

1751

NINA Rapport

Pasvikprogrammets terrestriske overvåking

Endringer i mengde av tungmetaller i biologisk materiale og i lavdekning på trær

Jarle W. Bjerke
Tor Myking
Hans Nyeggen
Per Arild Aarrestad



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Pasvikprogrammets terrestriske overvåking

Endringer i mengde av tungmetaller i biologisk materiale og i
lavdekning på trær

Jarle W. Bjerke

Tor Myking

Hans Nyeggen

Per Arild Aarrestad

Bjerke, J.W., Myking, T., Nyeggen, H. & Aarrestad, P.A. 2019.
Pasvikprogrammets terrestriske overvåking. Endringer i mengde av
tungmetaller i biologisk materiale og i lavdekning på trær. NINA
Rapport 1751. Norsk institutt for naturforskning.

Tromsø, desember 2019

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4506-7

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Hans Tømmervik

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Cathrine Henaug (sign.)

OPPDRAGSGIVER

Fylkesmannen i Troms og Finnmark

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

DGS-1

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Anne Fløgstad Smeland

FORSIDEBILDE

Hans Nyeggen (NIBIO) samler inn furunåler til tungmetallanalyse
vha. greinsag © Jarle W. Bjerke

NØKKEWORD

Finnmark fylke

Sør-Varanger kommune

Pasvik

Miljøovervåking

Luftforurensing

Nikkel, Russland

Tungmetaller

Lav

Epifytter

Naturens tilstand

KEY WORDS

Finnmark County, Sør-Varanger Municipality, Pasvik,
environmental monitoring, air pollution, Nickel in Russia, heavy
metal concentrations, lichens, epiphytes, state of nature

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Bjerke, J.W., Myking, T., Nyeggen, H. & Aarrestad, P.A. 2019. Pasvikprogrammets terrestriske overvåking. Endringer i mengde av tungmetaller i biologisk materiale og i lavdekning på trær. NINA Rapport 1751. Norsk institutt for naturforskning.

Effekter på skogøkosystemer i grensetraktene Norge-Russland-Finland av luftforurensing fra smelteverket i Nikel og briketteringsanlegget i Zapoljarnij noen få km fra grensen mot Norge har vært overvåket i de siste tiårene i ulike overvåkingsprogrammer. Norske lokaliteter for overvåking av tungmetaller i biologisk materiale og forekomst av lav på trær ble sist gang analysert i 2004. Fylkesmannen i Troms og Finnmark engasjerte i 2019 forskere fra Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) for å oppdatere kunnskapen rundt tungmetaller og forekomst av lav, slik at det ville være mulig å påvise eventuelle trender i endringer fra 2004.

Fem overvåkingsflater ble analysert i 2019. Fire av disse ligger langs en tilnærmet horisontal linje fra Svanvik og vestover, mens den fjerde flata ligger i Jarfjorden nord for Nikel. Analysene viser ei langt større dekning av makrolav i 2019 enn i 2004 på alle de tre overvåkingsflatene hvor lav på bjørk overvåkes. Økningen er svært betydelig, hhv. 194 %, 287 % og 352 %. På de to flatene hvor lav på furu overvåkes, som begge ligger nær Nikel, var det i 1995 og 2004 ikke registrert noen lav på stammene. I 2019 ble det registrert noen få individer, noe som ledet til ei dekning på 1,5 %.

Konsentrasjonene av kobber og nikkel i etasjemose og reinlav var i 2019 to til tre ganger høyere enn i 2004. Konsentrasjonene var høyest på overvåkingsflata nærmest Nikel. Også flata i Jarfjorden hadde i 2019 høye konsentrasjoner til tross for betydelig avstand til Nikel. Tre årganger med furunåler (dvs. fra 2017 til 2019) viste høyere konsentrasjoner med økende alder. Konsentrasjonen av bly viste omtrent det samme geografiske mønsteret som nikkel og kobber. Konsentrasjonen er imidlertid mye lavere for bly enn for de to andre tungmetallene.

Overvåkinga av avsetning av svoveldioksid og tungmetaller, som rapportert årlig av Norsk institutt for luftforskning (NILU), viser en nedadgående trend for svoveldioksid og en økende trend for tungmetaller. Ei rådende vindretning fra sør om vinteren fører imidlertid til at Jarfjordenområdet får store avsetninger av forurensning vinterstid. Tungmetallanalysene fra biologisk materiale samsvarer derfor godt med NILUs overvåkingsresultater. Høye konsentrasjoner i furunåler viser at det også de siste tre årene har vært betydelig avsetning av tungmetaller.

Økningen i lavdekning tolker vi som en respons til reduserte utslipp av svoveldioksid. Disse boreale treboende lavene er generelt mer sensitive til svoveldioksid enn til tungmetaller, men fortsetter akkumuleringa av tungmetaller vil det med tida kunne reversere den registrerte økende trenden for lavdekket på trær. Vi anbefaler at overvåkinga av epifyttiske lav og tungmetaller gjentas hyppigere i kommende år for å ha bedre kontroll på de biologiske responsene til endringer i forurensning.

Jarle W. Bjerke, Norsk institutt for naturforskning, jarle.bjerke@nina.no, Framsenteret, Postboks 6606 Langnes, N-9296 Tromsø

Tor Myking, Norsk institutt for bioøkonomi, Tor.Myking@nibio.no, Thormøhlensgate 55, N-5006 Bergen

Hans Nyeggen, Norsk institutt for bioøkonomi, Hans.Nyeggen@nibio.no, Thormøhlensgate 55, N-5006 Bergen

Per Arild Aarrestad, Norsk institutt for naturforskning, per.aarrestad@nina.no, Thormøhlensgate 55, N-5006 Bergen

Abstract

Bjerke, J.W., Myking, T., Nyeggen, H. & Aarrestad, P.A. 2019. The terrestrial monitoring of the Pasvik Programme. Changes in heavy metal concentrations in biological material and in epiphytic lichen cover. NINA Report 1751. Norwegian Institute for Nature Research.

The impacts of air pollution from the Russian nickel (Ni) smelter in Nikel and the Ni-briquette factory in Zapolyarniy on forest ecosystems in the Norwegian-Russian-Finnish border areas have been monitored during the last decades through various monitoring programmes. Monitoring on Norwegian sites of heavy metal accumulation and cover of epiphytic lichens was last analysed in 2004, and before that in 1995. In 2019, the County Governor of Troms and Finnmark contracted researchers from the Norwegian Institute for Nature Research (NINA) and the Norwegian Institute for Bioeconomy (NIBIO) to update the status on epiphytic lichen cover and heavy metals in selected plant and lichen species to evaluate any potential trends since 2004.

Five monitoring sites were reanalysed in 2019. Four of these are located along a nearly horizontal gradient westwards from Svanvik in Pasvikdalen, close to the Russian smelter in Nikel, while the fifth site is located near Jarfjorden north of Nikel. The cover of epiphytic lichens on the three birch monitoring sites was much higher in 2019 than in 2004. The increase was considerable: 194 %, 287 % and 352 %, respectively. On the two sites with monitoring of lichens on Scots pine, which both are close to Nikel, no lichens were recorded in 1995 or 2004, while in 2019, the average cover was 1.5 %.

