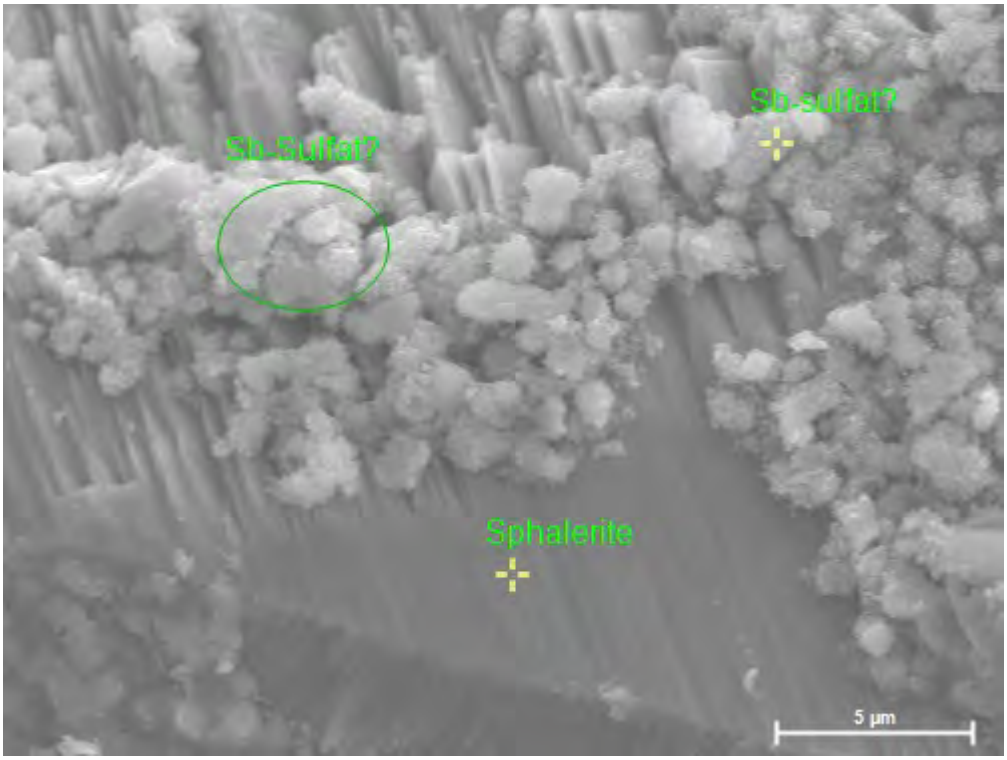


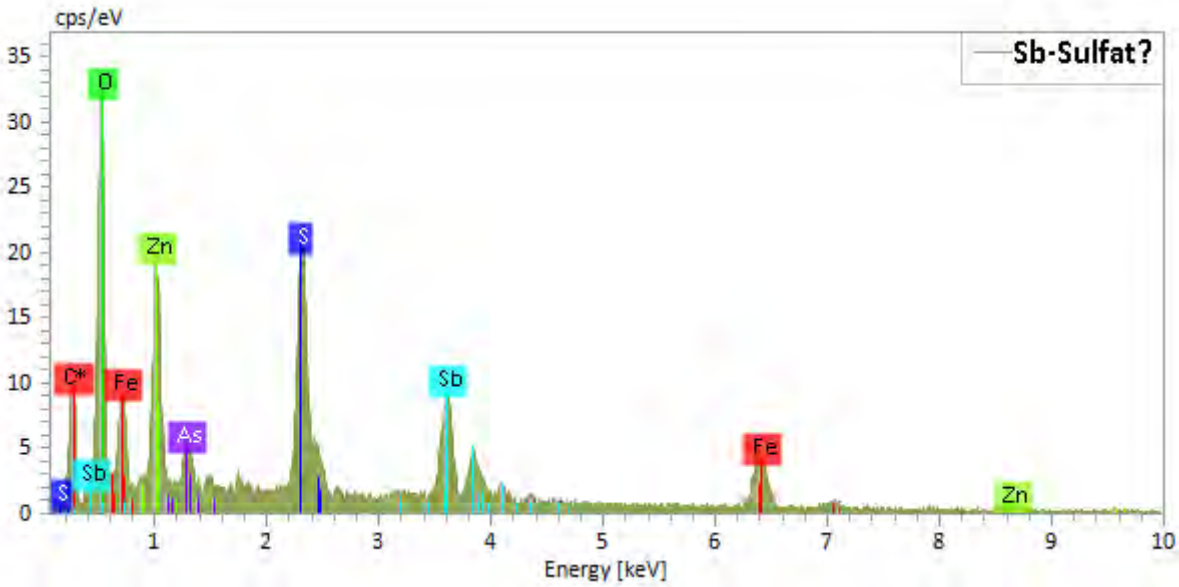
Spectrum	C	O	S	Fe	Zn	Pb
Sphalerite	48,6		24,6	3,5	23,2	
Galena	47,7	4,3	21,5		6,3	20,3
Mean	**48,2**	**4,3**	**23,1**	**3,5**	**14,7**	**20,3**
Sigma	**0,7**	**0,0**	**2,2**	**0,0**	**12,0**	**0,0**
SigmaMean	**0,5**	**0,0**	**1,6**	**0,0**	**8,5**	**0,0**





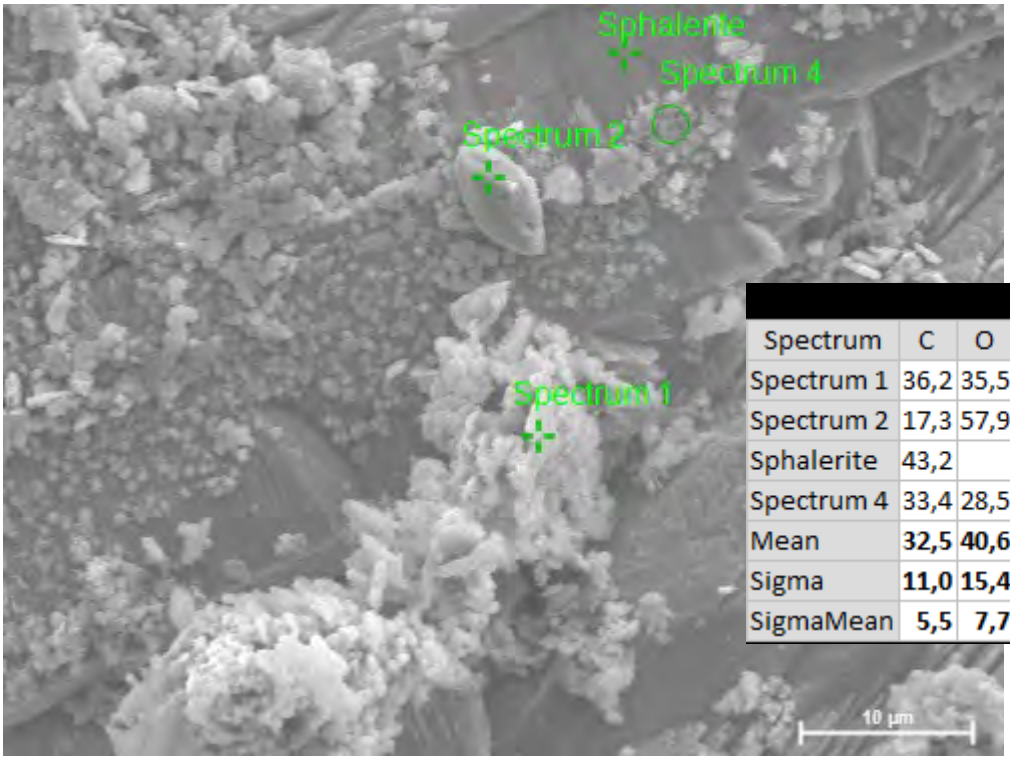
P3-c



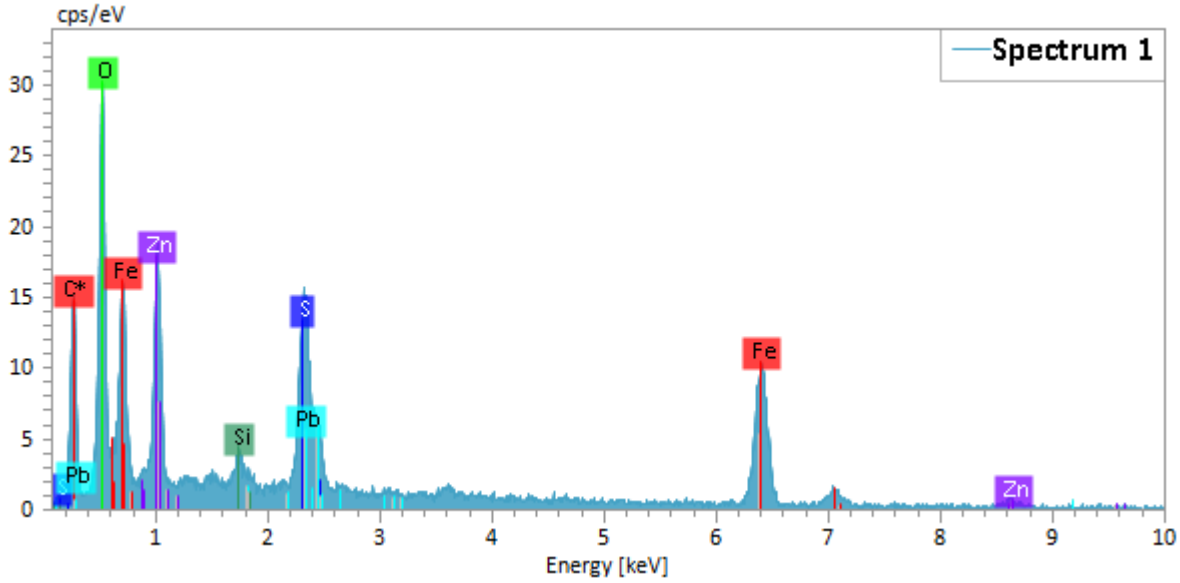


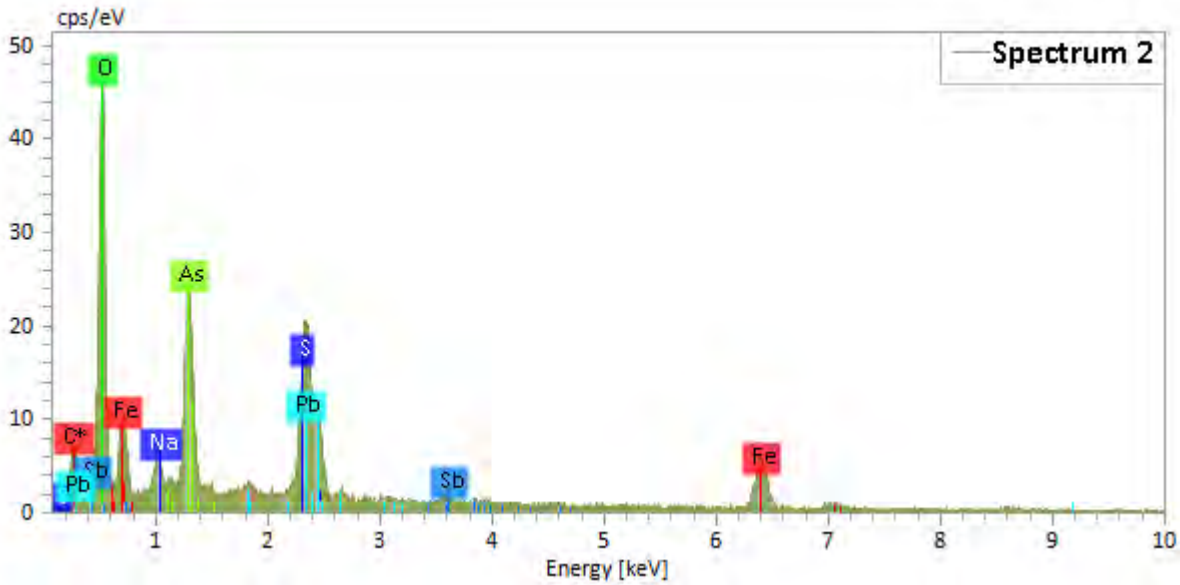
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	1358	7,8	10,5	27,2	0,4	5,7
O	8	5227	15,3	20,7	40,3	0,7	4,3
S	16	3634	5,8	7,9	7,7	0,3	5,6
Fe	26	1972	18,2	24,6	13,7	1,3	7,4
Zn	30	2021	4,8	6,5	3,1	0,4	8,7
As	33	727	1,5	2,0	0,8	0,1	10,0
Sb	51	5380	20,5	27,7	7,1	1,1	5,4
		Sum	**73,9**	**100,0**	**100,0**		

P3-d

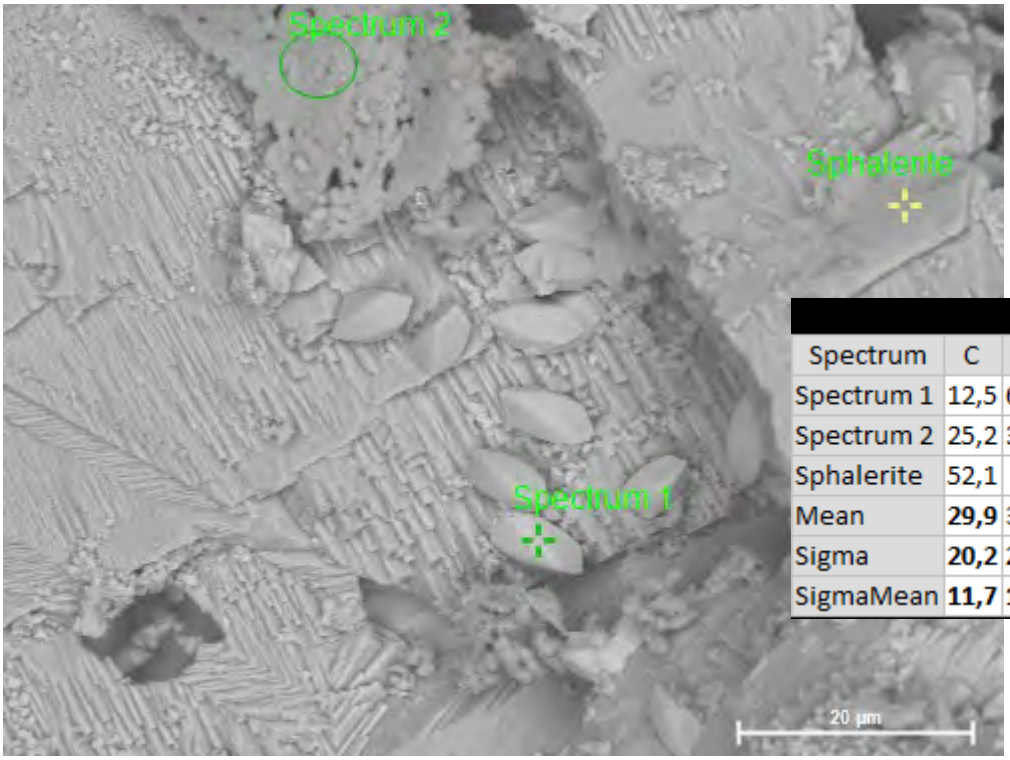


Spectrum	C	O	Na	Si	S	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Spectrum 1	36,2	35,5		0,8	2,4	19,6	4,2			1,4
Spectrum 2	17,3	57,9	1,9		1,3	13,3		4,4	1,0	2,9
Sphalerite	43,2				26,9	4,5	25,5			
Spectrum 4	33,4	28,5			16,0	6,5	12,9	0,4	2,4	
Mean	**32,5**	**40,6**	**1,9**	**0,8**	**11,6**	**11,0**	**14,2**	**2,4**	**1,7**	**2,1**
Sigma	**11,0**	**15,4**	**0,0**	**0,0**	**12,1**	**6,9**	**10,7**	**2,8**	**1,0**	**1,1**
SigmaMean	**5,5**	**7,7**	**0,0**	**0,0**	**6,1**	**3,5**	**5,4**	**1,4**	**0,5**	**0,5**

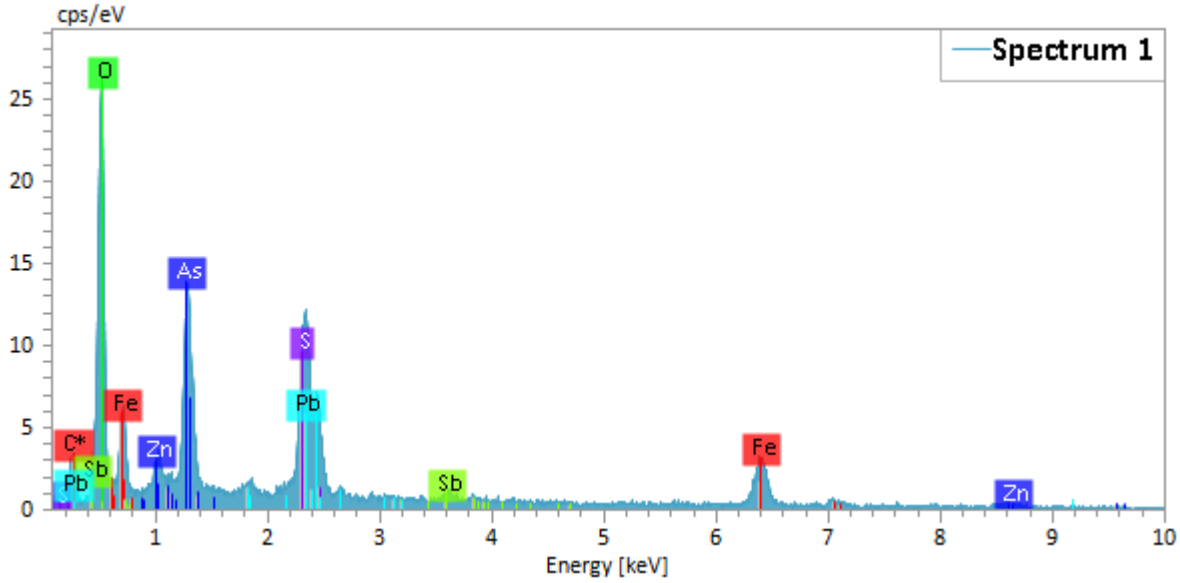


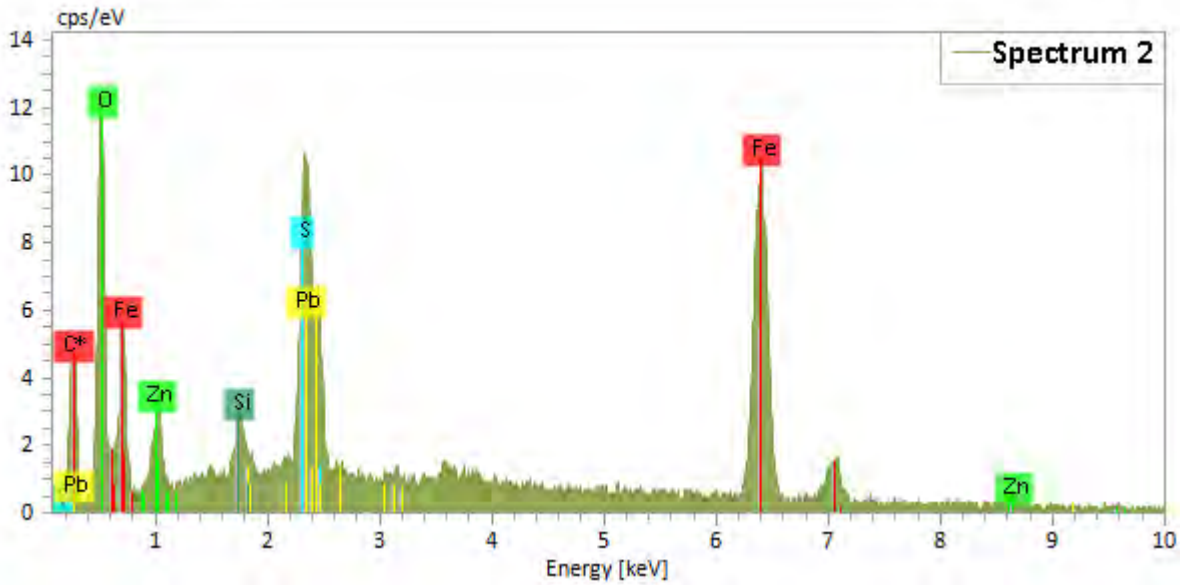


P3-e

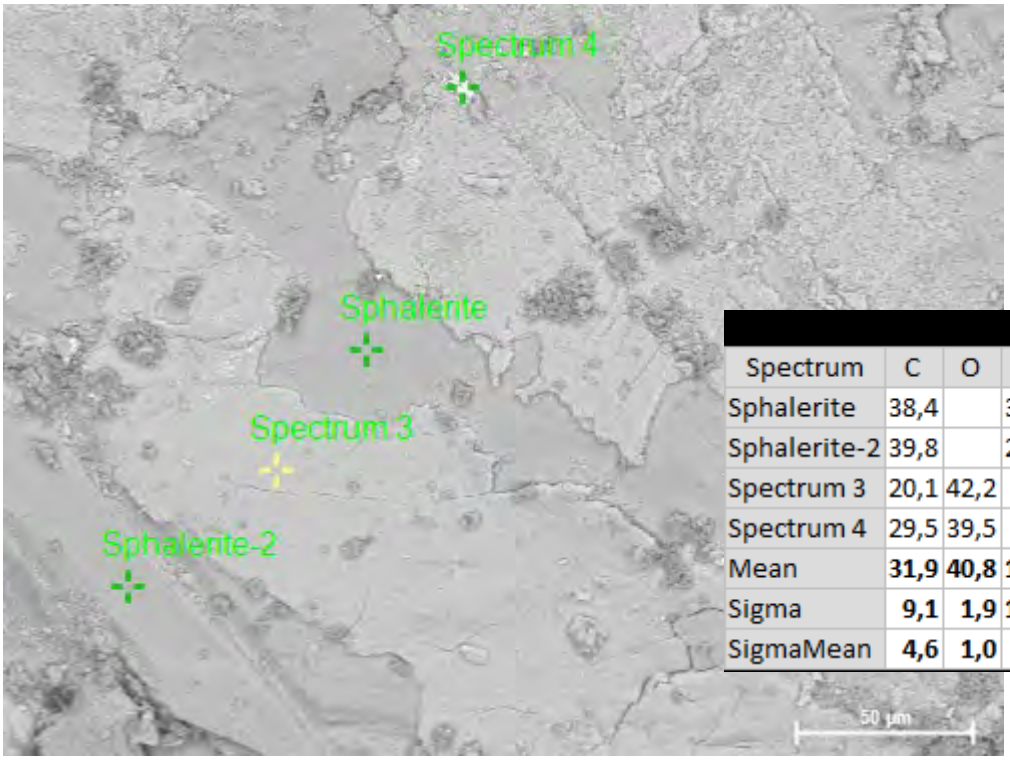


Spectrum	C	O	Si	S	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Spectrum 1	12,5	62,3		2,0	12,8	1,1	4,9	1,0	3,4
Spectrum 2	25,2	30,5	2,0	1,1	34,6	3,1			3,6
Sphalerite	52,1	4,2		20,8	3,5	19,5			
Mean	**29,9**	**32,3**	**2,0**	**7,9**	**16,9**	**7,9**	**4,9**	**1,0**	**3,5**
Sigma	**20,2**	**29,1**	**0,0**	**11,1**	**16,0**	**10,1**	**0,0**	**0,0**	**0,2**
SigmaMean	**11,7**	**16,8**	**0,0**	**6,4**	**9,2**	**5,8**	**0,0**	**0,0**	**0,1**

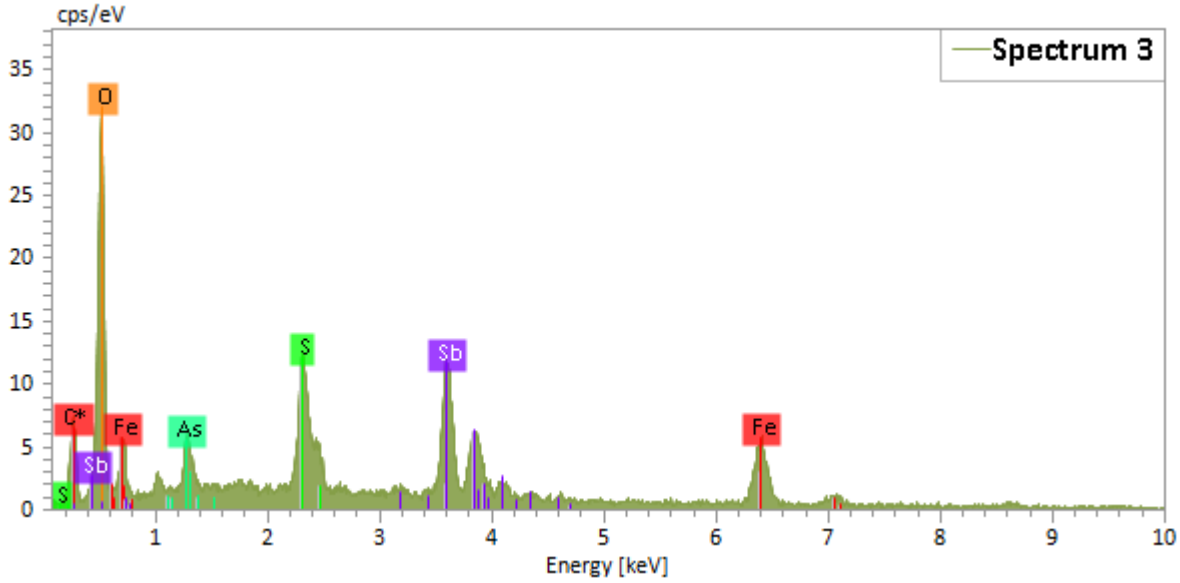


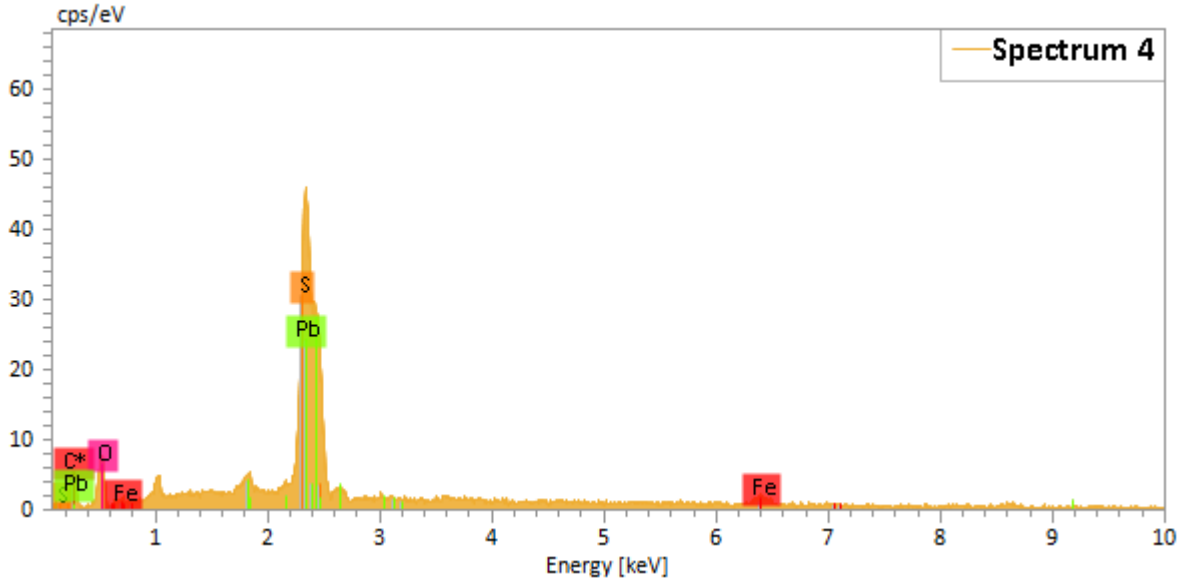


P3-h

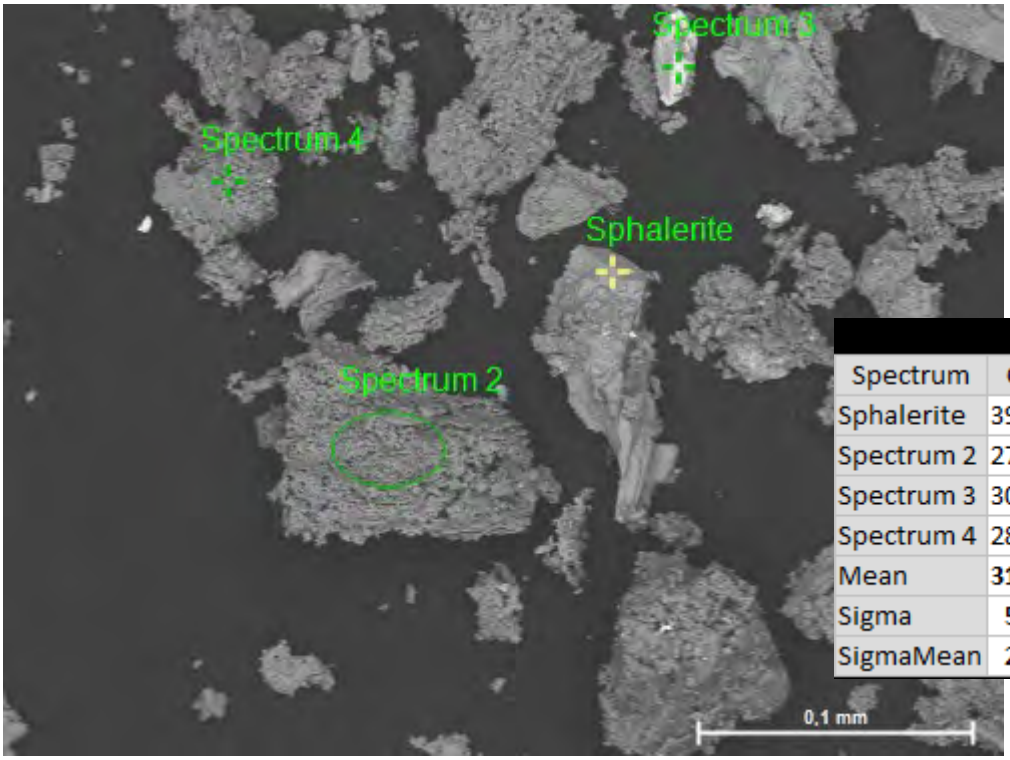


Spectrum	C	O	S	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Sphalerite	38,4		30,1	4,5	27,0			
Sphalerite-2	39,8		26,8	3,7	29,7			
Spectrum 3	20,1	42,2	6,8	17,6		2,0	11,3	
Spectrum 4	29,5	39,5	2,4	6,5				22,1
Mean	**31,9**	**40,8**	**16,5**	**8,1**	**28,3**	**2,0**	**11,3**	**22,1**
Sigma	**9,1**	**1,9**	**13,9**	**6,5**	**1,9**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
SigmaMean	**4,6**	**1,0**	**7,0**	**3,2**	**0,9**	**0,0**	**0,0**	**0,0**

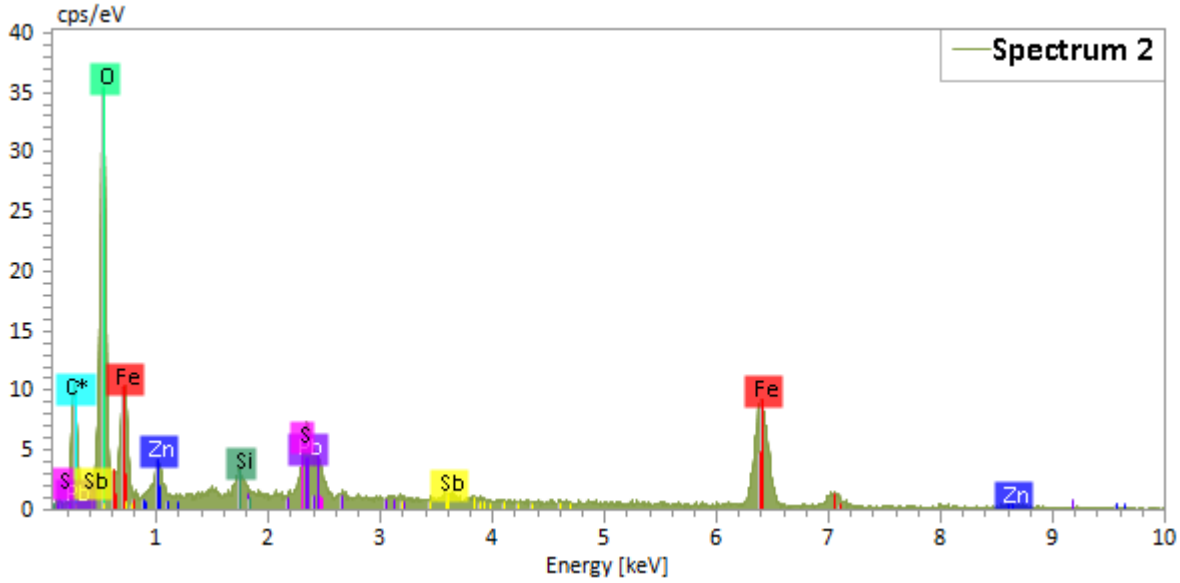


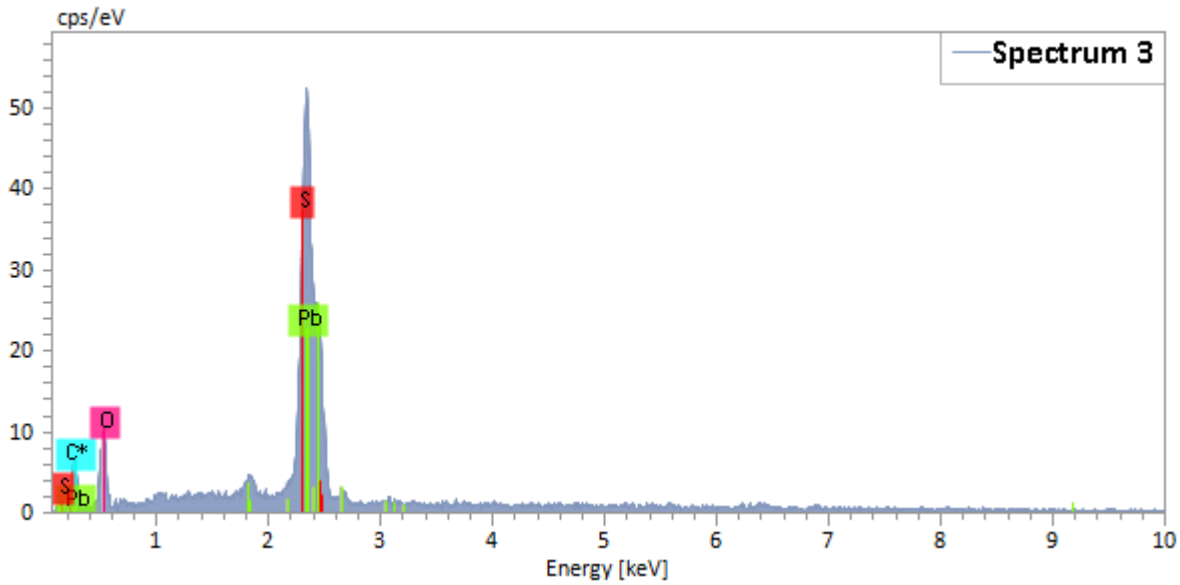


P3-2



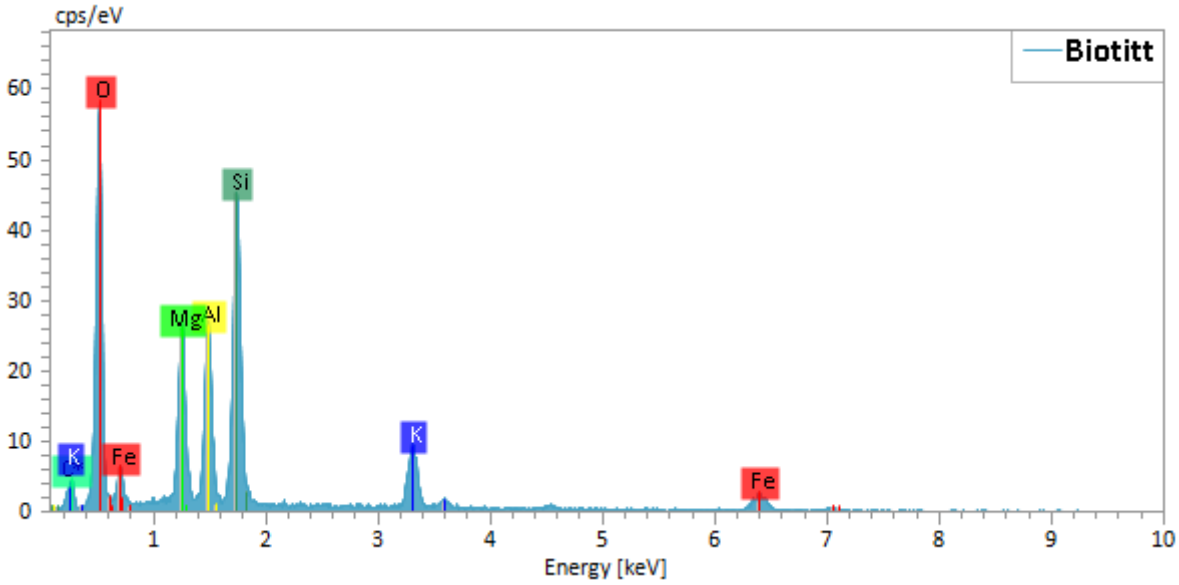
Spectrum	C	O	Si	S	Fe	Zn	Sb	Pb
Sphalerite	39,8			27,9	5,4	26,9		
Spectrum 2	27,2	47,3	1,7	0,3	20,1	1,3	0,3	1,8
Spectrum 3	30,5	41,4		12,0				16,1
Spectrum 4	28,6	49,1	0,6		20,2			1,6
Mean	**31,5**	**45,9**	**1,1**	**13,4**	**15,2**	**14,1**	**0,3**	**6,5**
Sigma	**5,7**	**4,0**	**0,8**	**13,8**	**8,5**	**18,1**	**0,0**	**8,3**
SigmaMean	**2,8**	**2,0**	**0,4**	**6,9**	**4,3**	**9,1**	**0,0**	**4,2**

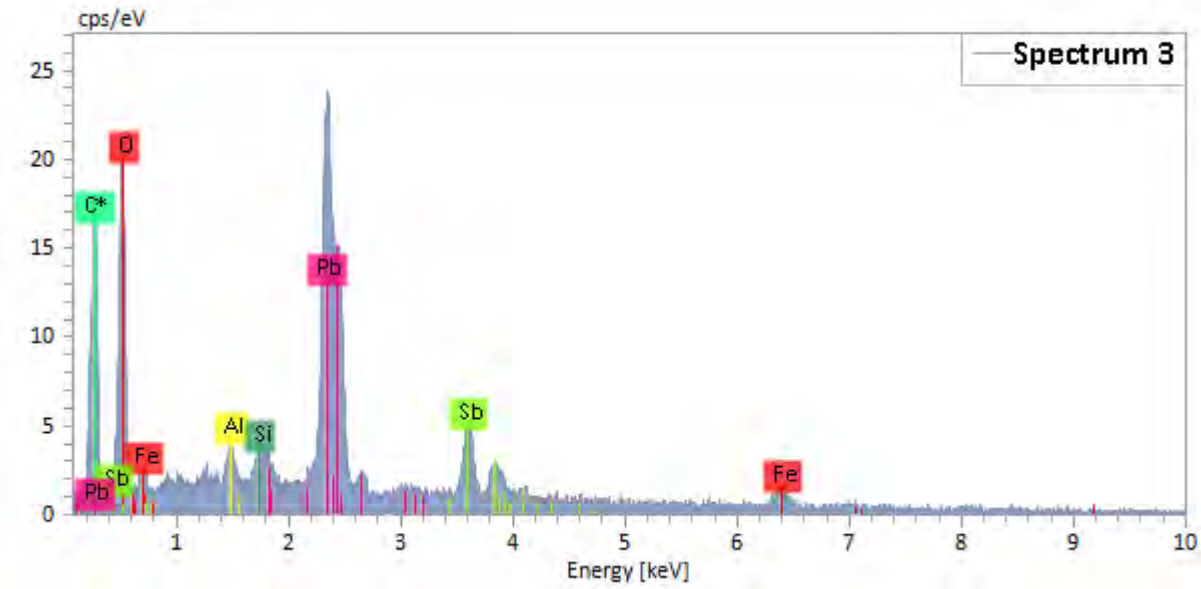




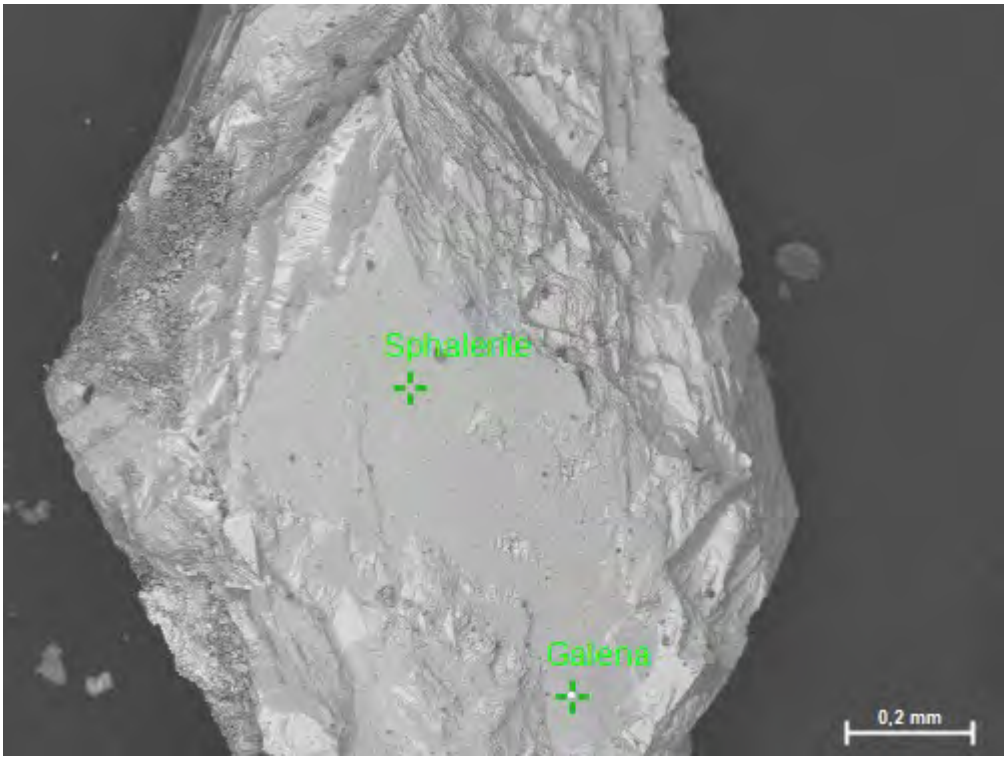
P4-01b

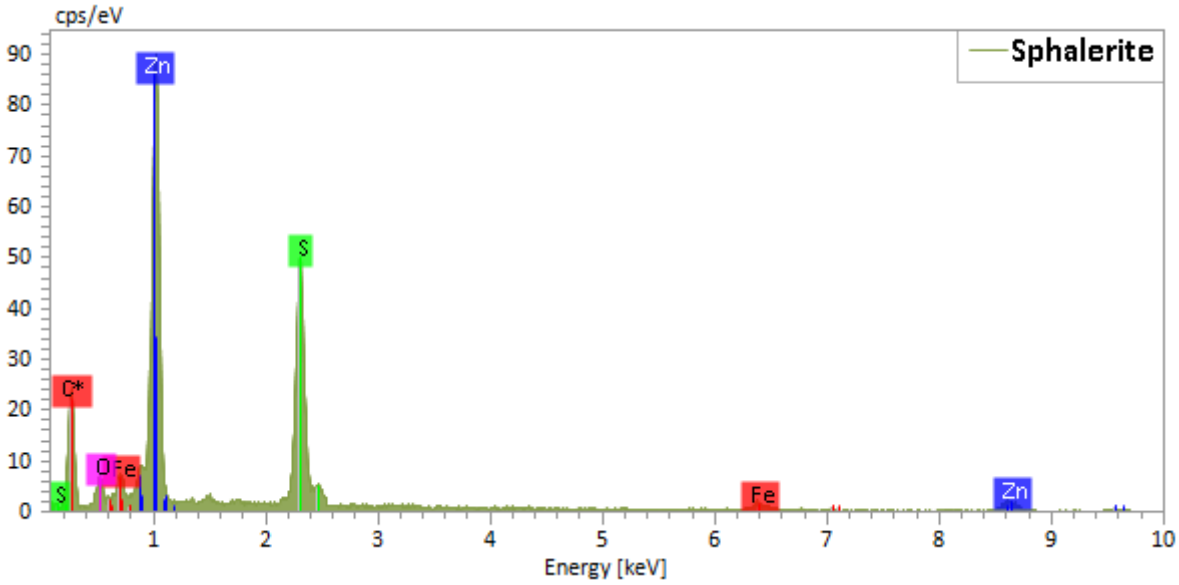
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Sb	Pb
Biotitt	6,2	58,3		6,4	6,4	14,0	3,9		4,8		
FeOx	15,7	45,8			2,8	3,2			32,5		
Spectrum 3	41,4	41,5			1,1	1,2			3,9	4,1	6,8
Plag	18,3	51,9	3,7		6,9	17,0		1,6	0,6		
Mean	**20,4**	**49,4**	**3,7**	**6,4**	**4,3**	**8,9**	**3,9**	**1,6**	**10,4**	**4,1**	**6,8**
Sigma	**14,9**	**7,3**	**0,0**	**0,0**	**2,8**	**7,8**	**0,0**	**0,0**	**14,8**	**0,0**	**0,0**
SigmaMean	**7,5**	**3,7**	**0,0**	**0,0**	**1,4**	**3,9**	**0,0**	**0,0**	**7,4**	**0,0**	**0,0**





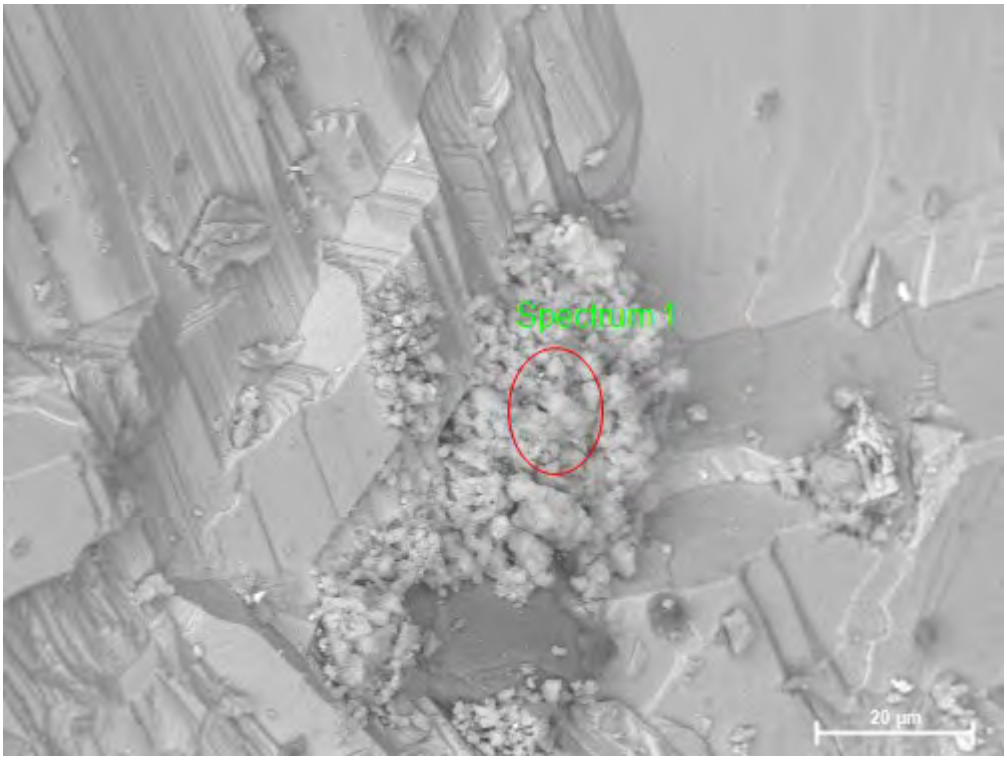
P4-02

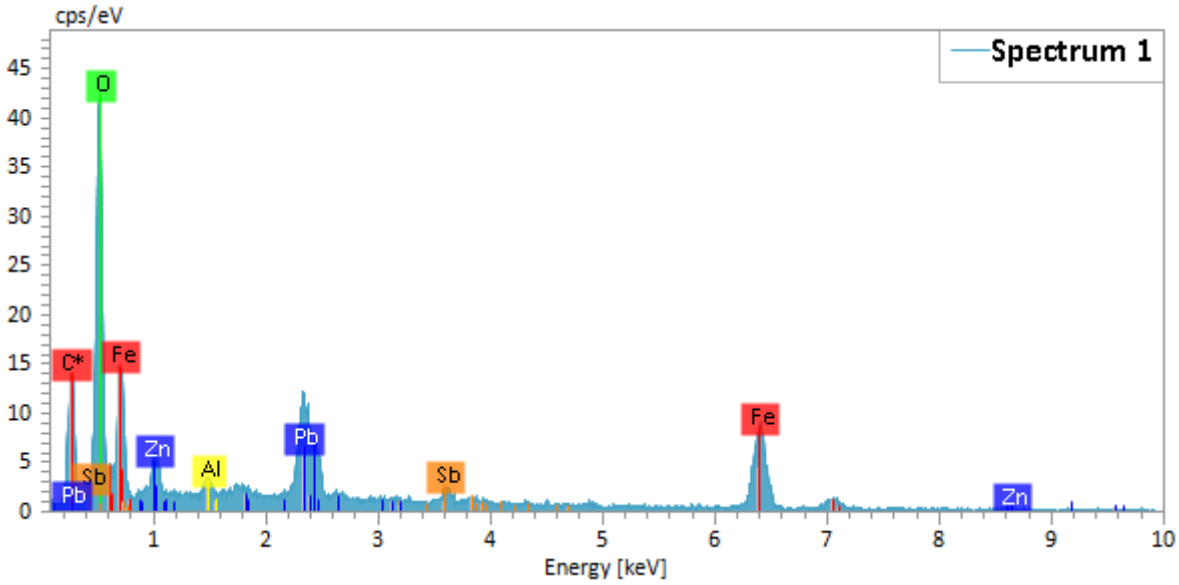




Spectrum	C	O	S	Fe	Zn	Pb
Sphalerite	43,3	0,1	27,0	4,6	25,0	
Galena	57,8	11,5	13,3		4,5	12,9
Mean	**50,5**	**5,8**	**20,2**	**4,6**	**14,7**	**12,9**
Sigma	**10,3**	**8,1**	**9,7**	**0,0**	**14,5**	**0,0**
SigmaMean	**7,3**	**5,7**	**6,8**	**0,0**	**10,2**	**0,0**

