



NILU rapport 2/2025

Metaller, PCB, PAH og dioksiner i mose i Sør- Varanger

Moseundersøkelser 2008, 2015 og 2020

nilu

Metaller, PCB, PAH og dioksiner i mose i Sør-Varanger

Moseundersøkelser 2008, 2015 og 2020

Tore Flatlandsmo Berglen ^[1], Hilde Thelle Uggerud ^[1], Martin Schlabach ^[1], Ellen Katrin Enge ^[1], Morten Bjørklund ^[1], Katrine Aspmo Pfaffhuber ^[1], Tone Roksvåg Aandahl ^[2] og Erling Fjelldal ^[2]

Tilhørighet:

¹ NILU

² NIBIO Svanhøvd

Hovedkontor

NILU
Postboks 100
2027 Kjeller

Tromsø

NILU
Framsenteret
Postboks 6606
Stakkevollan
9296 Tromsø

Trondheim

NILU
Kjøpmannsgata 8
7013 Trondheim

Telefon 63 89 80 00

nilu@nilu.no
www.nilu.no

Stiftelsen NILU

Org.nr. 941 705 561

Sertifisering

NS-EN ISO 9001
NS-EN ISO 14001

Akkreditering

NS-EN ISO/IEC 17025

Göteborg

NILU Klimat- och
miljöinstitutet AB
Sven Hultins plats 5
412 58 Göteborg
Sverige

Org.nr. 559442-9580

www.nilu-research.se

Forsidebilde

Foto: Lars-Ola Nilsson
(daværende) Bioforsk
Svanhovd

Tittel

Metaller, PCB, PAH og dioksiner i mose i Sør-Varanger
Moseundersøkelser 2008, 2015 og 2020

Engelsk tittel

Metals, PCB, PAH and dioxins in the Russian-Norwegian border areas
Moss survey 2008, 2015, 2020

Forfatter(e)

Tore Flatlandsmo Berglen, Hilde Thelle Uggerud, Martin Schlabach, Ellen Katrin Enge, Morten Bjørklund, Katrine Aspmo Pfaffhuber, Tone Roksvåg Aandahl og Erling Fjellidal

Kort sammendrag (norsk)

I 2008 samlet Svanhovd Miljøsender inn mose ved 11 lokaliteter i grenseområdene mot Russland som NILU analyserte for 11 metaller, PCB, PAH og dioksiner. Formålet var å undersøke om det var andre kilder til forurensning i grenseområdene enn gruvedrift og smelteverksindustri. Prøvetaking og analyse ble gjentatt av NILU i 2015 og 2020, men kun for 60 (2015) og 56 (2020) metaller. For spormetallene Ni, Cu, Co og As er det et klart mønster med forhøyede konsentrasjoner nedstrøms Nikel og Zapolyarny. Organiske miljøgifter viser lave konsentrasjoner.

Kort sammendrag (engelsk)

In 2008 NIBIO Svanhovd sampled moss from 11 stations in the Russian-Norwegian border areas and NILU analyzed for 11 metals, PCB, PAH and dioxins. The aim was to investigate whether there were other sources of pollutants in the border areas in addition to mining and smelter industry. The sampling and analysis programme was repeated by NILU in 2015 and 2020, but then for 60 and 56 metals only. For the trace metals Ni, Cu, Co and As, there are elevated concentrations downwind from Nikel and Zapolyarny. Organic contaminants show low values.

Nøkkelord

Moseundersøkelser, Miljøgifter, Norge-Russland, Smelteverksindustri

Antall sider

64

Prosjektleder

Tore Flatlandsmo Berglen

Oppdragsgiver

SFT / Klif / Miljødirektoratet

Ansvarlig signatur

Aasmund Fahre Vik, viseadm. dir & CTO

Tilgjengelighet

A-Åpen

NILU prosjektnummer

o-8976/interne midler

Oppdragsgivers referanse

Tor Johannessen / Eivind Farnen

Dato

17.02.2025

© Stiftelsen NILU

Sitering

Berglen, T.F., Uggerud, H.T., Schlabach, M., Enge, E.K., Bjørklund, M., Pfaffhuber, K.A., Aandahl, T.R. og Fjellidal, E. (2025). *Metaller, PCB, PAH og dioksiner i mose i Sør-Varanger. Moseundersøkelser 2008, 2015 og 2020* (NILU rapport 2/2025). Kjeller: NILU.

Forord

I 2008 fikk NILU midler til å gjenåpne stasjonen i Karpdalen som hadde vært stengt siden 1994. Det ble bevilget midler for oppsett og 8 måneders drift, men tilsagnet kom såpass seint på året at stasjonen ble operativ først 16. oktober 2008. Derved var det ubenyttede midler til rådighet og etter en diskusjon med SFT v/ Tor Johannessen ble det bestemt at midlene skulle benyttes til en omfattende moseundersøkelse i grenseområdene mot Russland.

Tone Roksvåg Aandahl og Erling Fjelldal ved daværende Bioforsk Svanhovd var ute i felt i én uke og samlet mose fra 11 lokaliteter seinsommeren 2008. Deretter måtte de gjøre innsamlingen på nytt seinere på høsten siden Posten rotet bort sendingen i Tromsø. Mose fra de 11 lokalitetene ble så analysert for 11 metaller inklusiv kvikksølv (Hg), PAH, PCB og dioksiner.

Høsten 2015 gjentok NILU prøvetakingen på eget initiativ. Da ble prøvene kun analysert for metaller, dog ikke kvikksølv. Også høsten 2020 ble det gjort prøvetaking og analyser, denne gangen på 10 lokaliteter og prøvene ble analysert for metaller, igjen ikke kvikksølv. Den siste stasjonen, Korpfjellet, ble besøkt i august 2022. I 2020 ble det også samlet inn mose som ble overbragt Strålevernet DSA for analyse av radioaktive isotoper.

Resultatene har vært vist i ulike sammenhenger på interne møter, seminarer o.lign., men det er ikke laget noen fullstendig rapport fra disse målingene. Herved presenteres resultater fra de tre rundene med prøvetaking og analyse i grenseområdene mot Russland.

I tillegg til medforfatterne har Snorre Hagen og Lars-Ola Nilsson ved NIBIO Svanhovd bidratt i diskusjonene rundt prosjektet. Erik Andresen og Marit Vadset ved NILU har bidratt med analyse. Rita Larsen Våler og Dam Thanh Vo har bidratt til grafisk framstilling av resultater. Til slutt vil vi minnes vår nå avdøde kollega ved NILU Bjarne Sivertsen som var sentral i prosjektene i grenseområdene mot Sovjetunionen / Russland i nesten 35 år.

Innhold

Forord	4
Sammendrag	6
1 Innledning – bakgrunn for prosjektet	8
1.1 Miljøgiftene som er undersøkt	11
2 Framgangsmåte og metode	14
2.1 Etasjemose	14
2.2 Hypotese og innsamlingsstrategi	16
2.3 Innsamlingssteder	18
3 Resultater metaller inkl. kvikksølv 2008, 2015, 2020	23
3.1 Spormetaller fra nikkelverkene (Ni, Cu, Co, As) 2008, 2015, 2020	23
3.2 Andre metaller (Ag, Cd, Cr, Pb, Sb, Zn) 2008, 2015, 2020	30
3.3 Korp fjell 9 2022	37
3.4 Kvikksølv (Hg) 2008	40
4 Resultater PCB 2008	42
5 Resultater PAH 2008	46
6 Resultater dioksiner 2008	50
7 Referanser og videre lesning	54
Vedlegg A Moseundersøkelser Jordforsk / NIBIO 1995, 2004, 2019 og 2023	57
Vedlegg B Moseundersøkelser Finnmark 2020	59
Vedlegg C Moseundersøkelser Statens Strålevern (DSA) 2020	61
Vedlegg D Typiske bakgrunnskonsentrasjoner av metaller / grunnstoffer i mose	63

Sammendrag

I 2008 fikk NILU tilsagn om etablering av målestasjon i Karpdalen rett ved grensa til Russland. Det tok tid å få stasjonen i drift og det var derfor ubenyttede midler til rådighet. Disse midlene ble i samråd med Klif (nå Miljødirektoratet) brukt til å samle inn mose fra 11 lokaliteter i grenseområdene mot Russland, utført av Svanhovd Miljøsenster. NILU analyserte deretter mosen for 11 metaller, PCB, PAH og dioksiner. Formålet med prosjektet var å undersøke om det var andre kilder til forurensning i grenseområdene enn gruvedrift og smelteverksindustri. Prøvetaking og analyse ble gjort av NILU i 2015 og 2020, men kun for 60 (2015) og 56 (2020) metaller. Det var spesielt nyttig å sanke mose i 2020 siden dette var siste år med full produksjon i Nikel. Nikelverket ble nedlagt 23. desember 2020.

Etasjemose, lat. *Hylocomium Splendens*, er en hyppig brukt indikatorplante for forurensning. Mosen har ikke rotskudd og mottar all næring gjennom avsetning og nedbør. Ved å samle mose fra et visst antall lokaliteter og analysere for ulike miljøgifter vil forskjellene og mønsteret mellom de ulike stasjonene, det vil si gradientene, kunne fortelle om nivåene skyldes lokale kilde(r) og/eller langtransportert forurensning. For å forklare: Fremherskende vindretning i grenseområdene er fra sør mot nord vinterstid. Da vil komponenter som ble sluppet ut/slippes ut fra nikkilverkene i Zapoljarnyj og Nikel vise høyere konsentrasjoner mot nord, det vil si nedstrøms, og lavere konsentrasjoner utenfor fremherskende vindretning, som mot sør eller vest.

Spørsmålene som dette prosjektet ønsket å svare på var blant annet:

- I hvilken grad slapp/slipper smelteverkene på russisk side ut andre miljøgifter enn SO₂ og nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co) og arsen (As)?
- Sees det fortsatt forhøyede verdier av dioksiner i det ytre miljø som følge av dioksinutslipp fra AS Sydvaranger på 1990-tallet?
- Fantes/finnes det andre kilder i grenseområdene med utslipp av andre miljøgifter, stoffer som ikke er kjente?

Analyseresultatene for nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co) og arsen (As) er som forventet med høye konsentrasjoner på sankesteder i nærheten av smelteverkene og nedstrøms i fremherskende vindretning og med lave konsentrasjoner oppstrøms smelteverkene og på bakgrunnsstasjoner. Resultatene stemmer godt overens med tidligere studier og viser at metoden med innsamling og analyse av etasjemose fungerer.

For andre metaller kan funnene indikere at det også var/er små utslipp av sølv (Ag) og kadmium (Cd) fra gruvedrift og smelteverk på russisk side. Mønsteret for krom (Cr) er ikke entydig og det kan indikere noe bidrag fra russiske smelteverk, men også mulige lokale kilder på norsk side. For bly (Pb) er mønsteret sammensatt, og resultatene kan indikere at det må være flere kilder til bly i området. Smelteverk kan gi et lite bidrag, men det er sannsynliggjort at det også finnes andre lokale kilder. En mulig kilde tidligere var russisk drivstoff kjøpt av nordmenn i Nikel og Zapoljarnyj. For antimon (Sb) er det ikke mulig å trekke noen håndfaste konklusjoner, ei heller for sink (Zn) med tanke på kilder og kildebidrag. For kvikksølv (Hg, kun analysert i 2008) viser konsentrasjonsfordelingen ikke noe tydelig signal som tilsier store utslipp fra smelteverk på russisk

side. Andre målinger i grenseområdene indikerer at kildene til Hg befinner seg langt unna og at langtransportert forurensning er hovedkilden til Hg i området.

Konsentrasjonene av PCB (kun analysert 2008) er generelt lave. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet. For dioksinlignende PCB, dl-PCB, stemmer konsentrasjonsmønsteret overens med forventningen om at smelteverksindustri er en kilde i og med at lokaliteter nær Nikelverket viser de høyeste konsentrasjonene og bakgrunnsstasjoner viser lave konsentrasjoner. Men også her er det paradokser i det at lokaliteteten Nyrud 1 har høyere konsentrasjoner enn for eksempel Karpdalen 8. Gitt det til dels motstridende mønsteret er det vanskelig å trekke bastante konklusjoner vedrørende bidrag fra lokale kilder vs. langtransportert bidrag.

Konsentrasjonene av PAH (kun analysert 2008) er generelt lave. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet. En annen kompliserende faktor er at naftalen utgjør en stor andel av total PAH, helt opp mot 30 % (Brattli). Konsentrasjonsmønsteret når det gjelder PAH viser til dels høyere verdier nær Nikelverket sammenlignet med lokaliteter lenger unna. Samtidig er det ikke noe klart og entydig bilde. PAH stammer også fra forbrenning. En mulig forklaring på forhøyede verdier ved lokaliteter nær Nikel og nær Svanvik kan rett og slett være at dette er områder med spredt bebyggelse og derved spredte tilfeller med fyring/forbrenning. Nikelverket var uansett ikke den eneste kilden til PAH i området.

Analyseresultatene for dioksiner (analysert 2008) viser generelt lave verdier. Mange av de enkelte dioksinene viser konsentrasjoner lavere enn deteksjonsgrensen. Konsentrasjonsmønsteret når det gjelder dioksiner viser til dels noe forhøyede verdier nedstrøms Nikelverket og nær Nikelverket sammenlignet med lokaliteter lenger unna. Også forholdet mellom PCDF og PCDD kan indikere punktutslipp fra metallindustri. Verdiene fra lokaliteten i Kirkenes er lave, dette er beroligende med tanke på forhistorien og dioksinutslippene på 1990-tallet.

Metaller, PCB, PAH og dioksiner i mose i Sør-Varanger

Moseundersøkelser 2008, 2015 og 2020

1 Innledning – bakgrunn for prosjektet

Grenseområdene Norge-Russland er rike på metaller og mineraler. På norsk side ble det oppdaget jernforekomster i 1865 og det har periodevis vært gruvedrift ved Bjørnevatn siden tidlig på 1900-tallet. På østsiden av Pasvikelva ble det oppdaget nikkel i 1921 og det ble etablert gruvedrift og smelteverk i daværende Kolosjoki på 1930-tallet. Fram til 2020 var det lokale gruver rundt Zapoljarnyj og Nikel, briketteringsverk i Zapoljarnyj der malmen ble oppkonsentrert, smelteverk i Nikel som produserte nikkematte og verk i Montsjegorsk der sluttproduktet var ren nikkel. Smelteverket i Nikel ble lagt ned 23. desember 2020 og produksjonen lagt om. Planene var å selge det mest svovelholdige og nikkelfattige konsentratet direkte på verdensmarkedet, mens det rikeste konsentratet skulle sendes fra Zapoljarnyj til Montsjegorsk for videreforedling. Etter 24. februar 2022 er all kontakt med Russland brutt og lite er kjent når det gjelder driften i de russiske gruvene og smelteverkene.

Den lokale malmen som brytes og videreforedles inneholder metaller som nikkel, kobber og platinagruppermetaller, men også svovel. Dette medførte at verkene i Zapoljarnyj og Nikel slapp ut store mengder svoveldioksid (SO_2) og metaller. Nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co) og arsen (As) ble regnet som spormetaller fra nikkilverkene på russisk side. Utslippene påvirket luftkvaliteten og miljøet i grenseområdene i mange tiår. Målestasjonene både på norsk og russisk side hadde jevnlig episoder med svært høye konsentrasjoner av SO_2 . Nivåene av SO_2 og metaller på de norske stasjonene Svanvik og Karpdalen lå høyere enn ellers i Norge. Selv om smelteverket i Nikel er lagt ned er det fortsatt produksjon ved anlegget i Zapoljarnyj.

Etasjemose, lat. *Hylocomium Splendens* er mye brukt som indikatorplante for tilførsel av luftforurensning. Den mangler rotsystem og får all næring gjennom nedbør og luft, den forekommer over hele landet og er dessuten lett å plukke. Metoden som brukes i denne studien er egentlig meget enkel; mose samles inn, tørkes, renses manuelt for rusk og andre mosearter og analyseres så for miljøgifter. Ved å sammenholde resultatene fra de ulike stasjonene/lokalitetene gis det et oversiktsbilde av tilførsler av miljøgifter gjennom luft og/eller nedbør de siste 2-3 år. Som «prøvetaker» trenger ikke mose strøm eller tilsyn, den er lett identifiserbar, den danner en etasje pr. år, noe som gjør det enkelt å finne hvilke år den representerer. Mose gir derfor et godt bilde av forurensningen på et bestemt sted. Ved å velge flere stasjoner med god geografisk spredning er mose derved spesielt godt egnet til nedfallsundersøkelser i både på lokal, regional og europeisk skala.

Norge hadde et nasjonalt moseprogram fra 1977 – 2015. Dette var et samarbeid mellom NTH/NTNU og NILU og ble ledet av Eilif Steinnes (se eksempelvis Steinnes mfl., 2016). Antallet stasjoner varierte, i 2015-undersøkelsen ble det samlet inn mose fra 230 lokaliteter og analysert for 56 ulike grunnstoffer. Til sammen danner moseprogrammet en utrolig verdifull tidsserie for tilførsler av

miljøgifter fra 1977, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 og til 2015¹. Se også Vedlegg B for informasjon om Finnmark 2020.

Men innsamling og analyse av mose er også brukt til å studere ulike organiske miljøgifter (Schlabach mfl., 2016), PAH (Halse mfl., 2017) og spesifikke kartleggingsprosjekter rundt industristeder (Steinnes og Uggerud, 2017).

Moseinnsamlingen i det nasjonale overvåkingsprogrammet inngikk i et bredt europeisk samarbeid der det ble samlet og analysert mose i en rekke land (eks. Harmens et al., 2010 og Harmens et al., 2015). Norge er også med i det internasjonale samarbeidet innen ICP Vegetation².

NILU undersøkte forekomsten av metaller, PCB, PAH og dioksiner³ i mose i grenseområdene mellom Norge og Russland i 2008. Disse stoffene er alle miljøgifter som på ulik måte er skadelige for mennesker, dyr og vegetasjon. Den gang hadde NILU ekstra midler i forbindelse med gjenåpningen av stasjonen i Karpdalen. Moseinnsamling og -analyse var et godt supplement til NILUs måleprogram for luft- og nedbørkvalitet i grenseområdene. Innsamling og analyse av mose ble gjort i 2015 og i 2020, men da kun for metaller.

I grenseområdene finnes det gruver, smelteverk og andre industrivirksomheter som slipper ut miljøgifter. Mest kjent er anriknings- og briketteringsanlegget i Zapoljarnyj og smelteverket i Nikel (Figur 1). Nikelverket ble som nevnt lagt ned 23. desember 2020. I Zapoljarnyj er produksjonen lagt om og mye av videreforedlingen skjer nå i Montsjegorsk, 130 km sør for Murmansk (igjen Figur 1). Anleggene i Zapoljarnyj og Nikel slapp ut store mengder svoveldioksid (SO₂) og metaller. NILU har hatt måleprogram i grenseområdene siden 1974 finansiert av SFT/Klif/Miljødirektoratet og Miljøverndepartementet/Klima- og miljødepartementet. Formålet er å måle konsentrasjoner av miljøgifter som SO₂ i luft, metaller i luft/svevestøv og i nedbør, samt meteorologi. Resultatene fra dette programmet ble publisert i årlige rapporter (siste er Berglen mfl., 2022). De målte konsentrasjonene av SO₂ i luft og metaller i støv og nedbør var høye i grenseområdene på grunn av utslippene på russisk side.

I og med at smelteverket i Nikel ble nedlagt i desember 2020 og utslippene ble sterkt reduserte var det ikke lenger behov for et omfattende måleprogram. Stasjonen i Karpdalen ble nedlagt i januar 2022, samtidig ble nedbørmålingene i Karpbukt (uorganiske komponenter) flyttet til Svanvik og SO₂-målingene på Svanvik ble avsluttet. Det er pr. 2025 kun målinger på Svanvik; metaller i luft og nedbør, uorganiske komponenter i nedbør og ozon (O₃) i luft. Disse målingene er del av det nasjonale overvåkingsprogrammet og resultatene publiseres i årlige rapporter (Aas mfl. 2024, Halvorsen mfl., 2024).

¹ Se eksempelvis <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/miljoovervaking/overvakingsprogrammer/utgatte-programmer/moseprogrammet/> [besøkt 5. februar 2025].

² <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/> og <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey> [begge besøkt 5. februar 2025].

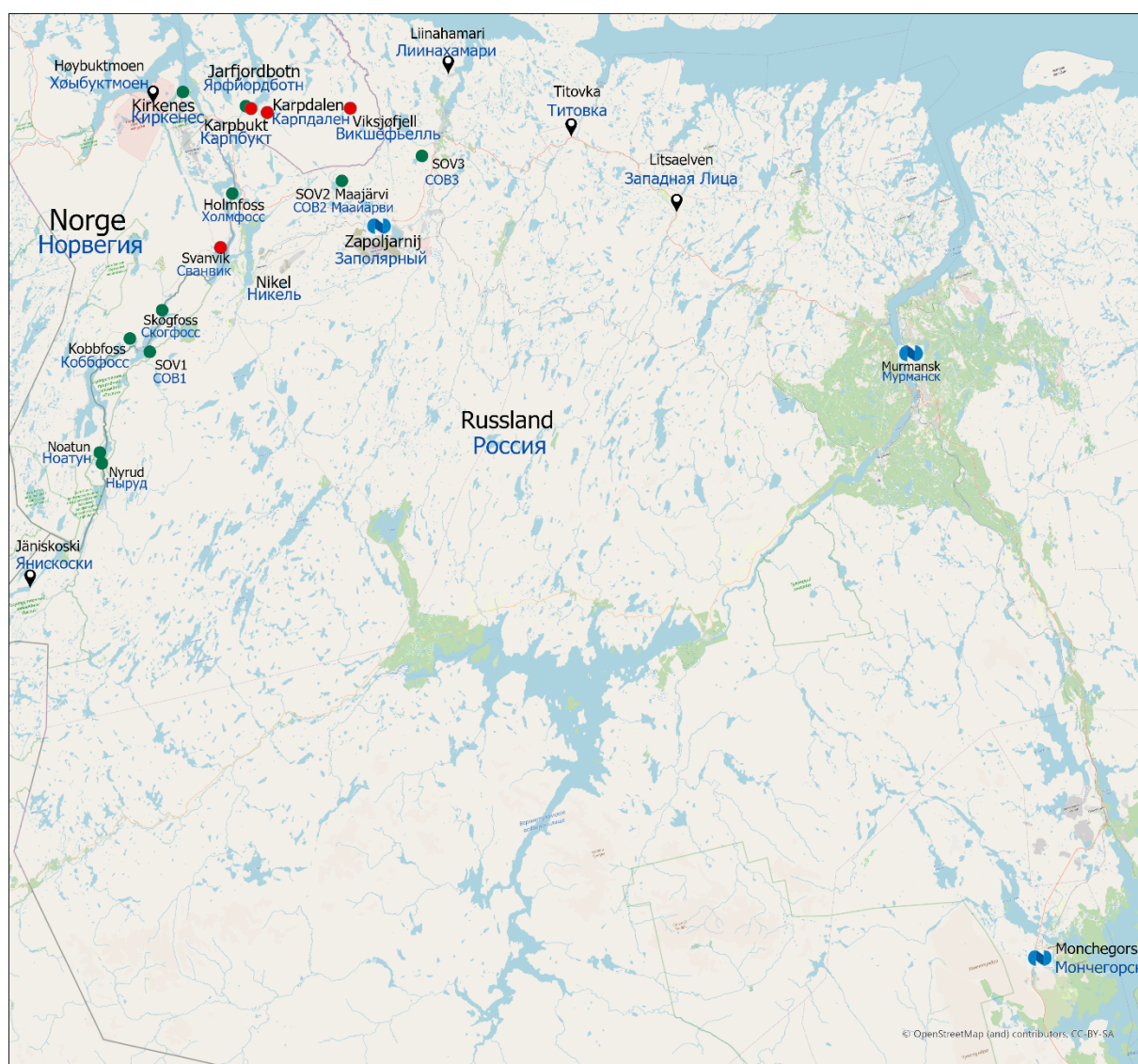
³ PCB: polyklorerte bifenylar.

