Akvaplan-niva

Rapport Report

Forprosjekt:

Metoder for miljøklassifisering - tilpasninger til Svalbard

This page is intentionally left blank

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title

Forprosjekt: Metoder for miljøklassifisering – tilpasninger til Svalbard

Forfatter(e) / Author(s) Jenny Jensen Anita Evenset	**Akvaplan-niva rapport nr / report no** 6664 -1
	Dato / Date 27.02.2015
	Antall sider / No. of pages 49
	Distribusjon / Distribution Offentlig
Oppdragsgiver / Client Svalbard miljøvernfond	**Oppdragsg. referanse / Client's reference** Asbjørn Hagen

Sammendrag / Summary

I dette forprosjektet har vi dokumentert hvordan konsentrasjoner av polyaromatiske hydrokarboner (PAH) og metaller varierer i ulike medier prøvetatt på Svalbard. Datagrunnlaget for de ulike mediene er imidlertid varierende. Mest data finnes for sjøbunnssedimenter, noe færre for innsjøsedimenter og relativt få for jord og vann.

Resultatene fra datasammenstillingen viser at det forekommer nivåer av PAH og metaller i prøver fra mange fjerntliggende områder på Svalbard som overskrider tilstandsklasse II «god miljøtilstand» i veilederne fra Miljødirektoratet. Mange av disse områdene blir således etter disse veilederne klassifisert som moderat til svært forurenset, til tross for at mange av områdene befinner seg langt fra menneskelig påvirkning. Årsaken til de forhøyde nivåene er sannsynligvis spesielle geologiske (kullholdig berggrunn) og klimatiske forhold (snø, is, permafrost) på øygruppen. Ved vurdering av miljøtilstand i områder som påvirkes av menneskelig aktivitet på Svalbard er det viktig å ta høyde for at høye nivåer av PAH, metaller og andre grunnstoffer kan forekomme naturlig.

Datasammenstillingen som er gjennomført i dette prosjektet danner et godt grunnlag for vurderinger av nivåer av PAH og metaller i fremtidige miljøstudier. Prosjektet har også identifisert hva som bør gjennomføres videre for å få et solid grunnlag for å tilpasse miljøklassifiseringssystemer til arktisk miljø.

Prosjektleder / Project manager	**Kvalitetskontroll / Quality control**
Anita Evenset	Guttorm N. Christensen
Anita Evenset	Guttorm Christensen

© 2014 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING 3

2 OMRÅDEBESKRIVELSE 5

2.1 Generelt 5
2.2 Kystområder 6
2.3 Menneskelige aktiviteter 6

3 METODE 7

3.1 Innsamling av data 7
3.2 Sammenstilling av data, presentasjon og analyser 11
3.2.1 Utvikling av database 11
3.2.2 Inndeling av kjemiske komponenter 11
3.2.3 Geografisk inndeling 12
3.2.4 Klassifisering av miljøtilstand 16
3.2.5 Analyser og datapresentasjon 17

4 RESULTATER 18

4.1 PAH i sjøbunns-sedimenter 18
4.2 PAH i innsjøsedimenter 23
4.3 PAH i jord 26
4.4 Metaller og grunnstoffer i sjøbunn 30
4.5 Metaller og grunnstoffer i innsjøsedimenter 33
4.6 Metaller og grunnstoffer i jord 36
4.7 Metaller, grunnstoffer og PAH i vann 39

5 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER OM VIDERE STUDIER 43

5.1 Videre studier 44
5.1.1 Forbedring av datagrunnlag 44
5.1.2 Datasammenstilling for andre forbindelser 44
5.1.3 Biotilgjengelighet 44
5.1.4 Vurdering av bakgrunnsnivå, biotilgjengelighet og toksisitet 45
5.1.5 Utarbeiding av klassifiseringssystemer 45

6 REFERANSER 46

Forord

Tidligere miljøkartlegginger og miljøovervåkning har vist at det er en del utfordringer knyttet til klassifisering av miljøkvalitet på Svalbard. Dette har bl.a. fremkommet gjennom Store Norske Spitsbergen Grubekompani sin miljøovervåking i Svea. For å gjennomføre overvåking på en optimal måte, og for å ha gode verktøy for å vurdere resultatene fra kartlegging og overvåking er det viktig å kjenne til lokale forhold, slik at de riktige konklusjoner kan trekkes. I forprosjektet som rapporteres her har vi sammenstilt data på utvalgte miljøgifter fra ulike deler av Svalbard og vurdert om spesielle tilpasninger bør gjøres når slike data skal vurderes og rapporteres til miljømyndigheter og næringsutøvere. Prosjektet har vært finansiert av Svalbard Miljøvernfond og Store Norske Spitsbergen Grubekompani. Akvaplan-niva har vært ansvarlig for gjennomføringen. Store Norske har bidratt gjennom tilrettelegging av data fra deres overvåking gjennom de senere år, samt i diskusjoner omkring hvilke tilnærminger som burde benyttes.

Tromsø 27.02.2015

Anita Evenset

Anita Evenset,

Prosjektleder

1 Innledning

Miljødirektoratet i Norge (tidligere Statens Forurensningstilsyn og Klima og forurensningsdirektoratet) har utviklet en rekke veiledere som kan benyttes når miljøtilstanden i ulike områder skal vurderes. Det finnes bl.a. veiledere for klassifisering av miljøtilstand i fjorder og kystfarvann (Molvær mfl. 1997 (SFT 97:03), Bakke mfl. 2007 (Klif TA-2229)), for forurenset grunn (Hansen & Danielsberg 2009 (TA-2553)) og for ferskvann (Andersen mfl. 1997 (SFT 97:04), Direktoratsgruppa 2009 & 2013 (veileder 01:2009 og 02:2013). Det arbeides også med nye miljøkvalitetsstandarder og klassegrenser for en rekke miljøgifter i vann, sediment og organismer. I år skal kapittelet om kjemisk tilstand i veilederen for klassifisering av miljøtilstand i vann oppdateres (www.Miljodirektoratet.no).

Veilederne benyttes for eksempel til å vurdere resultater fra overvåking av ulike menneskelige aktiviteter. Klassifiseringssystemene er først og fremst utviklet til bruk langs norskekysten, men ettersom miljøforvaltning på Svalbard utøves av norske miljømyndigheter benyttes disse miljøklassifiseringssystemene også ofte ved vurdering av overvåkingsdata fra Svalbard. Dette har vist seg å gi noen utfordringer. Både geologiske og klimatiske forhold (snø, isbreer, permafrost) fører til at nivåene av enkelte elementer og forbindelser i vann-, sediment-, og jordprøver fra enkelte deler av øygruppen er høye sammenlignet med tilsvarende prøver tatt i fastlands Norge. Dette gjelder først og fremst for forbindelser som finnes i kullholdig berggrunn (f.eks. polyaromatiske hydrokarboner, PAH) og for naturlige grunnstoff (metaller). Når de gjeldende miljøkvalitetsstandardene benyttes til å klassifisere resultater fra kartlegginger eller overvåking gjennomført på Svalbard viser det seg i mange tilfeller at nivåene av PAH og/eller metaller i prøver fra områder uten menneskelig aktivitet tilsvarer en veldig dårlig miljøtilstand (tilstandsklasse IV (Dårlig) – V (Svært dårlig)). Langtransporterte miljøgifter kan være en utfordring i arktiske områder, men hvis dette var kilden ville man sett forhøyde nivå av andre miljøgifter også, som f.eks. Polyklorerte bifenyler (PCB). Det er derfor sannsynlig at det er de naturlige geologiske og klimatiske forhold som fører til naturlig høye nivå av PAH og metaller.

På bakgrunn av dette er vår erfaring at de eksisterende veilederne ikke alltid egner seg til klassifisering av potensiell forurensing fra næringsaktører på/rundt Svalbard. For forvaltningsmyndigheter er det viktig å ha verktøy som kan benyttes til å vurdere miljøtilstand. Ukritisk bruk av klassifiseringssystemene kan føre til feilaktige konklusjoner, og at man iverksetter tiltak for å fjerne eller avbøte "forurensinger" i et område hvor det i realiteten er naturen selv som fører til "høye" nivå av enkelte elementer/stoffgrupper.

Det er imidlertid store variasjoner mellom ulike områder på Svalbard og i en innledende fase har det vært viktig å skaffe seg en oversikt over all litteratur (både publiserte artikler og gråsonelitteratur (rapporter)) som rapporterer om nivåer av ulike miljøgifter i ulike medier (vann, sediment, jord) fra forskjellige deler av øygruppen. Videre vurderinger må bygge på allerede gjennomførte undersøkelser, og gjennom en vurdering av de eksisterende data har det vært mulig å påpeke hvilke utfordringer som foreligger knyttet til miljøklassifisering, samt å vurdere om det bør gjøres tilpasninger for ulike områder.

Målsetningene med prosjektet var å:

- etablere en database over eksisterende data for nivåer av PAH og metaller i vann (både ferskvann og sjøvann), sediment og jord fra Svalbard.
- Lage en oversikt over variasjoner som kan benyttes som grunnlag når fremtidige prosjekt hvor nye data på nivåer av miljøgifter skal vurderes.

- benytte eksisterende data til å vurdere om det bør tas spesielle hensyn/gjøres spesielle tilpasninger når miljøtilstanden på Svalbard skal vurderes.
- Vurdere om det er geografiske forskjeller som må tas hensyn til i miljøklassifisering.
- komme med noen anbefalinger for videre arbeid som bør gjennomføres for å kunne klassifisere miljøgiftsdata på en god og forvaltningsmessig relevant måte.

Det er et svært omfattende arbeid å vurdere alle elementer og stoffgrupper som inngår i ulike klassifiseringssystemer, og dette har ikke vært mulig innenfor rammen av dette forprosjektet. Vi har derfor i første omgang valgt å fokusere på elementer og forbindelser som forekommer naturlig, og som vi vet har skapt spesielle utfordringer ved klassifisering av forurensningsstatus på Svalbard; PAH og metaller.

2 Områdebeskrivelse

2.1 Generelt

Svalbard består av alle øyer, holmer og skjær mellom 74° og 81° nordlig bredde og 10° og 35° østlig lengde. Den største øya er Spitsbergen, etterfulgt av Nordaustlandet og Edgeøya (**figur 1**). Øygruppen består for det meste av urørt natur, men det finnes flere bosettinger på Spitsbergen, samt noen mindre bosettinger tilknyttet meteorologiske stasjoner på ande øyer (Bjørnøya, Hopen). Bosettingene på Svalbard er noen av verdens nordligste, og det bor omtrent 2000 personer i Longyearbyen som er den største bosettingen. I tillegg finnes det et russisk gruvesamfunn i Barentsburg (omtrent 400 innbyggere), et forskningssamfunn i Ny-Ålesund (30 – 130 innbyggere), bebyggelse i forbindelse med gruvedriften i Svea (omtrent 200 pendlere) og en fraflyttet (siden 1998) bosetning i Pyramiden (**figur 1).**

På Svalbard finnes det omtrent 2100 isbreer som dekker nesten 60 % av landarealet (**figur 1**). Isbreene har stor påvirkning på Svalbard, blant annet ved at de tilfører isvann, is og sediment til fjordene og kystområdene på Svalbard (Elverhøi mfl. 1980, Görlich mfl. 1987; Beszczynska-Möller mfl. 1997).

Figur 1. Kart over Svalbard (eksklusive Bjørnøya) med de viktigste bosetningsområdene angitt. De hvite landområder representerer omtrentlig utbredelse av isbre.

2.2 Kystområder

De glasiale fjordene på Svalbard er preget av stor tilførsel av sediment på grunn av breavsmelting. Høy sedimentasjon av uorganiske partikler fører til en uttynning av næringsinnholdet i sedimentet og betydelige fysiske forstyrrelser. En høy sedimentasjonsrate kan også føre til en fortynning av miljøgifter som tilføres sedimentene, slik at lave konsentrasjoner måles til tross for at de totale tilførslene kan være betydelige. Dette er viktig å være klar over ved undersøkelser av miljøstatus i glasialt påvirkede fjorder.

2.3 Menneskelige aktiviteter

Alle de større bosetningsområdene på Spitsbergen, med unntak av Ny-Ålesund, har bakgrunn i gruvedrift etter kull.

I Longyearbyen ble gruveaktiviteten etablert av amerikanere i 1910, og driften ble overtatt av Store Norske Spitsbergen Kullkompani i 1916. Etter at Gruve 3 ble nedlagt i 1996, er det nå bare kullutvinning i Gruve 7 i nærheten av Longyearbyen. I tillegg driver selskapet utvinning i Svea i indre del av van Mijenfjorden. Total kullproduksjon på Svalbard varierer mellom år, men har vært i størrelsesorden 1,5 - 3,5 millioner tonn. I tillegg til gruvedrift er turisme i dag en meget viktig næring for innbyggerne i Longyearbyen. Det er daglige flyvninger til/fra Longyearbyen og cruisetrafikken rundt/til Svalbard er i sterk vekst, både når det gjelder antall turister og antall ilandstigningssteder (Evenset og Christensen 2012, Hagen mfl. 2012).

Gruveaktivitetene i Barentsburg ble startet av hollendere i ca. 1920 og fortsatte til 1935. Like etter 1935 ble Barentsburg overtatt av russere, som har drevet gruvene siden den tid. Bortsett fra krigsperioden har det inntil nylig vært jevnlig kullproduksjon på ca. 300.000 tonn/ år i Barentsburg. I de senere år har produksjonen blitt redusert til rundt 100-150.000 tonn kull. Det er i dag rundt 500 mennesker bosatt i Barentsburg.

I Pyramiden ble de første kullprøvene analysert for kommersiell verdi i 1899, men selve kulldriften ble først etablert like før 2. verdenskrig, og større produksjon startet midt på 50-tallet. Det var en jevn produksjon på omtrent 250.000 tonn/år, inntil gruvene ble nedlagt våren 1998. I de senere år har Pyramiden vært et attraktivt mål for turister som ankommer byen med skip (kun dagsturer).

Grumantbyen, som ligger på østsiden av Colesbukta, var inntil 1962 en av de største bosettinger på Svalbard. Omtrent 1200 mennesker bodde der i etterkrigstiden. Sommeren 1962 forlot russerne stedet. Det russiske gruveselskapet Trust Arktikugol har vist interesse for å ta opp igjen aktivitetene i Colesbukta, men disse planene har foreløpig ikke blitt realisert.

3 Metode

3.1 Innsamling av data

Datagrunnlag for sammenstilling av miljøgifter på Svalbard ble innhentet fra to områder:

1. Internasjonalt og nasjonalt publisert litteratur tilgjengelig online
2. Databaser hos Store Norske og Akvaplan-niva.

Søk etter datagrunnlag online ble foretatt ved hjelp av ISI Web of Science (www.webofknowledge.com), Google Scholar (www.scholar.google.com) og Google (www.google.com). Følgende søkeord ble benyttet:

- Svalbard
- Spitsbergen
- PAH
- Polyaromatiske hydrokarboner
- Polysykliske aromatiske hydrokarboner
- Polycyclic aromatic hydrocarbons
- Polyaromatic hydrocarbons
- Metaller
- Metals
- Heavy metals
- Tungmetaller

Litteratur som omhandlet sediment i kystnære områder (innenfor 10 km) i sjø, sediment i innsjø, jord/grunn og/eller vann der konsentrasjonene av miljøgifter var sammenlignbare (dvs. målt etter sammenlignbare metoder) ble tatt med i sammenstillingen. Torvjord (peat soils på engelsk) og jordprøver tatt under fuglefjell ble ikke tatt med, da det forventes en annen sammensetning av miljøgifter i disse områdene. Det finnes en rekke PAHer, og forskjellige forskermiljøer måler nivåer av forskjellige substanser. I Norge måles oftest substansene Naftalen, Acenaftylen, Acenaften, Fluoren, Fenantren, Antracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo[a]antracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranten, Benzo[k]fluoranten, Benzo(a)pyren, Indeno[123cd]pyren, Dibenzo[ah]antracen og Benzo[ghi]perylen, og det finnes etablerte tilstandsklasser for disse forbindelsene. De nevnte forbindelsene ble derfor inkluderte i sammenstillingen. Alle tungmetaller, metaller og andre grunnstoffer ble også inkludert.

Søket resulterte i 37 internasjonalt eller nasjonalt publiserte dokumenter som omhandlet de nevnte forbindelser/elementer, og i tillegg ble Store Norske Spitsbergen Grubekompanis upubliserte overvåkingsdata på smeltevann fra bre i gruveområdet ved Svea brukt (#38-40) (**tabell 1**). Data på metaller og andre grunnstoffer fra to artikler ble ekskludert fra sammenstillingen, da analysene ble utført på filtrerte prøver og derfor ikke kan sammenlignes med øvrige data (Gulińska mfl. 2003, Frankowski & Zioła-Frankowska 2014). De ulike

studiene som er inkludert er gjennomført fra 1990 og frem til i dag, og spenner således over en relativt lang tidsperiode. Studier gjennomført i menneskepåvirkede områder er imidlertid av nyere dato (fra 2000). Nivåer av både PAH og elementer i prøver tatt i avsidesliggende strøk kan endre seg over tid som en følge av endringer i langtransportert forurensning, men endringene vil sannsynligvis være langsommere enn i områder påvirket av menneskelig aktivitet. I fremstillingen av data fremkommer det det hvilke prøver som er tatt i områder påvirket av utslipp fra bosettinger og/eller gruvedrift.

Tabell 1. Oversikt over litteratur inkludert i sammenstillingen over PAH, metaller og andre grunnstoffer på Svalbard, og hvilke grupper (PAH og/eller metaller og andre grunnstoffer, «metall» inkluderer her også andre grunnstoffer) og områder (sedimenter i sjø og innsjø, jordprøver eller vannprøver) som er inkludert i de aktuelle studiene. Se referanseliste for fullstendige referanser.

