



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

**NGU RAPPORT
2021.018**

Sedimentasjonsmiljø og
historisk utvikling
i forurensningsstatus i
sjøområdene i kommunene
Ålesund og Giske



Rapport nr.: 2021.018	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i kommunene Ålesund og Giske			
Forfatter: Jochen Knies, Stepan Boitsov, Nicole J. Baeten, Sigrid Elvenes, Reidulv Bøe		Oppdragsgiver: Marine grunnkart i kystsonen	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Ålesund, Giske	
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund, Ulsteinvik		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 67	Pris: 140,-
Feltarbeid utført: 2020		Rapportdato: 08.06.2021	Ansvarlig: Vegard Aune
Sammendrag: <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) utarbeider i samarbeid med Kartverket og Havforskningsinstituttet (HI) marine grunnkart over utvalgte sjøområder i kommunene Ålesund og Giske i pilotprosjektet Marine grunnkart i kystsonen. Under feltarbeid med F/F Seisma i august 2020 hentet NGU opp ti korte sedimentkjerneprøver fra sjøbunnen på utvalgte lokaliteter. Målet med undersøkelsen er å skaffe en oversikt over naturlige sedimentasjonsprosesser i det marine miljøet, og over eventuell påvirkning av menneskelig aktivitet. For å bestemme om innholdet av skadelige stoffer i bunnprøvene skyldes menneskeskapt forurensning eller ikke er det viktig å undersøke det naturlige nivået av ulike elementer i havbunnsedimentene over tid. Ved hjelp av kjerneprøver kan vi analysere sedimentene fra de ulike dybdeintervallene for å påvise endringer. Resultatene viser at de prøvetatte bunnsedimentene er dominert av slam. Organisk karboninnhold er generelt høyt (>1 %) i alle prøver, med de høyeste verdiene (4,5-5,0 %) i Synesvikane og Vigrafjorden. Her registrerer vi også de høyeste konsentrasjonene av svovel, alle tungmetaller og arsen. Alle målingene av tungmetaller viser konsentrasjoner i tilstandsklasse I (bakgrunn) og II (god) i henhold til Miljødirektoratets klassifisering. Vi har undersøkt om tilførselen av tungmetaller har økt med menneskelig påvirkning over tid i tre sedimentbasseng: Valderhaugfjorden (kjerne 2), Vigrafjorden Ø for Roald (kjerne 8), og Harøyfjorden ved Fjørtofta (kjerne 14). Sedimentasjonshastigheten varierer fra 1,4 (kjerne 14) til 4,4 (kjerne 8) og 4,6 (kjerne 2) millimeter per år. Felles for alle tre kjerner er at konsentrasjonsprofilene for tungmetaller viser stabilt lave verdier de siste ca. 100 år. Konsentrasjonen for alle elementer er på bakgrunnsnivå og kan regnes som et naturlig signal knyttet til erosjon av jordsmonn og bergarter.</p> <p>Analyser av organiske miljøgifter har påvist lett forhøyet nivå av totalt hydrokarboninnhold (THC), som er normalt for kystnære områder, og ellers relativt lave nivåer av hydrokarboner (PAH). PAH-sammensetningen domineres av forbrenningsrelaterte PAH-forbindelser, som kan tyde på menneskeskapt forurensning. Både PAH16 og benzo[a]pyren ligger i tilstandsklasse II (god). Menneskeskapt organiske miljøgifter ligger lavt eller meget lavt for PCB, klorerte pesticider og nesten alle bromerte flammehemmere (PBDE). Alle disse miljøgiftene ligger i tilstandsklasse II for forbindelser som det er etablert tilstandsklasser for. Av PBDE, er det kun BDE-209 som er forhøyet spesielt i Valderhaugfjorden og Synesvikane.. Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser av området. Nye miljøgifter undersøkt her, PFAS, er funnet i lave nivåer i alle prøver og ligger i tilstandsklasse II for PFOA og tilstandsklasse III for PFOS.</p>			
Emneord:	Maringeologi	Tungmetaller	
Forurensning	Bunnsedimenter	Organiske miljøgifter	
Datering	Sedimentasjonsmiljø	Miljøtilstand	

Innhold

1. INNLEDNING.....	4
2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK.....	6
3. RESULTATER.....	9
3.1 Overflateprøver.....	9
3.1.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat.....	9
3.1.2 Innhold av arsen og tungmetaller.....	15
3.1.2 Innhold av organiske miljøgifter.....	35
3.2 Sedimentkjerneprøver.....	53
3.2.1 Kronologi og sedimentasjonshastighet.....	53
3.2.2 Kornfordeling, svovel, organisk karbon og kalsiumkarbonat.....	55
3.2.3 Tungmetaller og arsen i kjerneprøver.....	59
4. OPPSUMMERING.....	63
5. REFERANSER.....	64
6. VEDLEGG.....	65

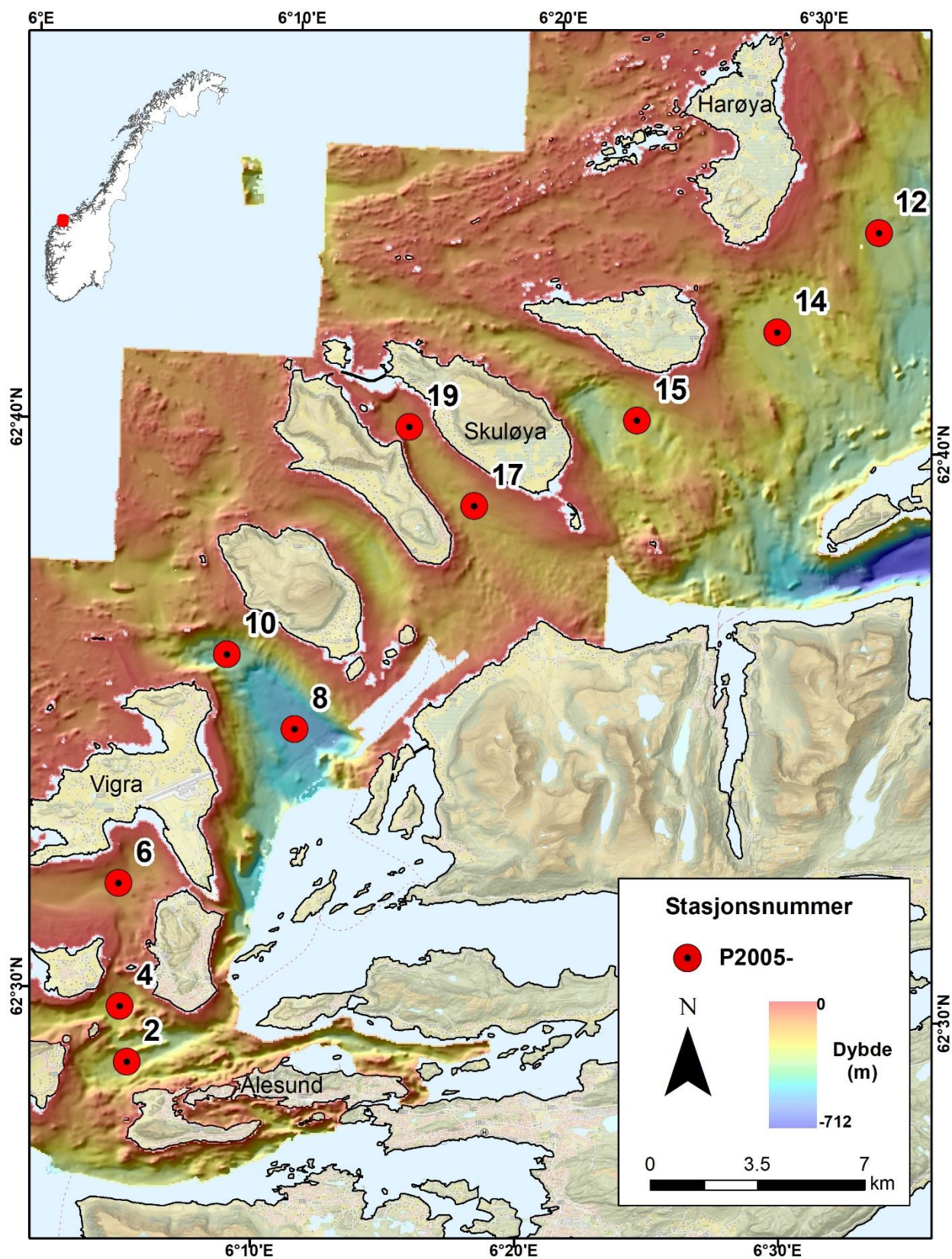
1. INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utarbeider i samarbeid med Kartverket og Havforskningsinstituttet (HI) marine grunnkart over utvalgte sjøområder i Ålesund og Giske kommuner i prosjektet Marine grunnkart i kystsonen. Som en del av prosjektet skal miljøtilstanden kartlegges.

I august 2020 gjennomførte NGU feltarbeid med F/F Seisma, og hentet opp korte sedimentkjerner fra ti havbunnslokaliteter (figur 1). Analyse av overflatesedimentenes innhold av tungmetaller og organiske miljøgifter gir oss et oversiktsbilde over tilstanden i de ulike delene av studieområdet. I tillegg viser variasjon i tungmetallinnhold i tre kjernepøver den historiske utviklingen over de siste ca. 120 år.

De ti lokalitetene (tabell 1) ble valgt ut fra informasjon om dybde og bunnreflektivitet fra kartlegging med multistråleekkolodd (figur 1). Vi har prioritert å prøveta dype avsetningsbassenger der finkornet materiale samles opp uforstyrret over tid, siden miljøgifter ofte vil binde seg til finkornet materiale og karbon, og avsettes sammen med disse.

I denne rapporten presenterer vi først nivåene av ulike metaller (inkludert tungmetaller) og organiske miljøgifter fra overflateprøver (0-2 centimeter dybde i bunnsedimentet) fra de ti utvalgte lokalitetene i studieområdet. Deretter diskuterer vi hvordan innholdet av metaller i tre av sedimentkjernene har variert over tid. Konsentrasjonen av forurensende stoffer i overflatesedimenter angir dagens miljøstatus, og kan klassifiseres i henhold til Miljødirektoratets klassifikasjonssystem for vann, sediment og biota (M-608, 2016, revidert i 2020).



Figur 1. Lokalteter med sedimentprøver fra sjøbunnen tatt for kartlegging av miljøtilstanden i utvalgte områder i kommunene Ålesund og Giske. Kjerneprøver ble studert fra lokalitet 2, 8 og 14. Dybdedata og landdata fra Kartverket.

Tabell 1. Stasjonsnummer, koordinater og vanddyb for lokalitetene i miljøundersøkelsen.

Stasjon	Kort stasjonsnummer	Område	Geografiske koordinater (desimalgrader)		Vanddyb (m)
			Nord	Øst	
P2005002B	2	Valderhaugfjorden	62.4791518	6.0843827	104
P2005004C	4	NV for Skjongfluda	62.4953932	6.0782488	73
P2005006C	6	Synesvikane	62.5313155	6.0740438	44
P2005008A	8	Vigrafjorden Ø for Roald	62.578691	6.181289	180.0
P2005010A	10	Vigrafjorden N for Roald	62.5997157	6.1361367	139
P2005012C	12	Harøyfjorden ved Harøya	62.730829	6.5399122	104
P2005014A	14	Harøyfjorden ved Fjørtofta	62.7006367	6.477638	89
P2005015C	15	Nogvafjorden	62.6731353	6.3904958	90
P2005017C	17	Longvafjorden SØ	62.64616	6.2891575	50
P2005019C	19	Longvafjorden NV	62.6685938	6.2458727	45

2. PRØVETAKING, DATA OG METODIKK

Prøvene for miljøanalyser ble tatt i avsetningsbassenger med finkornete sedimenter. Prøvetakingen ble planlagt ut fra detaljert informasjon om dybde og bunnhardhet fra data innsamlet med multistråleekkolodd. Figur 1 og tabell 1 gir en oversikt over prøvetakingsstasjoner, dybde og geografiske koordinater.

NGUs multicorer, som ble brukt til prøvetaking, var utstyrt med fire rør på 60 cm lengde med diameter 6,3 cm (figur 2). Rørene lukkes i topp og bunn idet prøven tas, slik at hver kjerneprøve kommer opp med en uforstyrret sedimentoverflate. Til bruk for analyse av kornfordeling og uorganiske miljøgifter ble de øverste to centimeter av én kjerne per stasjon skåret av med plastspatler og frosset ned i plastposer direkte etter prøvetaking (figur 3). Til analyse av organiske miljøgifter ble de øverste to centimeter fra to kjerner per stasjon skåret av med metallspatler, pakket i aluminiumsfolie og frosset ned direkte etter prøvetaking. På hver av de tre lokalitetene 2, 8 og 14 ble alle sedimentene i én kjerneprøve tatt ut i centimeter-intervaller for videre analyser (kornfordeling, metallsammensetning) og datering med hjelp av ^{210}Pb -metoden.

Etter gjennomført feltarbeid ble prøver sendt i frossen tilstand til NGU-Lab for analyse av metaller og sedimentkarakteristikk. Her ble prøvene frysetørket og oppbevart på kjølelager inntil de ble analysert høsten 2020. Alle analyseresultater med kvantifiseringsgrenser er rapportert i vedlegg I-III. Materiale til følgende analyser ble tatt ut:

- 0,38 g tørt materiale for bestemmelse av totalinnhold av svovel og karbon (TS og TC), og 0,50 g for bestemmelse av organisk karbon (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 AAS, ICP-AES og ICP-MS.
- Ca. 0,2 g tørt materiale fra slamrike sedimenter, og opp til 3 g fra sandige sedimenter for bestemmelse av kornfordeling mellom 2 mm og 0,02 μm med Coulter laserdiffraksjon.



Figur 2. Prøvetaking med multicorer, som tar opptil fire kjerner per stasjon. Lukkemekanismen utløses idet prøvetakeren treffer bunnen, og stenger topp og bunn av hvert rør. For hver stasjon er de øverste 2 cm av én kjerne brukt til analyser av sedimentenes kornfordeling og metallsammensetning, og de øverste 2 cm fra to kjerne brukt til analyse av organiske miljøgifter.



Figur 3. En kjerne fra multicoreren plasseres på en utdriver og skyves forsiktig ut av røret så overflaten kan prøvetas.

Prøvene tatt til analyse av organiske miljøgifter ble sendt til Havforskningsinstituttets laboratorium i frossen tilstand. Her ble prøvene lufttørket ved romtemperatur og fordelt til forskjellige analyser som beskrevet i tabell 2. Analyser av hydrokarboner (polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og totalt hydrokarboninnhold (THC)) og persistente organiske miljøgifter (POPs, inkludert polyklorerte bifenyler (PCB), klorerte pesticider, og polybromerte difenyletere (PBDE)) ble utført på Havforskningsinstituttet. Analyser av poly- og perfluorerte alkylerte stoffer (PFAS) ble utført på Norsk institutt for luftforskning (NILU). Alle analyseresultater er rapportert i vedlegg I-III.

Tabell 2. Fordeling av analyser for bestemte stoffgrupper av organiske miljøgifter mellom prøver av overflatesediment (0-2 cm) fra forskjellige stasjoner.

Stasjonsnavn	2	4	6	8	10	12	14	15	17	19
Prøve A	PAH	PAH	-	PAH	PAH	-	PAH	-	-	PAH
Prøve B	POPs	PFAS	POPs	PFAS	-	PFAS	POPs	PFAS	POPs	-

- PAH/THC. Ca. 10 g tørt materiale ble ekstrahert på ASE (*accelerated solvent extractor*), behandlet med kobber og rensset opp på fastfase (SPE) kolonne. Analyser av PAH (49 enkeltforbindelser) ble utført med GC-MS (EI). Analyser av THC ble utført med GC-FID. Kvantifiseringsgrensene (LOQ) var 0,5 µg/kg tv. for enkeltforbindelser PAH og 2,0 mg/kg tv. for THC. PAH-resultater ble rapportert for enkeltforbindelser, summerte PAH-nivåer (Sum PAH) og som indikatorene NPD (summerte nivåer av naftalen, fenantren, dibenzotiofen og deres alkylerte homologer) og PAH16 (summerte nivåer av naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz[*a*]antracen, krysen, benzo[*b*]fluoranten, benzo[*k*]fluoranten, benzo[*a*]pyren, indeno[1,2,3-*cd*]pyren, dibenz[*a,h*]antracen, benzo[*ghi*]perylene).
- POPs. Ca. 10 g tørt materiale ble ekstrahert på ASE, behandlet med kobber og rensset opp og fraksjonert med hjelp av automatisert fastfase-ekstraksjon, Powerprep. Analyser av PBDE (19 kongenere) ble utført med GC-MS (NCI). Analyser av PCB (10 kongenere) og pesticider (*p,p'*-DDT og degraderingsproduktene *p,p'*-DDD, *p,p'*-DDE; isomerene av heksaklorsykloheksan (HCH) α -HCH, β -HCH, γ -HCH; heksaklorbensen (HCB); *trans*-nonaklor (TNC)) ble utført med GC-MS/MS. LOQ var 0,03 µg/kg tørrvekt for enkeltforbindelser PBDE og 0,02 µg/kg tørrvekt for PCB og pesticider. Resultater for PCB ble rapportert for enkeltforbindelser og som indikatoren PCB7 (summerte nivåer av PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 og PCB180) mens resultater for DDT og HCH ble rapportert for enkeltforbindelser og som summerte nivåer (hhv. Sum DDT og Sum HCH).
- PFAS. Ca. 2 g tørt materiale ble ekstrahert med ultralyd og metanol, og rensset opp med aktivt kull. Analyser av 23 PFAS ble utført med ESI UPLC/MSMS. LOQ for enkeltforbindelser varierte mellom 0,05 og 0,10 µg/kg tv. Resultater ble rapportert for enkeltforbindelser og som 7PFAS (summerte nivåer av PFOS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA og PFUnDA).

En detaljert beskrivelse av analysemetodene er gitt i Metodedokumentet tilgjengelig på <https://www.mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

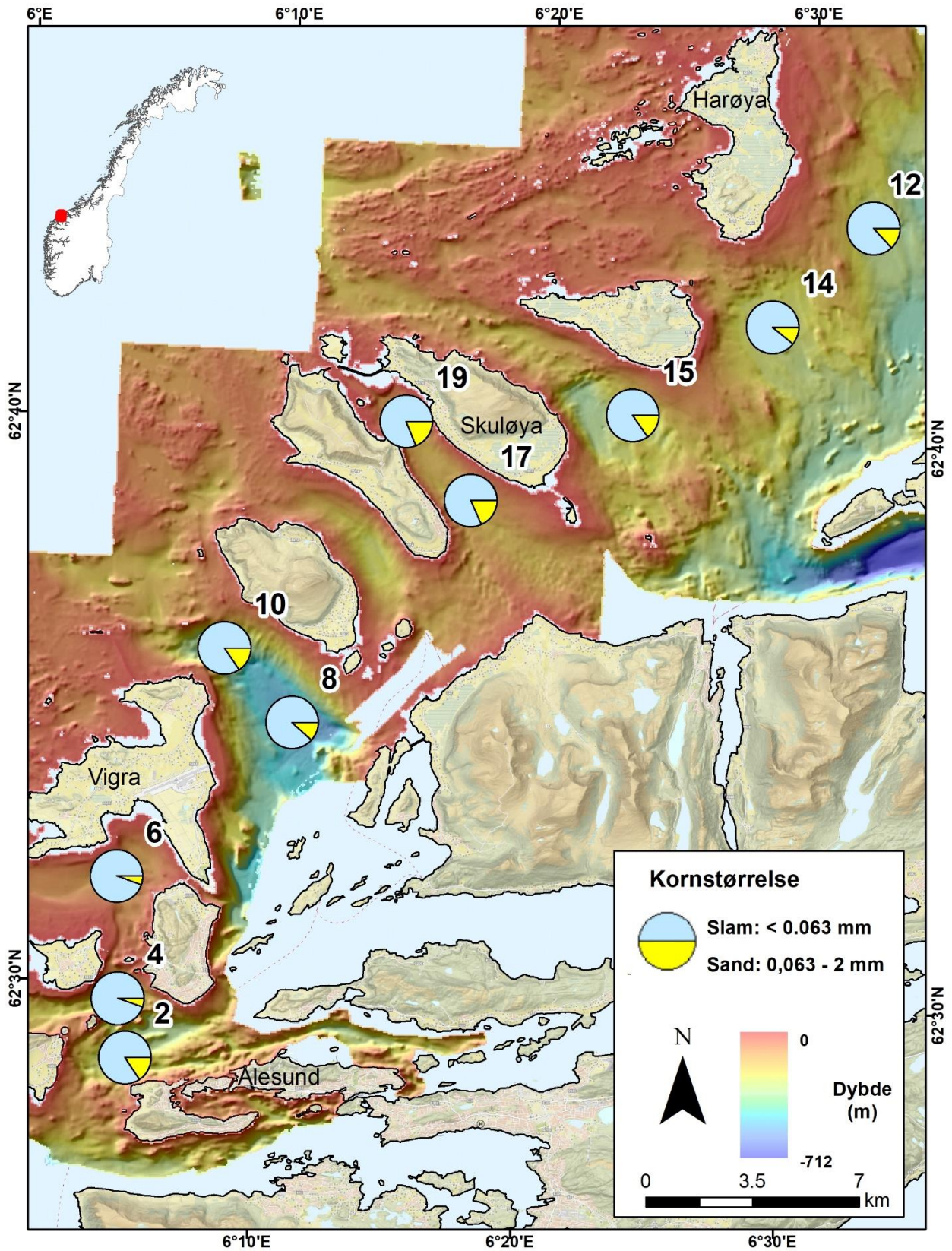
3. RESULTATER

3.1 Overflateprøver

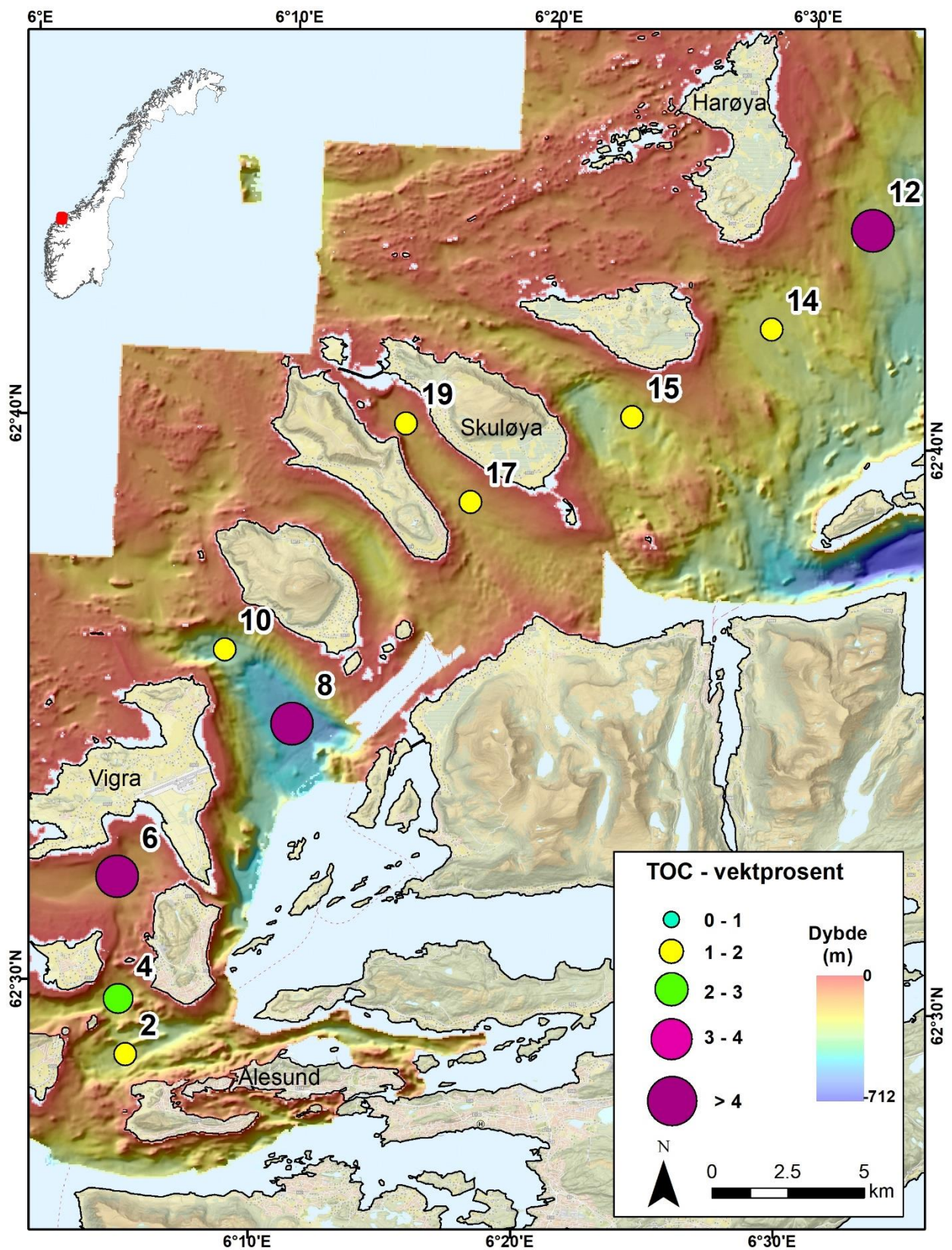
I dette kapitlet presenterer vi resultatene av geokjemiske analyser av overflatesedimenter i form av kart over studieområdet. Samtlige analyseresultater finnes i vedlegg I-III. Målingene angis hovedsakelig i konsentrasjonsenheten mg/kg sediment for metaller og µg/kg tørrvekt sediment for organiske miljøgifter, som er ekvivalent med hhv. ppm (parts per million) og ppb (parts per billion). Kornstørrelse angis i prosentvis innhold av slam og sand, mens organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat angis i tørrvektprosent.

3.1.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat

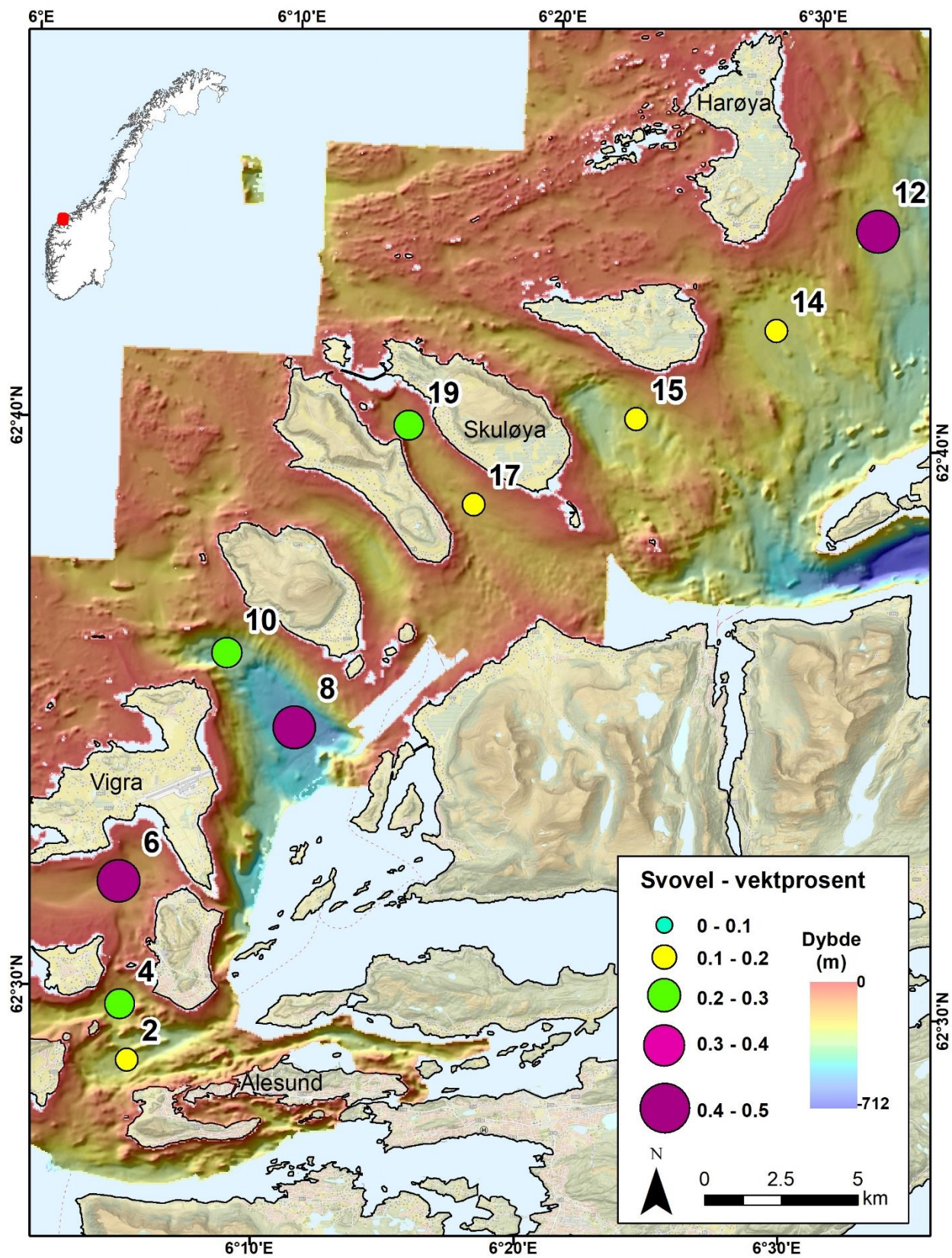
Normalt binder finkornige sedimenter med høyt innhold av leir- og siltpartikler og organisk materiale lettere til seg forurensende stoffer enn hva mer grovkornige sedimenter gjør. Avsetningsbassenger med finkornige sedimenter vil være mest representative for miljøtilstanden i et område. I vårt studieområde ser vi at slam (<0,063 mm partikkeldiameter), som omfatter silt og leir, er den dominerende fraksjonen i alle overflateprøvene (figur 4). Sand (0,063-2 mm) utgjør en mindre andel (<20 %), med den høyeste andelen i prøvene rundt Skuløya/Flemsøya (15, 17, 19) (figur 4).



Figur 4. Fordeling av sand (0,063-2 mm) og slam (<0,063 mm) i overflatesedimentene.



Figur 5. Innhold av totalt organisk karbon (TOC) i overflatesedimentene.



Figur 6. Innhold av svovel (S) i overflatesedimentene.