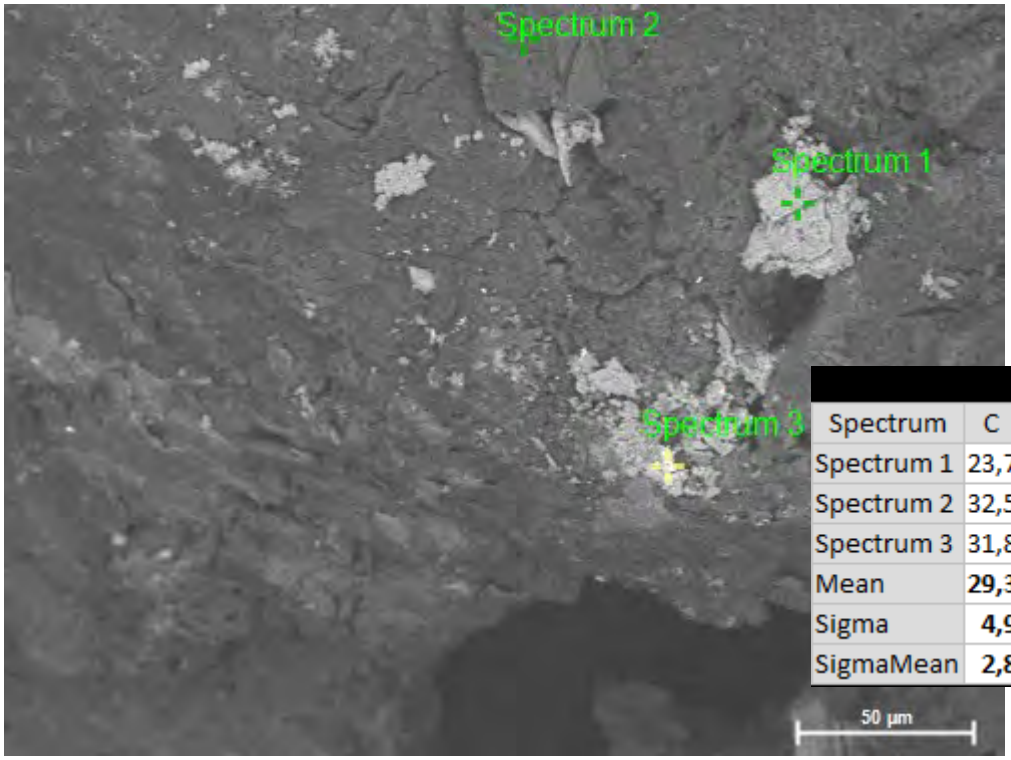
P4-02



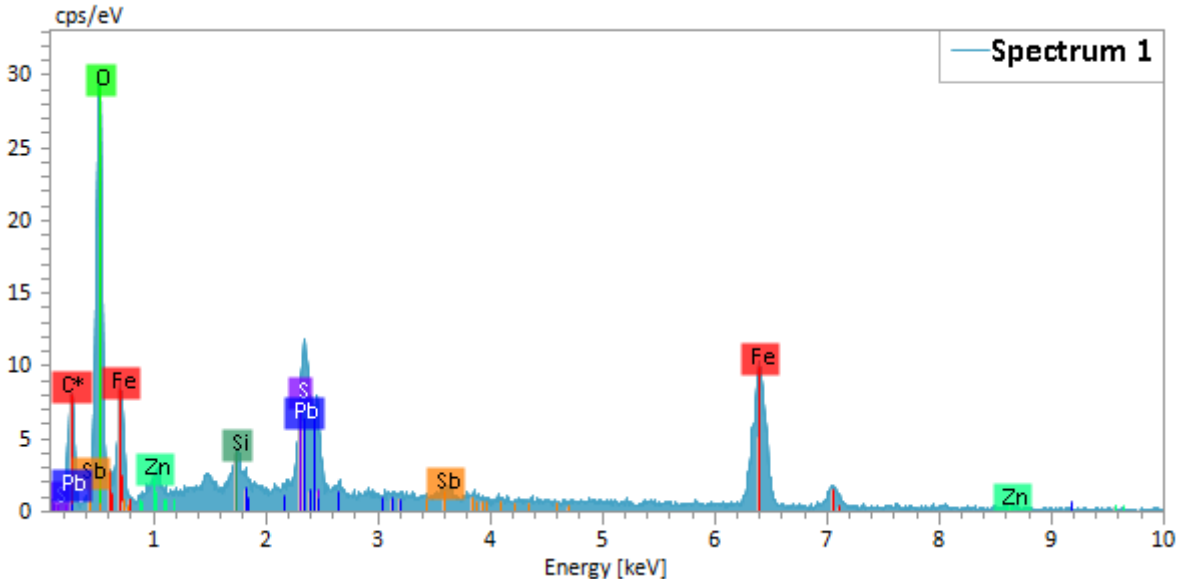


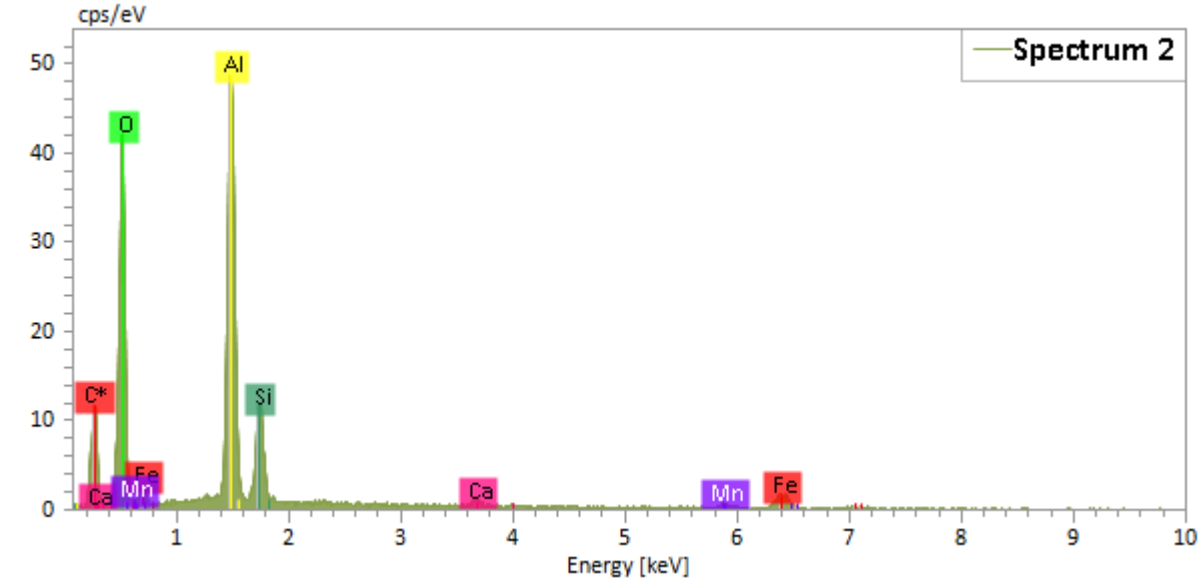
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	2104	14,1	12,6	28,4	0,8	5,3
O	8	7165	33,2	29,7	50,2	1,5	4,4
Al	13	366	0,5	0,4	0,4	0,1	12,0
Fe	26	3940	39,3	35,1	17,0	2,9	7,2
Zn	30	1038	3,1	2,8	1,2	0,3	9,9
Sb	51	619	2,5	2,3	0,5	0,3	10,0
Pb	82	5142	19,2	17,1	2,2	1,1	5,7
		Sum	**112,0**	**100,0**	**100,0**		

P4-03

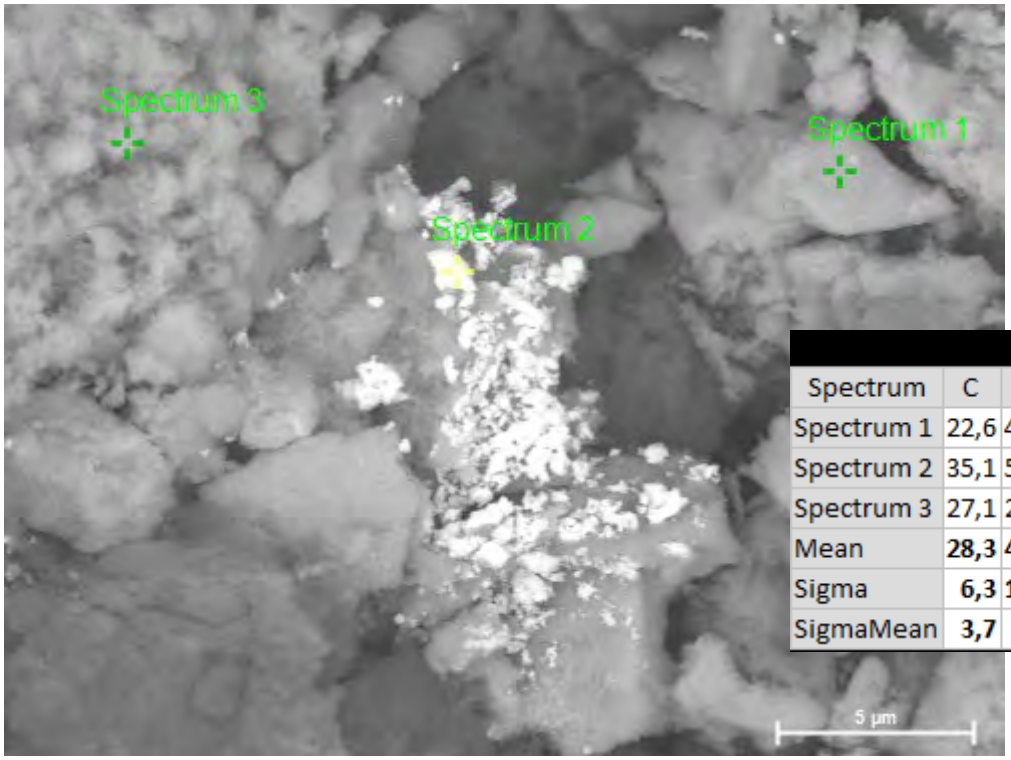


Spectrum	C	O	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Zn	Sb	Pb
Spectrum 1	23,7	47,0		1,6	0,1			23,2	1,1	0,4	2,9
Spectrum 2	32,5	47,3	12,0	3,7		0,4	0,7	3,4			
Spectrum 3	31,8	41,6	1,3	1,1	0,0			19,0			5,1
Mean	**29,3**	**45,3**	**6,7**	**2,2**	**0,0**	**0,4**	**0,7**	**15,2**	**1,1**	**0,4**	**4,0**
Sigma	**4,9**	**3,2**	**7,5**	**1,4**	**0,1**	**0,0**	**0,0**	**10,4**	**0,0**	**0,0**	**1,6**
SigmaMean	**2,8**	**1,8**	**4,3**	**0,8**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**6,0**	**0,0**	**0,0**	**0,9**

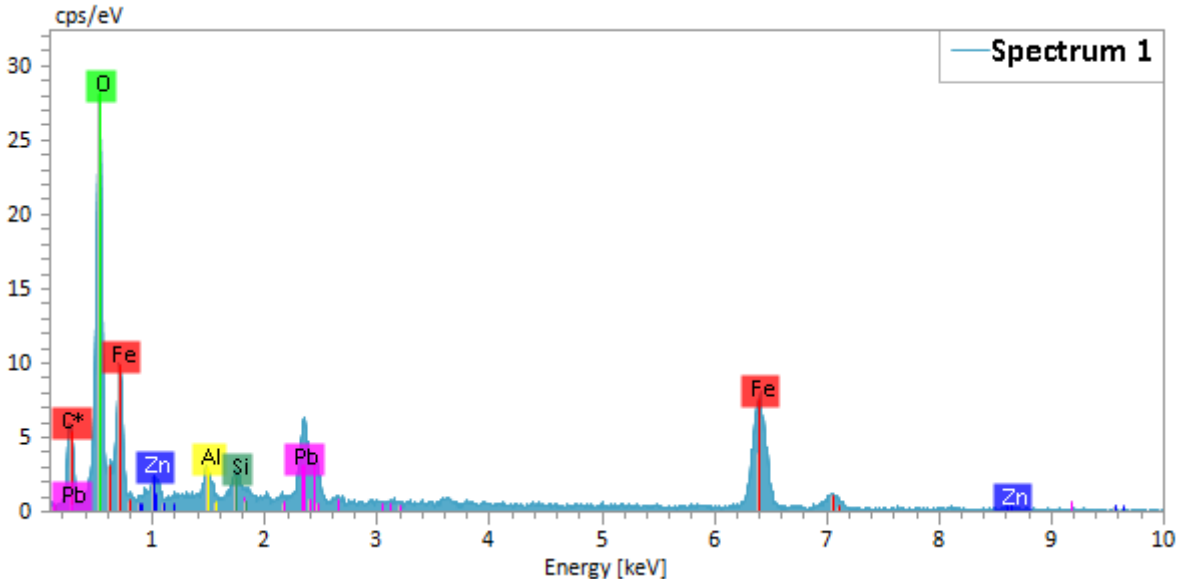


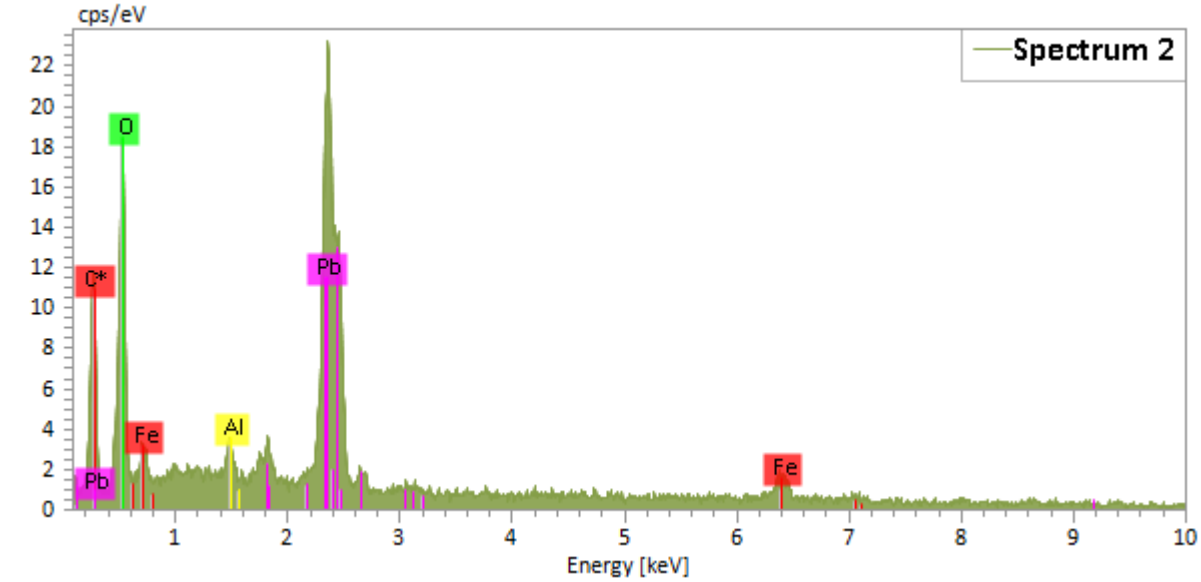


P4-03b

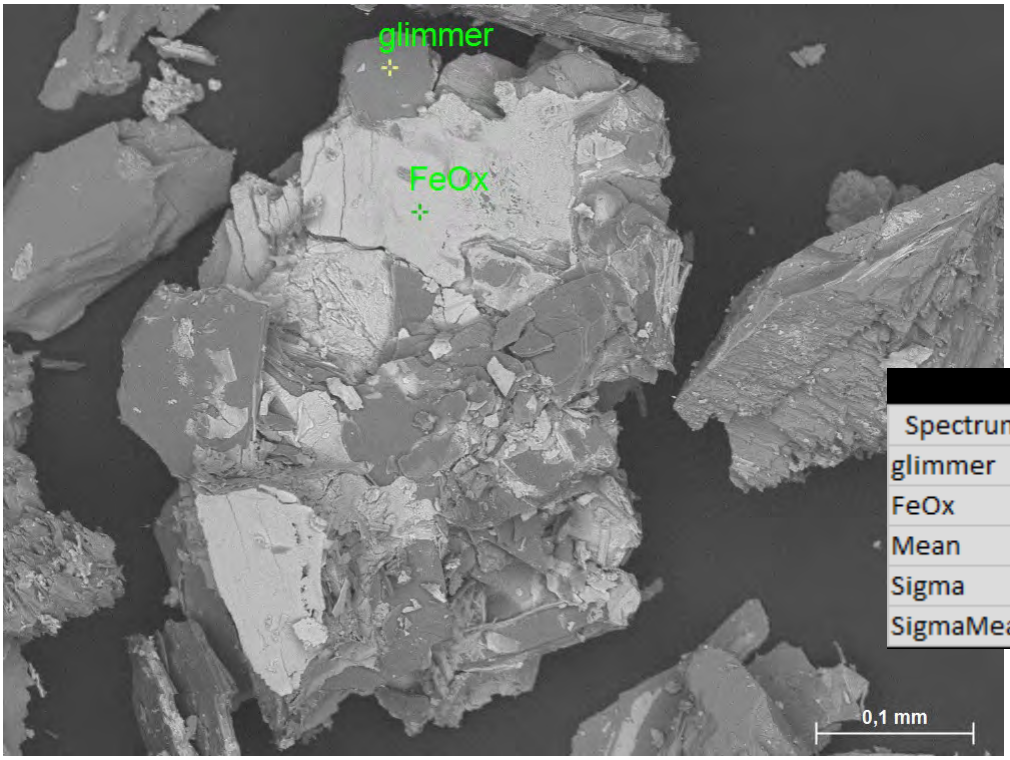


Spectrum	C	O	Al	Si	Fe	Zn	Sb	Pb
Spectrum 1	22,6	48,9	1,3	1,3	23,6	0,5		1,8
Spectrum 2	35,1	52,6	1,1		3,5			7,8
Spectrum 3	27,1	28,4	2,0	2,3	34,6	1,3	0,5	3,8
Mean	**28,3**	**43,3**	**1,5**	**1,8**	**20,6**	**0,9**	**0,5**	**4,5**
Sigma	**6,3**	**13,0**	**0,5**	**0,7**	**15,8**	**0,5**	**0,0**	**3,0**
SigmaMean	**3,7**	**7,5**	**0,3**	**0,4**	**9,1**	**0,3**	**0,0**	**1,7**

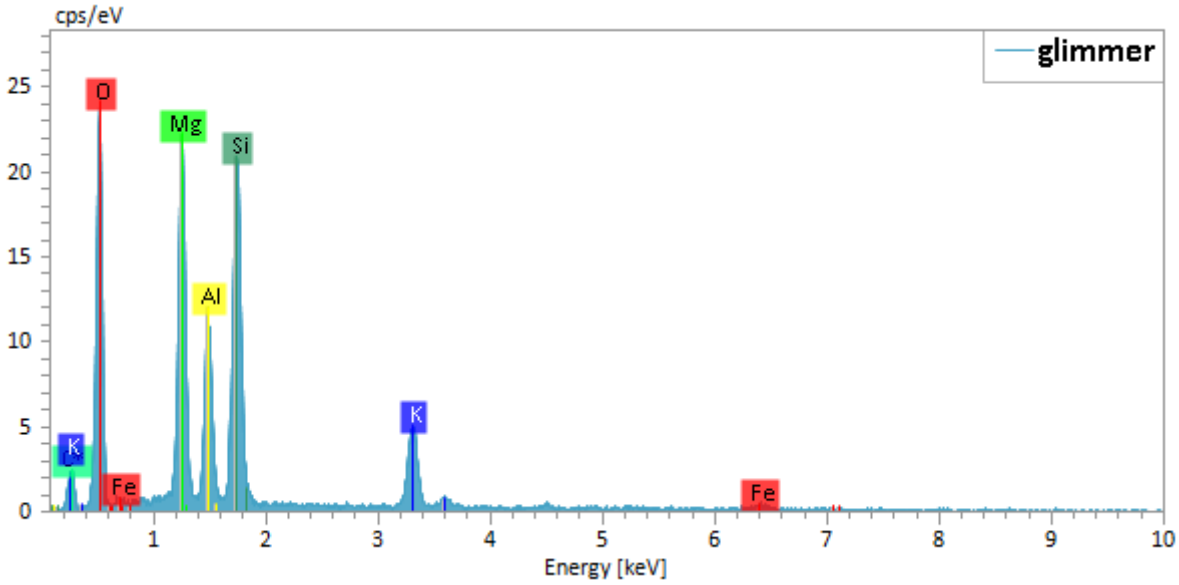


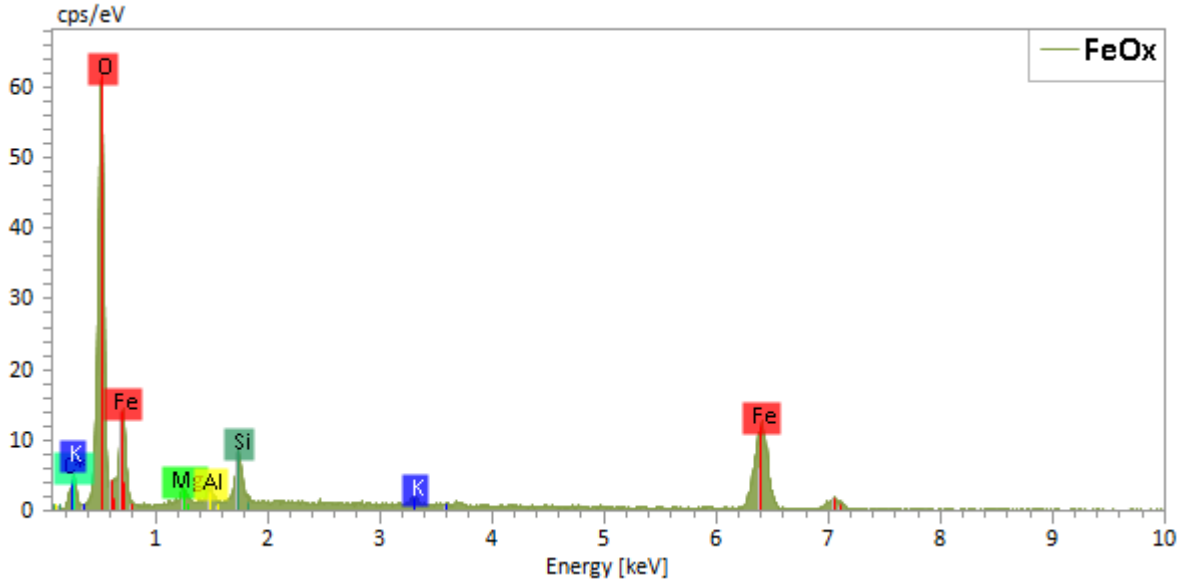


P5-01

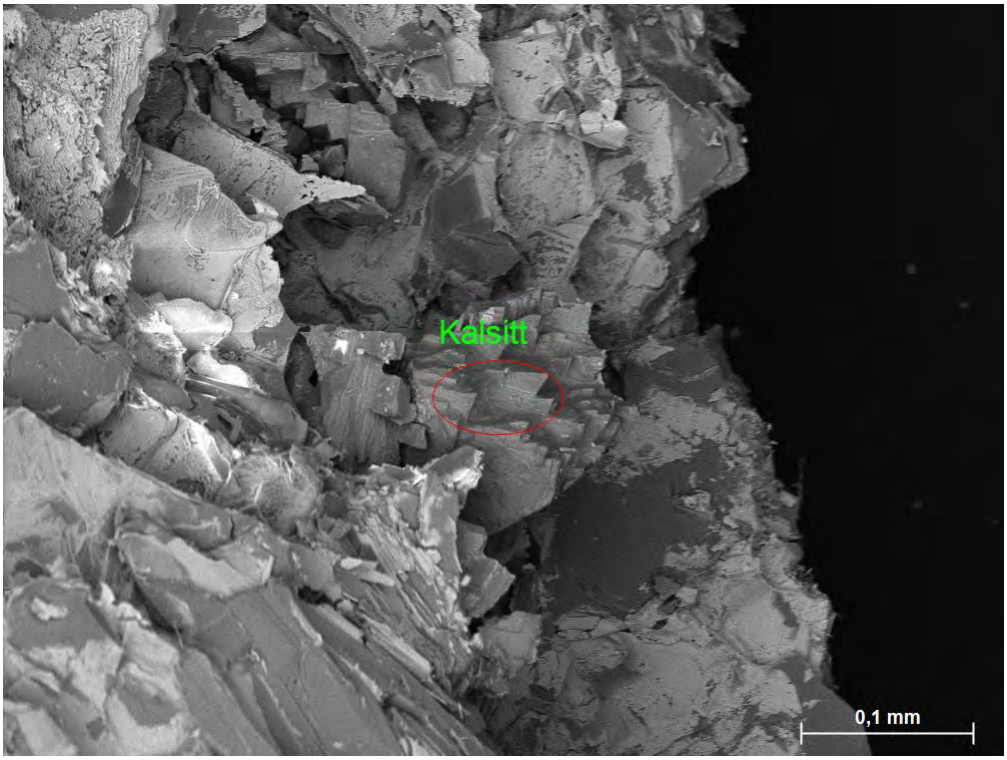


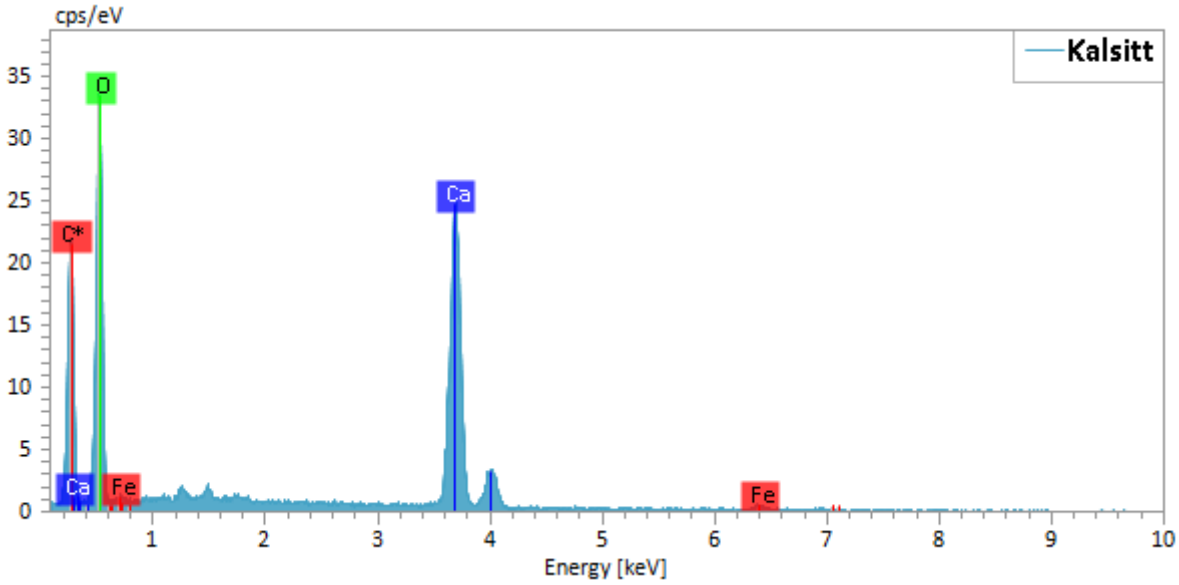
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	K	Fe
glimmer	9,1	54,4	10,9	6,0	14,1	4,9	0,7
FeOx	8,6	58,8	1,2	1,0	3,1	0,5	26,7
Mean	**8,9**	**56,6**	**6,1**	**3,5**	**8,6**	**2,7**	**13,7**
Sigma	**0,3**	**3,2**	**6,9**	**3,5**	**7,7**	**3,1**	**18,4**
SigmaMean	**0,2**	**2,2**	**4,9**	**2,5**	**5,5**	**2,2**	**13,0**





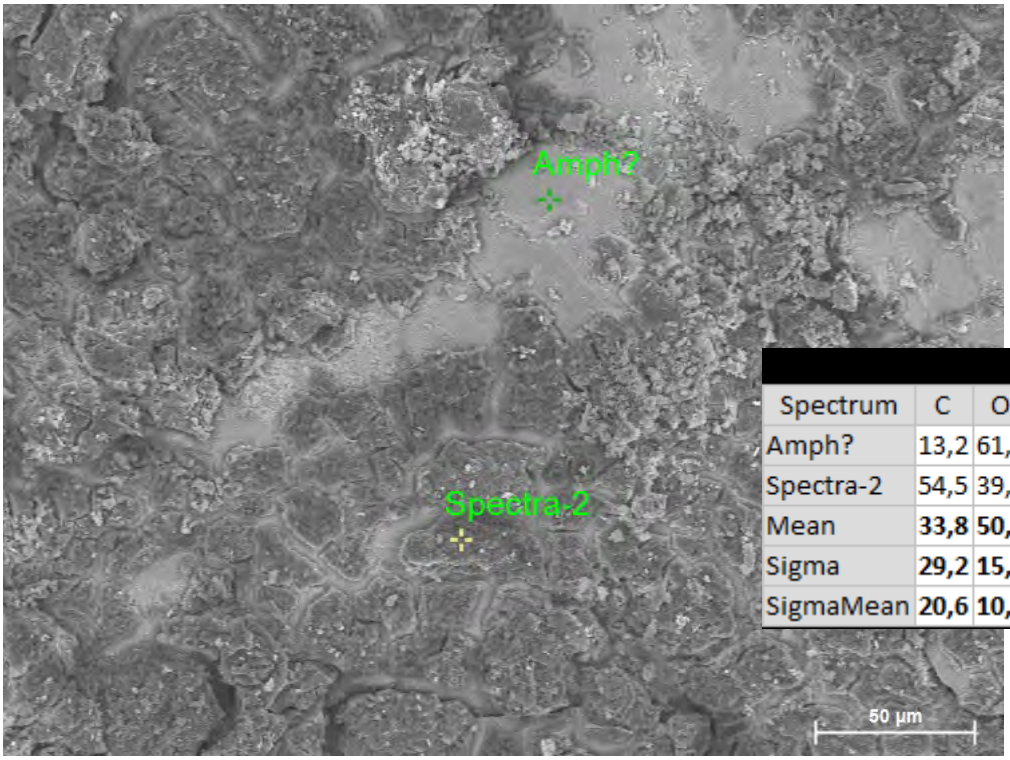
P5-01



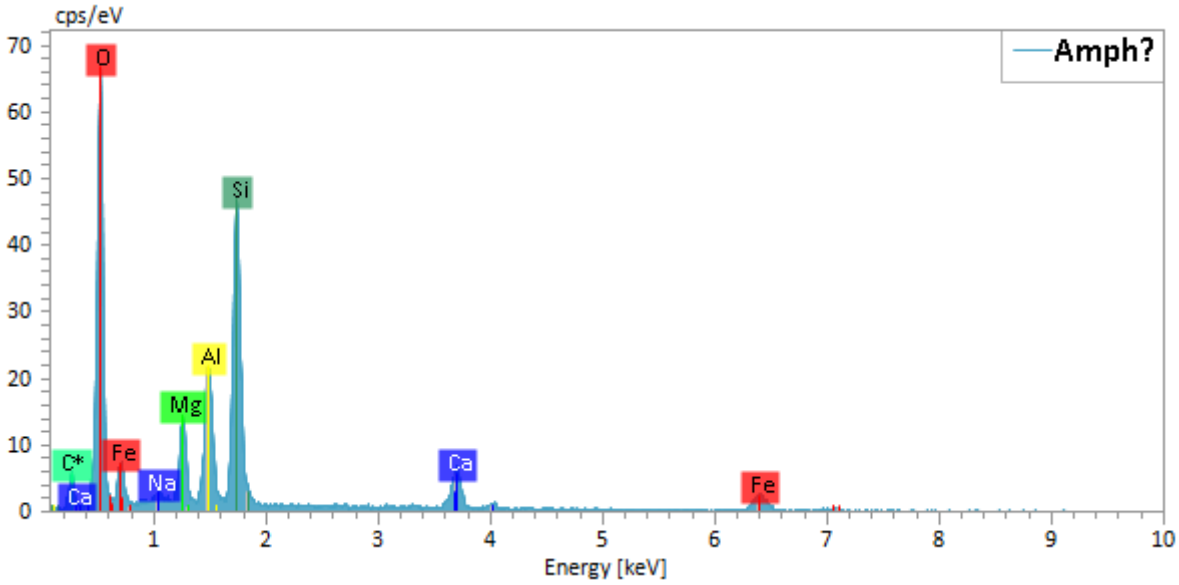


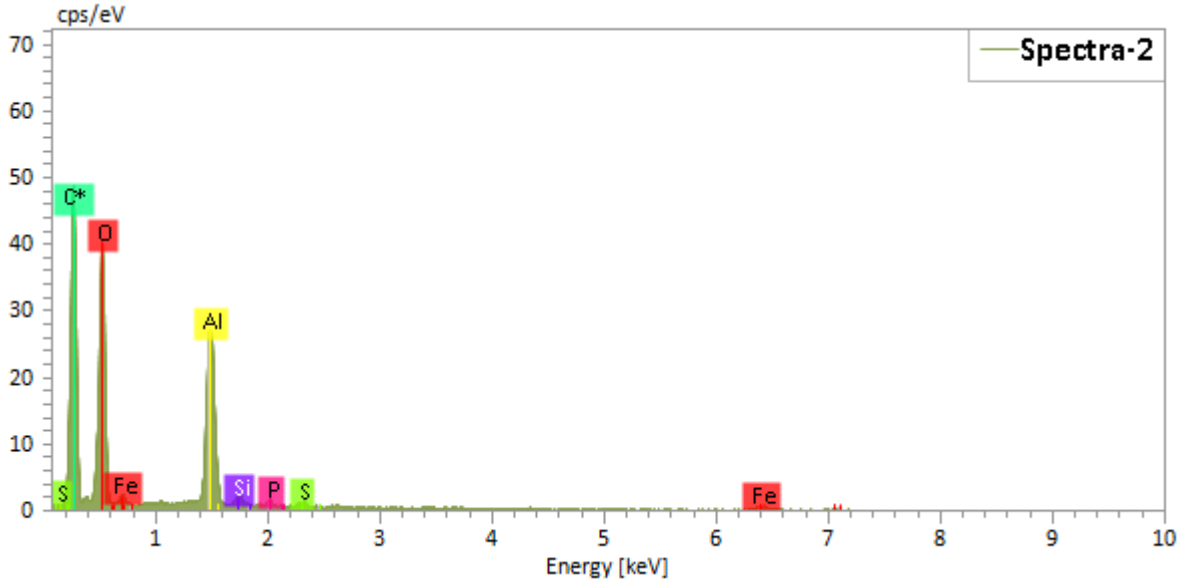
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	4830	18,9	16,9	25,9	0,9	4,7
O	8	8898	58,4	52,4	60,2	2,8	4,9
Ca	20	13903	32,2	28,9	13,2	1,9	6,1
Fe	26	245	2,1	1,8	0,6	0,3	12,9
		Sum	**111,5**	**100,0**	**100,0**		

P6-01b

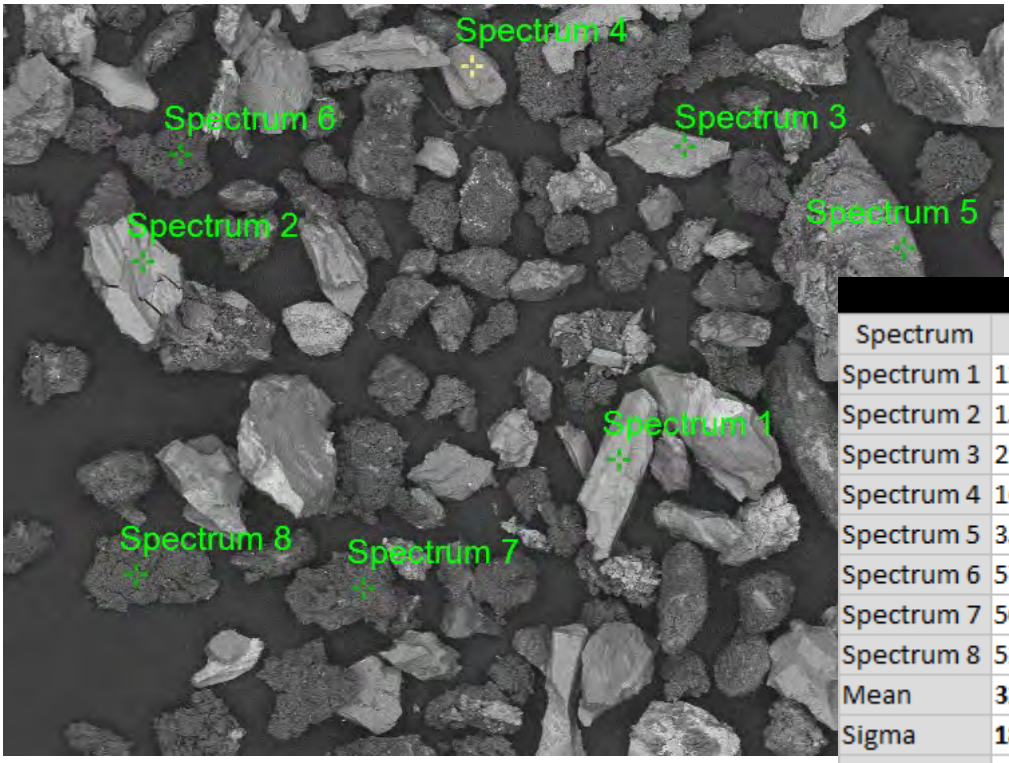


Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Fe
Amph?	13,2	61,0	0,3	2,1	3,5	11,5			3,0	5,6
Spectra-2	54,5	39,4			4,5	0,2	0,1	0,1		1,2
Mean	**33,8**	**50,2**	**0,3**	**2,1**	**4,0**	**5,9**	**0,1**	**0,1**	**3,0**	**3,4**
Sigma	**29,2**	**15,2**	**0,0**	**0,0**	**0,7**	**7,9**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**3,1**
SigmaMean	**20,6**	**10,8**	**0,0**	**0,0**	**0,5**	**5,6**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**2,2**

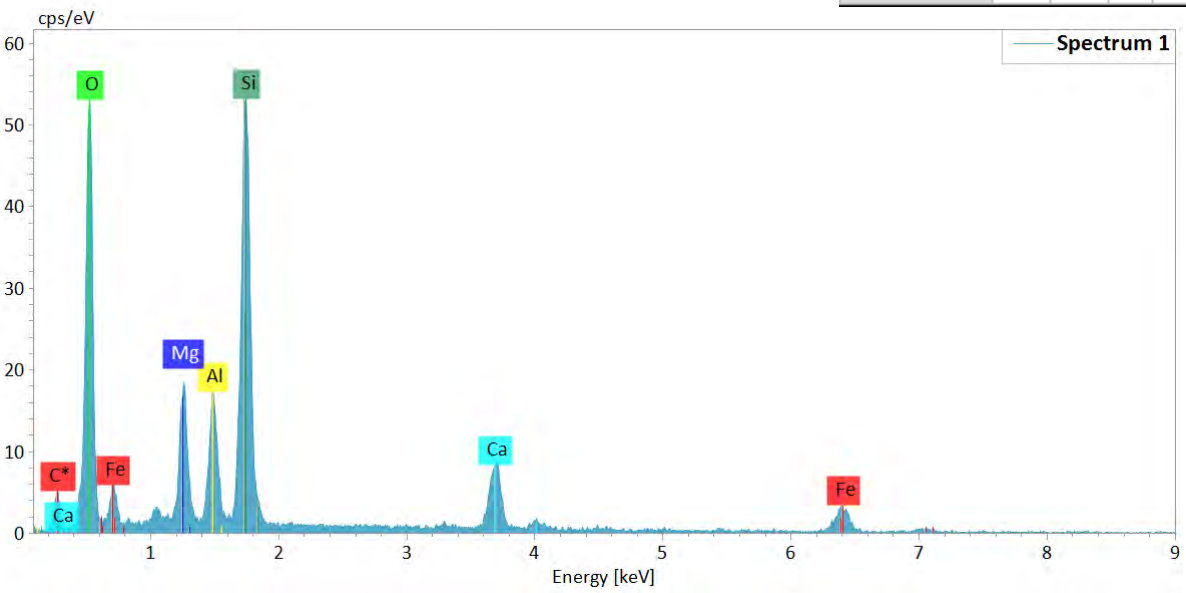


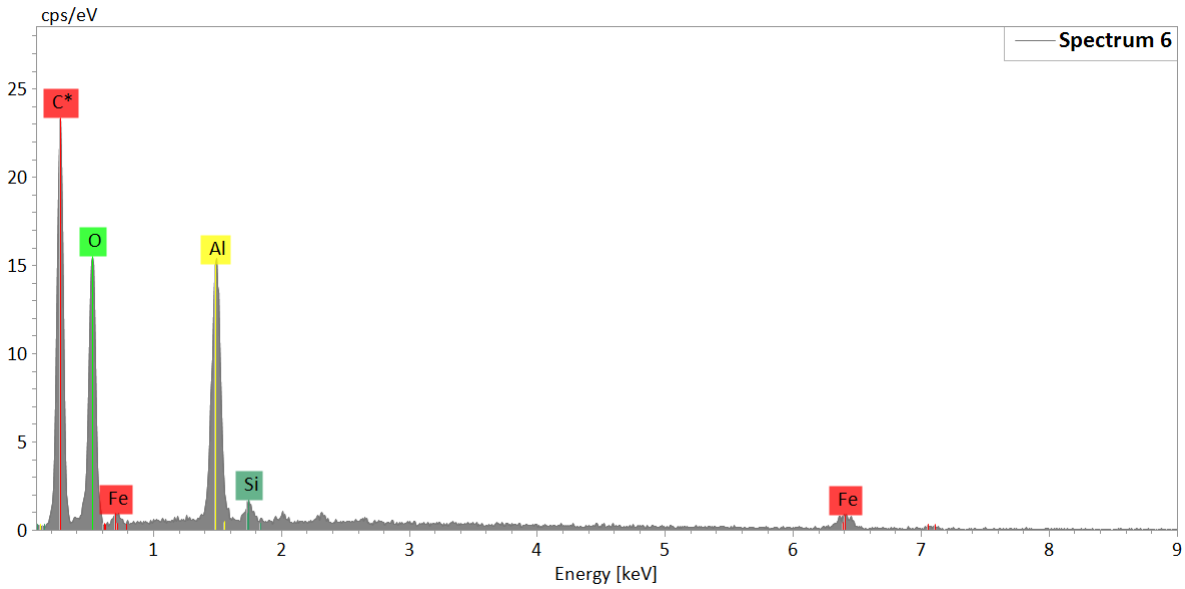


P6-02

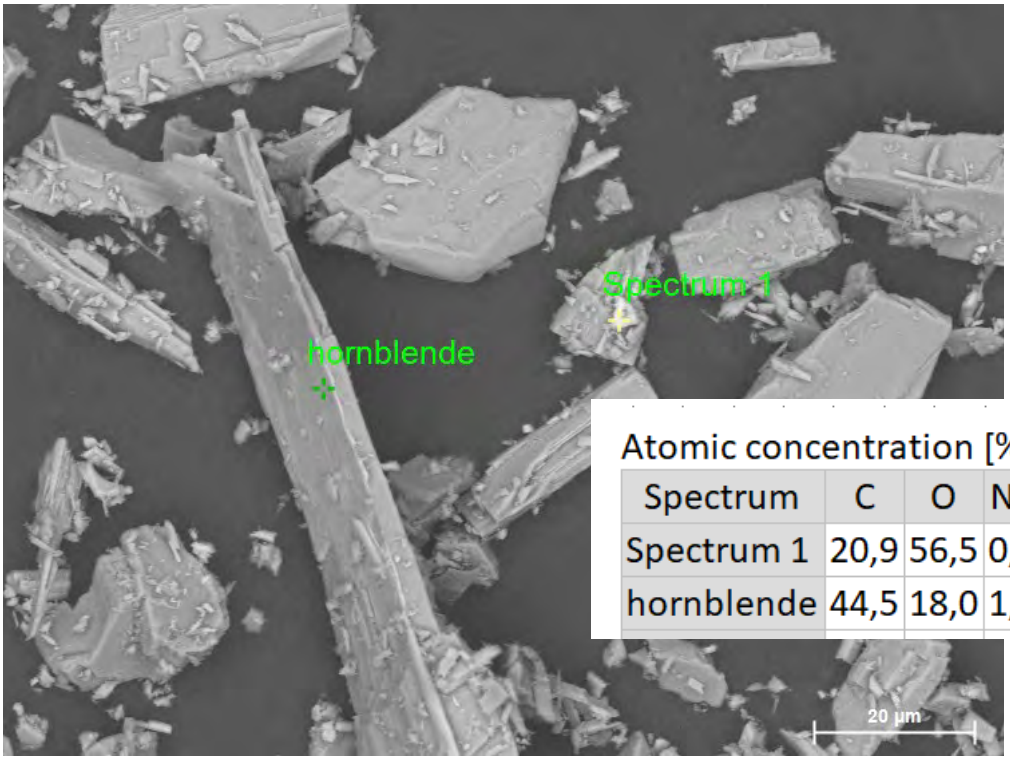


Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe
Spectrum 1	12,0	56,4		3,8	3,4	15,2	3,9		5,3
Spectrum 2	15,3	58,7		2,5	4,6	10,6	2,3		6,2
Spectrum 3	21,1	39,5		2,2	9,5	14,7	4,5		8,6
Spectrum 4	16,0	57,3	2,6		6,1	12,1	1,7		4,2
Spectrum 5	35,6	49,3		0,8	3,1	3,2	1,0		7,1
Spectrum 6	57,4	33,7			6,9	0,4			1,6
Spectrum 7	50,6	42,0			4,7	0,4		0,4	1,9
Spectrum 8	52,3	32,2			11,0	1,1		0,5	2,9
Mean	**32,5**	**46,1**	**2,6**	**2,3**	**6,1**	**7,2**	**2,7**	**0,5**	**4,7**
Sigma	**18,8**	**10,7**	**0,0**	**1,2**	**2,8**	**6,6**	**1,5**	**0,1**	**2,5**
SigmaMean	**6,6**	**3,8**	**0,0**	**0,4**	**1,0**	**2,3**	**0,5**	**0,0**	**0,9**