The concentrations of copper (Cu) and Ni in the feather moss *Hylocomium splendens* and in reindeer lichens of the genus *Cladonia* were 2-3 times higher in 2019 than in 2004. Concentrations were highest at the monitoring site closest to Nikel. The monitoring site near Jarfjorden had high concentrations in 2019 despite a considerable distance to Nikel. Three age groups of Scots pine needles (i.e. from 2017 to 2019) showed higher concentrations with increasing age. Concentrations of lead (Pb) showed similar spatial trends as for Ni and Cu, however, with considerably lower concentrations.

The monitoring of deposition of sulphur dioxide (SO₂) and heavy metals, as reported in the annual reports from the Norwegian Institute for Air Research (NILU), shows a declining trend for SO₂ and an increasing trend for heavy metals. A prevailing southerly wind direction result in high winter deposition of both SO₂ and heavy metals in the Jarfjorden area. Heavy metal concentrations in plant material correspond well with NILU's monitoring results. High concentrations in Scots pine needles also suggest that heavy metal deposition during the most recent years have been high.

We interpret the increase in lichen cover as a response to reduced SO₂ pollution. These boreal epiphytic lichens are generally more sensitive to SO₂ than to heavy metals. However, if the accumulation of heavy metals will continue in the near future, this could reverse the ongoing increase in epiphytic lichen cover.

We recommend that epiphytic lichen cover and heavy metal concentrations should be monitored more regularly in the future to better keep track of the biological responses to changes in pollution emissions.

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold.....	5
Forord	6
1 Innledning.....	7
2 Materiale og metoder.....	8
3 Resultater	10
3.1 Lav på trær.....	10
3.2 Tungmetaller i reinlav, etasjemose og furunåler.....	11
4 Diskusjon.....	16
4.1 Tungmetaller i etasjemose, reinlav og furunåler	16
4.2 Lav på trær.....	16
5 Referanser	19

Forord

Norsk institutt for naturforskning og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) har vært sentrale i etablering og gjennomføring av miljøovervåking av det norsk-russiske grenseområdet. Denne overvåkinga ble etablert som følge av de omfattende utslippene fra smelteverket i Nikel og briketteringsanlegget i Zapoljarnij noen få kilometer fra grensen mot Norge.

På oppdrag for Fylkesmannen i Troms og Finnmark gjennomførte NINA og NIBIO i 2019 feltarbeid i Pasvik og Jarfjord med mål om oppdatert kunnskap om konsentrasjonen av tungmetaller i biologisk materiale, dvs. furunåler, reinlav og bladmoser, samt oppdatert kunnskap om tilstanden til lavfloraen på trær. Lav er svært sensitive til svoveldioksidforurensning og er derfor mye brukt som biologisk indikator på naturens helsetilstand.

Vi takker Fylkesmannen for oppdraget og våre kontaktpersoner hos Fylkesmannen, Anne Fløgstad Smeland og Tiia Henrika Kalske, for god oppfølging. Vi vil gjerne takke Monica Fongen og Jan Erik Jacobsen i NIBIO for plantekjemiske analyser, og Vigdis Frivoll i NINA, for assistanse med bearbeiding av felldata.

15. desember 2019

Jarle W. Bjerke
Prosjektleder

1 Innledning

Det norsk-russisk-finske grenseområdet har vært påvirket av utslipp fra smelteverket i Nikel siden 1930-tallet. Malmen som brytes og videreforedles inneholder tungmetaller som nikkel og kobber, men også svovel, noe som medfører at smelteverkene slipper ut store mengder svoveldioksid (SO₂) og tungmetaller (Aamlid mfl. 2000, Derome mfl. 2008, Symon 2008, Berglen mfl. 2019). Ulike overvåkingsprogrammer har pågått i området siden 1980-tallet (Derome mfl. 2008) og en rekke vitenskapelige artikler og utredninger er blitt produsert basert på disse overvåkingsdataene. Effektene på vegetasjon ble oppsummert i en artikkel av Myking mfl. (2009). Resultatene til og med 2005 viste at utslippene hadde store effekter på vegetasjonens helsetilstand. De viser bl.a. at luftforurensinga fører til redusert vekst av lav på trær, samt redusert dekningsgrad av moser og lav på bakken. En reduksjon i svoveldioksidutslipp fra 1990-tallet fram til 2005 førte til noe rekolonisering av lav både på trær og på bakken (Tømmervik 2008, Myking mfl. 2009).

Etter 2005 har det imidlertid vært begrenset omfang på overvåkinga av den terrestriske naturens tilstand på norsk side. Norsk institutt for luftforskning (NILU) gjennomfører imidlertid et kontinuerlig måleprogram for overvåking av nedfall av svoveldioksid og tungmetaller (f.eks. Berglen mfl. 2018, 2019). Deres resultater viser at antall timemiddelverdier over 350 µg/m³ og døgnmiddelverdier over 125 µg/m³ hadde nedadgående trend fra ca. 1990 til 2006, men at disse middelverdiene viser en økende tendens siden 2006. De er likevel fortsatt lavere enn verdiene fra perioden 1989-1991. Deres analyser viser også at stasjonen i Karpdalen nær Jarfjorden mottar mer svoveldioksidholdig luft enn stasjonen på Svanvik, noe som forklares med en rådende vindretning fra sør om vinteren. Årsmiddelverdier av svoveldioksid følger samme trend som beskrevet ovenfor, dvs. med noe reduksjon fra ca. 1990 til ca. 2003 og deretter en noe økende trend.

Avsetning av nikkel og kobber målt på stasjonen i Svanvik viser at sommeren 2005 hadde høyeste målte verdier for perioden 1989 til 2017. Fra og med 2004 til og med 2018 (data fra 2019 ennå ikke rapportert) har sommeravsetninga av kobber og svovel generelt vært omtrent dobbelt så høy som for perioden 1990-2003, og i enkelte år (2005, 2007 og 2016) var avsetningen tre til fem ganger så høye som avsetningene i perioden 1990 til 2003 (Berglen mfl. 2019).

Dette er bakteppet for våre undersøkelser gjennomført i september 2019. Formålet med våre undersøkelser var å oppdatere kunnskapen om vegetasjonen på våre overvåkingsflater i Pasvik og Jarfjorden, basert på to typer indikatorer: lavdekket på trær og tungmetallinnhold i biologisk materiale.

2 Materiale og metoder

Feltarbeidet ble gjennomført i uke 37 i 2019. Jarle W. Bjerke fra NINA var hovedansvarlig for analyse av lavdekket på trær, mens Hans Nyeggen fra NIBIO var hovedansvarlig for innsamling av biologisk materiale for tungmetallanalyser. Værforholdene under feltperioden var gode.

Vi fulgte metodene beskrevet i det trilaterale terrestriske overvåkingsprogrammet som omfatter overvåkingsflatene PA, PB, PC og PD i Pasvik og N11 i Jarfjord (Aamlid mfl. 2000, Derome mfl. 2008); se **figur 1**. Tidligere datainnsamlinger fra de samme overvåkingsflatene danner grunnlag for vurdering av endringer over tid.

I overvåkingsprogrammet finnes det fra norsk side data på epifyttiske lav på bjørk kun fra flatene PA, PB og N11, da bjørk ikke finnes på flatene PC og PD. For tungmetaller finnes det data for reinlav (*Cladonia rangiferina*/*Cladonia stellaris*) og etasjemose fra alle flatene, mens tungmetaller i furunåler finnes for flatene PA, PB, PC og PD, men ikke for N11, da det ikke vokser furu på den flata.