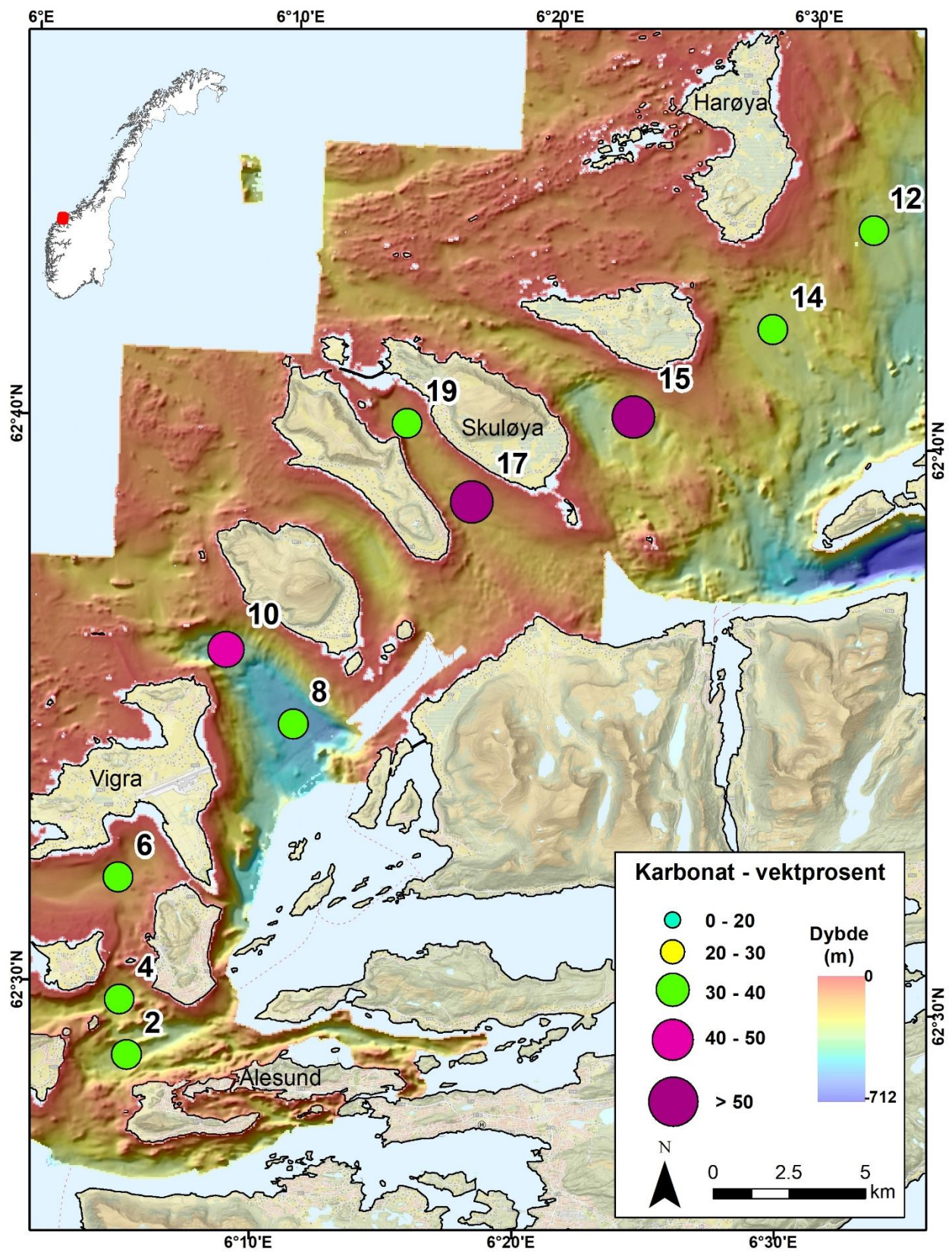
Figur 5 og 6 viser innholdet av organisk karbon (TOC) og svovel (S) i overflateprøvene (prosent av tørrvekt). TOC-verdiene varierer fra 1,1 til 5,0 %, og er lavest i Valderhaugfjorden (prøve 2) og høyest i Synesvikane (prøve 6). Svovelskonsentrasjonen varierer mellom 0,13 % (prøve 2, Valderhaugfjorden) og 0,64 % (prøve 12, Harøyfjorden ved Harøya). Lave TOC-verdier kan forklares med forholdsvis høy tilførsel av minerogene sedimenter slik at bunnfallet av marin biomasse og organiske rester blir fortennet. De høyeste TOC- og S-konsentrasjonene er påvist i sedimentene i Synesvikane (prøve 6), Vigrafjorden Ø for Roald (prøve 8) og Harøyfjorden ved Harøya (prøve 12). Høyt TOC- og S-innhold i prøvene 8 og 12 antyder høy bioproduktivitet. Andre faktorer som tilførsel av biomasse fra land er ikke sannsynlig siden distansen til prøvelokalitet er for stor. Flere analyser av karbonsammensetning er nødvendig for å bekrefte vår argumentasjon. Prøve 6 er tatt i nærheten av Vigra (Ålesund lufthavn). Muligens er avrenning og erosjon av biomasse fra land eller antropogent materiale årsak til den høye andelen av organisk karbon.

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

$$(\text{TC}^1 - \text{TOC}) \times (\text{CaCO}_3/\text{C}) = (\text{TC} - \text{TOC}) \times 8,33$$

¹ TC er innholdet av totalt karbon, målt med LECO.

Andelen av kalsiumkarbonat er veldig høy i alle prøver og varierer mellom 32 og 52 vektprosent (figur 7). De høyeste verdiene er påvist i Nogvafjorden (prøve 15) og Longvafjorden SØ (prøve 17) med andeler over 50 vektprosent i et ellers slamholdig sediment. Sand med høyt karbonatinnhold beskrives ofte som skjellsand. Mens innholdet av minerogent materiale er lavt i skjellsand, kan finere karbonatrike partikler blandes med leire på dypere vann, eller i avskjermede basseng. Slikt karbonatrikt slam er avsatt i Nogvafjorden og Longvafjorden.



Figur 7. Kalsiumkarbonatkonsentrasjon i overflatesedimentene.

3.1.2 Innhold av arsen og tungmetaller

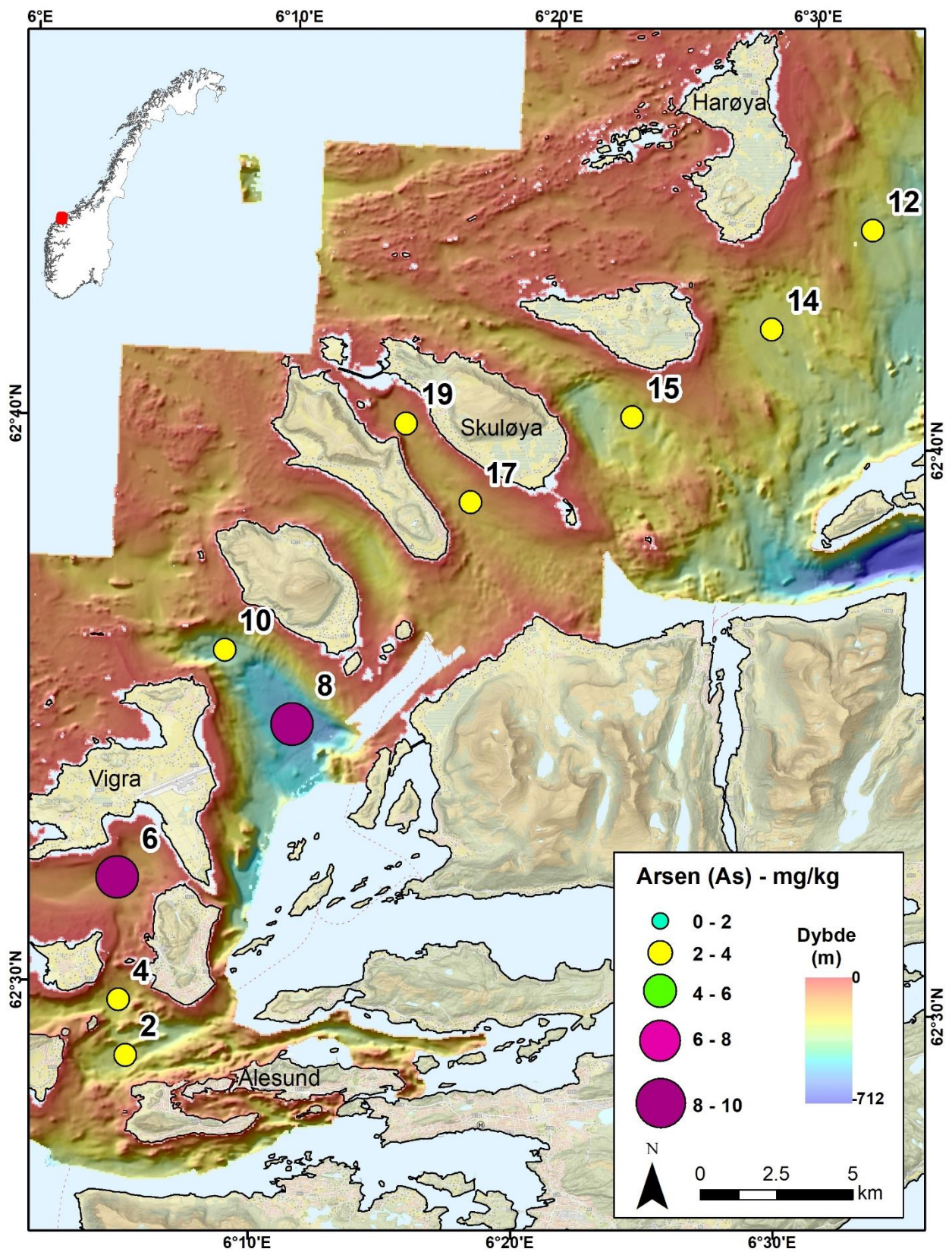
Dagens system for overvåkning av miljøtilstand i marine sedimenter baserer seg på Forskrift om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften). Miljødirektoratet har utarbeidet grenseverdier for en rekke miljøgifter i vann, sediment og biota (M-608, 2016, revidert i 2020), og et klassifikasjonssystem med følgende klasser:

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
-----------------------------	-------------------------	------------------------------	----------------------------	---------------------------------

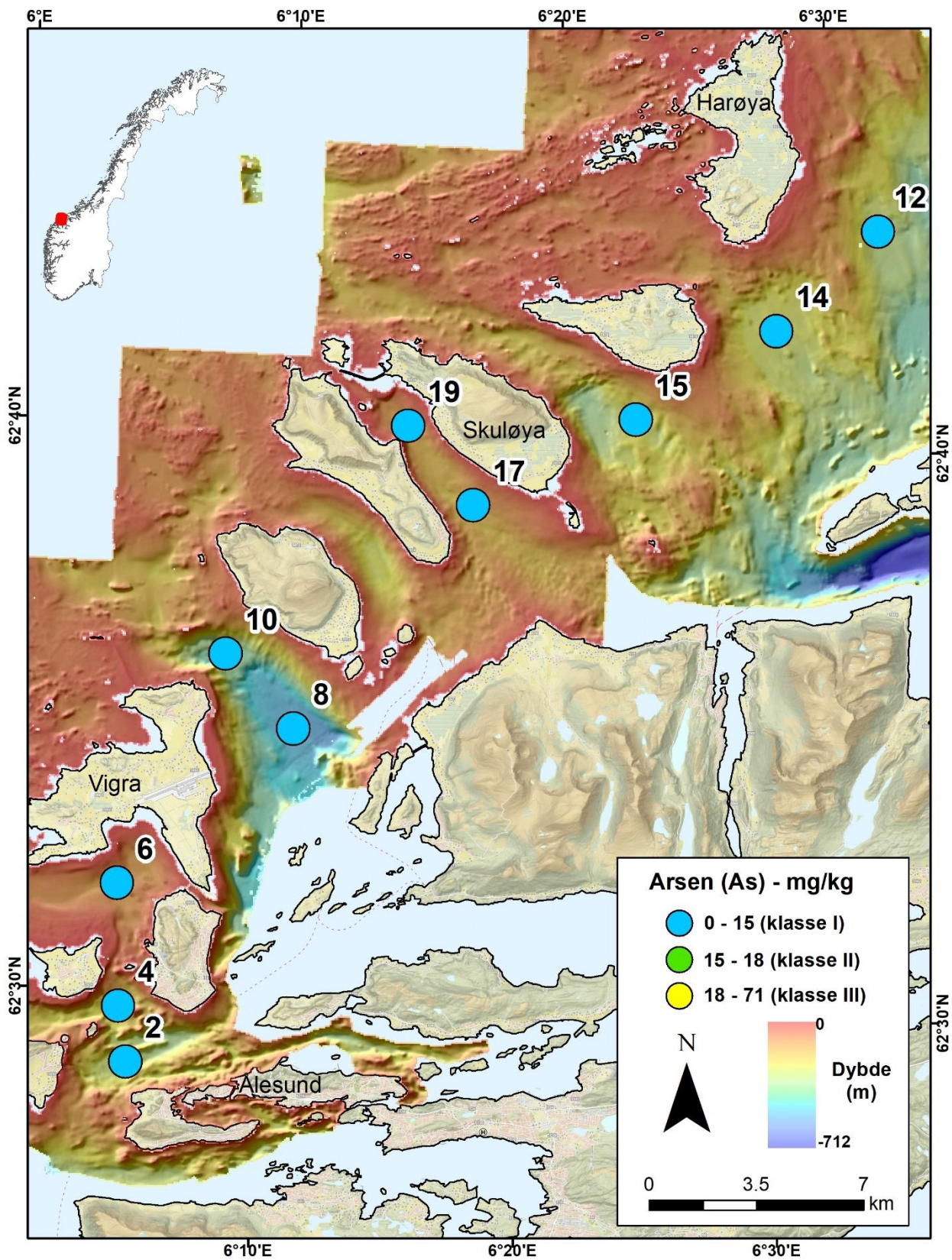
I denne rapporten presenterer vi analyseresultatene for arsen (As) og tungmetallene bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn) fra overflatesedimenter i studieområdet. I figurene 8-15 er konsentrasjonen av de ulike miljøgiftene visualisert på kart både som absolutte verdier (alle a-figurer) og etter Miljødirektoratets klassifikasjonssystem (alle b-figurer). Tabell 3 gir minimums- og maksimumsverdier for hvert av stoffene, og tabell 4 viser hvordan de ti lokalitetene samlet fordeler seg etter Miljødirektoratets grenseverdier og klasser. Alle verdier finnes også i vedlegg I.

Arsen (As)

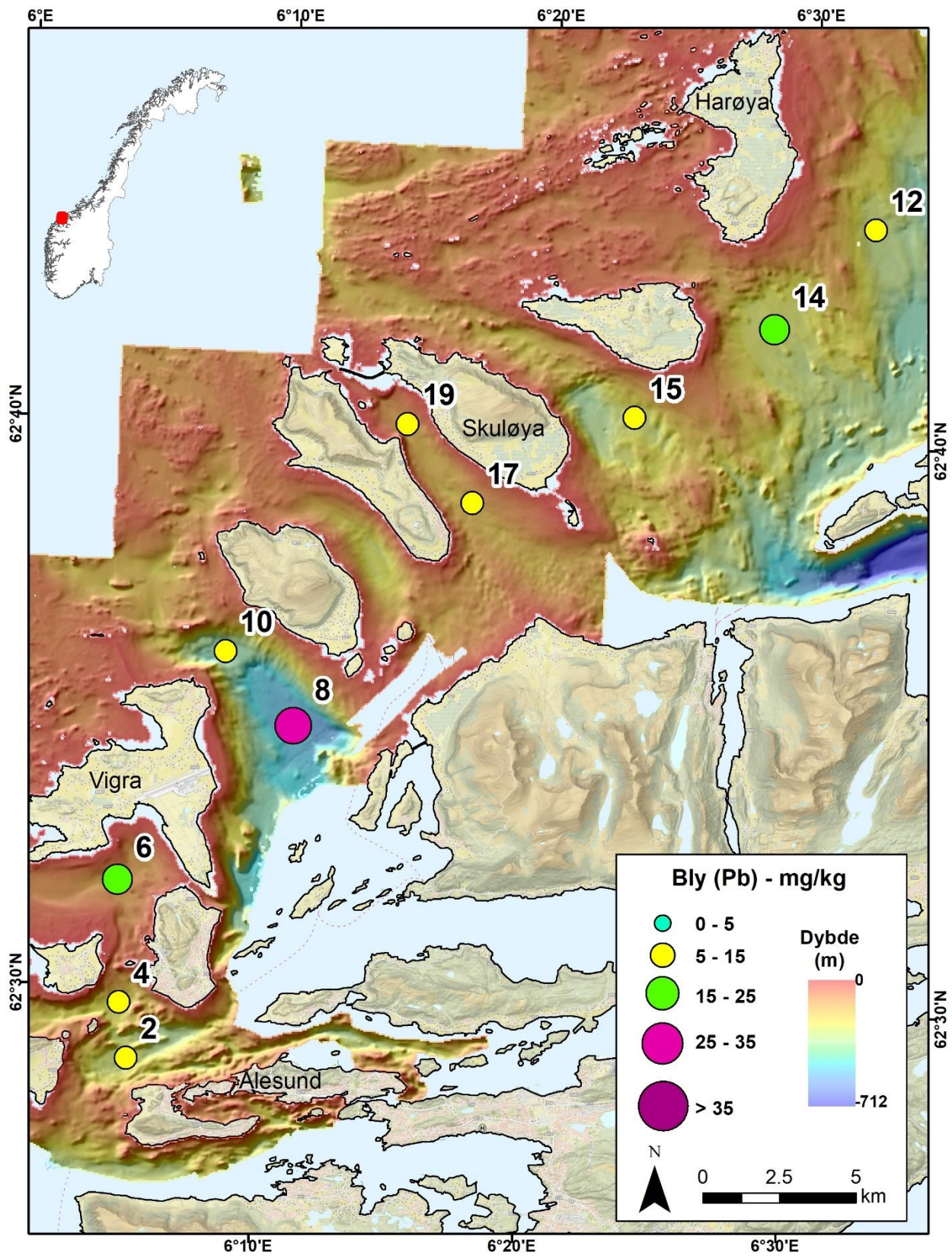
As-konsentrasjonen varierer fra 2,4 til 10,1 mg/kg (figur 8a). De høyeste konsentrasjonene finnes i sedimentprøve 6 fra Synesvikane (10,1 mg/kg). Høye verdier (~10 mg/kg) observeres også i prøve 8 (Vigra fjorden Ø for Roald). Verdiene i prøvene 6 og 8 kan ha sammenheng med høyt TOC-innhold (figur 5). Av ti prøver er alle i tilstandsklasse I (bakgrunn) for kyst- og fjordsedimenter (<15 mg/kg sediment, figur 8b).



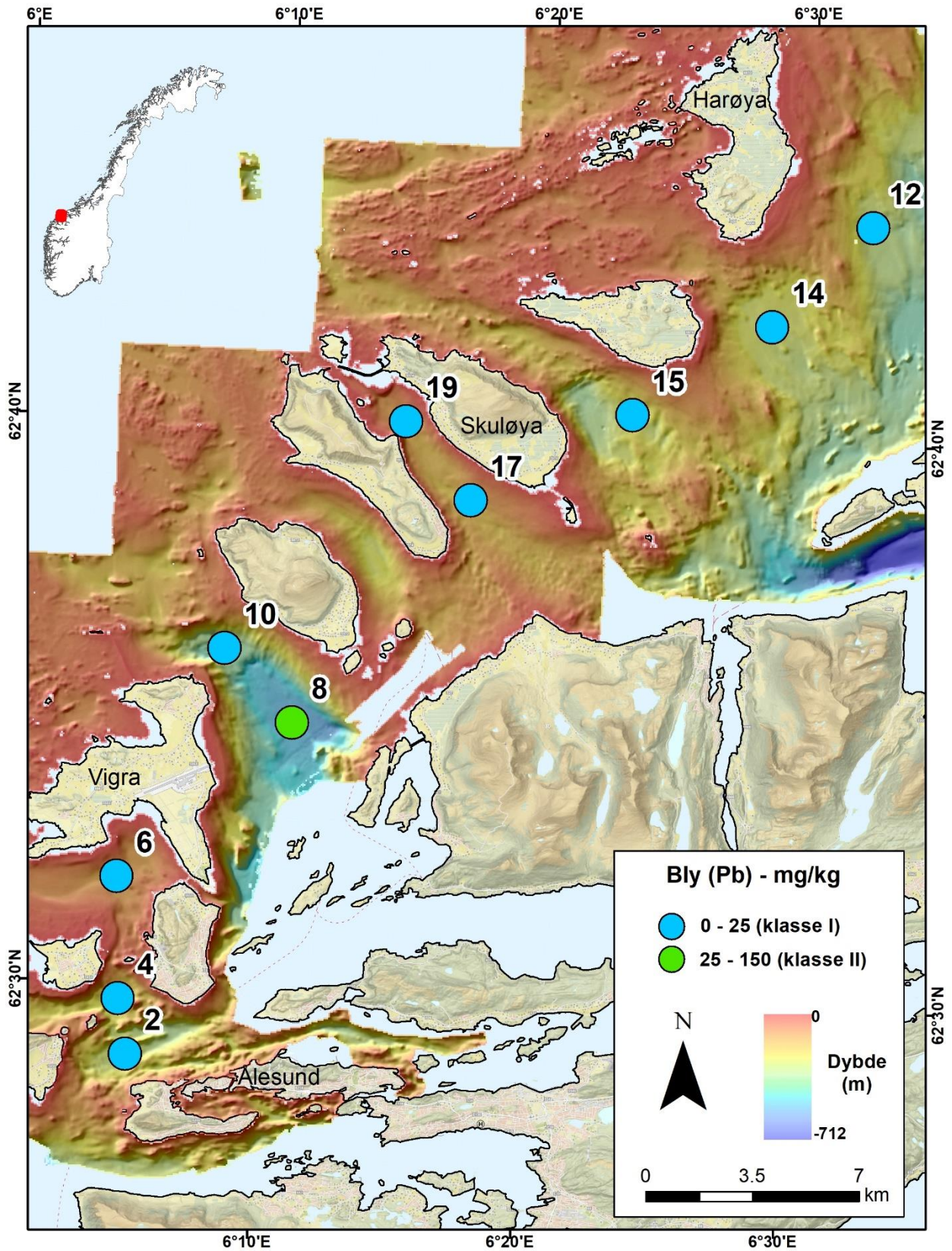
Figur 8a. Arsenkonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 8b. Arsenkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



Figur 9a. Blykonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 9b. Blykonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.

Bly (Pb)

Pb-konsentrasjonen i overflatesedimentene varierer fra 8,9 til 34,8 mg/kg (figur 9a). Prøve 8 (Vigra fjorden Ø for Roald) har den høyeste blykonsentrasjonen (34,8 mg/kg). I prøvene 6 og 8 overensstemmer anrikningen av bly med høyt TOC-innhold, noe som kan tyde på påvirkning fra industrivirksomhet og antropogen tilførsel av tungmetaller i området rundt Vigra. figur 9b viser at ni av ti prøver har Pb-konsentrasjoner i tilstandsklasse I (0-25 mg/kg sediment, bakgrunn). Bare prøven fra Vigrafjorden faller i tilstandsklasse II (25-100 mg/kg sediment, god).

Kadmium (Cd)

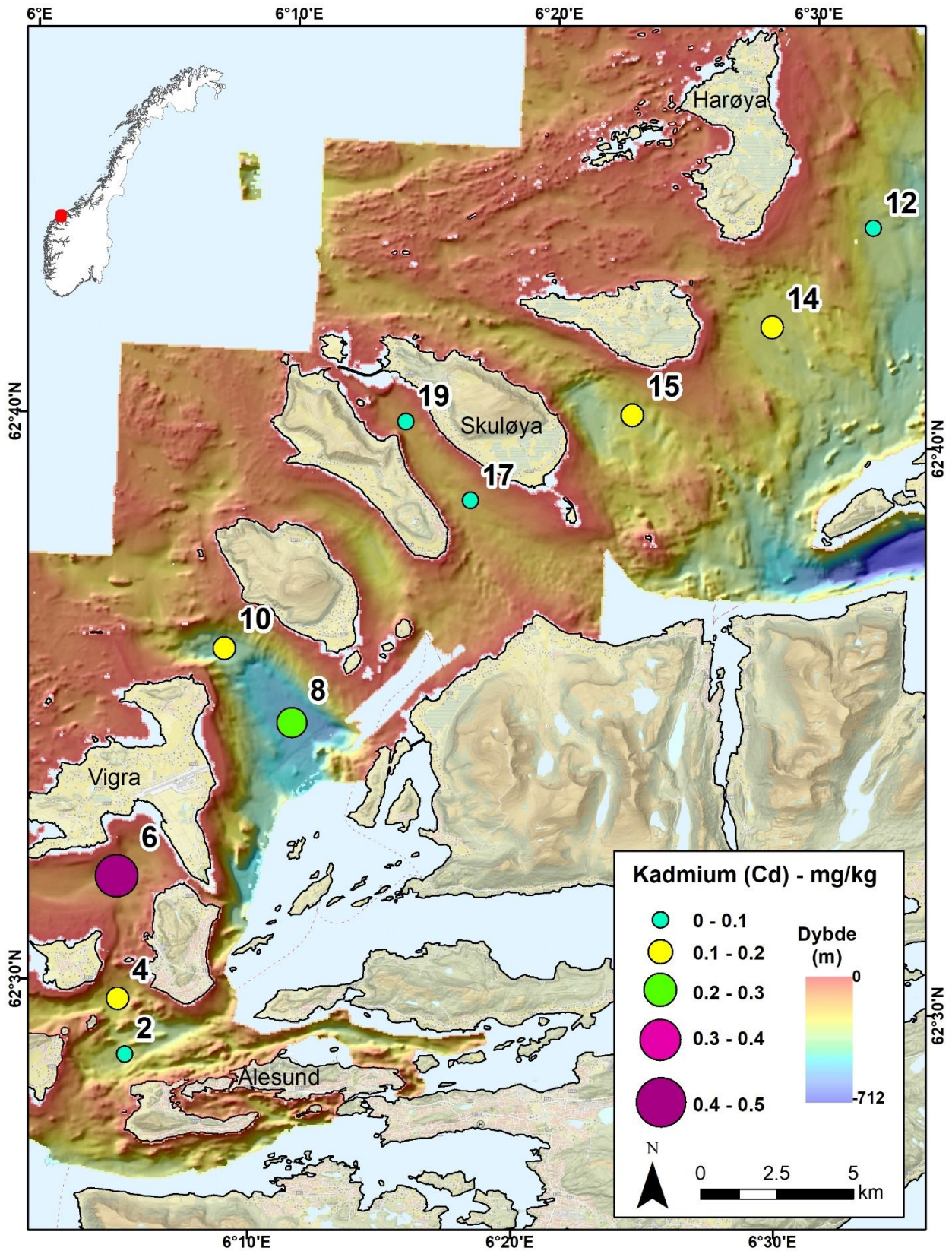
Cd-konsentrasjonen varierer fra <0,1 til 0,44 mg/kg (figur 10a), med en tendens til høyere verdier i sedimenter med høyt innhold av TOC (figur 5), for eksempel i Synesvikane (0,44 mg/kg, prøve 6). Åtte av ti prøver har Cd-konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I (<0,2 mg/kg sediment, bakgrunn, figur 10b). I to prøver (Synesvikane, Vigrafjorden Ø for Roald) faller Cd-konsentrasjonene inn under tilstandsklasse II (0,2-2,5 mg/kg sediment, god).

Kobber (Cu)

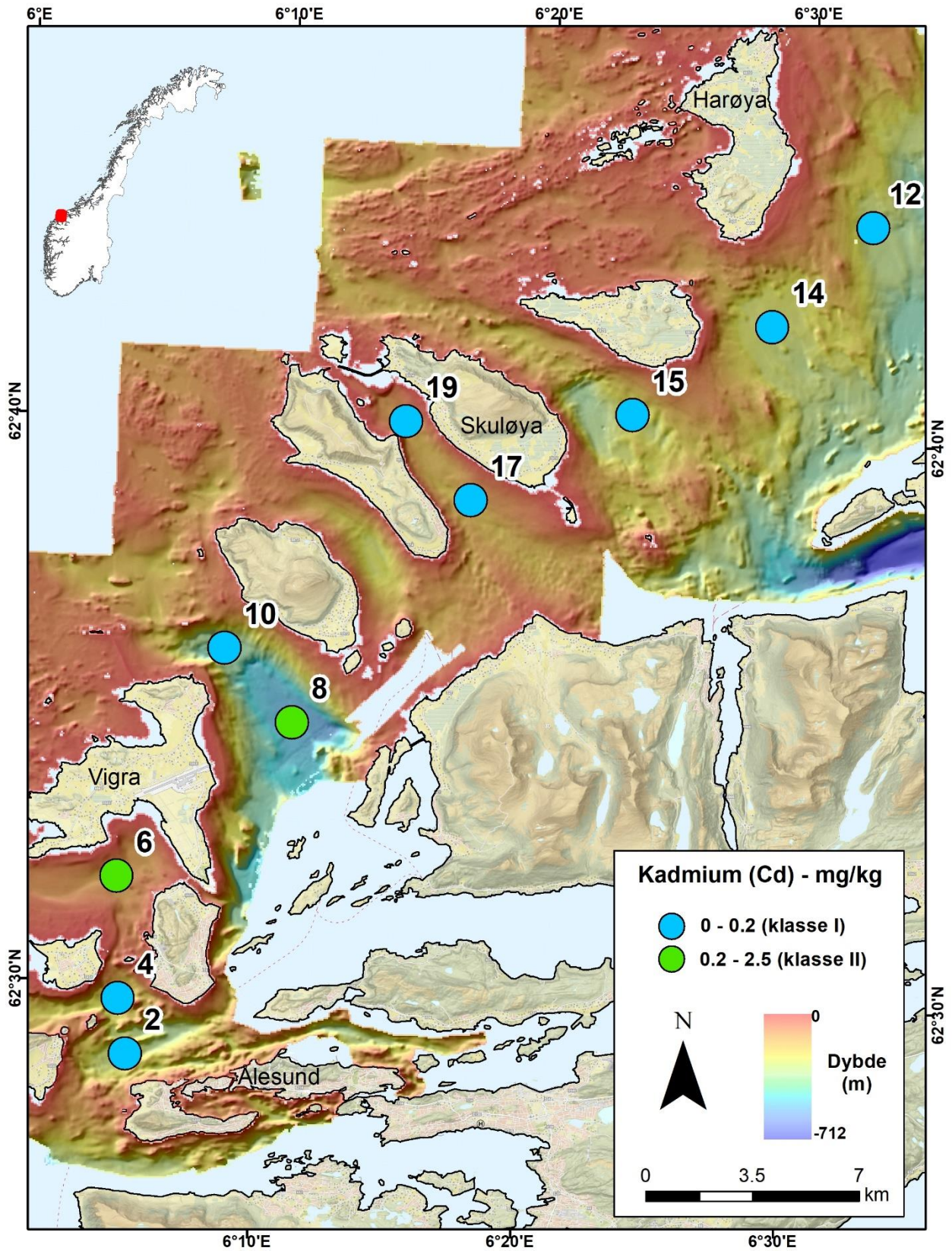
Cu er registrert i samtlige prøver, med konsentrasjoner fra 8,7 til 27,5 mg/kg (figur 11a). Vigrafjorden Ø for Roald (prøve 8) viser den høyeste verdien i hele studieområdet (27,5 mg/kg). En mulig forklaring kan være ulike industrielle aktiviteter på Vigra og Valderøya. Også i Synesvikane er Cu konsentrasjonen høy (>20 mg/kg). Figur 11b viser at bortsett fra Vigrafjorden (prøve 8) og Synesvikane (prøve 6) som faller i tilstandsklasse II (20-84 mg/kg sediment, god) tilhører åtte av ti prøver i kommune Ålesund og Giske likevel tilstandsklasse I (0-20 mg/kg sediment, bakgrunn).

Krom (Cr)

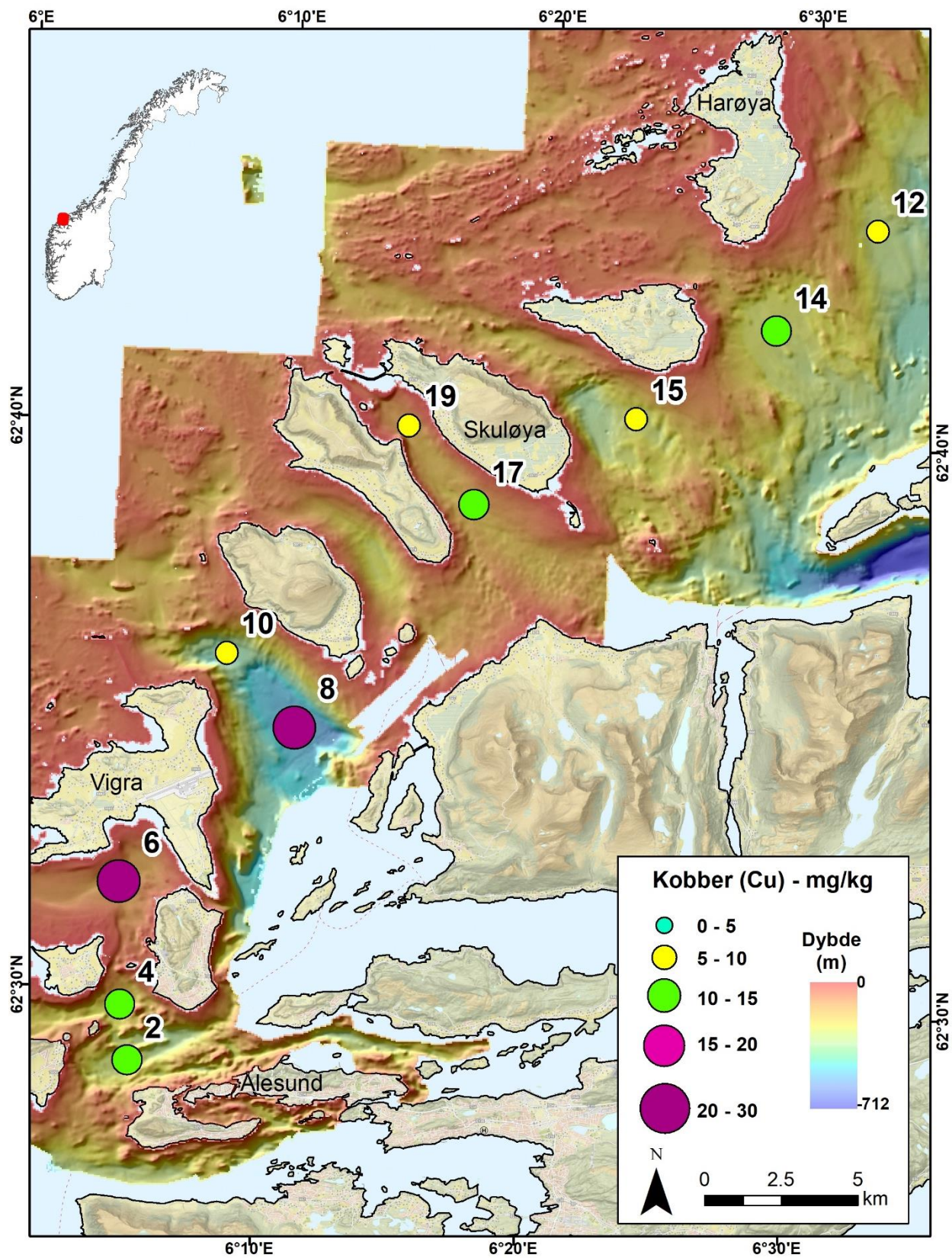
Cr er registrert i samtlige prøver, med konsentrasjoner fra 9,9 til 29,9 mg/kg (figur 12a). Konsentrasjonen i prøvene 6, 8 og 14 fra henholdsvis Synesvikane, Vigrafjorden Ø for Roald, og Harøyfjorden ved Fjørtofta (20-29,9 mg/kg) er klart høyere enn det vi finner i de øvrige prøvene. Figur 12b viser likevel at alle prøver tilhører tilstandsklasse I (<60 mg/kg sediment, bakgrunn).