PAH: polysykliske aromatiske hydrokarboner, også kalt tjærestoffer.

Dioksiner: polyklorerte dibenzo-p-dioksiner og dibenzofuraner.

På norsk side har det vært gruvedrift i og rundt Bjørnevatn og separasjonsverk i Kirkenes som produserte jernmalkonsentrat. Gruveselskapet gikk konkurs i 2015 og aktiviteten og derved også utslippene stoppet opp.

Bakgrunnen for undersøkelsen som ble foretatt i 2008 var først å undersøke om metoden var gyldig, det vil si om fordelingen av Ni, Cu, Co og As var som forventet. Derneft var formålet å se om det var mulig å si noe om utslipp av andre miljøgifter i grenseområdene. I 2008-undersøkelsen ble det analysert på 11 metaller inklusiv kvikksølv (Hg), PCB, PAH og dioksiner. Grunnen til at disse miljøgiftene ble valgt var blant annet at Mattilsynet tidligere hadde gått ut med kostholdsråd til befolkningen i Sør-Varanger etter funn av PCB og dioksiner i reinkjøtt (Mattilsynet, 2006).



Figur 1: Oversiktskart med norske målestasjoner for luftkvalitet, nedbørkvalitet og meteorologiske forhold i grense-områdene Norge-Russland (rødt). Stasjoner fra Basisundersøkelsen 1988-1991 er markert i grønt. Kola GMK sine produksjonssteder er markert med -symbol. Nikel hadde tidligere smelteverk som ble lagt ned 23. desember 2020. Kilde kartunderlag: OpenStreetMap.

Først gis en oversikt over de forskjellige miljøgiftene som omfattes av undersøkelsen. Deretter beskrives fremgangsmåte, metode og hvordan undersøkelsen er utført. Så vises resultatene og til slutt trekkes konklusjoner utfra funnene.

1.1 Miljøgiftene som er undersøkt

Metaller⁴

I 2008 ble følgende grunnstoffer analysert: nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co), arsen (As), sølv (Ag), kadmium (Cd), antimon (Sb), bly (Pb), krom (Cr), sink (Zn) og kvikksølv (Hg). Bortsett fra As og Sb, som er halvmetaller, omtales de andre ofte som tungmetaller. For enkelthets skyld omtales grunnstoffene som er analysert, inkludert As og Sb, som metaller i resten av denne rapporten. Ni, Co, Cu og As regnes som spormetaller fra de russiske nikkelverkene. Konsentrasjonsmønsteret av disse fire vil være en god test på metodens gyldighet og også vise hvordan nedfallet av metaller varierer geografisk i Sør-Varanger.

I grenseområdene finnes det store forekomster av metaller i berggrunnen. Disse drivverdige forekomstene av bl.a. nikkel gjorde at smelteverkene opprinnelig ble etablert nettopp her⁵. I produksjonsprosessen i et smelteverk vil det uvegerlig unnslippe en viss mengde metaller. Hvor mye som unnslipper og derved slipper ut i atmosfæren avhenger av produksjonsprosessen og metodene. Fra 2004 og fremover ble det observert en konsentrasjonsøkning av metaller i grenseområdene. Denne økningen ble observert både i nedbør og i vassdrag, og både i Norge og Finland (Stebel mfl. 2008, Vogt og Skancke, 2023), samt i serien av landsomfattende moseundersøkelser (Steinnes mfl., 2016). Årsaken til denne økningen er ikke kjent. Endringer i malmsammensetning og/eller endrede produksjonsmetoder er nevnt som mulige hypoteser.

Noen metaller er giftige, som for eksempel kadmium som er akutt og kronisk giftig og dessuten kreftfremkallende. Andre metaller er ikke giftige, men er tvert imot nødvendige sporelementer i biologisk materiale, som for eksempel kobber. Dog er kobber giftig i høye konsentrasjoner.

Kvikksølv (Hg) er en farlig miljøgift, se Miljøstatus for mer informasjon⁶. Utslippene i Norge går ned, men det er fortsatt grunn til bekymring for spredning av kvikksølv i norsk natur. Det er spesielt metylkvikksølv som er giftig for levende organismer og denne oppkonsentreres i næringskjeden. Størsteparten av kvikksølv i norsk natur skyldes langtransportert luftforurensning. Det er fremforhandlet flere ulike internasjonale avtaler for å begrense utslippene av kvikksølv, eks. Minamata-konvensjonen. Kvikksølv og metylkvikksølv kan gi skader på nervesystemet og nyreskader. Spesielt gravide bør være oppmerksomme siden høye nivåer av kvikksølv kan gi ulike

⁴ Betegnelsen tungmetaller brukes om metalliske grunnstoffer med en tetthet som er høyere enn 5 g/cm³. I prosjektet er det også analysert mtp. arsen (As) og antimon (Sb), som strengt tatt er halvmetaller/metalloider, samt aluminium (Al), tetthet 2,7 g/cm³ og derved et lettmetall. Ofte brukes begrepet «tungmetaller» eller «metaller» for å beskrive de stoffene som er undersøkt, selv om «grunnstoffer» vil være en mer korrekt betegnelse.

⁵ For historikk rundt etableringen av smelteverkene, se siste rapport fra NILUs måleprogram for luft og nedbør i grenseområdene (Berglen mfl., 2022) eller Alf R. Jacobsens bok «Nikkel, jern og blod», Aschehoug, 2006.

⁶ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/kvikksolv-og-kvikksolvforbindelser/> [besøkt 25. mai 2023].

fosterskader. Det er endel usikkerhet hvilke verdier av Hg som kan gi biologisk skade og grenseverdiene er satt lavt utfra "føre var"-prinsippet.

Metallene Ni, Cu, Co og As regnes som spormetaller fra de russiske nikkelverkene.

Konsentrasjonsmønsteret av disse fire vil være en god test på metodens gyldighet og også vise hvordan nedfallet av metaller varierer geografisk i Sør-Varanger.

PCB

PCB er forkortelse for polyklorete bifenyler, på engelsk *PolyChlorinated Biphenyls*. Det er en samlebetegnelse for en gruppe organiske miljøgifter med kjemisk formel $C_{12}H_{10-x}Cl_x$, hvor x er tall mellom 1 og 10. Molekylene er bygget opp som bifenyl, dvs. to benzenringer⁷, hvor mellom 1 og 10 H-atomer er byttet ut med Cl-atomer (klor). Det finnes 209 kjente PCB-forbindelser, hvorav 32 ble undersøkt i 2008 i tillegg til 4 non-ortho PCB fra dioksinprogrammet. I komponentgruppen non-ortho PCB ligger de to benzenringene «flatt» i samme plan. Non-ortho PCB har mange av de samme kjemiske egenskapene som dioksiner og nevnes ofte sammen med disse, se beskrivelse under.

PCB er en menneskeskapt miljøgift og forekommer ikke i naturlig tilstand. Det ble tidligere brukt i forskjellige industrielle sammenhenger, blant annet i kondensatorer, transformatorer, lysarmaturer, flammehemmere etc., men er nå forbudt. PCB-utslipp kan fortsatt forekomme ved lekkasjer fra gamle installasjoner og PCB-holdige materialer. Det eksisterer strenge regler for håndtering og sanering av PCB i Norge.

PCB er meget helse- og miljøskadelig. Det er vanskelig nedbrytbart og løses lett i fett. Dette gjør at PCB akkumuleres i næringskjeden og oppkonsentreres. Mennesket, som er på toppen av næringskjeden, er derfor svært utsatt. Angående helseeffekter på mennesker kan nevnes at PCB øker kreftfaren, skader forplantningsevnen og svekker immunforsvaret. Det er påvist fosterskader på grunn av PCB og barn er svært utsatt ved eksponering. PCB gir også skader på dyr, både landdyr og vannorganismer.

PAH

PAH, Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner, også kalt tjærestoffer, er en samlebetegnelse for forskjellige typer organiske forbindelser som er bygget opp av flere benzenringer. PAH forekommer både i vann, i luft og i jord.

Vanligvis dannes PAH ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale. Aluminiumsverk og vedfyring er blant de største kildene i Norge. Det er observert høye konsentrasjoner av PAH i innsjøsedimenter og skjell nær aluminiumsverk. Også i norske byer forekommer høye konsentrasjoner av PAH, spesielt på vinteren i fyringssesongen. I jord er lekkasje fra kreosotholdige materialer en stor kilde. Årlige norske utslipp ligger mellom 250 og 300 tonn og er svakt økende.

Endel av PAH-forbindelsene er giftige hvorav benzo[a]pyren ($C_{20}H_{12}$) er regnet som den farligste. Benzo[a]pyren er klassifisert som kreftfremkallende, det skader arvestoffet og kan derved skade reproduksjonen. PAH er til dels vanskelig nedbrytbart og kan akkumuleres i levende organismer.

I 2008 ble det analysert på 38 ulike PAH'er.

⁷ Benzen, C_6H_6 består av 6 karbonatomer knyttet sammen ved enkelt- og dobbeltbindinger slik at de danner en ring og et hydrogenatom knyttet til hvert karbonatom.

Dioksiner

Polyklorerte dibenzo-p-dioksiner (benevnt PCDD) og dibenzofuraner (benevnt PCDF) går under samlebetegnelsen dioksiner. Det er kjent over 200 forskjellige dioksiner, hvorav 75 klorerte dioksiner og 135 klorerte furaner. Kjemisk sett er dioksiner bygget opp av to benzenringer bundet sammen av O-atomer og hvor H-atomer er erstattet med Cl-atomer⁸. I denne studien er det analysert sju dioksiner, 10 furaner og fire nonortho-PCB⁹.

Dioksiner dannes ved forbrenning der klor er tilstede. Temperaturer mellom 400°C og 700-800°C gir typisk gode vilkår for dannelse av dioksiner. Branner, industri og forbrenningsanlegg er kjente kilder. På 1990-tallet ble det oppdaget store dioksinutslipp fra AS Sydvaranger i Kirkenes. Der ble det brukt sjøvann (som inneholder NaCl) i røstingsprosessen¹⁰. Dette medførte store lokale dioksinutslipp fra pelletsverket som igjen medførte høye dioksinverdier i nærmiljøet i Kirkenes. NILU har tidligere gjort flere undersøkelser av dioksinnivåene i og rundt Kirkenes, hvor det bl.a. ble analysert på fisk (Schlabach og Skotvold 1996a, 1996b, 1997, Enge et al., 2003). Dioksinutslippene i Kirkenes er grunnen til at moseprøver ble valgt til denne studien, og ikke for eksempel jordprøver. Mose gir et bilde av situasjonen de siste 2-3 år, i dette tilfellet fra om lag 2005/06 - 2008, mens jordprøver går lenger tilbake i tid (~flere tiår). For kun å få et bilde av forurensningssituasjon kun de siste årene er jordprøver derfor uegnet.

Utslippene av dioksiner i Norge har gått ned de siste årene. Rapporterte utslipp til luft i Norge var 23 gram i 2008 ¹¹.

⁸ PCB og dioksiner er begge bygget opp av to benzenringer. I PCB-molekylet er de to benzenringene direkte bundet sammen i en C-C-binding. I et dibenzo-dioksinmolekyl er de to benzenringene separate, men bundet sammen ved to O-atomer. I et dibenzofuran-molekyl er benzenringene bundet sammen med en C-C-binding og en binding via et O-atom. Når det gjelder non-ortho PCB, her ligger de to benzenringene «flatt» i samme plan, non-ortho PCB har mange av de samme kjemiske egenskapene som dioksiner.

⁹ Dioksiner (7): 2378-TCDD, 12378-PeCDD, 123478-HxCDD, 123678-HxCDD, 123789-HxCDD, 1234678-HpCDD og OCDD, furaner (10): 2378-TCDF, 12378/12348-PeCDF, 23478-PeCDF, 123478/123479-HxCDF, 123678-HxCDF, 123789-HxCDF, 234678-HxCDF, 1234678-HpCDF, 1234789-HpCDF og OCDF, nonortho-PCB (4): 33'44'-TeCB (PCB 77), 344'5-TeCB (PCB 81), 33'44'5-PeCB (PCB 126) og 33'44'55'-HxCB (PCB 169).

¹⁰ Røsting er den prosessen som utføres når malm varmes opp over lang tid for å fjerne forurensning/uønskede komponenter fra malmen.

¹¹ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/dioksiner-og-furaner/> [besøkt 5. februar 2025].

2 Framgangsmåte og metode

2.1 Etasjemose

Etasjemose *Hylocomium splendens* (lat.) er en vanlig skogsmose som finnes over hele landet. Navnet "etasje" kommer av hver plante har greinene samlet i etasjer oppover stengelen. Den øverste "etasjen" består av et fjærgreinet, tilspisset skudd. Navnet etasjemose skyldes nok mosens utseende. Den ble tidligere brukt som tettemateriale mellom laftestokkene i tømmerhus og er også omtalt som «etasjehusmose». Bilder av etasjemose er vist i Figur 2 og Figur 3.

Etasjemose mangler rotsystem og får mye av sin næring ovenfra gjennom luft og nedbør (tørr- og våtavsetning). Andre prosesser som også vil kunne bidra til opptak i mose er:

- oppvirvling av mineralpartikler fra bakken rundt mosen (vinderosjon)
- atmosfærisk langtransport av sjøsalt
- nedfall fra omkringliggende vegetasjon som har tatt opp næringsstoffer fra grunnen gjennom sitt rotsystem
- Opptak av spormetaller fra grunnen i perioder hvor grunnen mosen vokser på er dekket av vann

Likevel er den en hendig indikatorplante som gir et bilde av forurensningene på voksestedet de siste 2-3 årene. Ved innsamling er det stort sett de nyeste, grønne skuddene som plukkes. De eldre skuddene er brune og tørre, det vil si de som er eldre enn 3 år. Disse skuddene tas ikke med.



Figur 2: Etasjemose (*Hylocomium splendens*), plante med de karakteristiske etasjene (venstre) og populasjon (høyre, bemerk: annen mose i bakgrunnen). Kilde: wikipedia commons.



Figur 3: *Etasjemose* hentet fra *Flora Danica*, plansje 2390, hefte 40, København 1843.

Kilde: Det Kongelige Bibliotek, se for eksempel

<https://images.kb.dk/floradanica/hefte40/www/2390.jpg> eller

<http://www5.kb.dk/images/billed/2010/okt/billeder/object317846/da/>

[begge besøkt 5. februar 2025].

2.2 Hypotese og innsamlingsstrategi

Det er kjent at smelteverkene i Russland slapp ut store mengder SO₂ og metaller som Ni, Cu, Co og As (Berglen mfl., 2022). Det har også tidligere vært utslipp fra gruvedrift på norsk side. Spørsmålene som dette prosjektet ønsket å svare på var blant annet:

- I hvilken grad slapp/slipper smelteverkene på russisk side ut andre miljøgifter enn SO₂ og Ni, Cu, Co, As?
- Sees det fortsatt forhøyede verdier av dioksiner i det ytre miljø som følge av dioksinutslipp fra AS Sydvaranger på 1990-tallet?
- Fantes/finnes det andre kilder i grenseområdene med utslipp av andre miljøgifter, stoffer som ikke er kjente?

Dette er spørsmålene som denne undersøkelsen søker å gi svar på. Til å finne ut dette ble etasjemose fra 11 ulike lokaliteter i grenseområdene analysert for en rekke miljøgifter; metaller, kvikksølv, PCB, PAH og dioksiner.

Etasjemose ble valgt fordi den gir et bilde av forurensningene de siste 2-3 årene. En annen mulig metode ville vært å analysere jordprøver. Men jordprøver gir et bilde av forurensningen flere tiår tilbake i tid og var derfor ikke egnet til formålet med denne studien.

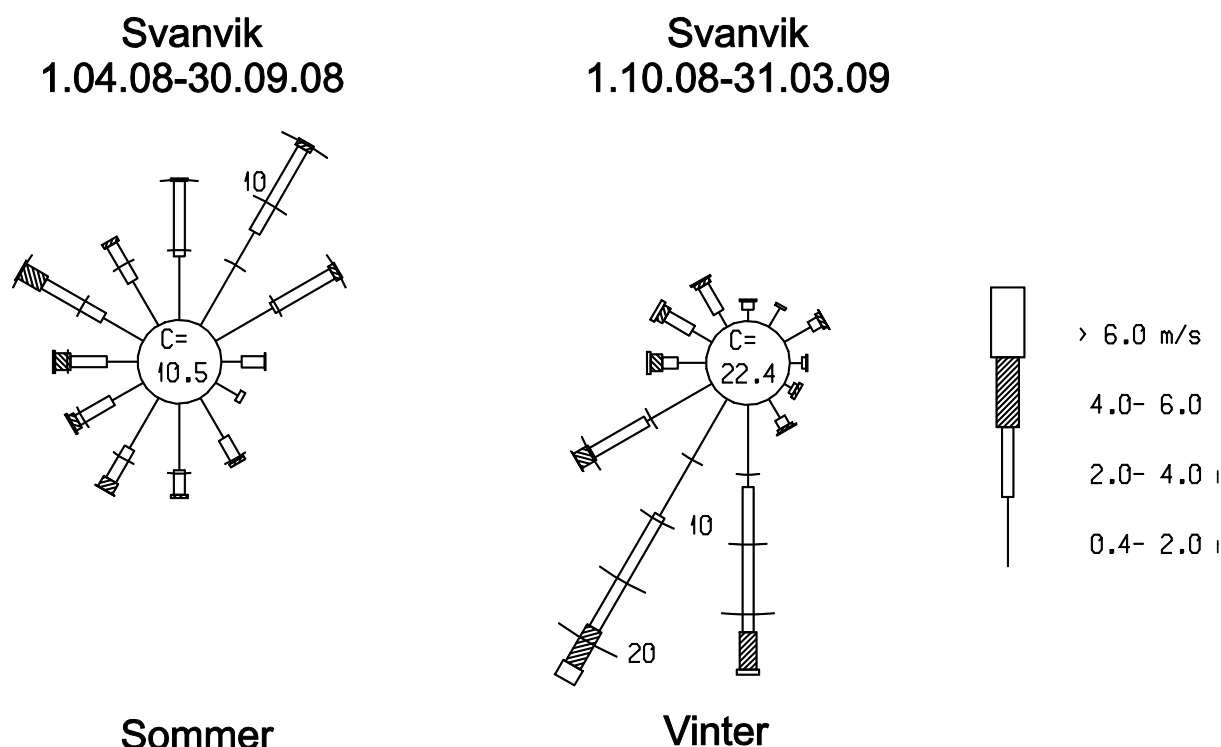
Mose fra flere steder i grenseområdene ble samlet inn. Målet var å samle inn mose fra steder som ligger nedstrøms i fremherskende vindretning fra smelteverkene i Russland, samt å finne ”bakgrunnsstasjoner” som antas å være uberørt av forurensning. Hypotesen i studien var at hvis mose fra sankesteder nedstrøms av smelteverkene har høyere konsentrasjoner av miljøgifter enn mose fra bakgrunnsstasjoner, så vil det være en sterk indikasjon på at smelteverkene er kilde for disse miljøgiftene. I motsatt fall, hvis det er liten forskjell mellom stasjonene nedstrøms og bakgrunnsstasjonene, så indikerer det at smelteverkene ikke er betydelig kilde for denne miljøgiften.

Vindrose for Svanvik for 2008-2009 er vist i Figur 4. Vindrosene viser frekvensen av vind i tolv 30-graders sektorer, dvs. hvor ofte det blåser **fra** disse retningene. Om sommeren (april-september) er det varierende vindretning på Svanvik, og vinden kommer østfra i omtrent 15-20% av tiden. Om vinteren (oktober-mars) er fremherskende vindretning klart fra sør og sør-sørvest, østlig vind forekommer i kun noen få prosent av tiden. På grunnlag av vindforholdene og enkle spredningsberegninger ble det plukket ut 11 sankesteder på norsk side i grenseområdene, for plassering se Figur 5.

Hvis smelteverkene i Russland var kilde for miljøgifter vil det forventes å finne de høyeste konsentrasjonene nær Svanvik på grunn av økt avsetning om sommeren og i områdene nord for smelteverkene på grunn av økt avsetning om vinteren. Hvis resultatene ikke viser dette geografiske mønsteret vil det sannsynligvis være andre kilder, enten lokale kilder eller kilder langt unna (langtransportert forurensning). Resultatene i kap. 3 til kap. 6 bør studeres med dette som bakteppe.

Ni, Cu, Co og As ble studert først siden disse er spormetaller fra nikkelverkene og derved forventes det et mønster som beskrevet over. Disse fire er derfor en test på om metoden er gyldig.

Det var også nyttig å sanke mose høsten 2020, det vil si like før verket i Nikel ble stengt ned. Dette ga et bilde av fordelingen av metaller i mose fra tidspunktet utslippene stoppet. Det vil uten tvil bli gjennomført moseprosjekter seinere og da vil 2020-resultatene være et verdifullt referansepunkt. Lokalitet 9 Korp fjell ble ikke tatt i 2020 pga. vær- og føreforhold. Men den ble tatt i august 2022 og disse resultatene er også inkludert i denne studien (kap. 3.3).



Figur 4: Vindrosene fra Svanvik for periodene april-september 2008 og oktober 2008-mars 2009, det vil si perioden før og under første innsamlingsrunde. Vindrosene viser frekvensen av vind i tolv 30-graders sektorer, dvs. hvor ofte det blåser fra disse retningene. Symbolet C i midten av vindrosene står for frekvensen av vindstille. Med vindstille menes her at timemiddelvindhastighet har vært mindre enn 0,4 m/s. Merk at det den gang ble brukt et Aanderaa-instrument med «propell» for å måle vindhastighet. Propellen på instrumentet kunne fryse fast om vinteren og andelen vindstille er derfor høy. I 2013 ble det byttet instrument og de senere årene brukes det et Vaisala-instrument med sonisk vindmåler (ultralyd).

2.3 Innsamlingssteder

Høsten 2008 ble det samlet inn etasjemose på til sammen 11 forskjellige lokaliteter i Sør-Varanger, dvs. kun på norsk side av den norsk-russiske grensen. En oversikt over prøvestedene er gitt i Tabell 1 og i Figur 5. Prøvestedene ble valgt ut basert på en enkel analyse av vind- og sprednings-forhold i området (se kap. 2.2).