Lav på trær

Målet var å registrere epifyttiske lav på nøyaktig de samme trærne som tidligere er benyttet i overvåkingsprogrammet. Disse trærne ble nummerert med fettstift, og det ble laget kartskisser som viste plassering av disse. GPS-punkter fantes imidlertid ikke fra tidligere runder med feltregistreringer. Det var likevel ikke vanskelig å finne overvåkingsflatene. Rester av fettstift ble funnet på de fleste overvåkingstrærne, men det var ikke alltid enkelt å tolke nummeret. Kartskissene hjalp imidlertid til å sikre riktig tolkning av trærnes numre. Nummerering av trærne ble fornyet, og det ble i tillegg foretatt GPS-måling av hvert enkelt tre. På en lokalitet (PB) var ett overvåkingstre falt ned, og vi etablerte derfor ett nytt overvåkingstre rett ved siden av. På lokalitetene PC og PD har det vært foretatt betydelige inngrep, noe NINA har informert om til oppdragsgiver tidligere i internt notat (Per Arild Aarrestad, upublisert notat, 2012). Flere av overvåkingstrærne på disse to flatene er hogd og/eller ID-merking er blitt fjernet. Vi klarte likevel å identifisere noen av overvåkingstrærne på disse to feltene.

Hvert overvåkingstre ble under tidligere befaringer merket med nålestifter på fire høyder, dvs. 135 cm, 150 cm, 165 cm og 180 cm over bakken. Lavdekket ble registrert i horisontal linje på disse høydepunktene. Registrering ble gjort på hver hele centimeter vha. et måleband, i tråd med metodebeskrivelsene i Aamlid mfl. (2000). På de fleste trær var nålestiftene intakte. På noen trær var enkelte nålestifter borte, men merket etter hvor de hadde stått var fortsatt synlig. Nye nålestifter ble satt inn hvor slike manglet. Omkrets ble målt på hvert høydepunkt.

Tidligere undersøkelser har fokusert på forekomst av makrolav, dvs. blad- og busklav (jmfør beskrivelse i Krog mfl. 1994). Under årets befaringer registrerte vi også forekomst av mikrolav, dvs. skorpedannende lav og ørsmå lav som vokser delvis under overflaten på det ytterste laget av trebarken og som kun er synlig der de fertile organene vokser ut av barken (jmfør beskrivelse i Foucard (2001)). Vi presenterer i denne rapporten kun dataene på forekomst av makrolav, men lagrer informasjonen om forekomst av mikrolav til eventuelle senere datainnsamlinger. Trender for mikrolav kan da bidra til et enda mer helhetlig bilde av miljøtilstanden i grenseområdet.

Tungmetaller i furunåler, moser og lav

Etasjemose (*Hylocomium splendens*) og reinlav, dvs. i all hovedsak grå reinlav (*Cladonia rangiferina*) med mindre innslag av andre reinlav, da primært lys reinlav (*C. arbuscula*), ble høstet på alle flater, mens nåleårganger av furu (*Pinus sylvestris*) bare ble hentet fra flatene PA-PD da furu ikke finnes på N11.

Innsamlingen av prøver ble gjort i henhold til Aamlid mfl. (2000) og Derome mfl. (2008). Fra hver flate ble furubar hentet fra ti trær (se forsidebilde). Fra hvert tre ble furubaret klippet opp i årganger (2017, 2018 og 2019) som ble samlet og som derfor representerer et middel for de ti trærne. Etasjemose og reinlav ble samlet fra et større område på hver flate.

Analyse av tungmetaller ble utført ved NIBIOs kjemiske laboratorium iht. Ogner mfl. (2000).

Statistikk

Vi benytter parede t-tester for sammenligning av årets lavdekningsdata mot data fra hhv. 2004 og 1995. Disse er parete på felthøydenivå, dvs. de fire ulike målehøydene per overvåkingstre.

Tungmetaller er analysert med en bulkprøve per overvåkingsflate. Disse egner seg derfor ikke for statistiske analyser, ettersom $n = 1$ per år per flate. Disse dataene er likevel nyttige for å tolke trender over tid.



Figur 1. Kart som viser plasseringa av overvåkingsflatene PA, PB, PC, PD og N11. Kartet viser også plassering av noen overvåkingsflater på russisk side. Disse ble ikke undersøkt av oss i 2019.

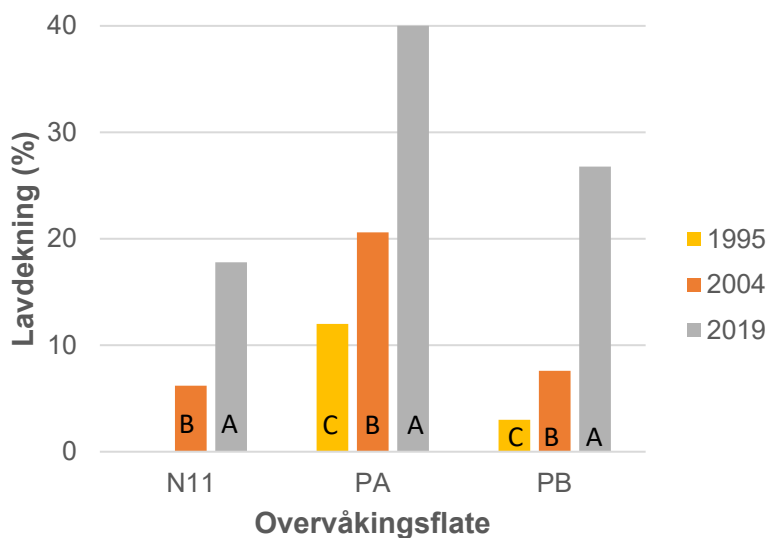
3 Resultater

3.1 Lav på trær

Tre flater med bjørk ble undersøkt i 2019. Mengde lav på disse tre flatene økte betydelig fra 2004 til 2019 (**figur 2**). Høyest økning var det på flata PB, mens PA hadde den minste økninga. Likefullt var det ei tilnærmet doubling av lavmengde også på denne flata. Flata N11 ble først gang registrert i 2004, så fra 1995 er det kun data fra flatene PA og PB. Lavdekninga var lavere i 1995 enn i 2004 (**figur 2**). Følgelig er økninga fra 1995 til 2019 betydelig høyere enn fra 2004 til 2019.

N11 har lavest dekning av de tre bjørkeflatene, til tross for at den ligger lenger unna Nikel enn det PA og PB gjør. N11 ligger derimot langt nærmere Zapoljarnij, samtidig som den ligger i området som får mye svoveldioksid i løpet av vinteren som følge av en rådende vindretning fra sør mot nord (jamfør omtale i introduksjonen). Dekning av lav på bjørk er 33 % lavere på PB enn på PA. PB er omtrent 7,8 km nærmere Nikel enn PA.