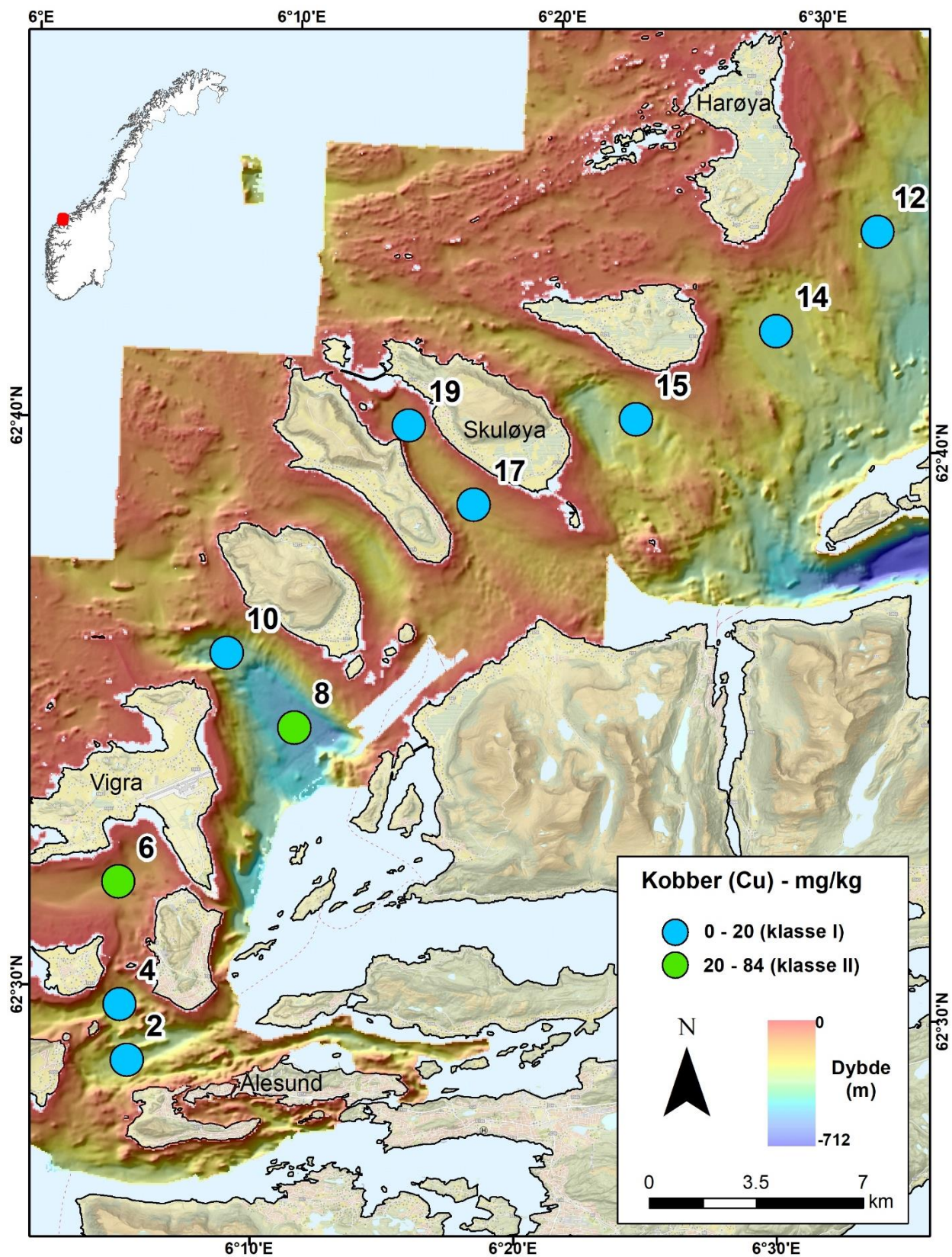
Figur 10a. Kadmiumkonsentrasjon i overflatesedimentene.



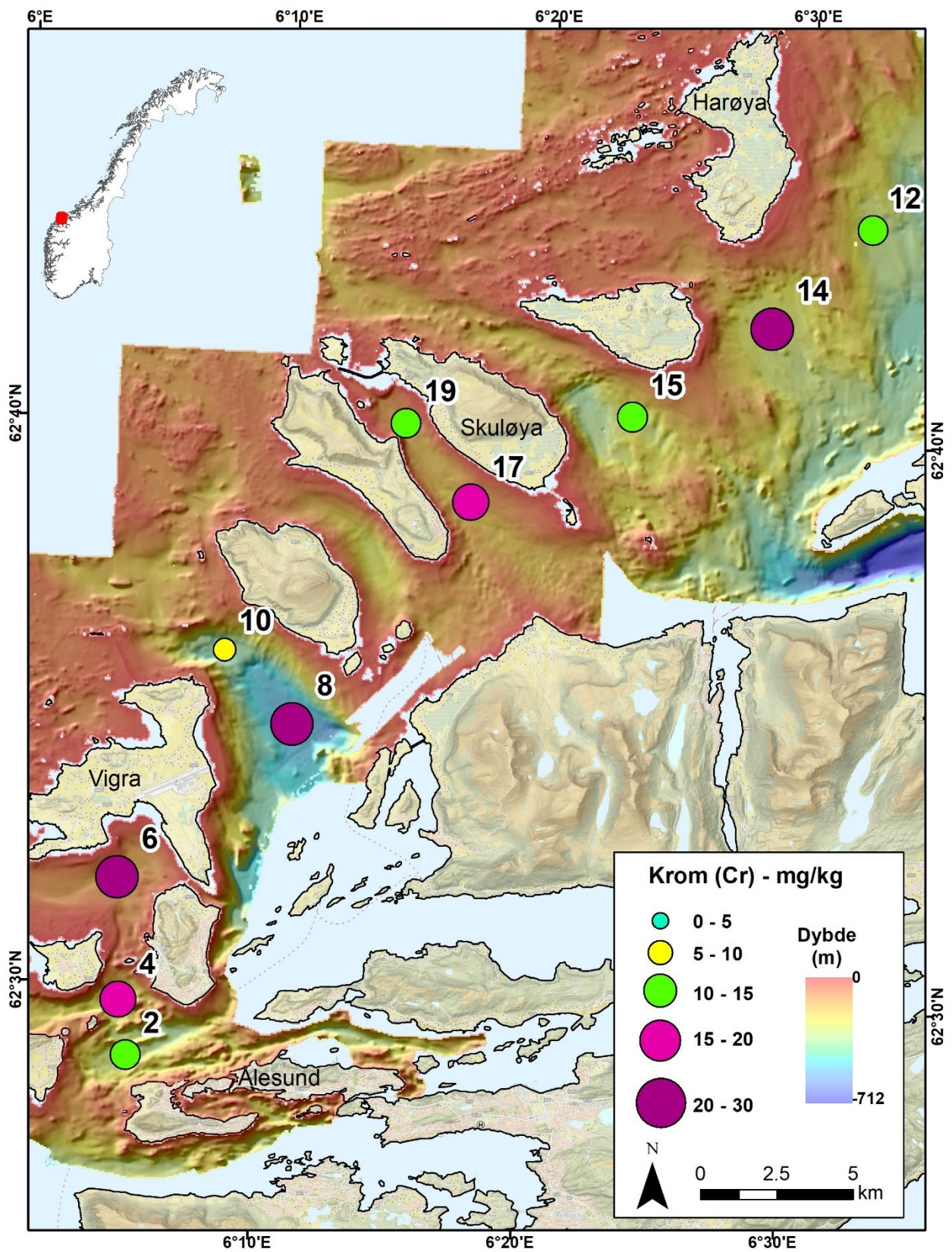
Figur 10b. Kadmiumkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



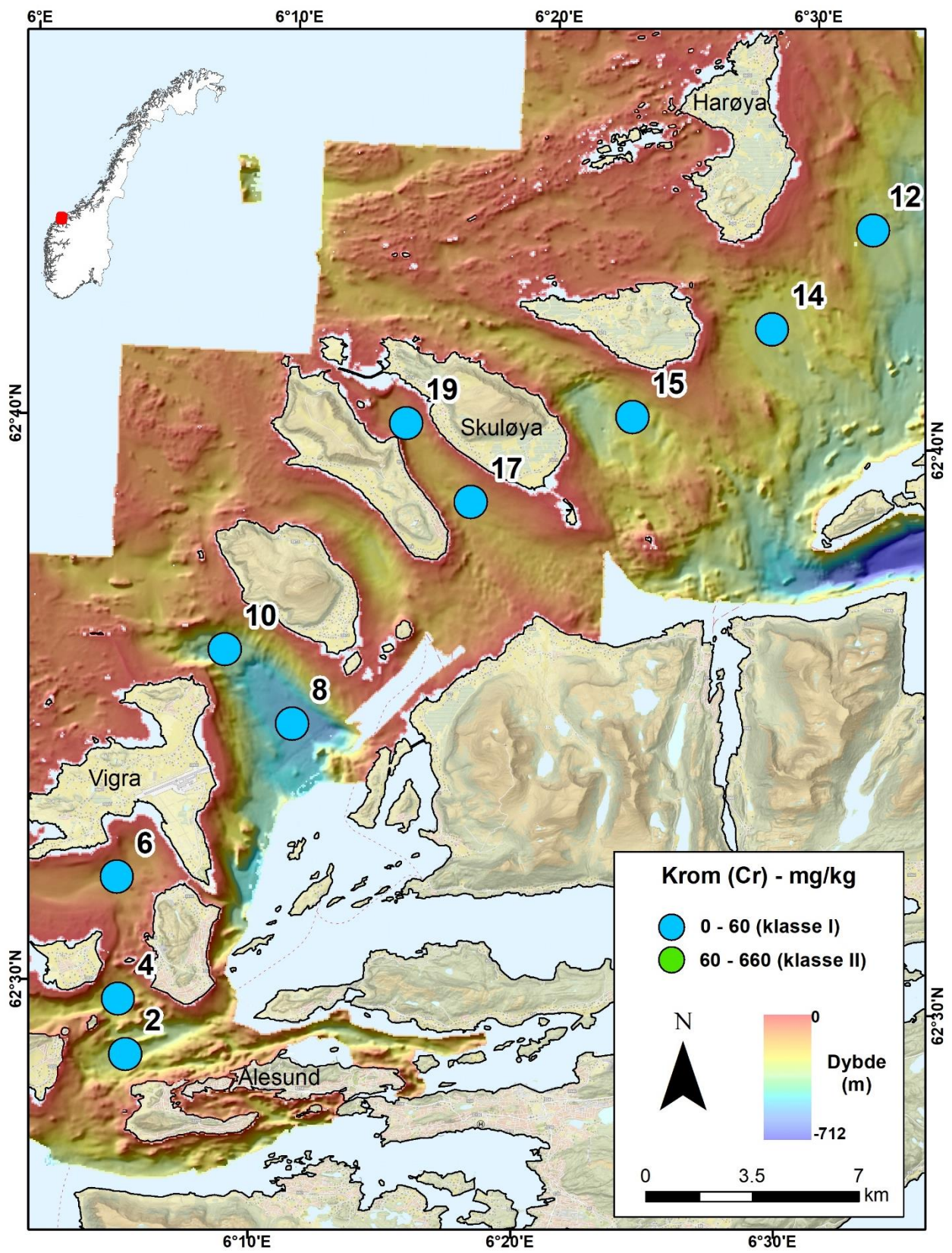
Figur 11a. Kobberkonsentrasjon i overflatesedimentene.



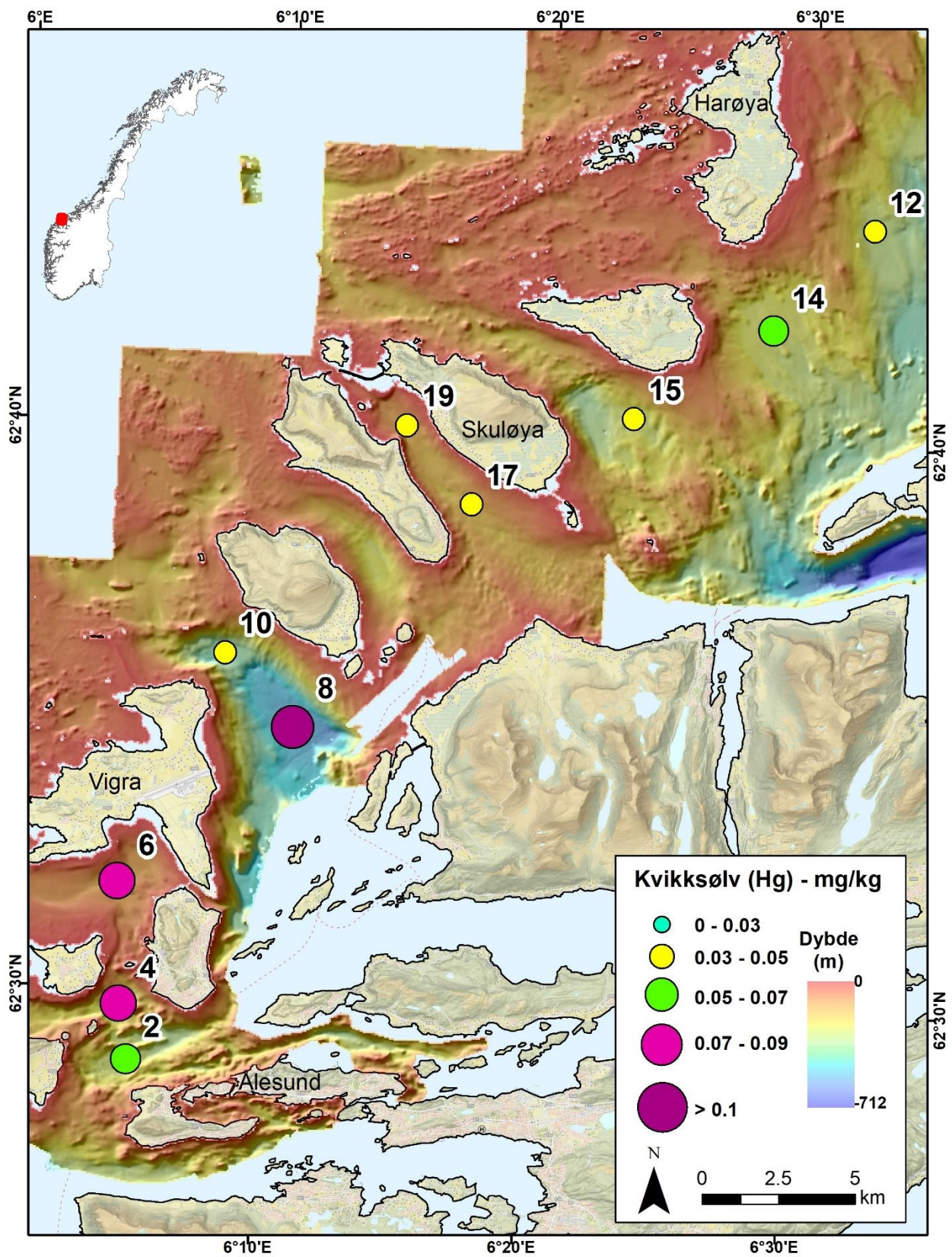
Figur 11b. Kobberkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



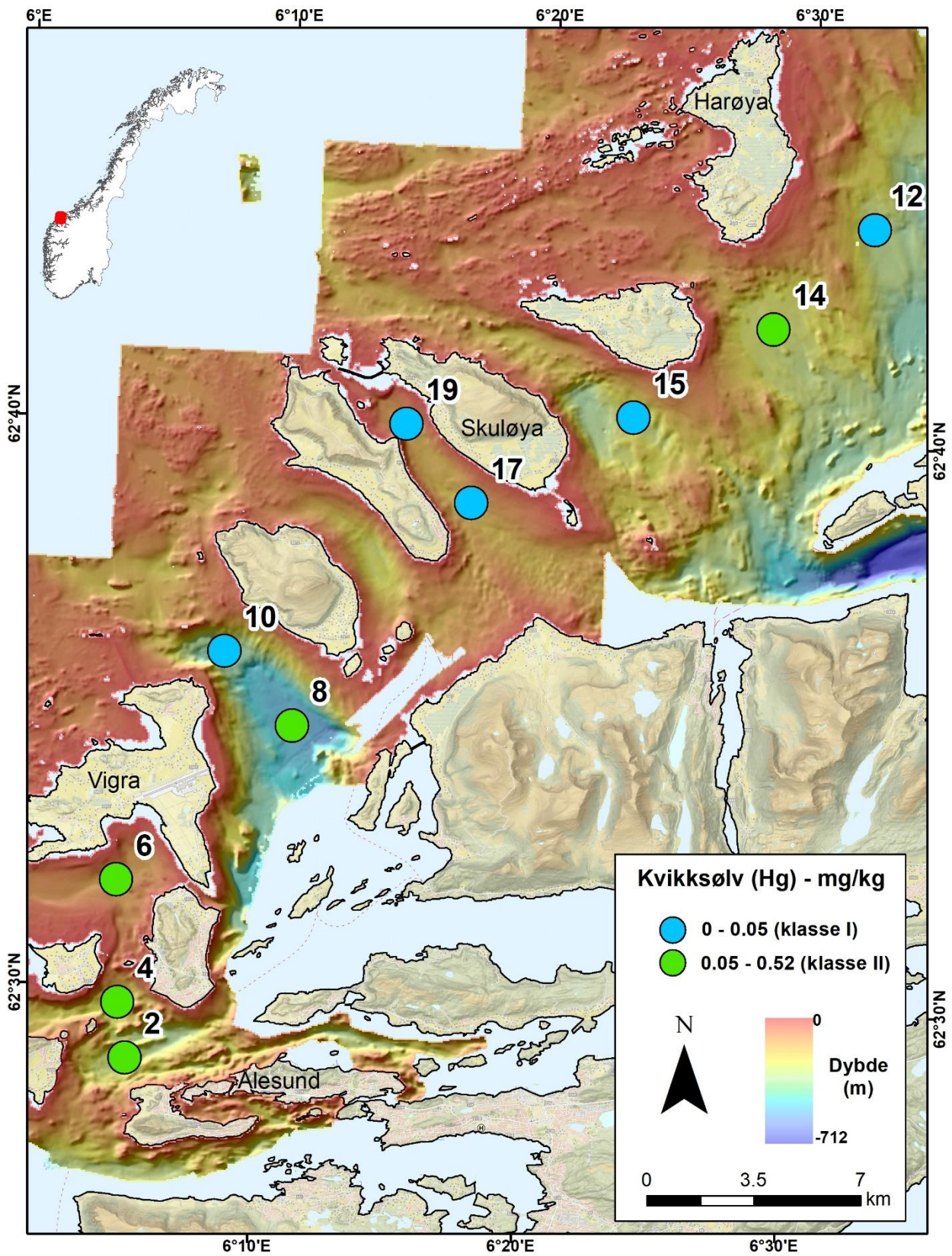
Figur 12a. Kromkonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 12b. Kromkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



Figur 13a. Kvikksølvkonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 13b. Kvikksølvkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.

Kvikksølv (Hg)

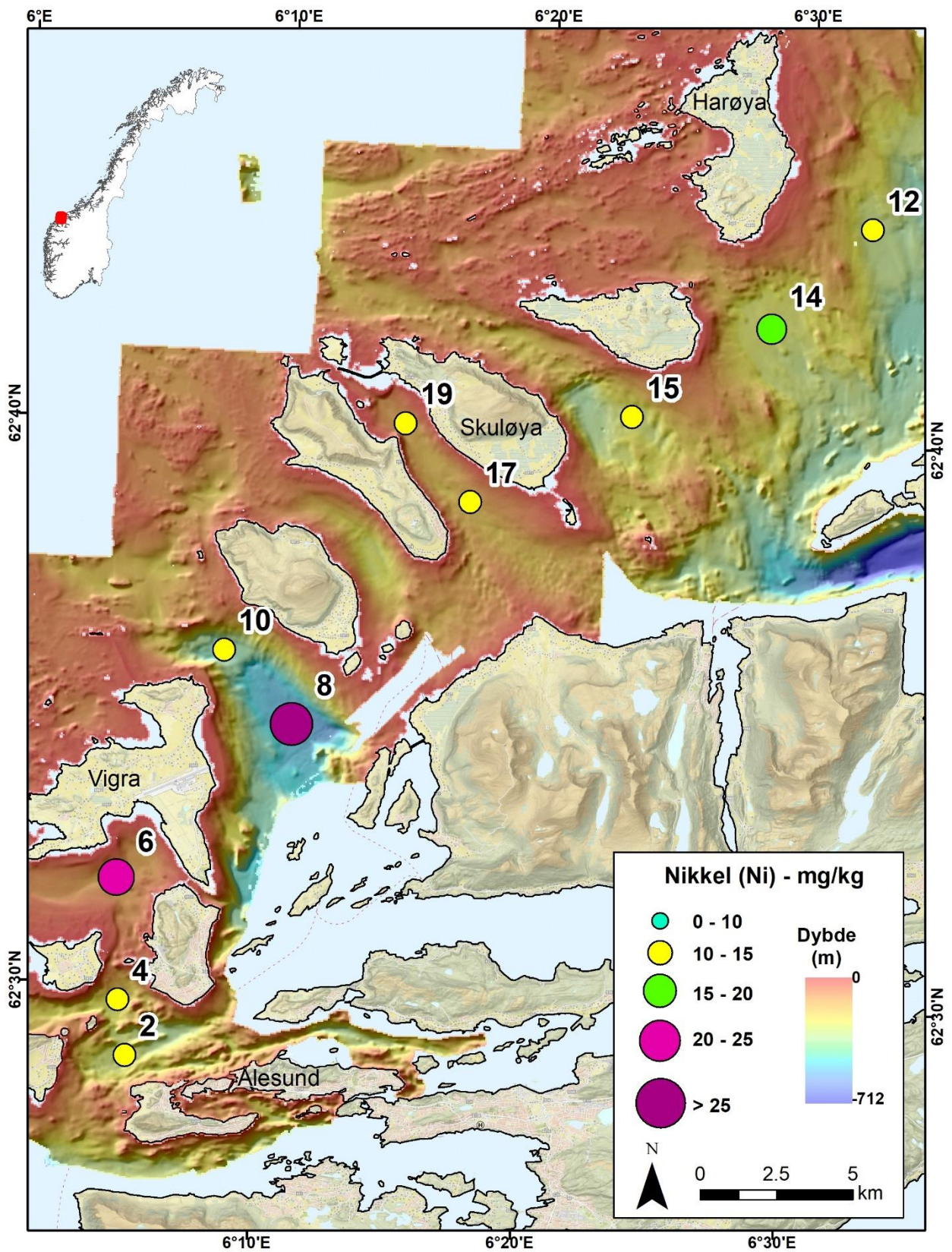
Hg-konsentrasjonen i sedimentprøvene varierer fra 0,033 til 0,093 mg/kg. Størst innhold av kvikksølv finner vi i Vigrafjorden Ø for Roald (0,093 mg/kg, prøve 8). Litt forhøyede verdier er også målt i Synesvikane (prøve 6), og i NV for Skjongfluda (prøve 4, figur 13a). En mulig forklaring er en kombinasjon av mye slam og høy konsentrasjon av organisk karbon hvor kvikksølv kan anrikes veldig lett, særlig for prøvene 6 og 8 (figur 5). Figur 13b viser at halvparten av prøvene faller i tilstandsklasse I (0-0,05 mg/kg sediment, bakgrunn) og halvparten i tilstandsklasse II (0,05-0,52 mg/kg sediment, god).

Nikkel (Ni)

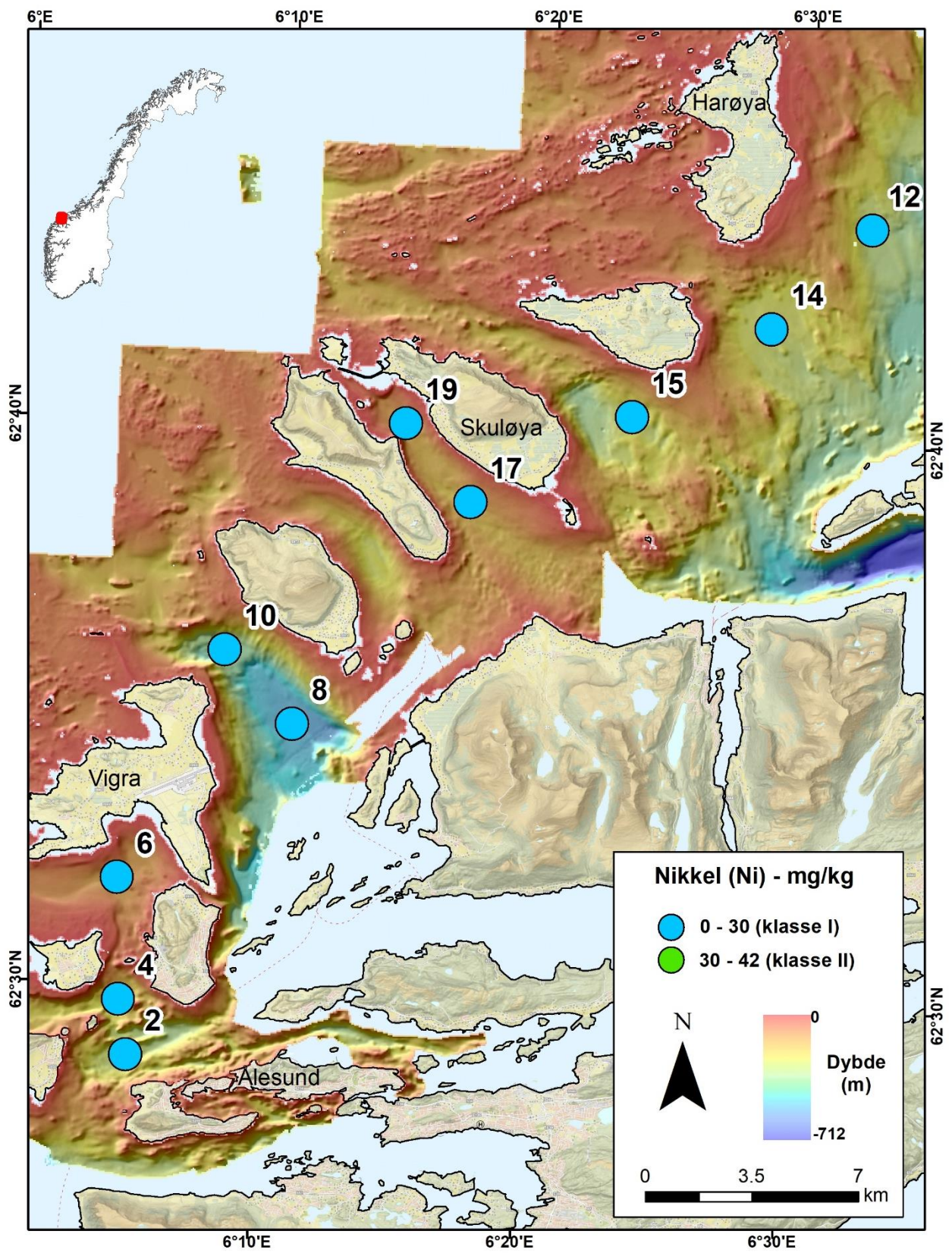
Ni-konsentrasjonen varierer fra 10,1 til 25,6 mg/kg i de fleste prøver (figur 14a). I Vigrafjorden Ø for Roald (prøve 8) er Ni-innholdet i overflatesedimentene høyest (25,6 mg/kg). Men alle overflateprøver er i tilstandsklasse I (<30 mg/kg sediment, bakgrunn) (figur 14b).

Sink (Zn)

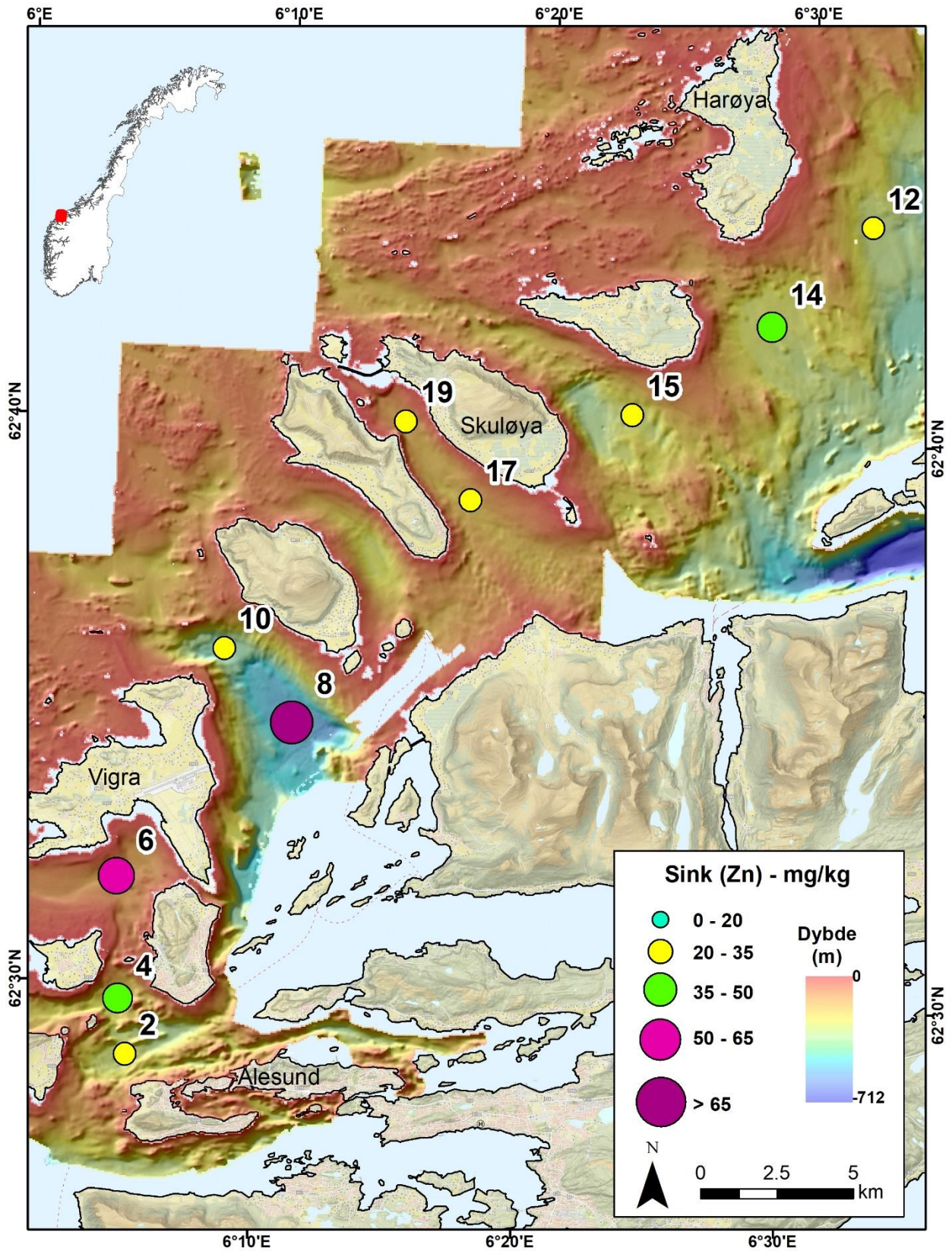
Zn-konsentrasjonen varierer fra 22,3 til 69,6 mg/kg sediment (figur 15a), med den høyeste verdien i prøve 8 i Vigrafjorden Ø for Roald (69,6 mg/kg). Klassifisert etter Miljødirektoratets grenseverdier (figur 15b) plasseres alle overflateprøver seg i tilstandsklasse I (<90 mg/kg sediment, bakgrunn).



