NGU Rapport 2012.002

Forurensingsstatus i sjøbunnssedimenter i
Astafjordområdet/Sør-Troms

NGU
Norges geologiske undersøkelse
Geological Survey of Norway

Norges geologiske undersøkelse
7491 TRONDHEIM
Tlf. 73 90 40 00
Telefaks 73 92 16 20

RAPPORT

Rapport nr.: 2012.002 | ISSN 0800-3416 | Gradering: Åpen

Tittel:
Forurensningsstatus i sjøbunnssedimenter i Astafjordområdet/Sør-Troms

Forfatter:
Aivo Lepland, Henning K. B. Jensen, Liv Plassen og Oddvar Longva

Oppdragsgiver:
Sør-Troms Regionråd, NGU

Fylke:
Troms

Kommune:
Berg, Bjarkøy, Dyrøy, Gratangen, Harstad, Ibestad, Kværfjord, Lavangen, Salangen, Skånland, Torsken, Tranøy

Kartblad (M=1:250.000)
Narvik, Tromsø, Svolvær

Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)
1232.1, 1232.2, 1332.1, 1332.2, 1332.3, 1332.4, 1432.3, 1432.4, 1233.1, 1233.2, 1333.1, 1333.2, 1333.3, 1333.4, 1433.3, 1433.4, 1434.3, 1335.2

Forekomstens navn og koordinater:

Sidetall: 37 Pris: 200
Kartbilag: 0

Feltarbeid utført:	Rapportdato:	Prosjektnr.:	Ansvarlig:
Mai-juni 2010	20.04.2012	334500	Reidulv Bøe

Sammendrag:

Rapporten presenterer resultater av miljøundersøkelsen som ble gjennomført i samarbeid mellom NGU og Astafjordprosjektet fase III. Sedimentkjerner for undersøkelsen ble tatt fra 27 prøvestasjoner spredt over hele Astafjordområdet og Sør-Troms. Batymetri og sjøbunnsreflektivitet (backscatter) fra tidligere multistråleekkoloddundersøkelser ble i forkant av prøvetakingen brukt for plasseringen av stasjoner i topografiske forsenkninger (områder med liten strømstyrke), der finkornige sedimenter avsettes. Finkornige sedimenter ble prioritert fordi de gir det mest representative bildet av forurensningssituasjonen i det marine miljøet. Leir- og siltpartikler samt organisk materiale er effektive bindere av forurensende stoffer.

Alle 27 sedimentkjerner ble analysert for kornfordeling og kjemisk sammensetning inklusive tungmetaller på laboratoriet ved NGU. Eksterne laboratorier ble brukt for bestemmelse av innhold av organiske miljøgifter i overflatesedimenter på 21 stasjoner, og for datering av tre utvalgte kjerner ved hjelp av ^{210}Pb-metoden.

Dateringsresultater integrert med tungmetallprofiler viser at siden ca. 1920 har Astafjordområdet blitt påvirket av forurensning med bly (Pb), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), sink (Zn) og nikkel (Ni). Disse tungmetaller har en tydelig konsentrasjonsøkning i de øverste 10-20 cm av havbunnssedimentene. Forurensningsgraden er likevel forholdsvis liten og overstiger Klifs miljøtilstandsklasse II (god) i overflatesedimenter kun ved tre stasjoner. I Astafjorden-Salangen og i Sør-Lavangen er det målt Pb-konsentrasjoner i overflatesedimenter tilsvarende Klif klasse III (moderat) og IV (dårlig), mens overflaten av grafittrike deponeringsmasser ved Skaland har høyt innhold av Cu (klasse V; svært dårlig) og Ni (klasse IV). Cu- og Ni-forurensingen ved Skaland er mest sannsynlig knyttet til avfall fra gruveindustri.

Innholdet av de organiske stoffene PAH_{16} inkl. B(a)p, PCB_7 og TBT ble analysert i de øverste 5-7 cm av bunnsedimentene på 21 stasjoner, og viser at det generelt er lave konsentrasjoner, svarende Klif klasse I (bakgrunn) og klasse II (god) i de fleste tilfellene. I enkelte tilfeller er det registrert høyere konsentrasjoner. Det gjelder TBT, som forekommer i konsentrasjoner tilsvarende klasse IV utenfor Harstad og klasse III på en stasjon i Gullesfjord. PCB_7 er registrert i en konsentrasjon svarende til klasse III (moderat forurenset) i Sør-Lavangen. THC finnes i lave konsentrasjoner på de fleste stasjonene. Det er ikke registrert PAH_{16}, PCB_7 eller TBT i vannfasen over sedimentoverflaten. Det er registrert generelt lave konsentrasjon av THC.

Emneord: Maringeologi	Sediment	Forurensning
Tungmetaller	Arsen	THC
PAH_{16}	PCB_7	TBT

INNHOLD

1. INNLEDNING 6
2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK 6
3. RESULTATER 10
3.1 Overflateprøver (0-1 cm) 10
3.1.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon og kalsiumkarbonat 11
3.1.2 Innhold av tungmetaller, arsen, barium, litium, THC, PAH_{16}, B(a)p, PCB_7 og TBT 15
4.2 Sedimentprofiler og dateringer 32
4. OPPSUMMERING 35
5. REFERANSER 37

FIGURER

Figur 1. Prøvetakingsstasjonene for miljøundersøkelsen i Astafjordprosjektet fase III.
Figur 2. Niemistö prøvetaking i Gullesfjord.
Figur 3. Toppen av sedimentkjerne fra stasjon P1002-074 (Øyfjorden) klar for uttak av prøver til miljøanalyser.
Figur 4. Median kornstørrelse av overflatesedimentene.
Figur 5. Fordeling av sand (63-2000 µm) og slam (< 63 µm) i overflatesedimentene.
Figur 6. TOC-konsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 7. Kalsiumkarbonatkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 8. Arsenkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 9. Blykonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 10. Kadmiumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 11. Kobberkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 12. Kromkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 13. Kvikksølvkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 14. Nikkelkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 15. Sinkkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 16. Bariumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 17. Litiumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 18. Konsentrasjonen av totale hydrokarboner (THC) i overflatesedimentene.
Figur 19. PAH_{16}-konsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 20. Benzo(a)pyrenkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 21. PCB_7-konsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 22. Tributyltinnkonsentrasjonen i overflatesedimentene.
Figur 23. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-017 fra sedimentbassenget utenfor Harstad.
Figur 24. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-074 fra Øyfjorden.
Figur 25. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-078 fra Astafjorden.
Figur 26. Sedimentasjonsrater i Astafjord fase III området, kalkulert på grunnlag av Hg-profiler og dateringsresultater.

TABELLER

Tabell 1. Prøvetakingsstasjoner, geografiske koordinater, vanndyp og kjernefordeling for analyser av tungmetaller og organiske miljøgifter. "A"-kjerner, som ble brukt for tungmetallanalyser, ble tatt fra samtlige 27 stasjoner mens "B"-kjerner for organiske miljøgifter ble tatt fra 21 stasjoner.

Tabell 2. Minimum- og maksimumverdier for tungmetaller, arsen og barium (dybdeintervallet 0-1 cm) og organiske miljøgifter (dybdeintervaller 0-5 cm, 0-6 cm eller 0-7 cm) i prøver fra Astafjord fase III området.

Tabell 3. Klima og forurensingsdirektoratets (Klifs) marine forurensingsklassifikasjon for metaller og organiske miljøgifter i tørt sediment (TS) i fjorder og kystsedimenter (Molvær m. fl., 1997; Klif-veileder 2229, 2007; Bakke m. fl., 2010). Uthevet skrift viser antall prøver i hver klasse i overflatesedimentene (0-1 cm for metaller og 0-5 cm, 0-6 cm eller 0-7 cm for organiske miljøgifter) i Astafjord fase III området

VEDLEGG (CD-plate)

Vedlegg 1. Prøveliste og analyseresultater for prøver fra 27 prøvetakingsstasjoner, NGU Lab analyserapport nr.2011.0054. Coulter: kornstørrelsesfordeling, Leco (total S, total C og organisk C), HNO_3-ekstrahert og analysert med AA (Hg), ICP-MS (As, Cd, Pb, Se) og ICP-AES (30 elementer).

Vedlegg 2. THC, PAH_{16}, PCB_7 og Tributyltinn (TBT). Eurofins Norsk Miljøanalyse AS analyserapport fra 21 prøvetakingsstasjoner.

Vedlegg 3. ^{210}Pb datering av kjerner fra 3 prøvetakingsstasjoner. Rapporter fra Gamma Dating Centre, Københavns Universitet.

Vedlegg 4. Geokjemiske- og kornfordelingsprofiler for analyserte sedimentkjerner. Parametrene omfatter: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Ba, Li (alle mg/kg = ppm),TOC (vekt %), karbonat karbon (vekt %), kornfordelingsmedian (µm), innhold av leir- (< 2 µm), slam- (< 63 µm) og sandfraksjonen (63-2000 µm).

Vedlegg 5. Faktaark over miljøstatus for overflatesedimentene i Astafjord fase III kommunene.

1. INNLEDNING

Det er viktig å ha kunnskap om forurensingsstatus i det marine miljøet i områder hvor det forvaltes viktige marine ressurser (www.astafjordprosjektet.com). I mai 2010 ble det tatt korte sedimentkjerner fra 27 stasjoner i Astafjordområdet og Sør-Troms. Formålet var å analysere sedimentenes kornfordeling og kjemiske sammensetning, og innholdet av tungmetaller og organiske miljøgifter. Miljøundersøkelsen er gjennomført i samarbeid mellom NGU og Astafjordprosjektet fase III.

Valg av stasjoner/lokaliteter ble i forkant av prøvetakingen gjort på basis av data fra multistråleekkolodd, som gir opplysninger om dybdeforhold og bunnens hardhet. Prøvelokalitetene, som gir en bra geografisk dekning av Astafjordområdet og Sør-Troms, ble lagt til områder med svak strøm og avsetning av finkornige sedimenter (avsetningsbassenger). Forurensningsstoffer binder seg primært til leirpartikler og organisk materiale i sedimentene. Slike avsetningsbassenger finnes i de dypere delene av undersøkelsesområdet. Det ble tatt to kjerner fra de fleste stasjoner; en "A"-kjerne fra alle 27 stasjoner for analyse av sedimentkornfordeling og kjemisk sammensetning, og en "B"-kjerne fra utvalgte 21 stasjoner som ble brukt for analyse av forskjellige organiske forbindelser. Tre utvalgte "A"-kjerner ble datert ved hjelp av ^{210}Pb-metoden.

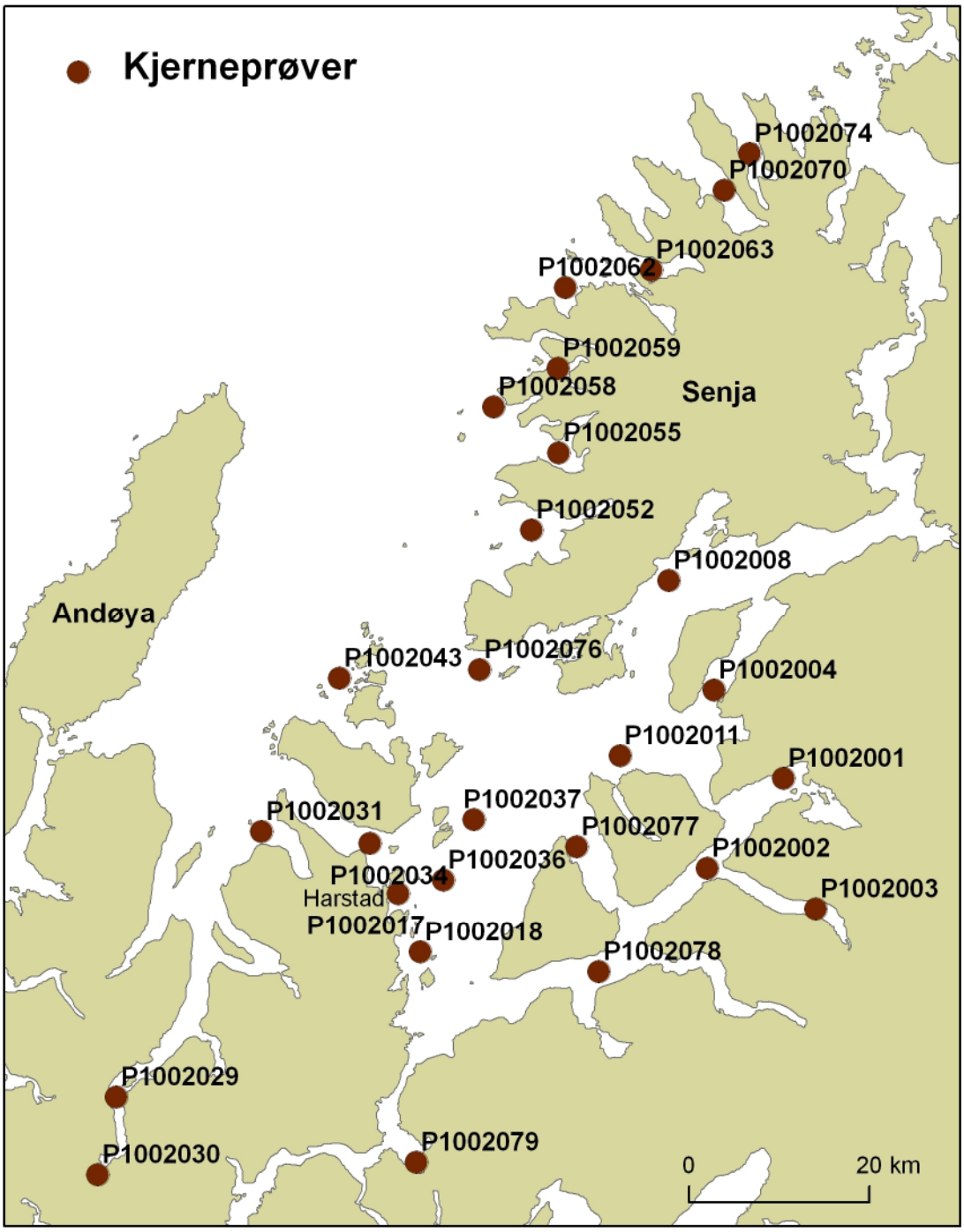
Rapporten presenterer konsentrasjonsnivåene av en rekke forurensningsstoffer i sedimentene i området, og nivåene sammenlignes med klassifikasjonssystemet som Klif har etablert for kyst- og fjordsedimenter. Variasjonen i kjemiske data fra sedimentkjernene vises for å dokumentere endringene i tungmetallkonsentrasjonene gjennom de siste par hundre år. Dataene kan brukes for evaluering av miljøstatus i Astafjordområdet og Sør-Troms samt som grunnlag for miljøovervåking.

2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK

Prøvene for miljøanalyser ble tatt i forsenkninger og avsetningsbassenger på fjordbunnen med finkornige sedimenter. Disse områdene sammenfaller som oftest med dype deler av fjorden med svak strøm og stabile avsetningsforhold. De fleste prøvetakingsstasjonene ble valgt ut før toktet på bakgrunn av data fra multistråleekkolodd (dybde og backscatter). Figur 1 og Tabell 1 gir en oversikt over prøvetakingsstasjonene, havdyp og geografiske posisjoner. Sedimentkjernene ble tatt med en Niemistö prøvetaker med plastrør med 6,3 cm indre diameter og 60 cm lengde (Figur 2).

Sedimentkjernene, med sjøvann på toppen, ble forseglet om bord og oppbevart i vertikal posisjon. Dermed blir vann-sediment-overgangen bedre bevart og ikke forstyrret. Sedimentkjernene ble satt på kjølelager på NGU inntil prøvene til analysene ble tatt ut i januar 2011. Kjernene for metallanalyser (A-kjerner) ble frosset og splittet ved hjelp av sag. Ved NGU Lab ble sedimentskivene frysetørket og materiale til følgende analyser tatt ut:

- 0,38 g tørt materiale for bestemmelse av totalinnhold av svovel og karbon, og 0,50 g for bestemmelse av organisk karbon (TS, TC og TOC). Analysene ble utført ved hjelp av Leco elementanalysator.
- 1,0 g tørt materiale til HNO_3-ekstraksjon etter NS 4770 for påfølgende analyse med AA, ICP-AES og ICP-MS.
- Ca 0,2 g tørt materiale for slamrike-, og opp til 3 g for sandige sedimenter for bestemmelse av kornfordeling av prøvene fra 2 mm ned til 0,4 µm med Coulter laserdiffraksjon.



Figur 1. Prøvetakingsstasjonene for miljøundersøkelsen i Astafjordprosjektet fase III.