#	Tittel	Forfatter	Substans og område
1	Persistent toxic substances in remote lake and coastal sediments from Svalbard, Norwegian Arctic: Levels, sources and fluxes.	Jiao mfl. 2009	PAH Innsjø
2	Soil contamination in high arctic areas of human impact, central Spitsbergen, Svalbard.	Gulińska mfl. 2003	PAH Jord
3	Heavy metals and persistent organic pollutants in sediments and fish from lakes in Northern and Arctic regions of Norway.	Skotvold mfl. 1997	Metall Innsjø
4	National lake survey 2004 – 2006, PART III: AMAP.	Christensen mfl. 2008	PAH Innsjø Metall Innsjø
5	A 150-year record of heavy metals in the varved sediments of Lake Bolterskardet, Svalbard.	Sun mfl. 2006	Metall Innsjø
6	Some macrofaunal effects of local pollution and glacier-induced sedimentation, with indicative chemical analyses, in the sediments of two Arctic fjords.	Holte mfl. 1996	Metall Sjø
7	Polycyclic aromatic hydrocarbons in dated freshwater and marine sediments along the Norwegian coast.	Eide mfl. 2011	PAH Innsjø PAH Sjø
8	Correlations between physicochemical properties of PAHs and their distribution in soil, moss and reindeer dung at Ny-Ålesund of the Arctic.	Wang mfl. 2009	PAH Jord
9	Miljøgifter i jord, marine sedimenter og fisk fra Kinnvika, Nordaustlandet, Svalbard, 2011.	Evenset & Christensen 2012	PAH Sjø PAH Jord
10	Persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from selected fjords, tidal plains and lakes of the North Spitsbergen.	Sapota mfl. 2009	PAH Innsjø
11	Lake-sediment evidence for local and remote sources of atmospherically deposited pollutants on Svalbard.	Rose mfl. 2004	PAH Innsjø

Tabell 1. (forts).

12	Sediment fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in European high altitude mountain lakes.	Fernãndez mfl. 1999	PAH Innsjø
13	The Svalbard western coast: site of baseline geochemistry and incipient contamination.	Siegel mfl. 2000	Metall Sjø
14	Miljøgeokjemiske undersøkelser i Kongsfjorden 1991 og 1992.	Skei mfl. 2001	PAH Sjø Metall Sjø
15	Organochlorine contaminants in fish and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Barents Sea.	Stange & Klungsøyr 1997	PAH Sjø
16	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources.	Dahle mfl. 2006	PAH Sjø
17	Levels and distribution of trace metals in surface sediments from Kongsfjorden, Svalbard, Norwegian Arctic.	Lu mfl. 2013	Metall Sjø
18	Bioavailability of trace elements in surface sediments from Kongsfjorden, Svalbard.	Grotti mfl. 2013	Metall Sjø
19	Heavy metal ions determination in the Arctic soils.	Negoiţă & Ropotă 2000	Metall Jord
20	The contents of selected trace elements in the soils of Bellsund, Spitsbergen.	Melke 2006	Metall Jord
21	Heavy metals in the plants and soil of Calypsostranda in the Bellsund region (west Spitsbergen).	Jó´zwik & Magierski 1994	Metall Jord
22	Sb Pollution in the Soil, Moss and Sediments of Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic.	Sun mfl. 2010	Metall Jord
23	Effect of recent climate change on Arctic Pb pollution: A comparative study of historical records in lake and peat sediments.	Liu mfl. 2012	Metall Innsjø
24	Metals in some dominant vascular plants, mosses, lichens, algae, and the biological soil crust in various types of terrestrial tundra, SW Spitsbergen, Norway.	Wojtun mfl. 2013	Metall Jord
25	Analysis of labile form of aluminum and heavy metals in bottom sediments from Kongsfjord, Isfjord, Hornsund fjords.	Frankowski & Frankowska 2014	Metall Sjø
26	Recent environmental change and human impact on Svalbard: the lake-sediment geochemical record.	Boyle mfl. 2004	Metall Innsjø
27	Contaminants, benthic communities, and bioturbation: potential for PAH mobilisation in Arctic sediments.	Konovalov mfl. 2012	PAH Sjø
28	Metal contents in soils of Kaffiøyra, Spitsbergen.	Plichta & Kuczy´nska 1991	Metall Jord

29	Miljøgifter i marine sedimenter, Isfjorden, Svalbard 2005.	Evenset mfl. 2006	PAH Sjø Metall Sjø
30	Marin miljøundersøkelse ved bosetningene Barentsburg, Longyearbyen og Pyramiden i Isfjorden, Svalbard.	Cochrane mfl. 2001	PAH Sjø Metall Sjø
31	Miljøgifter i marine sedimenter i Isfjorden, Svalbard 2009 (ikke offentlig rapport)	Evenset mfl. 2009	PAH Sjø Metall Sjø
32	Heavy metals in water, ice and biological material from Spitsbergen, Svalbard	Drbal mfl. 1992	Metall Vann
34	Pollution in acid mine drainage from mine tailings in Svalbard, Norwegian Arctic	Holm mfl. 2003	Metall Vann
35	The heavy metals in water of select Spitsbergen and Iceland glaciers	Jó´zwiak & Jó´zwiak 2007	Metall Vann
36	Organic Pollution in Surface Waters from the Fuglebekken Basin in Svalbard, Norwegian Arctic	Polkowska mfl. 2011	PAH Vann
37	Metal accumulation in sea urchins and their kelp diet in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard)	Ahn mfl. 2009	Metall Vann
38	Vurdering av overvåkingsdata, Lunckefjell 2013 (ikke offentlig publisert, data tilhører Store Norske Spitsbergen Grubekompani AS)	Evenset 2013	Metall Vann PAH Vann
39	Prøvetaking av smeltevann og sediment i Reindalen og Reindalselva (ikke offentlig publisert, data tilhører Store Norske Spitsbergen Grubekompani AS)	Evenset 2012	Metall Vann PAH Vann
40	Prøvetaking av smeltevann fra Marthabreen og Bosarpbreen 2014 (data tilhører Store Norske Spitsbergen Grubekompani AS)	Store Norske Spitsbergen Grubekompani	Metall Vann PAH Vann

Noen av de inkluderte data er hentet fra overvåkingsserier (f.eks. Cochrane mfl. 2001, Evenset mfl. 2005, 2009) og nivåene som presenteres representerer således tidstrender på de samme stasjoner. Ettersom målsetningen med hovedprosjektet har vært å få frem hvilke variasjoner som forekommer på Svalbard har vi likevel valgt å inkludere disse data i fremstillingen som følger i de neste kapitler. Data representerer også områder som i ulik grad er påvirket av menneskelig aktivitet. I analysene er resultater fra områdene rundt bosettingene inkludert, for å se i hvilken grad disse skiller seg fra områder som kun påvirkes av langtransportert forurensning. Det fremgår imidlertid av figurer og tabeller hvilke data som kommer fra områder med menneskelig aktivitet. Ved vurdering av klassegrenser/miljøklassifisering er det viktig å ha en god oversikt over hvordan nivåene av de utvalgte elementene/forbindelsene varierer i områder uten lokale kilder, og det er derfor i første rekke slike data som er relevant for fremtidige prosjekter.

3.2 Sammenstilling av data, presentasjon og analyser

3.2.1 Utvikling av database

Datagrunnlaget fra rapportene/artiklene ble overført til en database (Excel) og standardisert, dvs. analysemetodene ble vurdert for sammenlignbarhet, estimatene ble skalert slik at enheten for hver kjemisk komponent var den samme, og det ble sjekket at alle analysene av sediment og jord ble utført på tørkede prøver.

3.2.2 Inndeling av kjemiske komponenter

Da det kan forventes at nivåene av de kjemiske komponentene skiller mellom sjøbunnssedimenter, sedimenter fra innsjø, jord og vann, ble dataene inndelt og presentert i grupperingene:

- PAH i sjøbunnssediment (data fra totalt 10 rapporter/artikler, totalt 3107 prøver)
- PAH i innsjøsediment (data fra totalt 6 rapporter/artikler, totalt 804 prøver)
- PAH i jord (data fra totalt 3 rapporter/artikler, totalt 306 prøver)
- PAH i vann (data fra totalt 4 rapporter/artikler, totalt 323 prøver)
- Metaller og grunnstoffer i sjøbunnssediment (data fra totalt 9 rapporter/artikler, totalt 924 prøver)
- Metaller og grunnstoffer i innsjøsediment (data fra totalt 5 rapporter/artikler, totalt 466 prøver)
- Metaller og grunnstoffer i jord (data fra totalt 6 rapporter/artikler, totalt 296 prøver)
- Metaller og grunnstoffer i vann (data fra totalt 7 rapporter/artikler, totalt 219 prøver)

Det ble i noen studier, spesielt studier av sedimenter, tatt prøver fra forskjellige lag i sedimentene. I disse tilfellene er data fra overflatesedimentene inkludert i sammenstillingen, og resterende ekskludert. Dette resulterte i at sediment fra 0 – 8 cm dybde er inkludert i sammenstillingen.

3.2.3 Geografisk inndeling

3.2.3.1 Sjøbunnssedimenter

For presentasjon av miljøgifter i sjøbunnssediment langs Svalbards kyst, ble området inndelt i soner der prøvene ble tatt. Sonene representerer i stor grad fjorder og sund langs vest- og nordkysten av Spitsbergen. Studier på miljøgifter er utført i følgende fjorder (kode brukt i resultatkapitlet angitt i parentes):

1. Van Mijenfjorden (VANM)
2. Grønfjorden (GRØN)
3. Adventfjorden (ADVE)
4. Billefjorden (BILL)
5. Nordfjorden (NORD)
6. Isfjorden (ISFJ)
7. Forlandssundet (FORL)
8. Kongsfjorden (KONG)
9. Lomfjorden (LOMF)

Videre er studier utført i kystområdene rundt:

10. Nordaustlandet (NOAU)
11. Svenskøya (SVEN)
12. Storfjorden (STOR)

Områdene er presentert i **figur 2**.

Figur 2. Kart over fjorder og kystområder der det er utført studier av PAH og metaller i sjøbunnssediment.

3.2.3.2 Innsjøsedimenter

Det ble funnet studier på miljøgifter fra totalt 30 innsjøer på Spitsbergen og én innsjø på Barentsøya. Størrelsen på de studerte innsjøene var ikke oppgitt for alle studier inkludert i sammenstillingen, men der denne informasjonen var oppgitt varierte størrelsen mellom 0,037 km^2 til 3,5 km^2. De minste innsjøene er ofte sterkt smeltevannspåvirket, og kan egentlig helst kalles dammer. Mange av de studerte innsjøene mangler navn, og innsjøene er derfor videre representert av en bokstav- og sifferkombinasjon. Plasseringen til de studerte innsjøene er vist i **figur 3**.

De største innsjøene som er inkludert i sammenstillingen er:

A. Revvatnet

B. Daltjørna

C. Kongressvatnet

D. Linnèvatnet

D2. Tenndammen

E. Yttertjørna

J. Sarsvatnet

L. Arresjøen

N. Åsøvatnet

Z. Barentsvatnet

Figur 3. Kart over innsjøer der det er utført studier av PAH og metaller i sediment.

3.2.3.3 Jord

Det ble funnet studier på miljøgifter i jord fra 11 områder på Spitsbergen og et område på Nordaustlandet. Studier på miljøgifter er utført i følgende områder (kode brukt i resultatkapitlet angitt i parentes):

A. Fuglebekken (FUGL)

B. Bellsund (BELL)

C. Kapp Linnè (KAPP)

D. Colesbukta (COLE)

E. Grumantbyen (GRUM)

F. Bjørndalen (BJØR)

G. Longyearbyen vest (LON1)

H. Longyearbyen øst (LON2)

I. Pyramiden i Billefjorden (BILL)

J. Kaffiøyra (KAFF)

K. Ny-Ålesund (NYÅL)

L. Kinnvika (KINN)

De aktuelle studieområdene er vist i **figur 4**.

Figur 4. Kart over lokaliteter der det er utført studier av PAH og metaller i jordprøver.

3.2.3.4 Vann

Det ble funnet studier på miljøgifter i vann fra 9 områder på Spitsbergen. Studier på miljøgifter er utført i følgende områder (kode brukt i resultatkapitlet angitt i parentes):

1. Marthabreen ved van Mijenfjorden (MART)
2. Bosarpbreen ved van Mijenfjorden (BOSA)
3. Adolfbreen ved Bockfjorden (ADOL)
4. Waldemarbreen ved Forlandssundet (WALD)
5. Petuniabukta ved Billefjorden (PETU)
6. Gruve 3 i Adventfjorden (ADVE)
7. Fuglebekken ved Hornsund (FUGL)
8. Linnèvatnet i Nordenskiöld land nasjonalpark (LINN)
9. Kongsfjorden (KONG)

De aktuelle studieområdene er vist i **figur 5**.

Figur 5. Kart over lokaliteter der det er utført studier av PAH og metaller i vann.

3.2.4 Klassifisering av miljøtilstand

For å illustrere hvordan miljøtilstanden i ulike media på Svalbard klassifiseres i henhold til klassifiseringssystemene utviklet for fastlands Norge har vi valgt å benytte de eksisterende veilederne på data som er sammenstilt i denne studien.

Resultatene i sammenstillingen av miljøgifter i sjøvann og sediment på Svalbard er presenterte i forhold til Miljødirektoratets reviderte veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Bakke mfl. 2007). I denne veilederen klassifiseres vann og sediment til en av fem tilstandsklasser basert på kunnskap om effekter av miljøgifter, og klassegrensene representerer en forventet økende grad av skade på organismesamfunn (**tabell 2**).

Tabell 2. Fargekoder for klassifisering av tilstand for miljøgifter i sjøvann og marine sedimenter, inkludert effektene på organismer som kan oppstå på grunn av den kjemiske belastningen fra metallene i henhold til Miljødirektoratets reviderte veileder (Bakke mfl. 2007, TA 2229/2007).

Kjemisk komponent (enhet)	Tilstandsklasse I Bakgrunn	Tilstandsklasse II God	Tilstandsklasse III Moderat	Tilstandsklasse IV Dårlig	Tilstandsklasse V Svært dårlig
	Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtidseksponering	Akutt toksiske effekter ved korttidseksponering	Omfattende akutt-toksiske effekter

Resultatene i sammenstillingen av miljøgifter i ferskvann og sedimenter fra ferskvannskilder på Svalbard er presenterte i forhold til Miljødirektoratets veileder for klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann (Andersen mfl. 1997). I denne veilederen klassifiseres vann og sediment til en av fem tilstandsklasser basert en kombinasjon av kunnskap om stoffkonsentrasjonenes effekter på vannmiljøet og statistisk informasjon om stoffenes utbredelse i norske vannforekomster (**tabell 3**).

Tabell 3. Fargekoder for klassifisering av tilstand for metaller og organiske stoffer i ferskvann og sedimenter fra ferskvannskilder (Andersen mfl., 1997, TA 1468/1997).

Kjemisk komponent (enhet)	Tilstandsklasse I «Ubetydelig forurenset»	Tilstandsklasse II "Moderat forurenset"	Tilstandsklasse III "Markert forurenset"	Tilstandsklasse IV "Sterkt forurenset"	Tilstandsklasse V «Meget sterkt forurenset»

Resultatene i sammenstillingen av miljøgifter i jord/grunn på Svalbard er presenterte i forhold til Miljødirektoratets veileder for tilstandsklasser for forurenset grunn (Hansen & Danielsberg 2009). Tilstandsklassene er satt opp ved å beregne helsemessige akseptkriterier ved hjelp av en revidert versjon av risikoberegningsverktøy beskrevet i SFT-veileder 99:01. Grensene mellom de ulike klassene er kvalitetssikret av norske helsemyndigheter og sammenholdt mot andre land og norske erfaringer (**tabell 4**).

Tabell 4. Fargekoder for klassifisering av tilstand for metaller, organiske stoffer og PAH i forurenset grunn, inkludert kriteriene som ligger til grunn for klassifiseringen (Hansen & Danielsberg 2009. TA 2553/2009).

Kjemisk komponent (enhet)	Tilstandsklasse I Bakgrunn	Tilstandsklasse II God	Tilstandsklasse III Moderat	Tilstandsklasse IV Dårlig	Tilstandsklasse V Svært dårlig
	Normverdi	Helsebaserte akseptkriterier	Helsebaserte akseptkriterier	Helsebaserte akseptkriterier	Nivå som anses å være farlig avfall

3.2.5 Analyser og datapresentasjon

Nivåene av PAH, metaller og andre grunnstoffer ble organisert i matriser og importer fra databasen til programmet "R" (R core team, 2012). Dataene ble presentert i boxplots som viser medianverdier, øvre og nedre kvartil, 1,5 interkvartil spredning og outliers, og tilstandsklassene for de forskjellige substansene ble illustrert i grafene i tilfeller der disse er etablerte. Programmet "R" ble brukt til all grafisk presentasjon av data.

For å undersøke sammensetningen og fordelingen av de forskjellige PAH-komponentene i kystområder ble en type prinsipal komponent analyse (PCA) med hierarkisk gruppering utført med funksjonen HCPC (Hierarchial Clustering on Principal Components) i "R"-pakken FactoMineR (Lê mfl., 2008). Grupperingen ble basert på gjennomsnittlige konsentrasjoner av acenaftylen, acenaften, antracen, benzo[a]antracen, benzo(a)pyren, benzo[b]fluoranten, pyren, benzo[k]fluoranten, benzo[ghi]perylen, chrysen, dibenzo[ah]antracen, fluoren, fluoranthen, indeno[123cd]pyren), naftalen og fenantren i de forskjellige områdene, med koordinater og gjennomsnittlig prøvetakningsdybde per fjord som støtteparametere.