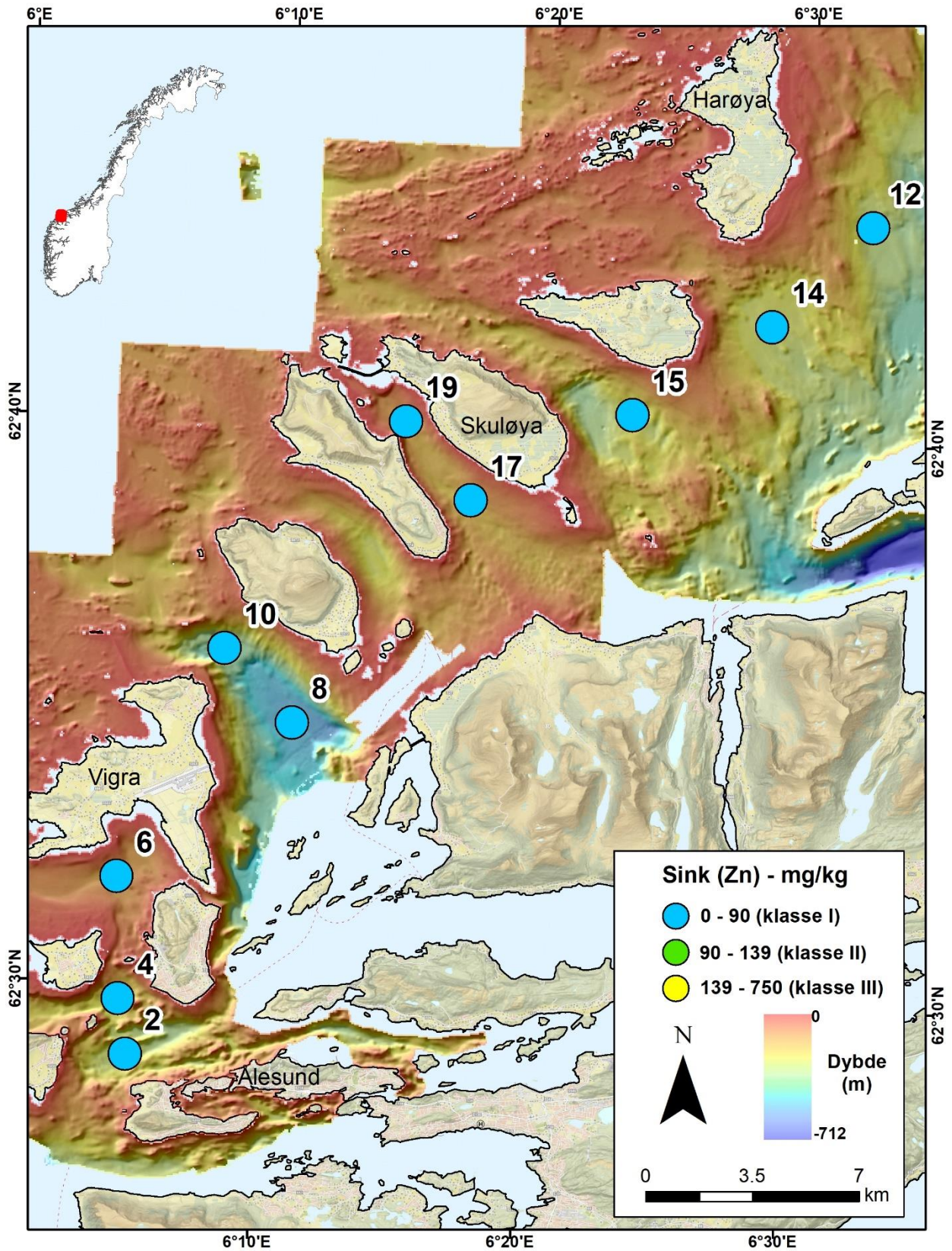
Figur 14a. Nikkelkonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 14b. Nikkellkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



Figur 15a. Sinkkonsentrasjon i overflatesedimentene.



Figur 15b. Sinkkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.

Tabell 3. Minimums- og maksimumsverdier av tungmetaller (dybdeintervallet 0-2 cm) i overflateprøver av marine sedimenter i kartleggingsområdet.

Kjemisk stoff	Minimum	Maksimum
Arsen (As) [mg/kg]	2,4	10,1
Bly (Pb) [mg/kg]	8,9	34,8
Kadmium (Cd) [mg/kg]	< 0,1	0,44
Kobber (Cu) [mg/kg]	8,7	27,5
Krom (Cr) [mg/kg]	9,9	29,9
Kvikksølv (Hg) [mg/kg]	0,033	0,093
Nikkel (Ni) [mg/kg]	10,1	25,6
Sink (Zn) [mg/kg]	22,3	69,6

Tabell 4. Grenseverdier for klassifisering av tungmetaller i sediment, basert på Miljødirektoratets veileder M-608 (2016, revidert i 2020) som følger EUs vanndirektiv og den norske vannforskriften. De nye grenseverdiene erstatter Miljødirektoratets grenseverdier i klassifiseringsveilederne TA-2229/2007 og TA-1467/1997 (Veiledere for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann). Uthevet skrift viser antall prøver i hver klasse i overflatesedimentene (0-2 cm for metaller) i studieområdet (Bakke m. fl., 2010; Miljødirektoratets veileder M-608 (2016, revidert i 2020)).

Parameter	Under deteksjons-grense	Forurensingsnivå				
		I Bak-grunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg TS) As		< 15 10	15-18 0	18-71 0	71-580 0	> 580 0
Bly (mg/kg TS) Pb		< 25 9	25-150 1	150-1480 0	1480-2000 0	2000-2500 0
Kadmium (mg/kg) Cd	< 0,1 4	< 0,2 4	0,2-2,5 2	2,5-16 0	16-157 0	> 157 0
Kobber (mg/kg TS) Cu		< 20 8	20-84 2	84-84 0	84-147 0	> 147 0
Krom (mg/kg TS) Cr		< 60 10	60-620 0	620-6000 0	6000-15500 0	15500-25000 0
Kvikksølv (mg/kg) Hg		< 0,05 5	0,05-0,52 5	0,52-0,75 0	0,75-1,45 0	> 1,45 0
Nikkel (mg/kg TS) Ni		< 30 10	30-42 0	42-271 0	271-533 0	> 533 0
Sink (mg/kg TS) Zn		< 90 10	90-139 0	139-750 0	750-6690 0	> 6690 0

3.1.2 Innhold av organiske miljøgifter

Miljødirektoratet har utarbeidet et eget klassifiseringssystem for nivåene av enkelte organiske miljøgifter i marine sedimenter (Miljødirektoratets veileder M-608, 2016, revidert i 2020). Miljødirektoratets tilstandsklasser for relevante organiske miljøgifter i sedimenter er vist i tabell 5.

Tabell 5. Miljødirektoratets tilstandsklasser med tilhørende klassegrenser på forurensning med organiske miljøgifter i marine sedimenter, i µg/kg tv. (Miljødirektoratet 2016, 2020).

Tilstandsklasse	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
PAH16*	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000
Benzo[a]pyren	<6	6-183	183-230	230-13100	> 13100
6 PBDE**	-	< 62	62-79	79-1580	> 1580
Sum DDT***	-	< 15	15-165	165-1647	>1647
HCB	0	< 17	17-61	61-610	>610
γ-HCH (lindan)	0	<0,074	0,074-0,74	0,74-9,8	>9,8
PCB7****	-	< 4,1	4,1-43	43-430	>430
PFOS	-	<0,23	0,23-72	>72	-
PFOA	-	<71	>71	-	-

* Summerte nivåer av naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz[a]antracen, krysen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[a]pyren, indeno[1,2,3-cd]pyren, dibenz[a,h]antracen, benzo[ghi]perylene.

** Summerte nivåer av BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154.

*** Summerte nivåer av p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE.

**** Summerte nivåer av PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 og PCB180.

PAH og THC

Oppsummering av hydrokarbonnivåene funnet i overflateprøvene fra Ålesund og Giske er gitt i tabell 6 og på kartene i figurene 16 - 20. Alle resultater er gitt i vedlegg I-III. Kun et utvalg av prøver ble analysert for hydrokarboner, se tabell 2.

Tabell 6. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter (0-2 cm) fra seks lokaliteter i Ålesund og Giske. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.

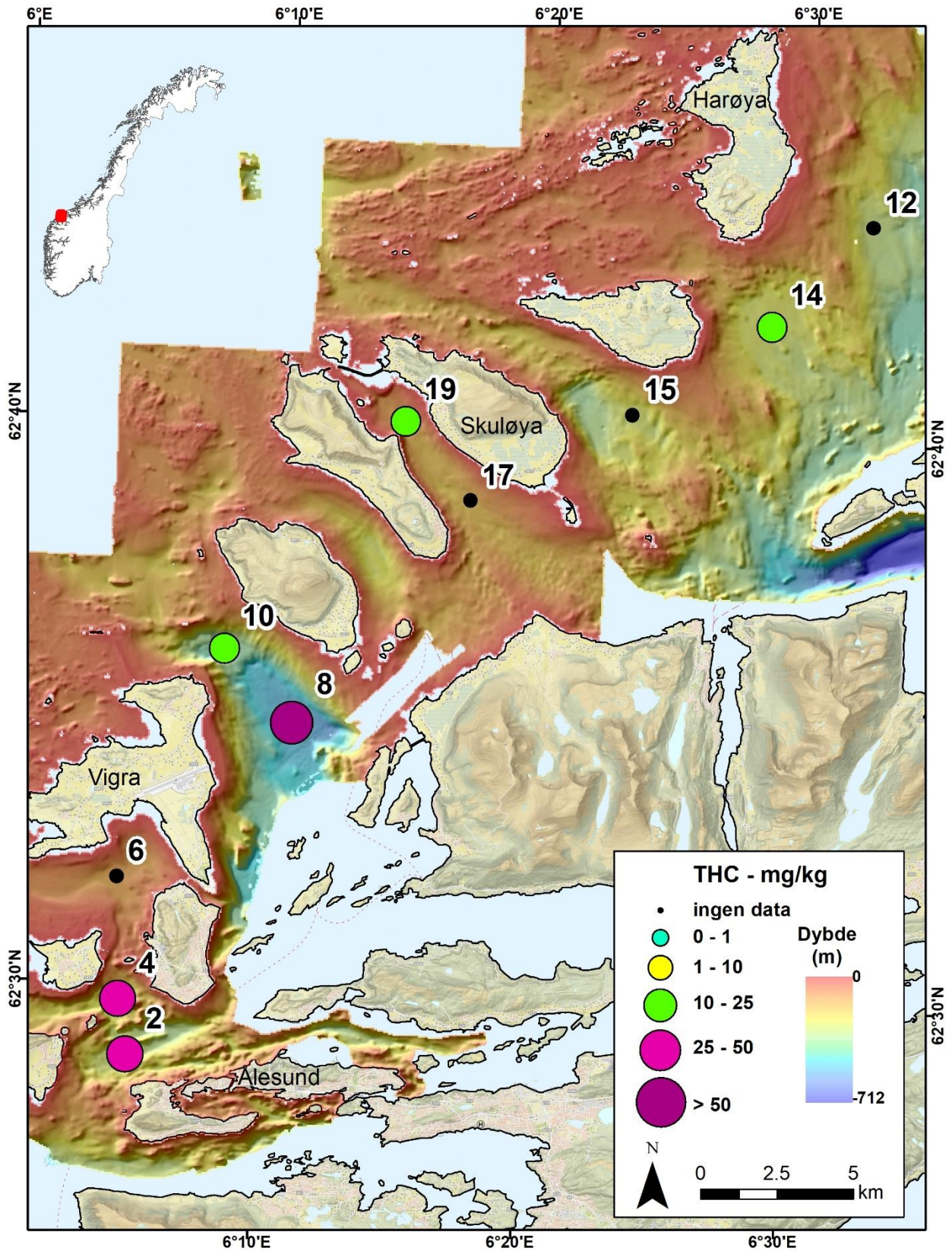
Nivå	THC mg/kg tv.	Sum 49 PAH µg/kg tv.	NPD µg/kg tv.	PAH16 µg/kg tv.	Benzo[a]pyren µg/kg tv.
Min.	13	165	29	120	7,8
Gjennomsnitt	31	494	76	376	26
Maks.	69	1095	166	830	51

De totale hydrokarbonnivåene (THC), vist på kart i figur 16, ligger på sitt høyeste på 69 mg/kg tørrvekt ved stasjon 8, og betydelig lavere ved andre lokaliteter, på 31 mg/kg tørrvekt i gjennomsnitt. Relativt høyt THC-nivå ved stasjon 8 kan ha en sammenheng med høyt TOC-innhold ved denne lokaliteten, 4,5% TOC. De andre fem lokalitetene hvor hydrokarboner ble analysert, har mye lavere TOC-innhold (2,2% ved stasjon 4, eller mindre) og THC-nivåer (38 mg/kg tv. ved stasjon 4, eller lavere). Miljødirektoratet har ikke etablert tilstandsklasser for THC, men nivåer under 50 mg/kg tørrvekt anses som lave (OSPAR 2009). Nivåene ligger likevel noe høyere enn i åpne havområder i Norskehavet, bl.a. som tidligere rapportert av MAREANO-programmet (se for eksempel Boitsov mfl. 2013). Dette er typisk for kystnære områder og har sin forklaring i avrenning fra kysten.

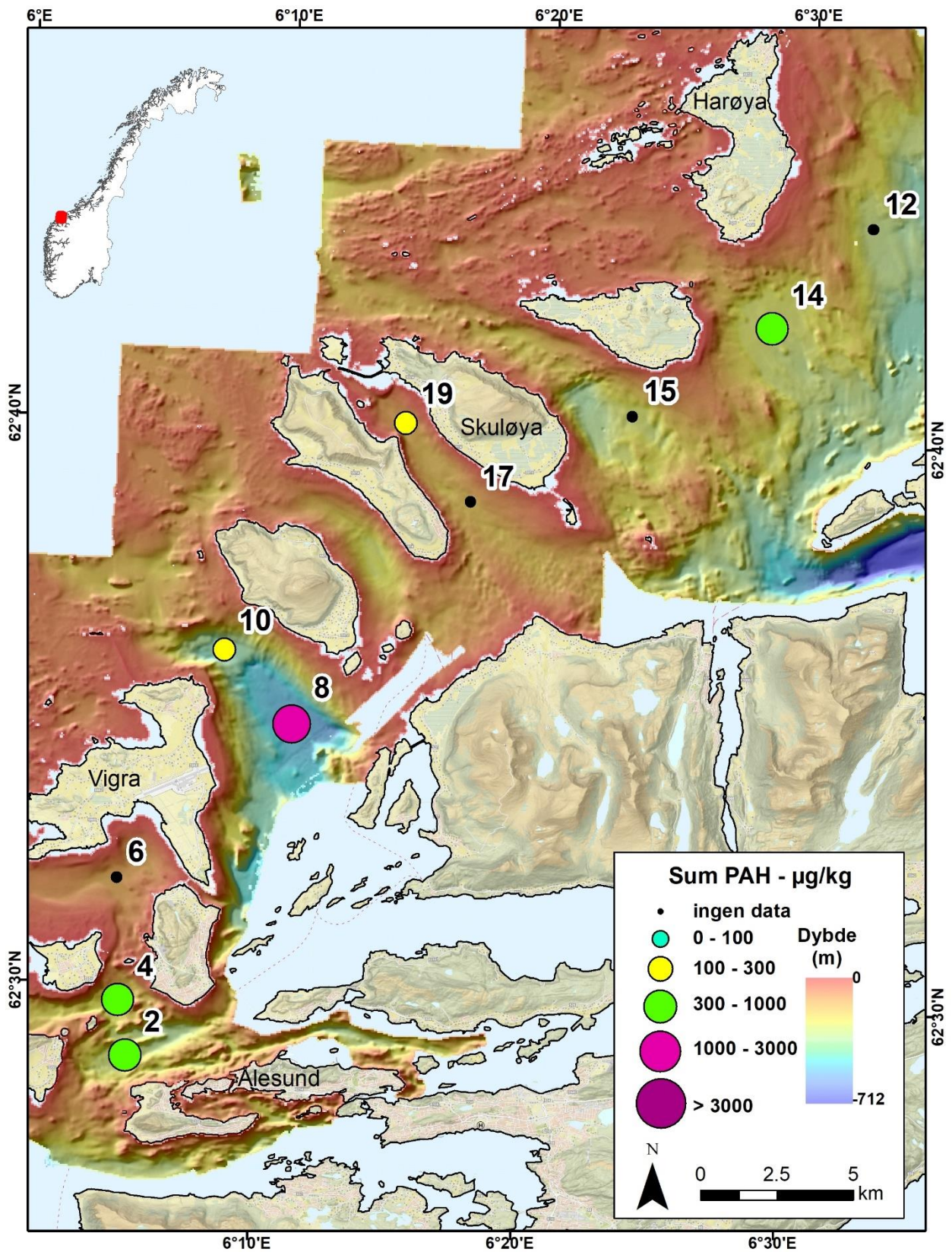
Summerte PAH-nivåer, vist på kart i figur 17, følger omtrent samme mønster som THC, med de maksimale nivåene, 1095 µg/kg tørrvekt, funnet ved stasjon 8, etterfulgt av mye lavere nivåer ved stasjon 4 på 577 µg/kg tørrvekt. Dette tyder også på en god sammenheng med TOC-innholdet i sedimentene. Samtidig er PAH-nivåene ganske lave ved de fleste lokalitetene, på 494 µg/kg tørrvekt i gjennomsnitt. Dette ligner på nivåene tidligere funnet i åpent hav på sokkelen i Norskehavet (se for eksempel Boitsov mfl. 2013), og er lavere enn det man finner enkelte andre steder i norske havområder (se for eksempel Boitsov og Sanden 2020).

Forurensningssituasjonen for hydrokarboner kan belyses videre ved å vurdere PAH-indikatorerne NPD (figur 18) og PAH16 (figur 19). NPD-nivåer ligger veldig lavt i hele området, maksimalt på 199 µg/kg tørrvekt ved stasjon 8, noe som tyder på lite oljeforurensning eller andre petrogene tilførsler i sedimentene. PAH-sammensetningen er dermed dominert av pyrogene (forbrenningsrelaterte) PAH, med 4-5 ganger høyere nivå av PAH16 enn av NPD i alle prøvene, opptil 830 µg/kg tørrvekt PAH16 ved stasjon 8. Dette kan tyde på menneskeskapte tilførsler fra f.eks. kullfyring, eksos, industri m.m. En slik antydning vil kunne bekreftes med hjelp av studier av sedimentkjerner som kan vise det naturlige bakgrunnsnivået for PAH i området og en eventuell økning i moderne sedimenter. Ifølge Miljødirektoratets klassifisering (se tabell 5), ligger nivåene av PAH16 i tilstandsklasse II, «God tilstand», ved alle stasjoner unntatt stasjonene 10 og 19, hvor man finner de laveste nivåene som er i tilstandsklasse I, «Bakgrunn». Dette er lokalitetene som ligger nærmest åpent hav.

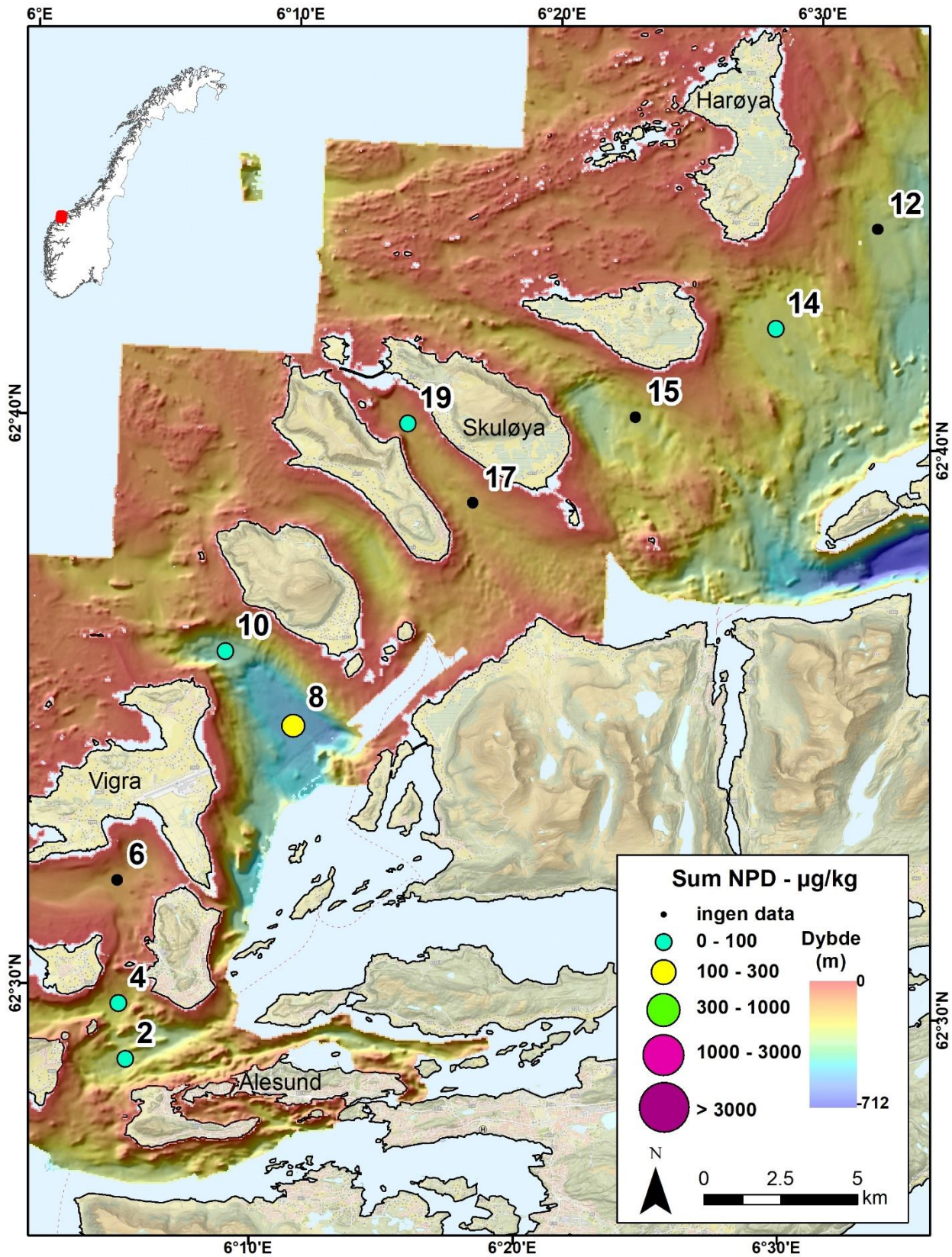
Miljødirektoratet har også etablert tilstandsklasser for en rekke enkeltforbindelser PAH. En av disse, benzo[*a*]pyren, vurderes som spesielt viktig siden den er sterkt kreftfremkallende og måles ofte for å kunne vurdere både miljøtilstand og sjømattrygghet. Nivåer av benzo[*a*]pyren varierer noe gjennom området og ligger på sitt høyeste på 51 µg/kg tørrvekt ved stasjon 8, men er alle i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand».



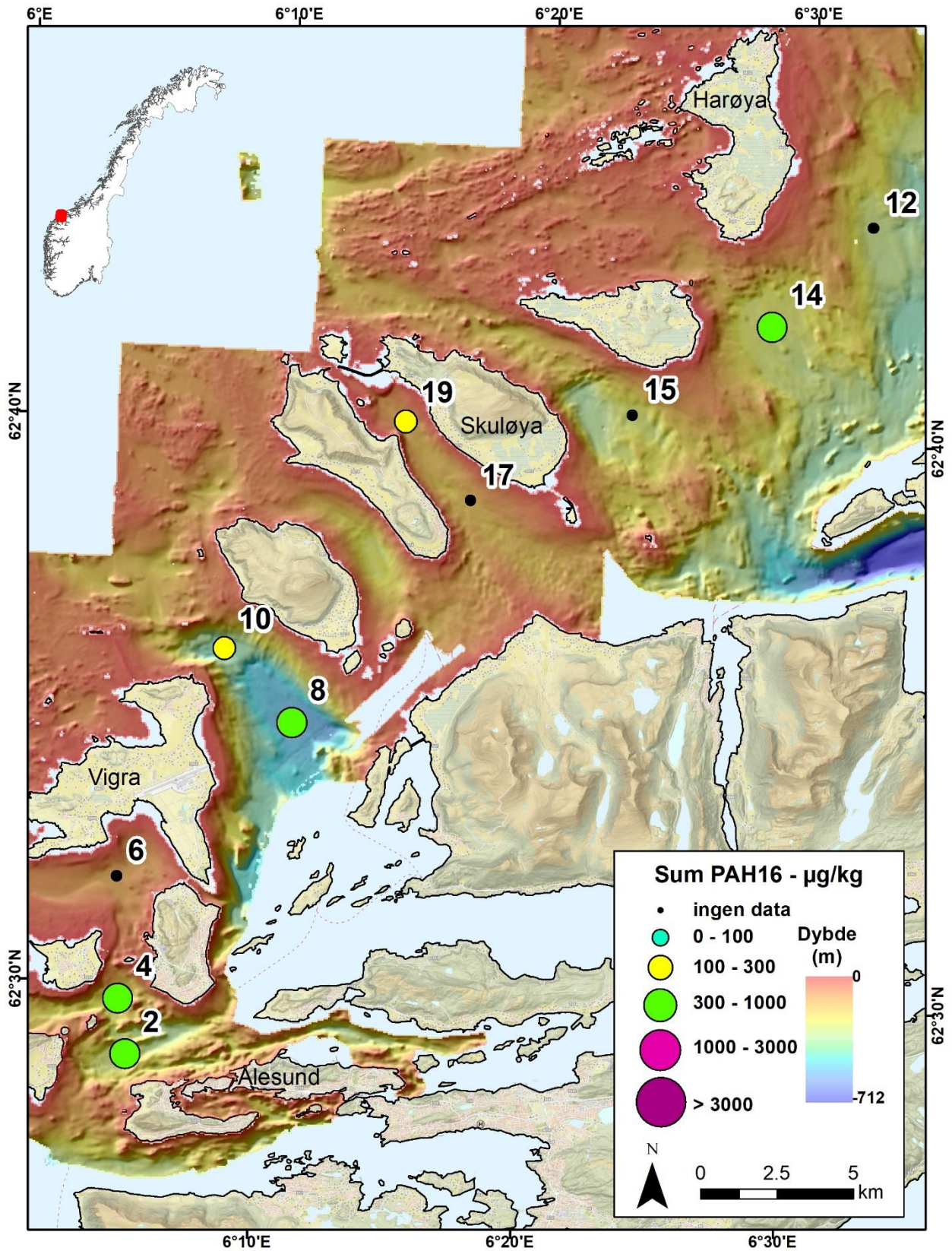
Figur 16. Nivåer av THC i overflatesedimenter.



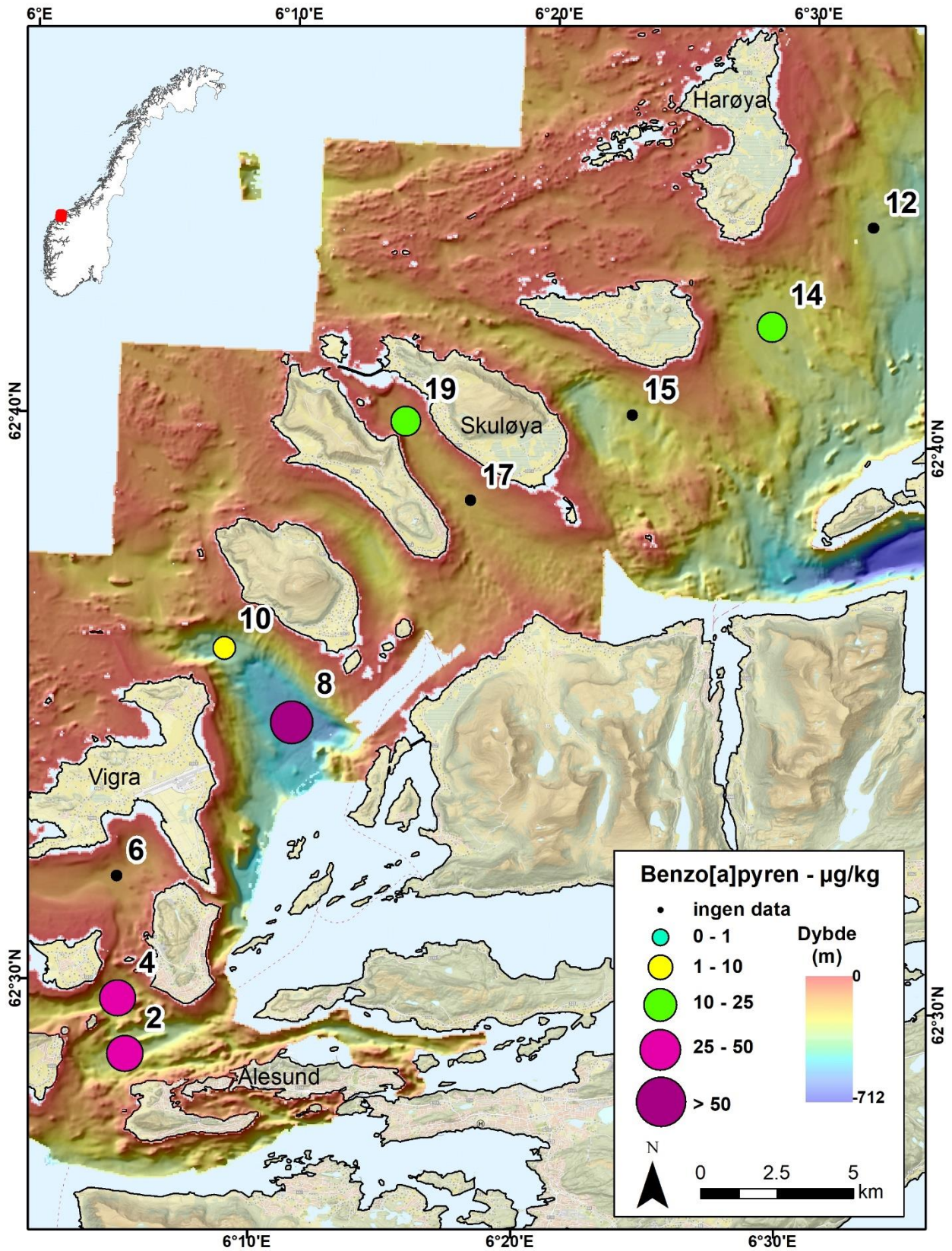
Figur 17. Summerte nivåer av PAH (49 forbindelser) i overflatesedimenter.



Figur 18. Summerte nivåer av NPD i overflatesedimenter.



Figur 19. Summerte nivåer av PAH16 i overflatesedimenter.



Figur 20. Nivåer av benzo[a]pyren i overflatesedimenter.

PBDE, PCB og klorerte pesticider

Oppsummering av nivåer av persistente organiske miljøgiftene PBDE, PCB og klorerte pesticider, funnet i overflateprøvene fra Ålesund og Giske, er gitt i tabell 7 og på kartene i figurene 21 - 27. Alle resultater er gitt i vedlegg I-III. Kun et utvalg av prøver ble analysert for disse miljøgiftene, se tabell 2.