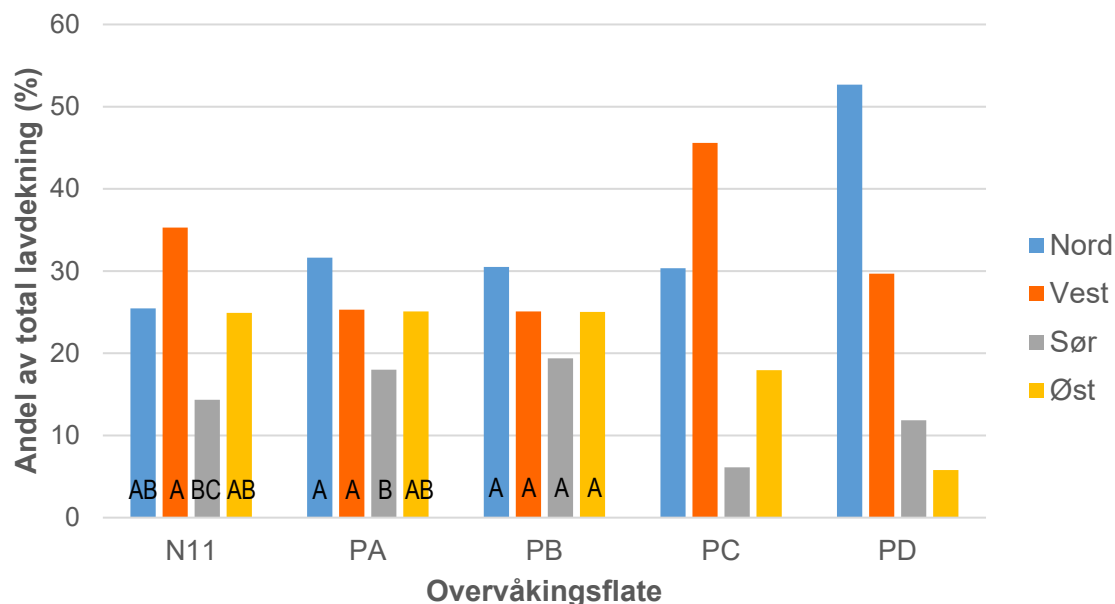
De to furuflatene PC og PD, som begge ligger nær Nikel, hadde i 2019 en gjennomsnittlig dekning av lav på 1,5 %. Hverken i 1995 eller 2004 ble det registrert noen lav på disse flatene på de fire overvåkingshøydene mellom 135 og 180 cm.



Figur 2. Utvikling av lavdekning på bjørkeflatene N11 (ingen data fra 1995), PA og PB. Forskjeller mellom år innen hver flate er angitt med bokstaver på søylene. Ulike bokstaver angir signifikant forskjell ($P < 0,05$) innad hver flate, Signifikansanalyser baserer seg på parete t-tester for lokalitetene PA og PB, og på uparet t-test for N11. Hver søyle er gjennomsnitt av alle himmelretninger og stammehøyder.

Alle flatene har det til felles at sørvendt del av stamme har laveste gjennomsnittlige dekning, dette uavhengig av treslag (**figur 3**). Det er imidlertid få signifikante forskjeller mellom himmelretningene.

Omkretsen økte signifikant på alle tre bjørkeflatene fra 1995 til 2004 og fra 2004 til 2019. Gjennomsnittlig omkrets for de tre årene var hhv. 19 cm, 25 cm og 28 cm på PA og 19 cm, 23 cm og 26 cm på PB, mens på N11 med data kun fra to år var omkrets 35 cm i 2004 og 38 cm i 2019.



Figur 3. Fordeling av lavforekomster på himmelretning på de fem overvåkingsflatene N11, PA, PB, PC og PD i 2019. Søylen viser andel av total lavdekning, dvs. at summen per flate er lik 100. Resultater av signifikansanalyser er angitt med bokstaver på søylene for hver bjørkeflate. Søyler som deler samme bokstav er ikke signifikant forskjellige fra hverandre ved signifikansnivå 0,05. Som eksempel, en søyle med bokstavene A og B er ikke forskjellig fra søyler med kun A og heller ikke forskjellig fra søyler med kun B. Forekomstene på de to furuflatene er for fåtallige for signifikante forskjeller, dvs. at $n = 0$ dominerer i datasettet.

3.2 Tungmetaller i reinlav, etasjemose og furunåler

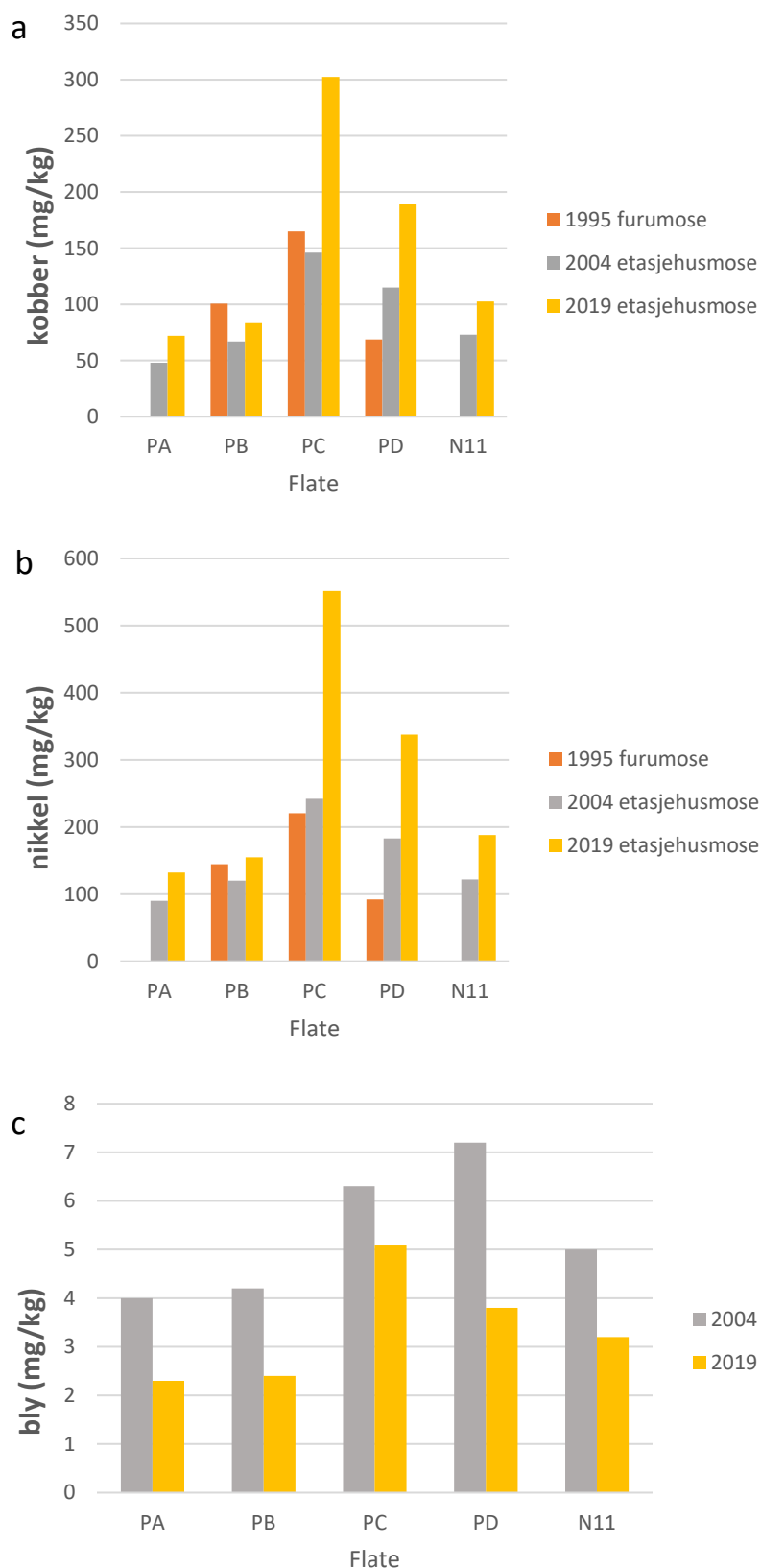
Resultatene viser konsentrasjoner av kobber, nikkel og bly i reinlav, etasjemose og tre årganger (2017, 2018 og 2019) av furubar samlet inn i september 2019, supplert og sammenlignet med resultater fra 1995 og 2004 (**figur 4-6**).