4 Resultater

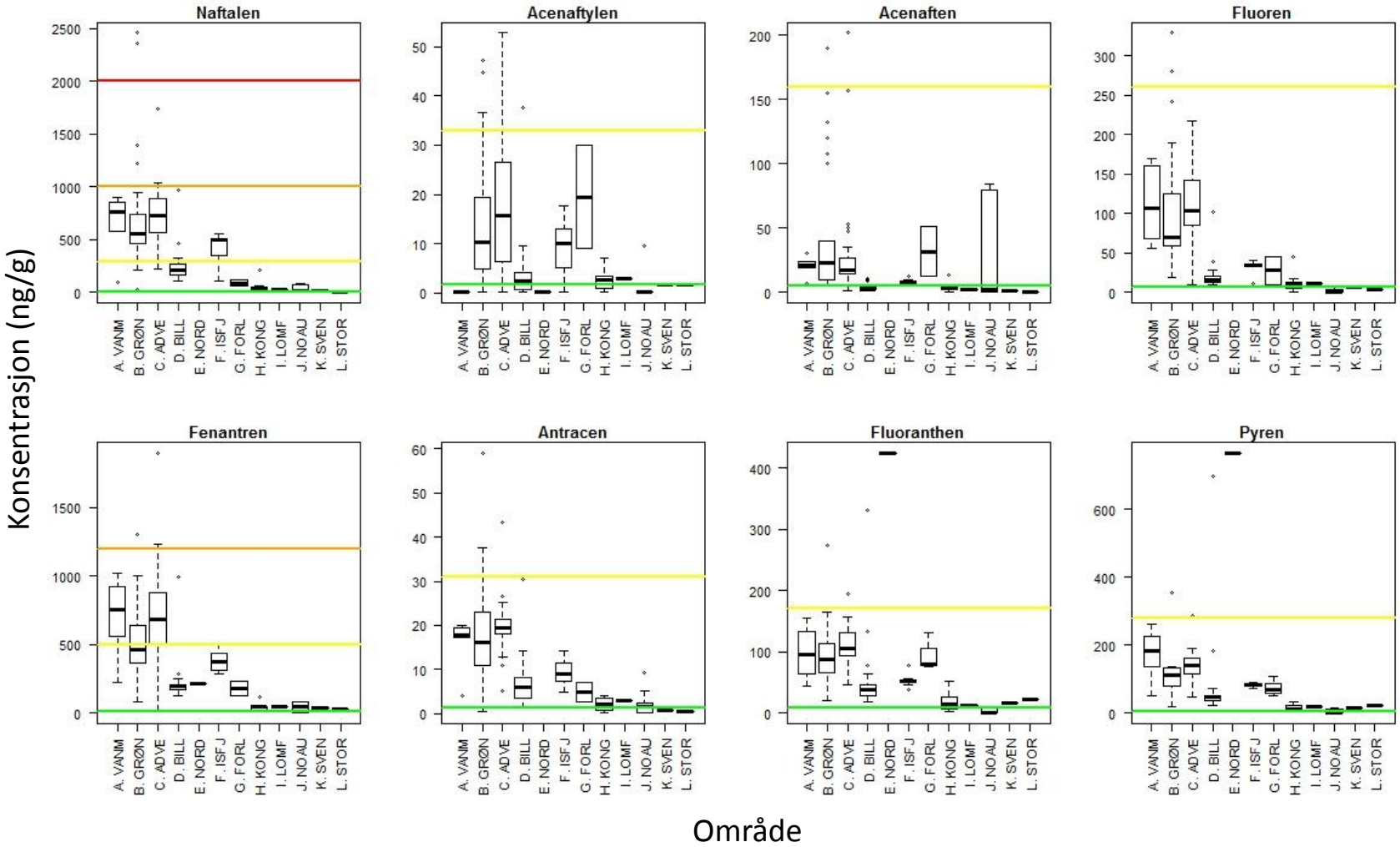
4.1 PAH i sjøbunns-sedimenter

Det var stor variasjon mellom områder i nivå av de forskjellige PAH-forbindelsene i sjøbunnssedimentene (**figur 6**). Fjordene og kystområdene på øst-siden av Spitsbergen hadde de laveste verdiene av alle forbindelsene, og i dette området var de fleste prøvene i tilstandsklasse I «bakgrunn» eller i nedre del av tilstandsklasse II «god» (tilstandsklasser etter Bakke mfl. 2007). Unntaket fra dette var benzo[ghi]perylen som hadde verdier i tilstandsklasse III eller IV «moderat til dårlig» i dette området. Det må imidlertid påpekes at med unntak av prøvene tatt i Kinnvika på Nordaustlandet er prøvene fra østkysten tatt lengre ut fra kysten enn prøvene fra vestkysten.

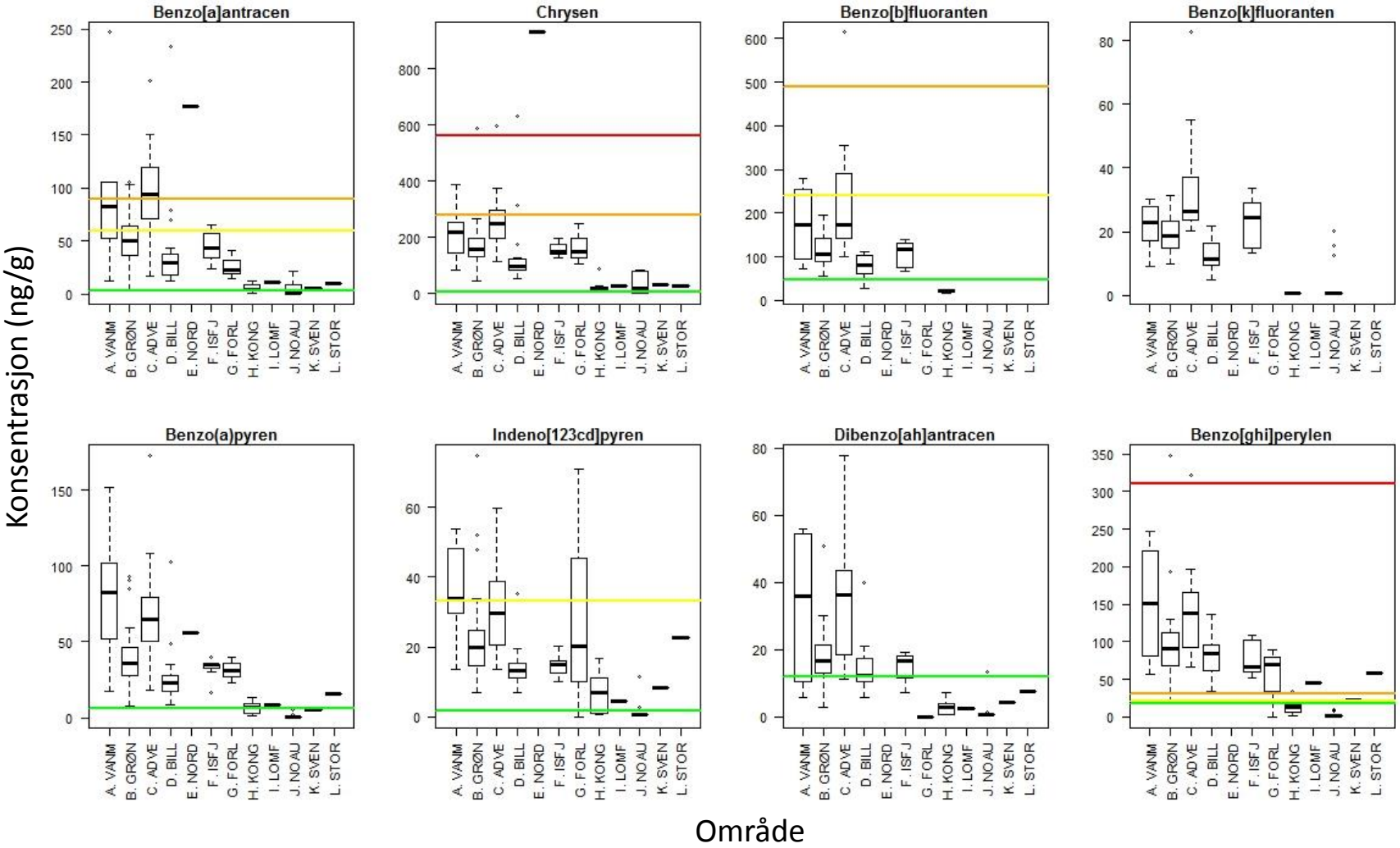
For Spitsbergens vestkyst kan det generelt sies at PAH-forbindelsene acenaftylen, acenaften, flouren, antracen, flouranthen og pyren hadde medianverdier klassifiserte som «gode» (tilstandsklasse II), men at det ikke er uvanlig å finne verdier i tilstandsklasse III. Forbindelsene benzo[k]flouranten, benzo(a)pyren og dibenzo[ah]antracen forekommer generelt i lave nivåer (tilstandsklassee I-II). Forbindelsene naftalen, fenantren, benzo[a]antracen, chrysen, benzo[ghi]perylen, og til dels benzo[b]flouranten, utmerket seg med høye medianverdier (ofte i tilstandsklasse III) og enkeltmålinger i tilstandsklasse IV og/eller V.

Mange av PAH-forbindelsene hadde minkende konsentrasjoner ved økende dybde (**figur 7**). Sammenhengen var sterkest og statistisk signifikant i menneskepåvirkede områder (lineær regresjon, en minking med 0,3 konsentrasjonsenheter per meter økning i dybde, $P<0,05$). Sammenhengen var også til stede i upåvirkede områder, men ikke statistisk signifikant ($P>0,05$) og svakere enn i menneskepåvirkede områder (lineær regresjon, en minking med 0,06 konsentrasjonsenheter per meter økning i dybde). Siden det har foregått kullutvinning i området rundt Isfjorden i omtrent et århundre og det er aktiv kulldrift ved van Mijenfjorden, er det sannsynligvis kullutvinningen som har forårsaket forhøyede nivåer av PAH i disse kystområdene. Imidlertid er det også høye nivåer av PAH i smeltevann fra isbre (se kapittel 4.7), og det er mulig at den naturlig kull-rike grunnen som er på Svalbard bidrar til de forhøyede verdiene. De relativt høye nivåene av PAH i Forlandssundet på Spitsbergens vestkyst, der det ikke har vært menneskelig aktivitet, indikerer at de høye nivåene av PAH i dette området er naturlige. Dette støttes av en faktorial analyse som grupperer de forskjellige kystområdene basert på konsentrasjoner av de forskjellige PAH-forbindelsene. Denne viser at van Mijenfjorden, Adventfjorden og Grønnfjorden skiller seg i PAH-sammensetning fra de andre fjordene og kystområdene på Svalbard (**figur 8**). Da dette er de områdene der det i dag foregår aktiv kulldrift, er det sannsynlig at aktiv kulldrift har en påvirkning på PAH-sammensetningen i sjøbunnssedimenter i omkringliggende fjorder.

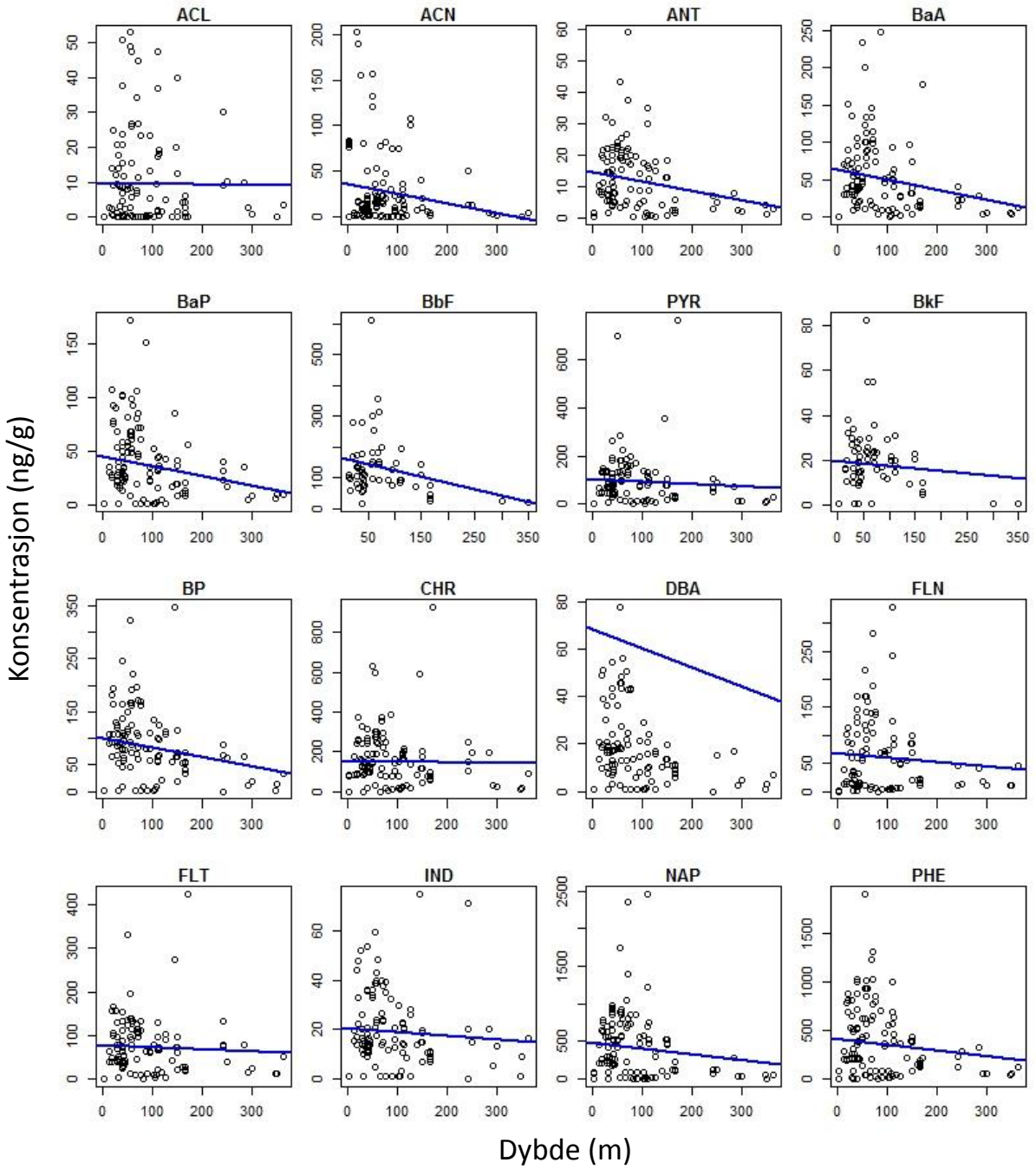
Ved klassifisering er det viktig å ta hensyn til lokale geologiske forhold. Når det gjelder klassifisering av PAH basert på potensielle effekter er det imidlertid viktig å ta hensyn til at PAH fra kull er lite biotilgjengelig. Kull kan også absorbere andre organiske miljøgifter og dermed redusere opptak av disse i organismer.



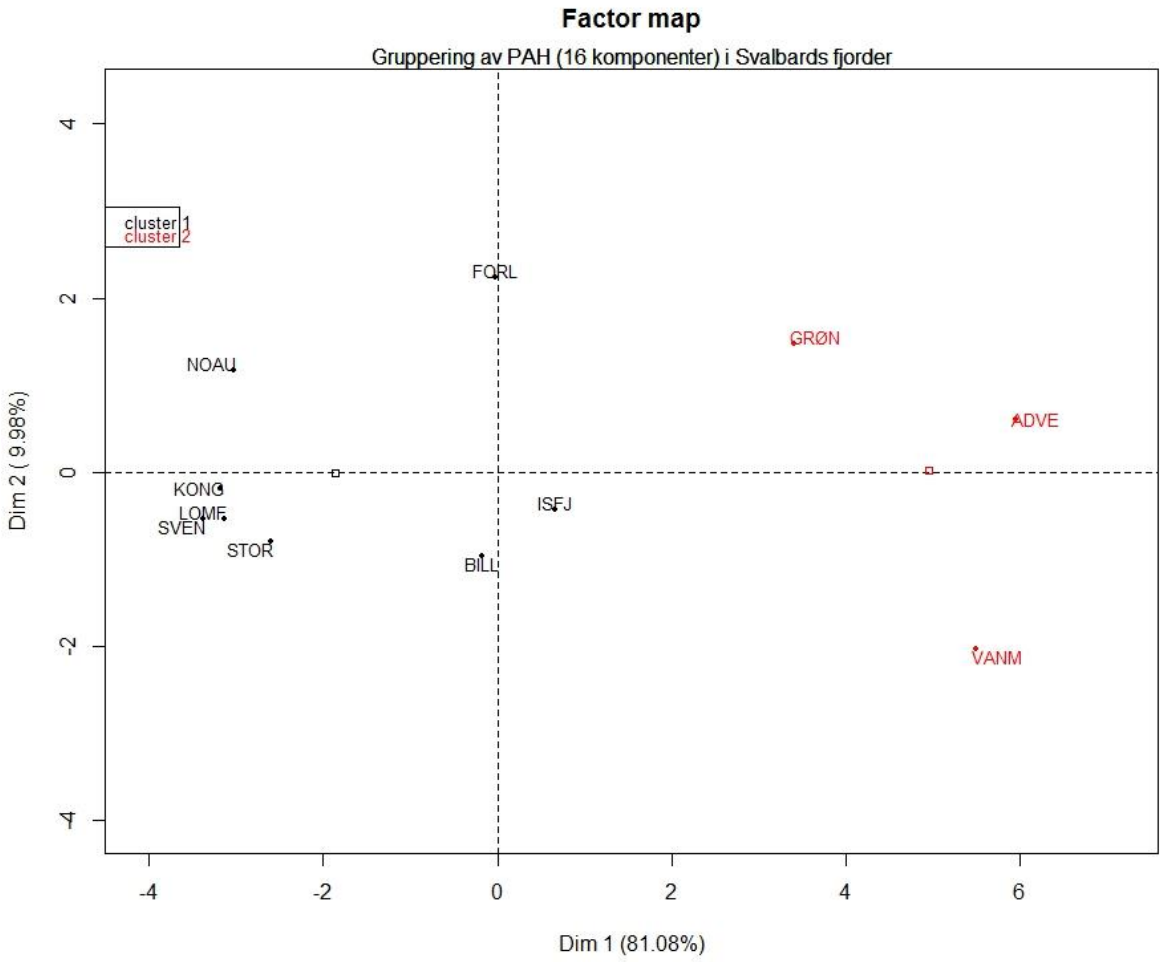
Figur 6. Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i fjorder og kystområder på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Bakke mfl. (2007). Områdekoder er vist i ***figur 2****.*



*Figur 6 (forts.). Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i fjorder og kystområder på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Bakke mfl. (2007). Områdekoder er vist i **figur 2**.*



Figur 7. Sammenheng mellom konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser og dybde (m) i fjorder og kystområder på Svalbard. Forkortelser: Naftalen (NAP), Acenaftylen (ACL), Acenaften (ACN), Fluoren (FLN), Fenantren (PHE), Antracen (ANT), Fluoranthen (FLT), Pyren (PYR), Benzo[a]antracen (BaA), Chrysen (CHR), Benzo[b]fluoranten (BbF), Benzo[k]fluoranten (BkF), Benzo(a)pyren, (BaP), Indeno[123cd]pyren (IND), Dibenzo[ah]antracen (DBA) og Benzo[ghi]perylen (BP).



Figur 8. Faktorial gruppering av Svalbards fjorder og kystområder, der van Mijenfjorden, Adventfjorden og Grønfjorden skiller seg fra de andre kystområdene. Grupperingen er basert på gjennomsnittlige konsentrasjoner av acenaftylen, acenaften, antracen, benzo[a]antracen, benzo(a)pyren, benzo[b]fluoranten, pyren, benzo[k]fluoranten, benzo[ghi]perylen, chrysen, dibenzo[ah]antracen, fluoren, fluoranthen, indeno[123cd]pyren), naftalen og fenantren i de forskjellige kystområdene, med koordinater og gjennomsnittlig prøvetakningsdybde per fjord som støtteparametere. Områdekoder er vist i ***figur 2***

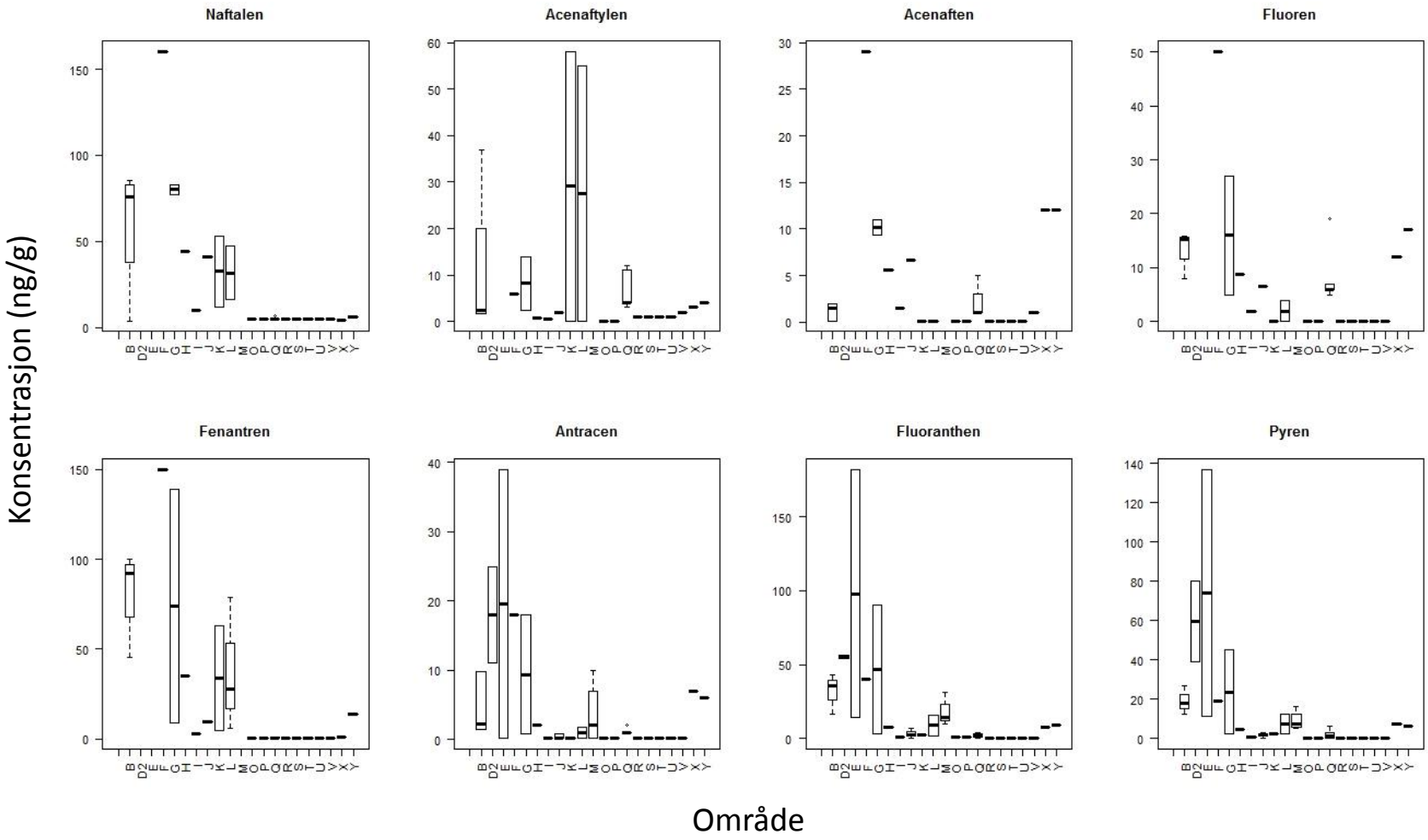
4.2 PAH i innsjøsedimenter

Innsjøene som er inkludert i sammenstillingen har ingen direkte kilder til miljøgifter, men de som ligger nærmest bosettingene kan være noe påvirket av luftbåren forurensning fra kjøretøy, båter og kullkraftverk. Det var stor variasjon i de dokumenterte nivåene av de forskjellige PAH-forbindelsene mellom innsjøer (**figur 9**). Generelt kan sies at PAH-forbindelser med få (2-4) karbonringer var vanligere på vestkysten av Spitsbergen, mens det var forholdsvis høyere andel av PAH-forbindelser med flere karbonringer (4-6) i innsjøene nord på Spitsbergen.

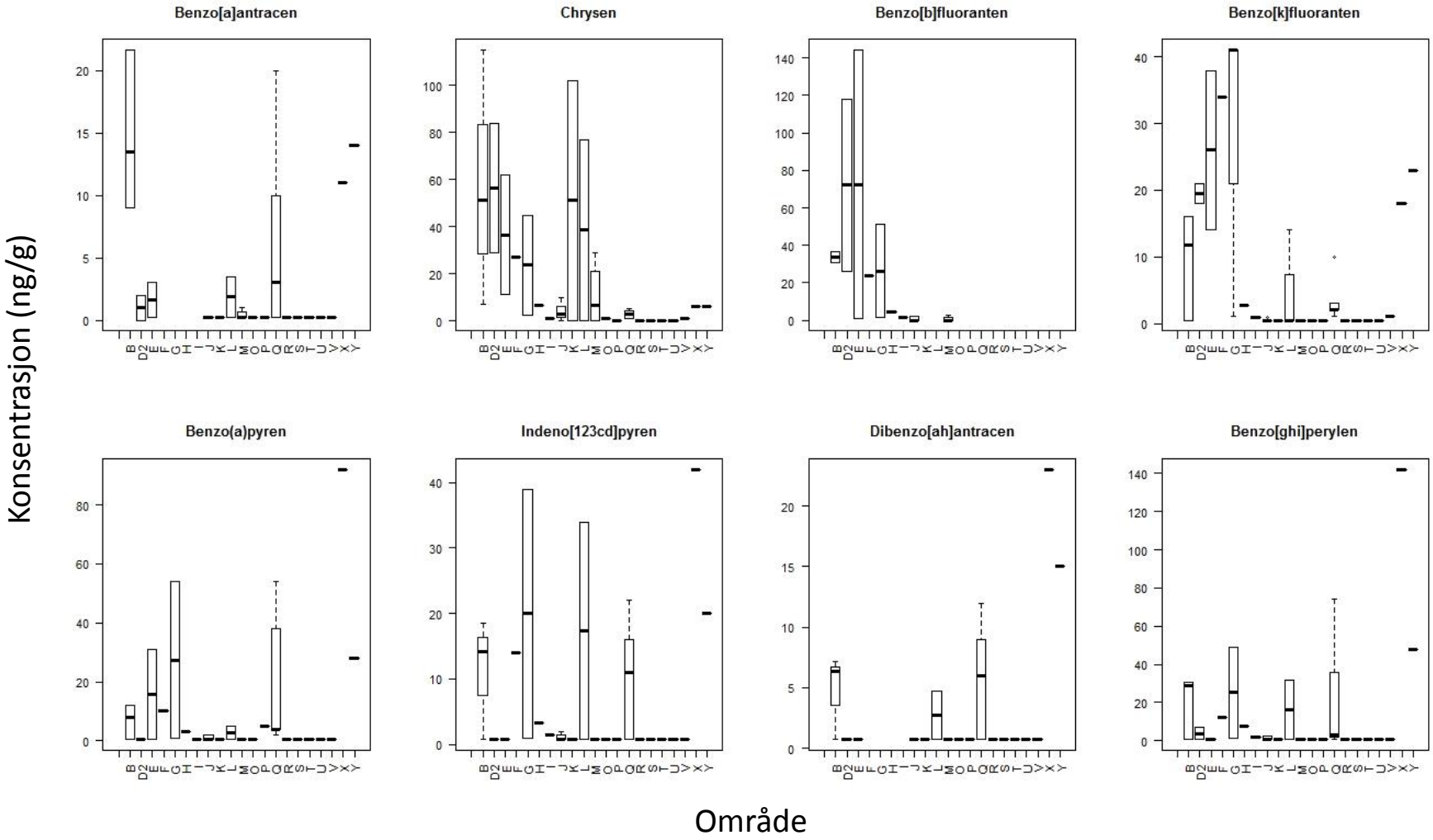
Da det ikke er etablert tilstandsklasser for innsjøsedimenter, er det mest nærliggende å sammenligne de dokumenterte nivåene med de etablerte tilstandsklassene for marine sedimenter og nivåene i marint miljø rundt Svalbard (**tabell 5**). De fleste PAH-forbindelsene i sediment fra innsjø havnet basert på denne inndelingen i tilstandsklasser I – II, med unntak av acenaftylen, antracen og flouranthen som hadde enkeltverdier opp i tilstandsklasse III og Benzo[ghi]perylen som hadde en enkeltverdi i tilstandsklasse IV. Sammenlignet med de marine sedimentene varierte PAH-nivåene mellom lignende verdier som i sjøbunnssedimentene til ca. en tidel av de målte marine verdiene. I denne sammenhengen må det imidlertid påpekes at de marine verdiene i mange tilfeller er fra fjorder med kullutvinning og bosettelse som gjør at PAH-verdiene i de marine sedimentene er høyere enn verdiene fra innsjø.

Tabell 5. Tilstandsklasser av PAH-forbindelser i sediment fra innsjø basert på klassifiseringssystem for MARINE sedimenter (Bakke mfl. 2007), og PAH-nivåer i innsjø sammenlignet med nivåer i de marine sedimentene fra kapittel 4.1.

PAH-forbindelse	Tilstandsklasse basert på marine grenseverdier	Sammenlignet med marine sedimenter på Svalbard
Naftalen	I - II	Ca. en tidel
Acenaftylen	I – III	Lignende
Acenaften	I - II	Ca. en åttendel
Fluoren	I - II	Ca. en åttendel
Fenantren	I - II	Ca. en tidel
Antracen	I - III	Lignende
Fluoranthen	I - III	Ca. halvparten
Pyren	I - II	Ca. en tredjedel
Benzo[a]antracen	I - II	Ca. en femtedel
Chrysen	I - II	Ca. en tidel
Benzo[b]fluoranten	I - II	Ca. en tredjedel
Benzo[k]fluoranten	I - II	Lignende
Benzo(a)pyren	I - II	Ca. halvparten
Indeno[123cd]pyren	I - II	Ca. halvparten
Dibenzo[ah]antracen	I - II	Ca. en fjerdedel
Benzo[ghi]perylen	I - IV	Ca. en tredjedel



*Figur 9. Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i sediment i innsjøer på Svalbard. Plasseringen til de forskjellige innsjøene er vist i **figur 3**.*

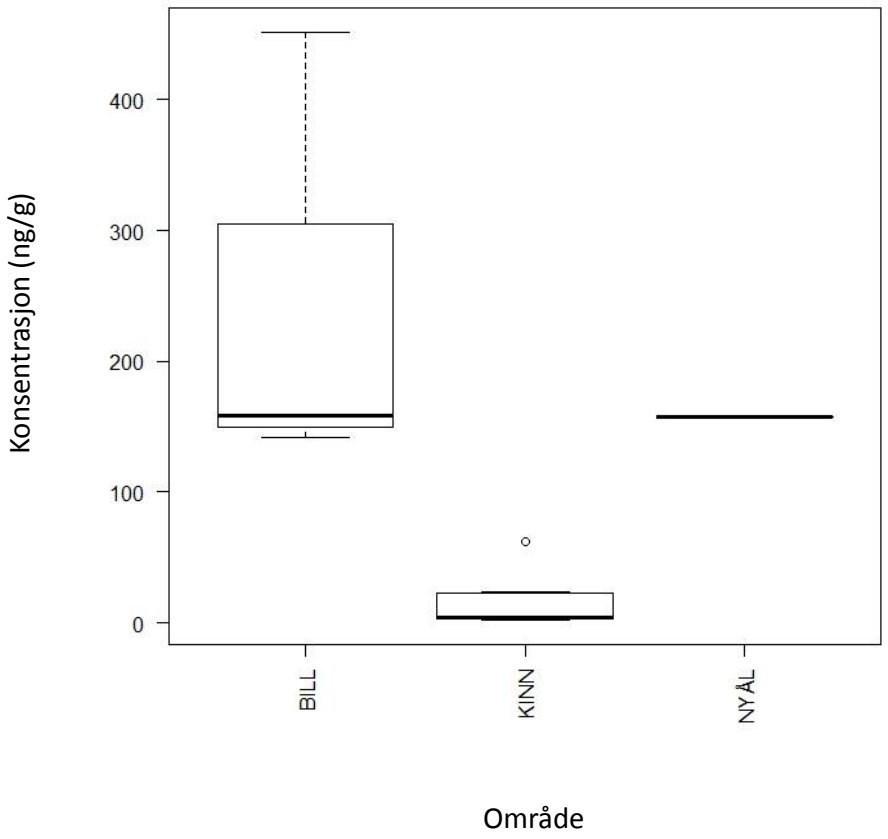


Figur 9 (forts). Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i sediment i innsjøer på Svalbard. Plasseringen til de forskjellige innsjøene er vist i ***figur 3****.*

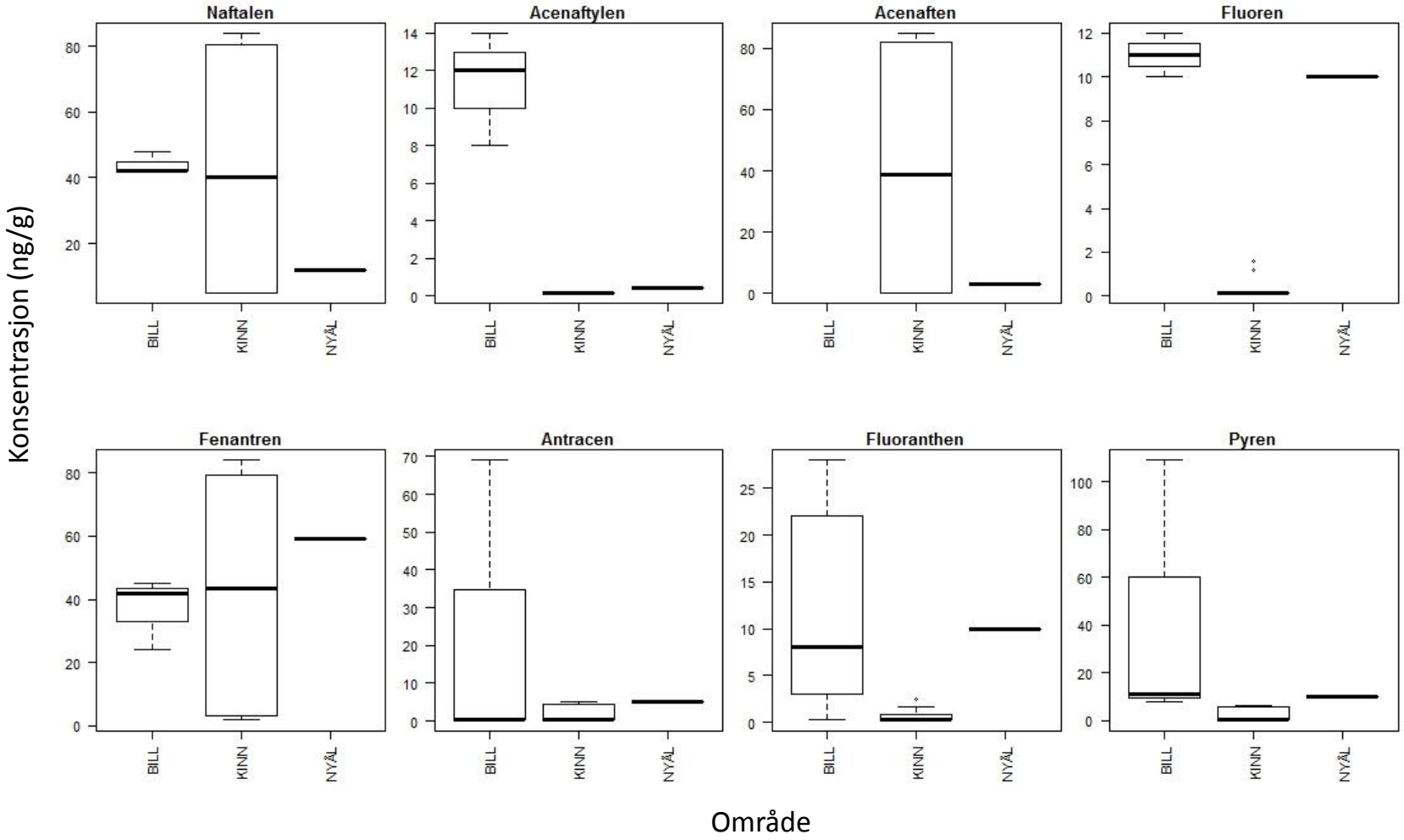
4.3 PAH i jord

PAH-nivåene i jord varierte mellom de tre studerte lokalitetene, der de høyeste samlede summene av PAH (summen av de 16 PAH-forbindelsene inkludert i denne sammenstillingen) ble funnet i området rundt Pyramiden i Billefjorden, fulgt av lignende verdier i området rundt Ny-Ålesund i Kongsfjorden og forholdsvis lave verdier i Kinnvika på Nordaustlandet (**figur 10**). Den høyeste PAH-verdien i jord var omtrent 500 ng/g i Billefjorden, hvilket ligger godt innenfor tilstandsklasse I «bakgrunnsnivå» (Hansen & Danielsberg 2009) for jord/grunn, som har øvre grense på 2000 ng/g. Det er ikke etablert tilstandsklasser for de enkelte PAH-forbindelsene i jord, med unntak av Benzo(a)pyren. Nivåene av denne forbindelsen (høyeste målte nivå 18 ng/g) lå også godt innenfor tilstandsklasse I «bakgrunnsnivå», som har øvre grense på 100 ng/g. Dokumenterte nivåer av de forskjellige PAH-forbindelsene er vist i **figur 11**.

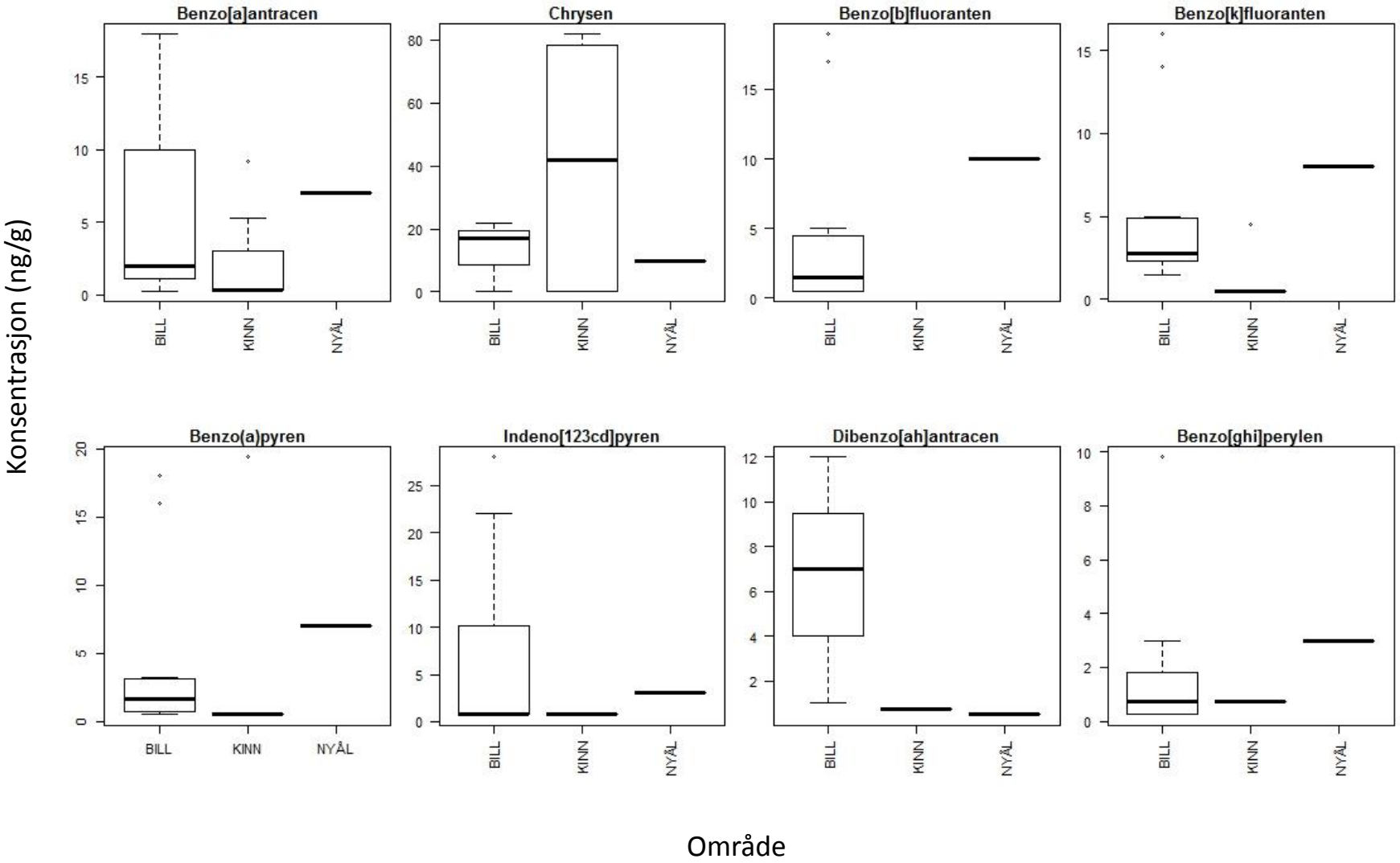
Basert på de tre studiene inkludert i denne sammenstillingen ser det ut til at klassifisering av PAH i jordprøver fra Svalbard kan gjennomføres ved bruk av klassifiseringssystemene utviklet av Miljødirektoratet. Imidlertid må det påpekes at studiene i sammenstillingen bare omfatter noen få områder, og det kan ikke utelukkes at bakgrunnsverdiene kan være annerledes i områder med ulik geologi. I tillegg er studiene bare representative for områder med vanlig jord/sand/leire/grus. Svalbard har også store områder med myrlignende jord, hvilke kan forventes å ha en annen sammensetning av miljøgifter (van Gestel 2008). I tillegg kan det forventes at jord i tilknytting til fuglekolonier har annen sammensetning av miljøgifter enn annen jord (Evenset mfl. 2007).



Figur 10. Total konsentrasjon (ng/g) av 16 PAH-forbindelser i jord på Svalbard. Områdekoder er vist i ***figur 4****.*



Figur 11. Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i jord på Svalbard. Områdekoder er vist i ***figur 4****.*

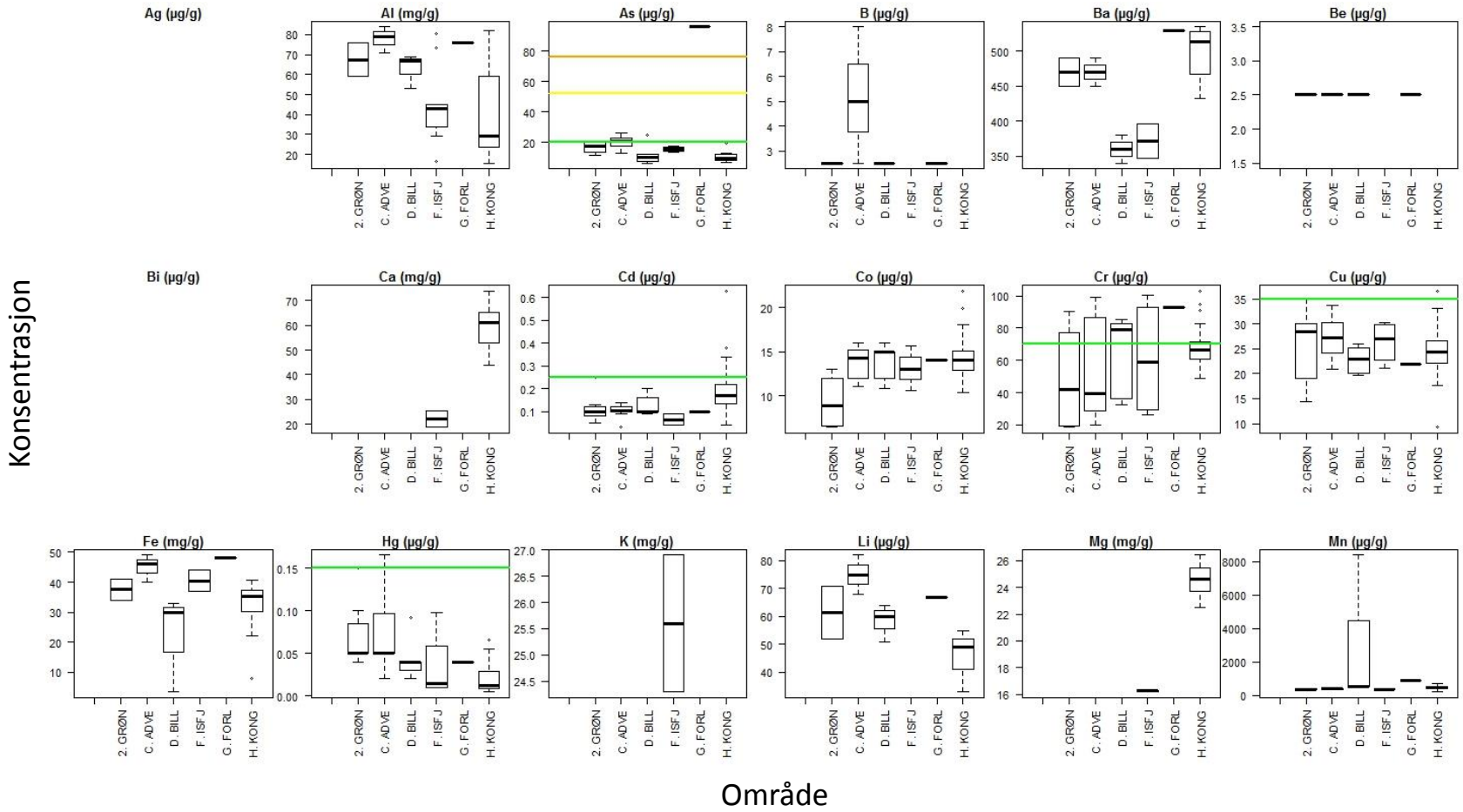


Figur 11 (forts.). Konsentrasjon (ng/g) av PAH-forbindelser i jord på Svalbard. Områdekoder er vist i ***figur 4****.*

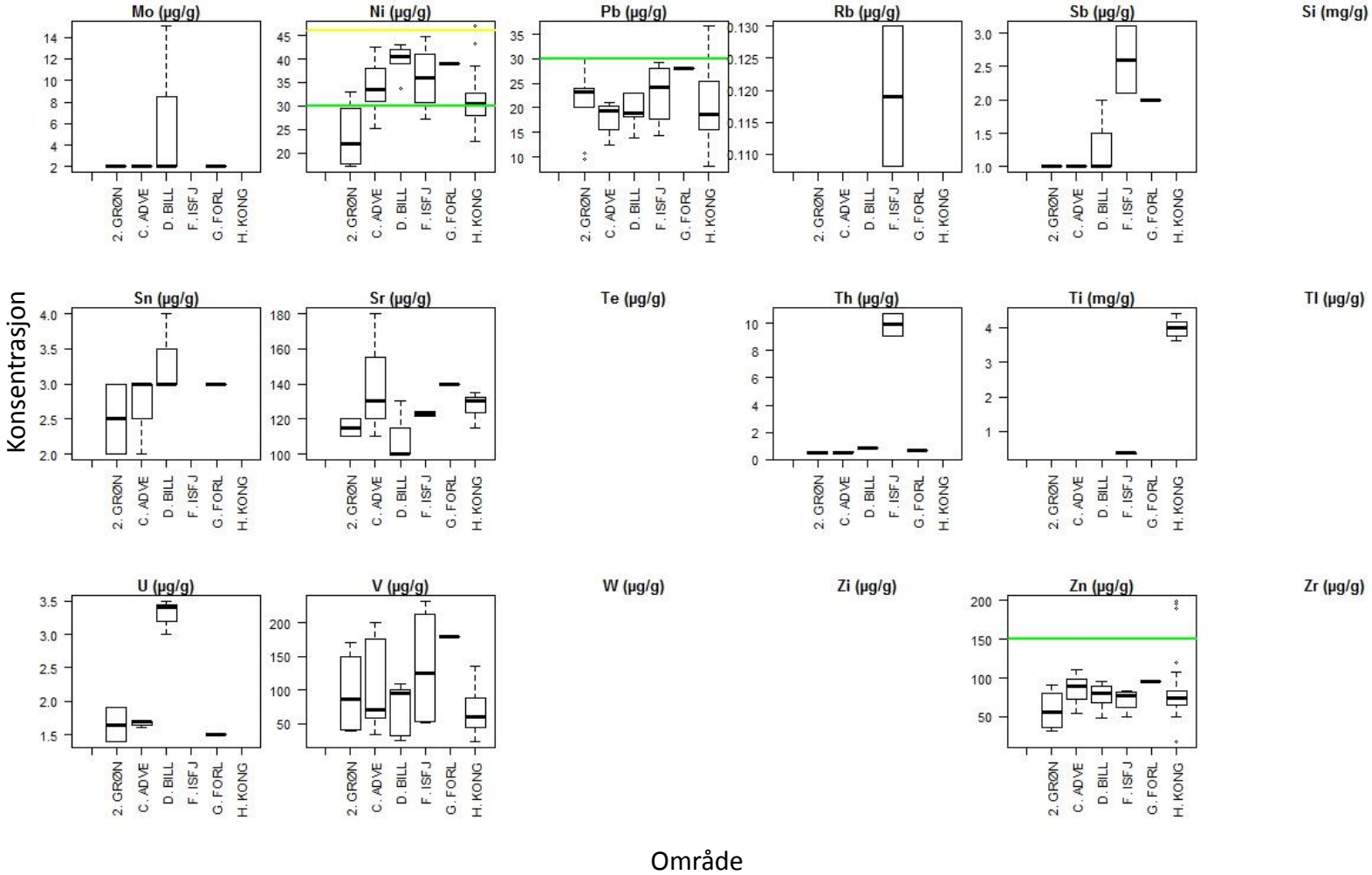
4.4 Metaller og grunnstoffer i sjøbunn

Studier av grunnstoffer i sjøbunnssediment er utført på vestkysten av Spitsbergen, og inkluderer en rekke metaller og andre grunnstoffer. En sammenstilling av konsentrasjoner av stoffene er presentert i **figur 12**. Blant noen grunnstoffer var det stor variasjon i målte konsentrasjoner mellom områder (f.eks. barium (Ba), jern (Fe), litium (Li) og uran (U)), mens andre hadde en forholdsvis lik fordeling (f.eks. kadmium (Cd), krom (Cr) og bly (Pb)). Det er etablert tilstandsklasser for arsen (As), bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og Sink (Zn) i marine sedimenter (Bakke mfl. 2007). Kadmium, kobber, kvikksølv, bly og sink hadde medianverdier i tilstandsklasse I «bakgrunn» og enkeltverdier i tilstandsklasse II «god», mens krom og nikkel ofte hadde medianverdier i tilstandsklasse II. Enkeltverdier av nikkel i tilstandsklasse III «moderat» ble registrert i Kongsfjorden. Arsen ble kategorisert i tilstandsklasse I eller II, med unntak av målingene fra Forlandssundet der nivåer i tilstandsklasse IV «dårlig» ble funnet.

Tidligere studier indikerer at Svalbards berggrunn kan påvirke nivåene av metaller og grunnstoff i naturen på Svalbard (se videre diskusjon i kapittel 4.7). Forskjellen i nivåer av noen grunnstoffer mellom områder kan tyde på at berggrunnen kan ha innvirkning også på sjøbunnssedimentene. For eksempel er nivåene av arsen høye i flomsedimenter i området rundt Forlandssundet (Ottesen mfl. 2010), hvilket samsvarer med de høye nivåene av stoffet i de marine sedimentene. Den samme sammenhengen mellom flomsedimenter (Ottesen mfl. 2010) og nivåene av metaller og andre grunnstoffer i denne sammenstillingen gjelder for barium, jern, litium og uran. Disse var grunnstoffene som viste forskjeller mellom områder. Sammenhengen må imidlertid studeres mer inngående for å kunne etableres, da parameter som f.eks. dybde, avstand fra bre, breavsmelting og avstand fra land kan påvirke de målte nivåene.



*Figur 12. Konsentrasjon av metaller i fjorder og kystområder på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Bakke mfl. (2007). Områdekoder er vist i **figur 2**.*



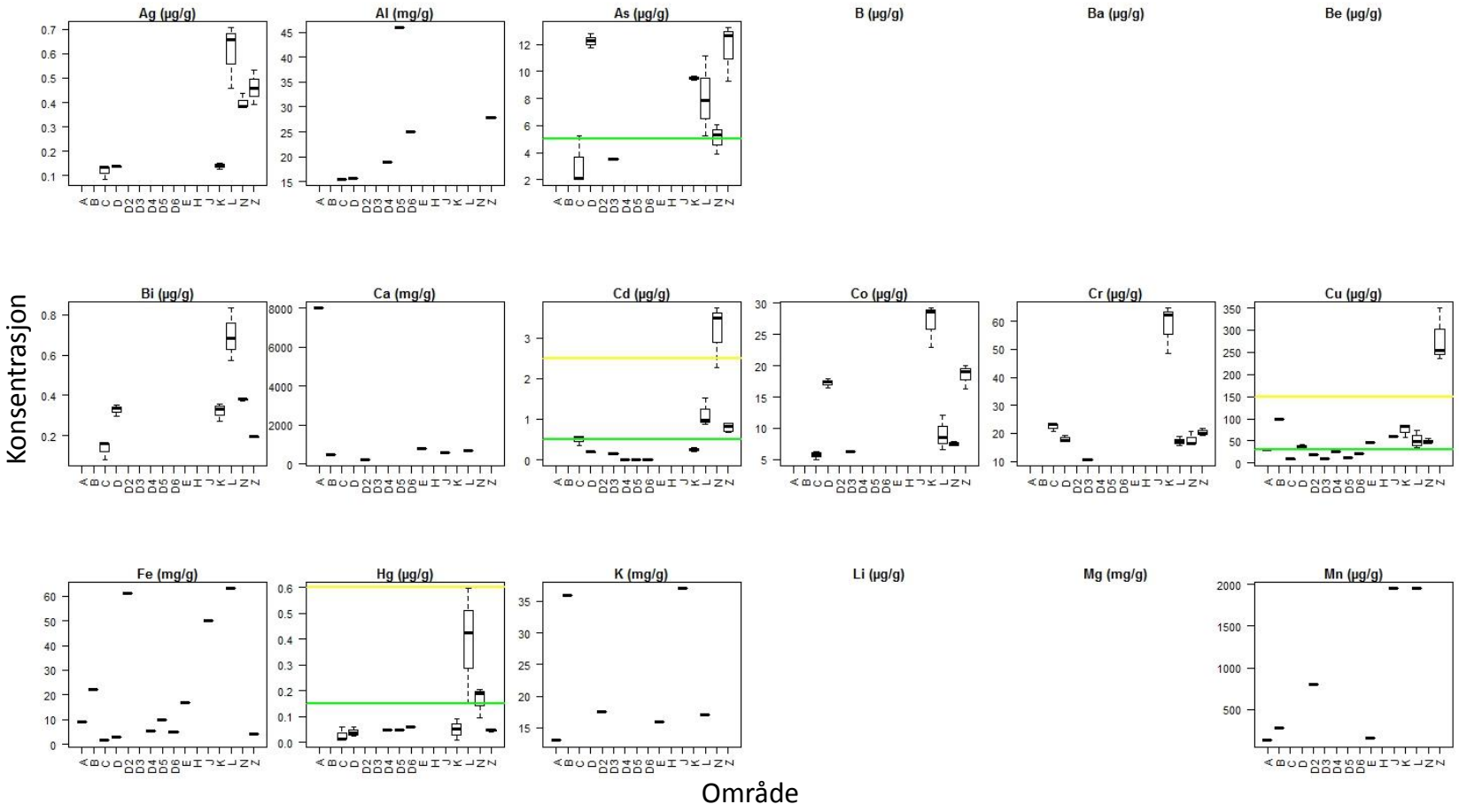
Figur 12 (forts.). Konsentrasjon av metaller i fjorder og kystområder på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Bakke mfl. (2007). Områdekoder er vist i ***figur 2****.*

4.5 Metaller og grunnstoffer i innsjøsedimenter

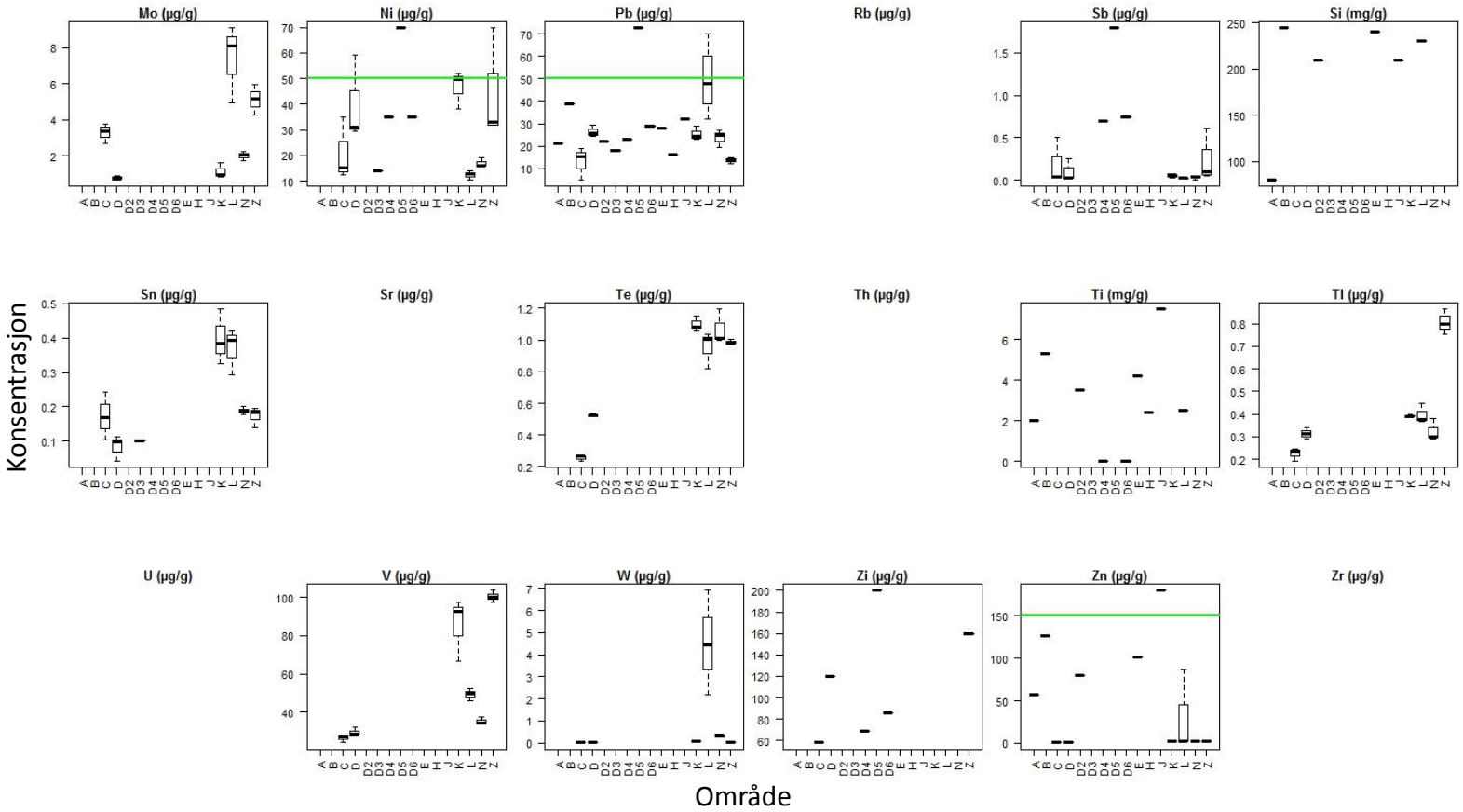
Studier av metaller og andre grunnstoffer i innsjøsediment er først og fremst utført i Nordenskiöld land nasjonalpark, sør for Isfjorden, og på nordvestspissen av Spitsbergen. En sammenstilling av konsentrasjoner av stoffene er presentert i **figur 13**. Det var for mange av stoffene veldig stor variasjon i konsentrasjon mellom innsjøene, men generelt hadde mange av stoffene (vismut (Bi), kadmium (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), kvikksølv (Hg), molybden (Mo), tinn (Sn), tellur (Tn) og vanadium (V)) høyere konsentrasjoner i innsjøene på nordvestspissen av Spitsbergen enn i innsjøene i Nordenskiöld land nasjonalpark. Innsjøen på Barentsøya (innsjøen kalt Z, **figur 13**) hadde spesielt høye nivåer av arsen (As), kobber (Cu), nikkel (Ni), tellur, thallium (Tl) og vanadium.

Det er etablert tilstandsklasser for arsen, bly (Pb), kadmium, kobber, kvikksølv, nikkel og sink (Zn) i innsjøsedimenter (Andersen mfl. 1997). Nikkel, bly og sink hadde medianverdier i tilstandsklasse I «bakgrunn» og enkeltverdier i tilstandsklasse II «god», mens arsen hadde flest medianverdier i tilstandsklasse II. Kvikksølv hadde medianverdier i tilstandsklasser I og II, og enkeltverdier i tilstandsklasse III «moderat». Kadmium og kobber hadde medianverdier i tilstandsklasse II – III.

Det kan tenkes at Svalbards berggrunn kan påvirke også nivåene av metaller og grunnstoff i innsjøene på Svalbard (se kapittel 4.4). Imidlertid overlapper ikke områdene med studerte flomsedimenter med områdene med studerte innsjøer i stor grad, og eventuelle sammenhenger bør derfor studeres videre. Imidlertid kan det konkluderes med at det kan være stor variasjon i grunnstoffsammensetning mellom sedimentene i innsjøene på Svalbard, og at det kan finnes nivåer av metaller over det som er etablert som «bakgrunn» eller «gode» nivåer i avsidesliggende og ikke menneskepåvirkede innsjøer på Svalbard.



Figur 13. Konsentrasjon av metaller og andre grunnstoffer i sediment i innsjøer på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Andersen mfl. (1997). Områdekoder er vist i ***figur 3****.*



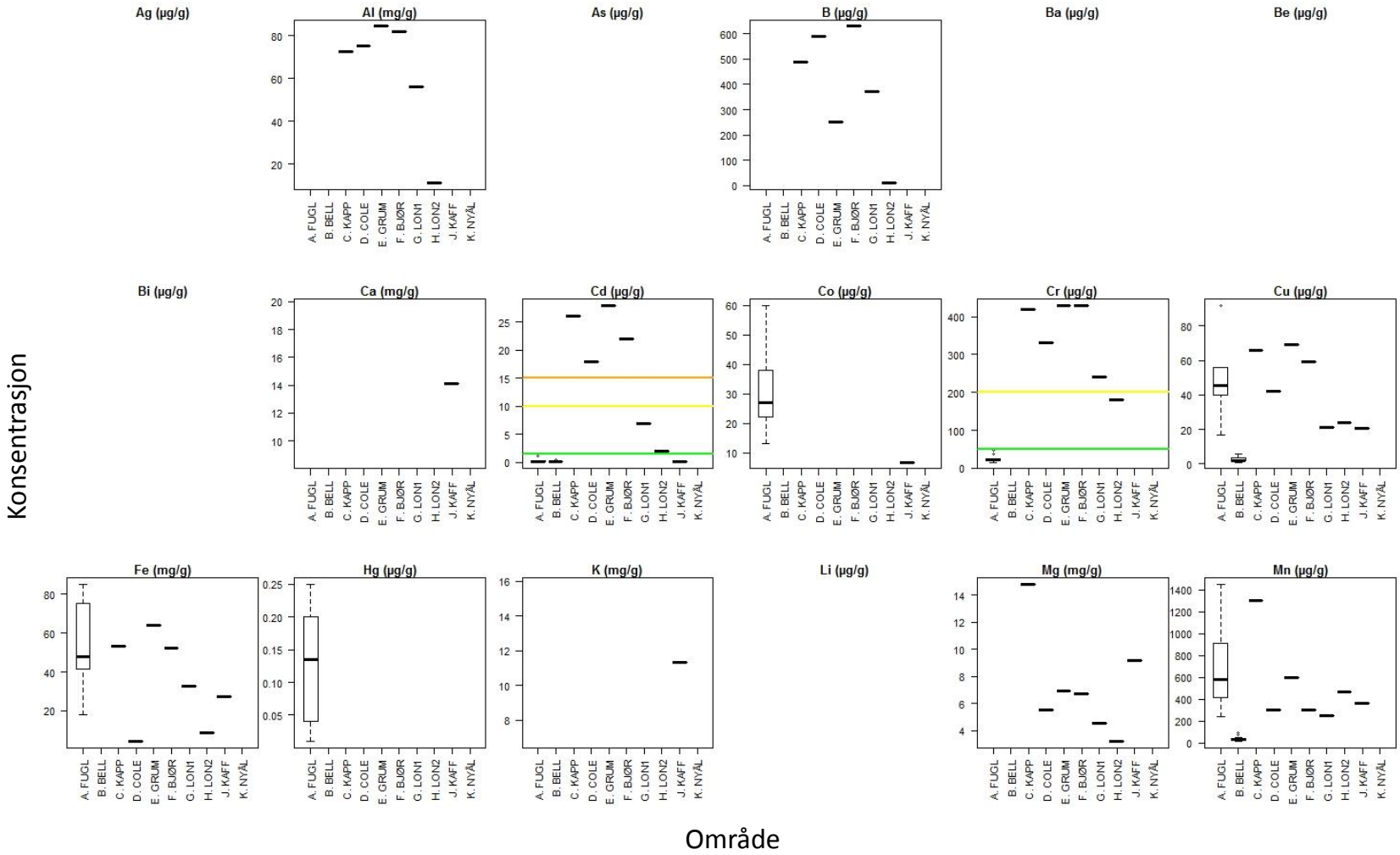
Figur 13 (forts.). Konsentrasjon av metaller og andre grunnstoffer sedimenter i innsjøer på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser fra Andersen mfl. (1997). Områdekoder er vist i ***figur 3****.*

4.6 Metaller og grunnstoffer i jord

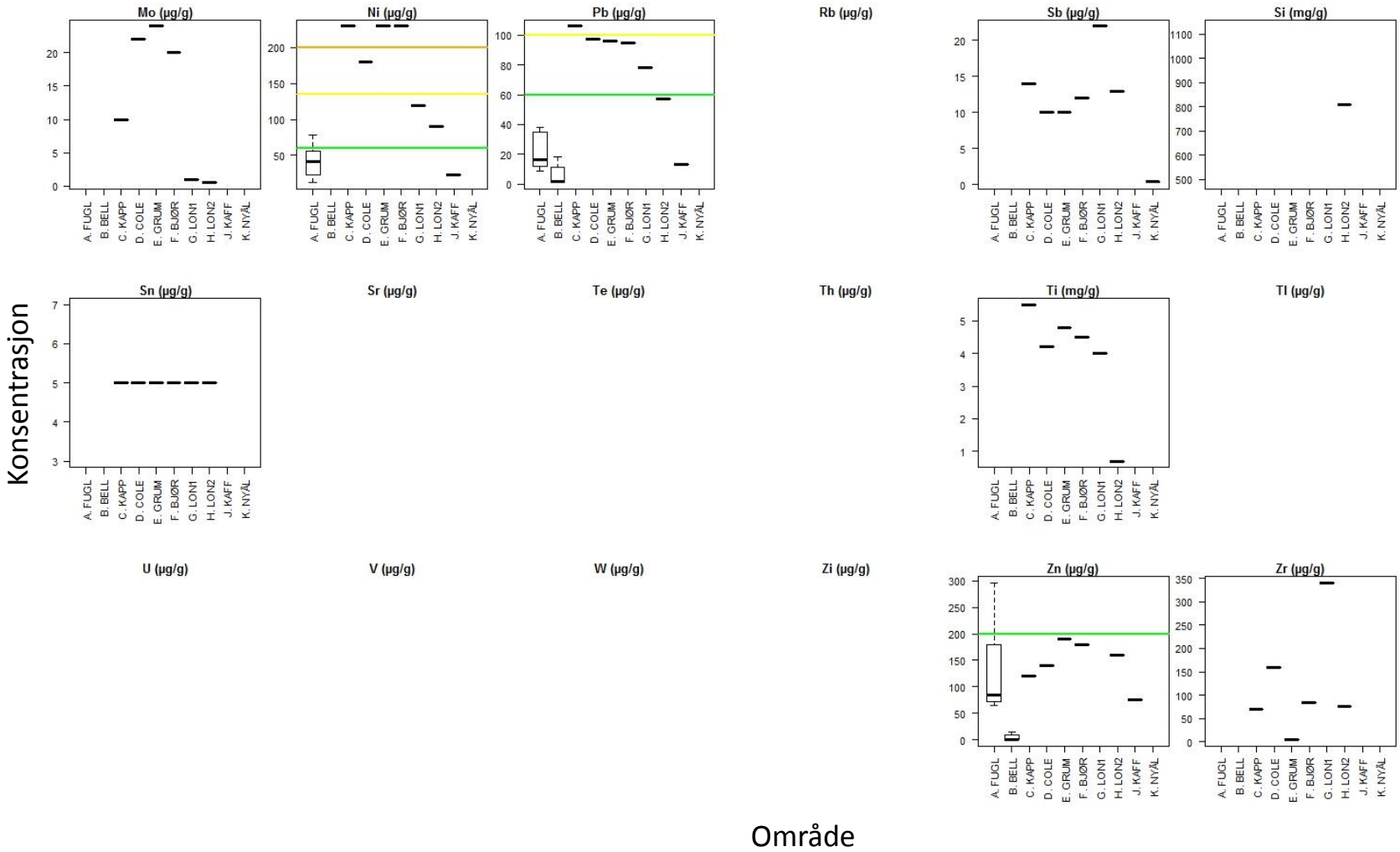
Studier av metaller og andre grunnstoffer i jord er blitt utført på vestkysten av Spitsbergen. En sammenstilling av konsentrasjoner av stoffene er presentert i **figur 14**. Alle de studerte stoffene hadde veldig store variasjoner i konsentrasjon mellom områder. Alle grunnstoffer ble heller ikke studert i alle studier inkludert i sammenstillingen, og sammenligning mellom områder er derfor vanskelig. Området på sørsiden av Isfjorden, utenom Longyearbyen, hadde forholdsvis høye konsentrasjoner av metaller. Dette sammenfaller med at berggrunnen i dette området er den yngste på Svalbard (Ottesen mfl., 2010), og kan indikere at berggrunnen kan påvirke jorden på Svalbard. Imidlertid var det også høye nivåer av metaller og andre grunnstoffer ved Kapp Linnè på østsiden av Grønfjorden, der berggrunnen er eldre. Sammenhengen burde således studeres videre.