Svanvik ligger kun 8 km vest for Nikel by. Om sommeren ville lokalitetene Skrøytnes, 96-høyda¹² og Bjørnsundhøgda være utsatt for forurensning fra smelteverket (sankesteder nummer 3, 4 og 5). Men vinterstid bringes forurensningen fra Nikel og Zapoljarnyj nordover og inn over Karpdalen og Jarfjordfjellet, slik at sankestedene Karpdalen og Korpfjellet (nummer 8 og 9) vil være mest utsatt. På Nyrud (sankested 1) og Ferdesmyra (sankested 11) vil det forventes lave konsentrasjoner siden disse stedene ligger langt fra smelteverkene og utenfor framherskende vindretning, også kalt bakgrunn.

Prøvetakingen av de 11 stasjonene ble som tidligere nevnt gjentatt i 2015 og 2020 etter initiativ fra NILU. I 2020 ble det også samlet inn mose fra alle de 21 mosestasjonene i Finnmark som inngikk i det nasjonale moseprogrammet, også kalt «Steinnes-programmet», se Vedlegg B for mer informasjon.

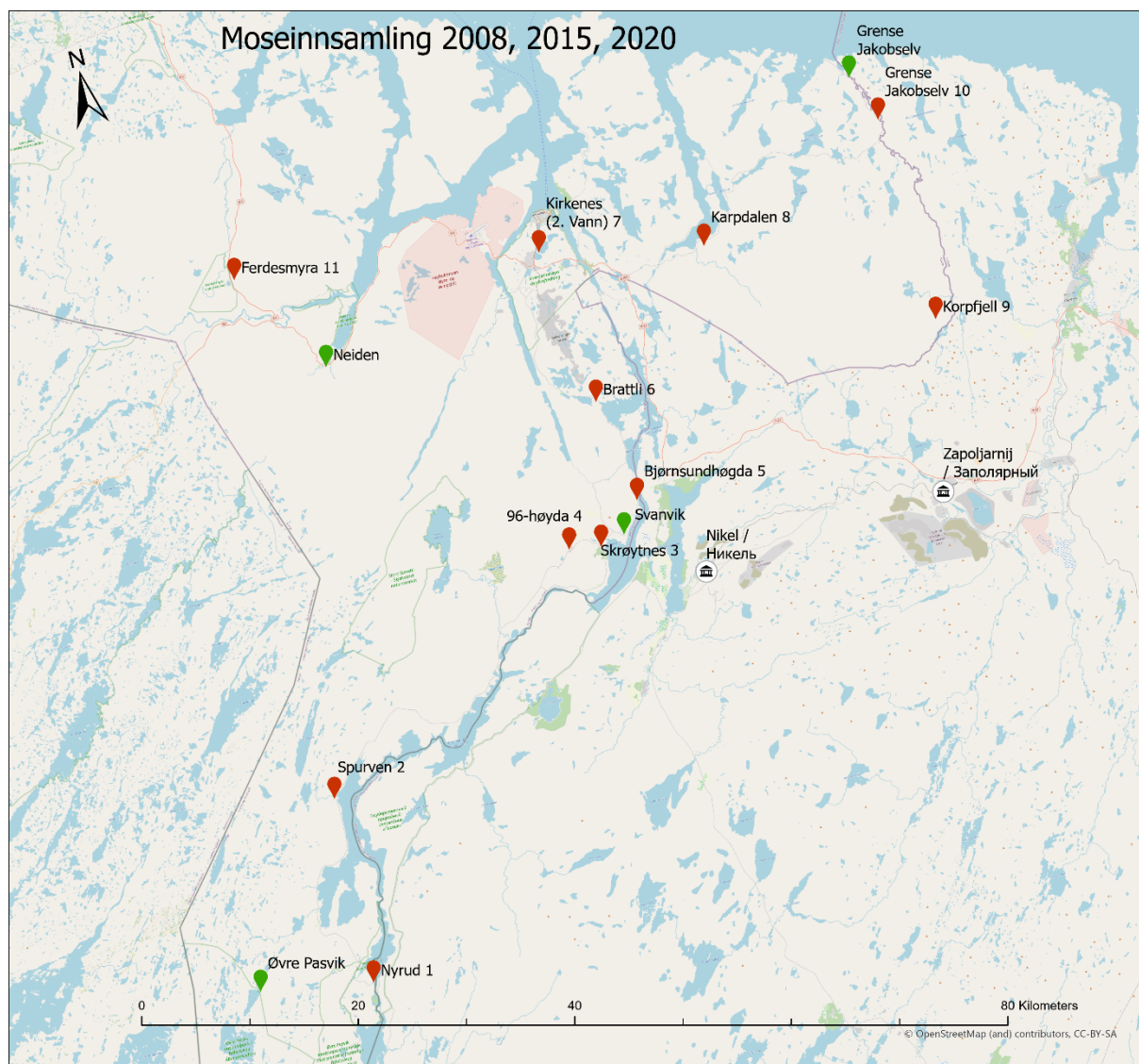
¹² Lokalitet 4 har mange ulike skrivemåter; 96-høyda, 96-høgda, 96-høyden, Høyde 96, Nittisekshøyda/-høgda, Seksognittihøyda/-høgda mfl. Lokalitet 11 skrives både Ferdesmyra og Færdesmyra.

Tabell 1: Oversikt over innsamlingslokaliteter for etasjemose.

Stasjon	Lengde-/breddegrad	Desimalgrader	UTM – N halvkule ¹⁾
Nyrud 1	69°08'38,00" N, 29°14'23,16" Ø	69,143890 N, 29,239767 Ø	35W0588975, 7672032
Spurven 2	69°17'55,00" N, 29°14'58,54" Ø	69,298612 N, 29,249595 Ø	35W0588732, 7689289
Skrøytnes 3	69°26'53,54" N, 29°59'44,41" Ø	69,448204 N, 29,995668 Ø	35W0617326, 7707213
96-høyda 4	69°27'08,50" N, 29°55'16,39" Ø	69,452360 N, 29,921220 Ø	35W0614390, 7707535
Bjørnsundhøgda 5	69°28'42,03" N, 30°06'15,04" Ø	69,478341 N, 30,104178 Ø	36W0386741, 7710382
Brattli 6	69°33'54,38" N, 30°04'01,13" Ø	69,565105 N, 30,066980 Ø	36W0385751, 7720117
Kirkenes 7 (Tangen, mellom 2. & 3. vann)	69°41'45,57" N, 30°01'19,74" Ø	69,695992 N, 30,022150 Ø	36W0384717, 7734782
Karpdalen 8	69°40'03,33" N, 30°24'20,63" Ø	69,667591 N, 30,405730 Ø	36W0399424, 7730940
Korpfjell 9 ²⁾	69°33'38,91" N, 30°53'30,91" Ø	69,560808 N, 30,891920 Ø	36W0417855, 7718313
Grense Jakobselv 10	69°43'53,83" N, 30°52'53,46" Ø	69,731621 N, 30,881516 Ø	36W0418110, 7737365
Ferdesmyra 11	69°44'01,42" N, 29°18'10,54" Ø	69,733728 N, 29,302927 Ø	35W0589008, 7737858

1) Standard UTM for nordlige halvkule. Alle lokalitetene befinner seg i sone 35W eller 36W. Se eksempelvis <http://rcn.montana.edu/Resources/Converter.aspx> [besøkt 5. februar 2025] for omregning mellom de ulike koordinatsystemene.

2) Nøyaktige koordinater er ikke kjent. Prøvene ble samlet i den sørvendte lia nedenfor grensestasjonen. Korpfjell ble ikke gjentatt i 2020 på grunn av snø- og værforhold, men da i august 2022.



Figur 5: Kart som viser de 11 ulike sankestedene for mose, merket i rødt. Nummeret bak stedsnavnet refererer til punktnummer i Tabell 1. De fire sankestedene merket i grønt er fra det landsomfattende moseprogrammet 1977-2015 («Steinnes-programmet»).

Etter sanking ble moseprøvene sendt til NILU hvor de ble tørket, oppsluttet¹³ og siden analysert for innhold av metaller, og som sagt ble det analysert for PCB, PAH og dioksiner i 2008. For grundig beskrivelse av de forskjellige analysemetodene for metaller, se for eksempel Steinnes mfl., 2016.

Korp fjell 9

Dette er den lokaliteten som var mest utsatt for forurensning fra russiske smelteverk. Lokaliteten ligger sørvendt i lia nedenfor Korp fjellet grensestasjon og bare noen hundre meter fra den norsk-russiske grensen (Figur 6). Under innsamlingen i 2015 var det vanskelig å finne mose her. Etter lang leting ble det funnet en liten neve mose bak en stein (Figur 7 høyre del). Det var ikke mulig å samle

¹³ For å analysere grunnstoffer i mose/fast form må prøvematerialet løses i en væske, denne prosessen kalles oppslutning.

mose på Korp fjell 9 høsten 2020 på grunn av snø- og værforhold. Men det ble gjort prøvetaking i august 2022 som også er presentert her (kap. 3.3).



Figur 6: Utsikt sørover fra sankested Korp fjell 9. Lokaliteten ligger 15 km nord for Zapoljarnyj og bare noen hundre meter fra den norsk-russiske grensen. Holmene og landtungene på bildet er russisk territorium. Dette området var første delen av Norge som ble frigjort i oktober 1944. Broen over Jakobselva som Den Røde Armé brukte ligger noen hundre meter til venstre utenfor bildekanten.



Figur 7: Moseplante fra Korpffjell 9 (venstre) og utbyttet etter én dags innsats i 2015 (høyre). Merk at det ble brukt plasthansker i innsamlingen. Prøvene skulle analyseres for metaller og det ble derfor brukt hansker. Ved innsamling av organiske miljøgifter brukes ikke hansker, men hendene «renses» og gnis med vanlig mose før innsamling. Foto: Lars-Ola Nilsson, NIBIO Svanhovd.

3 Resultater metaller inkl. kvikksølv 2008, 2015, 2020

Alt i alt ble det analysert for 11 metaller i 2008; nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co), arsen (As), samt sølv (Ag), kadmium (Cd), krom (Cr), bly (Pb), antimon (Sb), sink (Zn) og kvikksølv (Hg). I 2015 ble det analysert for til sammen 60 grunnstoffer¹⁴, dette er de samme grunnstoffene som ble undersøkt i det nasjonale moseprogrammet (Steinnes mfl., 2016). I 2020 ble det analysert for til sammen 56 grunnstoffer¹⁵.

3.1 Spormetaller fra nikkelverkene (Ni, Cu, Co, As) 2008, 2015, 2020

Som tidligere nevnt er nikkel (Ni), kobber (Cu), kobolt (Co) og arsen (As) kjente spormetaller fra smelteverkene i Russland. For å teste metoden kunne det være hensiktsmessig å begynne med disse metallene og se om konsentrasjonsmønsteret var slik som forventet. Det forventes forhøyede verdier på stasjonene nær Nikelverket som Skrøytnes 3, 96-høyda 4, Bjørnsundhøgda 5 og Brattli 6, men også på stasjonene nord for Nikelverket, da spesielt Korp fjell 9, samt Karpdalen 8 og Grense Jakobselv 10. Samtidig forventes det lave verdier oppstrøms Nikelverket som Nyrud 1 og Spurven 2, samt bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11, se Figur 5 for plassering.

Resultatene for spormetallene Ni, Co, Cu og As er presentert i Figur 8 (Ni), Figur 9 (Cu), Figur 10 (Co) og Figur 11 (As). Detaljerte analyseresultater for disse fire spormetallene er gitt i Tabell 2. Ni, Co, Cu og As viser stort sett det samme mønsteret, både i geografisk fordeling og i utvikling 2008-2020.

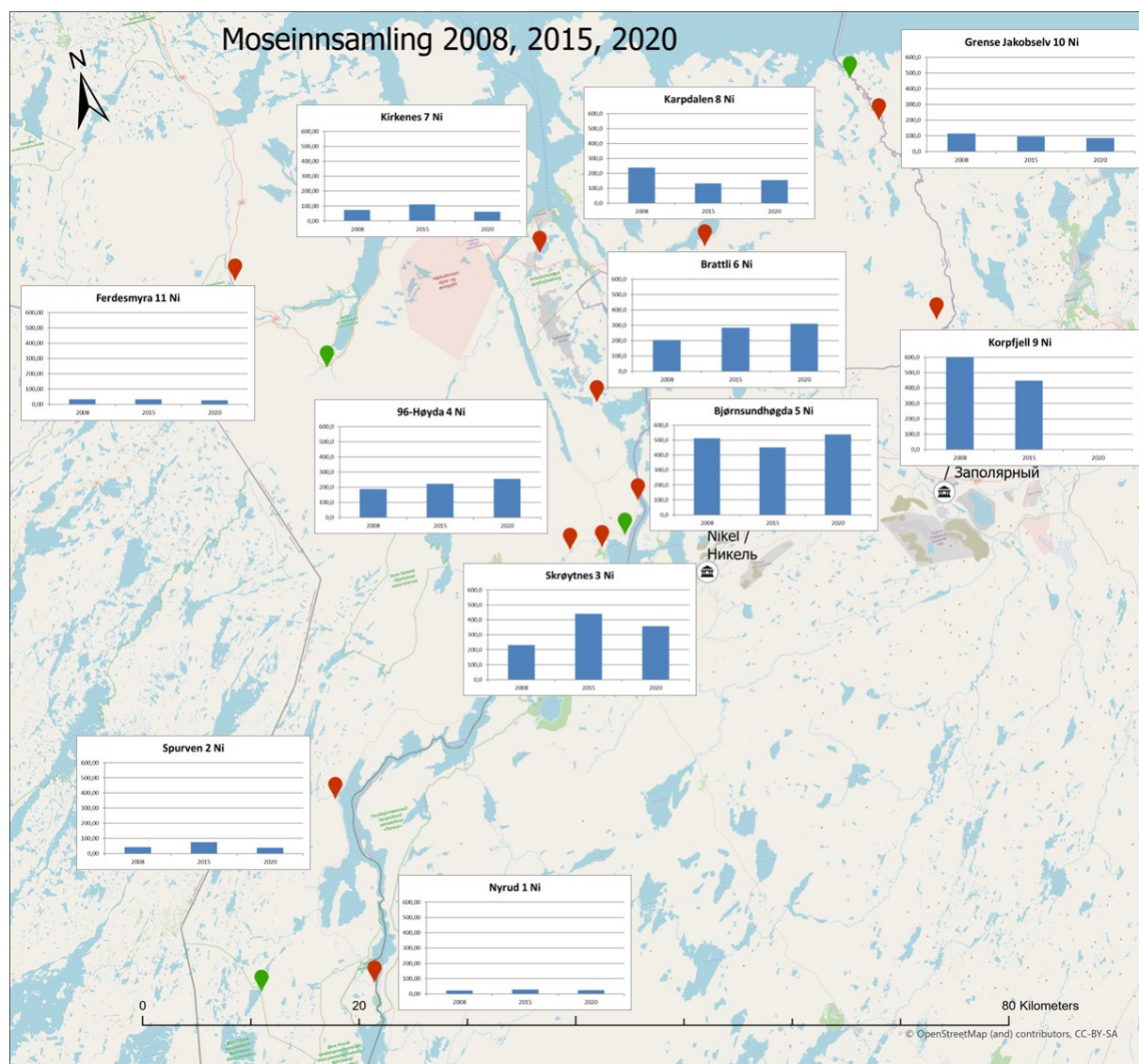
De høyeste verdiene forekommer på Korp fjell 9 som ligger nord for smelteverkene, men også Bjørnsundhøgda 5 nordvest for Nikel viser høye verdier. At maksimumsverdiene opptrer på disse to sankestedene er ikke overraskende siden Korp fjell 9 ligger nedstrøms smelteverkene og nær Zapoljarnyj, mens Bjørnsundhøgda 5 ligger bare noen kilometer fra verket i Nikel. Korp fjellet 9 er spesielt utsatt siden stedet var påvirket av utslipp både fra Nikel og Zapoljarnyj. Det er noe lavere verdier på Korp fjell 9 i 2015 enn i 2008 uten at det er mulig å forklare denne nedgangen. Dessverre var det ikke mulig å samle mose på Korp fjell 9 høsten 2020 på grunn av snø- og værforhold. Statistisk sett er det ikke mulig å analysere trend basert på kun to punkter.

Også Skrøytnes 3 og 96-høyda 4 rett vest for Nikel viser relativt høye konsentrasjoner, Skrøytnes 3 viser noe høyere konsentrasjoner enn 96-høyda 4. Disse to sankestedene ligger relativt nær hverandre, men i litt ulik retning fra Nikel og forskjellene er interessante. Fra målingene av luft- og nedbørkvalitet (Berglen mfl., 2022) er det kjent at røykfanen fra Nikel var skarpt avgrenset og klart definert. Noen få graders forskjell i vindretning kunne gi store forskjeller i konsentrasjonene av

¹⁴ Litium (Li), beryllium (Be), bor (B), natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), svovel (S), kalium (K), kalsium (Ca), scandium (Sc), titan (Ti), vanadium (V), krom (Cr), mangan (Mn), jern (Fe), kobolt (Co), nikkel (Ni), kobber (Cu), sink (Zn), gallium (Ga), germanium (Ge), arsen (As), selen (Se), rubidium (Rb), strontium (Sr), yttrium (Y), zirkonium (Zr), niob (Nb), ruthenium (Ru), rhodium (Rh), sølv (Ag), kadmium (Cd), antimon (Sb), tellur (Te), cesium (Cs), barium (Ba), lantan (La), cerium (Ce), praseodym (Pr), neodym (Nd), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), hafnium (Hf), tantal (Ta), wolfram (W), iridium (Ir), platina (Pt), thallium (Tl), bly (Pb), vismut (Bi), thorium (Th) og uran (U), til sammen 60 grunnstoffer.

¹⁵ I 2020 ble det analysert for 54 grunnstoffer som også ble analysert i 2015. Beryllium (Be), germanium (Ge), ruthenium (Ru), rhodium (Rh), iridium (Ir) og platina (Pt) ble utelatt i 2020. Samtidig ble molybden (Mo) og tinn (Sn) lagt til slik at det ble analysert for til sammen 56 ulike grunnstoffer.

svoveldioksid (SO₂). Innenfor røykfanen var konsentrasjonene høye, mens utenfor røykfanen var det ren bakgrunnsluft. Samme fordeling gjaldt også for annen forurensning fra smelteverket i Nikel.



Figur 8: Analyseresultater for nikkel (Ni) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 600, maksimumsverdien 615 ble observert på Korp fjell 9 i 2008. Enhet: μg metall/g tørket mose (mikrogram tilsvarende 10^{-6} g)¹⁶.

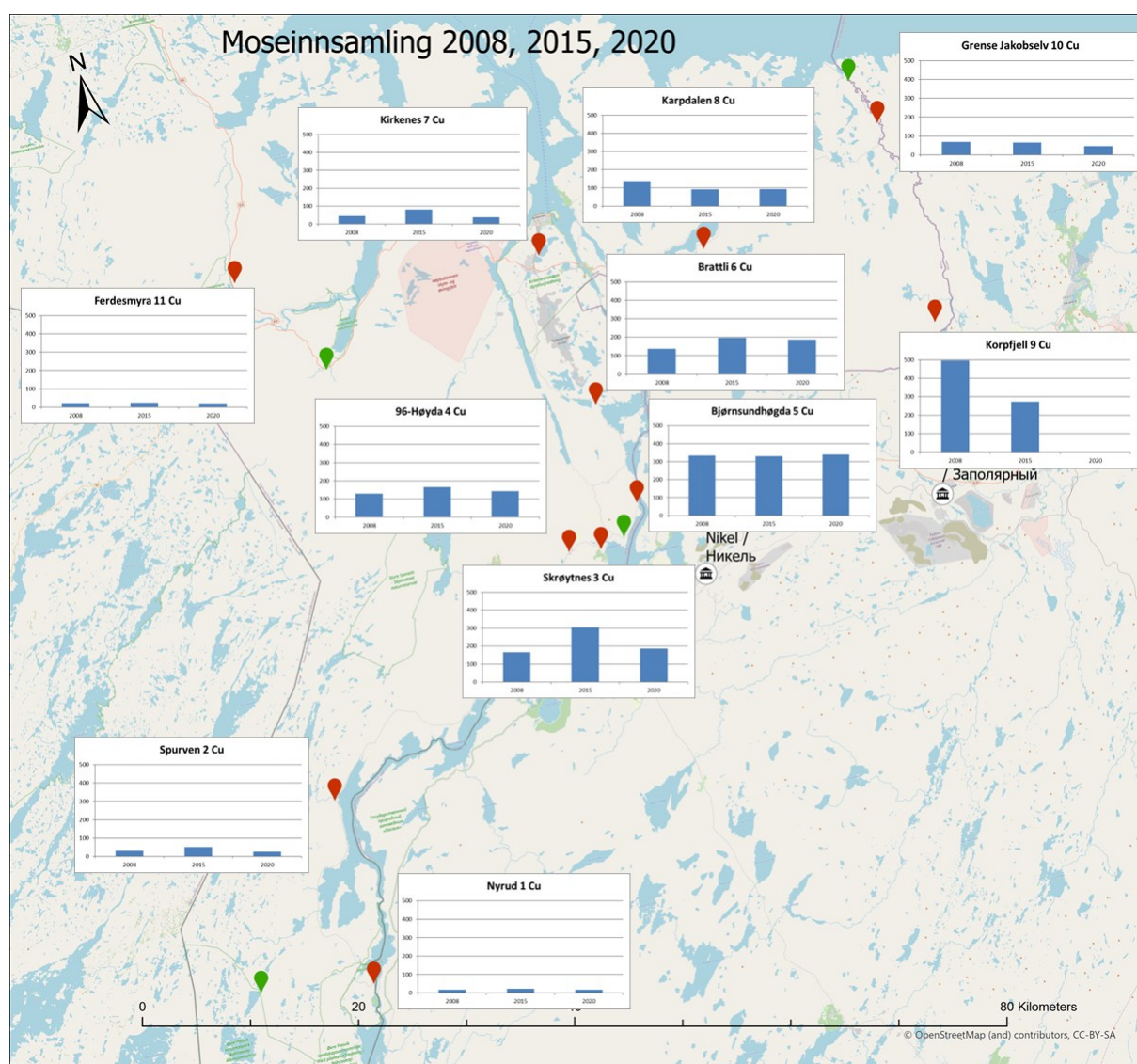
Brattli 6 og Karpdalen 8 viser også forhøyede konsentrasjoner, dog noe lavere enn lokalitetene diskutert over. For Ni, Cu og Co (kobolt) viser Brattli 6 en økning fra 2008 og framover, mens Karpdalen 8 viser en nedgang fra 2008 uten at det er noen opplagt forklaring på det. As (arsen) er

¹⁶ Vedrørende prefikser i SI-systemet: mg betegner milligram, dvs. 1/1 000 m.a.o. 10^{-3} eller tusendels gram, μg betegner mikrogram, dvs. 1/1 000 000 m.a.o. 10^{-6} eller milliondels gram, ng betegner nanogram, dvs. 1/1 000 000 000 m.a.o. 10^{-9} eller milliarddels gram og betegner pikogram, dvs. 1/1 000 000 000 000 m.a.o. 10^{-12} eller billiondels gram.