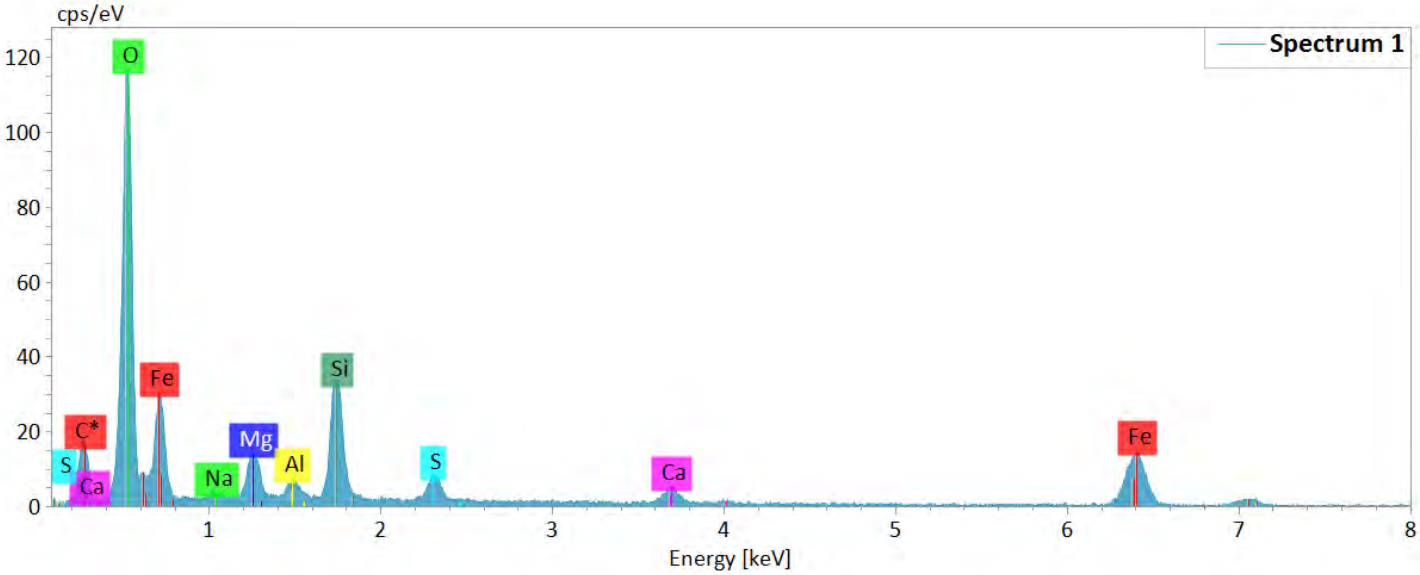


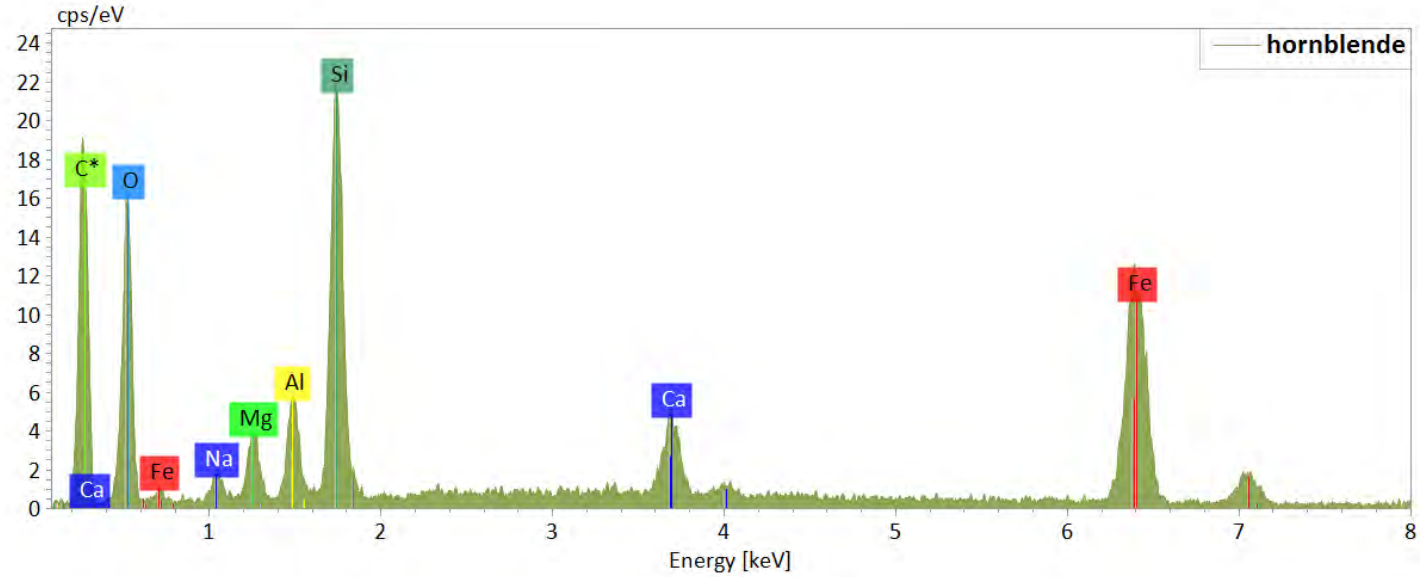
06-02-01b



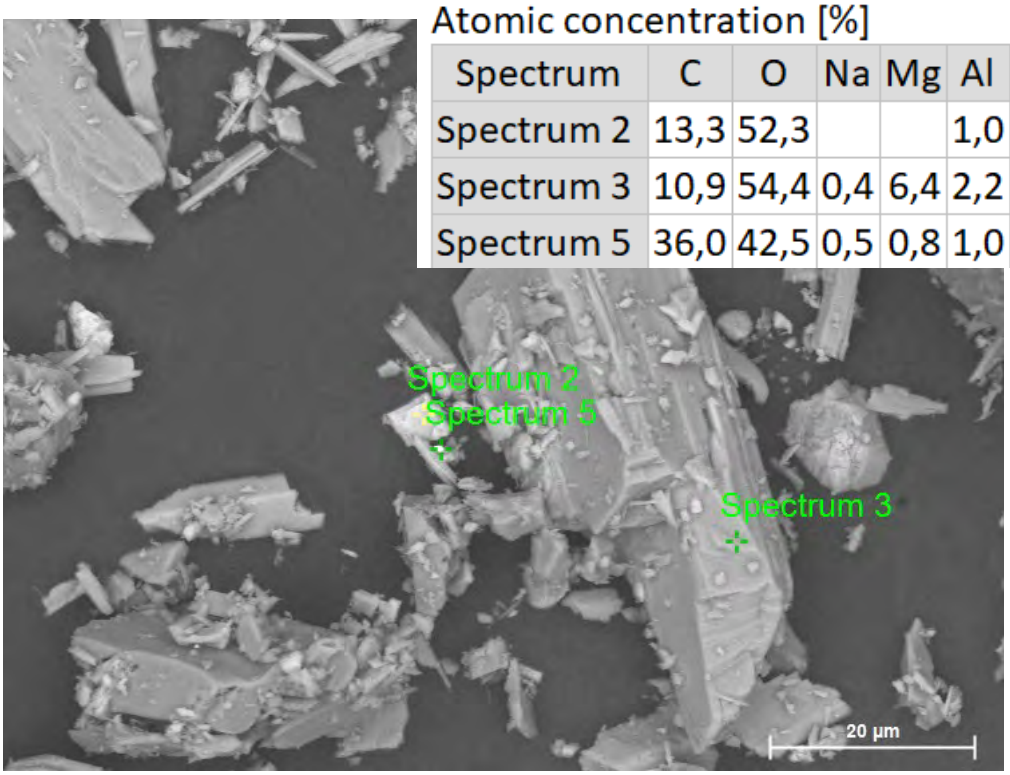
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
Spectrum 1	20,9	56,5	0,2	1,2	0,4	4,2	1,4	1,3	13,8
hornblende	44,5	18,0	1,4	2,5	3,2	13,3		1,8	15,2



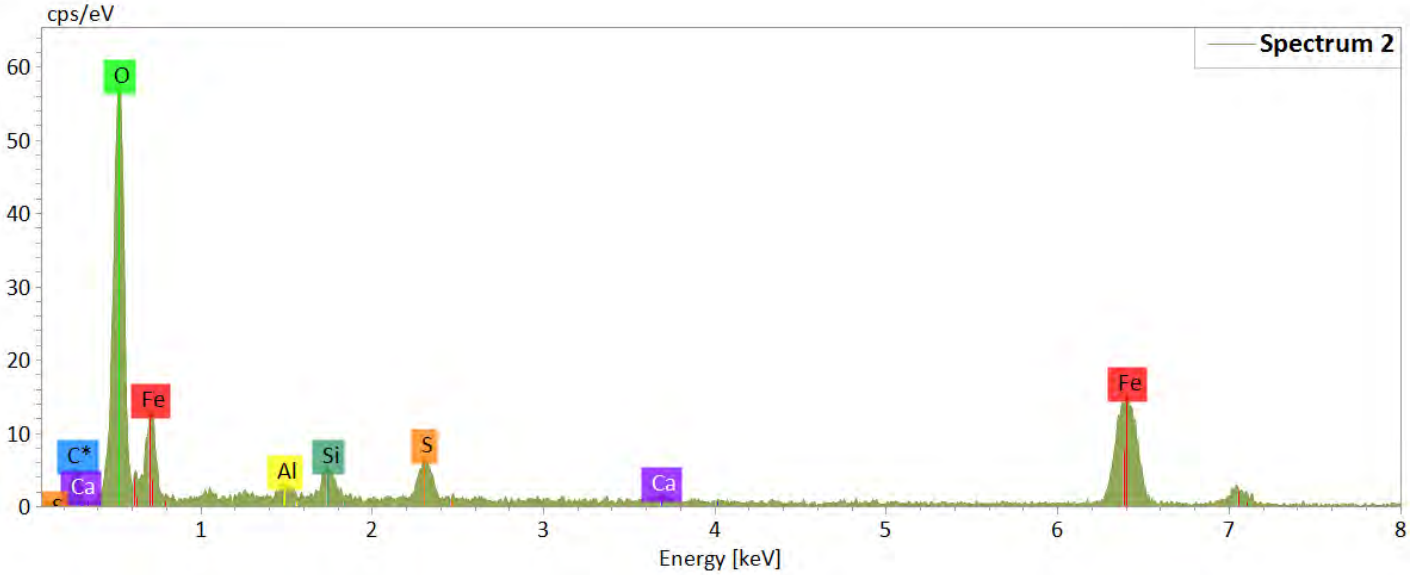


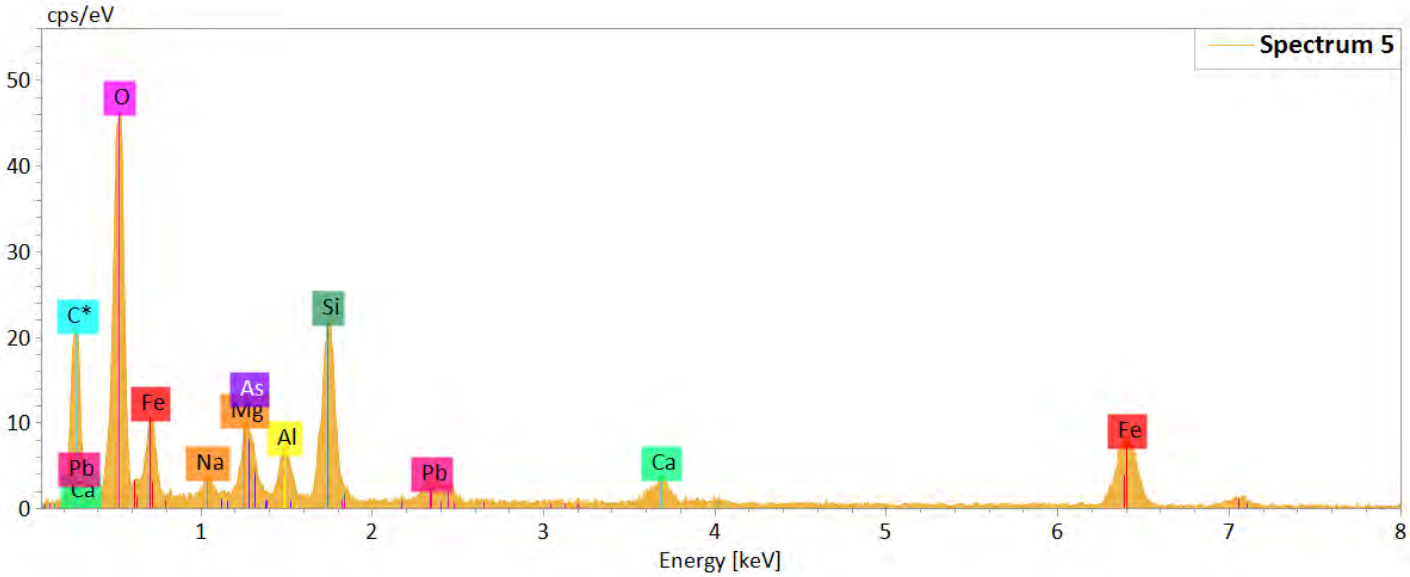
06-02-01c



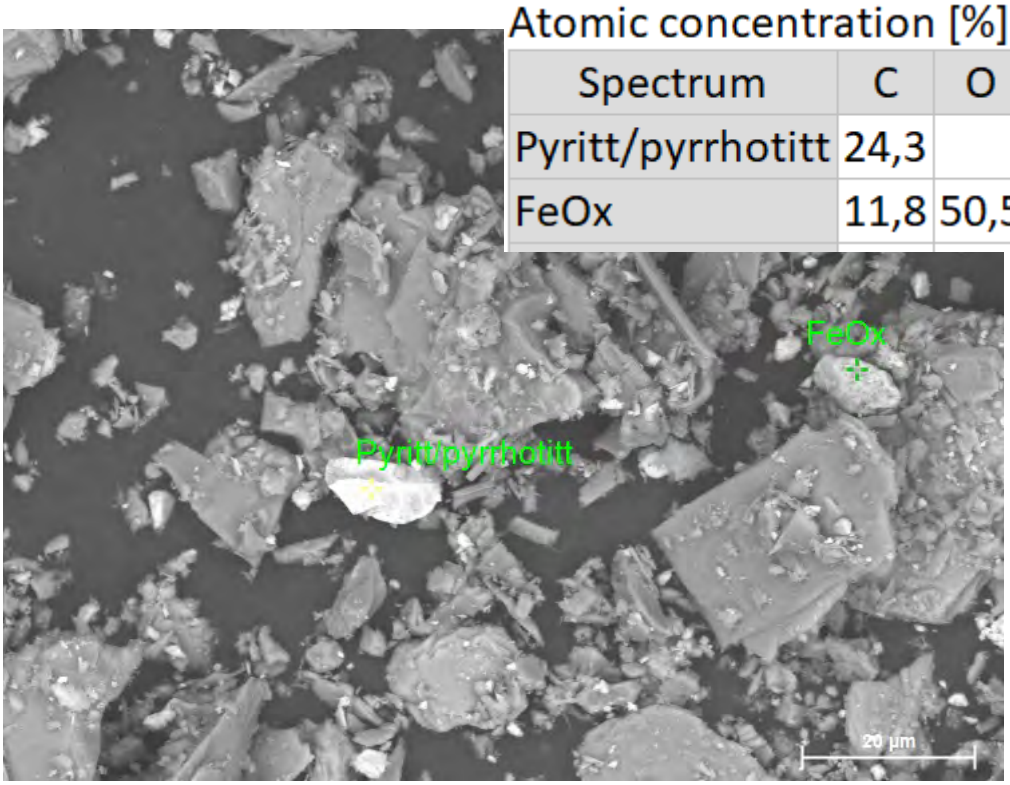
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	As	Pb
Spectrum 2	13,3	52,3			1,0	2,5	2,9	0,6	27,4		
Spectrum 3	10,9	54,4	0,4	6,4	2,2	18,7		4,0	3,1		
Spectrum 5	36,0	42,5	0,5	0,8	1,0	4,5		2,1	11,7	0,6	0,4



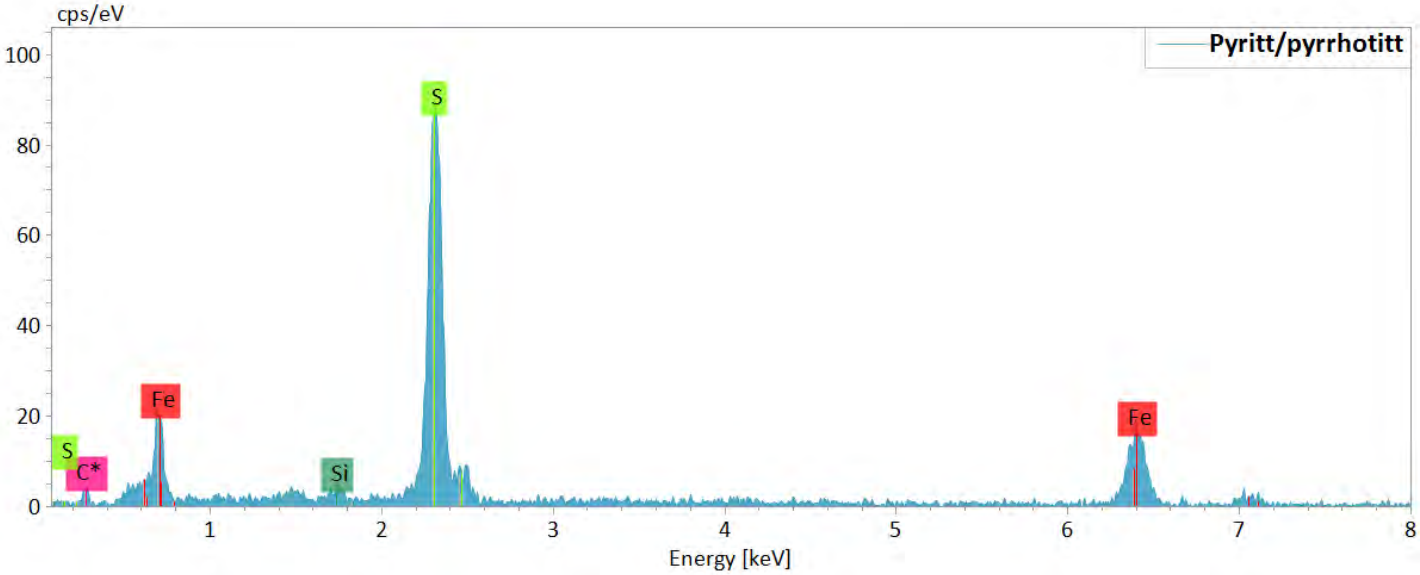


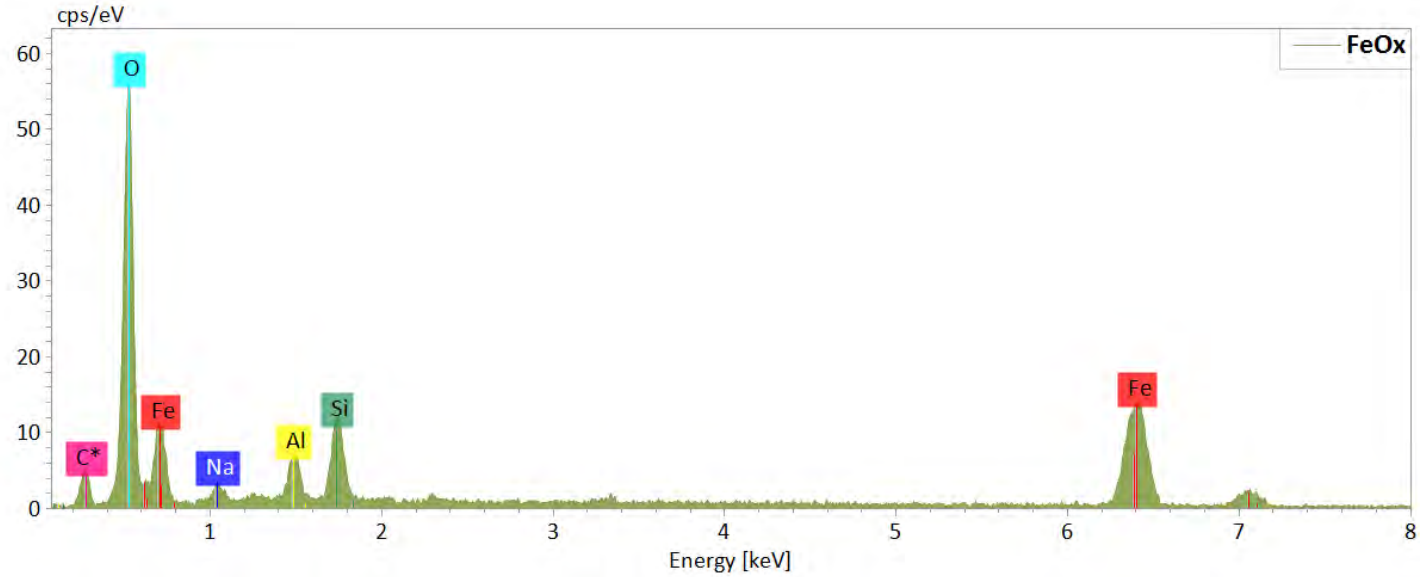
06-08B-01b



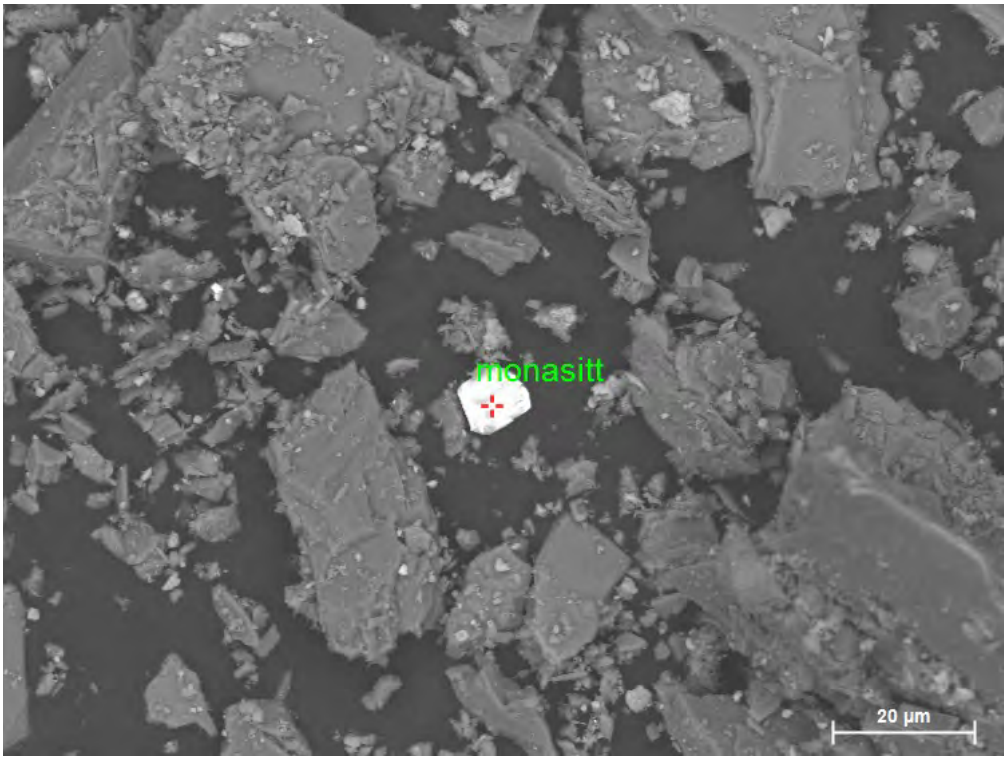
Atomic concentration [%]

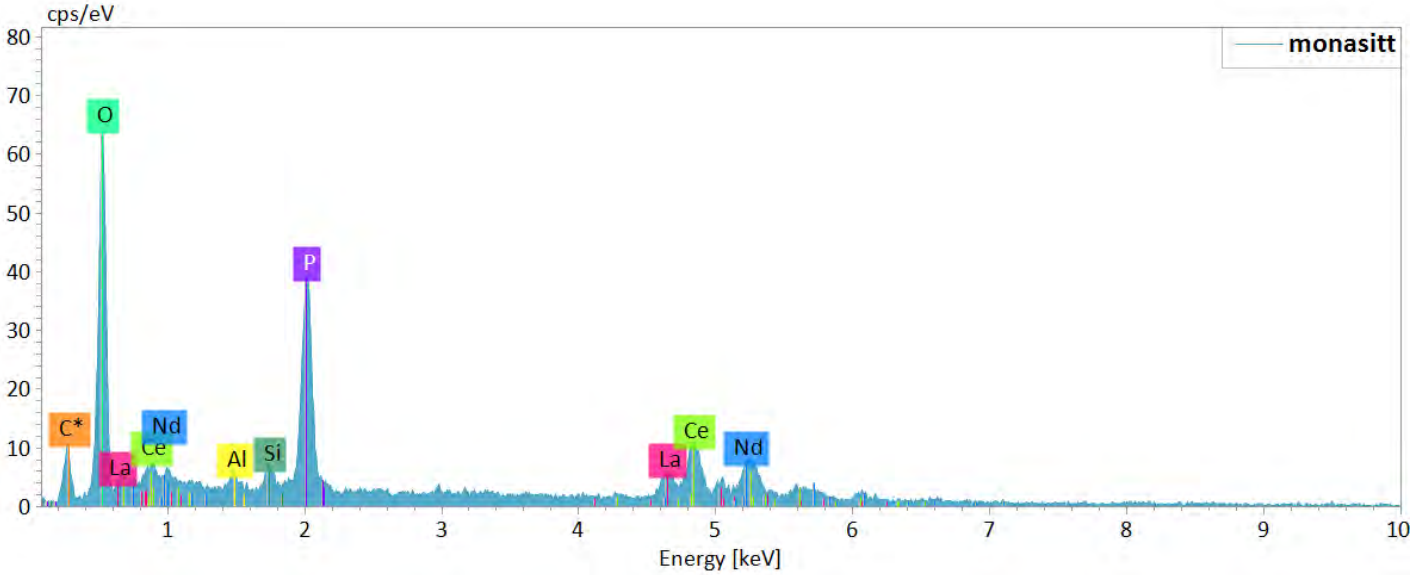
Spectrum	C	O	Na	Al	Si	S	Fe
Pyritt/pyrrhotitt	24,3				1,2	38,4	36,1
FeOx	11,8	50,5	1,6	2,7	6,0		27,4





06-08B-01c

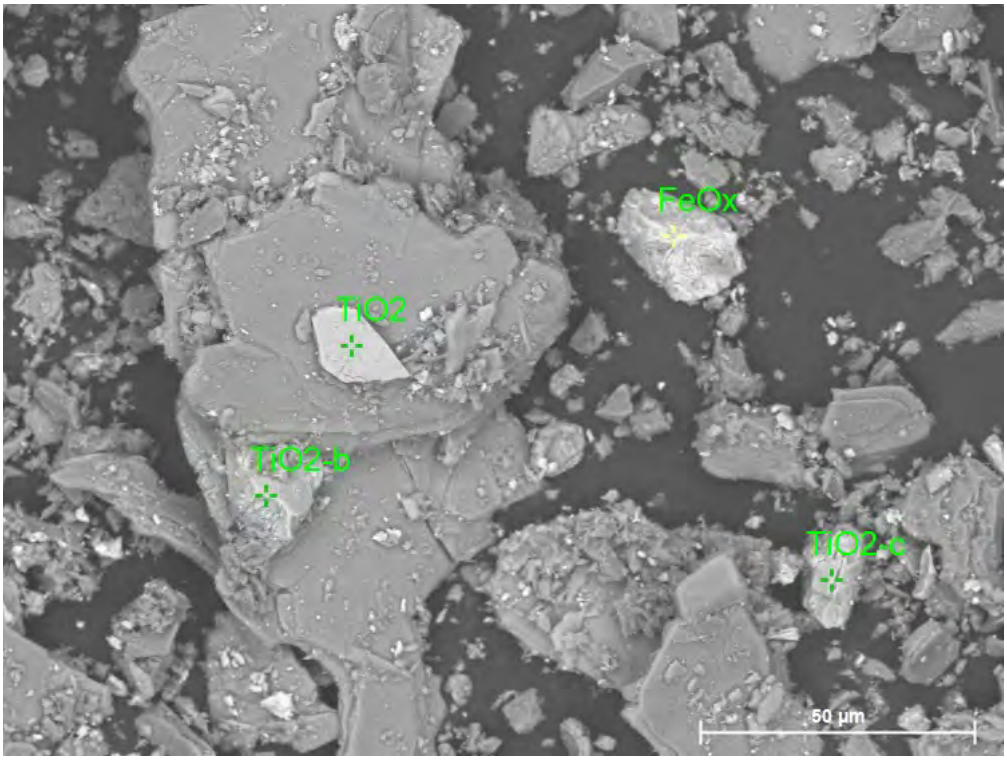


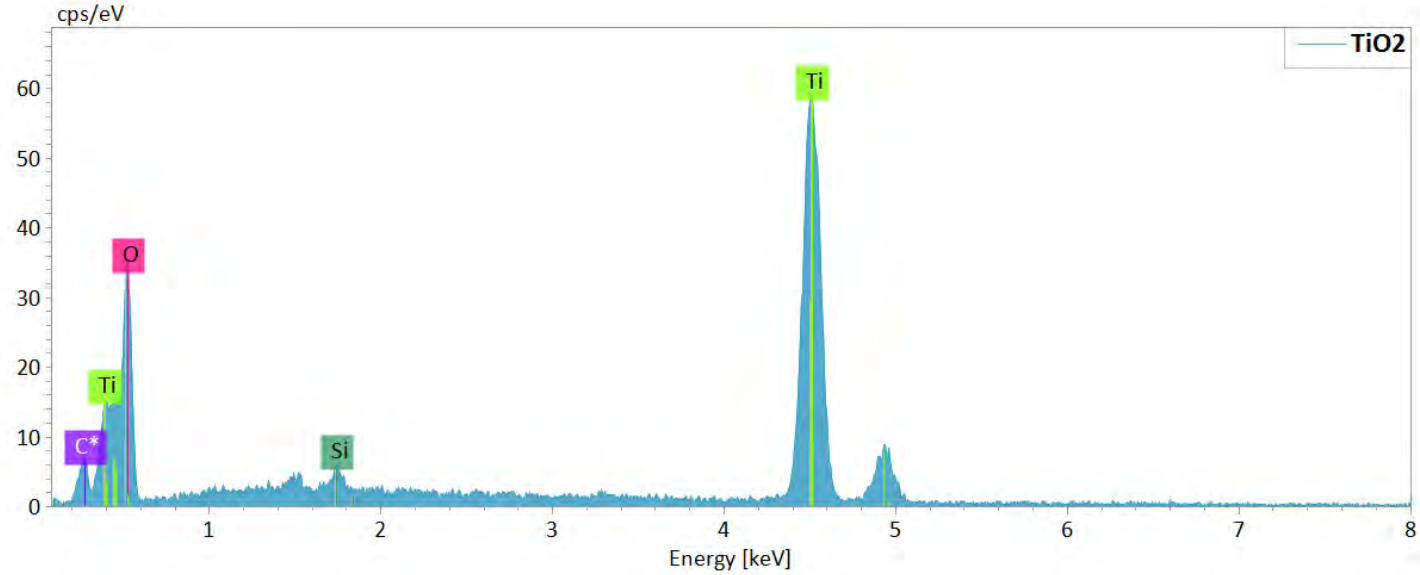


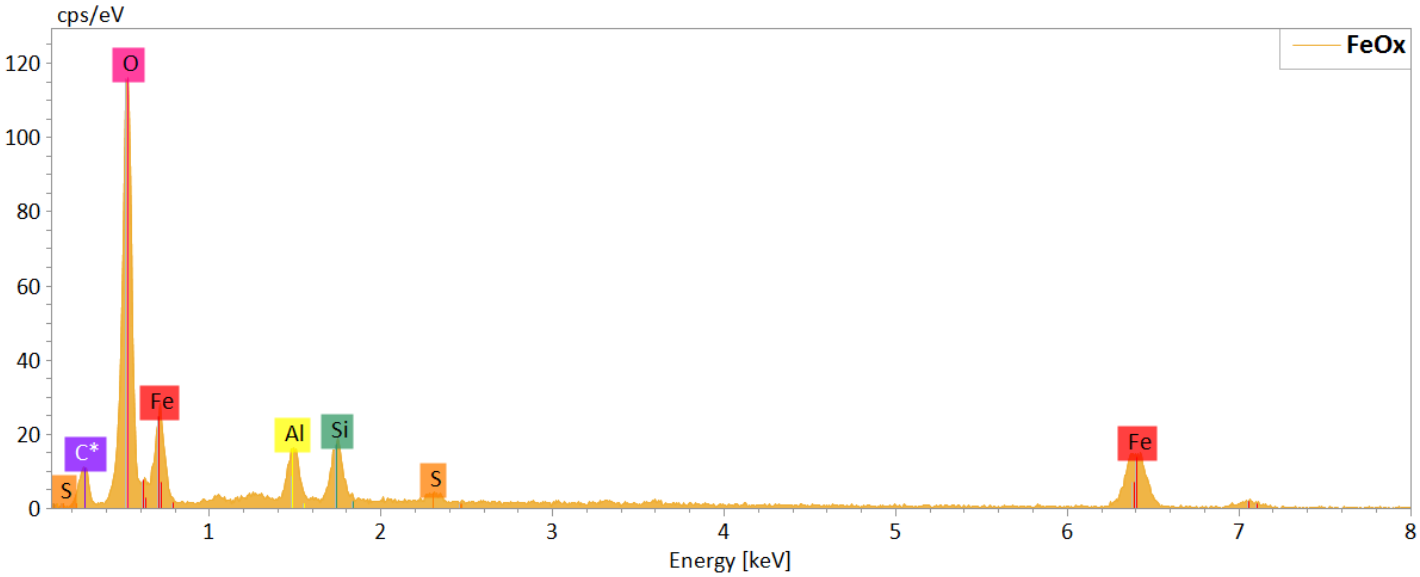
monasitt

Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	751	4,7	6,0	17,2	0,3	6,4
O	8	5669	18,9	23,9	51,7	0,8	4,3
Al	13	346	0,7	0,9	1,2	0,1	12,3
Si	14	505	1,0	1,3	1,6	0,1	10,0
P	15	5482	10,4	13,2	14,8	0,6	5,7
La	57	1747	10,6	13,5	3,4	0,7	6,5
Ce	58	3433	22,8	28,9	7,1	1,3	5,9
Nd	60	1225	9,7	12,2	2,9	0,8	8,3
		Sum	**78,8**	**100,0**	**100,0**		

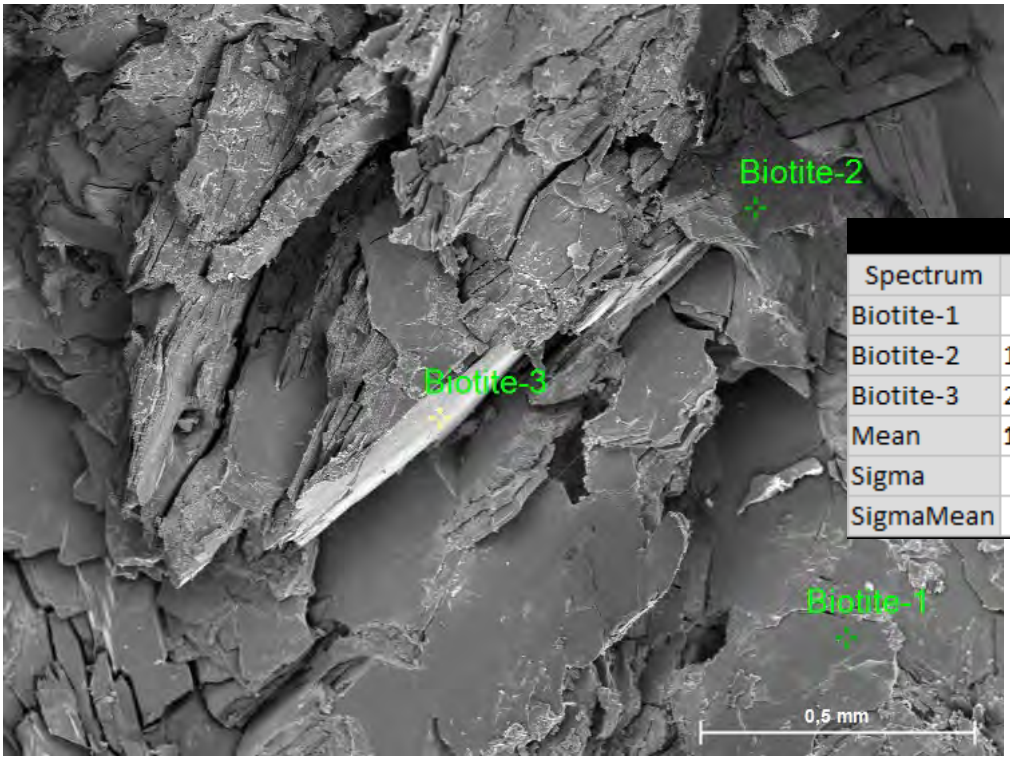
06-08B-01d


FeOx
TiO2
TiO2-b
TiO2-c
50 µm

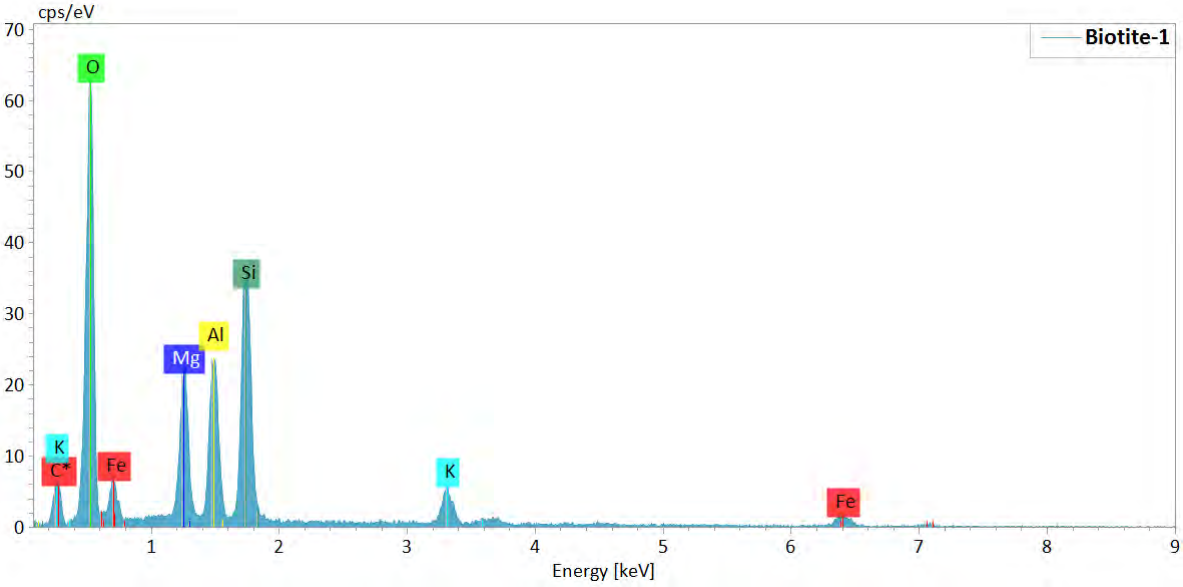

cps/eV
TiO2
Ti
O
Ti
C*
Si
Energy [keV]

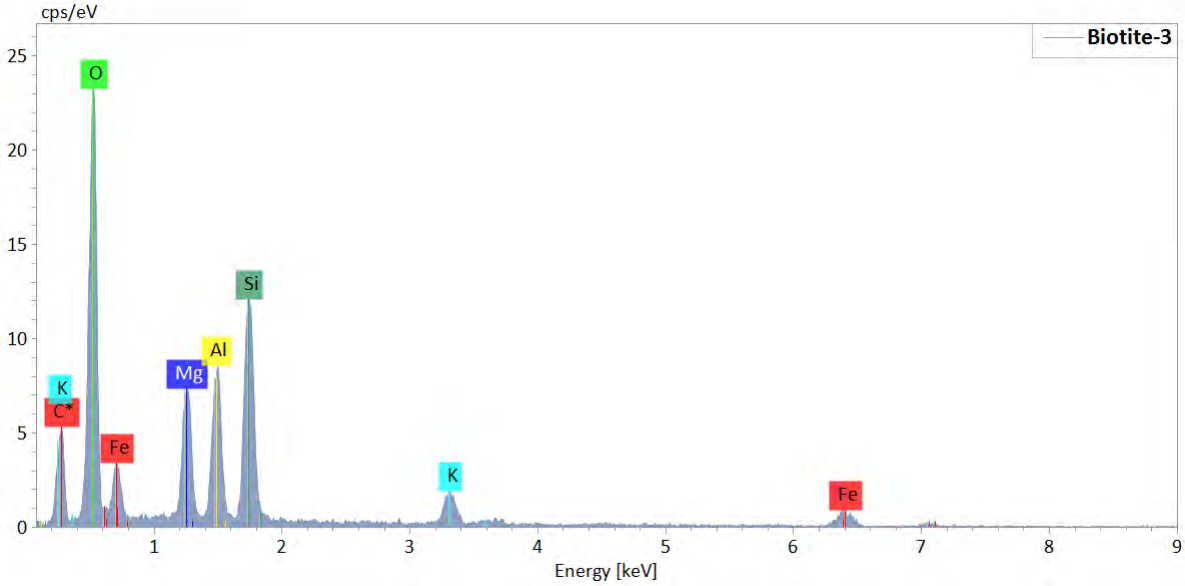

cps/eV
FeOx
O
Fe
C*
S
Al
Si
S
Fe
Energy [keV]

06-9-01

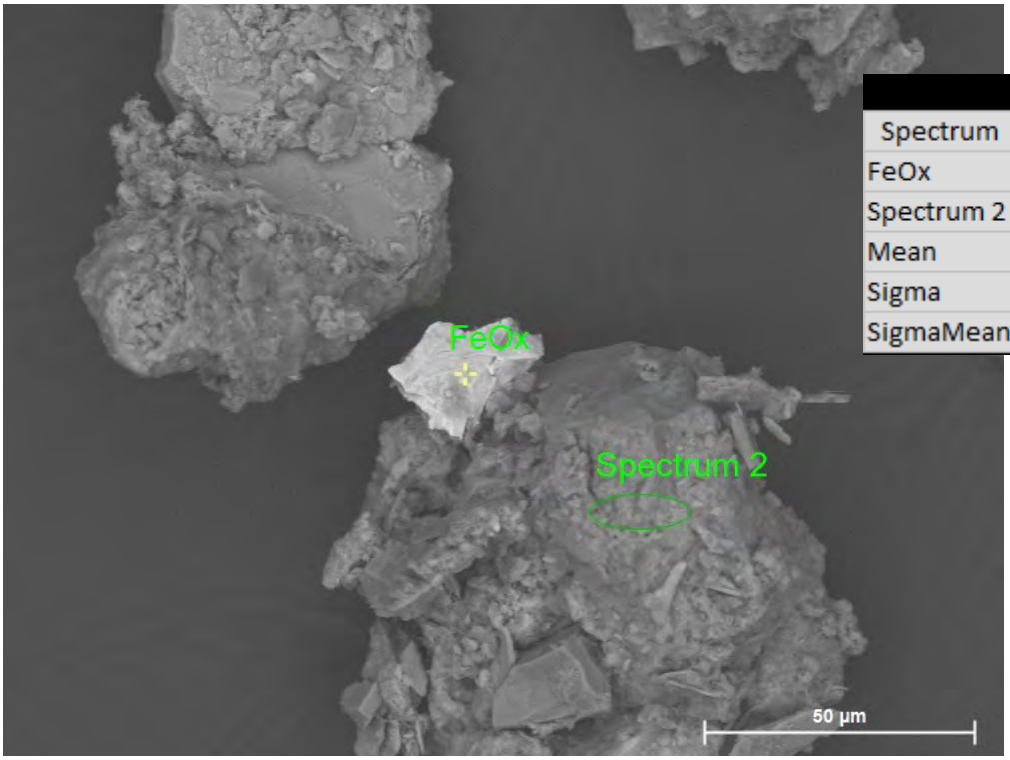


Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	K	Mn	Fe
Biotite-1	8,9	62,8	4,8	5,7	12,1	2,3		3,3
Biotite-2	13,0	63,5	4,5	4,6	9,2	1,5	0,5	3,2
Biotite-3	20,3	56,6	4,0	4,6	8,8	2,1		3,6
Mean	**14,1**	**61,0**	**4,4**	**4,9**	**10,0**	**2,0**	**0,5**	**3,4**
Sigma	**5,8**	**3,8**	**0,4**	**0,7**	**1,8**	**0,4**	**0,0**	**0,2**
SigmaMean	**3,3**	**2,2**	**0,2**	**0,4**	**1,1**	**0,2**	**0,0**	**0,1**

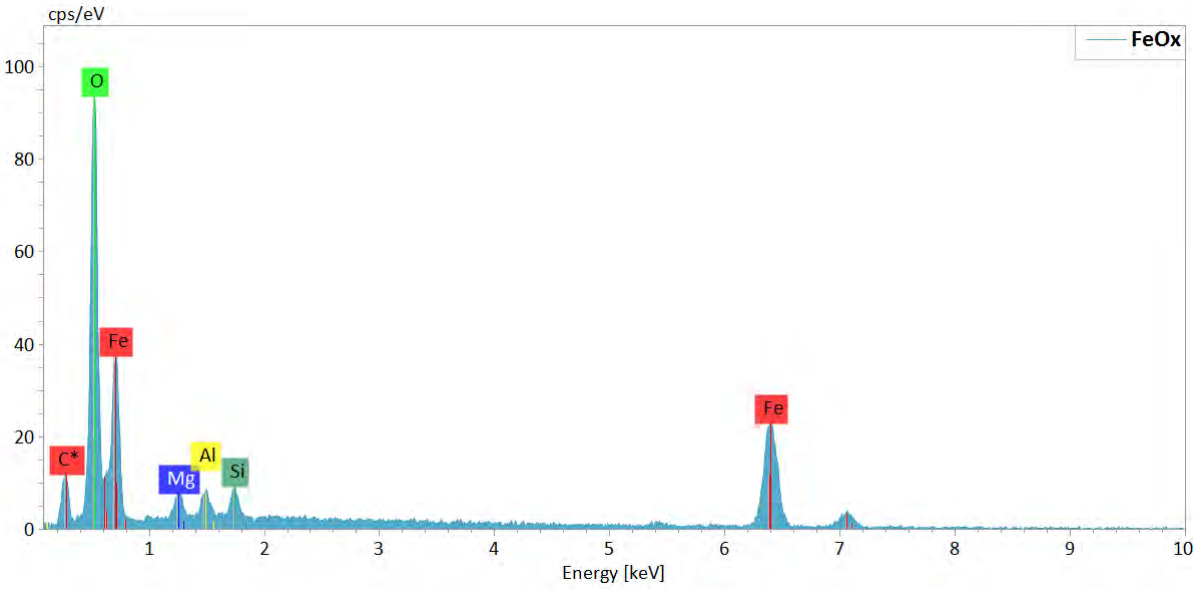


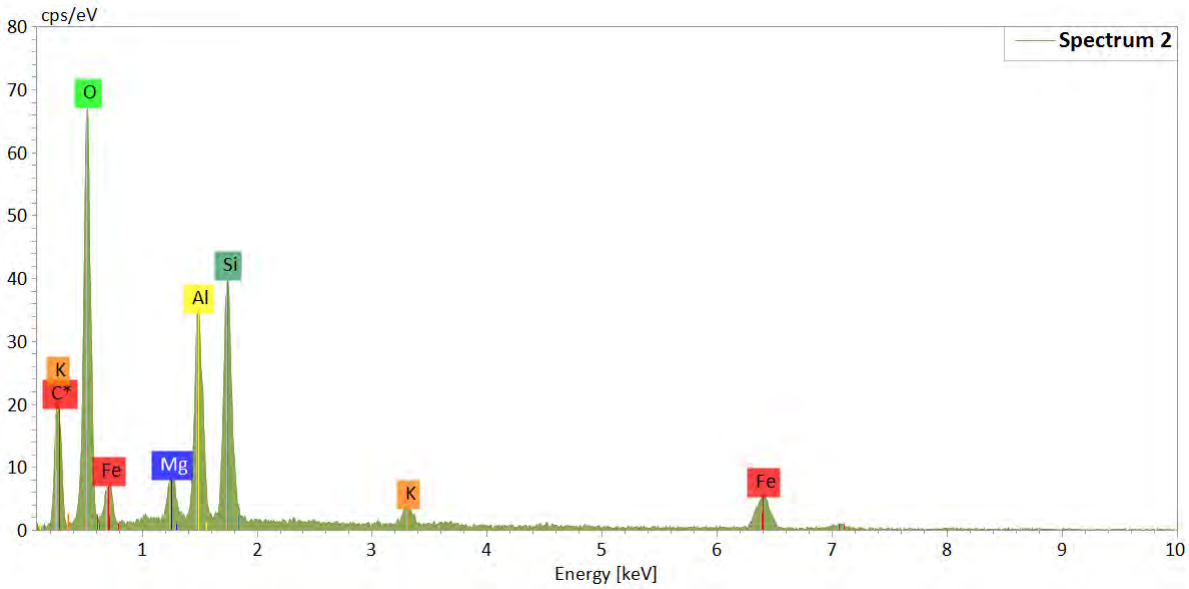


06-10-01

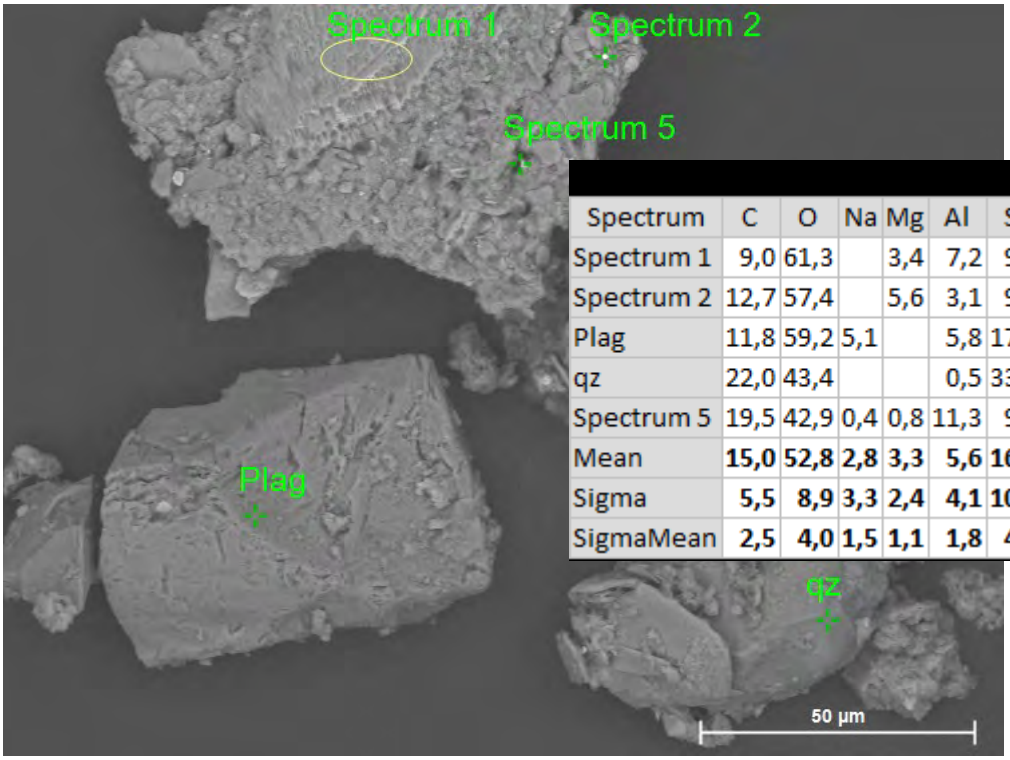


Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	K	Fe
FeOx	13,1	53,6	1,5	1,4	1,6		28,7
Spectrum 2	22,2	51,5	1,6	7,3	9,7	1,0	6,8
Mean	**17,7**	**52,6**	**1,6**	**4,3**	**5,6**	**1,0**	**17,8**
Sigma	**6,5**	**1,5**	**0,0**	**4,1**	**5,7**	**0,0**	**15,5**
SigmaMean	**4,6**	**1,1**	**0,0**	**2,9**	**4,0**	**0,0**	**10,9**