Det er etablert helsebaserte tilstandsklasser for arsen (As), bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn) i grunn/jord (Hansen & Danielsberg 2009). Ingen studier som inkluderte arsen i jord ble funnet i litteratursøket. Kvikksølv ble kun målt i tilstandsklasse I «bakgrunn», men det må påpekes at dette bare er data fra ett studieområde. Sink ble målt i tilstandsklasse I, med enkeltverdier i tilstandsklasse II «god». Nivåer av bly og krom ble funnet i tilstandsklasse I, II og III «moderat». Krom ble registrert i tilstandsklasse III i fem av syv inkluderte studieområder. Kadmium og nikkel ble i flere områder registrert i tilstandsklasse IV «dårlig». Merk at alle registreringer i tilstandsklasse III og IV ble gjort på sørsiden av Isfjorden

Det konkluderes med at det er stor variasjon i grunnstoffsammensetning i jord mellom områder på Svalbard, og at det kan finnes nivåer av metaller over det som er etablert som «bakgrunn» eller «gode» nivåer i avsidesliggende og ikke menneskepåvirkede områder på Svalbard. Som for PAH i jord/grunn må det påpekes at studiene inkluderte i denne sammenstillingen bare er representative for områder med vanlig jord/sand/leire/grus. Myrområder og områder med fuglekolonier kan forventes å ha en annen sammensetning av metaller og andre grunnstoffer enn annen jord (f.eks. Godzik 1991, Headley 1996, Dowdall mfl. 2005, van Gestel 2008).



Figur 14. Konsentrasjon av metaller og andre grunnstoffer jord på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Tilstandsklasser etter Hansen & Danielsberg (2009). Områdekoder er vist i ***figur 4****.*



Figur 14 (forts.). Konsentrasjon av metaller og andre grunnstoffer jord på Svalbard, der grønn linje representerer nedre grense for tilstandsklasse II «God», gul linje tilstandsklasse III «Moderat forurenset», oransje linje tilstandsklasse IV «Dårlig» og rød linje tilstandsklasse V «Svært dårlig». Områdekoder er vist i ***figur 4****.*

4.7 Metaller, grunnstoffer og PAH i vann

Vann på Svalbard som var påvirket av isbre eller snøsmelting hadde høye nivåer av metaller og andre grunnstoffer (**tabell 6**). Med noen få unntak ble alt brevann klassifisert i tilstandsklasser III – V «markert forurenset, sterkt forurenset og meget sterkt forurenset» for metaller med etablerte tilstandsklasser (se Andersen mfl. 1997 for tilstandsklasser). Kadmium (Cd) var det eneste stoffet som ikke i noen av prøvene hadde nivåer i tilstandsklasse V. Det ble også dokumentert høye nivåer av bly (Pb), kadmium, kobber (Cu) og jern (Fe) i vannkilder med liten eller ingen påvirkning fra isbre eller snøsmelting. Ingen nivåer over tilstandsklasse I «bakgrunn» ble dokumentert i sjøvann fra Kongsfjorden.

Da det ikke er etablert tilstandsklasser for PAH i ferskvann, ble klassifiseringssystemet for sjøvann benyttet. Det ble ikke dokumentert nivåer over tilstandsklasse II «god» for Naftalen, Acenaftylen, Acenaften, Fluoren, Fenantren, Antracen, Benzo[k]fluoranten eller Dibenzo[ah]antracen, mens høye nivåer (tilstandsklasser III-V) av Fluoranthen, Pyren, Benzo[a]antracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranten, Benzo(a)pyren, Indeno[123cd]pyren og Benzo[ghi]perylen ble funnet i smeltevann fra Marthabreen og Bosarpbreen (**tabell 7**). Ingen sterkt forhøyede nivåer ble funnet i Fuglebekken.

*Tabell 6. Nivåer av metaller og andre grunnstoffer i forskjellige vannkilder på Svalbard. Fargekodingen samsvarer med tilstandsklasser etter Andersen mfl. (1997). Områdekoder er vist i **figur 5**.*

Område	Dato	Bre-påvirket?	Gruve-påvirket?	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Cr µg/l	Hg µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l	Fe mg/l	As µg/l	Al mg/l	Ba µg/l	K mg/l	Ca mg/l	Co µg/l	Mg mg/l	Mo µg/l	V µg/l
1. MART	sep.09	Ja	Nei	5,30	0,05	6,60		0,01	241,00	9,30	21,00	27,70	7,70	17,00	150,00	3,40	18,80	4,60	5,20	0,40	
1. MART	aug.11	Ja	Nei	33,90	0,28	48,30	89,00	0,07	992,00	60,00	185,00	87,10	30,80	44,20	563,00	8,64	13,70	36,40	10,60		
1. MART	jun.13	Ja	Ja	12,30	0,08	20,40	40,60	0,03	369,00	24,90	66,00	43,70	12,40	21,20	200,00	6,70	9,67	13,20	6,72	0,84	110,00
1. MART	aug.13	Ja	Ja	4,99	0,06	10,30	20,50	<0,02*	93,00	12,00	32,40	13,60	5,73	8,06	104,00	3,31	6,00	4,97	3,01	0,86	42,50
1. MART	jul.14	Ja	Ja	15,20	0,14	28,50	53,80	0,03	469,00	52,30	94,70	53,50	14,00	24,50	243,00	6,45	8,50	17,80	7,54	5,49	139,00
1. MART	aug.14	Ja	Ja	25,20	0,23	44,70	81,50	0,05	644,00	57,30	139,00	86,70	22,50	32,80	381,00	7,98	11,60	26,90	10,20	1,65	191,00
2. BOSA	jul.14	Ja	Nei	2,32	<0,05	5,10	21,40	<0,02	68,60	7,70	12,10	7,31	3,21	8,42	60,70	3,06	3,84	2,85	2,46	0,95	28,30
2. BOSA	aug.14	Ja	Nei	3,96	<0,05	7,83	20,10	<0,02	121,00	10,00	19,70	12,80	4,88	8,00	86,80	3,32	7,59	4,43	3,49	<0,5	31,70
3. ADOL	aug.98	Ja	Nei	16,75	4,50	11,25	19,25		42,75	7,25	43,75	2,55						1,50			
4. WALD	jul.03	Ja	Nei	0,77					1,07		16,00	5,20									
5. PETU	aug.88	Nei	Nei	1,25	0,50	1,00	1,25		11,75	1,50	0,50	0,46						1,50			
6. ADVE	jul.00	Nei	Nei		0,16	6,00					3,00			3,60							
8. LINN (innsjø)	aug.88	Nei	Nei	0,78	0,50	1,00	1,25		0,50	1,50	0,30	0,01						1,50			
9. KONG (sjø)	jun.02	Nei	Nei	0,01	0,01	0,10			0,02	0,36	0,29	0,05						0,01			

Tabell 7. Nivåer av PAH-komponenter i forskjellige vannkilder på Svalbard. NB! Fargekodingen samsvarer med tilstandsklasser for MARINT vann (Bakke mfl. 2007), da det ikke er etablert tilstandsklasser for PAH i ferskvann. I tillegg er målingene fra Marthabreen (1. MART) og Bosarpbreen (2. BOSA) ikke nøyaktige nok til å skille mellom tilstandsklasse I «bakgrunn» og II «god». Områdekoder er vist i ***figur 5****.*

Område	Dato	Bre-påvirket?	Gruve-påvirket?	NAP µg/l	ACL µg/l	ACN µg/l	FLN µg/l	PHE µg/l	ANT µg/l	FLT µg/l	PYR µg/l	BaA µg/l	CHR µg/l	BbF µg/l	BkF µg/l	BaP µg/l	IND µg/l	DBA µg/l	BP µg/l
1. MART	aug.11	Ja	Nei	0,14	0,01	0,01	0,09	0,34	0,01	0,14	0,16	0,04	0,08	0,08	0,01	0,03	0,02	0,02	0,09
1. MART	sep.11	Ja	Nei	0,03	0,01	0,01	0,03	0,15	0,01	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
1. MART	aug.12	Ja	Ja	0,22	0,01	0,03	0,18	0,67	0,01	0,23	<0,028*[2]	0,07	0,12	0,10	0,02	0,06	0,03	0,03	0,11
1. MART	nov.12	Ja	Ja	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1. MART	jun.13	Ja	Ja	0,02	<0,010	<0,010	0,02	0,08	<0,010	0,02	0,03	<0,010	0,02	0,01	<0,010	<0,010	<0,010*[2]	<0,010	0,01
1. MART	aug.13	Ja	Ja	0,03	<0,010	0,01	0,03	0,12	<0,010	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	<0,010	<0,010	<0,010*[2]	<0,010	0,02
1. MART	jul.14	Ja	Ja	0,10	<0,010	0,02	0,07	0,34	<0,010	0,09	0,14	0,03	0,07	0,04	<0,010	0,02	0,01	<0,010	0,04
1. MART	aug.14	Ja	Ja	0,021	<0,010	<0,010	0,03	0,14	<0,010	0,038	0,061	<0,010	0,023	0,016	<0,010	<0,010	<0,010*[2]	<0,010	0,013
2. BOSA	jul.14	Ja	Nei	0,98	0,03	0,07	0,15	0,76	0,03	0,08	0,09	0,07	0,09	0,07	0,02	0,04	0,03	0,02	0,07
2. BOSA	aug.14	Ja	Nei	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,027	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010*[2]	<0,010	<0,010*[2]
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	1E-04	0,003	3E-04	2E-06	3E-06	0,011	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,011	4E-06	4E-06	2E-06	3E-06	8E-06	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,042	4E-06	0,001	0,001	3E-06	0,014	0,002	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,011	4E-06	0,003	0,001	3E-06	0,067	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,11	4E-06	4E-06	2E-06	3E-06	8E-06	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,009	4E-06	4E-06	2E-06	3E-06	8E-06	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	3E-05	3E-04	6E-05	2E-04	3E-06	0,004	0,002	0,013		2E-04	1E-05	2E-06	2E-04			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	3E-05	4E-06	9E-04	2E-06	3E-06	0,008	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,013	4E-06	6E-04	2E-06	3E-06	0,005	0,001	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Noe	Ja*[1]	7E-04	0,002	6E-05	9E-06	7E-05	2E-04	1E-04	5E-04		2E-05	4E-05	1E-05	3E-05			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	7E-05	0,003	0,001	0,002	3E-06	0,025	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	3E-05	0,002	0,002	0,002	3E-06	0,053	0,003	0,004		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Noe	Ja*[1]	0,557	0,001	1E-03	9E-04	2E-04	0,031	0,002	3E-05		0,002	1E-05	0,009	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Noe	Ja*[1]	0,31	0,002	0,002	2E-06	3E-06	0,026	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Noe	Ja*[1]	0,016	4E-06	4E-06	2E-06	3E-06	8E-06	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	0,003	4E-06	1E-03	2E-06	3E-06	8E-06	1E-05	3E-05		2E-06	1E-05	2E-06	6E-06			
7. FUGL	jul.09	Ukjent	Ja*[1]	5E-04	4E-06	0,001	0,002	3E-06	0,016	0,003	0,006		2E-06	0,011	0,011	6E-06			

**[1] Gruvedriften nedlagt i 1962, men noen kull-deponier i området. *[2] Laveste grense for målinger for høye for vurdering av tilstandsklasse.*

Forkortelser: Naftalen (NAP), Acenaftylen (ACL), Acenaften (ACN), Fluoren (FLN), Fenantren (PHE), Antracen (ANT), Fluoranthen (FLT), Pyren (PYR), Benzo[a]antracen (BaA), Chrysen (CHR), Benzo[b]fluoranten (BbF), Benzo[k]fluoranten (BkF), Benzo(a)pyren, (BaP), Indeno[123cd]pyren (IND), Dibenzo[ah]antracen (DBA) og Benzo[ghi]perylen (BP).

Det finnes minst to grunner til at nivåene av metaller, grunnstoffer og PAH i isbrevann er høye. Isbreer er laget av mange års nedbør i form av snø, og det lagres store mengder snø på isbreer hvert år. Snøkrystaller har stor overflate, og binder gjerne til luftbårne kjemiske komponenter. Dette innebærer at store mengder kjemiske stoffer kan bli transportert til og avsatt på isbreer med nedbør om vinteren (Isaksson *et al.* 2003; Hermanson *et al.* 2005). Det har forekommet luftbåren forurensing til nordlige områder siden industrialiseringen på 1700-tallet, og det kan mistenkes at det derfor ligger store mengder miljøskadelige stoffer lagret i breisen på Svalbard (REF). Ved smelting av både ny snø og eldre ismasser frigjøres disse substansene og forårsaker forhøyede nivåer i isbrepåvirkede vannmasser på Svalbard. I tillegg tærer isbreer på berggrunnen under breen, når isbreen forflytter seg. For eksempel er det estimert at så mye som 340-580 g/m^2 av fjell som stikker opp av isbreer (så kalte nunataker) eroderes vekk på grunn av isbreenes forflyttinger hvert år i Hornsund-området (Pękala, 1980). Da isbreer smelter både på undersiden og på overflaten, kan metaller og andre grunnstoffer fra den lokale berggrunnen transporteres ut med smeltevann. Svalbard har også områder der berggrunnen inneholder store mengder kull som ligger oppe i dagen. Da kull er rikt på PAH, kan denne typen breavsmelting også forårsake forhøyede nivåer av PAH i disse områdene.

På grunn av at avsmeltingen fra isbre og smelting av snø varierer med sesong og ofte mellom år, vil også nivåene av metaller, andre grunnstoffer og PAH variere i ferskvann over tid. Store sesongmessige variasjoner ble dokumentert i Store Norske Spitsbergen Grubekompanis målinger av smeltevann fra Marthabreen som er påvirket av transportaktivitet knyttet til gruvedrift, men også i smeltevann fra Bosarpbreen som ikke er direkte påvirket av denne typen aktivitet var det stor variasjon i nivåer av PAH og metaller med sesong.

5 Konklusjoner og anbefalinger om videre studier

I denne studien har vi dokumentert hvordan konsentrasjoner av PAH og metaller varierer i ulike medier prøvetatt på Svalbard. Datagrunnlaget for de ulike mediene er imidlertid varierende. Mest data finnes for sjøbunnssedimenter, noe færre for innsjøsedimenter og relativt få for jord og vann.

Resultatene fra datasammenstillingen viser at det forekommer nivåer av PAH og metaller i prøver fra mange fjerntliggende områder på Svalbard som overskrider tilstandsklasse II i veilederne fra Miljødirektoratet. Mange av disse områdene blir således etter disse veilederne klassifisert som moderat til svært forurenset, til tross for at mange av områdene befinner seg langt fra menneskelig påvirkning.

Sediment i fjorder og kystområder hadde i flere undersøkelser relativt høye nivå av PAH, spesielt på vestkysten av Spitsbergen. Høye nivåer av benzo[ghi]perylen ble også dokumentert i Forlandssundet, i Lomfjorden på østsiden av Spitsbergen, og rundt Svenskøya og i Storfjorden. Forhøyede nivåer av arsen og nikkel ble også funnet i marine sedimenter.

I innsjøer på Svalbard ble PAH-forbindelser i tilstandsklasser I-IV dokumentert, basert på det marine klassifiseringssystemet, da det ikke er utviklet veiledere for PAH i innsjø. Det var meget stor variasjon i nivåer av PAH-forbindelsene mellom innsjøene. PAH-forbindelser med få karbonringer var vanligst på vestkysten av Spitsbergen, mens forbindelser med flere ringer var forholdsvis vanlige på nord- og østkysten. PAHer med få karbonringer, de såkalte NPDer (naftalen, fenantren og dibenzothiofen)) er vanlig forekommende i kull, og den kullholdige berggrunnen er derfor trolig kilden til den forhøyde andelen av små PAH-forbindelser langs vestkysten. Nivåene av metaller og andre grunnstoffer i innsjøene varierte også kraftig mellom innsjøer. Nivåer av kadmium, kobber og kvikksølv (enkeltregistrering) i tilstandsklasse III ble registrerte i svært avsidesliggende innsjøer.

Nivåene av PAH i jord/grunn var lave. Imidlertid må det påpekes at disse resultatene kun inkluderer tre områder, alle i områder med liten menneskelig påvirkning. I motsetning til PAH-nivåene, ble det dokumentert høye nivåer av kadmium, krom, nikkel og bly i jord/grunn. Her utmerket området på sørsiden av Isfjorden seg med forholdsvis høye nivåer av mange metaller og andre grunnstoffer. Uheldigvis ble ikke alle stoffer målt i alle studier, noe som vanskeliggjør geografiske sammenligninger.

Vannprøver fra breelv viste svært høye nivåer av alle metaller det er etablert tilstandsklasser for. Det ble også dokumentert høye nivåer av mange PAH-forbindelser i brevann. Også kildevann og innsjøvann hadde målinger i tilstandsklasser III-V, mens kun bakgrunnsnivåer ble dokumentert i sjøvann fra Kongsfjorden.

Denne sammenstillingen av miljøundersøkelser utført på Svalbard viser tydelig at grensene som er satt for miljøklasser på fastlands-Norge må benyttes med varsomhet på prøver tatt på og rundt Svalbard. Dette blir tydeligst demonstrert for vannprøver tatt i isbrepåvirkede områder, der svært høye nivåer av alle metaller ble dokumentert. Isbreene lagrer mye snø, og siden snø har stor overflate og dermed stort potensiale til å binde luftbårne partikler med ulike forurensninger er det sannsynlig at betydelige mengder PAH, metaller og andre grunnstoffer ligger lagret i is- og snømassene på Svalbard. I tillegg eroderer isbreene fjell som inneholder metaller og andre grunnstoffer, hvilket transporteres mot kysten når isbreene smelter. Hvis fjellet inneholder kull, hvilket er vanlig på vestkysten av Spitsbergen, kan også erosjon fra isbre forårsake forhøyde PAH-nivåer da kull er rikt på PAH. Det er mulig at disse stoffene også

transporteres ut til de marine sedimentene, og at is- og snøsmelting og isbreerosjon har påvirket også jord/grunn og innsjøsedimentene på Svalbard. Det er viktig å ta høyde for at høye nivåer av PAH, metaller og andre grunnstoffer kan forekomme naturlig på Svalbard sammenlignet med på fastlands-Norge ved vurdering av miljøtilstand på Svalbard. Luftbårne metaller som avsettes på isbreer kan ha både naturlig opprinnelse og stamme fra utslipp fra menneskelig aktivitet, men ved vurderinger omkring effekter av lokale utslipp er det viktig å vite hvordan nivåene er før aktivitetene starter.