Kilde: <https://snl.no/SI-prefikser> [besøkt 25. mai 2023].

gjærne knyttet til lettere partikler og viser derved litt annet mønster enn Ni, Cu og Co. For sju av de 11 stasjonene var As høyere i 2015 enn i 2008 og 2020.

Det er ogs a interessant   sammenligne Korp fjell 9 og Grense Jakobselv 10. Begge ligger nord for Nikel og Zapoljarnyj og derved nedstrøms i fremherskende vindretning vinterstid. Grense Jakobselv 10 ligger nær 3 mil lenger nord og viser klart lavere verdier. Metallene som er analysert her er assosiert med partikler, det vil si at de er festet til partikler som slippes ut fra prosessene ved smelteverkene. Disse partiklene vil etter hvert falle ned og avsettes. Flest partikler avsettes n r utslippspunktet og så avtar avsetningen jo lenger unna luftmassene beveger seg. Det er derfor logisk at lokaliteter lengre unna, som Grense Jakobselv 10, viser lavere konsentrasjoner enn lokaliteter nærmere, som Korp fjell 9.

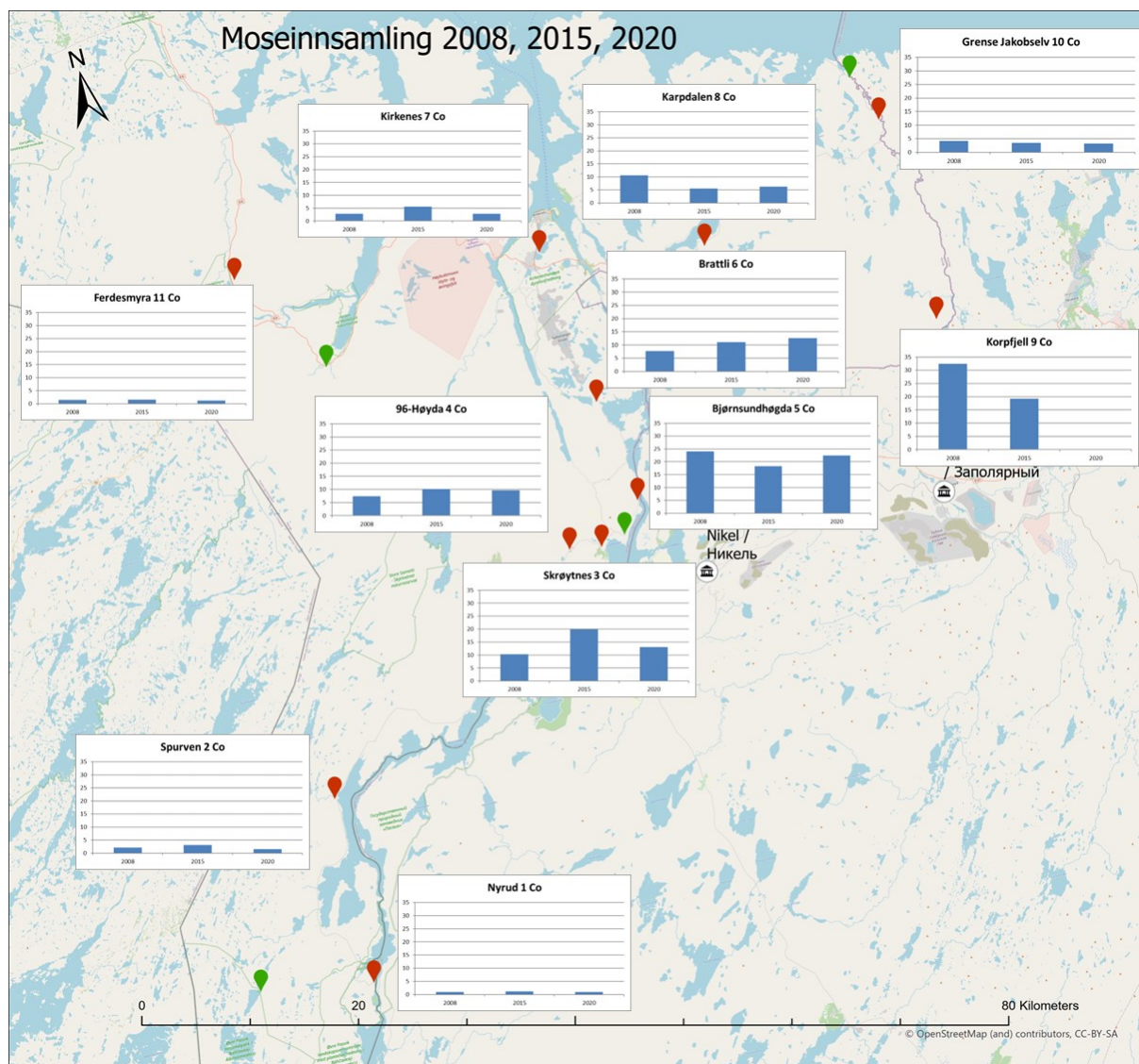


Figur 9: Analyseresultater for kobber (Cu) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 500, maksimumsverdien 496 ble observert på Korp fjell 9 i 2008. Enhet: μg metall/ g tørket mose (mikrogram tilsv rer 10^6 g).

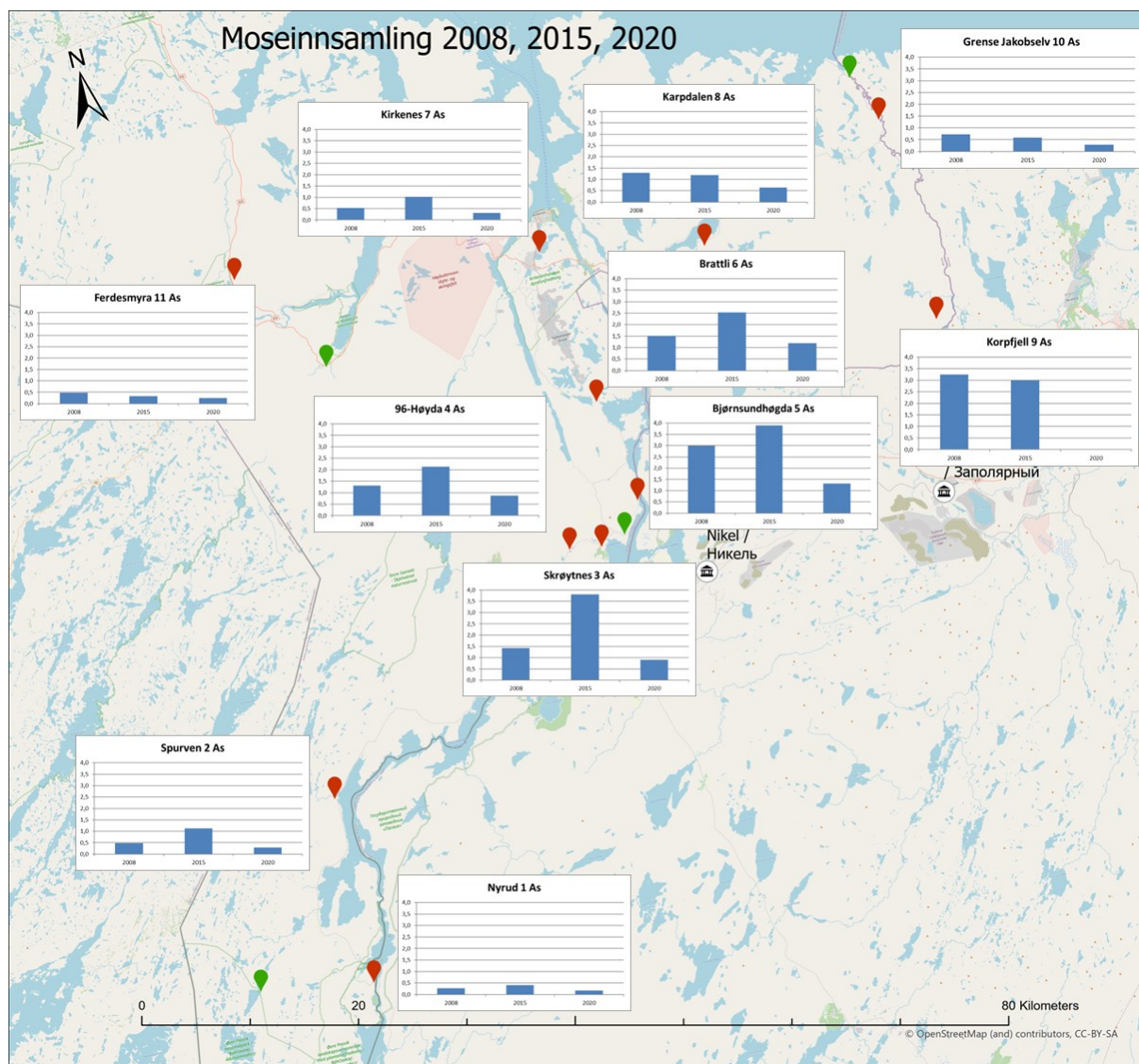
Stasjonene Nyrud 1 og Spurven 2 oppstrøms Nikel og bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11 viser lave konsentrasjoner av spormetallene fra nikkerverkene Ni, Cu, Co og As.

Alt i alt er analyseresultatene Ni, Cu, Co og As som forventet med høye konsentrasjoner på sankesteder i nærheten av smelteverkene og nedstrøms i fremherskende vindretning og med lave konsentrasjoner oppstrøms smelteverkene og på bakgrunnsstasjoner. Resultatene stemmer godt overens med tidligere studier og viser at metoden med innsamling og analyse av etasjemose fungerer.

Tidligere undersøkelser viser at Sør-Varanger har hatt de høyeste konsentrasjonene i Norge av Ni. Dette ble forklart med at smelteverk på Kola ga stadig betydelig nedfall i Øst-Finnmark av Ni og Cu, og nedfallet av disse metallene viste en klar økning i 2005 sammenliknet med tidligere undersøkelser (2000 og tidligere, se Steinnes mfl., 2007a). For Cu lå grenseområdene høyere enn de mest forurensede industristedene ellers i Norge, som Kristiansand, Sauda, Odda, Årdal, Sunndal og Mo i Rana (Steinnes et al., 2007b). Også for Co og As lå konsentrasjonene i grenseområdene jevnt høyere enn forurensede industristeder.



Figur 10: Analyseresultater for kobolt (Co) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 35, maksimumsverdien 32,5 ble observert på Korp fjell 9 i 2008. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarer 10^{-6} g).



Figur 11: Analyseresultater for arsen (As) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 4,0, maksimumsverdien 3,9 ble observert på Bjørnsundhøgda 5 i 2015. Enhet: μg halvmetall/g tørket mose (mikrogram tilsvarer 10^{-6} g).

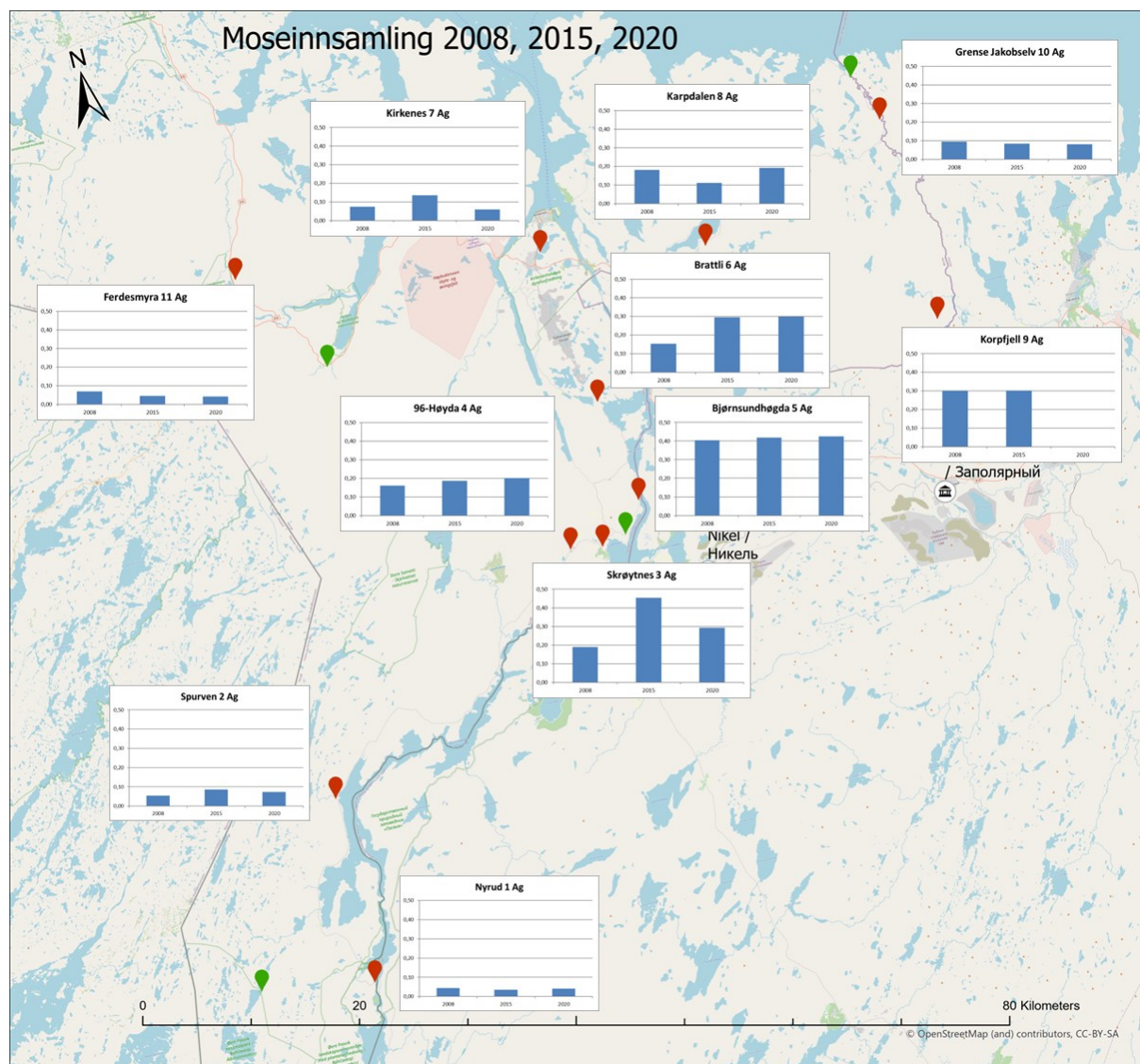
Tabell 2: Analyseresultater for Ni, Cu, Co og As i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Alle disse fire regnes som spormetaller fra nikkelverkene på russisk side. Enhet: µg/g tørket mose (mikrogram tilsvarer 10⁶ g).

Nikkel Ni				Kobber Cu			
Stasjon	2008	2015	2020	Stasjon	2008	2015	2020
Nyrud 1	21	28	25	Nyrud 1	18	22	18
Spurven 2	43	75	40	Spurven 2	31	52	26
Skrøytnes 3	232	440	356	Skrøytnes 3	166	304	187
96-høyda 4	189	223	254	96-høyda 4	129	166	142
Bjørnsundhøgda 5	513	451	539	Bjørnsundhøgda 5	333	331	339
Brattli 6	202	283	309	Brattli 6	137	197	187
Kirkenes 7	74	111	62	Kirkenes 7	45	82	38
Karpdalen 8	238	132	155	Karpdalen 8	136	92	94
Korpfjell 9	615	448	-	Korpfjell 9	496	274	-
Grense Jakobselv 10	114	97	85	Grense Jakobselv 10	67	65	46
Ferdesmyra 11	32	33	28	Ferdesmyra 11	23	24	20
Kobolt Co				Arsen As			
Stasjon	2008	2015	2020	Stasjon	2008	2015	2020
Nyrud 1	1,0	1,1	0,9	Nyrud 1	0,3	0,4	0,2
Spurven 2	2,1	3,1	1,5	Spurven 2	0,5	1,1	0,3
Skrøytnes 3	10,3	19,9	13,1	Skrøytnes 3	1,4	3,8	0,9
96-høyda 4	7,3	10,1	9,6	96-høyda 4	1,3	2,1	0,9
Bjørnsundhøgda 5	24,0	18,3	22,4	Bjørnsundhøgda 5	3,0	3,9	1,3
Brattli 6	7,6	11,1	12,6	Brattli 6	1,5	2,5	1,2
Kirkenes 7	2,9	5,6	2,8	Kirkenes 7	0,5	1,0	0,3
Karpdalen 8	10,5	5,5	6,3	Karpdalen 8	1,3	1,2	0,6
Korpfjell 9	32,5	19,3	-	Korpfjell 9	3,2	3,0	-
Grense Jakobselv 10	4,1	3,5	3,2	Grense Jakobselv 10	0,7	0,6	0,3
Ferdesmyra 11	1,5	1,6	1,2	Ferdesmyra 11	0,5	0,3	0,2

3.2 Andre metaller (Ag, Cd, Cr, Pb, Sb, Zn) 2008, 2015, 2020

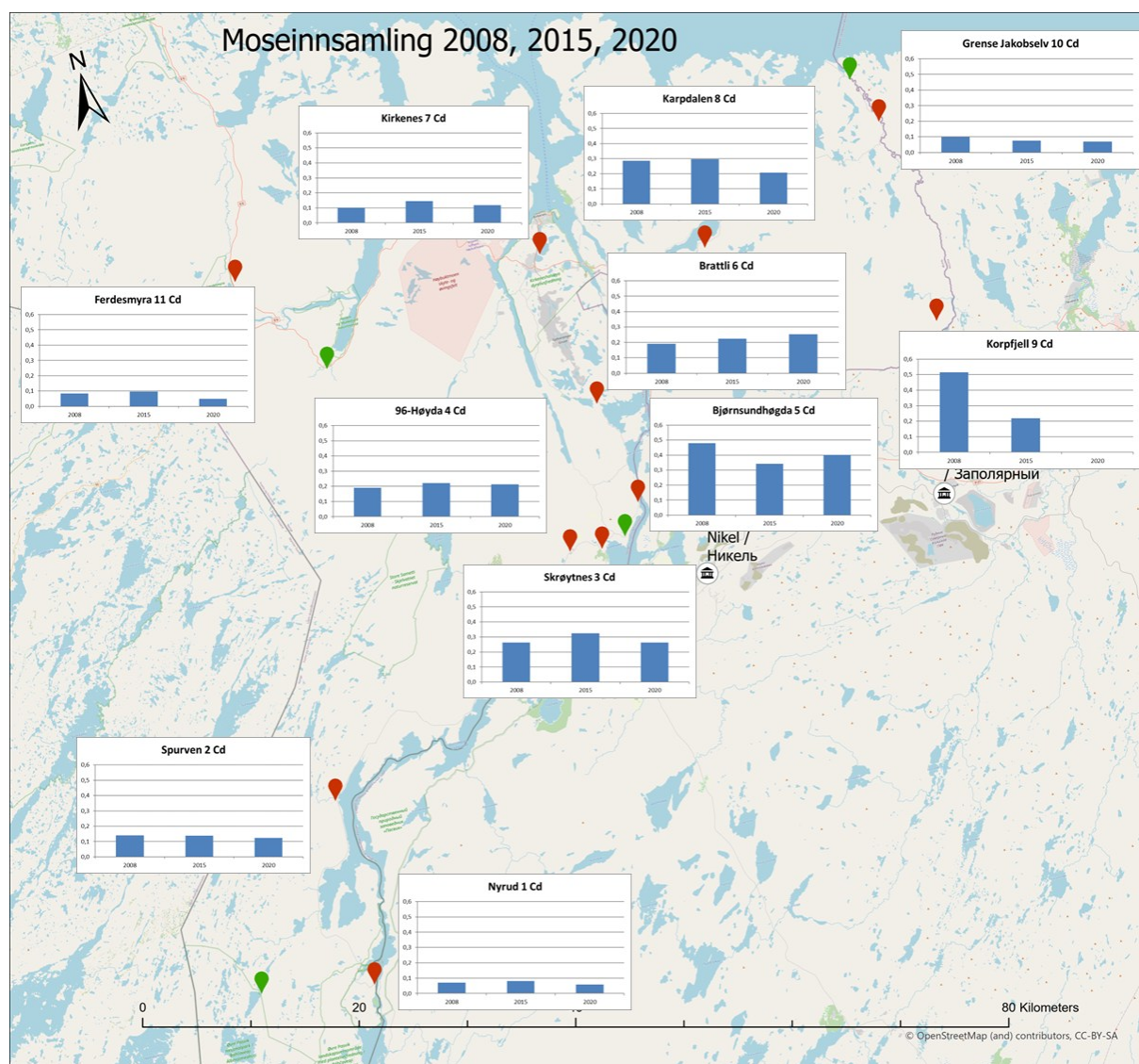
Som tidligere nevnt ble moseprøvene i 2008 analysert for 11 metaller. 10 av disse ble gjentatt i 2015 og 2020, det vil si Ni, Cu, Co, As, samt Ag, Cd, Cr, Pb, Sb og Zn, kun Hg ble utelatt. Derved finnes det tre resultater fordelt over 12 år og for disse 10 er det mulig å se både på geografisk fordeling og på tidsutvikling.

Resultatene for metallene Ag, Cd, Cr, Pb, Sb og Zn er presentert i Figur 12 (sølv), Figur 13 (kadmium), Figur 14 (krom), Figur 15 (bly), Figur 16 (antimon) og Figur 17 (sink). Detaljerte analyseresultater for disse seks metallene er gitt i Tabell 3.