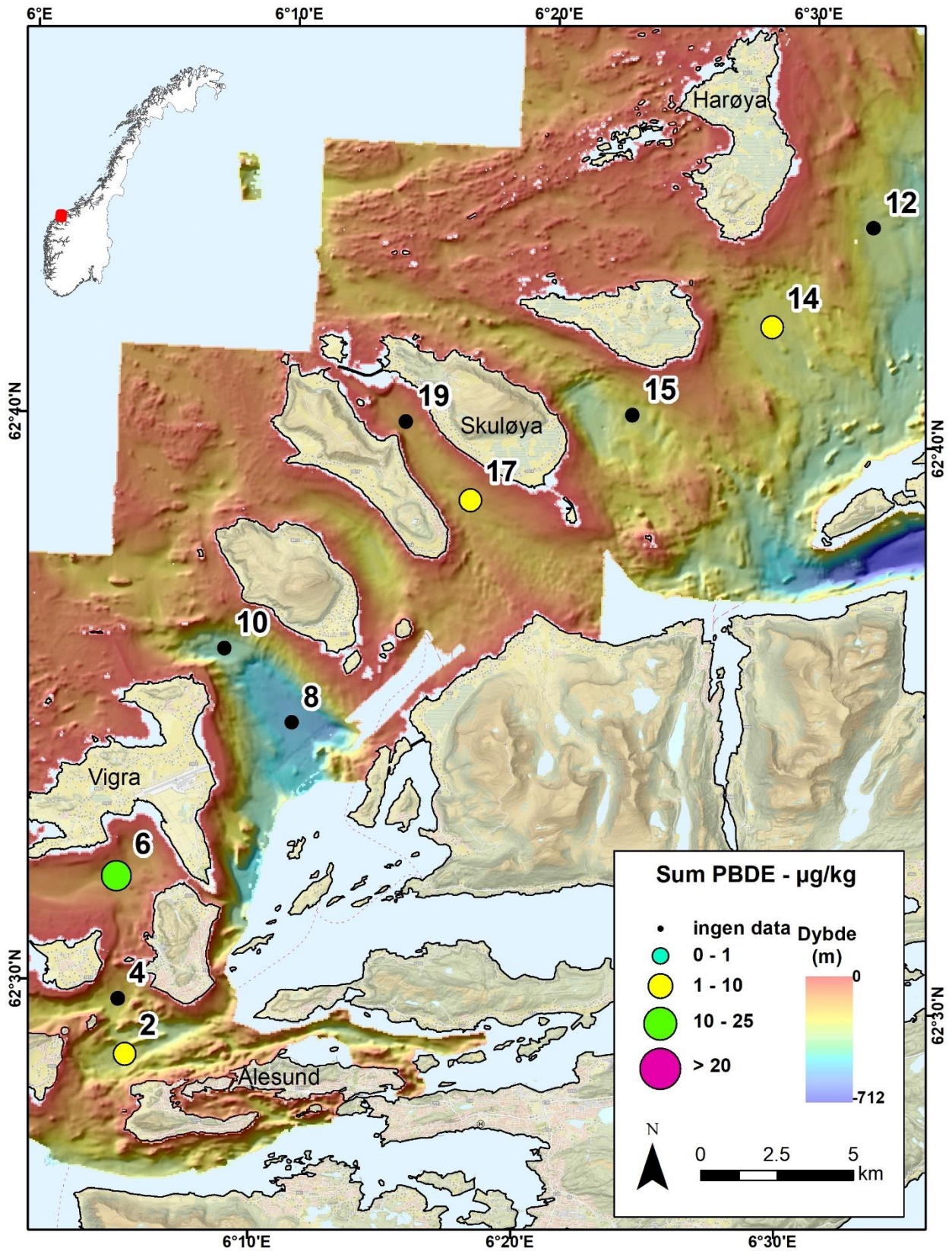
Tabell 7. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av PBDE, PCB og klorerte pesticider i overflatesedimenter (0-2 cm) fra fire lokaliteter i Ålesund og Giske.

Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.

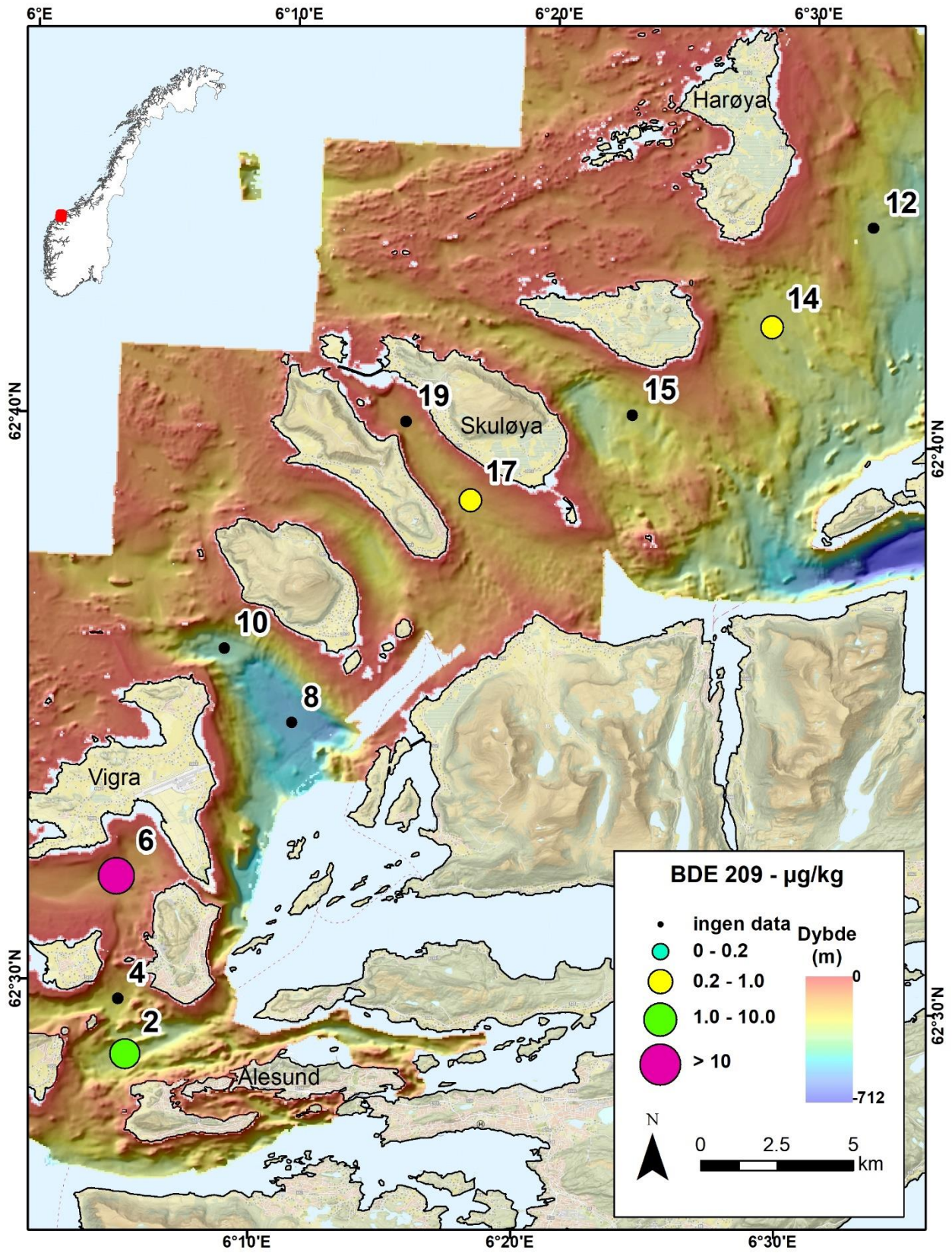
Nivå, µg/kg tv.	Sum PBDE	6 PBDE	BDE-209	PCB7	Sum DDT	γ-HCH	Sum HCH	HCB	TNC
Min.	1,2	<0,18	0,88	0,22	0,13	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Gjennomsnitt	6,2	<0,18	5,4	0,61	0,23	<0,02	<0,02	0,03	<0,02
Maks.	12	0,28	11	0,99	0,33	0,02	0,05	0,05	<0,02

De maksimale nivåene av alle bromerte og klorerte organiske miljøgifter undersøkt i prøvene fra Ålesund og Giske finner man ved stasjon 6, med et mulig unntak av TNC som ligger under LOQ (kvantifiseringsgrensen) i alle prøver. Stasjon 6 har også det høyeste TOC-innholdet av alle stasjoner med 5,0%, som kan forklare relativt høyere nivåer av organiske miljøgifter funnet her. Nivåer av alle klorerte og nesten alle bromerte miljøgifter er likevel lave eller veldig lave i alle prøver, under LOQ for flere av stoffene. De ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», for alle forbindelser som det er etablert tilstandsklasser for (se tabell 5). Siden det ikke finnes noe naturlig bakgrunnsnivå for disse menneskeskapt miljøgiftene, er tilstandsklasse II den laveste som er etablert for disse stoffene.

Blant alle bromerte og klorerte miljøgifter rapportert her er det bromerte flammehemmere, PBDE, man finner i størst mengder i prøvene. Nivåene varierer sterkt og ligger på sitt høyeste (mellom ca. 9 og 12 µg/kg tørrvekt for Sum PBDE) ved de to stasjonene i nærheten av Ålesund, stasjon 2 og 6, mens nivåer ved stasjonene 14 og 17 er ca. 5 ganger lavere (under 2 µg/kg tørrvekt for Sum PBDE), se kart i figur 21. Nivåene domineres sterkt av den fullbromerte kongeneren, BDE-209, som utgjør mellom ca. 50% og 90% av PBDE-sammensetningen i prøvene. Dette peker klart på deka-blanding som kilde for PBDE-forurensning i området. Miljødirektoratet har ikke etablert tilstandsklasser for BDE-209, men det er kjent fra før at det finnes forurensning med BDE-209 i dette området, se diskusjon i Boitsov mfl., 2013. Nivåene funnet i prøvene fra 2020, opp mot 11 µg/kg tørrvekt BDE-209 ved stasjon 6 (figur 22), er noe lavere enn det som ble funnet i tidligere studier, opp mot ca. 30 µg/kg tørrvekt BDE-209 (Boitsov mfl. 2013). Det er ikke mulig å slå fast at nivåene er på vei ned, siden det ikke er nøyaktig samme lokaliteter som ble undersøkt i tidligere studier, og man bør helst undersøke en sedimentkjerne for å vurdere dette. Resultatene viser at denne persistente miljøgiften fortsatt er til stede i området, men forurensningen holder seg fortsatt lokalt.

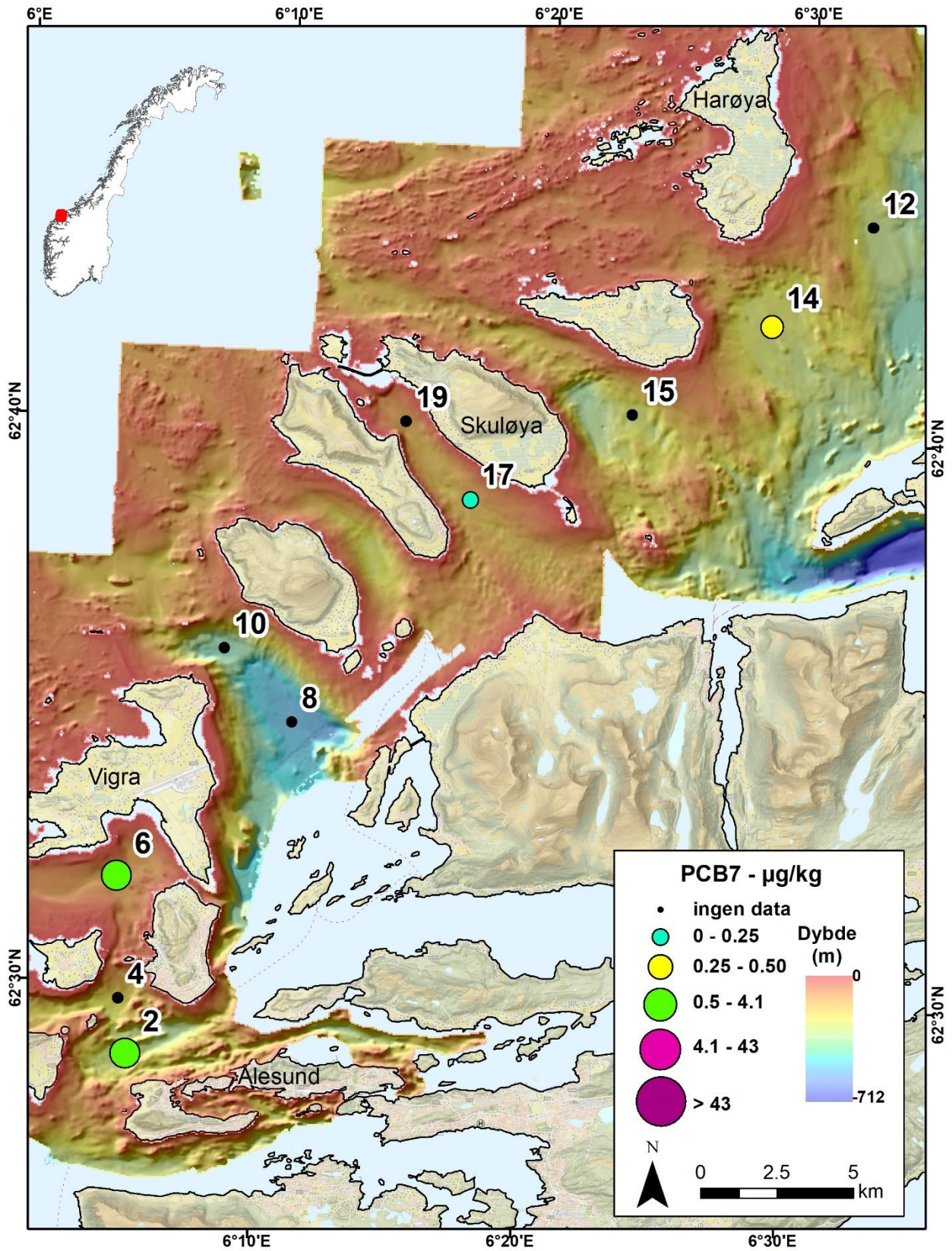


Figur 21. Summerte nivåer av PBDE (19 kongenerer) i overflatesedimenter.

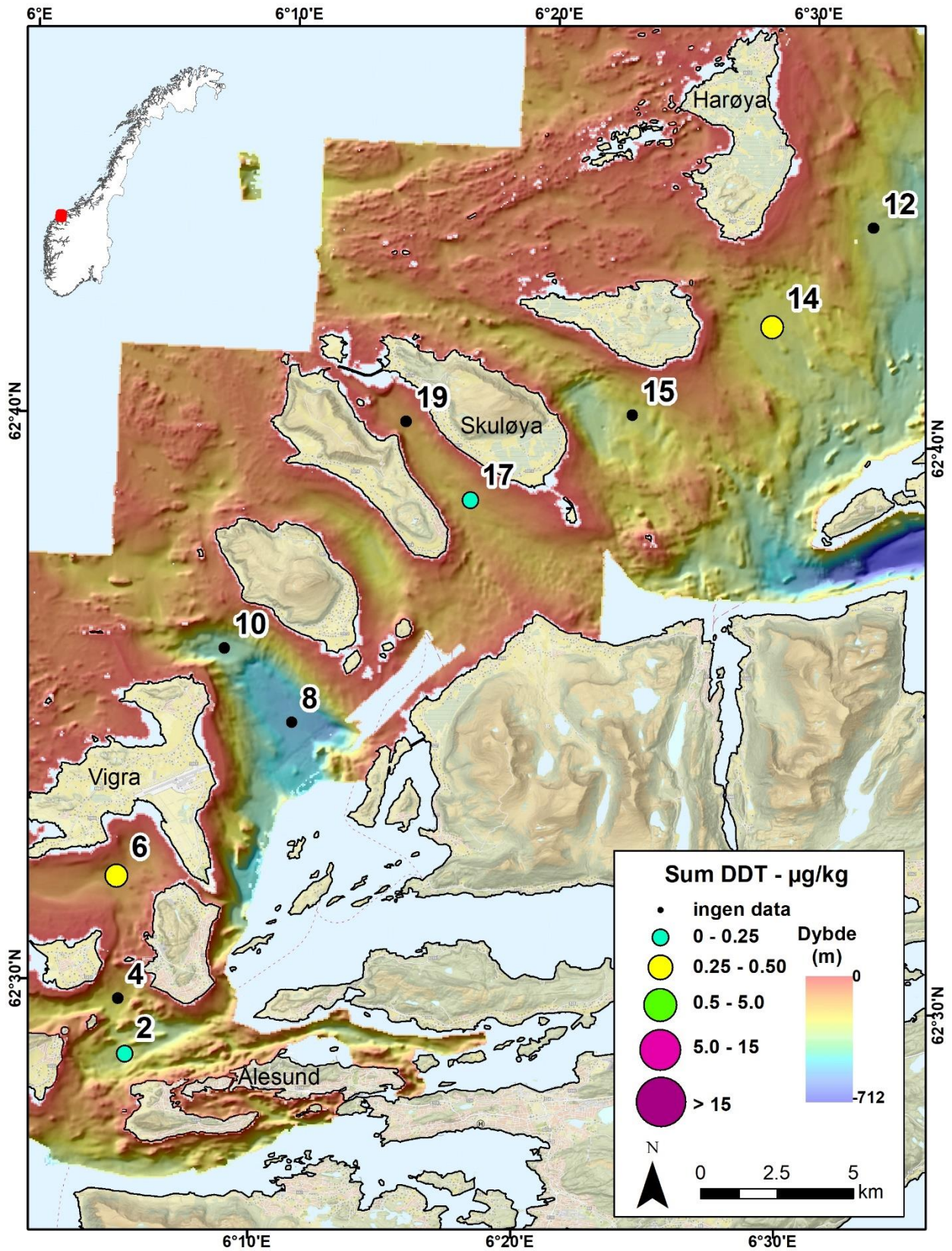


Figur 22. Nivåer av BDE-209 i overflatesedimenter.

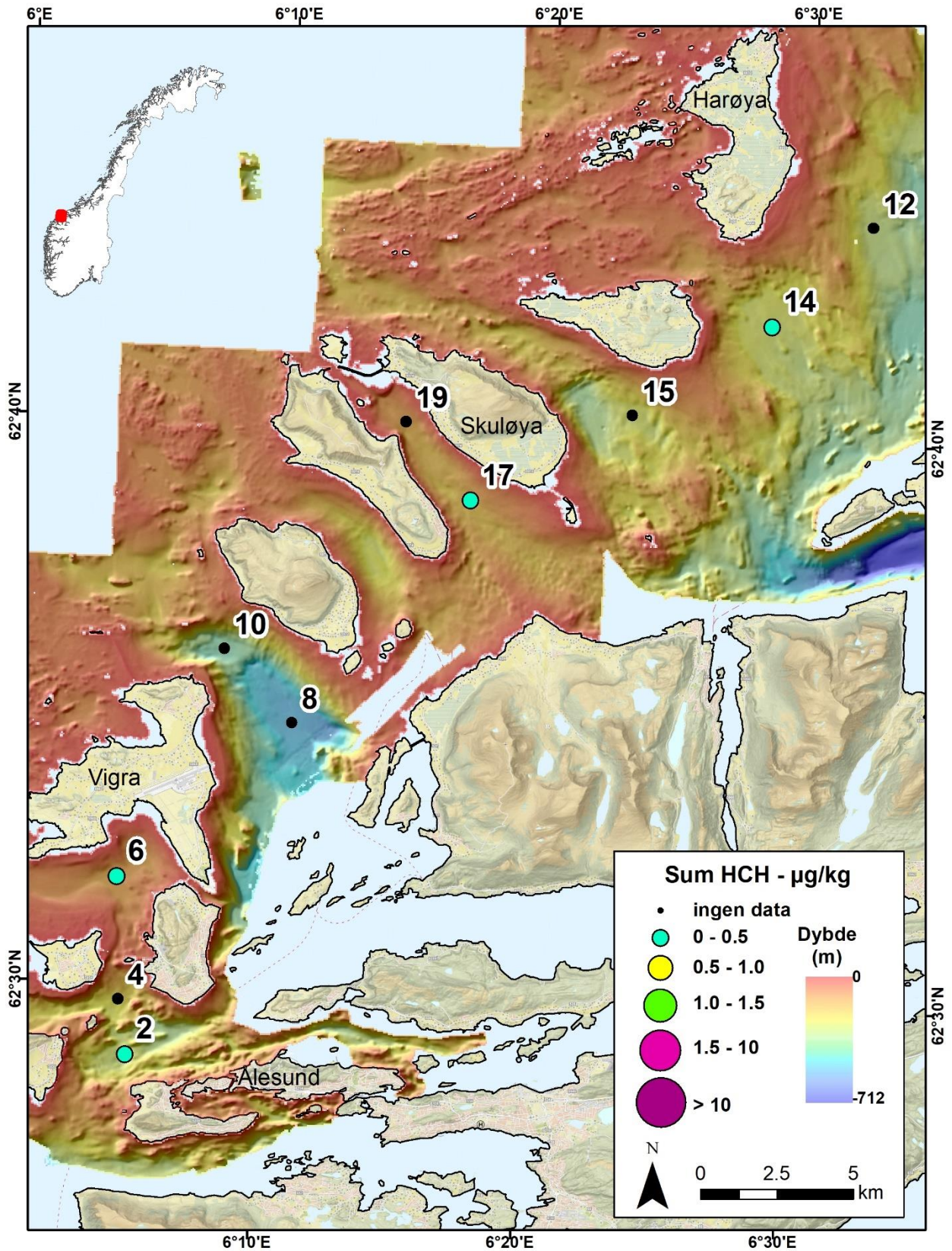
Når det gjelder klorerte miljøgifter er det PCB7 og i mindre grad DDT som er funnet i prøvene, mens HCH, HCB og TNC ligger under eller rett over LOQ. Nivåer av PCB7 er relativt lave og ligger på under 1 µg/kg tørrvekt overalt, se figur 23. De to stasjonene som ligger nærmere Ålesund, stasjon 2 og stasjon 6, har noe høyere nivå enn de nordlige stasjonene 14 og 17. Nivåene kan likevel sammenlignes med det som man har funnet tidligere andre steder i Norskehavet (for eksempel, Boitsov mfl. 2016). Det samme gjelder DDT, som ligger lavere enn PCB, på 0,33 µg/kg tørrvekt ved stasjon 6 på sitt høyeste (figur 24).



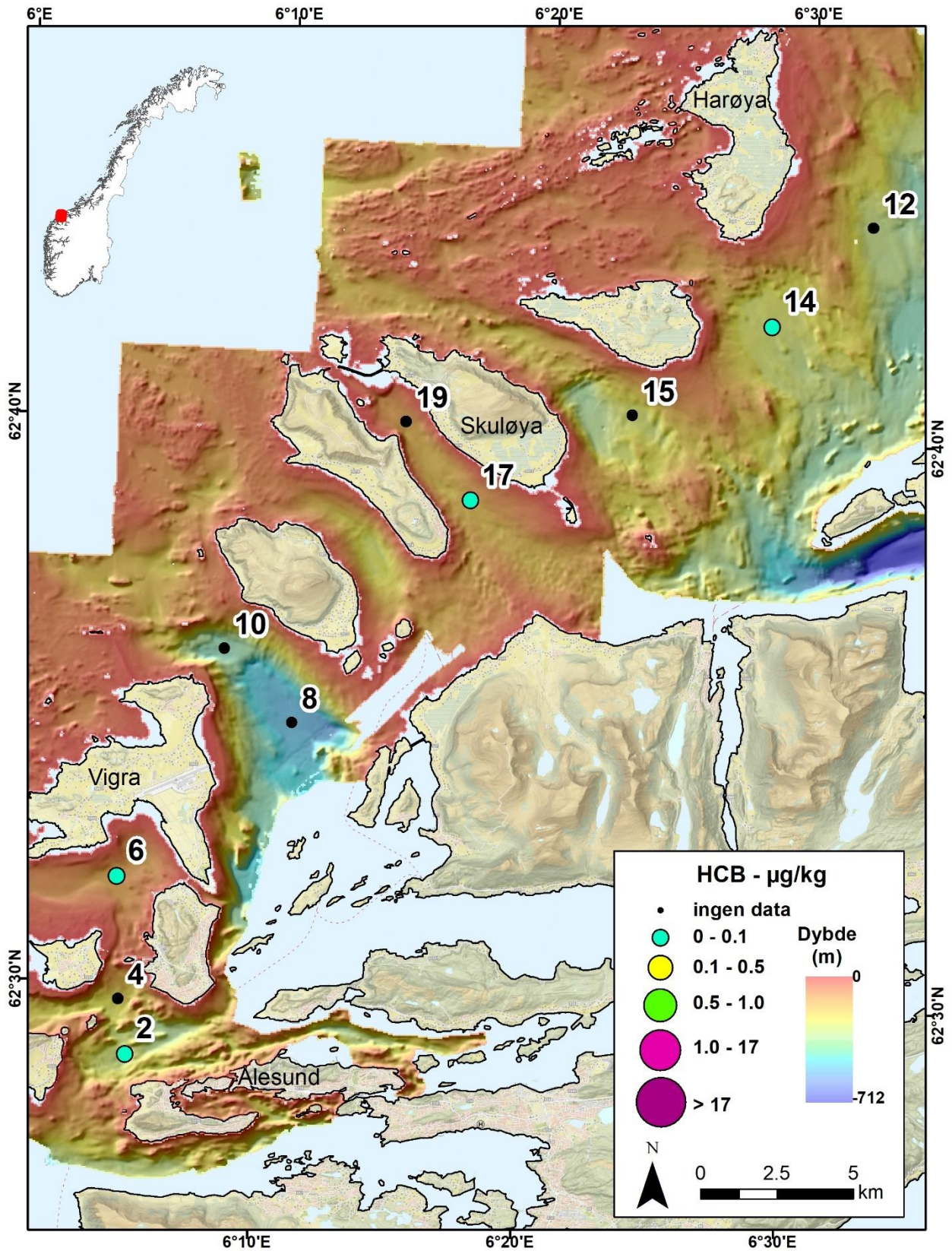
Figur 23. Nivåer av PCB7 i overflatesedimenter.



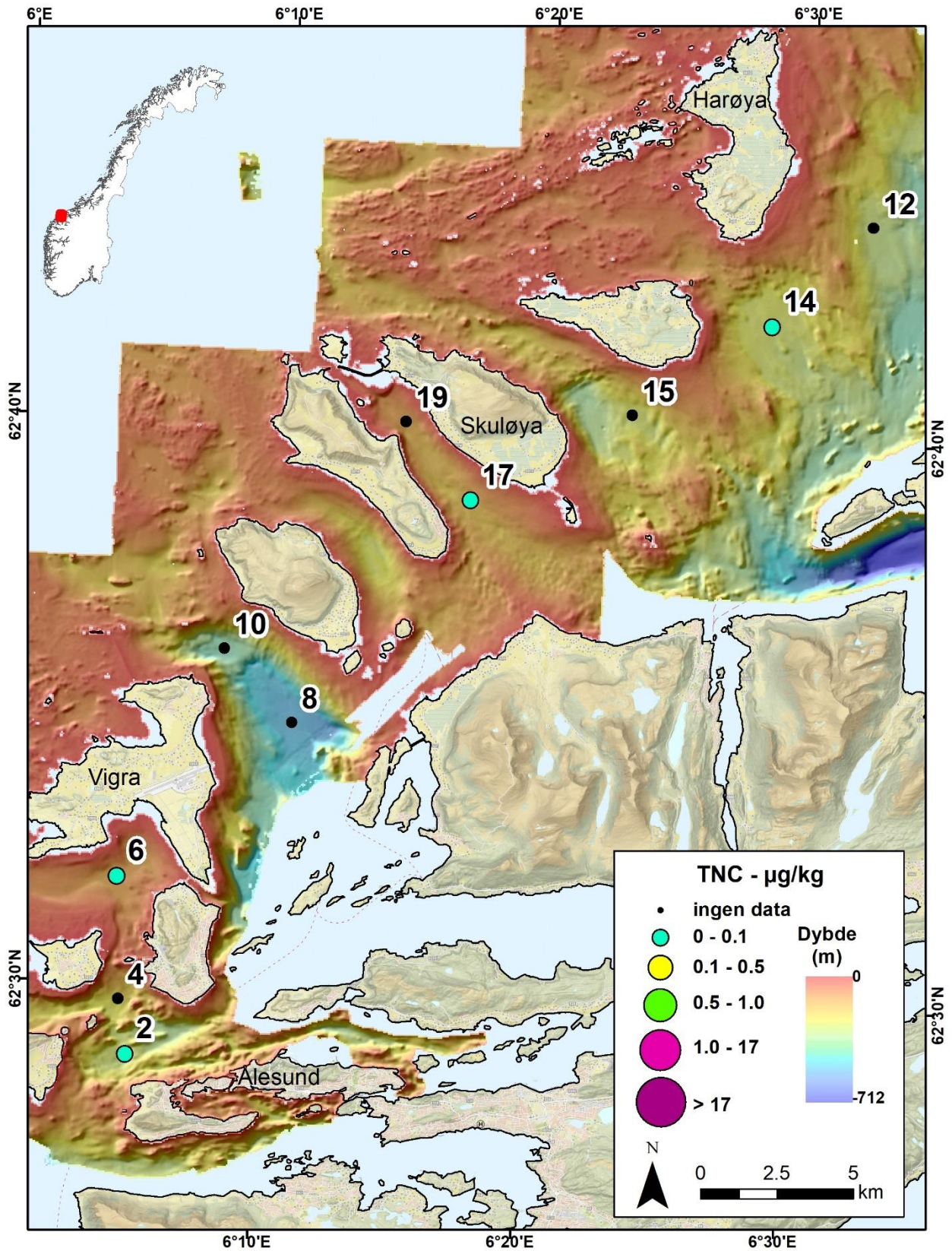
Figur 24. Summerte nivåer av DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE) i overflatesedimenter.



Figur 25. Summerte nivåer av HCH i overflatesedimenter.



Figur 26. Nivåer av HCB i overflatesedimenter.



Figur 27. Nivåer av TNC i overflatesedimenter.

PFAS

Oppsummering av nivåer av PFAS funnet i overflateprøvene fra Ålesund og Giske, er gitt i tabell 8 og på kart i figur 28. Alle resultater er gitt i vedlegg I-III. Kun et utvalg av prøver ble analysert for PFAS, se tabell 2.

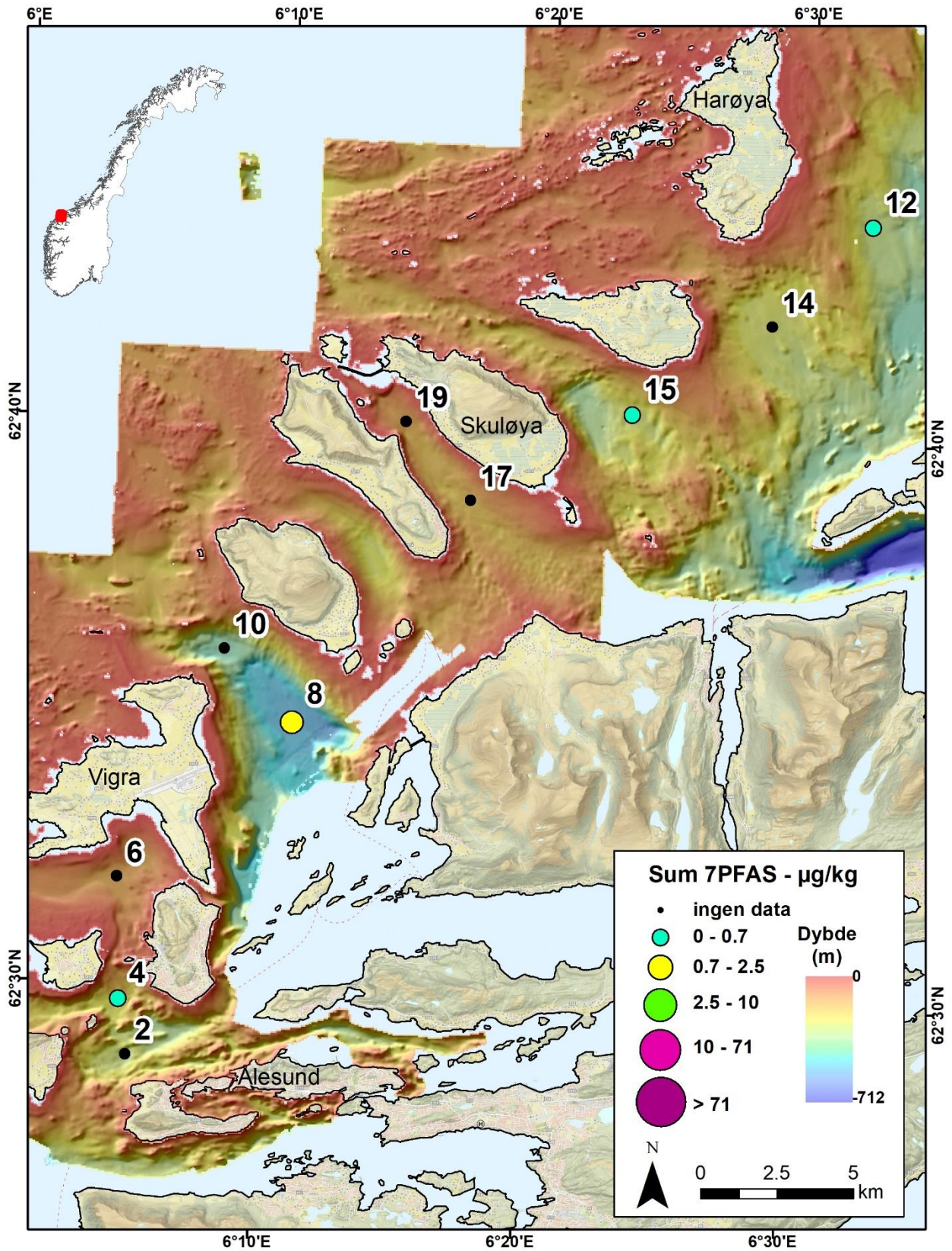
Tabell 8. Gjennomsnitts-, minimale og maksimale nivåer av PFAS i overflatesedimenter (0-2 cm) fra fem lokaliteter i Ålesund og Giske. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.

