



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

**NGU RAPPORT
2024.034**

Karakterisering av fyllitt og byjord i
Stavanger, og mineraljord i Rogaland



NGU RAPPORT

Geologi for samfunnet – kunnskap for
framtida

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315 Torgarden
7491 Trondheim
Tlf. 73 90 40 00

Rapport nr: 2024.034
ISSN: 0800-3416 (trykt)
ISSN: 2387-3515 (online)
Gradering: Åpen

Tittel: Karakterisering av fyllitt og byjord i Stavanger, og mineraljord i Rogaland
Forfatter: Andersson, Malin; Torgersen, Espen; Henderson, Iain; Taftø, Siw; Acosta-Gongora Pedro; Hauptfleisch, Ulf.
Oppdragsgiver: Samarbeidsprosjekt Stavanger kommune og NGU
Fylke: Rogaland
Kommune: Stavanger

Kartblad: (M=1:250.000): Stavanger, Haugesund
Kartbladnr. og -navn: (M=1:50.000): 1212-3, 1212-4
Forekomstens navn og koordinater:
Sidetall: 58
Pris: 215

Feltarbeid utført: Mars-oktober 2023
Rapportdato: 18.12.2024
Prosjektnummer: GU351700
Ansvarlig: Siw Taftø
Emneord: Geokjemi, byjord, morene, fyllitt, arsen, kartlegging

Sammendrag: Rapporten inneholder resultater fra berggrunnskartlegging i Stavanger kommune, med fokus på fyllitt og geokjemi. Målsetting er etablering av en eventuell korrelasjon mellom sammensetning av fyllitt og konsentrasjoner av arsen over nasjonal normverdi (8 ppm). Arbeidet omfatter også en utvidelse av datagrunnlaget for det etablerte aktsomhetskartet for byjord for de bylignende arealene i de nye delene av kommunen. I tillegg rapporteres resultater fra innsamling av mineraljord for kjemisk analyse, der Rogaland var feltområde i samme periode. Aktiviteten er del av et NGU-prosjekt for etablering av nasjonale bakgrunnsverdier.

Undersøkelsene avdekker at fyllittenheten i Stavanger kommune hovedsakelig består av sterkt deformert fyllitt og glimmerskifer, som veksler i karakteristikk på meter- til centimeterskala. Konsentrasjonene av arsen og andre metaller varierer betydelig helt ned på centimeterskala, uavhengig av fyllittvariant og deformasjonsgrad. Arsen i fyllitt er påvist med snittkonsentrasjon lik 25 ppm (0,3-75 ppm). For området ved Kvernevik indikerer prøvene konsentrasjoner under normverdi, men antall prøver er for få til å konkludere. Med unntak for noen lokaliteter er det ikke påvist overskridelser av normverdi for de andre undersøkte grunnstoffene.

Analyser ved bruk av mikroskopi, SEM-analyser og lasermålinger av tynnslip viser at det hovedsakelig er lav korrelasjon mellom konsentrasjonen av arsen og andre sulfidtilknyttede metaller som kobber sink, nikkel, kobolt og svovel. Svovelinnholdet i prøvene er generelt lavt (snitt 0,1 %). Resultatene indikerer at arsen også er bundet til andre mineraler enn sulfider, og det påvises svært få synlige sulfidkorn, selv i prøver med relativt høyt arseninnhold. Målinger av abrasjons-pH gir samme signal; fyllittene har syredanningspotensiale, men dette korrelerer ikke direkte med svovelinnholdet. Det er behov for mer omfattende analyser for å forstå problemstillingen bedre. Avslutningsvis gis det noen anbefalinger for supplerende undersøkelser av fyllitt.

Restriksjoner: All bruk av informasjonen fra parten skjer på egen risiko. Parten gir ingen garanti for tilstand eller presentasjonsmåte, og heller ikke at dataene har den kvalitet, nøyaktighet eller fullstendighet som gjør den egnet for enhver bruk eller formål. Informasjon tilgjengeliggjøres under [Norsk lisens for offentlige data \(NLOD\)](#).

Innhold

1	Innledning	4
2	Berggrunnskartlegging	5
2.1	Fyllitt i Stavanger	5
2.2	Metode og analyser	6
2.2.1	Feltarbeid	6
2.2.2	Kjemiske analyser og dataanalyse	6
2.2.3	Bærbar XRF	6
2.2.4	Abrasjon/paste-pH-målinger for dokumentasjon av syredanning	7
2.3	Resultater	7
2.3.1	Feltobservasjoner	7
2.3.2	Logging av borekjerner fra Hundvågtunnelen	8
2.3.3	Kjemisk analyse	11
2.3.4	Syredanning ved pH-målinger	13
2.3.5	Elektronmikroskop (SEM)	16
2.3.6	Resultat fra LA-ICP-MS	24
2.4	Konklusjoner for fyllitt med anbefaling av videre undersøkelser	27
3	Løsmassekartlegging	28
3.1	Metode og analyser	28
3.1.1	Prøvetaking av mineraljord for regionale bakgrunnsverdier i Rogaland	28
3.1.2	Prøvetaking av byjord i Stavanger	30
3.1.3	Kjemiske analyser	31
3.2	Resultater	31
3.2.1	Byjord i Stavanger	31
3.2.2	Mineraljord for regionale bakgrunnsverdier i Rogaland	32
4	Referanser	48
	Vedlegg	49
1.	Laseranalyser for prøver AS-1 og AS-10	49
2.	Konsentrasjonskart for Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Ni, Zn og U i fyllitt	51

1 INNLEDNING

I forbindelse med innsamling av mineraljord i Rogaland i 2022, som en del av et nasjonalt NGU-prosjekt, ble det utført en undersøkelse av kjemisk innhold i jord og bergarter, kombinert med kartlegging av bergarten fyllitt i Stavanger kommune. Sistnevnte aktivitet er del av en samarbeidsavtale mellom kommunen og NGU.

Undersøkelsene i Stavanger kommune har hatt fokus på innledende kartlegging og analyser av arsenkonsentrasjoner i fyllitt. Lokalt er det antatt at denne bergarten har en naturlig forhøyet arsenkonsentrasjon, som overskrider den nasjonale normverdien på 8 ppm. Kommunen har tidligere etablert en lokal normverdi for arsen lik 20 ppm. I arbeidet med å vurdere i hvor stor grad normverdien overskrides, og hvorvidt det kan etableres en forståelse for den arealmessige utbredelsen av overskridelsene, er det benyttet datagrunnlag fra både kjemiske analyser på berggrunns- og mineraljordprøver, og berggrunnskartlegging.

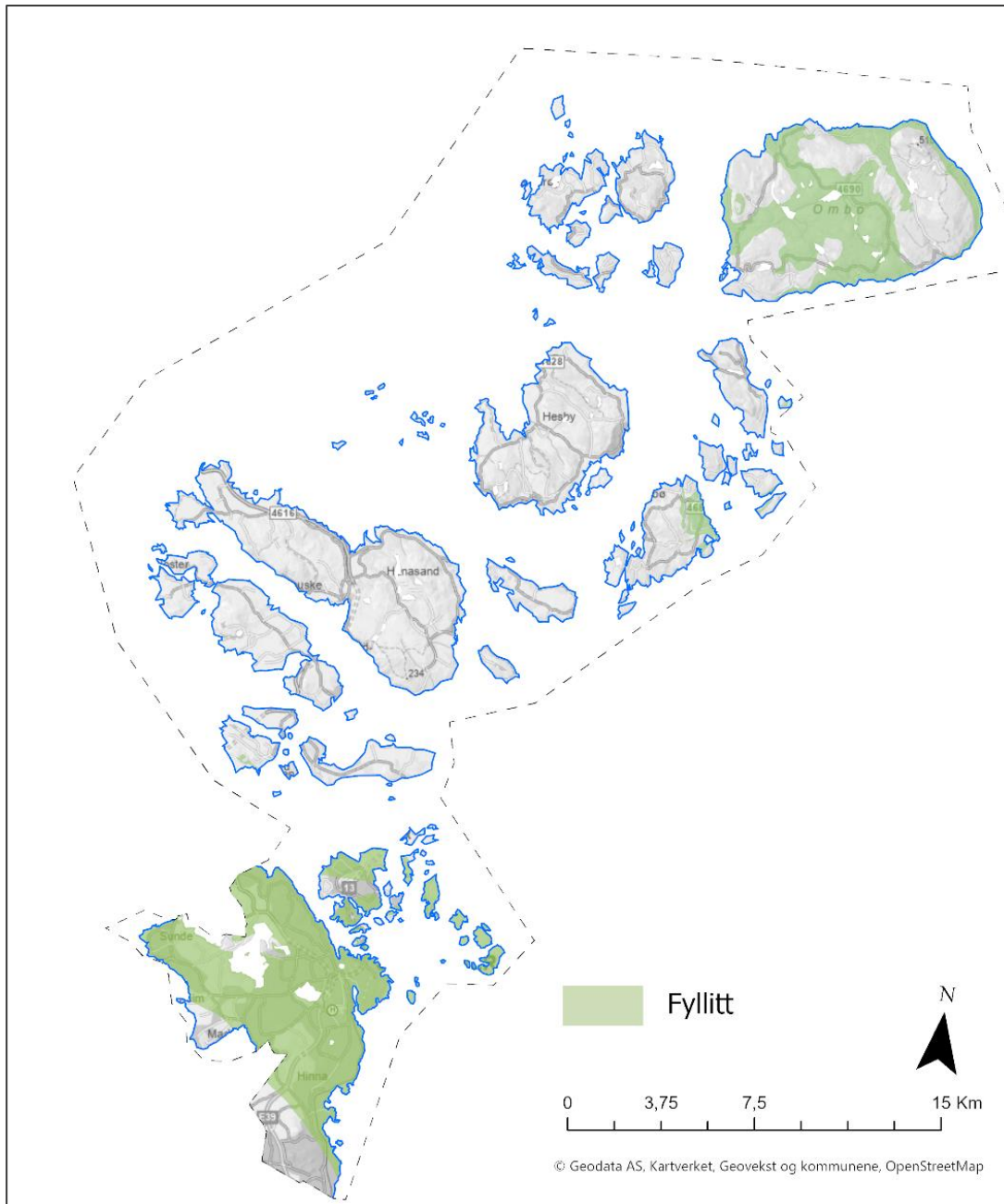
Rapporten omfatter også resultater fra kartlegging av byjord i randsonen av tidligere etablert aktsomhetskart for Stavanger kommune, samt i bylignende arealer i de nye delene av kommunen etter kommunesammenslåing.

Prøvene som ble samlet inn i det nasjonale prosjektet for prøvetaking av løsmasser, er analysert for 54 grunnstoffer, og danner grunnlaget for å etablere bakgrunnsverdier på regional skala der mesteparten av Rogaland er prøvetatt. Prøvene har oppløsning lik én prøve/36 km².

2 BERGGRUNNSKARTLEGGING

2.1 Fyllitt i Stavanger

I store deler av gamle Stavanger kommune, på Ombo og noen steder på Fogn består berggrunnen av fyllitt (Figur 1). Disse fyllittene er ofte kalt Ryfylkeskiferne og utgjør hoveddelen av Buadalsdekket (undre kaledonske dekkserie). Fyllitt er opprinnelig en sedimentær bergart, som senere har blitt omdannet ved forhøyet trykk og temperatur. Fyllittene i Buadalsdekket er sannsynligvis av Ordovicisk alder, og ble omdannet under den Kaledonske fjellkjededannelsen for omtrent 420 millioner år siden.



Figur 1 Områder med fyllitt innenfor Stavanger kommune.

2.2 Metode og analyser

2.2.1 Feltarbeid

Den utførte undersøkelsen er avgrenset til den sørlige delen av Stavanger kommune. Områder på Fogn og Ombo er derfor ikke kartlagt, men det forventes at fyllitt i disse områdene har lignende egenskaper (inkludert arsenkonsentrasjon), som i det kartlagte området.

Feltarbeid med kartlegging, innsamling av prøver og vurdering av geokjemisk sammensetning av bergarten fyllitt ble utført i mars 2023, og 73 lokaliteter ble undersøkt (Figur 3). Ved hver lokalitet ble bergarten beskrevet, strukturmålinger utført og geokjemiske målinger gjennomført med håndholdt XRF (totalt 332 analyser). Det ble også tatt 48 prøver for videre analyser i lab.

2.2.2 Kjemiske analyser og dataanalyse

Det er utført kjemiske analyser i eksternt laboratorium på 58 bergartsprøver og ti utvalgte prøver fra en kjerne fra Hundvågtunnelen, hentet fra NGUs kjernelager. Etter nedknusing og mølling ble prøver av fraksjonen <2 mm sendt til Bureau Veritas Minerals i Canada for analyse ihht. standardpakke, AQ250-EXT (53 element med 0,5 g innvekt).

For å kunne sammenligne og analysere dataene ved korrelasjonsanalyse, må de være normalfordelte. Analyseresultatene er ikke normalfordelte, for å kunne bruke dem må det utføres en transformasjon for å oppnå en normalfordeling av dataene. For å vise den reelle korrelasjonen mellom grunnstoffene, ble alle data clr-transformert i programvaren ioGAS før korrelasjonsanalyse (Spearman). Analysen ble også utført i ioGAS.

2.2.3 Bærbar XRF

Det er utført mange målinger med håndholdt XRF i felt, og på kjernen fra Hundvågtunnelen i NGUs laboratorium. Alle analyser er utført med håndholdt røntgen fluorescens (XRF), instrumenttype NITON XL5+ med røntgentube Ag anode (6-50kV, 0-500uA, 5W max) og metode Mining (berggrunnsanalyser).

De største begrensningene ved metoden er høye deteksjonsgrenser, lite analyseareal (8 mm spot størrelse) og kun overflateanalyse. Målingene kan gi et skjevt bilde av stoffkonsentrasjonene hvis bergarten for eksempel inneholder korn av metallsulfider, eller målingen gjøres på en erodert overflate.

Alle målinger er gjennomført på tørre prøver og alle seks filter på instrumentet ble brukt. Dette sikrer at elementsammensetning (spektral bredde) blir så bred som mulig. I praksis betyr det at avslutning av måling ble gjort manuelt, og ikke ved bruk av automatisk analysetid. Minste analysetid var for de fleste målingene en til to minutter.

For å redusere mulig eksponering for utførende personell, ble målingene utført ved at instrumentet lå på et stativ oppå kjernene, og start og stopp ble utført ved bruk av avtrekkeren.

For å redusere analyseusikkerhet og heterogeniteter i bergartene, ble hver prøve målt minimum tre ganger og gjennomsnittet av målingene er brukt i videre analyser. I tillegg er målingene gjort på friske flater for å unngå sprekke- eller overflatebelegg.

Ved slike undersøkelser er det viktig at målinger utføres med samme instrument, og at måleusikkerheten sjekkes jevnlig ved bruk av standardprøver. Hvis målinger utføres ved hjelp av flere XRF-instrument, kan dette gi utslag i konsentrasjonsforskjeller.

2.2.4 Abrasjon/paste-pH-målinger for dokumentasjon av syredanning

Ved testing av graden av syredanning fra bergartsprøvene kombineres 15 g knust fyllitt (0-2 mm kornstørrelse) med 50 ml destillert vann. Blandingen ristes med en ukes mellomrom, og måles flere ganger (

Figur 2) med en pH-måler (WTW GmbH 3310) med en Hamilton FillTrobe elektrode (Figur 2). Vannet damper av over tid, og begrene etterfylles med destillert vann opp til 50 ml.



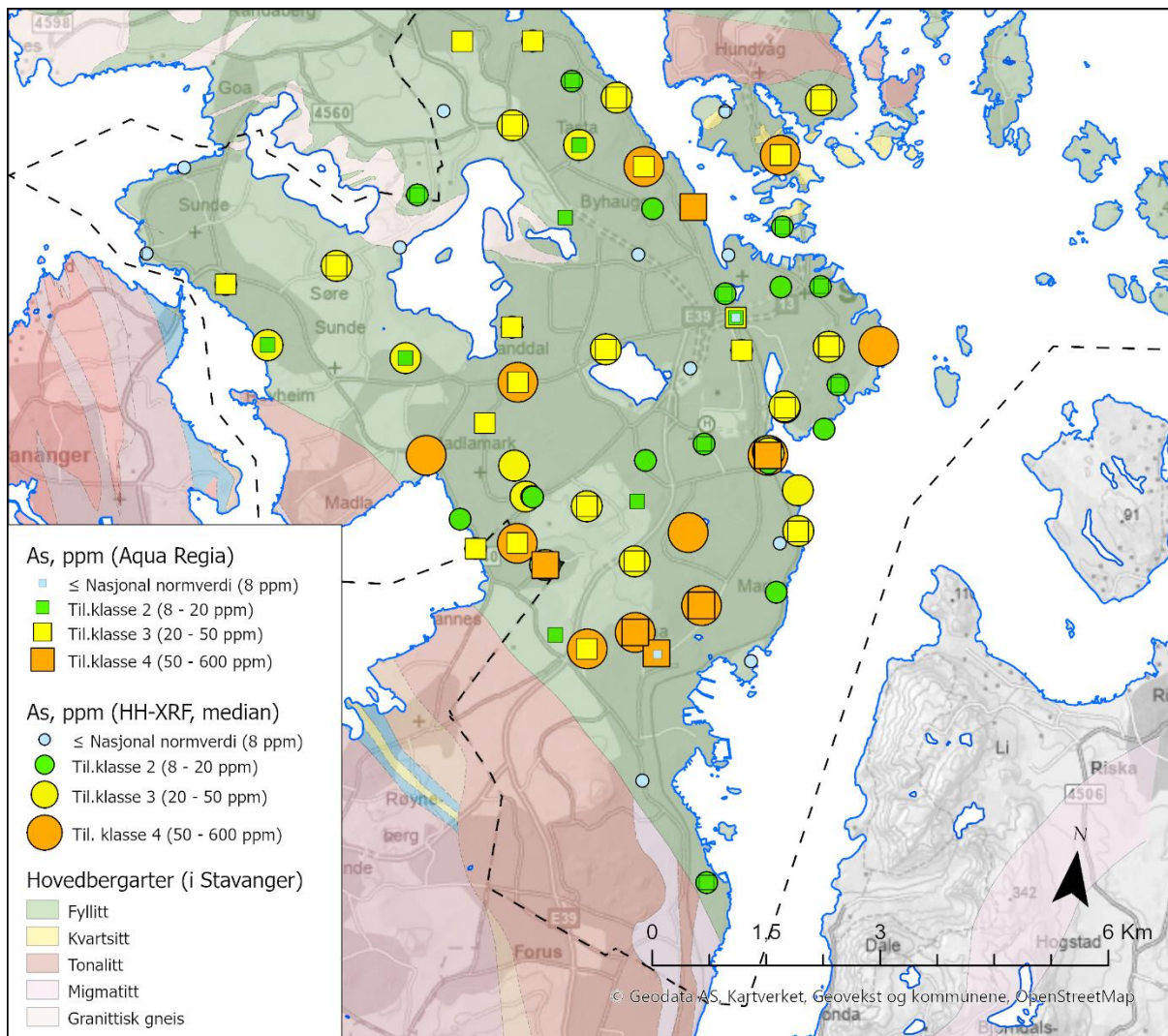
Figur 2 Måling av abrasjons-pH (vann blandet med knust fyllitt).

2.3 Resultater

2.3.1 Feltobservasjoner

I området forekommer det ulike varianter av fyllitt; mørk grafitrik, grå-grønn kloritrik og en lysere kvartsrik. De ulike typene opptrer i utbredelse på meter til titalls meter skala. Registreringer ved bruk av håndholdt XRF på Ryfylkeskiferen viser at konsentrasjonen av arsen overskrider normverdi i hele kommunen.

Stort sett alle prøver av arsen klassifiseres i tilstandsklasse 2 eller 3 etter TA-2553/2009 (Figur 3). De høyeste konsentrasjonene samsvarer med den grå-grønne-klorittvarianten, men ikke alltid. Innholdet av grafitt i bergarten betyr ikke nødvendigvis høyt arsen, selv om området visuelt framstår som rustent. Derimot har rustne overflater ofte høyere innhold av arsen enn friskere overflater i samme bergart. Selv om det er store variasjoner i konsentrasjonene av arsen i blotningene, sees en antydning til geografisk variasjon med lavere verdier i Kvernevik (Figur 3).



Figur 3 Oversiktskart med alle lokaliteter og arsen (As)-innhold (HH-XRF/Aqua regia) hvor tilgjengelig, klassifisert etter TA-2553/2009.

2.3.2 Logging av borekjerne fra Hundvågtunnelen

Borekjerne fra Hundvågtunnelen er innhentet under byggefase, og er tilgjengelig i NGU sitt kjernelager. Den utvalgte kjernen er boret i øst-vest retning, som er vinkelrett mot strøket i fyllitten, og var derfor var godt egnet for detaljert måling med håndholdt XRF. Borekjernen var 206 meter lang, og er logget med bergartsbeskrivelse, strukturgeologiske målinger, håndholdt XRF og prøvetaking (

Figur 4). Bergarten i kjernen veksler mellom mørke og lysere lag, med innslag av grafitt og kvartsitt. Bergarten er laminert, det vil si at lag som veksler i farge og kornstørrelse er visuelt godt synlige. Naturlige knusingssoner eller forkastningssoner sees som knust berg, og i disse sonene er konsentrasjonen av grafitt ofte høyt.

Kjernen fra Hundvågtunnelen er målt med håndholdt XRF for hver halvmetre, for å avdekke variasjonen i kjemisk innhold i fyllitten. I tillegg er det tatt ut 20 prøver, som er knust og analysert sammen med bergartsprøvene fra feltarbeidet. Kart for bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkell og sink er gitt i Vedlegg 2



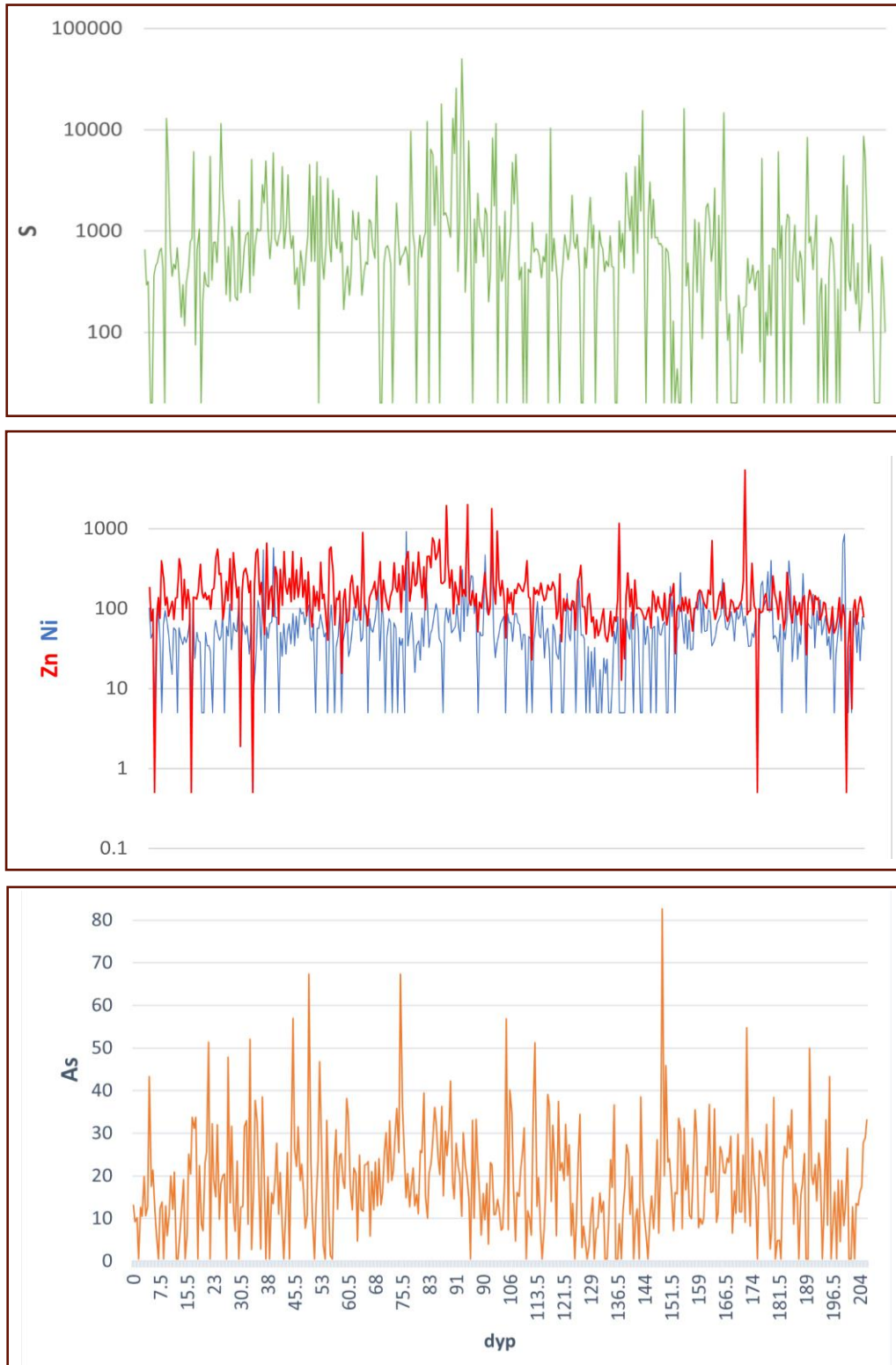
Figur 4 Eksempler på kjernen fra Hundvågstunnelen. Bergarten i kjernene er fyllitt og veksler mellom lyse og mørke lag. Lengden på borekjernene på bildet er ca. 25 cm.

2.3.2.1 Målinger med bærbar XRF

Basert på målingene med bærbar XRF (hver halvmeter) av kjernen fra Hundvågstunnelen, er det utarbeidet oversiktsgrafer for konsentrasjoner av arsen, svovel, nikkell og sink (

Figur 5). Illustrasjonen viser at noen områder har gjennomgående høyere konsentrasjoner av disse parameterne. Samlet sett har bergarten likevel et heterogent konsentrasjonsmønster med store variasjoner i konsentrasjoner.

Detaljmålinger av kjernen (en måling annenhver cm) er utført for å dokumentere endringer i berggrunnskjemi i høy oppløsning. Disse målingene viser tilsvarende endringer i konsentrasjon på cm-skala, som målingene som ble utført på hver halvmeter. Ved målinger med lav oppløsning er det derfor stor risiko for ikke å fange opp variasjonen i stoffkonsentrasjoner. Den målte variasjonen i konsentrasjoner er ikke mulig å predikere visuelt, fordi det visuelle mineralinnholdet ikke er en direkte indikator for grunnstoffkonsentrasjoner.