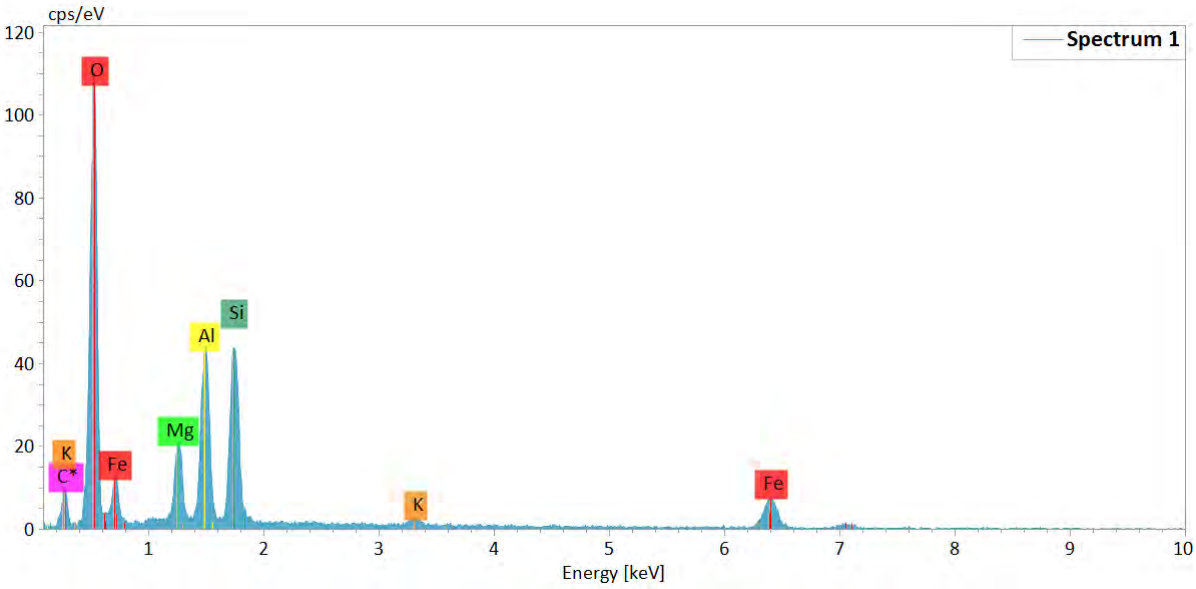


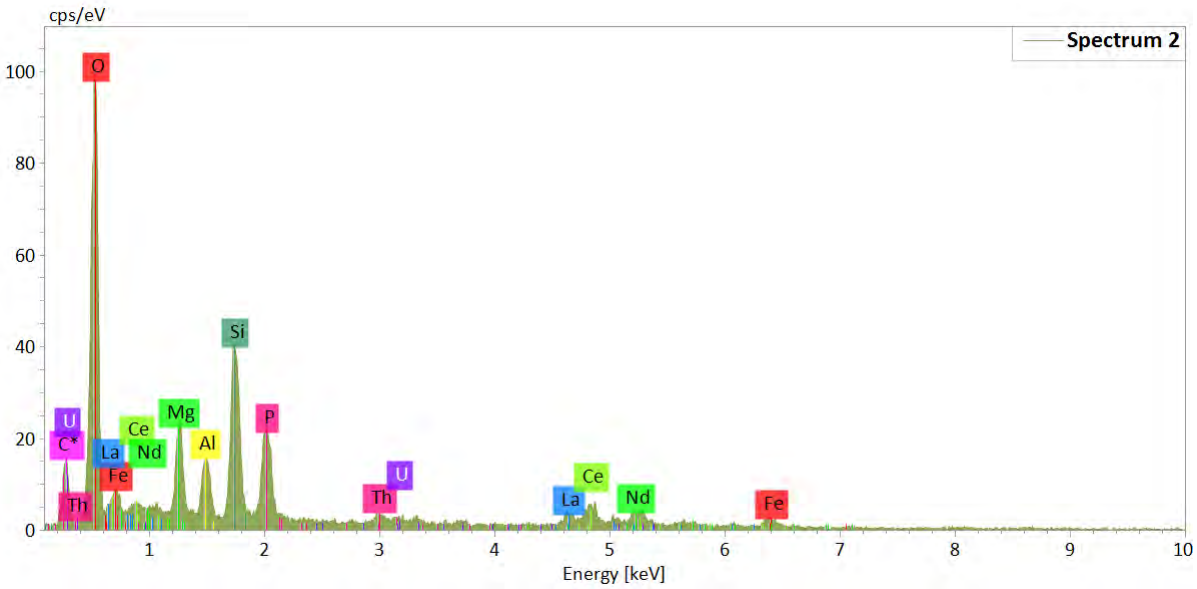


06-10-02

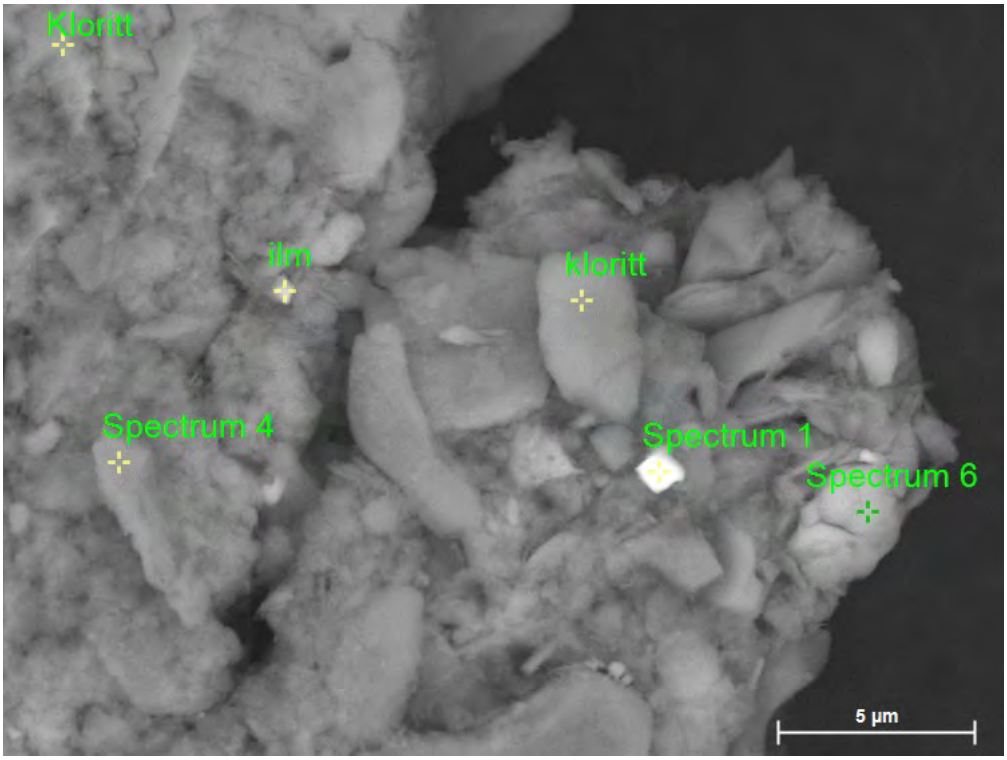


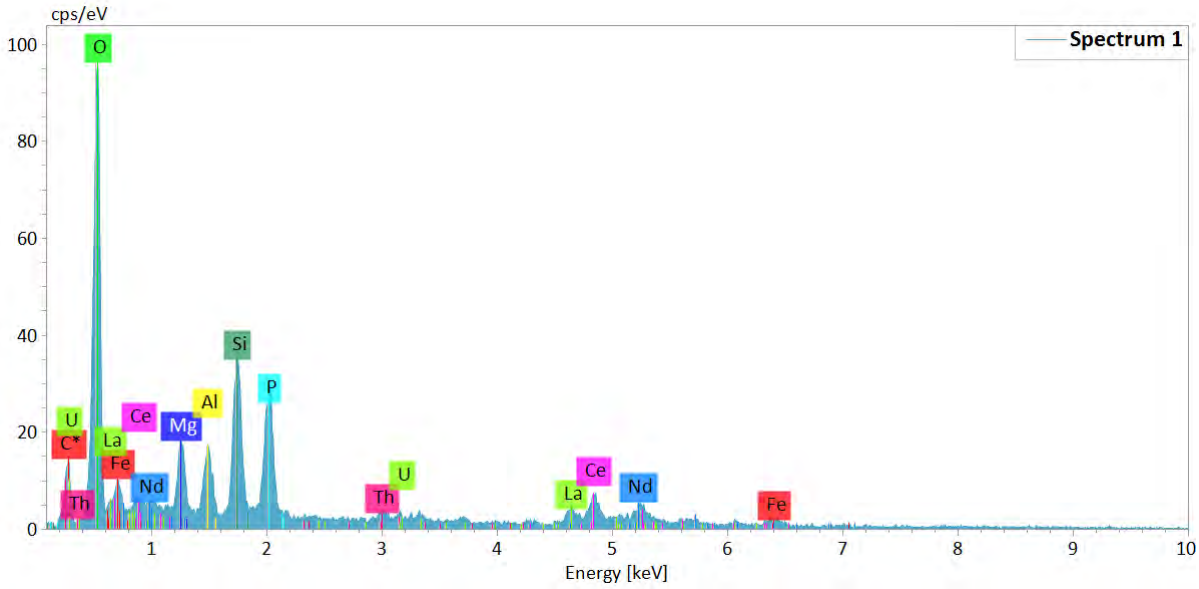
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe	La	Ce	Nd	Th	U
Spectrum 1	9,0	61,3		3,4	7,2	9,2		0,6		9,4					
Spectrum 2	12,7	57,4		5,6	3,1	9,5	5,0			2,0	1,3	2,3	0,9	0,3	0,1
Plag	11,8	59,2	5,1		5,8	17,6			0,6						
qz	22,0	43,4			0,5	33,7				0,4					
Spectrum 5	19,5	42,9	0,4	0,8	11,3	9,9		1,0		14,2					
Mean	**15,0**	**52,8**	**2,8**	**3,3**	**5,6**	**16,0**	**5,0**	**0,8**	**0,6**	**6,5**	**1,3**	**2,3**	**0,9**	**0,3**	**0,1**
Sigma	**5,5**	**8,9**	**3,3**	**2,4**	**4,1**	**10,5**	**0,0**	**0,3**	**0,0**	**6,5**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
SigmaMean	**2,5**	**4,0**	**1,5**	**1,1**	**1,8**	**4,7**	**0,0**	**0,1**	**0,0**	**2,9**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**





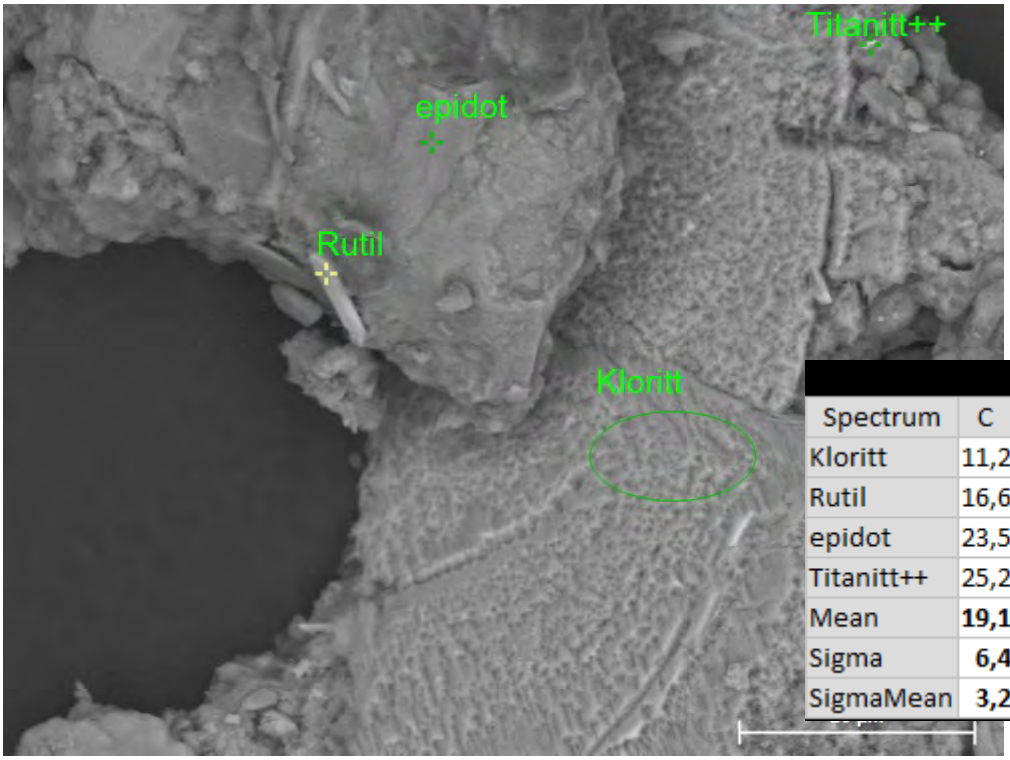
06-10-02b



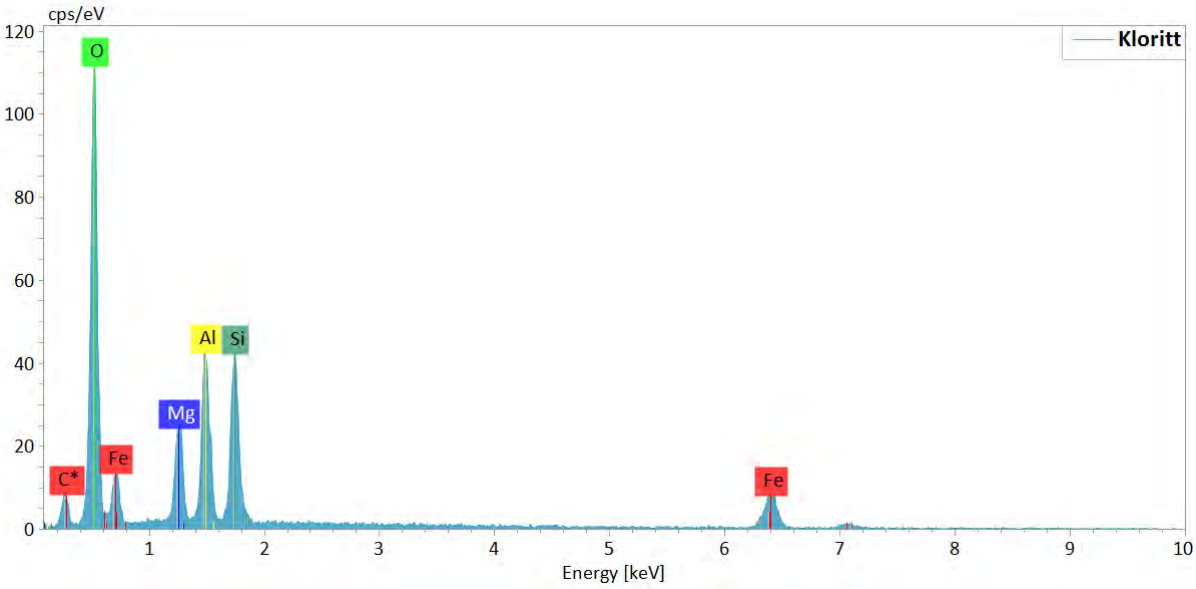


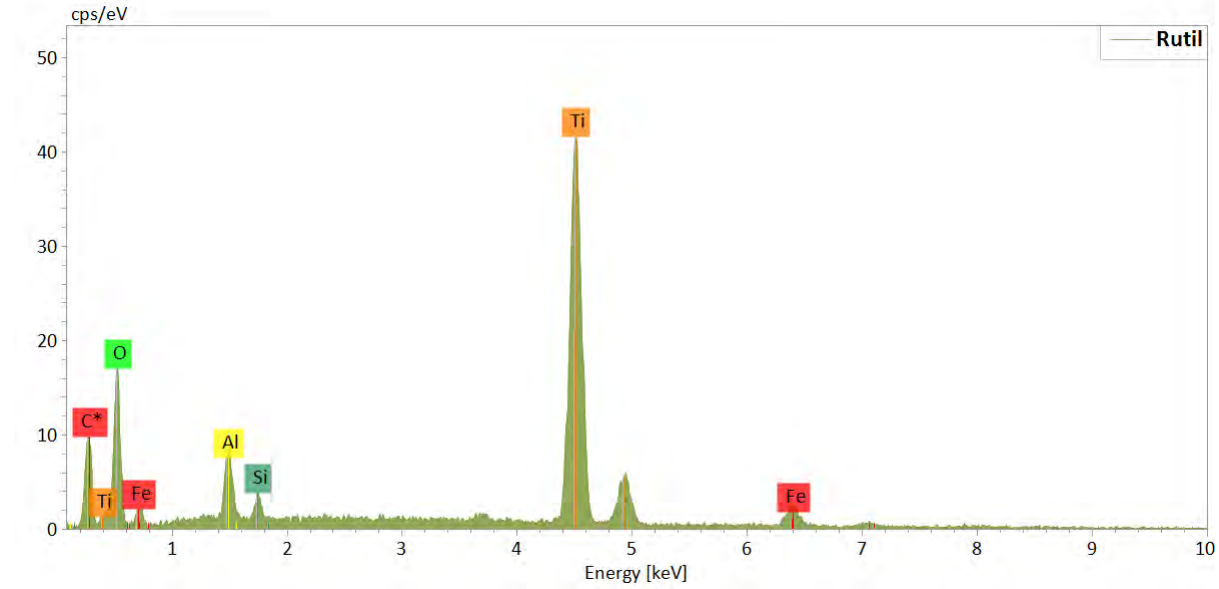
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	P	K	Ti	Mn	Fe	La	Ce	Nd	Th	U
Spectrum 1	11,0	58,8	4,3	3,4	8,0	6,2				1,9	1,7	3,3	1,1	0,3	0,1
ilm	11,7	58,8	0,8	3,7	8,1		0,8	6,9	0,7	8,5					
kloritt	27,7	52,2	2,8	4,5	5,7					7,0					
Spectrum 4	28,6	55,3	0,4	2,4	11,3					2,0					
Kloritt	10,9	59,7	4,1	7,1	9,1					9,1					
Mean	**18,0**	**57,0**	**2,5**	**4,2**	**8,4**	**6,2**	**0,8**	**6,9**	**0,7**	**5,7**	**1,7**	**3,3**	**1,1**	**0,3**	**0,1**
Sigma	**9,3**	**3,1**	**1,8**	**1,8**	**2,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**3,5**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
SigmaMean	**4,2**	**1,4**	**0,8**	**0,8**	**0,9**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**1,6**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**

06-10-03

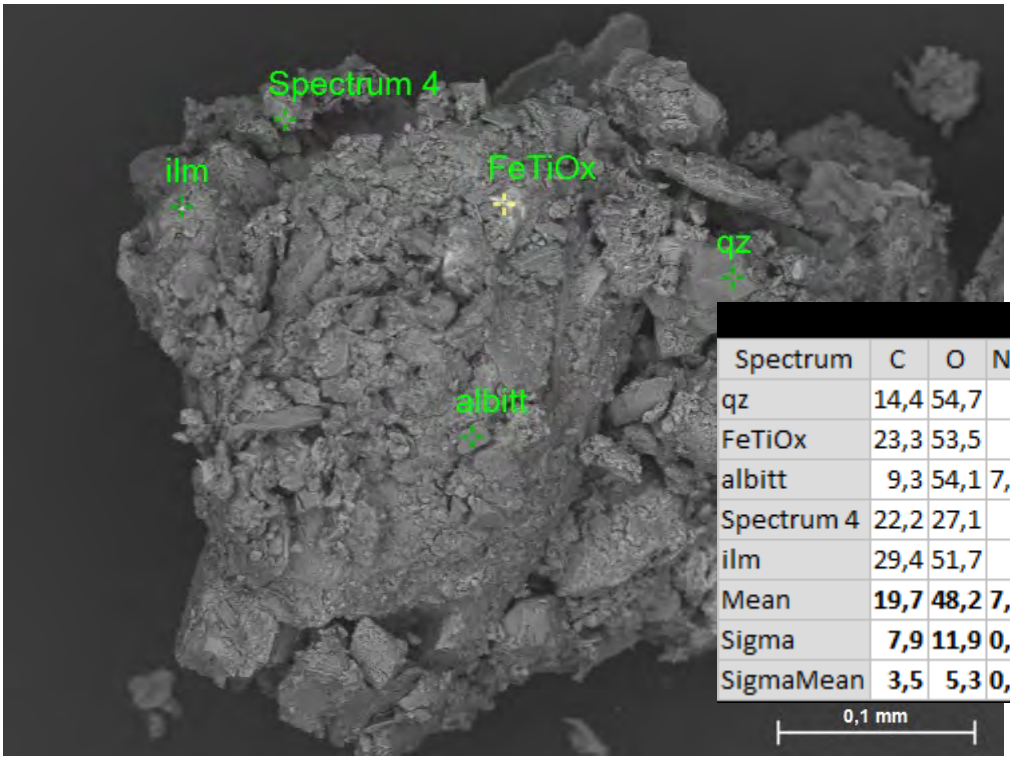


Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe
Kloritt	11,2	59,1		4,4	7,3	8,4			9,5
Rutil	16,6	46,4			2,9	1,1		30,0	2,9
epidot	23,5	40,0			10,8	13,7	9,2		2,7
Titanitt++	25,2	50,3	0,6	0,6	6,0	7,4	2,6	2,7	4,7
Mean	**19,1**	**48,9**	**0,6**	**2,5**	**6,7**	**7,7**	**5,9**	**16,3**	**5,0**
Sigma	**6,4**	**8,0**	**0,0**	**2,7**	**3,2**	**5,2**	**4,7**	**19,3**	**3,2**
SigmaMean	**3,2**	**4,0**	**0,0**	**1,3**	**1,6**	**2,6**	**2,3**	**9,7**	**1,6**

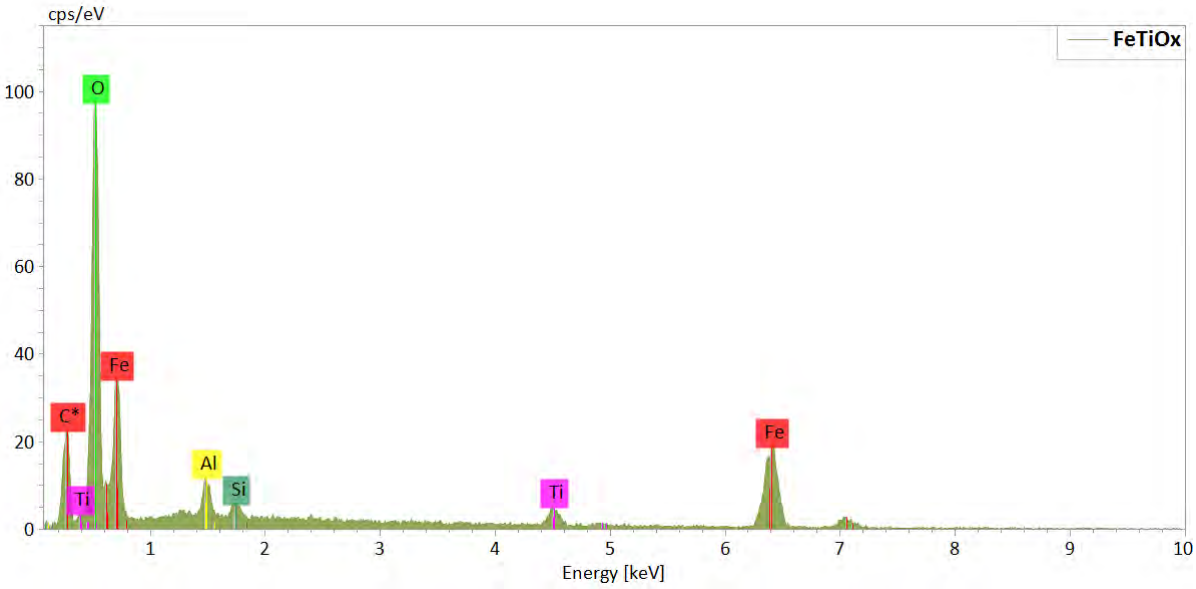


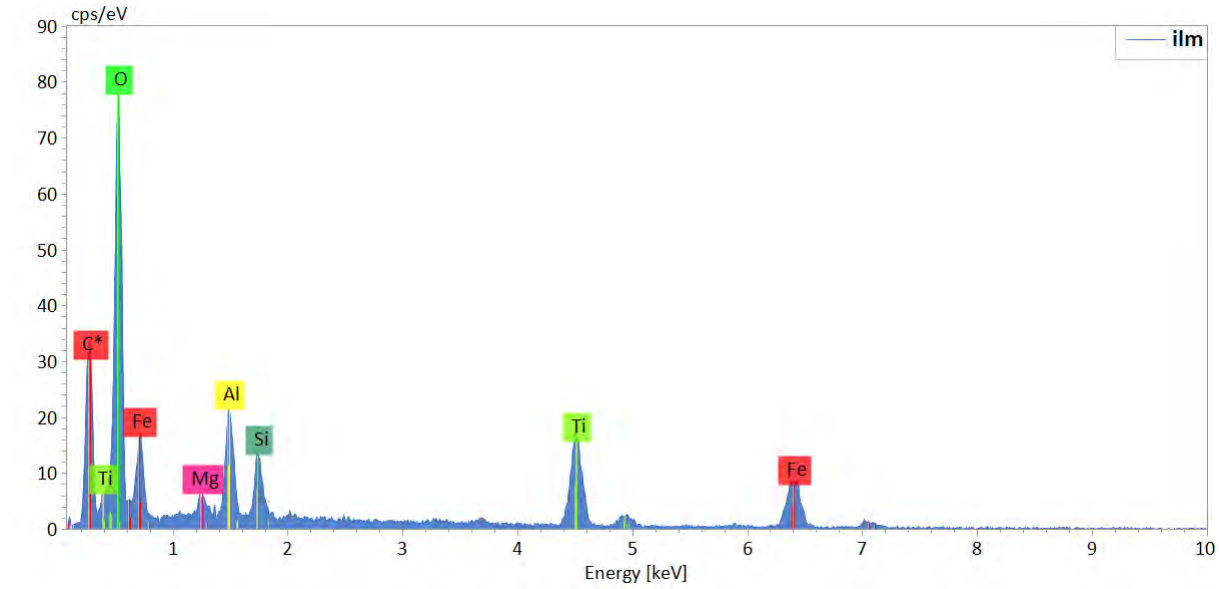


06-10-04

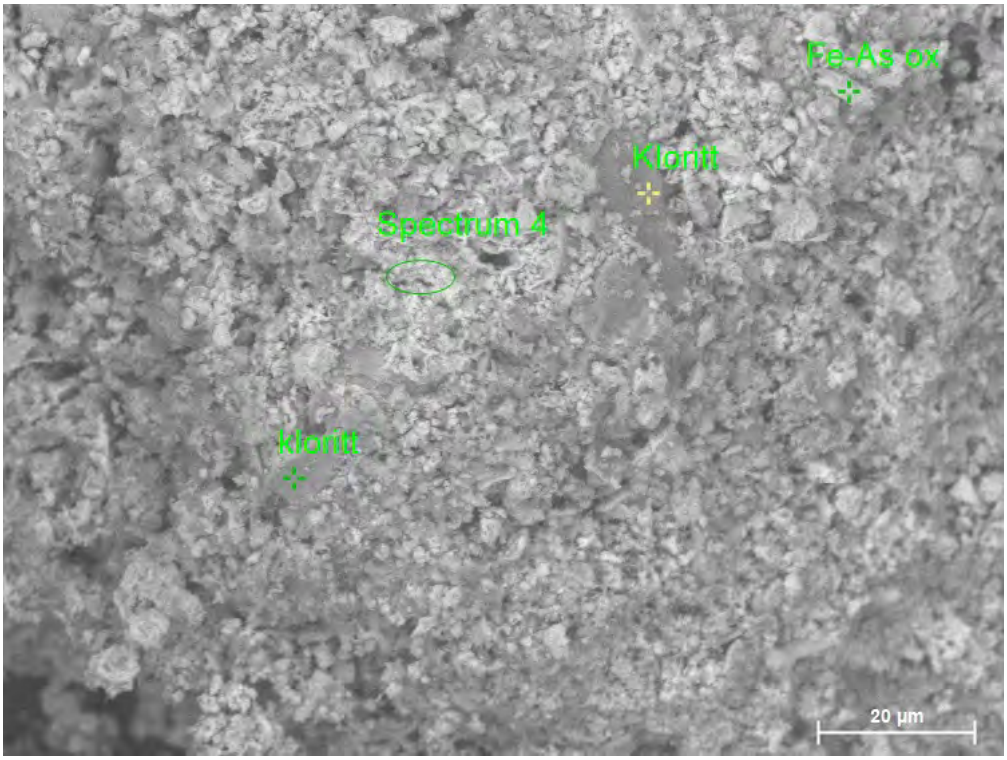


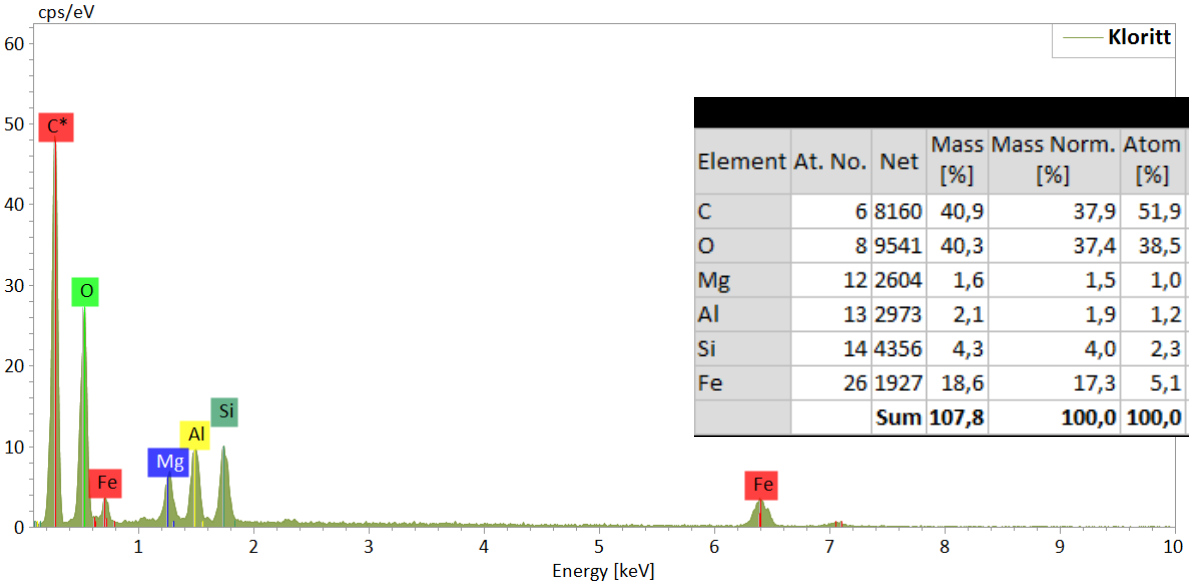
Spectrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
qz	14,4	54,7			0,3	30,6				
FeTiOx	23,3	53,5			1,0	0,5			1,5	20,2
albitt	9,3	54,1	7,7		6,8	22,2				
Spectrum 4	22,2	27,1		5,4	6,9	25,2	0,5	5,8		7,0
ilm	29,4	51,7		0,4	2,4	1,7			7,6	6,8
Mean	**19,7**	**48,2**	**7,7**	**2,9**	**3,5**	**16,0**	**0,5**	**5,8**	**4,5**	**11,3**
Sigma	**7,9**	**11,9**	**0,0**	**3,5**	**3,1**	**14,0**	**0,0**	**0,0**	**4,3**	**7,7**
SigmaMean	**3,5**	**5,3**	**0,0**	**1,6**	**1,4**	**6,2**	**0,0**	**0,0**	**1,9**	**3,4**



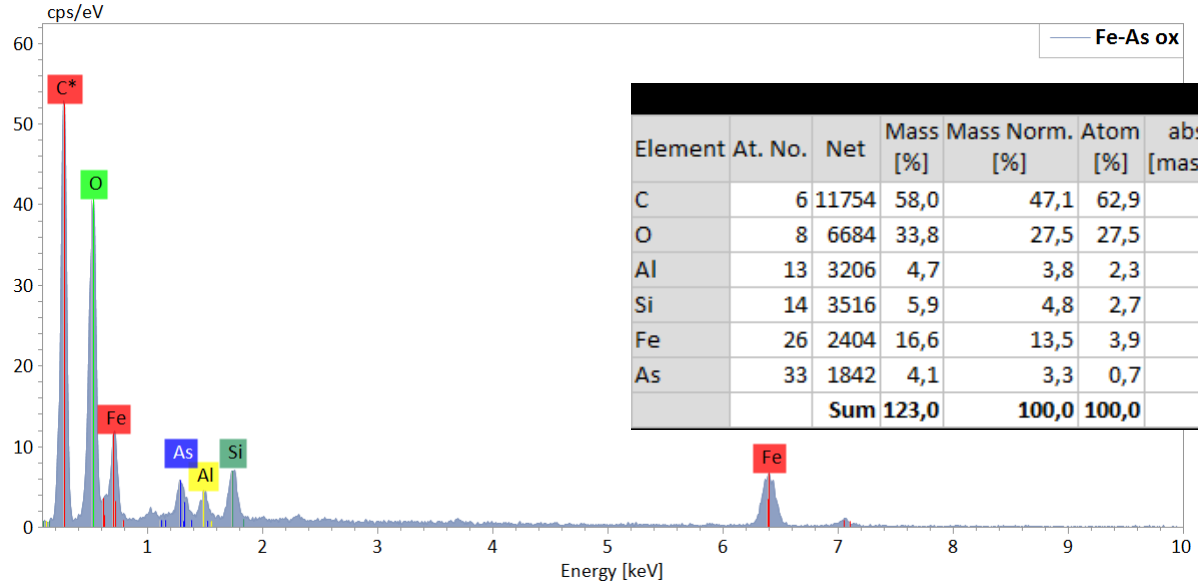


06-11-01



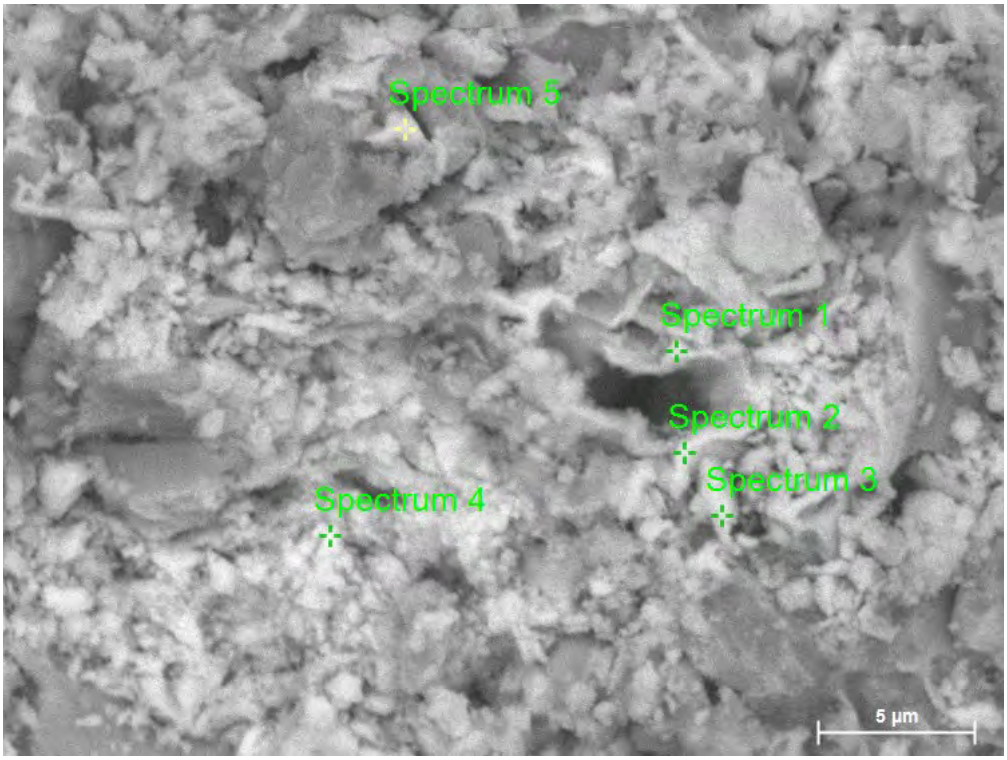


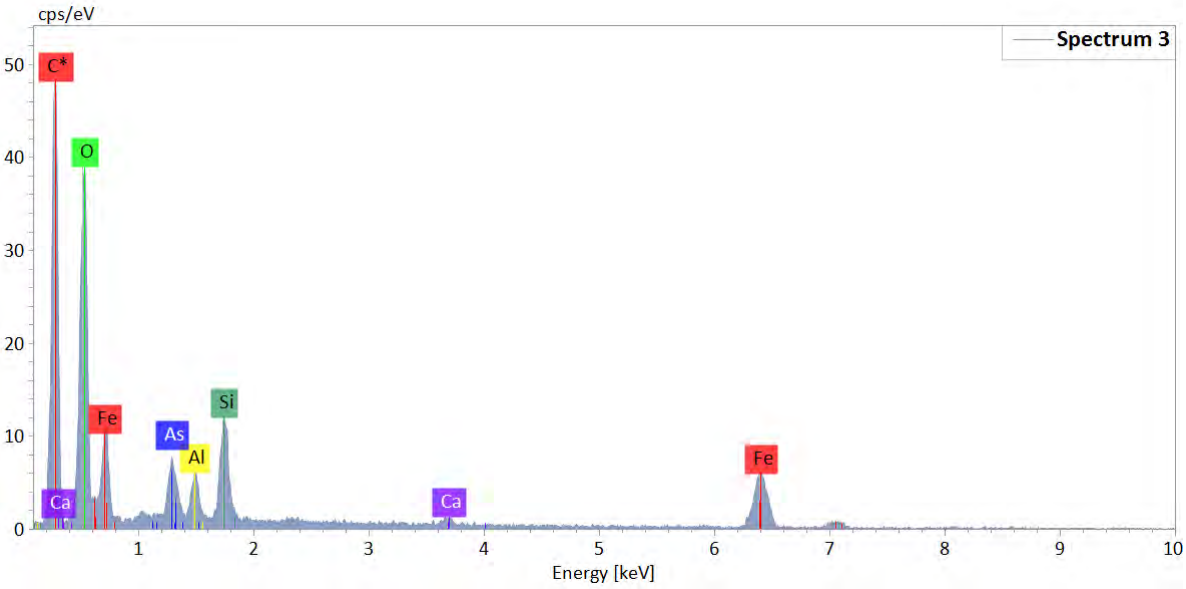
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	8160	40,9	37,9	51,9	2,0	4,9
O	8	9541	40,3	37,4	38,5	1,8	4,5
Mg	12	2604	1,6	1,5	1,0	0,1	6,8
Al	13	2973	2,1	1,9	1,2	0,1	6,3
Si	14	4356	4,3	4,0	2,3	0,3	6,0
Fe	26	1927	18,6	17,3	5,1	1,8	9,6
		Sum	**107,8**	**100,0**	**100,0**		



Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	11754	58,0	47,1	62,9	2,8	4,8
O	8	6684	33,8	27,5	27,5	1,6	4,7
Al	13	3206	4,7	3,8	2,3	0,3	7,4
Si	14	3516	5,9	4,8	2,7	0,4	7,0
Fe	26	2404	16,6	13,5	3,9	1,4	8,4
As	33	1842	4,1	3,3	0,7	0,3	8,3
		Sum	**123,0**	**100,0**	**100,0**		

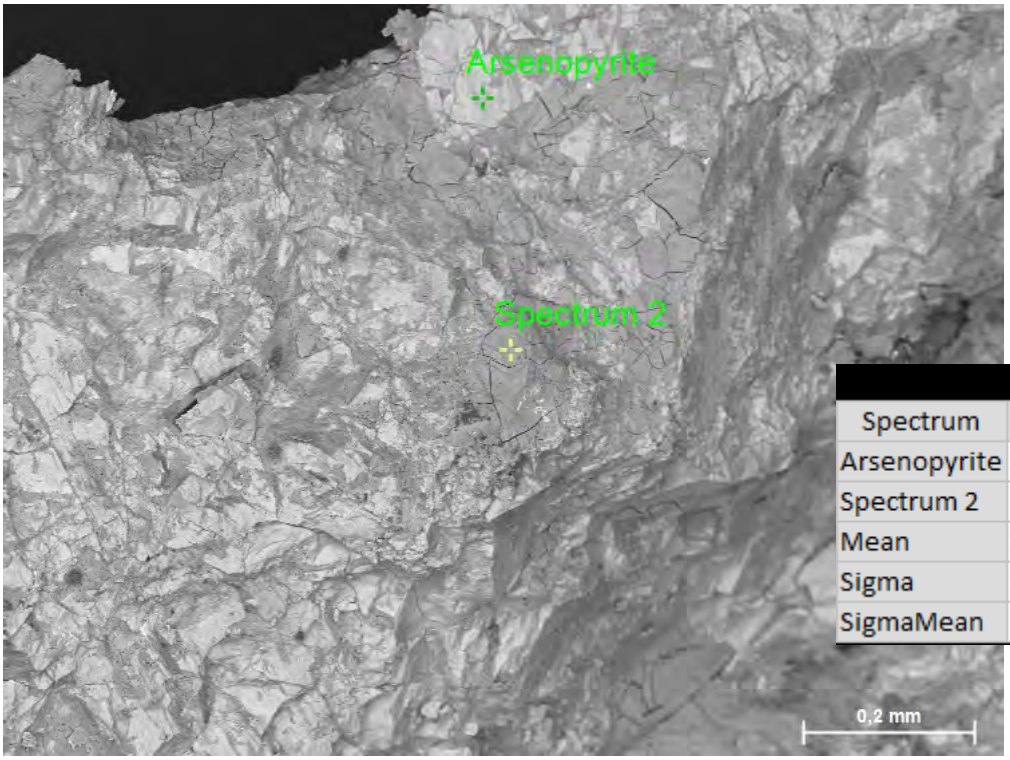
06-11-01b



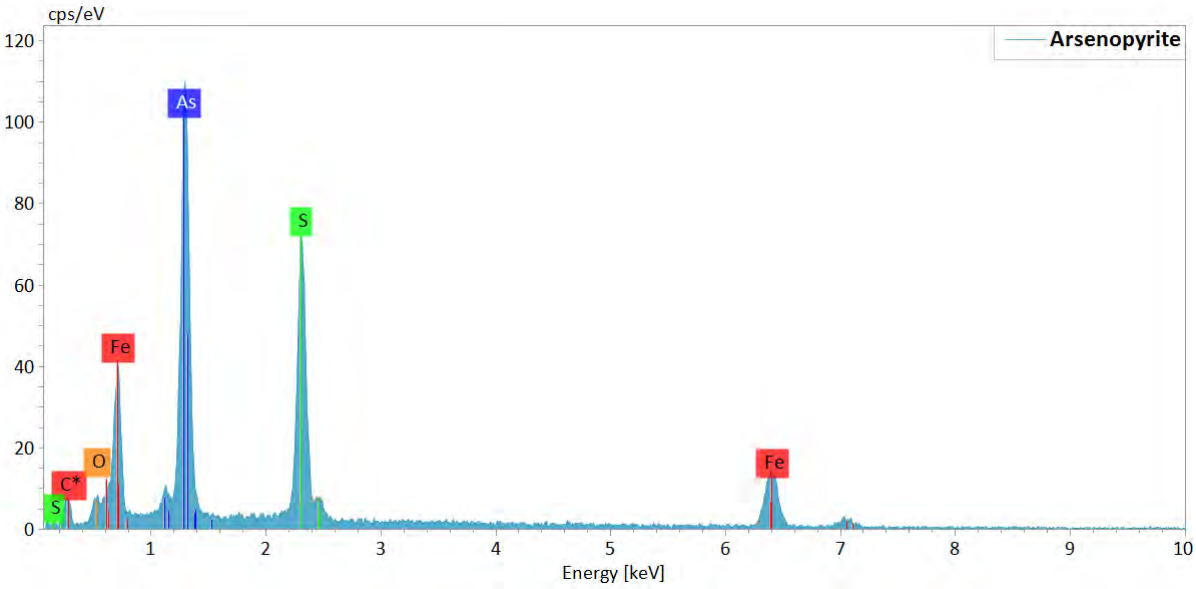


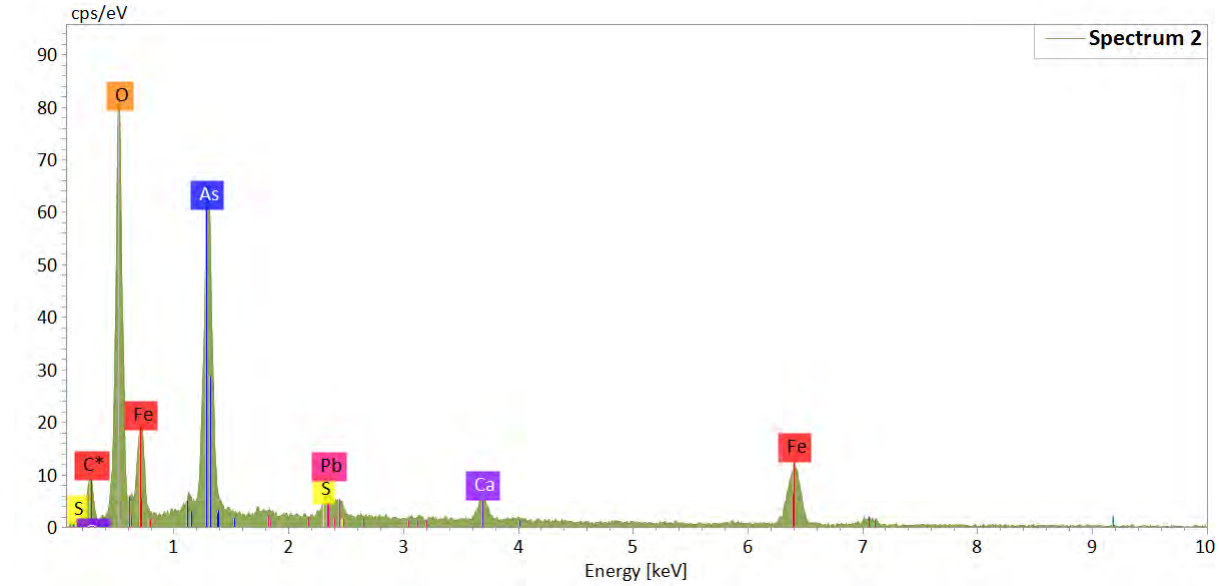
Spectrum	C	O	Al	Si	Ca	Fe	As
Spectrum 1	58,6	31,1	0,7	2,0		6,9	0,6
Spectrum 2	56,3	33,2	0,6	1,7	0,2	7,3	0,7
Spectrum 3	56,3	32,8	0,8	2,2	0,3	6,9	0,7
Spectrum 4	59,5	29,6	0,4	1,3	0,3	8,5	0,4
Spectrum 5	55,9	33,5	0,4	3,4		6,2	0,6
Mean	**57,3**	**32,0**	**0,6**	**2,1**	**0,3**	**7,2**	**0,6**
Sigma	**1,6**	**1,6**	**0,2**	**0,8**	**0,0**	**0,8**	**0,1**
SigmaMean	**0,7**	**0,7**	**0,1**	**0,3**	**0,0**	**0,4**	**0,1**

06-11b-01

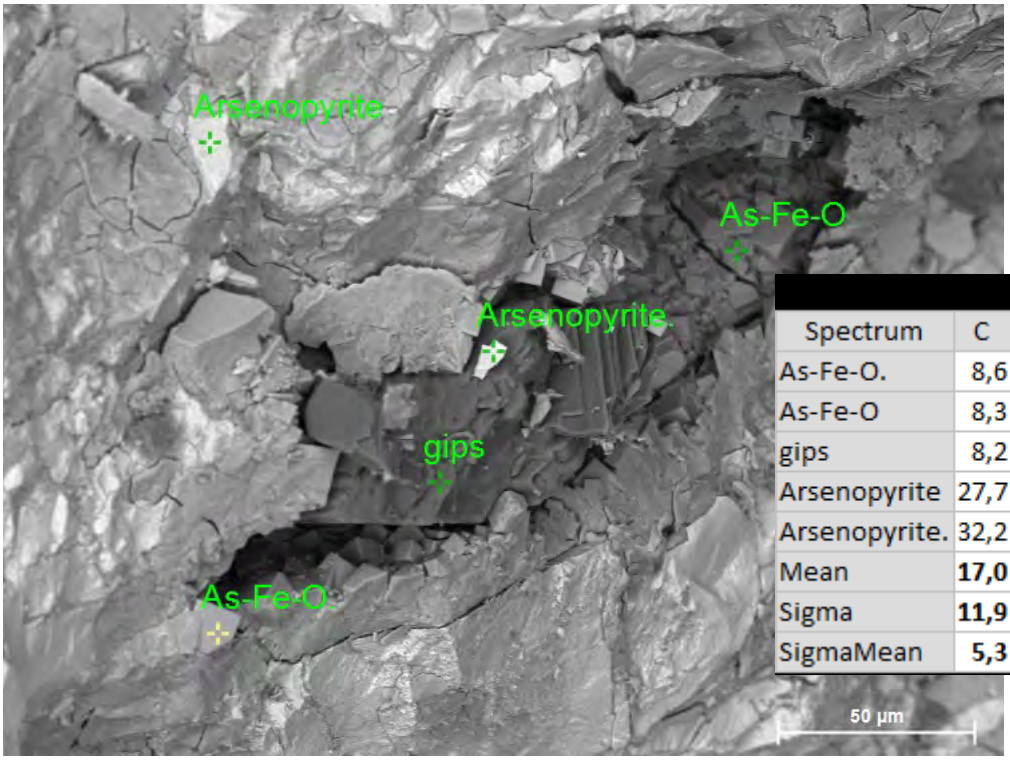


Spectrum	C	O	S	Ca	Fe	As	Pb
Arsenopyrite	29,7	6,4	21,7		23,4	18,8	
Spectrum 2	14,7	59,6	0,0	2,0	14,7	8,6	0,6
Mean	**22,2**	**33,0**	**10,9**	**2,0**	**19,0**	**13,7**	**0,6**
Sigma	**10,7**	**37,6**	**15,3**	**0,0**	**6,2**	**7,2**	**0,0**
SigmaMean	**7,5**	**26,6**	**10,8**	**0,0**	**4,4**	**5,1**	**0,0**