Nivå, µg/kg tv.	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS
Min.	0,25	0,05	0,37
Gjennomsnitt	0,40	0,07	0,67
Maks.	0,73	0,10	1,2

Av de 23 PFAS som er analysert i prøvene, er det kun fem som er funnet over LOQ. De samme fem stoffene, i tillegg til to andre, er tidligere funnet i marine sedimenter forskjellige steder i åpent hav av MAREANO (se for eksempel Boitsov og Klungsøyr 2018, Boitsov og Sanden 2020), og i Stavanger i pilotprosjektet Marine grunnkart i kystsonen. De ble da rapportert som 7 PFAS. Samme betegnelsen beholdes derfor her for å kunne sammenligne resultatene. Nivåer av 7 PFAS funnet på Sunnmøre (se kart i figur 28) ligger ganske likt eller noe lavere enn det som er funnet tidligere i studiene nevnt ovenfor, og lavere enn det som ble funnet i Stavanger. Dette er til tross for relativt høy andel TOC ved tre av de fire lokalitetene, mellom 2,2% og 4,5% ved stasjonene 4, 8 og 12. Nivåene kan derfor vurderes som lave, i tråd med tidligere studier.

Miljødirektoratet har kun etablert tilstandsklasser for to PFAS, som vist i tabell 5. Av disse ligger PFOA i tilstandsklasse II, «God tilstand», i alle prøver, mens PFOS ligger i tilstandsklasse III, «Moderat forurensning», i samtlige prøver. Nivåene som ligger i tilstandsklasse III er likevel relativt lave og ligger maksimalt på 0,73 µg/kg tørrvekt, det vil si rett over grensen mellom tilstandsklassene II og III (0,23 µg/kg tørrvekt).

Resultatene bekrefter tilstedeværelse av disse svært persistente nye miljøgiftene ved alle lokaliteter undersøkt i dette prosjektet.



Figur 28. Summerte nivåer av 7 PFAS i overflatesedimenter.

3.2 Sedimentkjerneprøver

Under feltarbeidet med F/F Seisma i august 2020 hentet NGU opp tre korte sedimentkjerener fra utvalgte lokaliteter i kommunene Ålesund og Giske (figur 1, tabell 9). Lokalitetene samsvarer med tre av stasjonene for overflateprøver beskrevet ovenfor. Vi ønsket så langt som mulig å få en jevn geografisk fordeling av kjerneprøvene. Prøvetakingen foregikk med multicorer (figur 2), som kan gi en uforstyrret kjerneprøve på opptil femti centimeter lengde i finkornede sedimenter. Prøvene fra studieområdet er kortere enn dette på grunn av det relativt høye sandinnholdet i sedimentene.

Tabell 9. Stasjonsnummer, koordinater og vanddyb for 3 sedimentkjerener.

Stasjon Kjerneprøver	Kort stasjons- nummer	Område	Geografiske koordinater (desimalgrader)		Vanddyb (m)
			Nord	Øst	
P2005003B	2	Valderhaugfjorden	62.4791562	6.084444	104
P2005008A	8	Vigrafjorden Ø for Roald	62.578691	6.181289	180
P2005014A	14	Harøyfjorden ved Fjørtofta	62.7006367	6.477638	89

I denne rapporten presenterer vi resultatene fra sedimentologiske og geokjemiske analyser av alle de tre kjerneprøvene. Geokjemiske måleresultater angis hovedsakelig i konsentrasjonsenheten mg/kg sediment, som tilsvarer ppm (*parts per million*). Vi angir kornstørrelse i prosentvist innhold av leir, silt og sand, mens organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat angis i tørrvektprosent. Alle dataene er vist i vedlegg II og III.

3.2.1 Kronologi og sedimentasjonshastighet

En sedimentkjerneprøve kan leses som et arkiv over de geokjemiske endringene i havbunnssedimentene over tid. For å nyttiggjøre oss den arkiverte informasjonen trenger vi imidlertid en aldersmodell som kan vise over hvilket tidsrom sedimentene i kjerneprøven er blitt avsatt. Vi bruker ^{210}Pb -aktiviteten (blydatering) i kjerneprøver for å aldersbestemme sedimentene. Når all tilgjengelig aldersinformasjon kombineres, kan vi rekonstruere sedimentasjonshastigheter (millimeter/år) over tid. Havbunnssedimenter vil som regel komprimeres etter hvert som de begraves av nyere materiale, slik at egenskaper som porøsitet og vanninnhold vil være forskjellige i toppsjiktet versus dypere i kjerneprøven også der avsetningshastigheten har vært stabil over tid. Derfor beregner vi akkumulasjonsrater ($\text{kg/m}^2/\text{år}$) hvor vi tar hensyn til endringer i disse fysiske egenskapene.

Alderen på de øverste sedimentlagene og sedimentakkumulasjonsrater ble bestemt ved måling av ^{210}Pb -aktiviteten i sedimentene. Isotopen ^{210}Pb har en halveringstid på 22,3 år. Bakgrunnsverdien for ^{210}Pb bestemmes ut fra mengden av ^{210}Pb -bakgrunnsstråling (= "supported" ^{210}Pb), som er uavhengig av sedimentasjon. Bestemmelsen av ^{210}Pb -bakgrunnsstråling skjer på bakgrunn av måling av ^{226}Ra som vil være i likevekt med supported ^{210}Pb . I tillegg til ^{210}Pb -datering ble nivået av radioaktive cesiumisotoper (^{137}Cs) målt i alle kjernene for å finne hvor dypt i kjernene en ser begynnelsen av atomprøvesprengninger i 1950- og 1960 årene. Prøvesprengningene toppet seg i 1963 og har siden vært kraftig avtagende. Økte konsentrasjoner av ^{137}Cs i marine sedimenter viser

ikke bare begynnelsen av atomprøvesprengninger, men også radioaktive ulykker i Tsjernobyl (Ukraina) i 1986 og Fukushima (Japan) i 2011.

Dyp i kjerne 2 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m ² /år)
0	2020	
0.5	2019	4.4
1.5	2018	4.6
2.5	2016	4.9
3.5	2014	4.8
4.5	2011	4.5
5.5	2009	4.8
6.5	2007	5.6
7.5	2006	5.7
8.5	2003	4.9
9.5	2001	4.8
10.5	1999	4.5
11.5	1996	4.4

Dyp i kjerne 8 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m ² /år)
	2020	
0.5	2019	1.7
1.5	2018	1.7
2.5	2016	1.9
3.5	2014	1.8
4.5	2013	1.7
5.5	2011	1.9
6.5	2009	2
8.5	2005	1.9
10.5	2001	1.9
12.5	1996	1.7
14.5	1991	1.7
15.5	1988	1.4
16.5	1986	1.5
18.5	1981	1.7
19.5	1978	1.4
20.5	1974	1.1
21.5	1970	1.2
22.5	1968	2
23.5	1967	3

Tabell 10. Alder versus dyp i kjerne 2 (venstre) og 8 (høyre) basert på ²¹⁰Pb- og ¹³⁷Cs-målinger. Akkumulasjonsrater for begge kjerner er angitt.

Sedimentkjernene 2 og 8 viser en klar tendens til eksponentielt lavere Pb verdier med dybden, noe som indikerer sedimentmikning og bioturbasjon i overflaten (vedlegg II). Alder versus dyp i tabell 10 er henholdsvis tolket ned til 11,5 cm i kjerne 2 og 27,5 cm i kjerne 8. Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 4,8 millimeter pr. år i kjerne 2 og 4,4 millimeter pr. år i kjerne 8. Akkumulasjonsratene varierer konstant mellom 4,4 og 5,7 kg/m²år i kjerne 2, mens er betydelig lavere (1,2 – 3 kg/m²år) i kjerne 8. Vi går ut ifra at toppen av hver kjerneprøve representerer status i 2020.

Dyp kjerne 14 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m ² /år)
0	2020	
0.5	2019	2
1.5	2016	1.9
2.5	2013	2
3.5	2010	1.8
4.5	2006	1.6
5.5	2002	1.8
6.5	1999	1.9
7.5	1995	1.8
8.5	1991	1.7
9.5	1986	1.5
10.5	1980	1.3
11.5	1973	1
12.5	1964	0.8
13.5	1952	0.6
14.5	1936	0.5
15.5	1918	0.5
16.5	1900	0.4

Tabell 11. Alder versus dyp i kjerne 14 basert på ²¹⁰Pb- og ¹³⁷Cs-målinger.

Alder versus dyp i kjerne 14 (tabell 11) er tolket ned til 16,5 cm. Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 1,4 millimeter pr. år, altså betydelig lavere enn i kjernene 3 og 8. Akkumulasjonsraten varierer mellom 0,4 og 2,0 kg/m²/år. Vi går ut ifra at toppen av hver kjerneprøve representerer status i 2020. Datering er underbygget med hjelp av ¹³⁷Cs-isotopkonsentrasjoner (vedlegg II), som viser en første stigning rundt 13,5 cm (som representerer ca. år 1952).

Tabell 12. Beregnede sedimentasjonshastigheter i tre daterte kjerneprøver.

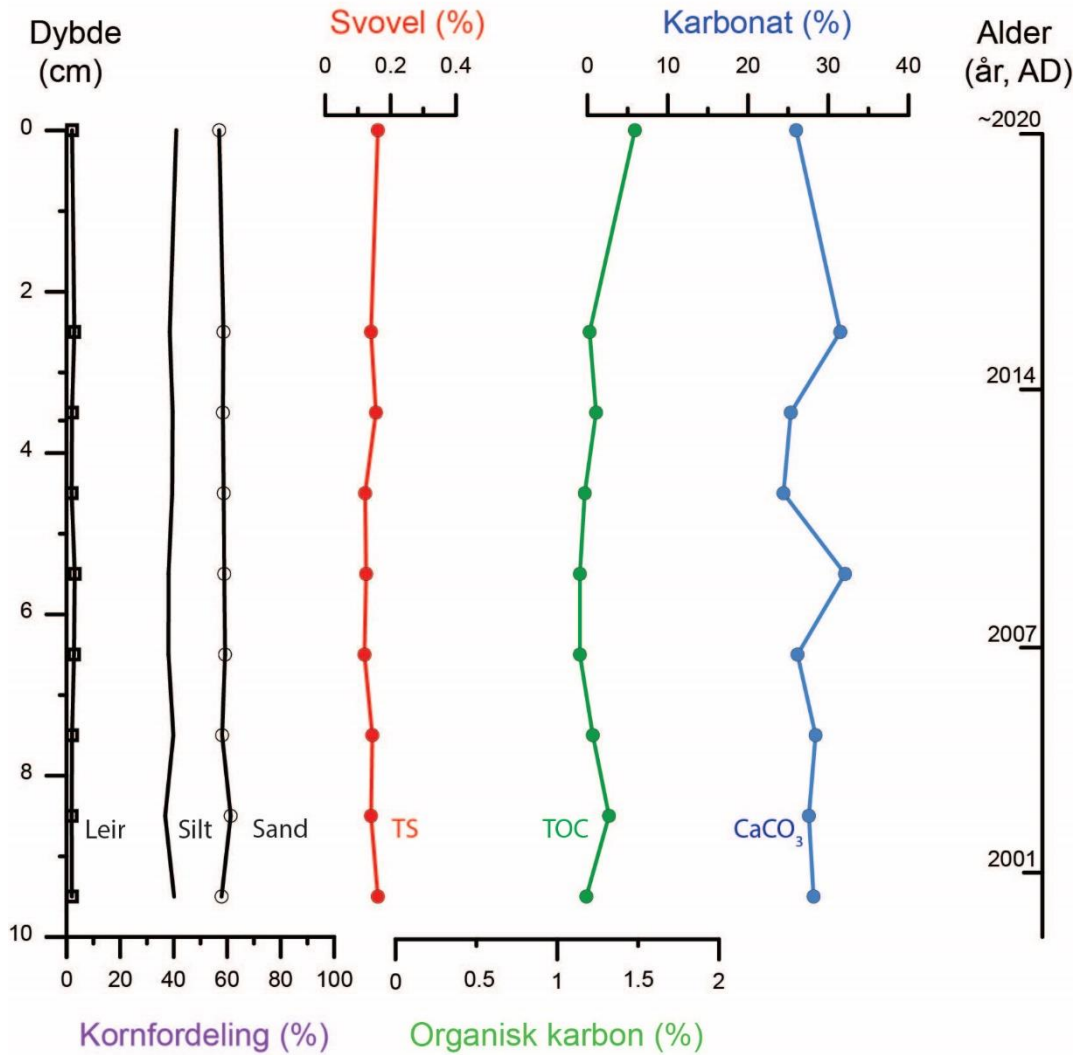
Stasjon	Område	Dybde til datert materiale (mm)	Alder (median kalenderår)	Sedimentasjonshastighet (mm/år)
2	Valderhaugfjorden	115	24 (år 1996)	4,8
8	Vigra fjorden Ø for Roald	235	53 (år 1967)	4,4
14	Harøyfjorden ved Fjørtofta	165	120 (år 1900)	1,4

3.2.2 Kornfordeling, svovel, organisk karbon og kalsiumkarbonat

Sedimentprofilene til de tre kjerneprøvene i studieområdet viser at de representerer ulike avsetningsmiljøer. I det følgende viser vi analyseresultater fra tre lokaliteter (Valderhaugfjorden (kjerne 2), Vigra fjorden Ø for Roald (kjerne 8), og Harøyfjorden ved Fjørtofta (kjerne 14)).

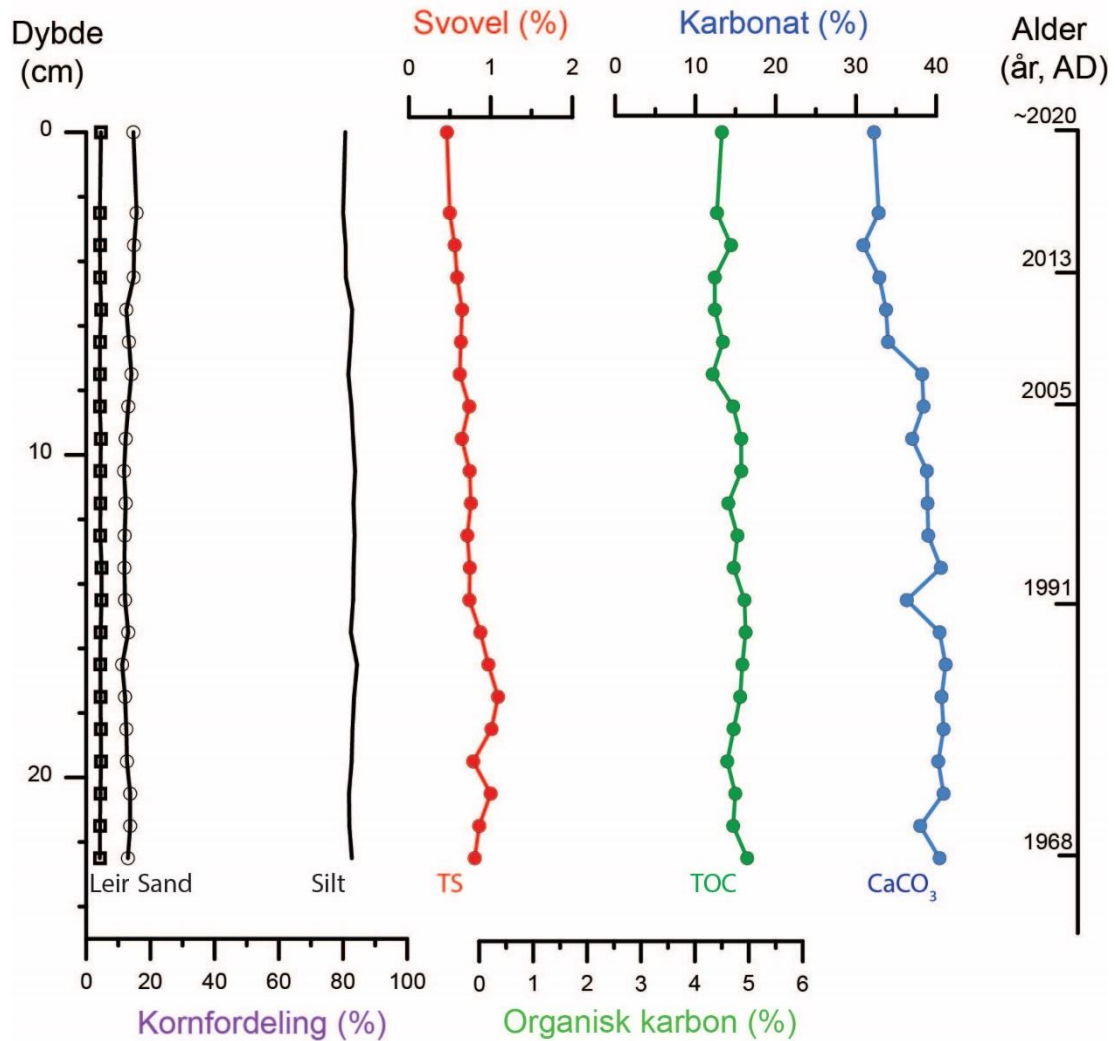
Kjerneprøven fra Valderhaugfjorden (kjerne 2) er hentet fra områder med sannsynlig sterk bunnstrøm. Ca. 50-60 % av sedimentene som avsettes her er sand (>2 mm) (figur 29). Innholdet av kalsiumkarbonat er høyt, og varierer mellom 25 og 35 %. Generelt er karboninnholdet i kjernen høyt, og varierer mellom 1 og 1,5 %. Dette tyder på en høy primærproduksjon i overflatevannet. Svovelinholdet er konstant lavt (<0,2 %) (figur 29).

Kjerneprøve 2, Valderhaugfjorden



Figur 29. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 2 (Valderhaugfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre. Grafene viser relativ kornfordeling (leir, silt, og sand målt med laserdiffraksjon), innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO₃).

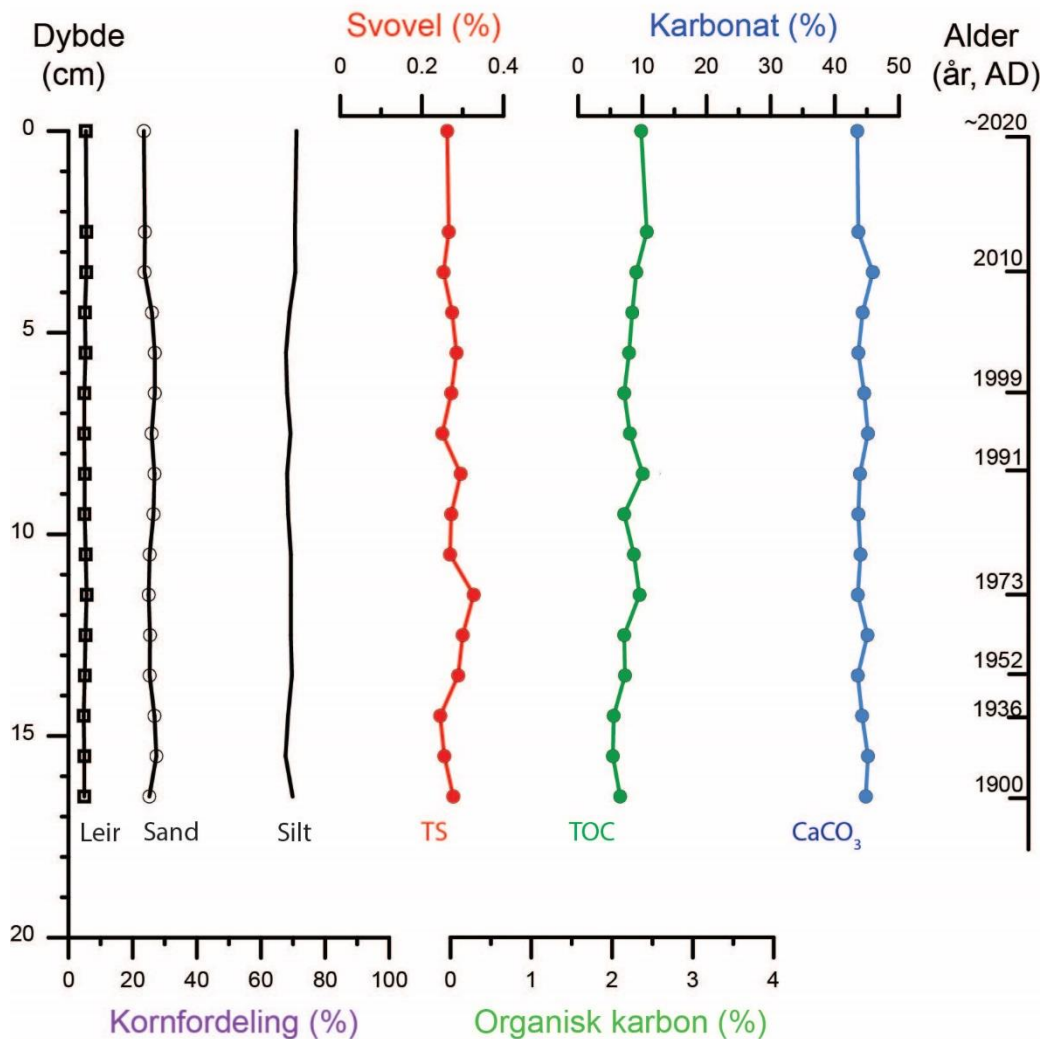
Kjerneprøve 8, Vigrafjorden Ø for Roald



Figur 30. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 8 (Vigrafjorden Ø for Roald) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre. Grafene viser relativ kornfordeling (leir, silt, og sand målt med laserdiffraksjon), innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO_3).

I kjerneprøve 8 fra lokaliteten i Vigrafjorden Ø for Roald er bunnforhold antakeligvis roligere enn i Valderhaugfjorden (kjerne 2). Figur 30 viser at prøven hovedsakelig består av silt (ca. 80 %) og at sandinnholdet er mye lavere enn i Valderhaugfjorden. Dette tyder på et mye roligere sedimentasjonsmiljø. Dette støttes av høyt innhold av karbon (>4 %) og karbonat (>30%) som indikerer høy primær- og sekundærproduksjon i overflatevannet og på havbunnen. En liten trend til lavere karbon- og karbonatverdier mot toppen av kjernen er synlig. Muligens kan en liten økning i sandtilførselen fra land forklare fortykningseffekten.

Kjerneprøve 14, Harøyfjorden ved Fjørtofta



Figur 31. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 14 (Harøyfjorden ved Fjørtofta) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre. Grafene viser relativ kornfordeling (leir, silt, og sand målt med laserdiffraksjon), innhold av svovel (TS), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO_3).

I kjerneprøve 14 fra lokaliteten i Harøyfjorden ved Fjørtofta kan avsetningsmiljøet sammenliknes med situasjonen i Vigráfjorden (kjerne 8). Siltandelen er gjennomsnittlig over 60 %, mens andelen sand varierer rundt 20 % (figur 31). Lokaliteten her er ca. 100 m grunnere enn i Vigráfjorden, noe som muligens kan forklare en høyere sandandel i sedimentene. Karbonatinnholdet er imidlertid konstant høyt (>40%), og karboninnholdet varierer rundt 2 %. Også her viser de høye verdiene høy primær- og sekundærproduksjon i vannet og på havbunnen. Det er ikke noen tegn til endringer i avsetningsmiljø over de siste 100 årene.

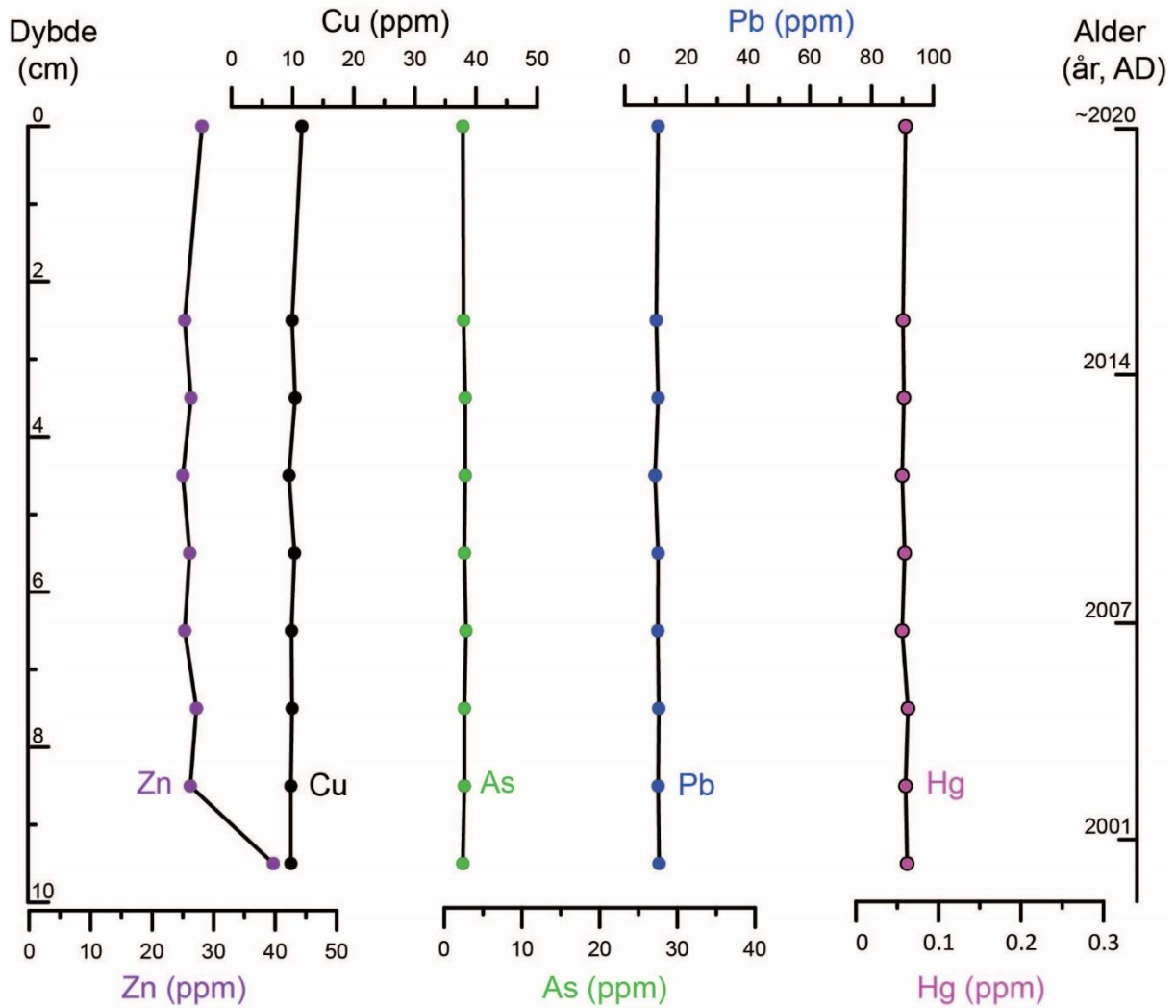
3.2.3 Tungmetaller og arsen i kjerneprøver

Geokjemiske analyser av overflatesedimenter i studieområdet har gitt oss god oversikt over dagens nivå av tungmetaller på havbunnen i Ålesund og Giske (figur 8-15). For å kunne si om de verdiene vi observerer skyldes forurensning eller om de er naturlige for området er det imidlertid viktig å vite om tilførselen av tungmetaller har økt med menneskelig påvirkning.

Vi viser her konsentrasjoner av tungmetallene sink (Zn), kobber (Cu), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) i tillegg til arsen (As) målt i de tre kjerneprøvene vi har $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ dateringer fra: Prøve 2 fra Valderhaugfjorden, prøve 8 fra Vigrafjorden Ø for Roald, og prøve 14 fra Harøyfjorden ved Fjørtofta (figur 32, 33, og 34). I vedlegg III sammenstilles verdiene for Pb, Cu, Zn, As og Hg fra alle tre kjerneprøver.

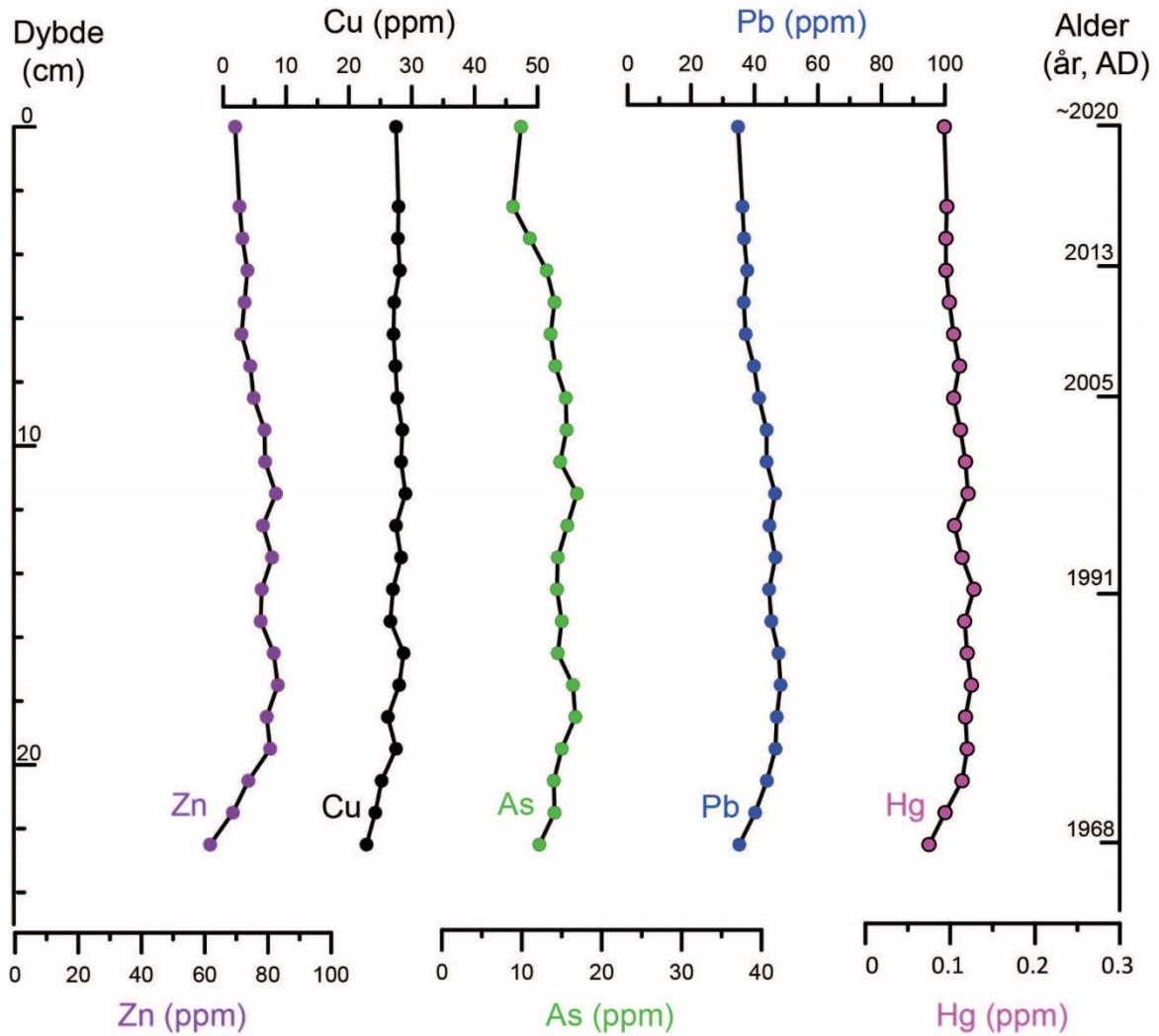
Felles for kjerneprøvene 2 og 14 er at konsentrasjonsprofilene for alle tungmetaller viser relativt stabilt lave bakgrunnsverdier de siste ca. 100 år (figur 32 og 34). Det er ikke noen stigende trend mot nåtiden. Konsentrasjonsprofilene i kjerne 14 er mer variable (Figur 33). Nesten alle tungmetallprofiler (Zn, As, Pb) viser en trend til lavere (bakgrunnsnivå) konsentrasjoner mot nåtiden (år 2020). Cu- og Hg-konsentrasjonene er stabile gjennom hele kjernen.