Figur 5 Konsentrasjonslogg for 206 meter fyllitt i Hundvågtunnelen. Merk at skala er logaritmisk på de to øverste grafene. Alle resultater er gitt i mg/kg.

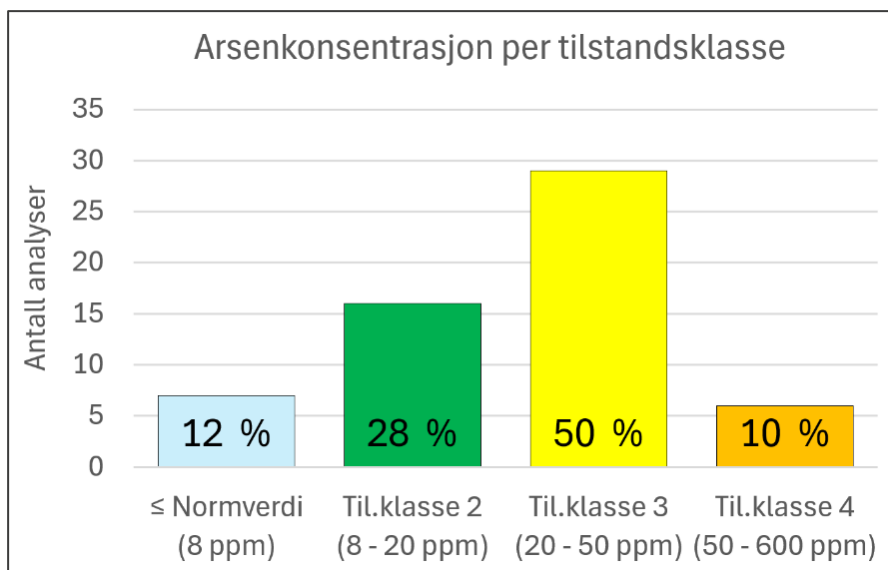
2.3.3 Kjemisk analyse

Resultatene for utvalgte grunnstoffer etter analyse ved bruk av kongevann (Aqua Regia) er gitt i Tabell 1. Forskjellen mellom gjennomsnittet og medianen for kobber (Cu), bly (Pb), kadmium (Cd), kvikksølv (Hg), uran (U) og svovel (S) dokumenter at det forekommer noen få høye verdier i prøveutvalget, som samlet gir et høyere gjennomsnitt. Merk at prøveutvalget er en blanding av friske prøver og prøver som er tatt fra overflata.

Det er kun for arsen medianen og gjennomsnittet for analyseresultatet overskrider normverdien. I Figur 6 er de analyserte prøvene klassifisert i henhold til TA-2553/2009, og viser antallet prøver med arsenresultat innenfor hver tilstandsklasse.

Tabell 1 Utvalgte analyseresultater for 58 fyllittprøver fra Stavanger kommune. Normverdi for de parametre som det er etablert for er oppgitt (hentet fra forurensningsforskriften, vedlegg 1 normverdier).

Parameter	Minimum	Gjennomsnitt	Median	Maksimum	Normverdi
As	0.3	25	24	76	8/20
Cu	6.8	40	33	135	100
Cr	6	28	28	47	50
Pb	3.2	26	18	220	60
Zn	12	106	108	279	200
Ni	3.3	45	43	309	60
Cd	0.002	0.15	0.04	5.3	1.5
Hg	0.001	0.021	0.014	0.20	1
Co	2	22	24	57	-
Mn	75	2635	2313	9071	-
Fe	1.1	5.0	4.9	7.3	-
U	0.8	3.4	1.7	56	-
Th	4.5	10	10	20	-
Ca	0.05	0.24	0.18	0.72	-
S (%)	0.016	0.10	0.03	1.15	-



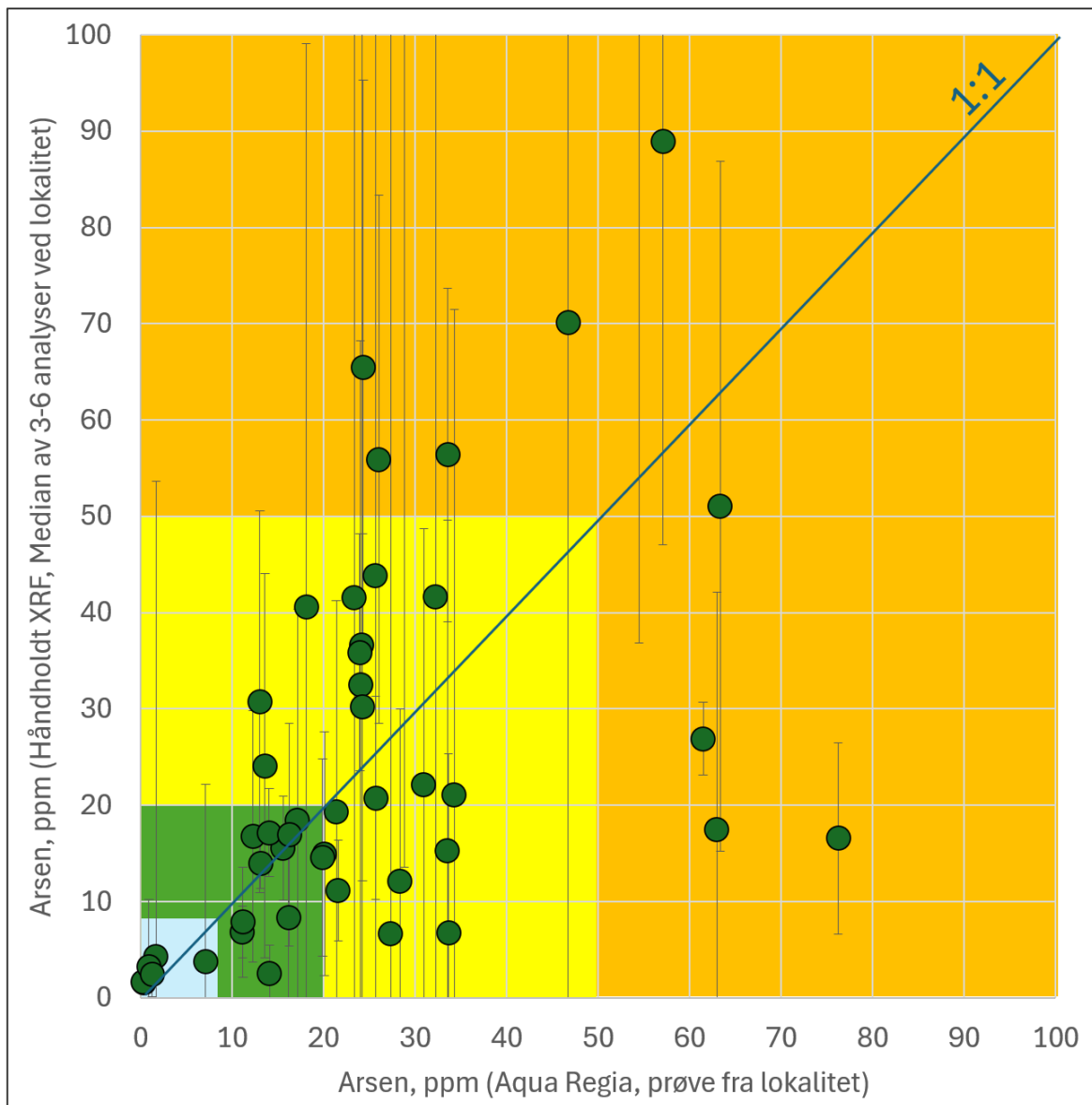
Figur 6 Arsenkonsentrasjon per tilstandsklasse etter TA-2552/2009 for 58 prøver (Lab, Aqua Regia).

Korrelasjonen mellom arsen og andre sulfidtilknyttede metaller som kobber, sink, nikkel, kobolt og svovel i fyllitt er vist i Figur 7. Korrelasjonen mellom arsen og de andre grunnstoffene er vesentlig lavere enn korrelasjonen mellom de sulfid-tilknyttede metallene. Dette indikerer at arsen også kan være bundet til andre mineraler enn sulfider. Videre analyser av prøvene ved elektronmikroskopi og ICP-MS ble derfor utført for å dokumentere konsentrasjonen av sulfider i bergarten, og hvilke andre mineraler enn metallsulfider som kan inneholde arsen.

	Cu	Zn	Co	As	Ni	S
Cu		0.52	0.26	-0.05	0.33	-0.42
Zn	Zn/Cu		0.63	0.36	0.69	-0.76
Co	Co/Cu	Co/Zn		0.29	0.86	-0.83
As	As/Cu	As/Zn	As/Co		0.29	-0.61
Ni	Ni/Cu	Ni/Zn	Ni/Co	Ni/As		-0.82
S	S/Cu	S/Zn	S/Co	S/As	S/Ni	

Figur 7 Korrelasjonsdiagram (Spearman- *clr*-transformerte data) som viser korrelasjonen mellom arsen (As), kobber (Cu), nikkel (Ni), sink (Zn), kobolt (Co) og svovel (S). Rutene i øvre høyre hjørne angir korrelasjonsfaktoren (R^2) for hver av grunnstoffparene og rutene i nedre, venstre hjørne indikerer ved farge den samme graden av korrelasjon (rød=høy korrelasjon).

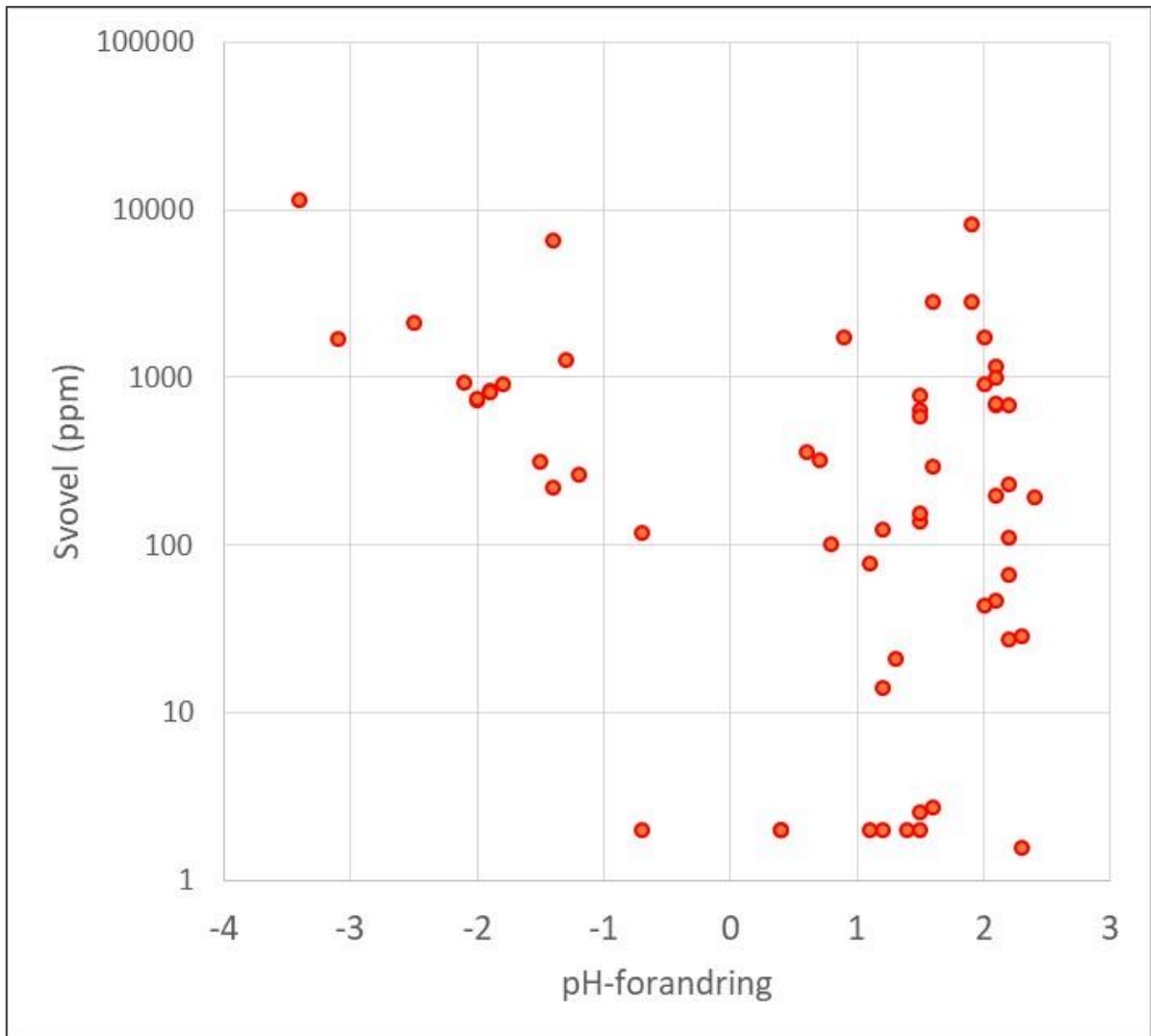
Resultatene fra en sammenligning av enkeltprøver for kongenvannsanalyser (lab) og median for XRF (felt) fra samme lokalitet er gitt i Figur 8. Diagrammet illustrerer hvor heterogen fyllitten framstår, med store konsentrasjonsforskjeller på lokaliteten.



Figur 8 XY-plott som viser forskjellen i arsenkonsentrasjon i LAB-analyserte prøver (enkelstående verdier) oppløst i kongevann (Aqua Regia), og median av 3-6 håndholdte XRF-analyser fra samme lokalitet. Vertikal feilfelt er standardavviket i feltanalysene. Fargelagte felt representerer grenseverdier for tilstandsklasse etter TA-2553/2009.

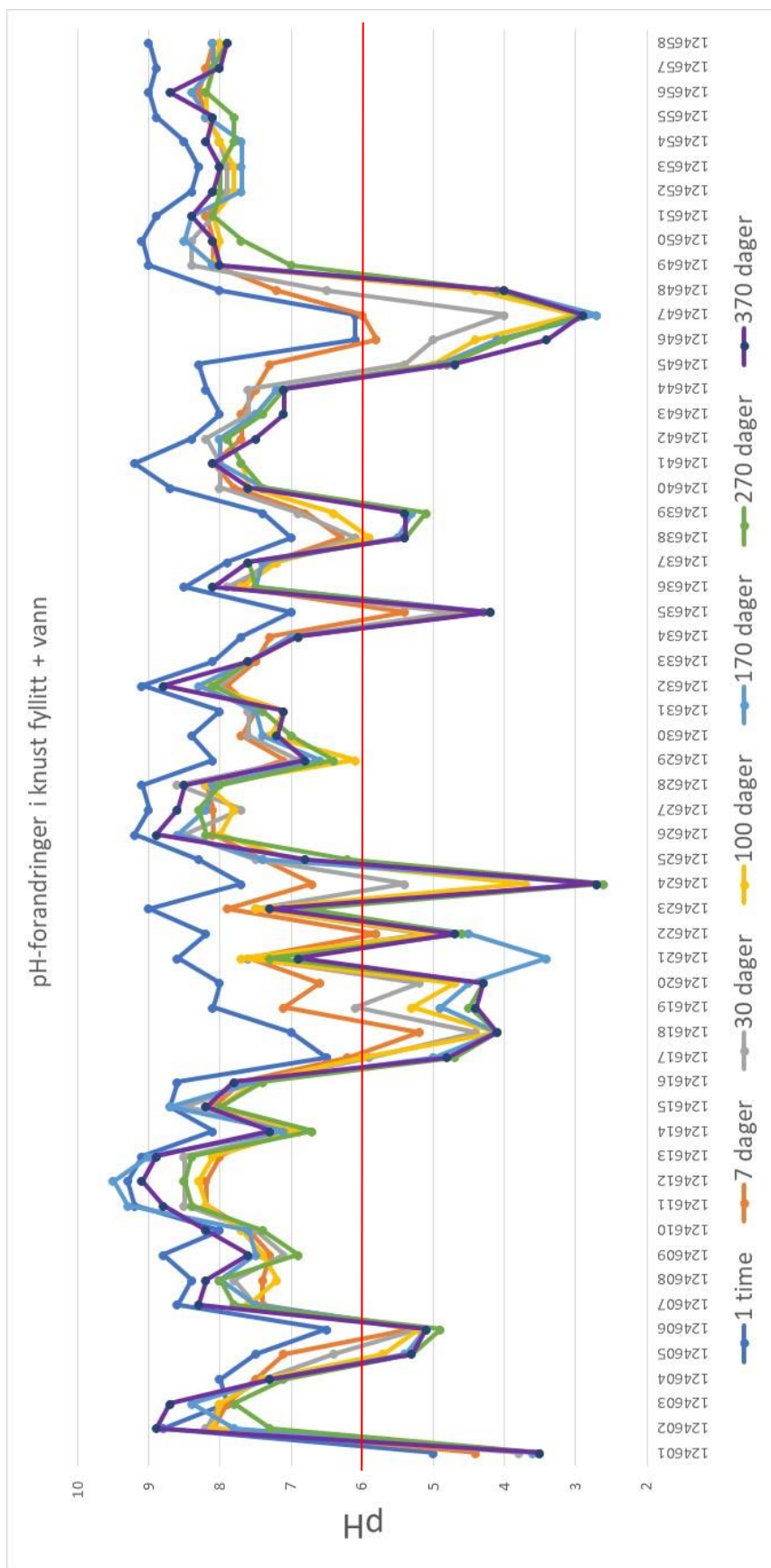
2.3.4 Syredanning ved pH-målinger

Graden av syredanning er målt ved å blande knust fyllitt med vann, med målinger av pH-utvikling over tid. De målte svovelkonsentrasjonene representerer bergartens potensiale for å utvikle syre. Figur 9 viser at svovelkonsentrasjonen i en fyllittprøve og prøvens potensiale for å utvikle syre (pH-måling etter 16 måneders eksperiment) ikke korrelerer. Merk at prøver med høyt svovelinnhold også kan utvikles i mer alkalisk retning, noe som igjen kan forklares ved bufferkapasiteten i bergarten. Svovelkonsentrasjoner kan derfor ikke brukes som indikator for syredanning alene. Undersøkelsene indikerer at fyllittprøver med et svovelinnhold under 100 ppm (0.01%) som regel ikke er syredannende. Per nå er det ikke etablert metodikk som kan påvise syredanningspotensiale direkte.



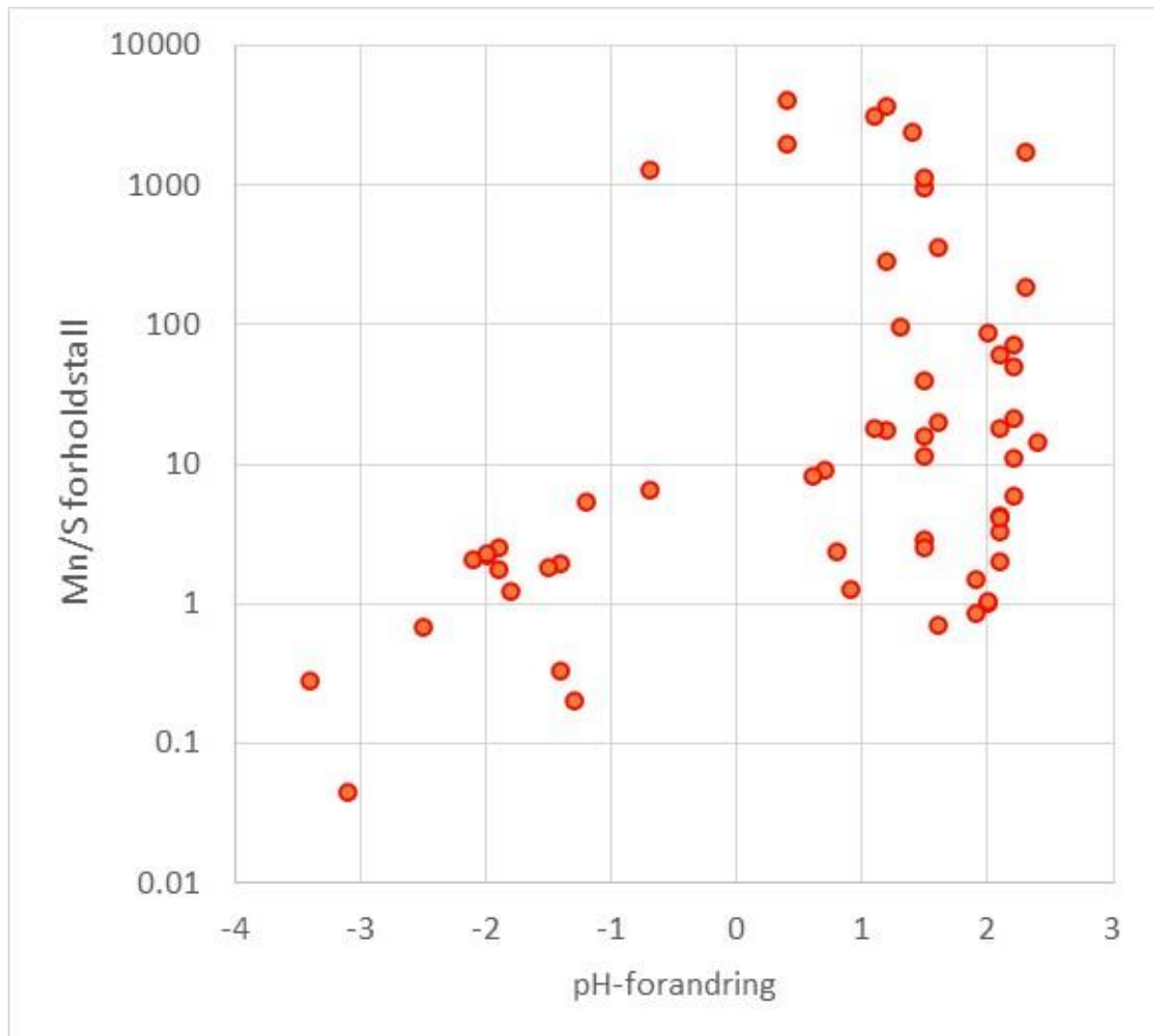
Figur 9 Plot som viser pH-forandringer i vann blandet med knust fyllitt, versus fyllittprøvens svovel-innhold. Vannets opprinnelige pH var 6.

pH-målingene påviser at 16 av 58 prøver utvikler syredannelse, dvs. at pH etter ett år er lavere enn utgangs-pH på vannet (Figur 10). Noen prøver utvikler aciditet med en gang, mens andre prøver utvikler syre over tid, trolig grunnet en høyere bufferkapasitet i prøven. Dette betyr at bufrende mineraler, som kalsitt, forhindrer utvikling av lavere pH i prøven i en periode, på tross av den pågående syreutviklingen. I forsøket tar det generelt en måned før syredannelse er merkbar.



Figur 10 pH-forandringer over tid i vann blandet med knust fyllitt. Utgangs-pH 6 for vannet er indikert med rød strek. Hver prøve viser til syv målinger som ligger vertikalt under hverandre.

Undersøkelsen indikere at forholdet mellom noen grunnstoffer kan si noe om risiko for syredannelse. Der forholdet mellom mangan og svovel er større enn 10 ($Mn/S > 10$) viser analyseresultatene en redusert risiko for syredannelse i bergarten (Figur 11). Denne metoden må verifiseres nærmere for den kan benyttes til å klassifisere bergarter med hensyn til syredanningspotensiale.



Figur 11 Mn/S (mangan/svovel)-forhold plottet mot syredanningspotensiale (16 måneder).

2.3.5 Elektronmikroskop (SEM)

For å etablere en forståelse av fordelingen av arsen i lokal målestokk, er utbredelse av arsen-rike bergarter i felt undersøkt, og det er utført supplerende undersøkelser for å dokumentere hvor arsenet ligger i bergarten og hvordan arsen opptrer i forbindelse med ulike mineraler. Dette arbeidet bidrar også til å forstå fordelingen av arsen regionalt.