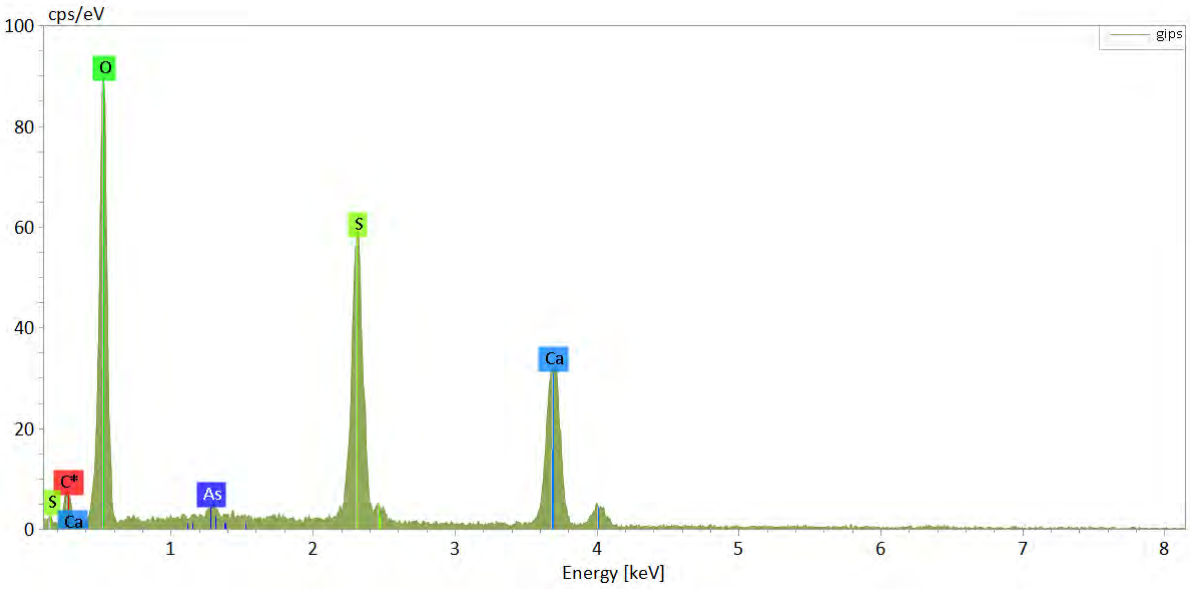


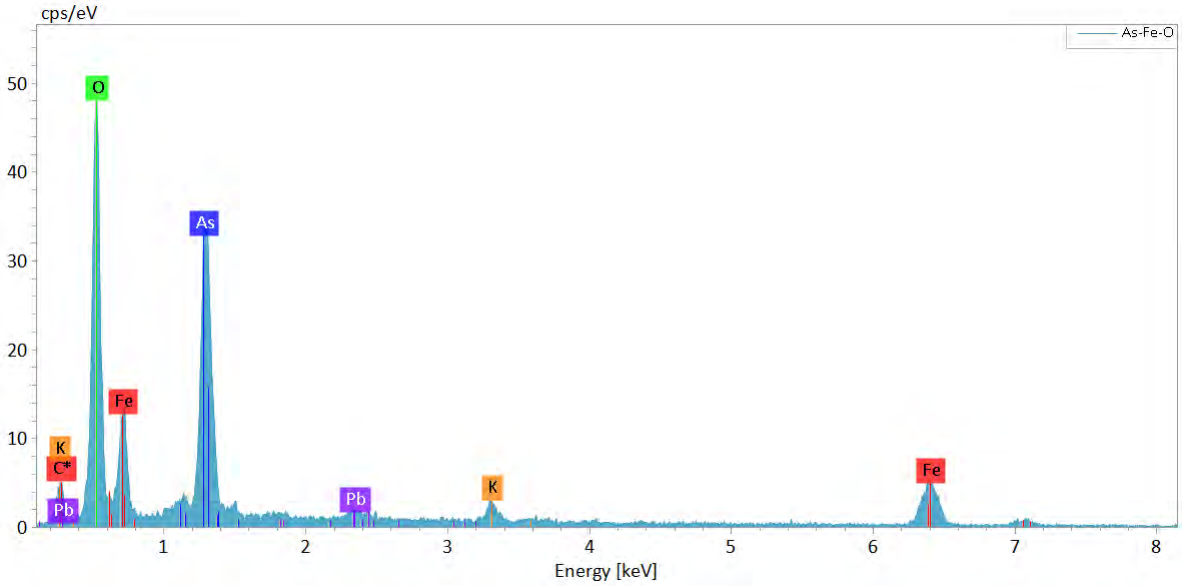


06-11b-01b

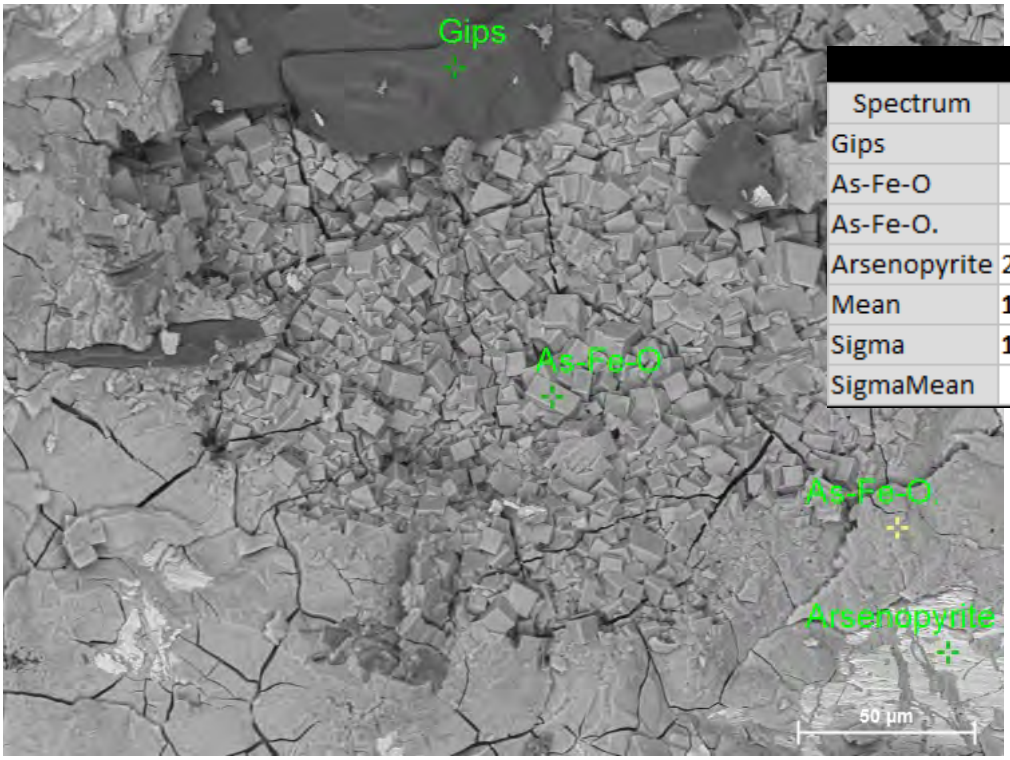


Spectrum	C	O	S	K	Ca	Fe	As	Pb
As-Fe-O.	8,6	63,2		2,2		15,2	10,3	0,5
As-Fe-O	8,3	66,8		1,4		13,3	9,9	0,3
gips	8,2	72,3	9,1		10,2		0,2	
Arsenopyrite	27,7	10,4	19,7			22,6	19,6	
Arsenopyrite.	32,2	12,6	16,9		0,7	21,2	16,5	
Mean	**17,0**	**45,1**	**15,2**	**1,8**	**5,5**	**18,1**	**11,3**	**0,4**
Sigma	**11,9**	**30,8**	**5,5**	**0,6**	**6,7**	**4,5**	**7,4**	**0,1**
SigmaMean	**5,3**	**13,8**	**2,5**	**0,2**	**3,0**	**2,0**	**3,3**	**0,1**

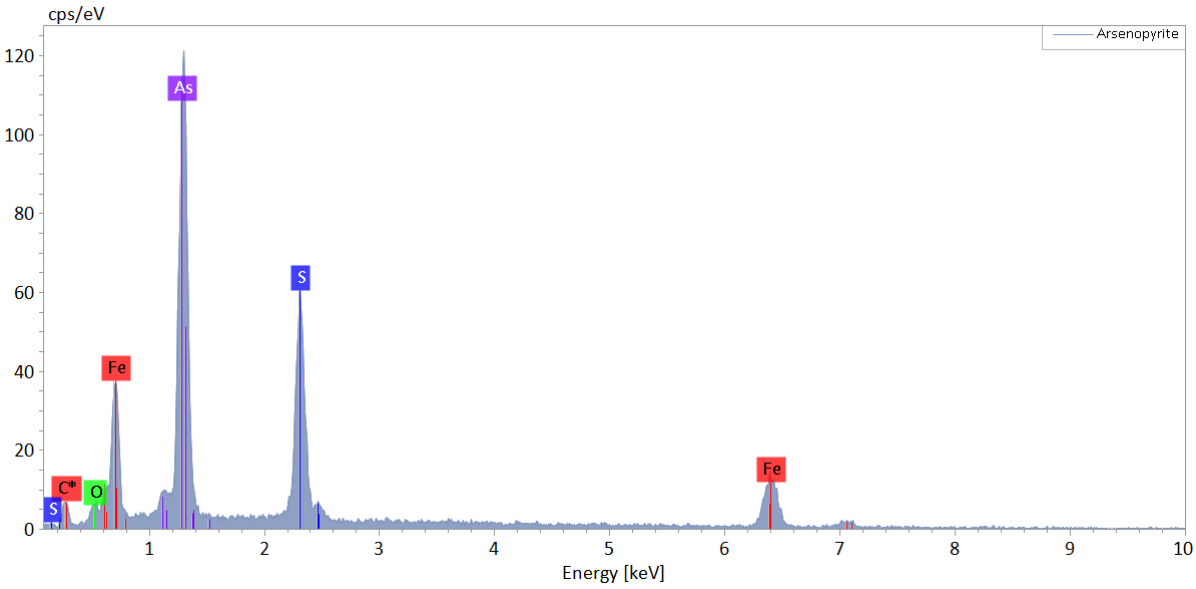


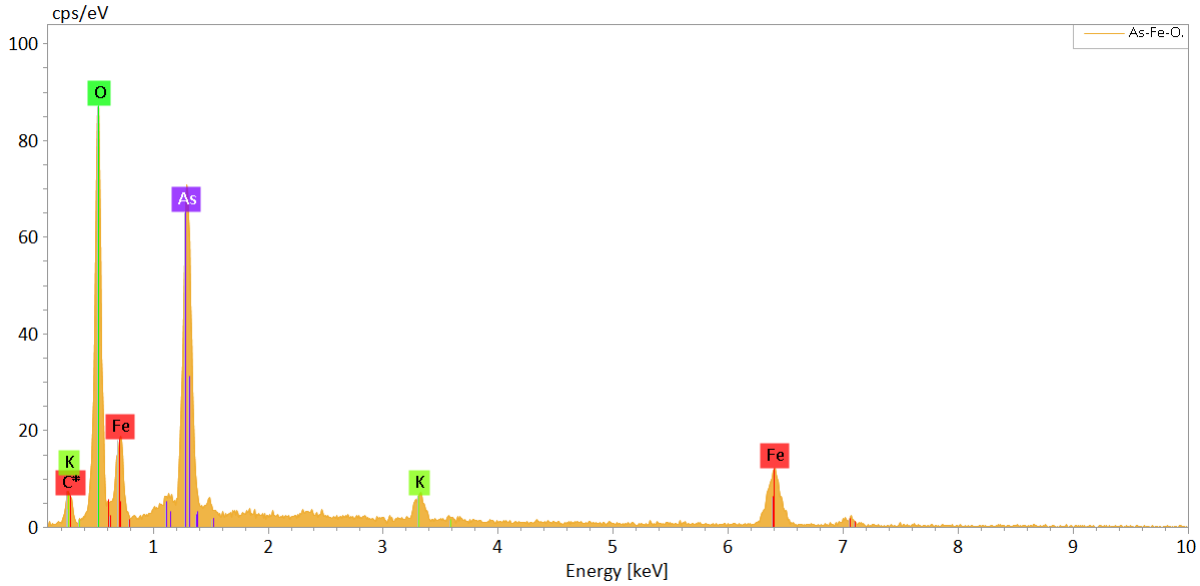


06-11b-01c

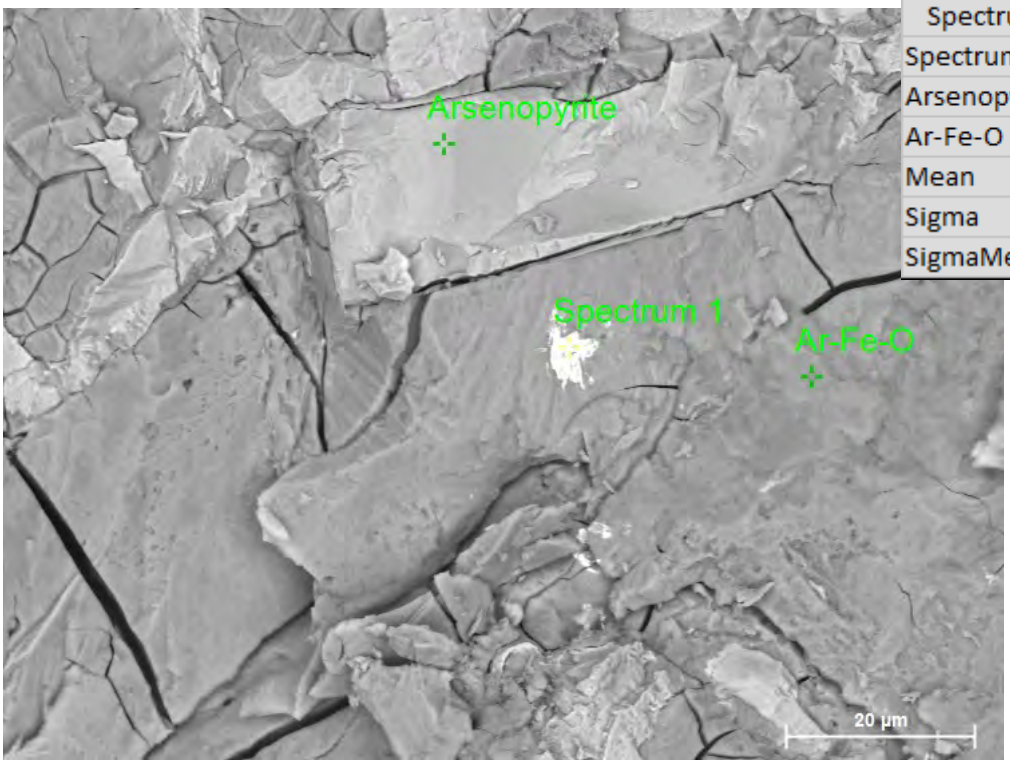


Spectrum	C	O	S	K	Ca	Fe	As	Pb
Gips	7,6	71,1	10,0		11,0		0,3	
As-Fe-O	0,8	69,1		2,1		16,7	11,1	0,3
As-Fe-O.	7,1	63,9		2,0		17,0	10,1	
Arsenopyrite	29,2	4,9	19,1			22,4	24,5	
Mean	**11,2**	**52,2**	**14,5**	**2,0**	**11,0**	**18,7**	**11,5**	**0,3**
Sigma	**12,4**	**31,7**	**6,4**	**0,1**	**0,0**	**3,2**	**9,9**	**0,0**
SigmaMean	**6,2**	**15,9**	**3,2**	**0,0**	**0,0**	**1,6**	**5,0**	**0,0**

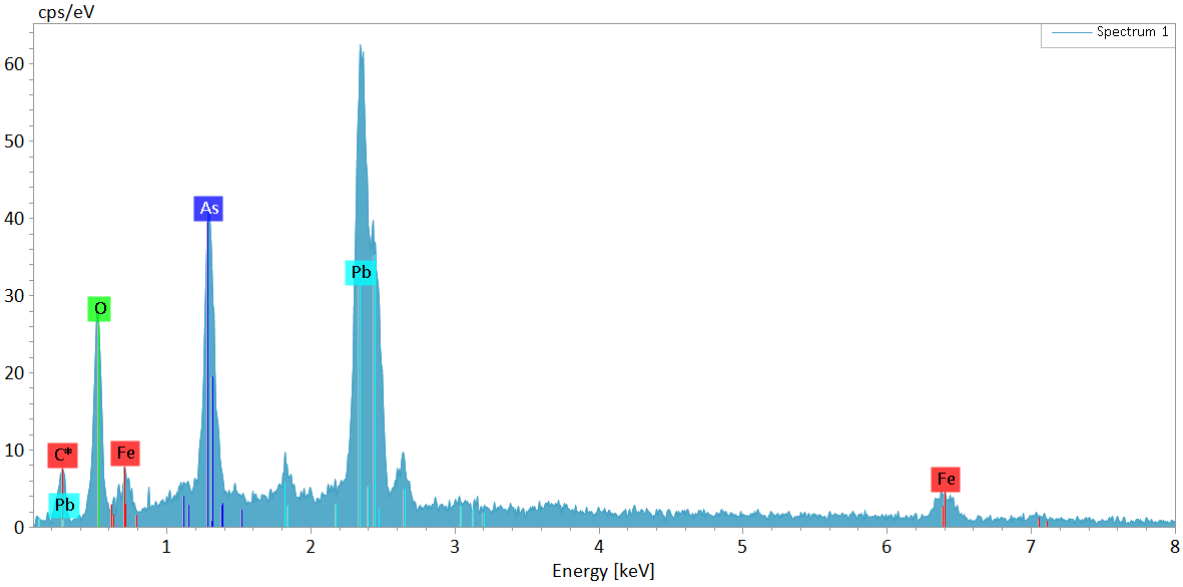


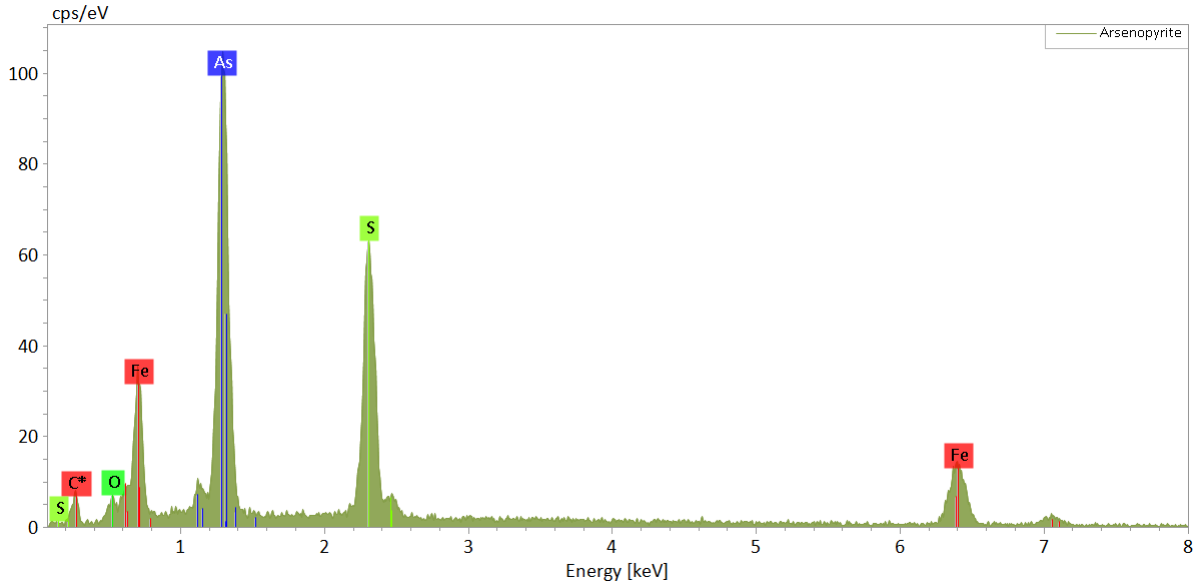


06-11b-01d

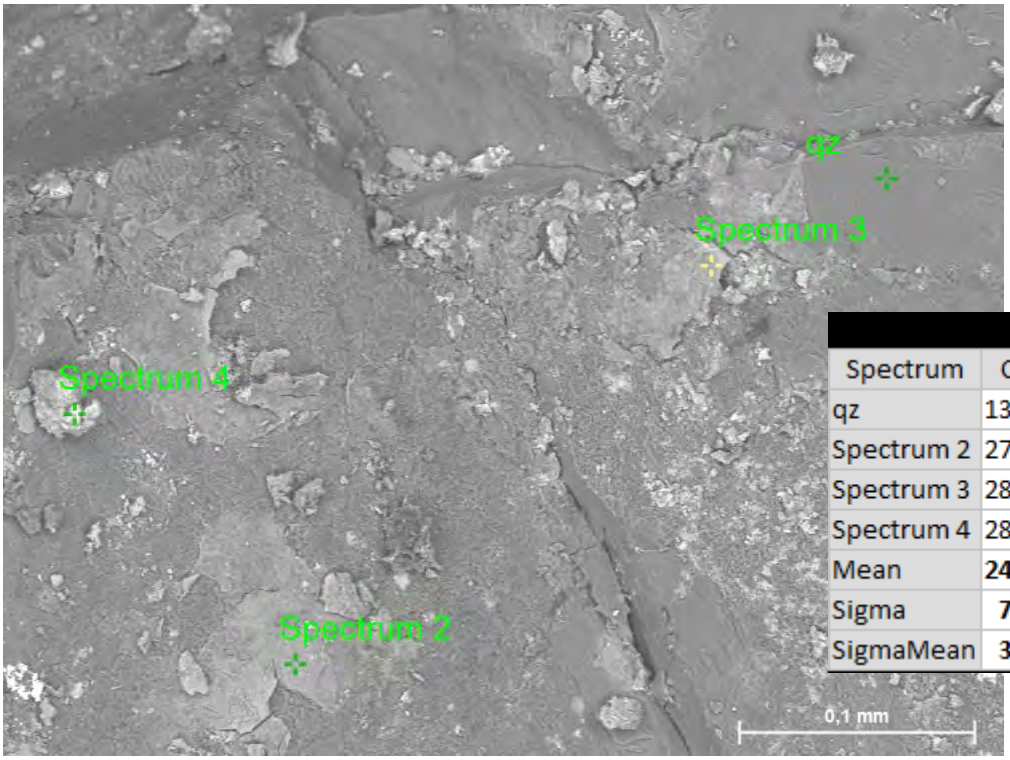


Spectrum	C	O	S	Fe	As	Pb
Spectrum 1	15,9	53,8		6,9	10,6	12,8
Arsenopyrite	28,1	5,7	22,4	25,0	18,8	
Ar-Fe-O	15,4	58,4		17,9	8,3	
Mean	**19,8**	**39,3**	**22,4**	**16,6**	**12,5**	**12,8**
Sigma	**7,2**	**29,2**	**0,0**	**9,1**	**5,5**	**0,0**
SigmaMean	**4,1**	**16,9**	**0,0**	**5,2**	**3,2**	**0,0**

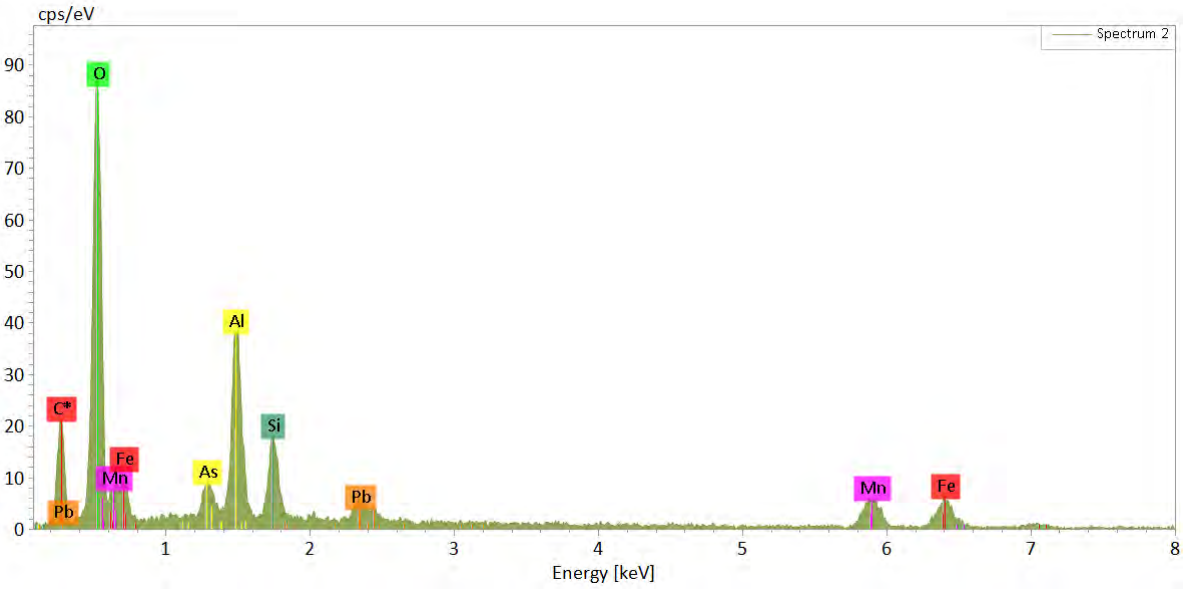


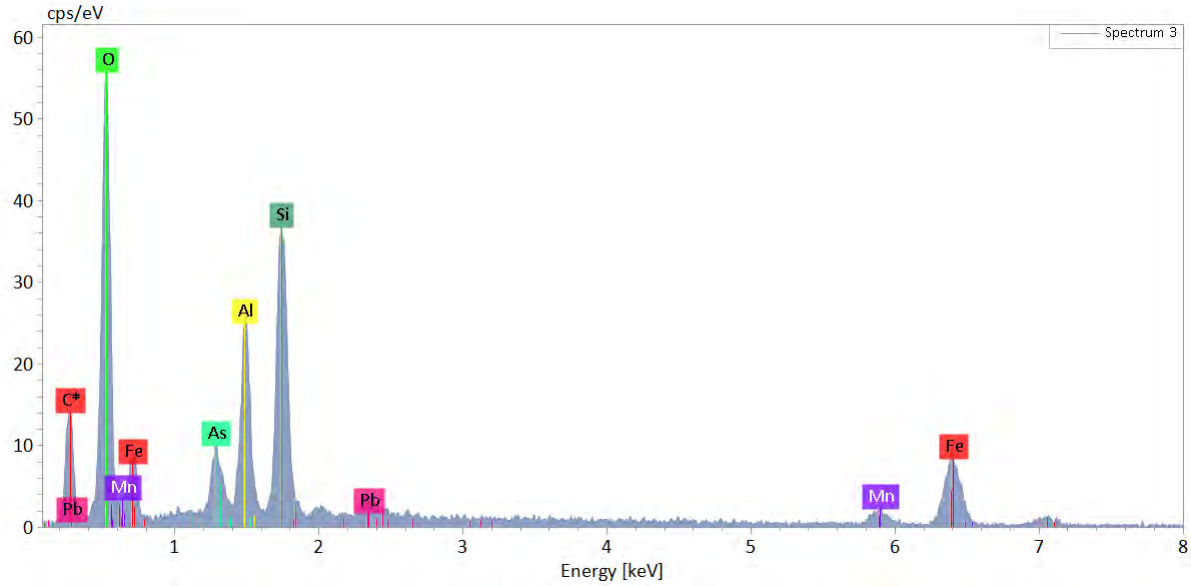


06-11b-02

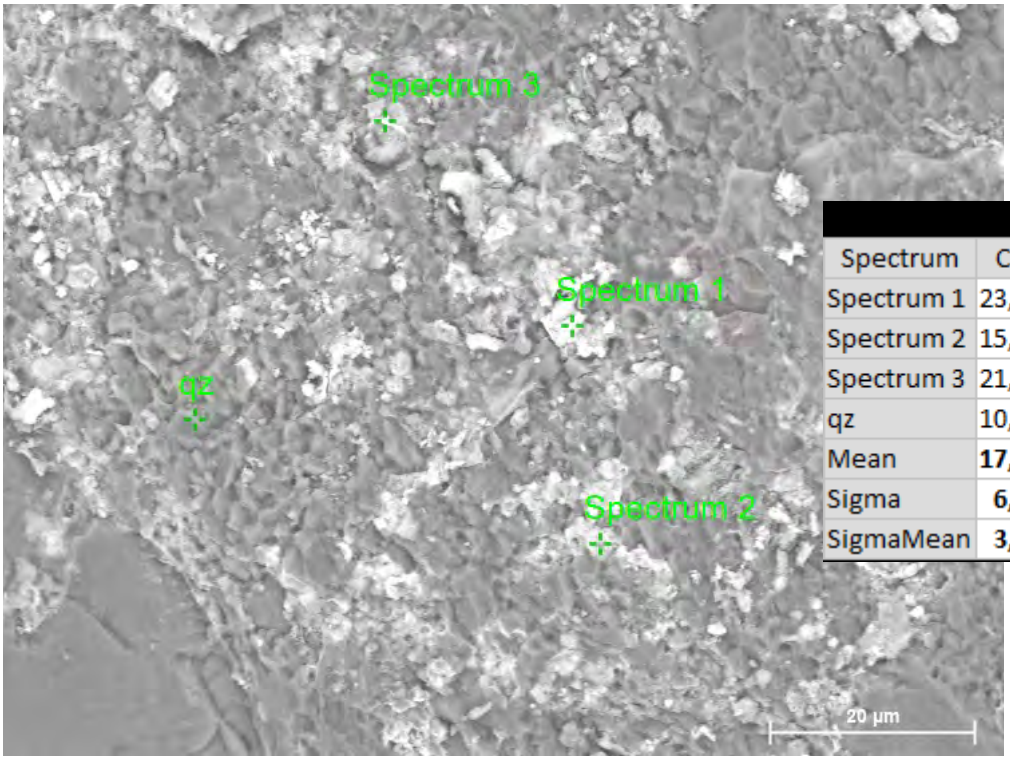


Spectrum	C	O	Al	Si	Mn	Fe	As	Pb
qz	13,1	52,9		34,0				
Spectrum 2	27,8	51,4	5,7	2,5	5,7	5,9	0,6	0,4
Spectrum 3	28,7	43,9	4,9	8,6	1,7	10,8	1,0	0,4
Spectrum 4	28,9	38,9	2,2	1,5		20,3	7,5	0,7
Mean	**24,6**	**46,8**	**4,3**	**11,6**	**3,7**	**12,3**	**3,0**	**0,5**
Sigma	**7,7**	**6,6**	**1,8**	**15,2**	**2,8**	**7,3**	**3,8**	**0,2**
SigmaMean	**3,8**	**3,3**	**0,9**	**7,6**	**1,4**	**3,7**	**1,9**	**0,1**

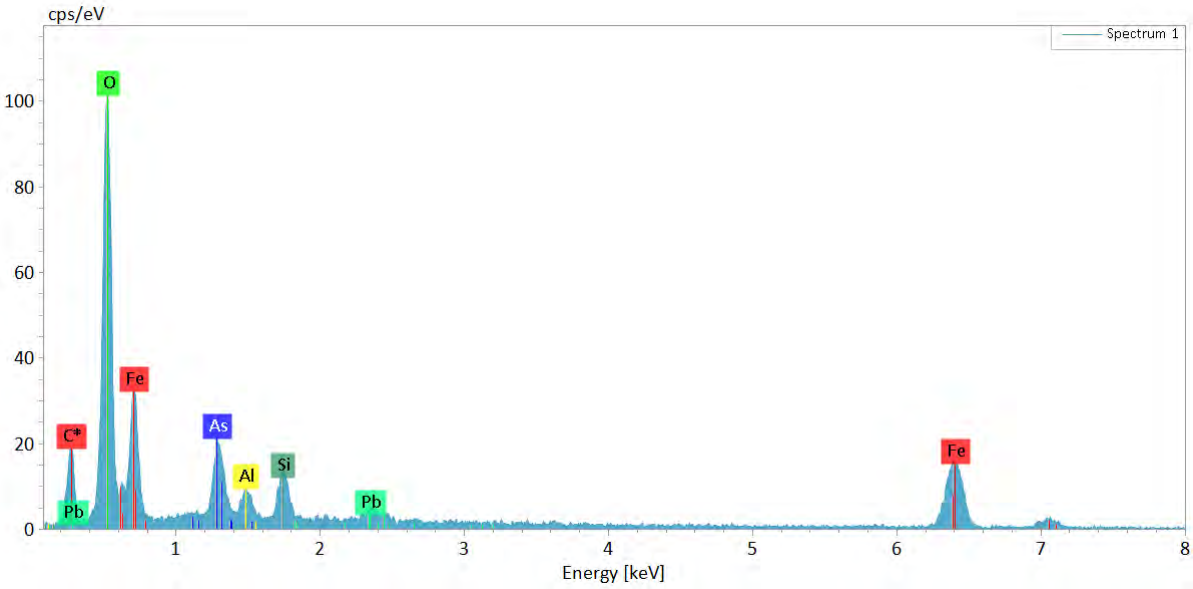


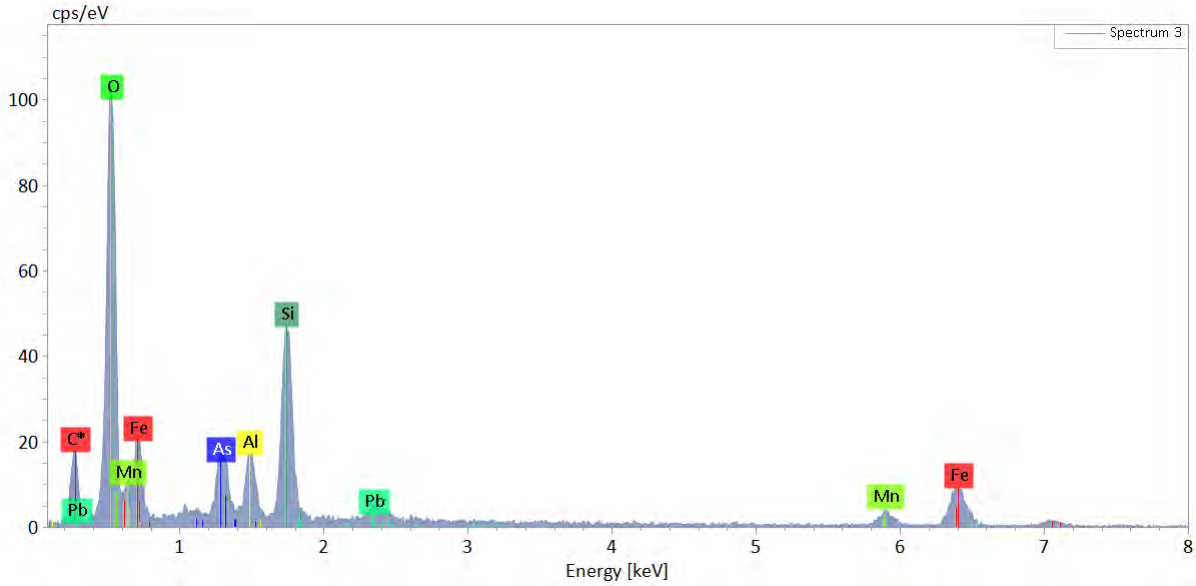


06-11b-02b

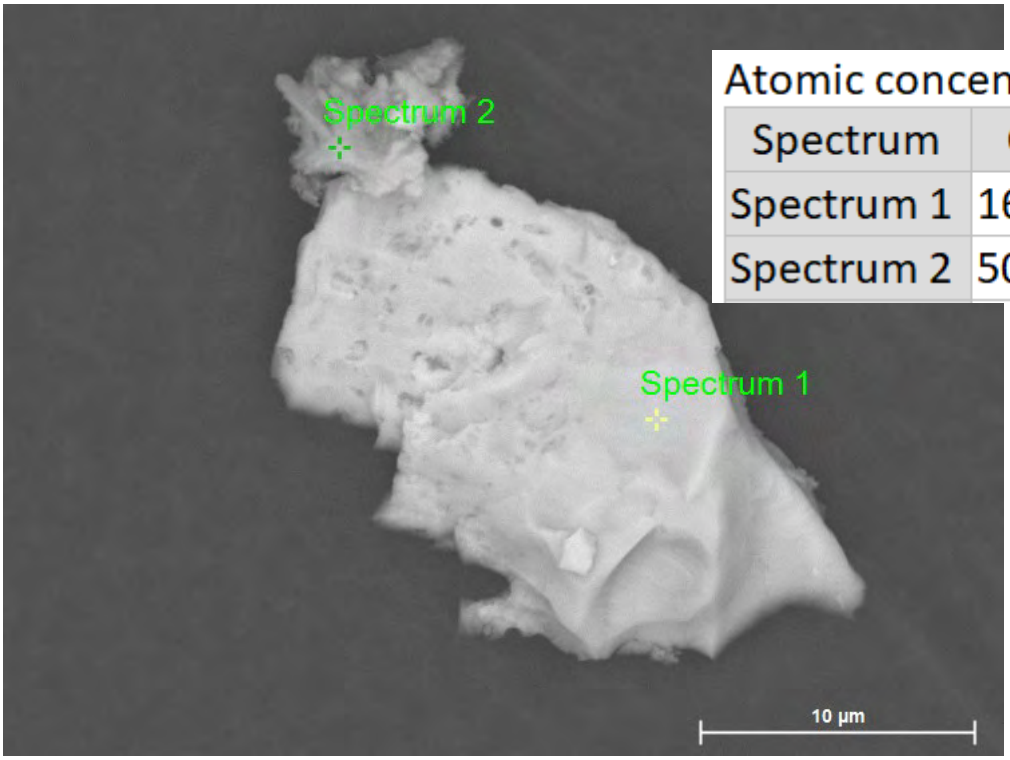


Spectrum	C	O	Al	Si	Mn	Fe	As	Pb
Spectrum 1	23,9	53,8	0,8	1,6		17,9	1,6	0,3
Spectrum 2	15,9	49,9	1,7	21,8	1,7	7,4	1,2	0,4
Spectrum 3	21,5	55,7	2,2	7,3	2,5	9,0	1,5	0,3
qz	10,3	64,7		25,0				
Mean	**17,9**	**56,0**	**1,6**	**13,9**	**2,1**	**11,4**	**1,4**	**0,3**
Sigma	**6,1**	**6,3**	**0,7**	**11,2**	**0,6**	**5,7**	**0,2**	**0,1**
SigmaMean	**3,0**	**3,1**	**0,3**	**5,6**	**0,3**	**2,8**	**0,1**	**0,0**



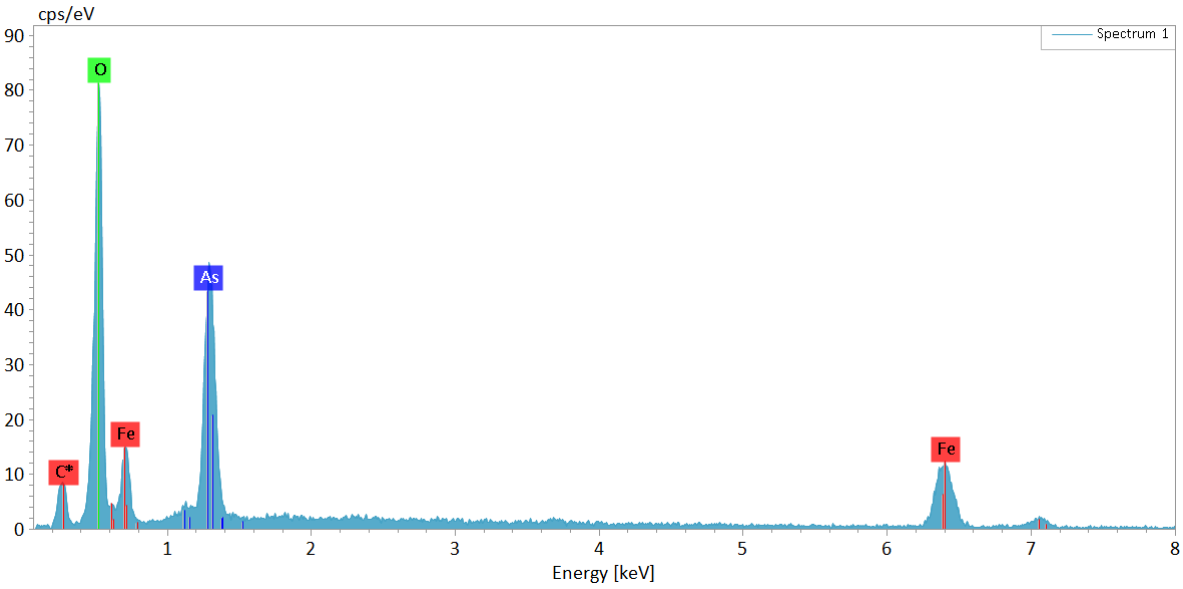


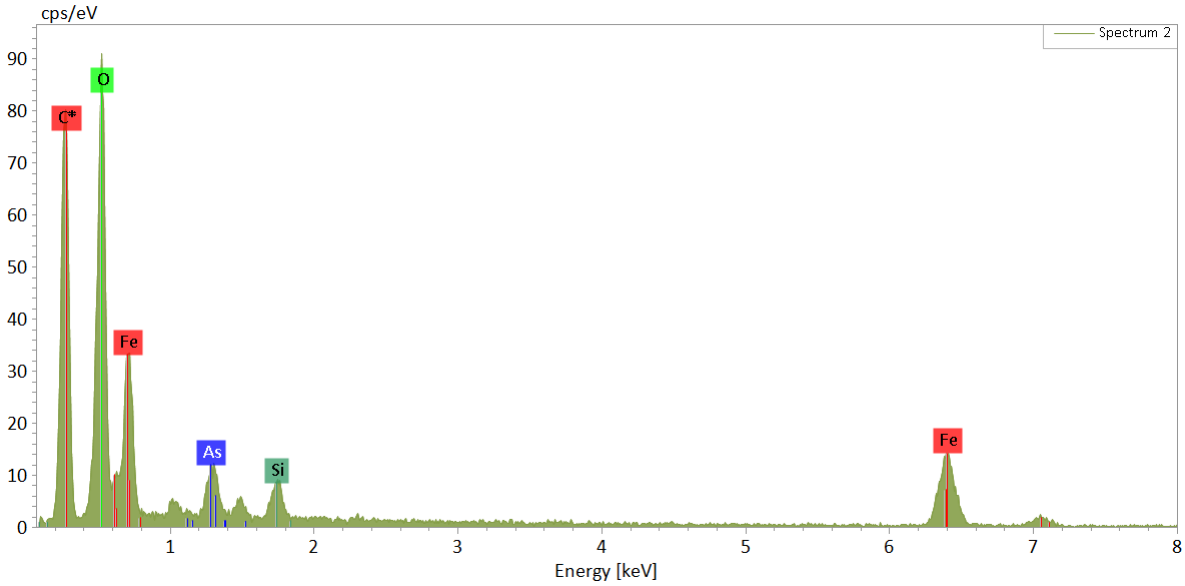
06-11b-03



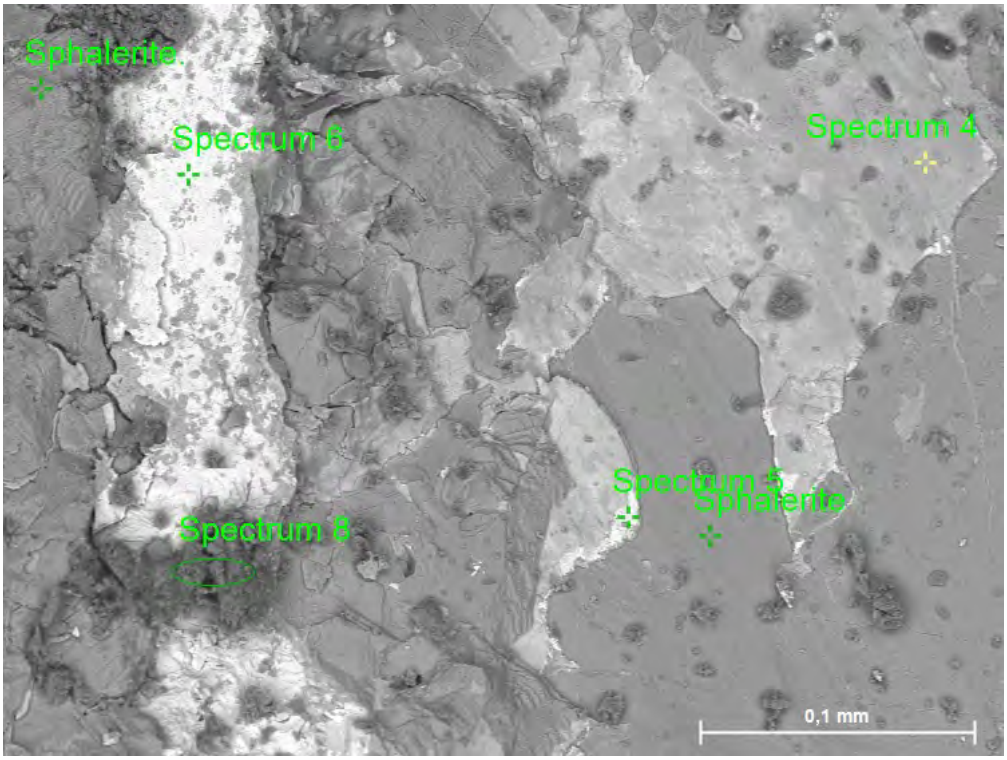
Atomic concentration [%]

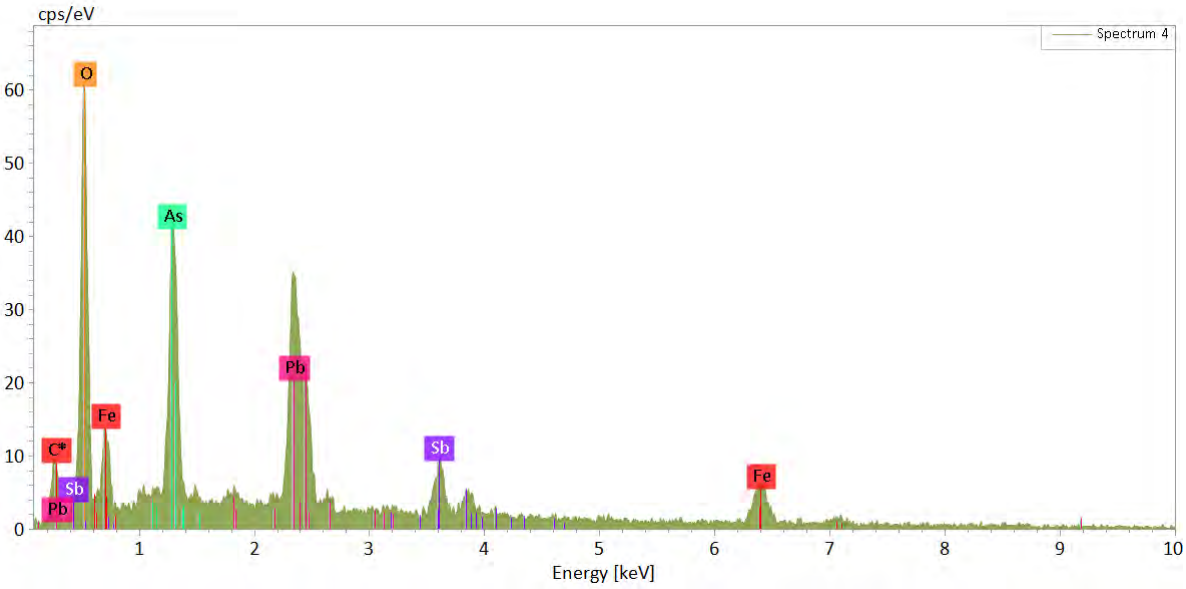
Spectrum	C	O	Si	Fe	As
Spectrum 1	16,6	58,2		16,8	8,3
Spectrum 2	50,5	38,3	1,4	9,3	0,5

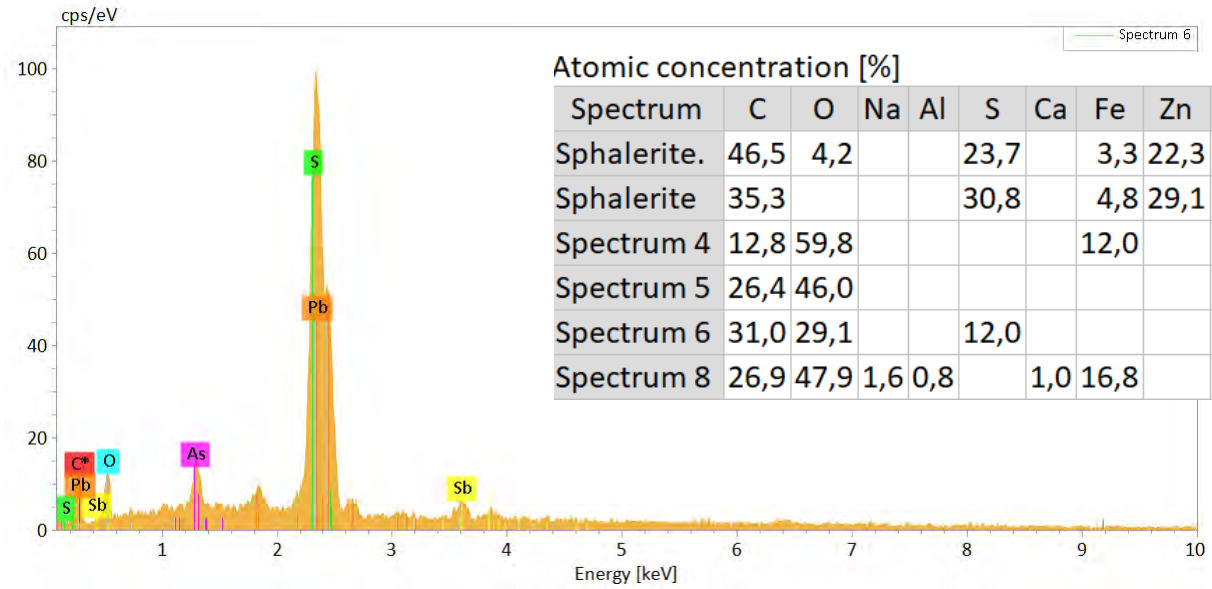




06-12-01b



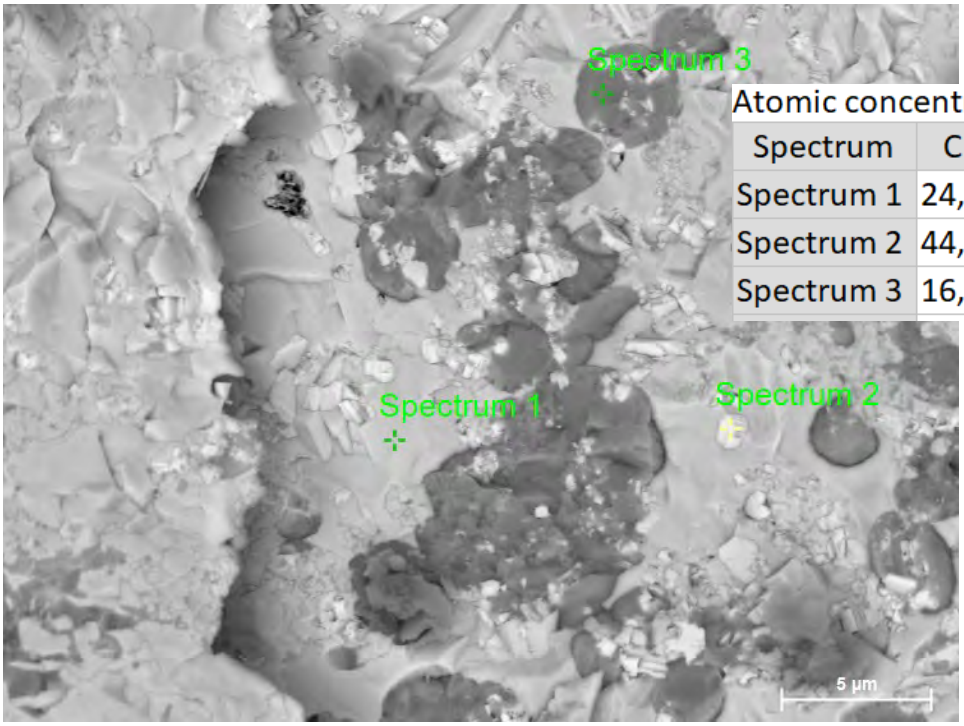




Atomic concentration [%]