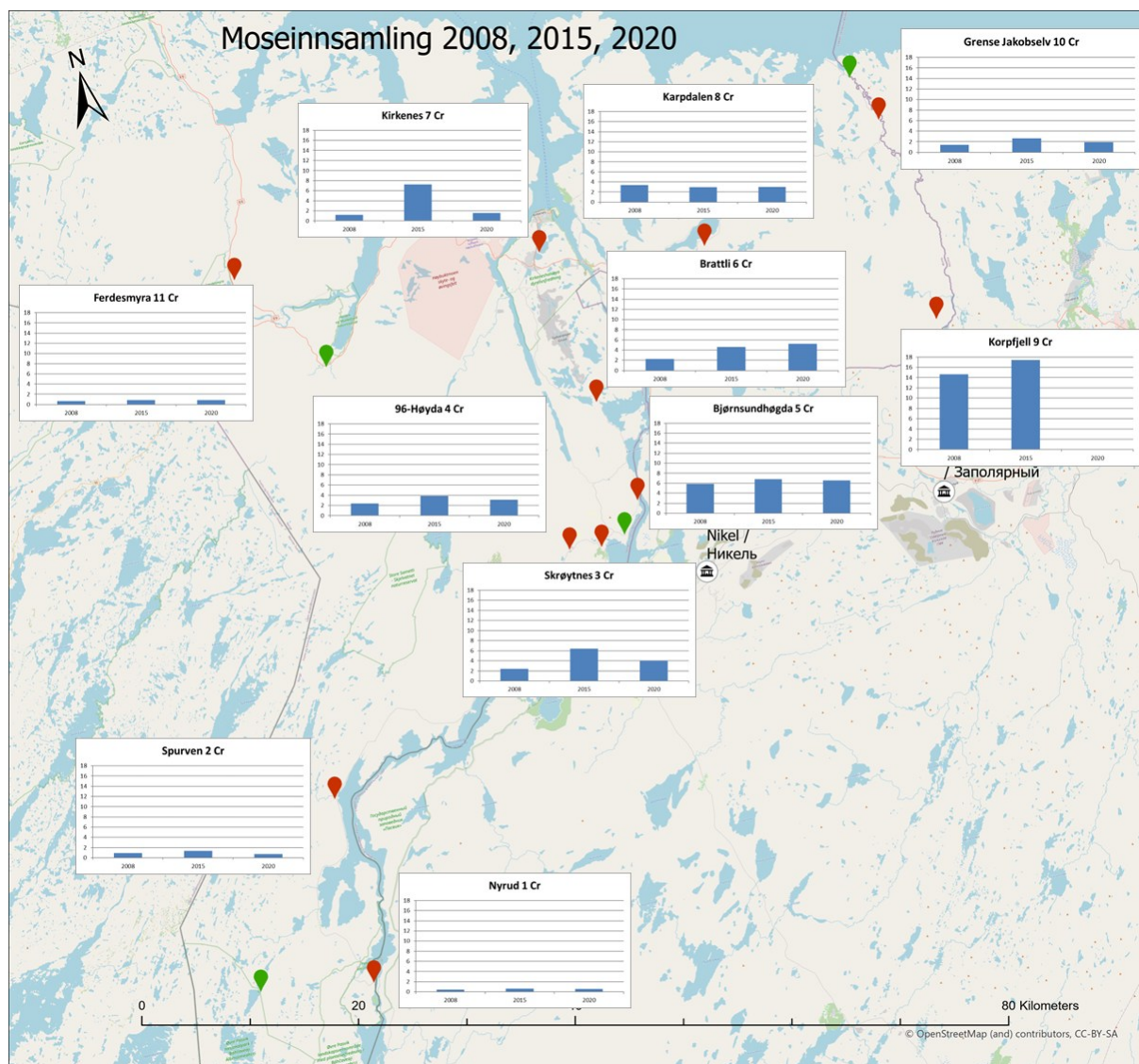
Figur 12: Analyseresultater for sølv (Ag) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 0,50, maksimumsverdien 0,45 ble observert på Skråtnes 3 i 2015. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarende 10^{-6} g).

For sølv (Ag) og kadmium (Cd) viser analyseresultatene et typisk mønster med høyeste verdier nær Nikelverket (Bjørnsundhøgda 5) og nedstrøms Nikelverket (Korpfjell 9), noe forhøyede verdier på lokaliteter litt unna (Skrøytnes 3, 96-høyda 4, Brattli 6 og Karpdalen 8) og relativt lave verdier oppstrøms (Nyrud 1, Spurven 2), langt unna (Grense Jakobselv 10) og på bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11. Dette mønsteret er mye det samme som sees for spormetallene fra smelteverkene (Ni, Cu, Co og As, se Figur 8 - Figur 11 i kap. 3.1). Funnene her kan indikere at det også er små utslipp av sølv (Ag) og kadmium (Cd) fra gruvedrift og smelteverk på russisk side.



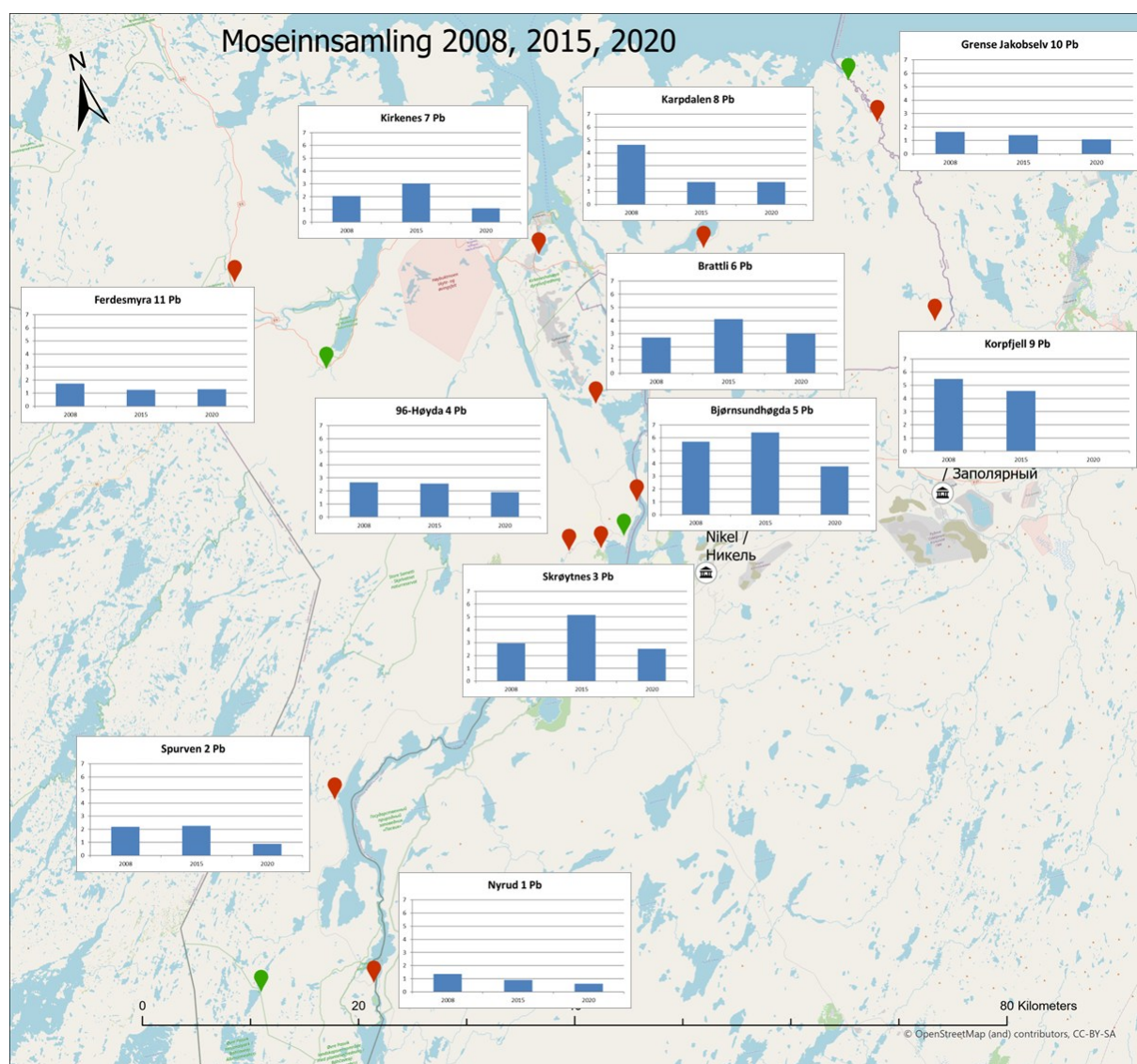
Figur 13: Analyseresultater for kadmium (Cd) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 0,60, maksimumsverdien 0,52 ble observert på Korpfjell 9 i 2008. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarende 10^{-6} g).

Krom (Cr) viser klart høyest konsentrasjon på Korpffjell 9 som ligger nedstrøms både Nikel og Zapoljarnyj. Men det er også litt forhøyede verdier på Skrøytne 3, Bjørnsundhøgda 5 og ved Kirkenes 7. Lokalitetene oppstrøms som Nyrud 1 og Spurven 2, samt bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11 viser lave verdier. Mønsteret for krom er ikke entydig og det kan indikere noe bidrag fra russiske smelteverk, men også mulige lokale kilder på norsk side.



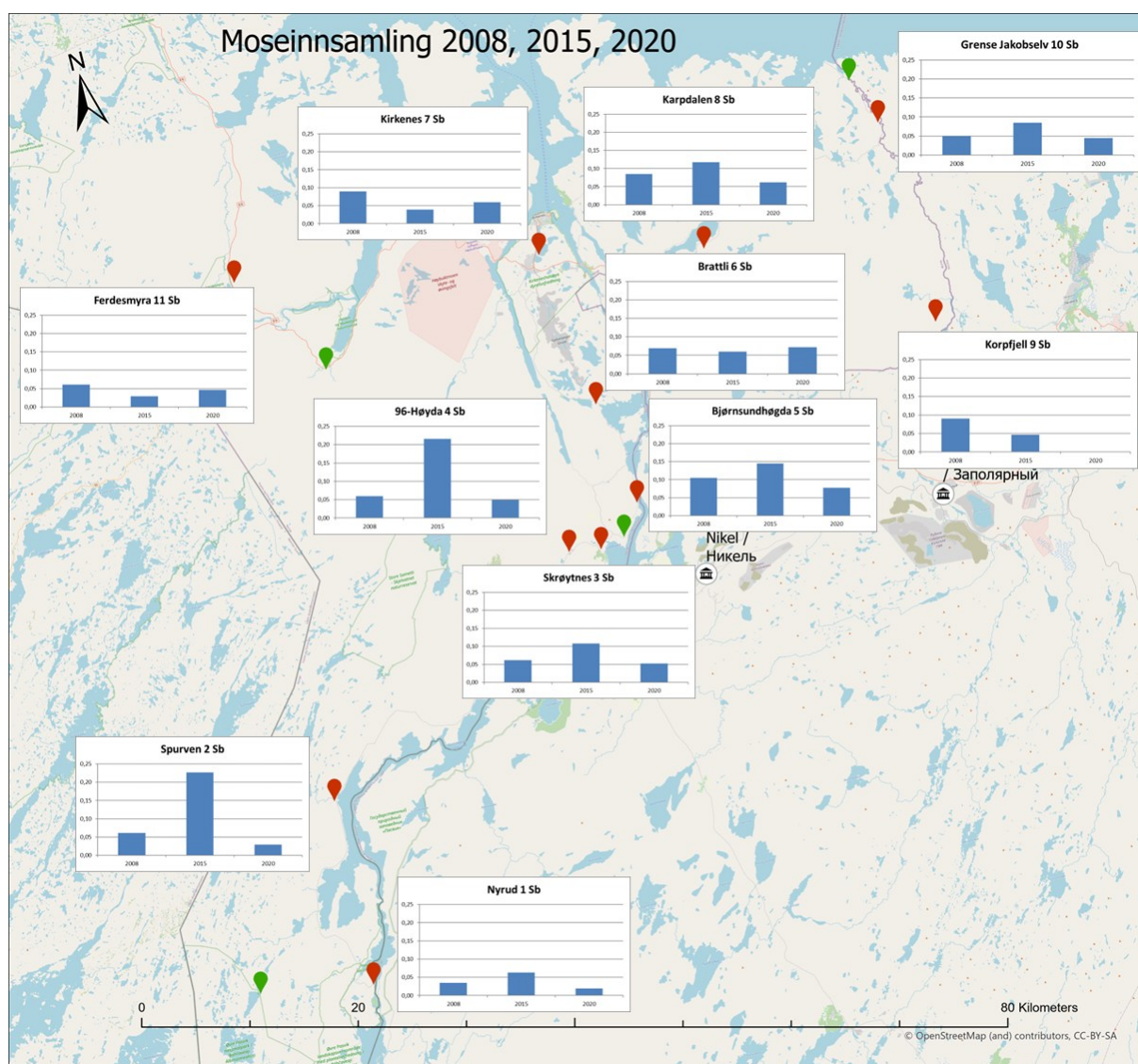
Figur 14: Analyseresultater for krom (Cr) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 18, maksimumsverdien 17,4 ble observert på Korpffjell 9 i 2015. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarende 10^6 g).

Bly (Pb, se Figur 15) viser forhøyede verdier nær Nikel (Bjørnsundhøgda 5) og nedstrøms Nikel/Zapoljarnyj (Korpfjell 9), men også noe forhøyede verdier ved andre stasjoner som Skrøytnes 3, Brattli 6, Kirkenes 7 (2015) og Karpdalen 8. Dette sammensatte mønsteret indikerer at det må være flere kilder til bly i området. Smelteverk kan gi et lite bidrag, jfr. verdiene på Korpfjell 9, men det er sannsynliggjort at det også finnes andre lokale kilder. En mulig kilde er russisk drivstoff kjøpt av nordmenn i Nikel og Zapoljarnyj (Chrastný mfl., 2018). Blytilsetning i bensin ble faset ut for flere tiår siden og utslippene i Norge har gått ned med mer enn 90 % siden 90-tallet. Likefullt er bly i russisk drivstoff en mulig/sannsynlig forklaring på de forhøyede verdiene av bly som sees på norsk side. Merk at dette er bly i «blyfritt» russisk drivstoff og ikke tilsatt bly. For ordens skyld, russisk drivstoff kjøpt av nordmenn i Russland og brukt i Norge vil regnes som norske utslipp.



Figur 15: Analyseresultater for bly (Pb) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 7, maksimumsverdien 6,4 ble observert på Bjørnsundhøgda 5 i 2015. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarer 10^{-6} g).

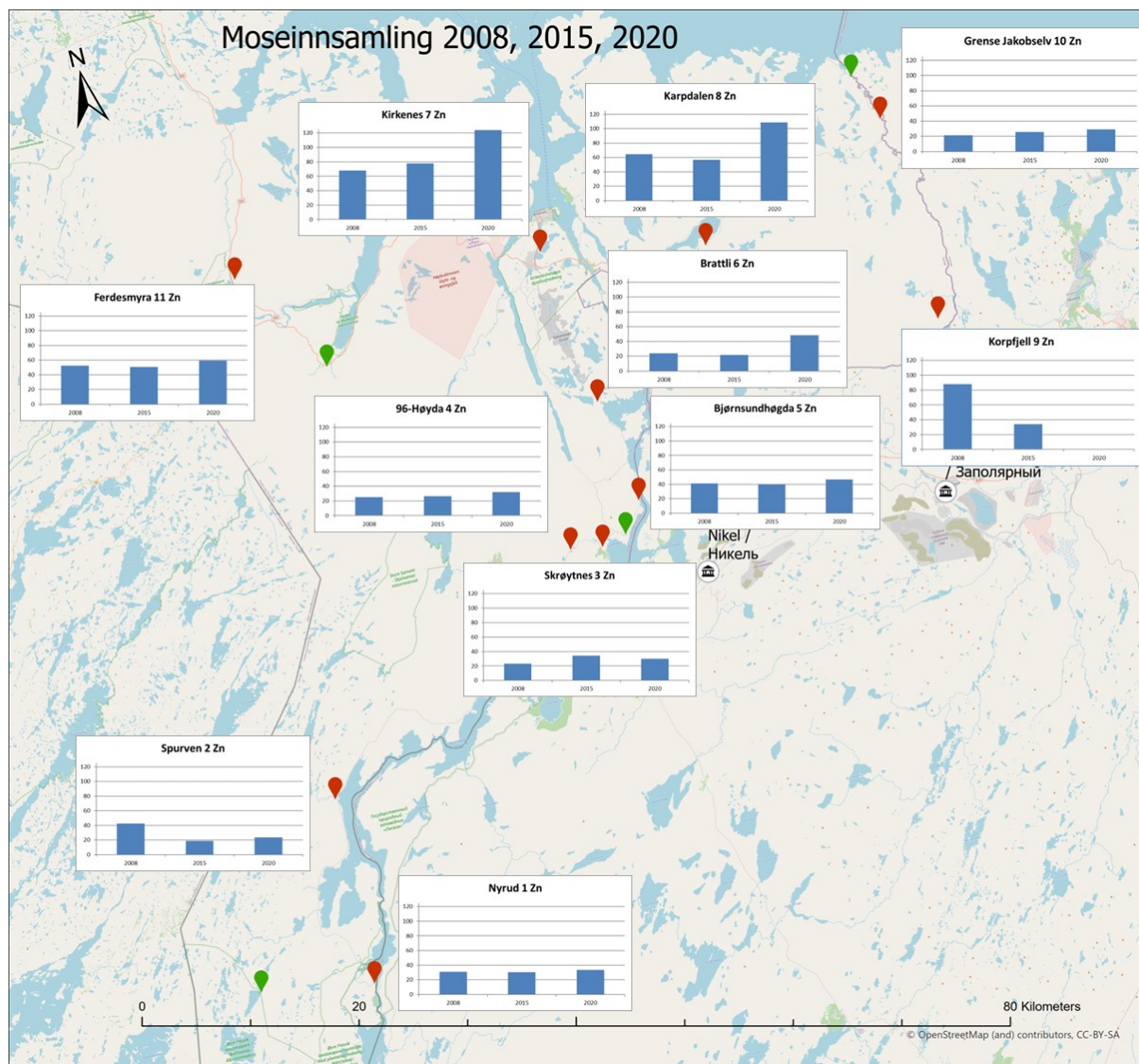
For antimon (Sb, se Figur 16) sees de høyeste verdiene på Spurven 2 (2015), 96-høyda 4 og Bjørnsundhøgda 5 (også disse 2015). Det er ikke mulig å trekke noen håndfaste konklusjoner om kildebidrag utfra disse resultatene.



Figur 16: Analyseresultater for antimon (Sb) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 0,25, maksimumsverdien 0,23 ble observert på Spurven 2 i 2015. Enhet: μg halvmetall/g tørket mose (mikrogram tilsvarer 10^{-6} g).

For sink (Zn, se Figur 17) ble den høyeste konsentrasjonen observert ved Kirkenes 7 i 2020. Også Karpdalen 8 (2020) hadde høy konsentrasjon. Bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11 hadde høyere verdier enn mange av lokalitetene nær russegrensa. Det er derfor vanskelig å trekke noen bastante konklusjoner når det gjelder kilder og kildebidrag.

En kompliserende faktor er at mose naturlig har betydelige konsentrasjoner av bl.a. Zn (Steinnes mfl. 2007a og 2007b). Dette gjør at resultatene for sink må tolkes med varsomhet. Mose har også et høyt naturlig nivå av Cu, men for Cu var bidraget fra forurensning så stort at det dominerer over naturlig Cu-innhold i planten, se Figur 9 og diskusjonen rundt Cu i kap. 3.1.



Figur 17: Analyseresultater for sink (Zn) i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 120, maksimumsverdien 124 ble observert på Kirkenes 7 i 2020. Enhet: $\mu\text{g metall/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarer 10^{-6} g).

Tabell 3: Analyseresultater for Ag, Cd, Cr, Pb, Sb og Zn i 2008, 2015 og 2020 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Maksimumsverdien for hver komponent er uthevet i **fet** skrift.
Enhet: µg/g tørket mose (mikrogram tilsvarer 10⁻⁶ g).

Sølv Ag				Kadmium Cd			
Stasjon	2008	2015	2020	Stasjon	2008	2015	2020
Nyrud 1	0,04	0,04	0,04	Nyrud 1	0,07	0,08	0,06
Spurven 2	0,05	0,09	0,07	Spurven 2	0,14	0,14	0,12
Skrøytnes 3	0,19	0,45	0,29	Skrøytnes 3	0,26	0,32	0,26
96-høyda 4	0,16	0,19	0,20	96-høyda 4	0,19	0,22	0,21
Bjørnsundhøgda 5	0,40	0,42	0,42	Bjørnsundhøgda 5	0,48	0,34	0,40
Brattli 6	0,15	0,30	0,30	Brattli 6	0,19	0,22	0,25
Kirkenes 7	0,07	0,13	0,06	Kirkenes 7	0,10	0,15	0,12
Karpdalen 8	0,18	0,11	0,19	Karpdalen 8	0,29	0,30	0,21
Korpfjell 9	0,30	0,30	-	Korpfjell 9	0,52	0,22	-
Grense Jakobselv 10	0,10	0,08	0,08	Grense Jakobselv 10	0,10	0,08	0,07
Ferdesmyra 11	0,07	0,05	0,04	Ferdesmyra 11	0,08	0,10	0,05
Krom Cr				Bly Pb			
Stasjon	2008	2015	2020	Stasjon	2008	2015	2020
Nyrud 1	0,4	0,6	0,5	Nyrud 1	1,4	0,9	0,6
Spurven 2	0,9	1,3	0,7	Spurven 2	2,2	2,3	0,9
Skrøytnes 3	2,4	6,4	4,0	Skrøytnes 3	2,9	5,1	2,5
96-høyda 4	2,4	3,8	3,1	96-høyda 4	2,7	2,6	1,9
Bjørnsundhøgda 5	5,9	6,8	6,5	Bjørnsundhøgda 5	5,7	6,4	3,8
Brattli 6	2,2	4,6	5,2	Brattli 6	2,7	4,1	3,0
Kirkenes 7	1,2	7,2	1,6	Kirkenes 7	2,0	3,0	1,1
Karpdalen 8	3,4	3,0	3,0	Karpdalen 8	4,6	1,7	1,7
Korpfjell 9	14,7	17,4	-	Korpfjell 9	5,5	4,6	-
Grense Jakobselv 10	1,4	2,6	1,9	Grense Jakobselv 10	1,6	1,4	1,1
Ferdesmyra 11	0,7	0,8	0,8	Ferdesmyra 11	1,7	1,3	1,3

Tabell forts.:

Antimon Sb				Sink Zn			
Stasjon	2008	2015	2020	Stasjon	2008	2015	2020
Nyrud 1	0,03	0,06	0,02	Nyrud 1	31	30	33
Spurven 2	0,06	0,23	0,03	Spurven 2	42	19	23
Skrøytnes 3	0,06	0,11	0,05	Skrøytnes 3	23	34	30
96-høyda 4	0,06	0,22	0,05	96-høyda 4	25	26	32
Bjørnsundhøgda 5	0,10	0,14	0,08	Bjørnsundhøgda 5	41	40	47
Brattli 6	0,07	0,06	0,07	Brattli 6	24	22	48
Kirkenes 7	0,09	0,04	0,06	Kirkenes 7	68	78	124
Karpdalen 8	0,08	0,12	0,06	Karpdalen 8	64	57	109
Korpfjell 9	0,09	0,05	-	Korpfjell 9	88	34	-
Grense Jakobselv 10	0,05	0,08	0,04	Grense Jakobselv 10	21	26	29
Ferdesmyra 11	0,06	0,03	0,05	Ferdesmyra 11	52	50	59

Fram til november 2015 var det drift ved AS Sydvarangers gruver i Bjørnevatn og ved oppredningsanlegget i Kirkenes. Dette kan ha gitt lokale utslipp av visse metaller, men innholdet av sporstoffer i malmen er ikke kjent i detalj. Det er planer om å gjenoppta gruvedrift i Bjørnevatn og selskapet opplyser nå i sin produktspesifikasjon at produktet de skal levere og selge hovedsakelig er jern (Fe, 68%), samt mindre mengder silika (SiO₂), magnesiumoksid (MgO), kalsiumoksid (CaO) og alumina (Al₂O₃)¹⁷. Hverken jern (Fe), silisium (Si), magnesium (Mg), kalsium (Ca) eller aluminium (Al) ble undersøkt i 2008 og det er vanskelig å vurdere et eventuelt lokalt bidrag fra gruvedrift på norsk side.

3.3 Korpfjell 9 2022

Som tidligere nevnt var det ikke mulig å samle mose på Korpfjell 9 høsten 2020 på grunn av snø- og værforhold. Korpfjell er desidert den vanskeligste lokaliteten i moseprogrammet og det kreves mye leting for å finne noen få moseplanter, jfr. Figur 7 på side 10. Men lokaliteten ble gjentatt i august 2022. Merk da at resultatene ikke er direkte sammenlignbare med resultatene fra 2020 siden smelteverket i Nikel ble lagt ned 23. desember 2020 og produksjonen i Zapoljarnyj ble lagt om. Likefullt gir 2022-resultatene fra Korpfjell verdifull informasjon om tilførsler av metaller rett nord for de russiske verkene.

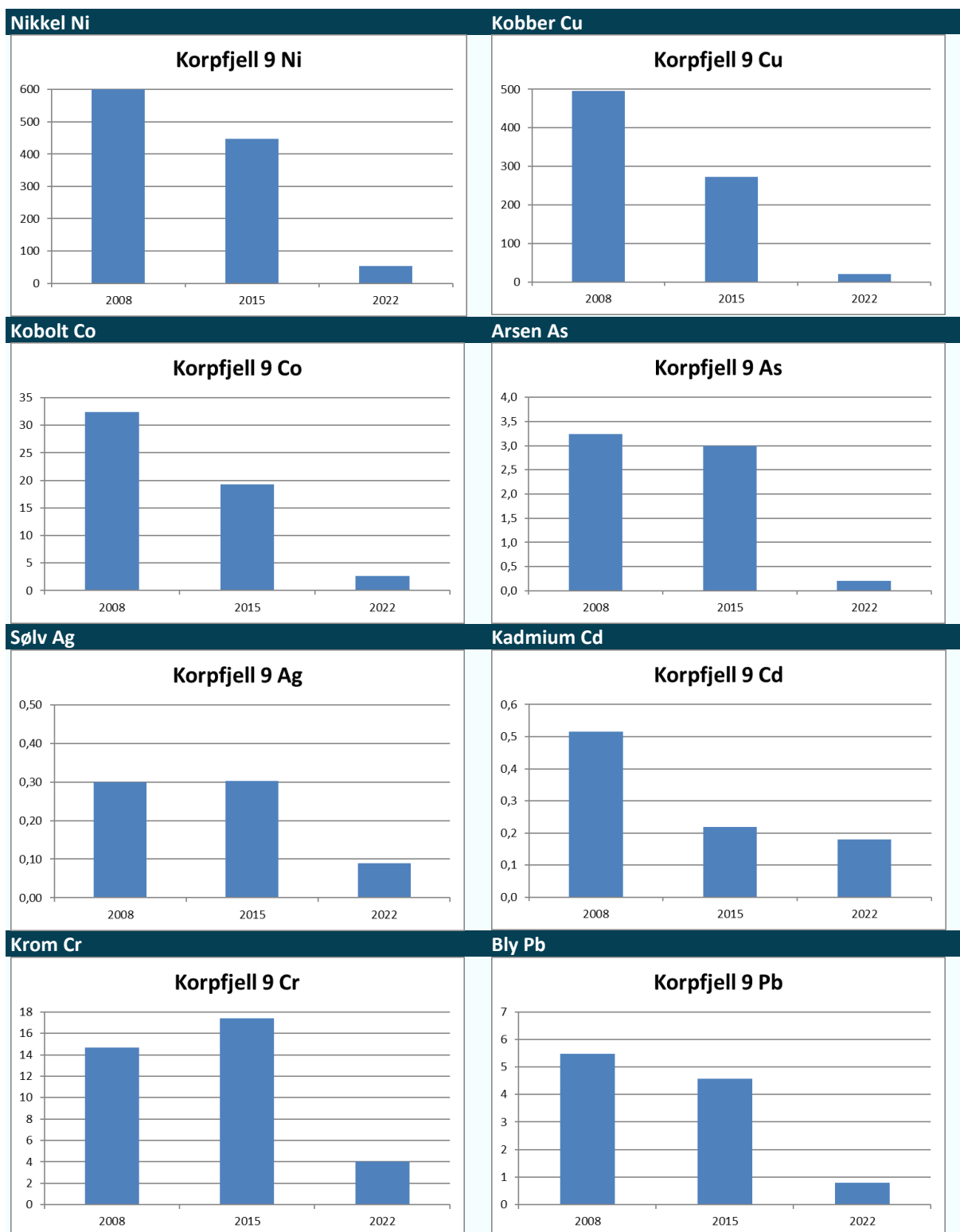
Som vist i Figur 18 er det en markert nedgang i konsentrasjonene i 2022 sammenlignet med 2008 og 2015. Dette gjelder for alle 10 komponentene som er analysert. Nedgangen er størst for de fire spormetallene fra nikkerverkene Ni, Cu, Co og As, de viser alle en nedgang på rundt 90% fra 2015 til 2022. Men også Cr og Pb viser sterk nedgang (~ 80%), det samme viser Ag (~ 70%). Men også Sb

¹⁷ <https://www.sydvarangergruve.no/produkt> [besøkt 16. februar 2025].

(~ 55 % nedgang) og Cd og Zn (begge ned om lag 20%) viser klar nedgang i 2022 sammenlignet med 2015.

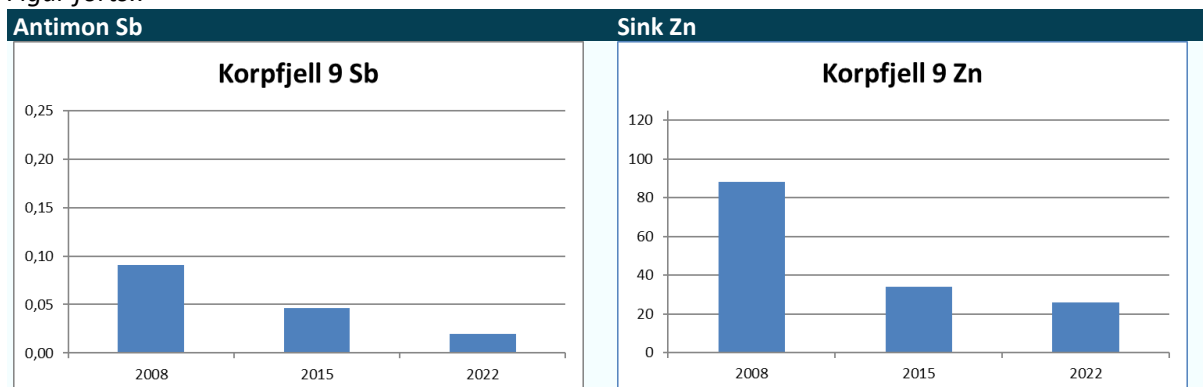
Merk at prøvene fra Korp fjell 9 på mange måter viser to ytterpunkter. 2015 er året da det ble installert ny produksjonslinje i Zapoljarnyj og utslippene gikk markant ned i årene som fulgte. Moseprøven fra 2015 gir et bilde av tilførslene rundt tidsrommet 2012 – 2015, det vil si da det fortsatt var relativt store utslipp både fra Zapoljarnyj og Nikel. 2022-prøven gir et bilde av tilførsler rundt 2020 – 2022, det vil si perioden da utslippene gikk jevnt nedover, en smelteovn i Nikel var nettopp lukket (2018), verket i Nikel ble lagt ned (23. desember 2020) og produksjonen i Zapoljarnyj lagt om. I 2021 var SO₂-utslippene reduserte med 85% sammenlignet med 2015. Det finnes ingen åpne, sikre tall for utviklingen når det gjelder utslipp av metaller, men det er opplagt at de også er kraftig reduserte.

Figur 18 viser tydelig nedgang for alle de undersøkte metallene fra 2015 til 2022. Men merk også at det var nedgang mellom 2008 og 2015 for nesten alle disse 10, eneste unntak er sølv (Ag) som er lik og krom (Cr) som viser 20% økning 2008 – 2015.



Figur 18: Analyseresultater for Ni, Cu, Co, As, Ag, Cd, Cr, Pb, Sb og Zn i 2008, 2015 og 2022 for lokalitet 9 Korpfjell. Merk at resultatene for 2008 og 2015 er det samme som vist i Tabell 2 og Tabell 3, samt i Figur 8 til Figur 17. Enhet: µg/g tørket mose. Det er ulik skala for de ulike komponentene.

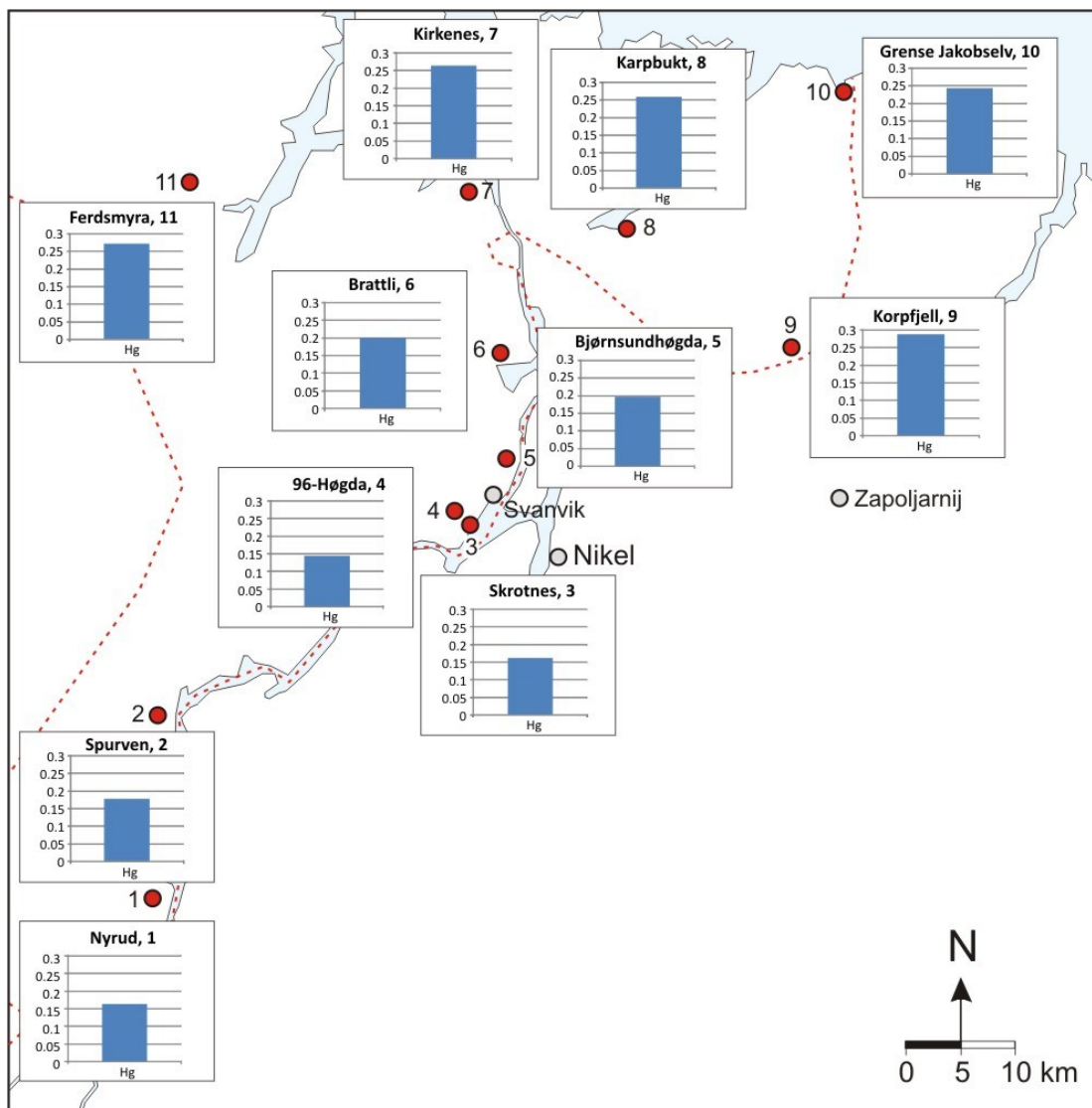
Figur forts.:



3.4 Kvikksølv (Hg) 2008

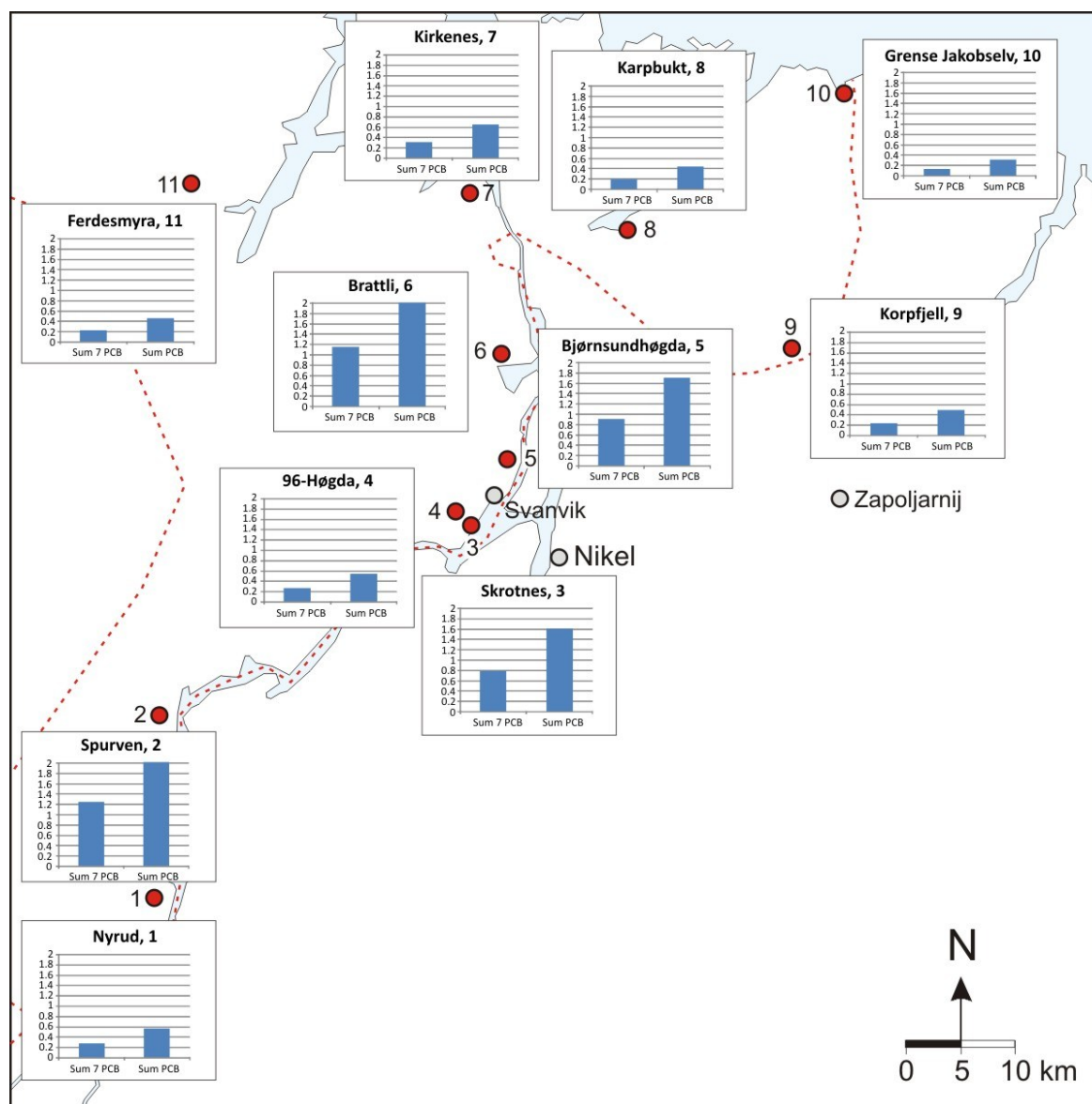
Analyseresultatene for kvikksølv (Hg) for innsamlingen i 2008 er vist i Figur 19. For kvikksølv er bildet mer sammensatt enn for spormetallene fra smelteverkene. Høyeste konsentrasjon observeres på Korpfjell 9, men også sankesteder som Kirkenes 7, Grense Jakobselv 10 og bakgrunnsstasjonen Ferdesmyra 11 viser høye konsentrasjoner. Stasjonene nær Nikel ligger lavere, omtrent som stasjonene oppstrøms som Nyrud 1 og Spurven 2. Konsentrasjonsfordelingen viser ikke noe tydelig signal som tilsier store utslipp fra smelteverk på russisk side. Det var også et av hovedfunnene i kvikksølvmålingene i luft og nedbør som ble gjennomført mellom august 2017 og mai 2018 (Berglen mfl., 2018).

Dette indikerer at kildene til Hg befinner seg langt unna og at langtransportert forurensning er hovedkilden til Hg i grenseområdene. Sammenlignet med andre områder i Norge lå grenseområdene likevel noe høyere enn gjennomsnittet for 2005 (Steinnes et al, 2007a).



Figur 19: Analyseresultater for kvikksølv (Hg) i 2008 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 0,30, maksimumsverdien 0,29 ble observert på Korp fjell 9. Enhet: $\mu\text{g Hg/g tørket mose}$ (mikrogram tilsvarende 10^{-6} g).

4 Resultater PCB 2008



Figur 20: Analyseresultater for PCB for de 11 sankestedene i grenseområdene. Resultatene er gitt både for Sum 7 PCB og Sum PCB¹⁸. Merk at skalaen går til 2,0, både maksimumsverdi for sum 7 PCB (1,25) og total PCB (2,07) ble observert ved Spurven 2. Enhet: ng PCB/g tørket mose (nanogram tilsvarende 10^{-9} g).

Analyseresultatene for polyklorerte bifenyl PCB for innsamlingen i 2008 er vist i Figur 20.

¹⁸ I sum 7 PCB inngår PCB 28 (2,4,4'-TriCB), PCB 52 (2,2',5,5'-TetCB), PCB 101 (2,2',4,5,5'-PenCB), PCB 118 (2,3',4,4',5-PenCB), PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-HexCB), PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-HexCB) og PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-HepCB). Sum PCB er en summering av de kvantifiserte komponentene og de PCB som er beregnet semikvantitativt pr. kloreringsgrad. Kongenere utover de oppgitte kan ikke kvantifiseres med god nok sikkerhet. Dette tallet må derfor anses som et estimat.

Generelt skal det bemerkes at konsentrasjonene av PCB er lave, mange av verdiene for enkelttyper av PCB er under deteksjonsgrensen. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet.

Høyeste verdier ble funnet på sankestedene Spurven 2, samt på Skrøytnes 3, Bjørnsundhøgda 5 og Brattli 6, altså nær Nikelverket. Sankestedene nord for Nikel, Karpdalen 8, Korp fjell 9 og Grense Jakobselv 10, viser lave verdier. Disse er nedstrøms i fremherskende vindretning om vinteren. Spurven er en bakgrunnsstasjon og her skulle det forventes lave verdier, men den er faktisk stasjonen med høyest konsentrasjon¹⁹. Det er vanskelig å trekke håndfaste konklusjoner ut ifra konsentrasjonsmønsteret og forskjellene mellom de 11 ulike stasjonene. Det er klart forhøyede konsentrasjoner nær Nikelverket, samtidig som det er lave verdier på Jarfjordefjellet nedstrøms i fremherskende vindretning. Likeledes sees de høyeste verdiene på bakgrunnsstasjonen Spurven 2. Uansett er det beroligende at det er lave konsentrasjoner på stasjonen nær Kirkenes.

En måte å bestemme lokalt bidrag vs. langtransportert bidrag er å se på forholdet mellom lett nedbrytbare og tungt nedbrytbare PCB'er. Hvis det er store, lokale utslipp som dominerer vil andelen lett nedbrytbare PCB'er være høy, mens hvis PCB overveiende skyldes langtransportert forurensning vil andelen tungt nedbrytbare PCB'er være høy. PCB 101 og PCB 118 er lett nedbrytbare, mens PCB 99 og PCB 149 er tungt nedbrytbare. Forholdene mellom PCB 99 og PCB 101 og mellom PCB 118 og PCB 149 er gitt i Tabell 4.

Når det gjelder forholdet PCB 101 / PCB 99 er det høyest ved Skrøytnes 3 og Bjørnsundhøgda 5, det vil si nær Nikelverket. For PCB 118 / PCB 149 er det omvendt. For disse er de laveste verdiene observert ved Skrøytnes 3 og Bjørnsundhøgda 5, mens det høyeste forholdet sees ved Korp fjellet 9, det vil si nord for Zapoljarnyj. Gitt disse til dels motstridende styrkeforholdene er det vanskelig å trekke bastante konklusjoner vedrørende bidrag fra lokale kilder vs. langtransportert bidrag ut fra disse tallene.

¹⁹ Prøvene for Spurven 2 og 96-høgda 4 ble kjørt to ganger som en kvalitetssjekk, med samme resultat.

Tabell 4: Analyseresultater for PCB 99, 101, 118 og 149 og forholdet mellom lett nedbrytbare og stabile PCB for de 11 sankestedene i grenseområdene. Enhet konsentrasjon: ng PCB/g tørket mose (nanogram tilsvarer 10^{-9} g).

	PCB 101 ng / g	PCB 99 ng / g	PCB 101 / PCB 99
Lokalitet	Lett nedbrytbar	Stabil	
Nyrud 1	0,05	0,02	2,09
Spurven 2	0,17	0,11	1,57
Skrøytne 3	0,15	0,04	4,25
96-høyda 4	0,04	0,02	2,12
Bjørnsundhøgda 5	0,17	0,06	2,86
Brattli 6	0,21	0,11	1,95
Kirkenes 7	0,05	0,02	2,20
Karpbukt 8	0,03	0,02	1,85
Korpfjell 9	0,03	0,02	1,83
Grense Jakobselv 10	0,02	0,01	2,01
Ferdesmyra 11	0,03	0,02	1,90
	PCB 118 ng / g	PCB 149 ng / g	PCB 118 / PCB 149
	Lett nedbrytbar	Stabil	
Nyrud 1	0,04	0,04	1,01
Spurven 2	0,15	0,15	1,05
Skrøytne 3	0,09	0,16	0,55
96-høyda 4	0,04	0,04	1,05
Bjørnsundhøgda 5	0,12	0,16	0,71
Brattli 6	0,13	0,17	0,72
Kirkenes 7	0,04	0,04	1,12
Karpbukt 8	0,03	0,03	1,19
Korpfjell 9	0,04	0,03	1,45
Grense Jakobselv 10	0,02	0,02	1,20
Ferdesmyra 11	0,03	0,03	1,16

12 varianter av PCB klassifiseres som «dioksinlike» (dl-PCB). Det vil si at de ligner på dioksiner med tanke på kjemisk struktur og giftighet. Sum av dl-PCB er vist i Tabell 5. Konsentrasjonsmønsteret av dl-PCB stemmer overens med forventningen om at smelteverksindustri er en kilde. Sankestedene nær Nikel (Skrøytnes 3 og Bjørnsundhøgda 5) viser de høyeste konsentrasjonene. Andre sankesteder nær Nikel viser noe lavere konsentrasjoner, mens bakgrunnsstasjoner som Spurven 2 og Ferdesmyra 11 er lave. Men også her er det paradokser i det Nyrud 1 har høyere konsentrasjoner enn for eksempel Karpdalen 8. Jarfjordområdet (lokalitetene 8 og 9) viser lave verdier.