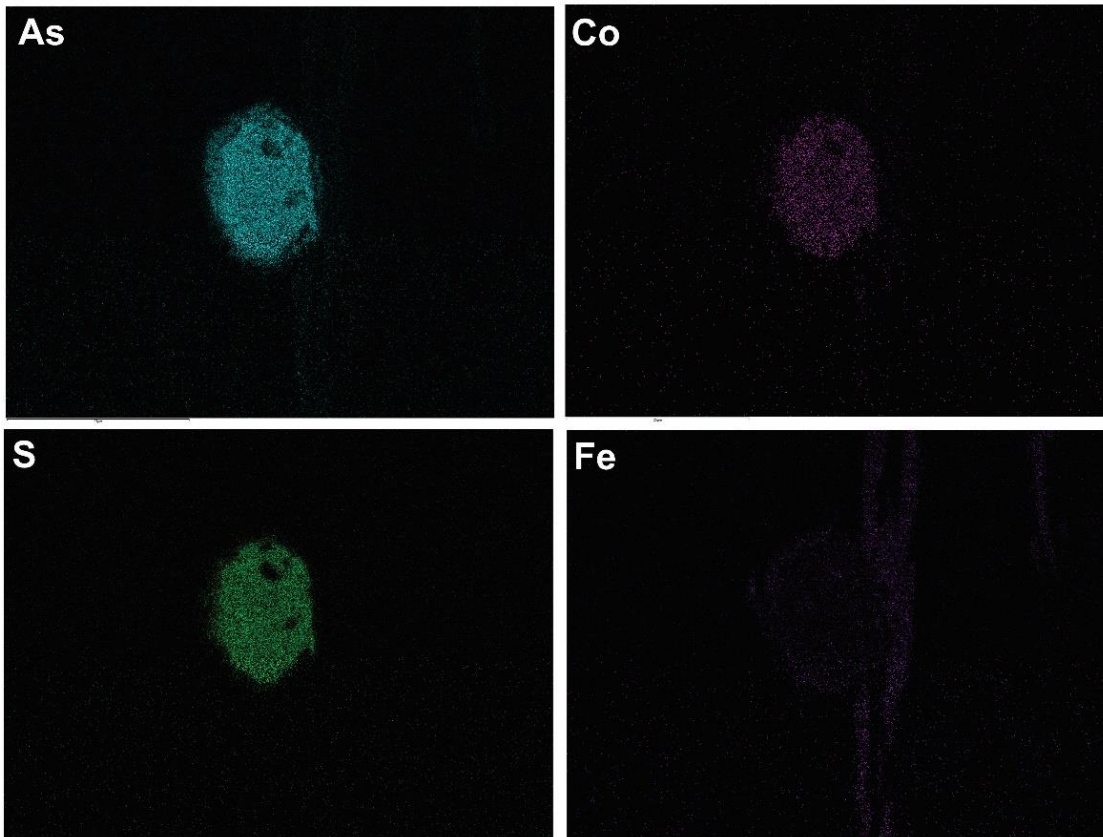
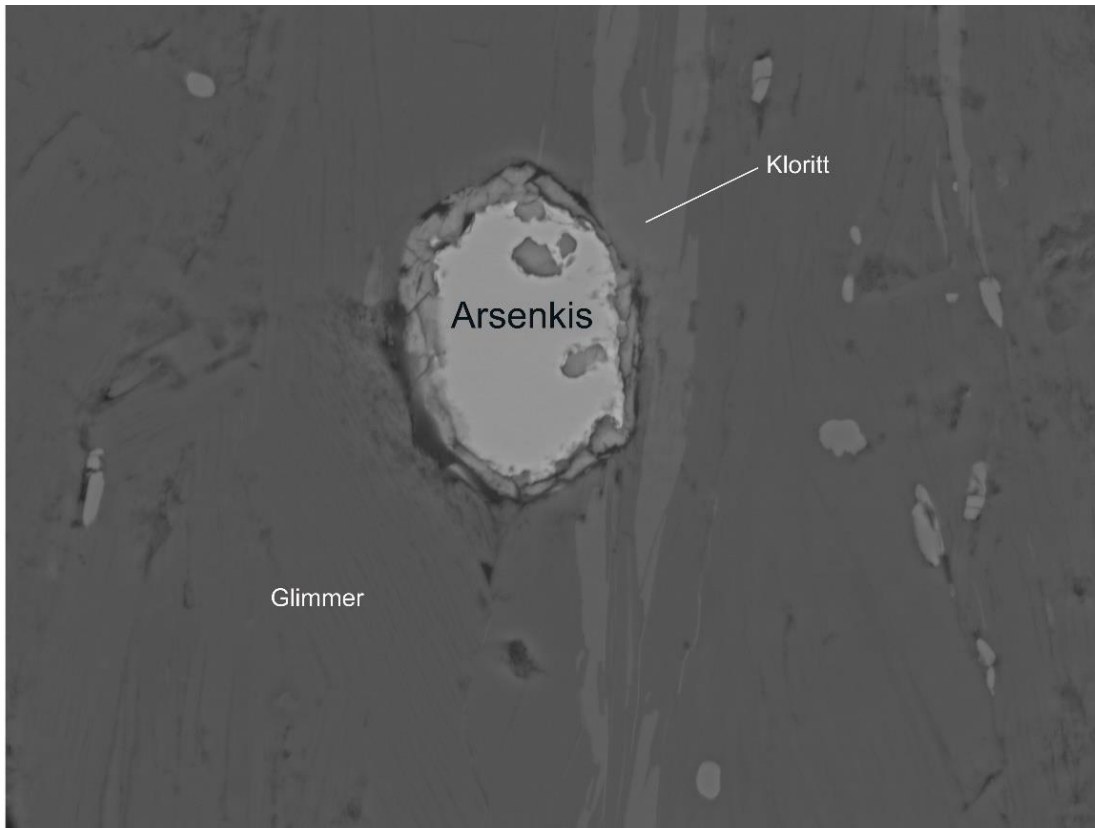
Av de 58 fylltprøvene som ble samlet i felt, ble det laget tynnslip av 26 prøver. Tynnslip består av ca. 30µm tynne skiver av bergarten som monteres på glass for å gjennomføre mikroskopisk arbeid.

I prøvene hvor det er påvist høye konsentrasjoner av arsen ved kjemisk analyse, er det få tegn til mineraler som vanligvis inneholder arsen (eksempelvis arsenkis) i tynnslipene. Innholdet av arsenkis er ikke tilstrekkelig til å kunne gi høye verdier for arsen ved kjemiske analyser eller

målinger med XRF. I enkelte prøver forekommer det noen få korn arsensulfider, men generelt påvises det ikke sulfider i prøvene. Dette innebærer at arsen må ligge et annet sted i bergarten.

Det er utført en grunnstoffkartlegging med elektronmikroskop, for bildedokumentasjon. Dette arbeidet er utført på mange prøver, og kun et utvalg er vist her. Bildene fra Back Scatter Electron (BSD) gjenspeiler atomvekt av materialet. Med høyere atomvekt framstår materialet som lysere. De andre bildene i figuren er fra det samme området i tynnslipet, men produsert ved grunnstoffkartlegging. Her viser bildene en varierende konsentrasjon av et bestemt grunnstoff. Fargede piksler viser hvor det er forhøyet grunnstoff av interesse. Jo tettere pikslene ligger, jo høyere er konsentrasjonen. Svarte områder betyr lav konsentrasjon.

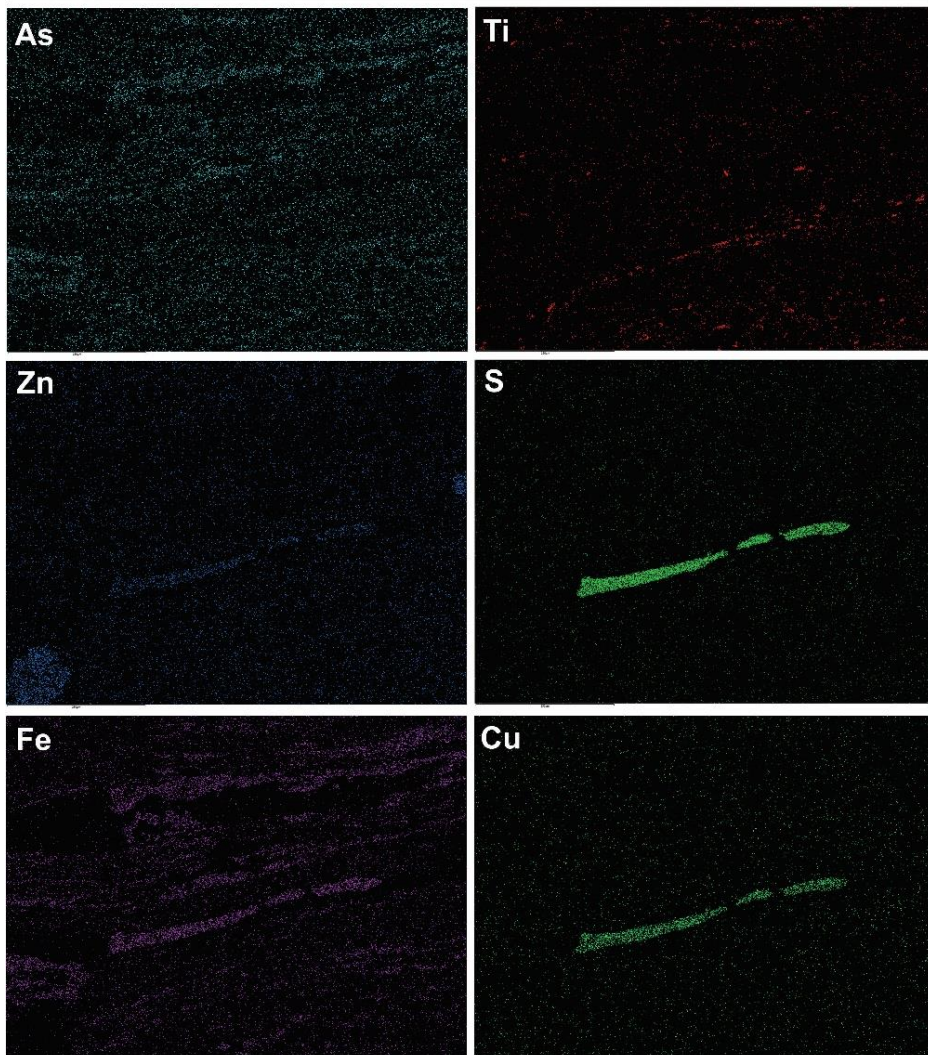
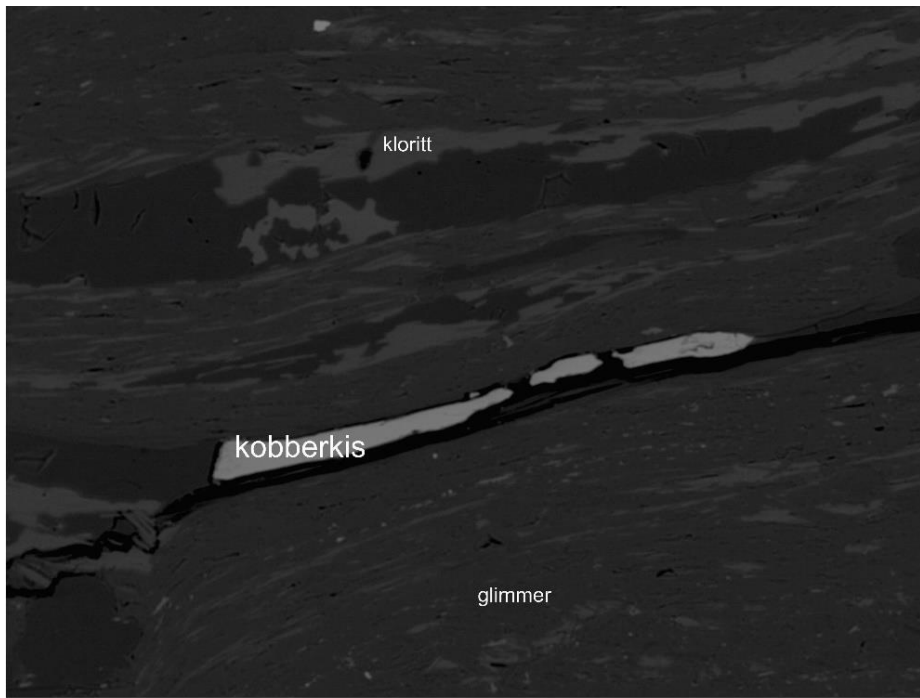
I prøve AS-1 (se Figur 12) er det påvist et sjeldent arsenkiskorn, og den kjemiske analysen viser høy konsentrasjon av arsen (57ppm). Prøven inneholder mineraler med ulik lysintensitet: Arsenkis sterkest og kloritt og glimmer svakest. Jo sterkere farge området har, desto høyere konsentrasjon er målt i dette området. Ulike farger representerer forskjellige grunnstoffer. Det første bildet viser et arsenkiskorn som sitter i en glimmerrik bergart med underordnet kloritt. De fire mindre bildene viser at arsenkiskornet inneholder svovel, arsen, jern og kobolt. Jern er påvist i lineære mønster i bildet nederst til høyre, som betyr at jern forekommer i kloritten. Derimot ligger det et omriss av omvandlet arsenkis rundt arsenkiskornet. Dette består av kloritt og betydelige mengder med arsen. Det er synlig at arsen også sitter i selve kloritten.



Figur 12 Bilde fra grunnstoffkartlegging i elektronmikroskop fra prøve AS-1. Omvandlingen av arsenkiskornet til kloritt flytter arsen fra arsenkis til kloritten. Arsenførende kloritt kan forårsake høy konsentrasjon av arsen i fyllittene, selv om det er få 'vanlig' arsenførende sulfidmineraler.

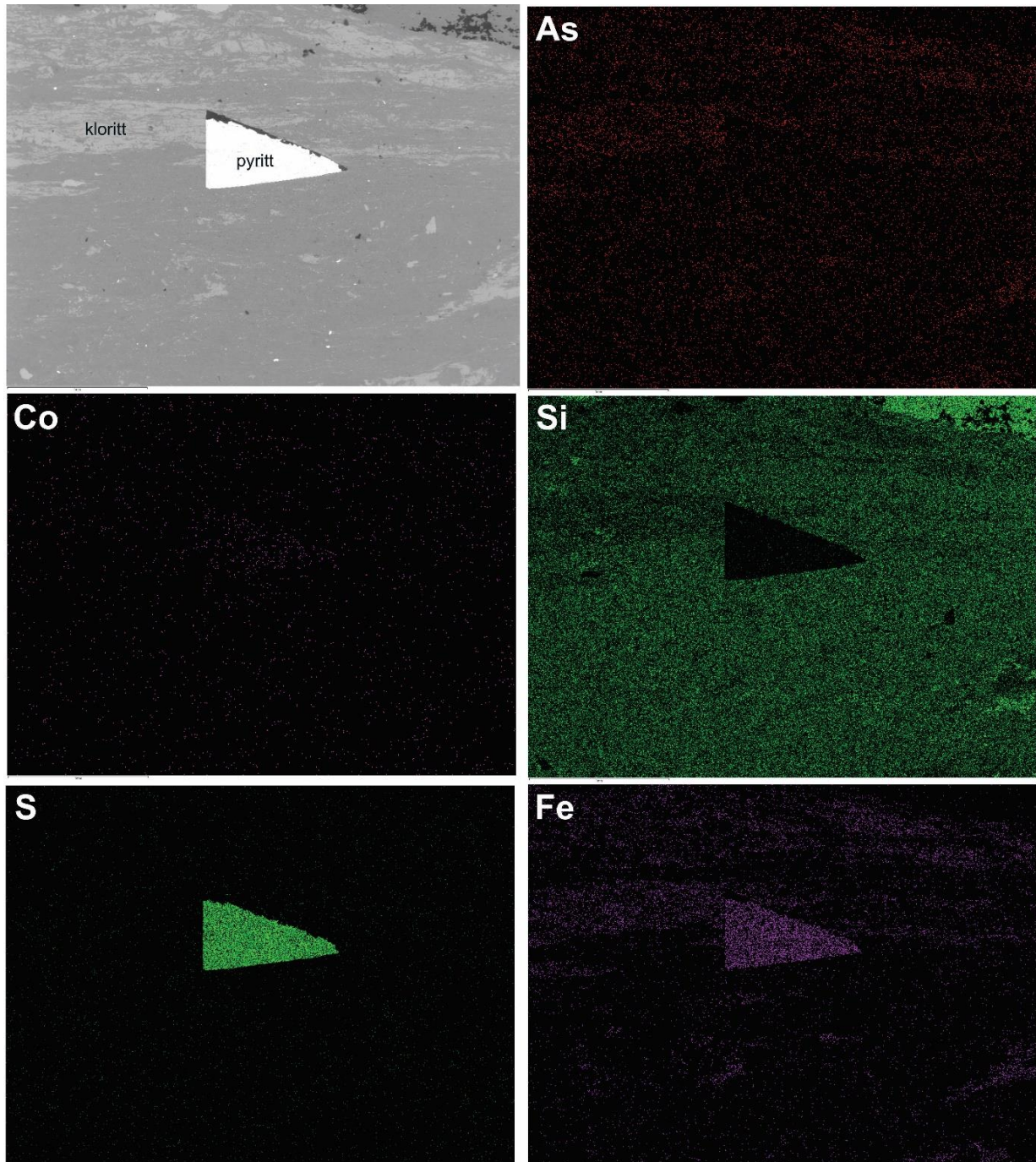
Bilder fra elektronmikroskop for prøve AS-12 er vist i Figur 13. Det øverste bildet viser at prøven har en nesten horisontal lagdeling bestående av glimmer og kloritt, og inneholder enkelte korn av kobberkis. I en sprekk parallelt med lagdelingen er kobberkis påvist som et sekundært mineral. Dette betyr at sulfidet er remobilisert fra et annet sted, i varm væske, og avsatt i sprekken. Kobberkis er et lett rebomobilisert sulfid. Undersøkelsen viser at sulfidet består av kobber, svovel og jern. Det er ikke påvist arsen i prøven. I likhet med prøve AS-1 (Figur 12) er det samsvar mellom forhøyet jern og kloritt. Bildene tyder også på at forhøyede konsentrasjoner av arsen er assosiert med kloritt.

Grunnstoffkartlegging på SEM er en semi-kvantitativ prosess, der de fleste grunnstoffer kan påvises, men enkelte grunnstoffer har en betydelig 'overlapp' i signal. To av disse parameterne med overlappende signal og som er viktig her, er magnesium og arsen. Dette er ikke klart fra SEM-analyse om arsensignalet viser til arsen eller magnesium. Signalet opptrer der det er kloritt i prøven, og kloritt inneholder alltid en del magnesium. Videre arbeid på LA-ICP-MS er derfor gjennomført for å kunne skille mellom arsen og magnesium.



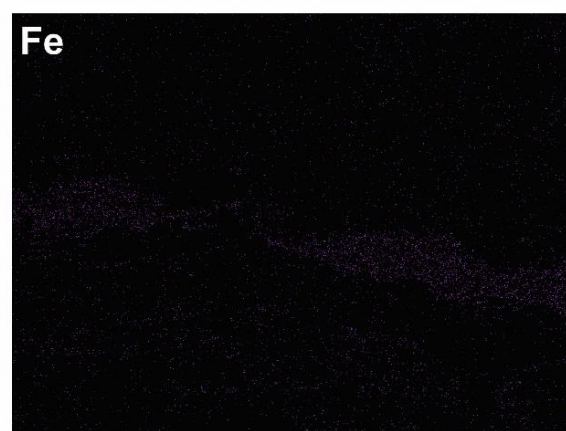
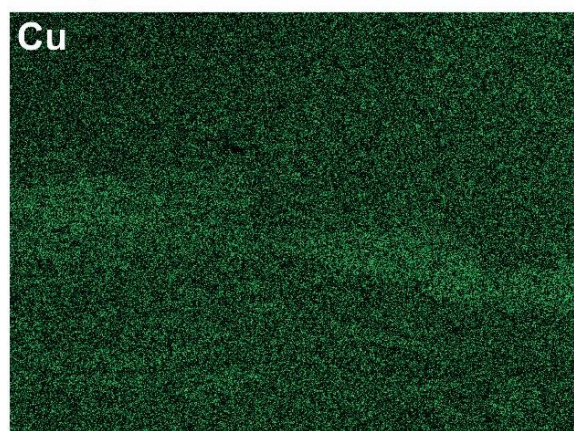
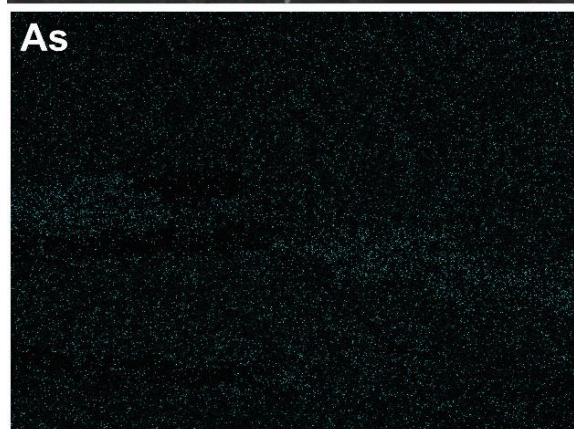
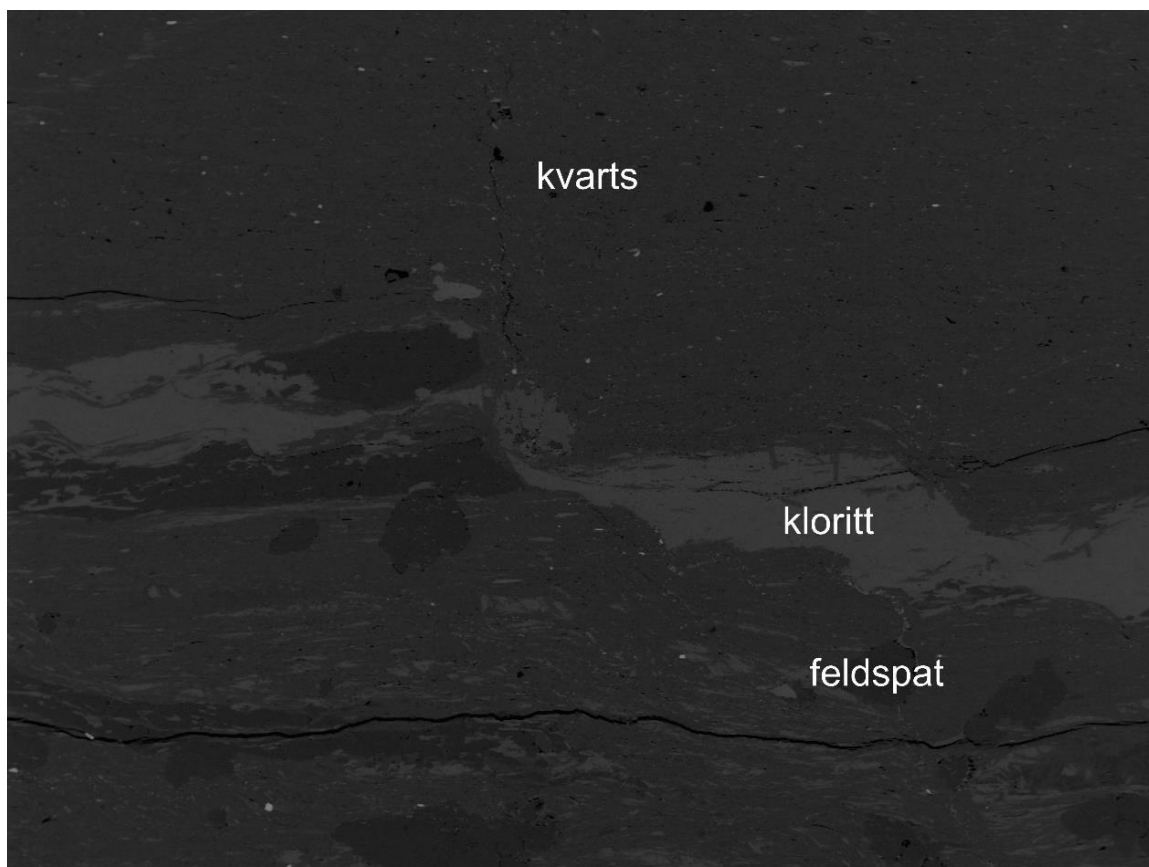
Figur 13 Bilde fra grunnstoffkartlegging i elektronmikroskop fra prøve AS-12.

Det er funnet sulfidkorn i prøve AS-10 (se Figur 14). Sulfidet består av svovel og jern, og er derfor pyritt. Ingen andre grunnstoffer er dokumentert i sulfidet. På tross av dette påviser de kjemiske analysene for denne prøven en arsenkonsentrasjon på 63ppm. Derfor må arsenet sitte et annet sted i bergarten enn i sulfidet. I BSD-bildet kommer det fram at bergarten har horisontal lagdeling med glimmer og kloritt.



Figur 14 Bilde fra grunnstoffkartlegging i elektronmikroskop av prøve AS-10.

Det er det vist et bilde fra grunnstoffkartlegging fra en annen del av prøve AS-10 i Figur 15. Øverste bilde viser et BSD-bilde av et lyst lag med kloritt i et ellers glimmerrikt område. Et lag med kloritt (litt lysere) deler tynnslipet i to. Grunnstoffkartleggingen viser forhøyet innhold av jern i kloritt, men ingen anrikning i kobolt. Arsen viser antydning til forhøyde verdier i kloritt, men dette inntrykket kan også gjenspeile konsentrasjon av magnesium i kloritten. Kobber viser en betydelig anrikning i kloritten i denne prøven. Som nevnt tidligere så kan ikke magnesium og arsen skilles i semi-kvantitative SEM-analyser. I denne prøven kan det påvises en tilsynelatende arsenanrikning samtidig som vi ser en kobberanrikning. Innholdet av kobber kan skilles fra magnesium i SEM-analysene, og dette kan bety at den tilsynelatende arsenanomalien i kloritten er reell.

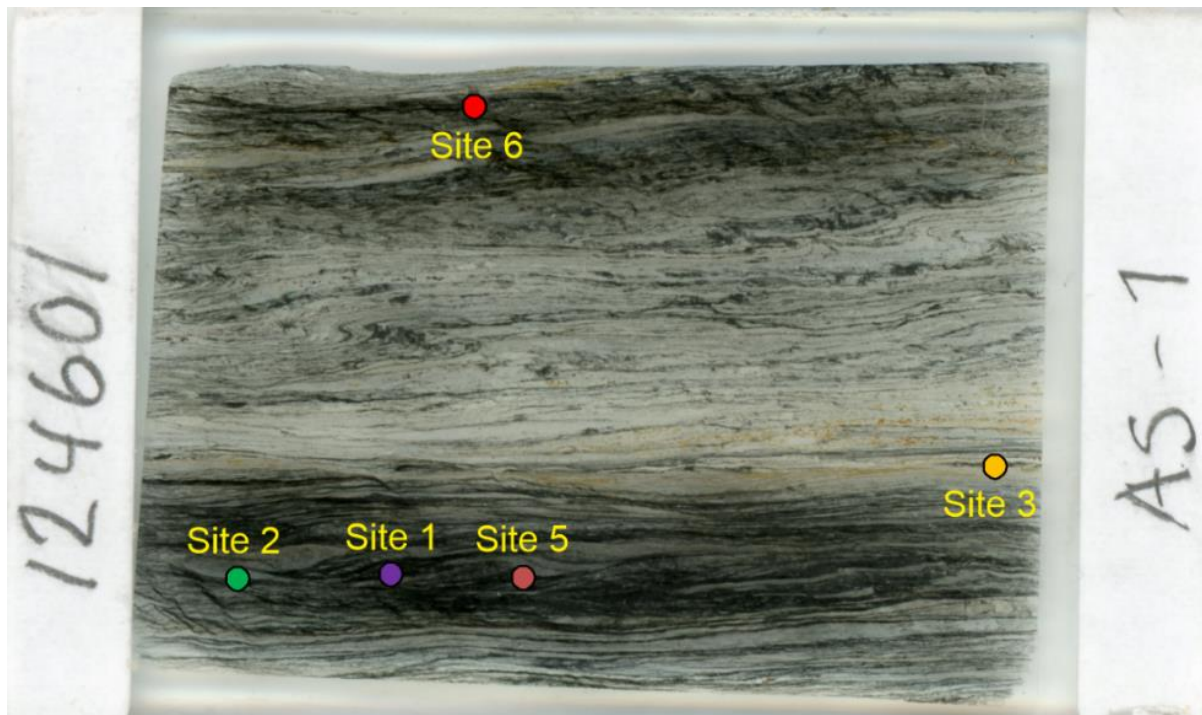


Figur 15 Bilde fra grunnstoffkartlegging i elektronmikroskop av prøve AS-10. Øverste bilde viser BSD-bilde av et lyst lag med kloritt i et ellers kvarts- og feltspatrikt område av tynnslipet. Her dokumenteres, i tillegg til et signal om arsen, at både jern og kobber forekommer i forhøyede konsentrasjoner med muligens litt mer kobolt.