Kobber og nikkel

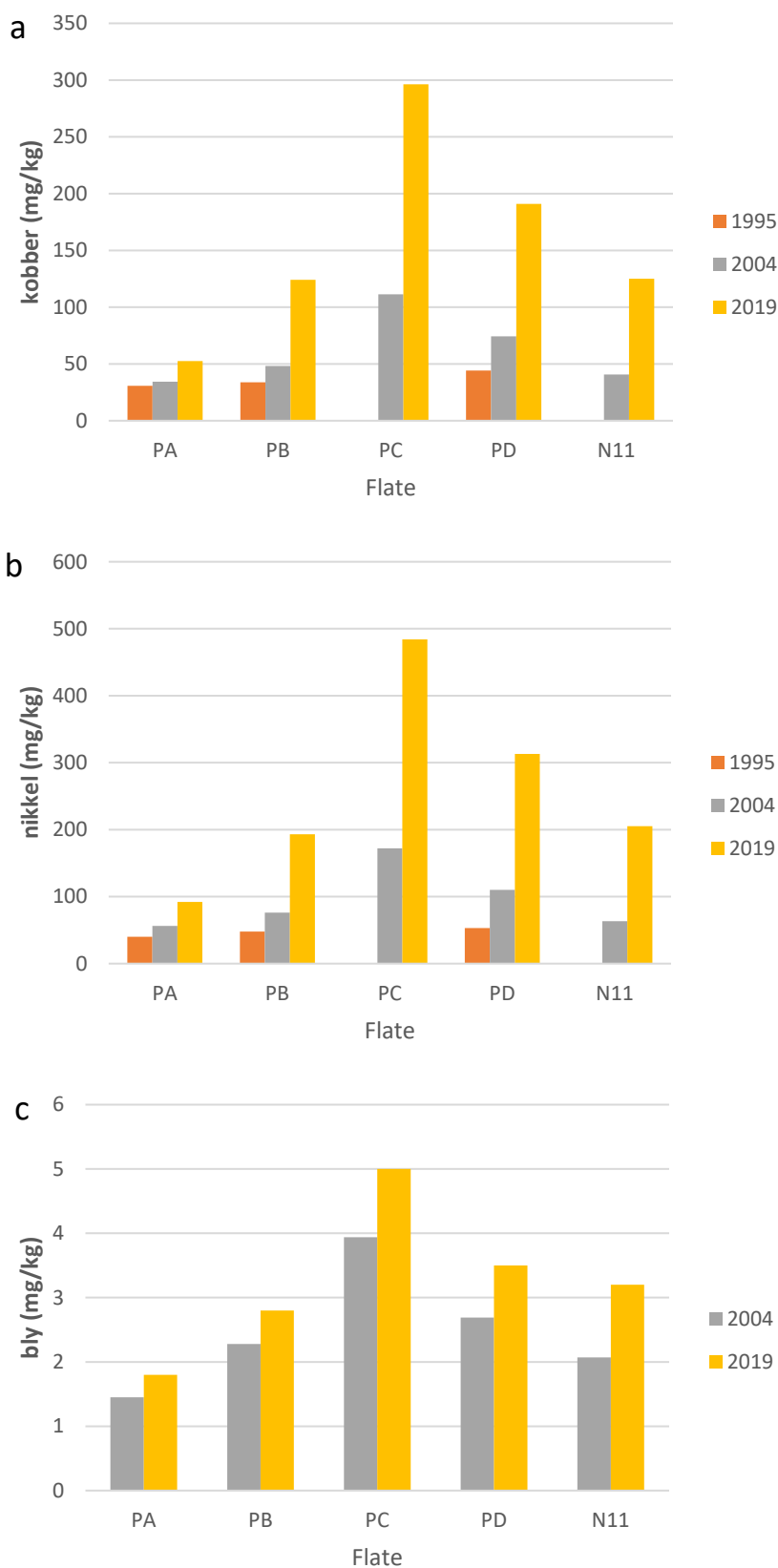
Den geografiske variasjonen er sterk. Et gjennomgående trekk er at konsentrasjonen av kobber og nikkel er høyest på PC som ligger nærmest Nikel og faller med økende avstand vestover (**figur 4-6**). Dette gjelder alle tre artene. Forskjellen mellom PC og de andre flatene er til dels meget stor, i etasjemose opp mot fem ganger høyere konsentrasjoner enn f.eks. på PA (**figur 4**). Konsentrasjonen av kobber og nikkel på N11 er omtrent som på PB til tross for mye lengre avstand til Nikel, noe som skyldes fremherskende vindretning fra sør mot nord.

Den temporære variasjonen er også slående, og sterkest i etasjemose og reinlav (**figur 4-5**). På en rekke flater er konsentrasjonen av nikkel og kobber 2-3 ganger høyere i 2019 enn i 2004. På den mest eksponerte flaten, PC, er konsentrasjonen av kobber og nikkel på henholdsvis rundt 300 og 500 mg/kg for disse artene (**figur 4-5**).

Jevnt over er konsentrasjonen av nikkel høyere enn kobber. Mens konsentrasjonen av disse elementene er ganske sammenlignbare i etasjemose og reinlav, er konsentrasjonen i furubar på det høyeste bare ca. 10 % av de andre to artene (3. årgang, PC) (jfr. **figur 4-5** mot **figur 6**).



Figur 4. Konsentrasjon av kobber, nikkel og bly i etasjemose i årene 2004 (Derome mfl. 2008) og 2019, og i furumose (Pleurozium schreberi) i 1995 (Aamlid mfl. 2000). Furumose har noe lavere opp-takseffektivitet av tungmetaller enn etasjemose (Berg & Steinnes 1997); konsentrasjonene kan derfor ikke sammenlignes direkte.