Tabell 1. Prøvetakingsstasjoner, geografiske koordinater, vanndyp og kjernefordeling for analyser av tungmetaller og organiske miljøgifter. A-kjerner, som ble brukt for tungmetallanalyser, ble tatt fra samtlige 27 stasjoner, mens B-kjerner for organiske miljøgifter ble tatt fra 21 stasjoner.

Stasjon	Område	Geografiske koordinater (desimal grader)		Vanndyp [m]	Kjerne A (tungmetaller)	Kjerne B (organiske miljøgifter)
		Nord	Øst			
P1002-001	Astafjorden - Salangen	68.9159	17.6528	287	X	X
P1002-002	Astafjorden	68.8297	17.4320	305	X	X
P1002-003	Lavangen	68.7843	17.7251	170	X	
P1002-004	Dyrøysundet	69.0063	17.4708	238	X	X
P1002-008	Tranøyfjorden	69.1182	17.3561	390	X	X
P1002-011	Vågsfjorden	68.9450	17.2028	518	X	
P1002-017	Vågsfjorden – Harstad	68.8143	16.5788	133	X	X
P1002-018	Vågsfjorden	68.7550	16.6343	178	X	X
P1002-029	Gullesfjorden	68.6172	15.7949	167	X	X
P1002-030	Gullesfjorden	68.5403	15.7417	43	X	X
P1002-031	Kvæfjorden	68.8792	16.2048	150	X	X
P1002-034	Toppsundet	68.8650	16.5036	230	X	X
P1002-036	Vågsfjorden	68.8267	16.7047	204	X	X
P1002-037	Vågsfjorden	68.8861	16.7925	300	X	X
P1002-043	Andfjorden	69.0304	16.4306	230	X	X
P1002-052	Selfjorden	69.1731	16.9788	400	X	
P1002-055	Sifjorden	69.2485	17.0618	324	X	X
P1002-058	Andfjorden	69.2963	16.8834	212	X	
P1002-059	Torskenfjorden	69.3321	17.0677	110	X	X
P1002-062	Andfjorden	69.4133	17.0957	150	X	
P1002-063	Bergsfjorden	69.4273	17.3415	230	X	X
P1002-070	Mefjorden	69.5040	17.5572	225	X	X
P1002-074	Øyfjorden	69.5390	17.6340	230	X	
P1002-076	Vågsfjorden	69.0351	16.8202	355	X	X
P1002-077	Bygda	68.8555	17.0745	106	X	X
P1002-078	Astafjorden	68.7301	17.1233	350	X	X
P1002-079	Sør-Lavangen	68.5463	16.6093	80	X	X

Figur 2. Niemistöprøvetaking i Gullesfjord. Et lodd over røret gir tyngde slik at røret presses ned i sedimentene. Når røret trekkes opp, går vingen automatisk ned og lokket stenger for bunnen av røret. Kjerne P1002-030A er brukt til analyser av sedimentenes kornfordeling og metallsammensetning, mens de øverste 5 cm av P1002-030B er analysert for innhold av organiske miljøgifter.

Figur 3. Toppen av sedimentkjerne fra stasjon P1002-074 (Øyfjorden) klar for uttak av prøver til miljøanalyser.

Vedlegg 1 gjengir analyserapporten fra NGU Lab i sin helhet. Analyserapporten inneholder ytterligere opplysninger om analysemetoder og -kvalitet.

Vedlegg 2 viser resultatene fra de organiske miljøgiftanalysene slik de er rapportert av Eurofins Norsk Miljøanalyse AS. Prøvene til de organiske miljøgiftanalysene ble tatt fra B-kjernen. Fordi det trengs relativt store prøvemengder for THC, PAH_{16}, PCB_7 og TBT analyser, ble det tatt 5-7 cm av den øverste delen av sedimentkjernene til analyse. I tillegg ble en samlet vannprøve fra fire av kjernene analysert for å sjekke sjøvannets innhold av de undersøkte organiske stoffene.

Vedlegg 3 viser dateringsresultatene og gir opplysninger om ^{210}Pb-metoden slik de er rapportert av Gamma Dating Centre, Københavns Universitet. Tre kjerner ble delt opp i 1-centimeter tjukke sedimentskiver og aktiviteten av ^{210}Pb, ^{226}Ra og ^{137}Cs ble analysert på lavbakgrunn Ge-detektor.

Vedlegg 4 presenterer geokjemiske- og kornfordelingsprofiler for analyserte sedimentkjerner fra samtlige 27 prøvetakingsstasjoner.

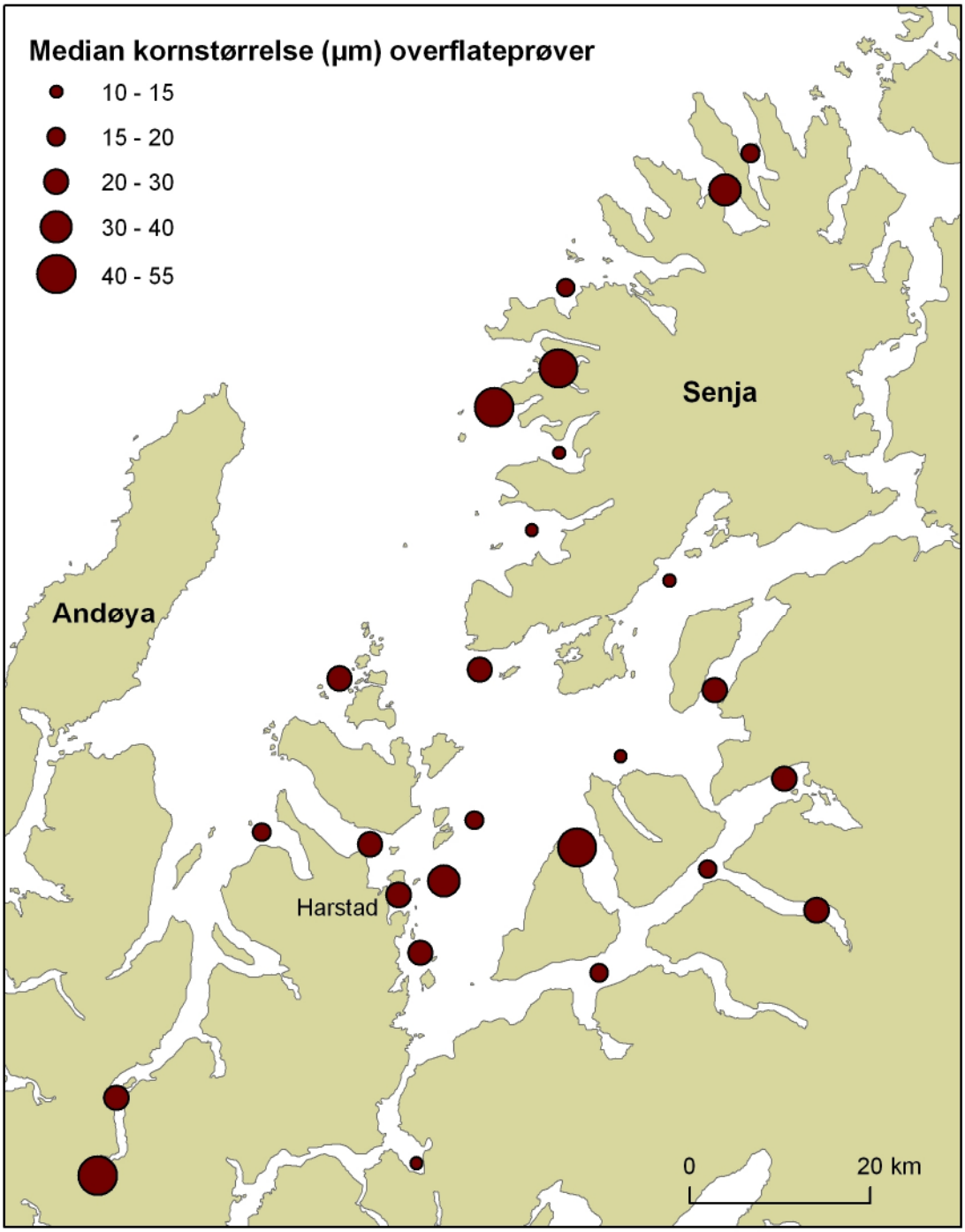
Vedlegg 5 består av faktaark over miljøstatus for overflatesedimentene i Astafjord fase III kommunene.

3. RESULTATER

Et utvalg av geokjemiske parametre og kornfordelingsparametre er presentert i kart og som kjerneprofiler i rapporten og i Vedlegg 4-5, mens samtlige analyseresultater finnes i Vedlegg 1-3. Målingene angis i konsentrasjonsenheten mg/kg sediment. Denne er ekvivalent med ppm (parts per million).

3.1 Overflateprøver (0-1 cm)

De geokjemiske resultatene for overflateprøvene (0-1 cm) fra de 27 prøvetakingsstasjoner (A-kjernene) presenteres for å gi en oversikt over dagens miljøtilstand. Parametrene som presenteres er sedimentenes median kornstørrelse, innhold av organisk karbon (TOC), innhold av kalsiumkarbonat og innholdet av tungmetallene kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn), samt elementene arsen (As) og barium (Ba). I tillegg er overflateprøvene fra B-kjernene på 21 stasjoner analysert for totalkonsentrasjonen av hydrokarboner (THC), 16 2-6 ring polysykliske aromatiske hydrokarbonforbindelser (PAH_{16}), 7 polyklorinerte bifenylforbindelser (PCB_7) og tributyltinn (TBT). De organiske miljøgiftanalysene ble utført ved et akkreditert eksternt analyselaboratorium, Eurofins Norsk Miljøanalyse AS (Vedlegg 2).

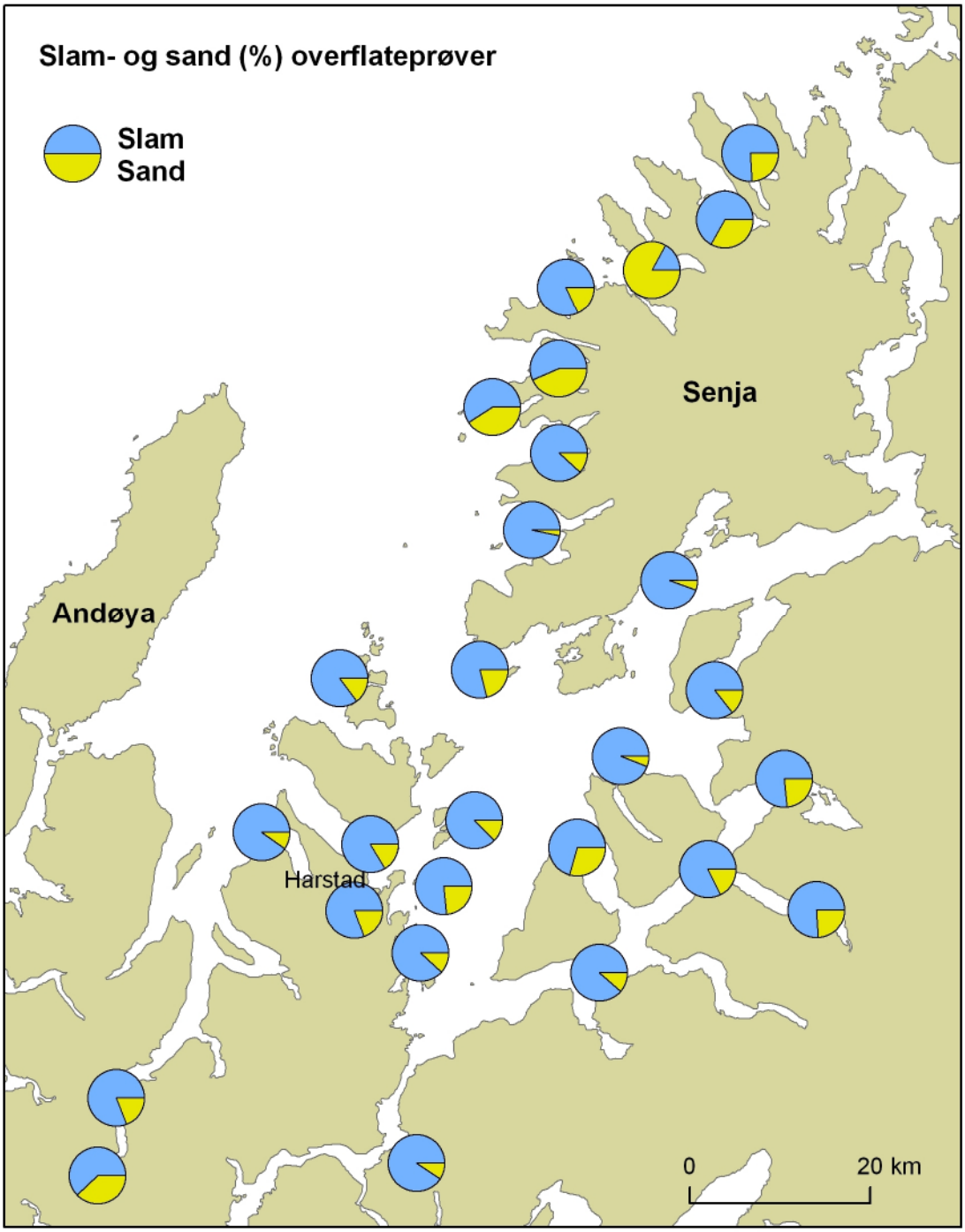


Figur 4. Median kornstørrelse av overflatesedimentene.

3.1.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon og kalsiumkarbonat

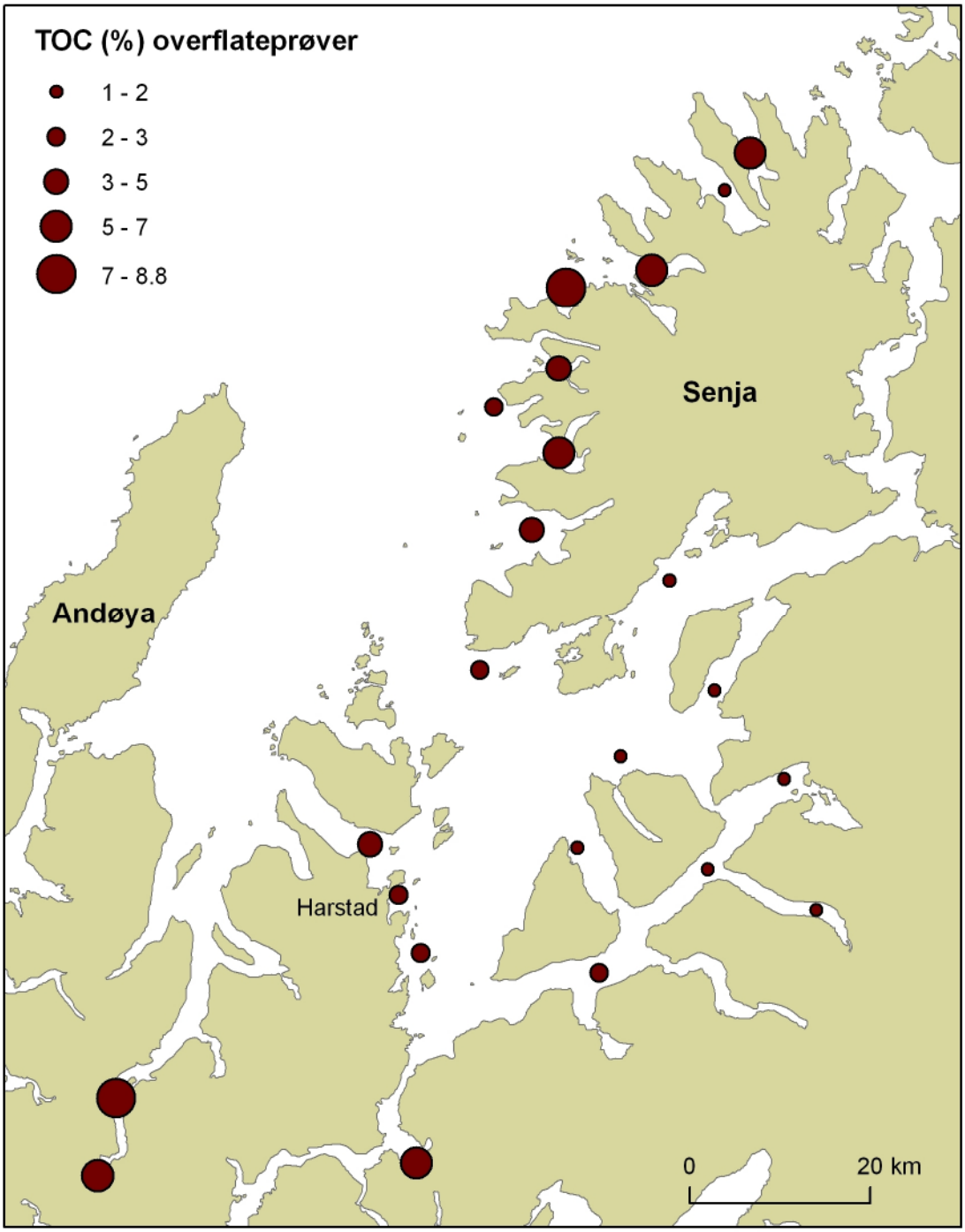
Finkornige sedimenter med høyt innehold av leir-, siltpartikler og organisk materiale binder forurensningsstoffer lettere til seg enn mer grovkornige sedimenter. Dermed er det viktig å kartlegge og studere avsetningsbassenger med finkornige sedimenter fordi disse bassengene er mest representative for miljøtilstanden.