Se ellers diskusjon i kap. 6 Resultater dioksiner 2008 vedr. AMAP-funnene på Kolahalvøya og Mattilsynets studier om dioksiner og dl-PCB i reinkjøtt i Finnmark.

Tabell 5: Analyseresultater for Sum dl-PCB i 2008 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Som dl-PCB regnes 33'44'-TeCB (PCB-77), 344'5-TeCB (PCB-81), 33'44'5-PeCB (PCB-126) og 33'44'55'-HxCB (PCB-169). Enhet: pg/g tørket mose (pikogram tilsvarende 10^{-12} g).

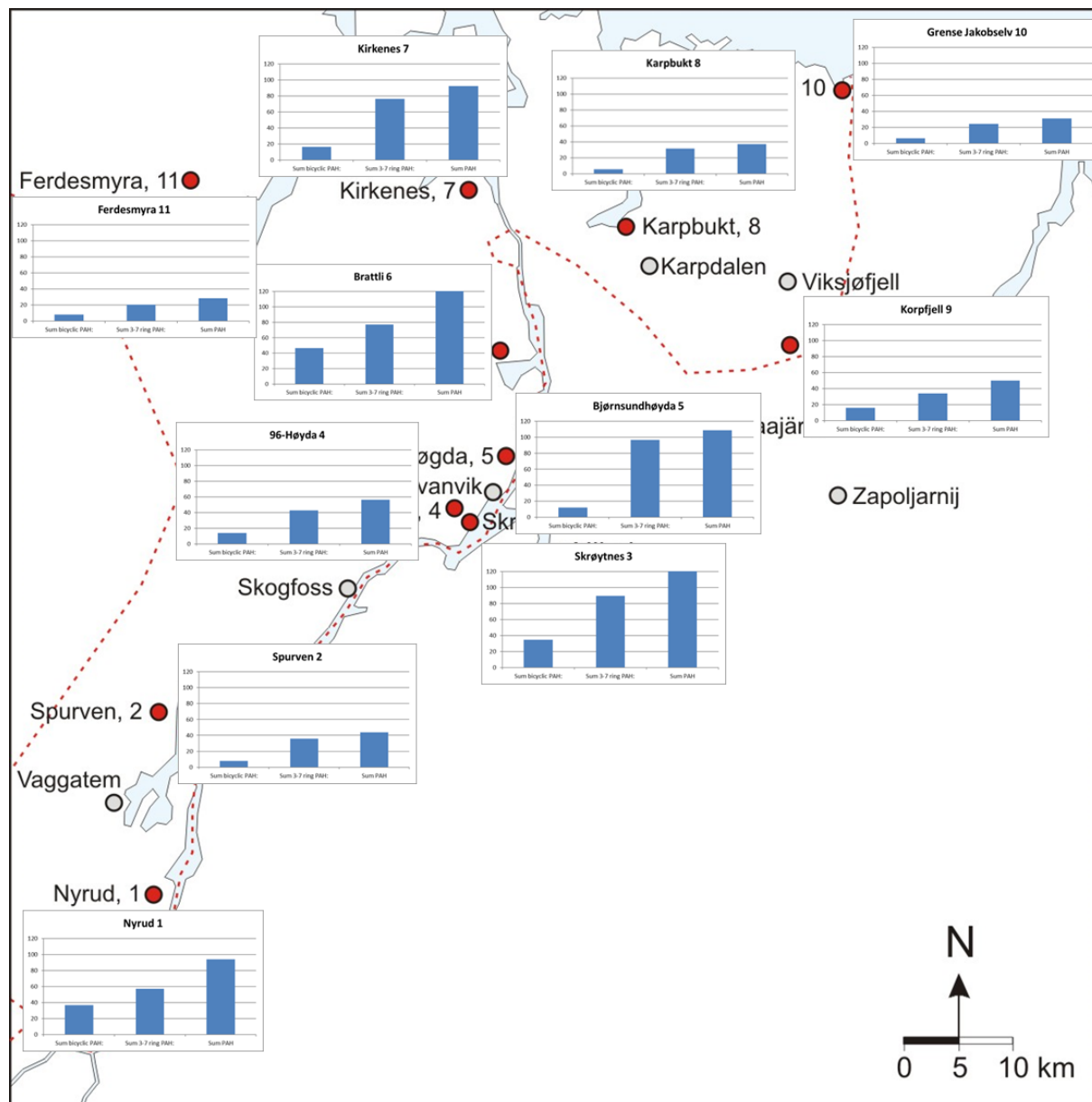
Sankested	dl-PCB
Nyrud 1	5,57
Spurven 2	3,33
Skrøytnes 3	15,01
96-høyda 4	6,52
Bjørnsundhøgda 5	15,45
Brattli 6	7,53
Kirkenes 7	7,99
Karpdalen 8	4,71
Korpfjell 9	5,93
Grense Jakobselv 10	3,76
Ferdesmyra 11	2,59

Delkonklusjon PCB

Konsentrasjonene av PCB er generelt lave. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet. For dioksinlignende PCB, dl-PCB, stemmer konsentrasjonsmønsteret overens med forventningen om at smelteverksindustri er en kilde i og med at lokaliteter nær Nikelverket viser de høyeste konsentrasjonene og bakgrunnsstasjoner viser lave konsentrasjoner. Men også her er det paradokser i det at Nyrud 1 har høyere konsentrasjoner enn for eksempel Karpdalen 8. Gitt det til dels motstridende mønsteret er det vanskelig å trekke bastante konklusjoner vedrørende bidrag fra lokale kilder vs. langtransportert bidrag.

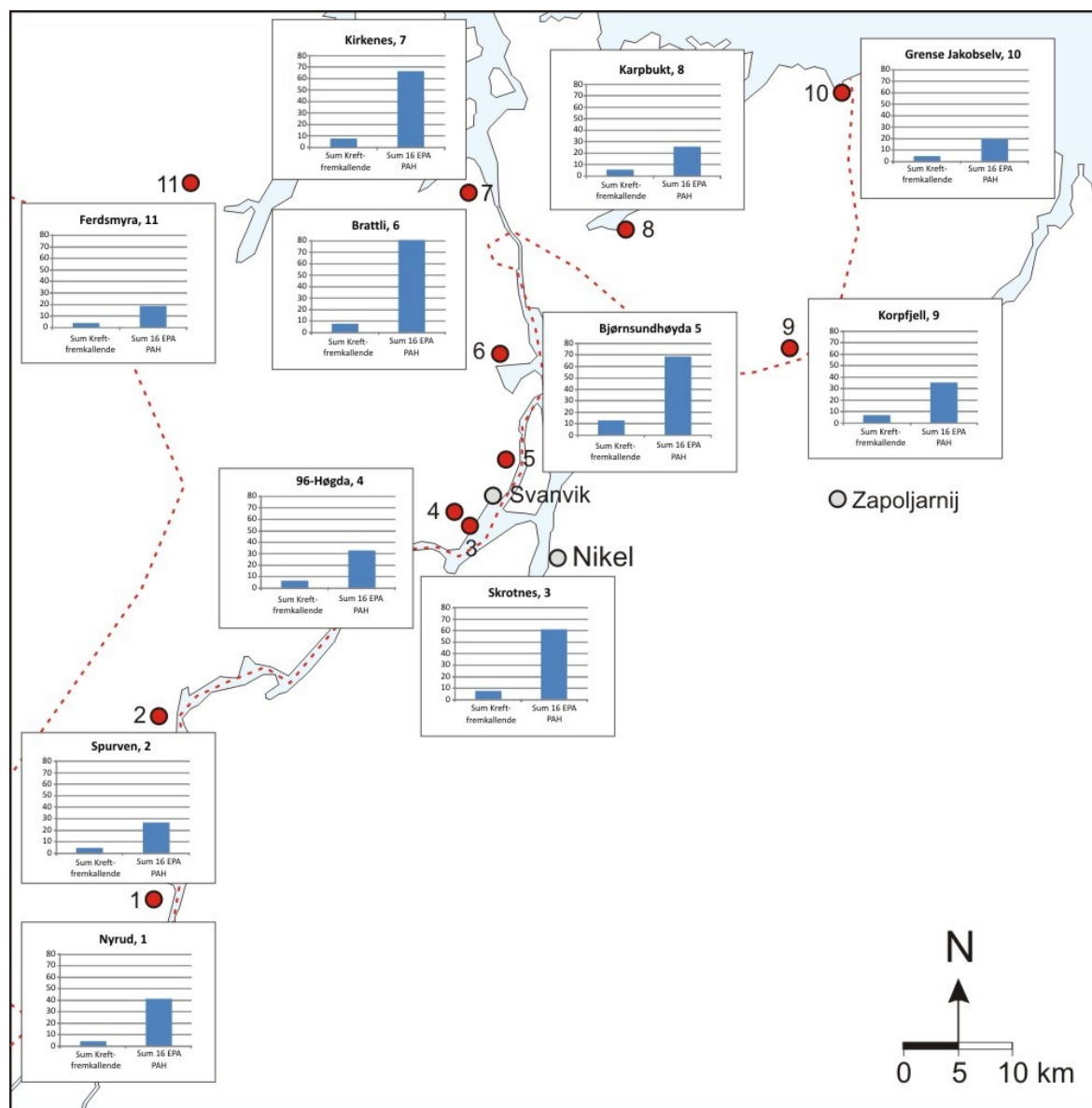
5 Resultater PAH 2008

Analyseresultatene for PAH gitt for 2-rings PAH, 3-7-rings PAH, samt totalen for innsamlingen i 2008 er vist i Figur 21. De høyeste verdiene av total PAH ble observert på Skrøytnes 3, Brattli 6, Bjørnsundhøgda 5, Nyrud 1 og Kirkenes 7. Andelen 3-7 ringer PAH varierte mellom 61 % (Nyrud 1) og 89 % (Bjørnsundhøgda 5) uten at det er mulig å se noe klart mønster i de tallene. Det skal også bemerkes at konsentrasjonene av PAH generelt er lave. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet. En annen kompliserende faktor er at naftalen utgjør en stor andel av total PAH, helt opp mot 30 % (Brattli 6).



Figur 21: Analyseresultater for 2-ringer PAH (venstre stolpe), 3-7 ringer PAH (midtre stolpe) og total PAH (høyre stolpe) for de 11 sankestedene i grenseområdene i 2008. Skalaen går til 120, maksimumsverdien for total PAH ble observert ved Skrøytnes 3 (124) og ved Brattli 6 (123). Enhet: ng PAH/g tørket mose (nanogram tilsvarende 10^{-9} g).

På 1970-tallet identifiserte det amerikanske miljøbyrået EPA tilsammen 16 ulike PAH'er som på ulike måter er problematiske med tanke på miljø og helse. Ofte summeres disse 16 og presenteres som en samlet sum under betegnelsen EPA 16 PAH. De 16 PAH'ene som inngår er nærmere bestemt acenaften, acenaftylen, antracen, fluoranten, fluoren, naftalen, fenantren, pyren, benz[a]antracen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[ghi]perylene, benzo[a]pyren, chrysen, dibenz[a,h]antracen og indeno[1,2,3-cd]pyren.



Figur 22: Analyseresultater for de seks PAH som regnes som kreftfremkallende (venstre stolpe) og EPA 16 PAH (høyre stolpe) for de 11 sankestedene i grenseområdene. Merk at skalaen går til 80, maksimumsverdien for sum 16 EPA PAH på 83 ble observert ved Brattli 6, maksimumsverdi for de seks kreftfremkallende PAH'ene ble observert ved Bjørnsundhøgda 5 (13). Enhet: ng PAH/g tørket mose (nanogram tilsvarer 10^{-9} g).

Seks PAH regnes som kreftfremkallende og summen av disse er presentert under ett²⁰.

Resultatene for de seks kreftfremkallende variantene og EPA 16 PAH er vist i Figur 22. Høyeste verdier av EPA 16 PAH ble funnet på sankestedene Brattli 6, Bjørnsundhøgda 5, Kirkenes 7 og Skrøytnes 3, altså stort sett nær Nikelverket. Når det gjelder de seks PAH'ene som regnes som kreftfremkallende observeres de høyeste konsentrasjonene på Bjørnsundhøgda 5.

Tabell 6: Analyseresultater for PAH i 2008 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Se tekst for forklaring av 16 EPA PAH og kreftfremkallende.

Enhet: ng/g tørket mose (nanogram tilsvarer 10⁻⁹ g).

Sankested	Sum bicyclic PAH	Sum 3-7 ring PAH	Sum alle	Sum 16 EPA PAH	Kreftfremkallende (6)
Nyrud 1	36,7	57,1	93,8	41,6	4,6
Spurven 2	8,0	35,6	43,6	27,0	5,2
Skrøytnes 3	34,6	89,5	124,1	61,4	7,5
96-høyda 4	13,9	42,6	56,4	33,2	6,8
Bjørnsundhøgda 5	12,0	96,8	108,7	69,1	13,2
Brattli 6	46,4	76,8	123,3	83,3	7,8
Kirkenes 7	16,2	76,4	92,6	67,0	8,0
Karpdalen 8	5,5	31,6	37,1	25,9	6,0
Korpfjell 9	16,1	33,9	49,9	35,7	7,2
Grense Jakobselv 10	6,5	24,5	31,0	19,4	4,8
Ferdesmyra 11	8,1	20,4	28,5	18,6	3,6

PAH fra vedfyring - reten

Reten, også kalt metyl isopropyl fenantren eller 1-metyl-7-isopropyl fenantren, kjemisk formel C₁₈H₁₈, er en PAH-komponent som stammer fra bartrær som inneholder kvaie. Den kan derfor brukes som indikator for vedfyring²¹. Reten inngår ikke i EPA 16 PAH. Resultatene for reten er vist i Tabell 7. Høyeste verdier av reten ble funnet på sankestedene Nyrud 1 og Skrøytnes 3, men også Bjørnsundhøgda 5 og Brattli 6 viste noe høyere verdier enn de andre stasjonene. Prosentvis hadde Kirkenes 7 lavest andel reten (1,6 % av total PAH), mens Nyrud 1 (14,2 %) og Skrøytnes 3 (9,2 %) hadde høyest andel reten sammenlignet med total mengde PAH. For de andre lokalitetene lå andelen reten typisk mellom 3 og 6 %. Reten fra vedfyring kan altså delvis forklare de høye verdiene av PAH på lokalitetene Nyrud 1 og Skrøytnes 3.

²⁰ benz[a]antracen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]pyren, dibenz[a,h]antracen og indeno[1,2,3-cd]pyren.

²¹ Strengt tatt er det en indikator for vedfyring med bartrær, det vil si furu, men det fyres både med furu og bjørk i Pasvik.

Tabell 7: Analyseresultater for reten i 2008 for de 11 sankestedene i grenseområdene.
Maksimumsverdiene er uthevet i **fet** skrift. Enhet: pg/g tørket mose (pikogram tilsvarende 10^{-12} g).

Sankested	Reten
Nyrud 1	13,3
Spurven 2	2,47
Skrøytnes 3	11,4
96-høyda 4	1,96
Bjørnsundhøgda 5	4,58
Brattli 6	3,07
Kirkenes 7	1,48
Karpdalen 8	1,09
Korpfjell 9	1,59
Grense Jakobselv 10	1,43
Ferdesmyra 11	1,14

Delkonklusjon PAH

Konsentrasjonene av PAH er generelt lave. Lave verdier medfører også økt måleusikkerhet. En annen kompliserende faktor er at naftalen utgjør en stor andel av total PAH, helt opp mot 30 % (Brattli 6). Konsentrasjonsmønsteret når det gjelder PAH viser til dels høyere verdier nær Nikelverket sammenlignet med lokaliteter lenger unna. Samtidig er det ikke noe klart og entydig bilde. PAH stammer også fra forbrenning. En mulig forklaring på forhøyede verdier ved lokaliteter nær Nikel og nær Svanvik kan rett og slett være at dette er områder med spredt bebyggelse og derved spredte tilfeller med fyring/forbrenning. Nikelverket var uansett ikke den eneste kilden til PAH i området.

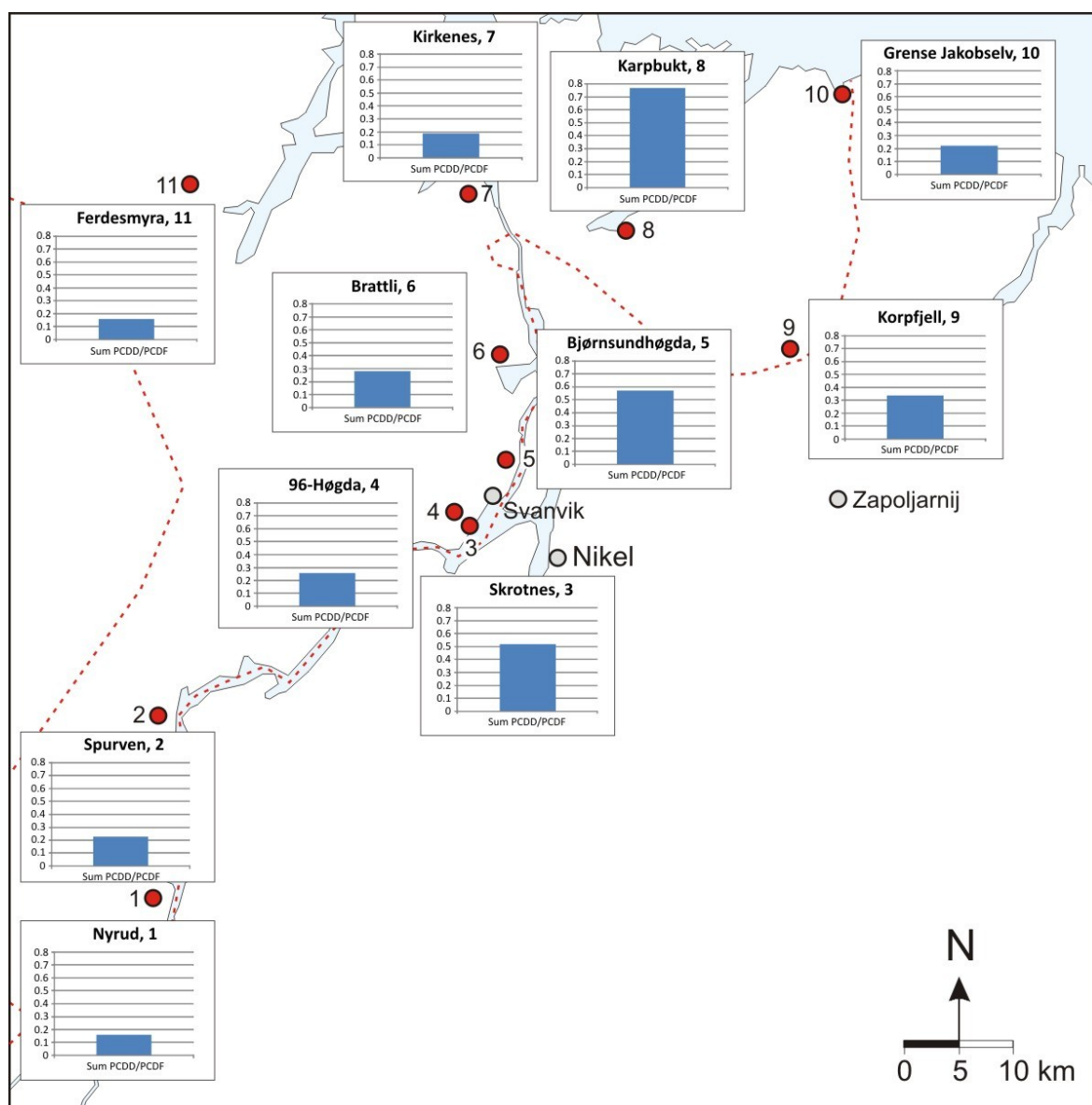
6 Resultater dioksiner 2008

Analyseresultatene for dioksiner viser generelt lave verdier. Mange av de enkelte dioksinene viser konsentrasjoner lavere enn deteksjonsgrensen. Dioksinkonsentrasjonene gitt som sum av polyklorerte dibenzofuraner (PCDF) og polyklorerte dibenzo-p-dioksiner (PCDD) for innsamlingen i 2008 er vist i Figur 23 og i Tabell 8. Høyeste verdier ble funnet på sankestedene Karpbukt 8 (0,77 pg dioksin TE (WHO)/g tørket mose)²² etterfulgt av Bjørnsundhøgda 5 (0,57) og Skrøytnes 3 (0,52).

På 1990-tallet ble det avdekket at AS Sydvaranger brukte sjøvann i røstingsprosessen ved oppredningsverket nede i Kirkenes. Dette ga i sin tur utslipp av dioksiner, som tidligere nevnt inneholder sjøvann klor som kan danne dioksiner ved forbrenning ved høye temperaturer. Utover 90-tallet var det flere ulike måleprosjekter for å kartlegge dioksinnivåene i og rundt Kirkenes.

Det ble også gjennomført prøvetaking av reinkjøtt. Senhøstes 2002 ble det tatt prøver av reinsdyrkjøtt fra fem ulike beitedistrikter i Finnmark. Hver av prøvene var en samleprøve fra fem dyr. Prøvene ble analysert for dioksiner og dioksinlignende PCB (dl-PCB) ved Norges veterinærhøgskole og Folkehelseinstituttet i 2003. To av prøvene, fra Svanvik og Jarfjord, viste forhøyede verdier av dioksiner og PCB. Begge prøvene var over EUs grenseverdi for dioksiner (2 pg TE/g fett). Det var indikasjoner på at forurensningen stammet fra metallindustri (Sletta, 2007). Svanvik og Jarfjord ligger hhv. vest for og nord for Nikel. Svanvik ligger nær Nikel, mens Jarfjord ligger nedstrøms i fremherskende vindretning vinterstid. Det er ikke kjent hvor disse dyrene hadde sitt sommer- og vinterbeite.

²² Helseskader ved dioksiner og dioksinlignende PCB vurderes samlet. De ulike forbindelsene har ulike skadeevne og har derfor fått en vektingsfaktor, såkalt toksisk ekvivalensfaktor (TEF). Det mest skadelige dioksinet er TCDD som har TEF = 1. Andre dioksiner har TEF mellom 1 og 0,0003. Se: <https://www.fhi.no/kl/miljogifter/fakta/dioksiner-og-dl-pcb-faktaark/#skadeevne-mles-i-toksiske-ekvivalenter-te> [besøkt 13. februar 2025].



Figur 23: Analyseresultater for dioksiner for de 11 sankestedene i grenseområdene. Resultatene er gitt for Sum PCDD/PCDF. Merk at skalaen går til 0,80, maksimumsverdien 0,77 ble observert på Karpdalen 8. Enhet: pg dioksin TE (WHO)/g tørket mose (pikogram tilsvarende 10^{-12} g). Merk at det er brukt TE-definisjonen fra Van Den Berg et al. (1998) for å utarbeide resultatene.

De norske prøvene var en oppfølging av prøver tatt i forbindelse med AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) som ble tatt i 2000-2001 der det ble funnet høye nivåer av dioksiner i reinsdyr fra Russland. Av totalt 12 russiske samleprøver, ville åtte overskride EUs daværende grenseverdi for dioksiner gjeldende for EU/EØS. De høyeste muskelkonsentrasjoner ble funnet på Kolahalvøya. Konsentrasjonsforholdet mellom de ulike dioksintypene indikerte at dyrene hadde beitet i nærheten av et punktutslipp. Beviset for dette er at det ble funnet mye PCDF i forhold til PCDD (igjen Sletta, 2007).