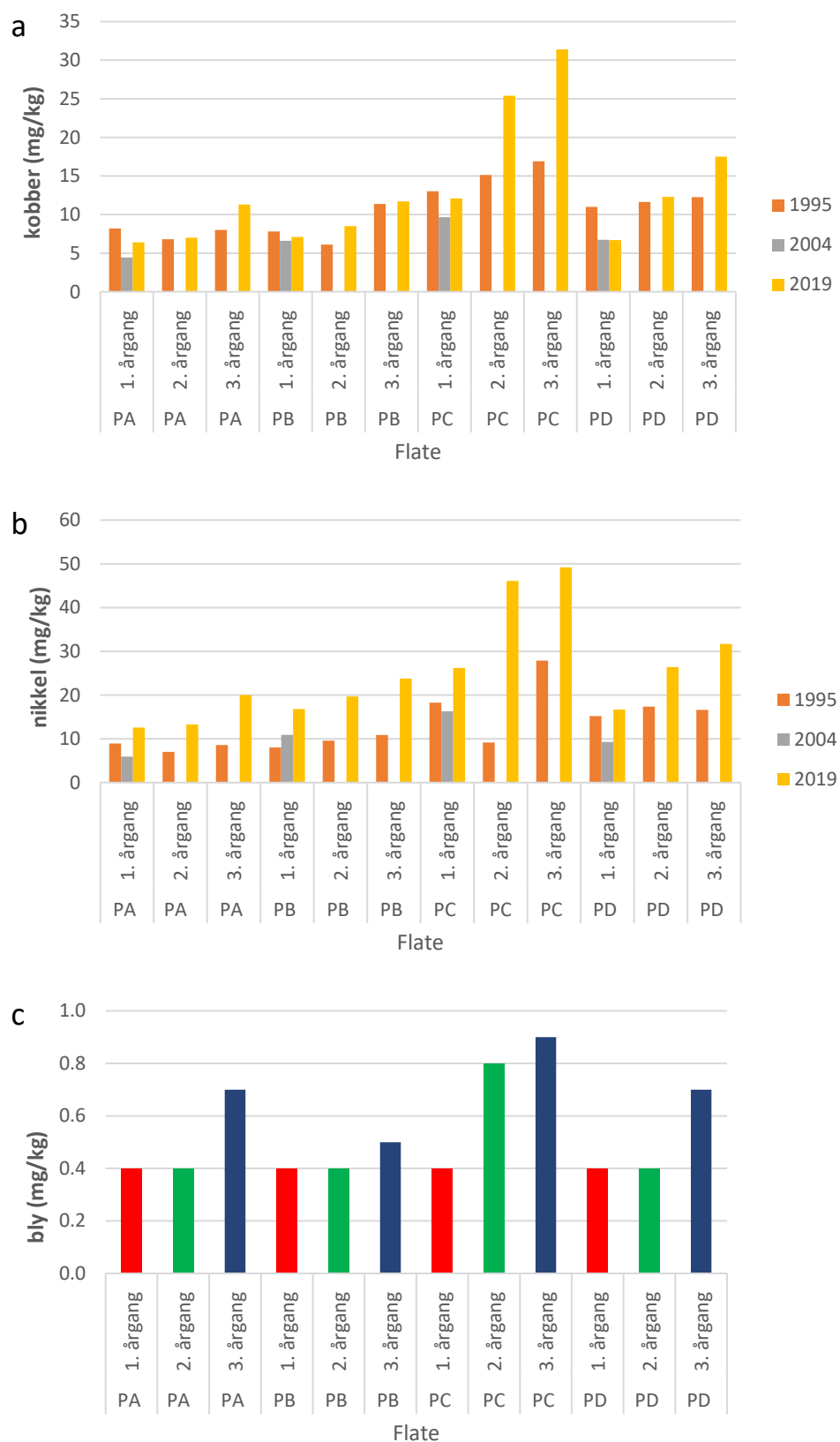


Figur 5. Konsentrasjon av kobber, nikkel og bly i reinlav i årene 1995 (Aamlid et al. 2000), 2004 (Derome et al. 2008) og 2019.

I 1995 og 2019 ble de tre siste årgangene av furubar høstet (i 2004 bare årets nåler). Forskjellen i konsentrasjonen av tungmetaller mellom årgangene gir et uttrykk for hvordan avsetningen har vært de siste tre årene. I prøvene fra 2019 ser vi en tydelig årgangseffekt, dvs. høyere konsentrasjoner av kobber og nikkel med økende alder (**figur 6**). Med andre ord har avsetningen av tungmetaller vært stor også de tre siste årene, dette gjelder spesielt for PC. Vi ser også en årgangseffekt i prøvene som ble høstet i 1995, men den er mindre uttalt enn i materialet fra 2019. Generelt er konsentrasjonen av kobber og nikkel høyere for sammenlignbare årganger i furubaret som ble samlet inn i 2019 enn 1995 (**figur 6**). Dette gir alene grunnlag for å spekulere i om det har vært en økning i avsetningen av tungmetaller i senere år.

Bly

Innholdet av bly viser omtrent samme geografiske variasjonsmønsteret som nikkel og kobber, med unntak av at de høyeste konsentrasjonene i etasjemose forekommer på PD, og til dels faller mellom 2004 og 2019 (etasjemose). Imidlertid er utslagene mye lavere, og konsentrasjoner av bly er bare noen få prosent av konsentrasjonen de andre to elementene. I furunåler er det stort sett bare tredje årgang som har verdier over grensen for kvantifisering (0.4 µg/g). For bly har vi ikke data fra tidligere år.



Figur 6. Konsentrasjon av kobber (a), nikkel (b) og bly (c) i årganger av furu samlet i 2019. For nikkel og kobber finnes det også data fra årene 1995 (Aamlid et al. 2000) og 2004 (Derome et al. 2008).

4 Diskusjon

4.1 Tungmetaller i etasjemose, reinlav og furunåler

Kort oppsummert viser resultatene for plantekjemi fortsatt sterk avsetning av spormetaller fra russiske nikkelsmelteverk. Dette manifesterer seg både i en tydelig effekt av avstand til utslippskildene, akkumulering i biologisk materiale over tid, og som forventet - stor variasjon mellom de undersøkte artene ut fra deres forskjellige biologi.

Reinlav og etasjemose har lenge vært brukt som indikatorarter på tungmetallforurensning siden de effektivt akkumulerer tungmetaller fra våt- og tørravsetning over tid (for etasjemose, se Berg & Steinnes 1997). Analysen av disse artene viser at konsentrasjonen av kobber og nikkel har økt betydelig i disse artene siden 2004 (**figur 4-5**). På den mest eksponerte flaten, PC, er konsentrasjonen av disse elementene hele 2-3 ganger høyere i 2019 enn i 2004, og marginalt høyere enn konsentrasjonene som ble rapportert i 2004 for flaten RUS1 i Russland, som er 5,2 kilometer fra smelteverket i Nikel (Derome mfl. 2008). For etasjemose, som vi har data for tilbake til 1995 på tre av flatene (PB, PC, PD), er den relative økningen per år mye sterkere mellom 2004 og 2019 enn den er mellom 1995 og 2004. Dette er et funn som antyder at avsetningen av tungmetaller har vært høyere i årene etter 2004 enn i årene før.

NILU har siden slutten av 1980-tallet overvåket luft og nedbørskvalitet i grenseområdet (eks Berglen mfl. 2018, 2019), noe som etter hvert har gitt verdifulle tidsserier. Ser vi på våtavsetning av nikkel og kobber i Svanvik siden 1989 har det vært en markert økning etter 2003, særlig om sommeren (Berglen mfl. 2018, 2019). Det er altså denne økningen vi finner igjen i nivåene av kobber og nikkel i etasjemose og reinlav fra 2019. Vi kjenner ikke til at det har vært rapportert om høyere konsentrasjoner i disse artene verken på den norske eller russiske delen av grenseområdet tidligere (jamfør **figur 4-5** mot figurer i Aamlid mfl. 2000 og Derome mfl. 2008).