Kjerneprøve 2, Valderhaugfjorden



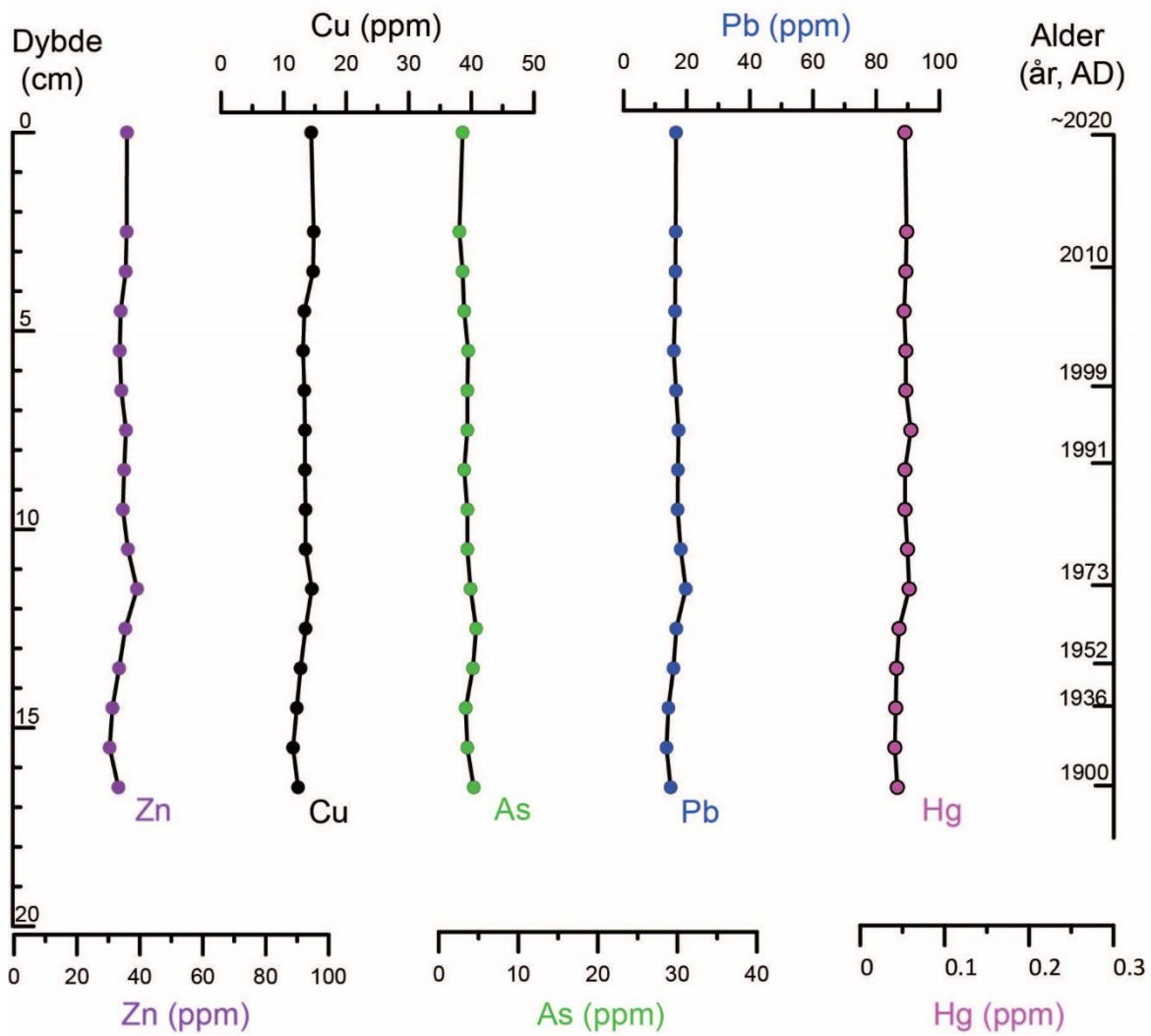
Figur 32. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 2 (Valderhaugfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.

Kjerneprøve 8, Vigrafjorden Ø for Roald



Figur 33. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 8 (Vigrafjorden Ø for Roald) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.

Kjerneprøve 14, Harøyfjorden ved Fjørtofta



Figur 34. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 14 (Harøyfjorden ved Fjørtofta) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.

4. OPPSUMMERING

Totalt 10 overflateprøver og 3 sedimentkjerner fra sjøområder i kommunene Ålesund og Giske på nordre Sunnmøre er undersøkt. Målet med undersøkelsen har vært å skaffe en oversikt over naturlige sedimentasjonsprosesser i det marine miljøet, og eventuell påvirkning av menneskelig aktivitet over tid gjennom undersøkelser av tungmetaller og organiske miljøgifter. Kjernene er analysert med henblikk på sedimentsammensetning og innhold av tungmetaller og andre miljøindikatorer.

Resultatene viser at de prøvetatte overflatesedimentene er dominert av slam. Organisk karboninnhold er generelt høyt (>1 %) i alle prøver, med de høyeste verdiene (4,5-5,0 %) i Synesvikane (prøve 6) og Vigrafjorden (prøve 8). Her registrerer vi også de høyeste konsentrasjonene av svovel, alle tungmetaller og arsen. En mulig årsak kan være den høye tiltrekningen metaller har til organiske forbindelser under generelt reduserende forhold (lavt oksygeninnhold) i vannmassene og i sedimentene. Karbonatkonsentrasjonen er høy (>30 %) i alle overflateprøver, med de høyeste verdiene (>50%) rundt Skuløya/Flemsøya (prøvene 15 og 17). Alle målingene av tungmetaller viser konsentrasjoner i tilstandsklasse I (bakgrunn) og II (god) i henhold til Miljødirektoratets klassifisering.

Vi har undersøkt om tilførselen av tungmetaller har økt med menneskelig påvirkning over tid i tre sedimentbasseng: Valderhaugfjorden (kjerne 2), Vigrafjorden Ø for Roald (kjerne 8), og Harøyfjorden ved Fjørtofta (kjerne 14). Sedimentasjonshastigheten er målt til 1,4 (kjerne 14), 4,4 (kjerne 8) og 4,6 (kjerne 2) millimeter per år. Felles for alle tre kjerner er at konsentrasjonsprofilene for tungmetaller viser stabilt lave verdier de siste ca. 100 år. Konsentrasjonen av alle elementer er på bakgrunnsnivå, og kan regnes som et naturlig signal knyttet til erosjon av jordsmonn og bergarter. Påfallende er en synkende trend i konsentrasjonsprofiler mot nåtiden (år 2020) i kjerne 14.

Analysen av organiske miljøgifter har påvist lett forhøyet nivå av totalt hydrokarboninnhold (THC), som er normalt for kystnære områder, og ellers relativt lave nivåer av hydrokarboner (PAH). Disse kan sammenlignes med det man tidligere har funnet andre steder i Norskehavet. PAH-sammensetningen domineres av forbrenningsrelaterte PAH, som kan tyde på menneskeskapt forurensning, men kunne ikke bekreftes uten studier av sedimentkjerner. Både PAH16 og benzo[a]pyren ligger i tilstandsklasse II.

Menneskeskapt organiske miljøgifter ligger stort sett lavt eller meget lavt for PCB og klorerte pesticider (ligger alle i tilstandsklasse II), men det er påvist noe forurensning for et av stoffene i gruppen bromerte flammehemmere, BDE-209. Dette er i tråd med tidligere studier i dette området. Nivåene ligger noe lavere enn det som var funnet tidligere, og det er ingen tegn på spredning av forurensning. Nye miljøgifter undersøkt her, PFAS, er funnet i lave nivåer i alle prøver og ligger i tilstandsklasse II for PFOA og tilstandsklasse III for PFOS.

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.

Boitsov, S., Klungsøyr, J., Sværen, I. 2013. Undersøkelser av organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2012. Rapport fra Havforskningen 27-2013, 82 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>

Boitsov, S., Nesje, G., Klungsøyr, J. 2016. Kartlegging av klorerte miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området. Rapport fra Havforskningen 4-2016, 26 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>

Boitsov, S., Klungsøyr, J. 2018. Undersøkelser av nye organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området. Rapport fra Havforskningen 37-2018, 27 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>

Boitsov, S., Sanden, M. 2020. Undersøkelser av hydrokarboner og organiske miljøgifter i sedimenter fra MAREANO-området i 2019. Rapport fra Havforskningen 2020-47, 49 s. Tilgjengelig på <http://www.mareano.no/resultater/geokjemirapporter>

Miljødirektoratet veileder M-608, 2016 (revidert i 2020). Grenseverdier for klassifisering av vann, sedimenter og biota. Revidert 30.10.2020. 13 sider.

OSPAR 2009. Assessment of impacts of offshore oil and gas activities in the North-East Atlantic. OSPAR Commission 453/2009. 39 s.

6. VEDLEGG

Vedlegg 1. Analyseresultater fra 10 overflateprøver.

Vedlegg 2. Bly- og cesium-resultater fra tre sedimentkjerner.

Vedlegg 3. Analyseresultater fra 3 kjerneprøver (stasjon 2, 8, og 14).

N	E	Stasjon	Stasjon_kort	P2002_NGU ID	Water Depth (m)	Depth (cm)	TS (%)	TC (%)	TOC (%)
62.4792	6.0844	P2005002B	2	116039	104.0	0	0.125	4.99	1.14
62.4954	6.0782	P2005004C	4	116048	73.0	0	0.263	6.12	2.15
62.5313	6.0740	P2005006C	6	116050	44.0	0	0.624	8.90	5.02
62.5787	6.1813	P2005008A	8	116001	180.0	0	0.464	8.37	4.50
62.5997	6.1361	P2005010A	10	116052	139.0	0	0.215	6.84	1.29
62.7308	6.5399	P2005012C	12	116006	104.0	0	0.635	8.60	4.52
62.7006	6.4776	P2005014A	14	116054	89.0	0	0.175	5.83	1.45
62.6731	6.3905	P2005015C	15	116056	90.0	0	0.186	7.47	1.29
62.6462	6.2892	P2005017C	17	116057	50.0	0	0.188	7.67	1.57
62.6686	6.2459	P2005019C	19	116059	45.0	0	0.230	6.31	1.87

CaCO3	Clay	Silt	Sand	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co
(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
32.08	7.73	76.47	15.8	4830	2.4	31	35.9	0.14	108000	0.1	42.4	2.5
33.08	12.4	82.2	5.4	5270	3.7	48	42.2	0.15	130000	0.20	41.5	2.7
32.33	8.81	85.79	5.4	6810	10.1	95	56.7	0.19	117000	0.44	43.1	3.4
32.25	10.4	77.9	11.7	9470	9.9	98	78.3	0.31	129000	0.29	45.8	5.2
46.25	6.02	78.48	15.5	3640	3.9	47	31.4	0.11	167000	0.12	29.9	1.9
34.00	6.11	80.79	13.1	5030	3.5	39	34.5	0.18	140000	0.1	36.4	2.4
36.50	7.03	82.07	10.9	6440	3.0	58	44.8	0.24	161000	0.14	41.3	3.1
51.50	10.2	74.4	15.4	4000	2.9	47	34.1	0.14	203000	0.11	31.4	2.2
50.83	9.92	71.68	18.4	5170	3.7	40	37.1	0.16	142000	0.1	40.3	2.6
37.00	8.5	72.5	19	4920	2.7	42	40.5	0.14	142000	0.1	37.7	2.5

Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
13.2	11.5	7000	2140	20.7	5.14	4910	112	1	9910	12.4	891
15.3	14.1	8230	2750	20.4	5.78	6770	126	1	17200	13.9	900
23.0	22.0	12500	4720	21.5	7.53	10900	152	1.8	39600	20.4	1330
29.9	27.5	15000	5230	22.2	10.7	12600	215	1.4	33700	25.6	1060
9.9	8.7	5920	2090	15.0	4.59	8950	123	1	15800	10.1	660
14.6	9.4	6720	2430	17.9	6.10	5980	126	1	14900	12.0	645
20.8	14.4	8440	3110	20.1	7.97	7760	131	1	16900	17.0	714
12.4	9.2	5760	2160	15.8	5.60	9030	116	1	13800	10.9	600
16.0	10.1	7830	2610	20.2	6.20	6360	128	1	14500	13.2	756
15.0	8.8	7570	2600	19.4	5.62	5850	124	1	13100	12.6	738

Pb	S	Sc	Se	Si	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	Hg
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
10.8	1780	2.19	10	296	613	634	22.3	9.53	28.1	2.5	0.0600
13.6	2830	2.46	10	304	817	689	24.7	9.91	37.7	2.7	0.0790
16.4	6390	3.37	10	257	752	805	31.8	11.5	55.6	3.4	0.0890
34.8	5690	4.12	10	200	882	931	52.5	13.3	69.6	3.9	0.0930
9.4	2860	1.68	10	328	1210	448	19.9	8.35	22.3	2.2	0.0330
11.7	2170	2.20	10	348	890	512	18.6	9.95	25.4	2.8	0.0420
16.6	3020	2.86	10	343	1050	635	26.2	11.8	35.9	3.4	0.0530
12.1	2790	1.81	10	298	1430	438	17.5	9.42	24.1	2.2	0.0370
10.1	2470	2.32	10	200	861	621	20.9	9.96	25.8	2.6	0.0410
8.9	2240	2.25	10	234	874	648	20.4	9.70	24.7	2.7	0.0360

Naftalen (µg/kg)	Fenantren (µg/kg)	Antracen (µg/kg)	Pyren (µg/kg)	Benzo[a]pyren (µg/kg)	Perylen (µg/kg)	Sum PAH (µg/kg)	Sum NPD (µg/kg)	Sum PAH16 (µg/kg)	THC (mg/kg)
6.0	22	7.4	40	28	12	455	84	345	30
7.2	21	8.3	46	36	16	577	84	447	38
14	38	12	62	51	26	1095	166	830	69
1.1	4.2	1.8	7.8	7.8	4.0	165	29	120	14
4.3	12	4.3	21	21	10.4	433	61	328	19
1.3	8.2	3.0	17	12	6.1	238	32	185	13

Sum PBDE (µg/kg)	BDE 209 (µg/kg)	PCB7 (µg/kg)	Sum DDT (µg/kg)	Sum HCH (µg/kg)	HCB (µg/kg)	TNC (µg/kg)	Sum 7 PFAS (µg/kg)
9.7	8.4	0.77	0.20	0.02	0.03	0.02	0.43
12	11	0.99	0.33	0.05	0.05	0.02	1.2
1.8	0.96	0.45	0.26	0.02	0.04	0.02	0.63
1.2	0.88	0.22	0.13	0.02	0.02	0.02	0.37

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, March 2nd, 2021

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management (IGN)
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@ign.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core 3B

Dating of core 3B

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra ultralow-background Ge well-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 120 Bq kg^{-1} with a clear tendency for exponential decline with depth (fig 1). The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is $542 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which is about 4 times higher than the expected flux (based on data shown in Appleby, 2001). This indicates that the site is subject to intense sediment focusing.

The content of the isotope ^{137}Cs was generally low and showed no distinct peaks.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001; Andersen 2017) where the activity below the lowermost sample (12 cm) is calculated on the basis of the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The chronology given in table 2 is only valid if bioturbation and other sediment mixing is negligible. If this is not the case, ages given in table 2 are underestimated and accumulation rates are overestimated. However, the exponential decline in unsupported ^{210}Pb with depth gives confidence in the result and the chronology is believed to be accurate.

Thorbjørn J Andersen
Professor,
IGN, University of Copenhagen
Oester Voldgade 10, 1350 Copenhagen K, Denmark

References:

Andersen, T.J., 2017. Some Practical Considerations Regarding the Application of ^{210}Pb and ^{137}Cs Dating to Estuarine Sediments. Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies . Developments in Paleoenvironmental Research (DPER), Vol. 20, p 121-140.

Appleby, P.G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Raw data, core 3B

Depth	Pb-210 _{tot}	error Pb-210 _{tot}	Pb-210 _{sup}	error pb-210 _{sup}	Pb-210 _{unsup}	error pb-210 _{unsup}	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹
0.5	133	9	11	2	122	11	5	1
1.5	108	8	8	1	100	9	4	1
2.5	106	8	9	2	98	9	3	1
3.5	103	9	9	0	94	9	0	0
4.5	105	9	11	3	95	12	0	0
5.5	85	7	11	1	73	8	3	1
6.5	70	6	9	0	61	6	3	1
7.5	74	6	9	2	64	8	2	2
8.5	83	7	10	1	72	7	3	1
9.5	67	6	10	1	57	7	3	1
10.5	82	6	10	1	72	7	4	1
11.5	54	5	4	1	50	6	7	3

Table 2. Chronology core 3B

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m ⁻² y ⁻¹)	(kg m ⁻² y ⁻¹)
			2020		
0.5	1	2	2019	4.4	0.5
1.5	2	2	2018	4.6	0.5
2.5	4	2	2016	4.9	0.5
3.5	6	2	2014	4.8	0.5
4.5	9	2	2011	4.5	0.6
5.5	11	2	2009	4.8	0.6
6.5	13	2	2007	5.6	0.7
7.5	14	2	2006	5.7	0.8
8.5	17	2	2003	4.9	0.6
9.5	19	2	2001	4.8	0.7
10.5	21	3	1999	4.5	0.6
11.5	24	3	1996	4.4	0.4

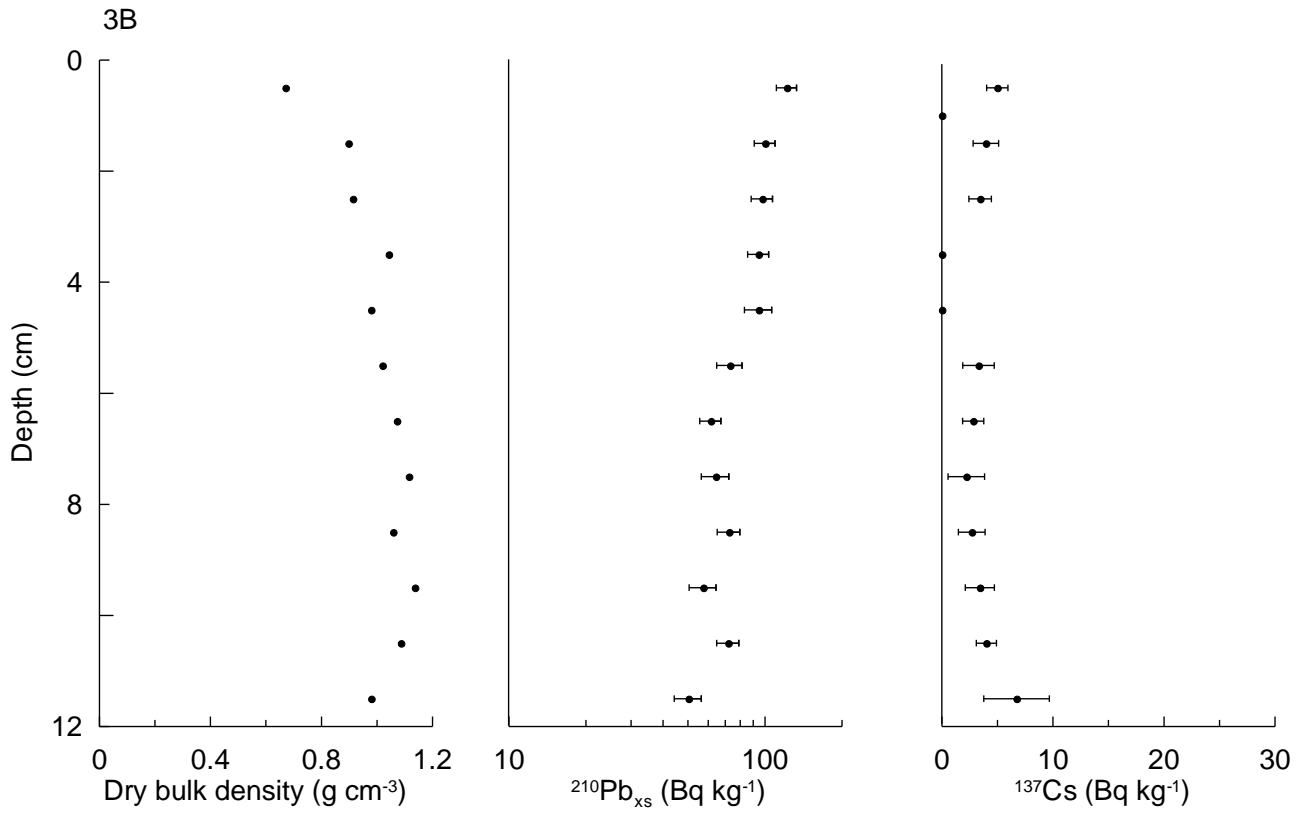


Fig 1

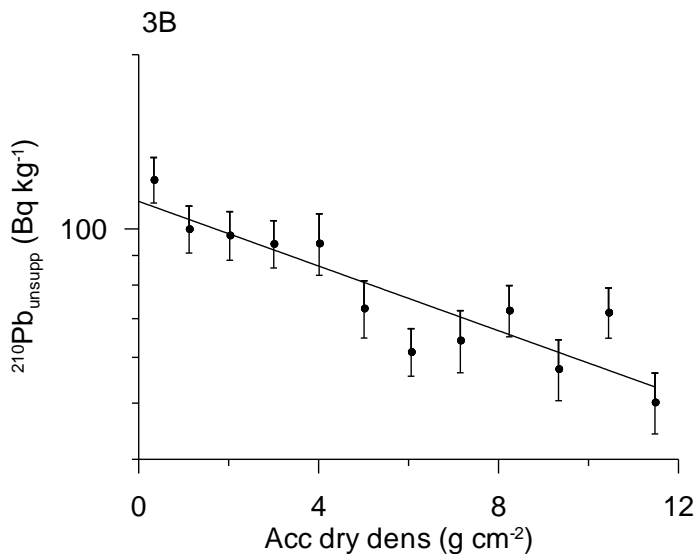


Fig 2. Regression of unsupported ^{210}Pb vs accumulated dry density.

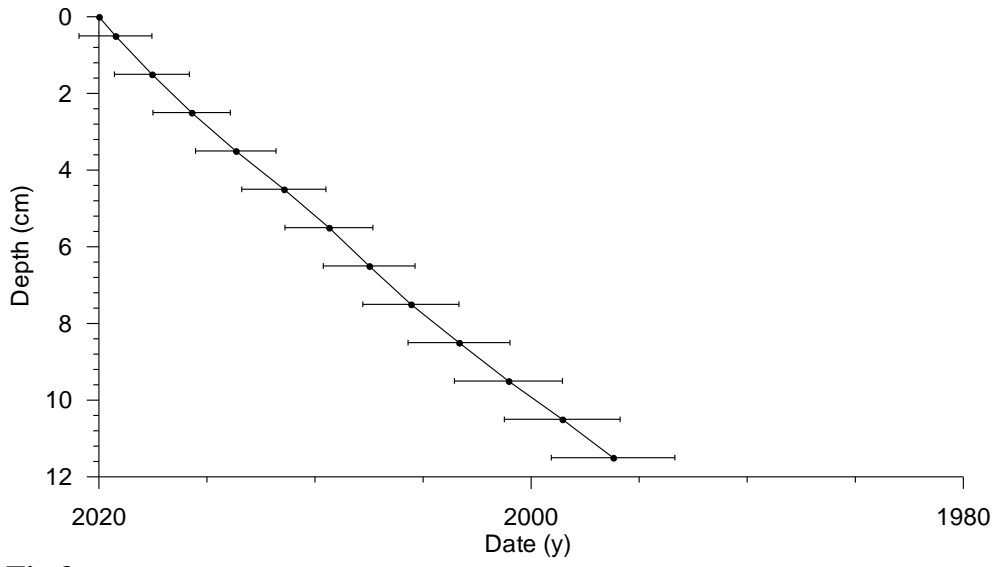


Fig 3

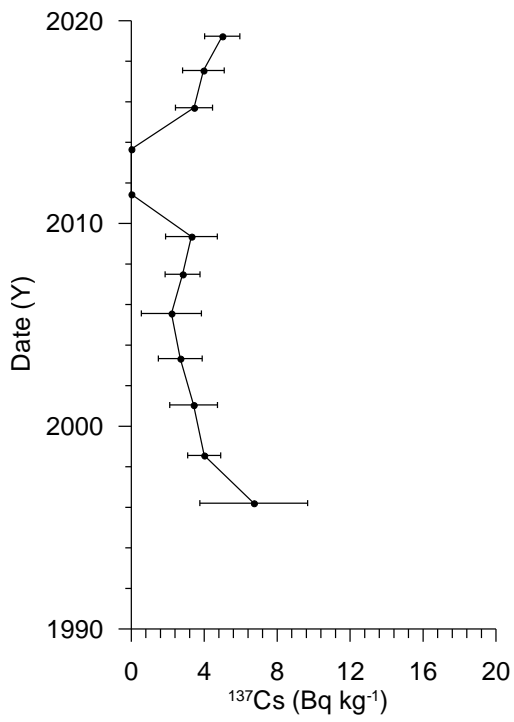


Fig 4

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, March 2nd, 2021

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management (IGN)
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@ign.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core 8C

Dating of core 8C

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra ultralow-background Ge well-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 260 Bq kg^{-1} with a clear tendency for exponential decline with depth (fig 1). The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is $456 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which is about 3 times higher than the expected flux (based on data shown in Appleby, 2001). This indicates that the site is subject to intense sediment focusing.

The content of the isotope ^{137}Cs was generally low and showed no distinct peaks.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001; Andersen 2017) where the activity below the lowermost sample (24 cm) is calculated on the basis of the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The chronology given in table 2 is only valid if bioturbation and other sediment mixing is negligible. If this is not the case, ages given in table 2 are underestimated and accumulation rates are overestimated. However, the exponential decline in unsupported ^{210}Pb with depth gives confidence in the result and the chronology is believed to be accurate.

Thorbjørn J Andersen
Professor,
IGN, University of Copenhagen
Oester Voldgade 10, 1350 Copenhagen K, Denmark

References:

Andersen, T.J., 2017. Some Practical Considerations Regarding the Application of ^{210}Pb and ^{137}Cs Dating to Estuarine Sediments. Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies . Developments in Paleoenvironmental Research (DPER), Vol. 20, p 121-140.

Appleby, P.G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Raw data, core 8C

Depth	Pb-210 _{tot}	error Pb-210 _{tot}	Pb-210 _{sup}	error pb-210 _{sup}	Pb-210 _{unsup}	error pb-210 _{unsup}	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹
0.50	277	28	14	3	262	30	6	4
1.50	244	26	4	4	240	30	4	4
2.50	203	20	10	3	192	23	14	2
3.50	251	27	10	2	241	28	5	4
4.50	206	22	6	7	200	28	8	3
5.50	180	20	13	1	167	21	12	3
6.50	177	19	4	3	173	22	12	3
8.50	148	15	6	2	143	17	13	2
10.50	146	15	6	1	140	16	8	2
12.50	130	14	2	2	128	16	9	3
14.50	114	11	4	6	111	17	12	2
15.50	147	15	8	3	139	18	12	2
16.50	90	10	6	1	84	10	11	2
18.50	90	10	6	3	84	13	12	2
19.50	112	11	6	1	106	13	10	2
20.50	114	12	7	1	106	14	12	2
21.50	69	8	5	3	64	11	11	2
22.50	34	4	4	1	30	5	2	2
23.50	39	5	10	1	29	5	5	2

Table 2. Chronology core 8C

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m ⁻² y ⁻¹)	(kg m ⁻² y ⁻¹)
			2020		
0.5	1	1	2019	1.7	0.2
1.5	2	1	2018	1.7	0.2
2.5	4	1	2016	1.9	0.2
3.5	6	1	2014	1.8	0.2
4.5	7	1	2013	1.7	0.2
5.5	9	1	2011	1.9	0.2
6.5	11	1	2009	2.0	0.2
8.5	15	1	2005	1.9	0.2
10.5	19	2	2001	1.9	0.2
12.5	24	2	1996	1.7	0.2
14.5	29	2	1991	1.7	0.3
15.5	32	2	1988	1.4	0.2
16.5	34	2	1986	1.5	0.2
18.5	39	2	1981	1.7	0.3
19.5	42	2	1978	1.4	0.2
20.5	46	3	1974	1.1	0.2
21.5	50	3	1970	1.2	0.2
22.5	52	3	1968	2.0	0.4
23.5	53	3	1967	3.0	0.3

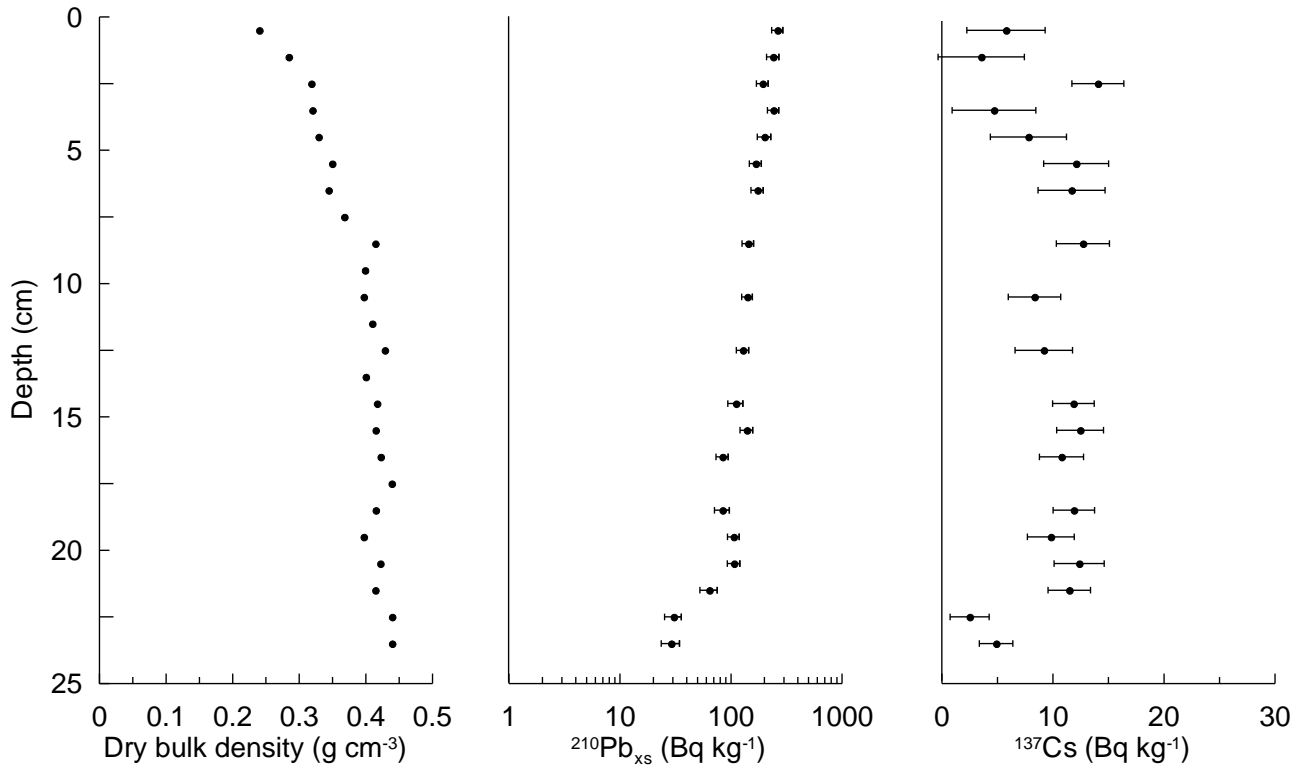


Fig 1

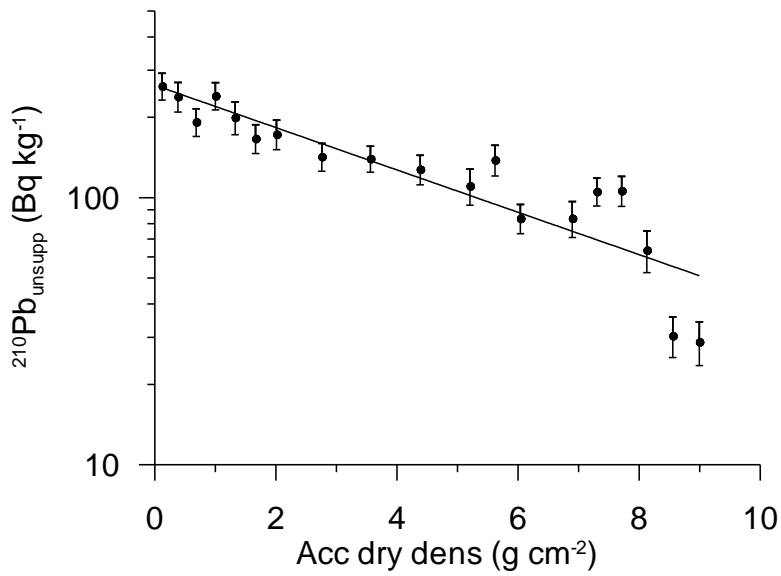


Fig 2. Regression of unsupported ²¹⁰Pb vs accumulated dry density.