Kartene over kornfordelingsparametre (median kornstørrelse, slam- og sandinnhold) i overflatesedimentene er vist i Figurene 4-5, og mer detaljerte kornfordelingsdata finnes i



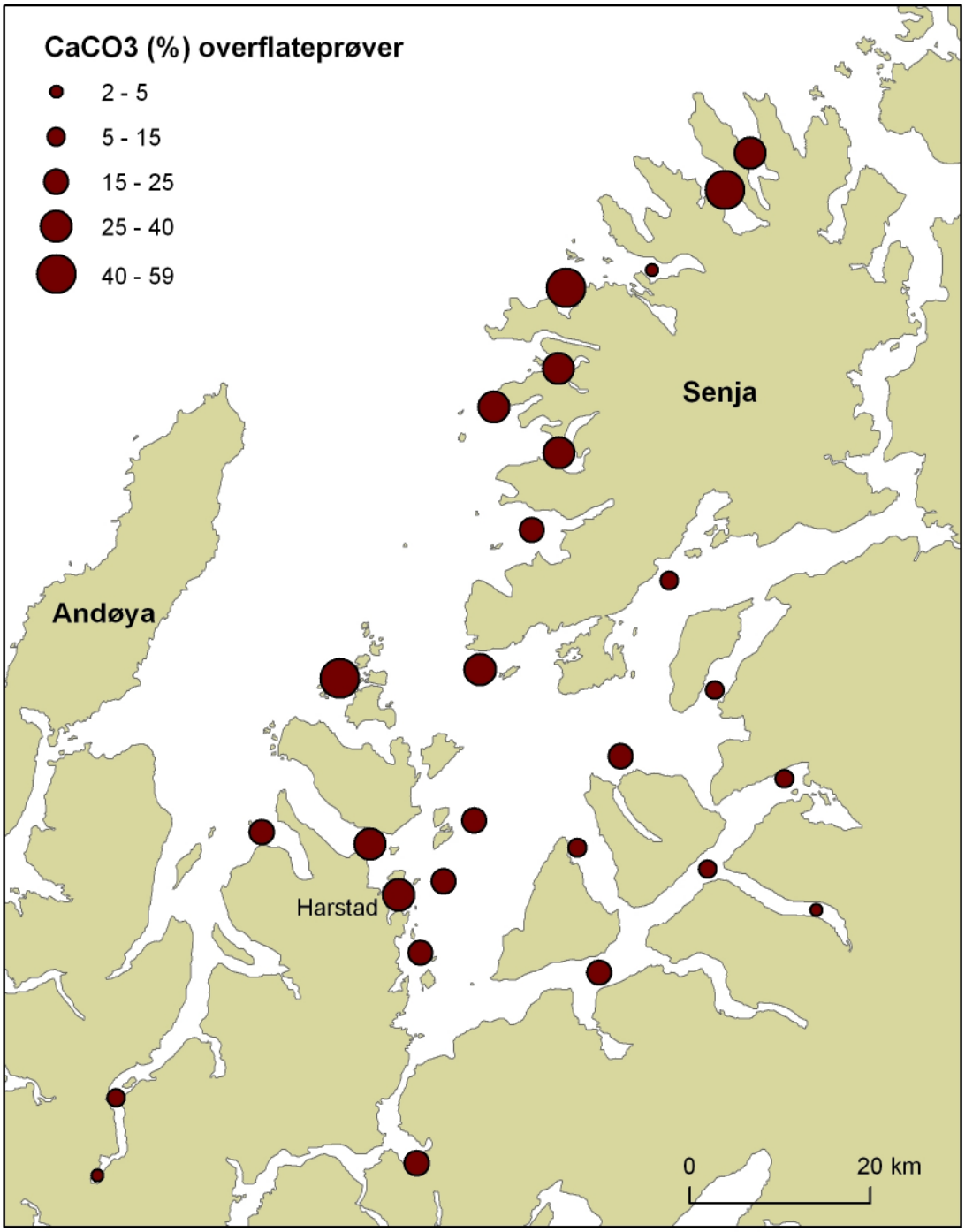
Figur 5. Fordeling av sand (63-2000 µm) og slam (< 63 µm) i overflatesedimentene.

Vedlegg 1. Slam (<63 µm partikkeldiameter) som omfatter silt og leir er den dominerende fraksjonen i alle overflateprøvene med unntak av P1002-063 ved Skaland. Sand (63-2000 µm) utgjør en mindre del av prøvene, med en andel opp til 45 %, unntatt en prøvestasjon der sandinnholdet er 83 %. Materiale grovere enn 2000 µm (grus) er ikke funnet i noen av de studerte kjernene. De fleste sedimentene kan karakteriseres som slam eller sandig slam. Den anomale prøven (P1002-063) ble tatt ved Skaland og sedimentene der består av grafittrik sand som sannsynligvis er avgang fra gruveindustrien og dermed ikke naturlige sedimenter.



Figur 6. TOC-konsentrasjonen i overflatesedimentene.

Kart over innholdet av organisk karbon (TOC) i overflateprøvene er vist i Figur 6. TOC-verdiene varierer fra 1 til 8.8 % og er lavest innerst i Astafjordområdet. Lave TOC-verdier kan forklares med forholdsvis høy tilførsel av minerogene sedimenter slik at bunnfallet av marin biomasse og organiske rester blir fortynnet. Denne fortynningseffekten er antageligvis mindre viktig på stasjonene vest og nordvest for Senja. Der har sedimentene på flere stasjoner forholdsvis høy TOC-konsentrasjon. TOC-innhold i sedimentene er også påvirket av variasjoner i den marine bioproduktiviteten, som er høyest i områder med rikelig tilførsel av næringsstoffer fra naturlige eller antropogene kilder. TOC-rike sedimenter i Gullesfjorden og Lavangsfjorden kan gjenspeile høy bioproduktivitet og lav tilførsel av minerogene sedimenter i disse fjordene.



Figur 7. Kalsiumkarbonatkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Karbon som ikke er av organisk opprinnelse er som regel bundet til karbonatmineraler, hovedsakelig kalsiumkarbonat ($CaCO_3$). Det antas at kalsiumkarbonat i sedimentene har en biologisk opprinnelse, primært fra bentiske og planktoniske organismer med kalkskjell. Prosentinnholdet av kalsiumkarbonat i sedimentene beregnes ut fra analysene av totalt karbon etter følgende formel:

$(TC^{1} – TOC) \times (CaCO_3/C) = (TC – TOC) \times 8{,}33$

[1] TC er innholdet av total karbon, målt med LECO.

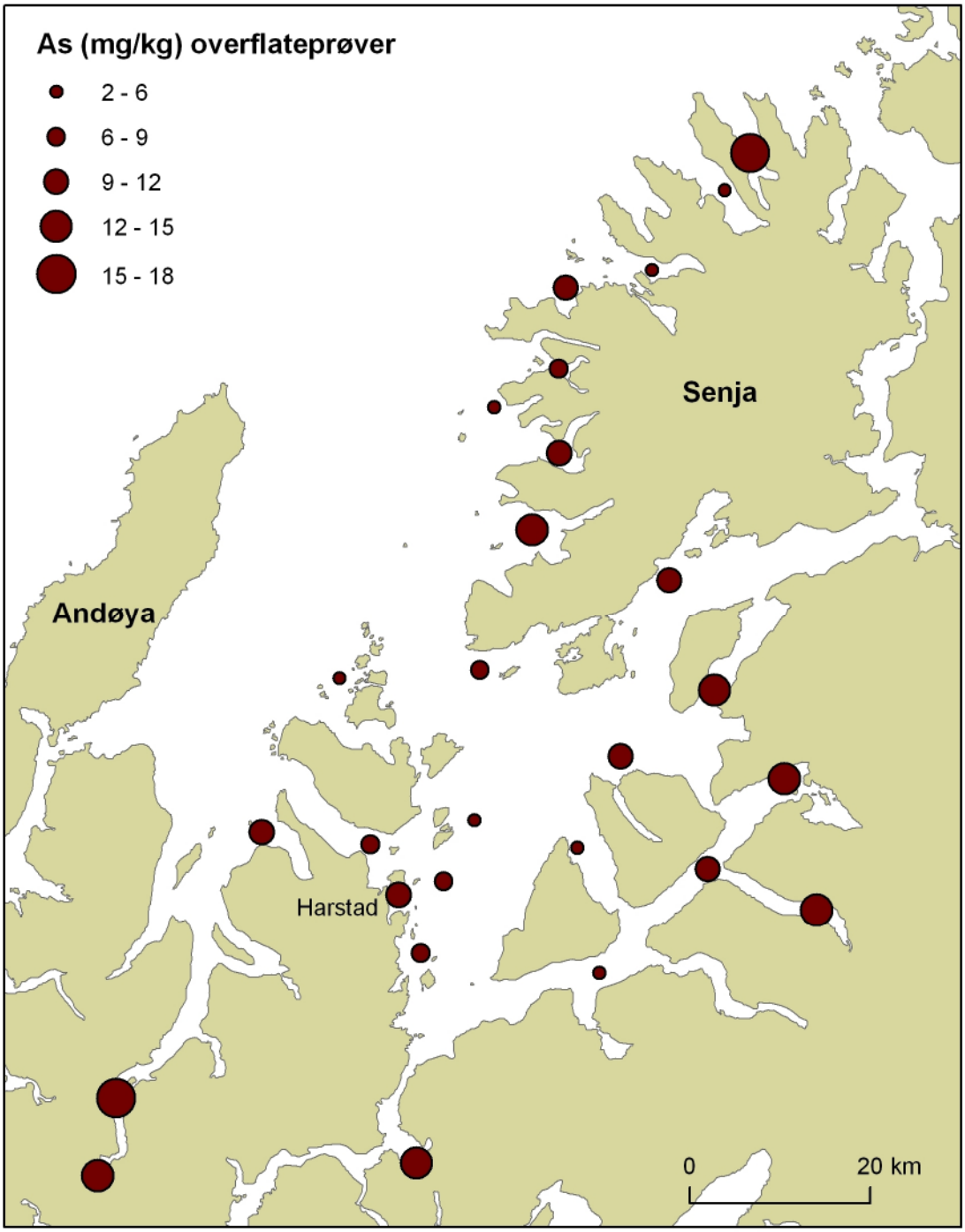
Andelen av kalsiumkarbonat varierer fra 2 til 60 vektprosent (Figur 7). Sedimenter med høyt innhold av kalsiumkarbonat finnes i områder der det er liten tilførsel av minerogent materiale fra land (liten fortynningseffekt) som f.eks. i fjordene vest på Senja. Kalsiumkarbonatrike sedimenter kan også dannes i områder med høy tilførsel av næringsstoffer fra antropogene kilder som fører til høy biologisk produksjon i det marine miljøet. Høyt innhold av kalsiumkarbonat i overflatesedimentene utenfor Harstad kan skyldes utslipp av næringsstoffer og økt biologisk produksjon knyttet til menneskelig aktivitet.

3.1.2 Innhold av tungmetaller, arsen, barium, litium, THC, PAH_{16}, B(a)p, PCB_7 og TBT

I det følgende presenteres resultatene for tungmetallene bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), sink (Zn) og arsen (As) i overflateprøvene fra samtlige 27 prøvetakingsstasjoner, og de organiske stoffene THC, PAH_{16}, B(a)p, PCB_7 og tributyltinn (TBT) fra 21 utvalgte prøvetakingsstasjoner. I Tabell 2 vises minimums- og maksimumsverdiene for de enkelte elementer i overflateprøver og i Tabell 3 blir tungmetall- og arsenkonsentrasjonene samt innhold av organiske miljøgifter i sedimentprøvene sammenlignet med Klif sitt klassifikasjonssystem for forurensingsnivåer i sedimenter i kyst- og fjordområder (Molvær m. fl., 1997; Klif, 2007; Bakke m. fl., 2010). Dette har følgende klasser:

Klasse I: bakgrunn; klasse II: god; klasse III: moderat; klasse IV: dårlig; klasse V: svært dårlig

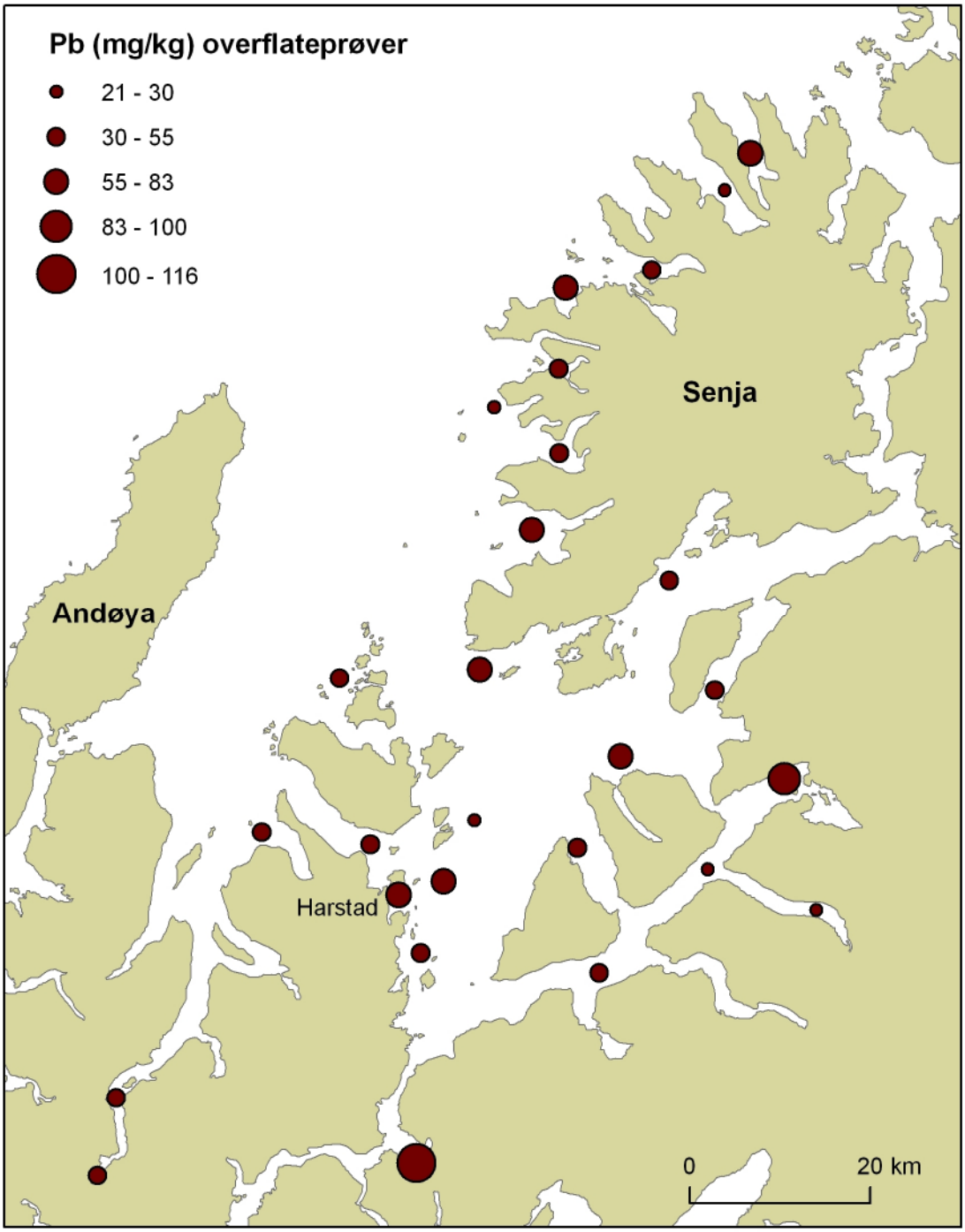
I tillegg er resultatene for barium (Ba) inkludert. Erfaringene med barium i sedimentene i Skagerrak gjør dette relevant, da det ble påvist tilførsel av barium fra boreslam brukt i Nordsjøen og avsatt fra havstrømmer i Skagerrak (Sæther m. fl., 1996; Thorsnes og Klungsøyr, 1997; Lepland m. fl., (2000)).