Med mindre det tas prøver årlig er det imidlertid vanskelig å vite om disse konsentrasjonene refererer seg til de siste årene, en periode lenger tilbake, eller hele levetiden for det plantesegmentet som analyseres. Derfor er det nyttig å komplementere disse artene med nåler av furu hvor en kan få et uttrykk for avsetningen det aktuelle året og akkumulert innhold noen få år tilbake. Fra vår analyse av furubar er det åpenbart at avsetningen har foregått også de siste tre årene, idet vi ser en tydelig effekt av avstand til forurensningskildene og akkumulering over tid (**figur 6**). Vi ser også til dels langt høyere verdier i materialet fra 2019 enn fra 1995 og 2004, dette gjelder særlig for nikkel og de mest eksponerte flatene PC og PD. Igjen ser vi altså et samsvar mellom de høye nivåene av nikkel og kobber i våtavsetning (Berglen mfl. 2018, 2019) og våre resultater.

Konsentrasjonen av bly i etasjemose og reinlav følger noenlunde samme geografiske mønster som i 2004 (Derome mfl. 2008) (**figur 4-5**), men med mindre forskjell mellom flater og langt lavere konsentrasjoner enn for kobber og nikkel. Til forskjell fra reinlav forekommer de høyeste 2019-konsentrasjonene av bly i etasjemose i PD og ikke PC, og med konsekvent lavere nivåer enn i 2004. I furu er det bare tredje og til dels andre nåleårgang som har konsentrasjoner av bly over grensen som lar seg kvantifisere (**figur 6**). Det er liten tvil om fortsatt blyavsetning fra smelteverkene, men materialet samlet inn i 2019 etterlater ikke et bestemt inntrykk av at avsetningen har økt.

4.2 Lav på trær

Den betydelige økningen i lavdekning på bjørk er en fortsettelse av trenden påvist for perioden 1995-2004. Det er mest nærliggende å anta at denne økningen er en respons til de reduserte utslippene av svoveldioksid. Fra omtrent 1986 til omtrent 1992 ble årsmiddelverdier registrert på stasjonen i Svanvik omtrent halvert og har siden ligget på nivåer langt lavere enn de som var på 1980-tallet, og disse verdiene er betydelig lavere enn som er satt som grenseverdi for beskyttelse av økosystem (Berglen mfl. 2019). Årsmiddelverdier på stasjonen i Karpdalen er i perioden 2009 til 2018 (ingen målinger mellom 1995 og 2008) mer enn dobbelt så høye som på stasjonen i

Svanvik, og i to av disse årene har grenseverdien på 20 µg/m³ blitt overskredet (Berglen mfl. 2019). Like fullt er årsmiddelverdiene på stasjonen i Karpdalen betydelig lavere i perioden 2009-2018 enn på 1980-tallet (målinger gjennomført fra 1986 til 1994; Berglen mfl. 2019). Så selv om N11 trolig er eksponert for mer svoveldioksid enn PA og PB, så har det vært en reduksjon også der, noe som etter all sannsynlighet er hovedårsaken til den økte etableringa av lav også der, men se diskusjon om alder herunder.

Dekninga av lav er imidlertid langt høyere på PB og PA enn på N11 (hhv. 66 % og 151 % mer lav på PB og PA). Dette viser at vekstvilkårene på N11 fortsatt ikke er optimale. Dekninga på PA er nå på et nivå som vi kan anse som tilnærmet maksimal potensial for makrolav. Nåværende dekning er f.eks. langt høyere enn på flater registrert i 2004 som ligger nærmere 50 km fra Nikel (Myking mfl. 2009). Det er flere begrensende faktorer for makrolavvekst rundt en stamme. Den sørvendte delen av stammen tørker raskere ut enn nord- og vestvendte deler. Derfor er vekstvilkårene på den sørvendte delen av stammen langt fra optimal. Mange bjørketrær luter til en retning. Den delen av stammen som da vender nedover for begrenset med lys og regnvann og gir derfor svært dårlig vekstvilkår for lav. Det ytre barklaget på bjørk, neveren, løsner ofte i breie flak og faller etter hvert av, noe som gjør at etablerte lav kan falle av sammen med neverbitene. Det tar da tid for nye lav å etablere seg på de nylig eksponerte barkflatene. Mikrolav vokser og kan forhindre etablering av makrolav fra sporer eller fragmenter. Imidlertid kan makrolav invadere fra siden ved å vokse over mikrolav, men en slik invasjon kan ta mange år. Til slutt kan vi også nevne at lav også kan skades av klimatiske forhold, da spesielt ising om vinteren, og slik is kan dannes på trestammer, spesielt på trær som luter til en side (Bjerke 2011). Vi har observert slike lavskader på bjørkestammer etter vintre med mye omslag mellom kulde og mildvær (J.W. Bjerke, upublisert). Følgelig er dekning på rundt 40 %, slik som på PA, en sterk indikasjon på god tilstand.

Videre er det verdt å bemerke at epifyttiske makrolav generelt har lav etableringssuksess, dvs. at svært mange sporer og fragmenter aldri havner på et velegnet mikrohabitat for etablering og vekst (Werth mfl. 2006, Nash 2008). Når de imidlertid først er etablert er de potensielt langtlivende individer som vokser seg stadig større (Brodo mfl. 2001, Price & Hochachaka 2001, Ronnås mfl. 2017). Derfor er substratets alder viktig. Unge, tynnstammede bjørk har generelt svært liten dekning av makrolav. Dette skyldes delvis en hard, ugjestmild bark, men også den korte tida som har gått siden substratet ble tilgjengelig for lavetablering og -vekst. Bjørketrærne benyttet i denne overvåkinga er blitt 24 år eldre siden oppstarten av denne overvåkinga. Også uten eksterne faktorer som forurensing og vinterskader ville man kunne forvente ei betydelig økning i lavdekking i løpet av en slik 24-års periode. Ettersom vi i dette studiet ikke har kontrollområder upåvirket av forurensning (også PA var nok betydelig påvirket av svoveldioksid fram til 1990-tallet) er det vanskelig å si hvor stor andel av økninga i lavdekking som skyldes økt alder på trærne, dvs. en lengre tidshorisont for etablering av nye individer av lav, og hvor stor andel som skyldes langtidseffekten av redusert avsetning av svoveldioksid.