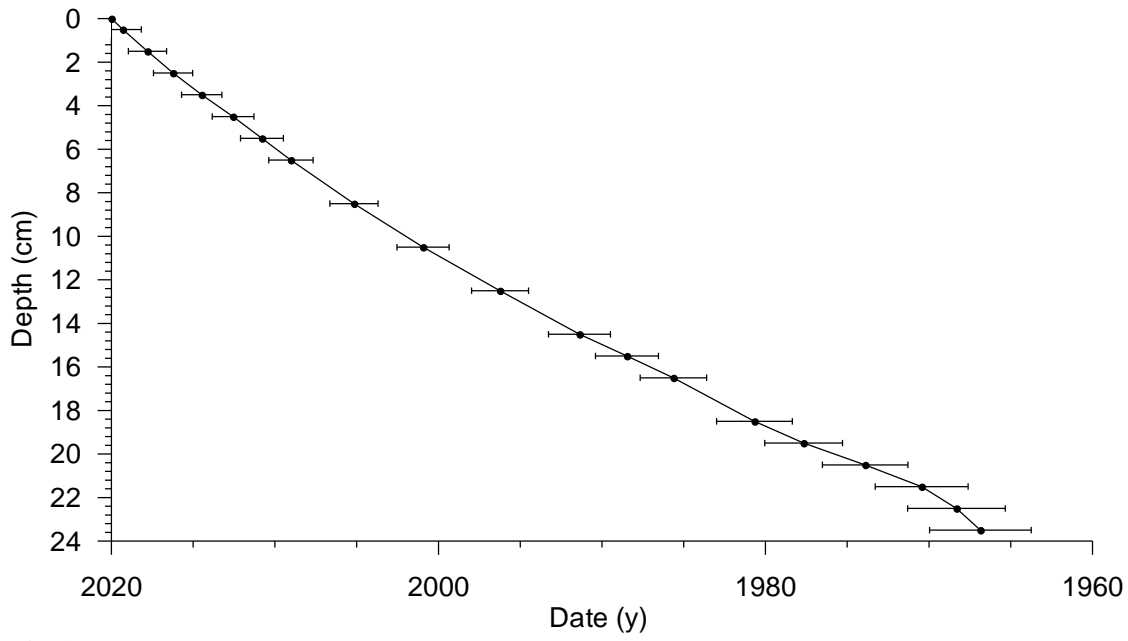


Fig 3

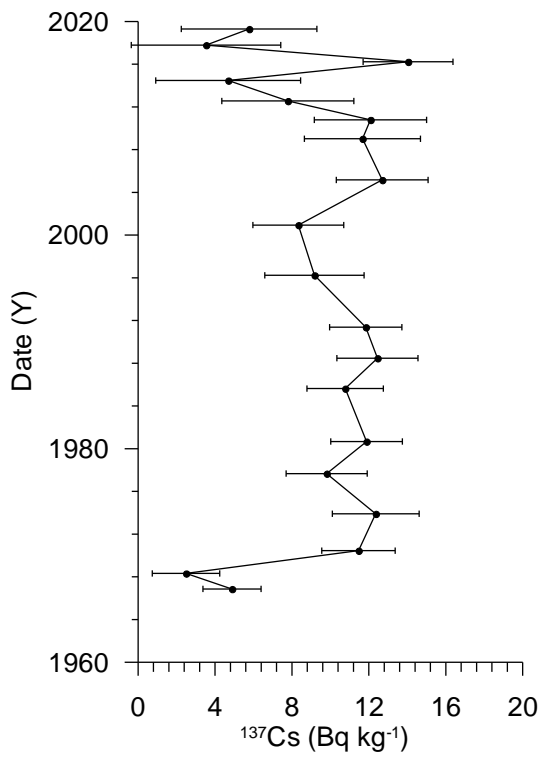


Fig 4

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, April 8th, 2021

Thorbjørn J. Andersen
Department of Geosciences and Natural Resource Management (IGN)
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@ign.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01

Dating of core 14C

Dating of core 14C

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra ultralow-background Ge well-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed surface contents of unsupported ^{210}Pb of around 140 Bq kg^{-1} with only a slight tendency for exponential decline with depth (fig 1). The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is $289 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which is 2 - 3 times higher than the expected flux (based on data shown in Appleby, 2001). This indicates that the site is subject to sediment focusing.

The content of the isotope ^{137}Cs was generally low and showed no distinct peaks.

CRS-modelling has been applied on the profile using a modified method (Appleby, 2001; Andersen 2017) where the activity below the lowermost sample (19 cm) is calculated on the basis of the regression shown in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

The chronology given in table 2 is only valid if bioturbation and other sediment mixing is negligible. If this is not the case, ages given in table 2 are underestimated and accumulation rates are overestimated. Mixing cannot be ruled out for this core on the basis of the radiometric data alone and the fairly uniform content of unsupported ^{210}Pb in the top of the core indeed indicates that some degree of mixing is taking place. The calculated chronology must be considered to be indicative only.

Thorbjørn J Andersen
Professor,
IGN, University of Copenhagen
Oester Voldgade 10, 1350 Copenhagen K, Denmark

References:

Andersen, T.J., 2017. Some Practical Considerations Regarding the Application of ^{210}Pb and ^{137}Cs Dating to Estuarine Sediments. *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies*. Developments in Paleoenvironmental Research (DPER), Vol. 20, p 121-140.

Appleby, P.G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Raw data, 14C

Depth	Pb-210tot	error Pb-210 tot	Pb-210 sup	error Pb-210 sup	Pb-210 un-sup	error Pb-210 un-sup	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1
0.5	152	11	7	0	144	11	4	1
1.5	138	10	8	0	130	10	9	2
2.5	126	10	13	5	112	15	4	2
3.5	149	10	11	2	138	12	5	1
4.5	119	7	10	1	109	9	6	1
5.5	97	8	11	2	86	10	3	2
6.5	90	7	8	2	83	9	4	1
7.5	79	6	9	1	70	7	5	1
8.5	81	6	10	1	71	8	5	1
9.5	80	6	11	1	69	7	6	1
10.5	83	6	9	1	74	8	5	1
11.5	83	6	7	1	76	7	4	1
12.5	74	6	7	2	67	9	6	2
13.5	76	6	10	1	66	7	5	1
14.5	60	5	9	0	51	5	2	1
15.5	29	2	8	0	20	2	2	1
16.5	30	3	8	1	21	3	1	1
17.5	21	2	10	0	12	3	1	1
18.5	1	0	20	3	1	4	0	0

Table 2. Chronology core 14C

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m-2 y-1)	(kg m-2 y-1)
			2020		
0.5	1	1	2019	2.0	0.2
1.5	4	1	2016	1.9	0.2
2.5	7	1	2013	2.0	0.3
3.5	10	1	2010	1.8	0.2
4.5	14	1	2006	1.6	0.1
5.5	18	1	2002	1.8	0.2
6.5	21	1	1999	1.9	0.2
7.5	25	1	1995	1.8	0.2
8.5	29	1	1991	1.7	0.2
9.5	34	1	1986	1.5	0.2
10.5	40	1	1980	1.3	0.1
11.5	47	1	1973	1.0	0.0
12.5	56	2	1964	0.8	0.0
13.5	68	2	1952	0.6	0.0
14.5	84	2	1936	0.5	0.0
15.5	102	2	1918	0.5	0.0
16.5	120	4	1900	0.4	0.1

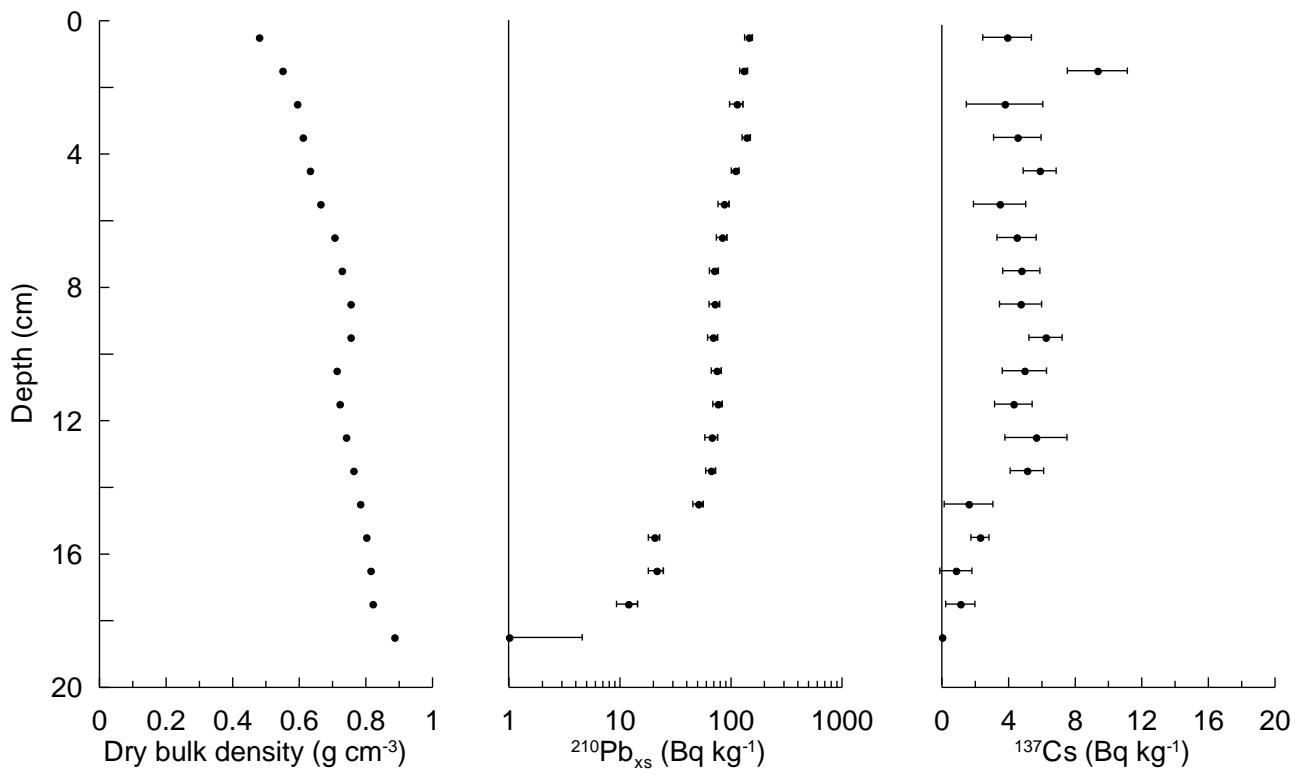


Fig 1

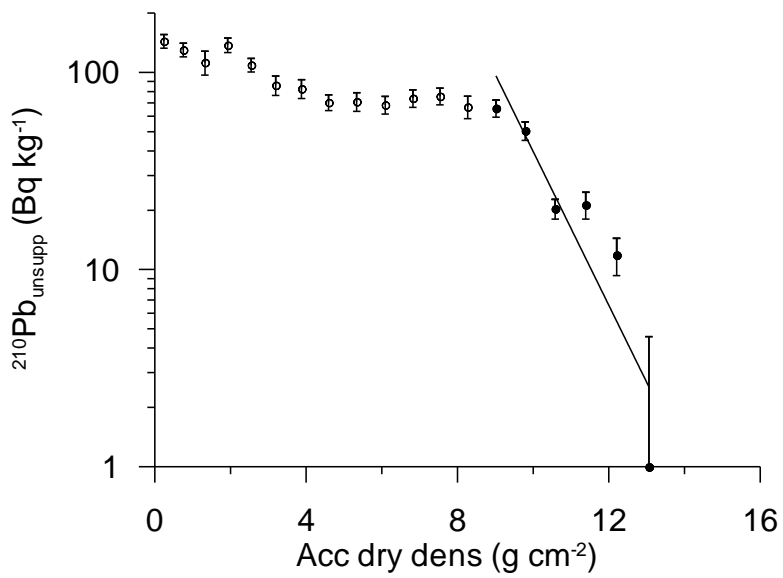


Fig 2. Regression of unsupported ²¹⁰Pb vs accumulated dry density.

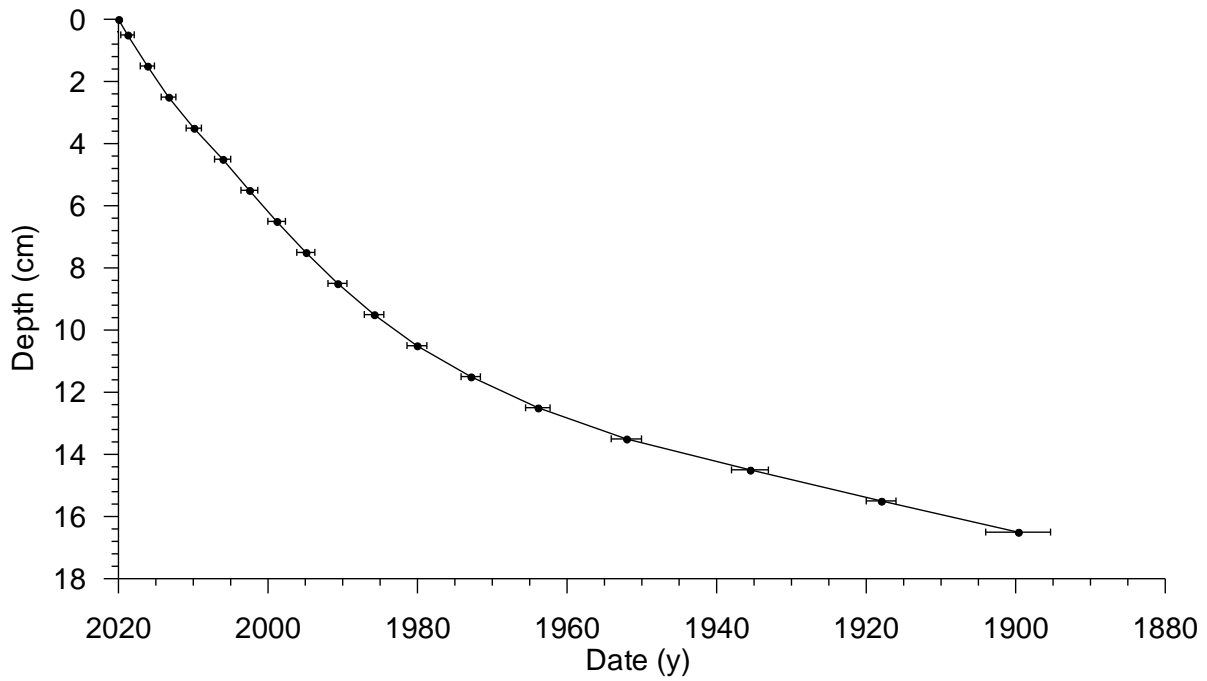


Fig 3

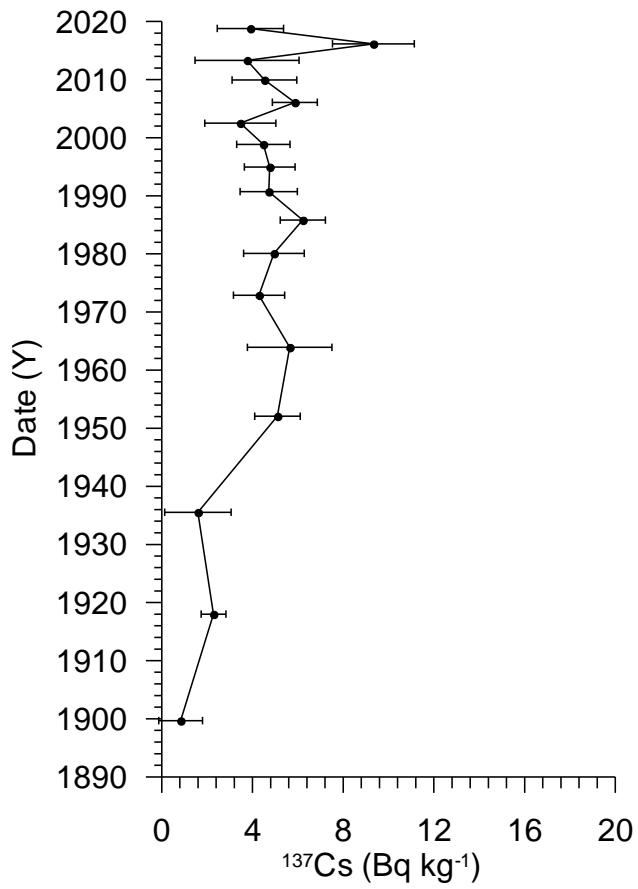


Fig 4

Tokt P2005	NGU ID	Depth	TS	TC	TOC	CaCO3	Clay	Silt
Kjerne Nr	Prøvenummer	cm	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
3	116039	0	0.161	4.60	1.48	26.00	2.03	40.97
3	116040	2.5	0.140	4.98	1.20	31.50	2.86	38.54
3	116041	3.5	0.155	4.28	1.24	25.33	1.99	39.61
3	116042	4.5	0.122	4.10	1.17	24.42	1.87	39.43
3	116043	5.5	0.125	4.99	1.14	32.08	3.02	38.08
3	116044	6.5	0.120	4.28	1.14	26.17	2.73	38.07
3	116045	7.5	0.144	4.63	1.22	28.42	2.02	39.88
3	116046	8.5	0.140	4.63	1.32	27.58	1.87	36.83
3	116047	9.5	0.161	4.56	1.18	28.17	1.94	40.16
8	116002	2.5	0.500	8.35	4.41	32.83	4.27	80.03
8	116003	3.5	0.560	8.38	4.67	30.92	4.3	80.8
8	116004	4.5	0.590	8.32	4.37	32.92	4.34	80.86
8	116005	5.5	0.650	8.42	4.37	33.75	4.64	82.86
8	116006	6.5	0.635	8.60	4.52	34.00	4.32	82.38
8	116007	7.5	0.622	8.92	4.33	38.25	4.25	81.65
8	116008	8.5	0.738	9.32	4.71	38.42	4.27	82.63
8	116009	9.5	0.646	9.30	4.86	37.00	4.56	83.14
8	116010	10.5	0.743	9.52	4.86	38.83	4.43	83.77
8	116011	11.5	0.758	9.29	4.62	38.92	4.44	83.26
8	116012	12.5	0.715	9.47	4.79	39.00	4.38	83.62
8	116013	13.5	0.745	9.59	4.72	40.58	4.82	83.28
8	116014	14.5	0.740	9.28	4.92	36.33	4.76	83.14
8	116015	15.5	0.874	9.79	4.94	40.42	4.48	82.42
8	116016	16.5	0.972	9.82	4.88	41.17	4.43	84.37
8	116017	17.5	1.09	9.72	4.84	40.67	4.45	83.45
8	116018	18.5	1.01	9.63	4.72	40.92	4.55	82.95
8	116019	19.5	0.786	9.43	4.60	40.25	4.61	82.69
8	116020	20.5	1.00	9.66	4.75	40.92	4.44	81.86
8	116021	21.5	0.860	9.27	4.71	38.00	4.32	81.98
8	116022	22.5	0.805	9.82	4.97	40.42	4.26	82.74
14	116023	0	0.262	7.58	2.36	43.50	5.42	71.08
14	116024	2.5	0.266	7.67	2.43	43.67	5.59	70.61
14	116025	3.5	0.253	7.81	2.30	45.92	5.57	70.73
14	116026	4.5	0.274	7.57	2.25	44.33	5.11	68.89
14	116027	5.5	0.285	7.45	2.21	43.67	5.3	67.8
14	116028	6.5	0.272	7.50	2.15	44.58	4.94	68.16
14	116029	7.5	0.250	7.64	2.22	45.17	4.89	69.21
14	116030	8.5	0.295	7.65	2.38	43.92	5.04	68.16
14	116031	9.5	0.272	7.39	2.15	43.67	5.02	68.48
14	116032	10.5	0.269	7.55	2.27	44.00	5.37	69.33
14	116033	11.5	0.327	7.57	2.34	43.58	5.66	69.34
14	116034	12.5	0.300	7.56	2.15	45.08	5.29	69.31
14	116035	13.5	0.289	7.39	2.16	43.58	5.05	69.65
14	116036	14.5	0.245	7.33	2.02	44.25	4.75	68.45
14	116037	15.5	0.255	7.43	2.01	45.17	4.93	67.67
14	116038	16.5	0.277	7.48	2.10	44.83	4.92	69.88

Sand	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce
wt%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
57	4830	2.4	31	35.9	0.14	108000	<0.1	42.4
58.6	4370	2.5	27	32.9	0.13	110000	<0.1	39.9
58.4	4410	2.7	28	33.0	0.13	115000	<0.1	39.9
58.7	4290	2.7	25	31.7	0.12	105000	0.10	41.4
58.9	4340	2.6	28	32.6	0.13	113000	<0.1	42.9
59.2	4330	2.8	26	32.5	0.12	106000	0.11	43.2
58.1	4320	2.6	28	32.4	0.13	113000	0.12	39.9
61.3	4300	2.6	27	32.0	0.13	112000	0.11	40.4
57.9	4340	2.4	26	32.8	0.13	108000	0.11	41.0
15.7	9560	8.9	97	77.9	0.32	129000	0.31	47.0
14.9	9660	11.0	95	77.7	0.31	130000	0.34	47.3
14.8	9870	13.1	97	79.5	0.33	128000	0.35	48.0
12.5	9800	14.1	93	78.2	0.32	133000	0.31	48.2
13.3	9650	13.6	91	75.4	0.32	136000	0.33	48.0
14.1	9630	14.2	95	74.5	0.33	147000	0.39	47.3
13.1	9580	15.5	97	73.9	0.33	145000	0.38	46.3
12.3	9930	15.6	101	76.4	0.34	150000	0.41	47.3
11.8	9750	14.8	100	75.2	0.34	151000	0.39	45.3
12.3	10100	16.9	103	77.8	0.36	150000	0.44	47.3
12	9570	15.7	98	74.7	0.33	157000	0.42	44.8
11.9	9760	14.5	101	75.9	0.34	148000	0.40	45.6
12.1	9420	14.4	97	74.3	0.33	149000	0.42	44.4
13.1	9530	15.0	98	74.4	0.33	149000	0.39	44.8
11.2	10000	14.5	102	78.6	0.35	153000	0.42	46.7
12.1	9940	16.4	102	77.7	0.34	153000	0.43	47.2
12.5	9510	16.7	96	74.2	0.33	149000	0.40	44.6
12.7	9830	15.0	98	77.7	0.34	156000	0.40	47.0
13.7	9310	14.0	95	72.5	0.32	153000	0.37	44.9
13.7	9450	14.1	96	70.5	0.33	154000	0.35	45.2
13	9330	12.2	95	67.9	0.31	153000	0.33	44.3
23.5	6440	3.0	58	44.8	0.24	161000	0.14	41.3
23.8	6400	2.6	59	44.6	0.24	163000	0.11	39.9
23.7	6330	3.0	57	44.2	0.23	167000	0.12	40.8
26	6080	3.2	54	42.5	0.22	170000	0.11	40.8
26.9	6000	3.7	54	41.1	0.21	166000	0.10	39.3
26.9	6100	3.6	54	41.9	0.22	172000	0.11	40.8
25.9	6150	3.6	54	45.2	0.24	178000	0.1	40.1
26.8	6140	3.2	55	42.4	0.22	166000	0.11	40.6
26.5	6100	3.6	54	41.5	0.22	164000	<0.1	39.3
25.3	6270	3.6	55	42.2	0.23	169000	<0.1	40.3
25	6550	4.0	57	43.4	0.24	170000	0.11	41.1
25.4	6360	4.7	55	41.1	0.24	167000	0.12	40.2
25.3	6250	4.3	55	39.8	0.22	167000	0.11	39.8
26.8	6290	3.4	53	44.1	0.24	168000	0.14	39.2
27.4	5860	3.6	49	38.2	0.21	167000	0.11	39.6
25.2	6250	4.4	53	40.3	0.23	170000	0.12	40.8

Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2.5	13.2	11.5	7000	2140	20.7	5.14	4910	112
2.2	11.8	9.9	6330	1890	19.6	4.70	4410	103
2.2	12.1	10.4	6390	1940	19.6	4.88	4550	103
2.2	11.4	9.4	6360	1820	20.2	4.63	4340	102
2.2	12.0	10.3	6490	1950	21.1	4.72	4570	104
2.2	11.6	9.8	6360	1840	20.9	4.60	4330	104
2.3	11.9	9.9	6310	1880	19.5	4.77	4460	102
2.3	11.8	9.7	6270	1870	20.1	4.64	4410	101
2.2	11.7	9.7	6300	1830	20.2	4.53	4320	103
5.4	30.0	27.9	14800	5150	22.6	10.7	12200	216
5.4	30.2	27.8	15400	5050	22.8	10.8	11700	216
5.6	30.9	28.1	16200	5170	23.1	11.0	11800	220
5.3	30.5	27.2	16300	5070	23.2	10.9	11700	222
5.3	30.1	27.1	15600	4890	23.3	10.8	11400	217
5.3	30.6	27.4	15500	4960	22.7	10.9	11700	214
5.5	30.6	27.7	15600	4960	22.5	11.0	11900	214
5.7	31.8	28.5	16100	5100	22.9	11.4	12200	222
5.5	31.4	28.3	16100	4980	22.1	11.4	12000	222
5.7	32.4	29.0	16700	5180	22.8	11.8	12400	227
5.6	30.8	27.5	16400	4930	22.0	11.2	11900	219
5.7	31.4	28.3	16200	5010	22.2	11.4	12100	226
5.5	30.4	27.0	15400	4890	21.7	11.1	11900	219
5.5	30.7	26.6	15700	4930	21.5	11.2	11600	222
5.6	32.3	28.7	16700	5170	22.7	11.8	12400	237
5.7	32.0	28.0	18000	5110	22.3	11.7	12300	247
5.4	30.4	26.2	17100	4820	21.6	11.1	11600	241
5.8	31.1	27.5	17000	4950	22.6	11.5	12200	263
5.5	29.6	25.2	16100	4730	21.5	10.8	11700	243
5.2	30.2	24.2	15900	4780	21.7	11.2	11600	233
5.1	29.9	22.8	14800	4710	21.4	11.1	11500	222
3.1	20.8	14.4	8440	3110	20.1	7.97	7760	131
3.2	20.8	14.8	8450	3110	19.7	8.09	7790	129
3.2	20.6	14.7	8600	3000	20.1	7.91	7520	129
3.0	19.7	13.3	8260	2860	19.9	7.60	7270	126
3.0	19.5	13.1	8150	2830	19.4	7.61	7230	124
3.1	19.8	13.3	8260	2870	20.0	7.63	7330	127
3.3	20.4	13.4	8320	2980	20.2	7.95	7220	128
3.1	19.9	13.4	8380	2890	19.8	7.83	7380	128
3.1	19.7	13.5	8500	2850	19.5	7.61	7260	137
3.2	20.3	13.5	8560	2930	19.5	7.91	7370	128
3.4	21.5	14.5	8990	3050	20.2	8.37	7780	134
3.2	20.6	13.5	9000	2980	20.1	8.05	7530	132
3.1	20.3	12.7	8830	2960	19.7	7.97	7500	130
3.0	19.9	12.1	8870	2900	19.2	8.00	7400	129
2.9	19.0	11.5	8060	2730	19.9	7.52	6990	124
3.1	20.5	12.3	8640	2940	20.0	8.13	7400	131

Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sc	Se	Si
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<1	9910	12.4	891	10.8	1780	2.19	<10	296
<1	8090	11.4	871	10.2	1660	1.96	<10	355
<1	8570	11.4	847	10.8	1770	1.98	<10	347
<1	8070	11.4	909	9.8	1650	1.93	<10	362
<1	8830	11.4	855	10.8	1810	1.99	<10	347
<1	7790	11.5	925	10.7	1650	1.95	<10	333
<1	7980	11.2	814	11.0	1760	1.96	<10	332
<1	8080	11.3	813	10.8	1780	1.93	<10	370
<1	7570	11.3	836	11.1	1750	1.94	<10	353
1.5	30300	25.7	1050	36.2	5730	4.14	<10	202
2.8	27000	25.8	1020	36.7	6120	4.22	<10	<200
4.2	26700	26.4	1050	37.7	6630	4.30	<10	<200
4.0	26100	26.2	1020	36.6	6770	4.28	<10	<200
3.9	23700	25.7	977	37.2	6710	4.19	<10	200
3.8	25400	26.2	944	39.8	7280	4.17	<10	<200
4.5	26000	26.6	918	41.4	7730	4.13	<10	210
5.3	26300	27.8	920	43.8	8130	4.27	<10	<200
5.6	24600	27.6	909	43.8	8190	4.22	<10	<200
6.3	26100	28.7	914	46.5	8750	4.33	<10	203
6.8	24900	27.2	889	44.7	8750	4.13	<10	213
6.7	24900	27.8	928	46.6	8500	4.29	<10	206
5.2	25800	26.8	865	44.6	8150	4.06	<10	215
5.5	24500	26.8	859	45.3	8340	4.15	<10	211
5.7	26600	28.1	898	47.6	8910	4.36	<10	210
6.2	26300	28.3	897	48.2	10100	4.32	<10	205
5.7	23700	27.0	860	47.0	9590	4.15	<10	223
4.5	23400	27.3	906	46.6	9050	4.27	<10	219
5.0	23700	26.2	873	43.9	8970	4.09	<10	209
5.6	23000	26.8	872	40.2	8940	4.14	<10	235
5.3	22200	26.6	863	35.2	8000	4.11	<10	246
<1	16900	17.0	714	16.6	3020	2.86	<10	343
1.2	17000	17.1	687	16.5	3110	2.84	<10	331
1.3	15200	17.1	691	16.4	3000	2.82	<10	364
1.1	13900	16.2	690	16.3	3060	2.72	<10	356
1.2	13500	16.1	668	15.9	3080	2.67	<10	265
1.3	13800	16.2	688	16.6	3090	2.74	<10	254
1.3	14700	16.6	678	17.4	3120	2.80	<10	319
1.3	13800	16.5	678	17.2	3220	2.74	<10	270
1.3	13200	16.4	682	17.1	3230	2.69	<10	253
1.2	13900	16.6	668	18.1	3340	2.78	<10	340
1.2	14000	17.7	686	19.7	3450	2.90	<10	326
1.4	13900	17.0	700	16.7	3660	2.82	<10	345
1.7	14100	16.7	678	15.8	3690	2.77	<10	369
1.7	13900	16.4	653	14.2	3590	2.77	<10	358
1.5	12400	15.5	665	13.6	3150	2.63	<10	365
1.7	13100	16.8	669	14.9	3450	2.78	<10	324

Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr	Hg
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
613	634	22.3	9.53	28.1	2.5	0.0600
621	580	19.6	8.84	25.3	2.4	0.0570
647	585	19.7	8.94	26.3	2.5	0.0580
601	573	18.5	8.97	25.0	2.4	0.0560
637	588	19.7	9.20	26.1	2.5	0.0590
599	603	19.3	9.61	25.3	2.5	0.0560
638	579	18.8	8.87	27.2	2.4	0.0630
640	571	18.8	8.74	26.2	2.4	0.0600
616	582	18.9	9.10	39.7	2.5	0.0620
885	934	53.3	13.4	71.0	3.6	0.0960
875	962	53.5	13.5	71.9	4.0	0.0950
866	978	54.8	13.8	73.5	3.6	0.0950
907	999	52.8	13.9	72.6	4.3	0.0990
914	975	50.6	13.8	71.6	4.3	0.104
978	951	51.1	13.8	74.4	4.4	0.111
965	933	50.5	13.6	75.5	4.3	0.104
1010	958	51.7	14.0	78.9	4.6	0.112
1020	936	51.0	13.7	79.1	4.5	0.118
1020	956	52.6	14.1	82.5	4.6	0.121
1060	921	50.5	13.6	78.4	4.5	0.105
1020	934	51.2	13.7	81.3	4.5	0.114
1020	898	48.0	13.4	78.0	4.4	0.128
1010	917	48.5	13.5	77.7	4.6	0.117
1050	953	50.5	14.2	81.8	4.6	0.120
1050	950	49.7	14.1	83.1	4.7	0.125
1030	928	47.8	13.7	79.6	4.6	0.118
1090	954	48.7	14.0	80.7	4.6	0.120
1060	911	44.7	13.5	73.8	4.4	0.114
1060	924	43.8	13.5	68.9	4.6	0.0940
1060	913	41.7	13.4	61.7	4.6	0.0750
1050	635	26.2	11.8	35.9	3.4	0.0530
1070	632	26.1	11.9	35.8	3.6	0.0550
1080	638	26.0	12.0	35.5	3.7	0.0540
1090	626	23.5	11.8	33.9	3.5	0.0520
1070	615	23.3	11.6	33.6	3.6	0.0540
1100	625	23.8	11.8	34.1	3.6	0.0540
1140	625	24.8	11.8	35.6	3.5	0.0600
1080	624	23.2	11.8	35.0	3.7	0.0530
1070	618	22.8	11.6	34.6	3.6	0.0530
1080	630	23.3	11.8	36.2	3.7	0.0560
1130	649	24.2	12.2	39.1	3.8	0.0580
1090	646	24.1	12.0	35.4	3.6	0.0460
1090	640	23.3	11.8	33.4	3.7	0.0430
1100	621	23.0	11.7	31.3	4.0	0.0420
1070	615	21.8	11.5	30.4	3.6	0.0410
1100	635	23.6	11.8	33.2	3.8	0.0440



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no