Figur 8. Arsenkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Arsen (As)

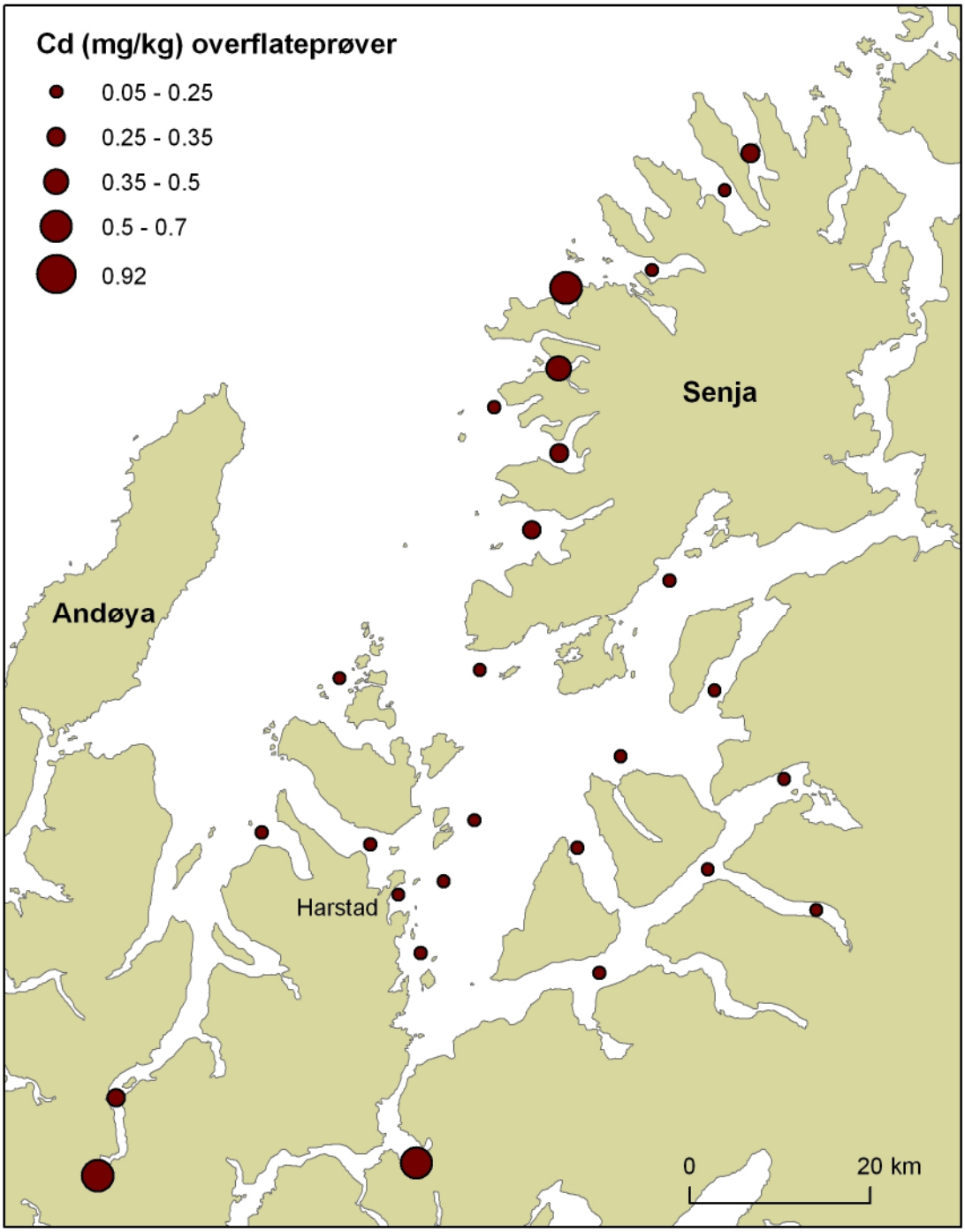
As-konsentrasjonen varierer fra 2 til 17.5 mg/kg (Figur 8). De største konsentrasjonene finnes i sedimentprøvene som har høyt innhold av organisk materiale. Likevel er det ikke direkte korrelasjonen mellom As og TOC i alle stasjoner. Alle overflateprøver er i tilstandsklasse I for kyst- og fjordsedimenter (<20 mg/kg sediment), ifølge Klif-veileder 2229.



Figur 9. Blykonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Bly (Pb)

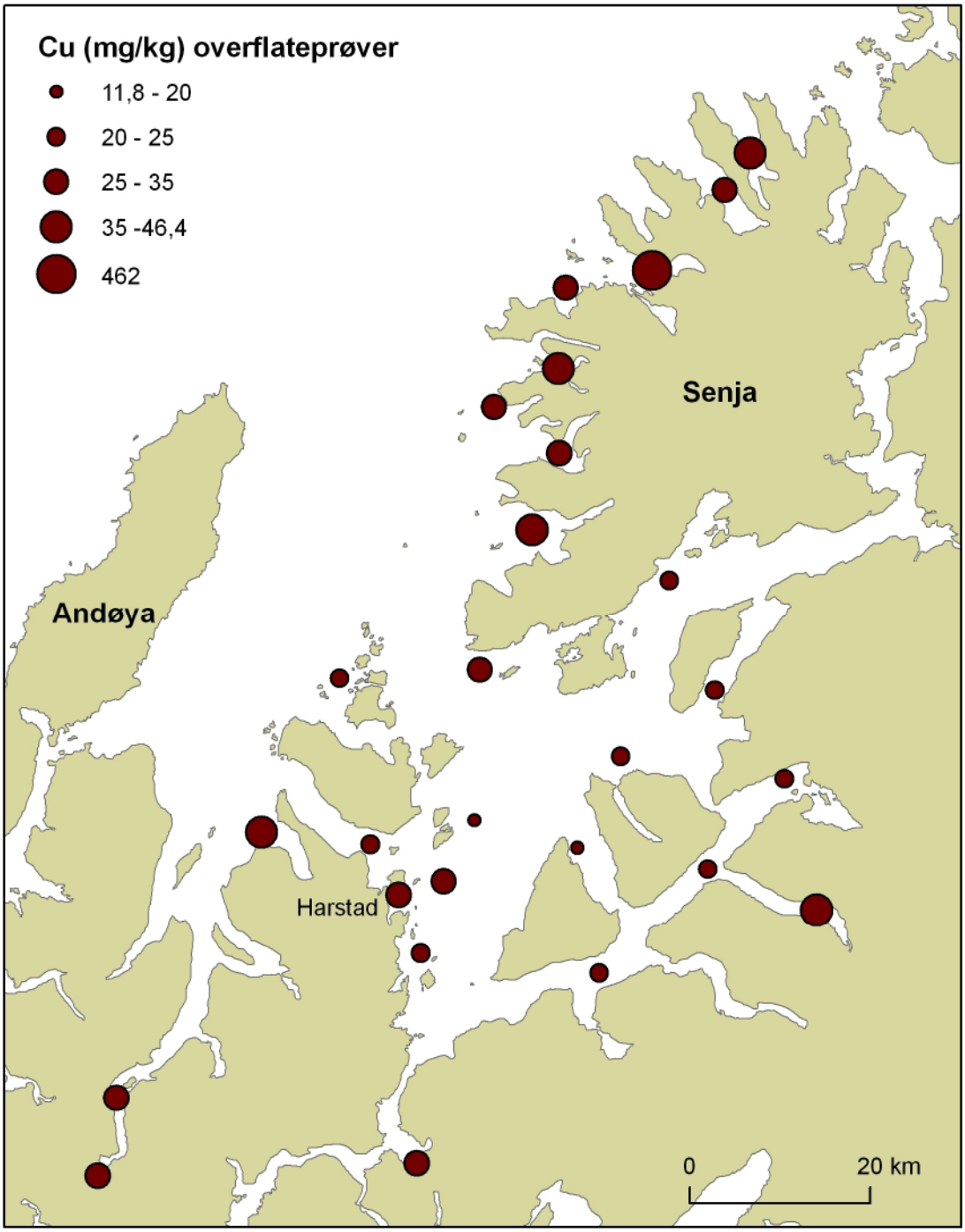
Pb-konsentrasjonen i overflatesedimentene varierer fra 21,6 til 116 mg/kg (Figur 9). To stasjoner, P1002-001 i Astafjorden-Salangen (96 mg/kg) og P1002-079 i Lavangsfjorden (116 mg/kg), skiller seg ut med høye verdier som tilsvarer henholdsvis tilstandsklassene III (83-100 mg/kg) og IV (100-720 mg/kg). De unormalt høye Pb-verdiene på disse to stasjonene er foreløpig uten forklaring. Alle andre stasjoner har Pb-konsentrasjoner i tilstandsklasse I (<30 mg/kg sediment) og II (30-83 mg/kg).



Figur 10. Kadmiumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Kadmium (Cd)

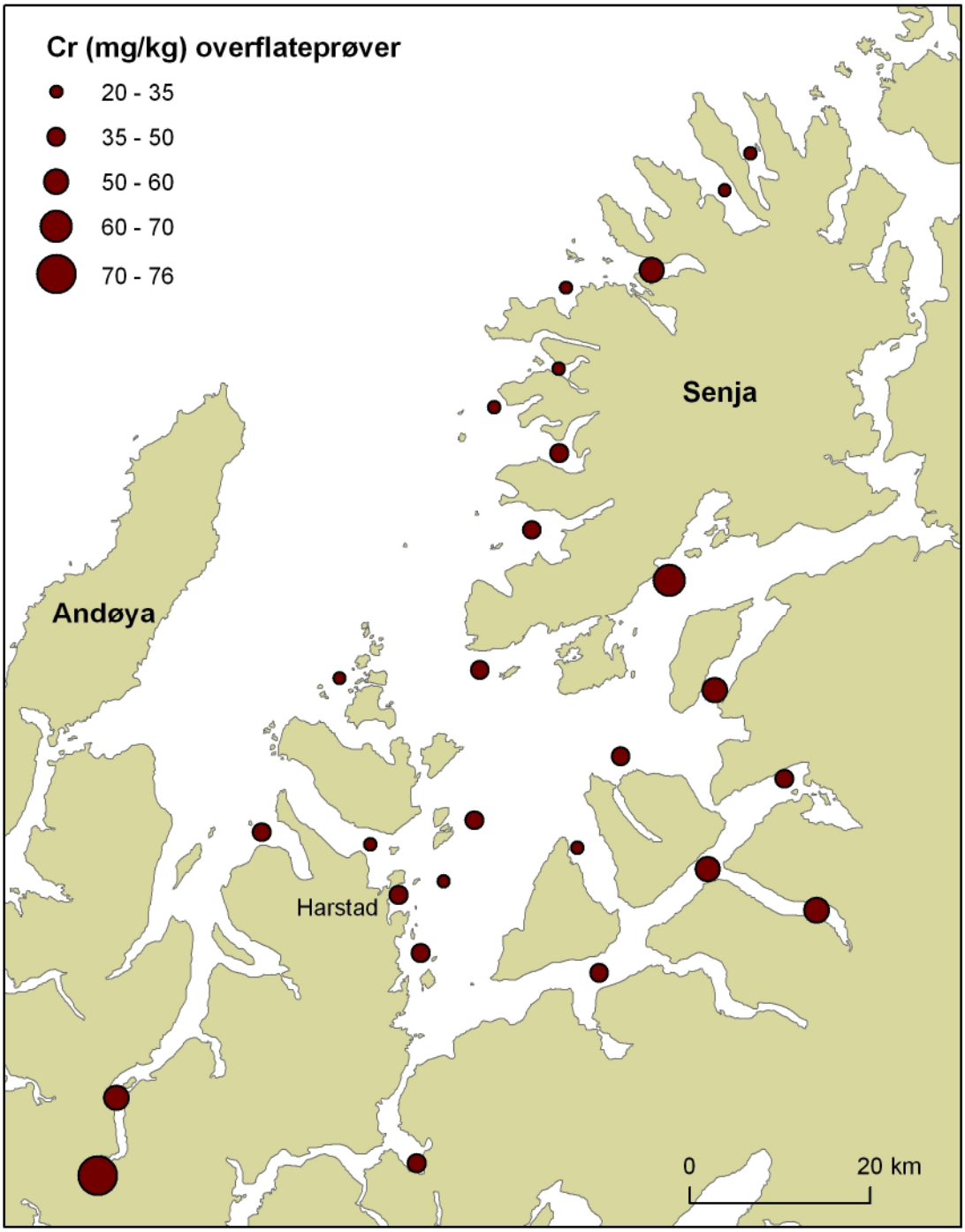
Cd-konsentrasjonen varerier fra 0,05-0,92 mg/kg (Figur 10), med klar tendens til høyere verdier i sedimenter med høyt innhold av TOC. Alle prøver har konsentrasjoner tilsvarende Klif klasse I (<0,25 mg/kg) og II (0,25-2,6 mg/kg).



Figur 11. Kobberkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Kobber (Cu)

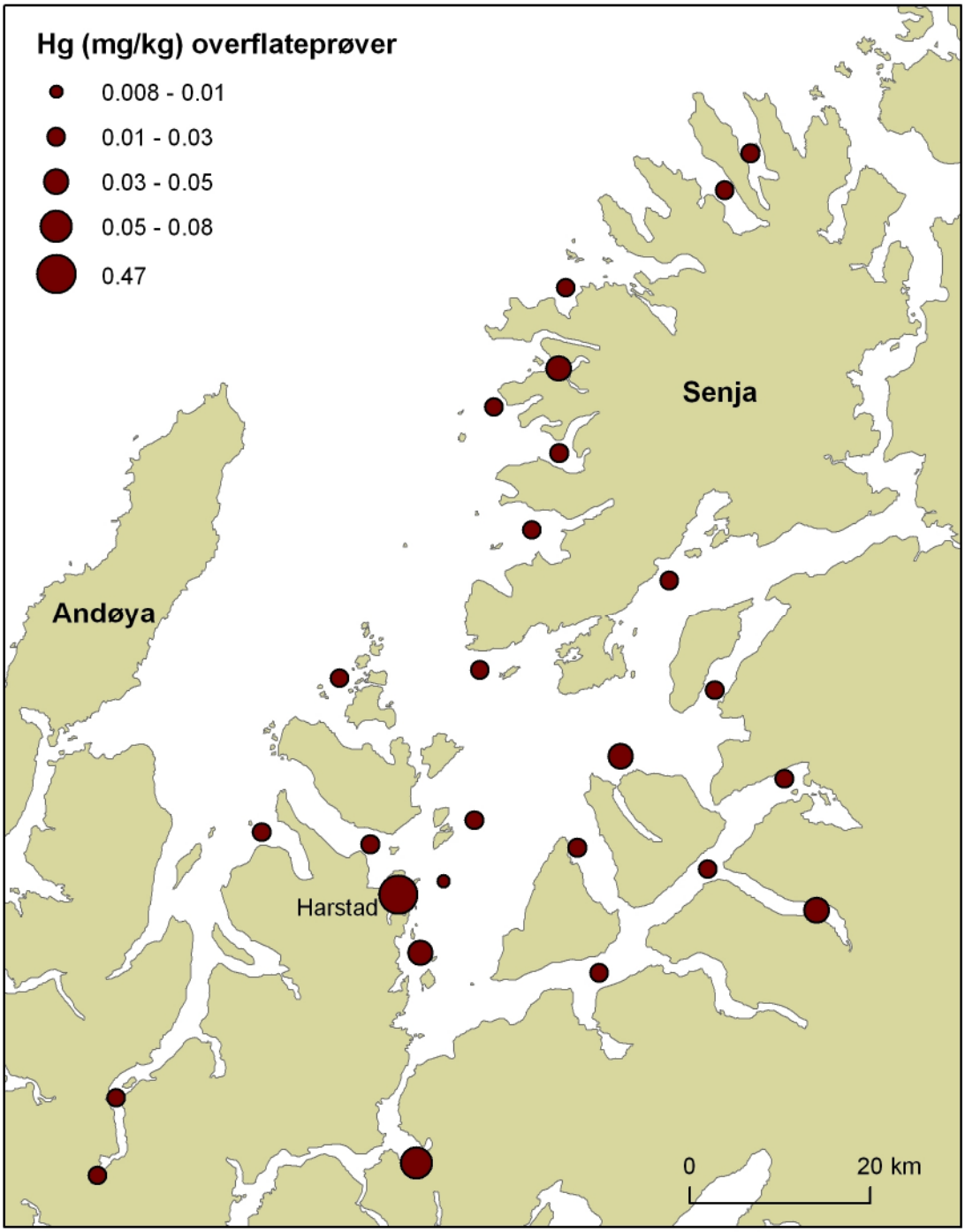
Cu er registrert i samtlige prøver, med konsentrasjoner fra 11.8 til 46,4 mg/kg, med unntak av en prøve som inneholder 462 mg/kg Cu (Figur 11). Cu-konsentrasjonene i alle prøver utenom den anomale tilhører Klif klasse I (<35 mg/kg sediment) og klasse II (35-51 mg/kg sediment). Den anomale prøven med Cu-innhold tilsvarende miljøklasse V (> 220 mg/kg sediment) er fra Skaland, der sedimentene består av grafitt-rikt sandig, gruveindustriavfall, og dermed har en uvanlig kjemisk sammensetning. Cu er ikke det eneste tungmetallet med anomal verdi på denne stasjonen; Ni viser også høye verdier.



Figur 12. Kromkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Krom (Cr)

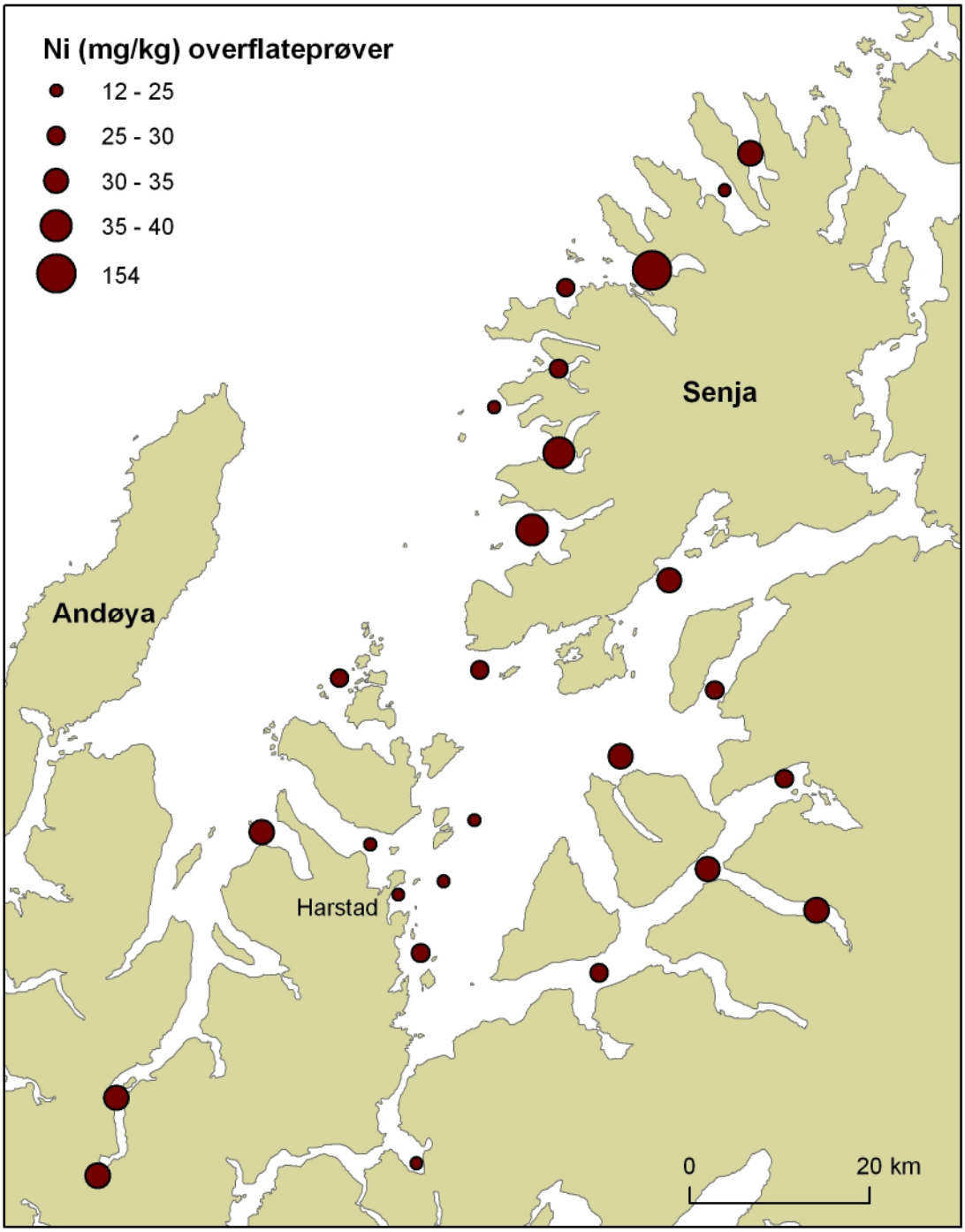
Cr-konsentrasjonen varierer fra 21,3 til 75,8 mg/kg med en tendens til høyere verdier innerst i fjordene (Figur 12), der kalsium karbonat-innholdet er lavt og sedimentene hovedsakelig består av silikatpartikler. En overflateprøve fra Lavangsfjorden har Cr-innhold som tilsvarer Klif tilstandsklasse II (70-560 mg/kg) mens alle andre prøver tilhører klasse I (<70 mg/kg sediment).



Figur 13. Kvikksølvkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Kvikksølv (Hg)

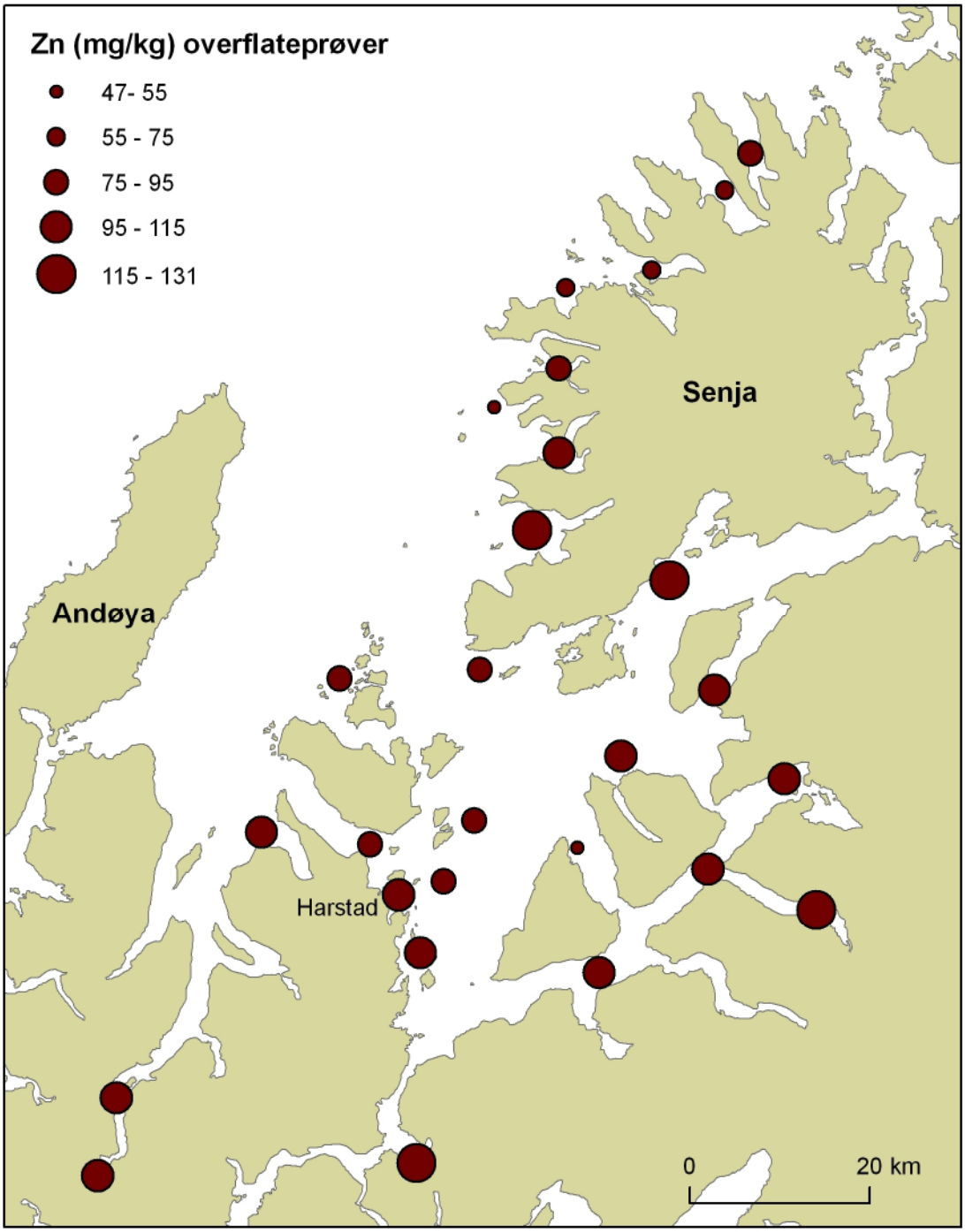
Hg-konsentrasjonen i overflateprøvene varierer mellom 0,008 og 0,075 mg/kg med unntak av prøve P1002017 fra bassenget utenfor Harstad, som inneholder 0,465 mg/kg Hg (Figur 13). Den forholdsvis høye Hg-verdien ved Harstad, som tilsvarer miljøklasse II (0,15-0,63 mg/kg) kan sannsynlig forklares med antropogent/industrielt utslipp. Hg-tilførsel fra Harstad har forholdsvis liten spreding, og tydelige spor etter det er ikke å finne i de nærmeste stasjonene. Alle andre Hg-verdier er i tilstandsklasse I (<0,15 mg/kg sediment) i Klifs klasser for fjord- og kystsedimenter.



Figur 14. Nikkelkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

<u>Nikkel (Ni)</u>

Ni-konsentrasjonen varierer fra 12,1 til 38 mg/kg i samtlige prøver unntatt i dumpe/avgangsmassene ved Skaland, der Ni-innehold ved overflaten er 154 mg/kg (Figur 14). Slik forholdsvis høy Ni-konsentrasjon tilsvarer Klifs miljøklasse IV (120-840 mg/kg) mens alle andre overflateprøver er i tilstandsklasse I (< 30 mg/kg) og II (30-46 mg/kg).

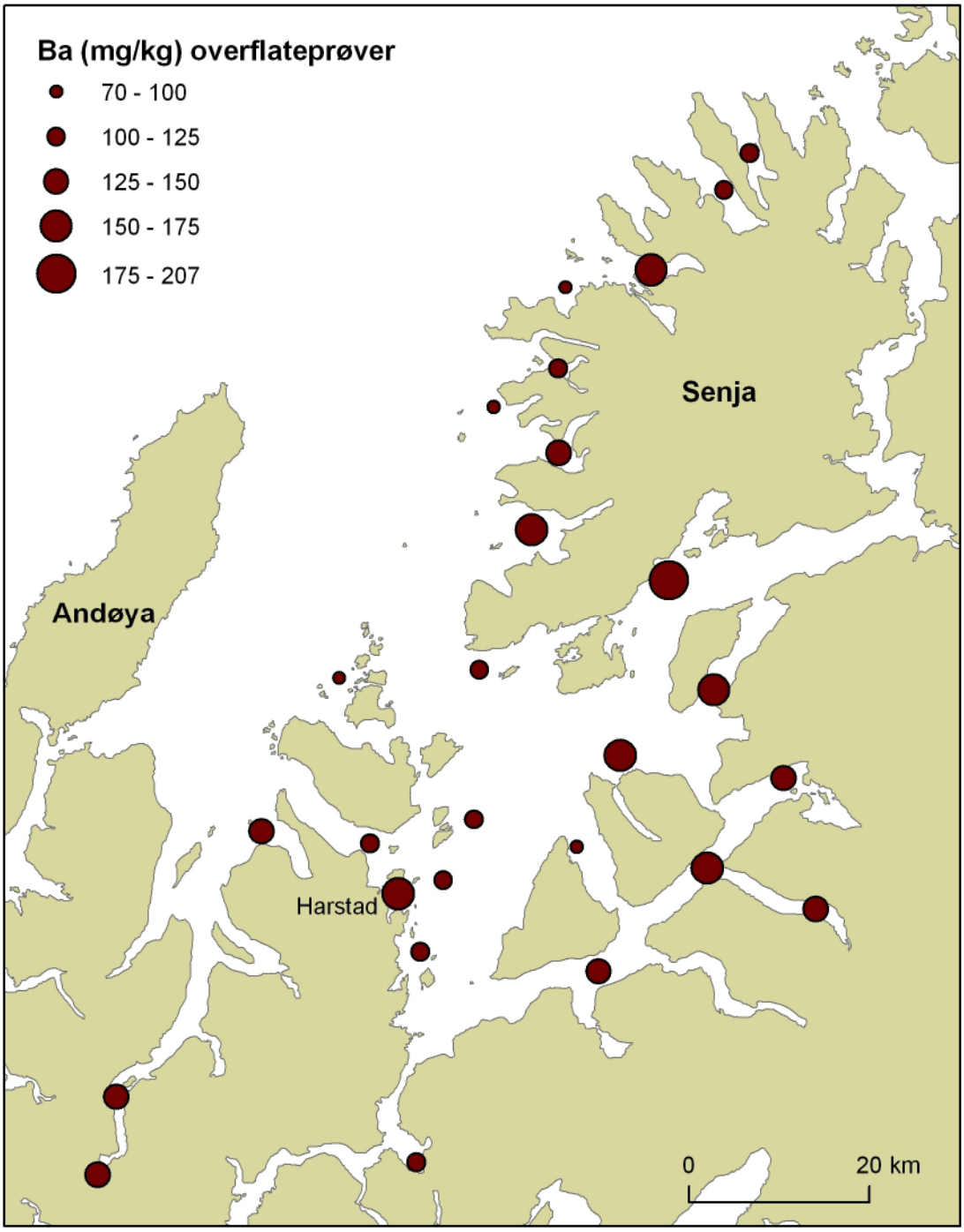


Figur 15. Sinkkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Sink (Zn)

Zn-konsentrasjonen varierer fra 47,4 til 131 mg/kg, med samtlige prøver tilsvarende tilstandsklasse I (<150 mg/kg sediment) (Figur 15). Et generelt geografisk mønster med høyere Zn-nivåer innerst i området og gradvis minkende nivåer utover mot havet er tydelig. Dette kan relateres til variasjoner i sedimentsammensetningen, samt forandringer i forhold mellom minerogent materiale og biogent kalsiumkarbonat. Zn har en generell negativ korrelasjon med kalsium karbonat (Figur 7) men positiv korrelasjon med Li (Figur 17; indikatorelement av de naturlige geokjemiske variasjoner i sedimenter), noe som tyder på at naturlig Zn, bundet til

silikater hovedsakelig kontrollerer geografiske variasjoner av Zn i overflatesedimenter i undersøkelsesområdet.

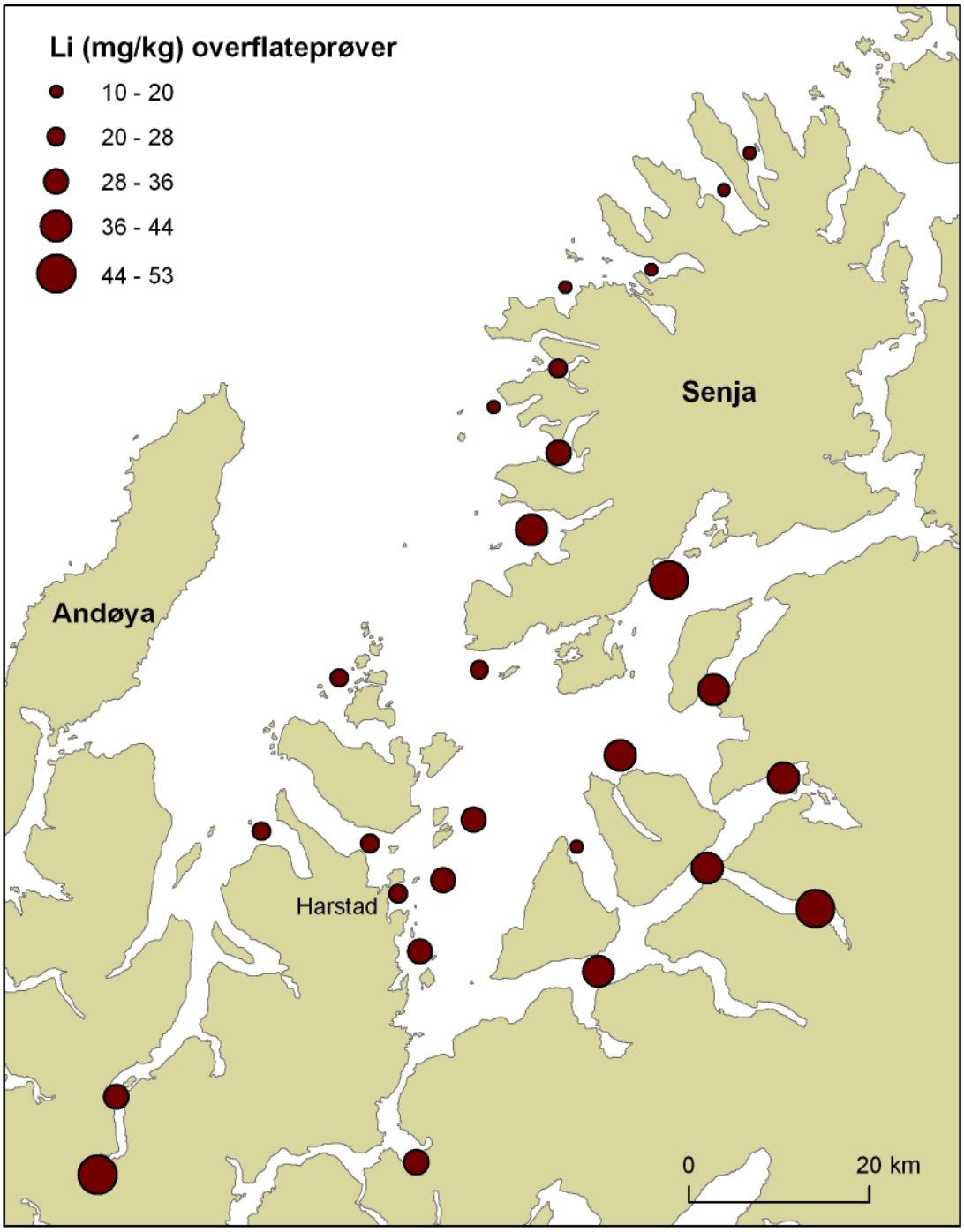


Figur 16. Bariumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

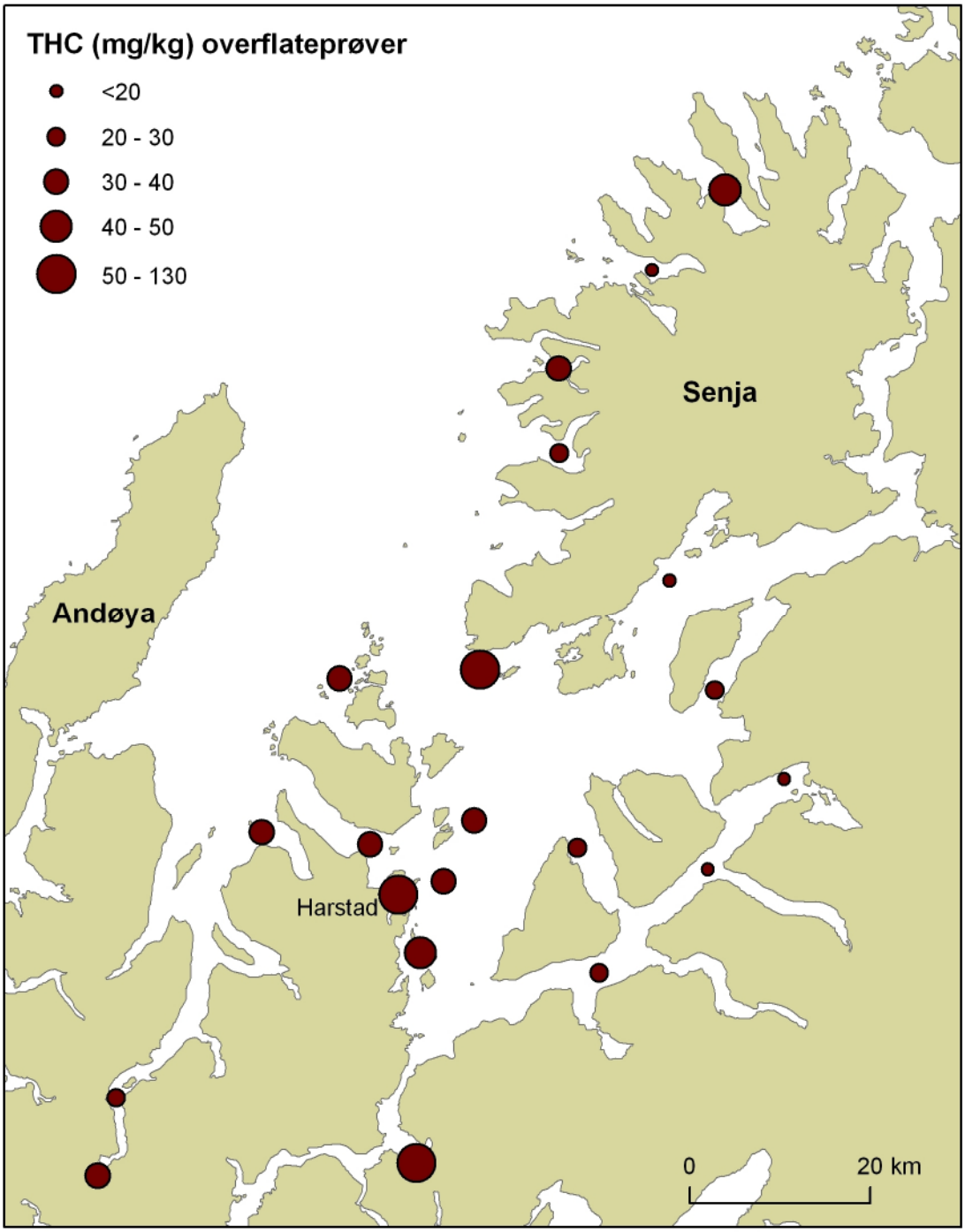
Barium (Ba) og Litium (Li)

Ba-konsentrasjonen i sedimentene kan være påvirket av menneskelig aktivitet, særlig i områder der barytt (bariumsulfat) er brukt som komponent i boreslammet ved boring under vann. Ved utslipp av boreslam kan sedimenter i nærområdet og sedimenter nedstrøms fra utslippstedet få høye Ba-konsentrasjoner, noe som er påvist i Skagerrak og på Trænabanken (Lepland m. fl., 2000; Lepland og Mortensen, 2008). Ba-konsentrasjonen (Figur 16) er i samsvar med Li-

konsentrasjonen (Figur 17), noe som tyder på at Ba hovedsakelig er bundet til naturlige silikatpartikler og ikke er påvirket av menneskelig aktivitet og utslipp.



Figur 17. Litiumkonsentrasjonen i overflatesedimentene.



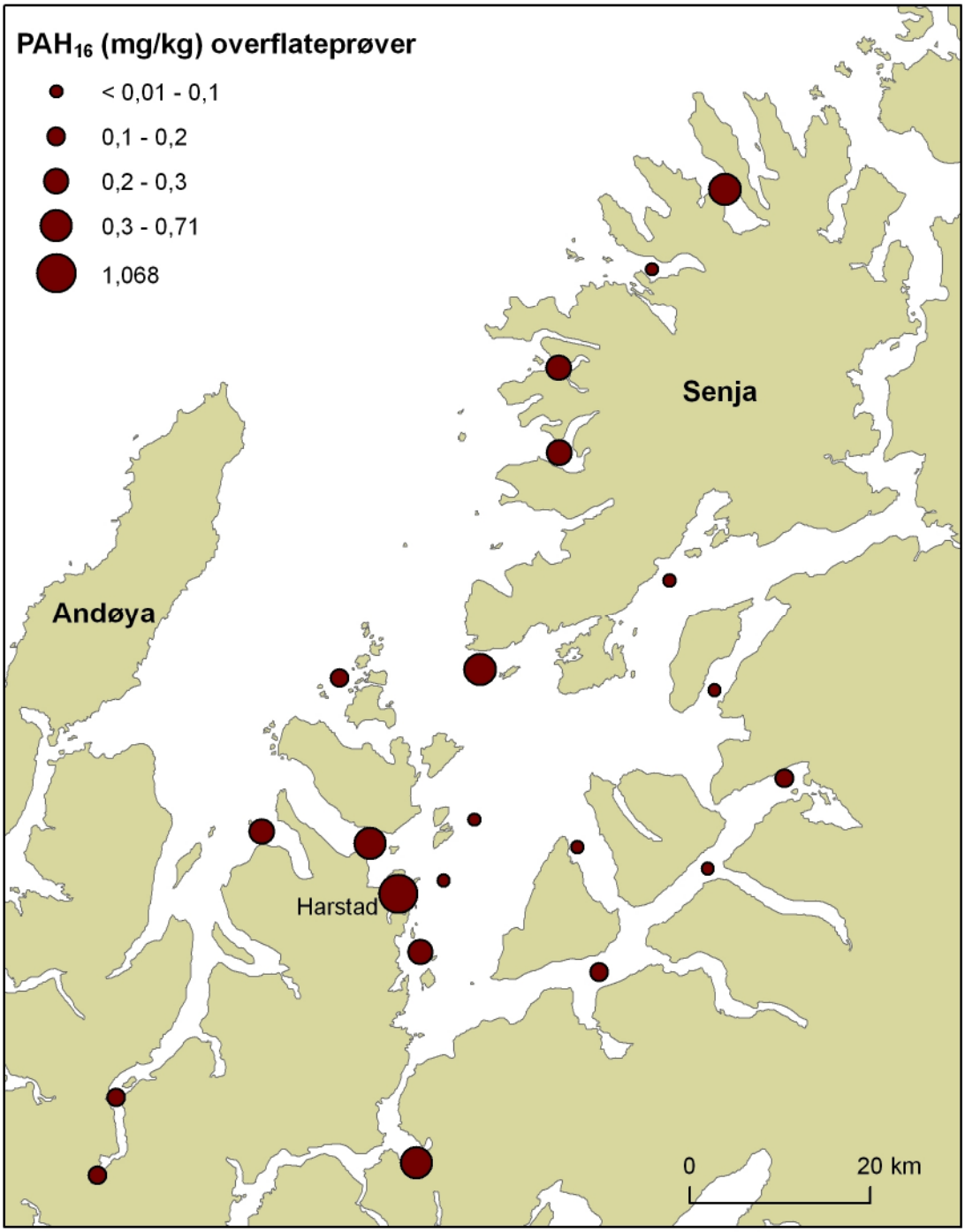
Figur 18. Konsentrasjonen av totale hydrokarboner (THC) i overflatesedimentene.

Totale hydrokarboner (THC)

THC er hydrokarboner som kan relateres til olje og oljeprodukter. Det analyseres for lette hydrokarboner til tunge hydrokarboner dvs. fra $C_5 – C_8$ - forbindelser opp til $C_{16} – C_{35}$ - hydrokarbonforbindelser. Det finnes ikke grenseverdier for slike stoffer i Klif veilederen for kyst- og fjordsedimenter.

Resultatene fra Astafjordprosjektet fase III viser at nivåene varierer fra mindre enn 20 mg/kg (under deteksjonsgrensen) til 130 mg/kg, som er registrert på stasjon P1002-017, utenfor Harstad (Figur 18). Deretter følger stasjon P1002-079, Sør-Lavangen (98 mg/kg) og P1002-074,

Øyfjorden (83 mg/kg). Det er registrert THC på 16 av 20 stasjoner, og det er utelukkende registrert tyngre hydrokarboner (C_{16} – C_{35}), mens lette og middelstunge hydrokarboner alle er under deteksjonsgrensene på 5 mg/kg.

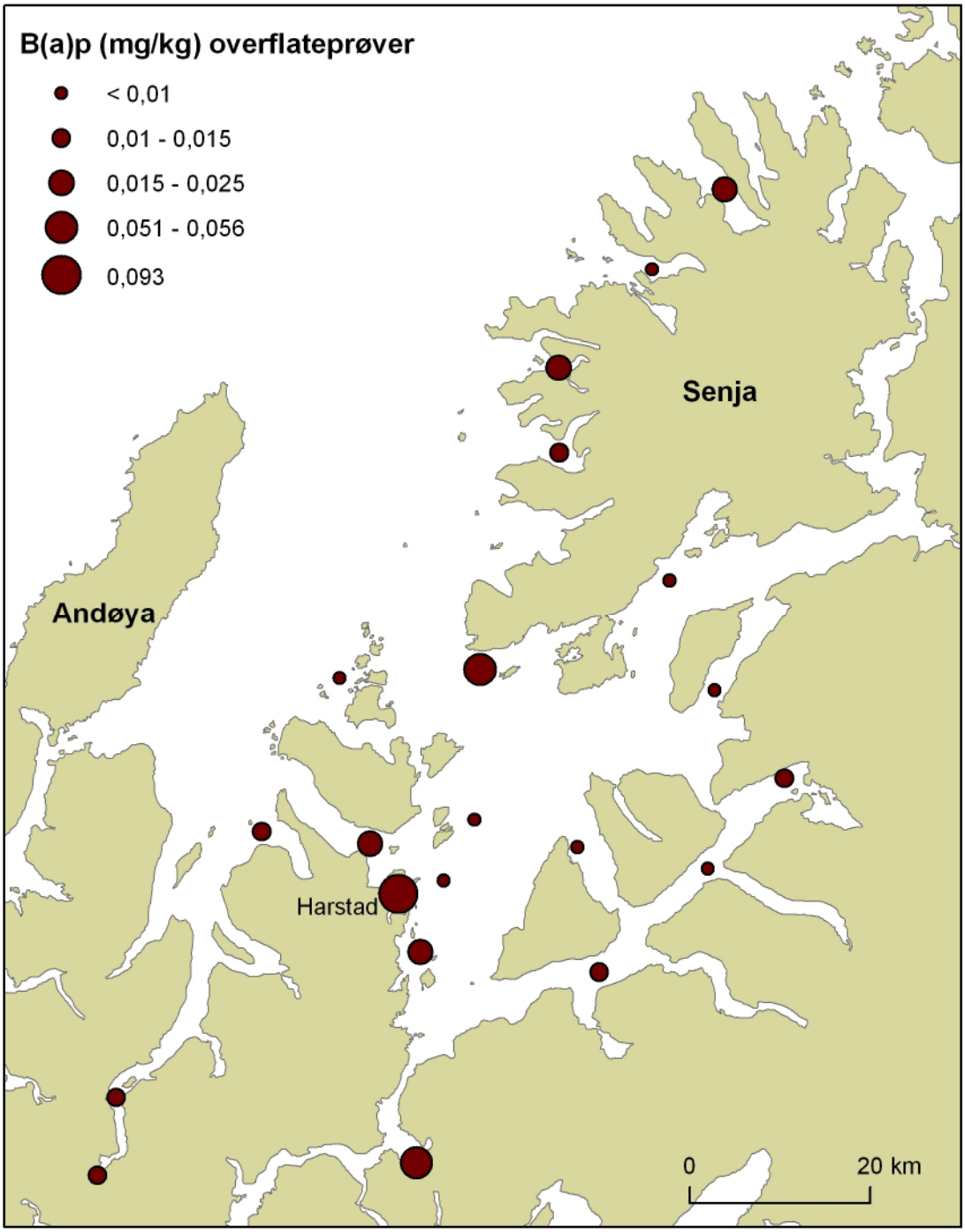


Figur 19. PAH_{16}-konsentrasjonen i overflatesedimentene.

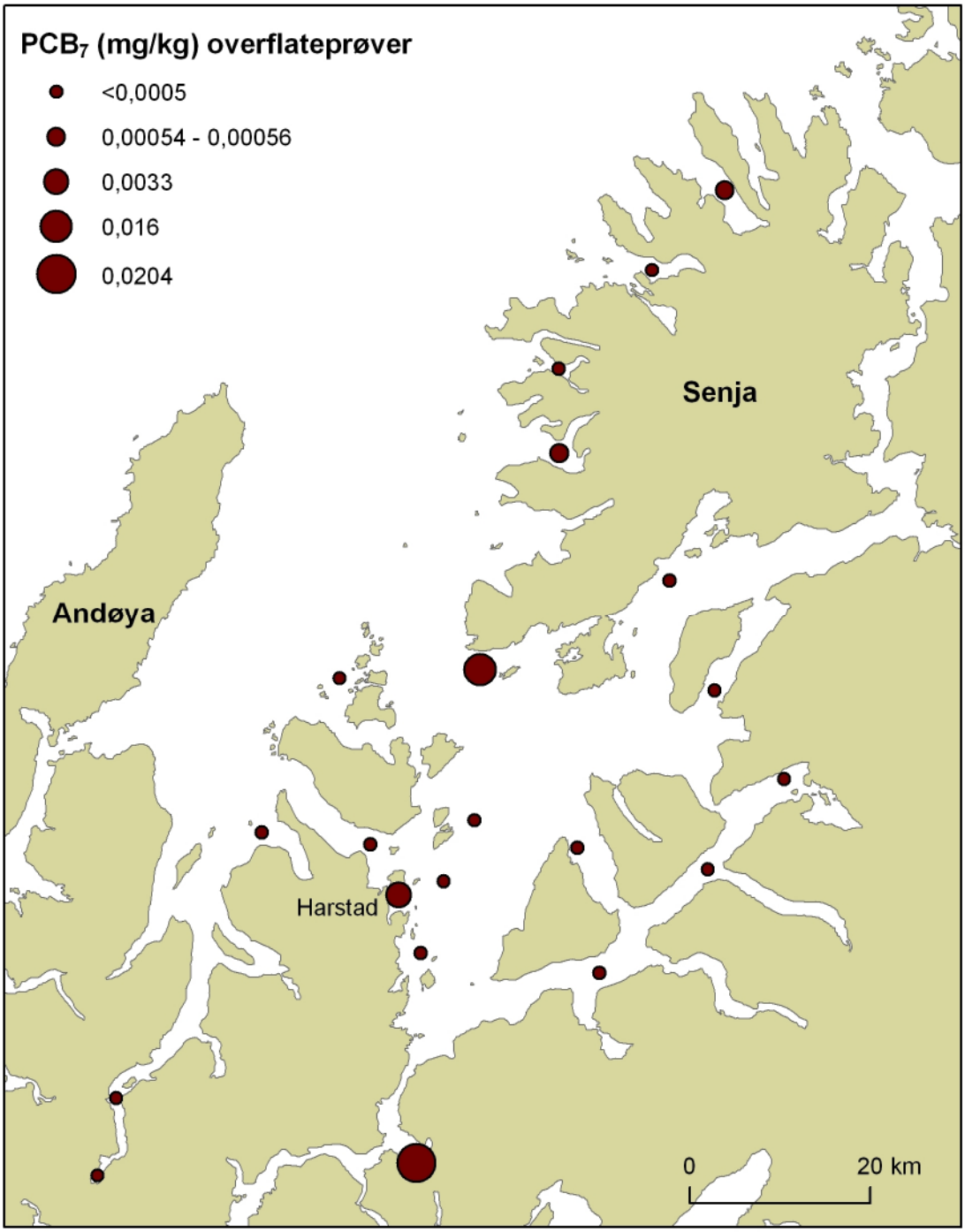
Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH_{16})

PAH-forbindelsene er helseskadelige, og en del av forbindelsene er kreftfremkallende, blant annet Benzo(a)pyren (B(a)p). De 2 – 6 ring aromatiske hydrokarbonene oppstår typisk som et resultat av ufullstendig forbrenning av organisk materiale som vedfyring, skogsbrann eller ufullstendig forbrenning av fossile drivstoffprodukter som olje, diesel, bensin eller kull.

Resultatene viser at det finnes PAH_{16} forbindelser på 20 av 21 stasjoner (Figur 19), mens det på en stasjon P1002-063, Skaland, ikke er registrert PAH_{16}. Høyeste konsentrasjon, 1,1 mg/kg, er funnet på stasjon P1002-017, utenfor Harstad havn. Generelt er PAH_{16}-konsentrasjonene lave. 16 stasjoner har mindre enn 0,3 mg/kg PAH_{16}, tilsvarende bakgrunnsnivå (Klif tilstandsklasse I), mens 4 stasjoner har PAH_{16}-konsentrasjoner tilsvarende Klif tilstandsklasse II, god (0,3 – 2 mg/kg). Benzo(a)pyren er registrert på 12 av de 20 prøvetakingsstasjonene. Den høyeste konsentrasjonen, 0,092 mg/kg, er på stasjon P1002-017 utenfor Harstad (Figur 20), og tilsvarer Klif tilstandsklasse II – god (0,006 – 0,420 mg/kg), som de øvrige 11 stasjoner med B(a)P registrert. Totalt 8 stasjoner har B(a)p under deteksjonsgrensen på 0,01 mg/kg.



Figur 20. Benzo(a)pyrenkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

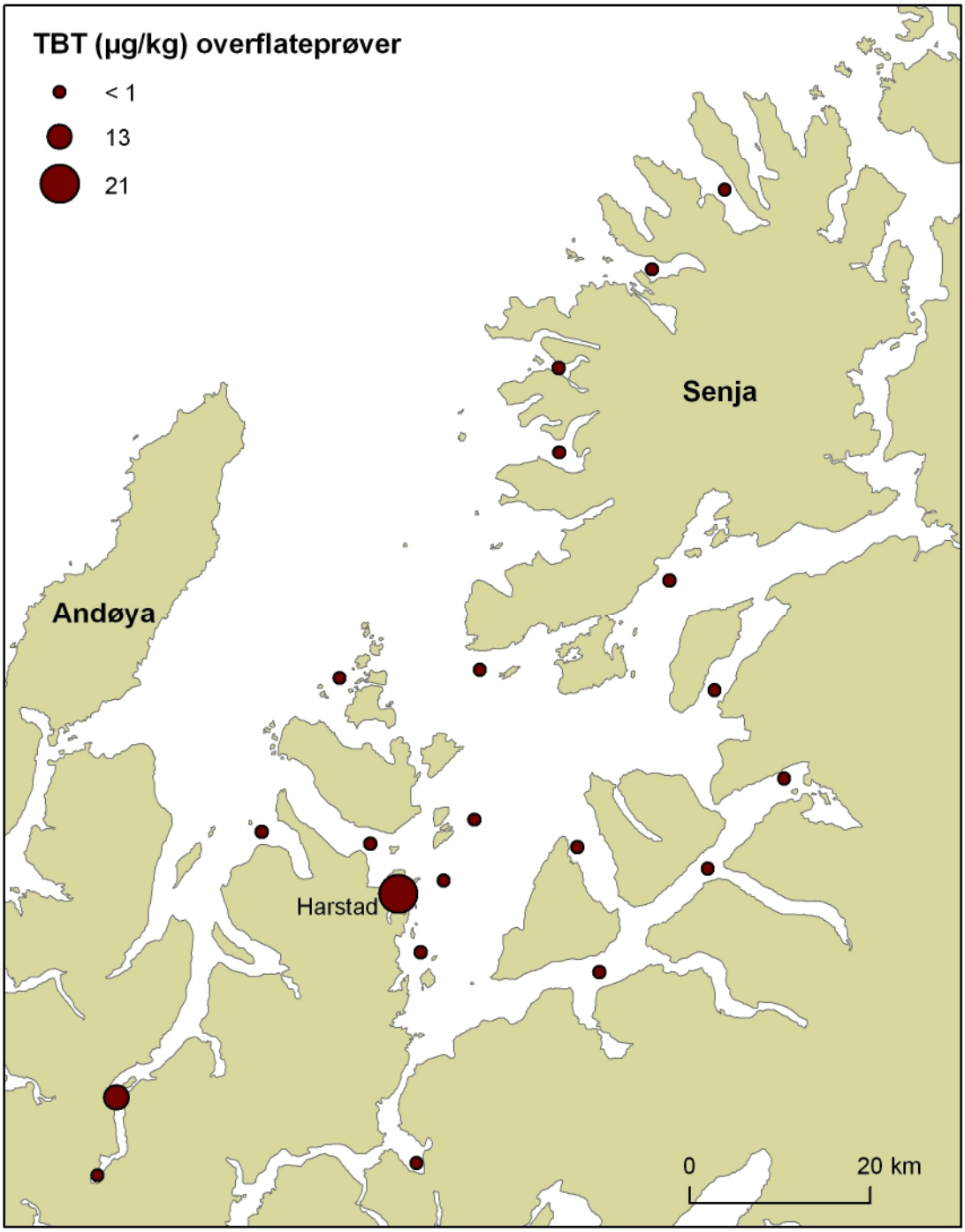


Figur 21. PCB_7-konsentrasjonen i overflatesedimentene.

Polyklorinerte bifenyler (PCB_7)

PCB-forbindelser har vært brukt i lysarmaturer, i hydraulikkolje og som tilsetning til utendørsmaling. Det ble lagt ned totalforbud mot bruk av PCB fra 1980 i Norge, men det finnes fremdeles en del PCB som ennå ikke er fjernet. PCB er svært vanskelig å bryte ned, og vil således forbli i naturen i mange år. PCB er helse- og miljøskadelig selv i meget lave konsentrasjoner. Resultatene viser at det er registrert PCB_7 på 4 av i alt 21 stasjoner (Figur 21). Den høyeste konsentrasjonen, 0,02 mg/kg, tilsvarende moderat forurensing, er registrert på stasjon P1002-079 (Sør-Lavangen), mens det er 2 stasjoner, P1002-074 (Øyfjorden) og P1002-070 (Senjahopen), med henholdsvis 0,016 mg/kg og 0,0056 mg/kg, tilsvarende god miljøtilstand,

Klif klasse II for kyst- og fjordsedimenter. Det er registrert 0,0033 mg/kg på stasjon P1002-017, utenfor Harstad havn. Denne, og de øvrige 16 stasjoner hvor det ikke er registrert PCB_7, svarer til bakgrunnsnivå (< 0,005 mg/kg).



Figur 22. Tributyltinnkonsentrasjonen i overflatesedimentene.

Tributyltinn (TBT)

TBT er et stoff som brukes for å hindre algevekst på skipsskrog, og er en meget toksisk, organisk tinnforbindelse (Braastad, 2000). TBT er funnet på to stasjoner, P1002-017, utenfor Harstad, og på stasjon P1002-029 i Gullesfjorden (Kvæfjord) (Figur 22). Stasjon P1002-017 har en

konsentrasjon på 21 µg/kg, tilsvarende dårlig miljøtilstand (Klasse IV), og 13 µg/kg i Gullesfjorden, tilsvarer moderat forurensing (Klasse III) i henhold til Klif-veileder 2229 (2007).

Det er analysert på prøver av vann over toppen av 4 sedimentkjerner fra P1002-063, P1002-074, P1002-077 og P1002-078. Det er ikke registrert PAH_{16}, PCB_7 eller TBT i vannfasen over sedimentoverflaten, idet alle analysene er under deteksjonsgrensene for de respektive stoffene. Det er registrert lav konsentrasjon av THC, 33 µg/l.

Tabell 2. Minimum- og maksimumverdier for tungmetaller, arsen og barium (dybdeintervallet 0-1 cm) og organiske miljøgifter (dybdeintervaller 0-5 cm, 0-6 cm eller 0-7 cm) i prøver fra Astafjord fase III området.

Kjemisk stoff	Minimum	Maksimum
Arsen (As) [mg/kg]	2	17,5
Bly (Pb) [mg/kg]	21,6	116
Kadmium (Cd) [mg/kg]	0,05	0,92
Kobber (Cu) [mg/kg]	11,8	462
Krom (Cr) [mg/kg]	21,3	75,8
Kvikksølv (Hg) [mg/kg]	0,008	0,465
Nikkel (Ni) [mg/kg]	12,1	154
Sink (Zn) [mg/kg]	47,4	131
Barium[1] (Ba) [mg/kg]	70,7	207
THC [mg/kg]	< 020	131
PAH_{16} [mg/kg]	< 0,01	1,068
B(a)p [mg/kg]	< 0,01	0,093
PCB_7 [mg/kg]	< 0,0005	0,0204
Tributyltinn[1] (TBT) [µg/kg]	< 1,0	21

[1]Ba er ikke på Klifs liste, men er av interesse i forhold til utslipp av barytt i forbindelse med boreoperasjoner i petroleumsindustrien.

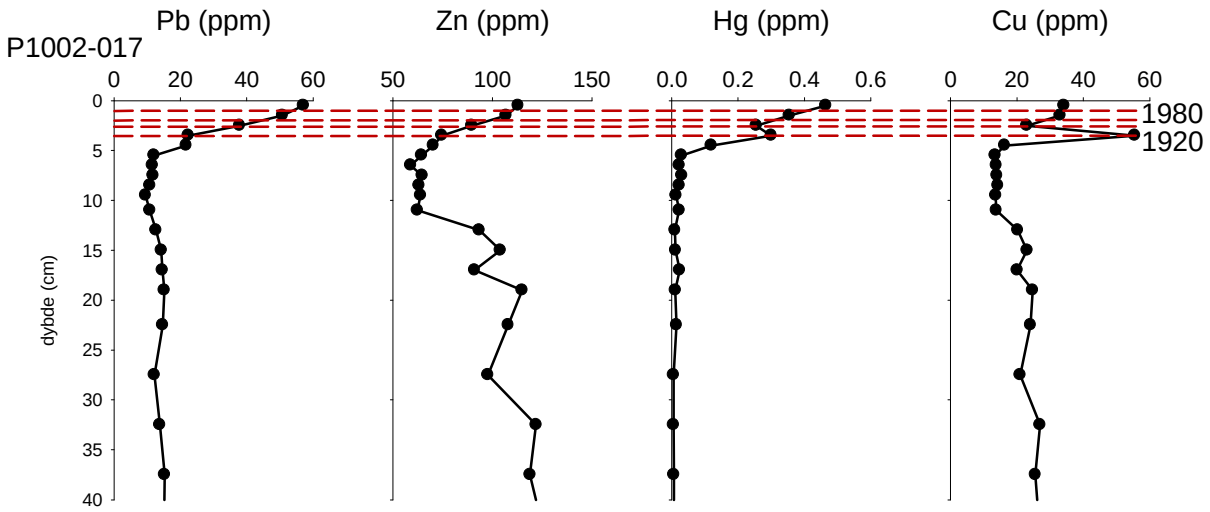
Tabell 3. Klima og forurensingsdirektoratets (Klifs) marine forurensingsklassifikasjon for metaller og organiske miljøgifter i tørt sediment (TS) i fjorder og kystsedimenter (Molvær m. fl., 1997; Klif-veileder 2229, 2007; Bakke m. fl., 2010). Uthevet skrift viser antall prøver i hver klasse i overflatesedimentene (0-1 cm for metaller og 0-5 cm, 0-6 cm eller 0-7 cm for organiske miljøgifter) i Astafjord fase III området.

Parameter	Forurensingsnivå				
	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg TS) As	<20 **27**	20 – 52 **0**	52 – 76 **0**	76 – 580 **0**	>580 **0**
Bly (mg/kg TS) Pb	<30 **5**	30 – 83 **20**	83 – 100 **1**	100 – 720 **1**	>720 **0**
Kadmium (mg/kg) Cd	<0,25 **19**	0,25 – 2,6 **8**	2,6 – 15 **0**	15 – 140 **0**	>140 **0**
Kobber (mg/kg TS) Cu	<35 **21**	35 – 51 **5**	51 – 55 **0**	55 – 220 **0**	>220 **1**
Krom (mg/kg TS) Cr	<70 **26**	70 – 560 **1**	560 – 5900 **0**	5900 – 59000 **0**	>59000 **0**
Kvikksølv (mg/kg) Hg	<0,15 **26**	0,15 – 0,63 **1**	0,63 – 0,86 **0**	0,86 – 1,6 **0**	>1,6 **0**
Nikkel (mg/kg TS) Ni	<30 **16**	30 – 46 **10**	46 – 120 **0**	120 – 840 **1**	>840 **0**
Sink (mg/kg TS) Zn	<150 **27**	150 – 360 **0**	360 – 590 **0**	590 – 4500 **0**	>4500 **0**
PAH_{16} (µg/kg TS)	<300 **16**	300 – 2000 **5**	2000 – 6000 **0**	6000 – 20000 **0**	>20000 **0**
B(a)p (µg/kg TS)	<6 **9**	6 – 420 **12**	420 – 830 **0**	830 – 4200 **0**	>4200 **0**
PCB_7 (µg/kg TS)	<5 **18**	5 – 17 **2**	17 – 190 **1**	190 – 1900 **0**	>1900 **0**
TBT (µg/kg TS) forvaltningsmessig	<1 **19**	1 – 5 **0**	5 – 20 **1**	20 – 100 **1**	>100 **0**

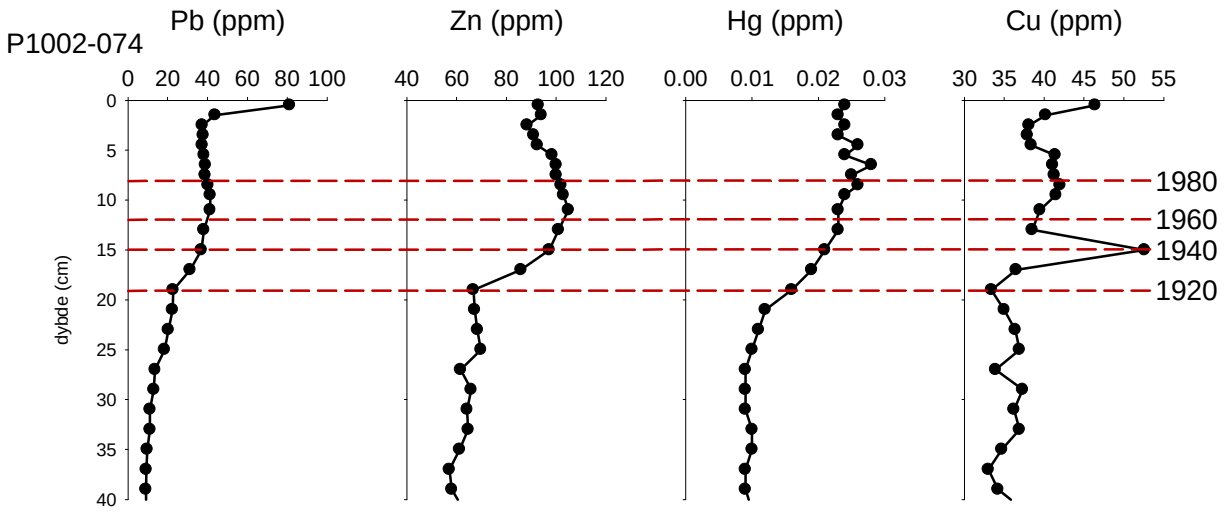
3.2 Sedimentprofiler og dateringer

A-kjernene ble splittet i 1 cm tykke skiver og alle disse ble analysert for innhold av tungmetaller. Konsentrasjonene ble plottet som profiler, som viser utviklingen av forurensning over tid. De dypeste delene av kjernene viser sedimenter avsatt før den industrielle revolusjonen og dermed et naturlig sediment for området. Konsentrasjonsprofiler for Pb, Hg, Cu og Zn viser stabilt lave verdier i de dypere intervallene, og en liten, men konsekvent økning i de øverste intervallene på de fleste stasjonene (Fig. 23-25; Vedlegg 4). Tungmetalløkningen i de øverste intervallene skjer i takt med økning av TOC. Økningen av Pb, Hg, Cu og Zn, som vanligvis starter ved ca 10 cm men i enkelte tilfeller ved opp til 20 cm kjernedybde, skyldes forurensning. Denne korrelasjonen mellom Pb, Hg, Cu og Zn-profiler og TOC-profiler indikerer at organisk materiale er en viktig bærer og berikingsfaktor for tungmetaller og forurensningen i undersøkelsesområdet. Forurensningsgraden i de øverste sedimentlagene er likevel forholdsvis lav og konsentrasjonen

overstiger bare på noen få stasjoner Klif klasse II (god miljøtilstand) (se også beskrivelsen av Cu, Pb og Ni i overflatesedimenter for nivåer i klasser III-V ved overflaten på tre stasjoner). Kilden for Pb, Hg, Cu og Zn-forurensningen er ikke påvist, men i og med at økt innhold i de øverste sedimentlagene er observert i nesten alle de studerte sedimentkjernene, kan dette tolkes som at metallforurensningen er effektivt distribuert i området. Slik heldekkende Pb, Hg, Cu og Zn-forurensning i området kan delvis skyldes atmosfæriske kilder fra fjerne urbane/industrielle strøk, særlig for Pb og Hg som er kjent for atmosfærisk transport over lange distanser.



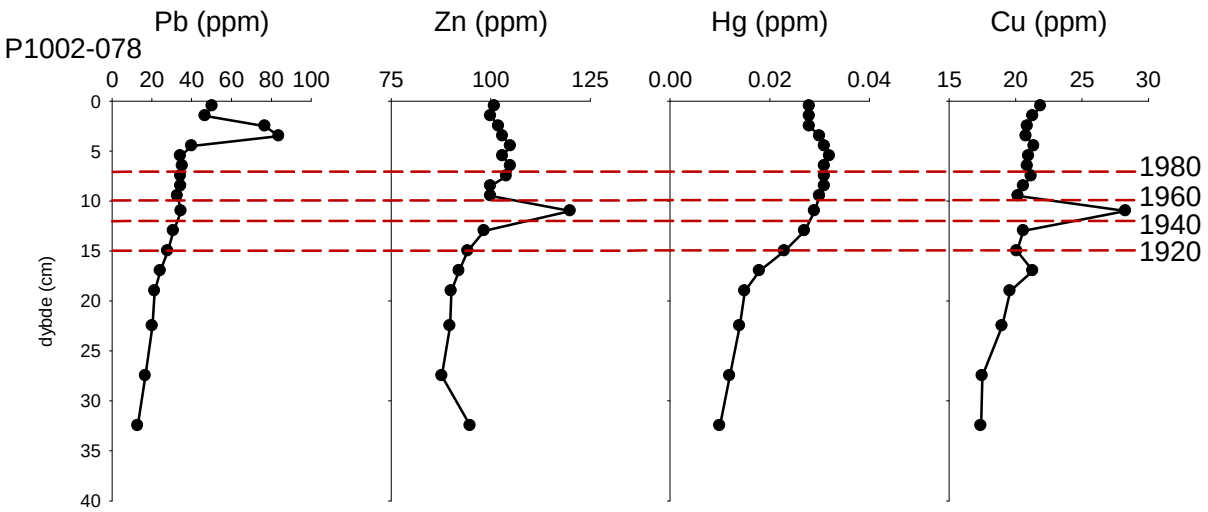
Figur 23. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-017 fra sedimentbassenget utenfor Harstad.



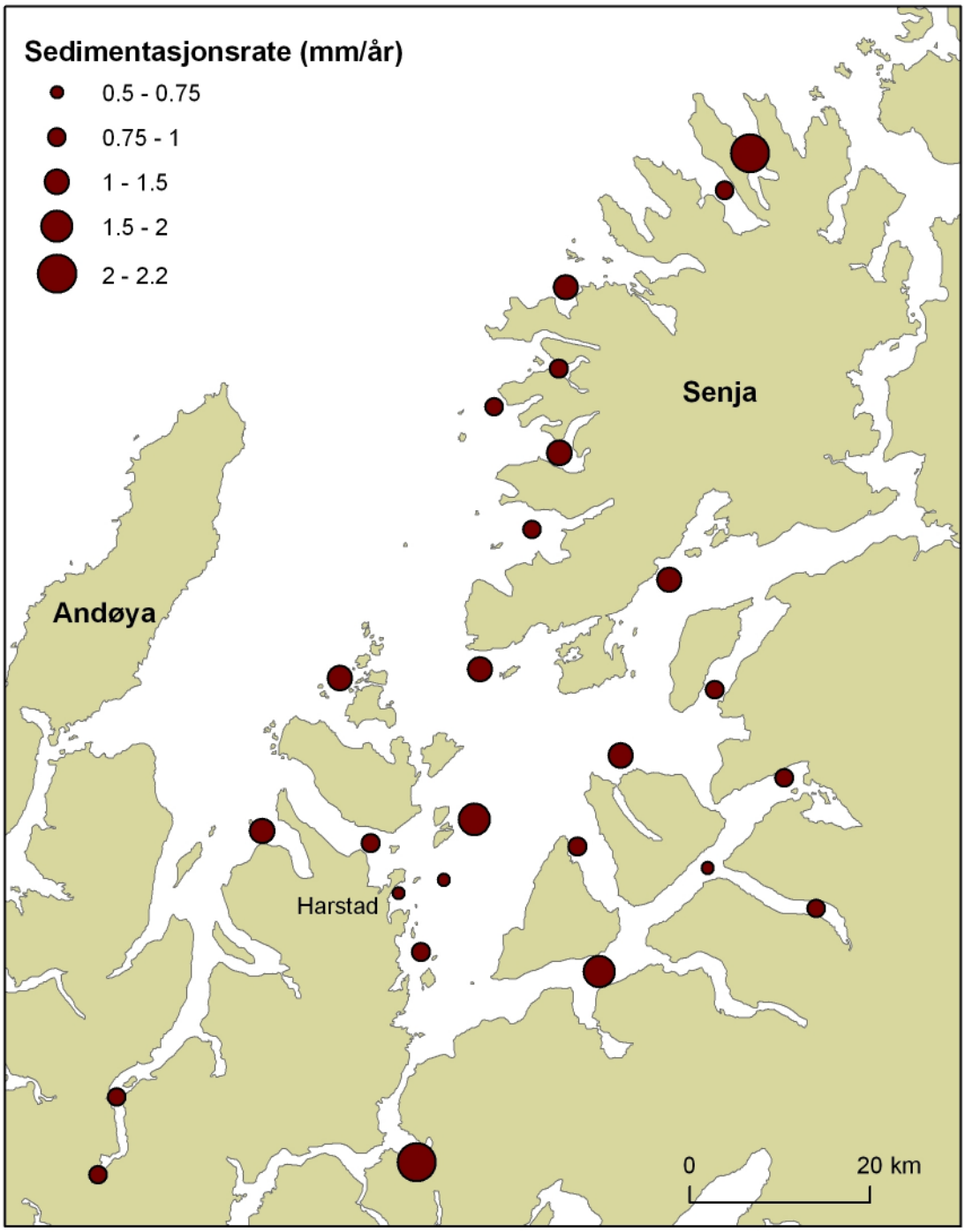
Figur 24. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-074 fra Øyfjorden.

Andre metaller som er viktige i forurensnings- og miljøstatussammenheng, som Cd, As, Ni, Cr og Ba, viser lave konsentrasjoner, små variasjoner oppover i kjernene og ikke noen uvanlig økning i de øverste sedimentlagene (Fig. 23-25; Vedlegg 4). Ni i stasjon P1002-063 ved Skaland, der det ligger avgangsmasser fra gruveindustri, er unntaket. Profiler av Cr og Ni, og delvis også Cd og Ba, viser rimelig god korrelasjon med Li, som er et stabilt element bundet til naturlige slam og sand partikler, og dermed er en indikator av de naturlige geokjemiske variasjonene i sedimentene. Denne generelle korrelasjonen, samt lave konsentrasjoner, indikerer at Cd, Ni, Cr og Ba i kjernene hovedsakelig er bundet til naturlige sedimentpartikler, og viser at disse metallene i liten grad indikerer forurensning.

Dateringsresultatene viser variable sedimentasjonsrater i de tre daterte sedimentkjernene (Fig. 22-24). Integrering av dateringer med Pb, Hg, Cu og Zn-profiler viser at den mest markante økningen i forurensningen skjedde på 1920-tallet. Økningen av tungmetallkonsentrasjoner er mest tydelig for kvikksølv, og de fleste Hg profiler har et knekk ved 10-20 cm sedimentdybde. Denne Hg-knekken kan sannsynligvis brukes som tidsmarkør for korrelering av sedimentprofiler og dermed også for beregning av sedimentasjonsrater i kjerner som ikke er datert. Dybden av Hg-knekken varierer fra kjerne til kjerne, fra 5 til 20 cm (Vedlegg 4). Dette gir sedimentasjonsrater fra 0,5 til 2,2 mm/år, kalkulert på grunnlag av tidspunkt 1920 ved begynnelsen av Hg-økningen (Fig. 26).



Figur 25. Dateringsresultater og Pb, Zn, Hg og Cu-profiler fra kjerne P1002-078 fra Astafjorden.



Figur 26. Sedimentasjonsrater i Astafjord fase III området kalkulert på grunnlag av Hg-profiler og dateringsresultater.

4. OPPSUMMERING

Sjøbunnssedimenter og deres innhold av miljøgifter gir viktig informasjon om miljøsituasjonen i fjordene i dag og endringer som har skjedd over tid. Detaljerte sjøbunnsdata og oversikt over de naturlige sedimentasjonsprosesser i det marine miljøet, samt over effekter av menneskets påvirkning gir bedre grunnlag for forvaltning av marine ressurser.

Resultater av sedimentundersøkelsen som er presentert i denne rapporten viser varierende sedimentasjonsmønster i Astafjordområdet/Sør-Troms. Fjordsedimenter innerst i området er sterkt påvirket av tilførsel av slam og sandpartikler fra land. Andel av disse mineralpartiklene minker utover mot åpent hav i nordvestlig retning, og i store trekk får sedimentene gradvis mer marint/biogent materiale og høyere innhold av organisk karbon og kalsiumkarbonat.

Data fra sedimentprofiler viser at siden ca. 1920 har området blitt påvirket av forurensning med enkelte tungmetaller. Disse tungmetaller har en tydelig konsentrasjonsøkning i de øverste 10-20 cm av sedimenten i de studerte kjernene. Forurensningsgraden er likevel forholdsvis liten og overstiger Klif miljøtilstandsklasse II (god) i overflatesedimenter kun ved tre stasjoner: i Astafjorden-Salangen og i Sør-Lavangen tilsvarer Pb-konsentrasjoner i overflatesedimenter Klif klasse III og IV, mens grafittrike deponeringsmasser ved Skaland har høyt innhold av Cu (klasse V) og Ni (klasse IV). Cu- og Ni-forurensingen ved Skaland er mest sannsynlig knyttet til avfall fra bergindustri. Årsaken til høye Pb-verdier i Astafjorden-Salangen og i Sør-Lavangen er ikke kjent.

Innhold av de organiske stoffene PAH_{16} inkl. B(a)p, PCB_7 og TBT analysert i de øverste 5-7 cm av havbunnen på 21 stasjoner viser at det generelt er lave konsentrasjoner svarende Klif klasse I (bakgrunn) og klasse II (god) i de fleste tilfellene. I enkelte tilfeller er det registrert høyere konsentrasjoner. Det gjelder TBT, som forekommer i konsentrasjoner tilsvarende klasse IV utenfor Harstad havn og klasse III på stasjon P1002-029 i Gullesfjord. PCB_7 er registrert i en konsentrasjon svarende til klasse III, moderat forurenset, i Sør-Lavangen. THC finnes i lave konsentrasjoner på de fleste stasjonene. Det er ikke registrert PAH_{16}, PCB_7 eller TBT i vannfasen over sedimentoverflaten. Det er registrert lav konsentrasjon av THC.

Dataene presentert i rapporten gir oversikt over sedimentasjonsprosesser og miljøstatus i Astafjordområdet og Sør-Troms. Denne informasjon kan brukes i flere sammenhenger i forvaltning av sjøområder, havbruk og industri. For eksempel som grunnlag for miljøovervåking, planlegging av sjømatproduksjon og vurdering av potensielle miljøeffekter av industriell aktivitet. Målrettet bruk av disse data vil bidra til enhetlig og kunnskapsbasert forvaltning av marine ressurser.

5. REFERANSER

Bakke, T., Källqvist, T., Ruus, A., Breedveld, G.D., og Hylland, K., 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. Journal of Soils and Sediments vol. 10, s. 172-178.

Braastad, G. 2000: Kort innføring i toksikologi – økotoksikologisk risikovurdering – veiledning – Del IIA. SFT-rapport TA 1756, 46 sider.

Lepland, A. og Mortensen, P.B., 2008. Barite and barium in sediments and coral skeletons around the hydrocarbon exploration drilling site in the Træna Deep, Norwegian Sea. Environmental Geology, vol. 56, s. 119-129.

Lepland, A., Sæther O. M. and Thorsnes T., 2000. Accumulation of barium in recent Skagerrak sediments: sources and distribution control. Marine Geology, vol. 163, s. 13 – 26.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. & Sørensen, J. 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport 97:03, TA-1467, 36 sider.

Niemistö, L., 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Merentutkimuslaitoksen Jutlkaisu / Havsforskningsinstitutets Skrift 238, s. 33-38.

SFT 2007: Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT-veileder 2229, 11 sider.

Sæther O. M., Faye G., Thorsnes T., Rise L., Longva O. and Bøe R., 1996. Regional distribution of manganese, phosphorus, heavy metals, barium, and carbon in sea-bed sediments (0-2 cm) from the northern part of the Norwegian Skagerrak. Geological Survey of Norway Bull., no. 430, p. 103-112.

Thorsnes T. and Klungsøyr J., 1997. Contamination of Skagerrak sediments due to man-made inputs during the last 200 years. In: O. Longva and T. Thorsnes (Editors), Skagerrak in the past and at the present - an integrated study of geology, chemistry, hydrography and microfossil ecology. Geological Survey of Norway. Special Publication, vol. 8, p. 52-79.