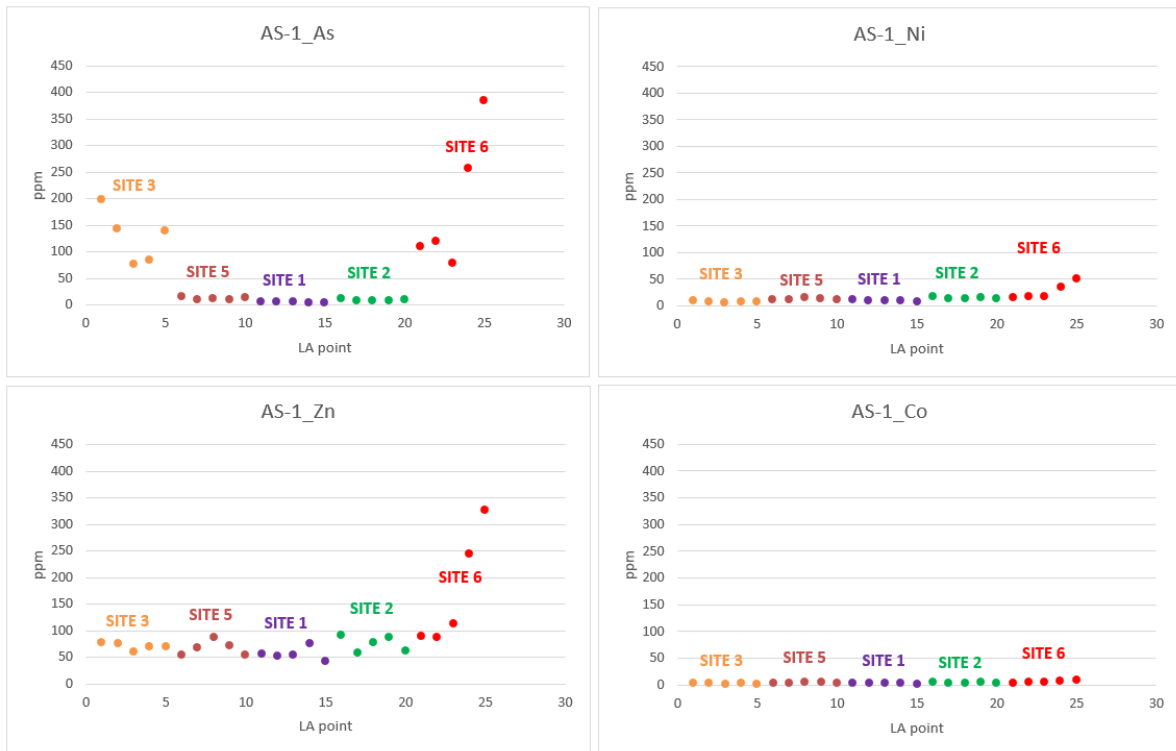
2.3.6 Resultat fra LA-ICP-MS

Det er utført detaljerte analyser av tynnslip ved LA-ICP-MS («Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer»), fordi grunnstoffkartleggingen ved elektronmikroskop delvis hadde utfordringer med å skille mellom noen grunnstoff. Problemet med å skille mellom Electron Spektra fra forskjellige grunnstoff, for eksempel magnesium og arsen, ble løst ved å ta i bruk presisjonslaserablasjons-utstyr. Prøvene AS-1 og AS-10 er analysert. Totalt ble det samlet inn data fra ti områder i de to prøvene og 68 analysepunkter totalt.

I prøve AS-1, hvor den kjemiske analysen viser en arsenkonsentrasjon lik 57 ppm, er fem områder med totalt 25 analysepunkter analysert (Figur 16). Analyseresultatene er gitt i Vedlegg 1 og Figur 17. Den gjennomsnittlige laserkonsentrasjonen er 68,7 ppm. De fleste analysene fra AS-1 gir en lav konsentrasjon av arsen, men ved områdene 3 og 6 er det påvist høye konsentrasjoner. Dette kan indikere at disse lagdelingene har høyere konsentrasjon av arsen, enn lagene som inneholder Sites 1,2 og 5. Alle analysepunkter for AS-1 viser relativt lave konsentrasjoner for både nikkel og kobolt, men enkelte analysepunkter viser forhøyede sinkverdier, med en fordeling som er lik den for arsen.

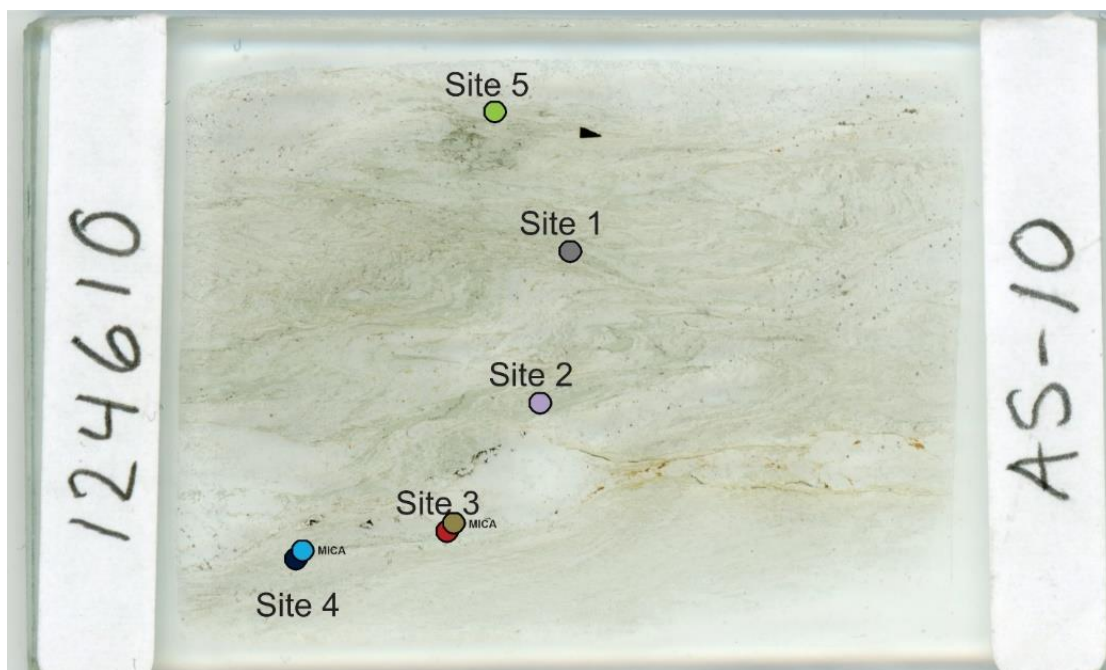


Figur 16 Laserablasjonspunkt for prøve AS-1. Flere ablasjonspunkter er tatt fra hver lokalitet. Resultatene vises i Vedlegg 1 og Figur 17.

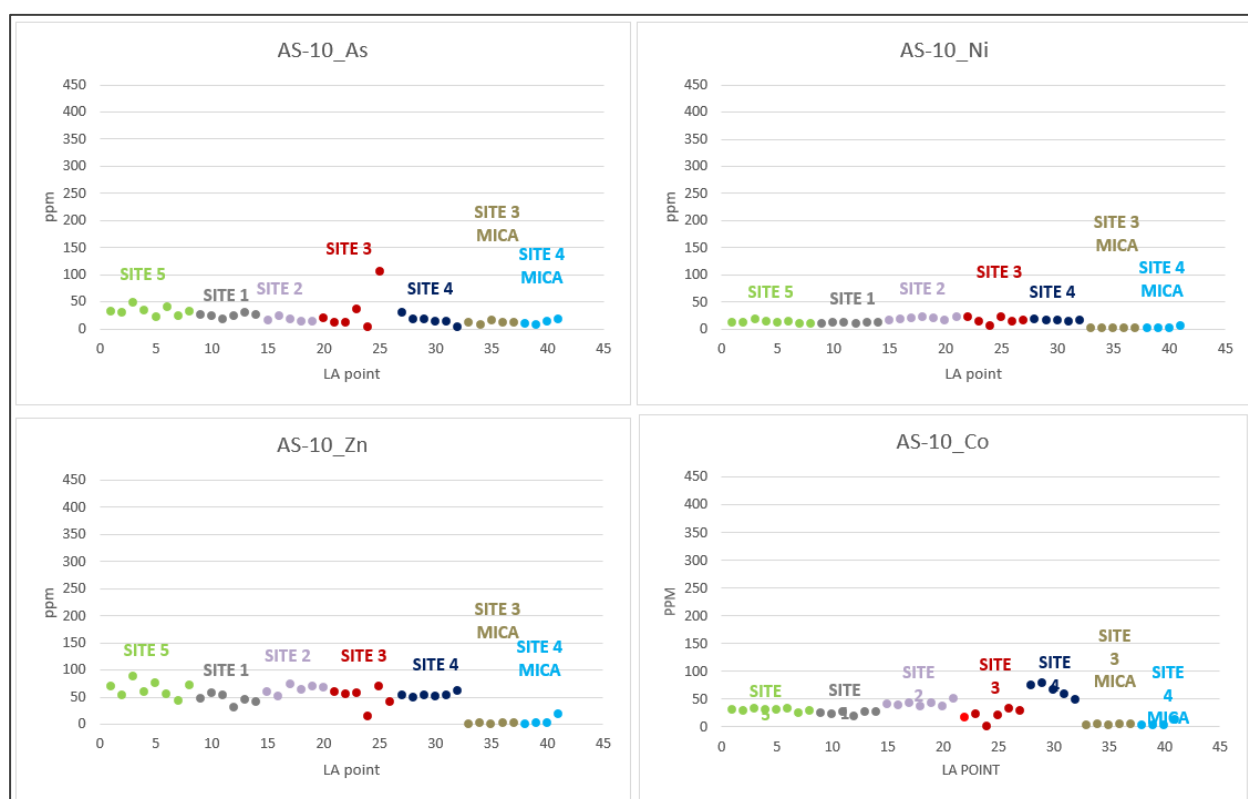


Figur 17 Laserablasjonsresultater fra prøve AS-1. De forskjellige farger er i samsvar med de forskjellige lokaliteter i prøven vist i Figur 16.

I prøve AS-10 er fem lokaliteter med totalt 43 analysepunkter analysert (Figur 18). Aqua Regia-analysen (totalanalyse) viser arsen lik 63 ppm. Laseranalysene viser en gjennomsnittlig konsentrasjon av arsen lik 47,3 ppm (Vedlegg 1). Prøven er ulik prøve AS-1 fordi arsen viser en jevn fordeling i kloritt (Figur 19) som ligger rundt gjennomsnittet (bortsett fra en analyse på lokalitet 3). Det finnes ingen lag med høyere arsen i tynnslipet som observert i AS-1. I tillegg har to områder med glimmer blitt analysert for arsen, nikkel, sin og kobolt. Resultatet viser lavt innhold av alle fire grunnstoffer (dvs. mindre enn 10 ppm).



Figur 18 Laserablasjonspunkt for prøve AS-10. Flere ablasjonspunkter er tatt fra hver lokalitet. Resultatene vises i Vedlegg 1 og Figur 19.



Figur 19 Laserablasjons resultater fra prøve AS-10. De forskjellige farger er i samsvar med de forskjellige lokalitetene i prøven, som er vist i Figur 18.

Høy arsenkonsentrasjon i fyllitt har med stor sannsynlighet sammenheng med kloritt. Tidligere arbeid viser at forhøyede konsentrasjoner av arsen i kloritt kan skape problemer med forurenset vann (Masuda et al., 2012). Andre studier viser at arsen også kan være tatt opp i mineralet biotitt

(Acharyya et al., 2005), men det er lite bevis for det fra dette arbeidet. Det er påvist få korn av metallbærende sulfider i bergartene som kunne vært opphav til forhøyet arseninnhold. Derimot er omvandling av opprinnelige arsenkiskorn til arsenrik kloritt dokumentert.

På regional målestokk opptrer trolig høye konsentrasjoner av arsen i de klorittrike fyllittene. I de analyserte prøvene er det påvist høye variasjoner fra lave til høye arsenverdier i samme prøve. Det er også dokumentert at varierende konsentrasjoner av arsen opptrer i samme klorittprøve. Det vil si at prøver med høy konsentrasjon av arsen kan inneholde kloritt med både lav og høy konsentrasjon av arsen.

2.4 Konklusjoner for fyllitt med anbefaling av videre undersøkelser

Den berggrunnsgeologiske kartleggingen avdekker at fyllittenheten i Stavanger kommune hovedsakelig består av sterkt deformert fyllitt og glimmerskifer. Disse bergartene forekommer i flere varianter (f.eks. grafittførende, klorittrik, kvartsårerik), og veksler på meter- til centimeterskala. Stedvis er det også funnet lag med kvartsitt. Bruk av håndholdt XRF i felt bekrefter at innholdet av arsen og andre metaller varierer betydelig helt ned på centimeterskala, og denne variasjonen kan observeres stort sett over hele kartleggingsområdet uavhengig av fyllittvariant og deformasjonsgrad.

De kjemiske analysene (kongevannoppslutning) av 58 fyllittprøver viser et gjennomsnittlig arseninnhold på 25 ppm (min-maks: 0,3-75 ppm), som tilsvarer tilstandsklasse 3 etter TA-2553/2009. Unntaket er i området Kvernevik, hvor berggrunnen domineres av grågrønn klorittrik glimmerskifer, som tilsynelatende har et gjennomsnittlig arseninnhold under normverdi (<8 ppm). Ingen andre grunnstoff har gjennomsnittlig konsentrasjon over normverdi, med unntak for enkelte sporadisk forekommende prøver (f.eks. bly opptil 220 ppm og nikkel 309 ppm).

For å bedre kunne forutsi risiko for høye konsentrasjoner av arsen i fyllitt, er det utført flere undersøkelser for å påvise hvor arsen opptrer i bergarten. Aktivitetene omfatter en analyse av bergarten som helhet, mikroskopi- og SEM-analyser og lasermålinger av tynnslip. Sistnevnte benyttes for å skille på overlappende grunnstoffsignaler fra SEM-analysene. Samlet sett viser analysene at det stort sett er lav korrelasjon mellom konsentrasjonen av arsen og andre sulfidtilknyttede metaller som kobber sink, nikkel, kobolt og svovel. Dette indikerer at arsen også er bundet til andre mineraler enn sulfider, og to detaljanalyser viser at en stor andel av arsen er bundet til kloritt. Observasjoner med optisk mikroskop og elektronmikroskop påviser svært få synlige sulfidkorn selv i prøver med relativt høyt arseninnhold, noe også reflekteres i det generelt lave svovelinnholdet (gjennomsnittlig 0,1 % S).

Utførte målinger av abrasjons-pH viser at fyllittene har potensiale for å være syredannende, men at syredanningspotensialet ikke korrelerer direkte med svovelinnholdet. Sannsynligvis skyldes dette ulik bufferkapasitet, ved at det opptrer varierende innhold av bufrende mineraler, som for eksempel karbonatmineralet kalsitt, i bergarten.

Undersøkelsene viser også at konsentrasjonene av uran generelt er lave (gjennomsnittlig 3,4 ppm U), men med enkelte forhøyede målinger (maks 56 ppm). Dette indikerer at fyllittene ikke er en gjennomgående signifikant kilde til radongass, men at den stedvis kan være det.

Basert på resultatene som er kommet fram i denne undersøkelsen, vil supplerende undersøkelser forbedre kunnskapsgrunnlaget knyttet til følgende tema:

- Fyllittenheten ved Kvernevik kan prøvetas med høyere oppløsning, for å avklare om konsentrasjonene av arsen er under normverdi og området kan «friskmeldes».
- Bedre forståelse av problemstillinger knyttet til syredanningspotensiale, svovelinnhold og bufringskapasitet i bergarten.
- Tester for å vurdere utlekkingspotensiale for arsen og metaller fra fyllitt.
- Kartlegging av forekomster av fyllitt i hele Rogaland

3 LØSMASSEKARTLEGGING

3.1 Metode og analyser

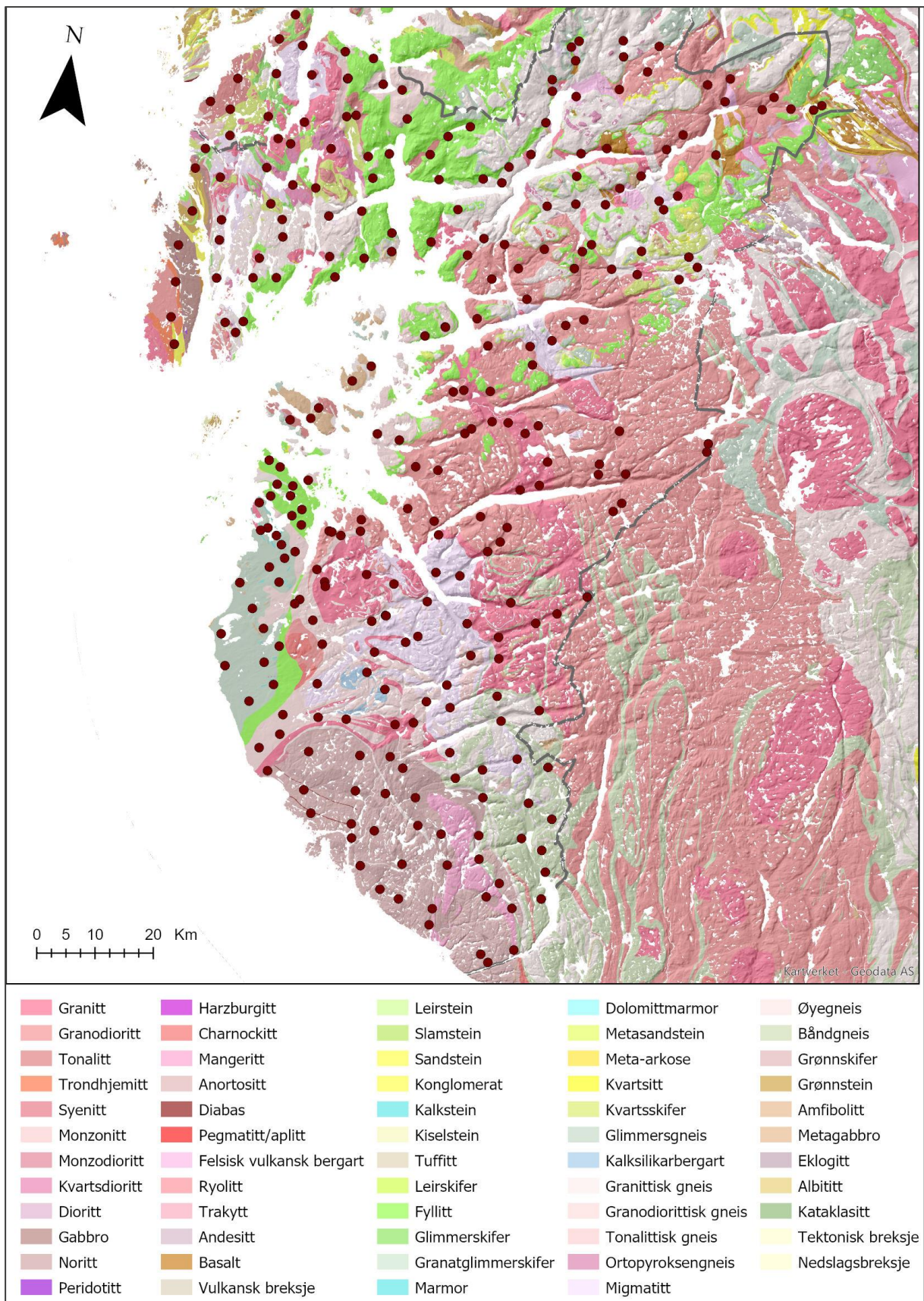
3.1.1 Prøvetaking av mineraljord for regionale bakgrunnsverdier i Rogaland

Det er etablert et rutenett for prøvetaking av mineraljord (morene) som skal resultere i et landsdekkende kart for kjemiske bakgrunnsverdier. Rutene er 6x6 km i utstrekning, og det samles inn én prøve fra hver rute. Prøvematerialet skal i størst mulig grad bestå av C-horisont i podsolfjord, men i områder hvor det finnes få avsetninger, brukes f.eks. forvittringsmateriale fra berggrunnen. For å lette feltarbeidet benyttes et kartgrunnlag som indikerer kvartære avsetninger, marin grense og marine, fluviale og glasifluviale masser.

Prøvene tas fra skjæringer eller ved graving ned til mineraljordlaget. For graving benyttes malingsfrie stålpader. For prøveoppbevaring benyttes Rilsan®-poser. Det samles inn en feltduplikatprøve på hver 20. lokalitet.

Totalt ble det, i Rogaland, samlet inn 291 mineraljordprøver, og 45 feltduplikatpar (

Figur 20). Prøvene ble tørket på NGUs laboratorier (<30°C), før sikting ved bruk av nylonsikt. Prøver med kornstørrelse <2 mm ble sendt til kjemisk analyse ved eksternt laboratorium.



Figur 20 Berggrunnsgeologisk kart av Rogaland fylke med prøvepunkter. Kilde: NGU berggrunnskart 1:250 000, 2024.

3.1.2 Prøvetaking av byjord i Stavanger

Byjord består av overflatejord i horisonten fra 0 til 2 cm. I områder med gressdekke eller annen vegetasjon, blir denne overdekningen fjernet før prøvetaking utføres. Prøver ble overført til Rilsan@poser ved hjelp av en liten stålspade. Totalt ble det samlet inn 29 prøver (Figur 21). Prøvene ble tørket på NGUs laboratorier (<math><30^{\circ}\text{C}</math>), før sikting ved bruk av nylonsikt. Prøver med kornstørrelse <math><2\text{ mm}</math> ble sendt til kjemisk analyse ved eksternt laboratorium.



Figur 21 Kart som viser plassering av de nye byjordsprøvene.

3.1.3 Kjemiske analyser

Prøveserien er randomisert før forsendelse til eksternt laboratorium, Bureau Veritas Minerals i Canada. Analysepakke «AQ251-EXT 53 elements 15 g» er benyttet. Analysene bruker en prøveinnvekt på 15 g for ekstraksjonen. Prøverekken inkluderte NGU-standarder samt felt- og analyseduplikater for å kontrollere kvaliteten.

Analysemetodikk, kvalitetskontroll og kart for alle de 54 grunnstoffene bli tilgjengeliggjort som egen NGU-rapport i 2025.

3.2 Resultater

3.2.1 Byjord i Stavanger

Det er innsamlet 29 nye prøver av byjord. Metode for kartlegging, analyse og lokalisering av prøver er gitt i kapittel 3.1.2. Analyseresultatene for utvalgte parametere er vist i Tabell 2.

Generelt viser resultatene at normverdien overskrides ved Vikevåg/Judaberg for arsen, og for sink ved Judaberg (tilstandsklasse 2, etter TA-2553/2009).

Tabell 2 Tabellen viser analyseresultatene for overflatejordprøvene (N=29). Få prøver overskrider normverdien, og alle overskridelser ligger i tilstandsklasse 2 (etter TA-2553/2009). Alle konsentrasjoner er gitt i mg/kg.

Parameter	Minimum	Median	Gjennomsnitt	Maksimum	Områder over normverdi	Tilstandsklasse
Arsen	0.6	1.7	2.3	10.6	Vikevåg/Judaberg	2
Bly	6	13	17	52		
Kadmium	0.05	0.13	0.16	0.85		
Kobber	7.7	21	23	70		
Krom	7.1	19	22	62	Vikevåg	1
Kvikksølv	0.01	0.04	0.05	0.2		
Nikkel	4.4	11	13	34		
Sink	15	82	98	278	Judaberg	2

Det eksisterende aktsomhetskartet for forurenset grunn i Stavanger er etablert med utgangspunkt i blykonsentrasjoner i jord, etter metodikk presentert i Eggen og medarbeidere (2009) samt Pettersen (2012). Resultatene tilsier at det ikke er behov for utvidelse av aktsomhetsområdet, ved bearbeiding av det nye datasettet på samme måte som prøvene som ligger til grunn for aktsomhetskartet.