Det er blitt konkludert med at lav generelt også er sensitive til tungmetaller (f.eks. Hawksworth & Rose 1976, Bjerke mfl. 2006, Nash 2008, Kularatne & de Freitas 2013). Ei generell utfordring med gradientstudier ut fra en punktkilde er at avsetningene av svoveldioksid og tungmetaller ofte er sammenfallende, noe som gjør det utfordrende å skille effekten av disse to. Dette har også vært tilfelle for det norsk-russiske grenseområdet, enskjønt kobber og nikkel ikke fraktes like langt fra utslippspunktet som det svoveldioksid gjør før det avsettes (Bekkestad mfl. 1995, Bjerke mfl. 2006). Tidsseriene viser for de siste ca. ti årene avvikende trender for svoveldioksid og tungmetaller, som omtalt ovenfor. Mangelen på lavregistreringer mellom 2004 og 2019 gjør det vanskelig for oss å avgjøre om tungmetallene har innvirkning på nåværende epifyttiske lavdekning. Ettersom det har vært ei økning i avsetning av tungmetaller men en reduksjon i avsetning av svoveldioksid kan det tyde på at makrolavene på bjørk på våre overvåkingsflater responderer mest på variasjonen i svoveldioksid. På flatene nærmest Nikel (PC og PD) har det etablert seg noen små individer av makrolav på stammene av furu (**figur 2**), slik at dekninga har økt fra 0,0 % i 2004 til 1,5 % i 2019, dette til tross for ei økning i tungmetaller i samme periode. På disse flatene har det trolig ikke vokst epifyttiske lav siden 1960-tallet eller enda lengre tilbake i tid

(Bruteig 1984). Reetableringa som har skjedd mellom 2004 og 2019 indikerer at reduksjonen av svoveldioksid har hatt mer betydning enn økninga i avsetning av tungmetaller for reetableringa av lav på disse to furuflatene. Dette er i tråd med ulike studier som antyder at lav er mer sensitive for svoveldioksid enn for tungmetaller; økt dødelighet opptrer først ved svært høye konsentrasjoner av tungmetaller (van Dobben mfl. 2001, Poikolainen 2004). Vår hypotese er derfor at lavdekninga vil fortsette å øke på disse flatene hvis svoveldioksidavsetninga i kommende år vil holde seg på de siste års nivå eller lavere. Fortsatt økt akkumulasjon av tungmetaller i biologisk materiale vil imidlertid på sikt komme opp i skadelige konsentrasjoner for lav og derved kunne lede til ei reversering av denne positive trenden for lavdekket som vi her har påvist.

5 Referanser

- Bekkestad, T., Knudsen, S., Johnsrud, M. & Larsen, M. 1995. Modellberegninger av SO₂ og metallavsetning i grenseområdene Norge-Russland. NILU rapport 605/95. Norsk institutt for luftforskning, Kjeller.
- Berg, T. & Steinnes, E. 1997. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute the position values. *Environmental Pollution* 98: 61-71.
- Berglen, T.F., Dauge, F., Andresen, E., Tønnesen, D., Vadset, M. & Våler, R.L. 2018. Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet kalenderåret 2017. NILU rapport 14/2018. Norsk institutt for luftforskning, Kjeller.
- Berglen, T.F., Nilsen, A.-C., Våler, R.L., Vadset, M., Uggerud, H.T. & Andresen, E. 2019. Grenseområdene Norge-Russland. Luft- og nedbørkvalitet, årsrapport 2018. NILU rapport 15/2019. Norsk institutt for luftforskning, Kjeller.
- Bjerke, J.W. 2011. Winter climate change: Ice encapsulation at mild subfreezing temperatures kills freeze-tolerant lichens. *Environmental and Experimental Botany* 72: 404-408.
- Bjerke, J.W., Tømmervik, H., Finne, T.E., Jensen, H., Lukina, N. & Bakkestuen, V. 2006. Epiphytic lichen distribution and plant leaf heavy metal concentrations in Russian-Norwegian boreal forests influenced by air pollution from nickel-copper smelters. *Boreal Environment Research* 11: 441-450.
- Brodo, I.M., Sharnoff, D. & Sharnoff, S. 2001. *Lichens of North America*. Yale University Press, New Haven & London.
- Bruteig, I. 1984. Epifyttisk lav som indikator på luftforureining i Aust-Finnmark. Hovedfagsoppgave. Universitetet i Trondheim, Trondheim.
- Derome, J., Myking, T. & Aarrestad, P.A. (red.) 2008. Current state of the terrestrial ecosystems in the joint Norwegian, Russian and Finnish border area in northern Fennoscandia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 85. Finnish Forest Research Institute, Helsinki.
- Foucard, T. 2001. Svenska skorplavar och svampar som växer på dem. Interpublishing, Stockholm.
- Hawksworth, D.L. & Rose, F. 1976. *Lichens as pollution monitors*. Edward Arnold, London.
- Krog, H., Østhagen, H. & Tønsberg, T. 1994. *Lavflora. Norske busk- og bladlav*. Universitetsforlaget, Oslo.
- Kularatne, K.I.A. & de Freitas, C.R. 2013. Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal pollution. *Environmental and Experimental Botany* 88: 24-32.
- Myking, T., Aarrestad, P.A., Derome, J., Bakkestuen, V., Bjerke, J.W., Gytarsky, M., Isaeva, L., Karaban, R., Korotkov, V., Lindgren, M., Lindroos, A.-J., Røseberg, I., Salemaa, M., Tømmervik, H. & Vassilieva, N. 2009. Effects of air pollution from a nickel-copper industrial complex on boreal forest vegetation in the joint Russian, Norwegian, Finnish border area. *Boreal Environment Research* 14: 279-296.
- Nash, T.H. III 2008. Lichen sensitivity to air pollution. I: Nash, T.H. III (red.): *Lichen Biology*, andre utgave, s. 299-314. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ogner, G., Wickstrøm, T., Remedios, G., Gjelsvik, S., Hensel, G.R., Jacobsen, J.E., Olsen, M., Skretting, E. & Sørli, B. 2000. The chemical analysis programme of the Norwegian Forest Research Institute 2000. Norsk institutt for skogforskning, Ås.
- Poikolainen, J. 2004. Mosses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants – specifically for heavy metals in regional surveys. Oulu University Press, Oulu.
- Price, K. & Hochachka, G. 2001. Epiphytic lichen abundance: effects of stand age and composition in coastal British Columbia. *Ecological Applications* 11: 904-913.
- Ronnås, C., Werth, S., Ovaskainen, O., Várkonyi, G., Scheidegger, C. & Snäll, T. 2017. Discovery of long-distance gamete dispersal in a lichen-forming ascomycete. *New Phytologist* 216: 216-226.

- Symon, C. (red.) 2008. Pasvikprogrammet. Oppsummeringsrapport. Miljøtilstanden I grenseområdene mellom Norge, Finland og Russland. Fylkesmannen i Finnmark, Miljøvernavdelingen Rapport 1-2008. Fylkesmannen i Finnmark, Vadsø.
- Tømmervik, H. 2008. Photosynthetic efficiency. I: Derome, J., Myking, T. & Aarrestad, P.A. (red.) 2008. Current state of the terrestrial ecosystems in the joint Norwegian, Russian and Finnish border area in northern Fennoscandia, s. 46-49. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 85. Finnish Forest Research Institute, Helsinki.
- van Dobben, H.F., Wolterbeek, H.T., Wamelink, G.W.W. & Ter Braak, C.J.F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 112: 163-169.
- Werth, S., Wagner, H.H., Gugerli, F., Holderegger, R., Csencsics, D., Kalwij, J.M. & Scheidegger, C. 2006. Quantifying dispersal and establishment limitation in a population of an epiphytic lichen. *Ecology* 87: 2037-2046.
- Aamlid, D., Vassilieva, N., Aarrestad, P.A., Gytarsky, M.L., Lindmo, S., Karaban, R., Koroktov, V., Rindal, T., Kuzmicheva, V & Venn, K. 2000. Ecological state of the ecosystems in the border areas between Norway and Russia. *Boreal Environment Research* 5: 257-278.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4506-7

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger