



Statlig program for forurensningsovervåking

Forurensninger av metaller, PAH og PCB

# NASJONAL INNSJØUNDERSØKELSE, 2004–2006, DEL 2: SEDIMENTER

2362

2008







Statlig program for forurensningsovervåking

SPFO-rapport: 1012/2008  
TA-2362/2008  
ISBN 82-577-5284-2

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT)  
Utførende institusjon: NIVA

: **Nasjonal  
innsjøundersøkelse,  
2004–2006, del 2:  
Sedimenter**

Rapport  
1012/2008

Forurensning av metaller, PAH og PCB



NIVA prosjektnummer: O-24211  
NIVA rapport nr: LNO 5549



## Forord

Statens Forurensningstilsyn (SFT) har hovedansvaret for overvåkning av forurensningssituasjonen i luft og vann. Denne rapporten omhandler forurensningsgraden i innsjøsedimenter som følge av atmosfæriske avsetninger av metaller, PAH og PCB. Dette er den tredje landsomfattende sedimentundersøkelsen som er gjennomført i Norge. De to tidligere undersøkelsene i 1986/87 og 1996/97 omhandlet forurensningsgraden av atmosfærisk avsatte metaller. Etter at de nasjonale overvåkningsprogrammene for innsjøer ble samordnet i 2003/2004 er 54 av innsjøene felles med 3 eller 4 av andre overvåkningsprogrammer. I sedimentundersøkelsen har vi undersøkt 274 innsjøer på fastlandet. I tillegg ble 7 innsjøer undersøkt på Bjørnøya/Svalbard, men resultatene for disse rapporteres separat i AMAP undersøkelsen (del 3, Christensen et al. 2008)). I alle innsjøer der det er undersøkt sedimenter er også generell vannkvalitet og metaller i vann blitt analysert, men dette rapporteres i en egen rapport (del 1, Skjelkvåle et al. 2008).

Sedimentundersøkelsen ble gjennomført i løpet av høsten 2004, høsten 2005 og sommeren 2006 hovedsakelig ved hjelp av sjøfly. I 2004 ble undersøkelsen gjennomført som planlagt i Sør-Norge sør for Dovre. Høsten 2005 var det ekstremt dårlig flyforhold og det var bare mulig å få undersøkt innsjøer på Nord-Vestlandet, i Trøndelag, og noen i Nordland/Troms. I 2006 var flyforholdene svært gunstig og resterende av de utvalgte innsjøene i Nordland og Troms samt Finnmark ble undersøkt i løpet av 3 uker.

Prosjektet er finansiert av SFT, men NIVA har bidratt med forskningsmidler og STATOIL asa har finansiert undersøkelser i 38 kystnære innsjøer i Nordland, Troms og Finnmark. Sigurd Rognerud (NIVA) og Guttorm Christensen (Akvaplan-niva) har vært ansvarlig for gjennomføring av sedimentundersøkelsen. Disse har gjennomført hele feltarbeidet, men Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA) som er ansvarlig for vannkvalitetsundersøkelsen, har også deltatt. Sigurd Rognerud og Eirik Fjeld (NIVA) er ansvarlig for rapporteringen av sedimentundersøkelsen på fastlandet, mens Guttorm Christensen er ansvarlig for AMAP-rapporteringen.

Sedimentene er tørket, bearbeidet for analyse og glødetapet bestemt ved NIVAs Østlandsavdeling av Sigurd Rognerud. Metaller og stabile bly-isotoper i sedimenter er analysert av Oddvar Røyset (NIVA). PAH og PCB er analysert av Unilab Analyse i Tromsø av hhv Linda Hanssen og Ingar H. Wasbotten. Tore Høgåsen (NIVA) har lagt alle analysedata inn i NIVAs RESA-database. Eirik Fjeld har laget alle kartframstillingene i rapporten. Flyselskapet Fonnafly As har stått for flygingen med sjøfly på nesten alle av de undersøkte innsjøene. Per Korsvold og Toralf Myran har vært piloter. Takk til alle som har vært involvert i undersøkelsen og som har gjort det mulig å få den gjennomføre til tross for store logistiske utfordringer. Til slutt en takk til Tor Johannessen og Ola Glesne i SFT som gjorde det mulig å gjennomføre resten av undersøkelsen i 2006, etter at stormværet satte en stopper for videre prøveinnsamling høsten 2005.

Hamar, desember 2007



# Innhold

<b>1. Sammendrag</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Innledning</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Metoder</b> .....	<b>6</b>
3.1 Innsamling.....	6
3.2 Sedimentanalyser og kontamineringsfaktor.....	6
3.2.1 Forbehandling, glødetap og oppslutning.....	6
3.2.2 Analyser av metaller i sedimenter med HR-ICPMS.....	7
3.2.3 Kvalitetssikring.....	7
3.2.4 Analyse av PAH i sedimenter.....	8
3.2.5 Analyse av PCB i sedimenter.....	8
3.2.6 Statistiske analyser.....	8
<b>4. Bakgrunn for tolkning av forurensningsgraden av metaller i innsjøsedimentene....</b>	<b>10</b>
4.1 Metallkonsentrasjoner i referansesedimentene – et mål på bakgrunnsverdier?.....	10
4.1.1 Overflatesedimentenes alder.....	10
4.1.2 Karakterisering av sedimentene ved hjelp av stabile blyisotoper ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ).....	10
4.1.3 Pb-isotop signaturer i miljøet.....	11
4.1.4 Regional fordeling av Pb-isotop signaturen i innsjøsedimentene.....	12
4.1.5 Glødetap i sedimentene.....	15
<b>5. Konsentrasjoner av metaller i sedimenter</b> .....	<b>16</b>
5.1 Generell bakgrunn for tolking av kartene for de ulike elementene.....	16
5.2 Regional fordeling av element konsentrasjoner i sedimentene og tidsutvikling.....	17
5.2.1 Kvikksølv – Hg.....	19
5.2.2 Bly – Pb.....	21
5.2.3 Antimon – Sb.....	23
5.2.4 Vismut – Bi.....	25
5.2.5 Arsen – As.....	27
5.2.6 Tinn – Sn.....	29
5.2.7 Tellur – Te.....	31
5.2.8 Selen – Se.....	33
5.2.9 Sølv – Ag.....	35
5.2.10 Thallium – Tl.....	37
5.2.11 Gull – Au.....	39
5.2.12 Vanadium – V.....	41
5.2.13 Krom – Cr.....	43
5.2.14 Kadmium – Cd.....	45
5.2.15 Sink – Zn.....	47
5.2.16 Nikkel – Ni.....	49
5.2.17 Kobber – Cu.....	51
5.2.18 Kobolt – Co.....	53
5.2.19 Gallium – Ga.....	55
5.2.20 Wolfram – W.....	57
5.2.21 Molybden – Mo.....	59
5.2.22 Jod – I.....	61
5.2.23 Mangan – Mn.....	63

5.2.24	Jern – Fe .....	65
5.2.25	PAH og PCB.....	67
<b>6.</b>	<b>Statistisk analyse.....</b>	<b>68</b>
6.1	Clusteranalyse .....	68
6.2	Prinsipal komponentanalyse (PCA).....	70
<b>7.</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>76</b>

## 1. Sammendrag

Denne rapporten omhandler den tredje nasjonal sedimentundersøkelsen fra 2004–2006, og fokuserer på forurensningsgraden av atmosfærisk avsatte miljøgifter. Formålet har vært å lage en nasjonal oversikt over forurensningssituasjonen og tidsutviklingen for utvalgte metaller (inkludert metalloider), PAH og PCB i innsjøsedimenter.

Atmosfæriske avsetninger av Hg, Pb, Sb, Bi, og As har forurenset innsjøsedimenter over hele landet. De største forurensningene finnes i et omlag 150 km bredt kystnært område fra Østfold til Stadtlandet. I dette området er rekkefølgen for økningen i konsentrasjoner fra pre-industriell tid og fram til i dag følgende: Pb>As>Bi>Sb>Hg. Kystområdene i Nord-Norge er markert forurenset, mens indre og ofte høyereliggende områder er generelt minst forurenset. Dette mønsteret henger sammen med at metallene vaskes ut med nedbør (størst ved kysten) og at Sør-Norge er nærmest kildeområdene i Europa. Konsentrasjonene i senere tid har gått ned som følge av lavere utslipp i Europa.

Atmosfæriske avsetninger av Sn og Te har også forurenset innsjøsedimenter over hele landet, unntatt i indre deler av Østlandet, Troms og Finnmark. De mest forurensete områdene er de samme som for de ovennevnte elementene, men særlig Sørlandet og Vestlandet. Konsentrasjonene i senere tid viser klare økninger i sør- og sørvestre deler av landet. Dette kan ha sammenheng med at begge elementer er i vesentlig grad knyttet til utslipp etter 1940 (høgteknologisk periode) og at de europeiske utslippene kan ha økt.

Atmosfæriske avsetninger av Se, Cd, Tl og Ag har forurenset innsjøsedimenter hovedsakelig i Sør-Norge. Konsentrasjonene i senere tid viser en reduksjon i sør- og sørøstre deler av landet, antagelig som følge av reduserte utslipp i Europa.

For elementene Ga og W er sedimentene mest forurenset på Sørlandet og Vestlandet. Det har vært en reduksjon i konsentrasjonene i senere tid i sør- og sørlige deler av landet for Ga, mens det derimot har vært en økning for W. Begge elementene er bl.a. knyttet til produksjon av elektriske og elektroniske produkter, men de finnes også i utslipp fra smelteverksindustri (f. eks. aluminiumsverk som finnes på Lista). Forskjellen er vanskelig å forklare, men den kan skyldes endringer i lokale kilder i den aktuelle perioden

For Zn er sedimentene på Sørlandet og sørlige deler av Østlandet mest forurenset. I tillegg er også sedimenter i Jarfjordområdet i Øst-Finnmark noe forurenset. Det har vært en reduksjon i forurensningsgraden i sør- og sørlige deler av landet, mens det har skjedd en svak økning i Jarfjordområdet. Reduksjonen i sør skyldes reduserte utslipp, spesielt i Øst-Europa, mens økning i nord kan skyldes økte utslipp i forbindelse med økt produksjon ved smelteverket i Nikel.

For V, Cr, Mo, Au er Sørlandet det mest forurensete området. I den senere tid har det vært en reduksjon for V og Cr, noe som kan skyldes reduserte utslipp i Europa. For Mo og Au var det ingen endring. For Au er konsentrasjonene svært lave, slik at signifikante endringer vil være vanskelig å oppdage.

For Co, Cu, Ni finnes de største forurensningene på Sørlandet samt på Jarfjordfjellet i Øst-Finnmark. I den senere tid har forurensningsgraden blitt redusert i sør- og sørlige deler av landet, mens det skjedd en svak økning i Jarfjordområdet. Reduksjonen i sør skyldes reduserte



utslipp, spesielt i Øst-Europa, mens økning i nord kan skyldes økte utslipp i forbindelse med økt produksjon ved smelteverket i Nikel på Kolahalvøya.

Sedimentene er mest forurenset av PAH og PCB langs kysten fra Østfold til Stadtlandet, men også kyststrøkene – spesielt langs Nordlandskysten – er påvirket. Dette er et mønster som er svært likt de regionale mønstrene vi har vist for elementer der langtransporterte atmosfæriske avsetninger er dominerende forurensningskilder. Både PAH og PCB vaskes ut med nedbør, og nedbørsmengdene er størst i kystnære strøk. Dette er en viktig faktor for de regionale konsentrasjonsfordelingene. For PCB, som for de undersøkte innsjøene hovedsakelig har hatt de største kilder utenfor landets grenser (også gjennom reemitering av PCB fra tidligere forurensete områder), er det rimelig å anta at langtransporterte forurensninger er dominerende kilde. Når det gjelder PAH er det trolig at også industri langs kysten, skipstrafikk og fakling på oljeplattformer gir et bidrag i tillegg til de atmosfærisk langtransporterte kildene.

På bakgrunn av omfang og konsentrasjonsøkningen siden preindustriell tid konkluderer vi med at atmosfæriske avsetninger av Pb, As, Zn og Sn har forurenset norske innsjøer mest av de undersøkte elementene. Hg omdannes til giftig metyl-Hg i innsjøer og våtmarker. Metyl-Hg akkumuleres i akvatiske næringskjeder, og høye konsentrasjoner i fisk i enkelte deler av landet har ført til kostholdsråd for konsum og restriksjoner ved omsetning. På bakgrunn av de biologiske effektene ved atmosfæriske avsetninger av Hg er dette elementet det viktigste med hensyn til internasjonale forhandlinger om utslippsreduksjoner. På Sørlandet og i Øst-Finnmark er innsjøene også betydelig forurenset av Cu, Ni, Cr og Co hovedsakelig på grunn av luftutslipp fra lokal smelteverksindustri.

I de sørligste deler av landet har de fleste elementene vist en klar nedgang i konsentrasjoner i det øvre 0,5 cm overflatsjiktet i forhold til det underliggende 0,5 cm sjiktet. Dette viser at forurensning har avtatt siste 10 år i forhold til foregående 10–15 års periode. Dette skyldes reduserte utslipp i andre deler av Europa og særlig Øst-Europa. Unntakene fra dette er Sn, Te og W som har økt i de sørligste deler antagelig på grunn av økning i utslipp i Europa, samt for Cu og Ni i Øst-Finnmark på grunn av økte utslipp fra smelteverket i Nikel. Siden den forrige nasjonale undersøkelsen i 1996/97, der det bare ble observert reduksjoner i sørlige deler av landet for Pb og Cd, er det nå mer omfattende reduksjoner for mange elementer, inklusive Hg.

## 2. Innledning

Norsk miljøforvaltning ved Statens forurensingstilsyn (SFT) og Direktoratet for naturforvaltning (DN) er i dag ansvarlige for overvåking av forskjellige forurensningsbelastninger på økosystemer i ferskvann. Denne overvåkingen er organisert i flere programmer som hvorav flere har blitt integrert i en aktivitet kalt «Samordnet nasjonal innsjøundersøkelse 2004–2006». En gjennomgang av disse programmene er gitt i Skjelkvåle et al. (2003).

Denne rapporten omhandler den tredje nasjonal sedimentundersøkelsen fra 2004–2006, og fokuserer på forurensningsgraden av atmosfæriske avsatte metaller og noen persistente organiske miljøgifter. Parallelt med denne rapporteres også en nasjonal undersøkelse av vannkjemi (Skjelkvåle et al. 2008) og en mer detaljert gjennomgang av forurensningssituasjonen i ferskvann i nordområdene (AMAP-programmet, Christensen et al. 2008).

Bakgrunnen for å undersøke sedimenter er at de er velegnet som et miljøarkiv som kan gi informasjon om forurensningshistorien til en rekke persistente partikkelbundne stoffer. Sedimentene er dannet av partikler som er produsert i innsjøene eller tilført fra nedbørfeltet. Atmosfærisk avsatte metaller og mange organiske mikroforurensninger er assosiert til partiklenes organiske fraksjon som sedimenterer og avsettes kronologisk i innsjøenes dypeste områder, den såkalte akkumulasjonszonen (Rognerud og Fjeld 2001).

I en overvåkningsundersøkelse er det avgjørende at sedimentene er hentet fra akkumulasjonszonen slik at representative tidstrender kan kartlegges. I mindre vindbeskyttede innsjøer kan oftest akkumulasjonszonen begynne på noen få meters dyp, mens i større vindeksponerte innsjøer må en oftest ned til 20-50m for å finne stabile akkumulasjonsedimenter.

I denne undersøkelsen er innsjøenes dyp blitt kartlagt med ekkolodd, sedimentkjernene tatt fra dypeste punkt og sedimentkjernene vurdert visuelt under feltarbeidet. Dette sammen med en vurdering av vindeksponeringsgrad har vært nødvendig for å sikre at vi har prøver av innsjøenes akkumulasjonssedimenter. Partiklene inneholder metaller som har sitt opphav i geologisk materiale og atmosfæriske avsetninger. Innholdet av metaller i geologisk materiale varierer til dels betydelig over landet (Ottesen et al. 1988, Rognerud og Fjeld 1999). De lokale geokjemiske konsentrasjonene av metaller i de enkelte innsjøene har vi målt i et referansesjikt (30-50 cm under sedimentoverflaten). Dette sjiktet er minst 300-500 år gammelt dvs. før atmosfæren var nevneverdig forurenset av metaller (Rognerud og Fjeld 1999). Forurensningsgraden vurderes som forholdet mellom konsentrasjonene i de nylig avsatte overflatesedimentene og i referansesjiktet.

I denne undersøkelsen har vi også inkludert analyser av organiske mikroforurensninger som polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og polyklorerte bifenyloler (PCB) i overflatesjiktet i et utvalg (95) av de undersøkte innsjøer. PAH dannes i hovedsak ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale (eks. fossile brensel), som biprodukt i industrielle prosesser (aluminium- og ferromangan-verk) og ved bruk av ulike kull- og olje-relaterte produkter. I norske innsjøsedimenter er det atmosfærisk avsatt sot-relatert PAH som dominerer (Rognerud et al. 1996). Sot-relatert PAH dannes også naturlig (for eksempel skogsbranner), men det er langtransporterte og lokale kilder som er helt dominerende i norske innsjøsedimenter (Rognerud et al. 1996). PCB er et industriprodukt som er produsert i vekslende mengder siden 1929, men har vært forbudt å bruke i mange land de siste 25 år.

Likevel finnes fortsatt mye PCB i miljøet og de semi-flyktige PCB forbindelsene har et stort spredningspotensiale i atmosfæren. Forurensningsgraden av PAH og PCB i denne undersøkelsen vurderes derfor kun ut fra konsentrasjonene i overflatesedimentene.

Den første landsomfattende sedimentundersøkelsen ble gjennomført i 1986/87 og omhandlet konsentrasjoner av bly (Pb), kvikksølv (Hg), kadmium (Cd) og nikkel (Ni) i overflatesedimenter og i dypereliggende referansesjikt i 210 innsjøer (Rognerud og Fjeld 1990). Den viste at konsentrasjonene av Pb, Hg og Cd i nylig avsatte overflatesedimenter var 3-6 ganger høyere enn bakgrunnsverdiene i kystnære områder Sør-Norge, mens en mer moderat økning (1,5-3) var vanlig i de sentrale fjellområdene i Sør-Norge, samt Midt-Norge og Nord-Norge. Denne økningen ble satt i sammenheng med avsetninger av langtransporterte forurensninger. Økninger i konsentrasjonene av Ni i overflatesedimentene ble bare observert i nærheten av smelteverksindustri.

Den andre landsomfattende sedimentundersøkelsen ble gjennomført i 1996/97 i 235 innsjøer (Rognerud et al. 1999). Av ulike årsaker (reguleringer, kalking, andre inngrep) måtte 13 av innsjøene fra 1986/87 utgå, men det ble inkludert 13 nye innsjøer der metallkonsentrasjoner i sedimentene var undersøkt i første del av 1980-tallet, samt 21 innsjøer som ble undersøkt samtidig i et annet SFT-prosjekt (Rognerud et al. 1997). Det ble analysert 25 elementer og av disse ble det funnet klare konsentrasjonsøkninger i overflatesedimentene sammenliknet med sedimenter avsatt i før-industriell tid for følgende elementer: Pb, Bi (vismut), Sb (antimon), As (arsen), Hg, og Cd. En mindre økning ble påvist for Zn (sink) og Se (selen) og I (jod). Disse økningene ble satt i sammenheng med atmosfæriske avsetninger av langtransporterte forurensninger. Omkring smelteverksindustri ble det identifisert til dels betydelige lokale økninger i konsentrasjonene av Co (kobolt), Ni, Cu (kobber) og Cr (krom) i de nylig avsatte overflatesedimentene. Tidsutviklingen fra den første undersøkelsen viste at konsentrasjonene av bly i overflateavsetningene hadde avtatt og at avtaket var størst i de mest belastede områdene i Sør-Norge. Årsaken til dette var reduserte avsetninger av atmosfæriske forurensninger. Et liknende mønster ble også funnet for Cd og Zn, men reduksjonene var mindre markert. For Hg ble det ikke funnet noen klar tidstrend.

Den tredje landsomfattende undersøkelsen (2004-2006) som rapporteres her omfatter 274 innsjøer. Utvalget av innsjøer er et resultat av en samordning med andre nasjonale program for overvåkning av forurensningsbelastninger på økosystemer i ferskvann i regi Statens Forurensningstilsyn (SFT) og Direktoratet for naturforvaltning (DN). En detaljert beskrivelse av hvilke lokaliteter som er felles med andre program og hvilke som er unike for de enkelte programmene er gitt i SFT (2006). Blant de 274 innsjøene som er undersøkt i den siste nasjonale sedimentundersøkelsen er 167 undersøkte i 1995/96, 132 i 1986/87 og 127 innsjøer er med i alle tre undersøkelsene. Den inkluderer også 32 kystnære innsjøer i Nord-Norge der Statoil har finansiert PAH undersøkelser i overflatesedimentene. De to første sedimentundersøkelsene har i all hovedsak omhandlet metallkonsentrasjoner i overflate- og referansesedimenter, mens den siste inkluderer også PAH og PCB konsentrasjoner i overflatesedimenter i 95 innsjøer.

Det er noen vesentlige forskjeller på omfanget av de tre undersøkelsene. Den største forskjellen er utviklingen på analysesiden (metoder, instrumentering og automatisering). Dette har gjort det mulig både å måle flere metaller og senke grensene for sikre analyser uten betydelige økninger av kostnadene. Videre har vi etter hvert utviklet en større sedimentprøvetaker som har muligheten til å innhente nok materiale til alle analyser selv med 1-2 sedimentkjerner fra hver innsjø. I denne siste undersøkelsen har vi også samlet inn og

analysert generell vannkvalitet og konsentrasjoner av elementer i vann fra alle innsjøene. Dette rapporteres separat (Skjelkvåle et al. 2008), men senere vil det være aktuelt og arbeide videre med forklaringsmodeller som inkluderer vannkjemi, metaller i vann og andre innsjøspesifikke data.

Formålet med sedimentundersøkelsen har vært å lage en nasjonal oversikt over forurensningssituasjonen og tidsutviklingen for utvalgte metaller (inkludert metalloider), PAH og PCB i innsjøsedimenter. Dette har vi gjort ved å:

1. Lage en nasjonal oversikt over metallkonsentrasjoner i overflatesjiktet og referansesjiktet, samt for differansen mellom konsentrasjonene i disse sjiktene i innsjøsedimenter. Resultatene presenteres i et norgeskart der hver innsjø er kodet i en fargeskala fra blått til rødt ved økende konsentrasjoner.
2. Lage en oversikt for differansen mellom konsentrasjon av de mest sentrale metallene i overflatesedimentenes sjikt 0-0,5 cm og 0,5-1 cm visualisert i fargekoder. Dette gir et inntrykk av konsentrasjonsendringene i sedimenter avsatt de siste 10 årene i forhold til sedimenter avsatt fra 10-20 år siden.
3. Lage en oversikt over konsentrasjoner av PAH og PCB i overflatesedimenter (0-1 cm) regionalt i Norge visualisert ved hjelp av fargekoder.
4. Diskutere konsentrasjonsendringer i metaller fra pre-industriell tid og frem til i dag i ulike deler av landet ved hjelp av annen publisert litteratur om tidstrender i daterte sedimentkjerner.
5. Diskutere konsentrasjonsendringer i sedimenter avsatt i nyere tid i lys av publisert litteratur om endringer i metallkonsentrasjoner i atmosfærens innhold av metaller målt indirekte som metallkonsentrasjoner i landmose og daterte innsjøsedimenter.
6. Diskutere konsentrasjoner av PAH og PCB i overflatesedimenter regionalt i Norge og vurdere betydningen av ulike atmosfæriske kilder og andre forhold som påvirker atmosfæriske avsetninger av forurensninger.

### **3. Metoder**

#### **3.1 Innsamling**

Planen var å gjennomføre undersøkelsen ved hjelp av sjøfly i løpet av høsten 2004 og 2005. I september/oktober 2004 ble Sør-Norge undersøkt. I september/oktober 2005 fortsatte undersøkelsen av innsjøer i Møre og Romsdal, Trøndelag og deler av Nordland og Troms før undersøkelsen måtte avsluttes på grunn av ekstremt mye dårlig flyvær. I samråd med SFT ble det besluttet å gjennomføre resten av undersøkelsen i Nord-Norge samt noen ekstra innsjøer i Sør-Norge i 2006. I løpet av juli og august 2006 ble alle resterende innsjøer undersøkt under spesielt god flyforhold.

Sjøfly er svært godt egnet til sedimentprøvetakning. Det er raskt å finne innsjøenes dypområder (både visuelt fra lufta og etter landing med ekkolodd montert på flottøren). Når dypeste punkt er funnet, senker en person sedimenthenteren ned ved hjelp av vinsj montert i kabinen. En person på flottøren sikrer at nedsenkingen skjer loddrett slik at sedimenthenteren går loddrett ned i sedimentet. Flyet vil alltid innstille seg mot vinden. Dersom det er vind vil nedsenkingen stoppe 2 m over bunnen og flymotoren benyttes slik at en kontrollert loddrett nedsenking kan skje når wiren står loddrett. Når sedimenthenteren tas opp igjen korkes røret i topp og bunn av en person som står på flottøren. Dette skjer på en slik måte at hele røret består av sediment og overliggende vann. Dette hindrer en omrøring av overflatesedimentet ved transport. Derrest blir røret satt i stativ i flykabinen. Når dette er fullt blir stativet tatt i land, vannet over det uforstyrrede sedimentet fjernet med hevert og sedimentkjernen splittet opp og lagret i plastkopper (metaller) og på glødede glass (PAH, PCB). Prøvene ble så lagret på kjølelager inn til videre bearbeidelse og analyse kunne skje.

Sedimentprøvene ble innsamlet med en KB-corer med 75 cm lange utskiftbare plastrør med indre diameter på 8,3 cm som var spisset og dreid slik at godstykkelsen var ca 2 mm (Rognerud et al. 2000). Dette bidro til at penetrasjonen i sedimentet gikk lett og at sediment-overflatene i prøven var uforstyrret. Nedsenkingen av sedimenthenteren ble kontrollert med et ekkolodd slik at den kunne senkes sakte ned i sedimentet. Dette er nødvendig for å hindre tap av overflatesediment og komprimering av sedimentkjernen (Blomqvist 1991). Når en følger disse prosedyrer vil en slik sedimenthenter ta representative prøver av de øverste 30 cm (Stephenson et al. 1996). Overflatesedimentet ble seksjonert i sjiktene 0-0,5cm, 0,5-1 cm, mens referanseprøven (et 2 cm sjikt), også kalt pre-industrielle sedimenter, ble tatt fra kjernens dypeste parti (hovedsak fra  $35 \pm 10$  cm's dyp avhengig av sedimentets organiske innhold). PAH og PCB prøvene ble innsamlet fra sjiktet 0-1 cm og oppbevart på glødede glass.

#### **3.2 Sedimentanalyser og kontamineringsfaktor**

Alle metallanalyser og glødetapsanalyser er utført på NIVA, mens PAH og PCB er analysert ved Unilab Analyse i Tromsø, noen få ved Scientific Production Association "Typhoon", Center for Environmental Chemistry, Obninsk, Russland.

##### **3.2.1 Forbehandling, glødetap og oppslutning**

Sedimentprøvene ble tørket ved 60 °C, homogenisert og siktet gjennom en 70 µm duk for å fjerne større sandkorn etc. Derrest ble en del av hver prøve tatt ut og glødet ved 520 °C og glødetapet beregnet. Glødetapet (Gt) er et uttrykk for andelen organisk materiale i prøvene.

Sedimentprøvene hadde glødetap over 5 % og da utgjør organisk karbon ca. halvparten av glødetapet. (se Rognerud et al. 2000). Derneft ble ca. 0,5g tørt materiale innveid og sendt til oppslutning og videre analyser.

Homogeniserte prøver oppsluttes i teflonrør i autoklav (120 °C, 2 atmosfære i 30 min) med salpetersyre ihht Norsk Standard 4770. Dette er den mest benyttede metode for oppslutning av sedimenter, som løser en fraksjon som vanligvis varierer fra 50 % og opptil 100 % avhengig av bindingsform og syreløslighet av det enkelte metall. Metoden er benyttet til alle de vanligste undersøkelsene av elementer i innsjøsedimenter, og regnes for å gi bedre beskrivelse av det antropogene (menneskeskapte) bidraget av elementer i sedimenter enn bruk av totaloppslutninger (der bidraget fra mineralpartikler fra den lokale berggrunnen blir mer dominerende).

### **3.2.2 Analyser av metaller i sedimenter med HR-ICPMS**

Det ble benyttet en HR-ICPMS (High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) som er en videreutvikling av ICPMS teknologien. Et høyopløsende massespektrometer med ICP-plasma kilde (Thermo Finnigan Element 2) benyttes for å separere bort molekyl ioner som ellers skaper problemer i vanlig ICPMS. Teknikken er den mest følsomme ICPMS teknikken med deteksjonsgrenser i pg/L til ng/L området, tilsvarende metallkonsentrasjoner i ng/g området for metaller i sedimenter. NIVA benytter et multielementprogram som måler opptil 68 grunnstoff i oppslutninger fra sedimenter. Analysemetoden er optimalisert for å fjerne de vanligste molekylionene ved bruk av MR (Medium Resolution på 3000) og HR (High Resolution 10000). Kalibreringer foretas med multistandarder med samme konsentrasjon av salpetersyre (matrix matched) som i salpetersyreløsningene fra de oppsluttede sedimentprøvene. Det ble benyttet i tillegg 5 interne standarder som er optimalisert for å kompensere for variasjon i ionisasjons/nebuliser-effektivitet og variasjoner i respons over masseområdet fra 5 til 240.

### **3.2.3 Kvalitetssikring**

Det benyttes en rekke sertifiserte referansematerialer for å kontrollere kvaliteten på målingene. Dette omfatter NRC-INMS (National Research Council Canada - Institute for National measurement Standards) MESS-3 og HISS-1 Marine Sediment Reference Materials samt en NIVA utviklet intern sedimentprøve fra Bjørvika, Oslo havn. Det tas regelmessig tester av en del andre sediment referanseprøver. NIVA deltar også 2-4 ganger i året i det internasjonalt anerkjente interkalibrerings-programmet Quasimeme for metaller i sedimenter. Her oppnår NIVA nesten alltid resultater som ligger innefor aksepterte usikkerhet for målinger de prioriterte tungmetallene.

Av og til tas også stikkprøve sammenlikninger med ICPAES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry). En viktig grunn for dette, er at det finnes kun noen få godt sertifiserte måleverdier for oppslutningsmetoden NS4770, da de fleste sertifiserte verdier for metaller er basert på totaloppslutning (flussyre, saltsyre, salpetersyre). ICPAES gir gode data for de fleste hovedelementene samt en del prioriterte tungmetaller, men klarer ikke å måle lave konsentrasjoner verken av prioriterte tungmetall, spormetall eller sjeldne grunnstoff. Imidlertid, slike data gir god indikasjon på om målemetoden med HR-ICPMS er pålitelig. En slik sammenlikning for analyser av sedimenter fra Oslo havn har vist at avvikene stort sett er under 10 % for de metallene der konsentrasjonen er høy nok til å gi gode sammenlikninger.

### 3.2.4 Analyse av PAH i sedimenter

Analysene av PAH er utført av UNILAB i Tromsø: Omtrent 2 g tørket sediment ble tilsatt metanol (100 ml), kaliumhydroksid (3 g) sammen med 1,0 ml av en løsning som inneholdt ca. 1,0 µg/ml av de interne standardene naftalen-d<sub>8</sub>, bifenyl-d<sub>10</sub>, antracen-d<sub>10</sub>, fenantren-d<sub>10</sub>, pyren-d<sub>10</sub>, krysen-d<sub>12</sub> og perylen-d<sub>12</sub>. Blandingen ble deretter refluksert i 1,5 t. Metanolløsningen ble ekstrahert med pentan. Pentanekstraktet ble dampet inn ved hjelp av en rotavapor. Ekstraktene ble rensert opp ved hjelp av ekstraksjonskolonner med 500 mg silika. Petroleumskomponentene ble eluert med pentan og deretter med diklormetan. Prøven ble dampet inn til nesten tørrhet ved hjelp av nitrogen, deretter ble 100 µl isooktan tilsatt. Innholdet av aromatiske og bisykliske, alifatiske hydrokarboner ble bestemt ved hjelp av Hewlett-Packard MS 5971 og Hewlett-Packard 5890 gasskromatograf. Ett karakteristisk ion for hver forbindelse ble tatt opp, i tillegg til molekylionene til interne standarder. PAH sedimentprøver fra 5 innsjøer (Nr 224, 232, 274, 285 og 300) er analysert av Center for Environmental Chemistry (Typhoon) i Moskva. Prøvene ble homogenisert og tørket. Den videre prosedyre for analyser er gitt i Christensen et al. 2008.

### 3.2.5 Analyse av PCB i sedimenter

Analysene er gjort fra sjiktet 0-1 cm. Alle innsjøene i Sør-Norge, Trøndelag og Nordland opp til Bodø er utført av Unilab i Tromsø, mens de resterende 33 innsjøene i Nord-Norge er analysert av Center for Environmental Chemistry (Typhoon) i Moskva.

UNILAB Tromsø: Prøveglasset ble etter PAH-analyse tilsatt intern standard (PCB-53) og rensert opp på en florisilkolonne med heksan/diklormetan som løsemiddel. Det ble foretatt et løsemiddelskift før prøven ble analysert ved hjelp av en Hewlett-Packard 5890 gasskromatograf med ECD.

Typhoon: PCB i sedimentene ble ekstrahert med en bensen-etanol blanding (16 timer) i en Soxhlet apperatur. Analysene ble utført med en GC/MS Variant Saturn 2200 T. Kalibrering av instrumentet ble utført ved hjelp av en standard blanding av bifenyler (BP-MS, Wellington Laboratories og SRM-1492, NIST). Deteksjongrenser (ng/g t.v) for PCB-7 var: # 28 (0,04), # 52 80,02), # 101 (0,05), # 118 (0,02), # 153 (0,02), # 138 (0,05) og # 180 (0,05).

### 3.2.6 Statistiske analyser

For å belyse likheten mellom sammensetningen av metaller i sedimentene har vi benyttet oss av de statistiske multivariate metodene clusteranalyse og prinsipal komponentanalyse. Formålet med en clusteranalyse er å organisere multivariate observasjoner (objekter med flere målte egenskaper) i grupper på en slik måte at medlemmene i de enkelte gruppene har mest mulig felles egenskaper og at gruppene atskiller seg fra hverandre. Den vanlige situasjonen er at dataene ikke er fordelt jevnt i et multidimensjonalt rom, men at de ofte samles i grupper i lokale områder. Slike grupper kalles «clusters». Man stiller i utgangspunktet ingen *à priori* hypoteser vedrørende dataene, og metoden vil derfor heller ikke kunne benyttes til hypotesetesting. Clusteranalysen oppdager strukturer i dataene uten å forklare hvorfor de eksisterer. Analysen gir således et nyttig utgangspunkt for videre utforskende dataanalyser.

Resultatene fra en clusteranalyse framstilles grafisk i et *dendrogram*. Dette er et hierarkisk oppbygd tre-diagram som viser de enkelte observasjonene og når de kombineres med andre observasjoner og danner clustere. For clusteranalysen har vi benyttet en teknikk som kalles hierarkisk clustering, basert på Wards minimum varianse metode

Formålet med en prinsipal komponentanalyse er å redusere dimensjonaliteten i ett datasett ved å representere strukturen eller hovedtendensen i et datasett så komplett som mulig ved å benytte noen få komponenter. Disse komponentene er lineære kombinasjoner av de originale variablene. Den første prinsipale komponenten er den lineære kombinasjonen av de standardiserte originale variablene som har den største mulige variansen (dvs. egenverdien innenfor lineær algebra). Den neste prinsipale komponenten har den nest høyeste egenverdien (og er ortogonal til den første, dvs. ukorrelert), og så videre. Bidraget fra de originale variablene til de ulike prinsipale komponentene gis av deres egenvektorer. Disse koeffisientene brukes i en lineær kombinasjon av de originale variablene for å produsere de prinsipale komponentene.

Resultatene fra en prinsipal komponentanalyse kan vises grafisk i et såkalt biplot, hvor egenvektorene plottes som piler i et diagram med de prinsipale komponentene som akser, og hvor skårene til de enkelte observasjonene plottes som punkter i det samme diagrammet. Lengden på pilene viser egenvektorenes relative betydning, og vinkelen mellom dem viser hvor nært korrelert de er med hverandre. Nær korrelerte variabler peker i samme retning, mens negativ korrelerte variabler peker i motsatt retning. Ikke-korrelerte variabler står normalt på hverandre.

Vi har i begge analysene benyttet oss av konsentrasjoner i et utvalg elementer i overflatesedimentene (0 – 0,5 cm.). I denne analysen har vi basert oss på elementer hvor kildene er atmosfæriske forurensninger enten som langtransporterte forurensninger eller fra lokale/regionale kilder. Materialet består derfor av sedimentanalyser fra 274 innsjøer. I noen få av disse er verdier under deteksjongrensen erstattet med denne. De statistiske metodene vi har benyttet tolererer ikke at det mangler data for noen elementer. Til de statistiske analysene er det benyttet dataprogrammet JMP (SAS Institute Inc., 2004)



## 4. Bakgrunn for tolkning av forurensningsgraden av metaller i innsjøsedimentene

### 4.1 Metallkonsentrasjoner i referansesedimentene – et mål på bakgrunnsverdier?

Atmosfæriske forurensninger av Pb har en lang historie. Gresk-romersk blyutvinning førte til en spredning av atmosfærisk Pb også til våre områder (Renberg et al. 1994). Den startet for 3000 år siden og var størst for 2000 år siden. Siden har europeisk gruvevirksomhet og metallproduksjon bidratt til atmosfæriske Pb forurensninger som toppet seg rundt år 1200 og 1530 (Brännvall et al. 2001) Analyser av Pb-konsentrasjoner og stabile Pb-isotoper i lange daterte sedimentkjerner har vist at naturlige ”bakgrunnskonsentrasjoner” først kan forventes i innsjøsedimenter som i dag ligger dypere enn 1-1,5m under sedimentoverflaten (Brännvall et al. 1997, Bindler et al. 2001a, 2001b).

Våre referansesedimenter er hentet fra 35±15 cm’s dyp avhengig av sedimentets tetthet dvs organisk innhold. Basert på egne data over sedimentasjonshastigheter i norske innsjøer (samt publiserte data fra svenske undersøkelser) er det svært lite sannsynlig at noen av referansesedimentene våre er yngre enn 250 år (ca 1750), og at de aller fleste er betydelig eldre. Det vil si at de er representative for forholdene før den industrielle revolusjon. Referansesedimentene kalles derfor for ”preindustrielle sedimenter”. De er likevel ikke gamle nok til å gi et totalt bilde av avsetninger av atmosfæriske Pb forurensninger også muligens også noen andre elementer (Sb, Ag, Tl, As) om en i mindre grad (Shotyk et al. 1996, 2004). Likevel utgjør påslaget av Pb forurensninger forårsaket av utslipp etter starten på den industrielle revolusjon mer enn 2/3 av den total Pb forurensning.

#### 4.1.1 Overflatesedimentenes alder

Vi har tidligere vist at sedimentene i de undersøkte innsjøene består av partikler som er mindre enn 63 µm som er typisk for sedimenter som avsettes kronologisk i innsjøens dypeste områder (Rognerud og Fjeld 2001). Sedimentasjonshastighetene i nordiske innsjøer varierer fra 0,5 ±0,3 mm pr. år i subalpine områder til 1,2 ±0,5 mm pr. år i skogsområdene (Rognerud og Fjeld 2001). Derfor er det rimelig å anta at overflatesedimentene (0-0,5 cm sjiktet) i all hovedsak er avsatt etter den forrige nasjonale sedimentundersøkelsen (1996/1997) i alle innsjøene, mens sjiktet under dette (0,5-1 cm) er avsatt i samme periode som overflatesedimentene i den forrige undersøkelsen (1987-1997) i subalpine innsjøer eller like etter (1997-2002) i skogssjøene.

#### 4.1.2 Karakterisering av sedimentene ved hjelp av stabile blyisotoper ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ )

Forholdet mellom de stabile blyisotopene  $^{206}\text{Pb}$  og  $^{207}\text{Pb}$  (sammenlignet med en standard) er mye bruk for identifisering av Pb-kildene i miljøet og beregning av forurensningsgrad. Vi har kalt dette forholdet for Pb-isotop signaturen. Generelt er det stor forskjell mellom Pb-isotop signaturene i atmosfærisk avsatte Pb forurensninger og signaturene i lokal berggrunn (geokjemisk Pb), men også mellom Pb-forurensninger fra ulike kilder. Dette gjør det mulig å karakterisere sedimentenes forurensningspåvirkning og av og til også kildeområdene. For denne undersøkelsen er det viktig å vite om sedimentene er avsatt tilnærmet kronologisk og ikke betydelig influert av redistribuert gamle sedimenter fra innsjøenes erosjonszoner (indikert ved geokjemisk Pb-signatur). Det er ikke mulig å beregne andelen antropogent Pb av total Pb i overflatesedimentene da referansesedimentene er forurenset av antropogent Pb fra preindustrielle tid og ikke reflekterer lokale geokjemiske Pb-konsentrasjoner.

### 4.1.3 Pb-isotop signaturer i miljøet

Pb i sedimentene er en blanding av Pb tilført fra nedbørfeltet og Pb fra atmosfæriske avsetninger. Studier utført på Grønland (innlandsisen) viser at naturlige atmosfæriske Pb-avsetninger (pre-antropogene) er svært lave og at atmosfæriske avsetninger av Pb i all hovedsak har antropogen opprinnelse (Rosmann et al. 1997, Hong et al. 1994). Derfor er geokjemisk Pb i sedimentene tilført innsjøene fra nedbørfeltet.

Pb-forurensningene tilføres innsjøene direkte gjennom avsetninger på innsjøoverflaten og gjennom tilførsler fra nedbørfeltet. Dersom innsjøene har et lite nedbørfelt vil det være en relativt god tidsmessig overensstemmelse mellom Pb-isotop signaturen i atmosfærisk tilført Pb og i sedimentene. I innsjøer der nedbørfeltet er betydelig større enn innsjøens areal vil atmosfærisk Pb avsatt i nedbørfeltet bli holdt tilbake i humussjiktet, men kan over tid tilføres innsjøen assosiert til organiske materiale. Dette vil gjøre at Pb-isotop signaturen i overflatesedimentene vil være en blanding av signaturen i nylig og litt eldre atmosfærisk avsatt Pb og geokjemisk Pb.

Pb-isotop signaturen i utslipp fra europeisk gruvevirksomhet fra ca. 3000 år siden og fram til i dag er typisk 1,17 (1,14-1,20). Den samme Pb-isotop signaturen rapporteres også for utslipp knyttet til forbrenning av kull (Sugden et al. 1993). På 1900-tallet og spesielt etter andre verdenskrig har alkyl-Pb tilsetninger i bensin ført til en betydelig senking av Pb-isotop signaturen i europeiske atmosfæriske Pb-forurensninger til typiske verdier 1,13-1,14 (1,04 – 1,17) (Bindler et al. 2001). I USA har alkyl-Pb tilsetningen vært basert på andre kilder enn de Europeiske og Canadiske og har en langt høyere Pb-isotop signatur; 1,19-1,25 (Rosman et al. 1994). I Skandinavia har geokjemisk Pb generelt en langt høyere Pb-isotop signatur enn de europeiske antropogene kildene. I Sverige rapporteres verdier i området 1,30 til 2,0 (Brännvall et al. 2001) og i Norge 1,21 til 1,74 (Steinnes et al. 2005) avhengig av de lokale geologiske forholdene.

Pb-isotop signaturer i atmosfæriske Pb-avsetninger i Norge har vært undersøkt i 5 nasjonale mose- undersøkelser siden 1977 (Steinnes et al. 2005). Resultatene viser at Pb-isotop signaturen har vært stigende i atmosfærisk avsatt Pb siden 1985 (Tab.1). I den tiden som våre overflatesedimenter er avsatt (etter 1997) har Pb-isotop signaturen i atmosfærisk avsatt Pb vært  $1,144 \pm 0,008$  i hele landet, med de laveste verdiene på Vestlandet og de høyeste på Østlandet og i Øst-Finnmark.

**Tabell 1.** Typiske Pb-isotop signatur ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ) i landmoser (*Hylocomium splendens*) i ulike deler av landet ved 5 nasjonale undersøkelser (1977-2000) basert på data gitt i Steinnes et al. 2005 b. Gjennomsnittet for 1995/2000 er vist da dette representerer største delen av den tidsperioden de øverste sedimentsjiktene er avsatt.

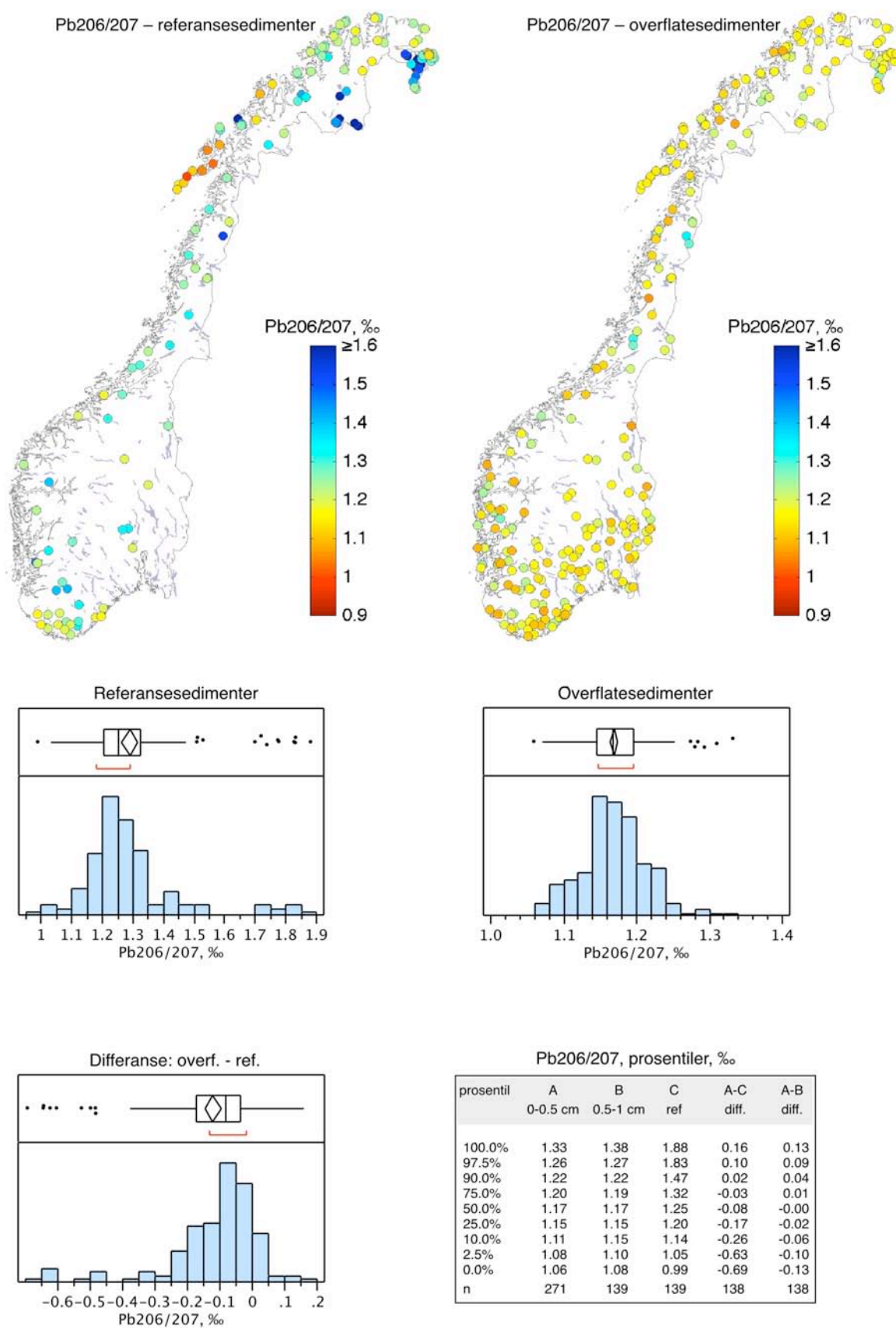
Region	1977	1985	1990	1995	2000	1995-2000
Østlandet	1.140	1.135	1.140	1.145	1.155	1.150
Sørlandet	1.135	1.125	1.130	1.140	1.150	1.145
Vestlandet	1.130	1.115	1.120	1.125	1.145	1.135
Trøndelag	1.140	1.130	1.130	1.140	1.145	1.142
Nordland/Troms/Vest-Finnmark	1.145	1.135	1.135	1.145	1.150	1.142
Øst-Finnmark	1.145	1.135	1.145	1.150	1.155	1.152

#### **4.1.4 Regional fordeling av Pb-isotop signaturen i innsjøsedimentene.**

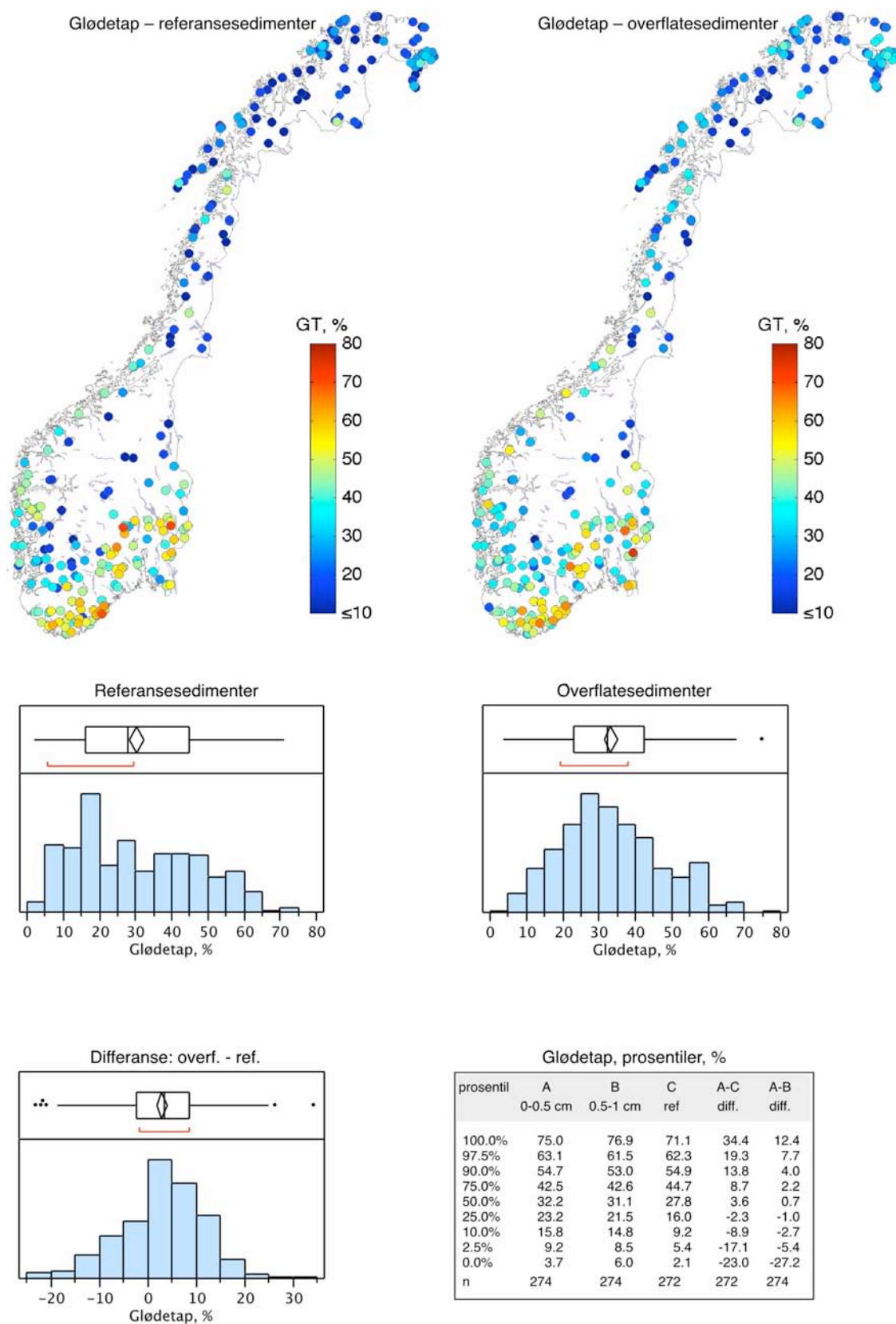
Det var ingen markerte regionale forskjeller i Pb-isotop signaturen i overflatesedimentene, 0-0,5 cm (Fig.1). Medianverdien var 1.17 (50 prosentilen) som er svakt høyere enn signaturen i atmosfærisk avsatt Pb i den aktuelle tidsperioden (1,144). Dette er rimelig da sedimentene også inneholder litt geokjemisk Pb som generelt har en høyere Pb-isotop signatur enn antropogent Pb. Selv om det ikke var markerte regionale forskjeller var det generelt litt lavere Pb-isotop signaturer i overflatesedimentene på Vestlandet slik det også har vært i de atmosfæriske avsetningene (Tab.1). Dette er forklart med at Vestlandet har et større innslag av Pb-forurensning fra England og Frankrike der Pb-isotop signaturen i aerosoler i den aktuelle periode var noe lavere (1.10-1.13) enn over øst-europeiske og russiske områder (1.15) (Steinnes et al. 1998).

Pb-isotop signaturen i sjiktet 0,5-1 cm var generelt den samme som i overflatesjiktet (tabellen i Fig.1), mens referansesedimentene hadde klart høyere signaturer (median 1,25). Det var store regionale forskjeller i signaturen i referansesedimentene som skyldes ulik andel av antropogent Pb i disse preindustrielle sedimentene og varierende betydning av geokjemisk Pb. I Sør-Norge og særlig på Sørlandet hadde referansesedimentene en signatur som var klart lavere enn de som rapportert i den geokjemisk pregede C-horisonten i jordprofiler fra dette området; 1,37-1,52 (Steinnes et al. 2005a). Dette indikerer at referansesedimentene er preget av antropogent Pb fra europeiske kilder i preindustriell tid i disse områdene. Dette er i god overensstemmelse med sedimentundersøkelser i sørlige deler av Sverige (Renberg et al. 2001).

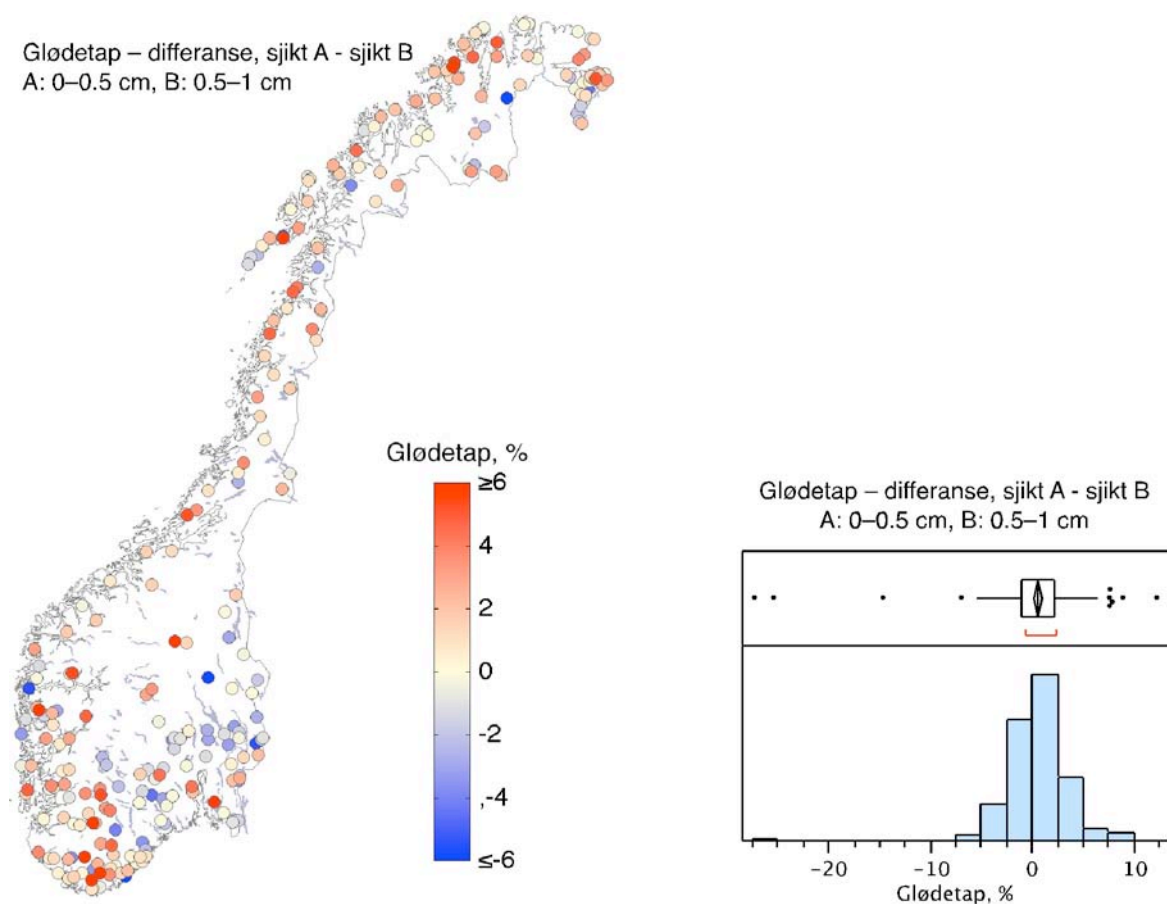
I Trøndelag og Nord-Norge var påvirkningen av antropogent bly i referansesedimentene av langt mindre betydning. Dette skyldes i hovedsak at de er betydelig eldre pga lavere sedimentasjonshastighet, og at de ligger lengre fra kildeområdene i Europa. Signaturen i referansesedimentene i deler av Nordland, Troms og indre deler av Finnmark er i god overensstemmelse med geokjemiske signaturer i jordprofiler gitt i Steinnes et al. 2005. Et annet interessant trekk er de lave signaturene i referansesedimentene fra Lofoten (lavere enn signaturen i antropogent Pb). Dette området består bl.a av prekambriske dypbergarter (av de eldste i landet) og det er mulig at årsaken er å finne i disse bergartenes dannelsesmåte.



**Figur 1.** Pb-isotop forholdet ( $\delta$  Pb206/207, ‰) i referanse- (ca 35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 2.** Glødetapet (GT, %) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 3.** Differansen i glødetap (GT, %) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

#### 4.1.5 Glødetap i sedimentene

Atmosfærisk avsatte metallforurensninger er ofte nært assosiert til organisk materiale i innsjøene. Det var klare regionale forskjeller i sedimentenes GT. De høyeste verdiene fant vi i skogsområdene i Sør-Norge, noe lavere langs kysten av Vestlandet opp til Bodø og indre/østre deler av Finnmark, men de var lavest i fjellområdene (Fig.2). De aller fleste av våre innsjøer er oligotrofe dvs de har en lav primærproduksjon. Likevel kan en stor andel av sedimentene bestå av organisk materiale. Dette skyldes en kombinasjon av at organisk materiale tilføres fra nedbørfeltet og at tilførselen av uorganisk materiale fra skogkledde nedbørfelt med velutviklet humusjikt oftest er ekstremt lav (Rowan et al. 1992).

Medianverdiene for GT i overflatesedimentene (0-0,5 cm, 0,5-1 cm) og referansen var svært like hhv 33,1, 33 og 32,8 (Fig.2). Resultatene fra hver enkelt kjerne (parvise differanser, overflate – referanse) viser at GT generelt var litt høyere i overflaten enn i referansen, men det var svært få som hadde GT verdier under 10 % (Fig. 2). Dersom GT verdiene er høyere enn 10 % vil små variasjoner mellom GT i ha liten betydning for vurdering av forurensningsgraden av atmosfærisk avsatte elementer (Rognerud og Fjeld 1990). Generelt var det litt høyere GT verdier i de øverste overflatesjiktet (0 -0,5 cm) enn i sjiktet like under på Vestlandet og i Nord-Norge, mens på Østlandet er de litt lavere (Fig. 3). Forskjellene er likevel små og det er derfor rimelig å anta at glødetapet ikke har nevneverdig betydning for de regionale forskjeller i konsentrasjoner av elementer som er assosiert til organisk materiale (GT) mellom overflate- og referansesedimenter.

## 5. Konsentrasjoner av metaller i sedimenter

### 5.1 Generell bakgrunn for tolking av kartene for de ulike elementene

Resultatene er vist som nasjonale fargekodete punktkart over konsentrasjoner av elementer i ulike sedimentsjikt, samt som histogrammer og prosentiler (Fig. 4–52). Ved tolkingen av kartene er det viktig å ta hensyn til følgende forhold. Elementene finnes i berggrunn og løsavsetninger, og naturgitte konsentrasjoner for hvert element kan variere betydelig regionalt av naturlige årsaker (geokjemi, sjøpåvirkning). Videre varierer konsentrasjonsnivåene mellom de ulike elementene betydelig. Forurensningsgraden i sedimentene kan indikeres ved beregning av kontamineringsfaktoren (Kf). Denne er forholdet mellom konsentrasjoner i overflatesedimenter og referansesjiktet. Den sier imidlertid ingenting om påslagets absolutte størrelse (som ofte skyldes atmosfæriske forurensninger). Lave geokjemiske konsentrasjoner gir større sjanser for å måle signifikante tidstrender og observere regionale mønster selv ved relativt lave atmosfæriske forurensninger. Med økende geokjemiske konsentrasjoner må de atmosfæriske avsatte forurensningene være større for å gi klare regionale mønster i forurensningsgrad. For å illustrere dette har vi laget en oversikt som viser konsentrasjoner (medianverdier) i referansesjiktet, differanser i konsentrasjoner (overflate-referanse) og Kf for elementene som er undersøkt (Tab.2).

**Tabell 2.** *Konsentrasjoner av metaller i referansesedimenter, differansen i konsentrasjoner mellom overflate og referansesedimenter og kontaminberingsfaktor (Kf). Metaller med Kf verdier over 2 er markert røde. Au, Te, W, Ag, Tl, og Ga har ikke data fra referansesedimentene i all innsjøene, da disse ikke ble analysert i forrige nasjonale sedimentundersøkelse (1996/1997).*

element	µg/g tv referanse	µg/g tv overfl - ref.	Kf
Au	0.025	-0.003	0.9
Sb	0.030	0.49	16.3
Te	0.047	0.128	4.8
Hg	0.090	0.14	2.6
Sn	0.10	1.75	18.5
Bi	0.12	0.59	5.9
W	0.21	0.09	2.3
Ag	0.28	0.16	1.6
Tl	0.33	0.01	1.3
Cd	0.42	0.29	1.7
Se	2.3	2.0	1.9
As	3.1	11.3	4.6
Mo	4.8	0.6	1.1
Ga	5.0	1.2	1.2
Pb	13.0	74	6.7
Co	13.7	3.7	1.3
I	13.9	30	3.2
Ni	16.5	1.5	1.1
Cr	30.1	-4.7	0.8
Cu	32.2	8.1	1.3
V	50.2	2.6	1.1
Zn	89.1	11.9	1.1

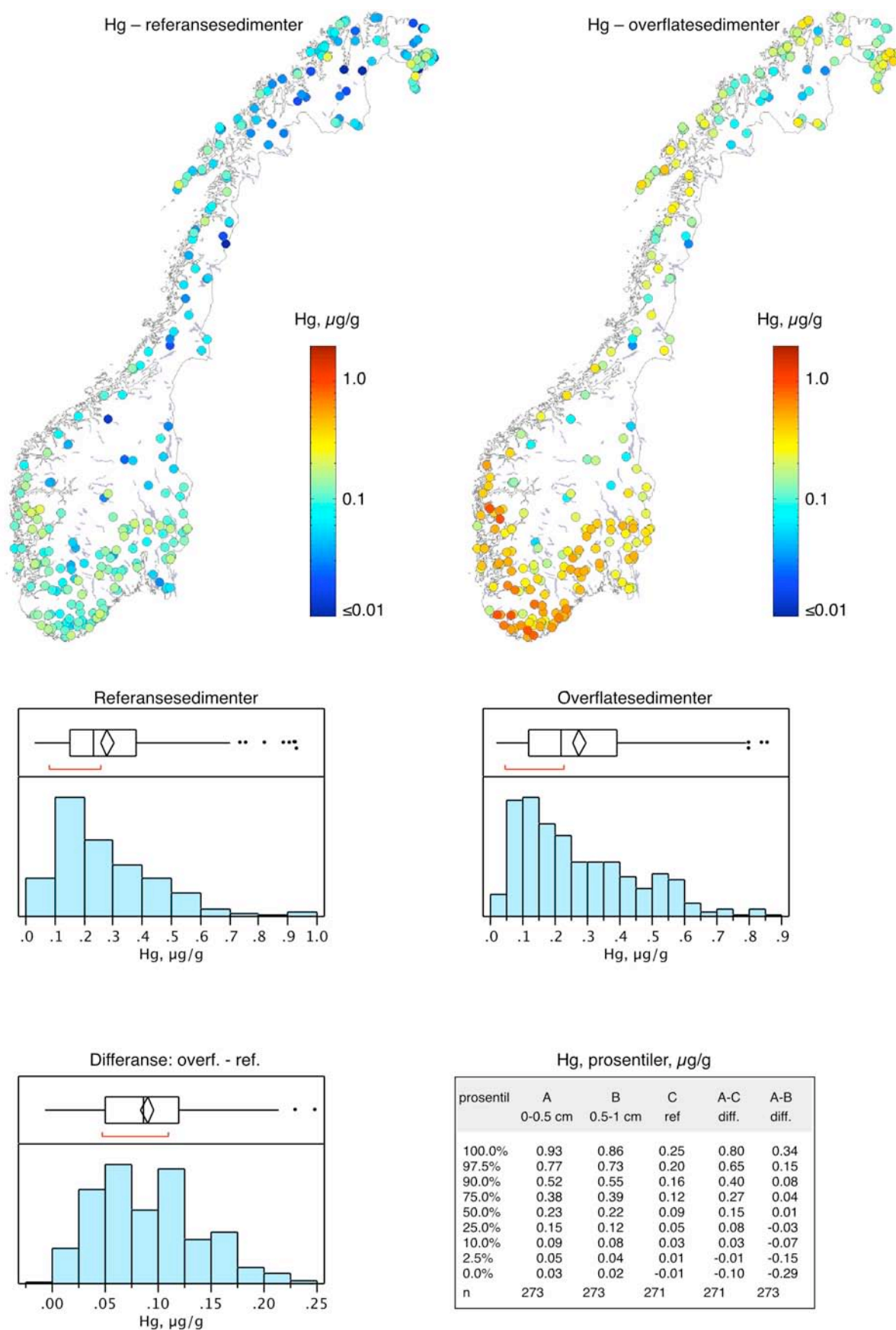
De høyeste Kf verdiene ( $> 2$ ) har Sn, Sb, Pb, Bi, Te, I, As og Hg. De fleste av disse har lave konsentrasjoner i referansesedimentet, mens elementer med de høyeste konsentrasjonene i referansesjiktet generelt har de laveste Kf verdiene ( $< 2$ ). Unntak fra dette mønsteret finner vi for Pb, As og I som har høye Kf-verdier, relativt høye konsentrasjoner i referansesjiktet, og betydelige påslag i konsentrasjoner i overflatesjiktet. Da vi i tillegg vet at for Pb er referansesedimentet forurenset av pre-industrielle utslipp (naturgitte verdier i Skandinavia anslås til 1-3  $\mu\text{g/g}$  tv, Lithner og Holm 2003), så er det reelle påslaget og Kf verdiene betydelig større enn gitt ovenfor. Dette gjør at Pb er klart det viktigste elementet når det gjelder forurensning av våre innsjøsedimenter.

Det skal imidlertid bemerkes at noen elementer (Co, As) har sterk assosiasjon til de redoks-aktive elementene Mn og Fe som kan anrikes i sedimentoverflaten. Dette gjør at anrikning i overflatesedimentet av As og Co i enkelte sjøer ikke alltid reflekterer atmosfæriske avsatte forurensninger, men innenfor ulike regioner gir de høyst sannsynlig er et uttrykk betydningen av atmosfærisk avsetning i senere tid. Mn/Fe effekten anses å være av mindre betydningen for Cd, Zn, Pb, Cu og Ni i slike organiske sedimenter som i denne undersøkelsen (Rognerud og Fjeld 1999).

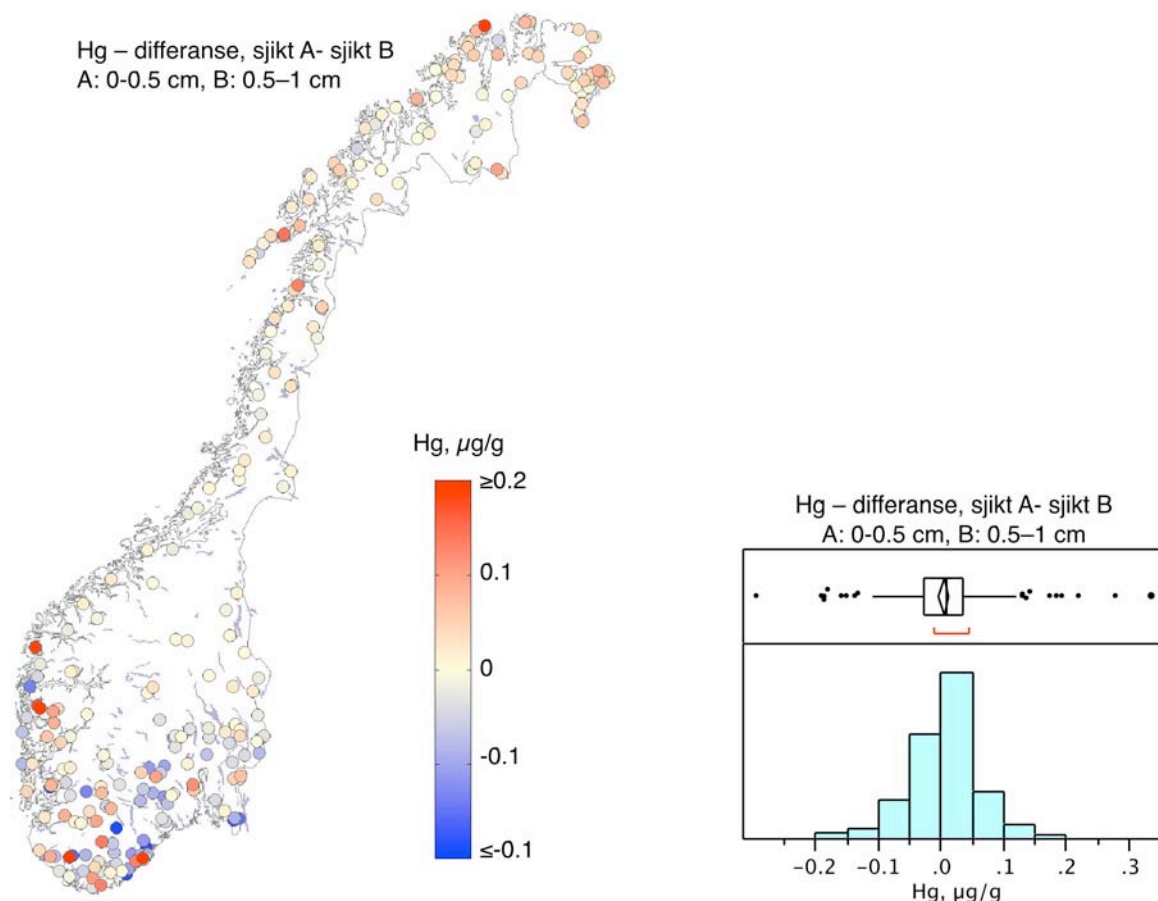
## **5.2 Regional fordeling av element konsentrasjoner i sedimentene og tidsutvikling**

I den følgende framstilling har vi vist konsentrasjoner av elementene i ulike sedimentsjikt i nasjonale kart. Tidsutviklingen i endringer av konsentrasjoner fra eldre avsatte sedimenter (referansesedimenter) til nylig avsatte (overflatesedimenter) er illustrert ved hjelp av fargekoder (første siden). Her er også histogrammene vist (antall observasjoner i gitte konsentrasjonsintervaller) og prosentilene for de ulike sjiktene. I referansesedimentene har vi benyttet analyser fra den forrige sedimentundersøkelsen (1996/97) for de innsjøer som er felles i begge undersøkelsen. Det er imidlertid analysert flere elementer i denne undersøkelsen. Derfor er det færre målinger i referansesjiktet for noen elementer. På motsatt side er tidsutviklingen siste årene vist representert ved konsentrasjonsforskjeller i de øverste sedimentsjiktene og en kommentar til alle kartene. Elementene er presentert etter betydningen av langtransporterte forurensninger og oppmerksomhet i internasjonal miljøforvaltning. Presentasjonen starter med kvikksølv (Hg) fordi atmosfærisk avsatt Hg i innsjøer og våtmarker kan omdannes til giftig metylkvikksølv som akkumuleres i fisk. Til slutt presenteres kartene for de organiske mikroforurensningene PAH og PCB.





**Figur 4.** Kvikksølv (Hg) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



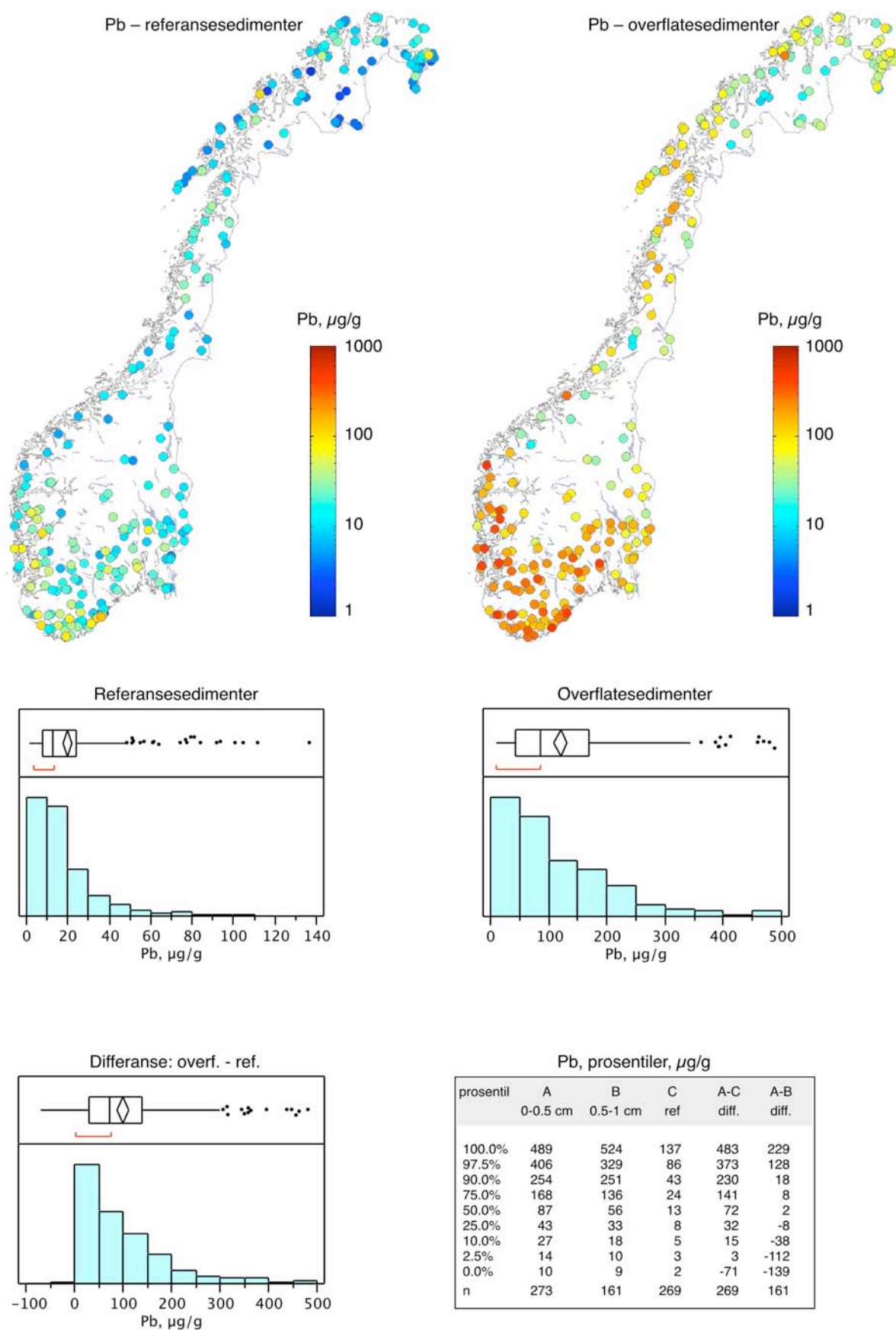
**Figur 5.** Differansen i konsentrasjoner av kvikksølv (Hg) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

### 5.2.1 Kvikksølv – Hg

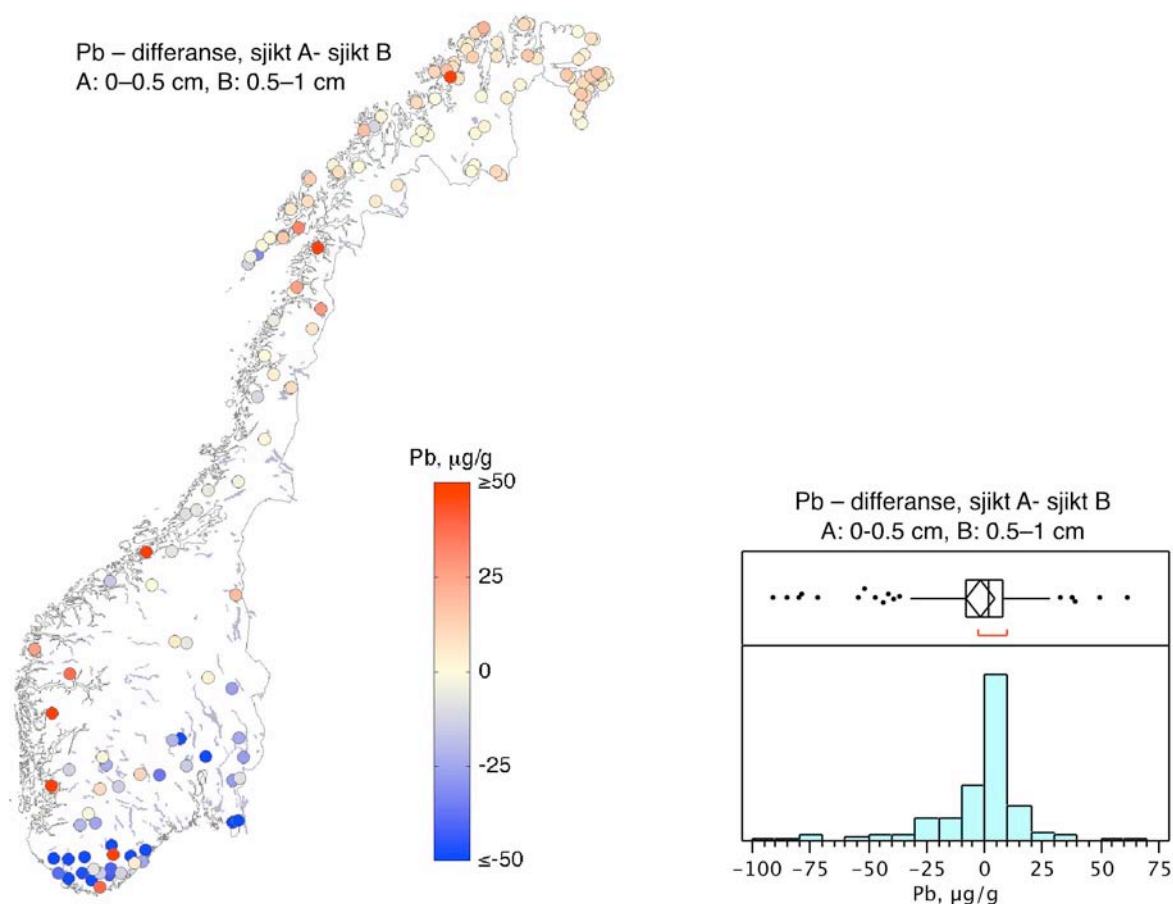
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det ble funnet markert forhøyde konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyede konsentrasjoner ble også funnet videre langs kysten i Midt- og Nord-Norge. Innlands- og høyfjellsområder hadde de laveste konsentrasjonene.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser samme variasjonsmønster, men tildels markert lavere konsentrasjoner enn i overflatesedimentene. Dette tyder på at det ikke er geokjemisk kvikksølv som skaper dette mønsteret, men at atmosfærisk avsetninger av naturlig forekommende kvikksølv i atmosfæren og eventuelt preindustriell atmosfærisk forurensning er viktigste kilder.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca.1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt ingen endring, men det er regionale forskjeller med en tendens til reduksjon i sør og økning i nord. Dette kan skyldes en reduksjon i de atmosfæriske tilførsleene til Sør-Norge fra andre deler av Europa, mens de øvrige deler av landet er mer preget av globale forurensninger. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 6.** Bly (Pb) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



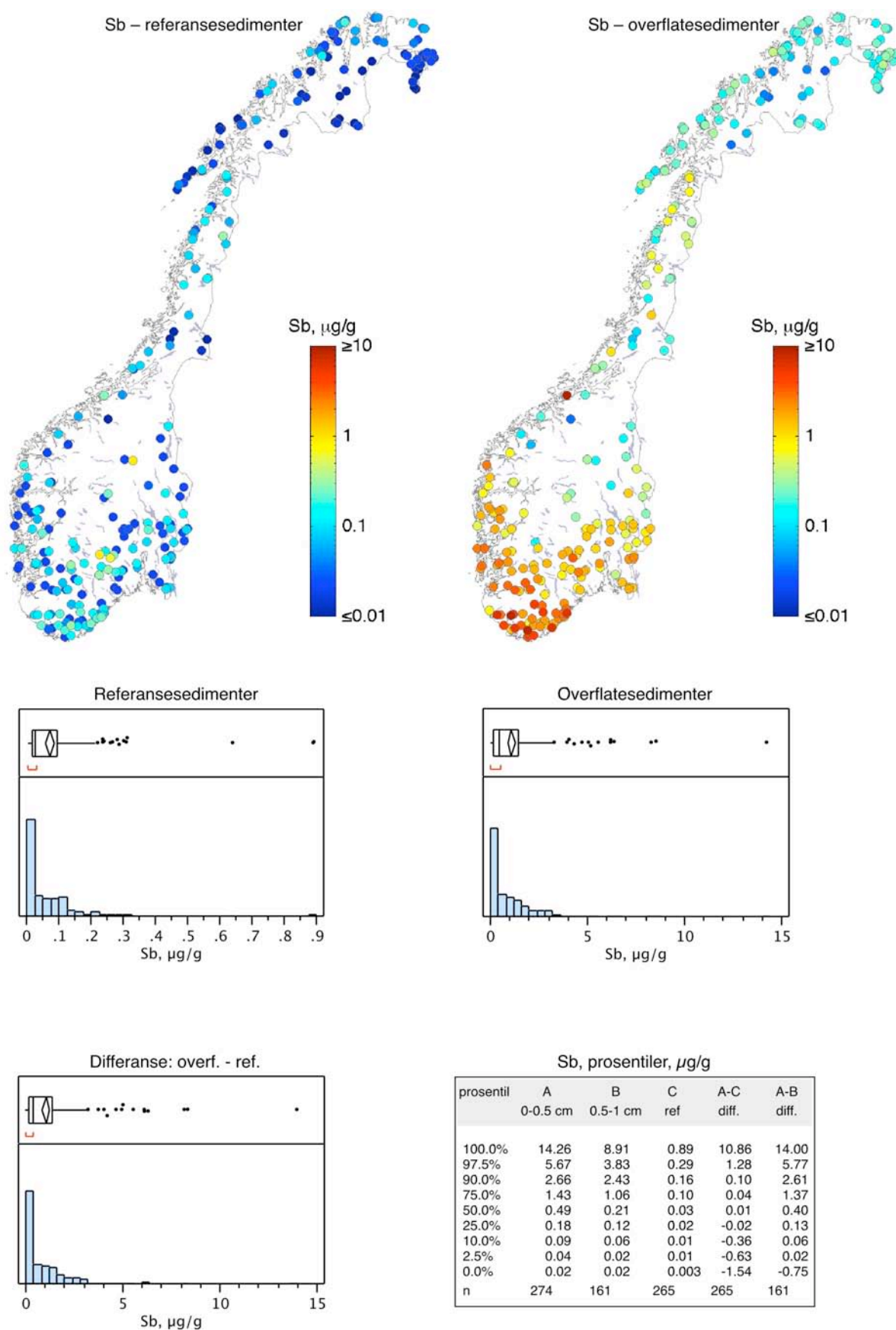
**Figur 7.** Differansen i konsentrasjoner av bly (Pb) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

### 5.2.2 Bly – Pb

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det er markert forhøyede konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyede konsentrasjoner er det langs kysten i Midt- og Nord-Norge samt i Øst-Finnmark. Innlandsområder i Midt-Norge og indre deler av Finnmark har de laveste konsentrasjonene.

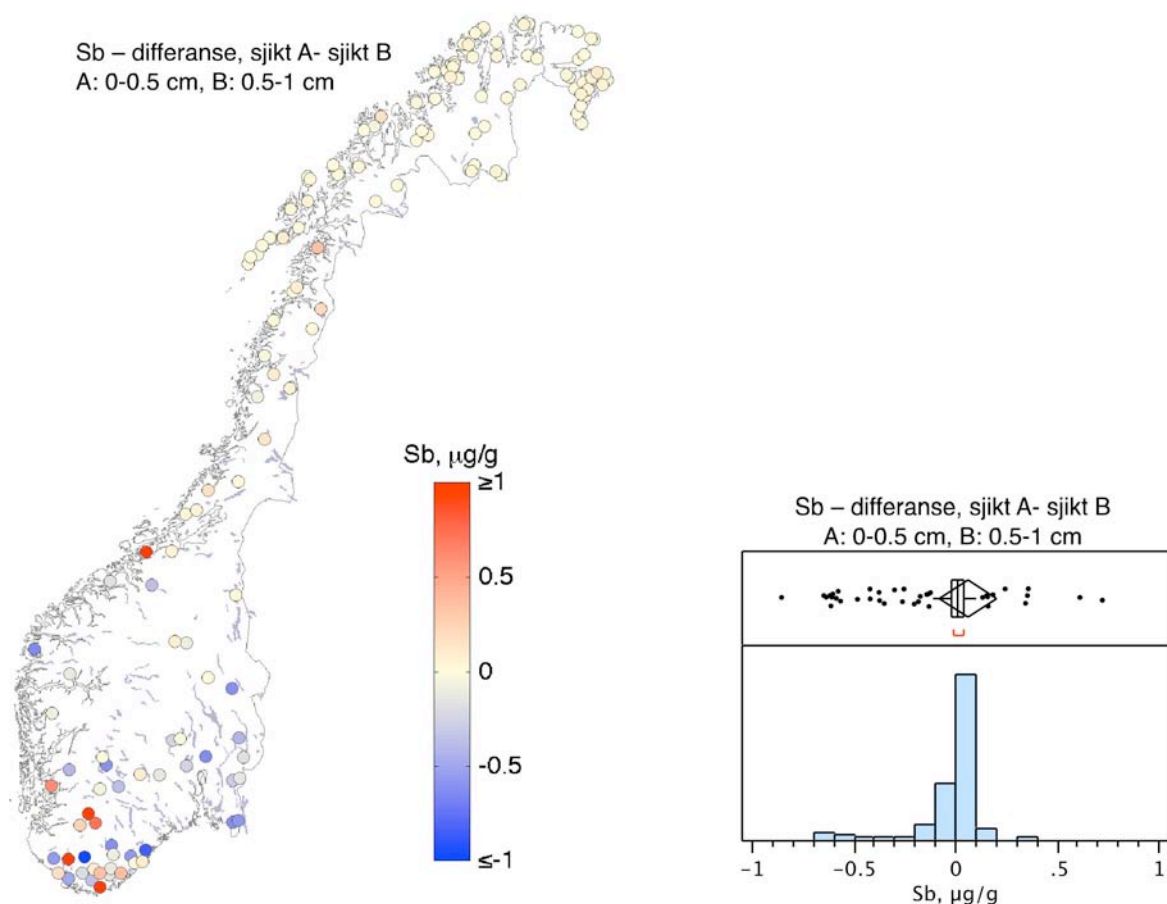
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser samme variasjonsmønster, men tildels markert lavere konsentrasjoner enn i overflatesedimentene. Dette tyder på at det ikke er geokjemisk bly som skaper dette mønsteret, men at preindustrielle atmosfæriske forurensninger er viktigste kilder. Indre deler av Finnmark er antagelig det eneste området hvor konsentrasjonene er nær de naturgitte.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en reduksjon i sør og sørøstre deler av Sør-Norge. Det er en tendens til økning i enkelte kystområder (Vestlandet og nord for Bodø) mens resten av landet har generelt ingen endring. Avtaket i de sørligste deler av landet kan skyldes at avsetningen her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførslene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 8.** Antimon (Sb) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





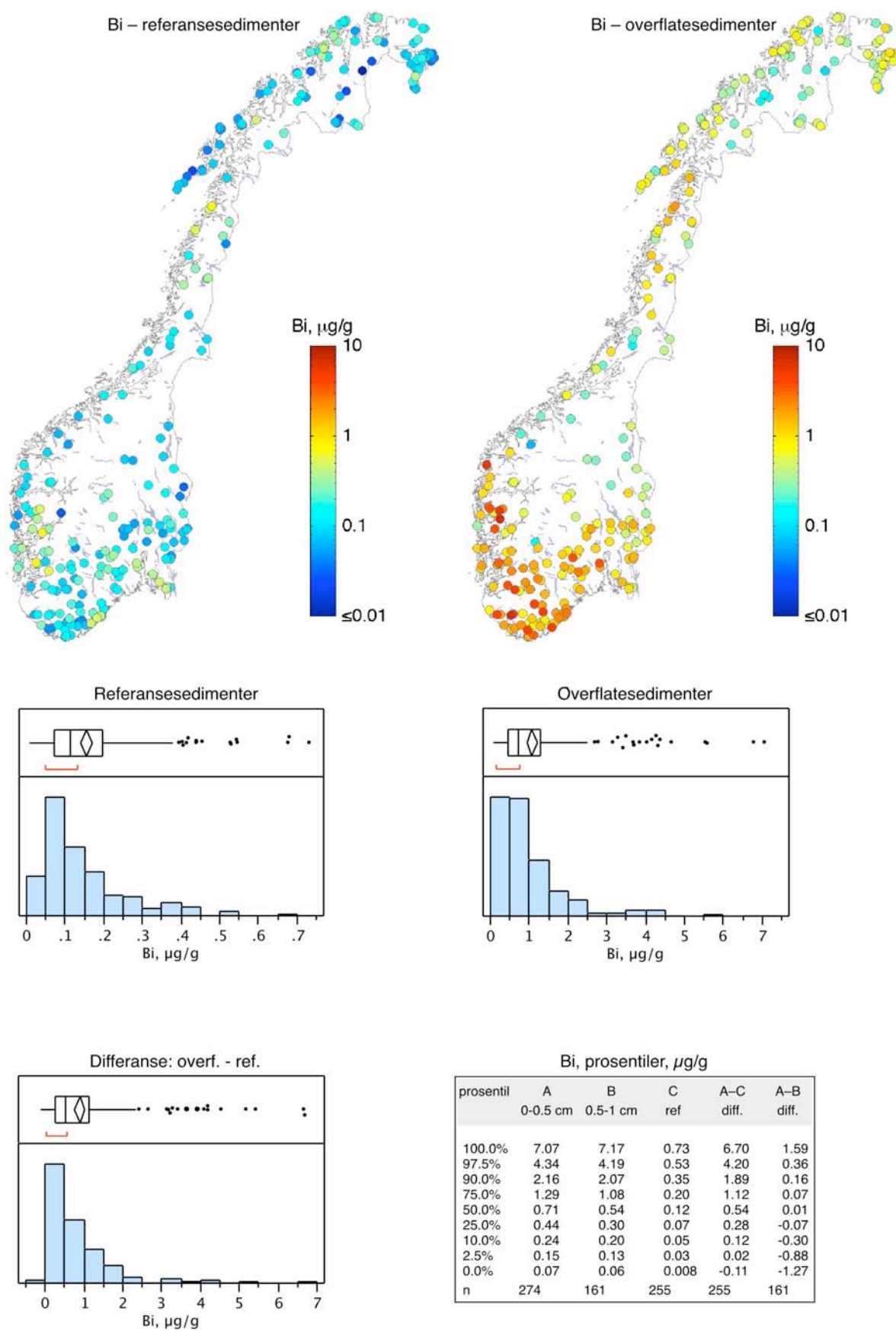
**Figur 9.** Differansen i konsentrasjoner av antimon (Sb) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

### 5.2.3 Antimon – Sb

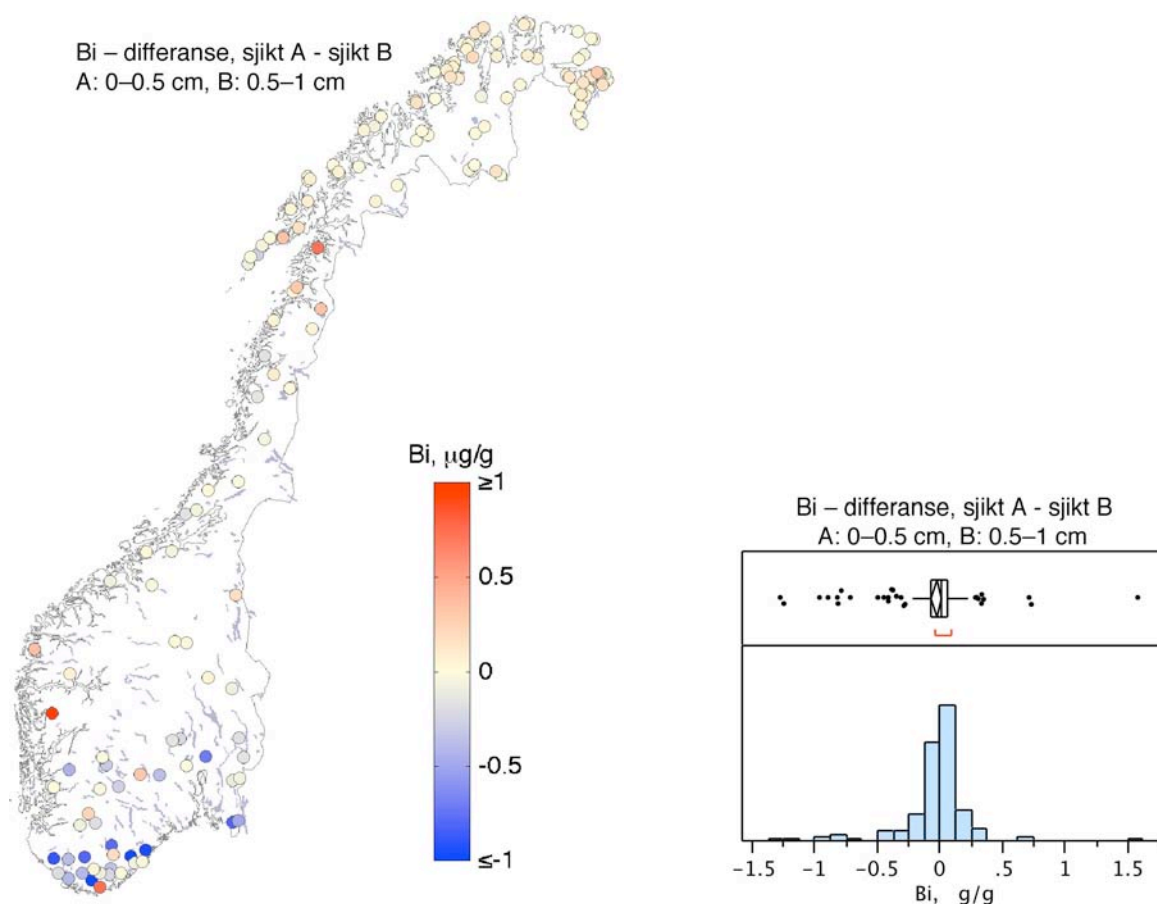
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det er markert forhøyde konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyde konsentrasjoner er det langs kysten i Midt- og Nord-Norge samt i Øst-Finnmark. Innlandsområder i deler av Finnmark har de laveste konsentrasjonene.

Referansesedimentene viser samme variasjonsmønster, men markert lavere konsentrasjoner enn i overflatesedimentene. Dette tyder på at det ikke er geokjemisk antimon som skaper dette mønsteret, men at preindustrielle atmosfærisk forurensninger er viktigste kilder. Indre deler av Finnmark er antagelig det eneste området hvor konsentrasjonene er nær de naturgitte.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca.1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en reduksjon i sør- og sørøstre deler av Sør-Norge. Likevel er det økning i 7 innsjøer som ikke kan forklares ut fra ut fra endringer i konsentrasjoner av redoks sensitive elementer (Fe/Mn). Resten av landet har generelt ingen — eller et ubetydelig endringer. Avtaket i de sørligste deler av landet kan skyldes at avsetningen her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførslene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Innsjøene som viser økning kan skyldes lokale forurensninger. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 10.** Vismut (Bi) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 11.** Differansen i konsentrasjoner av vismut (Bi) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

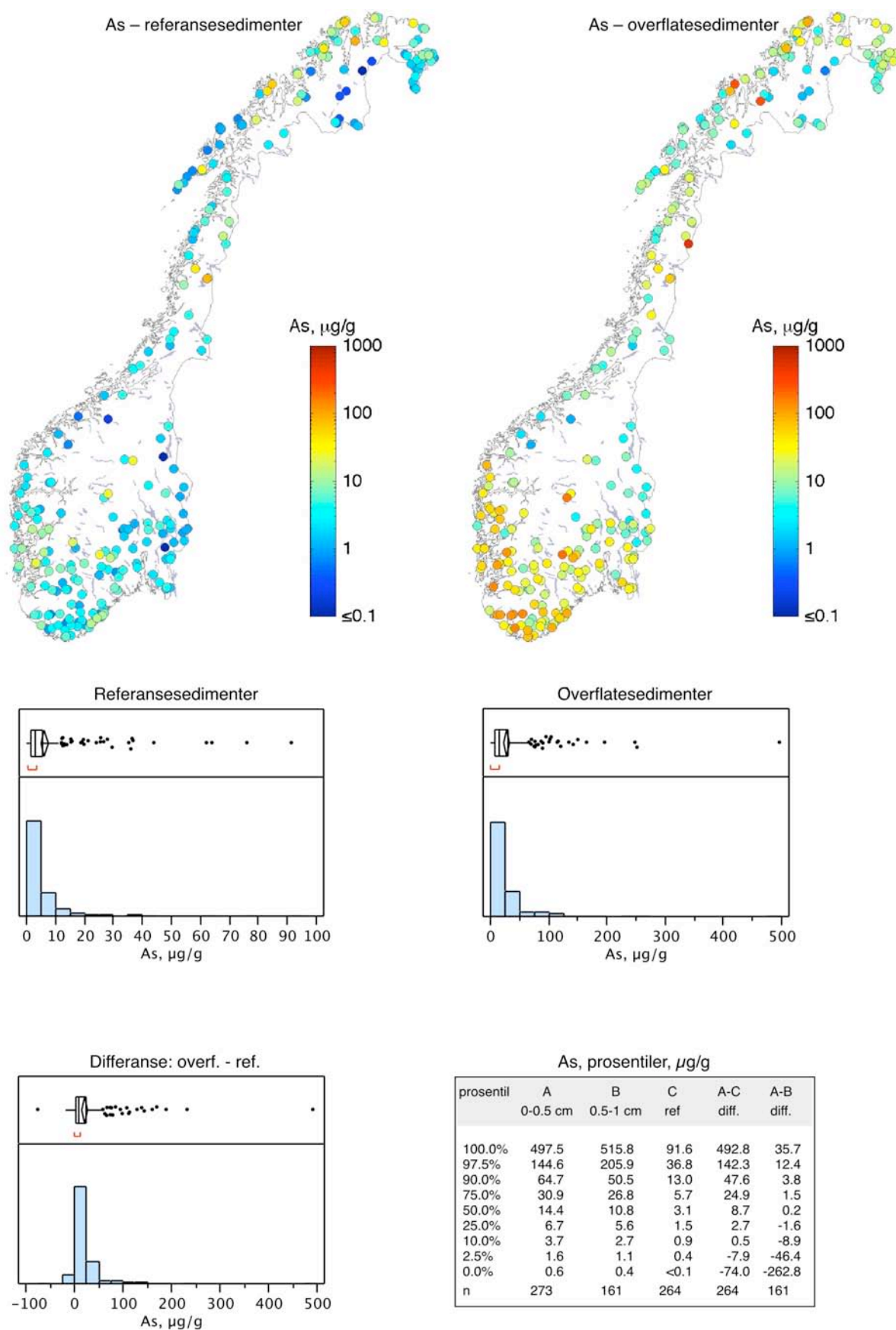
#### 5.2.4 Vismut – Bi

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det er markert forhøyde konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyde konsentrasjoner er det også langs kysten i Midt- og Nord-Norge samt i sørøstre deler av Finnmark. Sentrale deler av Finnmark og deler av Midt-Norge (Møre og Romsdal, Nord-Hedmark) har de laveste konsentrasjonene.

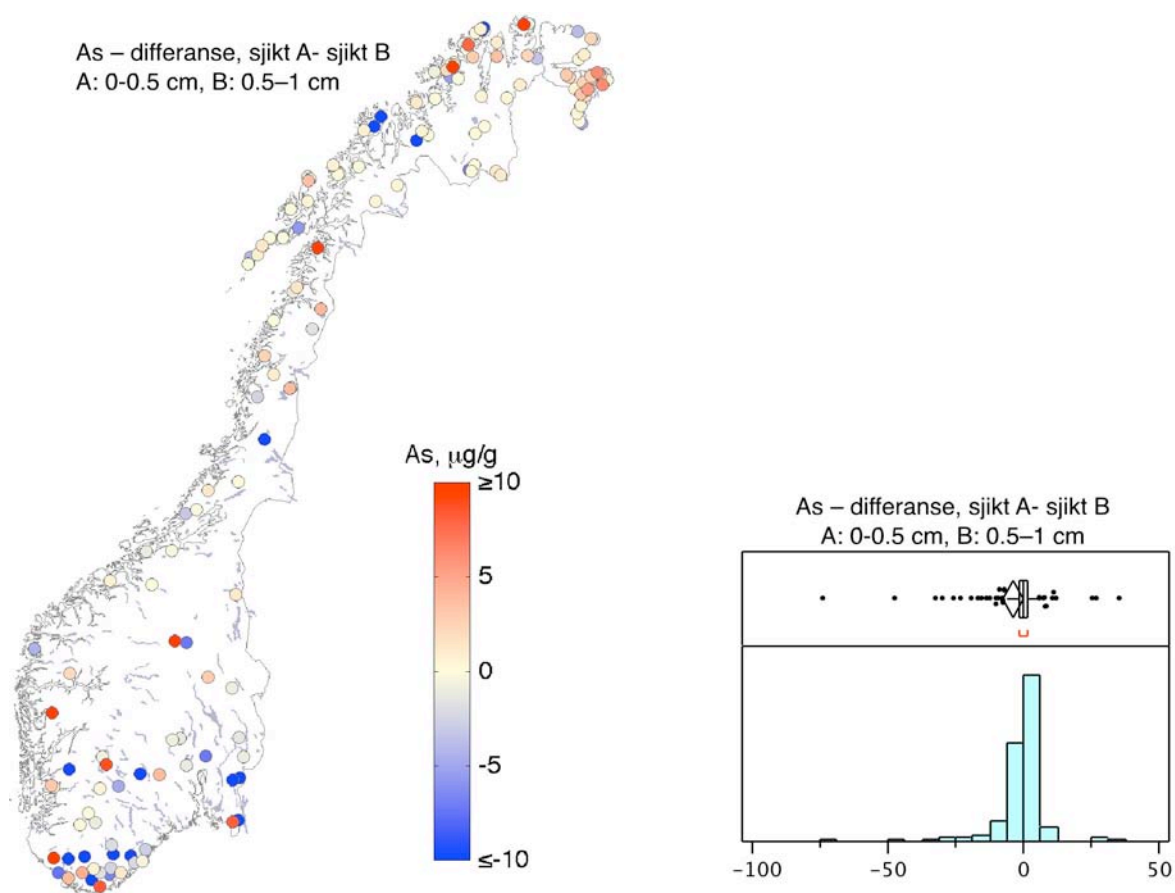
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster, men det var tildels markert lavere konsentrasjoner enn i overflatesedimentene. Dette tyder på at det er geokjemisk vismut som skaper dette mønsteret, og at preindustrielle atmosfærisk forurensninger ikke er viktigste kilder..

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca.1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en reduksjon i sør- og sørøstre deler av Sør-Norge. Resten av landet hadde generelt ingen endring eller en svak økning. 3 innsjøer hadde en betydelig økning muligens pga. Fe/Mn anrikning. Avtaket i de sørligste deler av landet kan skyldes at avsetningen her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførselene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Sjiktene alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.





**Figur 12.** Arsen (As) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



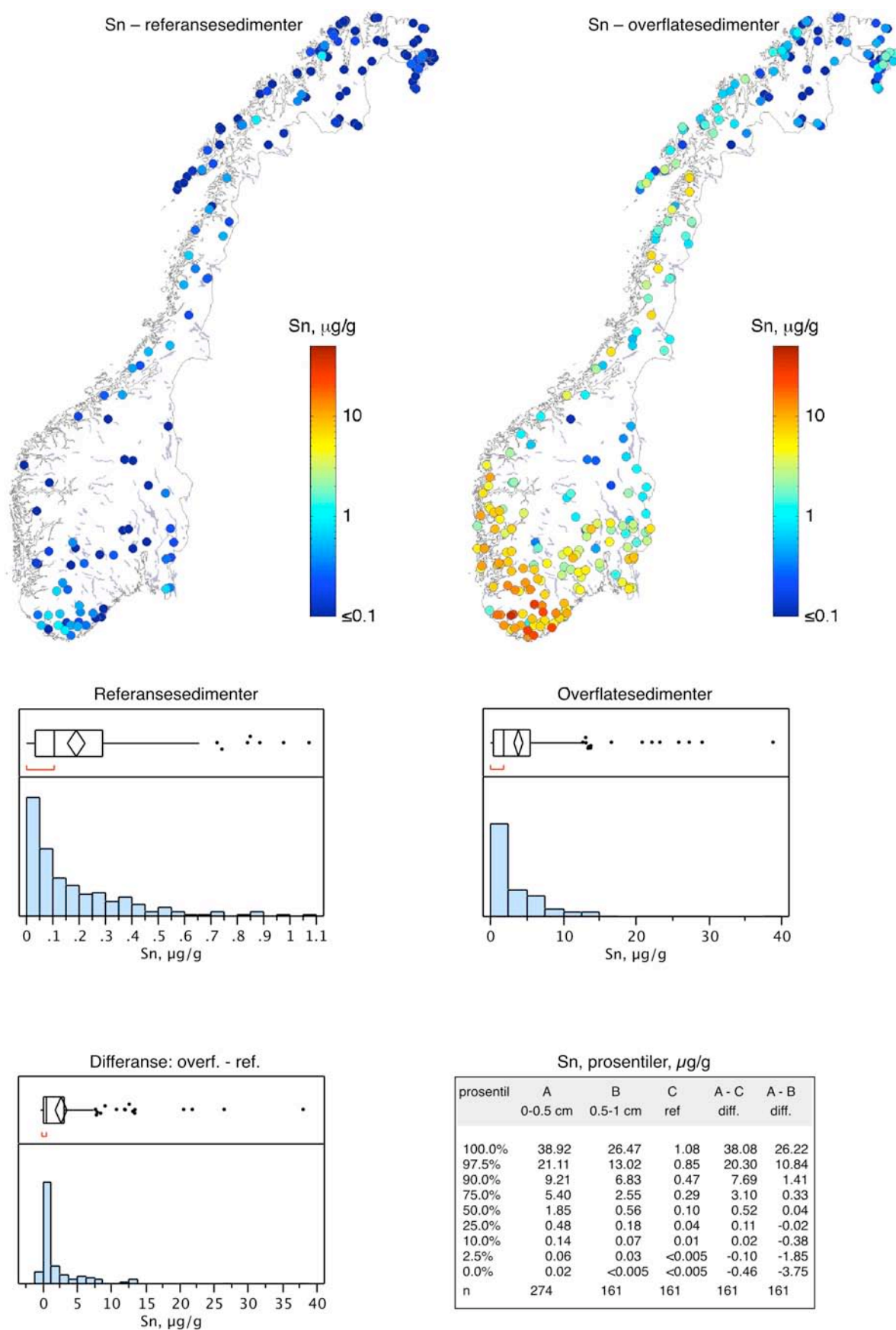
**Figur 13.** Differansen i konsentrasjoner av arsen (*As*) mellom de to overflatesjiktene (0–0,5 cm og 0,5–1 cm).

### 5.2.5 Arsen – As

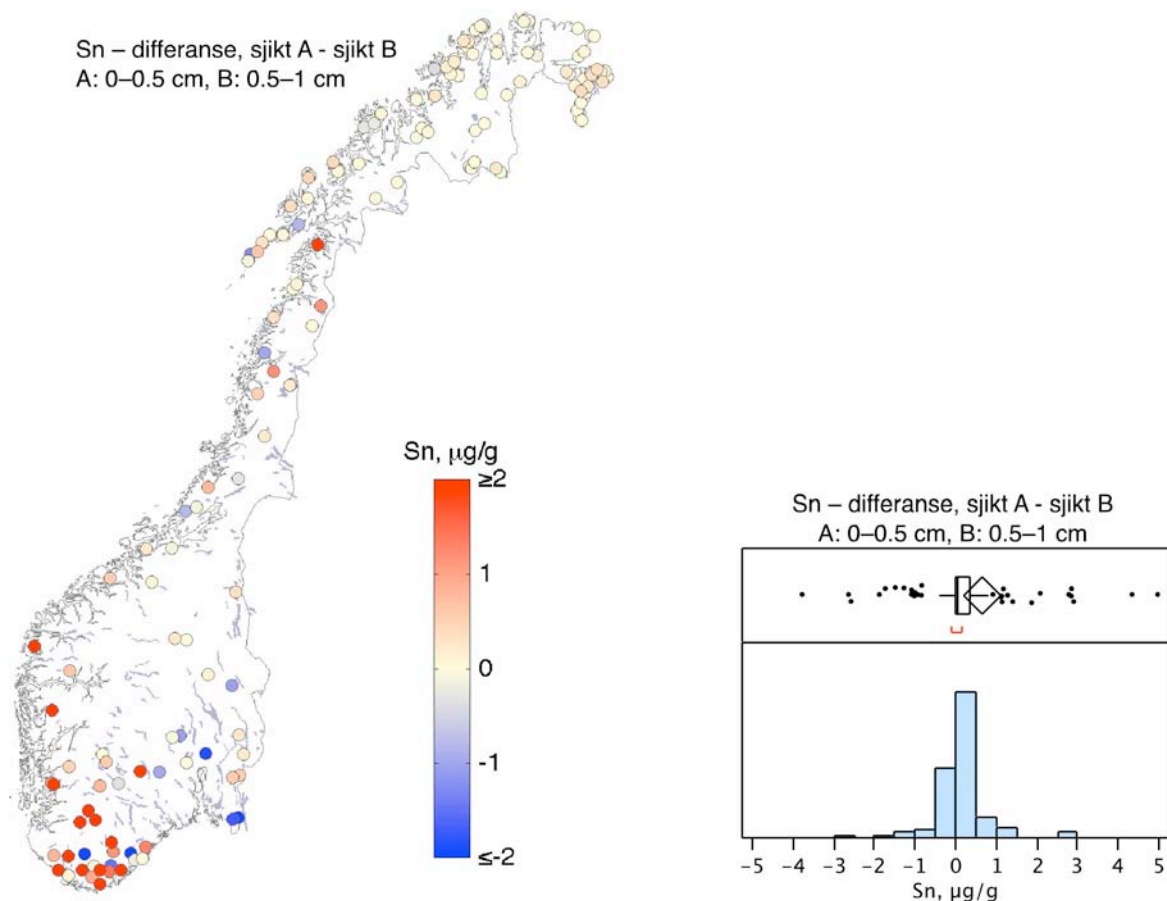
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det er forhøyede konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyede konsentrasjoner er det også i østre deler av Sør-Norge, langs kysten i Nordland samt i sørøstre deler av Finnmark. Høye konsentrasjoner er det også langs kysten i Troms og Finnmark, men det skyldes at her er bakgrunnsnivået i referansesedimentene klart høyere enn resten av landet. Laveste konsentrasjoner er det på Nordvestlandet og i sentrale deler av Finnmark.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster, men det er tildels markert lavere konsentrasjoner enn i overflatesedimentene. Dette tyder på at det er geokjemisk arsen som skaper dette mønsteret, og at preindustrielle atmosfærisk forurensninger ikke er en viktig kilde.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser flere innsjøer med reduksjon i sør- og sørøstre deler av Sør-Norge enn ellers i landet. Dette kan skyldes at avsetningen her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførslene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Arsen er imidlertid et redoks-sensitivt metall der Fe/Mn kan påvirke konsentrasjonsforskjeller i overflatesedimentene som ikke er relatert til atmosfæriske avsetninger. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 14.** Tinn (Sn) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 15.** Differansen i konsentrasjoner av tinn (Sn) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

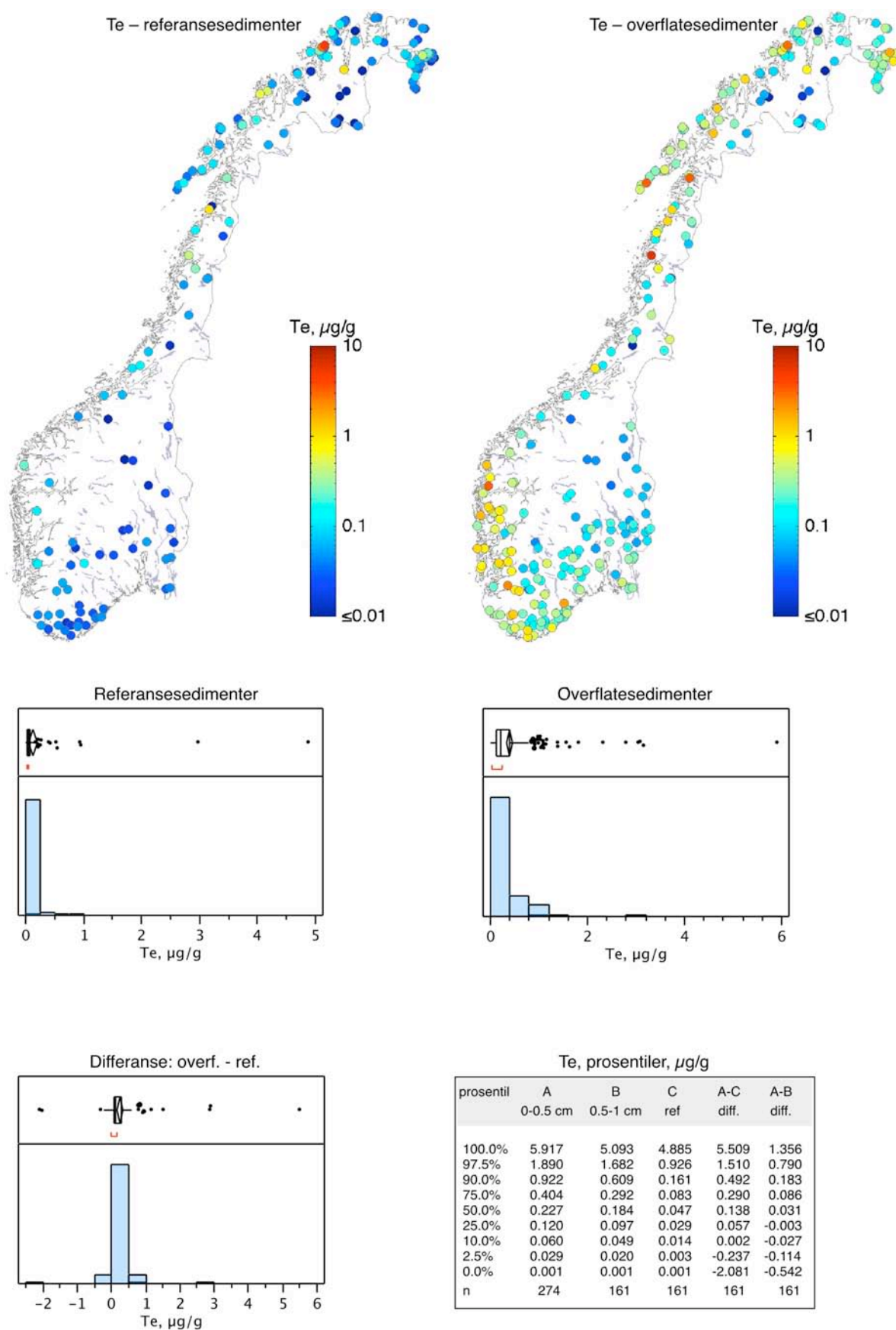
### 5.2.6 Tinn – Sn

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det ble funnet markert forhøyde konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område i Sør-Norge. Forhøyede konsentrasjoner ble også funnet langs kysten i Midt- og Nord-Norge samt i Øst-Finnmark. Sentrale deler av Finnmark og sentrale nordre deler av Østlandet hadde de laveste konsentrasjonene.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster.

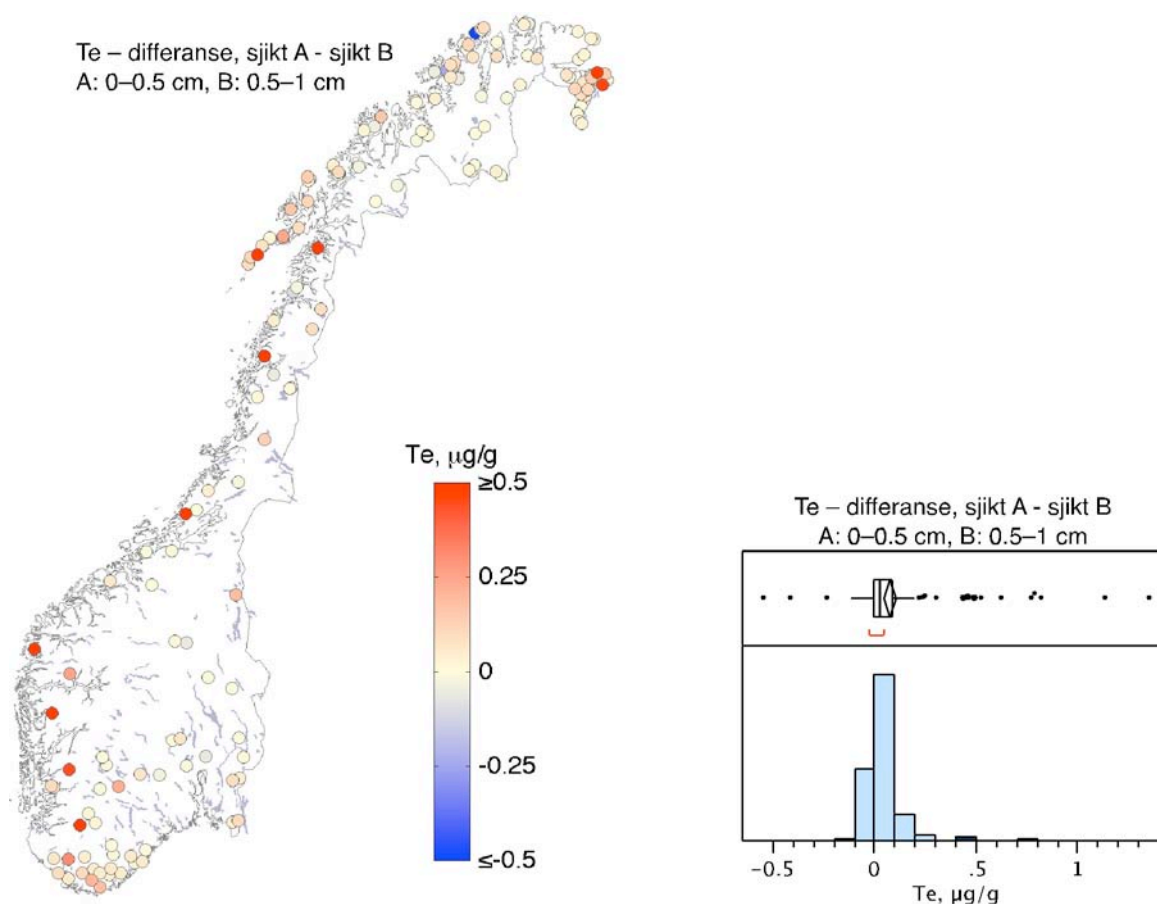
Konsentrasjonene er høyest på Sørlandet og kystområdene i Nord-Trøndelag og Nordland. Dette tyder på at det generelt er geokjemisk tinn som skaper dette mønsteret, men at preindustrielle atmosfæriske forurensninger kan ha vært en kilde på Sørlandet som er den delen av landet som er mest påvirket av atmosfæriske forurensninger.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en økning på Sør- og Vestlandet. Det er et avtak i noen områder på Østlandet og lokalt på Sørlandet. Resten av landet har generelt ingen - eller et ubetydelig endringer. Økningen i de sørvestre deler av landet kan skyldes at atmosfæriske avsetningen her økt den siste tiden. Innsjøene som viser økning ved Sulitjelma og Mo i Rana kan skyldes lokale forurensninger. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 16.** Tellur (Te) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





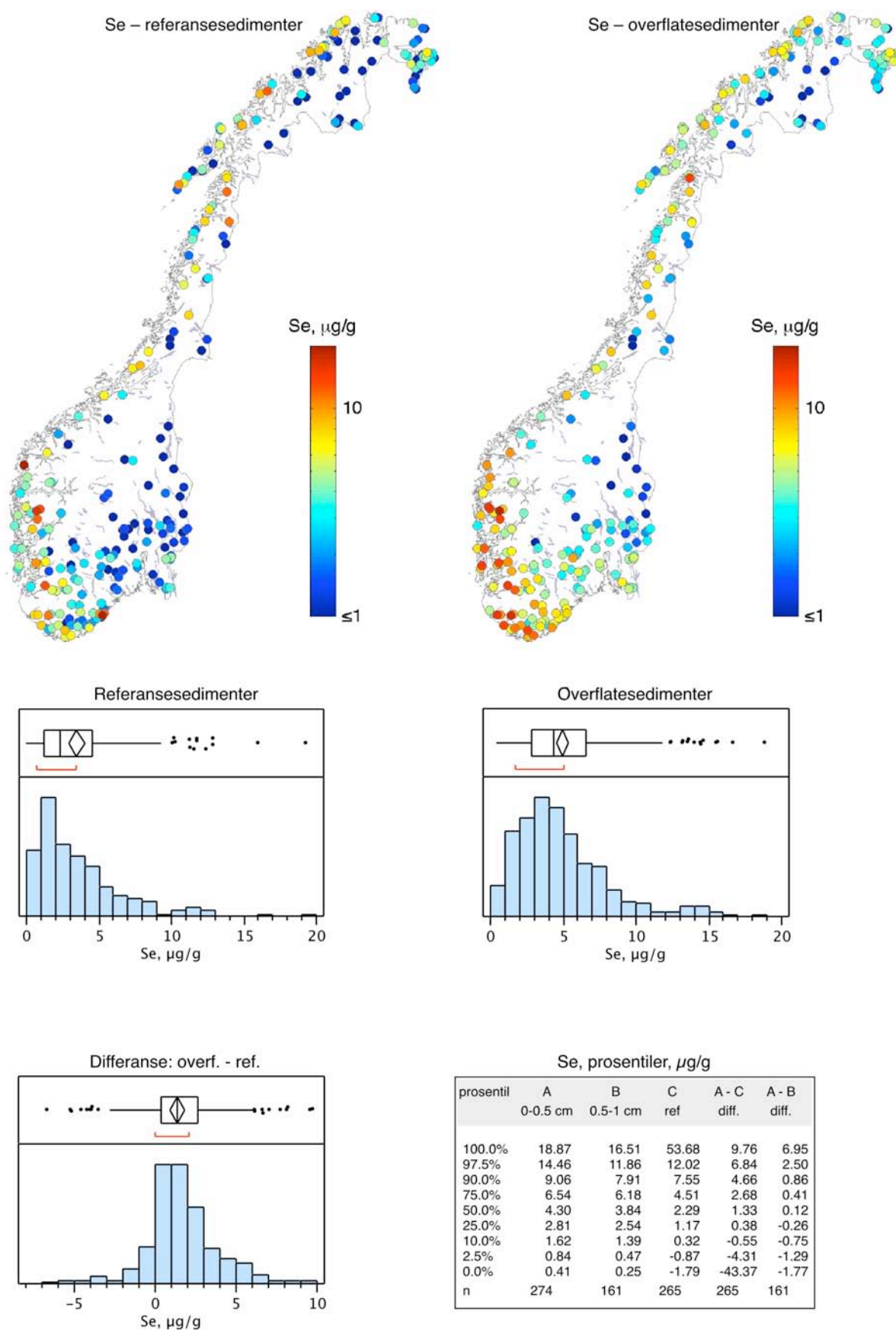
**Figur 17.** Differansen i konsentrasjoner av tellur (Te) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.7 Tellur – Te

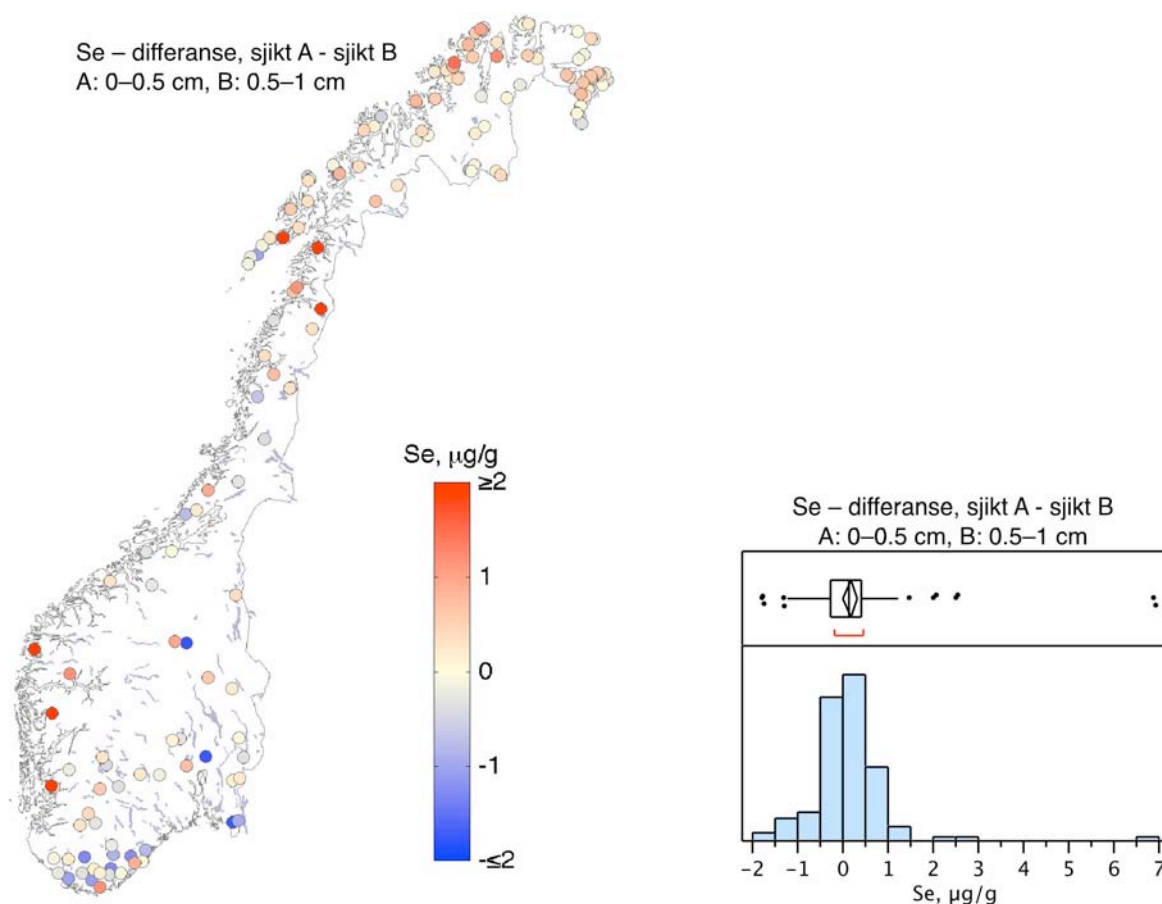
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger. Det er markert forhøyede konsentrasjoner i kystområdene på Vestlandet og i Nord-Norge. Forhøyede konsentrasjoner er det også på Østlandet og i Øst-Finnmark. I sentrale deler av Finnmark finner vi de laveste konsentrasjonene.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster. Det er generelt lave konsentrasjoner i hele landet, men med enkelte høyere verdier i Nord-Norge. Dette tyder på at det er geokjemisk tellur som skaper dette mønsteret.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt ingen endring i innlandet, men økning i mange sjøer langs kysten. I Kirkenes området er det en klar økning som har sammenheng med økt drift ved smelteverket i Nikel (tellurholdig malm). Sjiktene alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 18.** Selen (Se) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 19.** *Differansen i konsentrasjoner av selen (Se) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.*

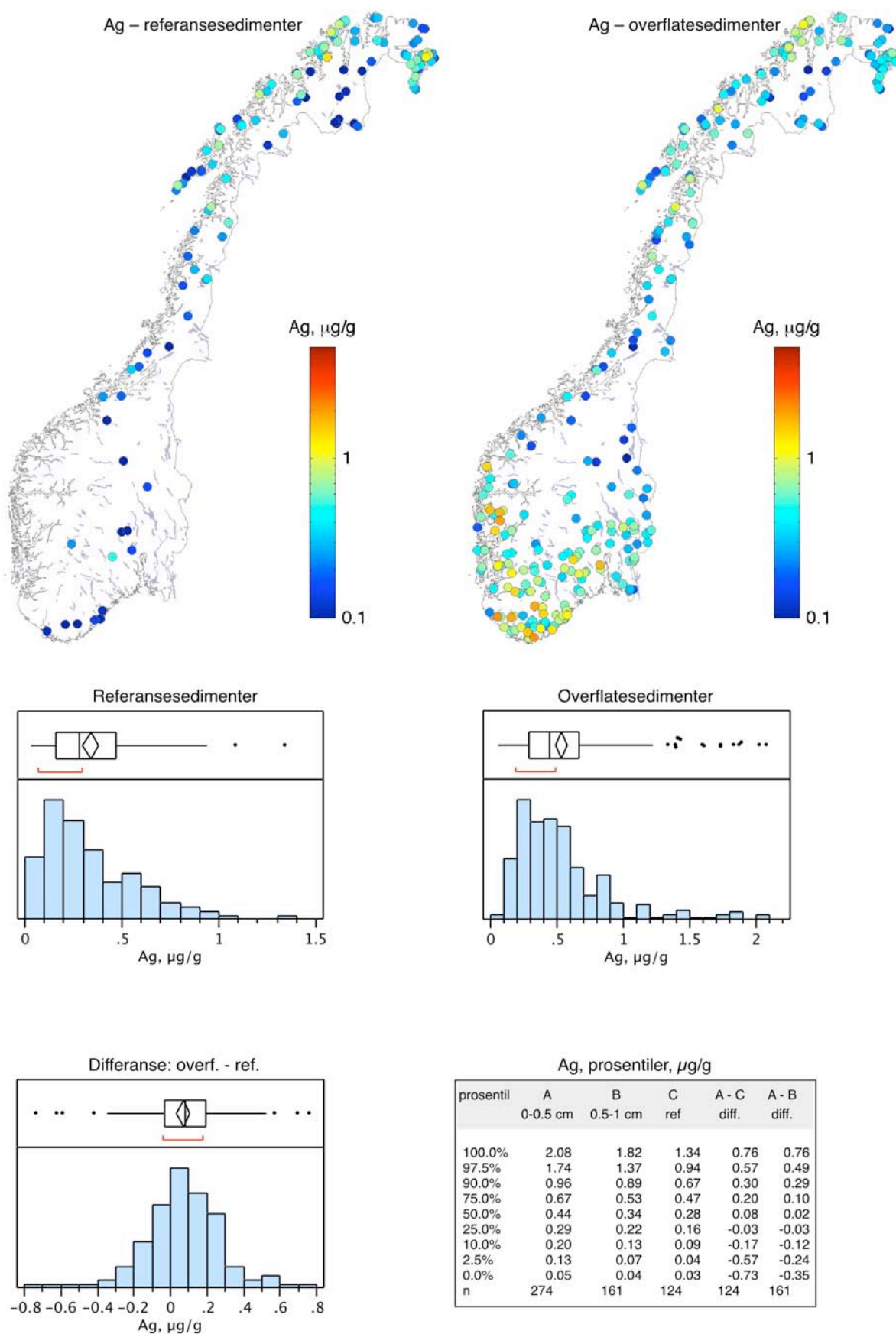
### 5.2.8 Selen – Se

Konsentrasjonene i overflatesedimentene indikerer at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en kilde, men referansesedimentene viser at selen fra havet også er med på å skape det regionale mønsteret. Det er markert forhøyde konsentrasjoner i kystområdene og lavereliggende område på Sørlandet, Vestlandet og sørøstre deler av Østlandet. Det er også høyere konsentrasjoner langs kysten fra Trøndelag til Øst-Finnmark, men her viser referansesedimentene at det er marint Se som er dominerende kilde.

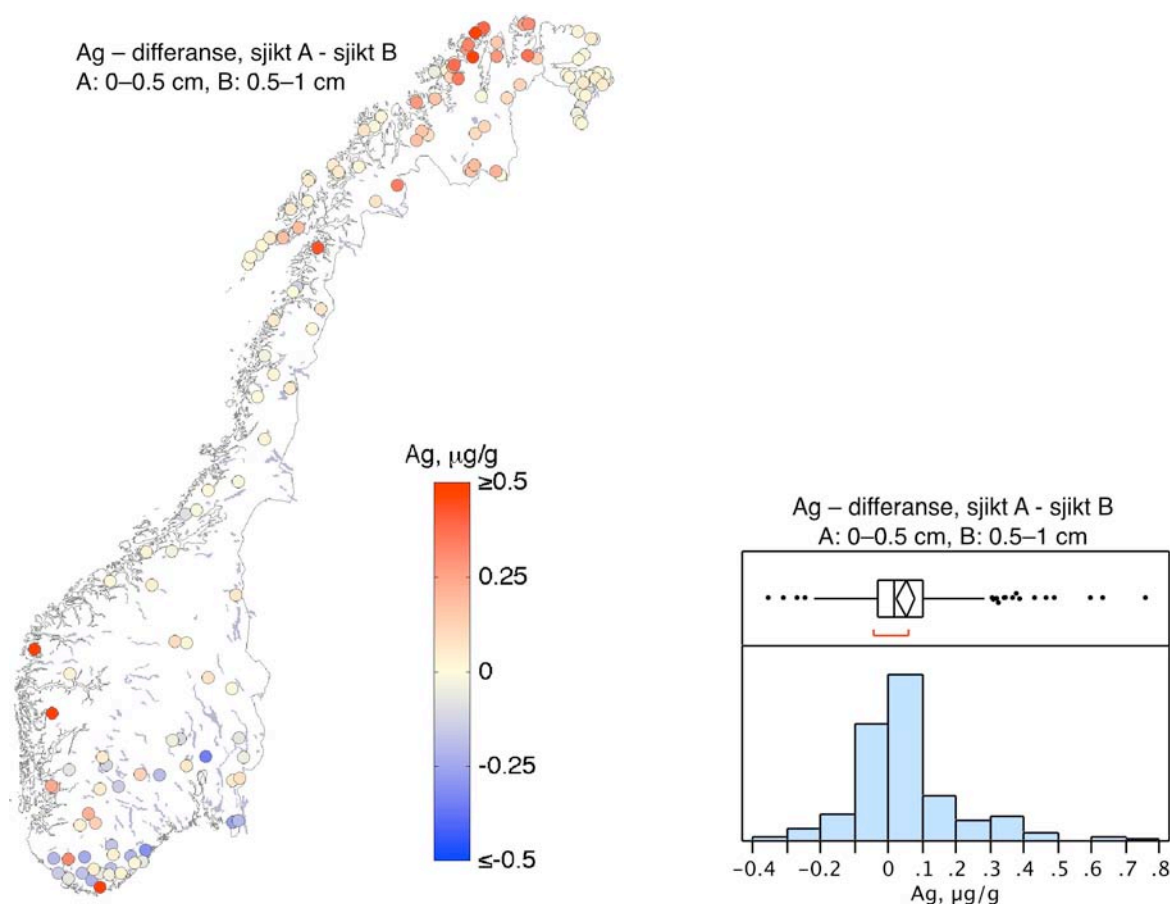
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser generelt samme variasjonsmønster, men konsentrasjoner var noe lavere enn i overflatesedimentene særlig i Sør-Norge. I andre deler av landet enn i kystnære områder er referansesedimentene hovedsakelig preget av geokjemisk selen.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en reduksjon i flere innsjøer i Sør-Norge, men en økning på Vestlandet og enkelte steder langs kysten i Nord-Norge. Resten av landet har generelt ingen endring eller en svak økning. Avtaket i de sørligste deler av landet kan skyldes at avsetningen av forurensninger her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførsleene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.





**Figur 20.** Sølv (Ag) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



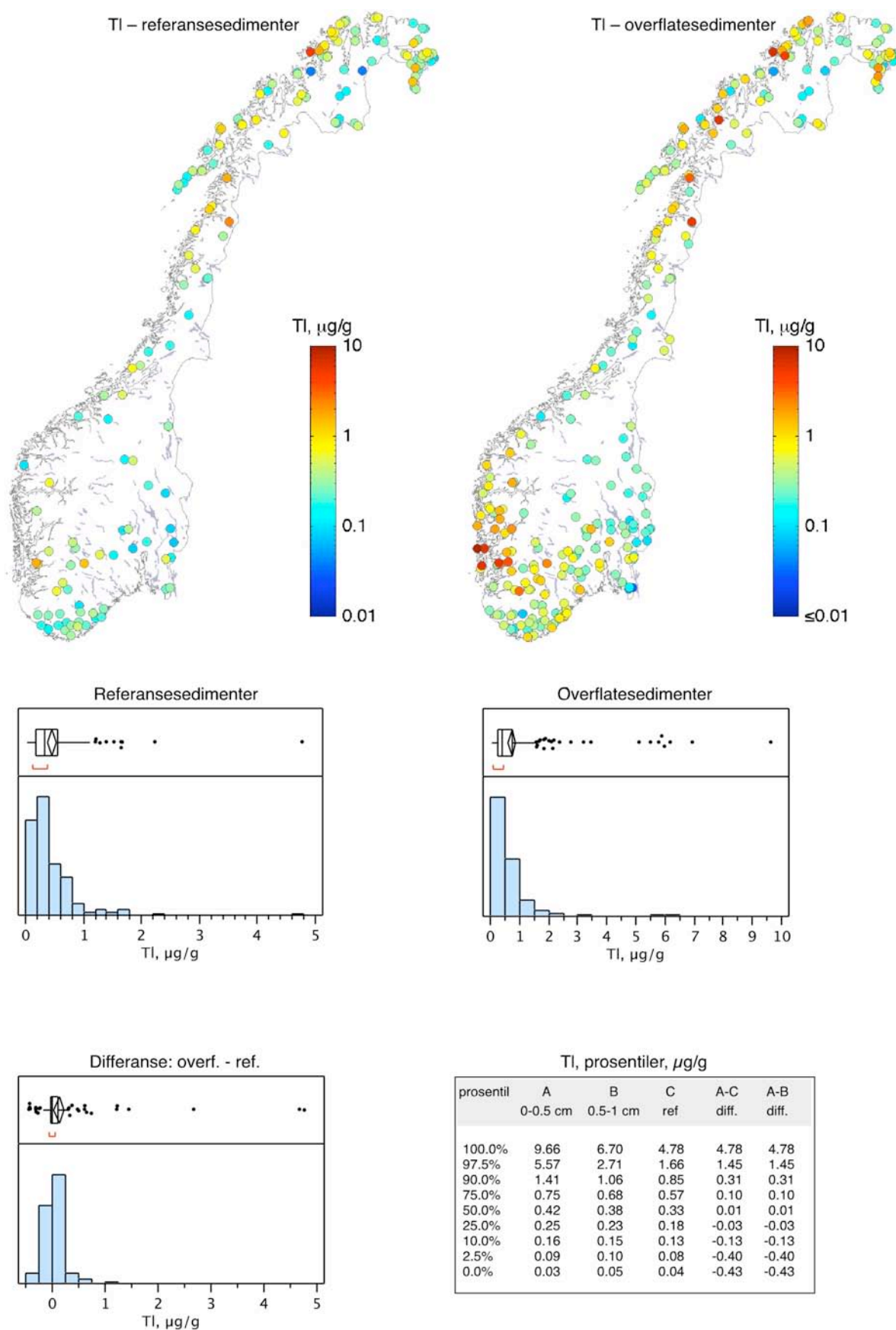
**Figur 21.** Differansen i konsentrasjoner av sølv (Ag) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.9 Sølv – Ag

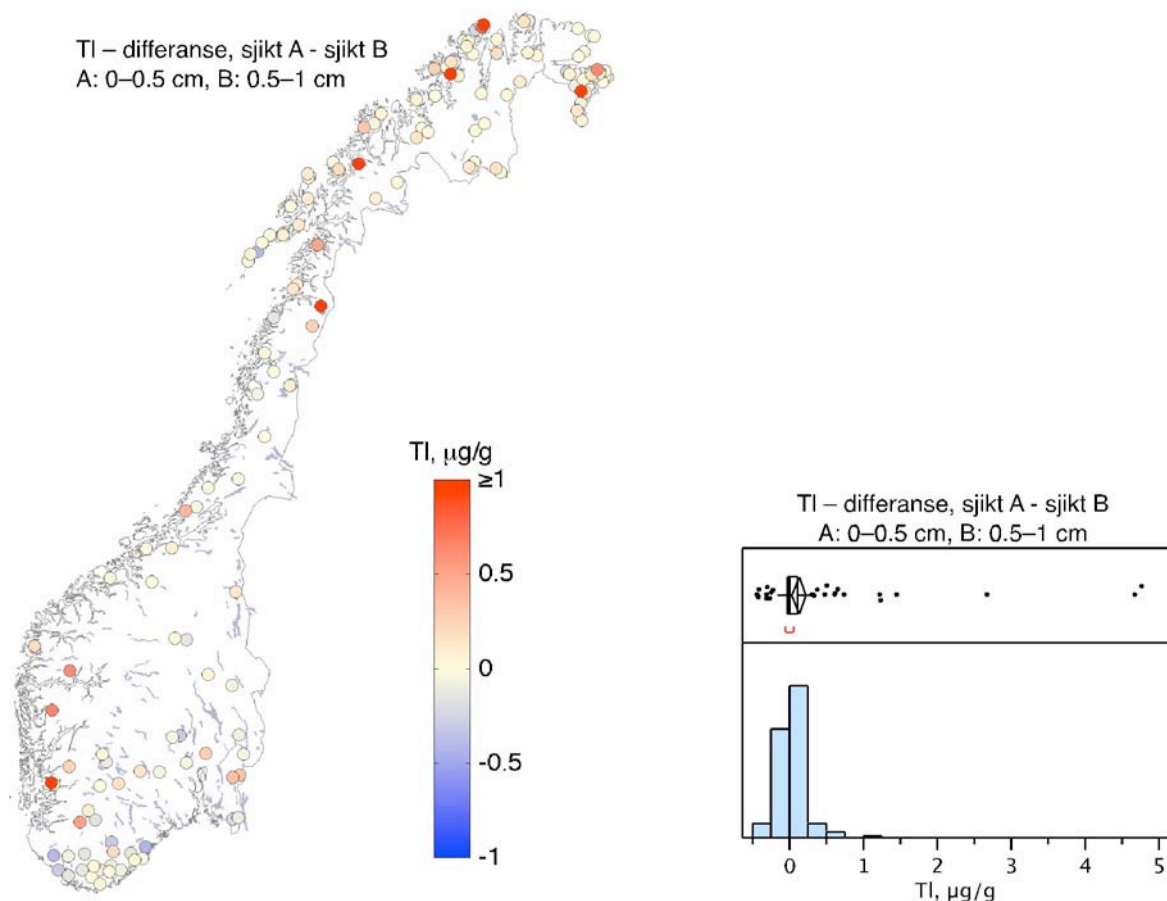
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en viktig kilde i Sør-Norge. Det ble funnet markert forhøyde nivåer på Sørlandet, Vestlandet og sørøstre deler av Sør-Norge. Høyere konsentrasjoner er det langs kysten i Troms og Finnmark, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høyere enn resten av landet. Laveste konsentrasjoner er det på Nordvestlandet, midt-Norge og sentrale deler av Finnmark.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster. De høyeste verdiene er det langs kysten i Nord-Norge, mens i resten av landet er de lave. Dette tyder på at det er geokjemisk sølv som skaper dette mønsteret, og at preindustrielle atmosfærisk forurensninger ikke er en kilde.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser flere innsjøer med reduksjon i sør- og sørøstre deler av Sør-Norge. Dette kan skyldes at avsetningen her har vært størst og at reduksjon i de atmosfæriske tilførslene til Sør-Norge fra andre deler av Europa vil gi tydeligst effekt. Økninger er det på Vestlandet og i deler av Nord-Norge, særlig i de nord-vestre kystområdene, men i de fleste områdene var det ingen forskjell. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 22.** Thallium (Tl) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



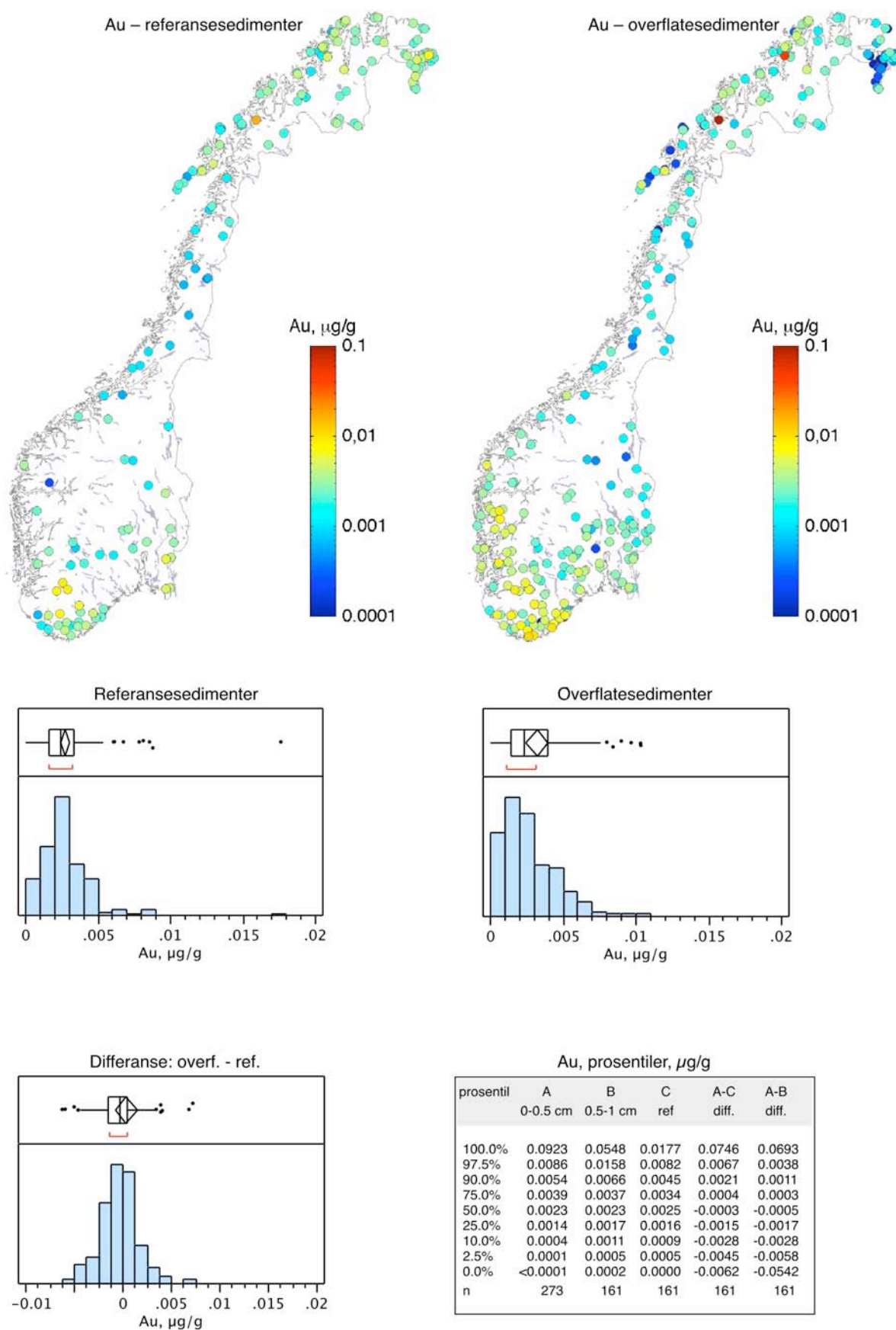
**Figur 23.** Differansen i konsentrasjoner av thallium (Tl) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.10 Thallium – Tl

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en kilde i deler av Sør-Norge. Det ble funnet forhøyde konsentrasjoner på Sørlandet og Vestlandet da særlig i området Haugesund/Stord. I Nord-Norge er konsentrasjoner også relativt høye, men her er også konsentrasjonene i referansesedimentene generelt høyere enn resten av landet, så atmosfæriske kilder er av liten betydning. Laveste konsentrasjoner er det på Nordvestlandet, Midt-Norge og Nordland.

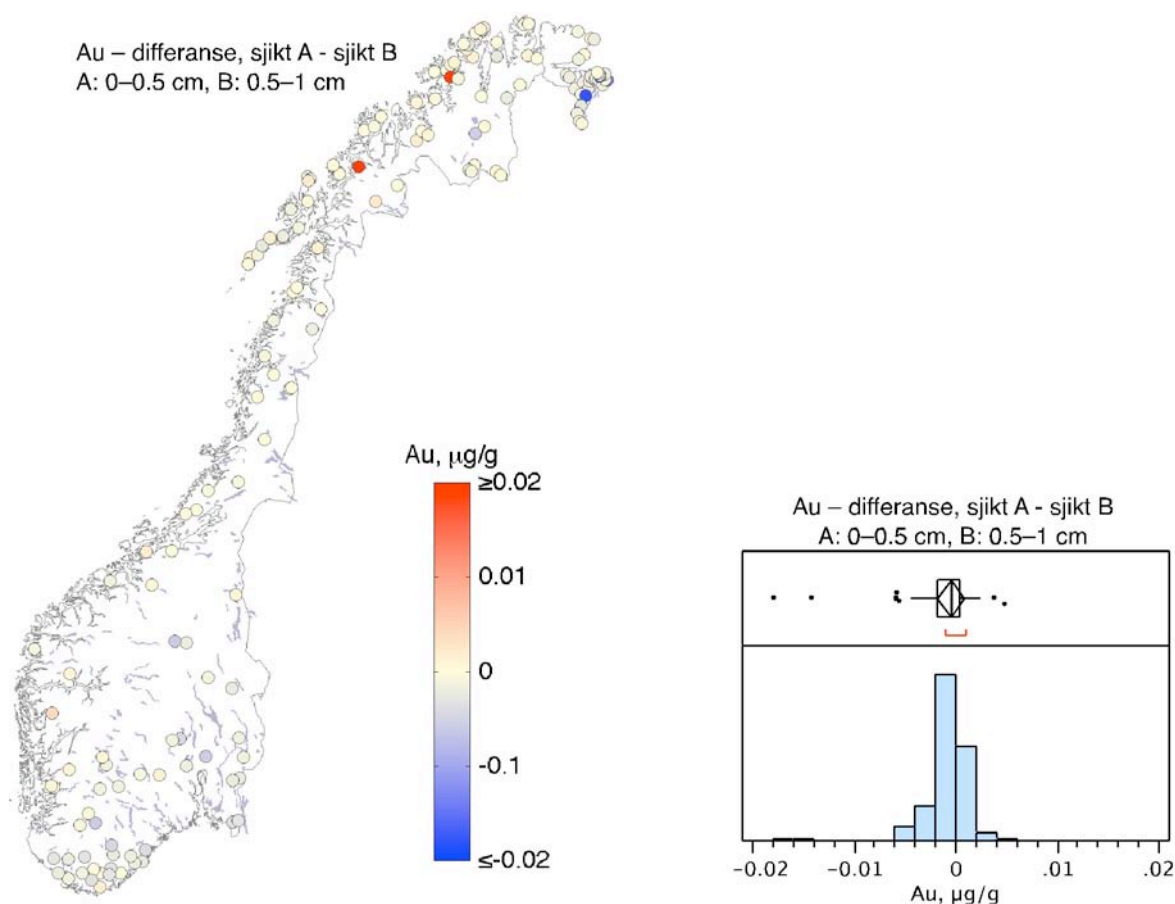
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster. Generelt sett er det høyeste verdier i Nord-Norge. Dette tyder på at det er geokjemisk thallium som skaper dette mønsteret.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser, med noen unntak, ubetydelige forskjeller. Konsentrasjonene har gått noe ned i en del sjøer på Sørlandet, noe som kan skyldes reduserte utslipp i andre deler av Europa. Konsentrasjonene har økt på Vestlandet og i enkelte sjøer i Nord-Norge (Sulitjelma, Finnsnes, Hammerfest, Nordkapp og Kirkenes), noe som kan skyldes lokale kilder. Sjiktens alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 24.** Gull (Au) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





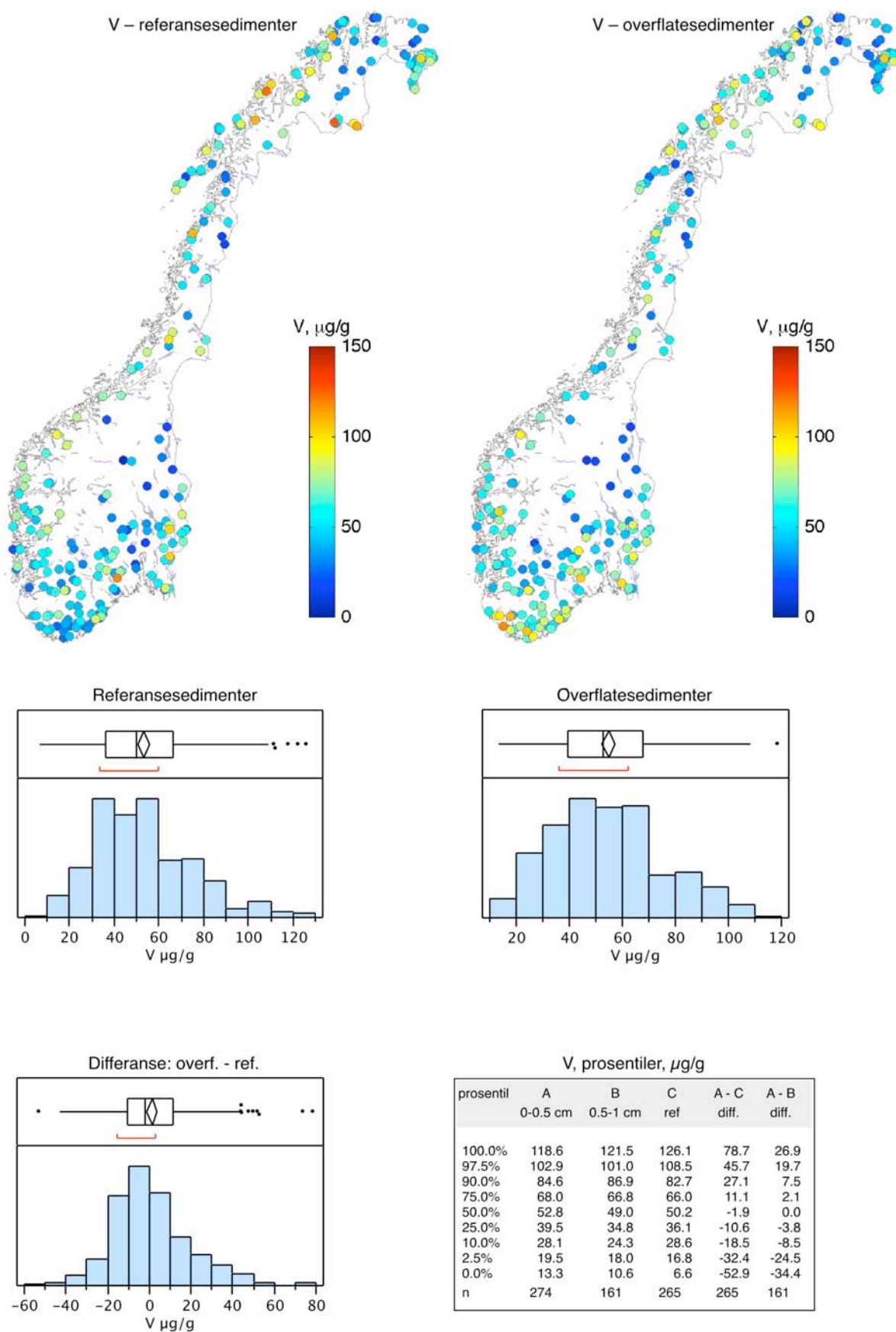
**Figur 25.** Differansen i konsentrasjoner av gull (Au) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.11 Gull – Au

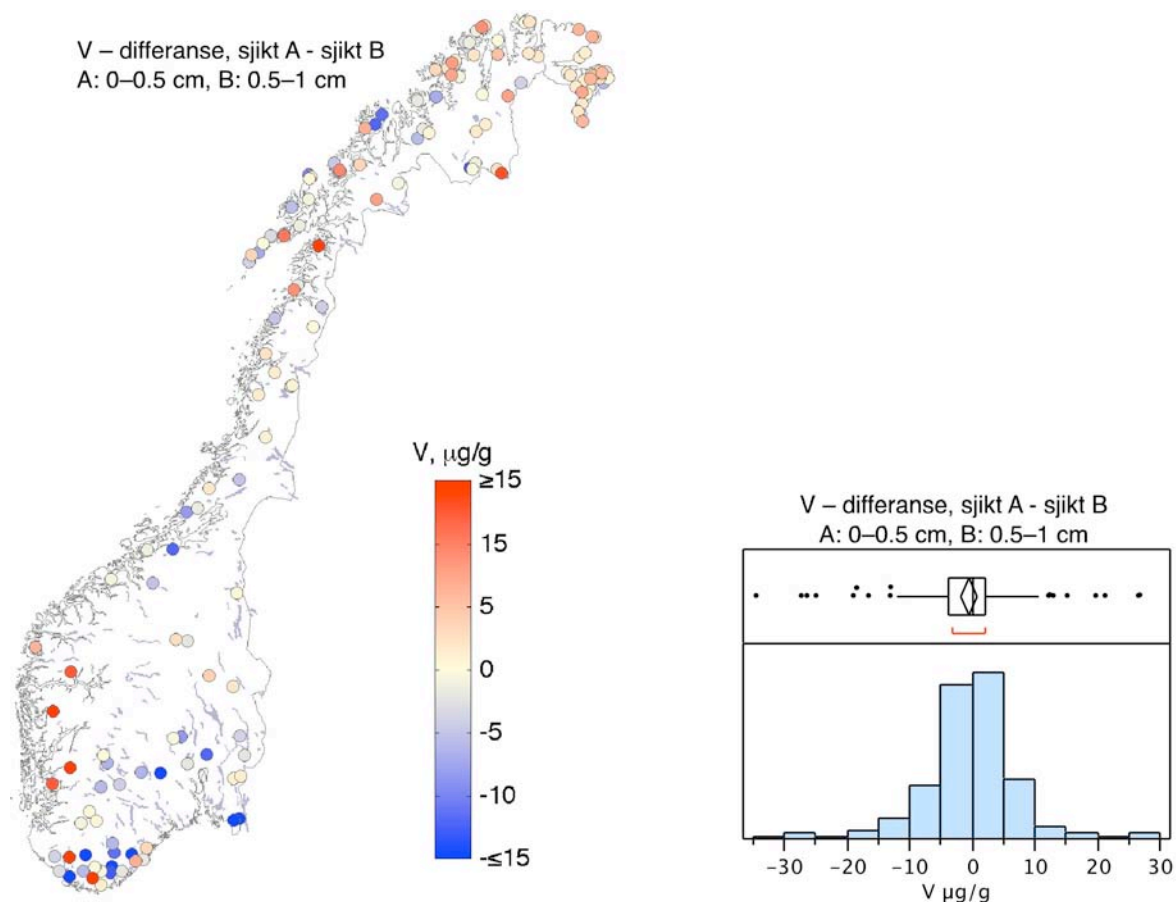
Konsentrasjonene i overflatesedimentene indikerer at atmosfæriske langtransporterte forurensninger kan være en kilde i deler av Sør-Norge. Det ble funnet svakt forhøyde konsentrasjoner på Sørlandet og Vestlandet. Høyere konsentrasjoner er det langs kysten i Troms og Finnmark, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høyere enn resten av landet. Laveste konsentrasjoner er det på Nordvestlandet, Midt-Norge og Nordland.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser samme variasjonsmønster. De høyeste verdiene finnes i sørlige deler av Sør-Norge, i Troms og Finnmark. Dette tyder på at det er geokjemisk gull som skaper dette mønsteret, men at preindustrielle atmosfæriske forurensninger kan være en kilde på Sørlandet.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser, med få unntak, ubetydelige forskjeller. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 26.** Vanadium (V) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentetene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 27.** Differansen i konsentrasjoner av vanadium (*V*) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

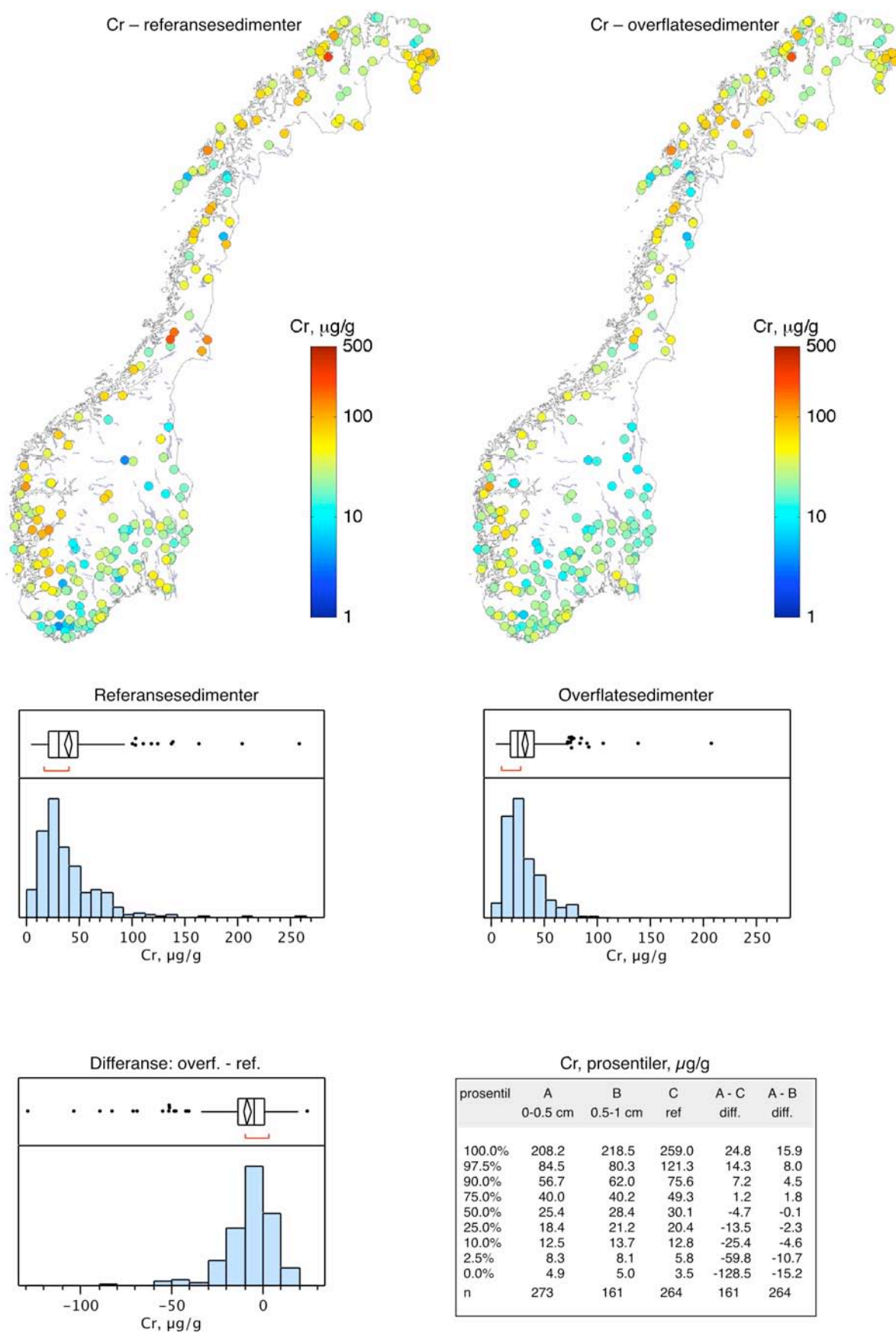
### 5.2.12 Vanadium – V

Forhøyede konsentrasjoner i overflatesedimentene viser at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en viktig kilde i de sørlige og sørøstre deler av Sør-Norge. Høye konsentrasjoner er det også enkelte steder langs kysten i Nord-Norge, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høye.

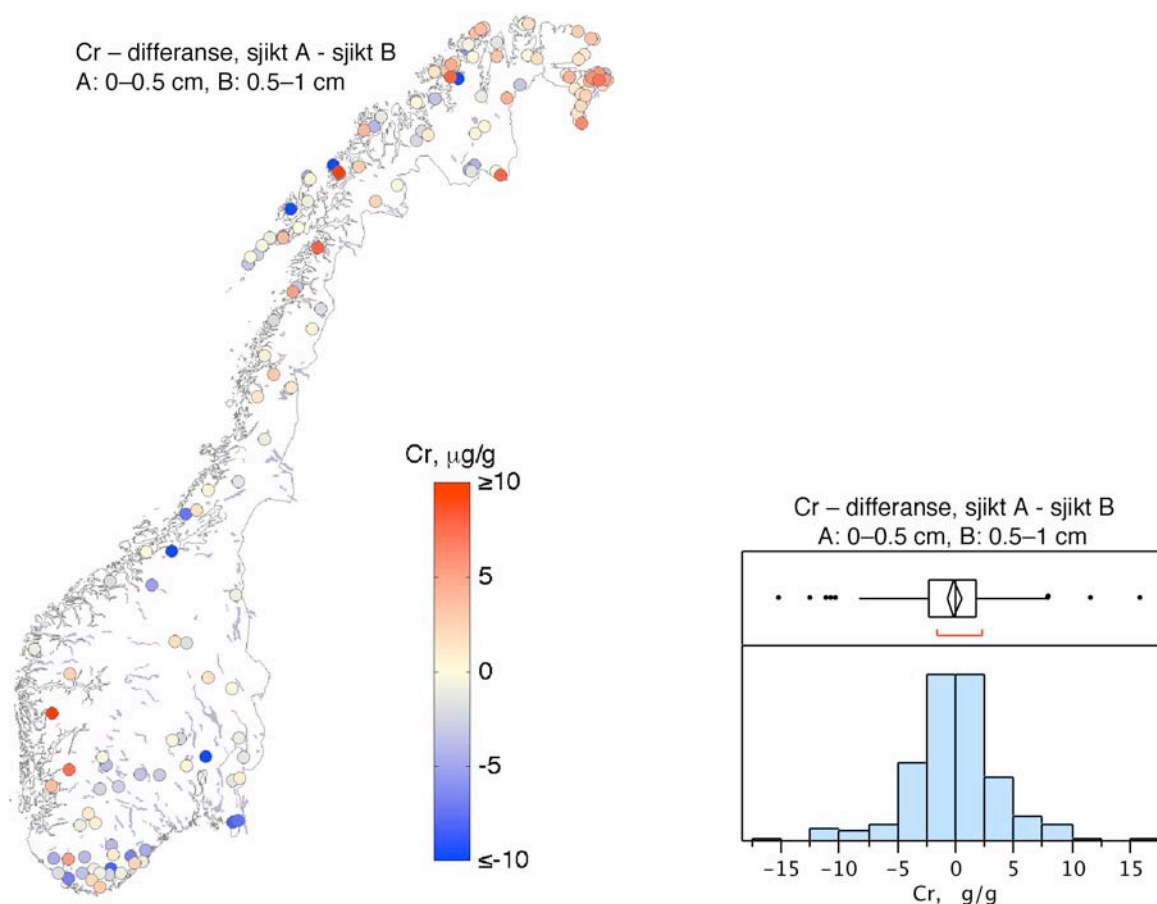
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser et variasjonsmønster som er preget av geokjemiske vanadium. Laveste konsentrasjoner er det i indre deler av Østlandet, Nordland og sentrale områder i Finnmark. Lokalt er det høye konsentrasjoner i enkelte områder langs kysten av Midt-Norge, i Troms og i Finnmark.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt et avtak i sørlige deler av Østlandet og Sørlandet hvor påvirkningen av atmosfæriske forurensninger har er størst. Reduksjonen kan skyldes reduserte utslipp i andre deler av Europa. Det var økning på Vestlandet og mange områder i Nord-Norge. Det er vanskelig å gi en god forklaring på dette, men sjiktens alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.





**Figur 28.** Krom (Cr) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.

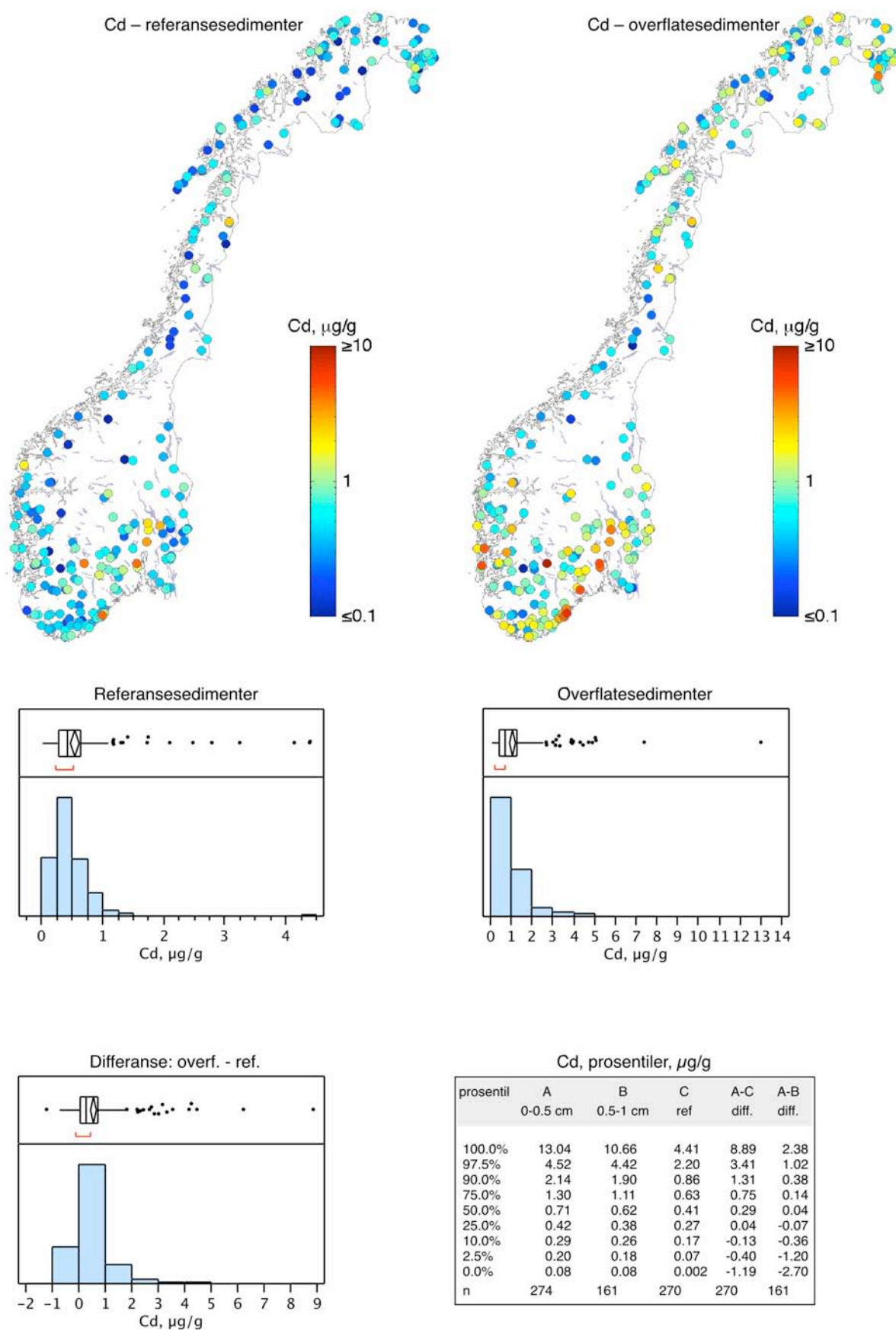


**Figur 29.** *Differansen i konsentrasjoner av krom (Cr) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.*

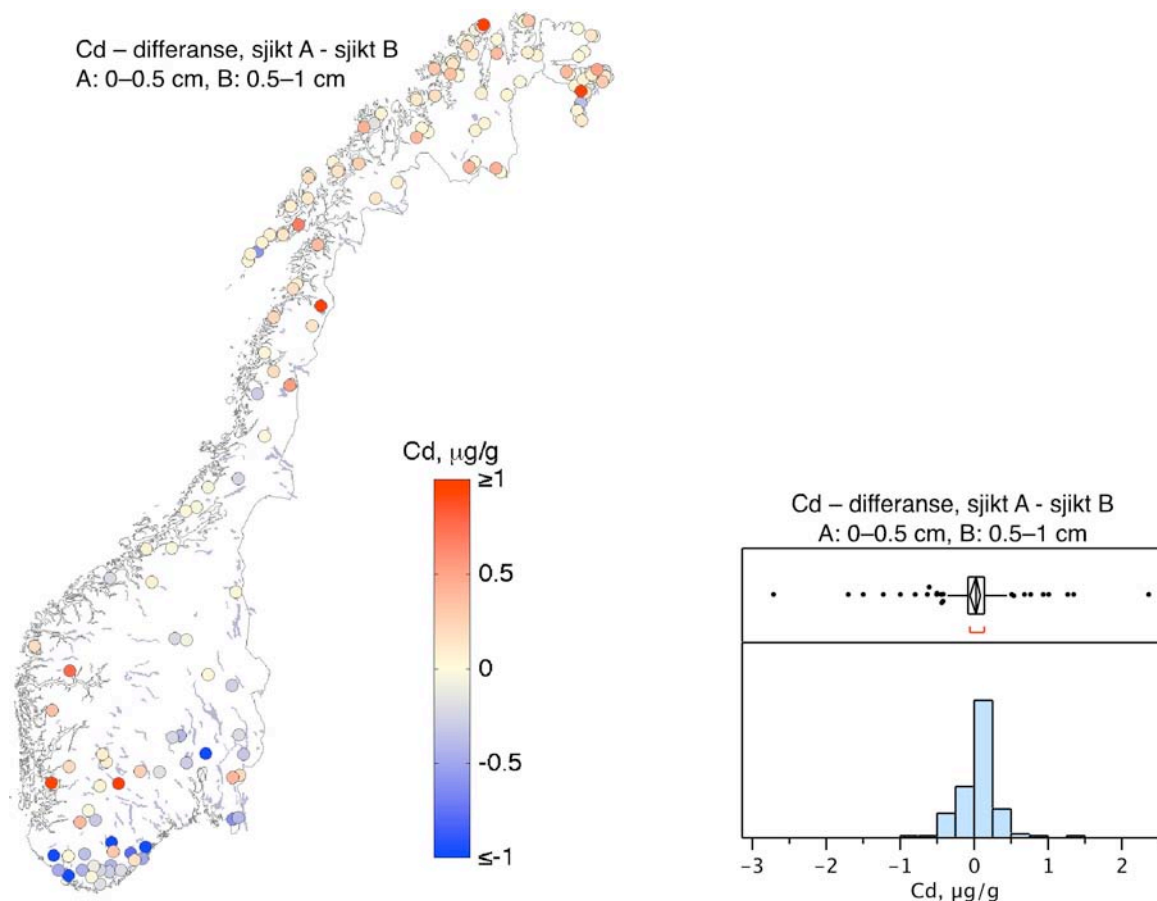
### 5.2.13 Krom – Cr

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser et regionalt mønster som er svært likt det vi finner i referansesedimentene. Dette viser at konsentrasjonene i overflatesedimentene i hovedsak er dominert av de lokale geokjemiske konsentrasjonene av krom. De høyeste konsentrasjonene finnes på Vestlandet, i Nord-Trøndelag og Nord-Norge.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser et intet klart regionalt bilde, kanskje med unntak av Øst-Finnmark hvor det har skjedd en økning. I Øst-Finnmark kan dette skyldes en økning i regionale luftutslipp fra smelteverket i Nikel, men ellers kan variasjonen i andelen uorganisk materiale i sedimentsjiktene være en viktig faktor. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogledd landskap.



**Figur 30.** Kadmium (Cd) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



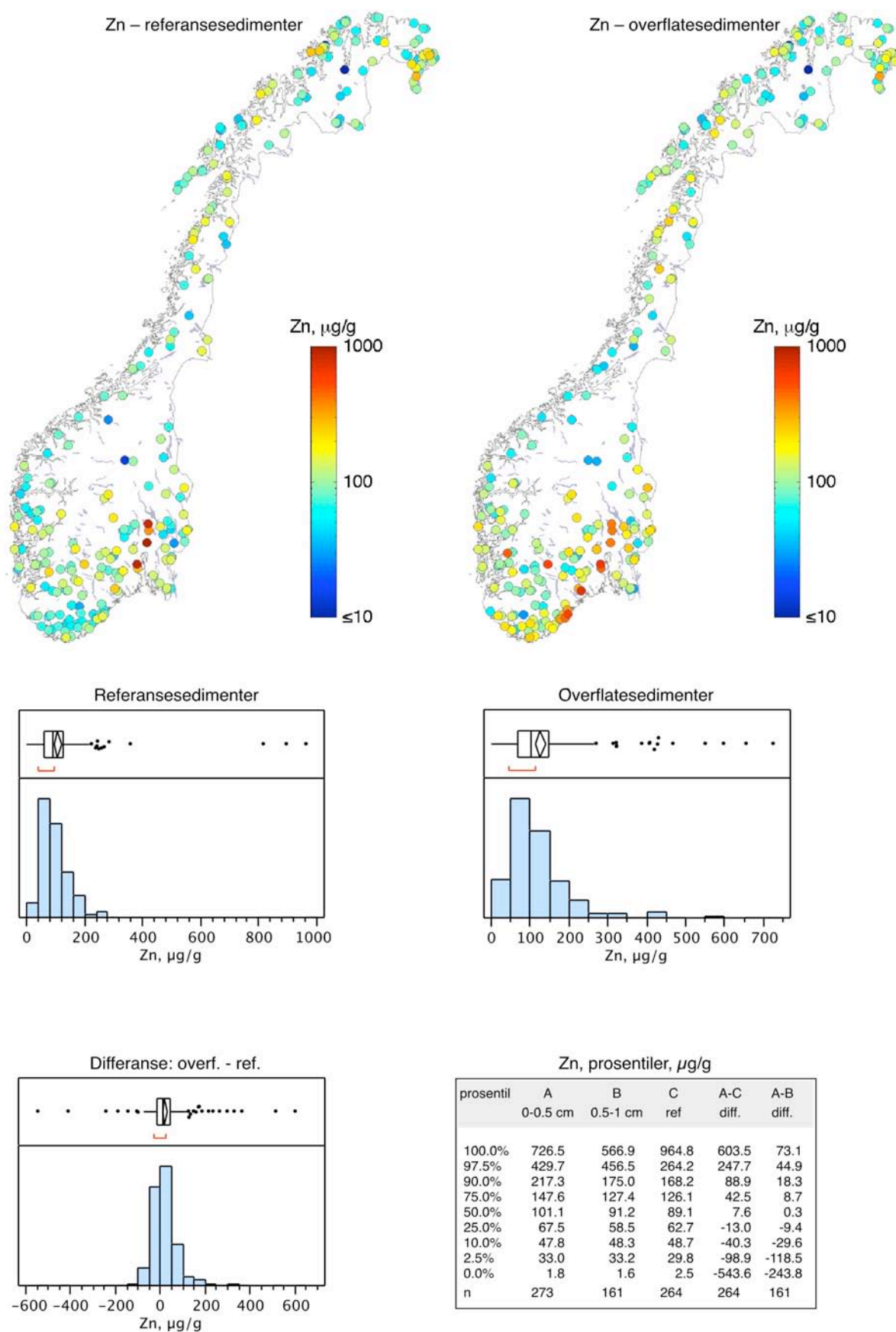
**Figur 31.** Differansen i konsentrasjoner av kadmium (Cd) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

#### 5.2.14 Kadmium – Cd

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at dominerende kilde er atmosfæriske langtransporterte forurensninger, men at det også er regionale kilder ved Haugesundsområdet og ved Arendal. Det er markert forhøyde konsentrasjoner i de sørlige deler av Østlandet, Sørlandet og Vestlandet opp til Bergensområdet og i Nord-Norge nord for Mo i Rana. I de midtre deler av landet finner vi de laveste konsentrasjonene.

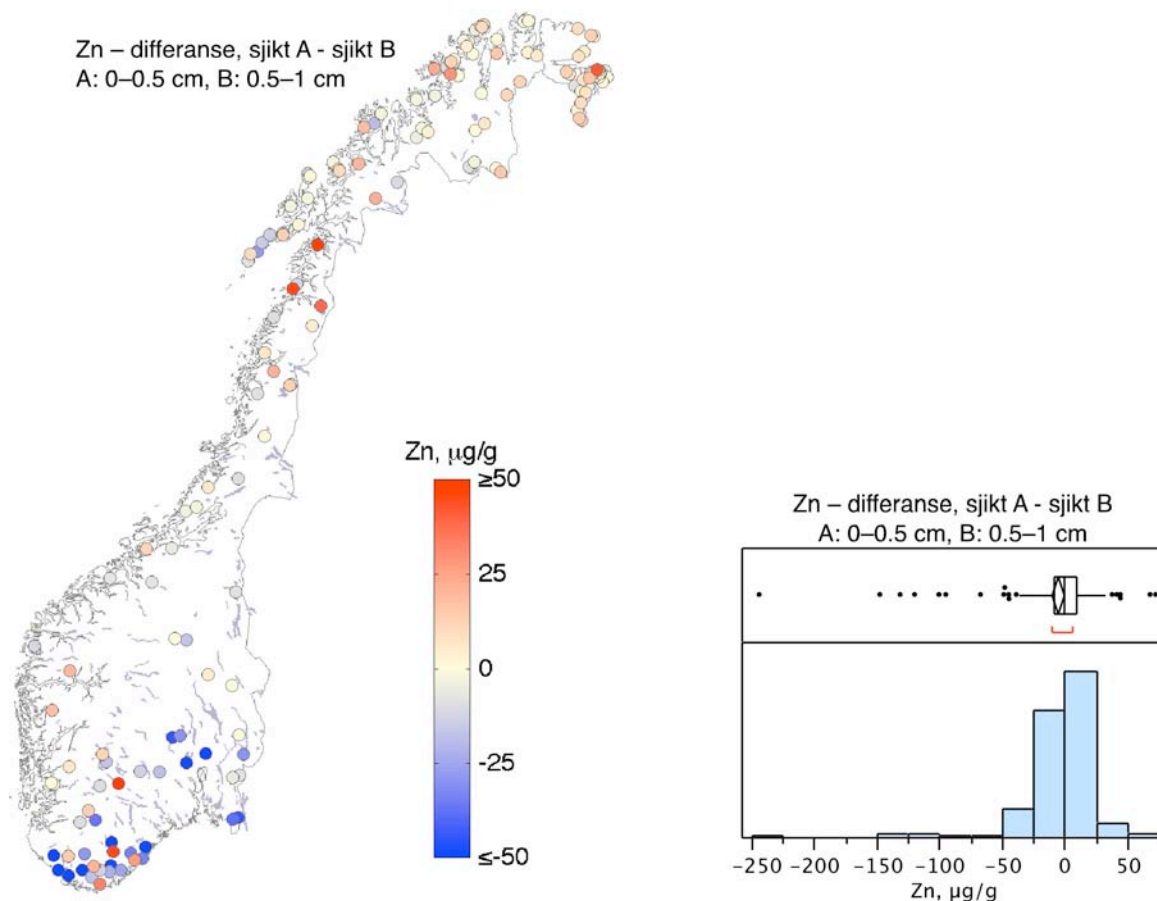
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster. Det er generelt lave konsentrasjoner i hele landet, men med enkelte lokalt forhøyede verdier i Sør-Norge. Dette tyder på at det i hovedsak er geokjemisk kadmium som skaper dette mønsteret.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt et avtak i sørlige deler av Østlandet og på Sørlandet, ingen endring i midtre deler av landet og en svak økning på Vestlandet og enkelte kystnære områder i Nord-Norge. I Kirkenes området er det en svak økning som kan ha sammenheng med økt drift ved smelteverket i Nikel. Sjiktene alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 32.** Sink (Zn) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





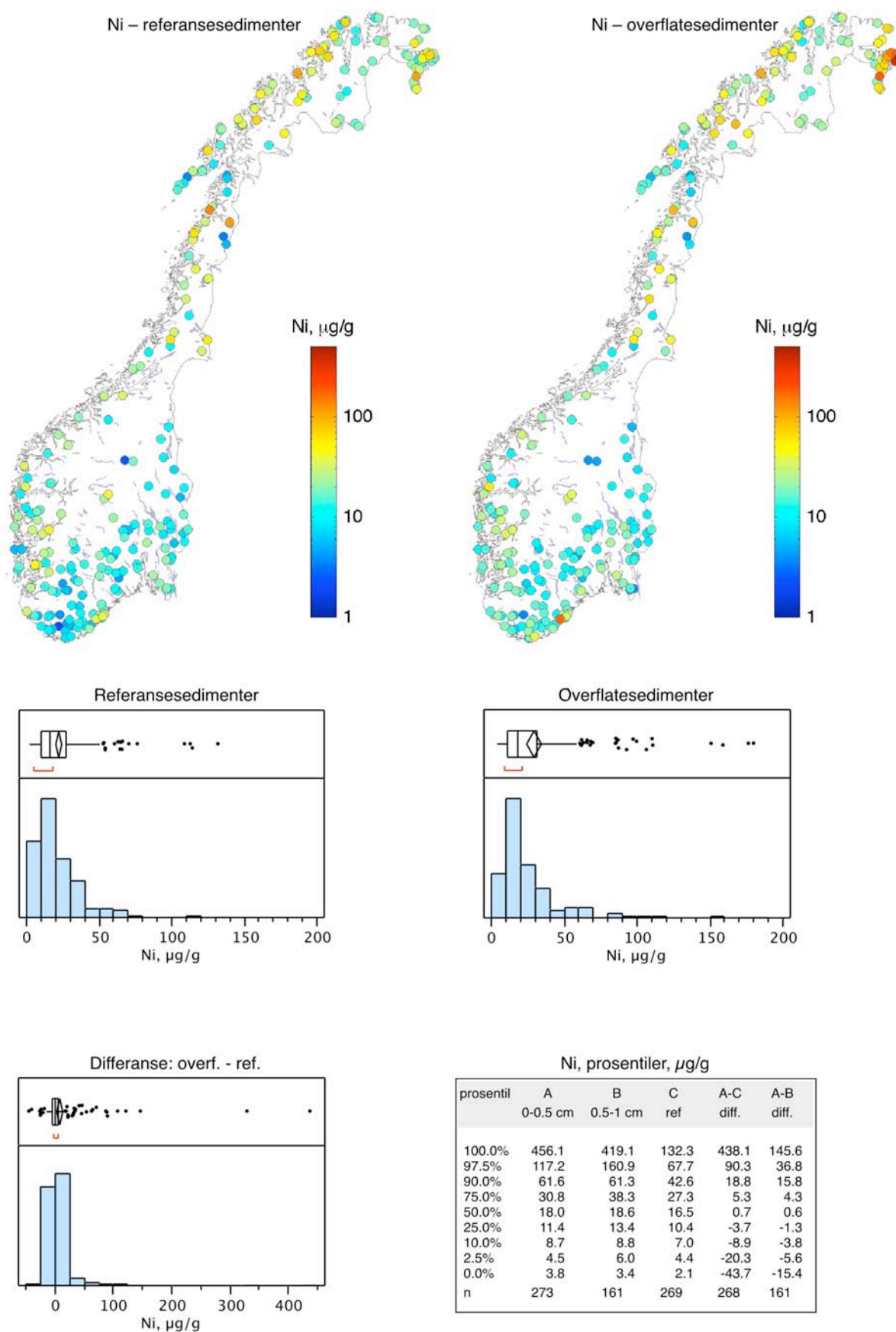
**Figur 33.** Differansen i konsentrasjoner av sink (Zn) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.15 Sink – Zn

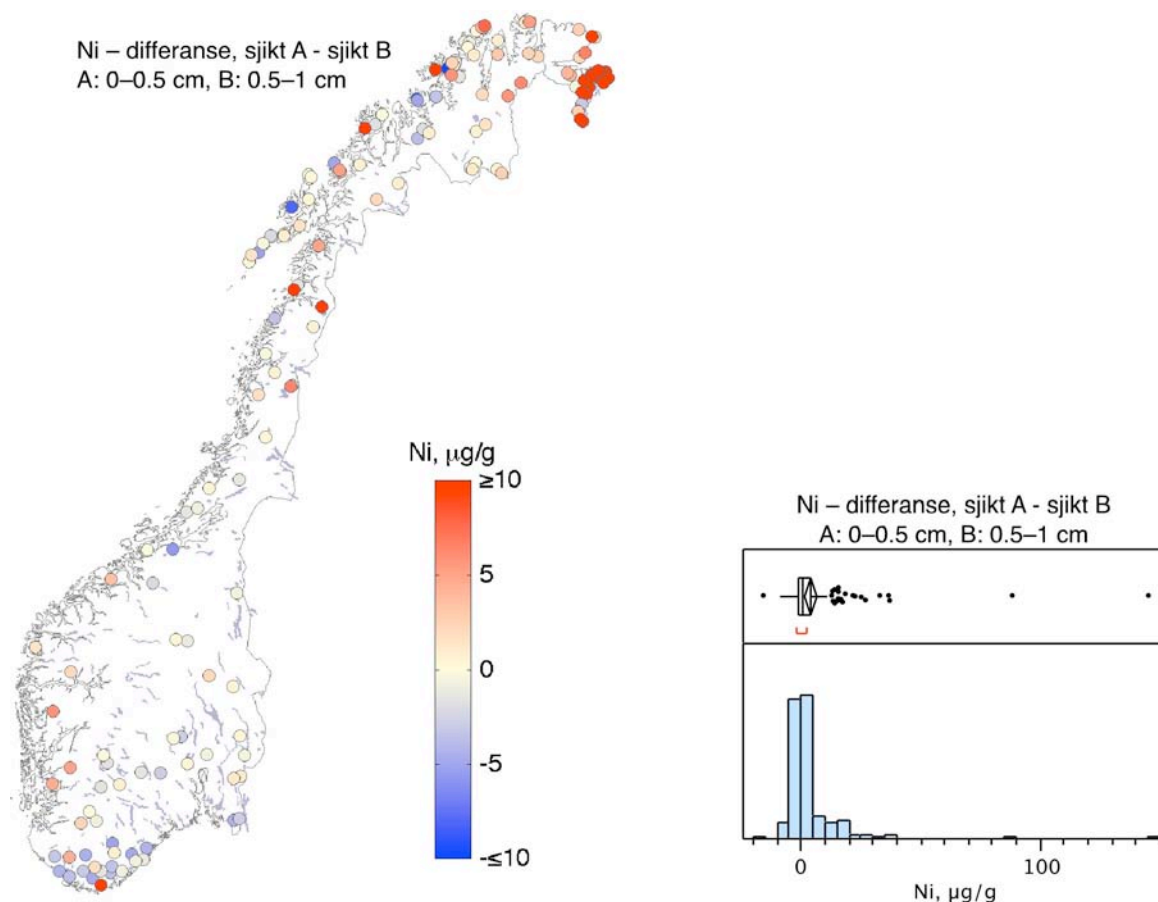
Forhøyede konsentrasjoner i overflatesedimentene viser at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en viktig kilde i deler av Sør-Norge. Det er markert forhøyede konsentrasjoner på Sørlandet, Vestlandet og sørøstre deler av Sør-Norge. Høye konsentrasjoner er det også enkelte steder langs kysten i Troms og Finnmark, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høyere enn resten av landet. Laveste konsentrasjoner er det på Nordvestlandet, Midt-Norge og sentrale deler av Finnmark.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser et variasjonsmønster som er preget av geokjemiske sink. Det er generelt lave konsentrasjoner på Sørlandet, Nord-Vestlandet, Trøndelag sentrale deler av Finnmark. Lokalt er det høye konsentrasjoner i enkelte områder av Sør-Norge, langs kysten i Nord-Norge og i Øst-Finnmark..

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt et klart avtak i sørlige deler av Østlandet og på Sørlandet, ingen endring i midtre deler av landet og en svak økning på Vestlandet og enkelte kystnære områder i Nord-Norge. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 34.** Nikkel (Ni) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 35.** *Differansen i konsentrasjoner av nikkell (Ni) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.*

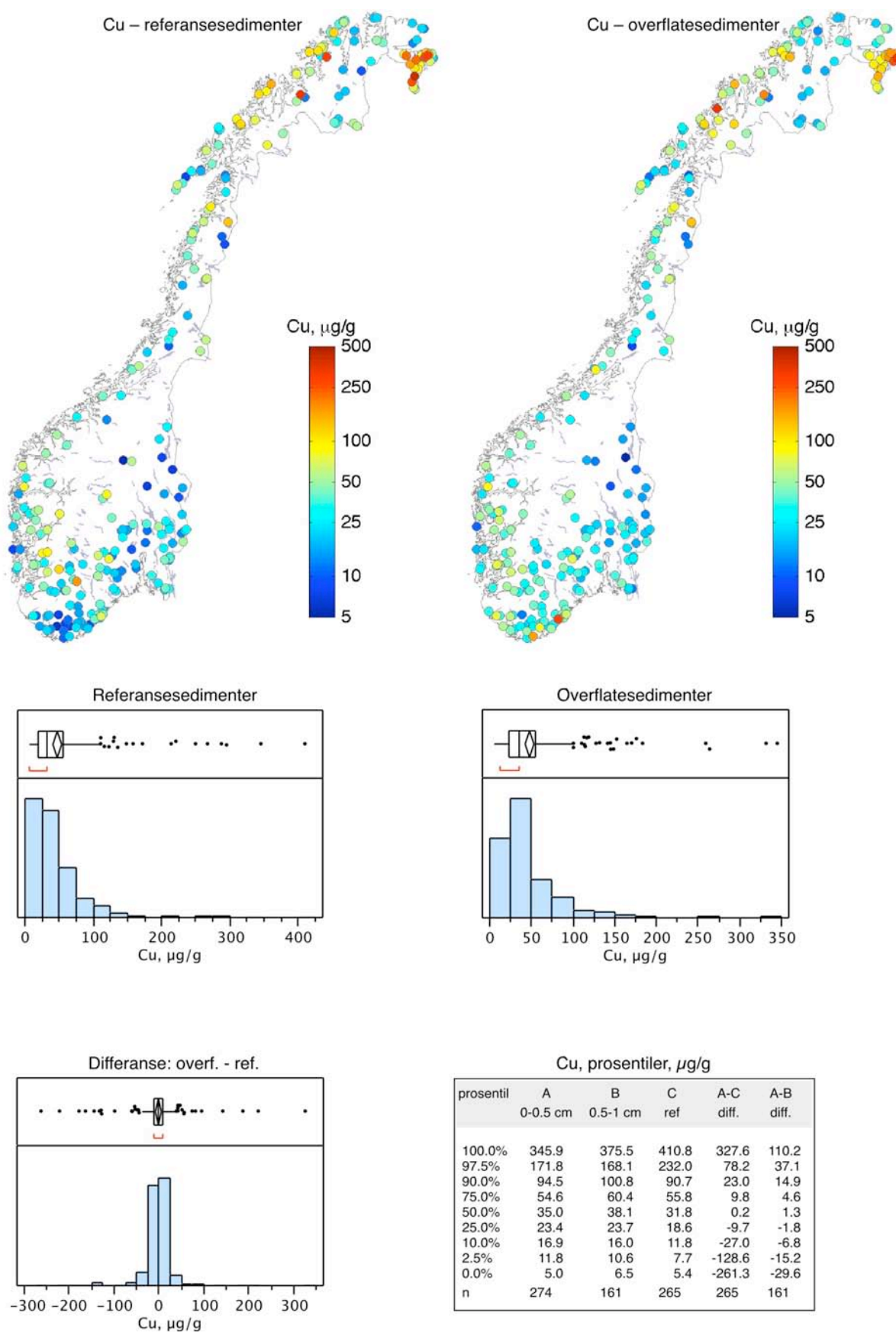
### 5.2.16 Nikkel – Ni

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser forhøyede verdier som følge av regionale atmosfæriske forurensninger i Øst-Finnmark, Kristiansand- og Arendalsområdet. Nærliggende smelteverksindustri er årsaken til dette. I tillegg er atmosfæriske langtransporterte forurensninger en kilde på Sørlandet. I andre deler av landet er det små forskjeller mellom konsentrasjoner i overflate- og referansesedimentene.

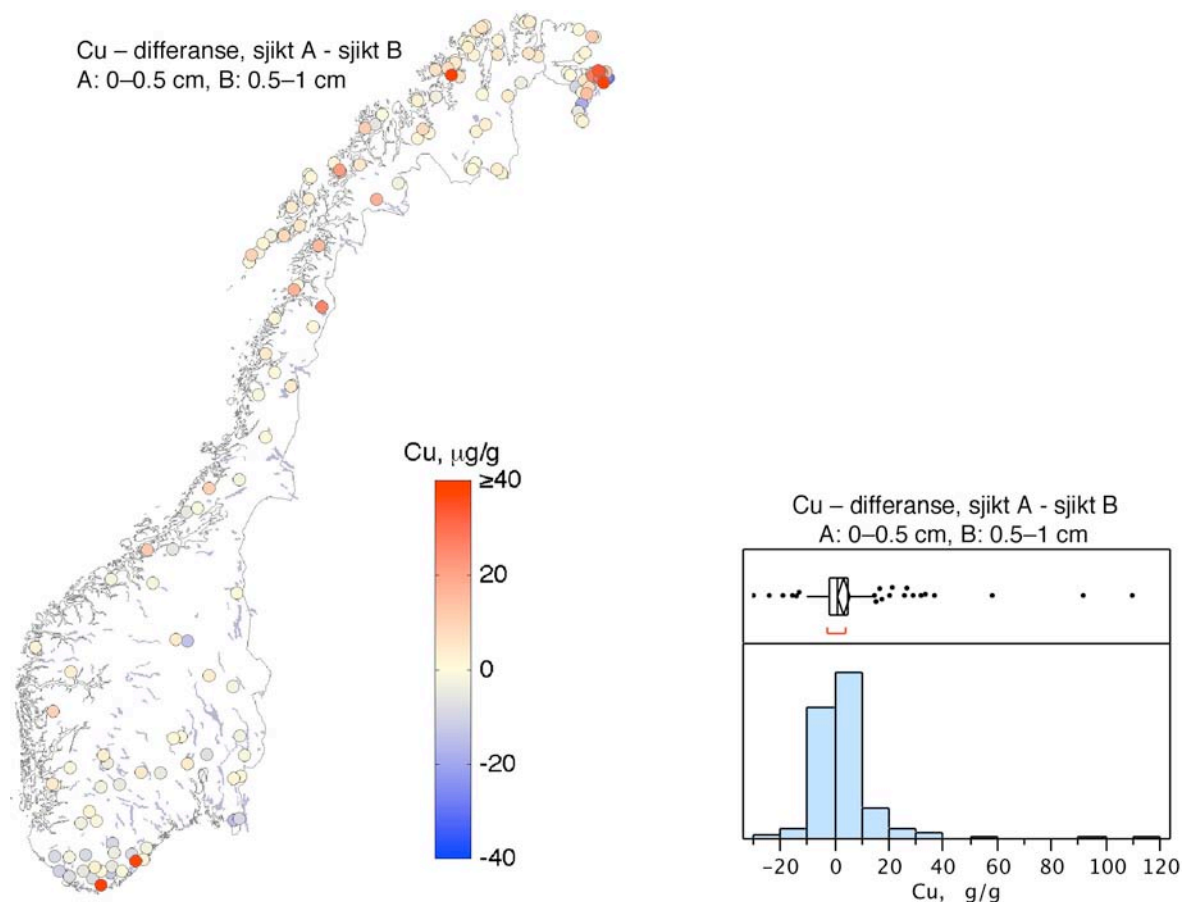
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser et regionalt mønster som er preget av geokjemisk nikkell. Det er generelt lavest konsentrasjoner i på Sørlandet og Østlandet og høyest i indre deler av Vestlandet, Nord-Trøndelag og Nord-Norge.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt et avtak på Sørlandet, ingen klare endring i resten av landet unntatt i Finnmark der særlig Øst-Finnmark er preget av økt nikkellutslipp fra smelteverket i Nikel. Økninger er det også lokalt ved Kristiansand, på Vestlandet og i Bodøområdet. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.





**Figur 36.** Kobber (Cu) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



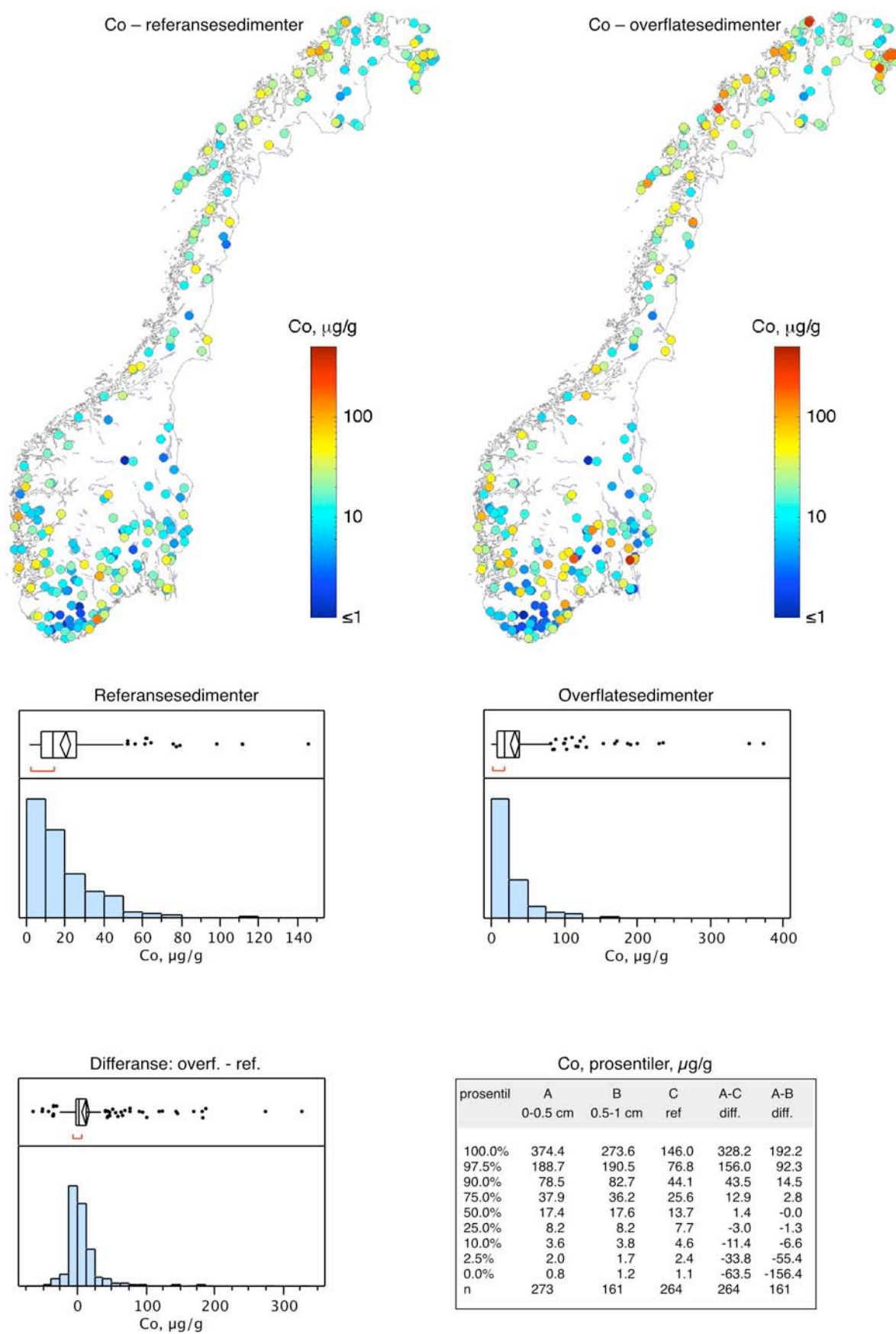
**Figur 37.** Differansen i konsentrasjoner av kobber (Cu) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.17 Kobber – Cu

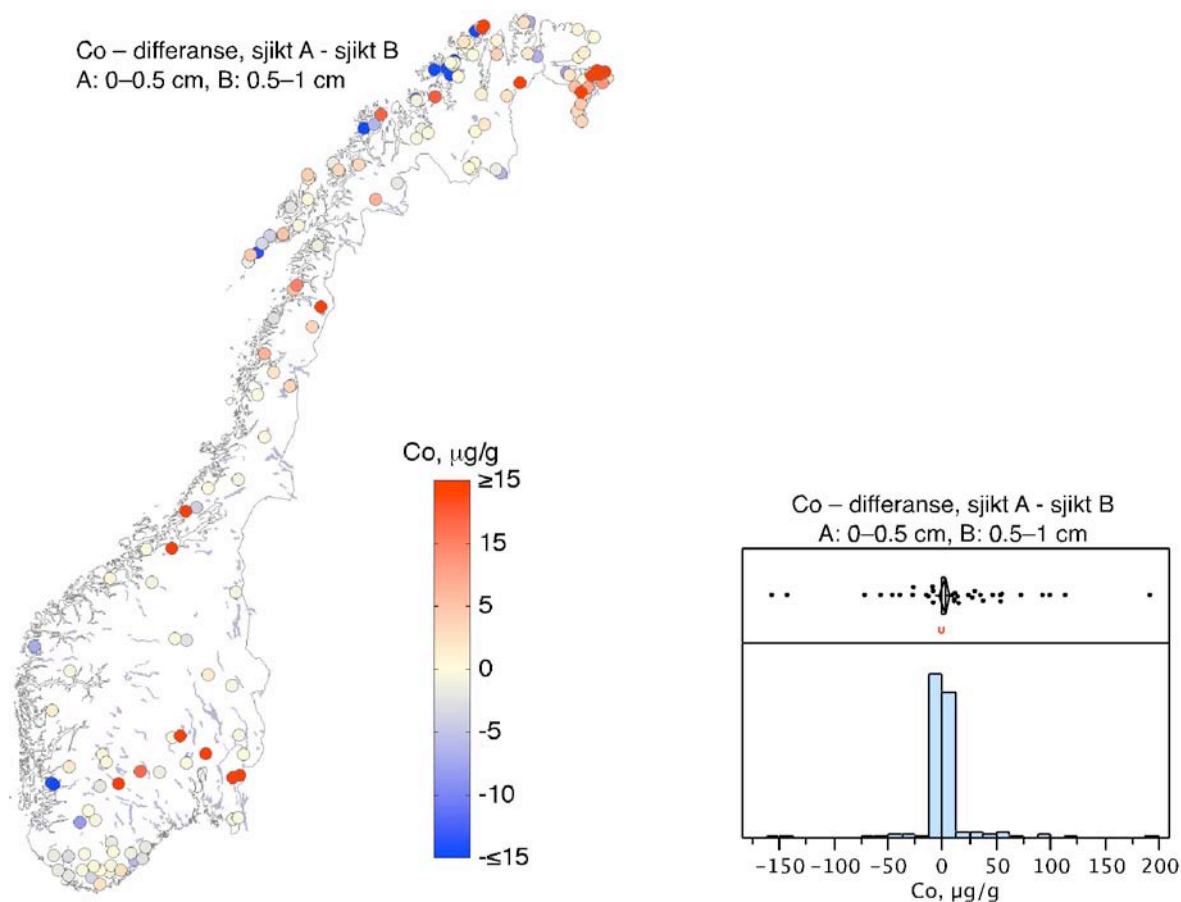
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser forhøyede verdier som følge av regionale atmosfæriske forurensninger Jarvfjordområdet i Øst-Finnmark, Kristiansand- og Arendalsområdet. Nærliggende smelteverksindustri er årsaken til dette. I tillegg er atmosfæriske langtransporterte forurensninger en kilde på Sørlandet. I indre deler av Østlandet er det lave konsentrasjoner.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser generelt samme variasjonsmønster, med lavest konsentrasjoner i indre deler av Vestlandet, Troms og Finnmark. Da påslaget i overflatesedimentene generelt er lite tyder dette på at det i hovedsak er geokjemisk kobber som skaper dette mønsteret.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt et lite avtak på Sørlandet, ingen klare endring i resten av landet med unntak av Jarvfjordområdet (Øst-Finnmark), lokalt ved Kristiansand, Arendal, Mo i Rana og Hammerfest hvor det er en økning. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 38.** Kobolt (Co) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.

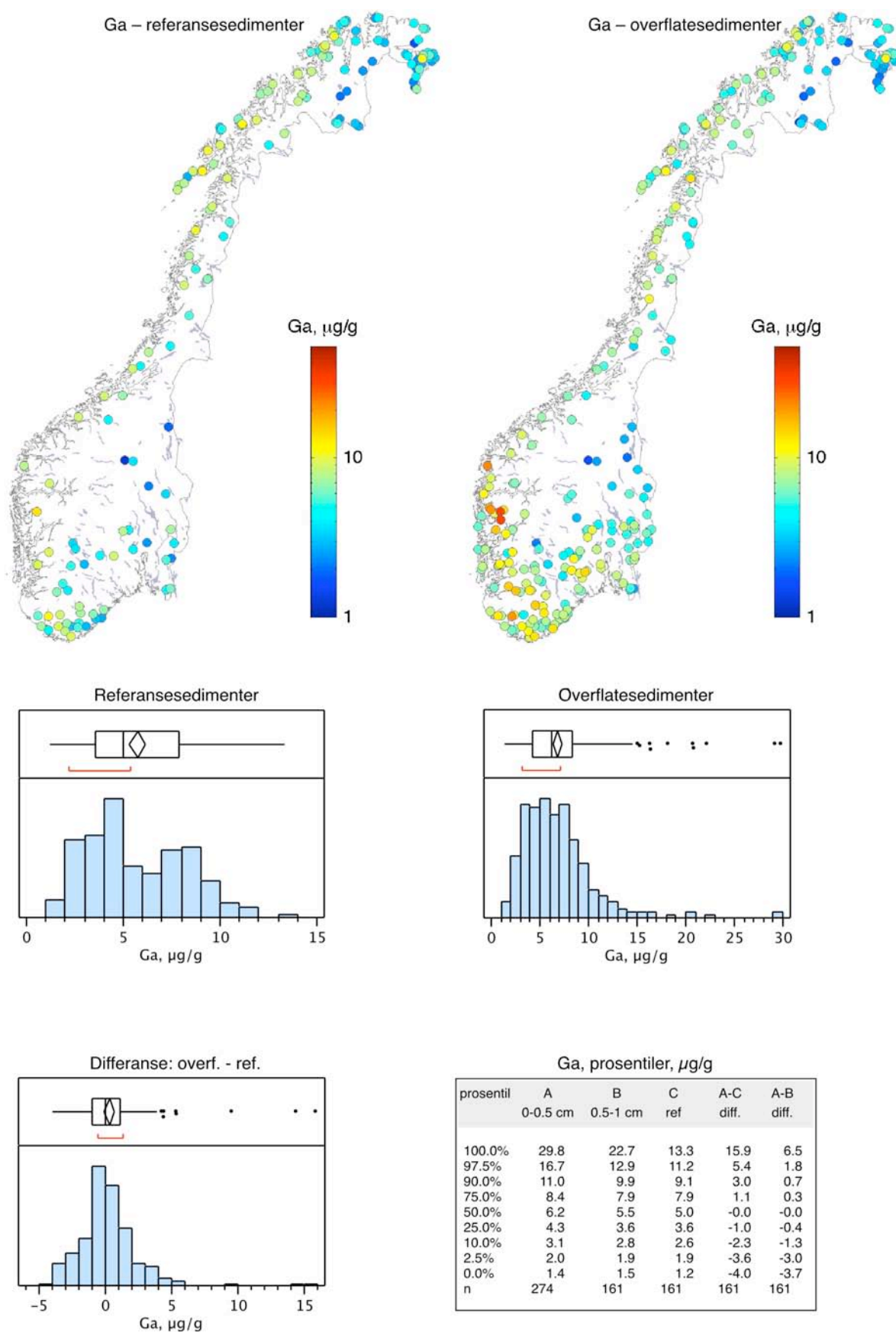


**Figur 39.** Differansen i konsentrasjoner av kobolt (Co) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.18 Kobolt – Co

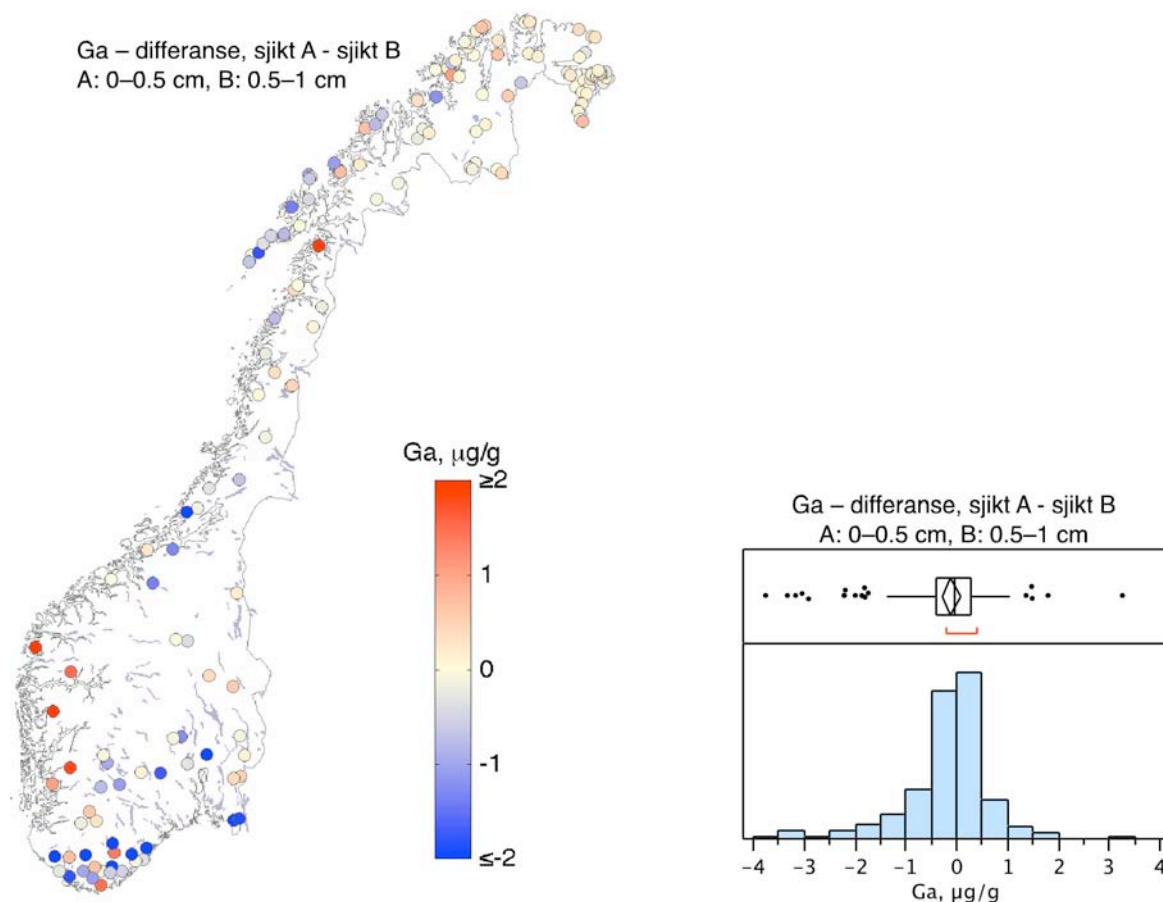
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser et regionalt mønster som i hovedtrekk er svært likt det vi finner i referansesedimentene. Dette viser at konsentrasjonene i overflatesedimentene i hovedsak er dominert av de lokale geokjemiske konsentrasjonene av kobolt. I tillegg er kobolt nær assosiert til det redoks-sensitive elementet mangan. I sedimentene våre skyldes lokale anrikninger av kobolt i overflatesedimentet i mange tilfeller anrikning av mangan. De forhøyede konsentrasjonene i overflatesedimentene i Jarfjordområdet i Øst-Finnmark kan imidlertid også skyldes luftutslipp fra smelteverket i Nikel.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt ingen endring. Enkelte steder er det en økning, men vi antar dette i de fleste tilfeller skyldes en mangananrikning og ikke økte atmosfæriske utslipp. I Jarfjord-området i Øst-Finnmark kan økte luftutslipp fra smelteverket i Nikel ha bidratt. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 40.** Gallium (Ga) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





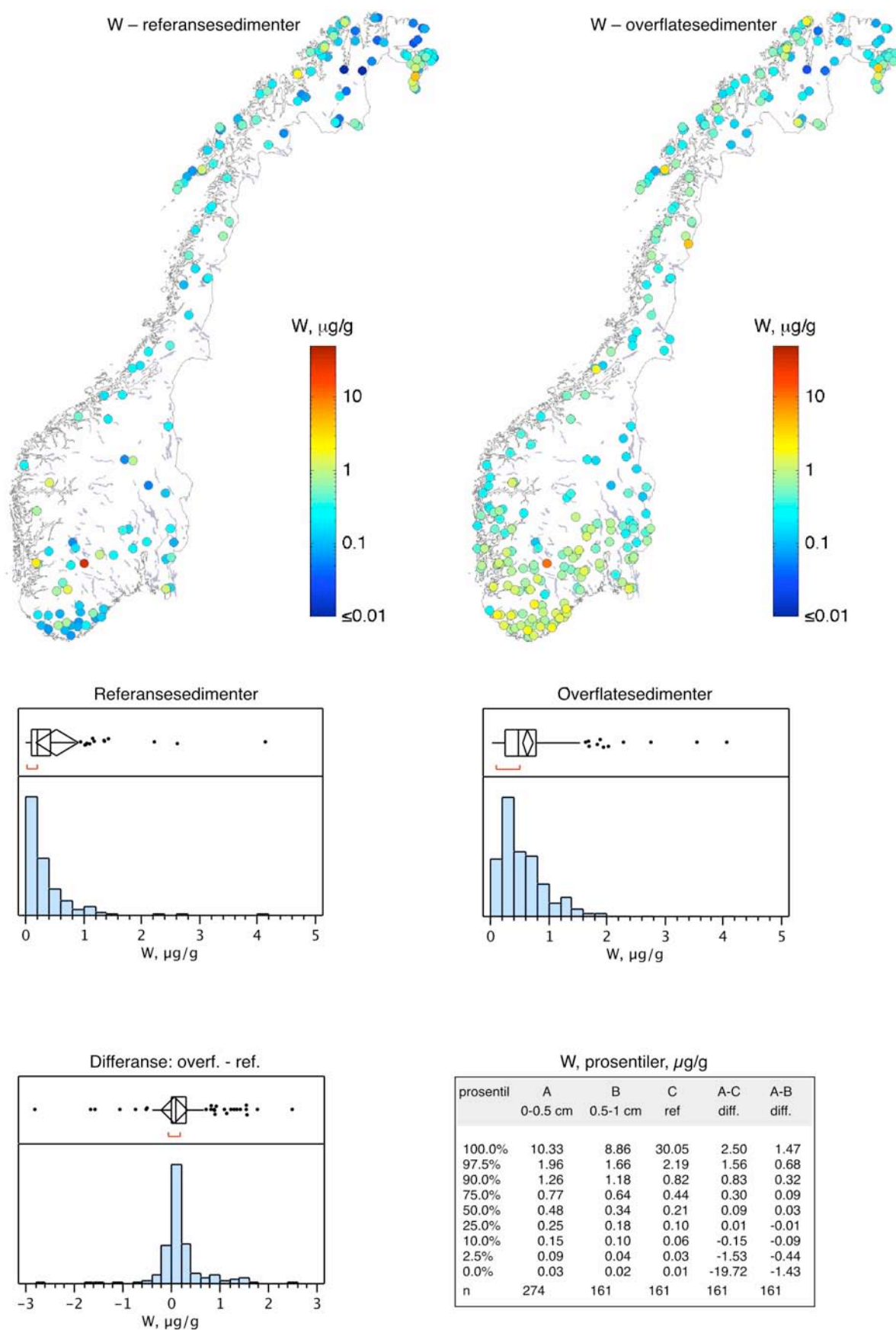
**Figur 41.** *Differansen i konsentrasjoner av gallium (Ga) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.*

### 5.2.19 Gallium – Ga

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at regionale og langtransporterte atmosfæriske forurensninger er kilder i deler av Sør-Norge. Det er forhøyde konsentrasjoner på Sørlandet, øst for Haugesund og nord for Bergen. Det er også høyere konsentrasjoner stedvis langs kysten i Nord-Norge, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høyere enn resten av landet.

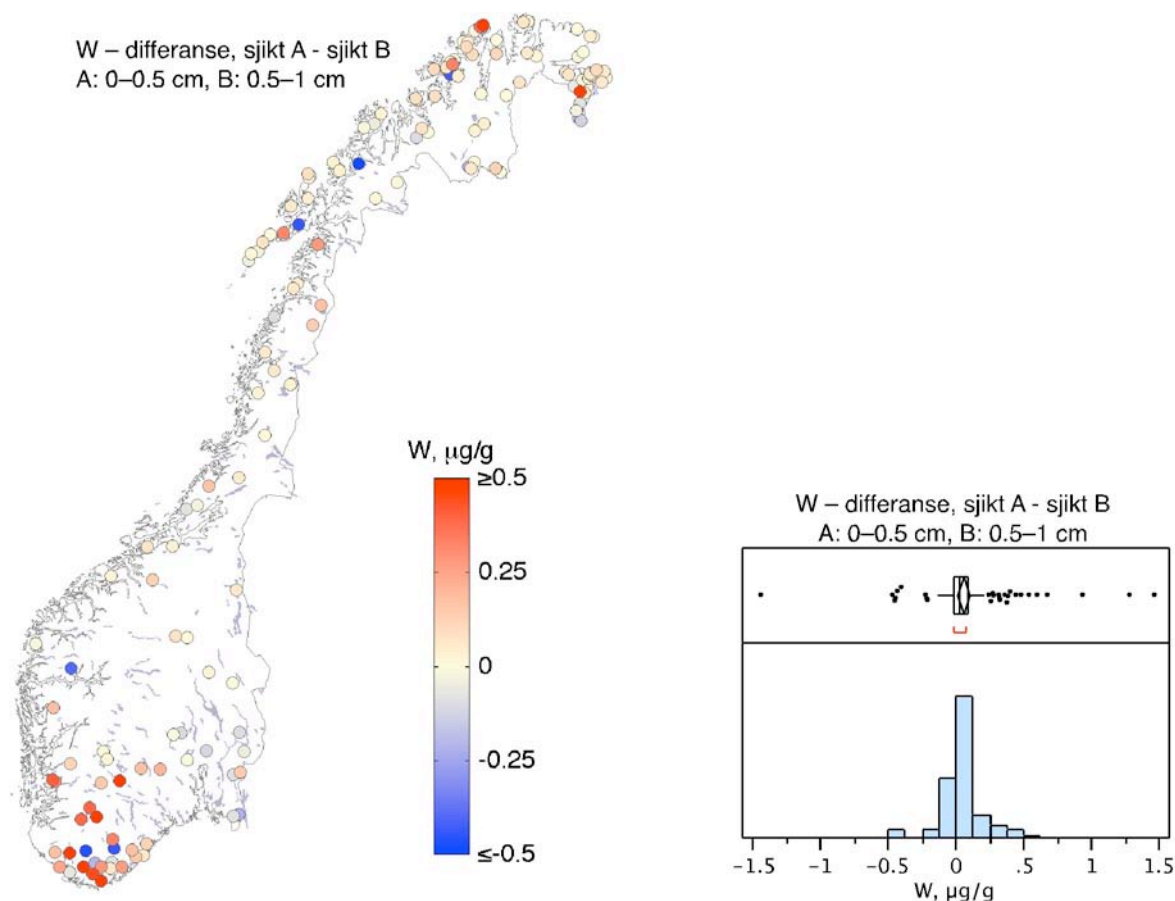
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser hovedsakelig det samme variasjonsmønsteret unntatt i de regionale kildeområdene. Dette tyder på at det er geokjemisk gallium som skaper dette mønsteret og at preindustrielle atmosfæriske forurensninger ikke er en kilde.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser økninger på Vestlandet og avtak i mange områder i sørlige deler av landet samt langs kysten fra Lofoten og til Tromsø. Dette kan for Sør-Norges del skyldes reduserte utslipp i andre deler av Europa, men for kysten i Nord-Norge er den vanskelig å forklare. Ellers i landet er det generelt ubetydelige forskjeller. Sjiktens alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogledd landskap.



**Figur 42.** Wolfram (W) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.





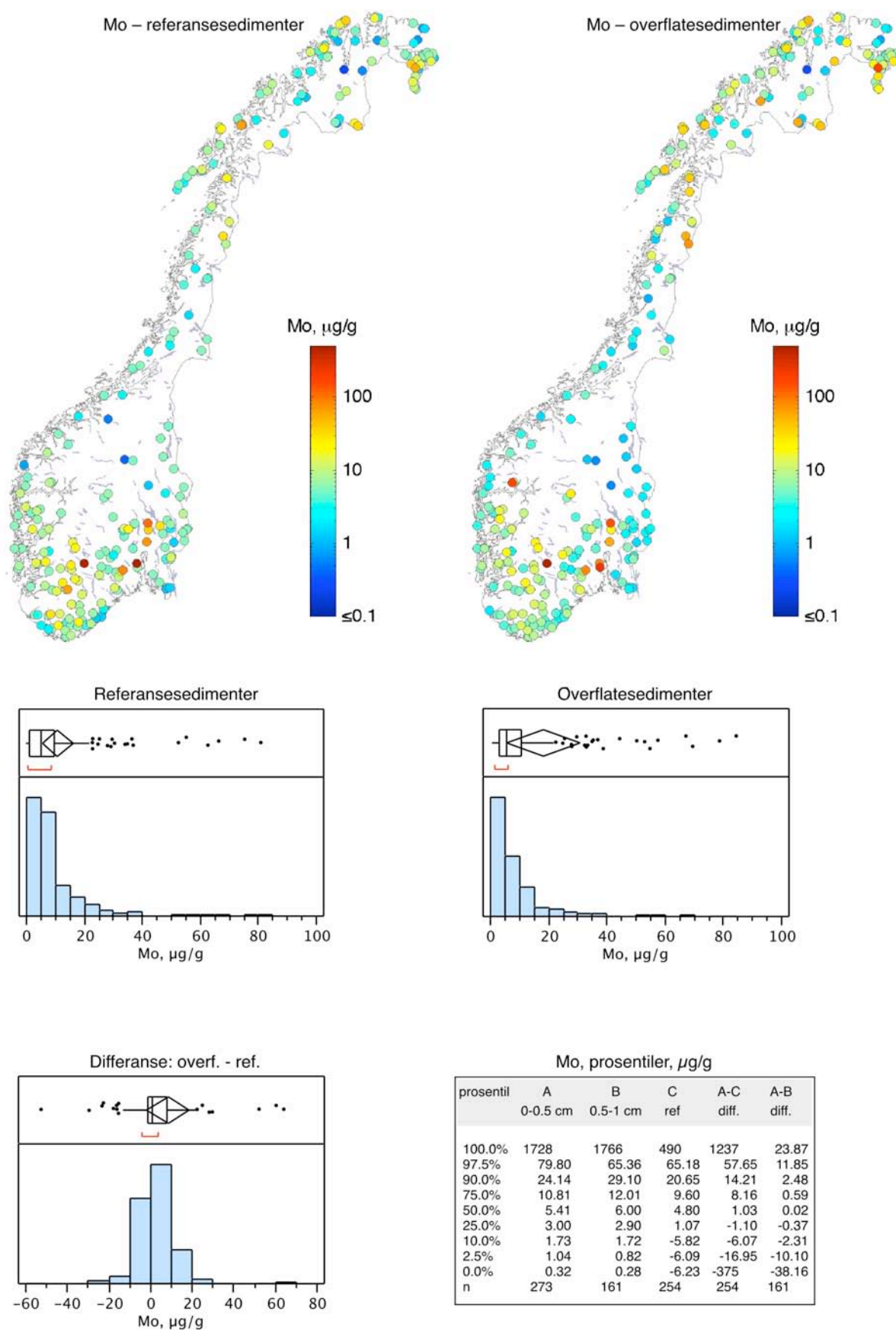
**Figur 43.** Differansen i konsentrasjoner av wolfram (*W*) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.20 Wolfram – W

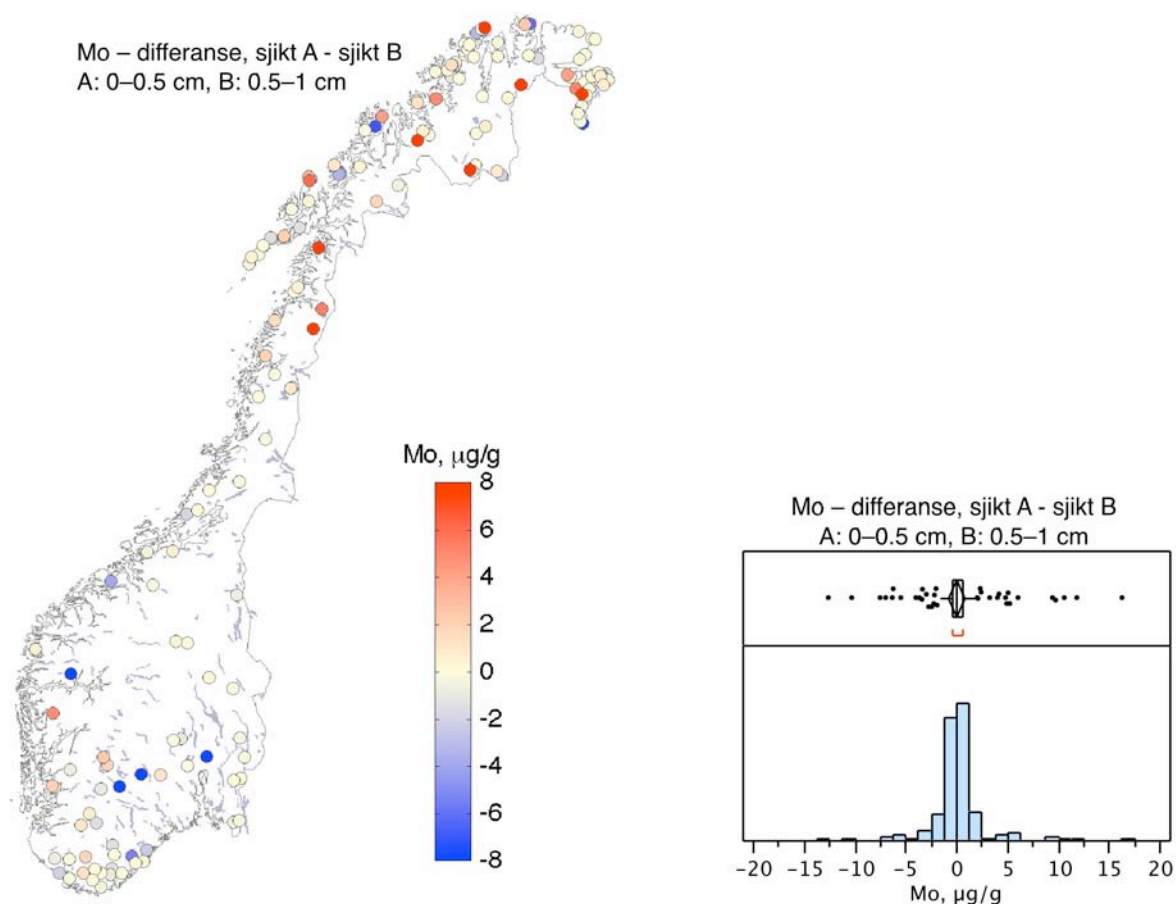
Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser at atmosfæriske langtransporterte forurensninger er en viktig kilde i deler av Sør-Norge. Det er forhøyde konsentrasjoner på Sørlandet og sørlige deler av Østlandet. Det er også høyere konsentrasjoner stedvis langs kysten i Troms og Finnmark, men her skyldes dette at konsentrasjonene i referansesedimentene også er høyere enn resten av landet og atmosfæriske avsetninger er derfor en ubetydelig kilde.

Konsentrasjonene i referansesedimentene viser ikke samme variasjonsmønster. De høyeste verdiene er i Nord-Norge og indre deler av Vestlandet. Dette tyder på at det er geokjemisk wolfram som skaper dette mønsteret og at preindustrielle atmosfæriske forurensninger ikke er en kilde.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser økninger i sørlige deler landet. Dette kan skyldes økte utslipp i andre deler av Europa. Enkelte innsjøer i Nord-Norge viser også økninger som kan skyldes lokale kilder, men generelt var det ubetydelige forskjeller. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogledd landskap.



**Figur 44.** Molybden (Mo) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.

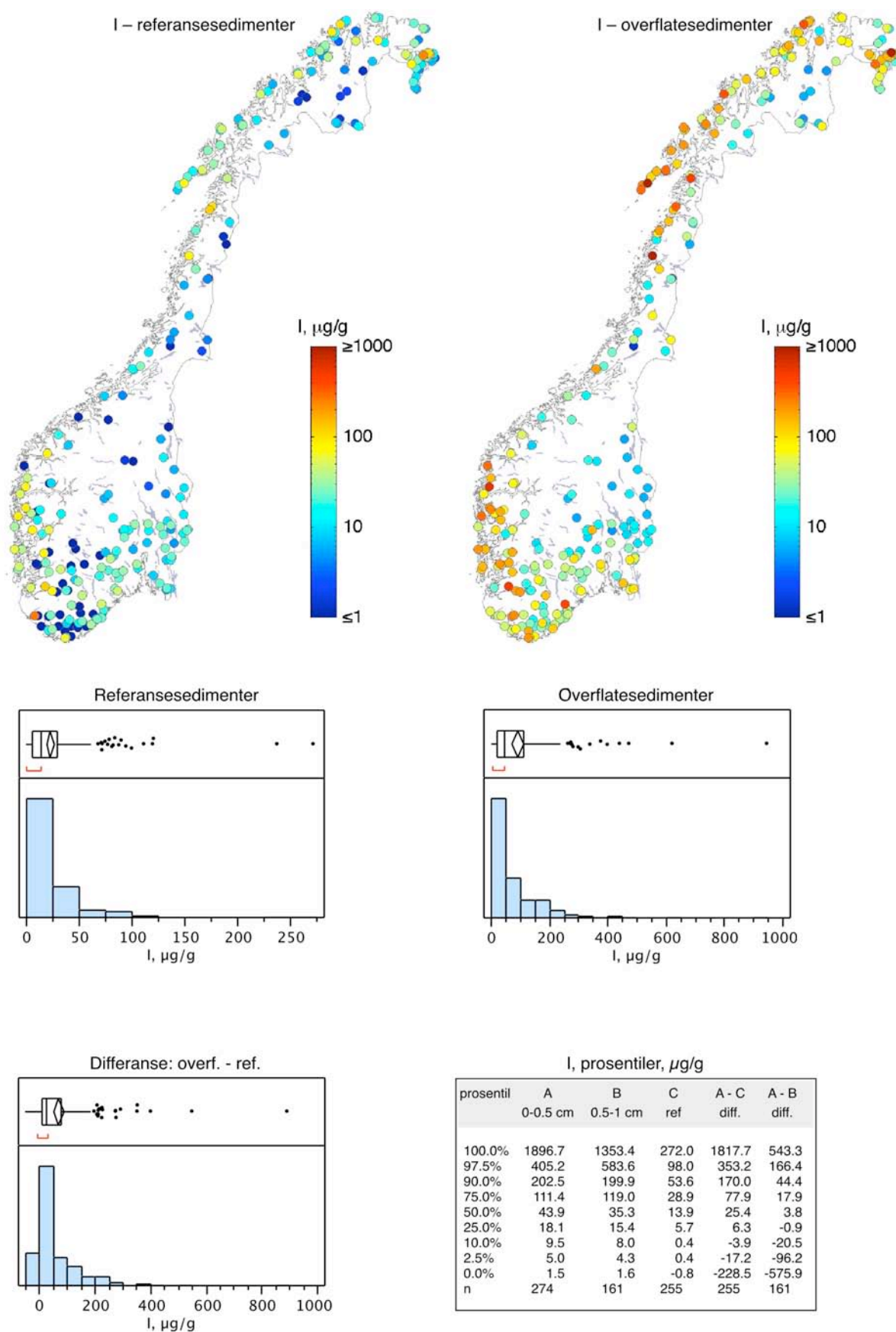


**Figur 45.** *Differansen i konsentrasjoner av molybden (Mo) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.*

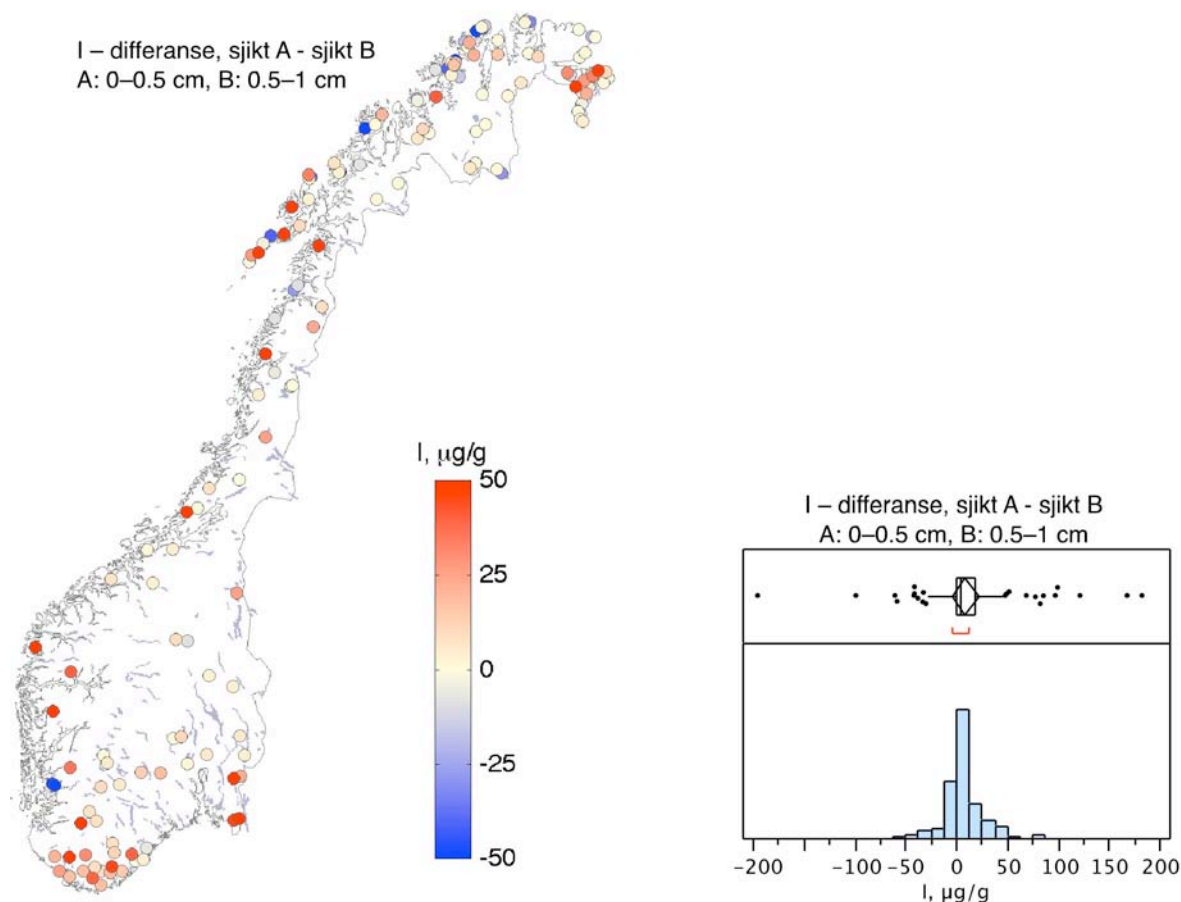
### 5.2.21 Molybden – Mo

Konsentrasjonene i overflatesedimentene viser et regionalt mønster som er svært likt det vi finner i referansesedimentene. Dette viser at konsentrasjonene i overflatesedimentene i hovedsak er dominert av de lokale geokjemiske konsentrasjonene av molybden. De høyeste konsentrasjonene finnes i indre deler av Sør-Vestlandet og Nord-Norge.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser ingen endring i de fleste områder. Enkelte sedimenter i Sør-Norge har en reduksjon, mens enkelte områder i Nord-Norge har en økning. Det er lite trolig at dette har noe med endringer i atmosfæriske avsetninger å gjøre, men kan skyldes varierende andel uorganisk materiale i sedimentene. Sjiktens alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0,5 cm i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.



**Figur 46.** Jod (I) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



**Figur 47.** Differansen i konsentrasjoner av jod (I) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

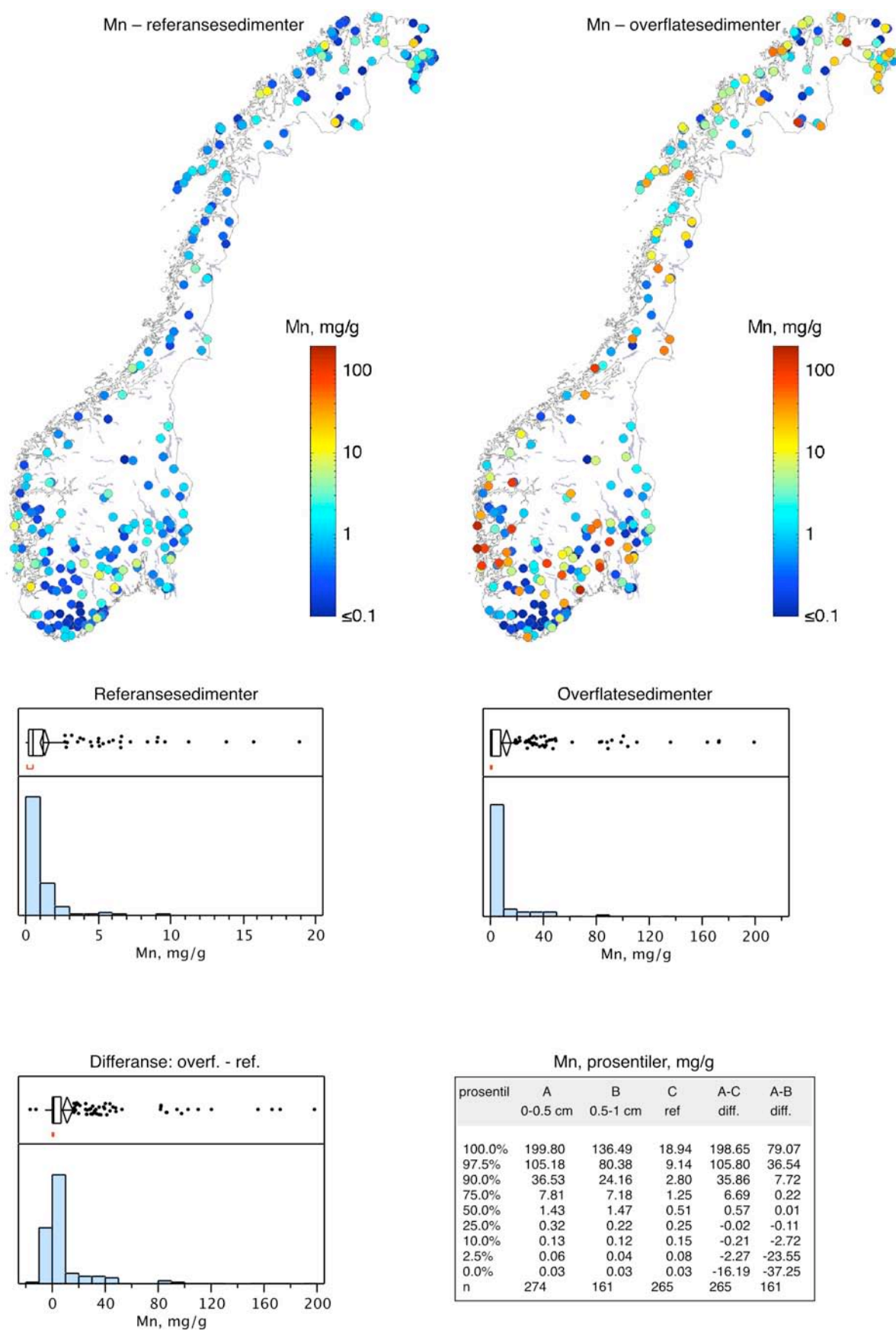
### 5.2.22 Jod – I

De forhøyede konsentrasjoner i overflatesedimenter er det i kystområdene i hele landet, men det samme regional mønsteret er det også i referansesedimentene selv om konsentrasjonene er noe lavere. Dette viser at jod av marint opphav er en kilde i kystområdene, men at atmosfæriske langtransporterte forurensninger også kan være en kilde. Jod har imidlertid stor mobilitet i sedimenter og noe av konsentrasjonsøkningen fra referanse- til overflatesedimentene kan skyldes naturlige prosesser.

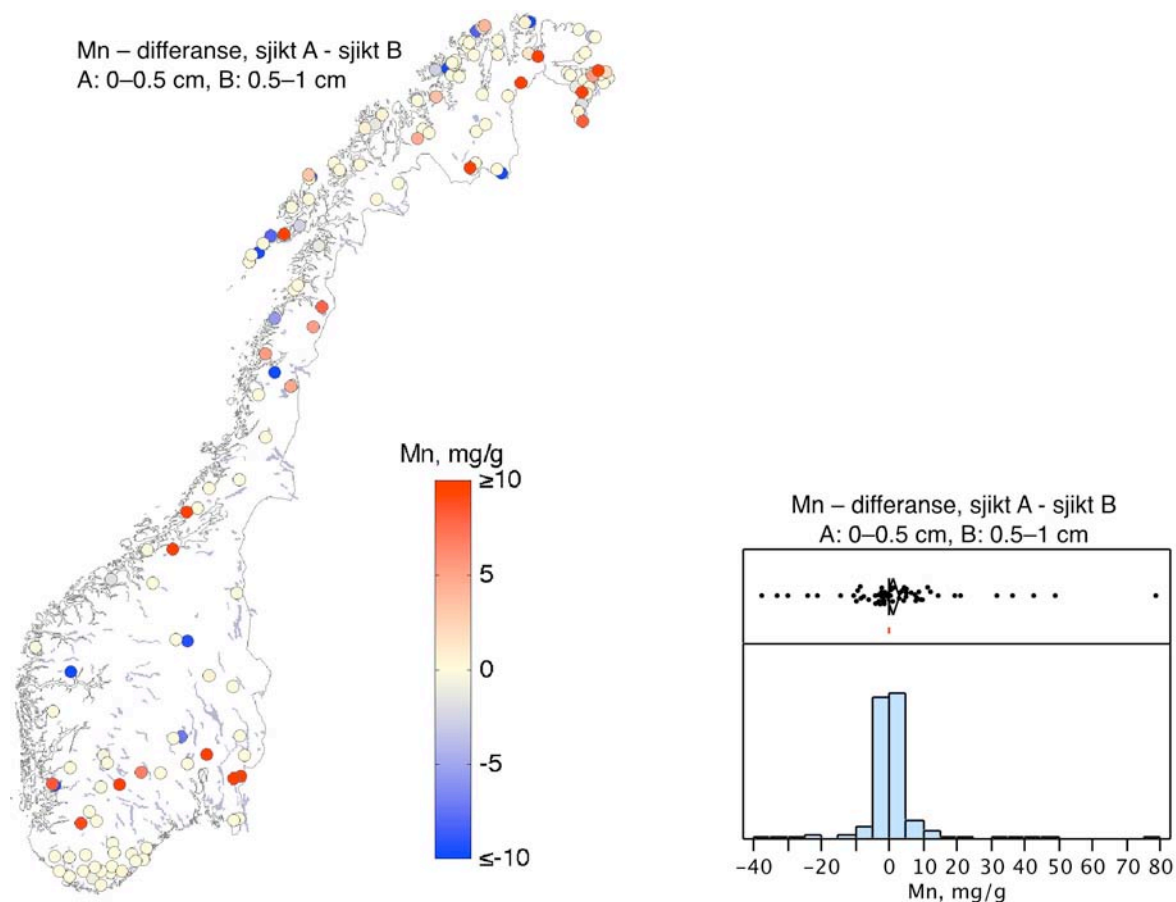
Konsentrasjonene i referansesedimentene viser generelt samme variasjonsmønster, men konsentrasjoner er noe lavere enn i overflatesedimentene. I andre deler av landet enn i kystnære områder er konsentrasjonene lave i referansesedimentene og preget av geokjemisk jod.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser generelt en økning. Jod er et mobilt element som oftest er assosiert til sedimenterende organisk materiale. En del av anrikningen i overflatesjiktet kan skyldes naturlige årsaker og ikke bare atmosfæriske avsetninger av jod. Sjiktenes alderspenn kan også bidra noe til de regionale forskjellene, da 0–0,5 cm sjiktene i nord og i fjellet kan være avsatt over en lengre tidsperiode på grunn av lavere årlig sedimenttilvekst i et mindre skogkledd landskap.





**Figur 48.** Mangan (Mn) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



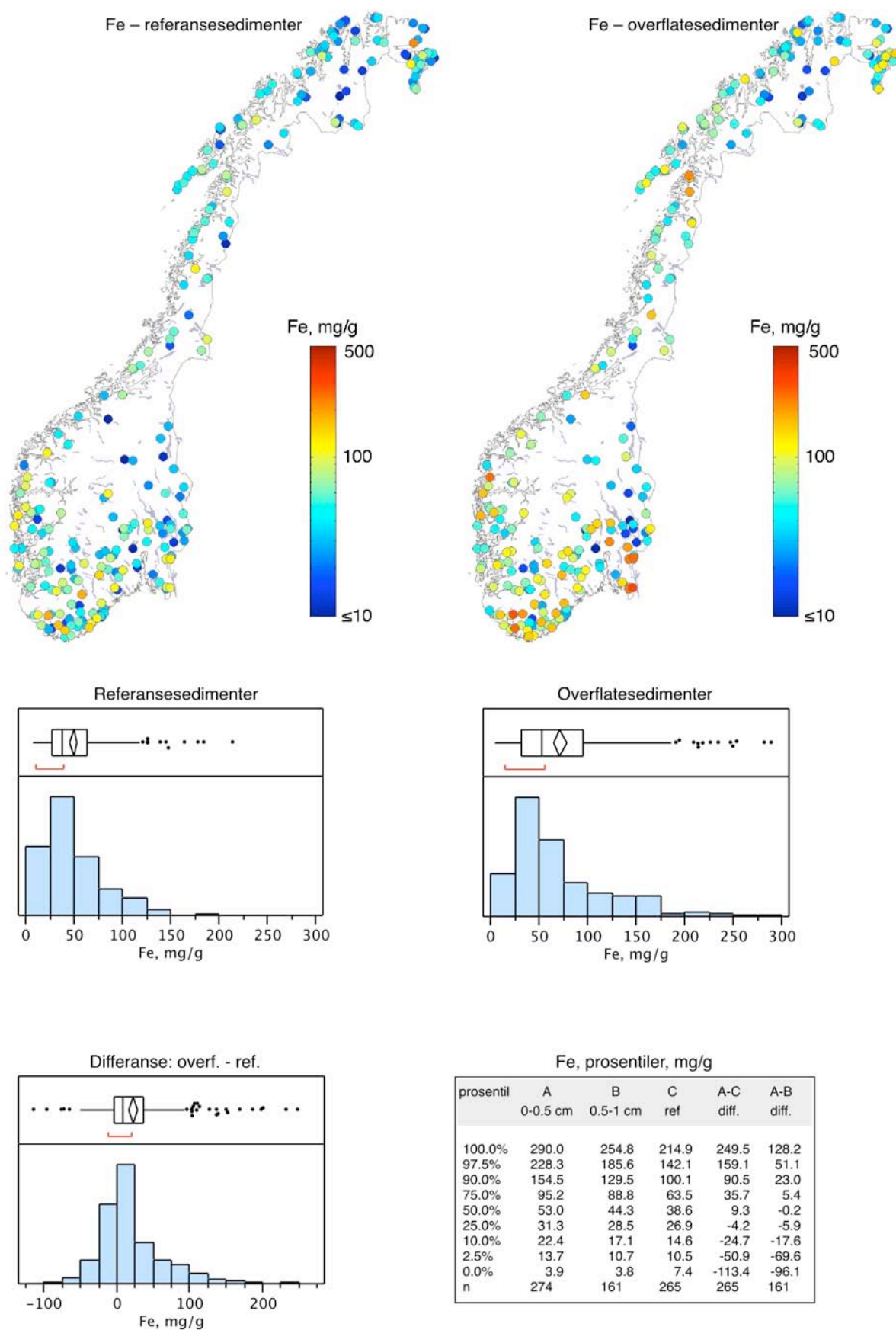
**Figur 49.** Differansen i konsentrasjoner av mangan (Mn) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

### 5.2.23 Mangan – Mn

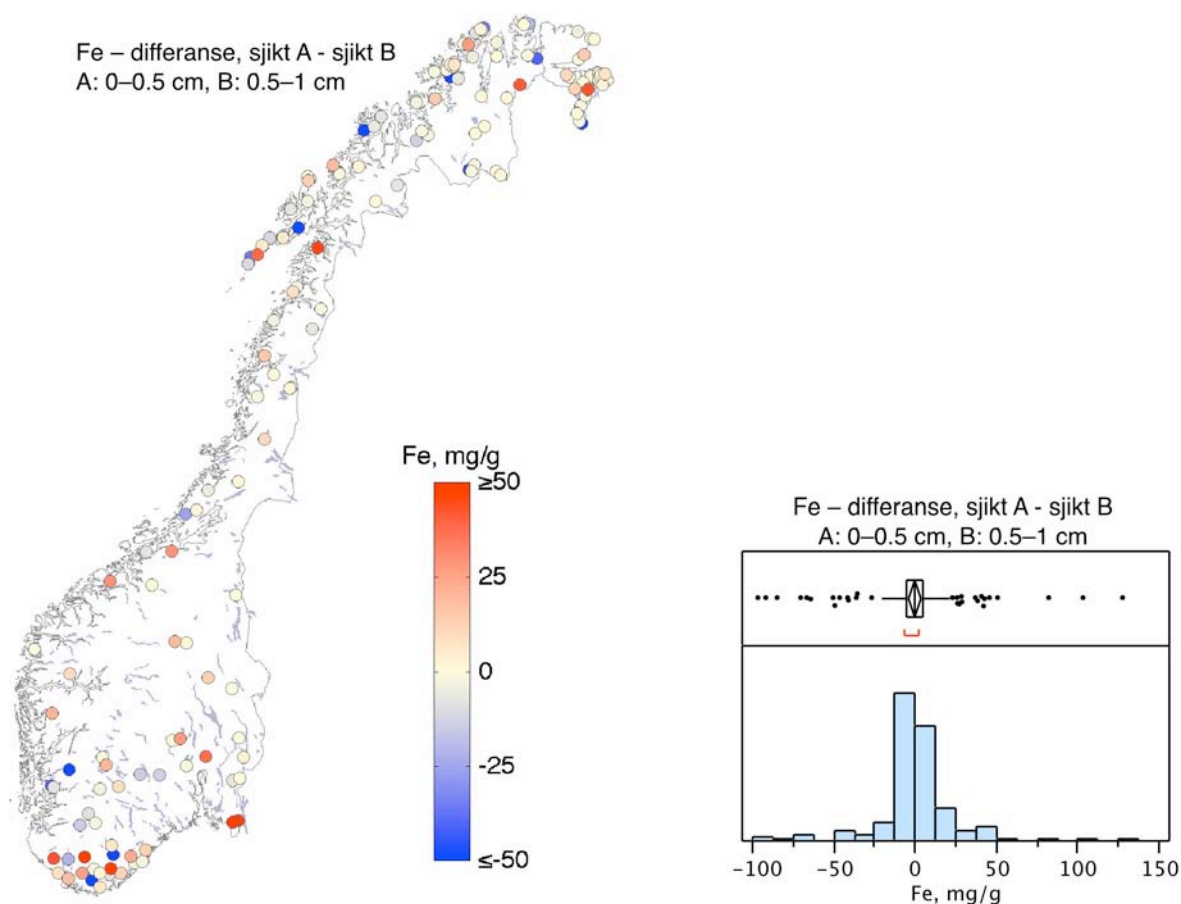
Det er generelt høyere konsentrasjoner av Mn i overflatesedimentene i forhold til referansesedimentene i mange deler av landet. Dette skyldes at mangan er et redoks-sensitivt element som under reduktive forhold nede i sedimentet kan løses og trekkes mot sedimentoverflaten hvor det oksiderer og felles ut. Slik var det imidlertid ikke i områder av Sør-Norge som har vært utsatt for en forurengning. Det gjelder Sørlandet, indre deler av Vestlandet og sørøstre deler av Østlandet. I disse forurengede områdene er en stor andel av mangan løst i vannet og i liten grad assosiert til partikler som sedimenterer. Derved har sedimentene i lang tid (hele forurengningsperioden) inneholdt lite mangan og redoks-reaksjoner får liten betydning for konsentrasjonene i overflatesedimentene.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser ikke endring i atmosfærisk avsatt mangan, men hovedsaklig egenskaper knyttet til sedimentasjon av mangan i surt miljø og redoksreaksjoner i organiske sedimenter. I de fleste innsjøsedimentene var det ingen endring som antagelig skyldes lav sedimentasjon av Mn (Sørlandet) eller liten effekt av redoksprosesser i sedimentet.





**Figur 50.** Jern (Fe) i referanse- (35–55 cm) og overflatesedimentene (0–0,5 cm). Tabellen viser prosentilene for de tre sedimentsjiktene, og differansene mellom disse.



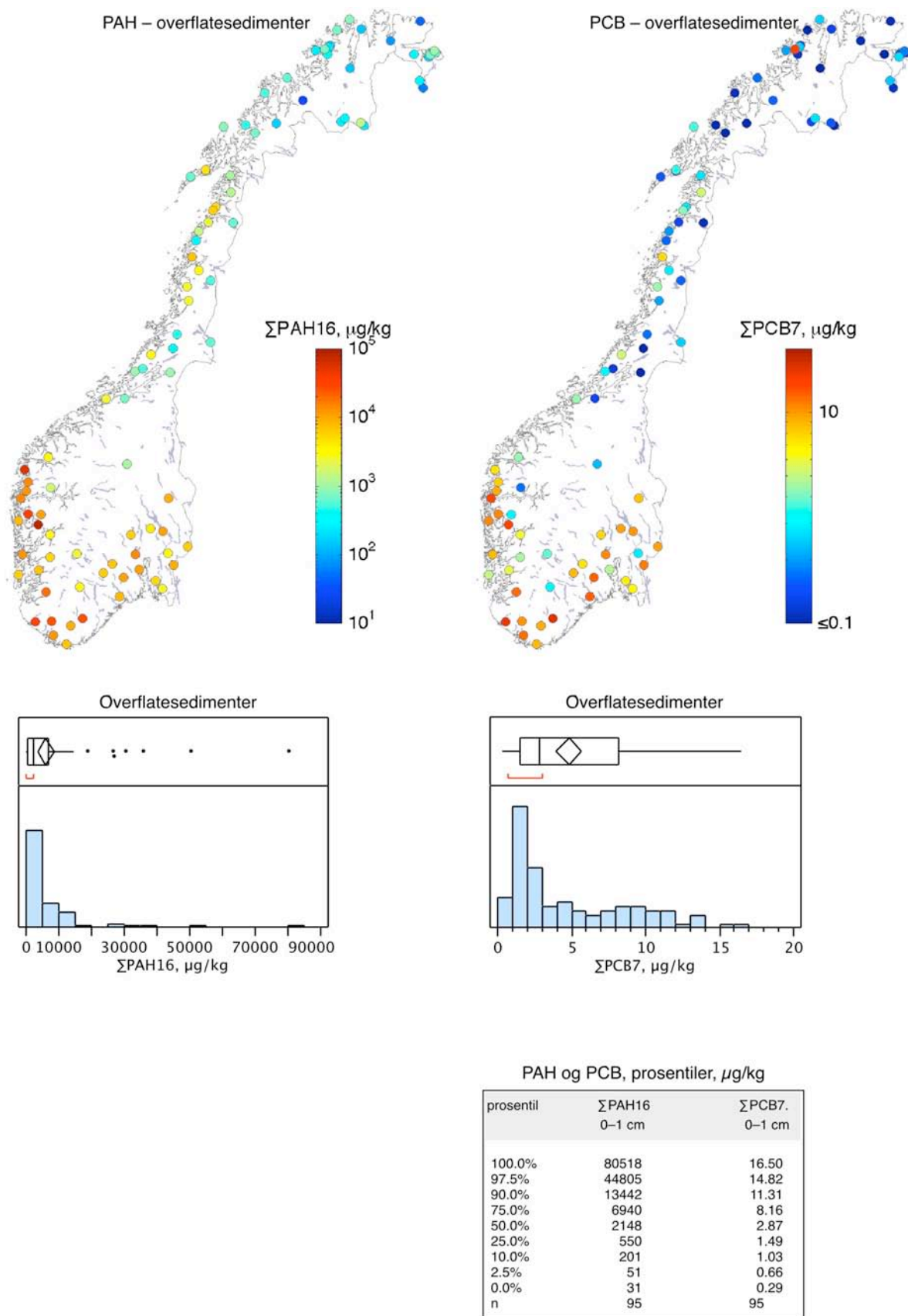
**Figur 51.** Differansen i konsentrasjoner av jern (Fe) mellom de to 0,5 cm overflatesjiktene.

#### 5.2.24 Jern – Fe

Det er generelt litt høyere konsentrasjoner av Fe i overflatesedimentene i forhold til referansesedimentene i mange deler av landet. Dette skyldes at Fe er et redoks-sensitivt element som under reduktive forhold nede i sedimentet kan løses og trekkes mot sedimentoverflaten – eventuelt ut i vannfasen hvor det kan oksideres og felles ut. Økte konsentrasjoner av Fe i overflatesedimentene skyldes derfor oftest naturlige prosesser i sedimentene og har ingen sammenheng med økte atmosfæriske avsetninger.

Konsentrasjonene i referansesedimentene må forventes å gjenspeile konsentrasjoner av geokjemisk Fe regionalt i landet.

Endringen i konsentrasjonene over tid indikert ved sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i forhold til avsetningene før ca. 1997 (0,5–1 cm) viser ikke endring i atmosfærisk avsatt jern, men hovedsaklig egenskaper knyttet til sedimentasjon av jern og redoksreaksjoner i organiske sedimenter. I de fleste innsjøsedimentene var det ingen nevneverdig endring, men i enkelte sedimenter i sjøer, fordelt over hele landet, har redoks-reaksjoner skapt en klar økning. For disse sjøene er det også en økning i As som er nært assosiert til Fe-syklus i innsjøer.



Figur 52. Konsentrasjonen av PCB og PAH i overflatesjiktet 0–1 cm.

### **5.2.25 PAH og PCB**

Konsentrasjonene av PAH og PCB i overflatesedimentene (0–1 cm) er klart høyest i sørlige og vestre områder i Sør-Norge. Noe lavere konsentrasjoner er det langs kysten fra Møre og Romsdal til Lofoten, mens konsentrasjonene er lavest i indre deler av Nordland, Troms og Finnmark. Dette er et mønster som er svært likt konsentrasjonsmønsteret i overflatesedimenter for elementer der avsetninger av atmosfæriske forurensninger er en viktig kilde. Det er et unntak fra dette der en innsjø ved Hammerfest området hadde PCB-konsentrasjoner i sedimentet på nivå med de høyeste i Sør-Norge.

## 6. Statistisk analyse

Det ble gjort en statistisk multivariate analyser over sammenhengen mellom konsentrasjonene av utvalgte elementer i overflatesedimenter. Utvalget er en skjønsmessig representering av elementer med et betydelige langtransportert atmosfærisk bidrag og elementer preget av mer regionale/lokale.

### 6.1 Clusteranalyse

Formålet med en clusteranalyse er å organisere multivariate observasjoner (objekter med flere målte egenskaper) i grupper på en slik måte at medlemmene i de enkelte gruppene har mest mulig felles egenskaper og at gruppene atskiller seg fra hverandre.

Med en clusteranalyse (Figur 53) kunne vi identifisere 12 ulike clusterer (grupper) av innsjøer som hadde tildels svært forskjellige karakteristikk med hensyn til elementkonsentrasjonene. Ved hjelp av en to-veis clusteranalyse kunne vi identifisere hvilke felles egenskaper de enkelte clusterene hadde.

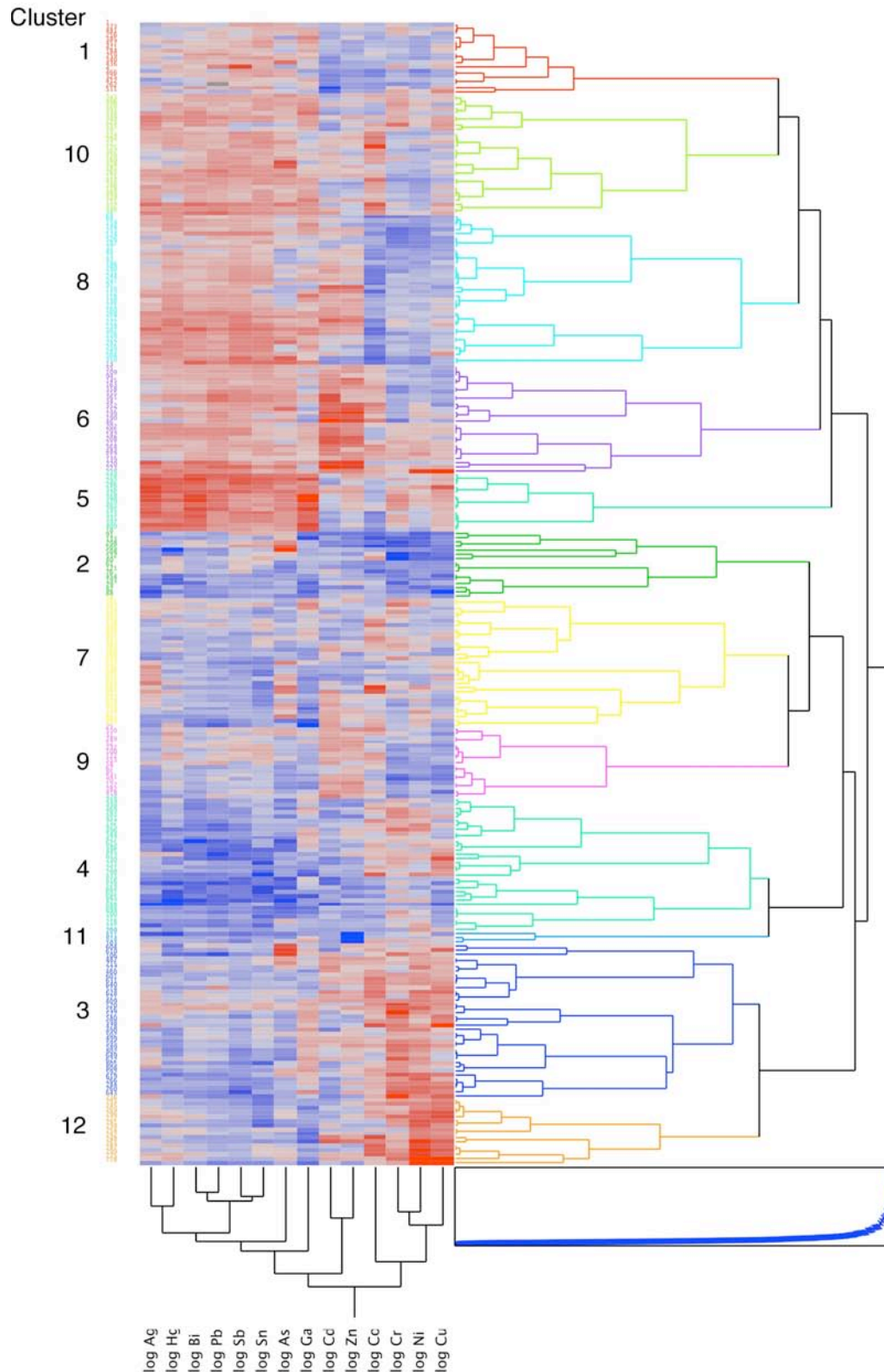
Den to-veis clusteranalysen viste at innsjøene i hovedsak ble gruppert etter konsentrasjonene av tre grupper elementer: én gruppe ble særlig dominert av Pb, Hg, Sb, Bi, Sn, Ga og Ag; en annen gruppe ble i hovedsak dominert Cu, Ni, Cr og Co; en tredje gruppe ble dominert av Cd og Zn. De øvrige gruppene hadde i hovedsak et moderat til lavt innhold av ulike kombinasjoner av disse elementene.

På kartene i Figur 54 har vi vist den geografiske fordelingen av de 12 ulike clustrene, og vi vil i det følgende ta for oss noen av de viktigste resultatene

En gruppe av clusterer (nr. 5, 6, 8 og 10), beliggende i mer kystnære og lavereliggende områder i Sør-Norge, er markert til betydelig forhøyet på atmosfærisk langtransporterte elementer (Long Range Transported Pollutants, LRTP-elementer) i gruppen Ag, As, Bi, Hg, Pb og Sn. Cluster nr. 5, som besto av en gruppe innsjøer beliggende på Sørlandet og i kystnære området på Vestlandet, særpreget seg ved at den i tillegg har betydelig forhøyde konsentrasjoner av Ga.

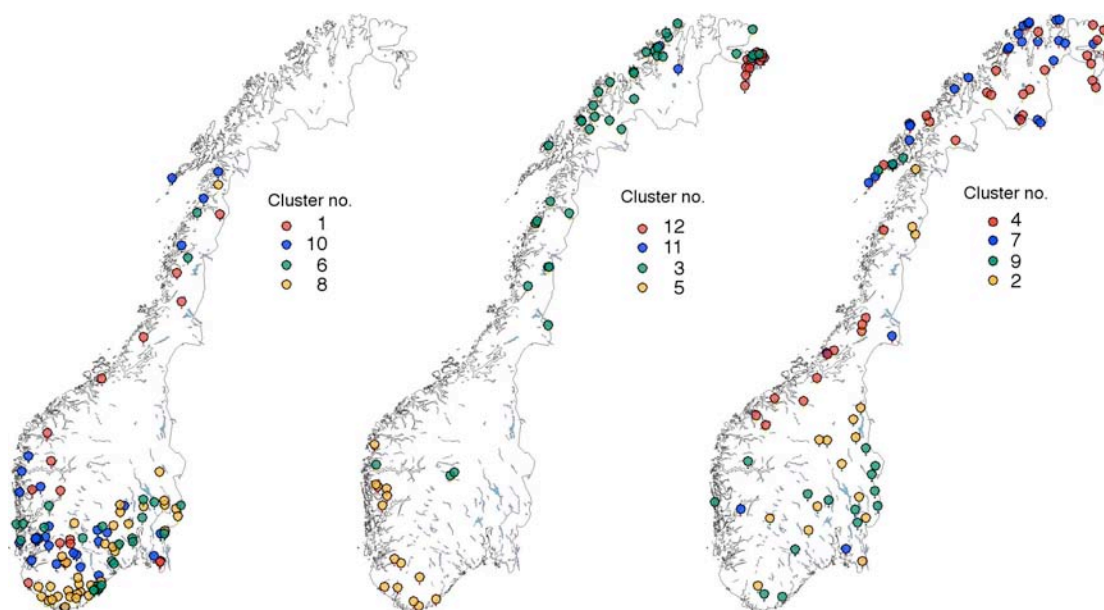
To andre clusterer, nr. 12 og nr. 3 har høye konsentrasjoner av særlig Cu, Ni, Cr og Co, men har ellers relativt lave konsentrasjoner av gruppen LRTP-elementer. Innsjøene i cluster nr. 12 ligger samtlige i Øst-Finnmark i Jarfjord/Pasvik-området. Disse er influert av utslippene til luft fra smelteverkene i Nikel. Cluster nr. 3 er innsjøer som i hovedsak ligger i Nord-Norge, hovedsakelig på sedimentære bergartene, og de har naturlig høyere konsentrasjoner av disse elementene.

En tredje gruppe clusterer hadde høye konsentrasjoner av Cd og Zn. Dette var cluster nr. 2 og 9, som er innsjøer som særlig ligger i Sør-Øst Norge. Disse hadde moderat høye konsentrasjoner av LRTP-elementene. I tillegg til disse hadde cluster nr. 6, som inngikk i gruppen med høye konsentrasjoner av LRTP-elementer, også høye konsentrasjoner av Cd og Zn. Dette er en gruppe innsjøer som ligger i lavereliggende deler, men i liten grad ved kysten, av Sør-Norge.



**Figur 53.** Dendrogram basert på en clusteranalyse av konsentrasjonen av 14 ulike elementer i overflatesedimentene. Fargene i mosaikk-plottet viser verdien for hver variabel på en kontinuerlig fargeskala fra blått (lav) til rødt. Scree-plottet nede til høyre viser avstanden mellom clustrene og knekkpunktet indikerer området som det er naturlig å inndele materialet i.





**Figur 54.** Geografisk beliggenhet av innsjøene i de ulike clustrene. For å lette oppfattelsen av det geografiske mønsteret, og unngå at punktene overlapper hverandre, har vi plottet clustrene inn på tre forskjellige kart.

## 6.2 Prinsipal komponentanalyse (PCA)

Denne analysen viste at de tre første prinsipale komponentene beskrev i alt 76,4 % (kumulativ prosent) av den samlede variansen i datasettet (Tabell 3).

Den første prinsipale komponenten beskrev nær 44 % av variansen i datasettet, og egenvektorene viste at den ble dominert av en positiv påvirkning av Ag, As, Bi, Ga, Hg, Pb, Sb og Sn. Dette er i første rekke atmosfærisk langtransporterte elementer (LRTP-elementer), men innenlandske kilder kan også bidra med slike (slik som smelteverk, metallgjenvinning, transport). De naturgitte geokjemiske konsentrasjonene vil også bidra til variasjonsmønsteret, men for flere av disse elementene er disse av mindre betydning da konsentrasjonene i referansesedimentene er betydelig lavere enn i overflatesedimentene.

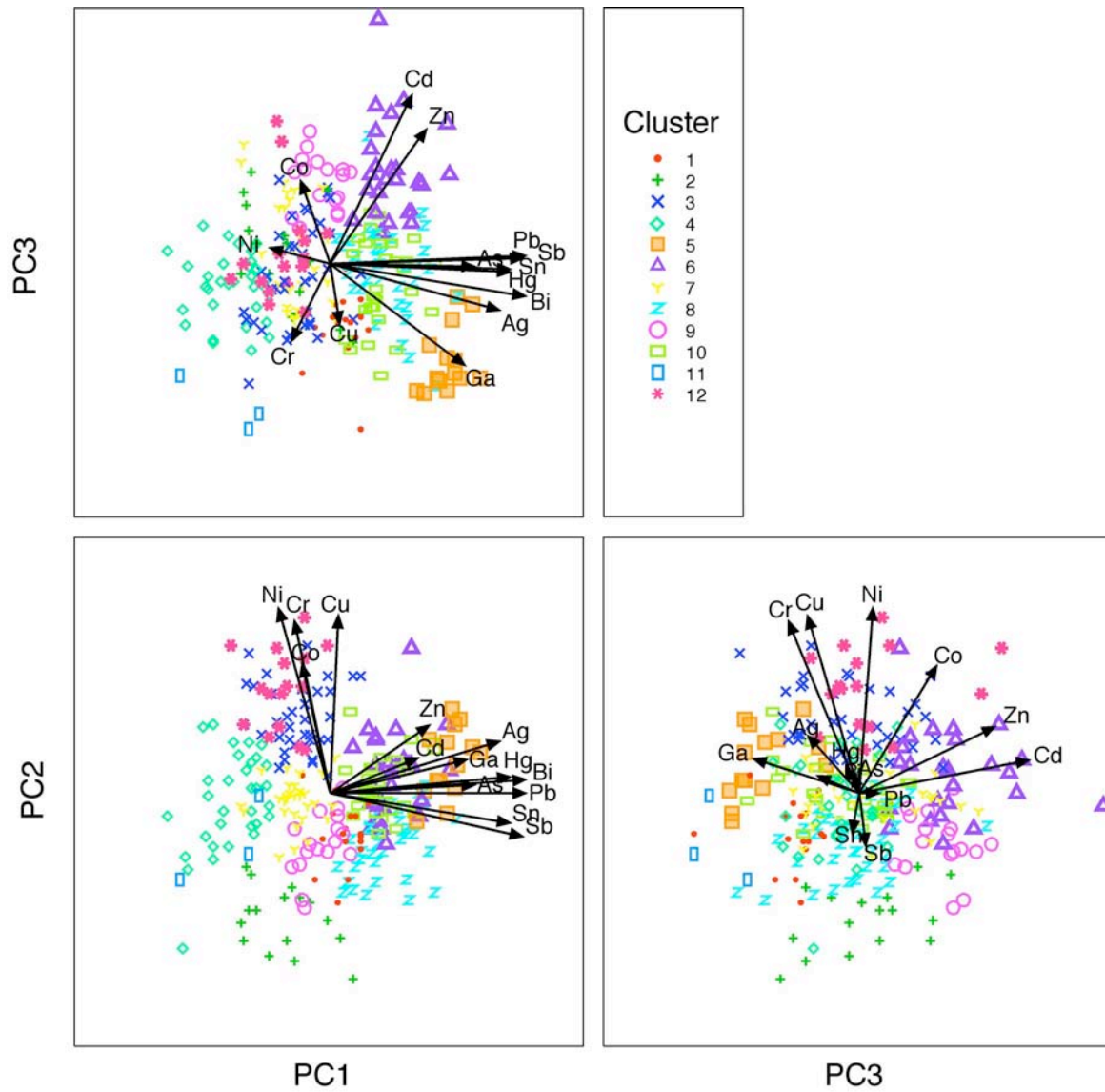
Den andre prinsipale komponenten beskrev omlag 20 % av variansen, og ble i hovedsak dominert av en positiv innflytelse av Co, Cr, Cu og Ni. Den tredje prinsipale komponenten beskrev omlag 12 % prosent, og ble i hovedsak dominert av en positiv innflytelse av Cd og Zn.

Biplottene i Figur 55 viser hvorledes clustrene fordeler seg langs de tre viktigste dimensjonene som PCA-analysen identifiserte. Clustrene med høye konsentrasjoner av atmosfærisk langtransporterte elementer, LRTP-clustrene, skårer høyt på prinsipal komponentakse 1 (PC1). Clusteret fra Øst-Finnmark, som særlig har høye konsentrasjoner av Cu, Ni, Cr og Co (cluster nr. 12) skårer høyt på prinsipal komponentakse nr. 2 (PC2). Cluster nr. 6 fra Sør-Norge, som i tillegg til noe høye konsentrasjoner av de såkalte LRTP-elementene

også har høye konsentrasjoner av Cd og Zn, og skårer høyt på prinsipal komponentakse 3 (PC3).

**Tabell 3.** *Prinsipal komponentanalyse (PCA) av konsentrasjonene av utvalgte elementer i overflatesedimentene. Resultatene er vist for de tre første prinsipale komponentene.*

	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
Eigenvalue	6,15	2,87	1,67
Percent	43,94	20,49	11,94
Cum Percent	43,94	64,44	76,38
<b>Loading</b>			
log Ag	0,33	0,15	-0,17
log As	0,28	0,03	-0,00
log Bi	0,38	0,04	-0,12
log Cd	0,16	0,10	0,62
log Co	-0,05	0,35	0,29
log Cr	-0,07	0,49	-0,26
log Cu	0,02	0,51	-0,18
log Ga	0,26	0,10	-0,36
log Hg	0,35	0,05	-0,02
log Ni	-0,10	0,53	0,05
log Pb	0,38	0,00	0,03
log Sb	0,38	-0,12	0,02
log Sn	0,35	-0,08	-0,01
log Zn	0,19	0,19	0,50



**Figur 55.** Biplott basert på en prinsipal komponentanalyse av konsentrasjonene av utvalgte elementer i overflatesedimentene.

## 7. Konklusjon

Atmosfæriske avsetninger av Hg, Pb, Sb, Bi, og As har forurenset innsjøsedimenter over hele landet. Betydelig forurenset er et 150 km bredt område fra Østfold til Stadtlandet. I dette området er påslaget i konsentrasjoner fra pre-industriell tid og fram til i dag størst for Pb med typiske verdier (70–370 µg/g) etterfulgt av As (9–140 µg/g), Bi (0,5–4 µg/g), Sb (0,01–1,3 µg/g) og Hg (0,15–0,65 µg/g). Kystområdene i Nord-Norge er markert forurenset, mens indre og ofte høyereliggende områder er generelt minst forurenset. Dette mønsteret henger sammen med at metallene vaskes ut med nedbør (størst ved kysten) og at Sør-Norge er nærmest kildeområdene i Europa. I sørlige deler av landet var det lavere konsentrasjoner i sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) enn i sedimenter avsatt i foregående ti-års periode (0,5–1 cm). Dette indikerer reduserte utslipp i Europa den senere tiden

Atmosfæriske avsetninger av Sn og Te har også forurenset innsjøsedimenter over hele landet, unntatt i indre deler av Østlandet, Troms og Finnmark. De mest forurensete områdene er de samme som for de ovennevnte elementene, men særlig Sørlandet og Vestlandet der det typiske påslaget i konsentrasjoner av Sn og Te fra pre-industriell tid og fram til i dag er henholdsvis (1–20 µg/g) og (0,14–1,5 µg/g). I sør- og sørvestre av landet var det høyere konsentrasjoner i sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) enn i sedimenter avsatt i foregående ti-års periode (0,5–1 cm). Dette kan ha sammenheng med at begge elementer er i vesentlig grad knyttet til utslipp etter 1940 (høgteknologisk periode) og at utslippene kan ha økt i Europa den senere tid.

Atmosfæriske avsetninger av Se, Cd, Tl og Ag har forurenset innsjøsedimenter hovedsakelig i Sør-Norge og typiske påslag fra pre-industriell tid og fram til i dag i de mest forurensete områdene er henholdsvis 1,3–6,8 µg/g, 0,3–3,4 µg/g, 0,10–1,45 µg/g og 0,1–0,6 µg/g. I sør- og sørøstre deler av landet var det lavere konsentrasjoner i sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) enn i sedimenter avsatt i foregående ti-års periode (0,5–1 cm), antagelig som følge av reduserte utslipp i Europa.

For elementene Ga og W er sedimentene mest forurenset på Sørlandet og Vestlandet og typiske verdier i påslaget fra pre-industriell tid til i dag i henholdsvis 1–5 µg/g og 0,1–3,4 µg/g. Konsentrasjonene av Ga i sedimenter i sør- og sørlige deler av landet, avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) var lavere enn i sedimenter avsatt i foregående ti-års periode, mens det for W ble funnet en økning. Begge elementene er bl.a. knyttet til produksjon av elektriske og elektroniske produkter, men finnes også i utslipp fra smelteverksindustri (f.eks. aluminiumsverk som finnes på Lista). Forskjellen er vanskelig å forklare, men kan skyldes endringer i lokale kilder i den aktuelle perioden

Sedimentene på Sørlandet og sørlige deler av Østlandet er mest forurenset av Zn. I tillegg er også sedimenter i Jarfjordområdet i Øst-Finnmark noe forurenset. Typiske verdier i påslaget fra pre-industriell tid og fram til i dag i disse områdene er 10–200 µg/g. I sør- og sørlige deler av landet var konsentrasjonen i sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) lavere enn i sedimenter avsatt i foregående ti-års periode, mens det i Jarfjordområdet ble påvist en svak økning. Reduksjonen i sør skyldes reduserte utslipp, spesielt i Øst-Europa, mens økning i nord kan skyldes økte utslipp i forbindelse med økt produksjon ved smelteverket i Nikel.

Sørlandet er mest forurenset av V, Cr, Mo, Au, og typiske verdier i påslaget fra pre-industriell tid og fram til i dag i disse områdene er henholdsvis 10–45 µg/g, 5–14 µg/g, 1–14 µg/g og 0,002–0,007 µg/g. Det var lavere konsentrasjoner av V og Cr i sedimenter avsatt etter ca. 1997

(0–0,5 cm) sammenliknet med sedimenter avsatt i foregående ti-års periode, noe som kan skyldes reduserte utslipp i Europa. For Mo og Au var det ingen endring. For Au er konsentrasjonene svært lave og små signifikante endringer vil være vanskelig å oppdage.

Sedimentene er mest forurenset av Co, Cu, Ni på Sørlandet og på Jarfjordfjellet i Øst-Finnmark og typiske verdier i påslaget fra pre-industriell tid og fram til i dag i disse områdene er henholdsvis 1–150 µg/g, 1–80 µg/g, 1–90 µg/g. Konsentrasjonene i sedimenter avsatt etter ca. 1997 (0–0,5 cm) i sør- og sørlige deler av landet var lavere enn i sedimenter avsatt i forrige ti-års periode, mens det i Jarfjordområdet ble registrert en svak økning. Reduksjonen i sør skyldes reduserte utslipp, spesielt i Øst-Europa, mens økning i nord kan skyldes økte utslipp i forbindelse med økt produksjon ved smelteverket i Nikel på Kolahalvøya i denne tidsperioden.

Sedimentene er mest forurenset av PAH og PCB langs kysten fra Østfold til Stadtlandet, men også kyststrøkene – spesielt langs Nordlandskysten – er påvirket. Dette er et mønster som er svært likt de regionale mønstrene vi har vist for elementer der langtransporterte atmosfæriske avsetninger er dominerende forurensningskilder. Både PAH og PCB vaskes ut med nedbør, og nedbørsmengdene er størst i kystnære strøk. Dette er en viktig faktor for de regionale konsentrasjonsfordelingene. For PCB, som for de undersøkte innsjøene hovedsakelig har hatt de største kilder utenfor landets grenser (også gjennom reemitering av PCB fra tidligere forurensete områder), er det rimelig å anta at langtransporterte forurensninger er dominerende kilde. Når det gjelder PAH er det trolig at også industri langs kysten, skipstrafikk og fakling på oljeplattformer gir et bidrag i tillegg til de atmosfæriske langtransporterte kildene.

På bakgrunn av omfang og konsentrasjonsøkningen siden preindustriell tid konkluderer vi med at atmosfæriske avsetninger av Pb, As, Zn og Sn har forurenset norske innsjøer mest av de undersøkte elementene. Hg omdannes til giftig metyl-Hg i innsjøer og våtmarker. Metyl-Hg akkumuleres i akvatiske næringskjeder, og høye konsentrasjoner i fisk i deler av landet har ført til kostholdsråd for konsum og ved restriksjoner for omsetning. På bakgrunn av de biologiske effektene ved atmosfæriske avsetninger av Hg er dette elementet det viktigste med hensyn til internasjonale forhandlinger om utslippsreduksjoner. På Sørlandet og i Øst-Finnmark er innsjøene også betydelig forurenset av Cu, Ni, Cr og Co hovedsakelig på grunn av utslipp fra lokal smelteverksindustri.

I de sørligste deler av landet har de fleste elementene vist en klar nedgang i konsentrasjoner i det øvre 0,5 cm overflatsjiktet i forhold til det underliggende 0,5 cm sjiktet. Dette viser at forurensning har avtatt siste 10 år i forhold til foregående 10–15 års periode. Dette skyldes reduserte utslipp i andre deler av Europa og særlig Øst-Europa. Unntakene fra dette er Sn, Te og W som har økt i de sørligste deler antagelig på grunn av økning i utslipp i Europa, samt for Cu og Ni i Øst-Finnmark på grunn av økte utslipp fra smelteverket i Nikel. Siden den forrige nasjonale undersøkelsen i 1996/97, der det bare ble observert reduksjoner i sørlige deler av landet for Pb og Cd, er det nå mer omfattende reduksjoner for mange elementer, inklusive Hg.





## 8. Referanser

- Bindler, R., Renberg, I., and Brännvall, M-L. 2001. A whole - basin study of sediment accumulation using stable lead isotopes and flyash particles in an acidified lake, Sweden. *Limnol. Oceanogr.* 46 (8):178-188.
- Bindler, R., Renberg, I., Anderson, N.J., Appleby, P.G., Emteryd, O., and Boyl, J., 2001a. Pb isotop ratios of lake sediments in West Greenland: references on pollution sources. *Atmos. Environ.* 35, 4675 – 4685.
- Brännwall, M.-L., Bindler, R., Emteryd, O., Nilsson, M., and Renberg, I., 2001. Stable isotope and concentration records of atmospheric lead pollution in peat and lake sediments in Sweden. *Water, Air, Soil Pollut.* 100, 243-252.
- Brännwall, M.-L., Kurkkio, H., Bindler, R., Emteryd, O., and Renberg, I., 2001. The role of pollution versus natural geological sources for lead enrichment in recent lake sediments and surface forest soils. *Environ. Geol.* 40, 1057-1065.
- Christensen, G.N., Evenset, A., Rognerud, S., Skjelkvåle, B.L., 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. SFT-report TA 2363-2008, Statlig program for forurensningsovervåking, SPFO-rapport 1013-2008. SFT-rapport TA 2363-2008. Statens forurensningstilsyn, Oslo.
- Grahn, E., Karlsson, S. and Düker, A. 2006. Sediment reference concentrations of seldom monitored trace elements (Ag, Be, In, Ga, Sb, Tl) in four Swedish boreal lakes – Comparison with commonly monitored elements. *Sci. Tot. Environ.* 367, 778-790.
- Hong, S.M., Candelone, J.P., Patterson, C.C., and Boutron, C.F., 1994. Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution 2 millennia ago by Greek and Roman civilizations. *Science* 265, 1841-1843.
- Karlsson, S., Grahn, E., Düker, A., and Bäckström, M., 2006. Historical pollution of seldom monitored trace elements in Sweden – Part A: Sediment properties and chronological indicators. *J. Environ. Monit.* 8: 721 – 731.
- Lithner, G., Holm, K. 2003. Nya metaller og föroreningar i svensk miljø. Institutet för tillämpad miljöforskning, Stockholms Universitet. Rapport 5306, 76 s.
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Bølviken, B., Volden, T., and Haugland, T. 2000. Geokjemisk atlas for Norge, del 1: Kjemisk sammensetning av flomsedimenter. Norges Geologiske undersøkning, Trondheim, 140s.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Bølviken, B., and Volden T. 1989. Overbank sediment: a representative sample medium for geokjemical mapping. *J. Geochem. Explor.* 31, 257-277.
- Renberg, I., Wik-Persson, M., Emteryd, O. 1994. Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments. *Nature* 368, 323 – 326.
- Rognerud, S. and Fjeld, E., 2001. Trace element contamination of Norwegian lake sediments. *Ambio* 30, 11-19.
- Rognerud, S. og Fjeld, E. 1990. Nasjonal undersøkelse av tungmetaller i innsjøsedimenter og kvikksølv i fisk. Statlig program for forurensningsovervåking. SFT-rapport 426/90.77s.
- Rognerud, S., Fjeld, E. og Løvik, J.E. 1999. Landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter. Statlig program for forurensningsovervåking. SFT-rapport 759/99. 74s.
- Rognerud, S., Fjeld, E., og Løvik, J.E. 1997. Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 1. Organiske mikroforurensninger. Statlig program for forurensningsovervåking. SFT-rapport 712/97. 37s + vedlegg.

Rognerud, S., Hongve, D., Fjeld, E and Ottesen, R.T. 2000. Trace metall concentrations in lake and overbank sediments in southern Norway. *Environ. Geol.*, 39, 723 – 732.

Rosman, K.J.R., Chrisholm, W., Hong, S.M., Candelone, J.P., and Boutron, C.F., 1997. Lead from Cartaginian and Roman Spanish mines isotopically identified in Greeland ice dated from 600 BC to 300 AD. *Environ. Sci. Technol.* 31, 3413 - 3416.

Shotyk, W., Cheburkin, A. K., Appleby, P.G., Frankhauser, A., and Kramers, J. D. 1996. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony, and lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland. *Earth Planet Sci. Lett.* 145; E1-7.

SFT 2006. Samordnet nasjonal overvåkning; effekter av langtransporterte forurensninger. Plan for programmet og framdriftsrapport for 2004 og 2005. TA-2182/2006. 62s

Skjelkvåle, B.L., Rognerud, S., Christensen, G.N., Fjeld, E., Røyset, O. 2008. Nasjonal innsjøundersøkelse 2004-2006, DEL I: Vannkjemi. Status for forsuring, næringssalter og metaller. SFT-rapport TA 2361-2008, Statlig program for forurensningsovervåking 1011-2008, NIVA-LNO 5548. Statlig program for forurensningsovervåking, SPFO-rapport, 956/2006, SFT-rapport; TA-2182/2006. Statens Forurensingstilsyn, Oslo.

Skjelkvåle, B.L., Christensen, G., Fjeld, E., Høgåsen, T., Oredalen, T.J., Rognerud, S., Schartau, A.K., Solheim, A., 2003. Nasjonale programmer for innsjøovervåking samordning av lokaliteter og framtidige utfordringer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport l. nr OR-4655. 27s + vedl.

Steinnes, E., Sjøbakk, T.E., Donisa, C., Brännvall, M-L. 2005a. Quantification of pollutant lead in forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 1399 – 1404.

Steinnes, E., Åberg, G., and Hjelmseth, H. 2005b. Atmospheric deposition of lead in Norway: spatial and temporal variation in isotopic composition. *Sci. Tot. Environ.* 336, 105 – 117.


**Statlig program for forurensningsovervåking**


Statens forurensningstilsyn (SFT)

Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo - Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00 - Telefaks: 22 67 67 06

 E-post: [postmottak@sft.no](mailto:postmottak@sft.no) - Internett: [www.sft.no](http://www.sft.no)

Utførende institusjon NIVA	ISBN-nummer 82-577-5284-2
-------------------------------	------------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig Brit Lisa Skjelkvåle	Kontaktperson SFT Tor Johannessen	TA-nummer 2362/2008
--	--------------------------------------	------------------------

	År 2008	Sidetall 77	SFTs kontraktnummer 5007088, 6006079
--	------------	----------------	---

Utgiver Norsk institutt for vannforskning NIVA rapport LNO 5549	Prosjektet er finansiert av Statens forurensningstilsyn med delfinansiering fra NIVA og Statoil ASA (feltarbeid i Nord-Norge)
---	--

Forfatter(e) Sigurd Rognerud, Eirik Fjeld, Brit Lisa Skjelkvåle, Guttorm Christensen og Oddvar K. Røyset
---

Tittel - norsk og engelsk Nasjonal innsjøundersøkelse 2004 - 2006, del 2: Sedimenter. Forurensning av metaller, PAH og PCB. National lake survey 2004 - 2006, part 2: Sediments. Pollution of metals, PAH and PCB.
--

Sammendrag - Summary Denne undersøkelsen omfatter resultatene av sedimentanalysene fra en landsomfattende innsjøundersøkelse som pågikk i 2004 – 2006. Innsjøenes dominerende forurensningskilde er atmosfæriske avsetninger. Den er en av 4 rapporter fra prosjektet og omhandler forurensningsgraden av metaller, metalloider, PAH og PCB i 274 innsjøer vurdert ut fra konsentrasjoner i sedimenter som er avsatt i senere tid og i pre-industriell tid.  This report covers results from sediment analysis in 274 lakes sampled in a Norwegian national lake survey (2004 – 2006). It is one of 4 reports from the project and deals with the degree of impact of atmospheric deposited metals, metalloids, PAHs and PCBs, based on concentrations in sediments deposited recently and in pre-industrial times.
--

4 emneord Overvåkning Innsjø sedimenter Miljøgifter Forurensningsgrad	4 subject words Monitoring Lakes sediments Environmental pollutants Degree of impact
---	--

**Statens forurensningstilsyn**

Postboks 8100 Dep,

NO 0032 Oslo

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: [postmottak@sft.no](mailto:postmottak@sft.no)

Bestilling: [www.sft.no/skjema.html](http://www.sft.no/skjema.html)