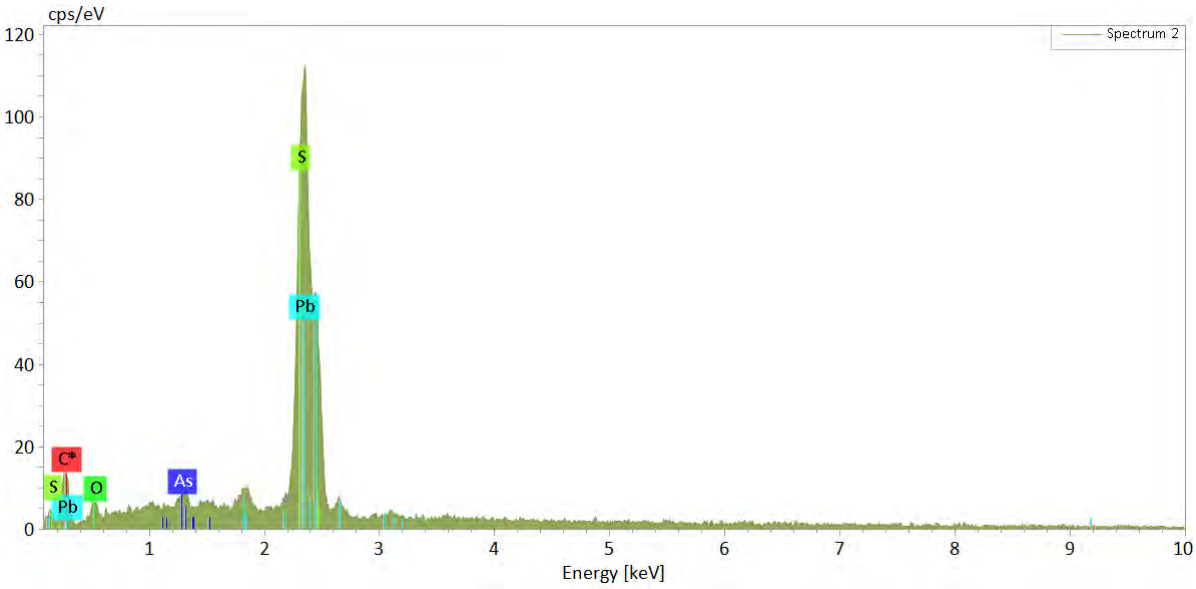
Spectrum	C	O	Na	Al	S	Ca	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Sphalerite.	46,5	4,2			23,7		3,3	22,3			
Sphalerite	35,3				30,8		4,8	29,1			
Spectrum 4	12,8	59,8					12,0		7,2	3,4	4,8
Spectrum 5	26,4	46,0							10,6		17,0
Spectrum 6	31,0	29,1			12,0				3,5	2,6	21,7
Spectrum 8	26,9	47,9	1,6	0,8		1,0	16,8		4,5		0,5

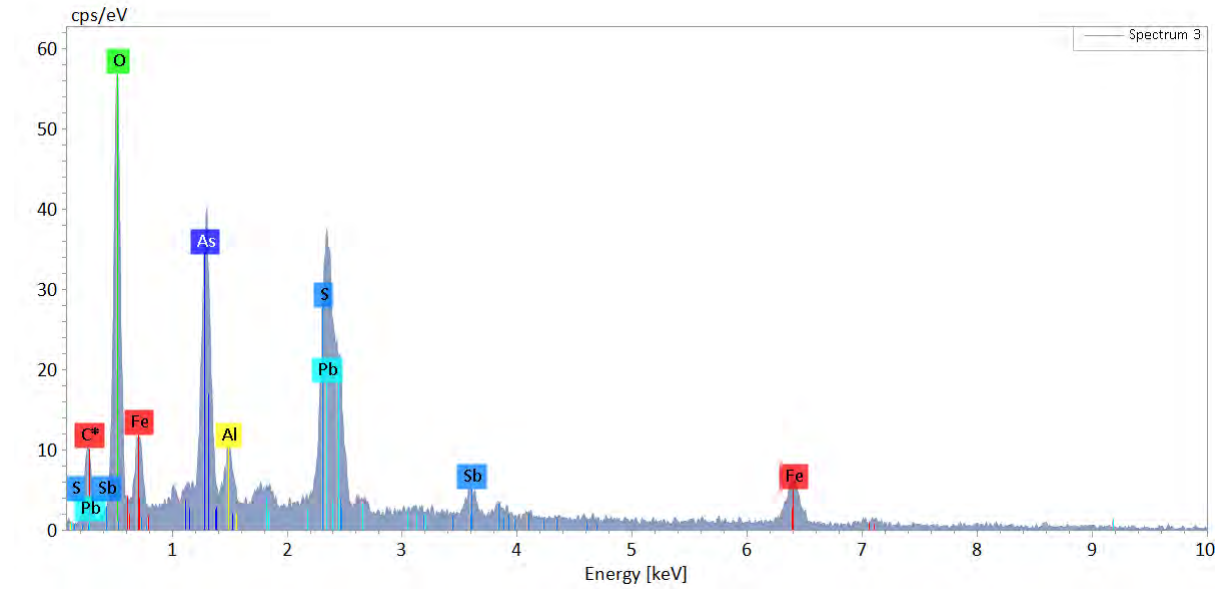
06-12-01c



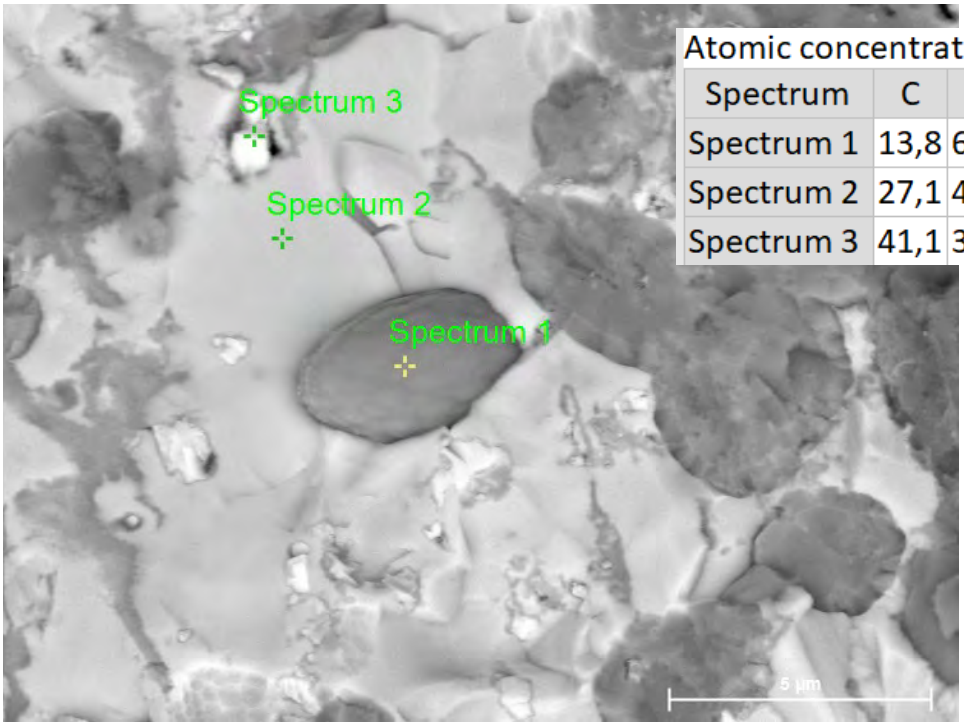
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Fe	As	Sb	Pb
Spectrum 1	24,0	47,0				10,5		18,4
Spectrum 2	44,0	14,7		16,4		0,9		23,9
Spectrum 3	16,2	59,1	1,6	0,9	9,7	6,0	1,7	4,9



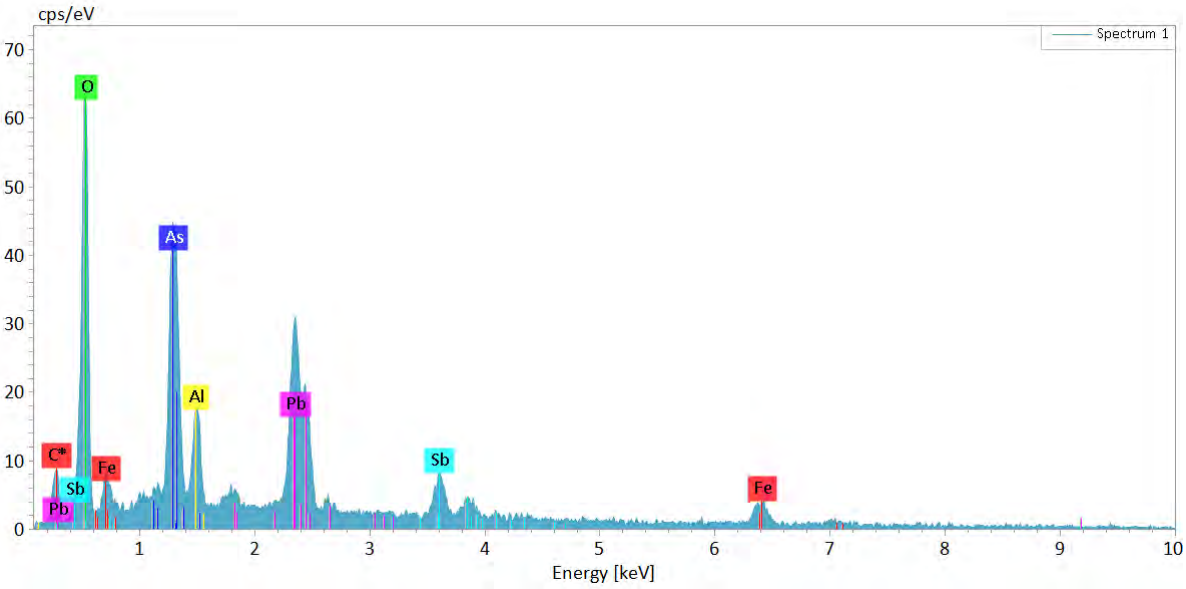


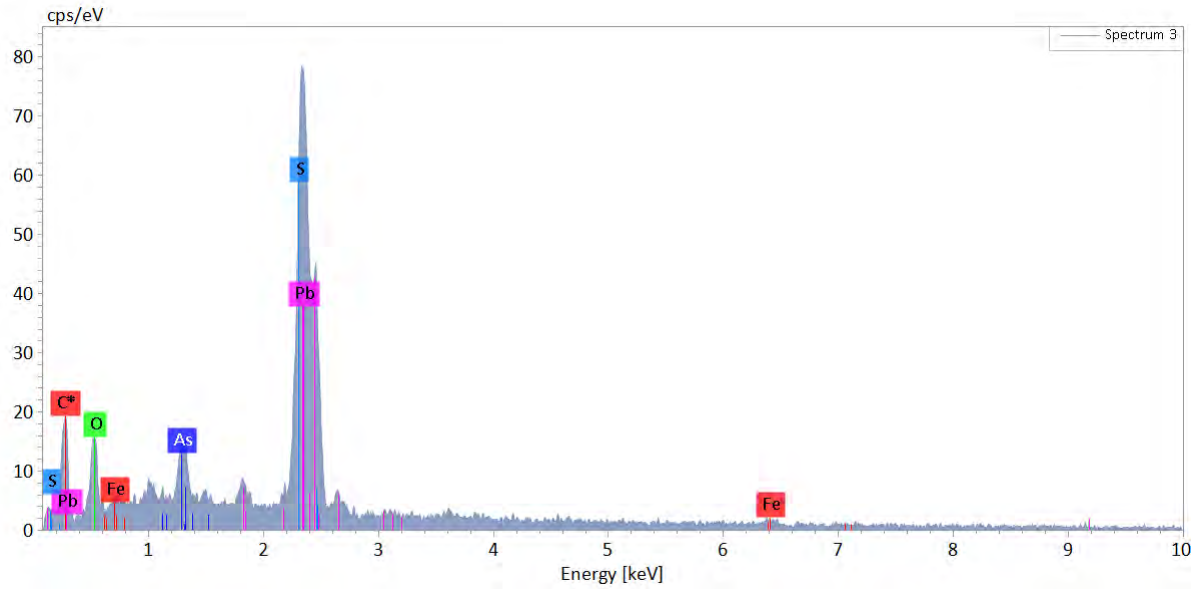
06-12-01d



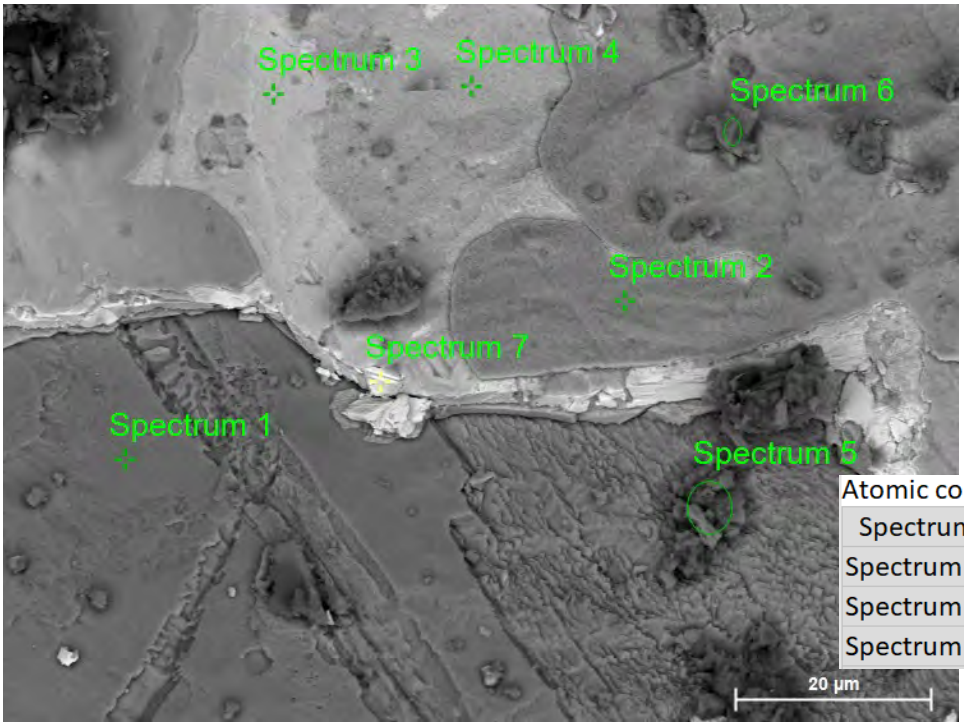
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Cl	Fe	As	Sb	Pb
Spectrum 1	13,8	61,3	4,1			6,2	7,5	2,9	4,2
Spectrum 2	27,1	45,3			3,0		9,0		15,6
Spectrum 3	41,1	31,9		8,6		2,5	1,9		14,0



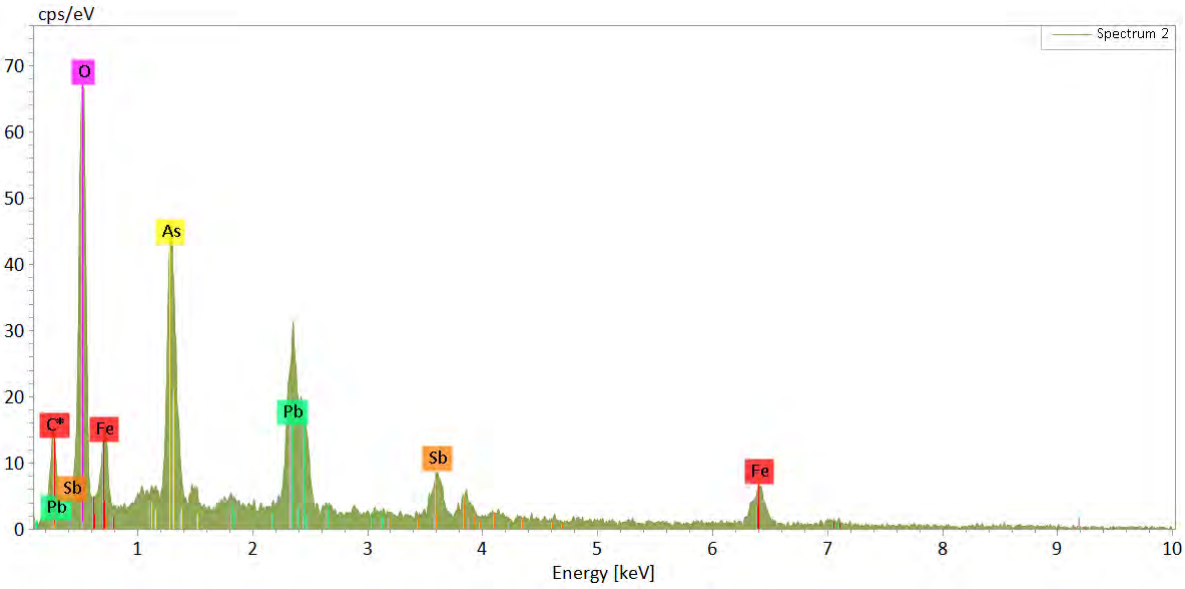


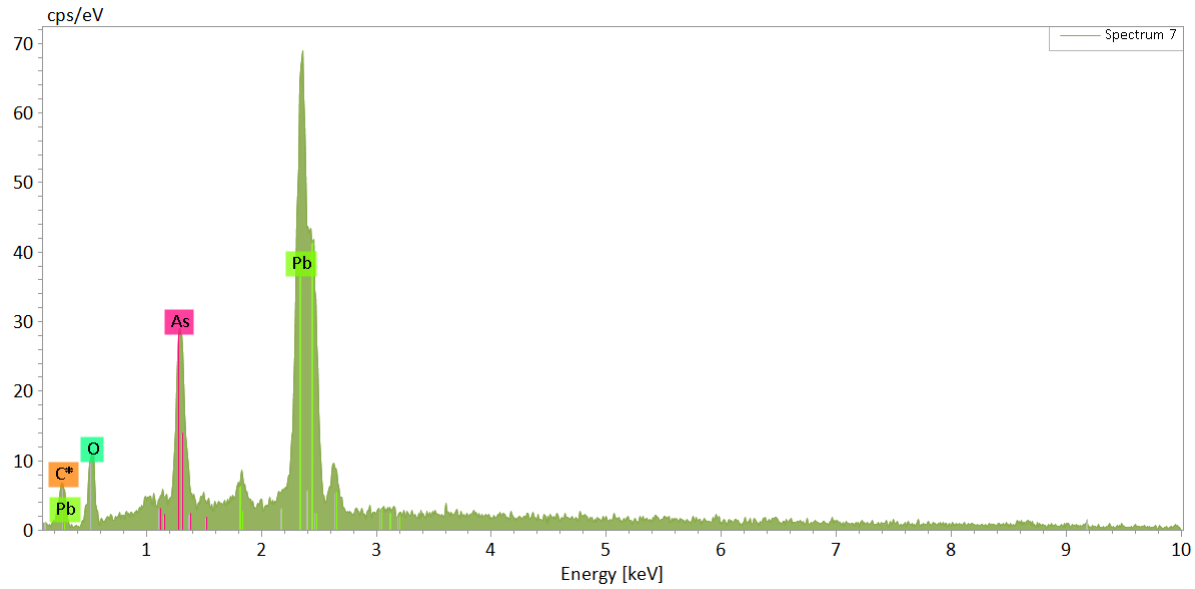
06-12-01e



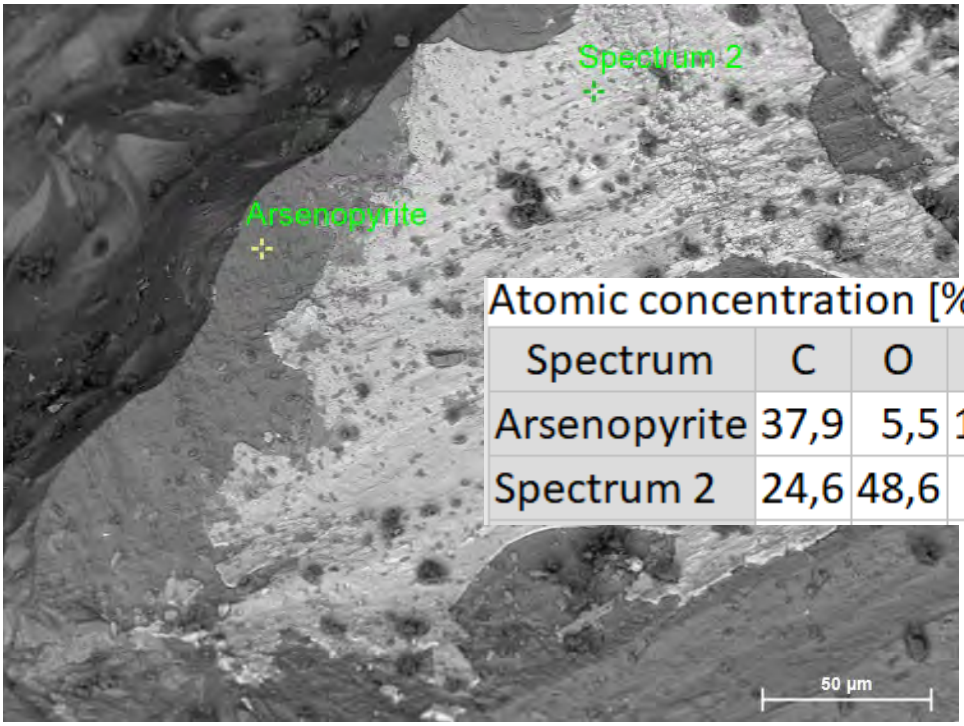
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Cl	Fe	As	Sb	Pb
Spectrum 1	13,8	61,3	4,1			6,2	7,5	2,9	4,2
Spectrum 2	27,1	45,3			3,0		9,0		15,6
Spectrum 3	41,1	31,9		8,6		2,5	1,9		14,0



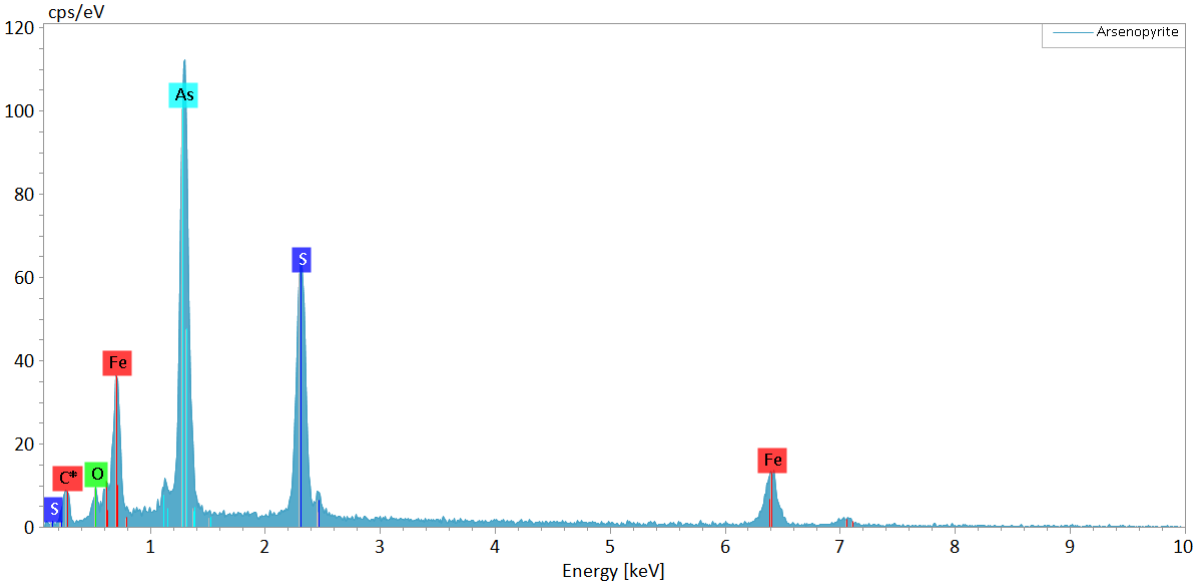


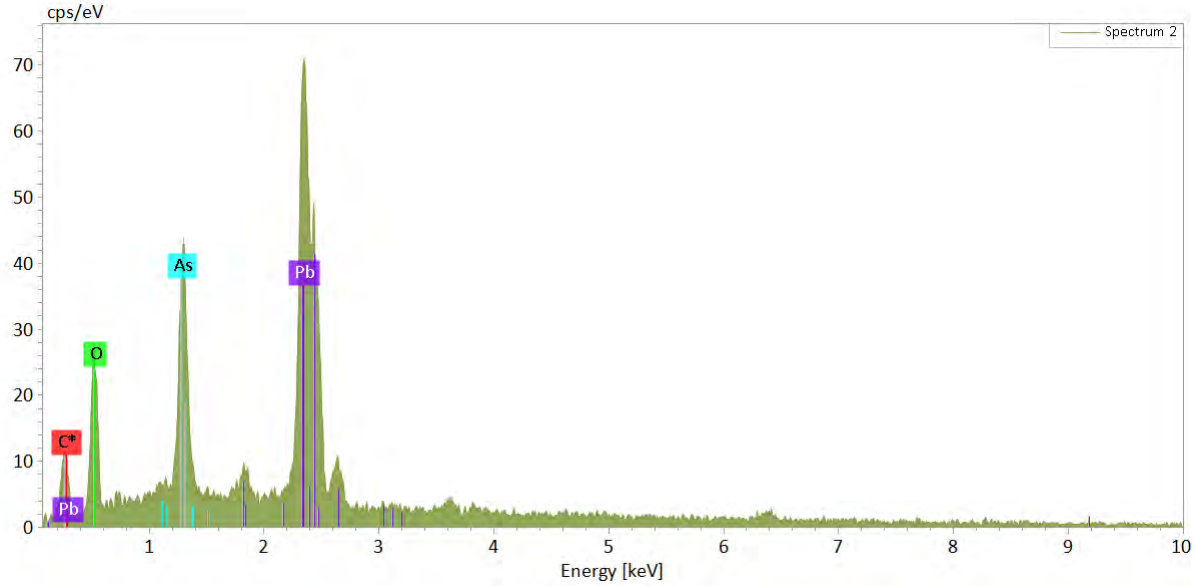
06-12-02



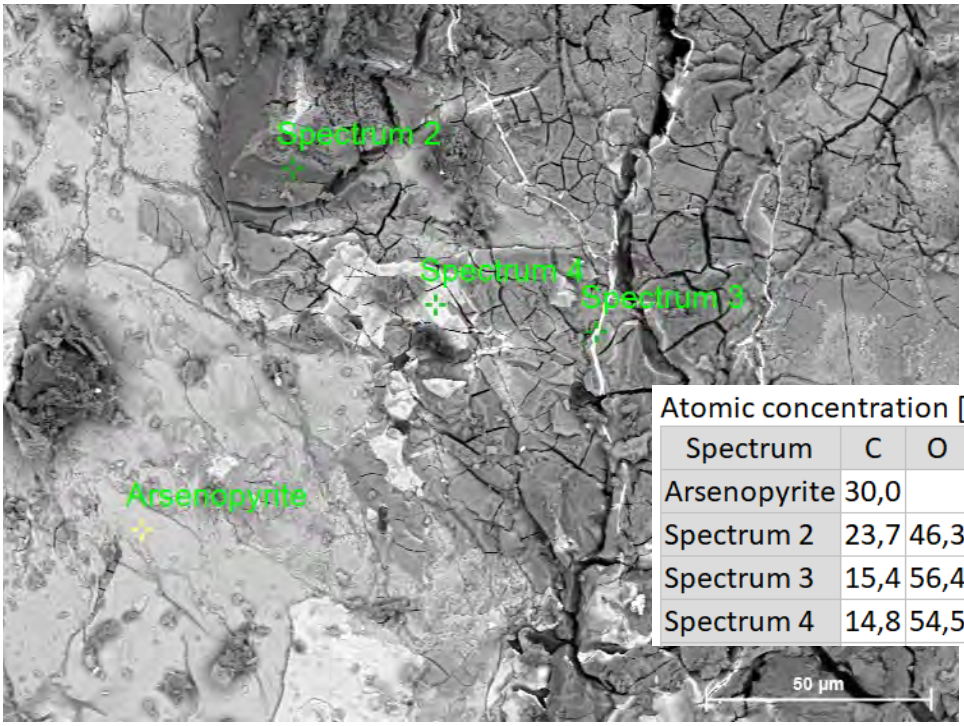
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	S	Cl	Fe	As	Pb
Arsenopyrite	37,9	5,5	18,4		21,3	16,9	
Spectrum 2	24,6	48,6		2,9		9,2	14,7



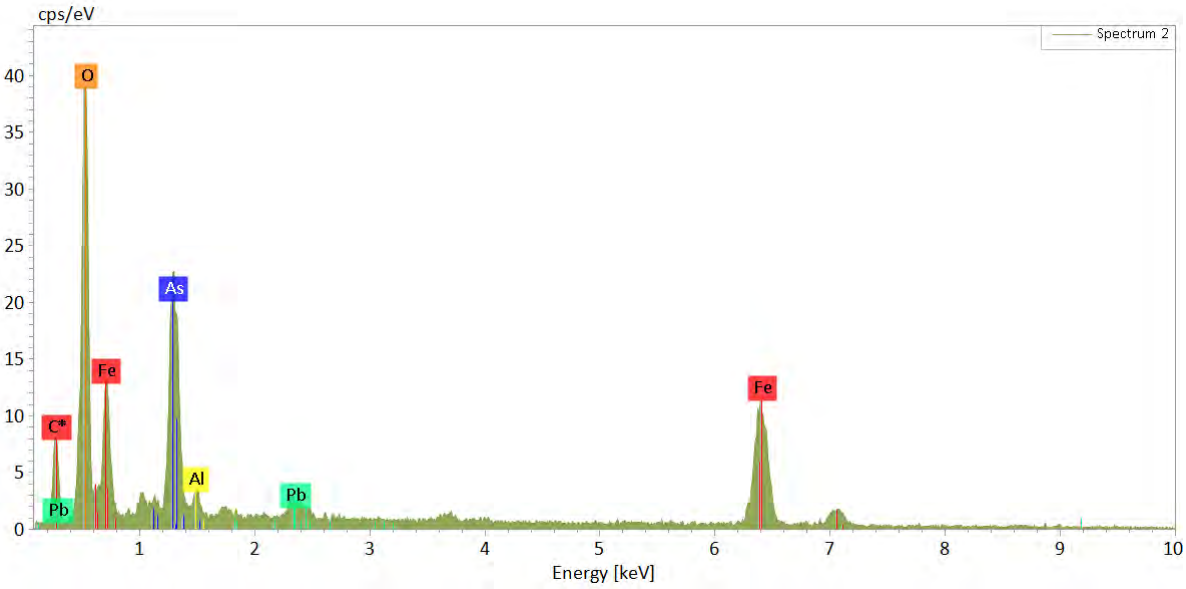


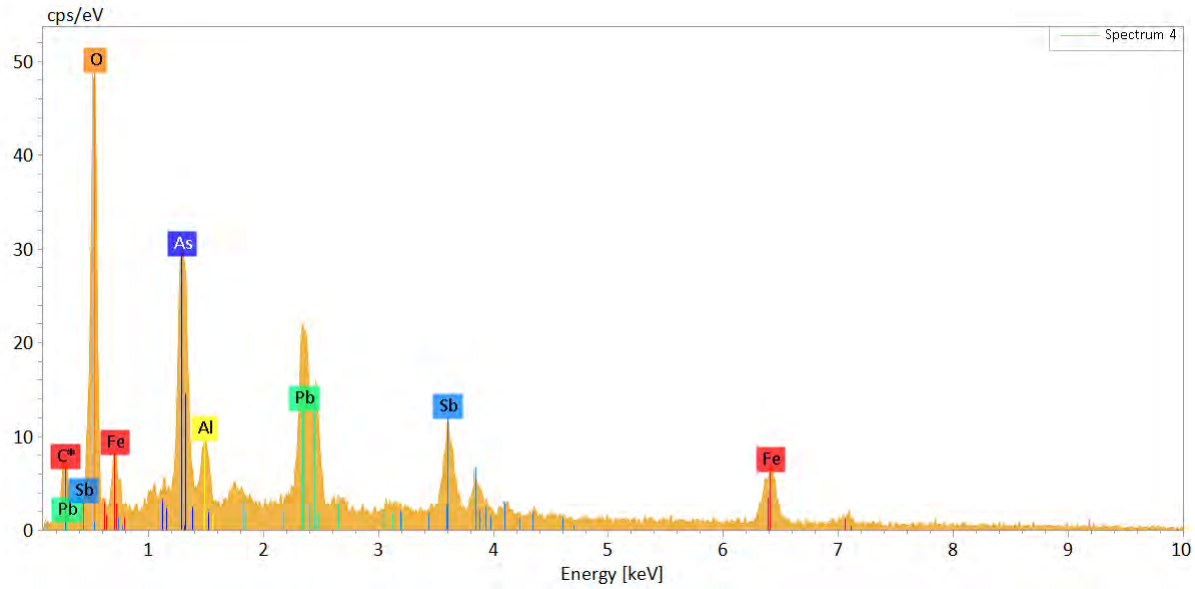
06-12-03



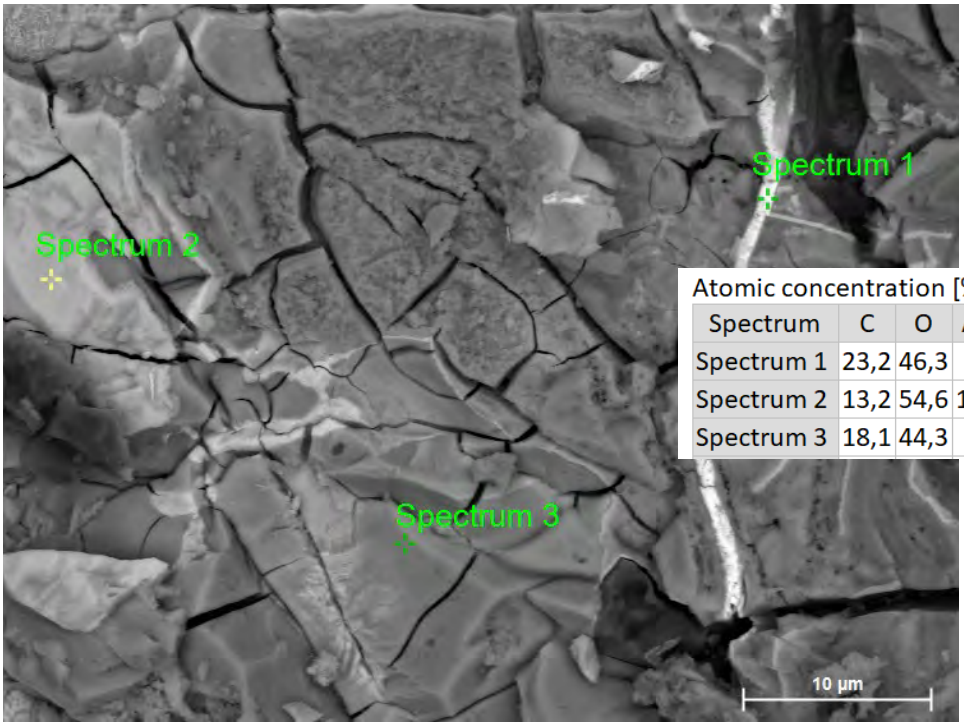
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Cl	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Arsenopyrite	30,0			22,3		24,6		23,1		
Spectrum 2	23,7	46,3	0,6			23,8		5,2		0,4
Spectrum 3	15,4	56,4			1,0	11,2	1,3	8,3		6,4
Spectrum 4	14,8	54,5	2,3			12,4		6,9	5,1	3,8



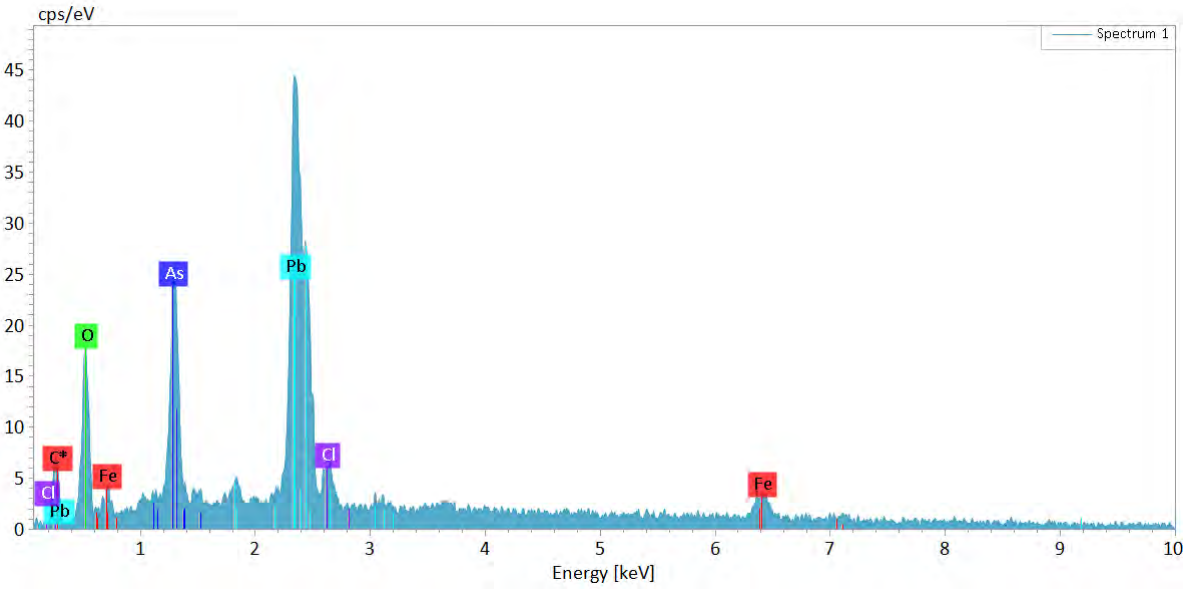


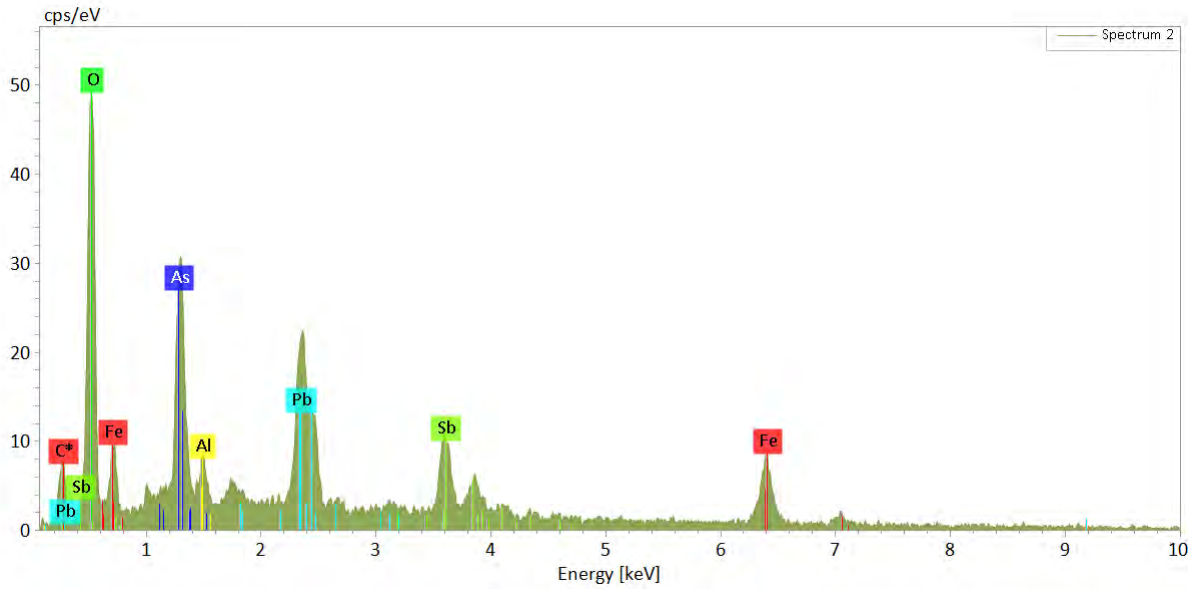
06-12-03b



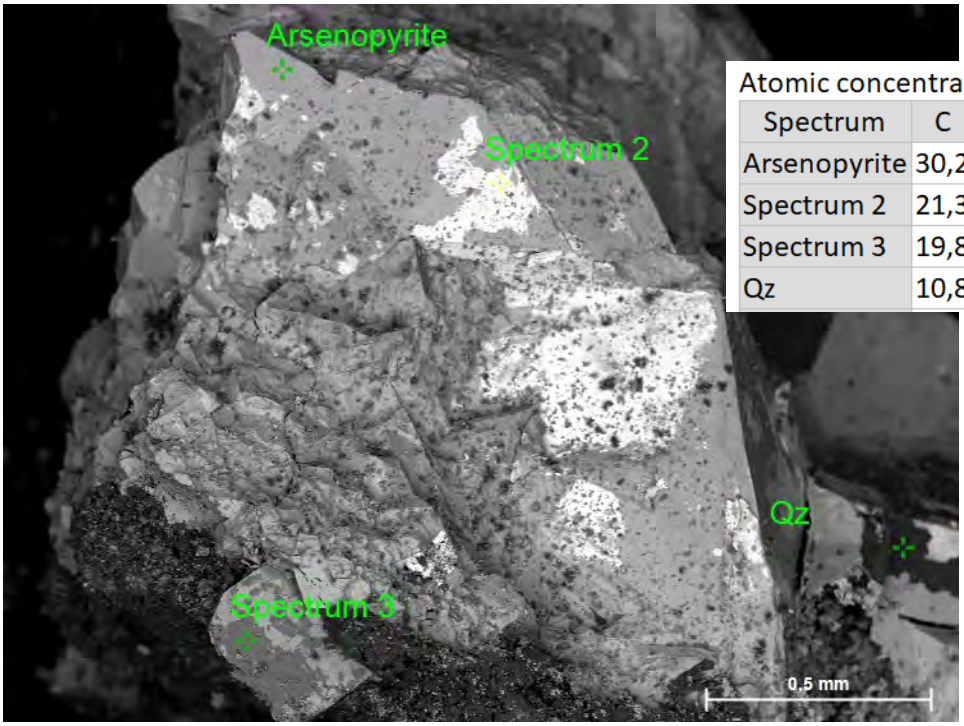
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Cl	Ca	Fe	Zn	As	Sb	Pb
Spectrum 1	23,2	46,3			2,2		6,5		9,7		12,0
Spectrum 2	13,2	54,6	1,5				15,0		7,0	5,0	3,8
Spectrum 3	18,1	44,3		1,2		1,4	21,6	1,6	10,3		1,4



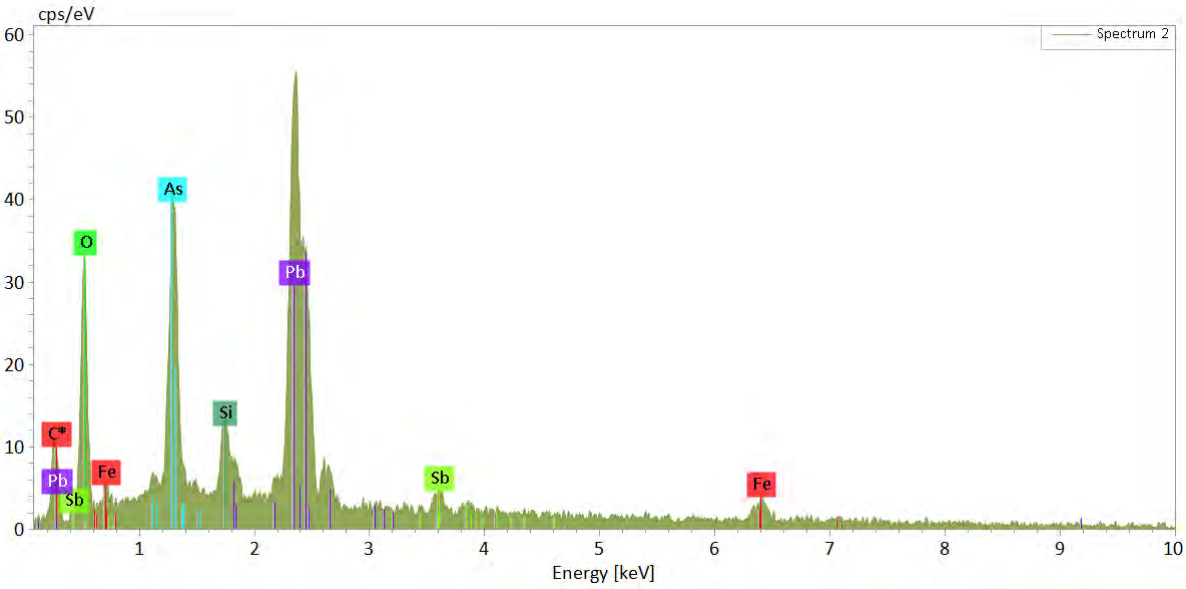


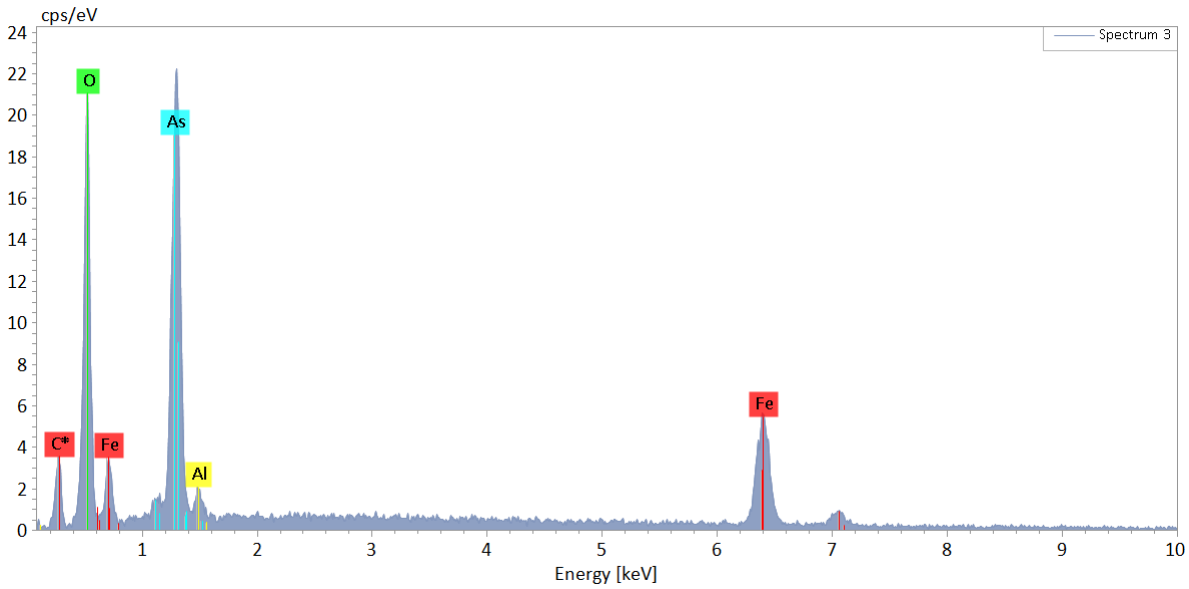
06-12-04



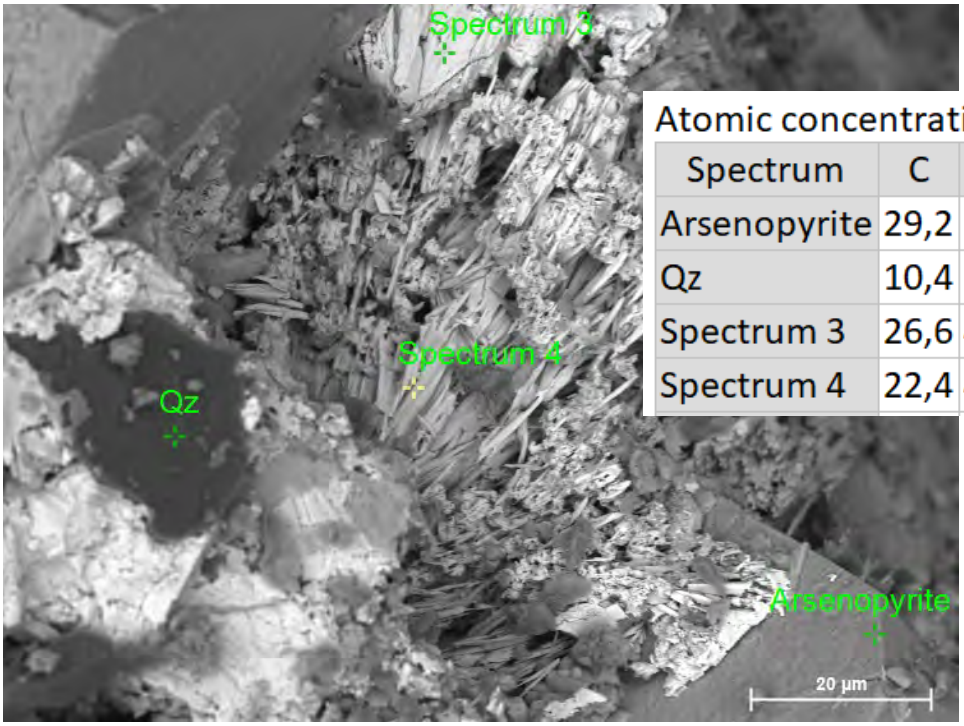
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	Si	S	Fe	As	Sb	Pb
Arsenopyrite	30,2	16,3			18,3	19,7	15,5		
Spectrum 2	21,3	50,3		3,6		5,1	8,7	1,1	9,8
Spectrum 3	19,8	47,6	1,6			15,5	15,5		
Qz	10,8	64,1		25,1					