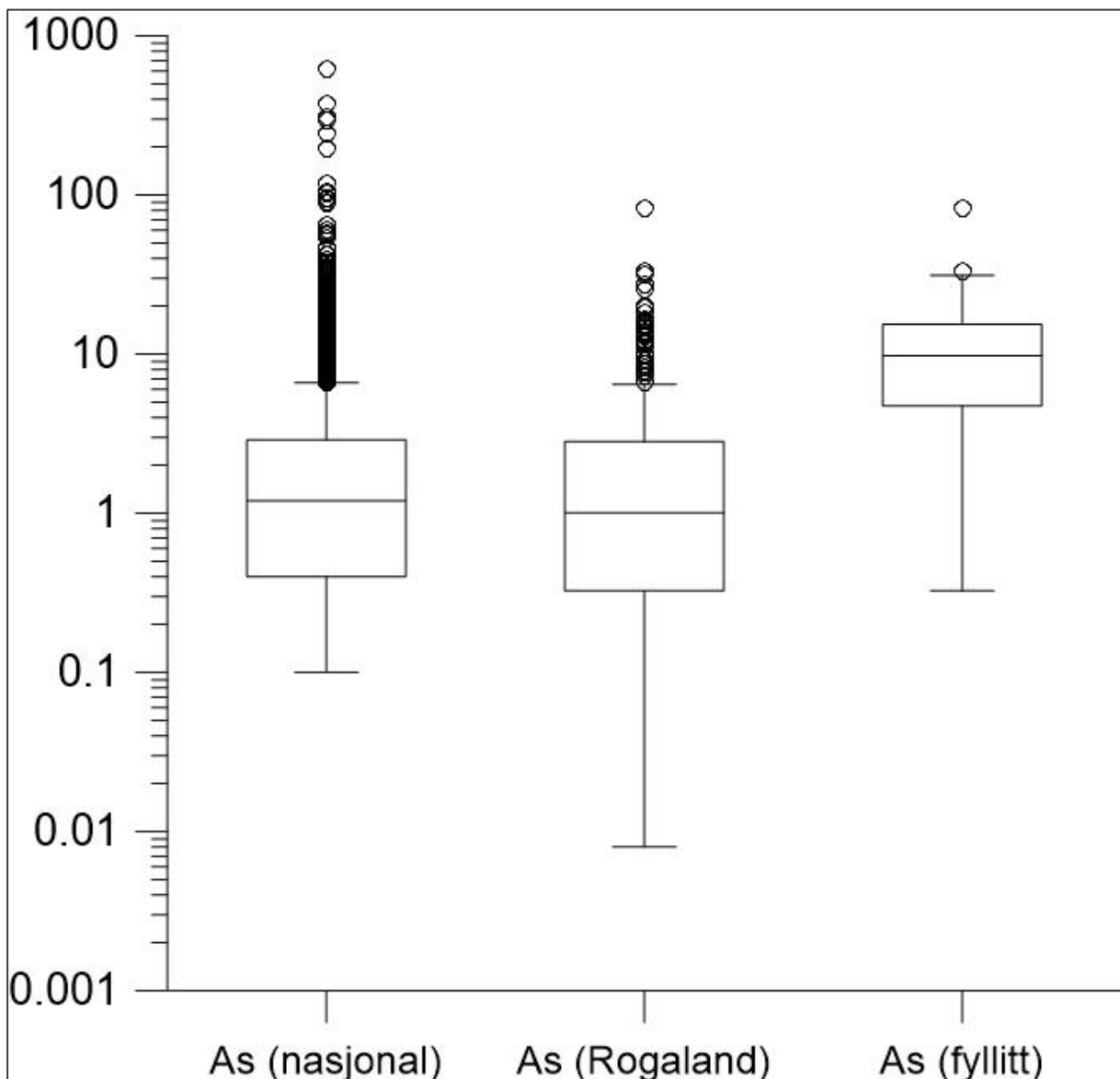
3.2.2 Mineraljord for regionale bakgrunnsverdier i Rogaland

3.2.2.1 Kart og boksplott for utvalgte parametere

Arsen

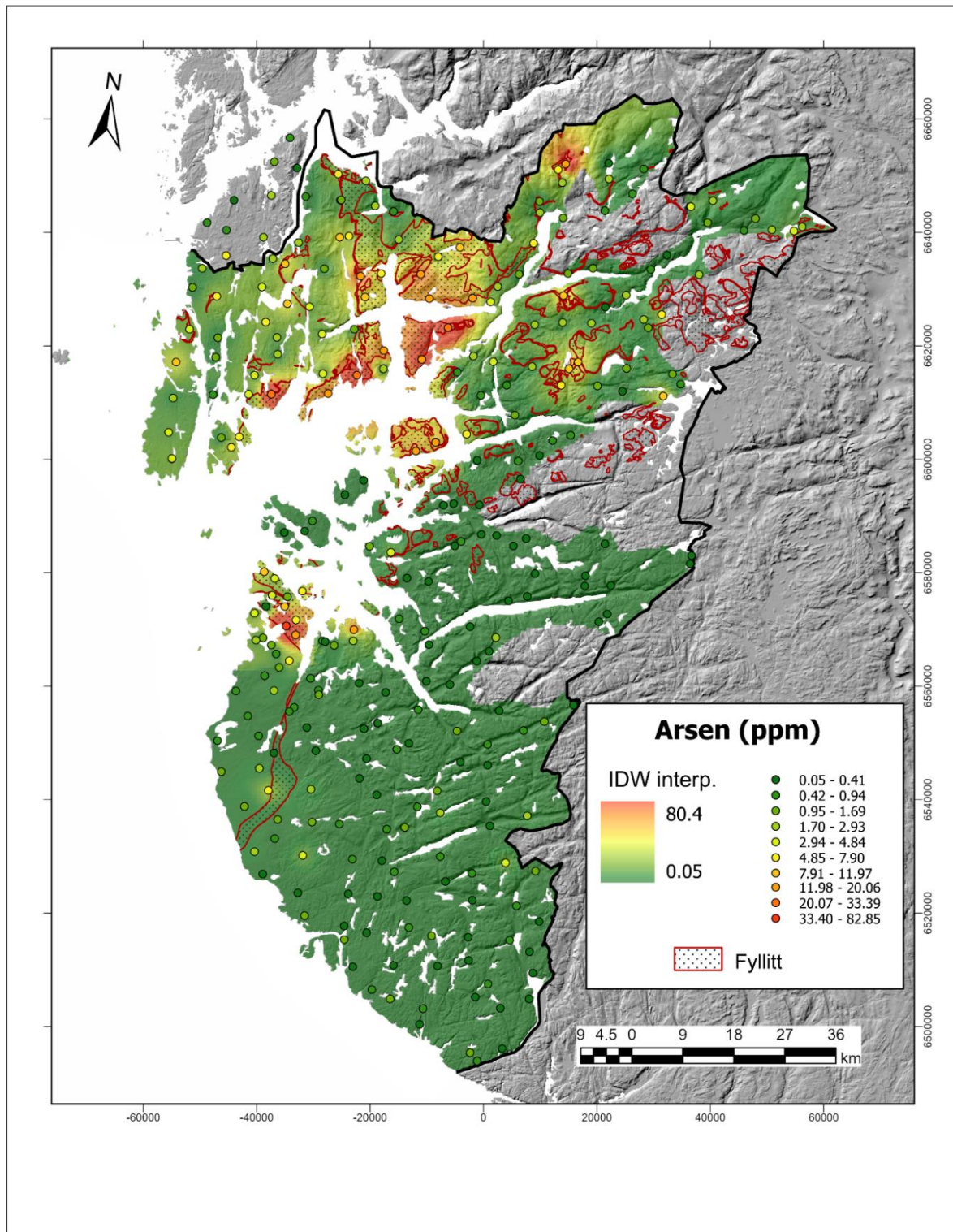
Arsenkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 0,009 og 82 ppm, se Figur 22. Prøveseriens median er 3,1 ppm. 30 av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for arsen (8 mg/kg TS).

Ved sammenligning av prøvene fra hele Rogaland og det nasjonale datasettet for morene kommer det fram at konsentrasjonene av arsen ligger i det samme konsentrasjonsintervallet (Figur 22). Mineraljorda som overdekker fyllitten (N=37) viser en betydelig påvirkning fra den underliggende berggrunnen, da morenen inneholder fragmenter av fyllitt.



Figur 22 Boksplott som viser fordeling av arsenkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet, i de undersøkte prøvene samt i de prøver som er lokalisert oppå fyllitt. Loddrett akse viser arsenkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for arsen er 8 mg/kg TS.

Konsentrasjonskart (Figur 23) og boksplokk (Figur 22) viser at de fleste av prøvepunktene med påvist overskridelse av forurensningsforskriftens normverdi er lokalisert i områder der det er kartlagt fyllitt.

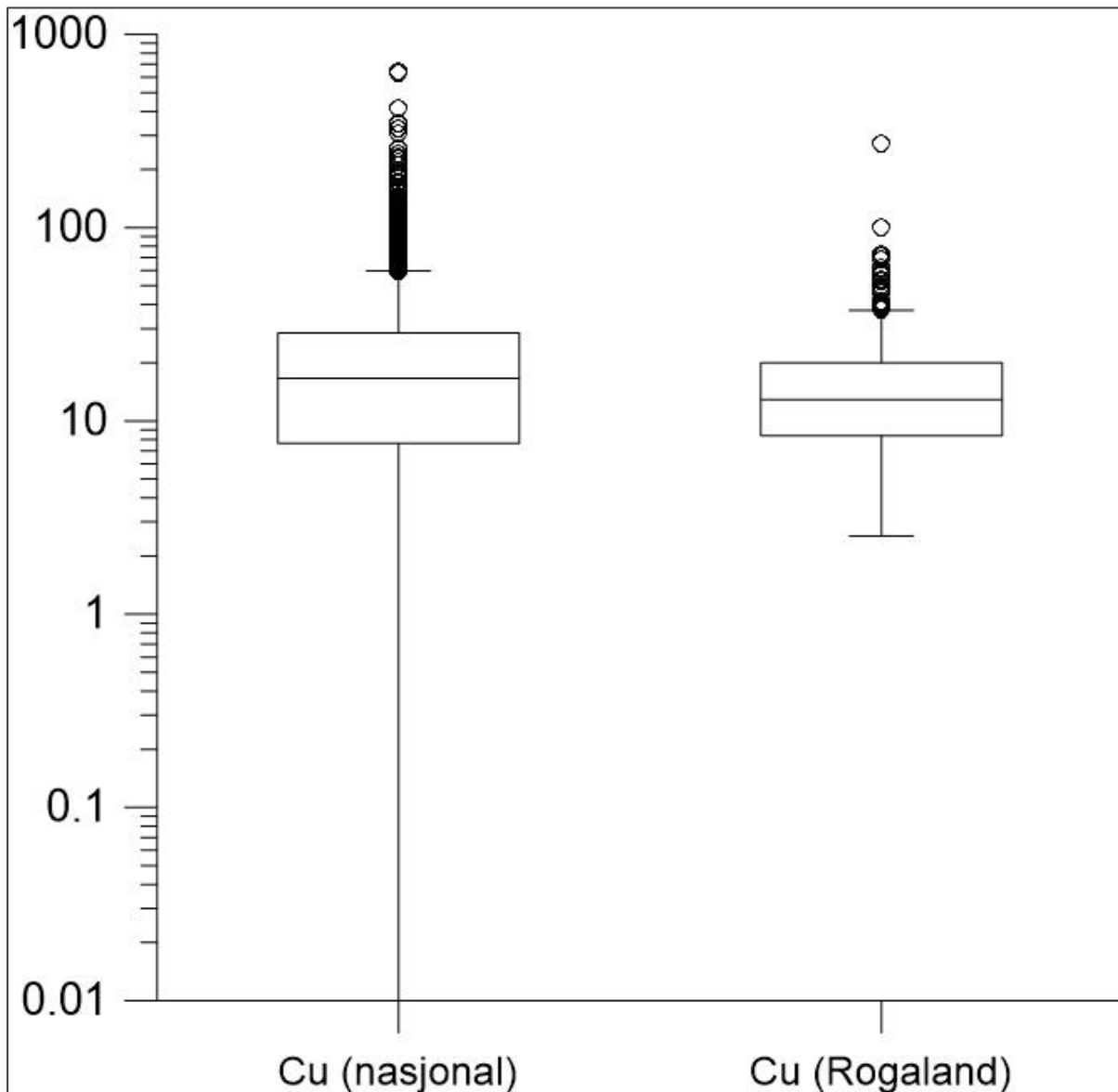


Figur 23 Konsentrasjonskart for arsen. Skraverte områder på kartet viser kartlagt fyllitt i skala 1:250 000. Forurensningsforskriftens normverdi for arsen er 8 mg/kg TS.

Kobber

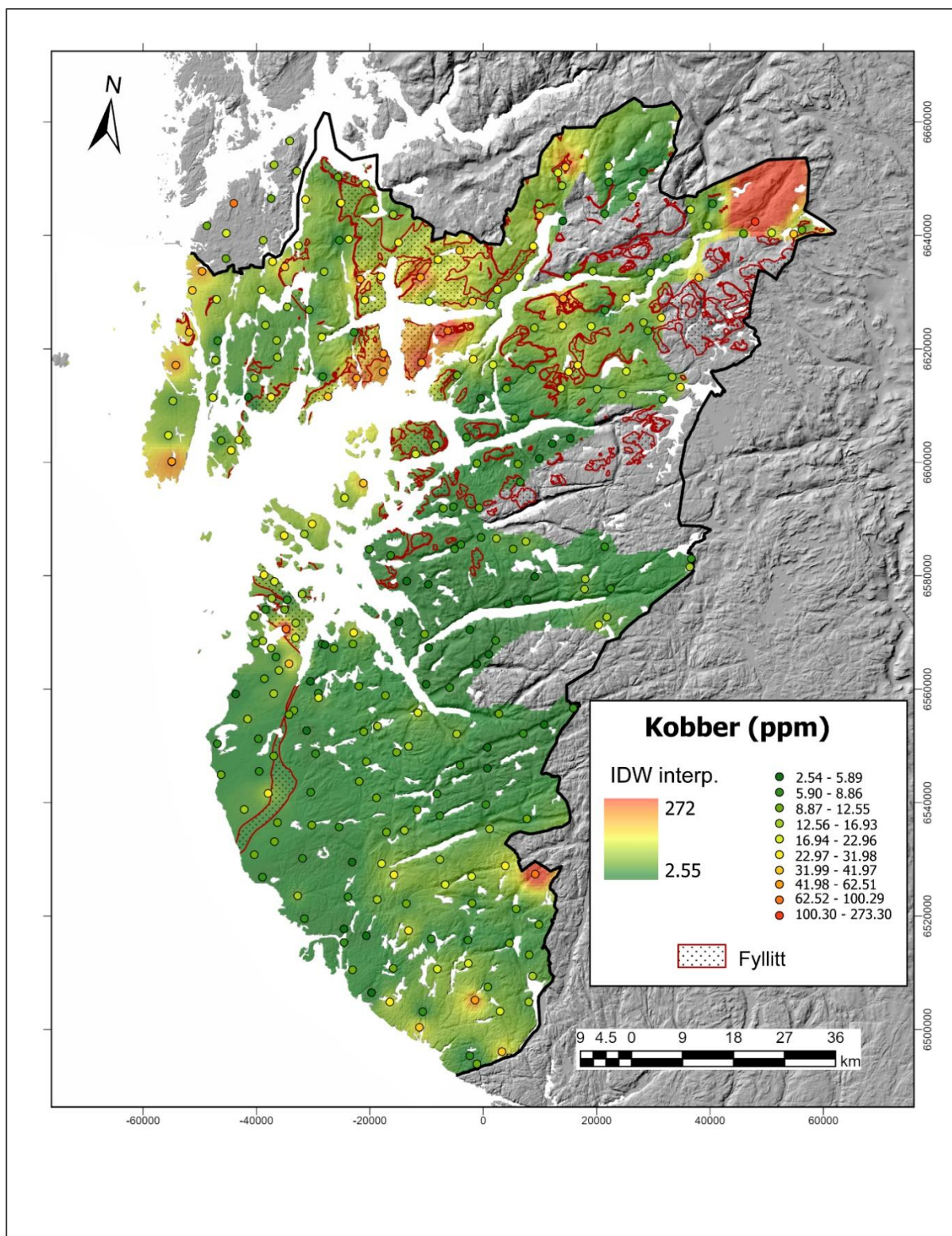
Kobberkonsentrasjonen i de undersøkte prøvene varierer mellom 2,5 og 273 ppm, se Figur 24. Prøveseriens median er 12,9 ppm. To av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for kobber (100 mg/kg TS).

Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene ligger prøvene i Rogaland i samme konsentrasjonsintervall.



Figur 24 Boksplokk som viser fordeling av kobberkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser kobberkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for kobber er 100 mg/kg TS.

Konsentrasjonskart viser at prøvepunktet med de høyeste overskridelsene av forurensningsforskriftens normverdi, er lokalisert i Suldal kommune, et område med registrerte mineralforekomster for basemetaller, spesifikt kobber, se Figur 25. Høy kobberkonsentrasjon i Lund, sammenfaller også med mindre sulfidmineraliseringer. Områder der det forekommer fyllitt virker å reflektere høyere kobberverdier.

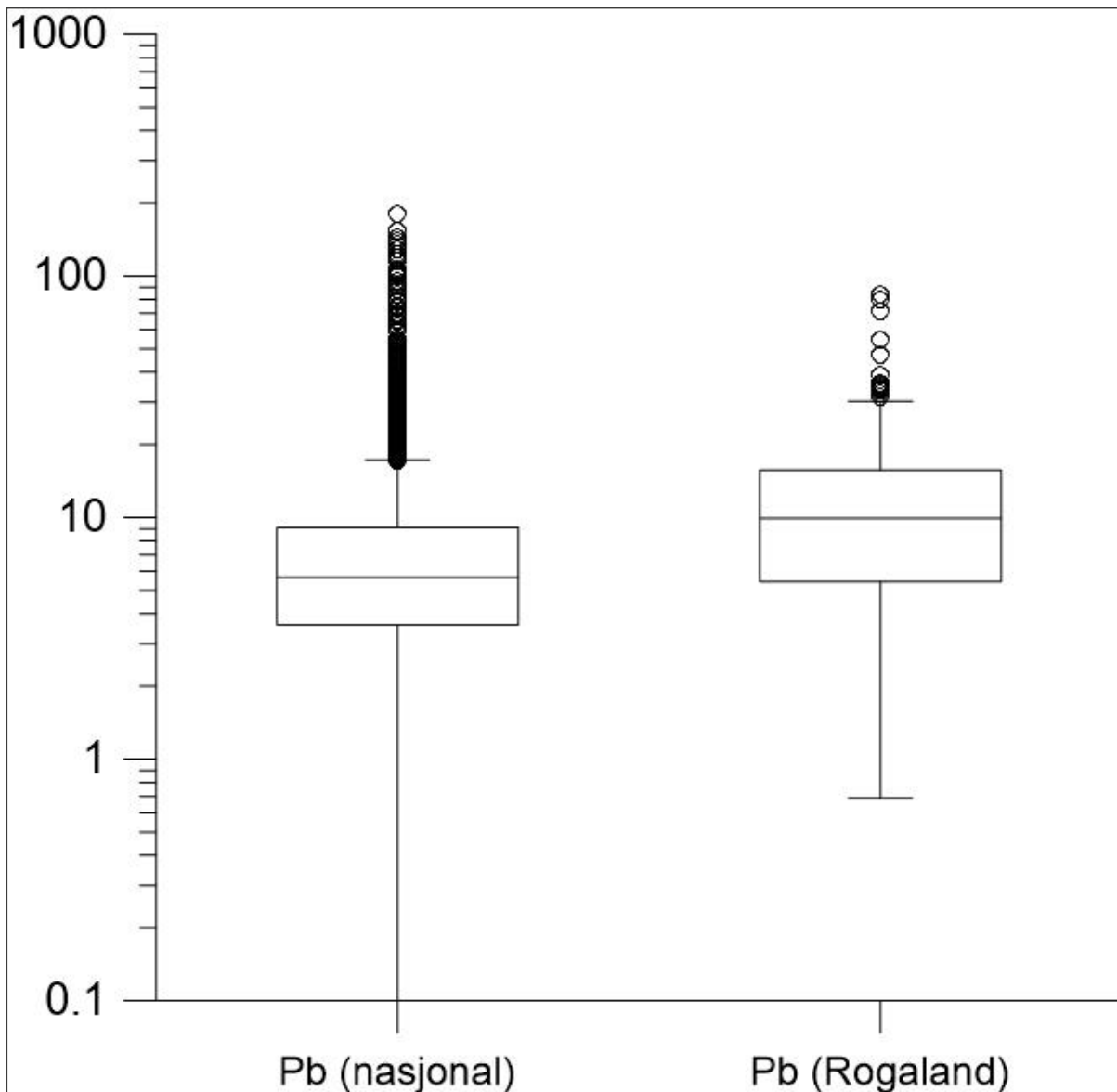


Figur 25 Konsentrasjonskart for kobber. Merk at de høye konsentrasjonene i NØ-hjørnet av det interpolerte flatekartet (Suldal kommune) er tolket fra ett prøveresultat. Forurensningsforskriftens normverdi for kobber er 100 mg/kg TS.

Bly

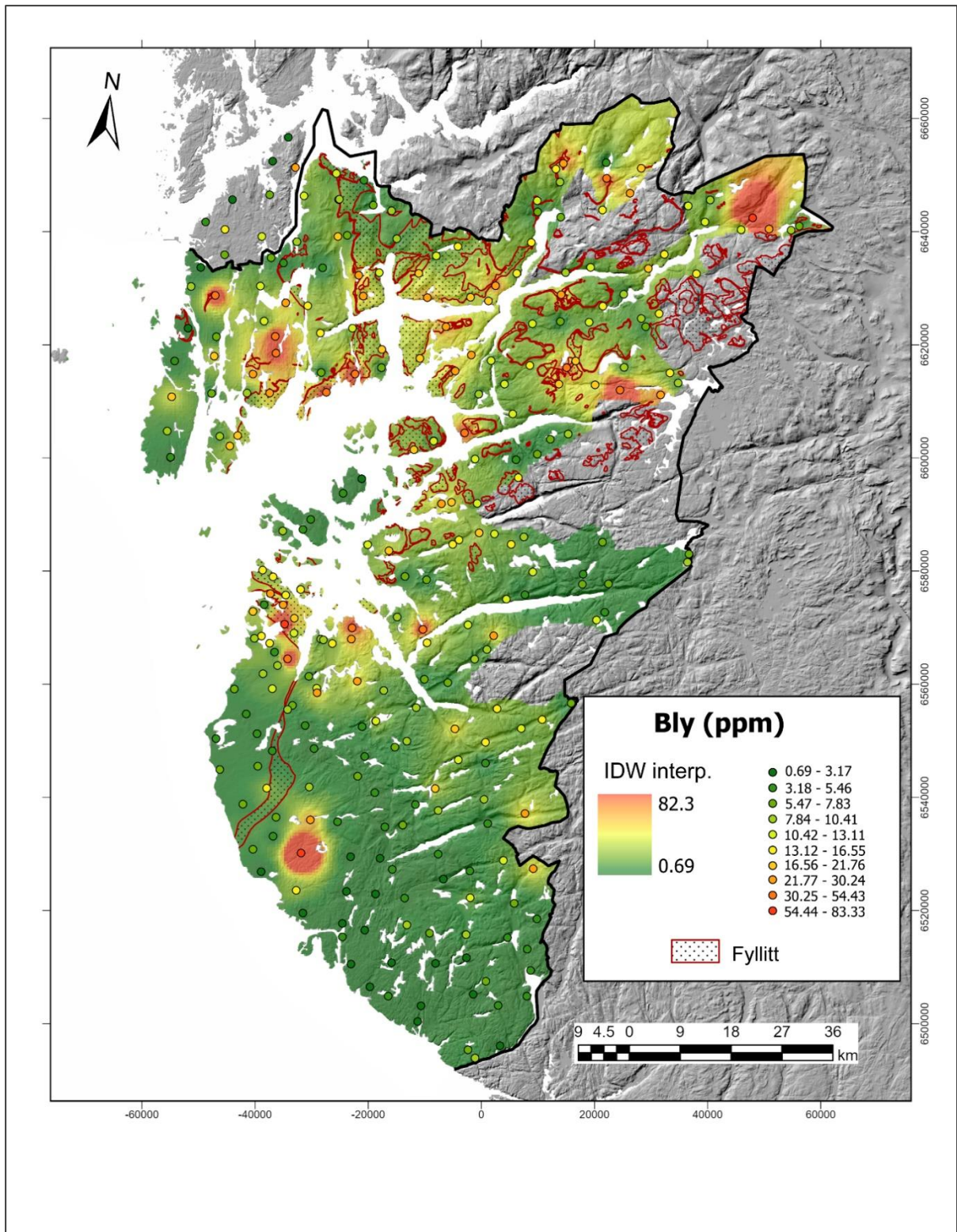
Blykonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 0,68 og 83 ppm, se Figur 26. Prøveseriens median er 9,9 ppm. Tre av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for bly (60 mg/kg TS).

Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene inneholder prøvene fra Rogaland generelt litt høyere blykonsentrasjoner.



Figur 26 Boksplott som viser fordeling av blykonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser blykonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for bly er 60 mg/kg TS.

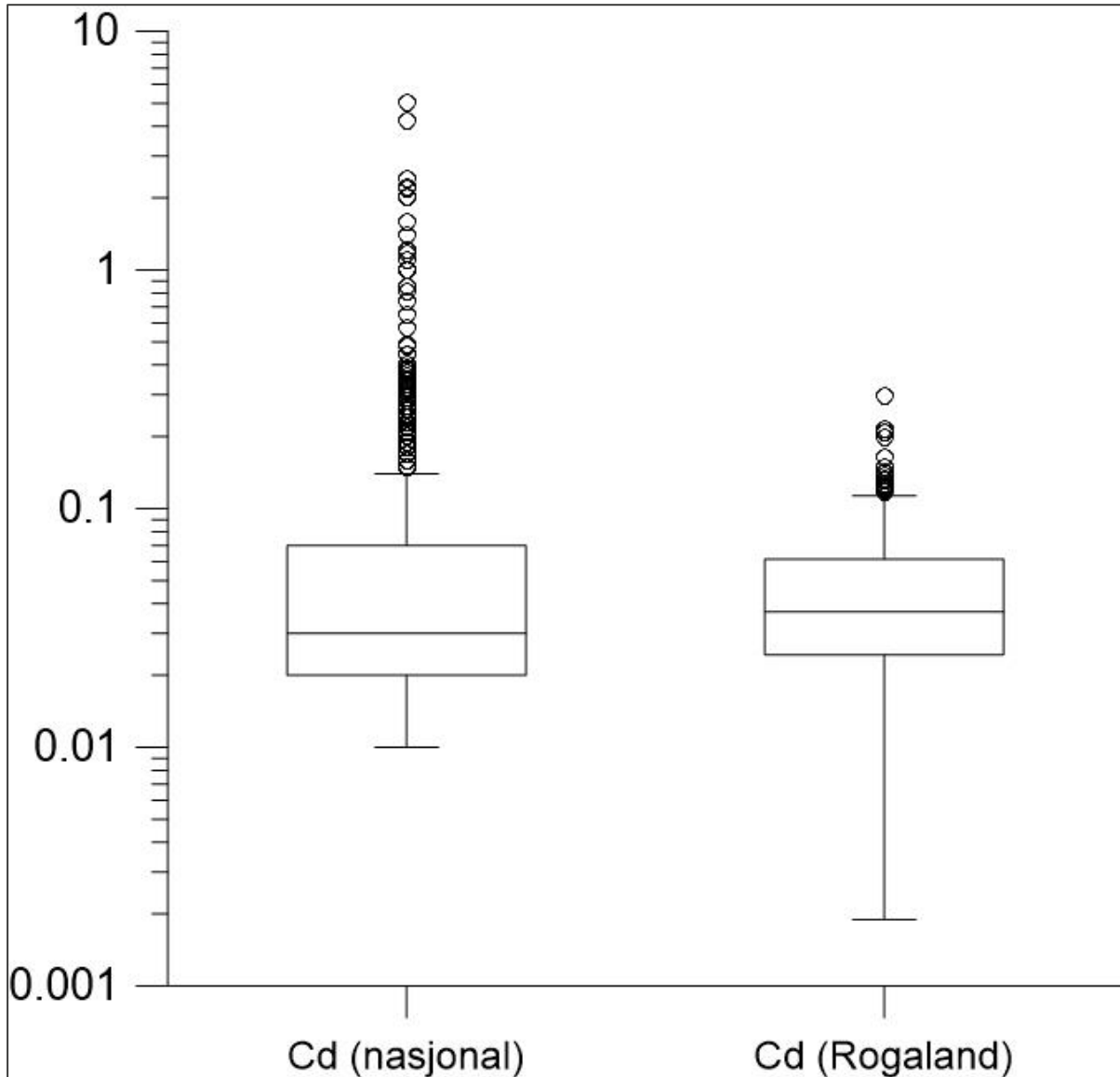
Kartet for blykonsentrasjon (Figur 27) viser spredte anomalier i hele Rogaland som grunner seg i enkeltprøver med høye konsentrasjoner. For eksempel sees høyere konsentrasjoner i de samme prøvene i Suldal og Sauda som for kobber.



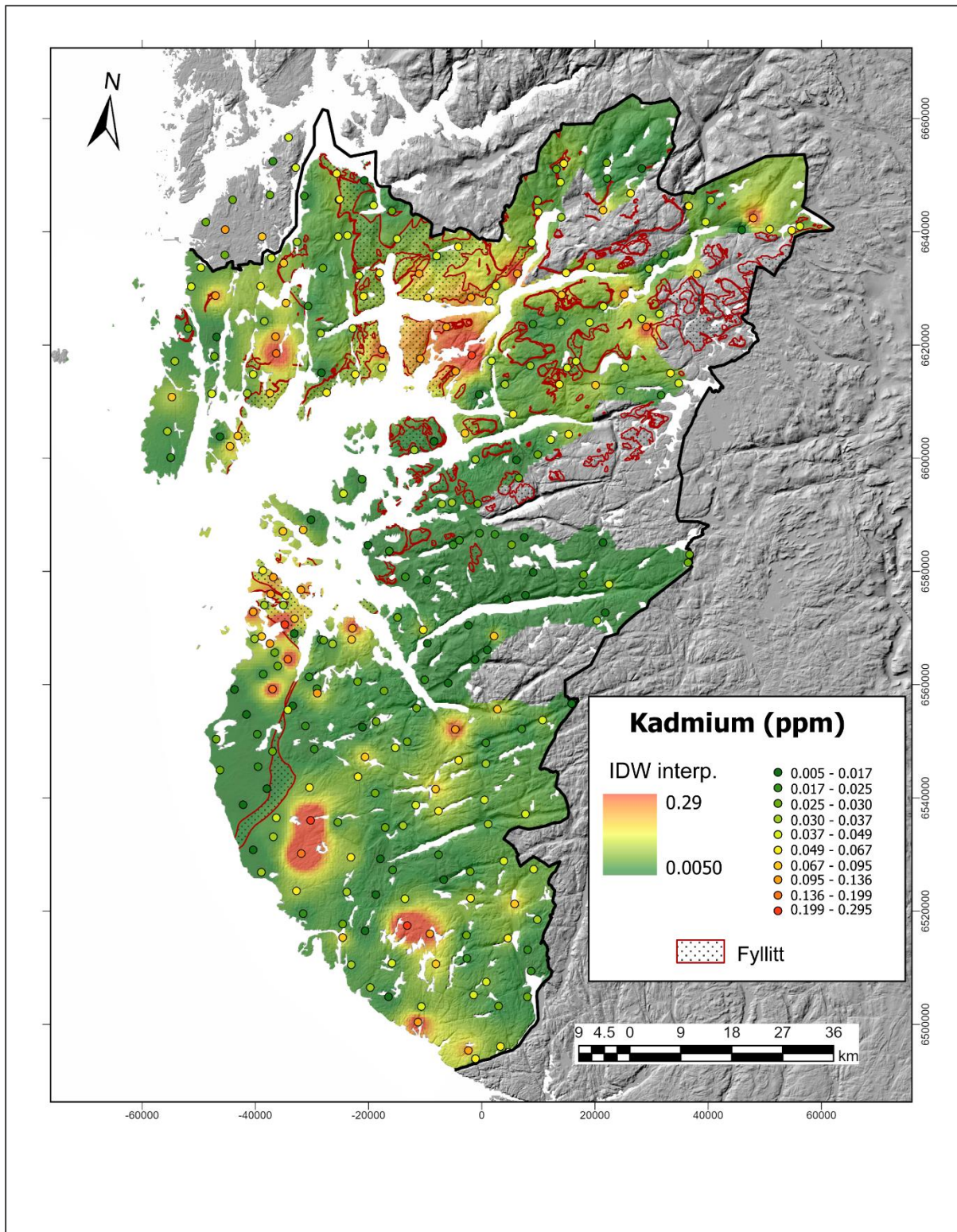
Figur 27 Konsentrasjonskart for bly. Forurensningsforskriftens normverdi for bly er 60 mg/kg TS.

Kadmium

Kadmiumkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 0,002 og 0,30 ppm, se Figur 28. Prøveseriens median er 0,04 ppm. Ingen analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for kadmium (1,5 mg/kg TS). Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene ligger prøvene i Rogaland i samme konsentrasjonsintervall for kadmium.



Figur 28 Boksplokk som viser fordeling av kadmiumkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser kadmiumkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for kadmium er 1,5 mg/kg TS.

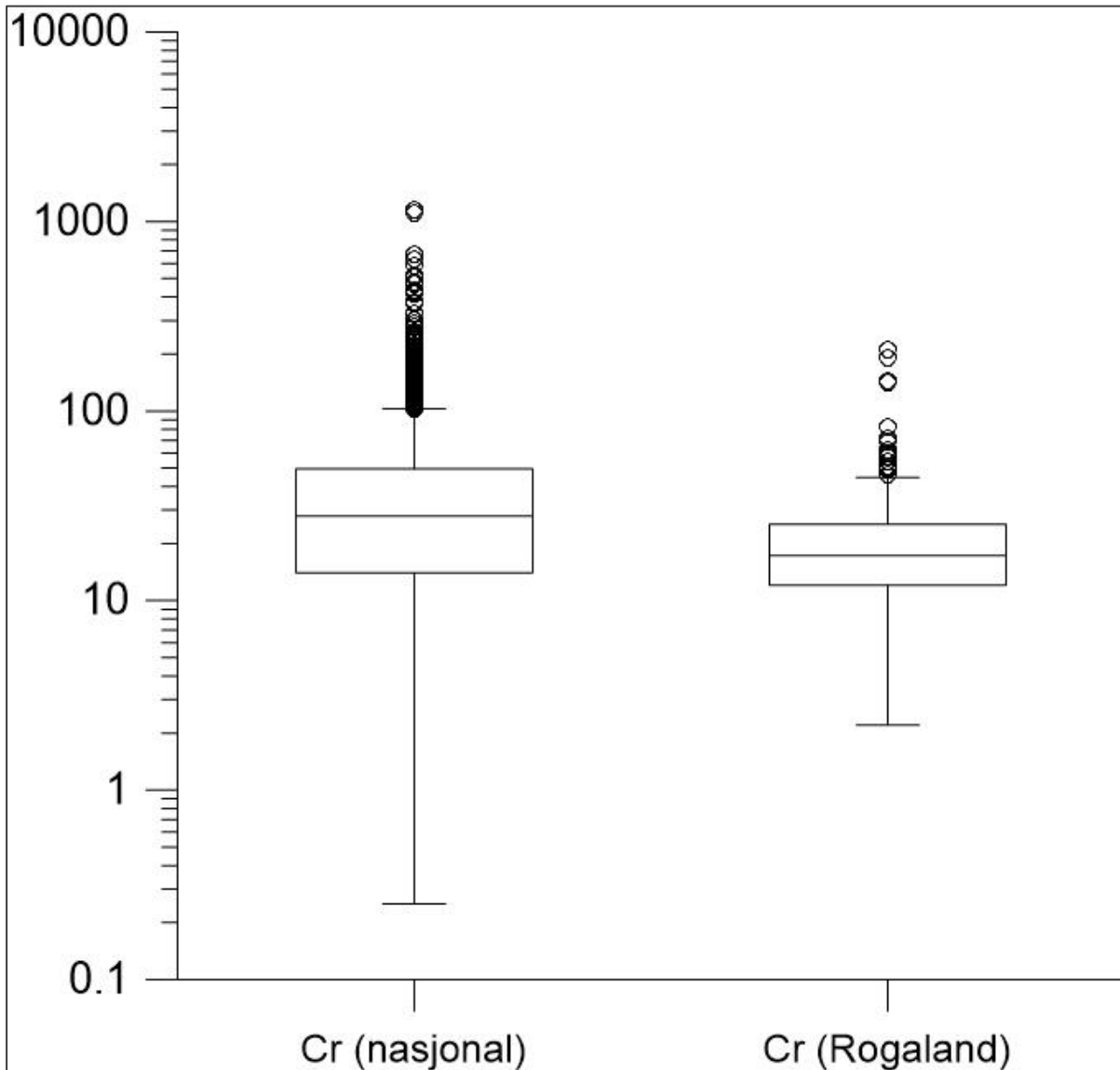


Figur 29 Konsentrasjonskart for kadmium. Forurensningsforskriftens normverdi for kadmium er 1,5 mg/kg TS.

Krom

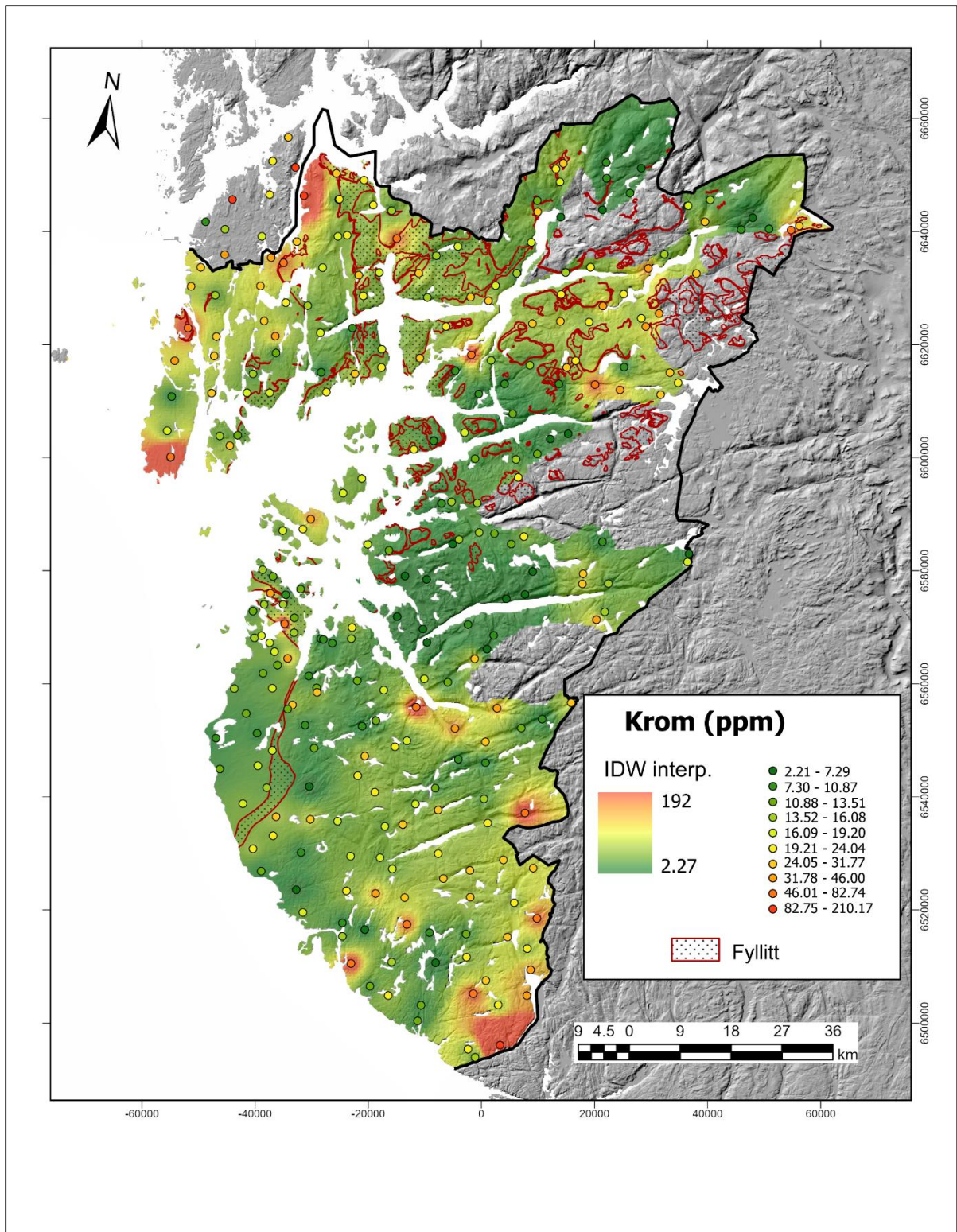
Kromkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 2,2 og 210 ppm, se Figur 30. Prøveseriens median er 17 ppm. 15 av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens grenseverdi for krom(III), (50 mg/kg TS).

Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene ligger prøvene i Rogaland i samme konsentrasjonsintervall, men har litt lavere medianverdi.



Figur 30 Boxplott som viser fordeling av kromkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser kromkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for treverdig krom er 50 mg/kg TS.

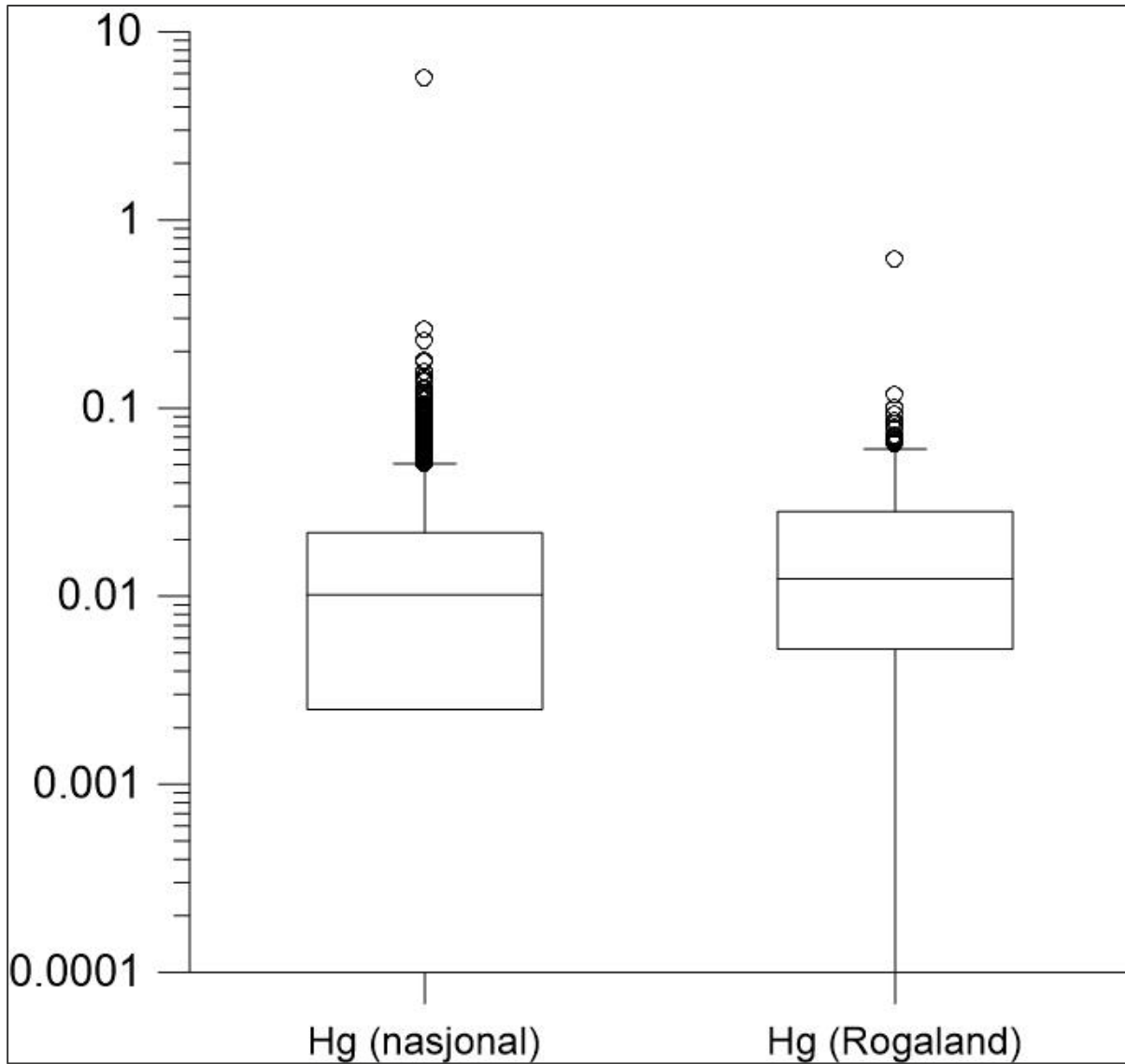
Kartet for kromkonsentrasjon (Figur 31) viser spredte anomalier i hele Rogaland som grunner seg i enkeltprøver med høye konsentrasjoner.



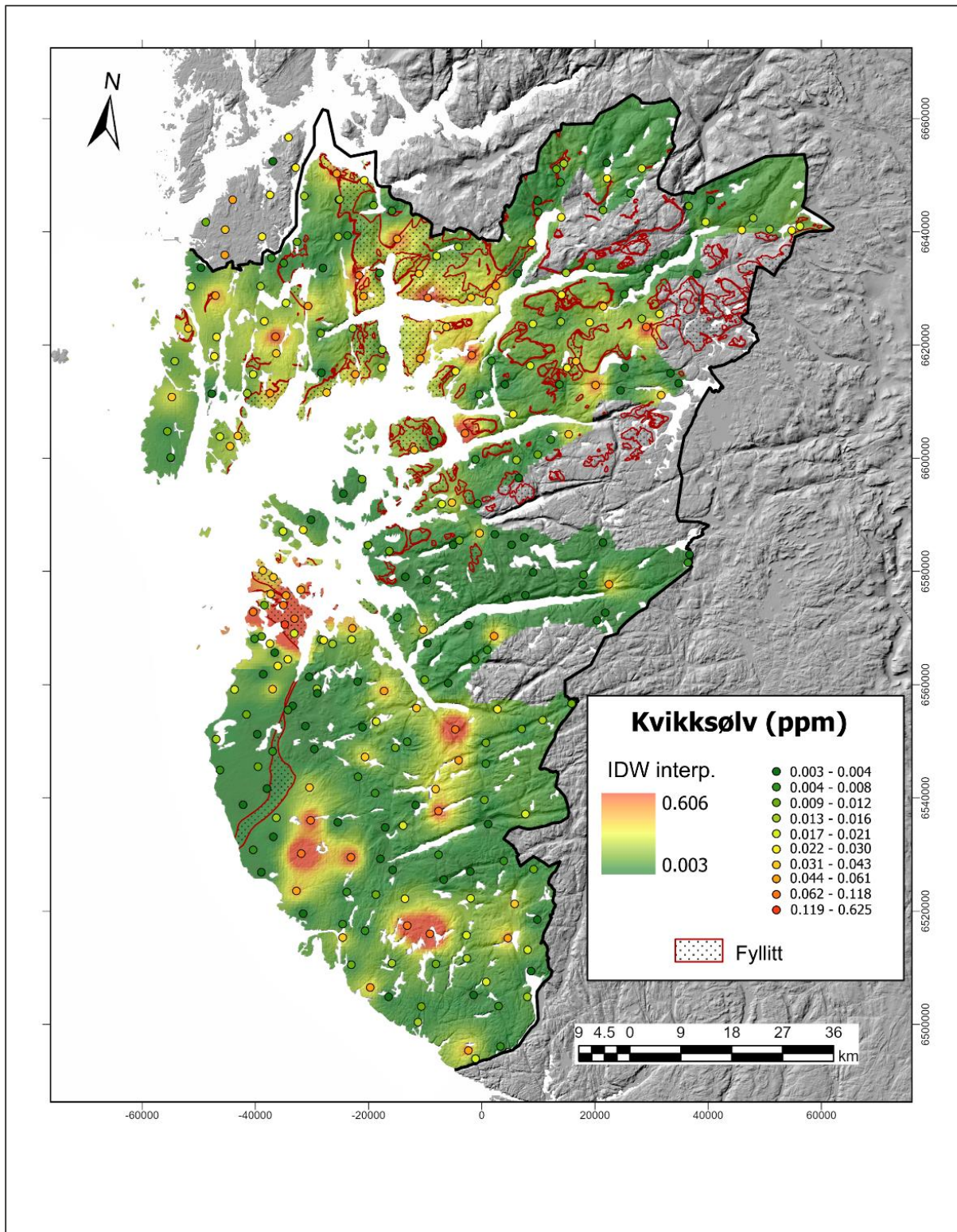
Figur 31 Konsentrasjonskart for krom. Forurensningsforskriftens normverdi for treverdig krom er 50 mg/kg TS.

Kvikksølv

Kvikksølvkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 0,0001 og 0,62 ppm, se Figur 32. Prøveseriens median er 0,01 ppm. Ingen av de analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for kvikksølv (1 mg/kg TS).



Figur 32 Boksplott som viser fordeling av kvikksølvkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser kvikksølvkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for kvikksølv er 1 mg/kg TS.

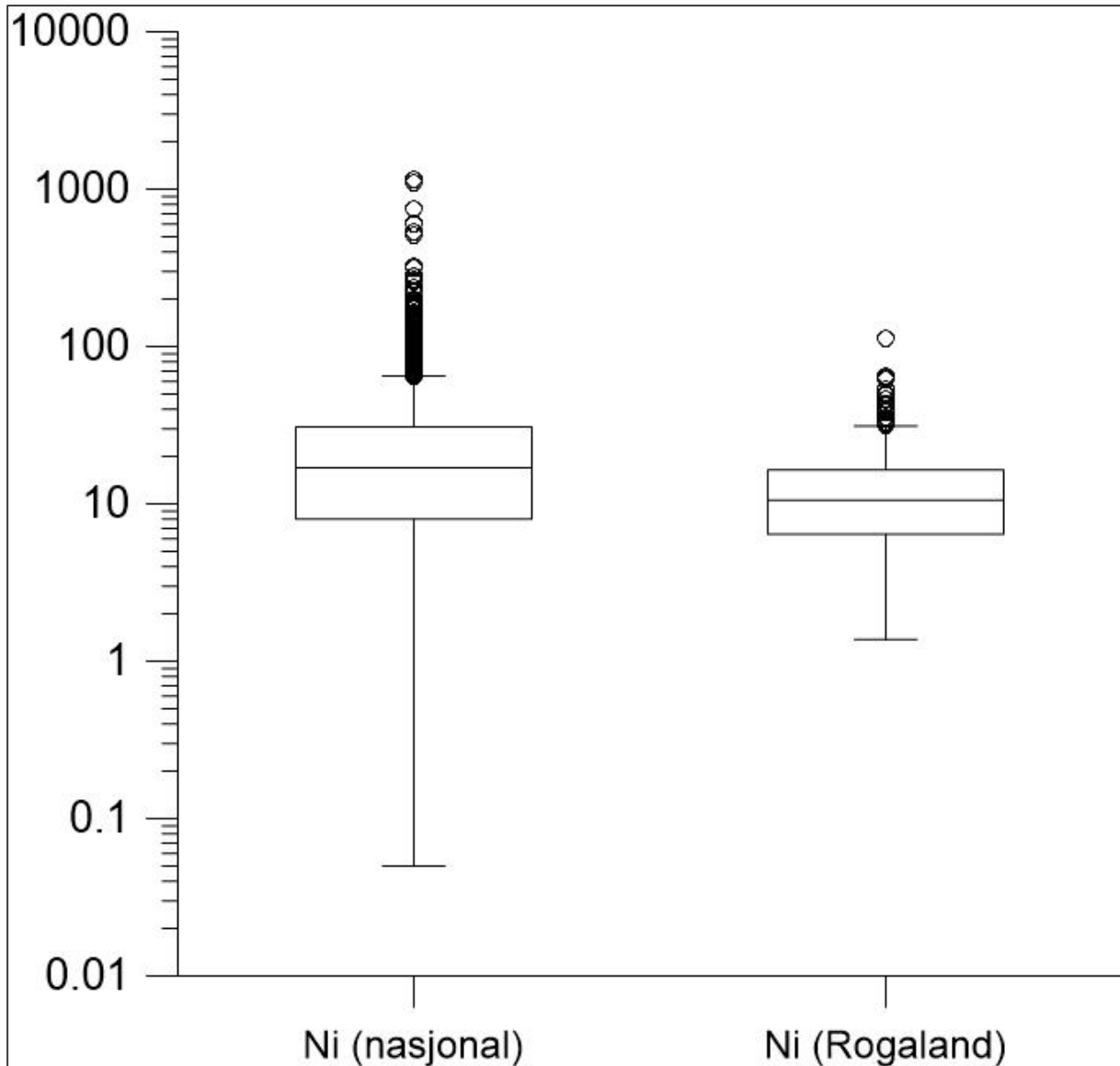


Figur 33 Konsentrasjonskart for kvikksølv. Forurensningsforskriftens normverdi for kvikksølv er 1 mg/kg TS.

Nikkel

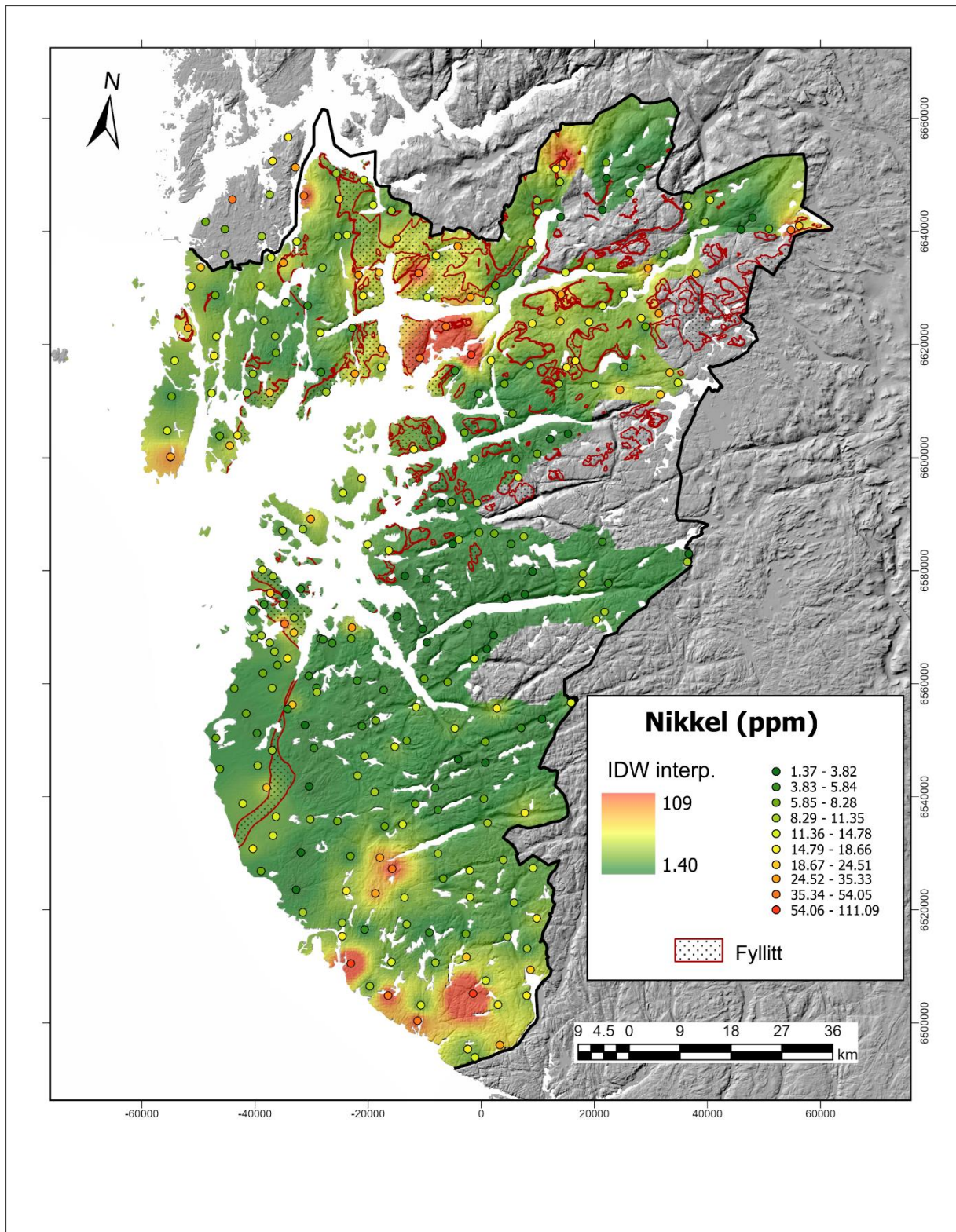
Nikkelkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 1,37 og 111 ppm, se Figur 34. Prøveseriens median er 10,5 ppm. Fire av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for bly (60 mg/kg TS).

Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene ligger prøvene i Rogaland i samme konsentrasjonsintervall, men med litt lavere medianverdi.



Figur 34 Boxplott som viser fordeling av nikkelkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser nikkelkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for nikkel er 60 mg/kg TS.

Kartet for nikkelkonsentrasjoner i morene (Figur 35) viser at noen områder har forhøyede konsentrasjoner, eksempelvis i anortosittprovinsen sørvest i Rogaland.

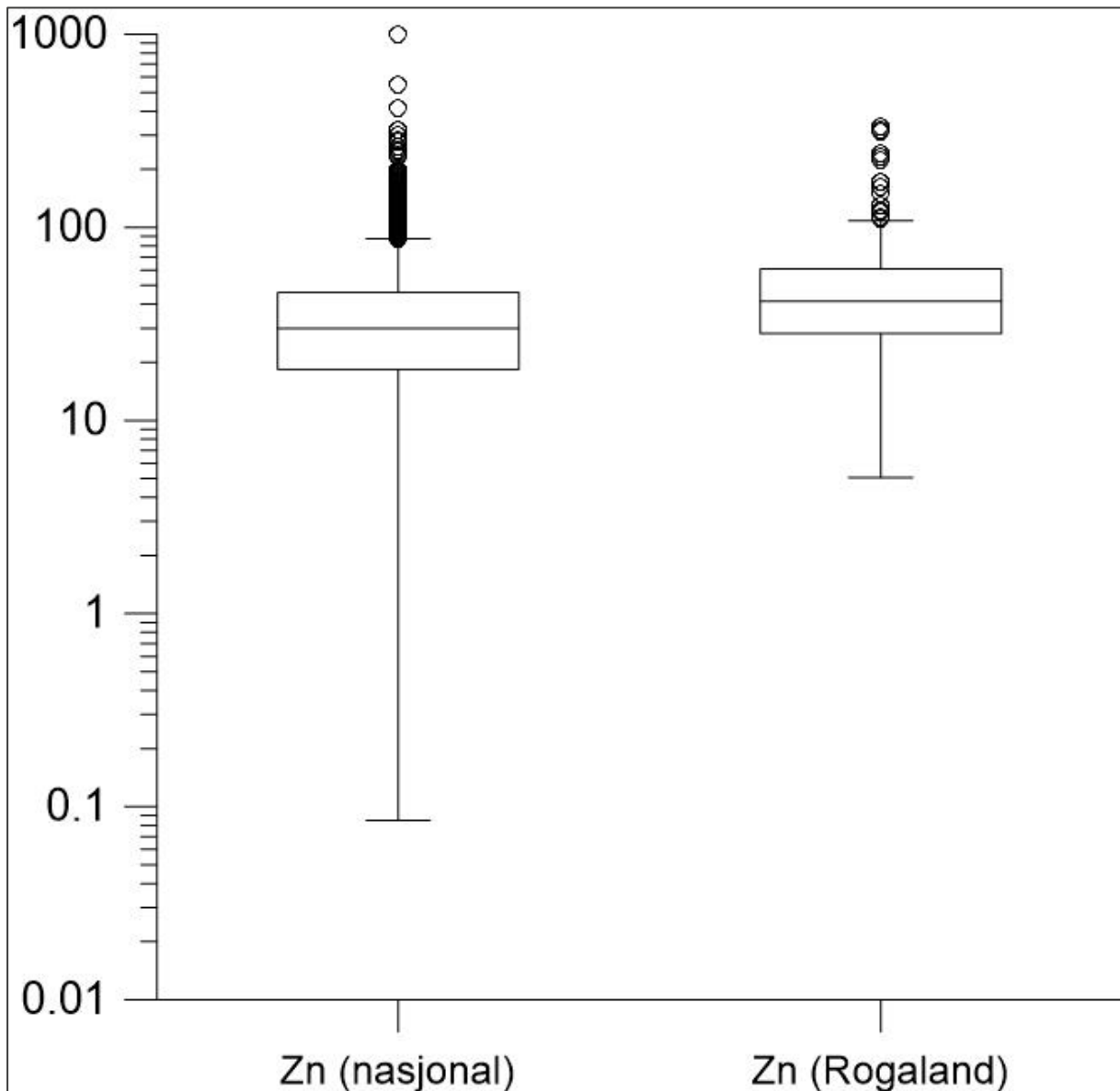


Figur 35 Konsentrasjonskart for nikkel. Forurensningsforskriftens normverdi for nikkel er 60 mg/kg TS.

Sink

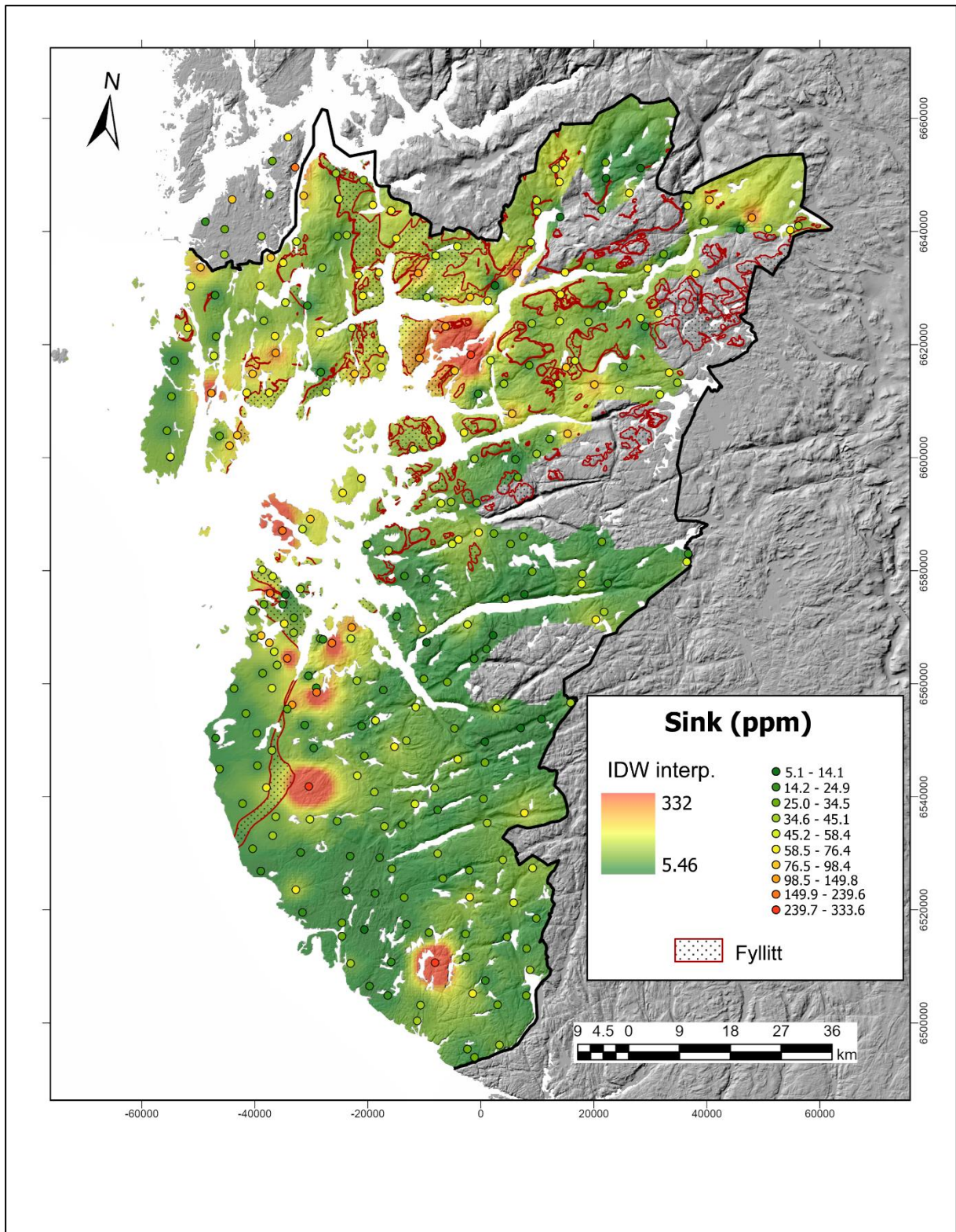
Sinkkonsentrasjonen i de analyserte prøvene varierer mellom 5,1 og 334 ppm, se Figur 36. Prøveseriens median er 41,38 ppm. Seks av 291 analyserte prøver overskrider forurensningsforskriftens normverdi for sink (200 mg/kg TS).

Sammenlignet med nasjonalt datasett for morene ligger prøvene i Rogaland i samme konsentrasjonsintervall, men med litt høyere medianverdi.



Figur 36 Boxplott som viser fordeling av sinkkonsentrasjoner i moreneprøver fra hele landet og i de undersøkte prøvene. Loddrett akse viser sinkkonsentrasjonen i ppm. Forurensningsforskriftens normverdi for sink er 200 mg/kg TS.

Kartet for sinkkonsentrasjoner (Figur 37) viser spredte anomalier i hele Rogaland som har opphav i enkeltprøver med høye konsentrasjoner.



Figur 37 Konsentrasjonskart for sink. Forurensningsforskriftens normverdi for sink er 200 mg/kg TS.

4 REFERANSER

Acharyya, S.K., Shah, B.A., Ashyiyi, I.D., Pandey, Y. 2005. Arsenic contamination in groundwater from parts of Ambagarh-Chowki block, Chhattisgarh, India: Source and release mechanism. *Environmental Earth Sciences* 49, 148-158.

Eggen, O.A., Andersson, M. & Ottesen, R.T. 2009. Aktsomhetskart for forurenset grunn i Oslo – Bestemmelse av byjordsområde og naturlig bakgrunn basert på boreprøver. NGU-rapport: 2009.056.

Marker, M.; Schiellerup, H.; Meyer, G. Robins, M. og Bolle, O. (2004) Beskrivelse til geologisk kart over Rogaland Anortosittprovins, 1:75 000. Norges geologiske undersøkelse. Rapport nr.: 2004.007.

Masuda, H., Shinoda, K., Okudaira, T., Takahashi, Y., Noguchi, N. 2012. Chlorite - Source of arsenic groundwater pollution in the Holocene aquifer of Bangladesh. *Geochemical journal* 46, 381-391.

Miljødirektoratet, 2009. Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn. TA-2553/2009. Statens Forurensningstilsyn.

Pettersen, A-M. 2012. Geokjemisk kartlegging av overflatejord i Sandnes og Stavanger. Identifisering av mulige kilder til arsen, tungmetaller, PAH og PCB i jord, og forslag til byjordsområder. Masteroppgave NTNU. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/247810>

VEDLEGG

1. Laseranalyser for prøver AS-1 og AS-10

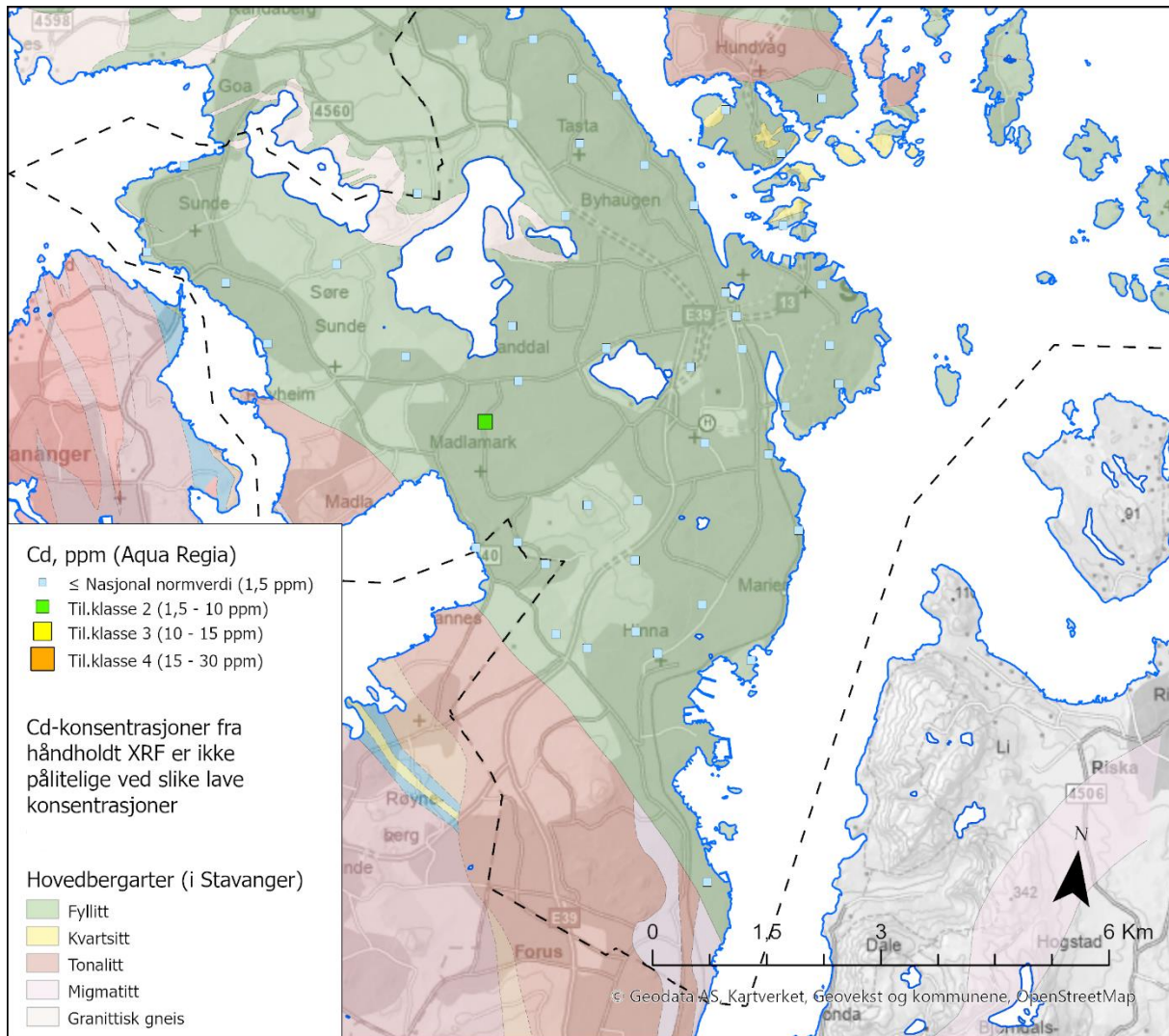
Vedlegg 1 Rådata fra laser ablasjonsdata fra prøver AS-1 og AS-10 for arsen (As), nikkel (Ni) og sink (Zn) med tilhørende standardavvik og deteksjonsgrense (LOD).

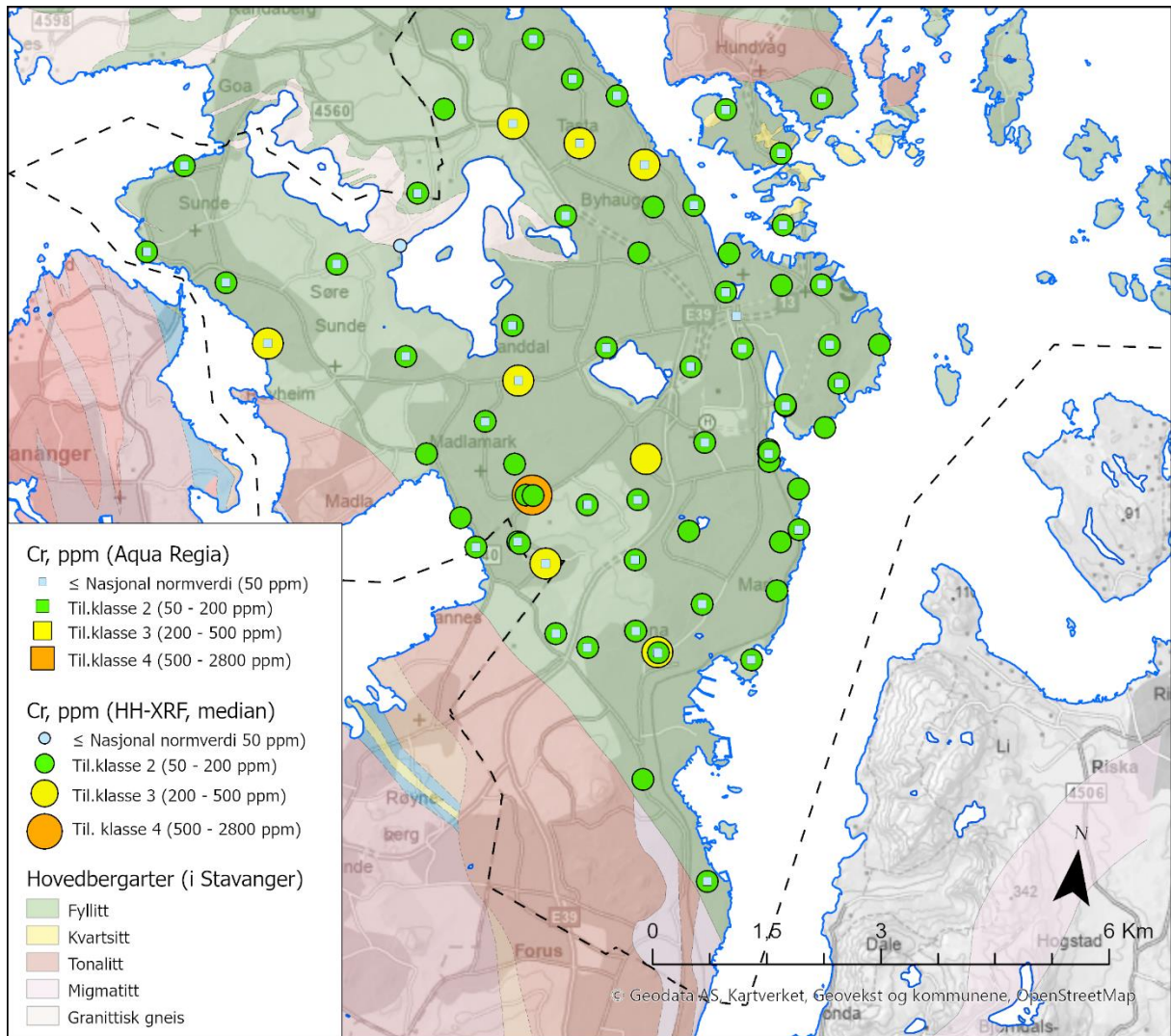
	Ni ppm	2SD	LOD	Zn ppm	2SD	LOD	As ppm	2SD	LOD
AS1-site3-1	8.592863	0.677232	0.082817	77.68421	7.729686	0.050795	197.6863	16.48599	0.124482
AS1-site3-2	7.960556	0.494497	0.080279	74.95913	6.636404	0.06177	142.9392	12.98183	0.098618
AS1-site3-3	5.901688	0.422096	0.086775	59.70194	7.334968	0.04938	75.77494	7.676798	0.090199
AS1-site3-4	8.063822	0.604796	0.07694	70.3177	7.325278	0.05137	84.25026	5.877578	0.097821
AS1-site3-5	6.881326	0.749794	0.074464	70.66245	10.66393	0.046768	138.5455	19.01578	0.089072
AS1-site5-1	10.92348	0.671403	0.107893	53.80061	3.348992	0.085868	15.01267	1.880502	0.127046
AS1-site5-2	12.01212	0.742405	0.105245	67.33297	6.501433	0.066516	10.84594	0.448373	0.102784
AS1-site5-3	15.12064	0.858566	0.121207	87.04751	4.386674	0.064501	11.45128	0.562402	0.108845
AS1-site5-4	13.18862	0.998087	0.102302	70.9576	4.785238	0.067863	10.01528	0.634855	0.100874
AS1-site5-5	11.21184	0.887003	0.084035	54.61533	4.170756	0.058303	13.06254	2.094402	0.077979
AS1-site1-1	10.74517	0.891483	0.117382	55.32124	4.70994	0.074896	6.611236	0.4979	0.10881
AS1-site1-2	10.16721	0.657593	0.114719	52.07202	3.81235	0.057657	6.675068	0.51687	0.1016
AS1-site1-3	9.252212	0.540136	0.092449	54.84423	5.002982	0.057701	5.139479	0.253763	0.083297
AS1-site1-4	8.764977	0.509775	0.093711	75.78319	5.712389	0.054024	3.547206	0.313106	0.075371
AS1-site1-5	7.226287	0.520281	0.066319	43.17051	3.587524	0.040946	3.969663	0.284636	0.053872
AS1-site2-1	18.14769	2.320043	0.186736	90.43583	18.73928	0.105847	12.11211	1.308475	0.187867
AS1-site2-2	12.7926	0.868861	0.158207	58.79174	7.71499	0.096951	7.582715	0.464729	0.164477
AS1-site2-3	13.81557	0.972561	0.159537	77.05373	11.6364	0.082815	7.759428	0.469014	0.156297
AS1-site2-4	14.54401	0.858378	0.149937	87.65124	7.337256	0.089511	7.70845	0.498917	0.150045
AS1-site2-5	12.40647	0.824027	0.165241	62.23834	8.694029	0.098848	9.174022	0.450201	0.131401
AS1-site6-1	14.8256	0.965593	0.081069	88.47896	5.50911	0.053393	110.5635	6.658945	0.092342
AS1-site6-2	16.62077	0.983036	0.077514	88.0689	4.856375	0.048763	118.8035	5.489769	0.097286
AS1-site6-3	16.30048	1.031008	0.085941	113.3186	7.042216	0.053543	79.09001	5.584878	0.095219
AS1-site6-4	34.63034	2.023281	0.077669	244.4419	18.04792	0.049365	256.8538	10.30049	0.106902
AS1-site6-5	49.56967	4.053566	0.083875	326.3122	31.49312	0.042756	383.7069	30.74776	0.106759
Gjennomsnitt	13.98664	1.00502	0.105291	88.20248	8.27117	0.064406	68.75524	5.259918	0.109171
AS-10	Ni ppm	2SD	LOD	Zn ppm	2SD	LOD	As ppm	2SD	LOD
AS10-site5-1	305.8154	11.13905	0.132517	1414.087	69.94253	0.093283	30.89421	1.632602	0.1493
AS10-site5-2	293.8923	11.10926	0.118598	1338.346	54.3261	0.071604	29.58621	1.107877	0.121587
AS10-site5-3	297.9833	16.82063	0.135486	1327.716	88.8132	0.072744	47.5257	2.204827	0.138486
AS10-site5-4	307.6569	13.36892	0.147627	1350.727	58.57961	0.082636	33.60573	1.503593	0.126016
AS10-site5-5	296.4455	12.32701	0.120853	1441.439	74.88961	0.064987	22.03112	0.902157	0.111704
AS10-site5-6	320.9475	13.55362	0.140633	1404.724	54.84595	0.076339	40.5059	1.49885	0.165654
AS10-site5-7	247.0763	10.54799	0.108731	1061.118	42.54613	0.058631	23.33387	0.824407	0.139818
AS10-site5-8	276.1751	10.2672	0.139785	1344.987	70.84207	0.078438	31.08607	1.458744	0.126634
AS10-site1-1	242.8596	10.4877	0.121158	990.1079	47.81791	0.080817	25.76062	1.491557	0.14382
AS10-site1-2	240.7614	12.30791	0.116156	961.6612	56.69334	0.077575	24.5573	1.594241	0.122392

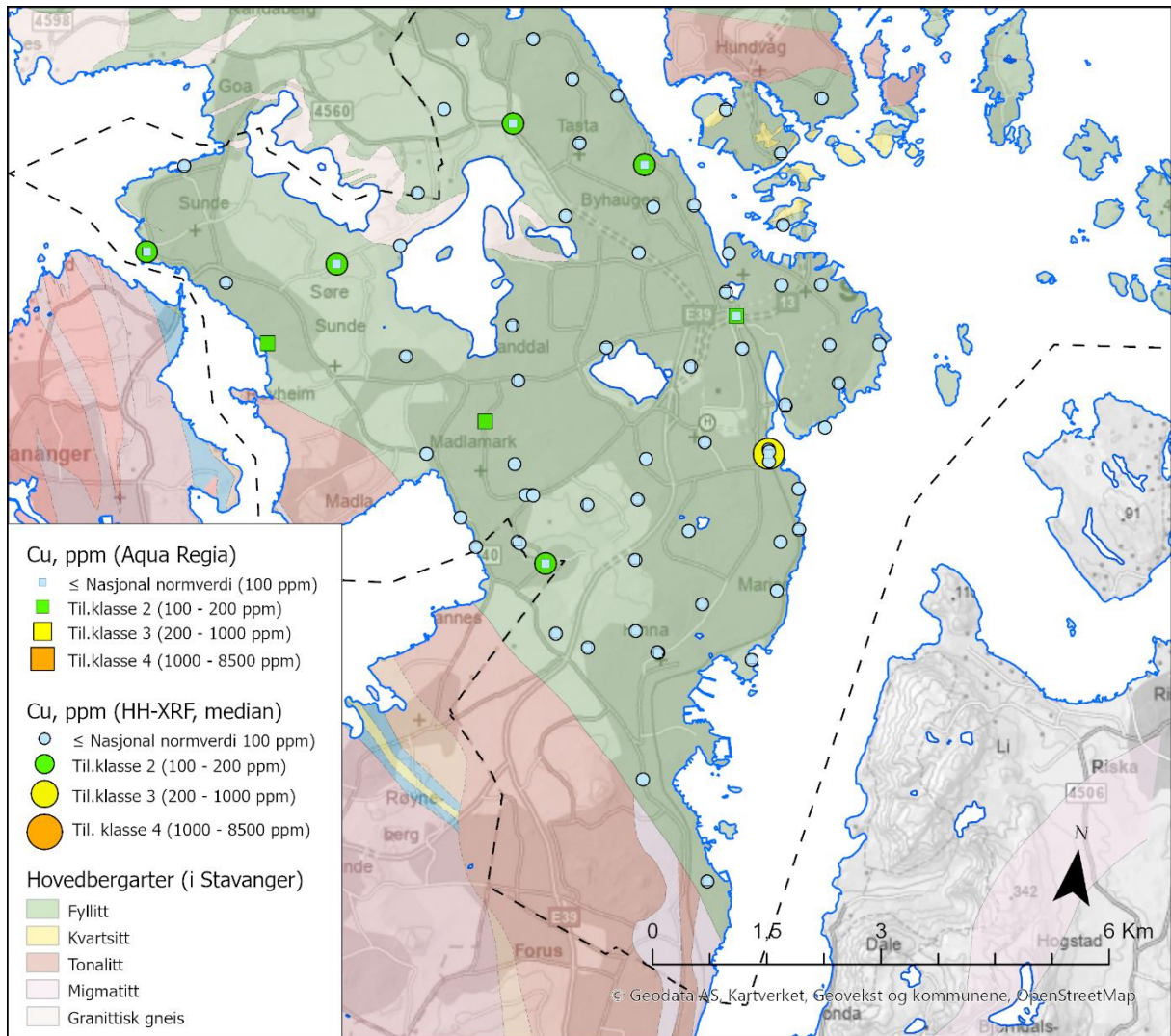
	Ni ppm	2SD	LOD	Zn ppm	2SD	LOD	As ppm	2SD	LOD
AS10-site1-3	264.3302	12.02854	0.113592	1103.667	52.79706	0.070753	16.59169	0.735867	0.112392
AS10-site1-4	190.8292	9.734945	0.106918	754.6865	31.60182	0.062116	22.68944	0.831175	0.115271
AS10-site1-5	250.4414	11.12132	0.115092	1083.438	45.04076	0.06731	29.05613	1.149909	0.120181
AS10-site1-6	279.2594	12.38356	0.106982	1127.794	42.0524	0.063388	25.6715	1.045326	0.113879
AS10-site2-1	425.8889	16.21761	0.131842	1515.168	59.55825	0.078057	15.13859	0.720014	0.122494
AS10-site2-2	415.1389	17.7038	0.151094	1493.232	52.26367	0.08169	24.09468	1.033848	0.131447
AS10-site2-3	417.1983	20.01444	0.126519	1497.753	74.30374	0.07413	16.81217	0.701947	0.112155
AS10-site2-4	430.9315	22.10803	0.126138	1395.383	64.32341	0.070876	13.81814	0.684048	0.100817
AS10-site2-5	437.0125	19.48565	0.123673	1513.242	69.2334	0.070515	13.68164	0.704901	0.098685
AS10-site2-6	381.1642	16.43813	0.12431	1331.576	68.39478	0.07592	19.0544	0.890865	0.111142
AS10-site2-7	439.3389	21.08475	0.111583	1475.311	59.25342	0.063017	12.39133	0.455855	0.138122
AS10-site3-1	214.5974	21.48866	0.142371	644.4837	55.31927	0.089642	11.2284	0.993465	0.170798
AS10-site3-2	231.8089	13.71793	0.109961	699.7586	56.87481	0.064918	35.86529	2.915734	0.133284
AS10-site3-3	18.05377	5.174268	0.033182	54.3615	13.49793	0.022386	3.735344	1.386504	0.03794
AS10-site3-4	197.3704	21.56085	0.106681	548.0118	70.12512	0.062337	105.1755	10.62899	0.104147
AS10-site3-5	201.4709	14.33438	0.111499	565.7918	41.76523	0.069241	745.2324	81.88677	0.168081
AS10-site3-6	291.8249	15.32773	0.127994	881.7937	52.60106	0.084257	30.74463	2.656504	0.134623
AS10-site4-1	443.3637	18.02042	0.129249	1434.51	48.75391	0.068316	16.90837	0.728603	0.154033
AS10-site4-2	412.8026	16.4567	0.13825	1247.666	53.21709	0.075363	17.54786	0.710056	0.142842
AS10-site4-3	403.6935	16.43399	0.116824	1329.807	52.25635	0.080234	14.3876	0.905632	0.131847
AS10-site4-4	373.5066	14.48915	0.136731	1407.811	54.1312	0.073115	13.05213	0.561012	0.124459
AS10-site4-5	359.0645	15.6373	0.132946	1493.52	60.49635	0.0697	3.12141	0.188729	0.133487
AS10-site3-mica-1	13.89856	0.974429	0.230747	22.73572	0.958951	0.166598	10.81564	0.776668	0.251312
AS10-site3-mica-2	22.36825	1.71101	0.194307	26.68982	1.380505	0.131445	6.450617	0.458112	0.218319
AS10-site3-mica-3	12.74144	0.978554	0.246884	22.48381	1.157609	0.140688	14.88212	1.8826	0.227853
AS10-site3-mica-4	22.2713	2.107582	0.25761	28.90186	1.246154	0.139037	12.04285	0.582674	0.227018
AS10-site3-mica-5	21.49439	1.660195	0.200096	26.25648	1.245388	0.113109	11.12629	0.840567	0.225259
AS10-site4-mica-1	13.22776	0.734745	0.205887	21.96549	0.92378	0.108686	8.912567	0.496348	0.195633
AS10-site4-mica-2	9.816257	0.564744	0.203171	21.91575	2.492556	0.117082	7.471868	0.384815	0.167114
AS10-site4-mica-3	8.996308	0.503153	0.198181	29.09151	1.297557	0.106215	13.27266	0.612283	0.186739
AS10-site4-mica-4	120.0696	6.338215	0.213286	468.1639	19.0502	0.115336	18.1501	0.906043	0.189441
Gennemsnitt	309.647	14.77786	0.122031	1163.552	56.16117	0.071698	47.34017	3.960457	0.126798

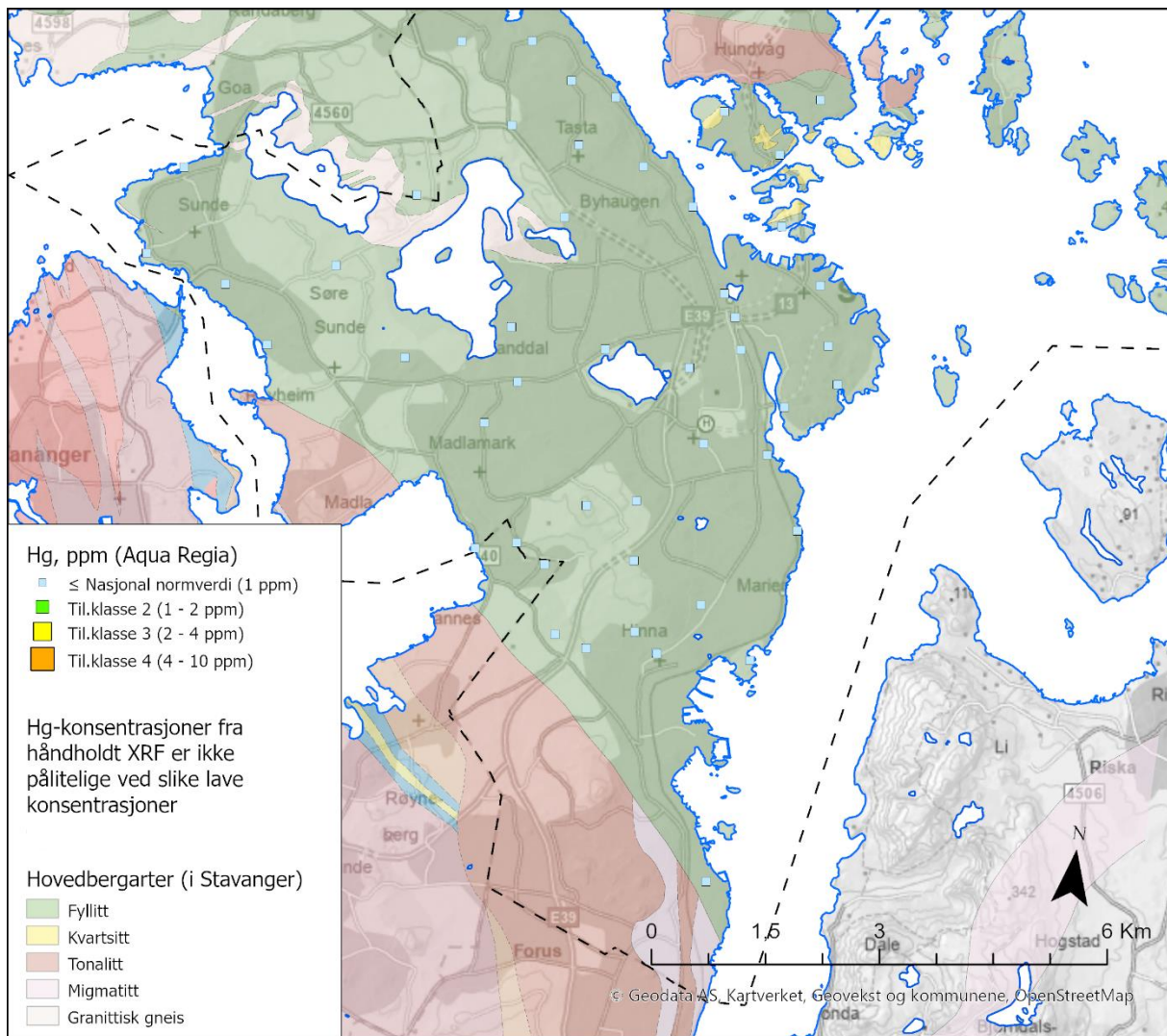
2. Konsentrasjonskart for Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Ni, Zn og U i fyllitt

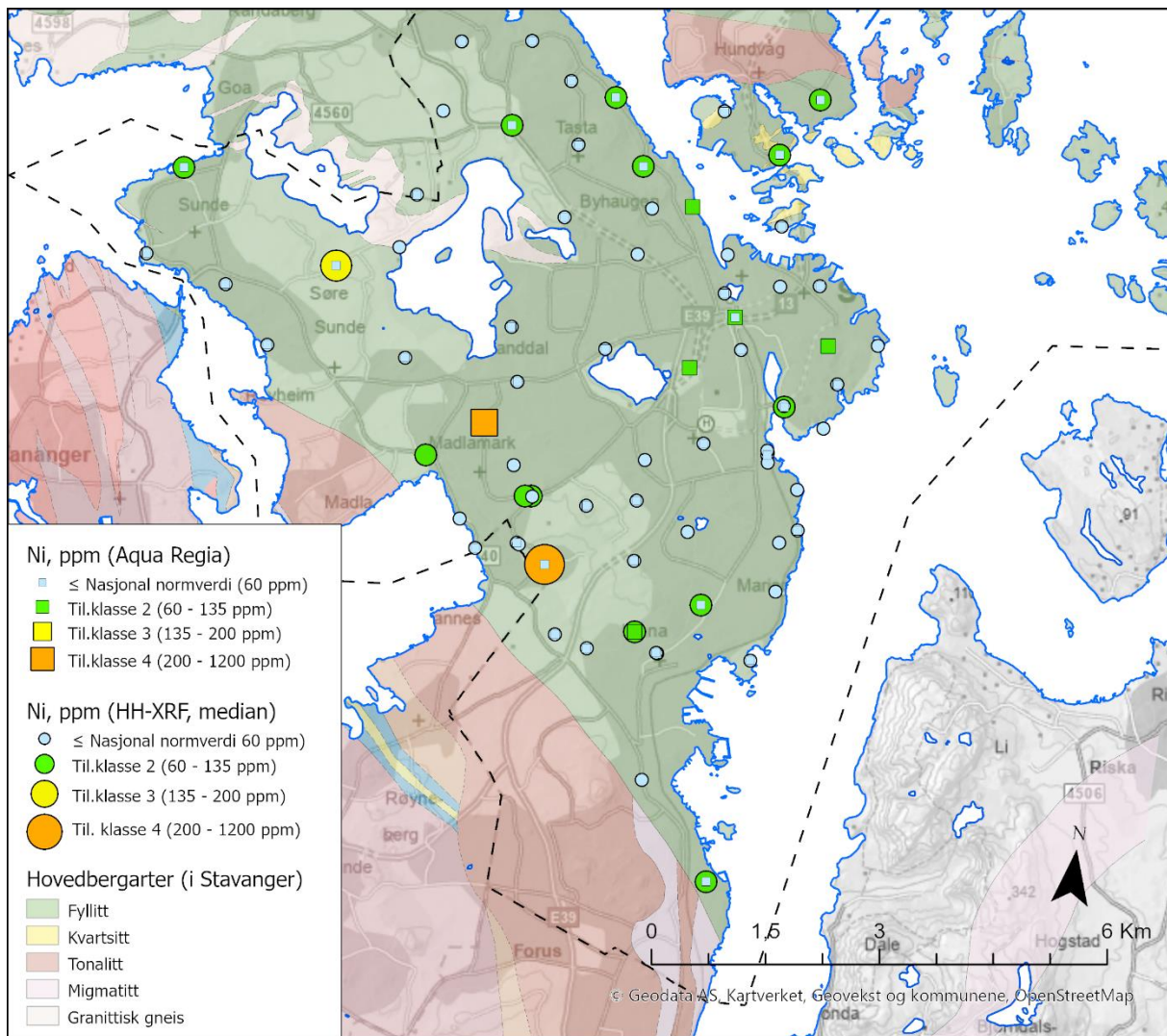
Vedlegg 2. Kart med konsentrasjoner for Cd i fyllitt.

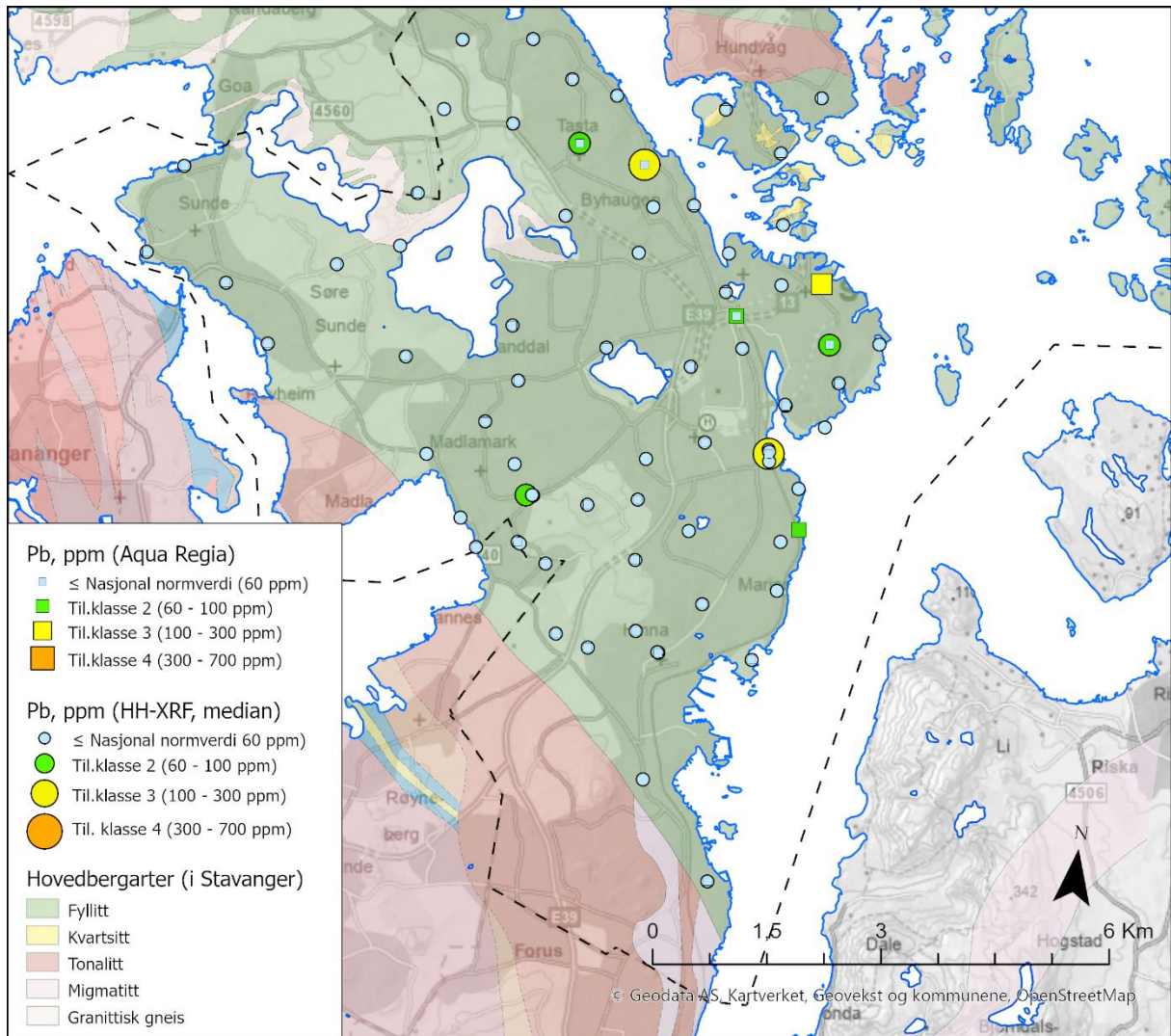


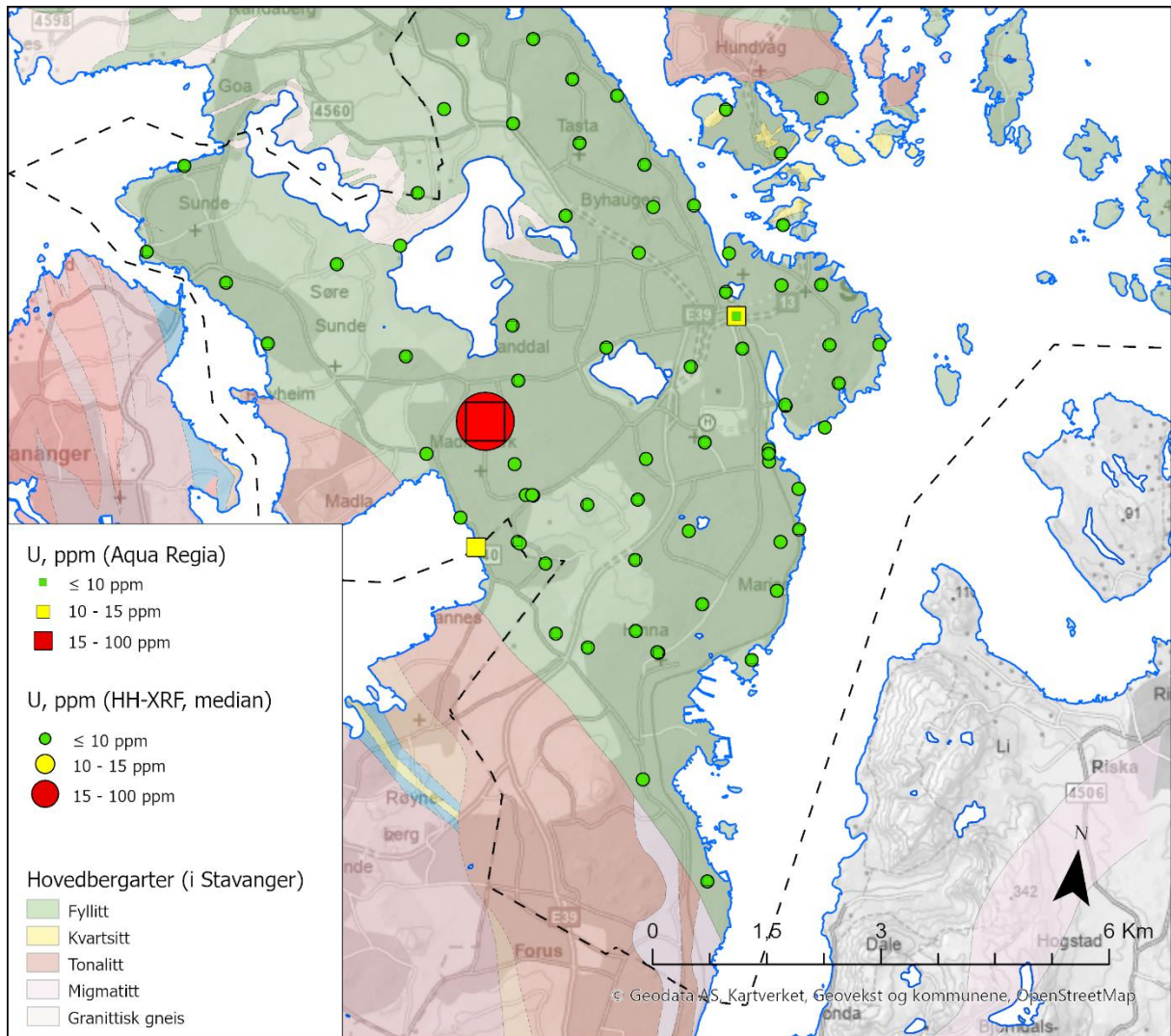


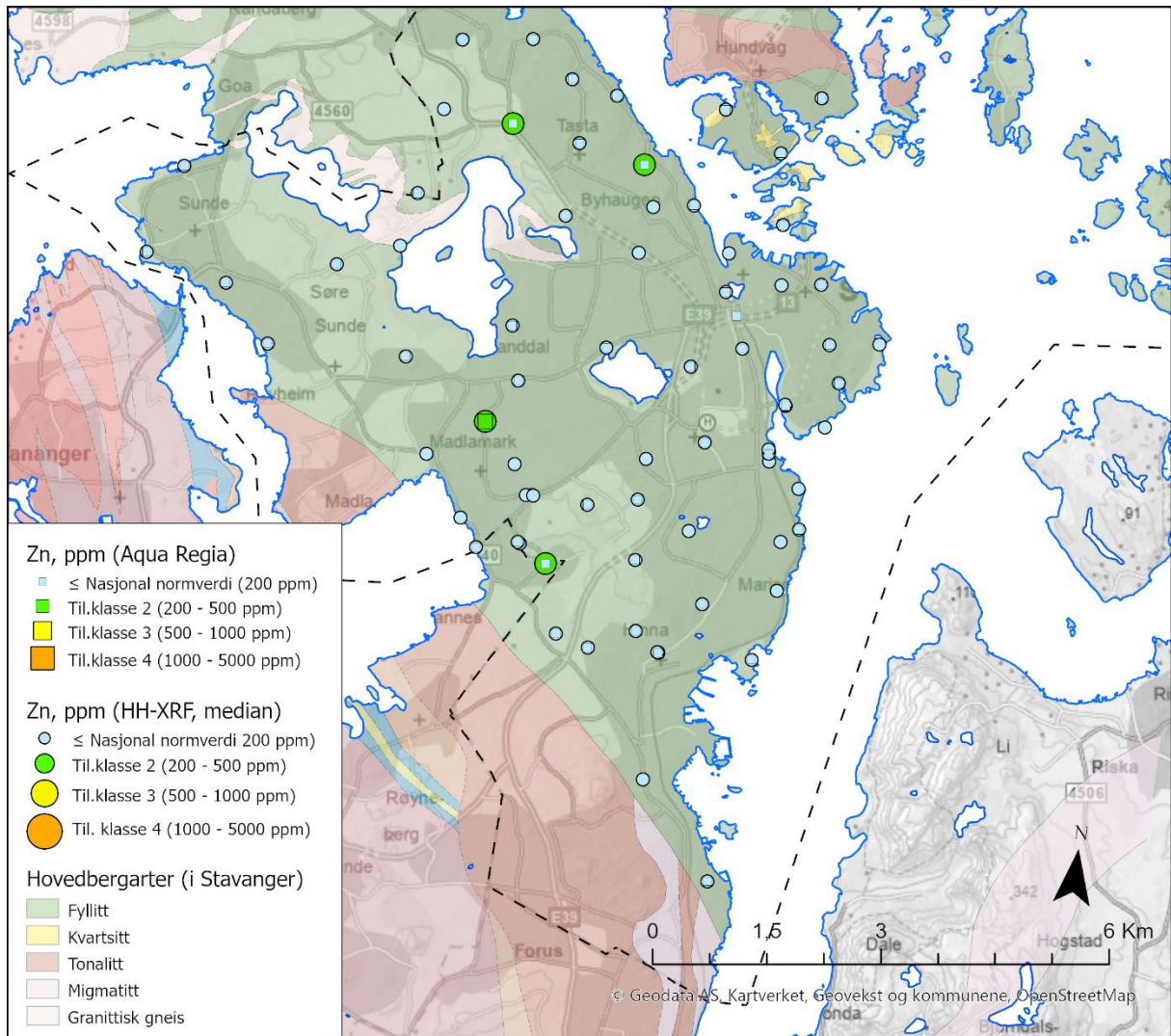














NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no