Disse funnene gjorde at Mattilsynet gikk ut med kostholdsråd om å begrense inntaket av reinkjøtt for storkonsumenter (Mattilsynet, 2006)²³. Dette rådet ble opprettholdt i mange år og var også bakgrunn for at det ble foretatt nye reinprøver under TEC-prosjektet i 2013-2015 (Hansen et al., 2017, Nalbandyan-Schwarz et al. (2024).

Forholdet mellom PCDF og PCDD

Forholdet mellom polyklorerte dibenzofuraner (PCDF) og polyklorerte dibenzo-p-dioksiner (PCDD) kan indikere om prøven er tatt i nærheten av en punktkilde. Nær punktkilder vil konsentrasjonene av PCDF være høyere enn konsentrasjonene av PCDD.

Tabell 8: Analyseresultater for dioksiner i 2008 for de 11 sankestedene i grenseområdene. Resultatene er gitt for PCDD og PCDF og dl-PCB, samt forholdet mellom PCDF og PCDD. Enhet: pg TE (WHO)/g tørket mose (picogram tilsvarer 10^{-12} g). Forholdet PCDF/PCDD i høyre kolonne er ubenevnt. Merk at det er brukt TE-definisjonen fra Van Den Berg et al. (1998) for å utarbeide resultatene.

Sankested	Sum PCDD TE (WHO)	Sum PCDF TE (WHO)	Sum PCDD/ PCDF	Sum TE- PCB	PCDF / PCDD
Nyrud 1	0,10	0,06	0,16	0,08	0,60
Spurven 2	0,16	0,07	0,23	0,05	0,44
Skrøytnes 3	0,15	0,37	0,52	0,16	2,47
96-høyda 4	0,13	0,13	0,26	0,08	1,00
Bjørnsundhøgda 5	0,17	0,40	0,57	0,16	2,35
Brattli 6	0,11	0,17	0,28	0,08	1,55
Kirkenes 7	0,09	0,10	0,19	0,08	1,11
Karpdalen 8	0,09	0,68	0,77	0,07	7,56
Korpfjell 9	0,17	0,18	0,34	0,09	1,06
Grense Jakobselv 10	0,10	0,12	0,22	0,07	1,20
Ferdesmyra 11	0,10	0,06	0,16	0,05	0,60

PCDF/PCDD-forholdet er klart lavest ved Nyrud 1, Spurven 2 og Ferdesmyra 11, se høyre kolonne i Tabell 8. Disse tre er alle bakgrunnsstasjoner langt fra mulige kilder. Samtidig er forholdet mellom PCDF og PCDD klart høyest ved Karpbukt 8, Skrøytnes 3, Bjørnsundhøgda 5 og Brattli 6. Så langt stemmer dette bra med hypotesen om at det kan være utslipp fra metallindustri i grenseområdene. De siste fire lokalitetene 96-høyda 4, Kirkenes 7, Korpfjell 9 og Grense Jakobselv 10 viser alle PCDF/PCDD-forhold rundt 1.

²³ Den opprinnelige nettsiden til Mattilsynet er borte, men saken ble omtalt i media, blant annet <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/gift-i-reinkjott-er-russernes-feil-1.3190687> [publisert 14. august 2007, besøkt 17. februar 2025]. Merk også at en del medier tilskrev de høye nivåene til russiske smelteverk, dette er faglig diskutabelt gitt at det var høye dioksinutslipp i Kirkenes fram til 1990-tallet.

Delkonklusjon dioksiner

Analyseresultatene for dioksiner viser generelt lave verdier. Mange av de enkelte dioksinene viser konsentrasjoner lavere enn deteksjonsgrensen. Konsentrasjonsmønsteret når det gjelder dioksiner viser til dels noe forhøyede verdier nedstrøms Nikelverket og nær Nikelverket sammenlignet med lokaliteter lenger unna. Også forholdet mellom PCDF og PCDD kan indikere punktutslipp fra metallindustri. Verdiene fra lokaliteten i Kirkenes er lave, dette er beroligende med tanke på forhistorien og dioksinutslippene på 1990-tallet.

7 Referanser og videre lesning

Alle lenker er gyldige pr. 17. februar 2025

- Aas, W., Eckhardt, S., Evangeliou, N., Hjellbrekke, A.-G., Platt, S.M., Solberg, S., Yttri, K.E. (2024). *Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway. Annual Report 2023* (Norwegian Environment Agency report, M-2799|2024) (NILU report, 19/2024). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <https://hdl.handle.net/11250/3135160>
- Aspholm, P.E., Kniha, D., Myking, T., Bringemeier, A., Michel, P., Fongen, M., Nyeggen, H., Bjerke, J.W. (2023). *Konsentrasjoner av tungmetaller i etasjemose og furumose og dekning av makrolav på trær i Pasvik og Jarfjord 2023*. NIBIO Notat på oppdrag for Statsforvalteren i Troms og Finnmark. Dato: 12.12.23.
- Aspholm, P.E., Kniha, D., Bringemeier, A., Michel, P., Fongen, M., Myking, T. (2024). *Analyser av tungmetaller og andre elementer i furunåler fra prøveflater i Pasvik og Jarfjord i 2023*. NIBIO Notat på oppdrag for Statsforvalteren i Troms og Finnmark. Dato: 26.11.24.
- Berg, T. og Steinnes, E. (1997). Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: From relative to absolute values. *Environ. Pollut.* 98, 61-71. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00103-6)
- Berglen, T.F., Nilsen, A.-C., Vadset, M., Uggerud, H.T., Hak, C., Andresen, E. (2022). *Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet, årsrapport 2021* (Miljødirektoratet rapport, M-2321|2022) (NILU rapport, 22/2022). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <https://hdl.handle.net/11250/3015319>
- Chrastný, V., Šillerová, H., Vítková, M., Francová, A., Jehlička, J., Kocourková, J., Aspholm, P.E., Nilsson, L.O., Berglen, T.F., Jensen, H.K.B., Komárek, M. (2018). Unleaded gasoline as a significant source of Pb emissions in the Subarctic. *Chemosphere*, 193, 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.031>
- Halse, A.K., Uggerud, H., Schlabach, M., Steinnes, E. (2017). *PAH measurements in air and moss around selected industrial sites in Norway 2015* (Norwegian Environment Agency Report, M-804|2017) (NILU report, 23/2017). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <https://nilu.no/publikasjon/29915/>
- Halvorsen, H.L., Pfaffhuber, K.A., Nipen, M., Bohlin-Nizzetto, P., Berglen, T.F., Nikiforov, V., Hartz, W. (2024). *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation. Annual report 2023* (Norwegian Environment Agency report, M-2801|2024) (NILU report, 18/2024). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <https://hdl.handle.net/11250/3164318>
- Hansen, M.D., Nøst, T.H., Heimstad, E.S., Evenset, A., Dudarev, A.A., Rautio, A., Myllynen, P., Dushkina, E.V., Jagodic, M., Christensen, G.N., Anda, E.E., Brustad, M., Sandanger, T.M. (2017). The Impact of a Nickel-Copper Smelter on Concentrations of Toxic Elements in Local Wild Food from the Norwegian, Finnish, and Russian Border Regions. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 694. Nedlastbar fra: <https://doi.org/10.3390/ijerph14070694>
- Harmens, H., Norris, D.A., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Coşkun, M., Dam, M., De Temmerman, L., Fernández, J.A., Frolova, M., Frontasyeva, M., González-

- Miqueo, L., Grodzińska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kvietkus, K., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S.H., Mankovská, B., Pesch, R., Rühling, A., Santamaria, J.M., Schröder, W., Spiric, Z., Suchara, I., Thöni, L., Urumov, V., Yurukova, L., Zechmeister, H.G. (2010). Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe. *Environ. Pollut.*, 158, 3144-3156. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.039>
- Harmens, H., Norris, D.A., Sharps, K., Mills, G., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Cucu-Man, S.M., Dam, M., De Temmerman, L., Ene, A., Fernandez, J.A., Martinez-Abaigar, J., Frontasyeva, M., Godzik, B., Jeran, Z., Lazo, P., Leblond, S., Liiv, S., Magnusson, S.H., Mankovska, B., Karlsson, G.P., Piispanen, J., Poikolainen, J., Santamaria, J.M., Skudnik, M., Spiric, Z., Stafilov, T., Steinnes, E., Stihl, C., Suchara, I., Thoni, L., Todoran, R., Yurukova, L., Zechmeister, H.G. (2015). Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some "hotspots" remain in 2010. *Environ. Pollut.*, 200, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.036>
- Mattilsynet (2006). "Høye nivåer av miljøgifter i reinkjøtt fra Øst-Finnmark", kostholdsråd fra Mattilsynet, opprinnelig nettside http://www.mattilsynet.no/mat/matttrygghet/miljogifter/h_oye_niv_er_av_milj_gifter_i_reinkj_ttt_fra_st_finnmark_50055. Nettartikkelen på FHLs sider er borte, men den er blant annet omtalt i <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/gift-i-reinkjott-er-russernes-feil-1.3190687> [publisert 14. august 2007, besøkt 17. februar 2025].
- Nalbandyan-Schwarz, A., Bondo Pedersen, K., Evenset, A., Heimstad, E., Sandanger, T.M., Myllynen, P., Rautio, A. (2024). Combined Contaminant Levels from Local Harvested Food Items in the Norwegian–Finnish–Russian Border Region. *Resources*, 13(4), 54. <https://doi.org/10.3390/resources13040054>
- Schlabach, M., Steinnes, E., Uggerud, H.T. (2016). *Atmospheric deposition of organic contaminants in Norway: National moss survey 2015* (Norwegian Environment Agency report, M-604|2016) (NILU report, 30/2016). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <http://hdl.handle.net/11250/2428266>
- Sletta, A. (2007). *Høye nivåer av dioksiner og PCB i reinskjøtt fra Finnmark*. Notat Mattilsynet, ref. 2005/41136.
- Steinnes, E., Frantzen, F., Johansen, O., Rambæk, J.P., Hanssen, J.E. (1988). *Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1985* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 334/88). Oslo: Statens forurensningstilsyn.
- Steinnes, E., Røyset, O., Vadset, M., Johansen, O. (1993). *Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1990* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 523/93) (TA-947/1993). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2016011108206
- Steinnes, E. (1995). *Miljøovervåking i Rana. Forandring i nedfall av tungmetaller i perioden 1989-1993, studert ved analyse av mose* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 614/95) (TA-1230/1995). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2015112408070

- Steinnes, E., Berg, T., Vadset, M., Røyset, O. (1997). *Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. landsomfattende undersøkelse i 1995* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 691/97) (TA-1436/1997). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2015112408001
- Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E., Uggerud, H., Vadset, M. (2001). *Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 2000* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 838/01) (TA-1842/2001). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2015102608089
- Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E., Vadset, M. (2001). *Nedfall av tungmetaller rundt utvalgte norske industrier, studert ved analyse av mose* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 831/01) (TA-1819/2001). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2016021108033
- Steinnes, E., Berg, T., Uggerud, H., Vadset, M. (2007). *Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 2005* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 980/2007) (TA-2241/2007). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://nilu.no/wp-content/uploads/dnn/105114-tbe-atm_nedfall_tungmet_norge-2005.pdf
- Steinnes, E., Berg, T., Uggerud, H., Vadset, M. (2007). *Nedfall av tungmetaller rundt norske industrier studert ved analyse av mose: Undersøkelse i 2005* (Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 979/2007) (TA-2240/2007). Oslo: Statens forurensningstilsyn. Nedlastbar fra: https://nilu.no/wp-content/uploads/dnn/105114-tbe-ntnu-rapport_tungmet.pdf
- Steinnes, E., Uggerud, H.T., Pfaffhuber, K.A., Berg, T. (2016). *Atmospheric deposition of heavy metals in Norway. National moss survey 2015*. (Norwegian Environment Agency report, M-594|2016) (NILU report, 28/2016). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <http://hdl.handle.net/11250/2435217>
- Steinnes, E. og Uggerud, H.T. (2017). *Metal pollution around Norwegian industries studied by analysis of naturally growing moss samples. 2015 survey*. (NILU report, 01/2017). Kjeller: NILU. Nedlastbar fra: <http://hdl.handle.net/11250/2435468>
- Van den Berg, M., Birnbaum, L., Bosveld, A.T., Brunström, B., Cook, P., Feeley, M., Giesy, J.P., Hanberg, A., Hasegawa, R., Kennedy, S.W., Kubiak, T., Larsen, J.C., van Leeuwen, F.X., Liem, A.K., Nolt, C., Peterson, R.E., Poellinger, L., Safe, S., Schrenk, D., Tillitt, D., Tysklind, M., Younes, M., Waern, F., Zacharewski, T. (1998). Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. *Environ. Health Perspect.*, 106(12), 775-792. <https://doi.org/10.1289/ehp.98106775>
- Vogt, R.D. og Skancke, L.B. (2024). *Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2023*. Statlig program for forurensningsovervåking (Miljødirektoratet rapport, M-2815|2024) (NIVA-rapport 8015-2024). Oslo: Norsk institutt for vannforskning. Nedlastbar fra: <https://hdl.handle.net/11250/3165282>

Vedlegg A

Moseundersøkelser Jordforsk / NIBIO 1995, 2004, 2019 og 2023

NIBIO Svanhovd har gjort undersøkelser av mose og lav i 1995, 2004, 2019 og 2023. Undersøkelsene er gjort på oppdrag fra norske myndigheter. 2004-undersøkelsene var del av Pasvikprogrammet 2003-2006, mens rundene i 2019 og 2023 ble finansiert av Statsforvalteren i Troms og Finnmark. Det er undersøkt ulike flater (se Figur) og lett etter furumose og etasjemose, samt lav på bjørke- og furustammer. Resultatene er vist og diskutert i notat fra NIBIO, se Aspholm mfl. (2023) og Aspholm mfl. (2024).



Figur 1: Overvåkningsflatene PC, PD, PB og PA er plassert i en øst-vest gradient i forhold til Nikkelverket. N11 er lokalisert i Karpdalen i Jarfjord, nord for Nikkelverket.

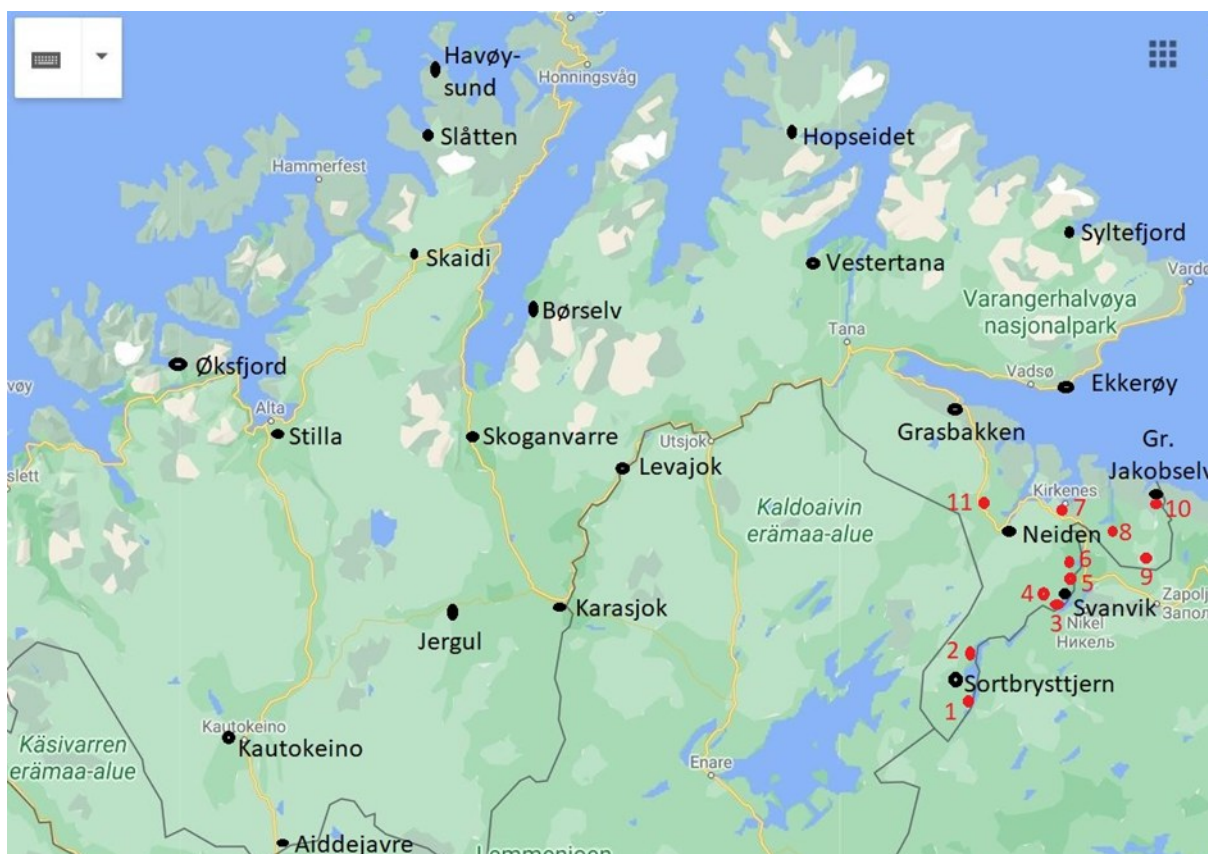
Vedlegg B

Moseundersøkelser Finnmark 2020

I årene 1987 til 2015 hadde Norge et landsomfattende måleprogram der det om lag hvert 5. år ble samlet inn mose fra flere hundre lokaliteter i hele landet, ekskl. Svalbard. Prosjektet ble ledet av prof. Eiliv Steinnes ved NTH/NTNU og var et samarbeid mellom NTH/NTNU og NILU. Det ble samlet og analysert mose i 1987, 1995, 2000, 2005, 2010 og 2015 og resultatene ble offentliggjort i egne rapporter, siste rapport er Steinnes mfl. (2016). På det meste ble det samlet mose ved nærmere 500 steder, men de seneste årene ble antallet steder redusert til om lag 230, før programmet altså ble stoppet og 2015 var siste år med innsamling.

Moseinnsamlingen i Norge inngikk i et bredt europeisk samarbeid der det ble samlet og analysert mose i en rekke land, se eks. Harmens et al. (2010) og Harmens et al. (2015). Prosjektet er også del av samarbeidet innen ICP Vegetation, se eks. <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/> og <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey> [begge besøkt 5. februar 2025] for mer informasjon.

Det ble ikke gitt finansiering til innsamling i 2020 og den landsomfattende undersøkelsen stoppet opp. Men NILU og NIBIO Svanhovd tok høsten 2020 initiativ til å samle mose ved 21 lokaliteter i Finnmark, se Figur. Disse ble analysert for nærmere 60 metaller og publiseres i egen rapport. Pr. februar 2025 arbeides det for å gjenta innsamling og analyse ved disse 21 lokalitetene i Finnmark i 2025.



Figur: Alle 21+11 lokalitetene for moseinnsamling i Finnmark. 21 sankesteder fra det nasjonale programmet, markert i svart, og 11 sankesteder i grenseområdene omtalt i denne rapporten, markert i rødt.

Vedlegg C

Moseundersøkelser Statens Strålevern (DSA) 2020

Samtidig med moseinnsamlingen i Finnmark i 2020, se Vedlegg B, ble det også samlet inn mose som ble overlevert Statens Strålevern sin beredskapsenhet på Svanhovd²⁴. Disse prøvene ble analysert for blant annet Cesium-137.

Mer opplysninger om Strålevernets overvåking i nord fås ved direkte henvendelse til enheten på Svanhovd, kontaktskjema:

[https://dsa.no/om-oss/kontakt-oss#Seksjon nordområdene](https://dsa.no/om-oss/kontakt-oss#Seksjon%20nordomr%C3%A5dene) – Svanvik [besøkt 5. februar 2025]

²⁴ Se eks.: <https://dsa.no/nyheter/30-ar-med-atomberedskap-i-nord> [besøkt 5. februar 2025].

Vedlegg D

Typiske bakgrunnskonsentrasjoner av metaller / grunnstoffer i mose

Nedenfor følger typiske konsentrasjoner av metaller i mose som ikke er påvirket av lokale kilder, også benevnt bakgrunnskonsentrasjoner, hentet fra Steinnes og Uggerud (2017).

*Tabell: Typiske bakgrunnskonsentrasjoner av 58 metaller / grunnstoffer i mose slik de er gjengitt i NILUs rapport Tungmetallforurensning rundt norske industrier studert ved analyse av moseprøver. Undersøkelse i 2015 (Steinnes og Uggerud, 2017).
Enhet: µg grunnstoff/g tørket mose (mikrogram tilsvarer 10⁻⁶ g).*

Litium Li	Beryllium Be	Bor B	Natrium Na
0,1	0,02	2	200
Rubidium Rb	Strontium Sr	Yttrium Y	Niob Nb
5	15	0,2	0,1
Rhodium Rh	Sølv Ag	Kadmium Cd	Antimon Sb
0,004	0,01	0,05	0,02
Tellur Te	Cesium Cs	Barium Ba	Lantan La
0,01	0,1	20	0,25
Cerium Ce	Praseodym Pr	Neodym Nd	Samarium Sm
0,45	0,06	0,15	0,04
Europium Eu	Gadolinium Gd	Terbium Tb	Dysprosium Dy
0,03	0,04	0,01	0,03
Holmium Ho	Erbium Er	Thulium Tm	Ytterbium Yb
0,005	0,02	0,001	0,015
Lutetium Lu	Hafnium Hf	Iridium Ir	Platina Pt
0,001	0,01	0,003	0,01
Thallium Tl	Bly Pb	Vismut Bi	Thorium Th
0,02	0,7	0,01	0,05
Uran U	Magnesium Mg	Aluminium Al	Svovel S
0,02	1200	500	700
Kalsium Ca	Scandium Sc	Titan Ti	Vanadium V
2500	0,1	25	0,5
Krom Cr	Mangan Mn	Jern Fe	Krom Cr
0,6	200	300	0,2
Nikkel Ni	Kobber Cu	Sink Zn	Gallium Ga
1	3,5	30	0,1
Molybden Mo	Kalium K	Germanium Ge	Arsen As
0,1	3000	0,02	0,1
Selen Se	Kvikksølv Hg		
0,2	0,05		

NILU er et norsk, nonprofit og uavhengig klima- og miljøforskningsinstitutt stiftet i 1969. Vi startet som et luftforskningsinstitutt, men har utvidet til å i dag forske på nær alle sider av hvordan mennesker, klima og miljø påvirker hverandre.

Vårt mål er bedre livskvalitet for alle! Det bidrar vi til gjennom vår forskning på atmosfærens sammensetning, klimaendringer, luftkvalitet, miljøgifter, helseeffekter, bærekraftige systemer, sirkulærøkonomi og digitalisering. Til sammen muliggjør dette bærekraftige løsninger på aktuelle samfunns- og næringslivsutfordringer.

www.nilu.no