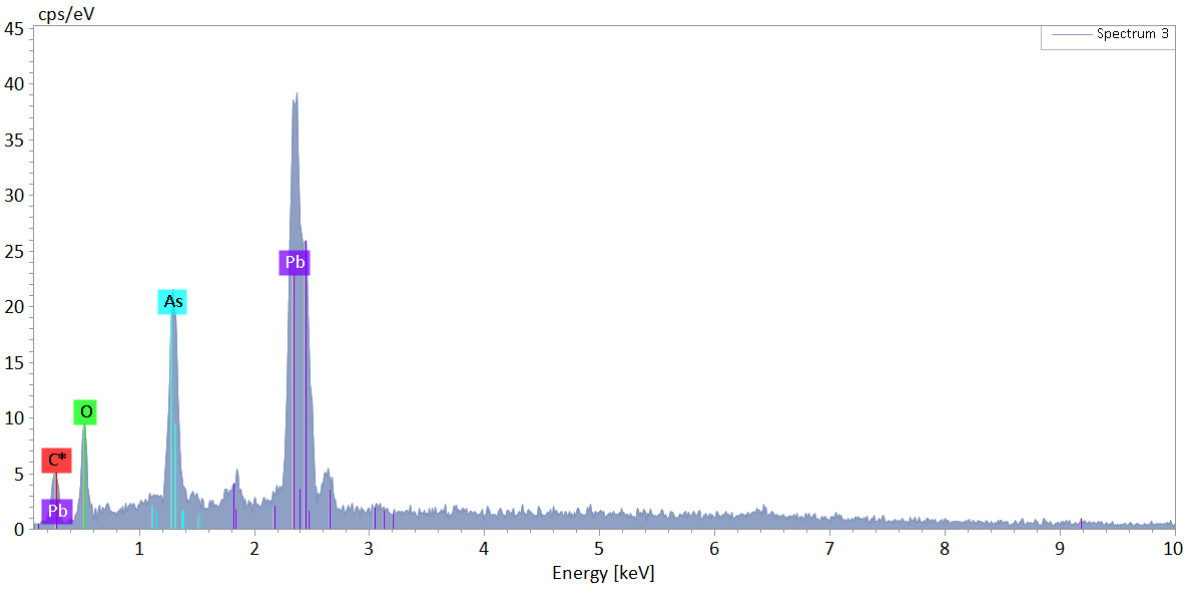


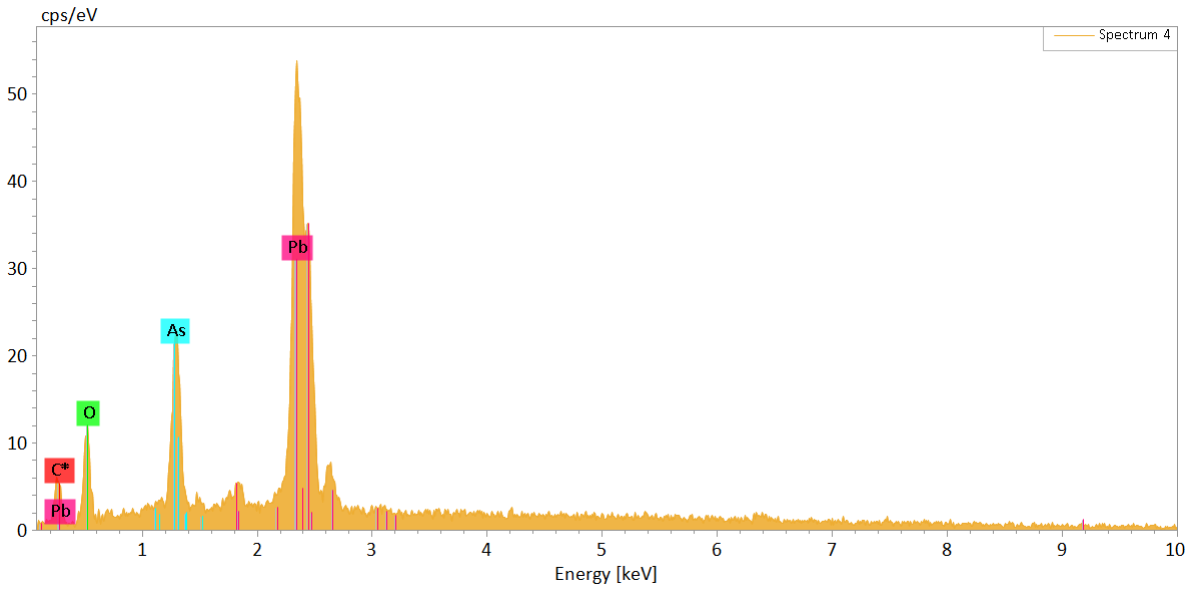
06-12-04b



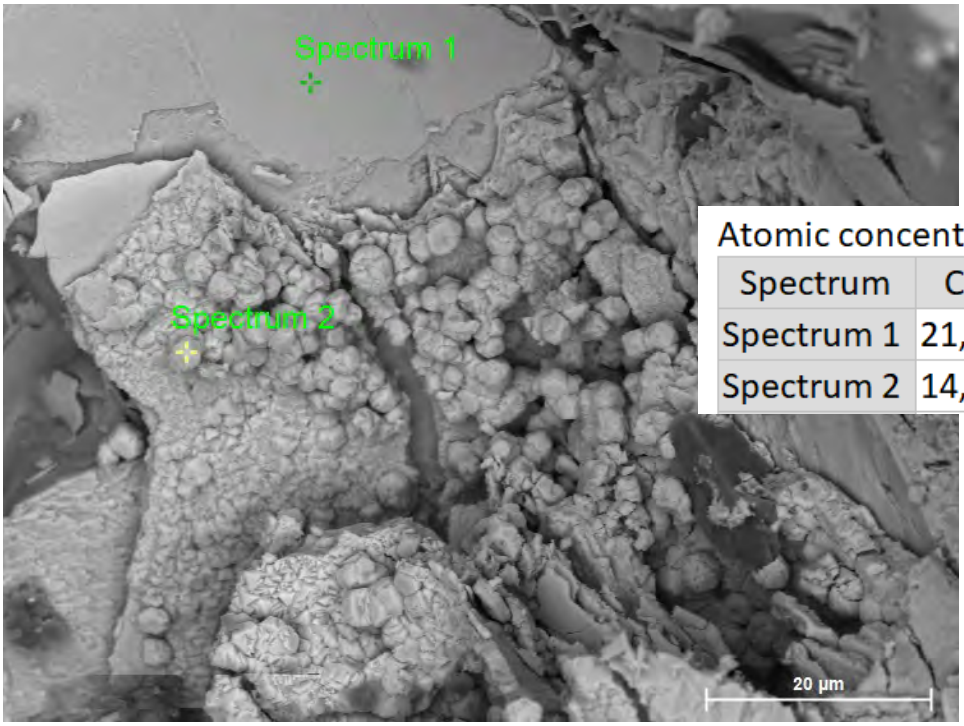
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Si	S	Fe	As	Pb
Arsenopyrite	29,2	12,3		19,8	21,8	16,9	
Qz	10,4	62,1	27,5				
Spectrum 3	26,6	41,5				13,8	18,0
Spectrum 4	22,4	43,9				14,0	19,7



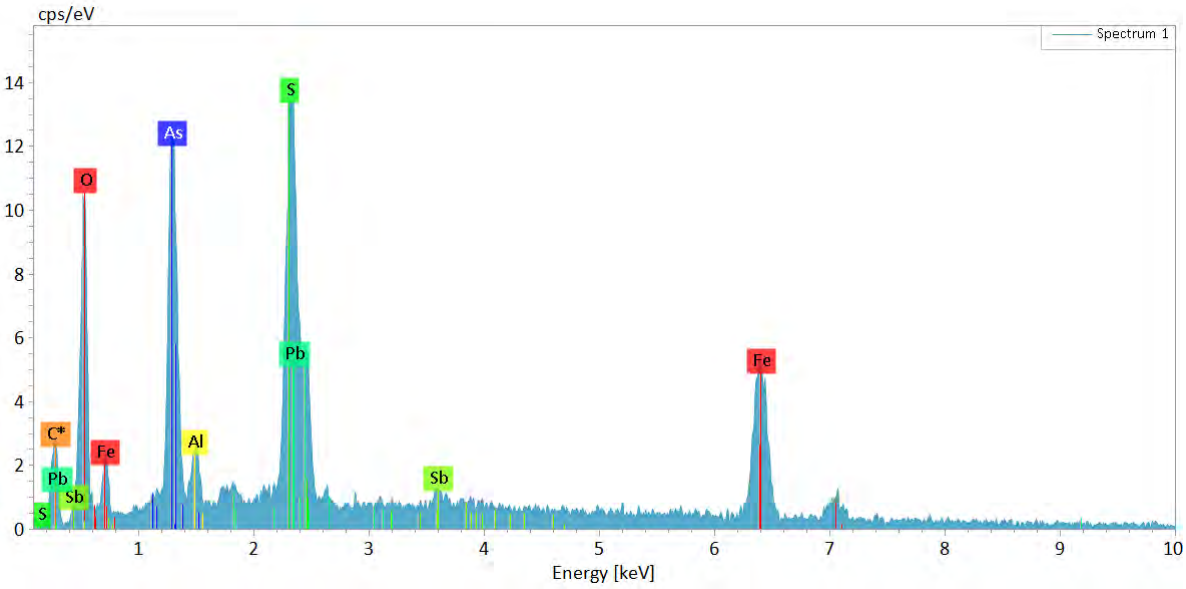


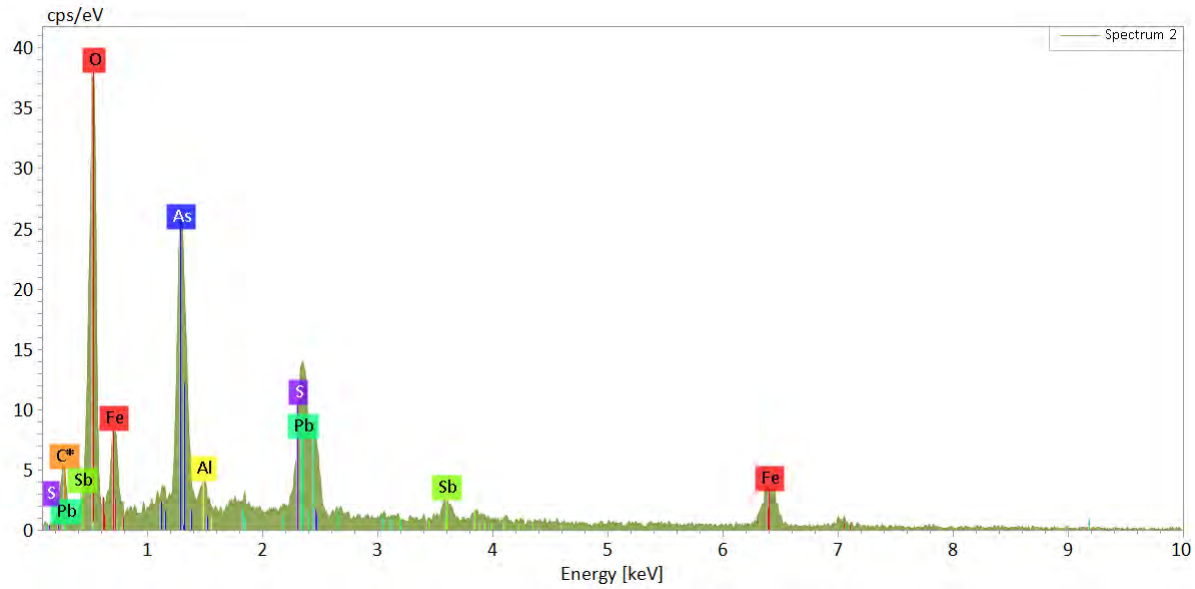
06-12-04c



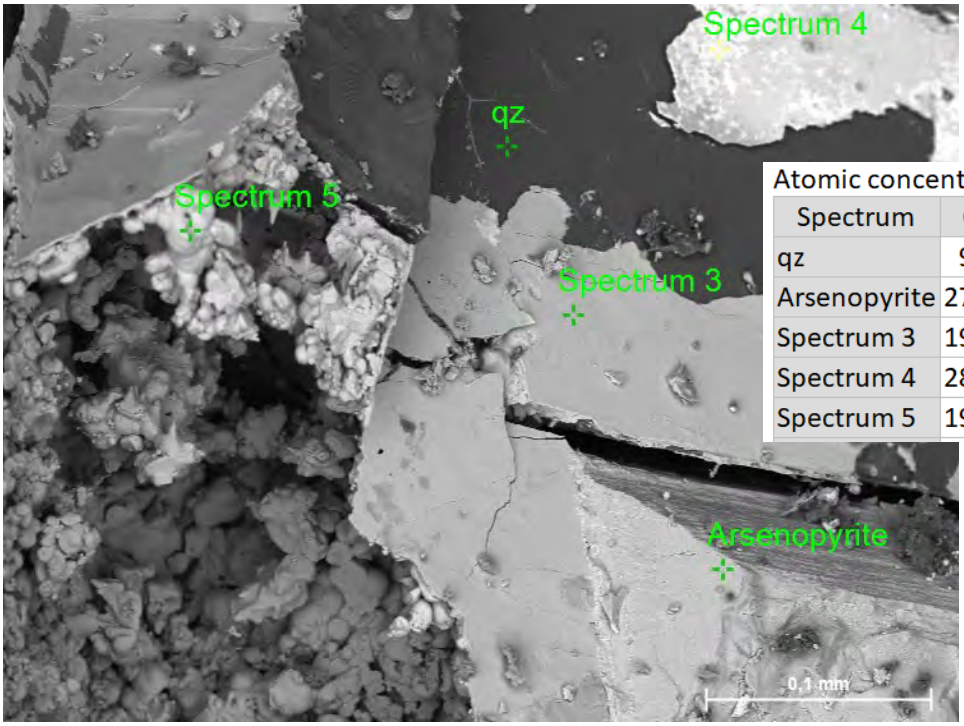
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	S	Fe	As	Sb	Pb
Spectrum 1	21,8	35,1	2,3	7,5	19,1	9,5	0,7	4,0
Spectrum 2	14,7	61,8	0,9	0,2	10,7	7,2	1,3	3,2



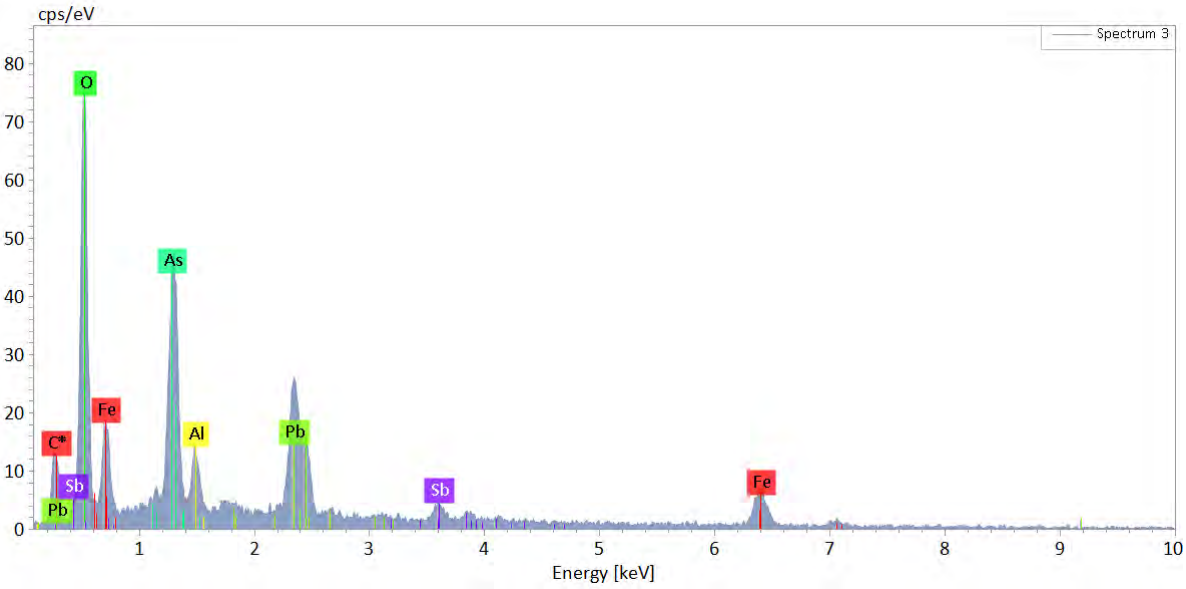


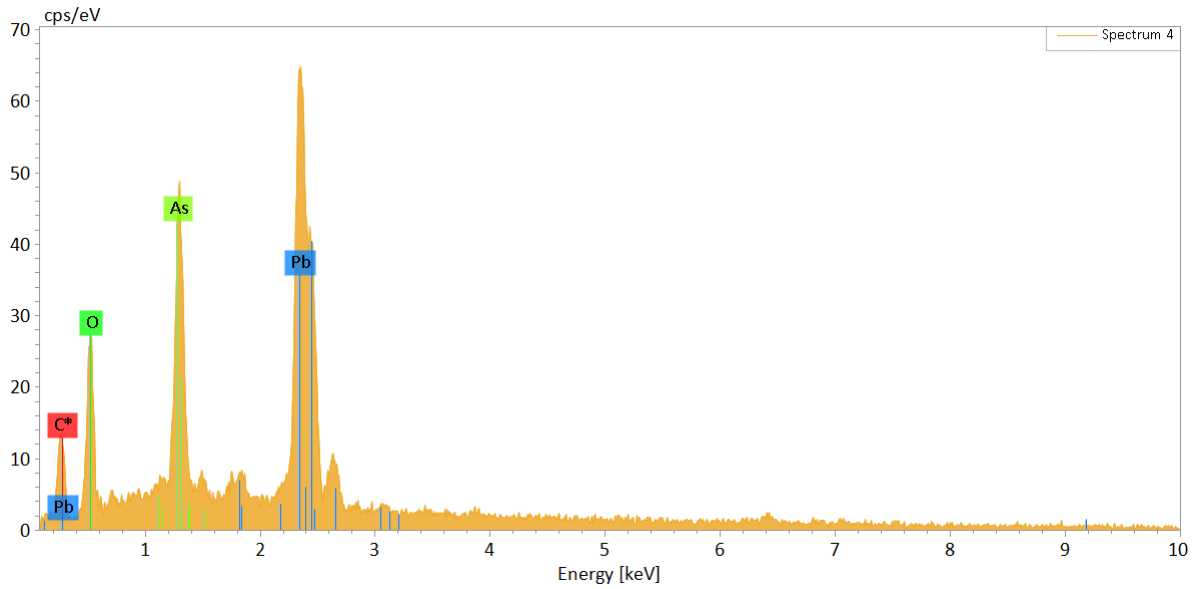
06-12-04d



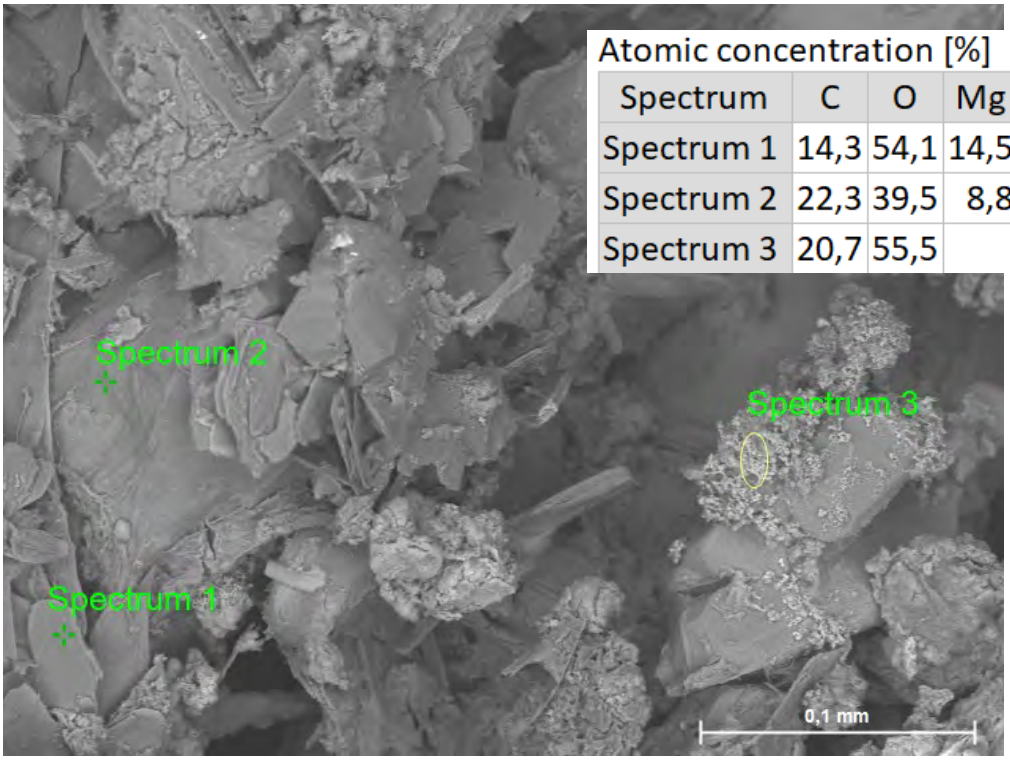
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	Si	S	Fe	As	Sb	Pb
qz	9,5	64,6		25,9					
Arsenopyrite	27,6	31,7			13,2	15,8	11,1	0,5	
Spectrum 3	19,2	59,3	2,0			9,8	5,9	1,1	2,7
Spectrum 4	28,1	48,8					9,9		13,3
Spectrum 5	19,8	59,3	2,0			8,0	6,9	1,1	2,9



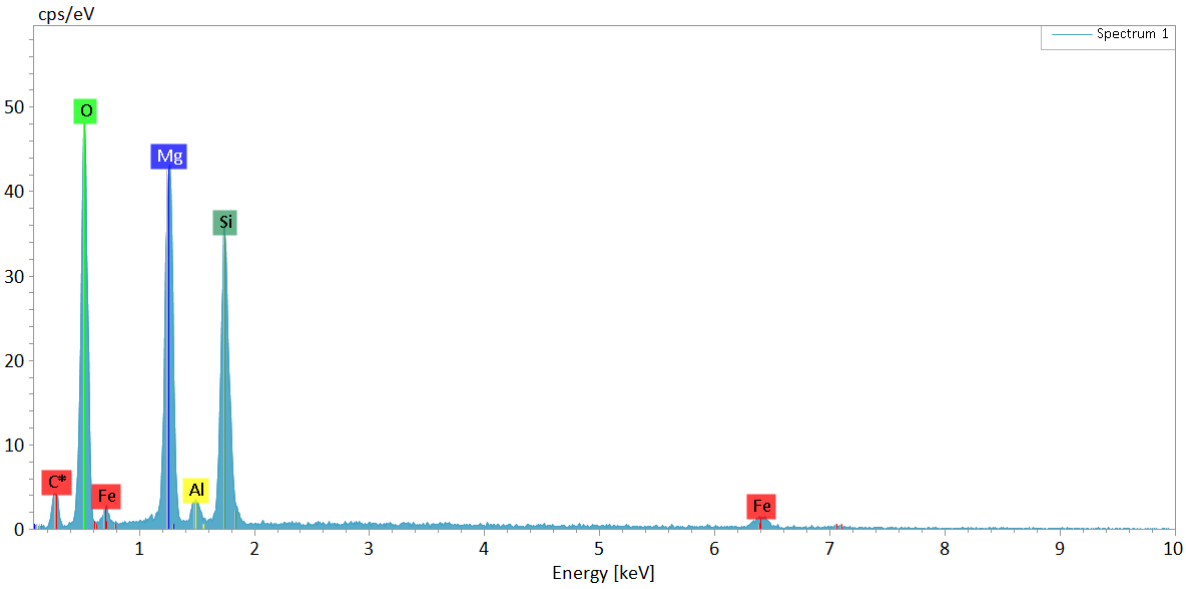


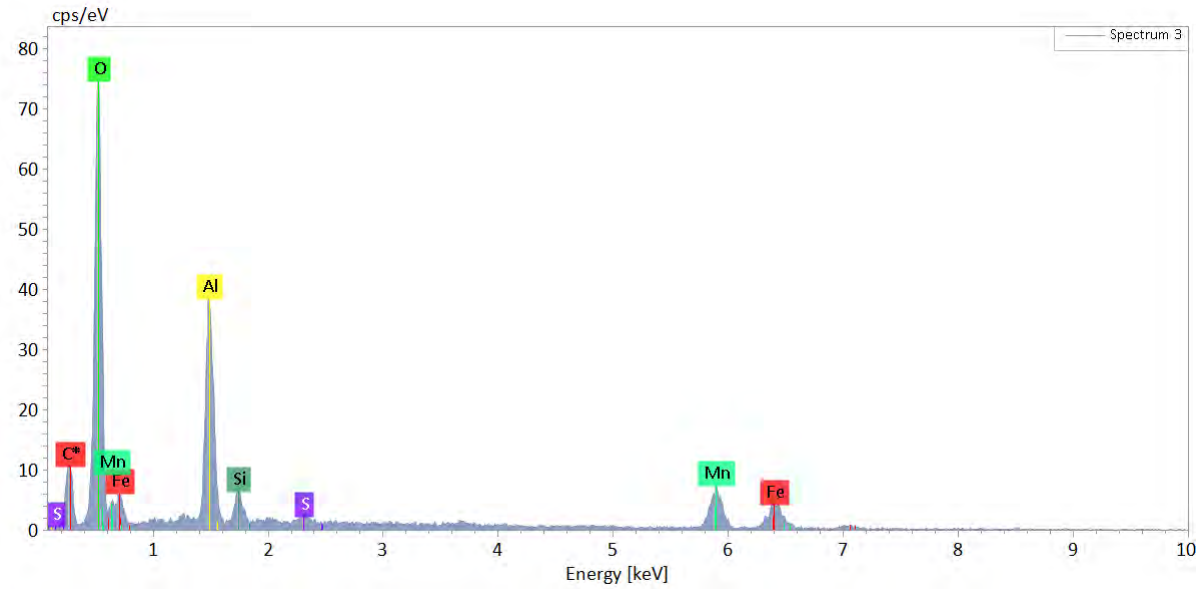
06-14



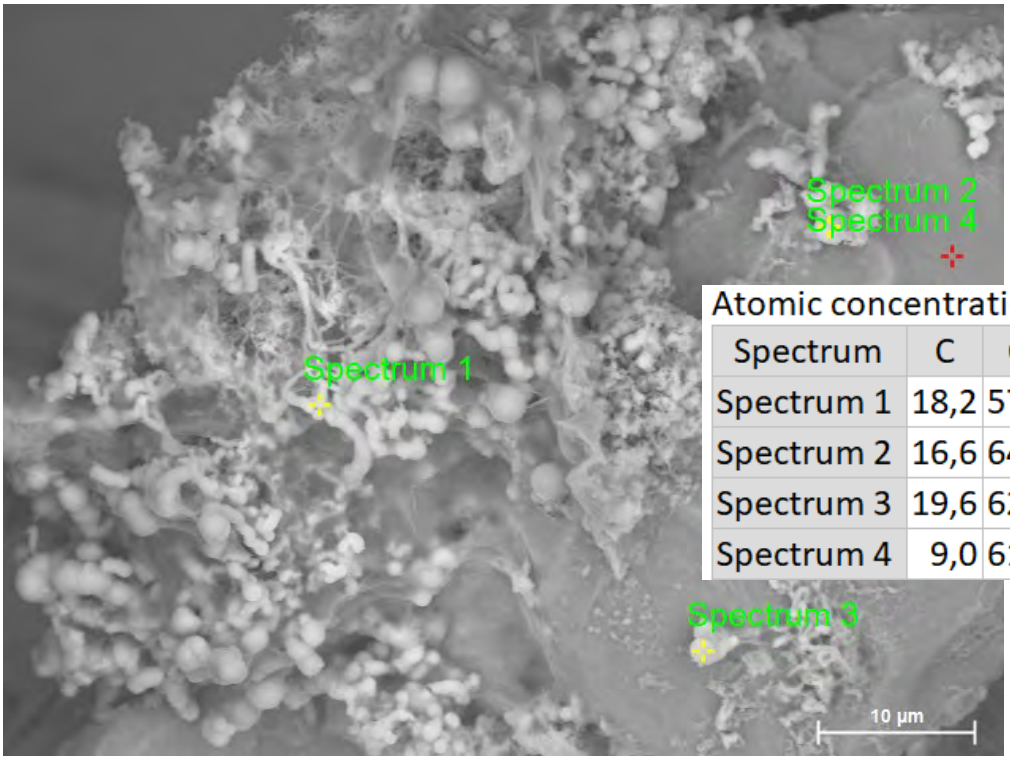
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe
Spectrum 1	14,3	54,1	14,5	0,9	14,5				1,8
Spectrum 2	22,3	39,5	8,8	2,4	20,1		4,9		1,9
Spectrum 3	20,7	55,5		8,9	1,3	0,4		7,3	6,0



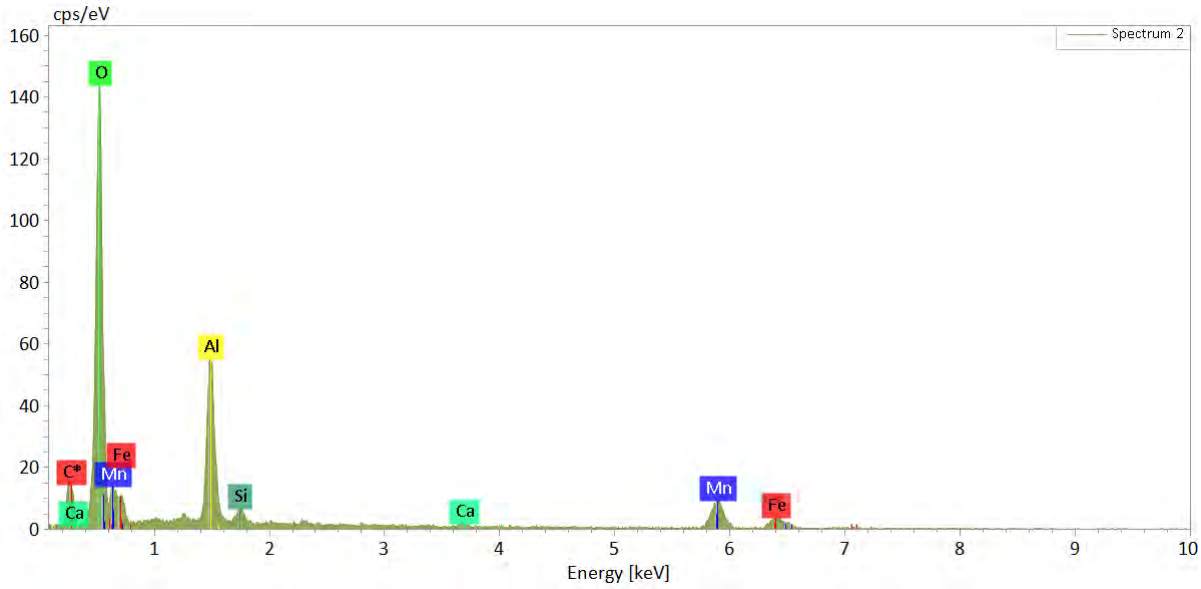


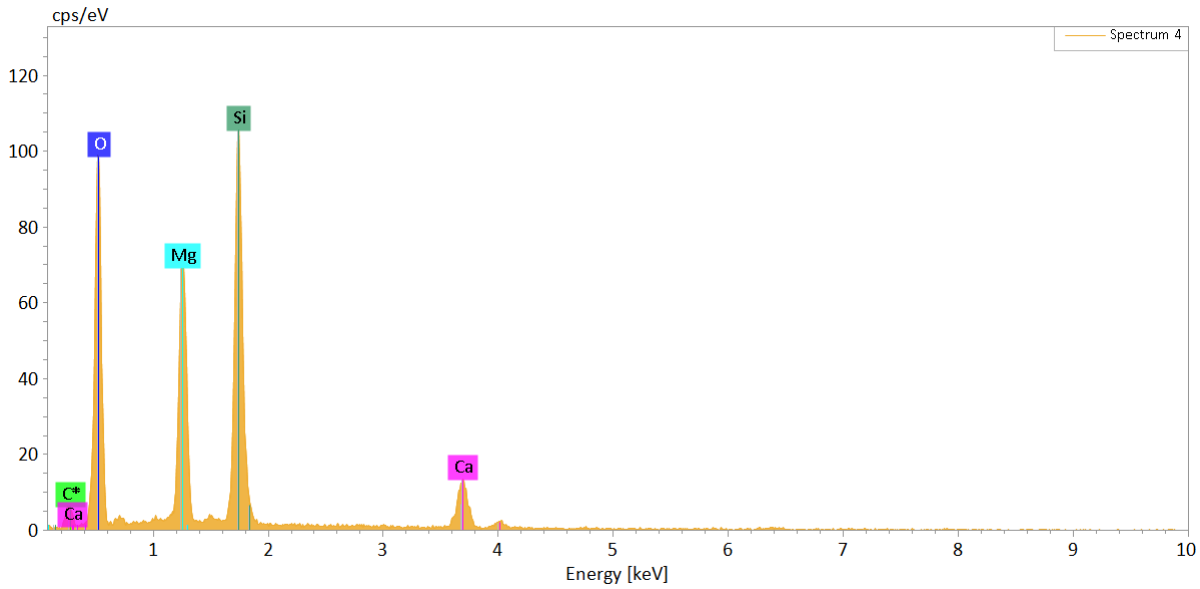
06-14-01c



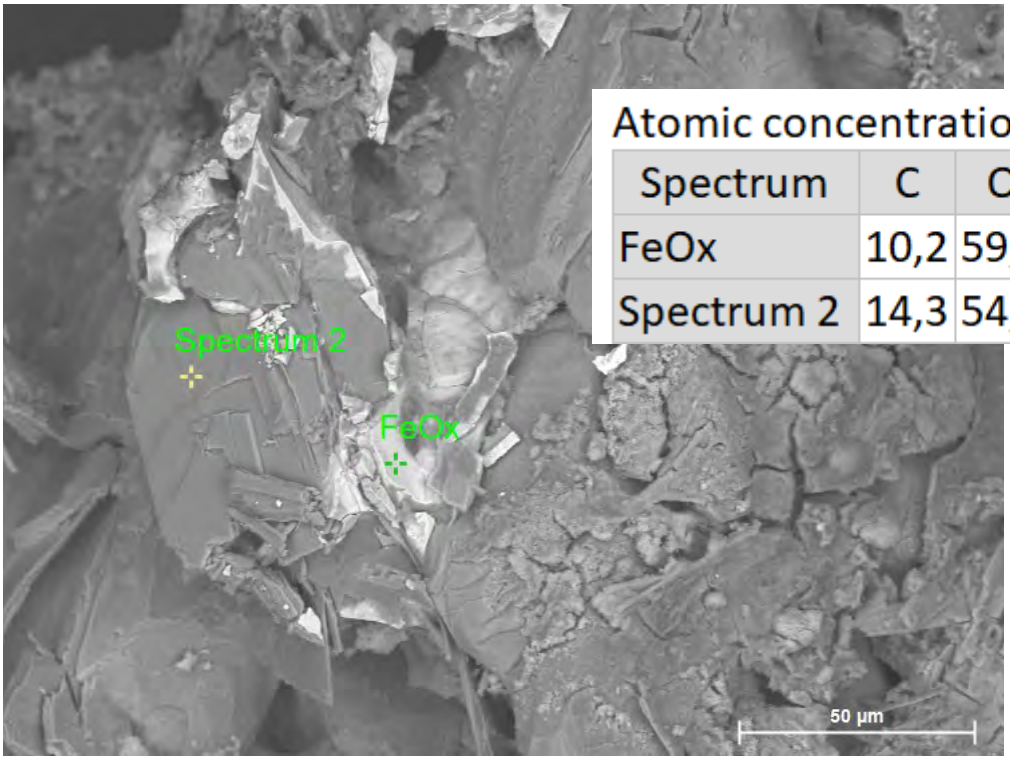
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Spectrum 1	18,2	57,2		9,4	1,2		8,9	5,0
Spectrum 2	16,6	64,8		6,9	0,7	0,3	7,5	3,3
Spectrum 3	19,6	62,2	0,6	5,6	1,2	0,4	7,3	3,1
Spectrum 4	9,0	61,6	9,0		15,6	4,8		



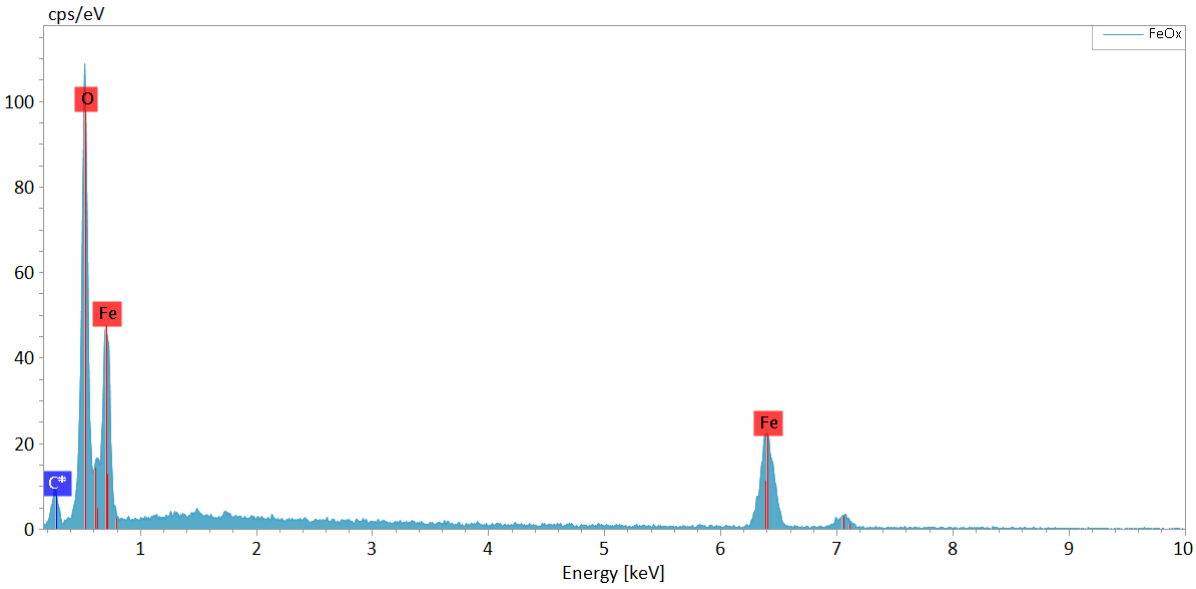


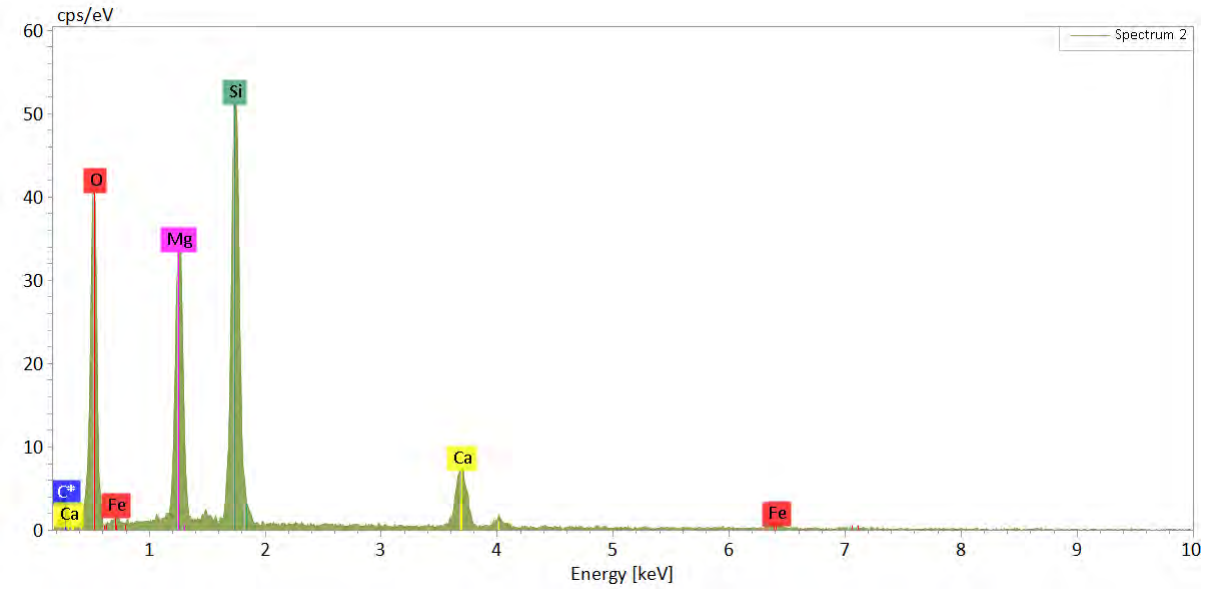
06-14-01d



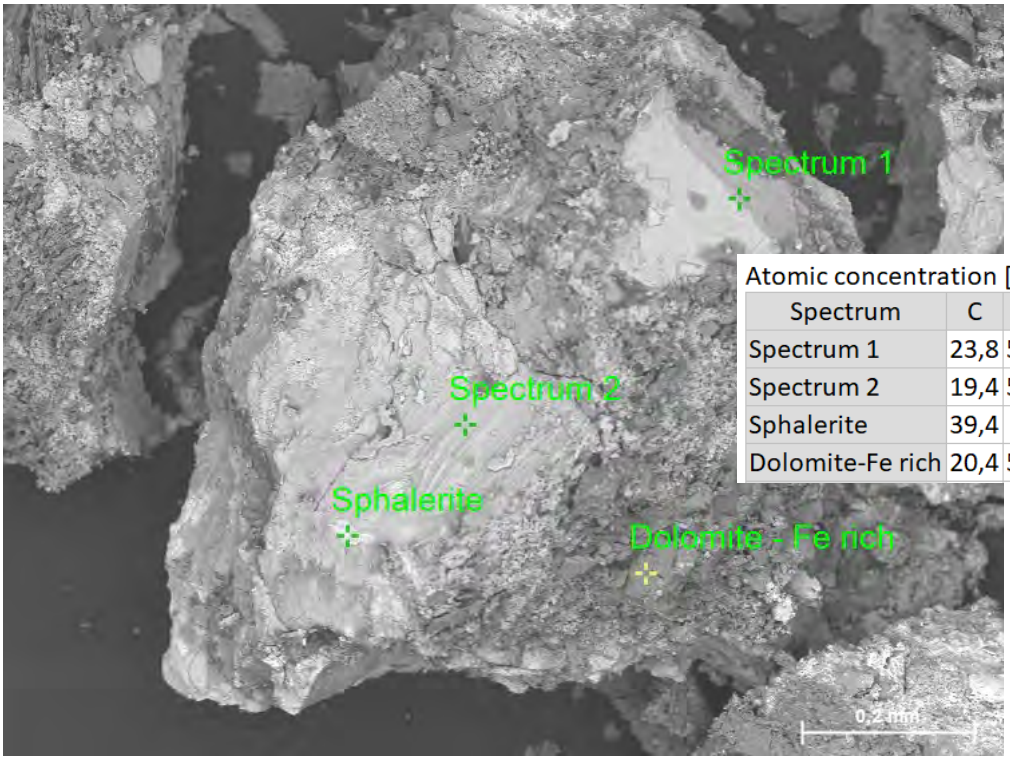
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Mg	Si	Ca	Fe
FeOx	10,2	59,0				30,8
Spectrum 2	14,3	54,8	8,4	16,6	5,0	0,9



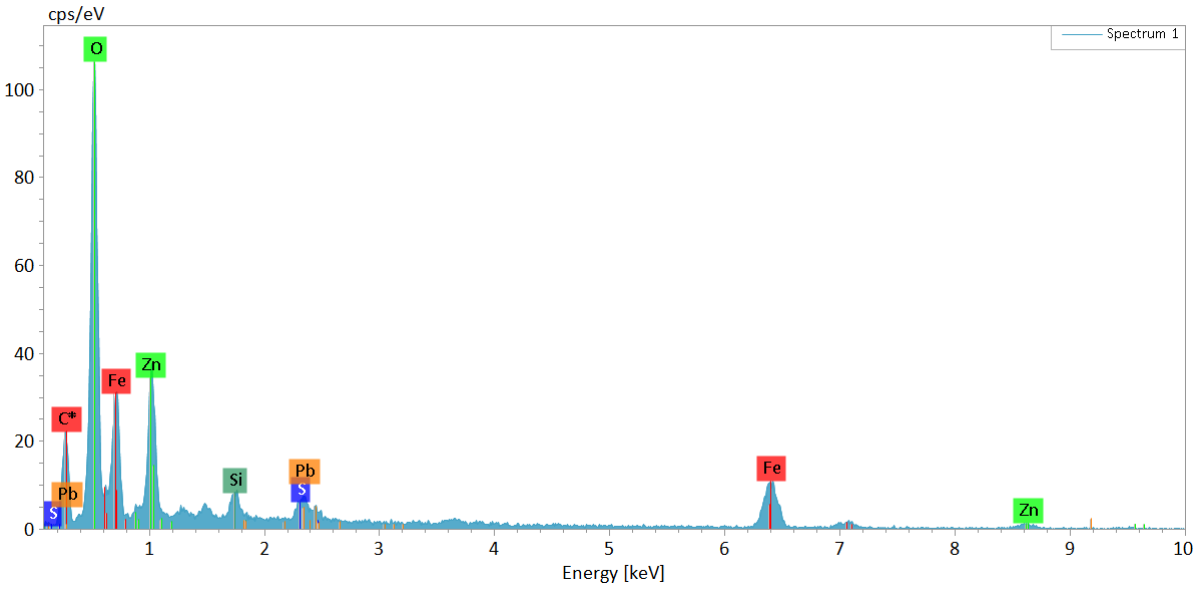


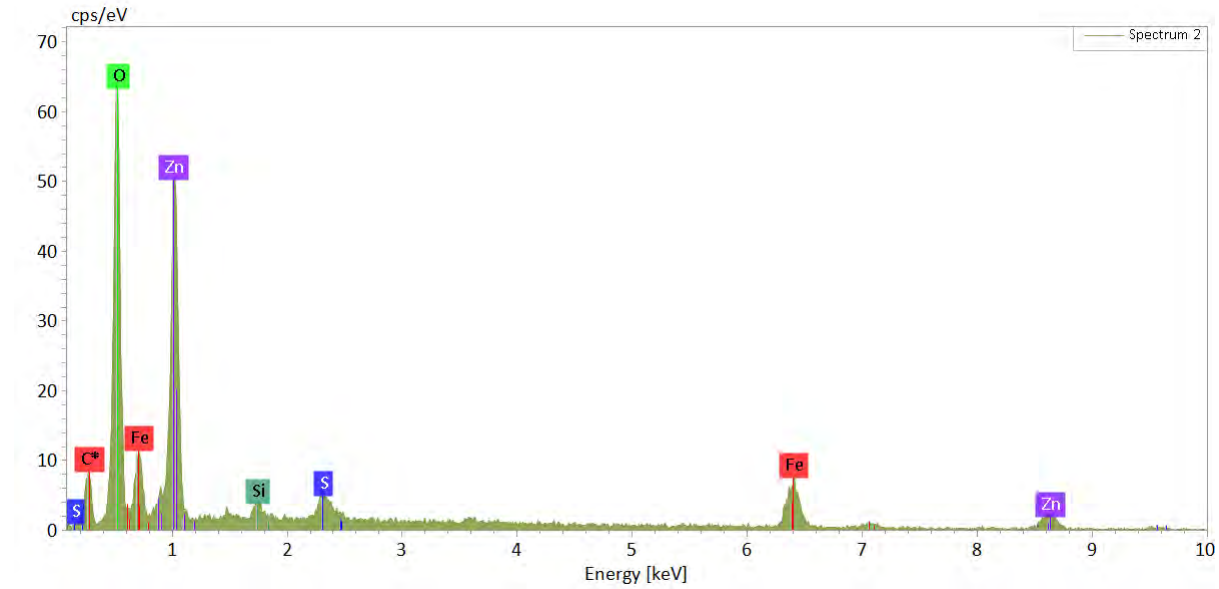
06-15-01



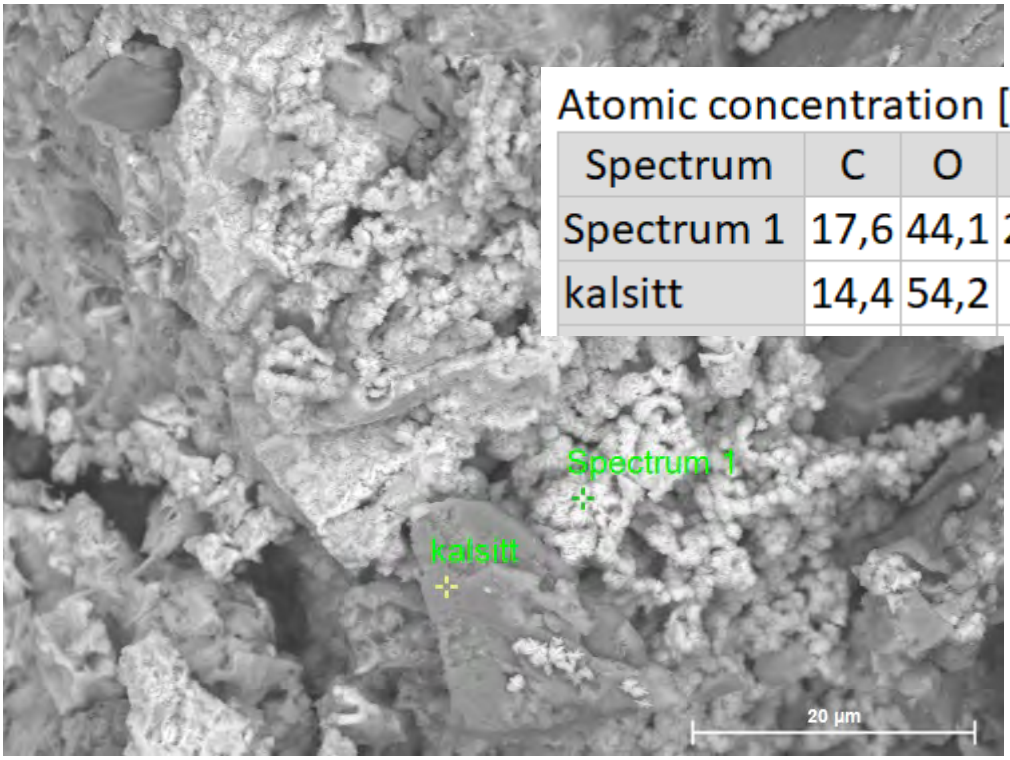
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Mg	Si	S	Ca	Fe	Zn	Pb
Spectrum 1	23,8	58,3		1,1	0,4		12,8	3,3	0,4
Spectrum 2	19,4	57,2		0,9	1,3		9,8	11,5	
Sphalerite	39,4	4,7			26,5		4,2	25,2	
Dolomite-Fe rich	20,4	58,3	4,1			12,8	4,4		