5.1 Videre studier

5.1.1 Forbedring av datagrunnlag

For å ha et bedre grunnlag for å vurdere om de gjeldende klassifiseringssystemene er egnet for prøver tatt på Svalbard bør datagrunnlag for ferskvann og jord forbedres. Prøvetaking av vann og jord bør gjennomføres i utvalgte områder etter standardiserte metoder. Stasjonsplassering bør ta hensyn til bl.a.:

- Geologi
- Avstand til isbre
- Avstand til antropogene kilder
- Høyde over havet.

For vannprøver bør det bestemmes hvor stor andel av de ulike miljøgiftene som er bundet til partikler og hvor mye som finnes løst i vann. I Vanndirektivet vurderes nivå av utvalgte miljøgifter mot såkalte EQS-verdier for å avgjøre om vannforekomster har god eller mindre god økologisk tilstand (veileder 01:2009 og 02:2013). Det påpekes imidlertid at det i vurderingene må tas hensyn til naturlige bakgrunnsnivå i de ulike områdene. En oversikt over bakgrunnsnivå for ulike forbindelser/elementer er derfor helt nødvendig for å gjennomføre fornuftige vurderinger.

5.1.2 Datasammenstilling for andre forbindelser

I foreliggende studie har vi fokusert på PAH og metaller, men det er også nødvendig å gjøre tilsvarende sammenstillinger for f.eks. næringssalter og organisk karbon. For menneskeskapte miljøgifter, som f.eks. PCB, bromerte forbindelser, perfluorerte forbindelser, vet man at det naturlige bakgrunnsnivået er null, og det er dermed ikke påkrevd med samme type datasammenstilling.

5.1.3 Biotilgjengelighet

En viktig faktor ved vurdering av potensielle effekter av miljøgifter er stoffenes biotilgjengelighet, dvs. i hvor stor grad de tas opp av organismer. Ved fastsetting av klassegrenser er biotilgjengelighet en viktigere faktor enn naturlige bakgrunnsnivå. Dersom stoffene er løst i vannet er de like giftige uansett om de er av naturlig opprinnelse eller ikke.

Som nevnt tidligere er PAH fra kull lite biotilgjengelig. Det bør imidlertid gjennomføres undersøkelser av biotilgjengelighet i naturlige sedimenter fra vestkysten av Svalbard. Dette kan gjennomføres ved bestemmelse av nivåer i porevann fra utvalgte lokaliteter og ved å undersøke opptak i organismer (sammenligning av konsentrasjoner i sediment – porevann – organismer).

Det bør også undersøkes om sedimenter med høyt kullinnhold reduserer biotilgjengelighet for andre organiske miljøgifter enn PAH (f.eks. PCB, bromerte forbindelser). Ved de russiske bosettingene på Svalbard (Pyramiden og Barentsburg) er det forhøyde nivå av klorerte miljøgifter i jord og sjøsediment, og både jord og sediment har varierende nivå av karbon. Undersøkelser av biotilgjengelighet kan enkelt gjennomføres ved å hente inn sediment fra disse områdene og så sammenligne med et referansesediment hentet inn fra et område som ikke er påvirket av kulldrift.

5.1.4 Vurdering av bakgrunnsnivå, biotilgjengelighet og toksisitet

Det kan være relevant å vurdere om det er riktig å benytte de samme klassegrenser i arktiske strøk som de som benyttes i områder nærmere lokale kilder. Arktiske organismer utsettes for store sesongmessige og mellomårs variasjoner i bl.a. temperaturer og mattilgang, noe som kan føre til en høyere sårbarhet overfor miljøgifter.

For å fremskaffe klassifiseringssystemer som er tilpasset arktisk miljø bør data på bakgrunnsnivå og biotilgjengelighet vurderes sammen med tilgjengelige data på nivåer og effekter av miljøgifter i arktiske organismer (toksisitetsdata og reelle effekter i naturen) (se Weideborg mfl. 2012, TA 3001-2012).

5.1.5 Utarbeiding av klassifiseringssystemer

Utarbeidelse av klassifiseringssystemer er miljøforvaltningens oppgave, men forskningsmiljøene kan bidra med å frembringe kunnskap som legges til grunn for slike systemer. Som en del av et eventuelt hovedprosjekt vil vi opprette en tett kontakt med lokale (Sysslemannen) og nasjonale (Miljødirektorratet) forvaltningsmyndigheter. Forprosjektet som har vært finansiert av Svalbard Miljøvernfond har fremskaffet data som vil være nyttige i vurderinger av eventuell påvirkning fra menneskelig aktivitet, men prosjektet bør videreføres i en utvidet form slik at et fullgodt datagrunnlag for vurderinger omkring et eventuelt klassifiseringssystem for arktiske strøk blir fremskaffet. Miljødirektoratet er i gang med å utarbeide nye klassifiseringssystemer for vann, sediment og biota for en rekke miljøgifter, og et eventuelt arbeid med tilpasninger til arktisk miljø bør følge de samme prinsipper som arbeidet som gjennomføres for fastlands Norge (se Weideborg mfl. 2012, TA 3001-2012).

.

6 Referanser

Ahn, I.-Y., Ji, J. & Park, H. (2009). Metal accumulation in sea urchins and their kelp diet in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1571-1577.

Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E, Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O. & Aanes K.J. (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT TA-1468/1997.

Bakke, T., Breedveld, G., Källquist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. (2007). Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljø i vann og sediment. SFT TA-2229/2007.

Beszczynska-Möller, A., Weslawski, J.M. & Walczowski, W.Z.M. (1997). Estimation of glacial meltwater discharge into Svalbard coastal waters. *Oceanologia*, **39,** 289-298.

Boyle, J.F., Rose, N.L., Appleby, P. & Birks, H.J.B. (2004). Recent environmental change and human impact on Svalbard: the lake-sediment geochemical record. *Journal of Paleolimnology*, **31**, 515-530.

Christensen, G., Evenset, A., Rognerud, S., Skjelkvåle, B., Palerud, R., Fjeld, E. & Røyset, O. (2008). Coordinated national lake survey 2004-2006, Part III: Status of metals and environmental pollutants in lakes and fish from the Norwegian part of the AMAP region. Statlig program for forurensniningsovervåking, SPFO-rapport 1013-2008.

Cochrane, S., Næs, K., Carroll, J., Trannum, H., Johansen, R. & Dahle, S. (2001). Marin miljøundersøkelse ved bosetningene Barentsburg, Longyearbyen og Pyramiden i Isfjorden, Svalbard. Akvaplan-niva rapport 414.1466, 57 + 29 sider.

Dahle, S., Savinov, V., Petrova, V., Klungsoyr, J., Savinova, T., Batova, G. & Kursheva, A. (2006). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **86**, 41-50.

Direktoratsgruppa (2009). Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, innsjøer og elver i henhold til vannforskriften. Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanndirektivet. Veileder 01:2009. 181 sider

Direktoratsgruppa (2013). Klassifisering av miljøtilstand i vann. Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanndirektivet. Veileder 02:2013.

Dowdall, M., Gwynn, J. P. Gabrielsen, G.W. & Lind, B. 2005. Assessment of elevated radionuclide levels in soils associated with an avian colony in a high arctic environment. *Soil & Sediment Contamination* 14: 1-11.

Drbal, K., Elster, J. & Komarek, J. (1992). Heavy metals in water, ice and biological material from Spitsbergen, Svalbard. *Polar research*, **11**, 99-101.

Eide, I., Berg, T., Thorvaldsen, B., Christensen, G.N., Savinov, V. & Larsen, J. (2011). Polycyclic aromatic hydrocarbons in dated freshwater and marine sediments along the Norwegian coast. *Water, Air, & Soil Pollution*, **218**, 387-398.

Elverhøi, A., Liestøl, O. & Nagy, J. (1980). Glacial erosion, sedimentation and microfauna in the inner part of Konsfjorden, Spitsbergen. *Norsk Polarinstitutt Skrifter*, **172**, 33-60.

Evenset, A. & Christensen, G.N. (2012). Miljøgifter i jord, marine sedimenter og fisk fra Kinnvika, Nordaustlandet, Svalbard, 2011. Akvaplan-niva rapport nr / report no. 5203 - 1.

Evenset, A. & Christensen, G.N. 2011. Environmental impacts of expedition cruise traffic around Svalbard. Akvaplan-niva rapport 4823-1. 107 sider.

Evenset, A., Christensen, G. & Palerud, R. (2006). Miljøgifter i marine sedimenter, Isjforden, Svalbard 2006. Akvaplan-niva rapport 414.3341, 37 sider + vedlegg.

Evenset, A., Christensen, G.& Palerud, R. (2009). Miljøgifter i marine sedimenter i Isfjorden, Svalbard 2009 - undersøkelser utenfor bosetningene Longyearbyen, Barentsburg, Pyramiden og Colesbukta. Akvaplan-niva rapport 4707.01, 50 sider.

Evenset, A., Christensen, G.N., Carroll, J., Zaborska, A., Berger, U., Herzke, D. & Gregor, D. (2007). Historical trends in persistent organic pollutants and metals recorded in sediment from Lake Ellasjøen, Bjørnøya, *Norwegian Arctic. Environmental Pollution*, **146**, 196-205.

Fernández, P., Vilanova, R.M., Martínez, C., Appleby, P. & Grimalt, J.O. (2000). The historical record of atmospheric pyrolytic pollution over Europe registered in the sedimentary PAH from remote mountain lakes. *Environmental Science & Technology*, **34**, 1906-1913.

Frankowski, M. & Zioła-Frankowska, A. (2014). Analysis of labile form of aluminum and heavy metals in bottom sediments from Kongsfjord, Isfjord, Hornsund fjords. *Environmental earth sciences*, **71**, 1147-1158.

Godzik, B. 1991. Heavy metals and macroelements in the tundra of southern Spitsbergen. Polar Research 9: 121-131.

Görlich, K., Weslawski, J.M. & Zajaczowski, M. (1987). Suspension settling effect on the macrobenthos biomass distribution in the Hornsund fjord. *Spitsbergen. Polar Research*, **5**, 175-192.

Grotti, M., Soggia, F., Ianni, C., Magi, E. & Udisti, R. (2013). Bioavailability of trace elements in surface sediments from Kongsfjorden, Svalbard. *Marine Pollution Bulletin*, **77**, 367-374.

Gulińska, J., Rachlewicz, G., Szczuciński, W., Barałkiewicz, D., Kózka, M., Bulska, E. & Burzyk, M. (2003). Soil contamination in high Arctic areas of human impact, central Spitsbergen, Svalbard. *Polish Journal of Environmental Studies*, **12**, 701-707.

Hagen, D., Eide, N.E., Fangel, K., Flyen A.C. & Vistad, O.I. 2012. Sårbarhetsvurdering og bruk av lokaliteter på Svalbard. Sluttrapport fra forskningsprosjektet ”Miljøeffekter av ferdsel”. NINA Rapport 785. 110 s + vedlegg.

Hansen, H.J. & Danielsberg A. (2009). Tilstandsklasser for forurenset grunn. SFT TA-2553/2009.

Headley, A.D. 1996. Heavy metal concentrations in peat profiles from the high Arctic. The *Science of the Total Environment* 177: 105-111.

Hermanson, M., Isaksson, E., Teixeira, C., Muir, D.C.G., Compher, K.M. Li, Y-L., Igarashi, M.& Kamiyama, K. (2005). Current-use and legacy pesticide history in the Austfonna ice cap, Svalbard, Norway. *Environmental Science and Technology* 39: 8163-8169.

Holm, E., Brandvik, P. & Steinnes, E. (2003). Pollution in acid mine drainage from mine tailings in Svalbard, Norwegian Arctic. In: *Journal de Physique IV* (Proceedings), pp. 625-628. EDP sciences.

Holte, B., Dahle, S., Gulliksen, B. & Naes, K. (1996). Some macrofaunal effects of local pollution and glacier-induced sedimentation, with indicative chemical analyses, in the sediments of two Arctic fjords. *Polar Biology*, **16**, 549-557.

Isaksson, E., Hermanson, M., Sheila, H.C., Igarashi, M., Kamiyama, , Moore, J., Motoyama, H., Muir, D., Pohjola, V., Vaikmae, R., van de Wal, R.S.W. & Watanabe, O. 2003. *Physics & Chemistry of the Earth* 28: 28-32.

Jiao, L., Zheng, G.J., Minh, T.B., Richardson, B., Chen, L., Zhang, Y., Yeung, L.W., Lam, J.C.W., Yang, X., Lam, P.K.S. & Wong, M.H. (2009). Persistent toxic substances in remote lake and coastal sediments from Svalbard, Norwegian Arctic: Levels, sources and fluxes. *Environmental Pollution*, **157**, 1342-1351.

Jóźwiak, M. (2007). The heavy metals in water of select Spitsbergen and Iceland glaciers. *Landform Analysis*, **5**.

Jóźwik, Z., Magierski, J. & Leszczyńskiego, K. (1991). VIII. Heavy metals in the plants and soil of Calypso-stranda in the Bellsund region (west Spitsbergen). Research note, 1992, 1993.

Konovalov, D., Renaud, P., Berge, J., Voronkov, A. & Cochrane, S. (2010). Contaminants, benthic communities, and bioturbation: potential for PAH mobilisation in Arctic sediments. *Chemistry and Ecology*, **26**, 197-208.

Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, **25**, 1-18.

Liu, X., Jiang, S., Zhang, P. & Xu, L. (2012). Effect of recent climate change on Arctic Pb pollution: A comparative study of historical records in lake and peat sediments. *Environmental Pollution*, **160**, 161-168.

Lu, Z., Cai, M., Wang, J., Yin, Z. & Yang, H. (2013). Levels and distribution of trace metals in surface sediments from Kongsfjorden, Svalbard, Norwegian Arctic. *Environmental geochemistry and health*, **35**, 257-269.

Melke, J. (2006). The contents of selected trace elements in the soils of Bellsund, Spitsbergen. *Polish Journal of Soil Science*, **39**, 21-32.

Molvær, J. (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veileder 97:03.

Negoiţă, T. & Ropotă, M. (2000). Heavy metal ions determination in the Arctic soils. *Analytical Letters*, **33**, 729-738.

Ottesen, R.T., Bogen, J., Finne, T.E., Andersson, M., Dallmann, W.K., Eggen, O.A., Jartun, M., Lundkvist, Q., Ranestad-Pedersen, H & Volden, T. (2010). Geochemical Atlas of Norway. Part 2: Geochemical Atlas of Spitsbergen–Geochemical Composition of Overbank Sediments. Geological Survey of Norway (NGU), Trondheim, Norway.

Pękala,K. (1980). Morphogenetic processes and cover deposits of nunataks in the Hornsund area (SW Spitsbergen). *Polish polar research*, **1**, 9-44.

Plichta, W. & Kuczyńska, I. (1991). Metal contents in soils of Kaffiöyra, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, **12**, 183-193.

Polkowska, Ż., Cichała-Kamrowska, K., Ruman, M., Kozioł, K., Krawczyk, W.E. & Namieśnik, J. (2011). Organic pollution in surface waters from the Fuglebekken basin in Svalbard, Norwegian arctic. *Sensors*, **11**, 8910-8929.

R core team, (2012). R: a language and environment for statistical computing. http://www.r-project.org.

Rose, N.L., Rose, C., Boyle, J.F. & Appleby, P. (2004). Lake-sediment evidence for local and remote sources of atmospherically deposited pollutants on Svalbard. *Journal of Paleolimnology*, **31**, 499-513.

Sapota, G., Wojtasik, B., Burska, D. & Nowinski, K. (2009). Persistent Organic Pollutants (POPs) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from selected fjords, tidal plains and lakes of the North Spitsbergen. *Polish Polar Research*, **30,** 59-76.

Siegel, F.R., Galasso, J.L., Kravitz, J.H. & Basinger, W.D. (2000). The Svalbard western coast: site of baseline geochemistry and incipient contamination. *Environmental Geology*, **39**, 816-822.

Skei, J. (1994). Miljøgeokjemiske undersøkelser i Kongsfjorden 1991 og 1992. NIVA-rapport 2987.

Skotvold, T., Wartena, E. & Rognerud, S. (1997). Heavy metals and persistent organic pollutants in sediments and fish from lakes in Northern and Arctic regions of Norway. Statlig program for forurensningsovervåkning. SFT rapport, 688, 97.

Stange, K. & Klungsøyr, J. (1997). Organochlorine contaminants in fish and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, **54**, 318-332.

Sun, L., Yuana, L., Jiaa, N., Youa, K., Wanga, X. & Wanga, Y. (2010). Sb Pollution in the Soil, Moss and Sediments of Ny-Alesund, Svalbard, Arctic. http://www.paper.edu.cn.

Sun, Q., Chu, G., Liu, J. & Gao, D. (2006). A 150-year record of heavy metals in the varved sediments of Lake Bolterskardet, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, **38**, 436-445.

van Gestel, C.A. (2008). Physico-chemical and biological parameters determine metal bioavailability in soils. *Science of the Total Environment*, **406**, 385-395.

Wang, Z., Ma, X., Na, G., Lin, Z., Ding, Q. & Yao, Z. (2009). Correlations between physicochemical properties of PAHs and their distribution in soil, moss and reindeer dung at Ny-Ålesund of the Arctic. *Environmental Pollution*, **157**, 3132-3136.

Weideborg, M., Blytt, L.D., Stang, P., Henninge, L.B. & Vik, E.A. (2012). Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota. TA-nummer 3001/2012.

Wojtuń, B., Samecka-Cymerman, A., Kolon, K., Kempers, A. & Skrzypek, G. (2013). Metals in some dominant vascular plants, mosses, lichens, algae, and the biological soil crust in various types of terrestrial tundra, SW Spitsbergen, Norway. *Polar Biology*, **36**, 1799-1809.