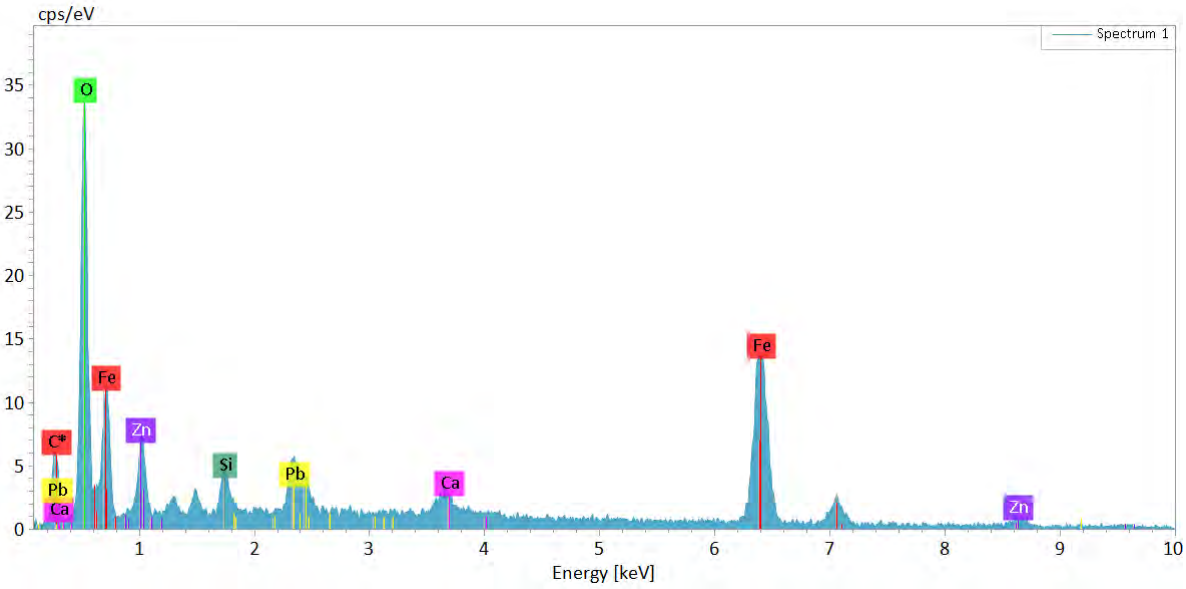


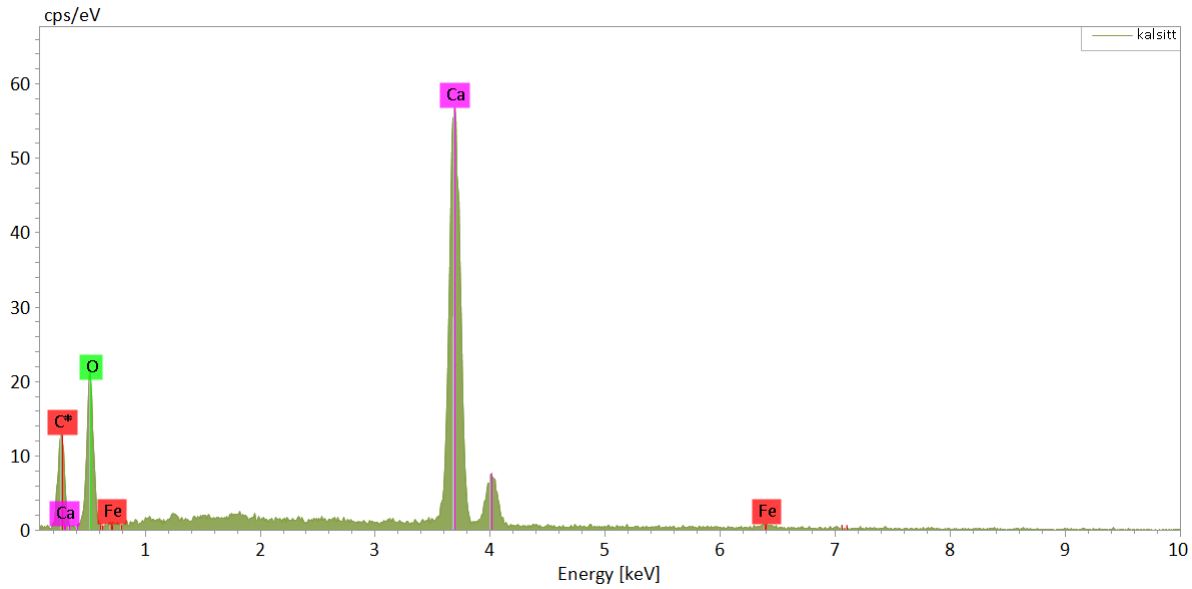
06-15-01b



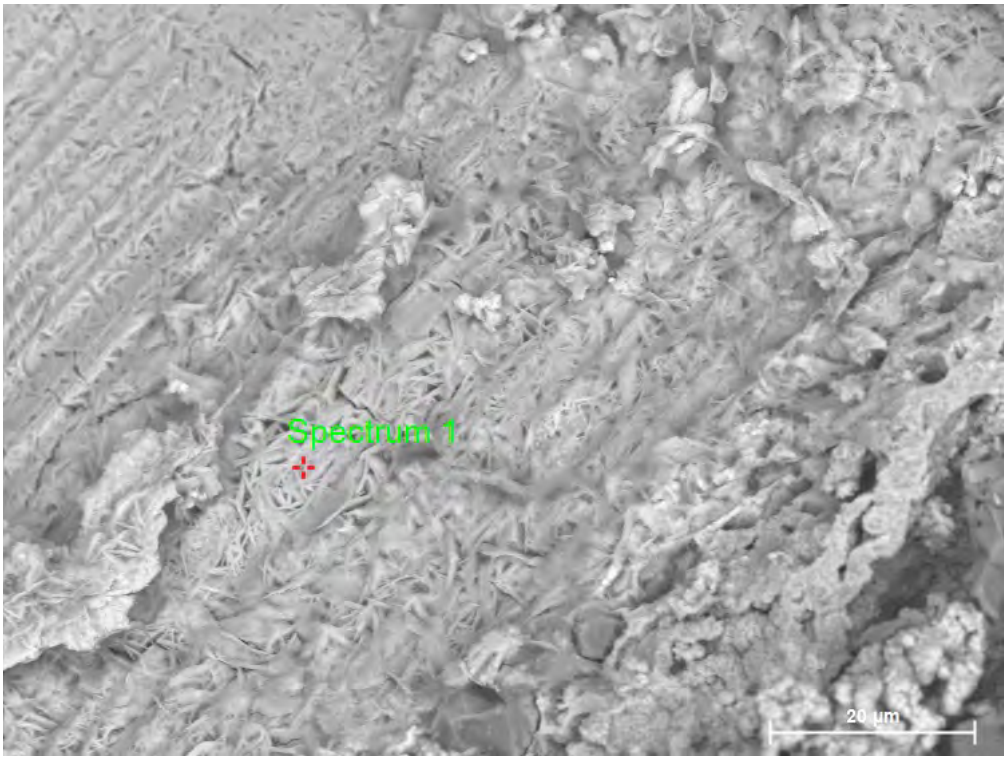
Atomic concentration [%]

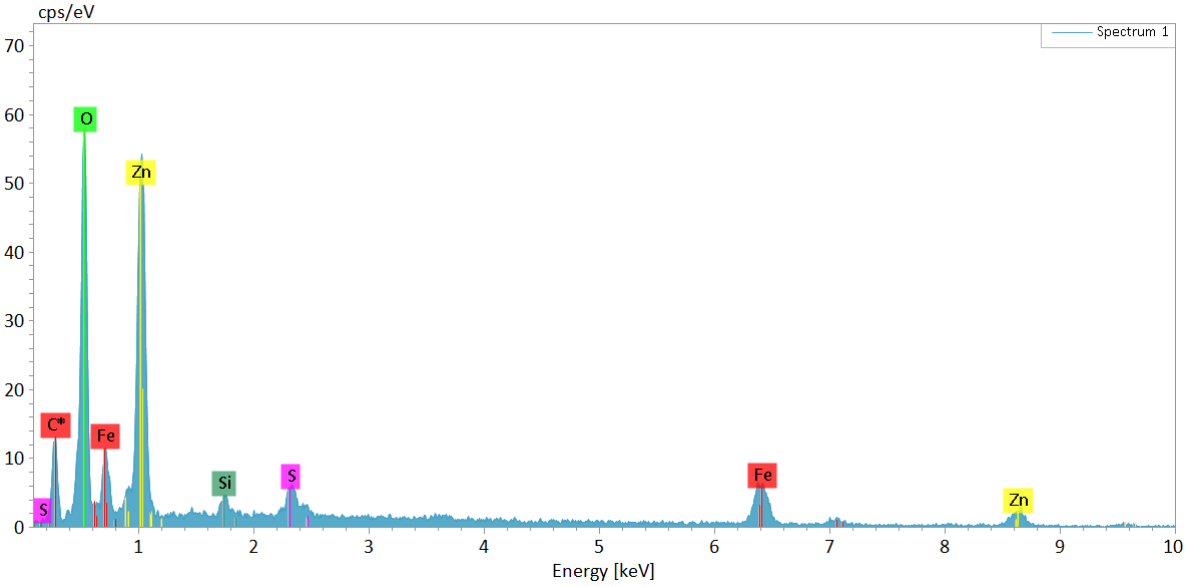
Spectrum	C	O	Si	Ca	Fe	Zn	Pb
Spectrum 1	17,6	44,1	2,3	1,4	30,6	2,7	1,2
kalsitt	14,4	54,2		30,7	0,8		





06-15-01d

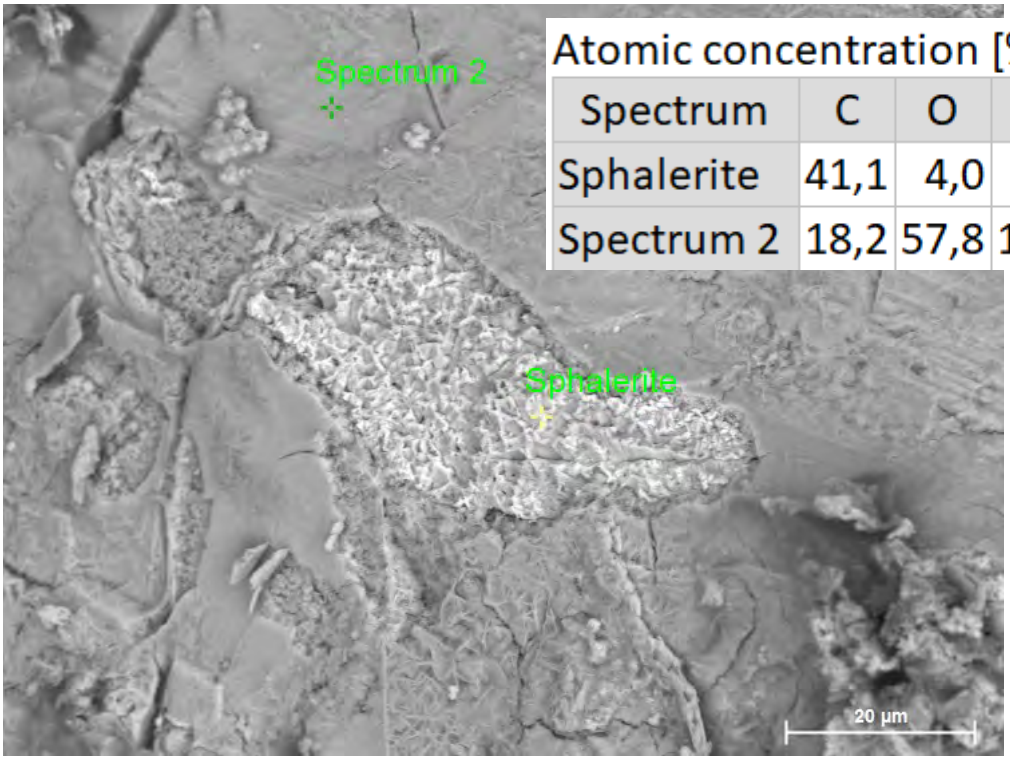




Spectrum 1

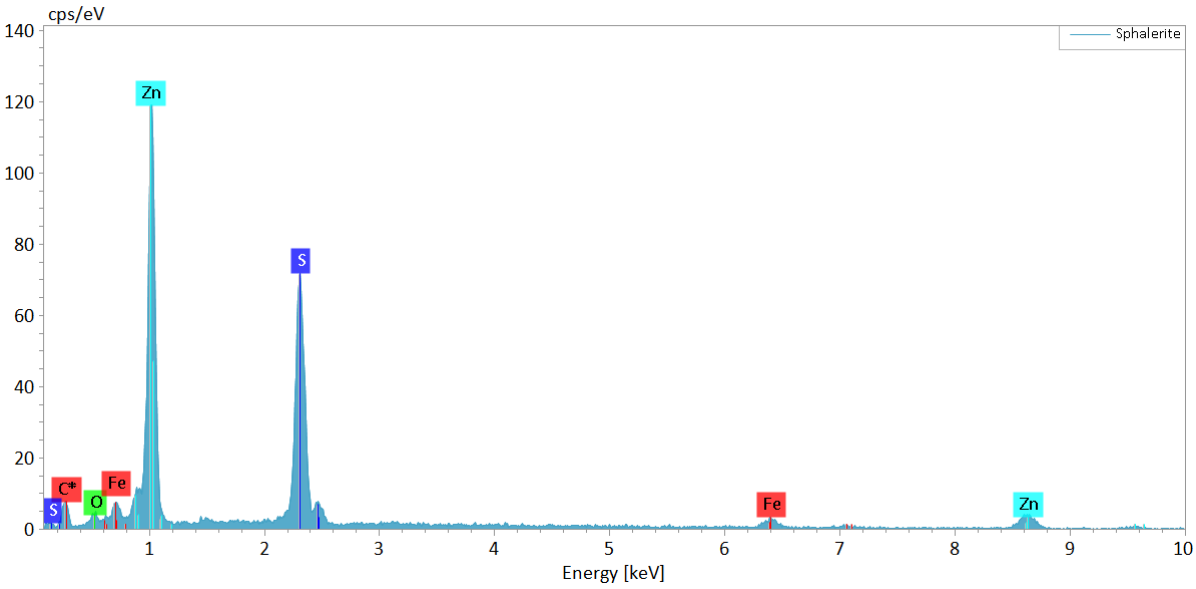
Element	At. No.	Net	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [mass%] (1 σ)	rel. error [%] (1 σ)
C	6	1237	9,4	12,4	24,8	0,6	6,1
O	8	7739	25,4	33,6	50,7	1,1	4,3
Na	11	1201	2,3	3,0	3,1	0,5	21,4
Si	14	534	0,8	1,0	0,9	0,1	9,5
S	16	922	1,3	1,8	1,3	0,1	7,5
Fe	26	2237	15,7	20,7	8,9	1,1	7,3
Zn	30	8470	20,8	27,5	10,1	1,7	8,4
		Sum	**75,7**	**100,0**	**100,0**		

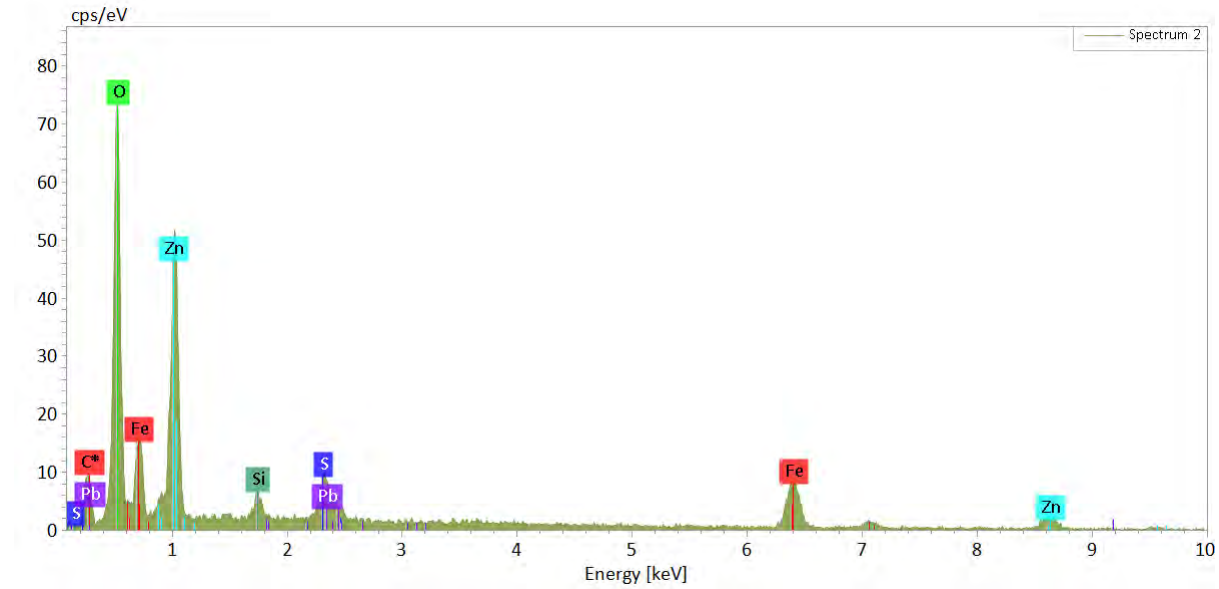
06-15-01e



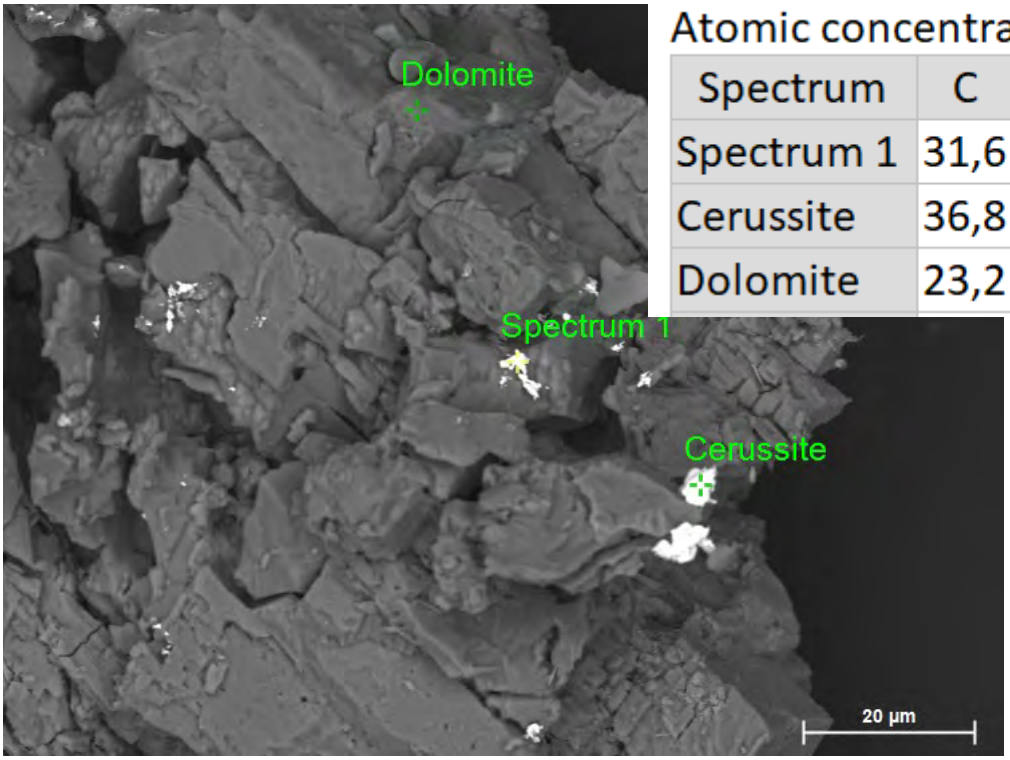
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Si	S	Fe	Zn	Pb
Sphalerite	41,1	4,0		26,1	4,4	24,4	
Spectrum 2	18,2	57,8	1,9	1,4	11,1	8,8	0,7



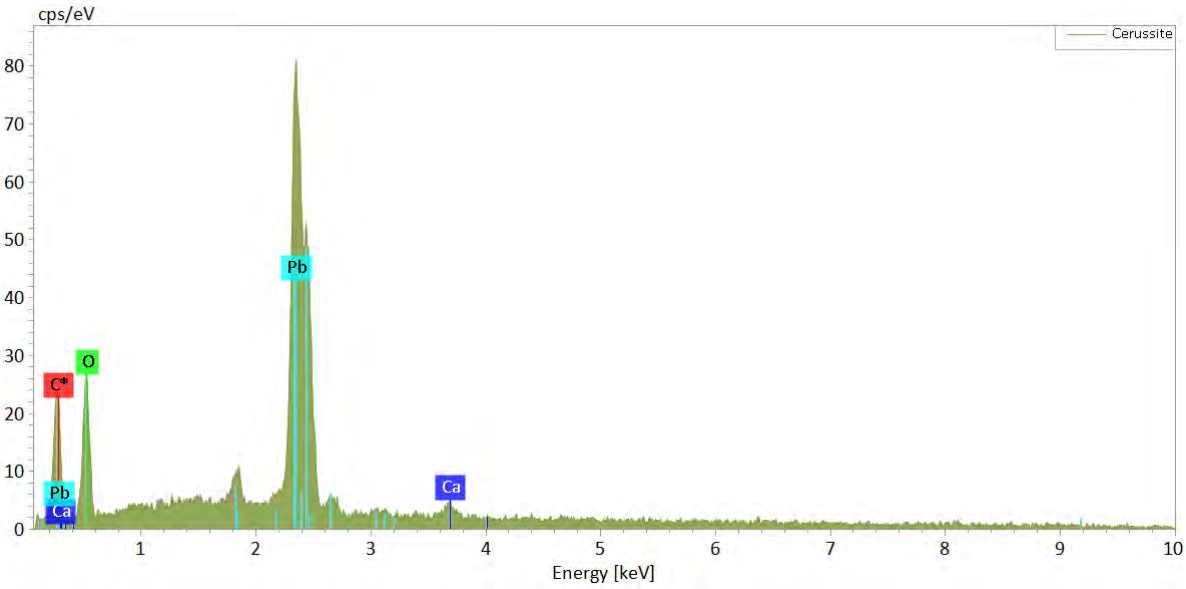


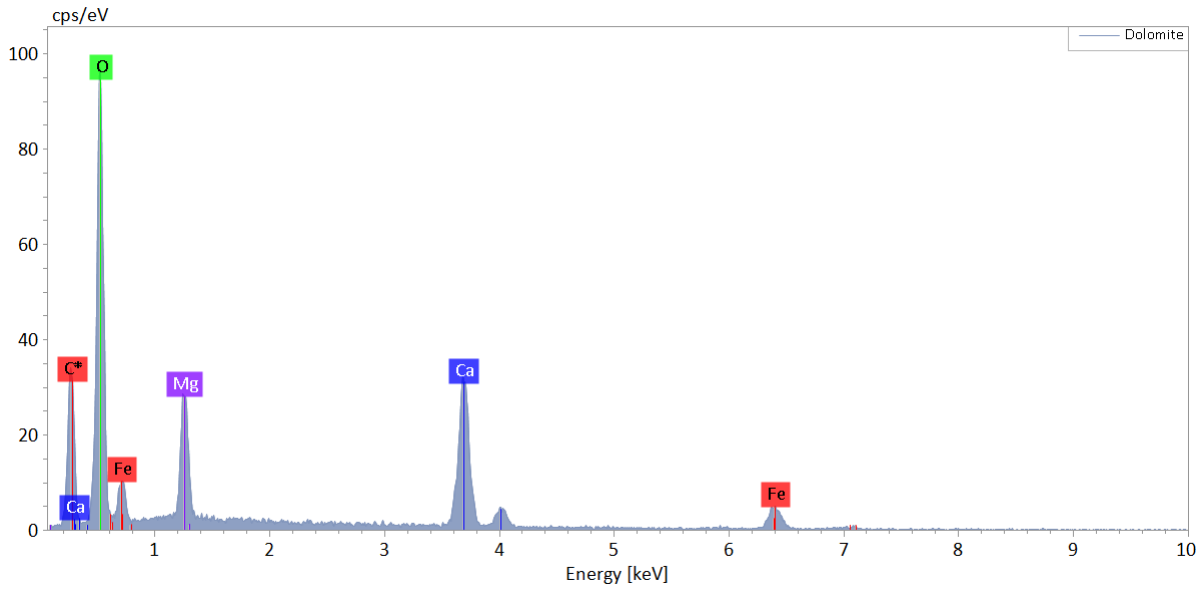
06-15-02



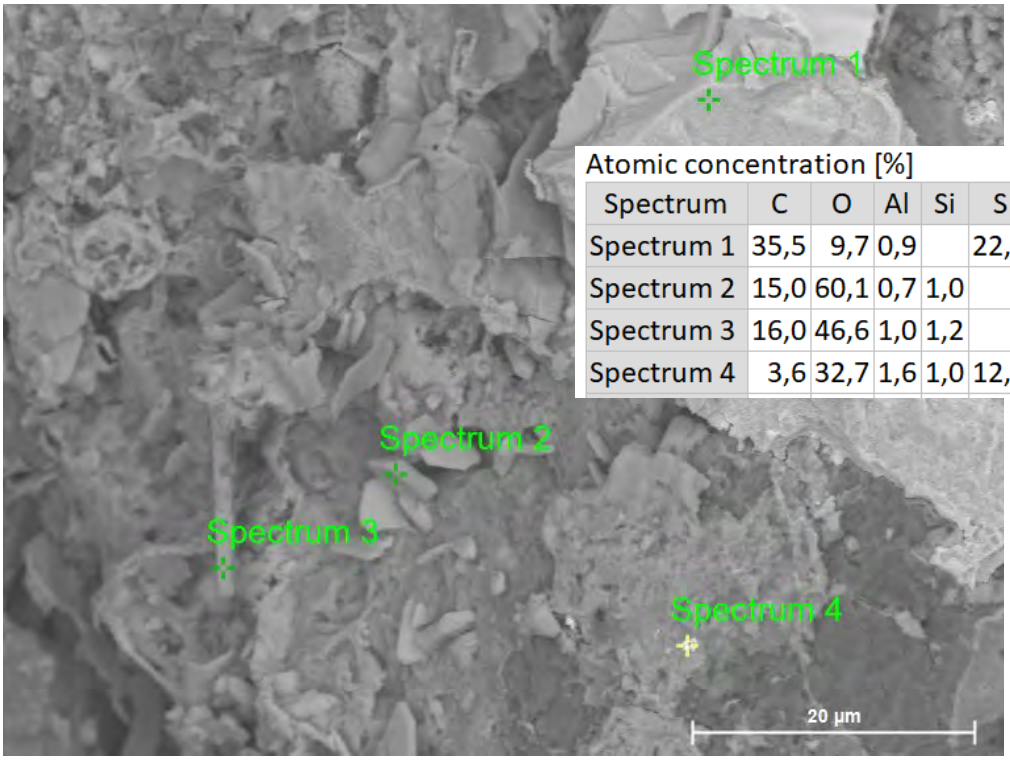
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Mg	Ca	Fe	Pb
Spectrum 1	31,6	52,3		7,0		9,1
Cerussite	36,8	48,2		1,9		13,2
Dolomite	23,2	61,7	3,0	8,7	3,4	



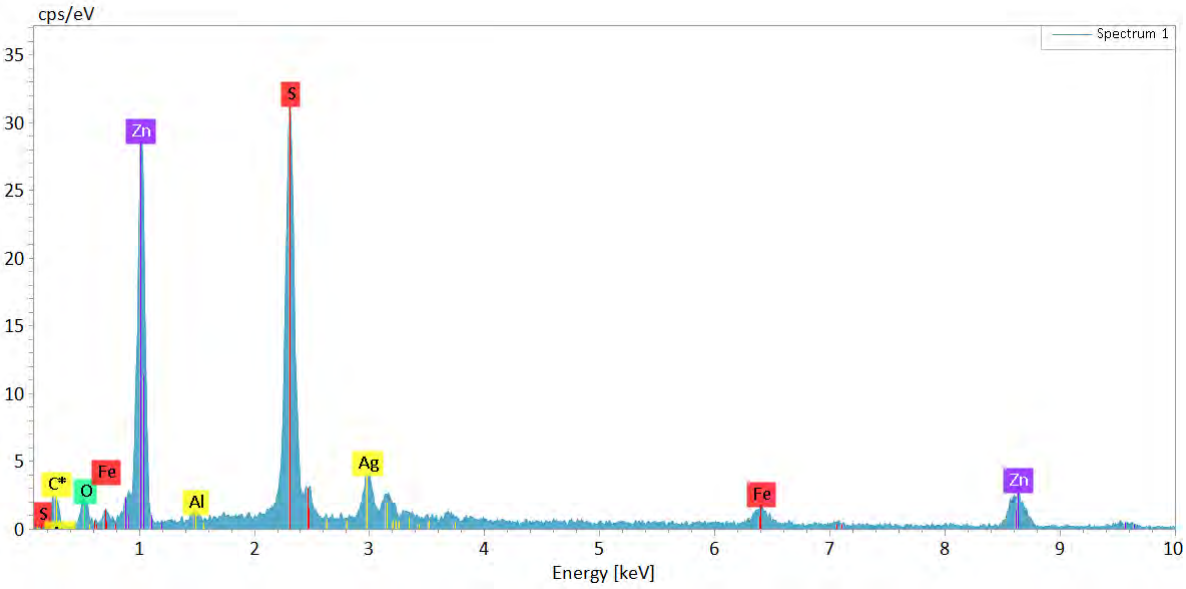


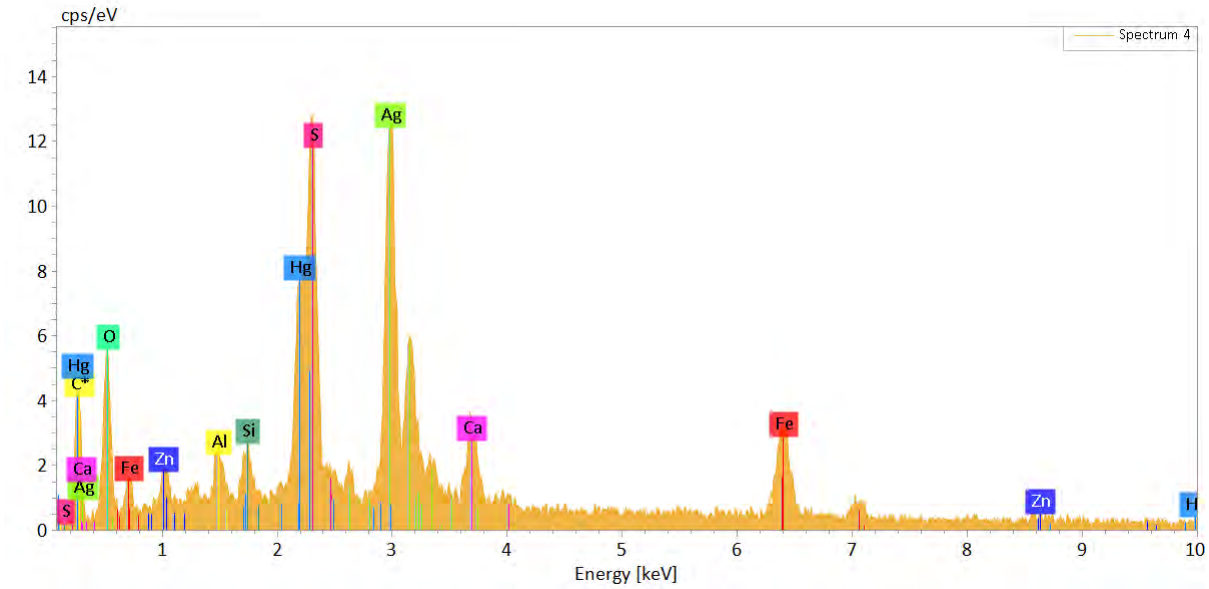
06-15-03



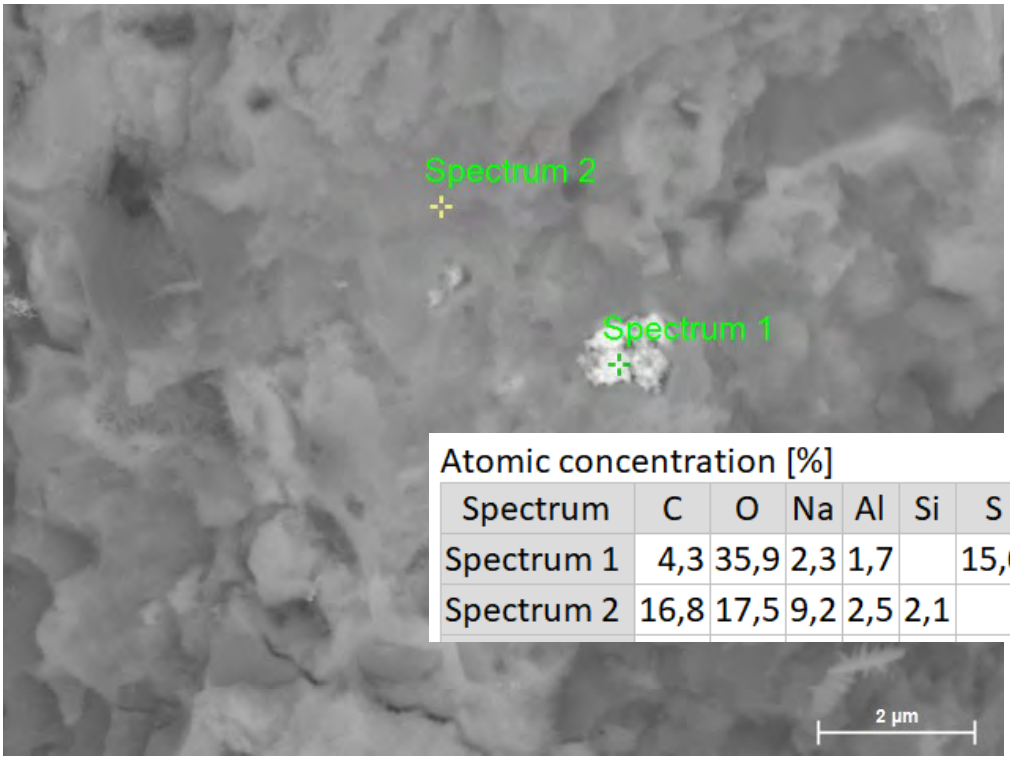
Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Zn	As	Ag	Hg	Pb
Spectrum 1	35,5	9,7	0,9		22,2		3,7	25,7		2,3		
Spectrum 2	15,0	60,1	0,7	1,0		0,6	20,1	1,7	0,2			0,4
Spectrum 3	16,0	46,6	1,0	1,2		1,3	30,5	2,3	0,4			0,8
Spectrum 4	3,6	32,7	1,6	1,0	12,2	7,1	17,4	2,2		17,9	4,3	



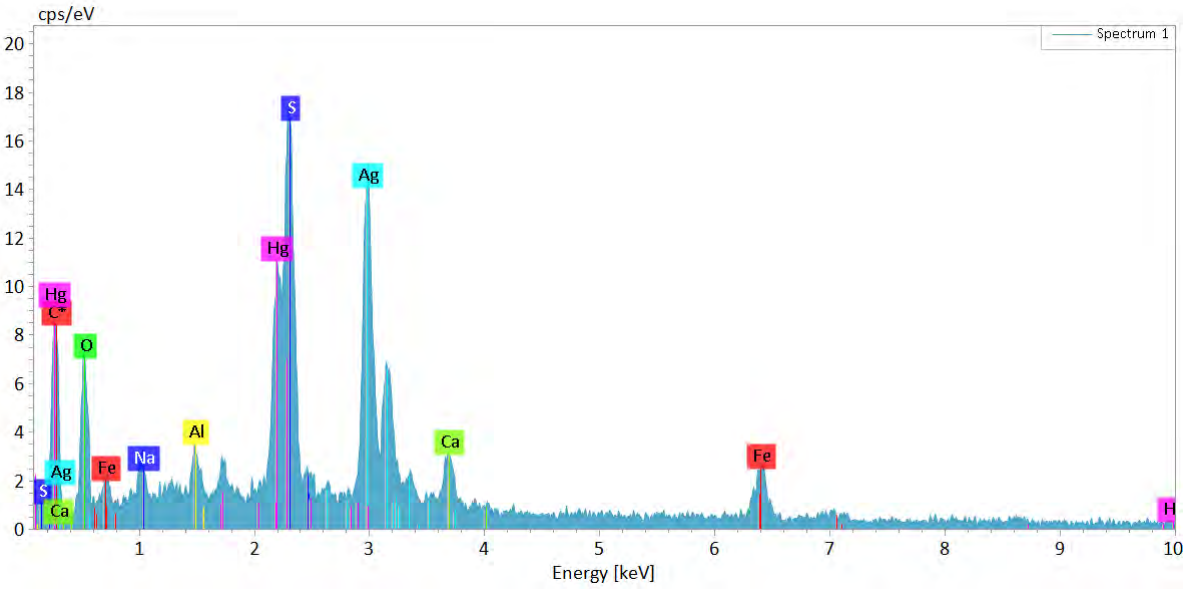


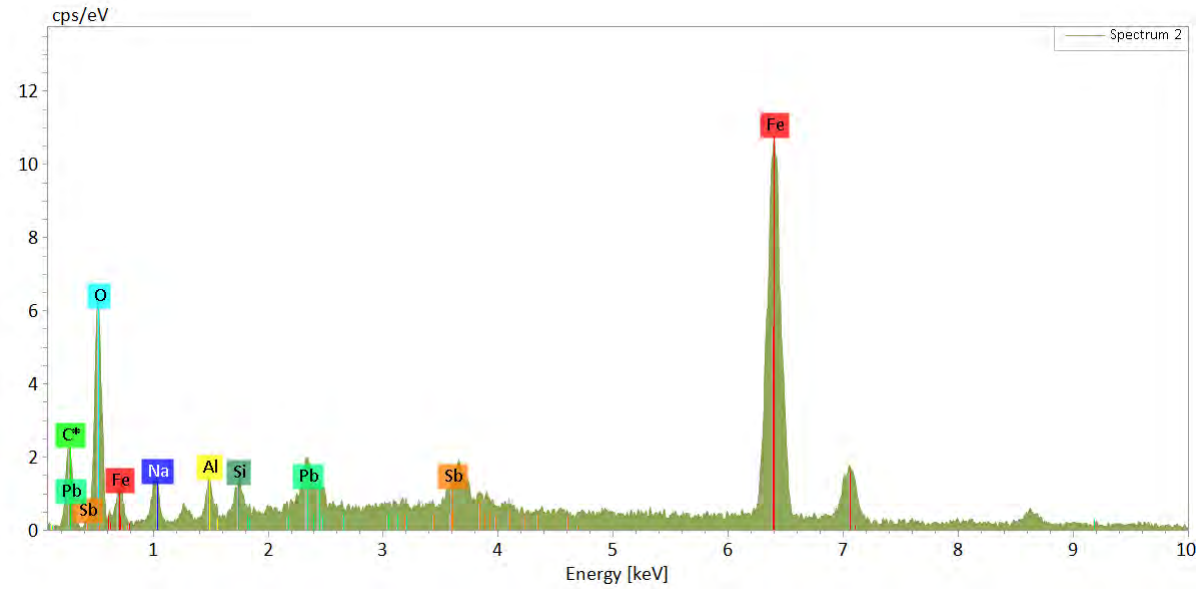
06-15-03b



Atomic concentration [%]

Spectrum	C	O	Na	Al	Si	S	Ca	Fe	Ag	Sb	Hg	Pb
Spectrum 1	4,3	35,9	2,3	1,7		15,0	6,1	11,8	18,1		4,8	
Spectrum 2	16,8	17,5	9,2	2,5	2,1			48,8		1,8		1,3





VEDLEGG 6 - VANNANALYSER ETTER UTLEKKINGSTEST

IFE Institutt for energiteknikk

Analysesertifikat

Kunde:	Statens Vegvesen	**Sertifikatnr:**	S-2021-18	**Dato:**	15.06.2023
Kundereferanse:	Per Hagelia			**Side:**	1 av 2

Oppdrag: 7 vannprøver til elementanalyse med ICP-OES

Metode:	**Instrumentering:**
100 µl of filtered (0.45µ) samples were diluted to 10 ml with 2% Nitric acid (HNO3) and analyzed with an Agilent 5800 VDV ICP-OES.	Agilent 5800 VDV ICP-OES

Resultater (all results in mg/l)

Forsøk			**Utlekkingsforsøk 4mnd**				
Prøve ID			**E6-21**	**P3**	**P2**	**06-13C**	**06-10**
IFE Lab ID	**Deteksjons grense (LOD) mg/l (ppm)**		**2023-040-002**	**2023-040-003**	**2023-040-004**	**2023-040-005**	**2023-040-006**
pH			2,74	5,95	7,08	4,41	4,80
Ag	0,001		<LOD	<LOD	<LOD	0,02	<LOD
Al	0,006		11,43	0,05	0,53	1,10	4,22
As	0,006		<LOD	<LOD	<LOD	2,78	<LOD
B	0,001						
Ba	0,001		0,00	0,28	0,01	0,00	0,07
Be	0,001						
Ca	0,001		1039	1766	4416	368	277
Cd	0,001		<LOD	1,18	<LOD	7,76	0,14
Ce	0,002						
Co	0,001						
Cr	0,001		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Cs	0,200						
Cu	0,455		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Dy	0,001						
Er	0,002						
Eu	0,001						
Fe	0,004		11,70	0,01	4,63	1,86	0,62
Gd	0,002						
Ho	0,002						
K	0,102		346	290	291	271	707
La	0,001						
Li	0,020						
Lu	0,001						
Mg	0,003		361	7,09	3760	185	162

Forsøk				Utlekkingsforsøk 4mnd				
Prøve ID				E6-21	P3	P2	06-13C	06-10
IFE Lab ID	Deteksjons grense (LOD) mg/l (ppm)			2023-040-002	2023-040-003	2023-040-004	2023-040-005	2023-040-006
Mn	0,0001			0,51	4,61	0,20	3171	1,90
Mo	0,003			<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Na				2,2	2,2	5,2	8,9	10,8
Nd	0,003							
Ni	0,009			0,55	0,02	0,01	0,24	0,02
P	0,050							
Pb	0,007			<LOD	10,11	<LOD	0,64	1,08
Pr	0,002							
Rb	0,001			0,21	0,54	0,38	1,07	0,20
S				2114	365	6349	1677	0,24
Sb	0,011			<LOD	<LOD	<LOD	0,23	<LOD
Se	0,003							
Si	0,005			171	1,25	3,23	11,24	2,60
Sm	0,003							
Sr	0,001			0,22	0,56	0,37	1,18	0,22
Th	0,003							
Ti	0,001							
Tl	0,030							
Tm	0,001							
U	0,020							
V	0,001			<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Y	0,001							
Yb	0,001							
Zn	0,001			0,20	348	0,03	825	1,95

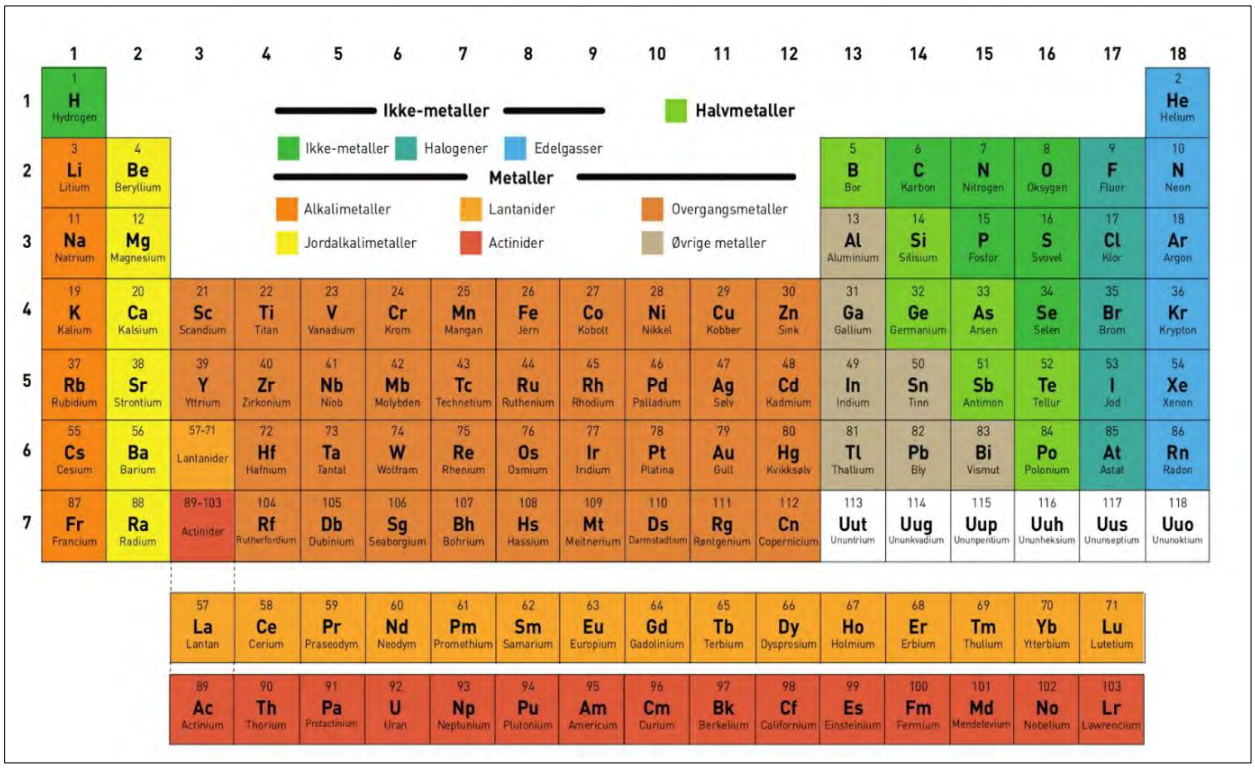
Kjeller 15.06.2023

Fred Kaaby
Prosessingeniør Reservoarteknologi

Ingar Johansen
Faggruppeleder Reservoarteknologi

VEDLEGG 7 – PERIODESYSTEMET OG KJEMI

Det periodiske systemet (*Kilde TU, Teknisk Ukeblad)*



Mineralnavn, oksider, ioner og formler	
Navn	***Kjemisk formel***
Amesitt	Mg2Al(AlSiO5)(OH)4
Ammonium	NH4+
Angelellitt	$Fe_4(AsO_4)_2O_3$
Anglesitt	$PbSO_4$
Anhydritt	Ca(Fe,Mg)(CO3)2
Ankeritt	CaFe2+(CO3)2
Apuanitt	$Fe^{2+}Fe^{3+}{}_4Sb^{3+}{}_4O_{12}S$
Arsenkis - arsenopyritt	FeAsS
Barytt	BaSO4
Bikarbonat	HCO3-
Blyglans - galena	PbS
Cerussitt	$PbCO_3$
Chalcopyritt	CuFeS2
Chamositt	(Fe2+,Mg)5Al(AlSi3O10)(OH)8
Dolomitt	CaMg(CO3)2
Dyscrasitt	Ag3Sb
Epidot	Ca2(Al2Fe)O[Si2O7][SiO4](OH)
Fahlerts	Cu,Fe)12(Sb,As)4S13
Ferrihydritt	$Fe_2O_3 \cdot 2FeOOH \cdot 2.6H_2O$
Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Goethitt	FeOOH
Hematitt	Fe_2O_3
Ilmenitt	Fe2TiO3
Jamesonitt	Pb4FeSb6S14
Jarositt	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$
Kalsitt	CaCO3
Klinoklor	(Mg5Al)(AlSi3)O10(OH)_8
Kopperkis	CuFeS2
Kvarts	SiO_2
Ludlockitt	$PbFe^{3+}{}_4As^{3+}{}_{10}O_{22}$
Magnesiumkalsitt	(Mg0.03Ca0.97)CO3
Magnetkis (pyrrhotitt)	$Fe_{1-x}S$
Meneghinitt	Pb13CuSb7S24
Mimetitt–Cl	$Pb_5(AsO_4)_3Cl$
Monazitt	(Ce,La)PO4
Nitrat	NO3
Nitritt	NO2-
Paulmooreitt	$Pb_2(As_2O_5)$
Pb–kalsitt	$(Pb,Ca)CO_3$
Pharmacosideritt	$KFe_4(AsO_4)_3(OH)_4$ n H_2O
Rutil	TiO2
Saltsyre	HCl
Schneiderhøhnitt	$Fe^{2+}Fe^{3+}{}_3As_5O_{13}$
Schultenitt	$Pb(HAsO_4)$
Segnititt	$PbFe_3AsO_4(AsO_3OH)(OH)_6$
Sinkblende - sphaleritt	ZnS
Svovelkis - pyritt	FeS_2
Titanitt	CaTi(SiO4)O

VEDLEGG 8 – FORKORTELSER OG FULLE NAVN

Forkortelser, fullt navn norsk og engelsk	
Forkortelse	***Fullt navn***
AMU	Atomic mass unit - atommasseenhet
AP	Acidic Potential - syrepotensial
BS	Bergskjæring
CL	Center Line - senterlinje i veg
DOC	Dissolved organic carbon - totalt oppløst organisk karbon
ERT	Elektrisk resistivitetstomografi
HH-XRF	X-ray fluorescence - håndholdt pistol for måling med røntgenfluoresens
ICP-OES	Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy
KONS	Konsulent
mmol/L	Millimol pr liter
NP	Neutralisation Potential - nøytraliseringspotensial - bufferpotensial
NP:AP	Forholdet mellom AP og NP - dvs bufferforhold
PDF	Powder Diffraction Files
PHREEQC	pH, REdox, EQuilibrium, C (program skrevet i C)
SEM	Scanning Elektronmikroskopi
SVV	Statens vegvesen
TIC	Total inorganic carbon
TOC	Total organic carbon
TSS	Total solved solidus phase - totalt oppløst faststoff
XRD	X-ray diffraction - røntgendiffraksjon
Å	Ångstrøm - 1 Å = 0,1 nanometer

Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag