

# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

**NGU RAPPORT  
2024.017**

---

Sedimentasjonsmiljø og historisk  
utvikling i forurensningsstatus i  
kommunene Sveio, Bømlo, Stord,  
Fitjar, Tysnes og Austevoll i  
Sunnhordland

**Rapport nr:** 2024.017  
**ISSN:** 0800-3416 (trykt)  
**ISSN:** 2387-3515 (online)  
**Gradering:** Åpen

**Tittel:** Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland

**Forfatter:** Jochen Knies, Stepan Boitsov, Sigrid Elvenes, Reidulv Bøe

**Oppdragsgiver:** Vestland fylkeskommune, NGU

**Fylke:** Vestland

**Kommune:** Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll

**Kartblad: (M=1:250.000):**

**Kartbladnr. og -navn: (M=1:50.000):**

**Forekomstens navn og koordinater:**

**Sidetall:** 67

**Pris:** 280,-

**Feltarbeid utført:** 2023

**Rapportdato:** 21.06.2024

**Prosjektnr:** 403400

**Ansvarlig:** Kjersti Løvseth Ruud

**Emneord:** Forurensing, Maringeologi, Tungmetaller, Organiske miljøgifter, Miljøtilstand

## Sammendrag:

Norges geologiske undersøkelse (NGU), Kartverket og Havforskningsinstituttet (HI) har utarbeidet marine grunnkart over utvalgte sjøområder i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland. Under feltarbeid med F/F Geologen i juni 2023 hentet NGU opp ti korte sedimentkjerneprovver fra sjøbunnen på utvalgte lokaliteter. Målet med undersøkelsen har vært å kartlegge naturlige sedimentasjonsprosesser og menneskelig påvirkning på det marine miljøet. Resultatene viser at de prøvetatte bunnsedimentene er dominert av slam. Organisk karboninnhold er generelt høyt (>1 %) i alle prøver, med de høyeste verdiene (>3 %) i Børøyfjorden og Langenuen. Sedimentasjonshastigheten varierer fra 2,3 (Stokksund Sør) til 6,0 (Selbjørnfjorden) millimeter per år. Nesten alle målingene av tungmetaller viser konsentrasjoner i tilstandsklasse I (bakgrunn) og II (god) i henhold til Miljødirektoratets klassifisering. Bare arsen skiller seg ut med høye konsentrasjoner (tilstandsklasse III, moderat) i Geitungsosen og Stokksund Sør. En mulig årsak kan være arsenrike bergarter nord av Hardanger forkastningssone. Vi observerer en gradvis økning av arsen i Stokksund sør og Selbjørnfjorden siden ca. 2008-2014 mot dagens nivå (tilstandsklasse III). Interessant er også at tungmetall- og arsenkonsentrasjonene stort sett ikke følger karboninnhold i sedimentene. En kombinasjon av høyt slaminnhold sammen med generelt høyt karboninnhold (>1 %) er tilstrekkelig til å binde tungmetaller i sedimentene. Analyser av organiske miljøgifter viser normale nivåer av totalt hydrokarbon (THC) for kystnære områder, med høyt organisk karboninnhold, og tilsvarende eller noe forhøyete nivåer av PAH. Nivåer av PAH16 og benzo[a]pyren ligger i tilstandsklasse II (god) overalt. PAH-konsentrasjonsprofiler i kjernene tyder på tilførsler av pyrogent PAH i de sist avsatte sedimentene på havbunnen, knyttet til antropogen påvirkning. Menneskeskapt organiske miljøgifter ligger lavt eller meget lavt, i tilstandsklasse II for forbindelser som det er etablert tilstandsklasser for. Dette gjelder klorerte pesticider og nesten alle bromerte flammehemmere (PBDE). PCB7 er funnet i klasse III (moderat) ved én stasjon der det også er høyt innhold av organisk karbon. Av PBDE er BDE-209 forhøyet overalt, i likhet med enkelte andre steder langs norskekysten. Nye miljøgifter (PFAS) er funnet i lave nivåer i alle prøver, og ligger i tilstandsklasse II for PFOA og tilstandsklasse III for PFOS.

## INNHold

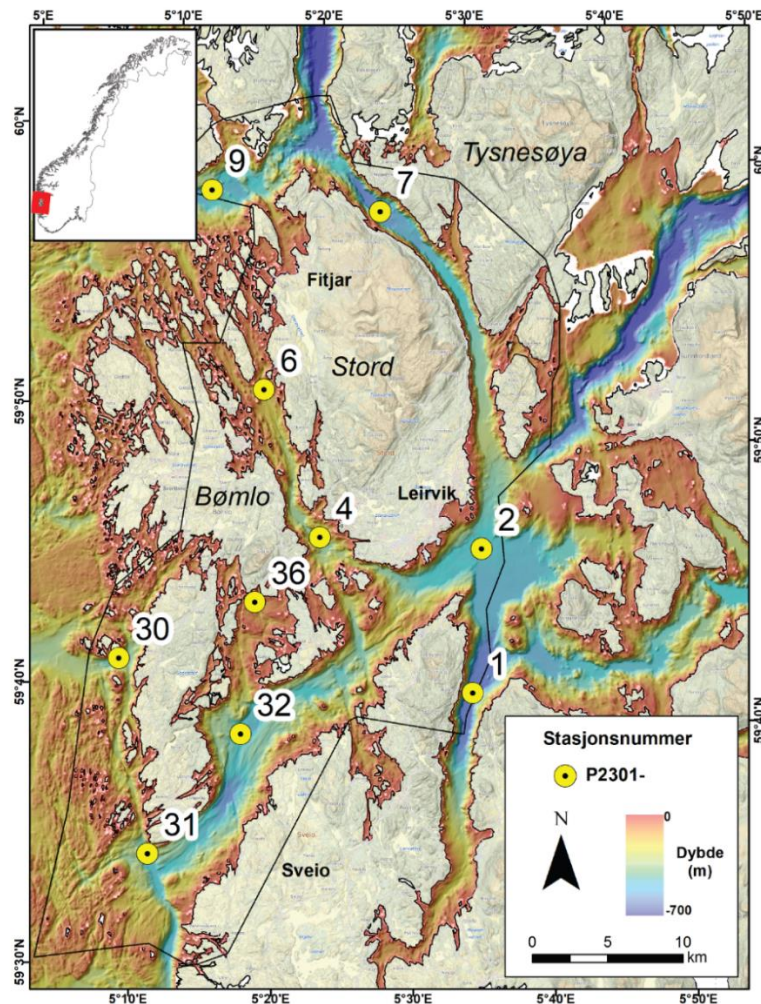
1.	INNLEDNING .....	4
2.	PRØVETAKING, DATA OG METODIKK .....	5
3.	RESULTATER.....	9
3.1	Overflateprøver .....	9
3.1.1	Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat.....	9
3.1.2	Innhold av arsen og tungmetaller .....	15
3.1.3	Innhold av organiske miljøgifter.....	36
1.1 3.2	Sedimentkjerneprøver.....	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
3.2.4	PAH i kjerneprøver .....	63
4.	OPPSUMMERING.....	64
5.	REFERANSER .....	65

## 1. INNLEDNING

NGU, Kartverket og Havforskningsinstituttet (HI) har utarbeidet marine grunnkart over utvalgte sjøområder i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland. Som en del av prosjektet er miljøtilstanden kartlagt.

I mai-juni 2023 gjennomførte NGU feltarbeid med F/F Geologen, og hentet opp korte sedimentkjerne 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 kjerneprøver den historiske utviklingen over de siste ca. 100 år.

De ti lokalitetene (tabell 1) ble valgt basert på informasjon om dybde og bunnreflektivitet (relativ bunnhardhet) fra kartlegging med multistråleekkolodd (figur 1). Vi prioriterte å prøveta de dypeste avsetningsbassengene der finkornet materiale samles opp uforstyrret over tid, siden miljøgifter oftest binder seg til finkornet materiale og karbon, og avsettes sammen med disse. Der dette ikke var mulig, valgte vi grunnere prøvelokaliteter.



Figur 1. Lokaliteter med sedimentprøver fra sjøbunnen tatt for kartlegging av miljøtilstanden i utvalgte områder i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland. Kjerneprøver ble studert fra lokalitet 2, 4, og 12. Dybdedata og landdata fra Kartverket. Kartleggingsområdet er avgrenset med svart polygon.

I denne rapporten presenterer vi først nivåene av metaller (inkludert tungmetaller) og organiske miljøgifter i overflateprøver (0-2 centimeter dybde i bunnsedimentet) fra de ti utvalgte lokalitetene. 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). Deretter diskuterer vi hvordan innholdet av metaller i tre av sedimentkjernene har variert over tid.

**Tabell 1. Stasjonsnummer, koordinater og vanddyp for lokalitetene i miljøundersøkelsen.**

Stasjon	Kort stasjonsnummer	Område	Geografiske koordinater (desimalgrader)		Vanddyp (m)
			Nord	Øst	
P2301001C	1	Ålfjorden	59.6749932	5.5514304	454
P2301002C	2	Halsnøyfjorden	59.7608965	5.5530221	355
P2301004A	4	Stokksund S	59.7625936	5.3616746	262
P2301006A	6	Stokksund N	59.8484524	5.2862351	146
P2301007D	7	Langenuen	59.9582466	5.4120174	146
P2301009A	9	Selbjørnsfjorden	59.9656337	5.2112935	373
P2301030C	30	Geitungosen	59.6840792	5.1333333	285
P2301031C	31	Bømlahuk	59.5687823	5.18	350
P2301032C	32	Bømlafjorden	59.6431423	5.2813929	353
P2301036C	36	Børøyfjorden	59.7218765	5.2894705	124

## 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 bunnreflektivitet (relativ 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 uforstyrret sedimentoverflate. Til 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 lokalitetene 2, 4, og 9 ble sedimentene i én hel kjerneprøve tatt ut i centimeter-intervaller for videre analyser (kornfordeling, metallsammensetning) og datering med hjelp av  $^{210}\text{Pb}$ -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 2023. Alle analyseresultater med kvantifiseringsgrenser er rapportert i <https://mareano.no/kart-og-data/kjemidata>.

Materiale til analyser ble tatt ut slik:

- 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  $\text{HNO}_3$ -ekstraksjon etter NS 4770 for påfølgende analyse med AAS, ICP-AES og ICP-MS for analyse av metaller/tungmetaller.
- 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  $\mu\text{m}$  med Coulter laserdiffraksjon.



*Figur 2. Prøvetaking med multicorer, som tar opptil fire kjerper 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 kjerper 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 én centimeter av gangen.*

Prøvene tatt til analyse av organiske miljøgifter ble sendt til HIs 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), totalt hydrokarboninnhold (THC)) og persistente organiske miljøgifter (POPs, inkludert polyklorerte bifenyler (PCB), klorerte pesticider, polybromerte difenyletere (PBDE)) og poly- og perfluorerte alkylerte stoffer (PFAS) ble utført på HI.



**Tabell 2. Analyser av organiske miljøgifter i prøver av overflatesediment (0-2 cm). Stasjonsnumrene er som i tabell 1.**

Stasjonsn avn	1	2	3	5	7	8	30	31	32	36
Prøve A	PAH	PAH	PA H	PA H	PAH, PFAS	PA H	PA H	PAH, PFAS	PAH	PA H
Prøve B	POPs, PFAS	POPs, PFAS	PO Ps	PO Ps	POPs	PO Ps	PO Ps	POPs	POPs, PFAS	PO Ps

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, acenaftalen, 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 (NCl). Analyser av PCB (10 kongenere) og pesticider (*p,p'*-DDT og degraderingsproduktene *p,p'*-DDD, *p,p'*-DDE; isomerene av heksaklorsyklusheksan (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 på ASE, og rensset opp med Oasis WAX fastfase ekstraksjon. Analyser av 22 PFAS ble utført med ESI UPLC/MSMS. LOQ for enkeltforbindelser varierte mellom 0,025 og 2,6 µg/kg tv. Resultater ble rapportert for enkeltforbindelser og som 7 PFAS (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>.

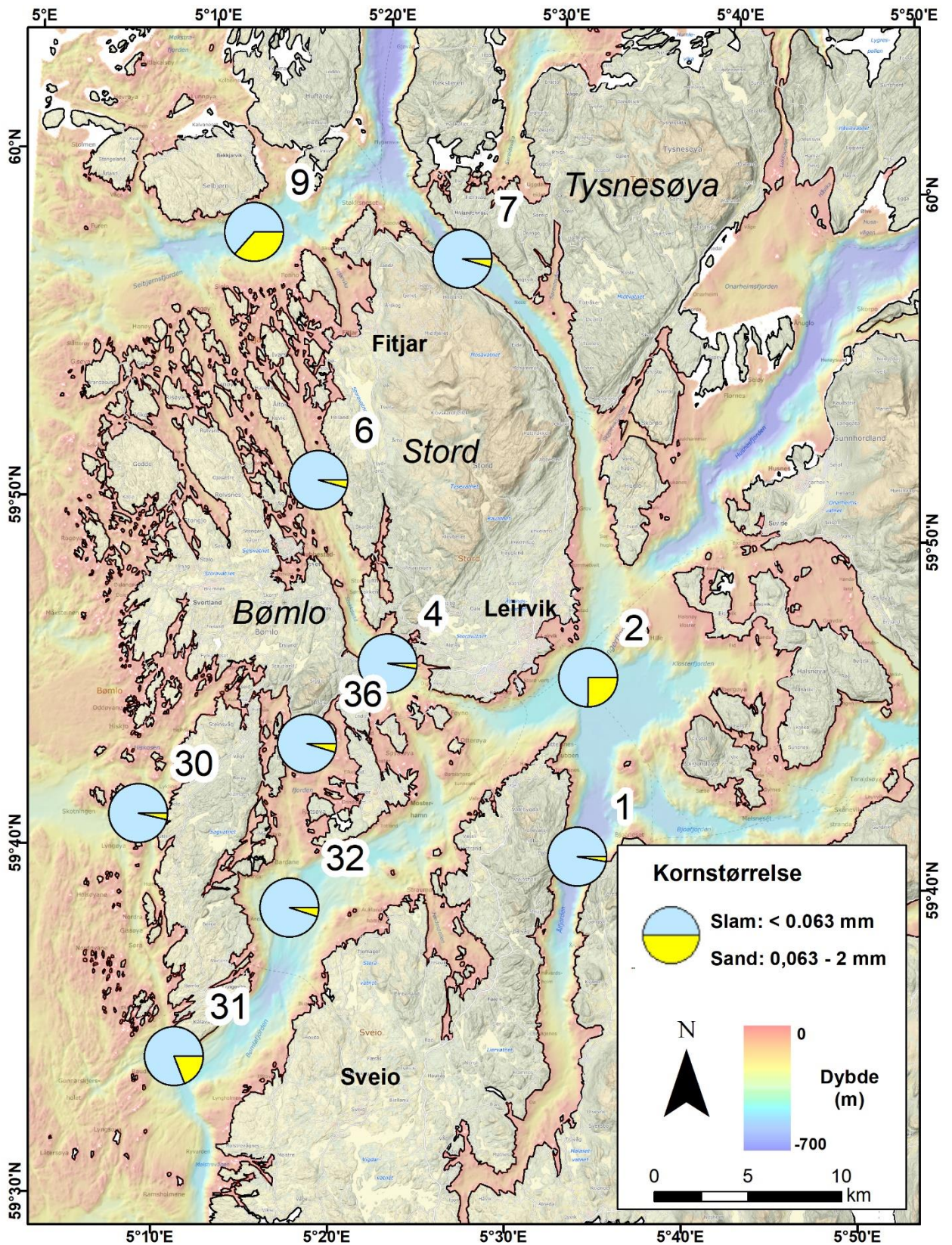
### 3. RESULTATER

#### 3.1 Overflateprøver

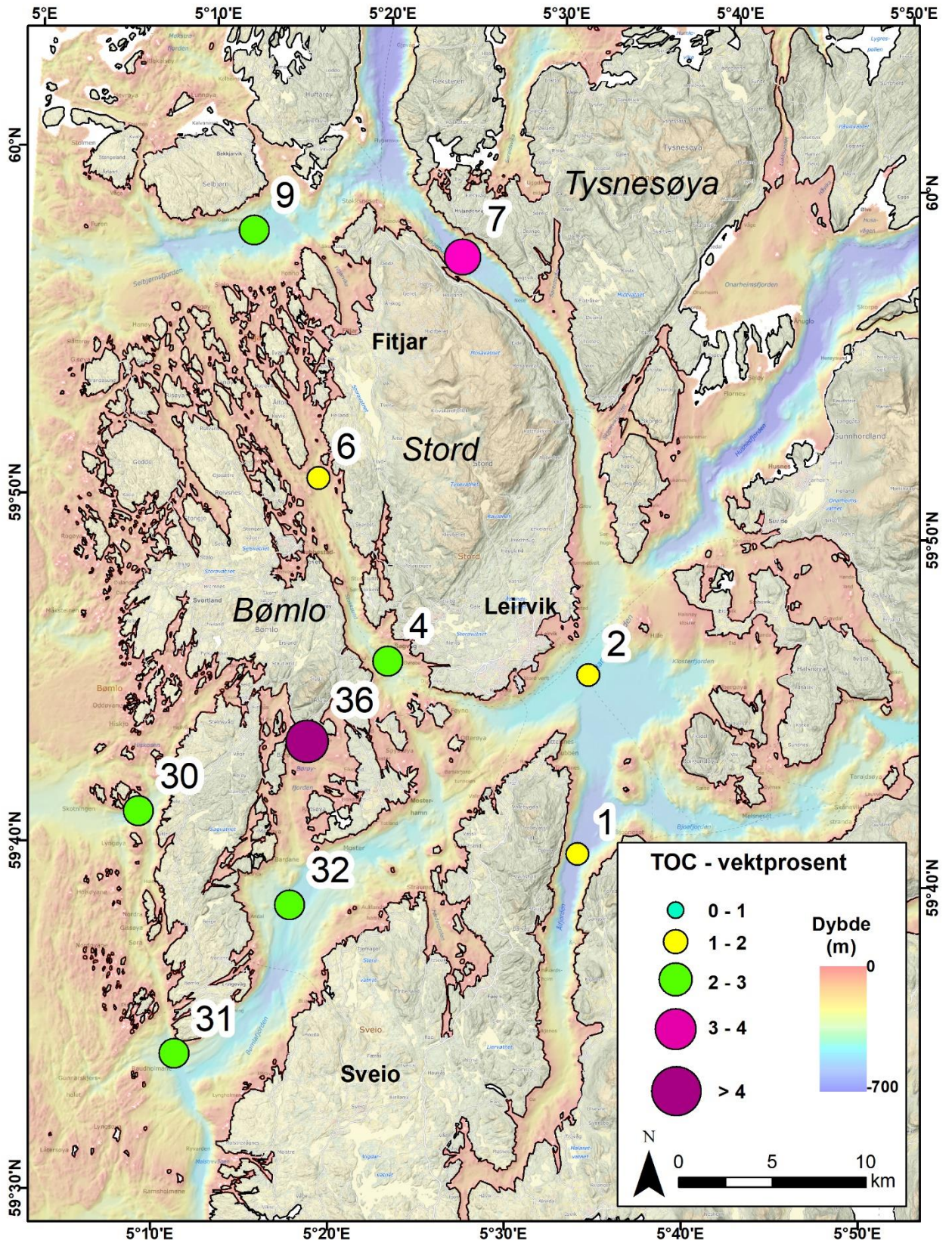
I dette kapitlet presenterer vi resultatene av geokjemiske analyser av overflatesedimenter i form av kart over studieområdet. Målingene angis hovedsakelig i konsentrasjonsheten mg/kg sediment for metaller og µg/kg tørrvekt sediment for organiske miljøgifter, som er ekvivalent med hhv. ppm (parts per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

##### 3.1.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, svovel og kalsiumkarbonat

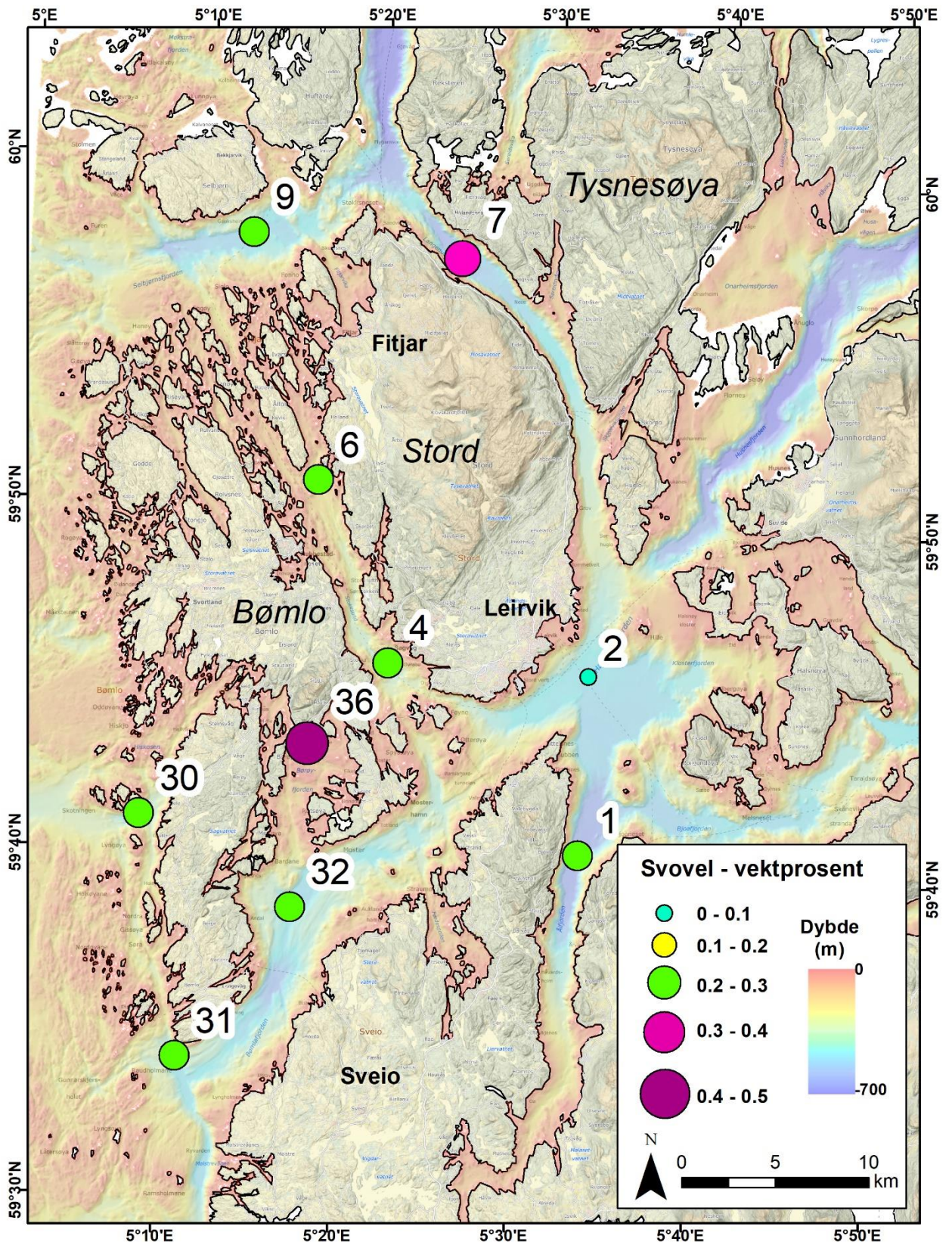
Normalt binder finkornige sedimenter med høyt innhold av leir- og siltpartikler og organisk materiale lettere til seg forurensende stoffer enn hva mer grovkornige sedimenter gjør. Avsetningsbassenger med finkornige sedimenter vil være mest representative for miljøtilstanden i et område. I vårt studieområde ser vi at slam (<0,063 mm partikkeldiameter), som omfatter silt og leir, er den dominerende fraksjonen i nesten alle overflateprøvene (figur 4). Sand (0,063-2 mm) utgjør en høyere andel i Halsnøyfjorden (prøve 2, 25,2%), Selbjørnsfjorden (prøve 9, 36,6%) og i Bømlahuk (prøve 31, 19,1 %) (figur 4).



Figur 4. Fordeling av sand (0,063-2 mm) og slam (<math>< 0,063\text{ mm}</math>) i overflatesedimentene.



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



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

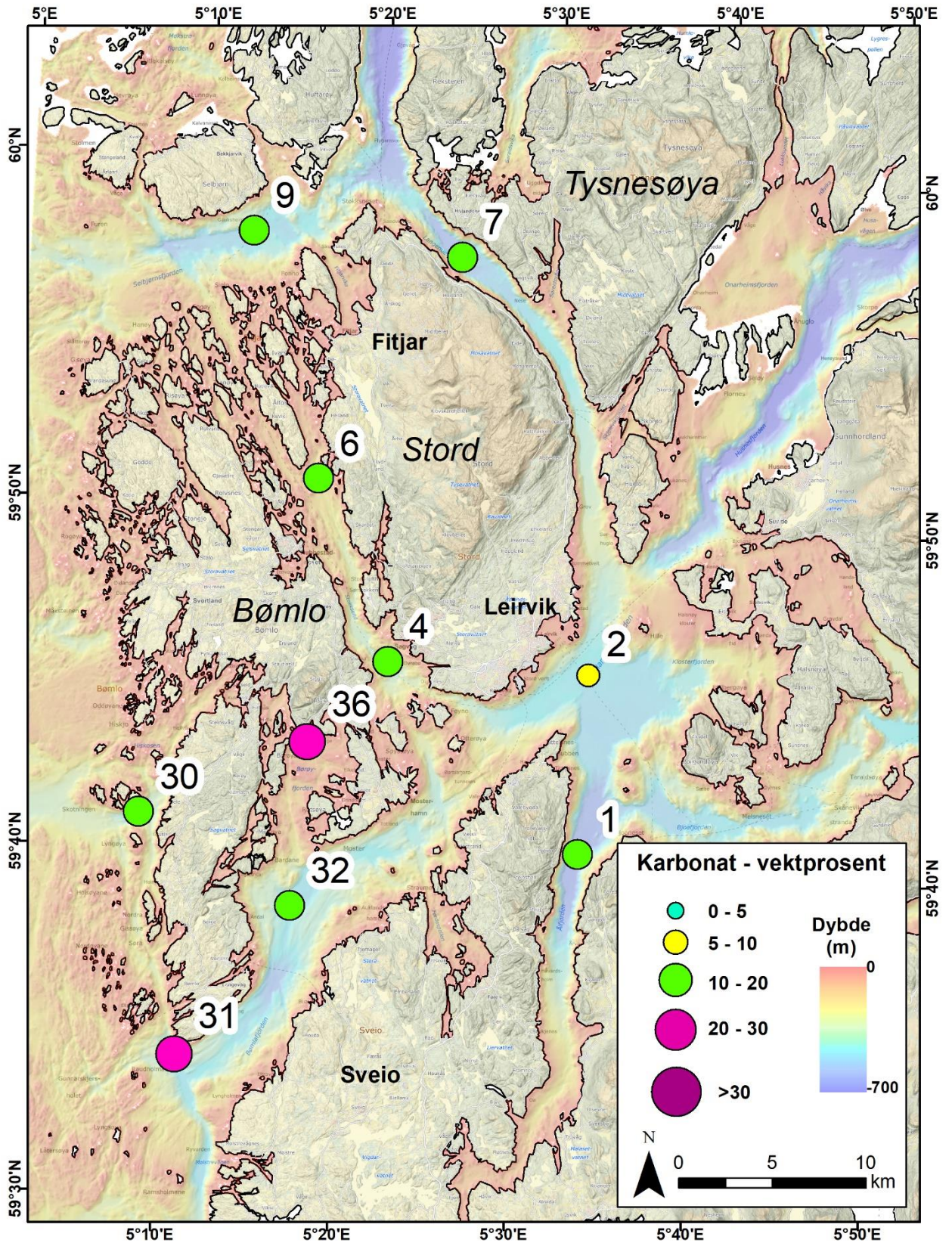
Figur 5 og 6 viser innholdet av organisk karbon (TOC) og svovel (S) i overflateprøvene (prosent av tørrvekt). TOC- og svovel-verdiene varierer henholdsvis fra 1,1 til 5 %, og 0,13% til 0,44%. Verdiene er lavest i Halsnøyfjorden (prøve 2) og høyest i Børøyfjorden (prøve 36). Nest høyest verdi for TOC og svovel er påvist i prøve 7 (Langenuen). Lave TOC-verdier kan forklares med forholdsvis høy tilførsel av minerogene sedimenter slik at bunnfallet av marin biomasse og organiske rester blir fortynnet, eller at finkornet og lett organisk materiale fraktes bort med sterk strøm i vannmassene. De høyeste TOC- og S-konsentrasjonene er påvist i sedimentene i Børøyfjorden (prøve 36), relativt nært landtilførselsen fra Bømlø, mens prøve 7 er tatt midt i Langenuen (Figurer 5 og 6). Høyt TOC- og S-innhold i prøve 36 og 7 antyder høy bioproduktivitet med lateral bunntransport og anrikning av organisk material i forsenkninger på havbunnen. Andre faktorer, som tilførsel av biomasse fra land, kan ikke utelukkes for prøve 36. Flere analyser av karbonsammensetning vil være nødvendig for å bekrefte kildeområdet.

Karbon som ikke er av organisk opprinnelse er som regel bundet til karbonatmineraler, hovedsakelig kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). 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:

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

<sup>1</sup> TC er innholdet av totalt karbon, målt med LECO.

Innholdet av kalsiumkarbonat varierer mellom 6,4 og 20,9 vektprosent (figur 7). De høyeste verdiene er påvist i Bømlahuk (prøve 31) og Børøyfjorden (prøve 36), med >20 vektprosent i et slamholdig sediment med lav til moderat sandinnhold (4-19 vektprosent). Det høye karbonatinnholdet skyldes trolig et høyt innhold av kalkskall i sandfraksjon (skjell, foraminiferer, eller lignende).



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:

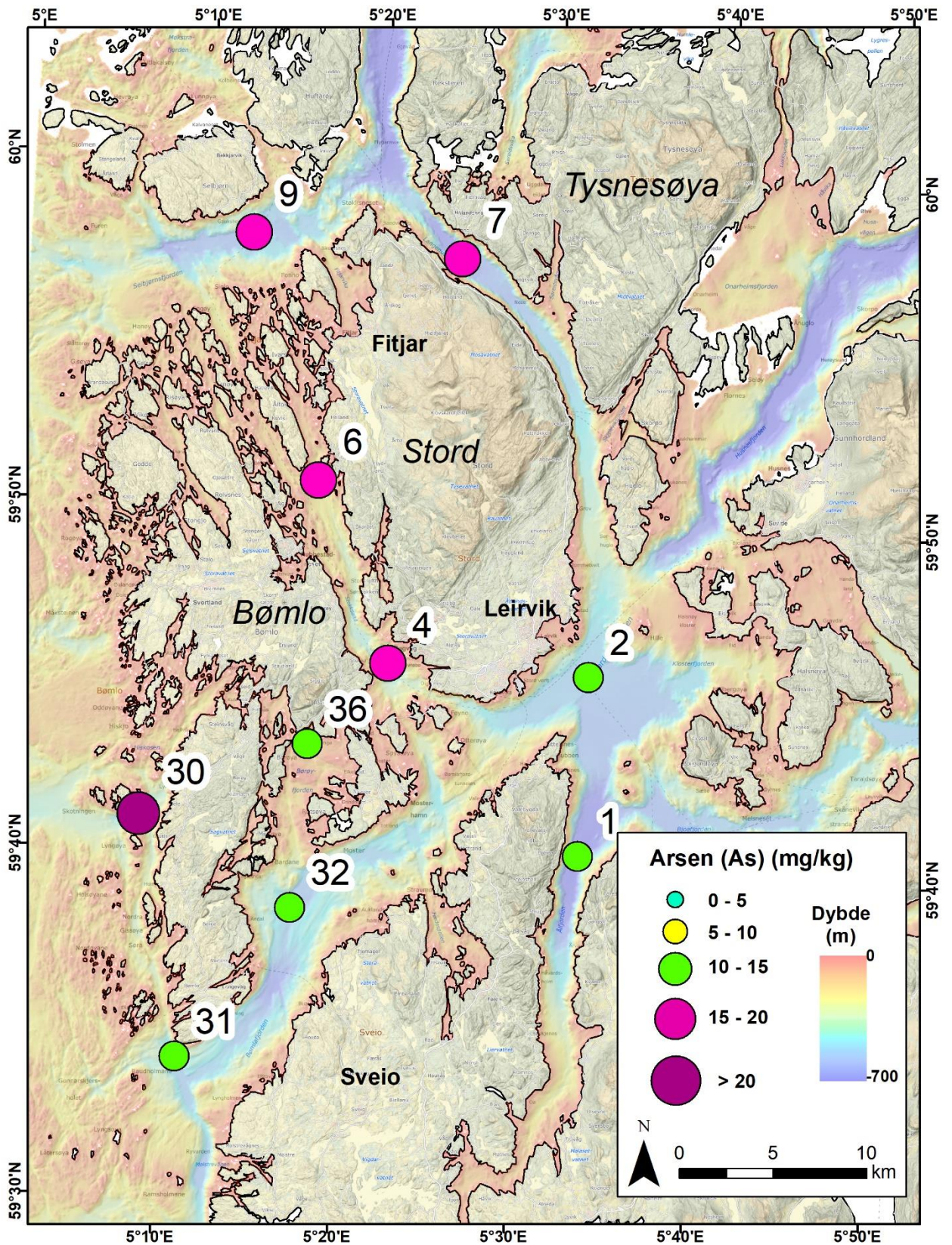
<b>I</b> <b>Bakgrunn</b>	<b>II</b> <b>God</b>	<b>III</b> <b>Moderat</b>	<b>IV</b> <b>Dårlig</b>	<b>V</b> <b>Svært dårlig</b>
-----------------------------	-------------------------	------------------------------	----------------------------	---------------------------------

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.

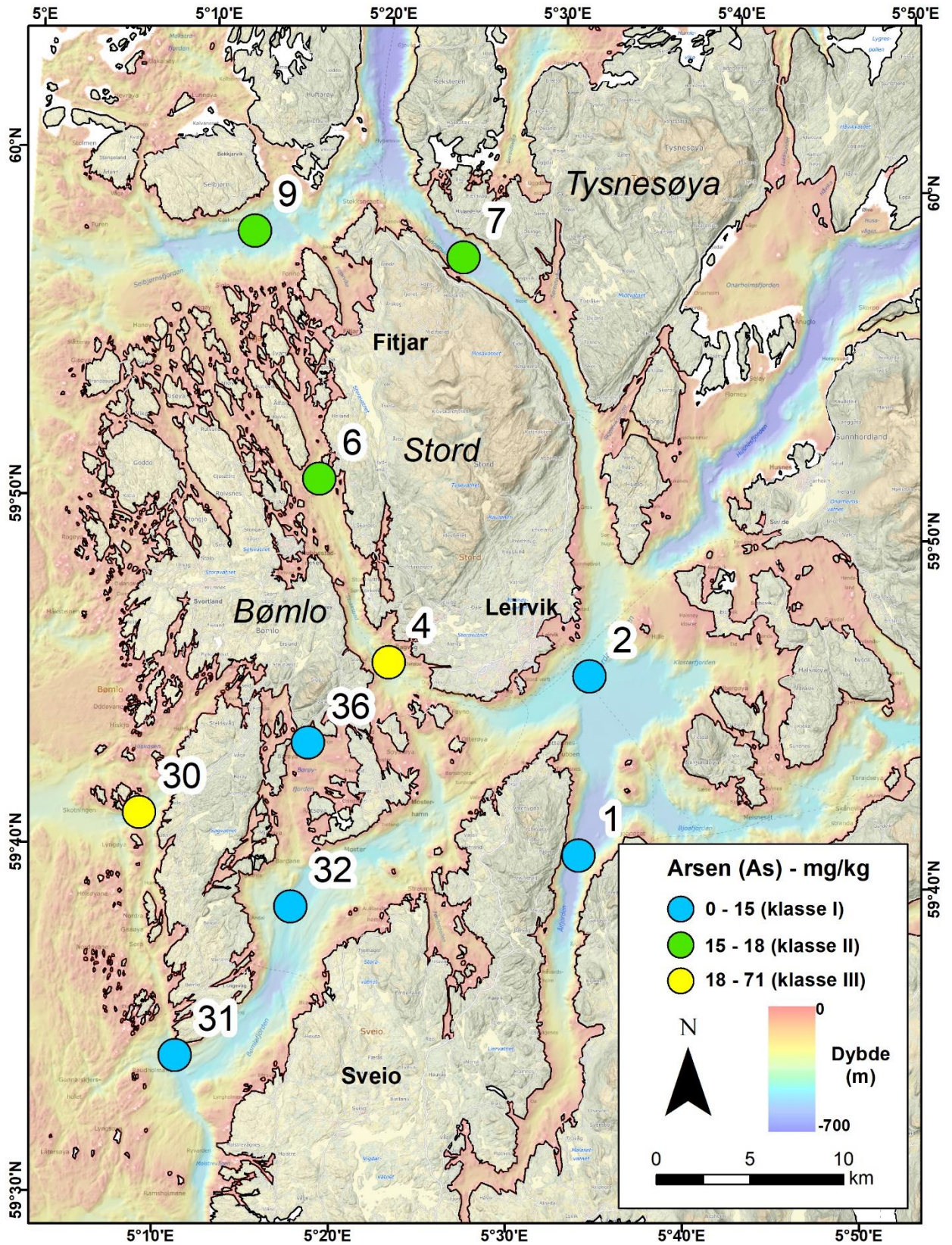
#### **Arсен (As)**

As-konsentrasjonen varierer fra 10,8 til 22,5 mg/kg (figur 8a). De høyeste konsentrasjonene finnes i sedimentprøve 30 fra Geitungssosen (22,5 mg/kg). Høye verdier (>15 mg/kg) observeres også i prøve 4 (Stokksund Sør), prøve 6 (Stokksund Nord), prøve 7 (Langenuen) og prøve 9 (Selbjørnsfjorden). De høye As-konsentrasjoner har ingen sammenheng med høyt TOC-innhold (figur 5). En klar geografisk skillelinje mellom høye (>15 mg/kg) og lave (<15 mg/kg) verdier er synlig i studieområdet. Høye As-verdier ser ut til å være relatert til berggrunnsgeologien i området. Hardangerfjord forkastningssone, som skiller kaledonske bergarter i «øvre allochthon» i nord fra proterozoisk krystallinsk grunnfjell i sør, er hovedgrunnen for ulike As-konsentrasjoner i bunnsedimentene. Erosjon av arsenholdige, kaledonske bergarter fører til anrikninger i bunnsedimenter. Av ti prøver faller de nordlige prøver med høye As konsentrasjoner i tilstandsklasse II og III (god til moderat) for kyst- og fjordsedimenter (>15 mg/kg sediment, figur 8b). Særlig prøve 4 (Stokksund Sør) og prøve 30 (Geitungssosen) skiller seg ut med konsentrasjoner >20 mg/kg og tilstandsklasse III (moderat).

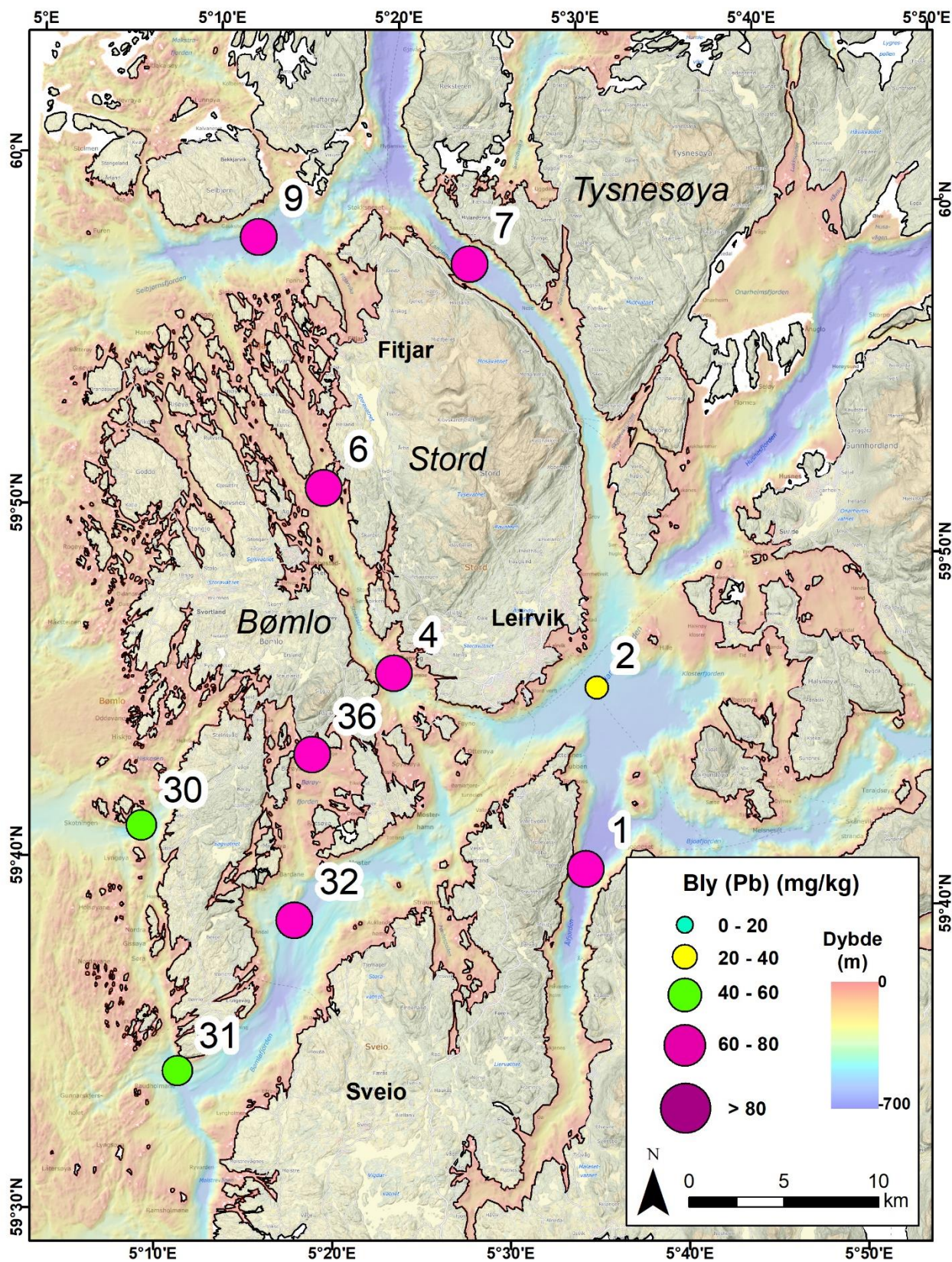




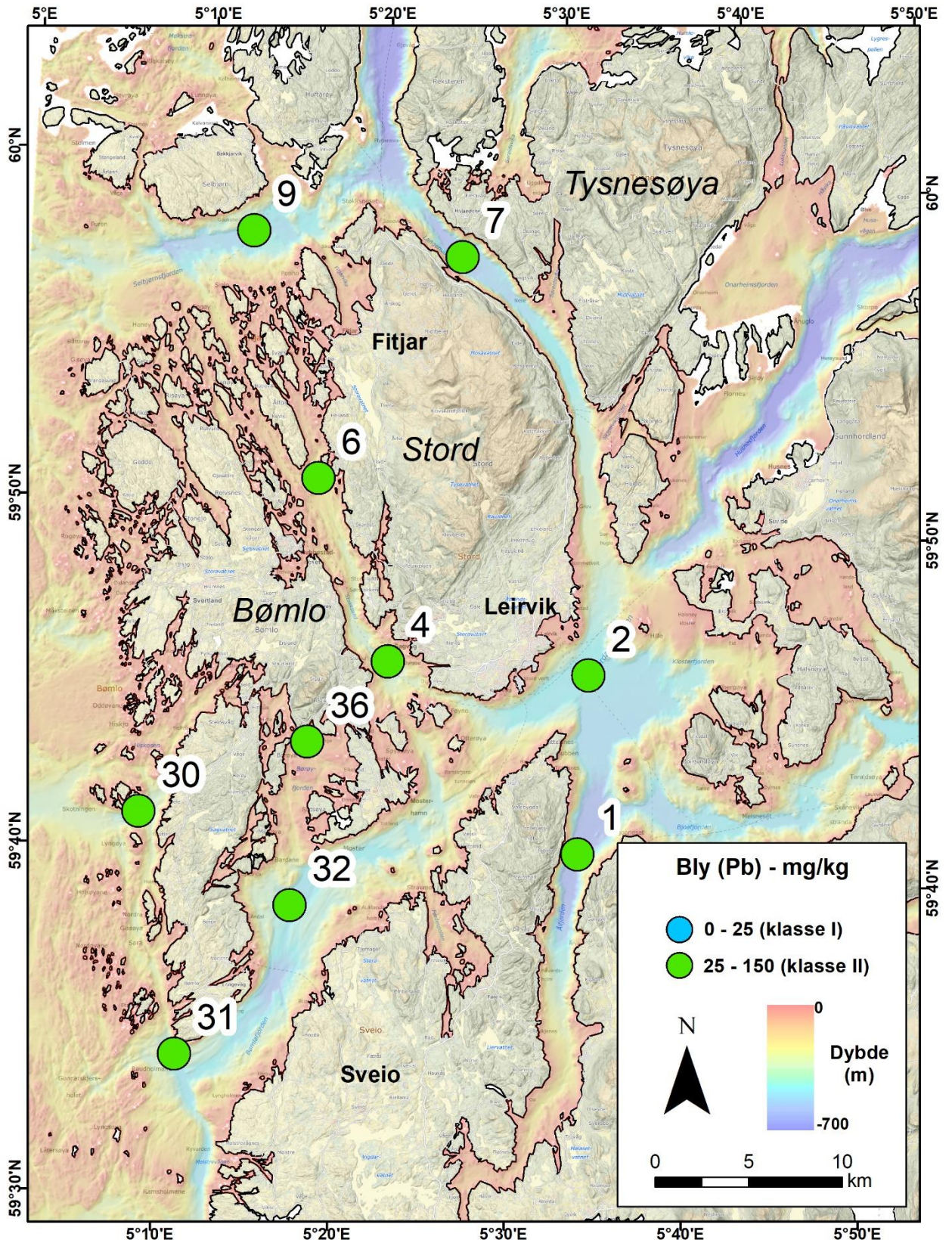
Figur 8a. Arsenkonsentrasjon i overflatesedimentene.



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 33,9 til 68,5 mg/kg (figur 9a). Prøve 36 (Børøyfjorden) har den høyeste blykonsentrasjonen (68,5 mg/kg) og faller sammen med en høye TOC- og svovelverdier (figur 5 og 6). Pb-konsentrasjonene er generelt høye (>60 mg/kg) i nesten alle prøvene. Bare i prøver tatt fra åpent hav (prøver 30 og 31) og midt i Halsnøyfjorden (prøve 2) er Pb-konsentrasjoner lavere (33,9 – 55 mg/kg). Figur 9b viser likevel at alle prøver faller i tilstandsklasse II (25-100 mg/kg sediment, god).

**Kadmium (Cd)**

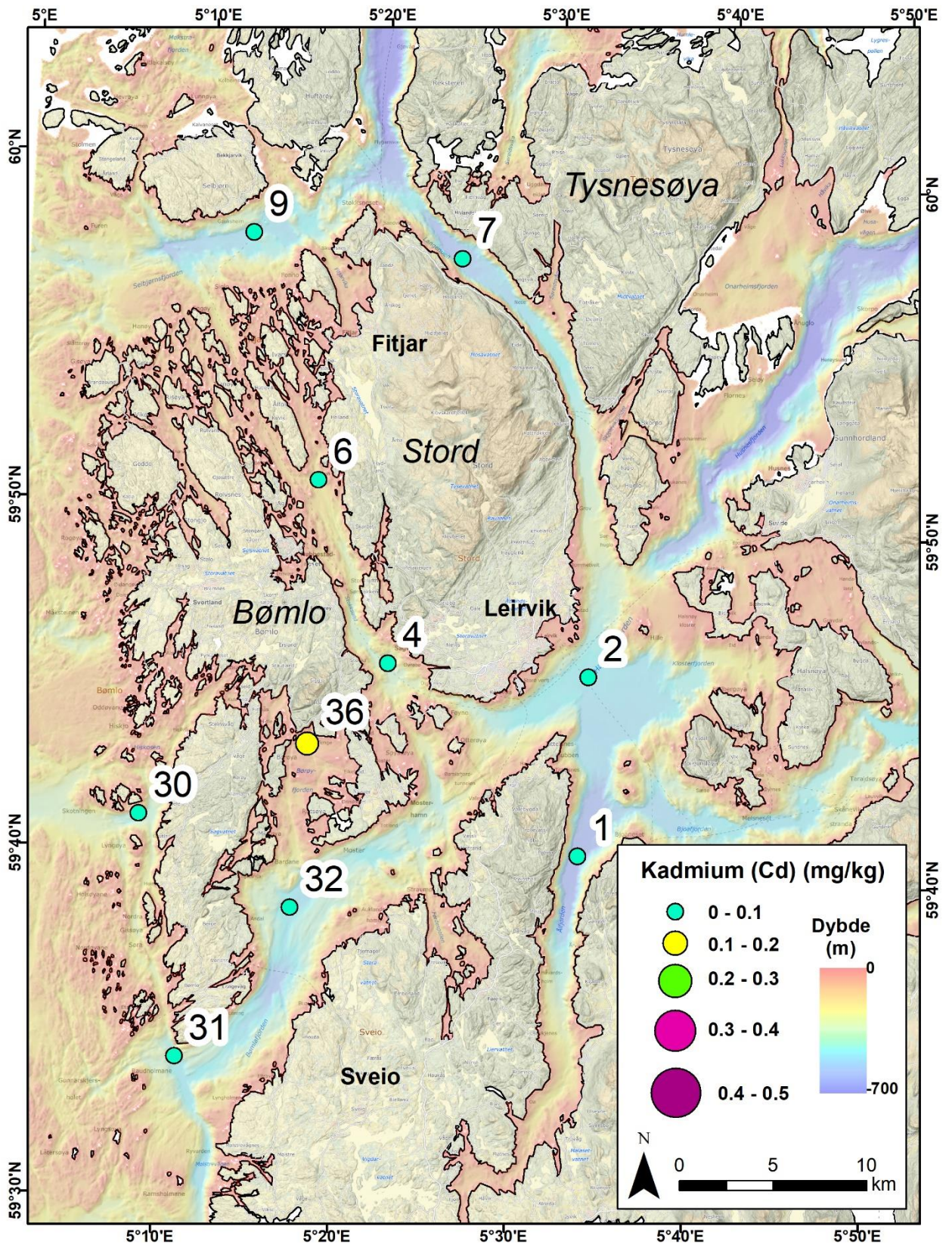
Cd-konsentrasjonen er lavere enn 0,1 mg/kg i alle prøver (figur 10a). Dermed har alle prøver Cd-konsentrasjoner i tilstandsklasse I (<0,2 mg/kg sediment, bakgrunn, figur 10b).

**Kobber (Cu)**

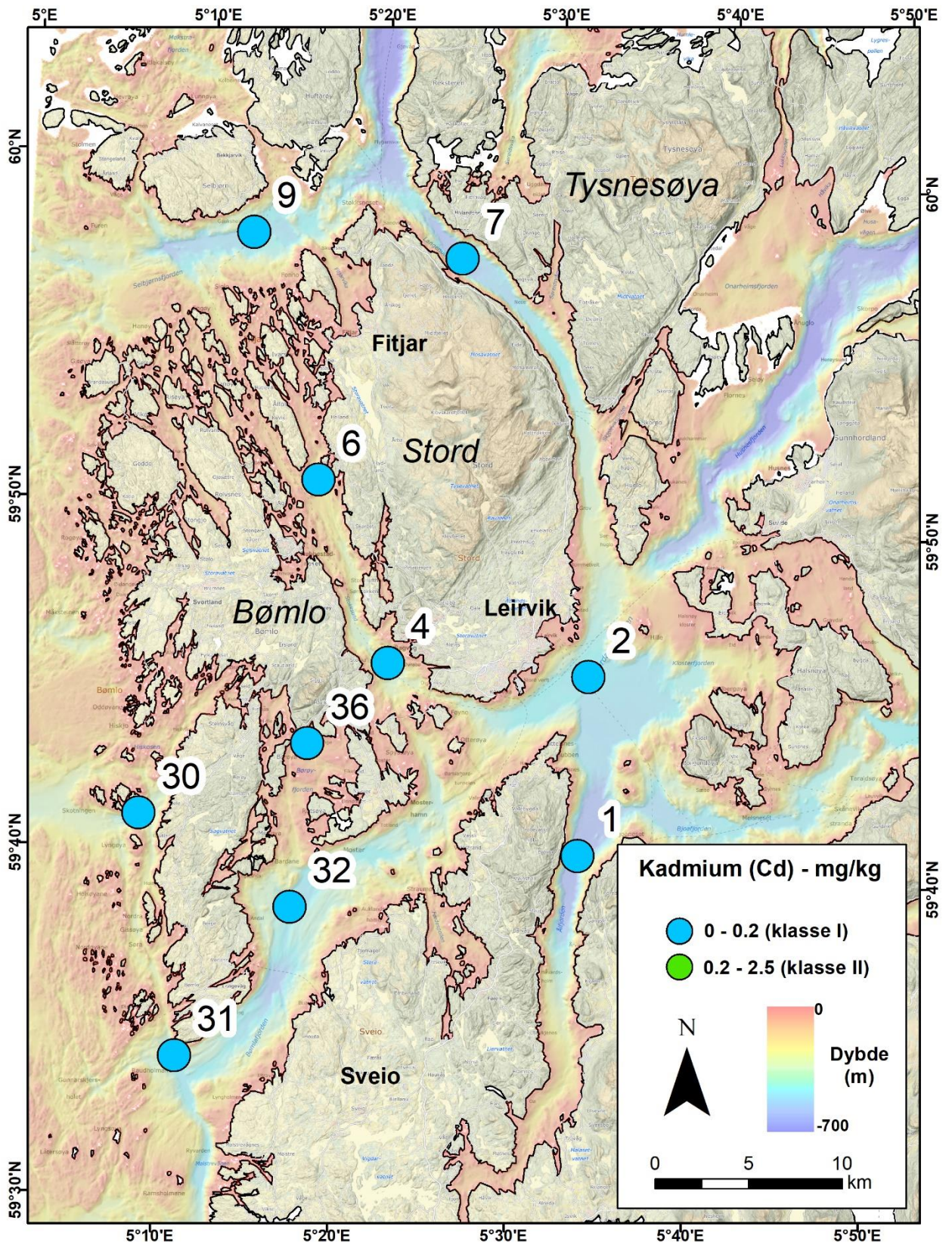
Cu er registrert i samtlige prøver, med konsentrasjoner fra 17,7 til 48,8 mg/kg (figur 11a). Prøven fra Langenuen (prøve 7) viser den høyeste verdien i hele studieområdet (48,8 mg/kg). En mulig forklaring er høye TOC-verdier og høyt slaminnhold i forsenkningen på havbunnen der prøven er tatt, og at dette binder kobber i sedimentene. Figur 11b viser at nesten alle stasjoner faller i tilstandsklasse II (20-84 mg/kg sediment, god). Bare prøve 2 (Halsnøyfjorden) har Cu-konsentrasjoner i tilstandsklasse I (0-20 mg/kg sediment, bakgrunn).

**Krom (Cr)**

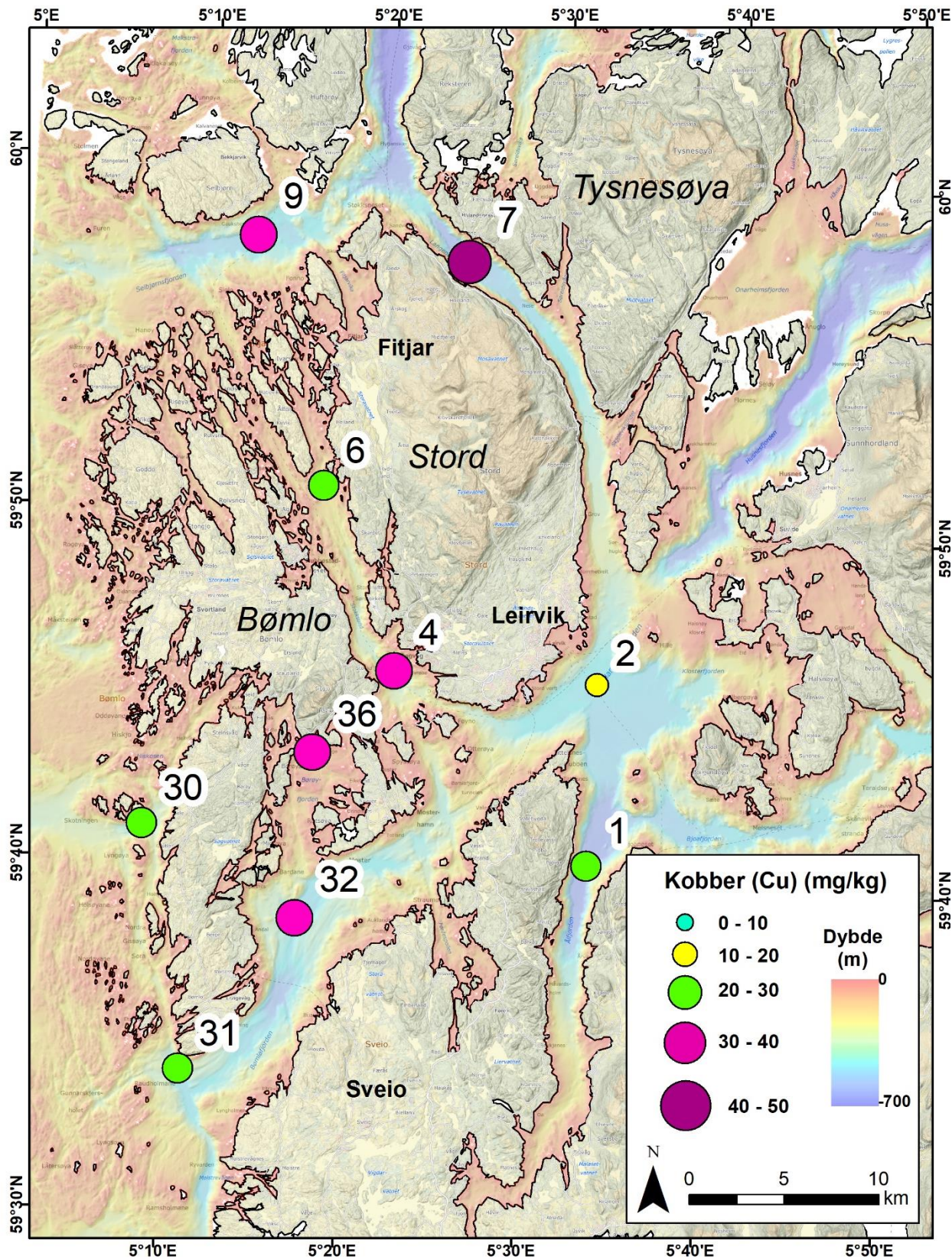
Cr er registrert i samtlige prøver, med konsentrasjoner fra 30,2 til 52,3 mg/kg (figur 12a). Konsentrasjonen i prøvene 1, 6, 7, 30, 32, og 36 fra henholdsvis Ålfjorden, Stokksund N, Langenuen, Geitungssosen, Bømlafjorden og Børøyfjorden er klart høyere (>50 mg/kg) enn det vi finner i de øvrige prøvene. Figur 12b viser likevel at alle prøver er i tilstandsklasse I (0-60 mg/kg sediment, bakgrunn).



Figur 10a. Kadmiumkonsentrasjon i overflatesedimentene.

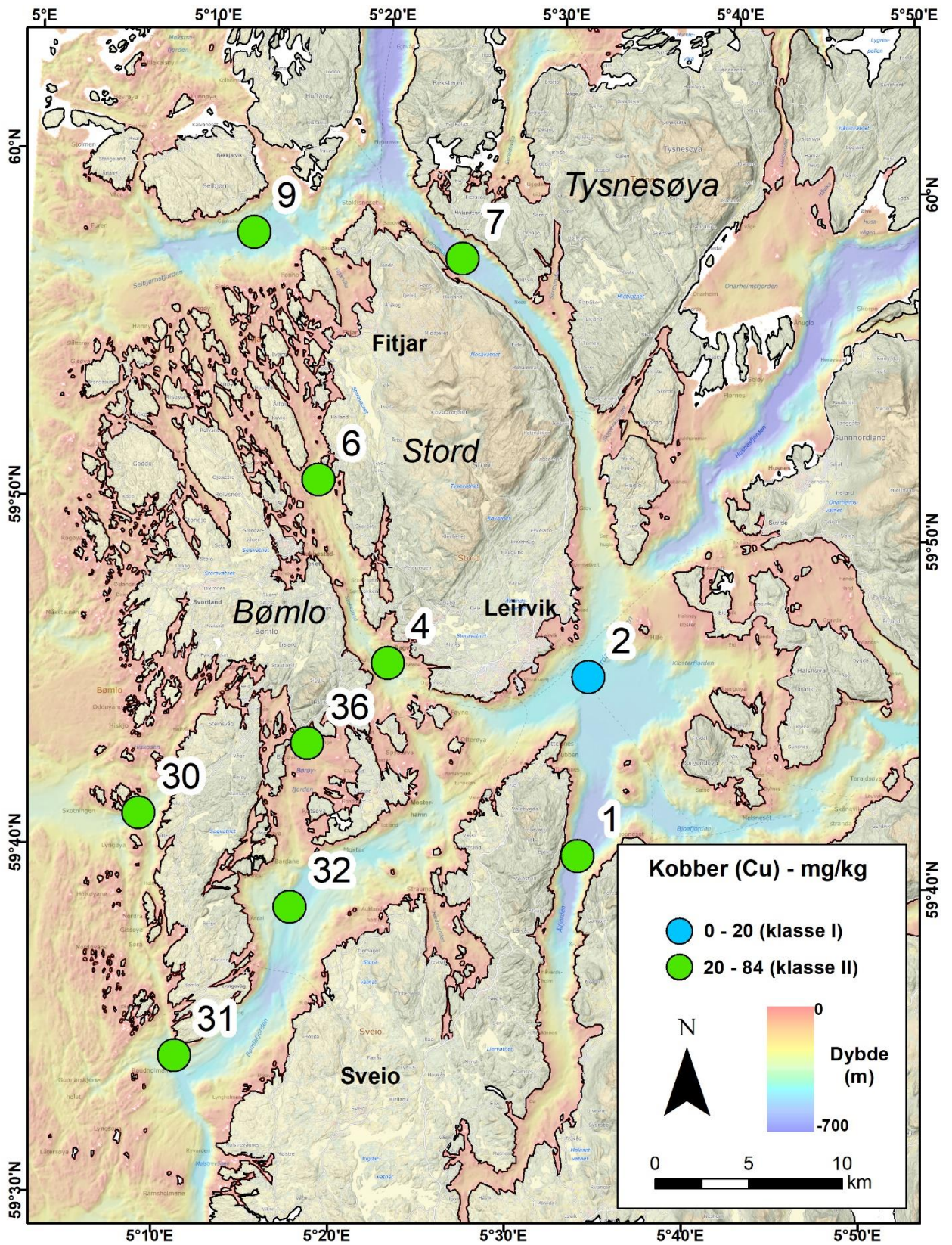


Figur 10b. Kadmiurnkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.

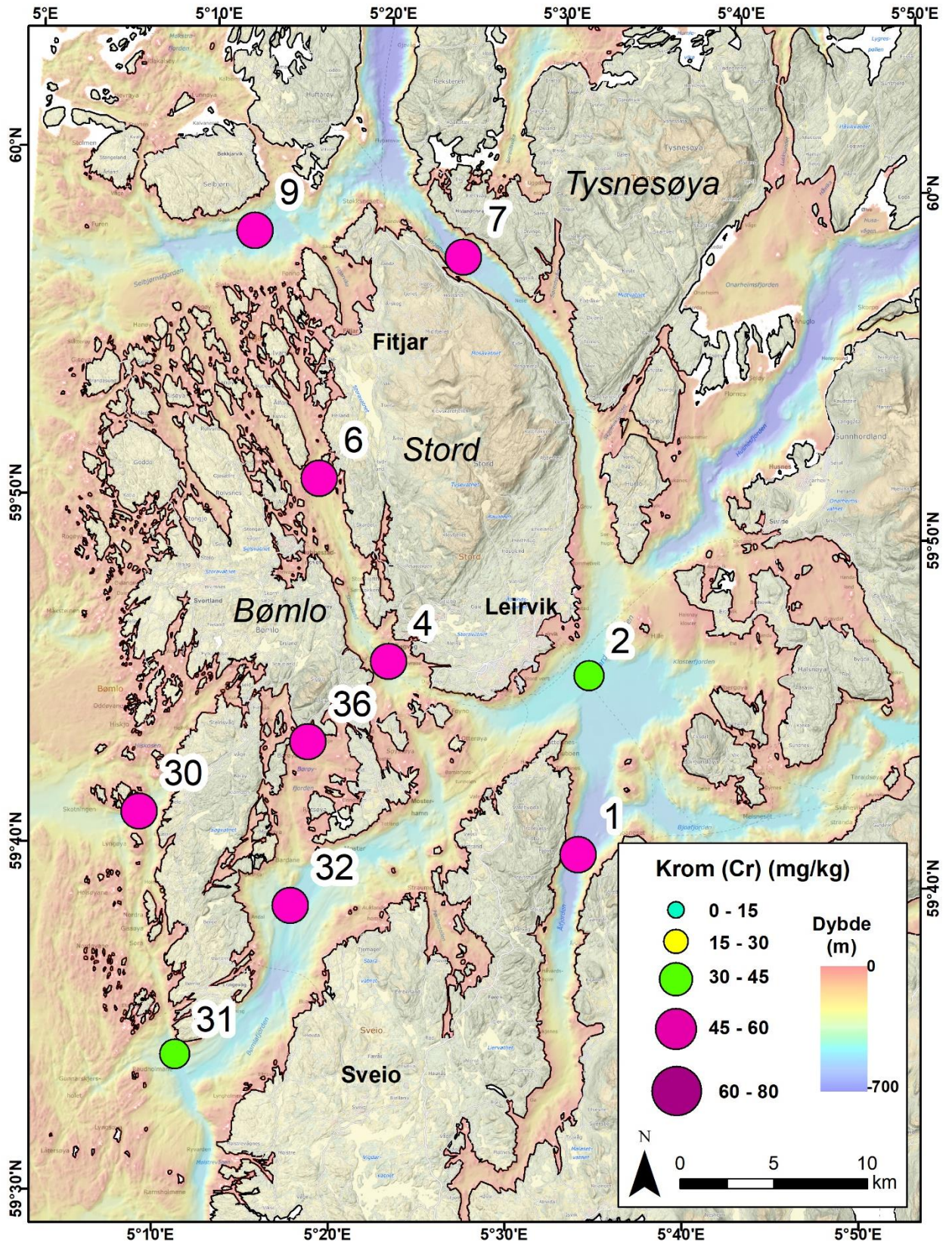


Figur 11a. Kobberkonsentrasjon i overflatesedimentene.

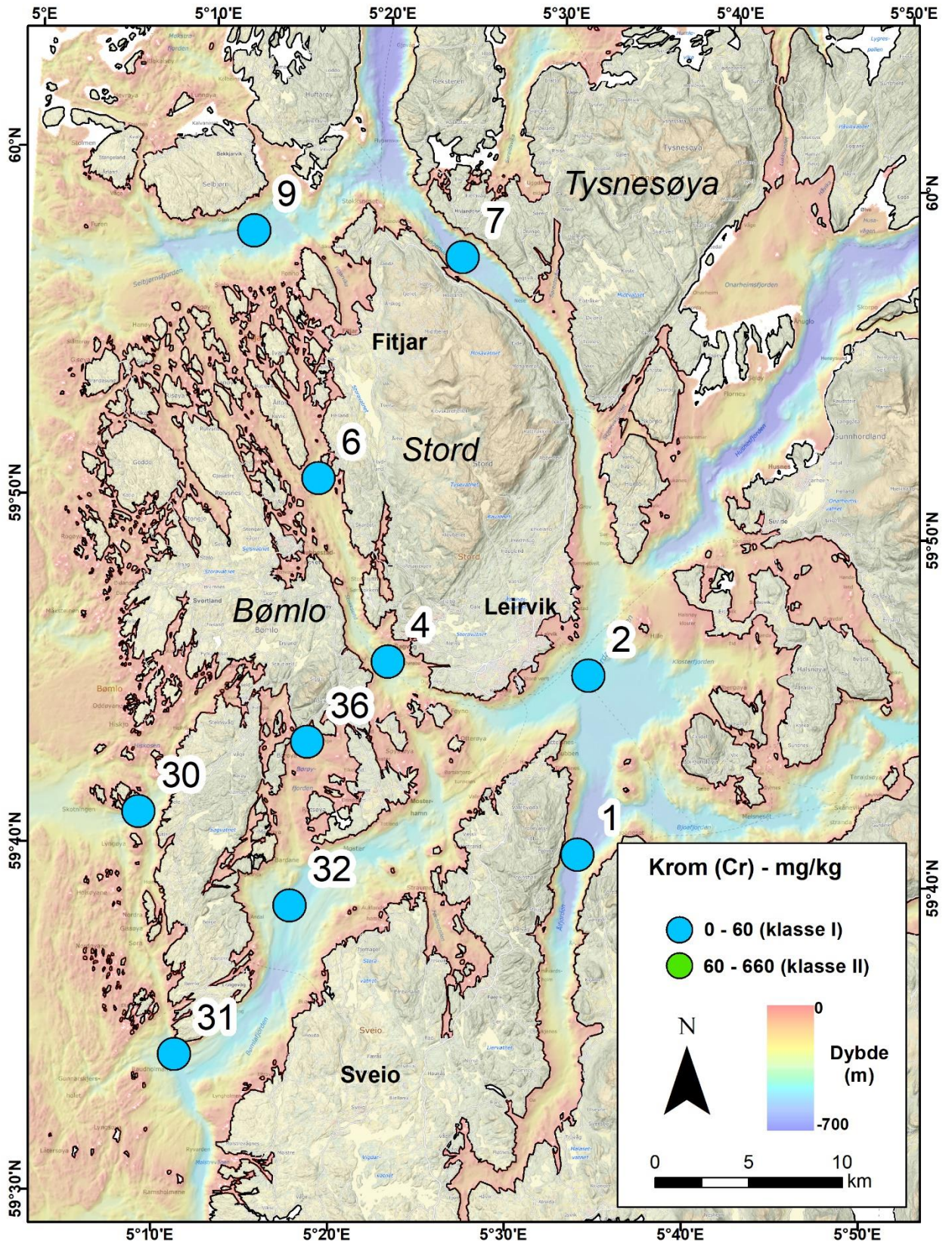




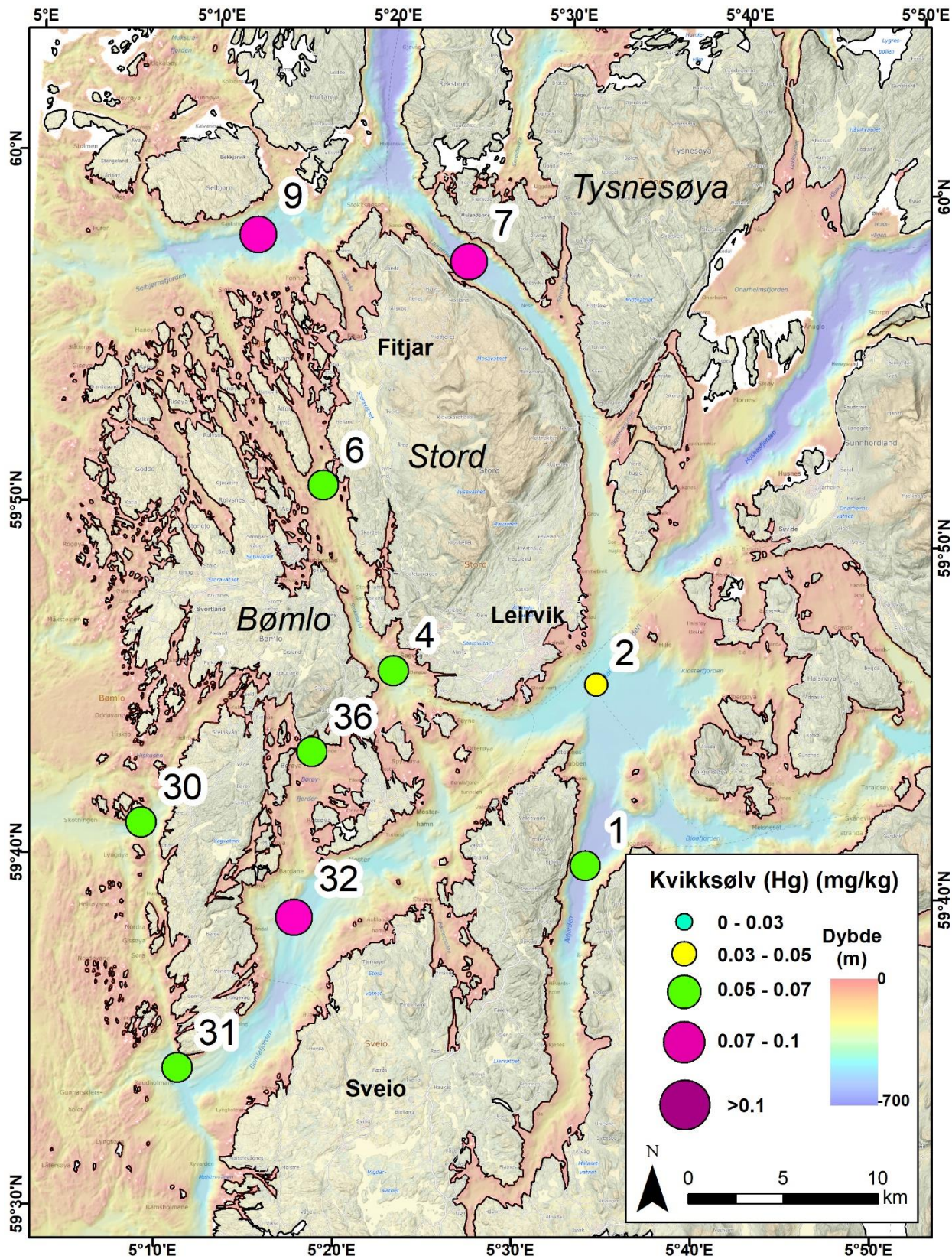
Figur 11b. Kobberkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.



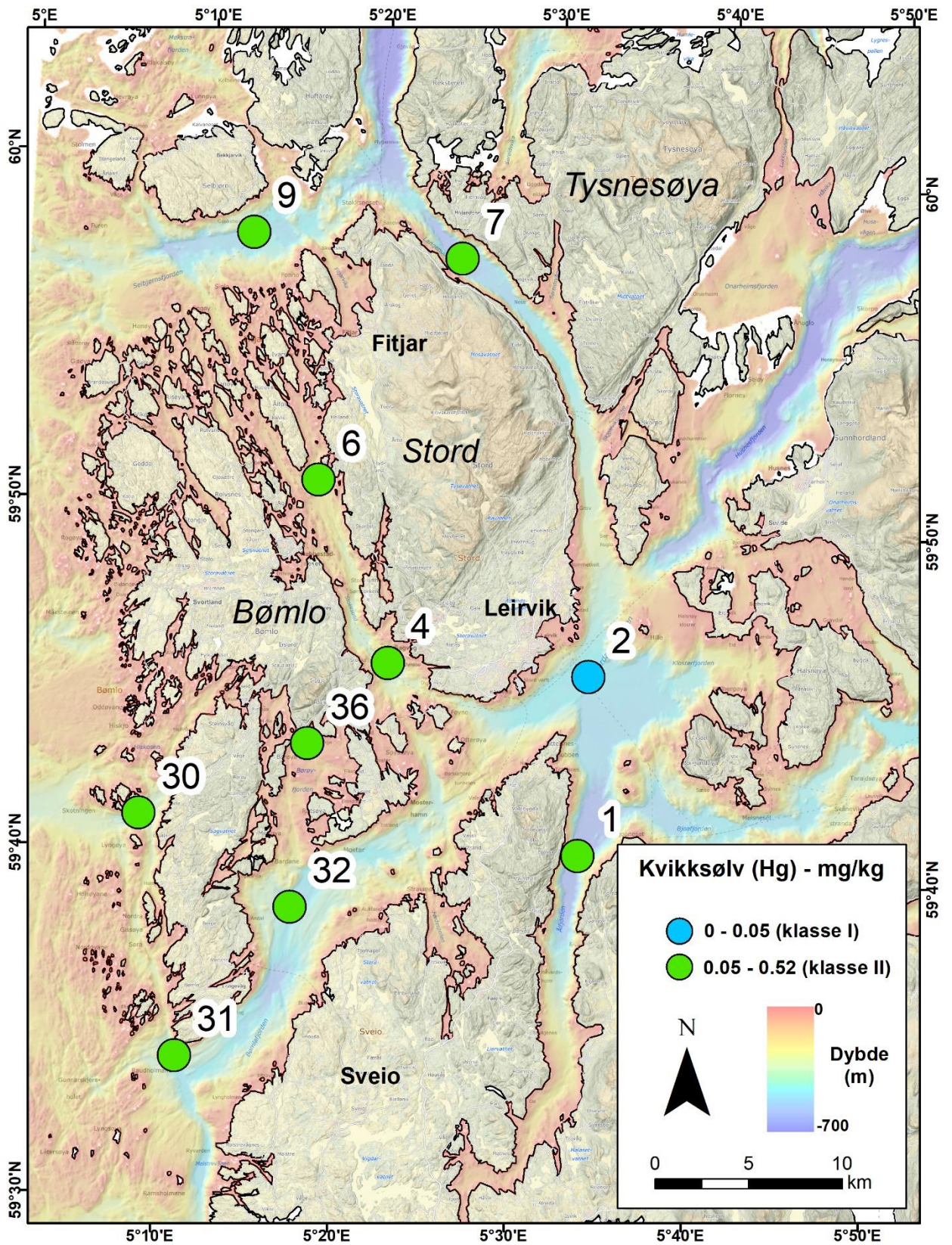
Figur 12a. Kromkonsentrasjon i overflatesedimentene.



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)**

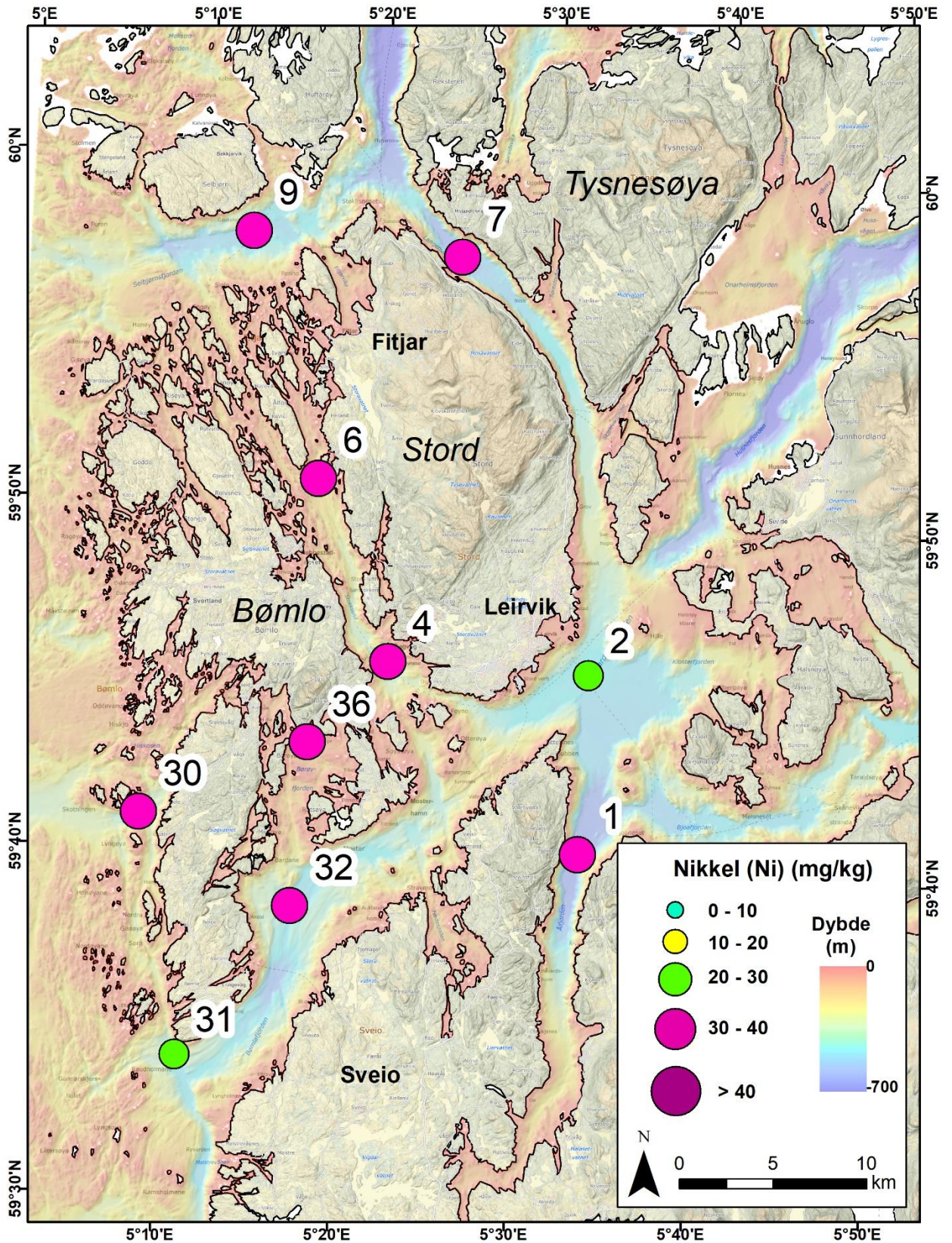
Hg-konsentrasjonen i sedimentprøvene varierer fra 0,04 til 0,085 mg/kg. Størst innhold av kvikksølv finner vi i Bømlafjorden (prøve 32) og Langenuen (prøve 7). Figur 13b viser at nesten alle prøvene (bortsett fra Halsnøyfjorden, prøve 2) faller i tilstandsklasse II (0,05 – 0,52 mg/kg sediment, god).

**Nikkel (Ni)**

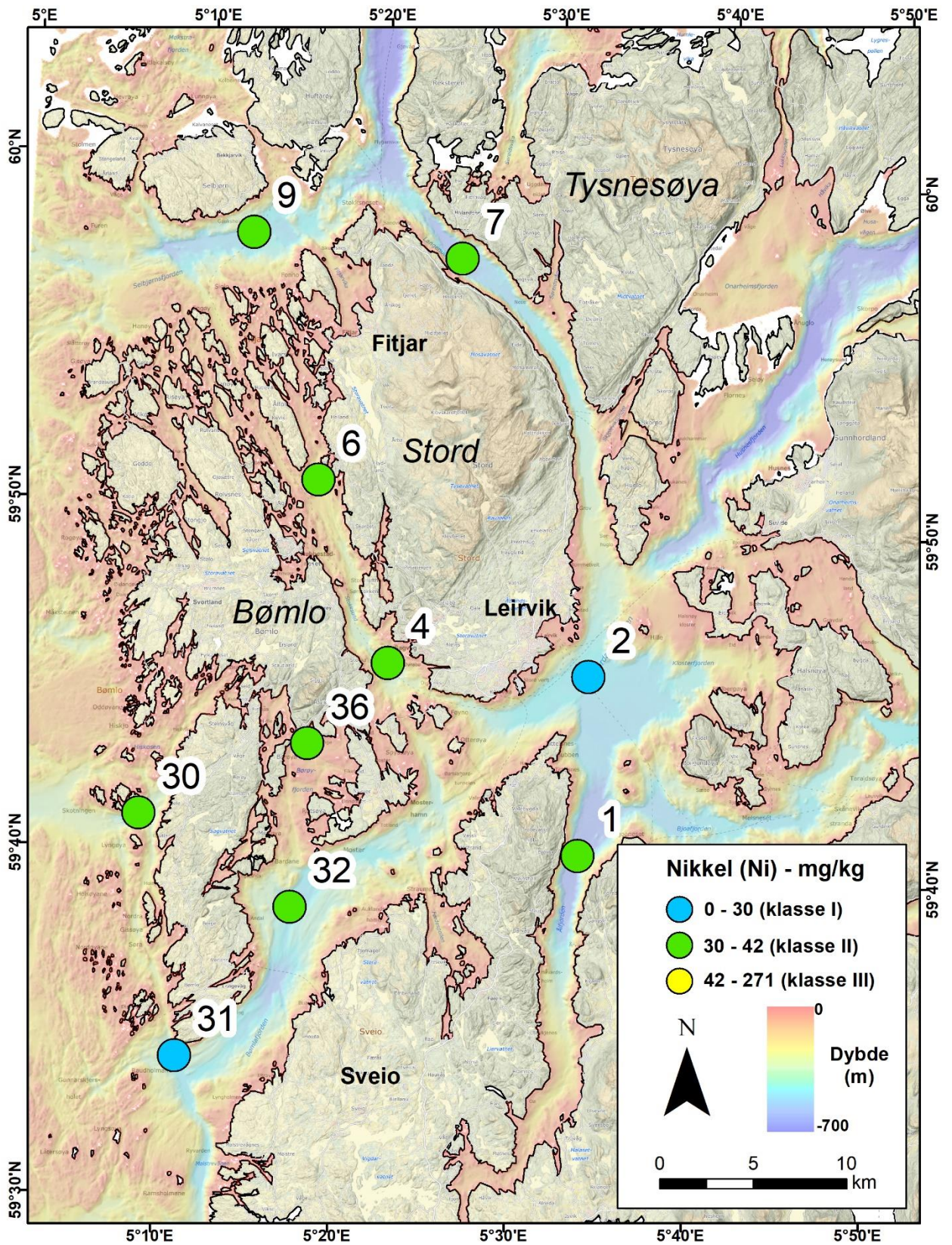
Ni-konsentrasjonen varierer fra 21,6 til 38,5 mg/kg med generelt lite variasjon (figur 14a). I Stokksund Nord (prøve 6) er Ni-innholdet i overflatesedimentene høyest (38,5 mg/kg). Det noteres at Ni-innholdet i to prøver (2, og 31) fra henholdsvis Halsnøyfjorden og Bømlahuk faller i tilstandsklasse I (0-30 mg/kg sediment, bakgrunn, figur 14b). Alle andre prøver viser Ni-konsentrasjon tilsvarende dagens tilstandsklasse II (god).

**Sink (Zn)**

Zn-konsentrasjonen er veldig høye i studieområdet og varierer fra 74,8 til 143 mg/kg sediment (figur 15a), med den høyeste verdien i prøve 7 i Langenuen (143 mg/kg). Klassifisert etter Miljødirektoratets grenseverdier (figur 15b) plasserer fire av ti overflateprøver (7, 8, 15, 19) seg i tilstandsklasse II (90-139 mg/kg sediment, god), mens resterende prøver har bakgrunnskonsentrasjoner (<90 mg/kg sediment).

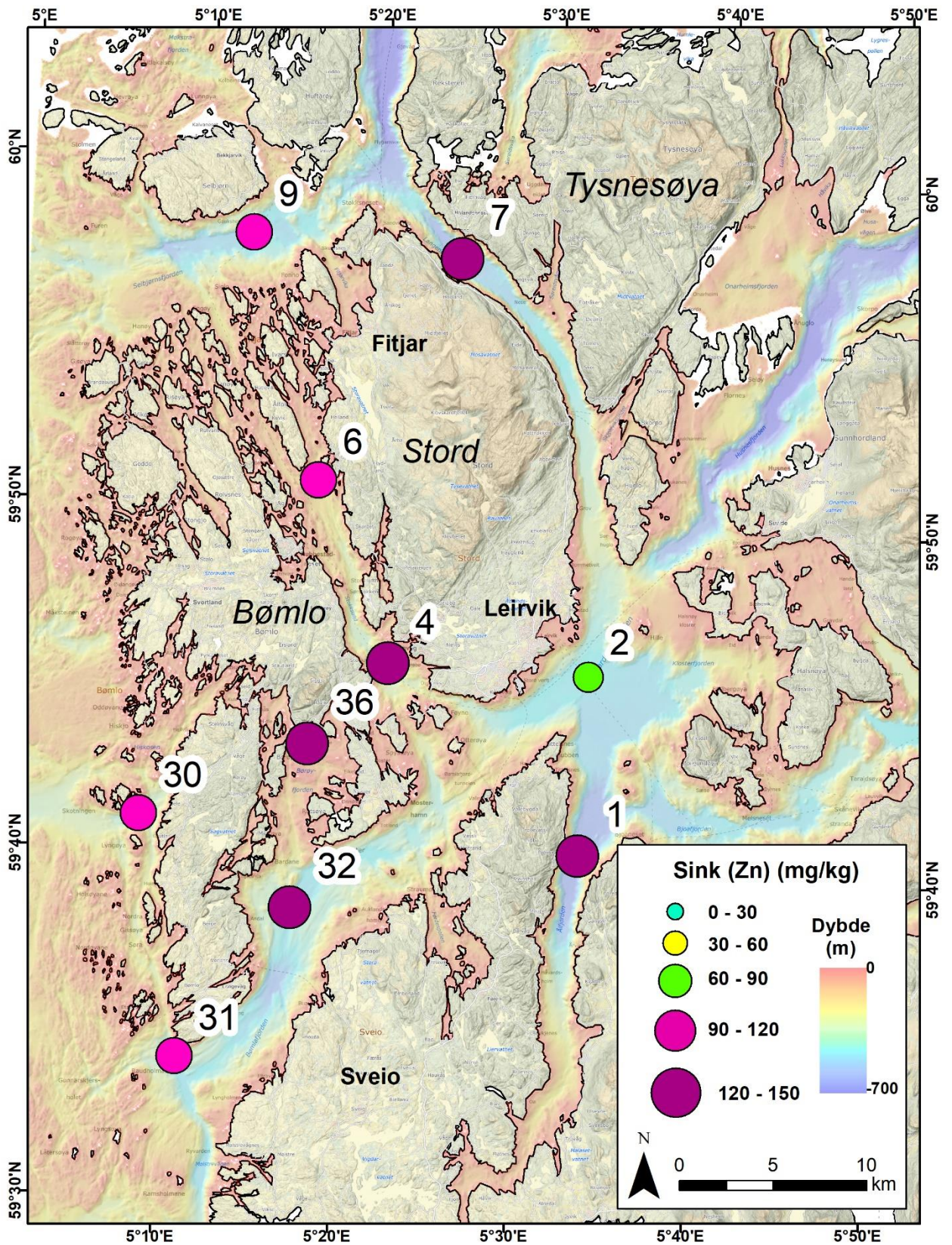


Figur 14a. Nikkelkonsentrasjon i overflatesedimentene.

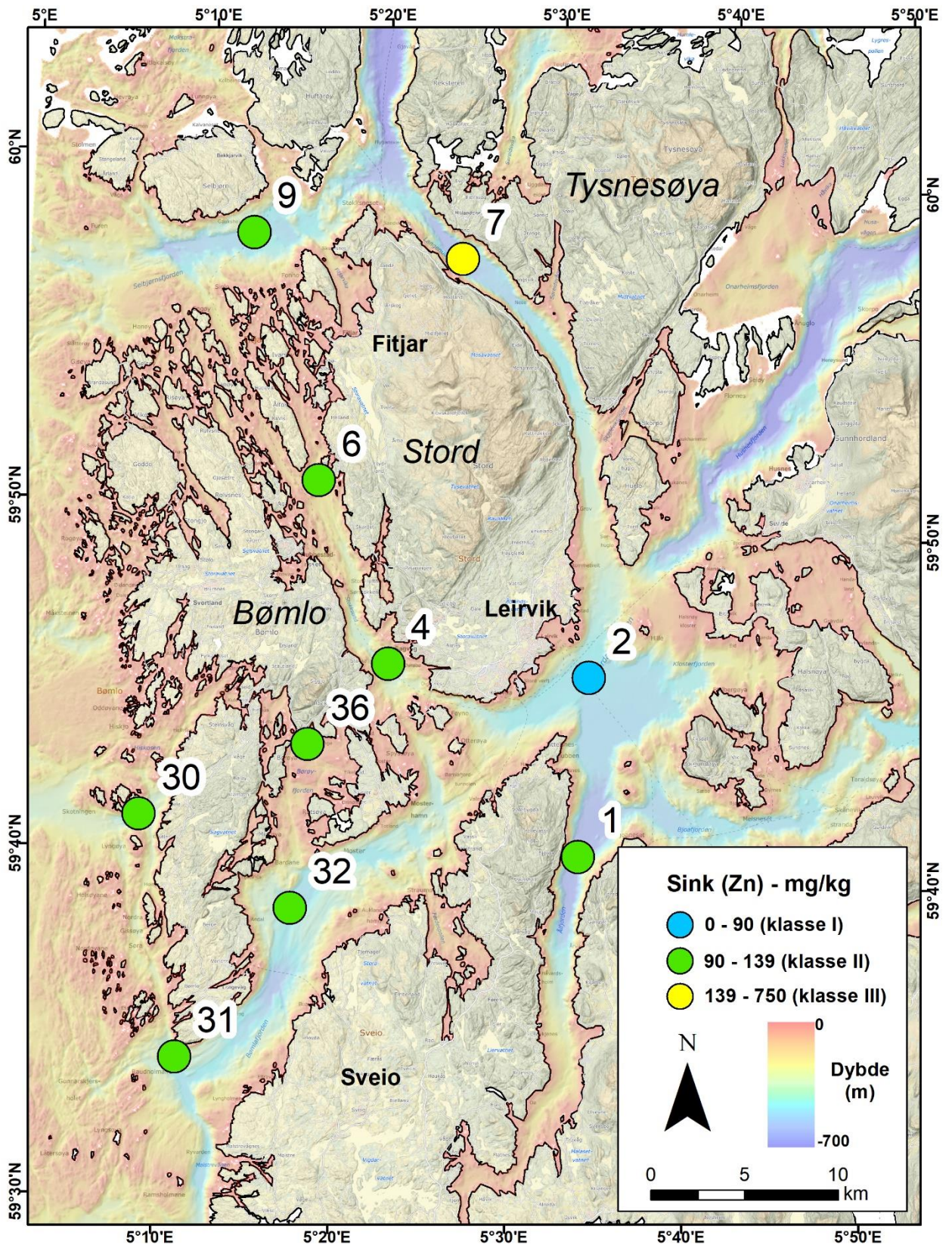


Figur 14b. Nikkeltkonsentrasjon i overflatesedimentene klassifisert i henhold til Vannforskriften.





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.**

<b>Kjemisk stoff</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Arsen (As) [mg/kg]	10,8	22,5
Bly (Pb) [mg/kg]	33,9	68,5
Kadmium (Cd) [mg/kg]	< 0,1	0,11
Kobber (Cu) [mg/kg]	17,7	48,8
Krom (Cr) [mg/kg]	30,2	52,3
Kvikksølv (Hg) [mg/kg]	0,04	0,094
Nikkel (Ni) [mg/kg]	21,6	38,5
Sink (Zn) [mg/kg]	74,8	143

**Tabell 4. Grenseverdier for klassifisering av tungmetaller i sediment, basert på Miljødirektoratets veileder M-608 (2016, revidert i 2020), som følger EUs vanddirektiv 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) (Bakke m. fl. (2010); Miljødirektoratets veileder M-608 (2016, revidert i 2020)). Uthevet skrift viser antall prøver i hver klasse i overflatesedimentene (0-2 cm for metaller) i studieområdet.**

Parameter	Under deteksjonsgrense	Forurensingsnivå				
		I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg TS) As		< 15 <b>5</b>	15-18 <b>3</b>	18-71 <b>2</b>	71-580 <b>0</b>	> 580 <b>0</b>
Bly (mg/kg TS) Pb		< 25 <b>0</b>	25-150 <b>10</b>	150-1480 <b>0</b>	1480-2000 <b>0</b>	2000-2500 <b>0</b>
Kadmium (mg/kg) Cd	< 0,1 <b>9</b>	< 0,2 <b>1</b>	0,2-2,5 <b>0</b>	2,5-16 <b>0</b>	16-157 <b>0</b>	> 157 <b>0</b>
Kobber (mg/kg TS) Cu		< 20 <b>1</b>	20-84 <b>9</b>	84-84 <b>0</b>	84-147 <b>0</b>	> 147 <b>0</b>
Krom (mg/kg TS) Cr		< 60 <b>10</b>	60-620 <b>0</b>	620-6000 <b>0</b>	6000-15500 <b>0</b>	15500-25000 <b>0</b>
Kvikksølv (mg/kg) Hg		< 0,05 <b>1</b>	0,05-0,52 <b>9</b>	0,52-0,75 <b>0</b>	0,75-1,45 <b>0</b>	> 1,45 <b>0</b>
Nikkel (mg/kg TS) Ni		< 30 <b>2</b>	30-42 <b>8</b>	42-271 <b>0</b>	271-533 <b>0</b>	> 533 <b>0</b>
Sink (mg/kg TS) Zn		< 90 <b>1</b>	90-139 <b>8</b>	139-750 <b>1</b>	750-6690 <b>0</b>	> 6690 <b>0</b>

### 3.1.3 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 Bakgrunn	Klasse II God	Klasse III Moderat	Klasse IV Dårlig	Klasse V 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, acenaftalen, 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 Sunnhordland er gitt i tabell 6 og på kartene i figurene 16 - 20.

**Tabell 6. Gjennomsnitts-, minimums- og maksimumsnivåer av hydrokarboner i overflatesedimenter (0-2 cm) fra ti lokaliteter i Sunnhordland. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.**

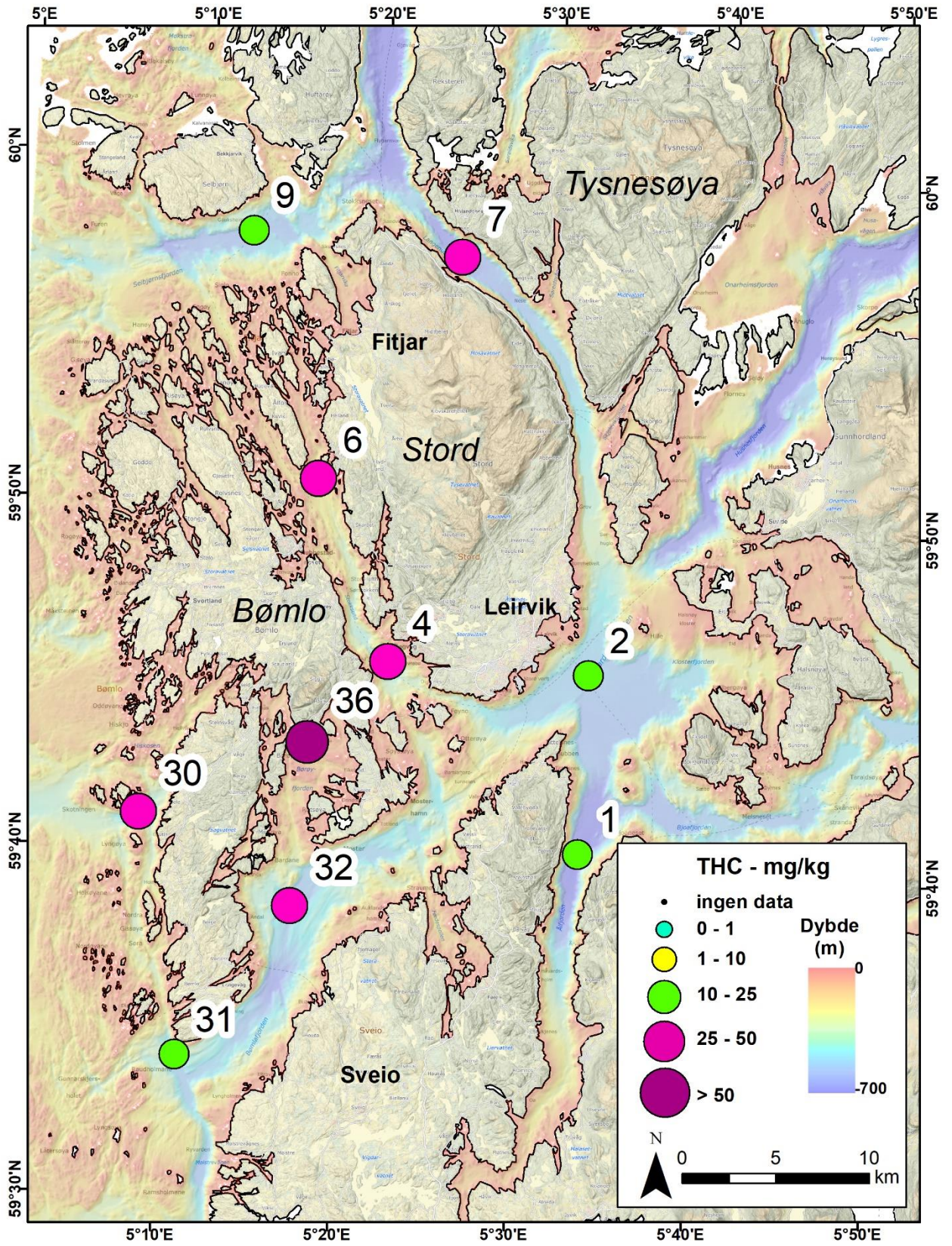
Nivå	THC <i>mg/kg tv.</i>	Sum 49 PAH <i>µg/kg tv.</i>	NPD <i>µg/kg tv.</i>	PAH16 <i>µg/kg tv.</i>	Benzo[a]pyren <i>µg/kg tv.</i>
Min.	12	518	120	354	18
Gjennomsnitt	30	1205	256	835	46
Maks.	70	1594	389	1206	64

Totale hydrokarbonnivåer (THC, figur 16) er høyest (70 mg/kg tørrvekt) på stasjon 36 i Børøyfjorden, trolig på grunn av meget høyt TOC-innhold på denne lokaliteten (5,0% TOC, se kapittel 3.1.1). De laveste THC-nivåene, 12 mg/kg tørrvekt, finner man ved stasjon 1 i Halsnøyfjorden, der også TOC-innholdet er på sitt laveste (1,1 %). I gjennomsnitt ligger THC-nivåene på 30 mg/kg tørrvekt, noe som er normalt for kystsonen. Miljødirektoratet har ikke etablert tilstandsklasser for THC, men nivåer under 50 mg/kg tørrvekt anses som lave (OSPAR 2009).

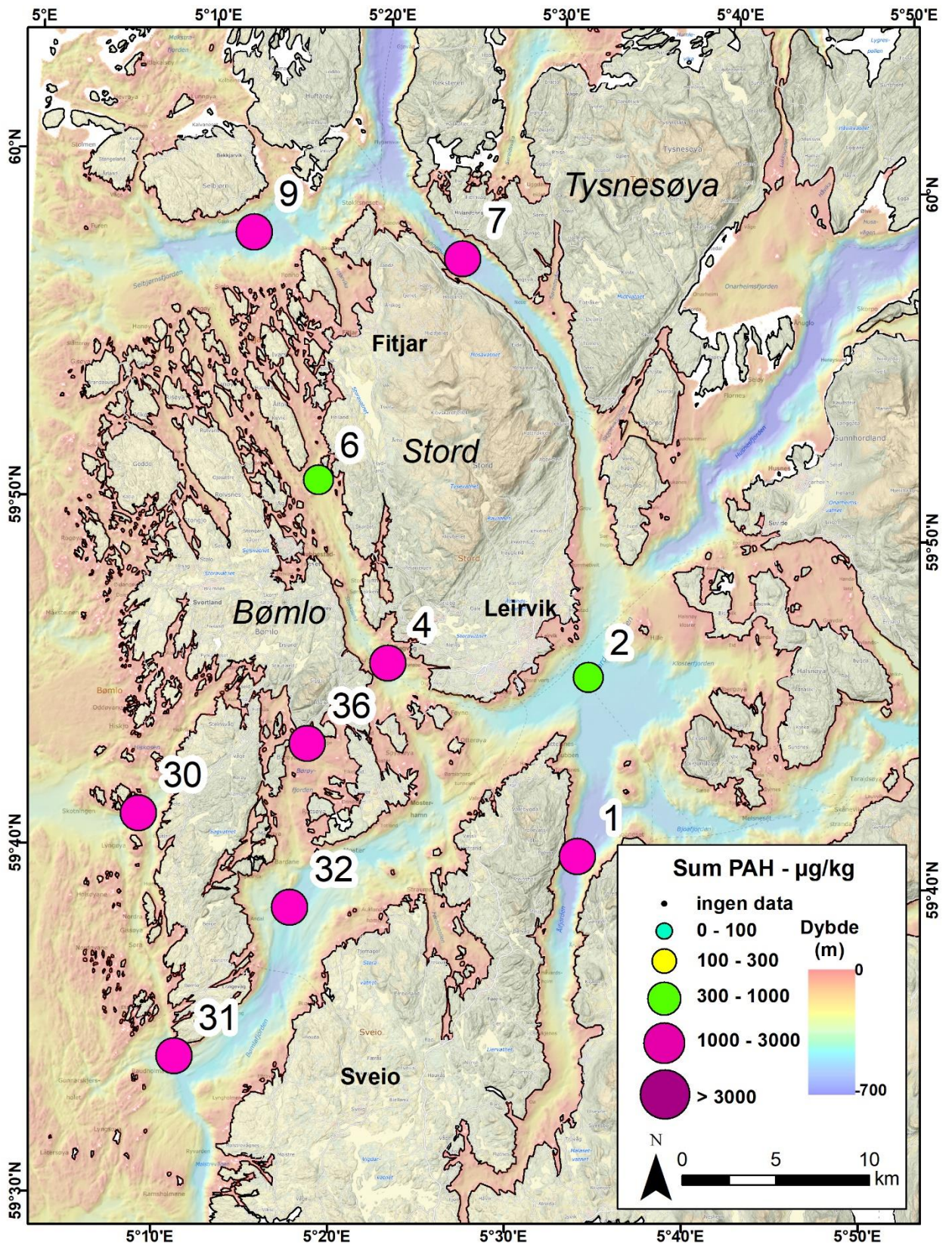
Summerte PAH-nivåer (figur 17) viser også en god sammenheng med TOC-innholdet, med maksimale nivåer (1594 µg/kg tørrvekt) på stasjon 36 og de laveste på stasjon 1 (512 µg/kg tørrvekt). PAH-nivåene er generelt noe forhøyet ved alle stasjoner, og ligger på 1205 µg/kg tørrvekt i gjennomsnitt. Dette er på nivå med det som er funnet i fjordene rundt Stavanger, men er høyere enn det som ble funnet i enkelte andre norske fjordområder i nord, som er utsatt for mindre påvirkning fra menneskelig aktivitet (Knies mfl. 2021; Knies mfl. 2022). Samtidig er dette betydelig lavere enn det man finner enkelte andre steder i norske havområder der det finnes naturlige forekomster av hydrokarboner (se for eksempel Boitsov og Sanden 2020).

Forurensningssituasjonen for hydrokarboner kan belyses videre ved å vurdere PAH-indikatorene NPD (figur 18) og PAH16 (figur 19). NPD-nivåer ligger relativt lavt i hele området, maksimalt på 389 µg/kg tørrvekt på stasjon 30 (Geitungssosen). Resultatene tyder på lite oljeforurensning eller andre petrogene tilførsler i sedimentene. PAH-sammensetningen er dermed dominert av pyrogene (forbrenningsrelatert) PAH, med ca. 3-5 ganger høyere nivå av PAH16 enn av NPD, opptil 1206 µg/kg tørrvekt PAH16 på stasjon 36. Dette kan tyde på bl.a. menneskeskapte tilførsler fra f.eks. kullfyring, eksos, industri m.m. Dette diskuteres videre i kapittel 3.2 der resultater av studier av sedimentkjerner presenteres. Disse nivåene er likevel relativt lave, og ligger ifølge Miljødirektoratets klassifisering i tilstandsklasse II, «God tilstand» (se tabell 5).

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 64 µg/kg tørrvekt ved stasjon 36. Nivåene er noe forhøyet ved alle stasjoner, og ligger i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», ved alle stasjonene.

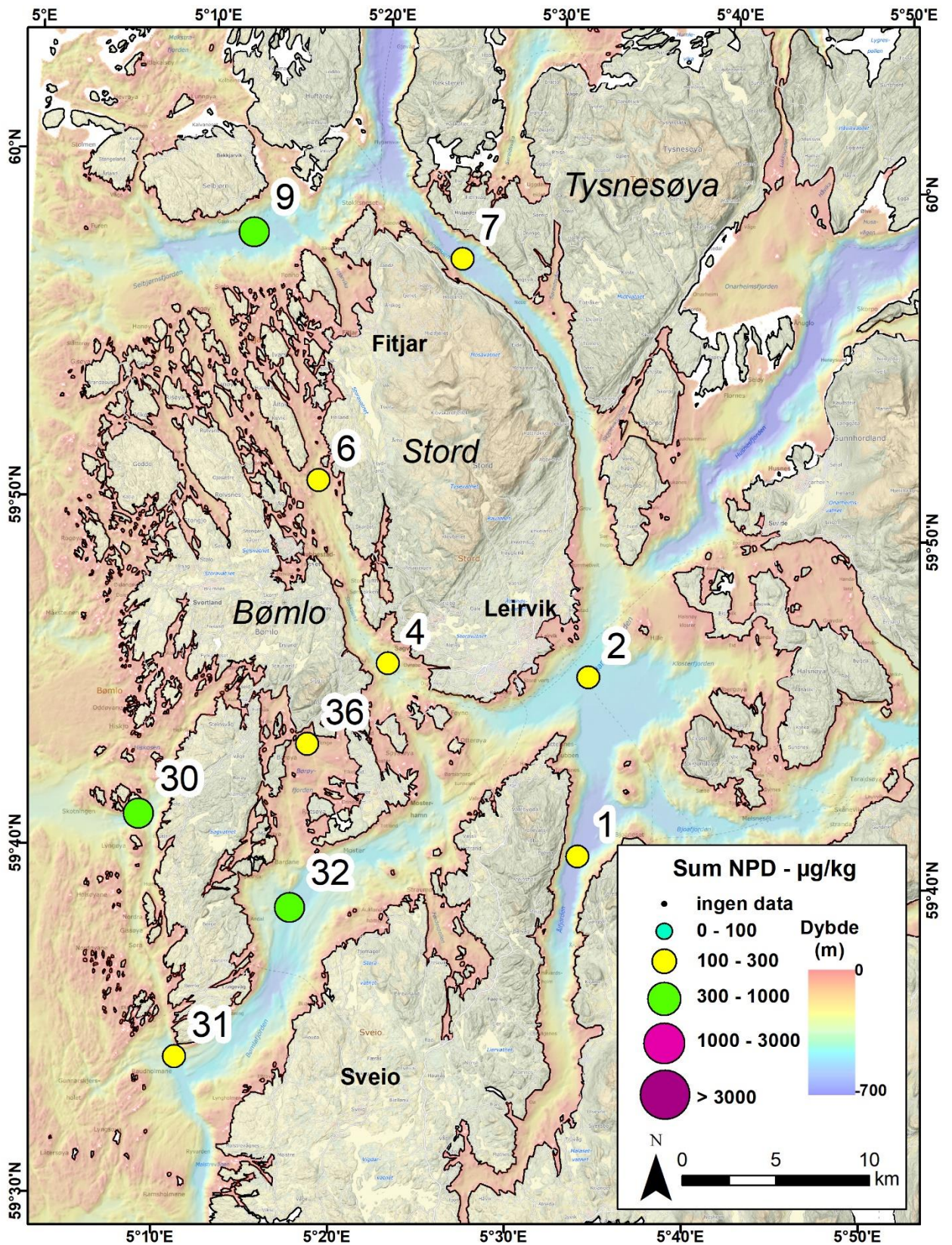


Figur 16. Nivåer av THC i overflatesedimenter.

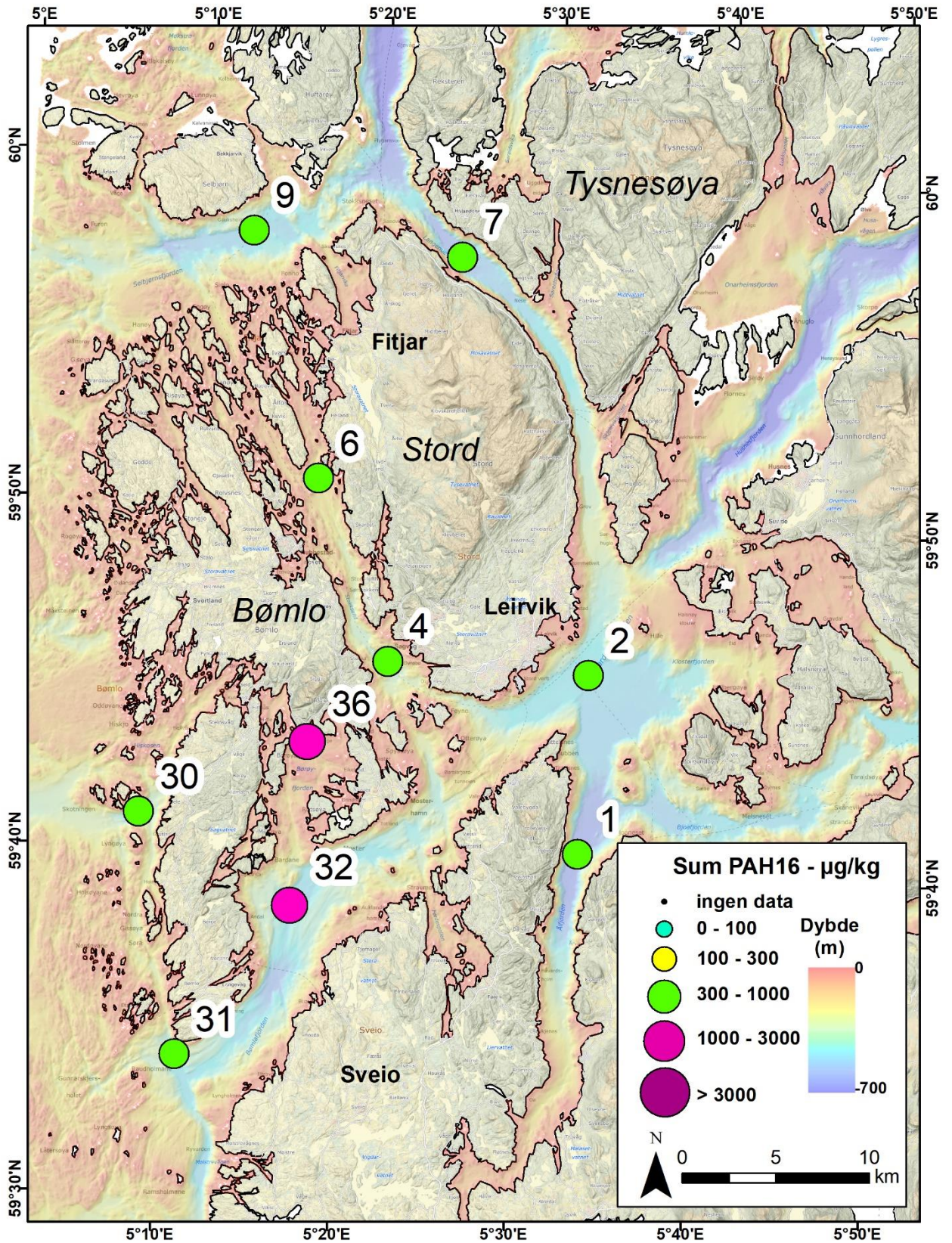


Figur 17. Summerte nivåer av PAH (49 forbindelser) i overflatesedimenter.

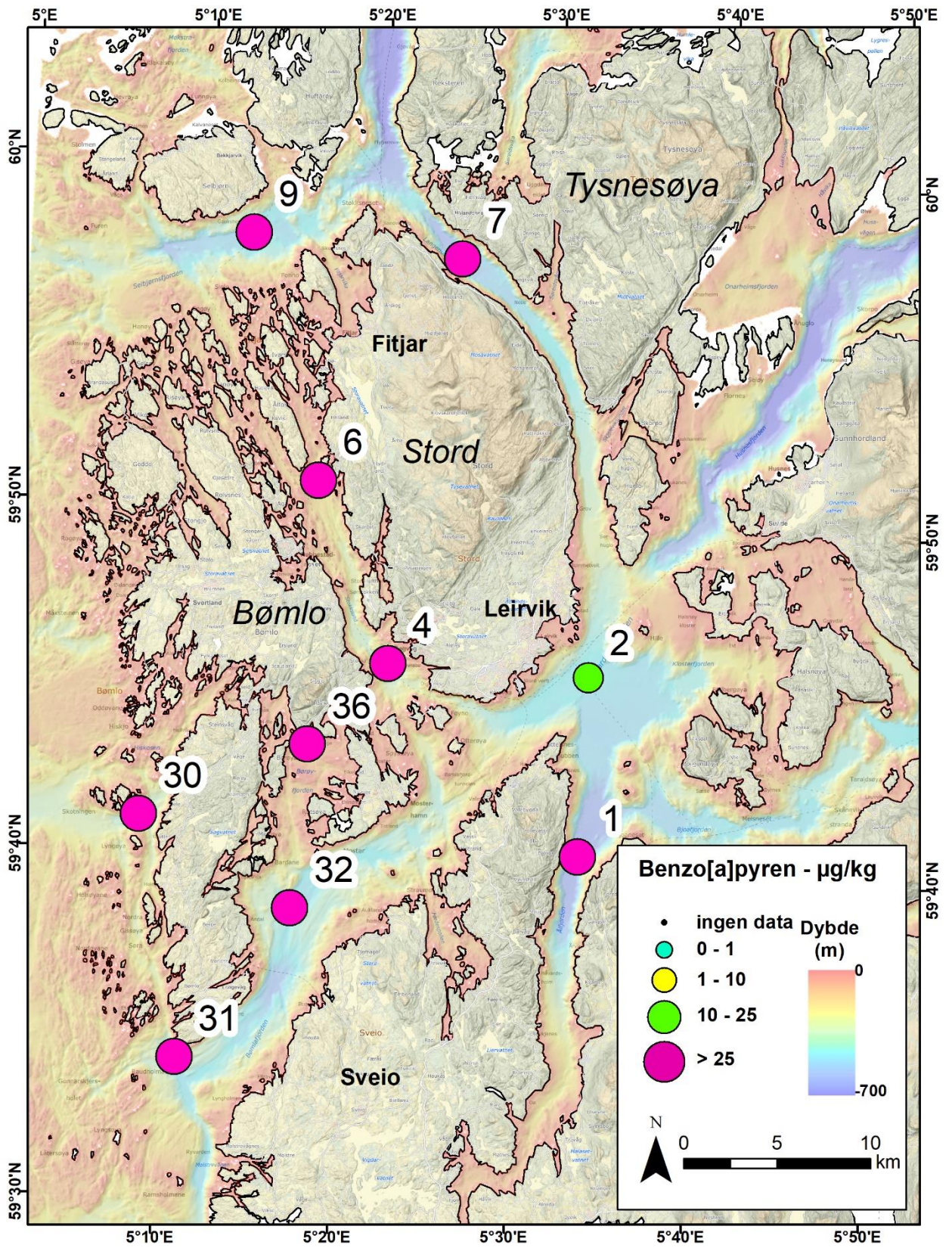




Figur 18. Summerte nivåer av NPD i overflatesedimenter.



Figur 19. Summerte nivåer av PAH16 i overflatesedimenter.



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

### PBDE, PCB og klorerte pesticider

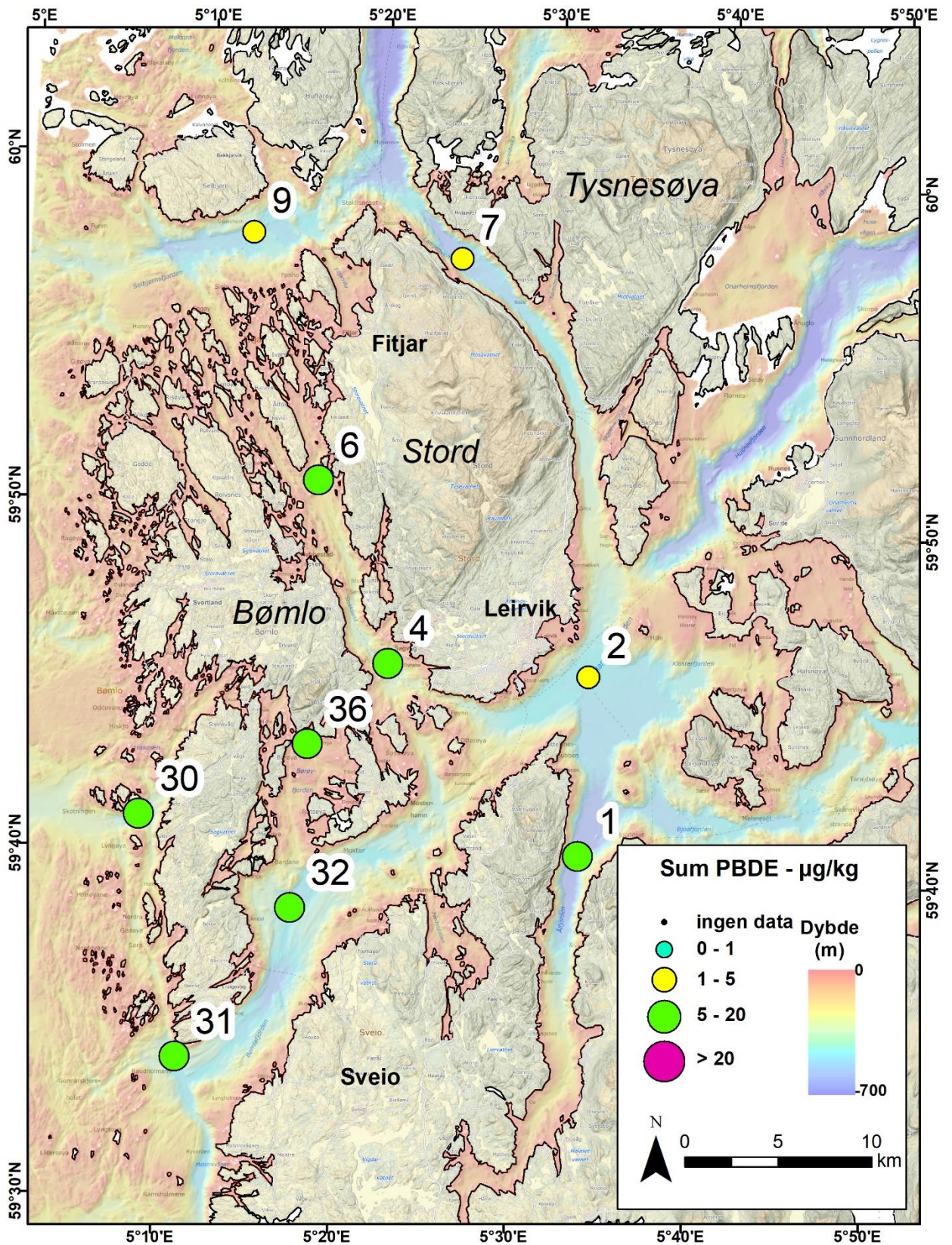
Oppsummering av nivåer av de persistente organiske miljøgiftene PBDE, PCB og klorerte pesticider, funnet i overflateprøvene fra Sunnhordland, er gitt i tabell 7 og på kartene i figurene 21 - 27.

**Tabell 7. Gjennomsnitts-, minimums- og maksimumsnivåer av PBDE, PCB og klorerte pesticider i overflatesedimenter (0-2 cm) fra ti lokaliteter i Sunnhordland. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.**

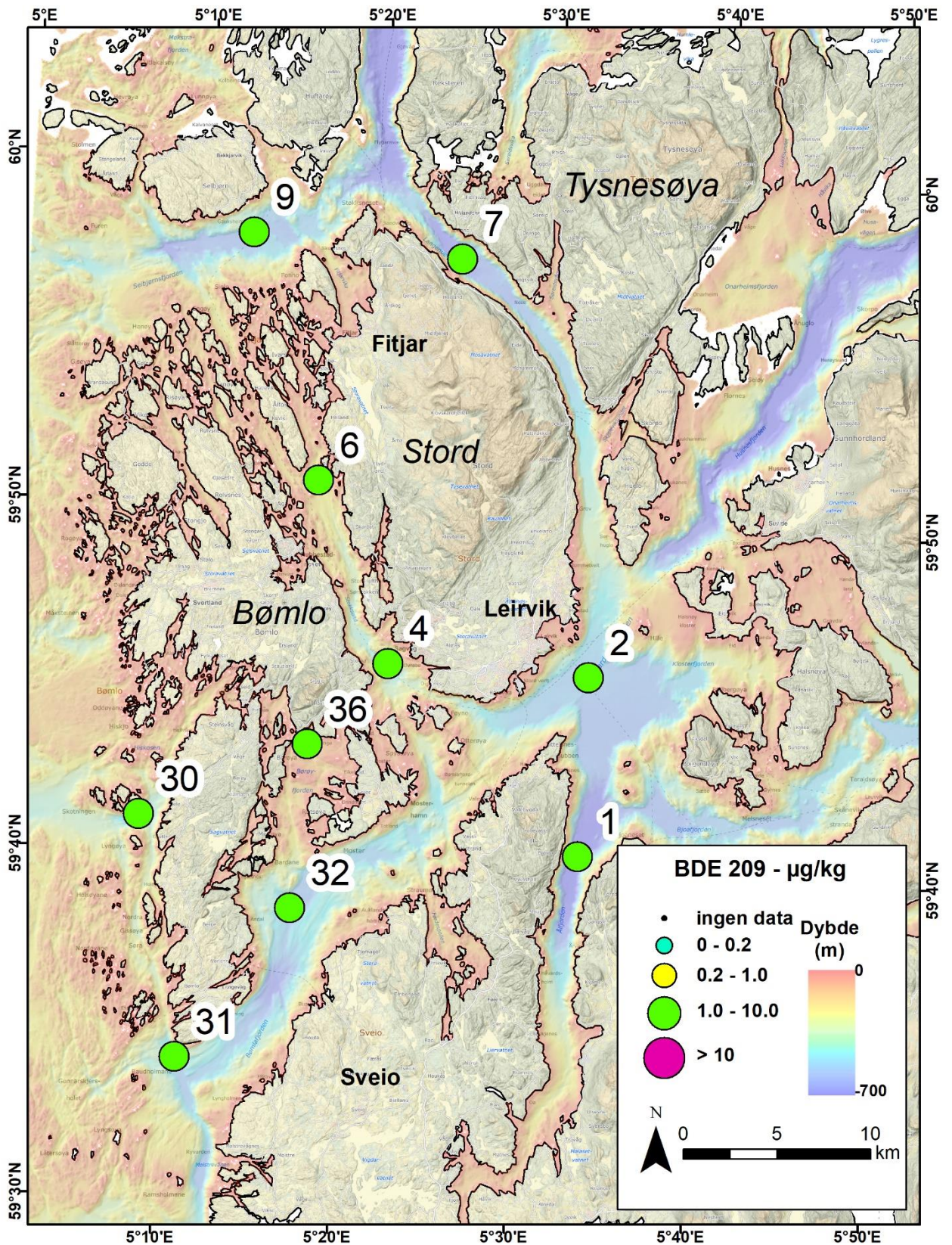
Nivå, µg/kg tv.	Sum PBDE	6 PBDE	BDE-209	PCB7	Sum DDT	γ-HCH	Sum HCH	HCB	TNC
Min.	3,3	0,15	2,2	0,53	0,21	<0,02	<0,06	0,06	<0,02
Gjennomsnitt	6,8	0,36	5,2	1,7	0,58	0,03	<0,06	0,11	<0,02
Maks.	11	0,83	9,7	5,6	1,6	0,05	<0,06	0,17	0,02

Blant bromerte og klorerte miljøgifter rapportert her er det bromerte flammehemmere, PBDE, man finner i største mengder i prøvene. Nivåene varierer noe og ligger på sitt høyeste (11 µg/kg tørrvekt for Sum PBDE) ved stasjonene 30 og 32 ved Geitungssosen og i Bømlafjorden, se kart i figur 21. PBDE-sammensetningen i alle prøvene domineres av den fullbromerte kongeneren, BDE-209, som utgjør fra 54% til 87% av PBDE-innholdet. Dette peker på deka-blanding som hovedkilde for PBDE-forurensning i området. Miljødirektoratet har ikke etablert tilstandsklasser for BDE-209, men nivåene funnet i prøvene er tydelig forhøyet og ligger på opptil 9,7 µg/kg tv. ved stasjon 30 (figur 22). Dette kan sammenlignes med tidligere funn av PBDE-forurensning i Ålesund-området hvor tilsvarende nivåer av BDE-209 ble funnet (Knies m.fl. 2021), men er lavere enn det som ble funnet i noen belastede områder langs norskekysten tidligere (se referanser til tidligere rapporter i Knies m.fl. 2021). Resten av PBDE-kongenere ligger lavt i prøvene, og tilsvarer for summen av 6 PBDE Miljødirektoratets tilstandsklasse II («God tilstand»). Siden det ikke finnes noe naturlig bakgrunnsnivå for disse menneskeskapt miljøgiftene, er tilstandsklasse II den laveste som er etablert for disse stoffene. Dette tyder på ingen vesentlig bidrag fra penta- og okta-blandinger til PBDE-sammensetningen i sedimentene.

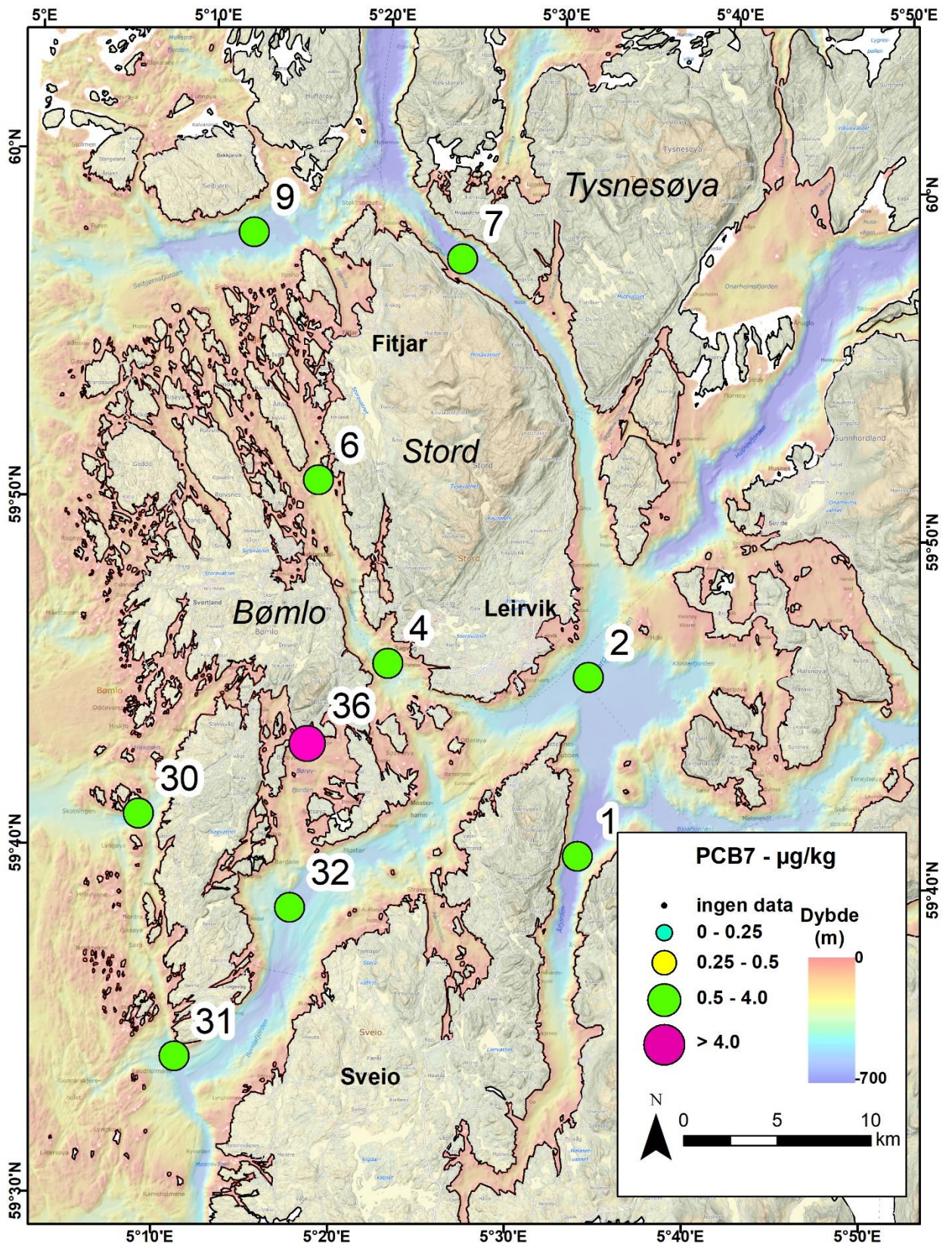
Nivåer av de fleste klorerte miljøgifter er lave eller veldig lave i prøvene, og under kvantifiseringsgrensene (LOQ) for flere av stoffene. Unntaket er PCB7, som er noe forhøyet i noen av prøvene, og ligger i gjennomsnitt på 1,7 µg/kg tv. Dette tilsvarer Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand». Ved én lokalitet, stasjon 36 i Børøyfjorden, kommer PCB7-nivået i tilstandsklasse III, «Moderat forurenset», på 5,7 µg/kg tørrvekt. Dette korrelerer godt med høyt TOC-nivå i sedimenter fra denne lokaliteten. Miljøgiften DDT har et svakt forhøyet nivå ved samme stasjon 36, 1,6 µg/kg tørrvekt, og ligger ellers lavt i prøvene. Resten av klorerte miljøgifter er kun funnet i meget lave mengder, og ligger alle i Miljødirektoratets tilstandsklasse II, «God tilstand», for alle forbindelser som det er etablert tilstandsklasser for (se tabell 5).



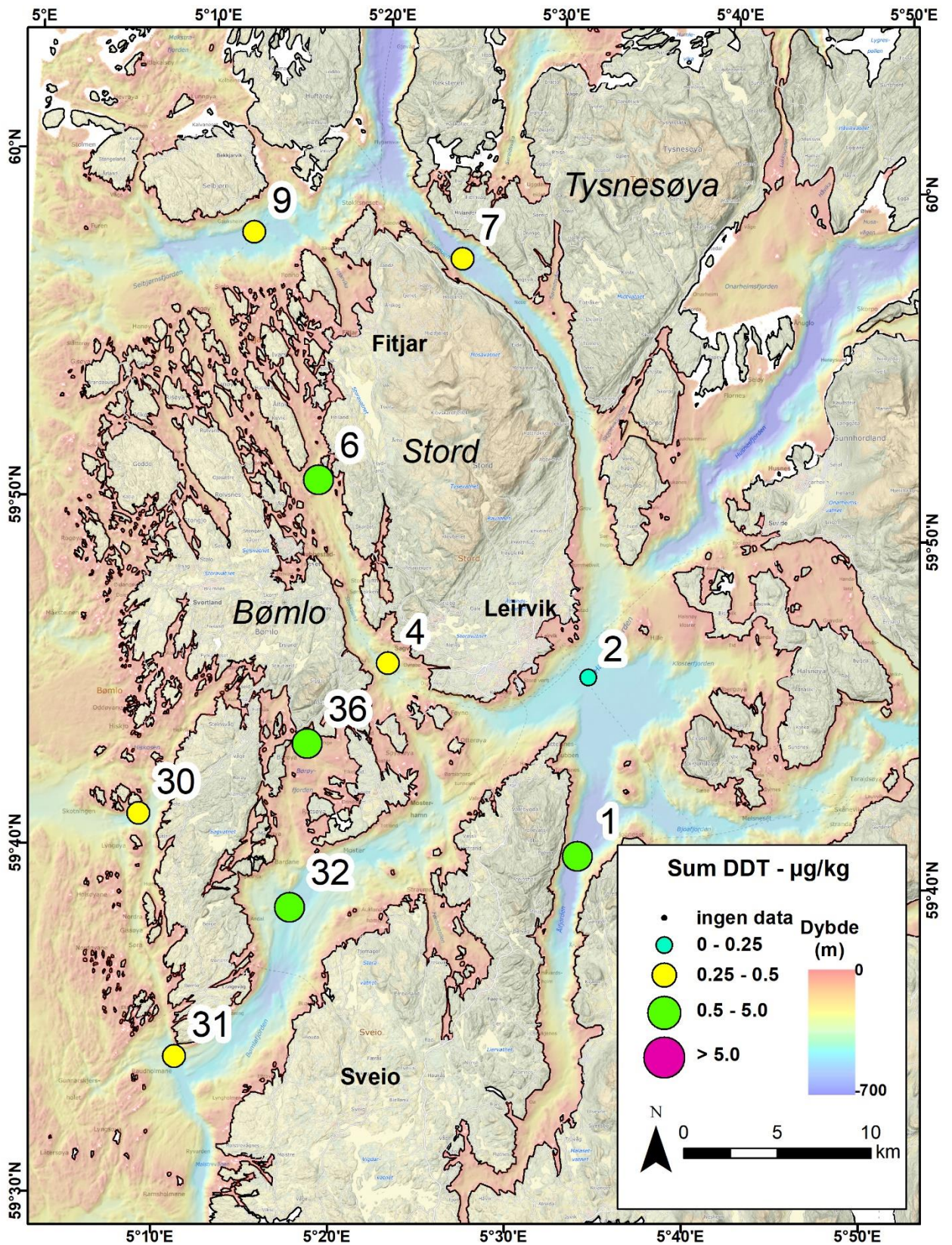
Figur 21. Summerte nivåer av PBDE (19 kongenerer) i overflatesedimenter.



Figur 22. Nivåer av BDE-209 i overflatesedimenter.

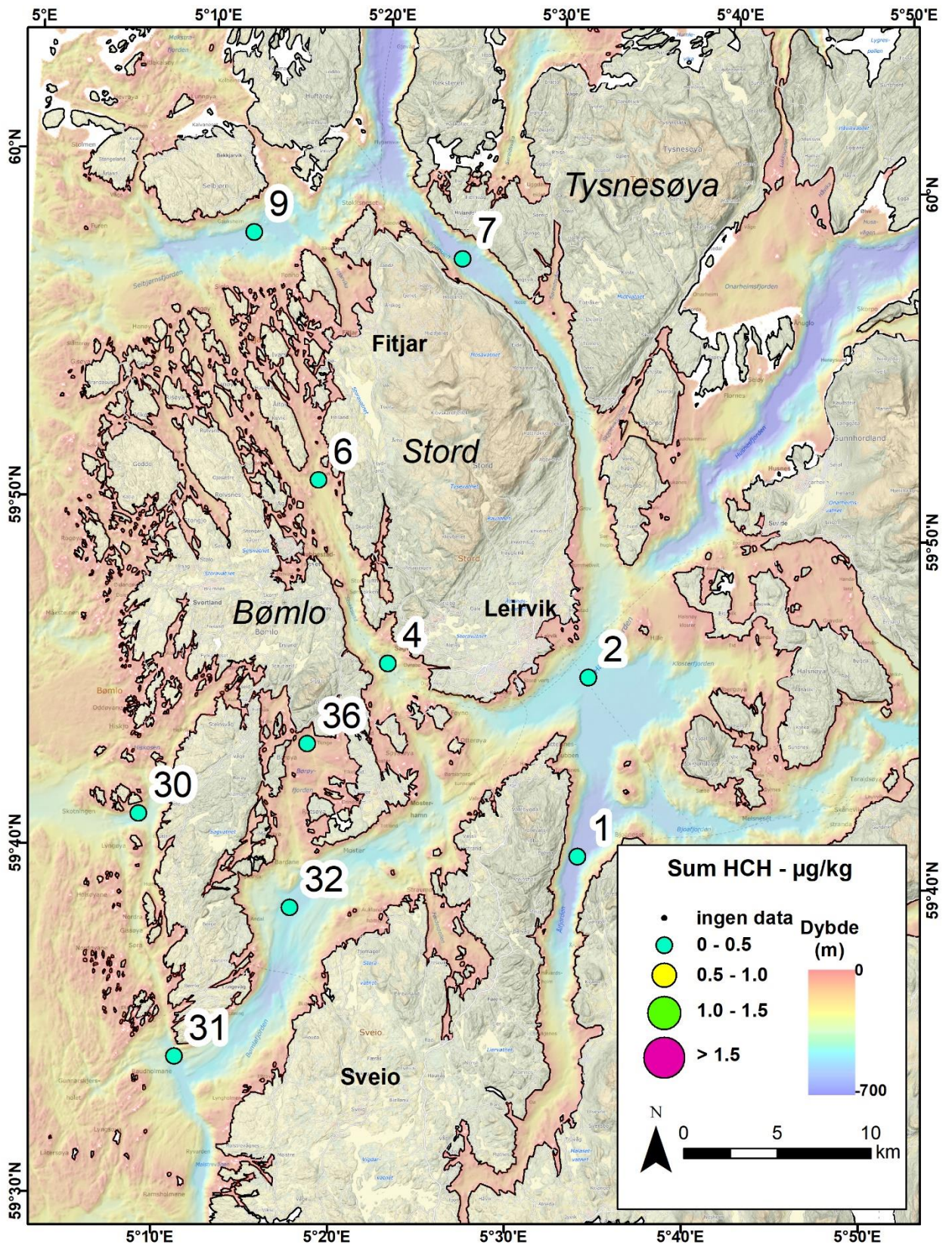


Figur 23. Nivåer av PCB7 i overflatesedimenter.

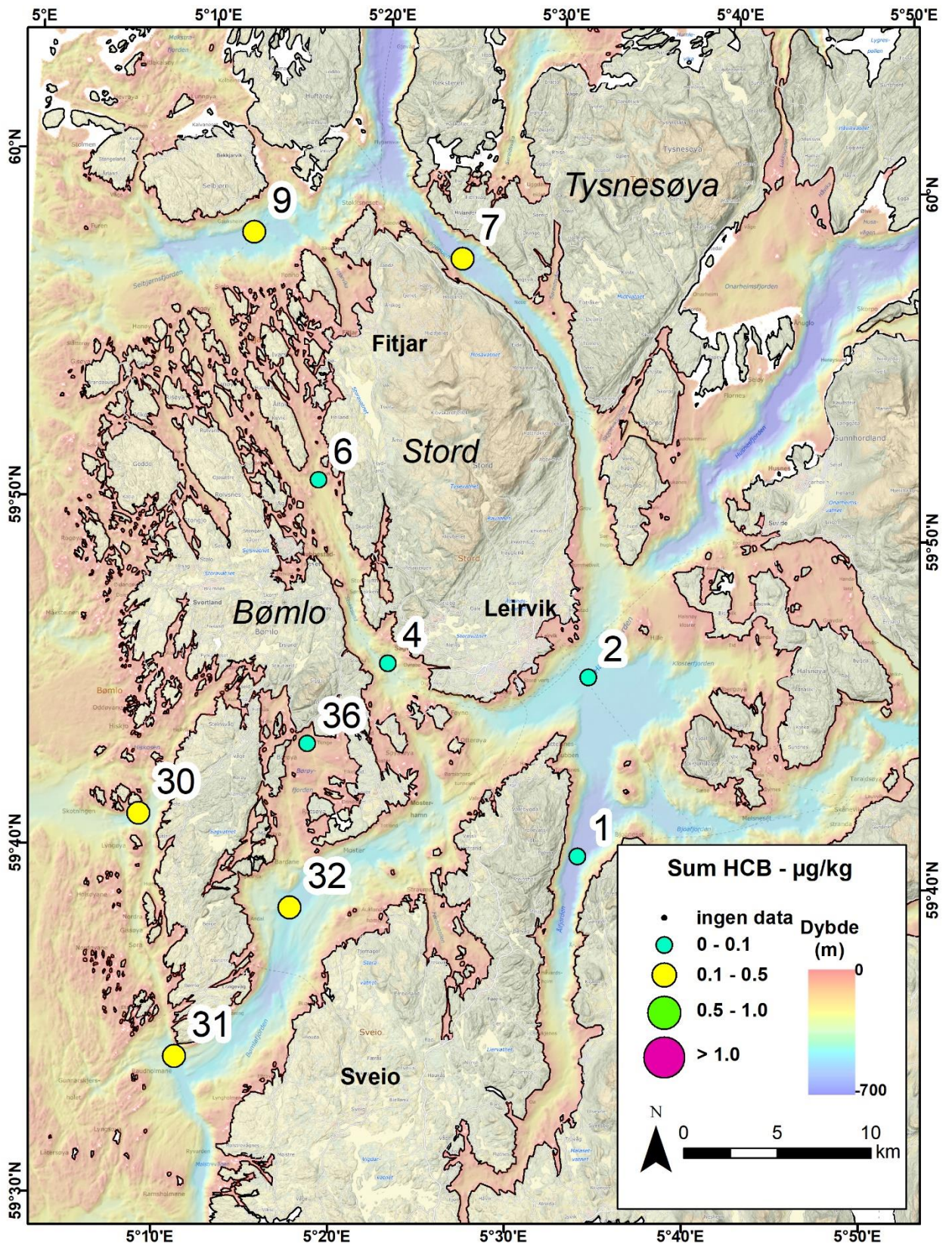


Figur 24. Summerte nivåer av DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE) i overflatesedimenter.

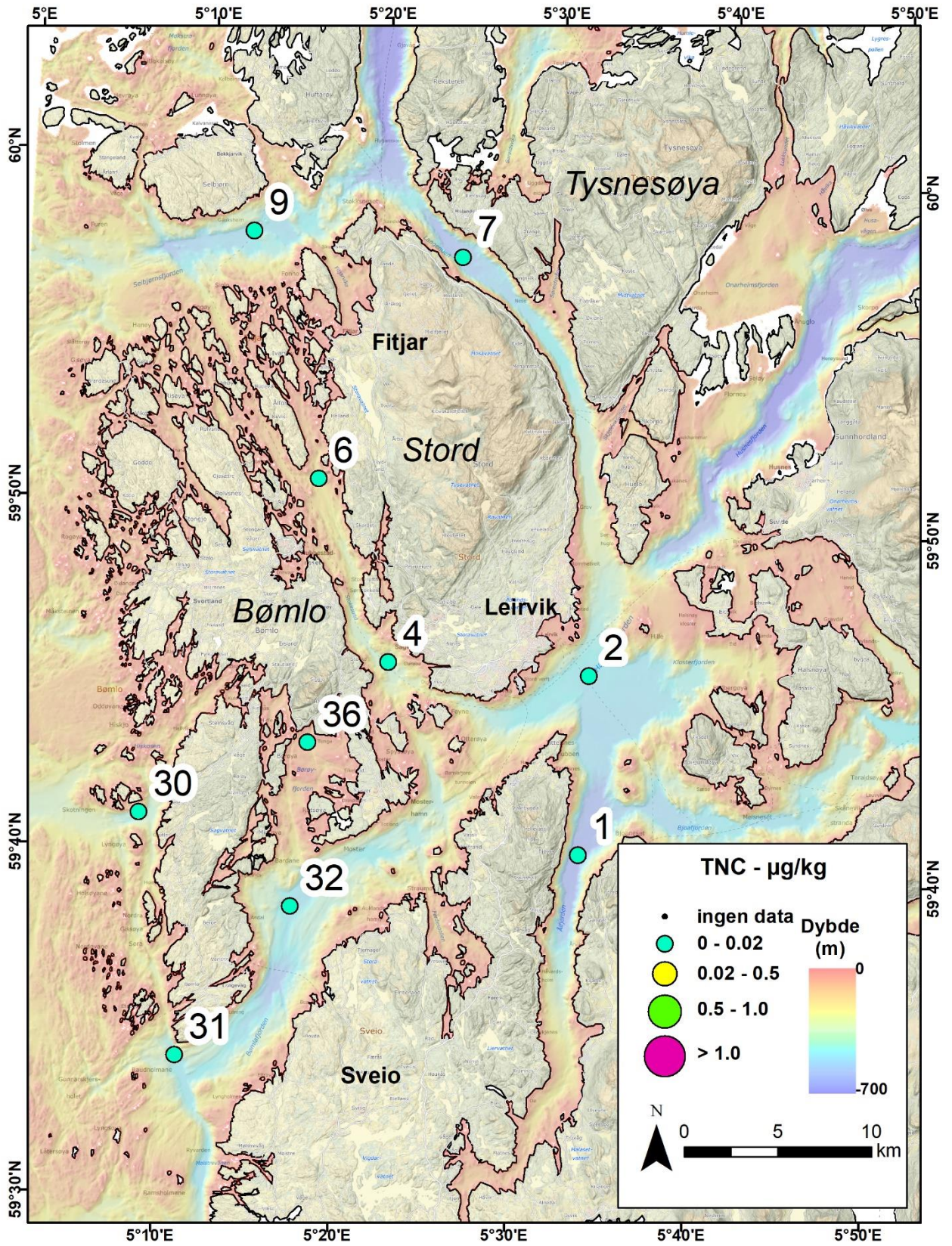




Figur 25. Summerte nivåer av HCH i overflatesedimenter.



Figur 26. Nivåer av HCB i overflatesedimenter.



Figur 27. Nivåer av TNC i overflatesedimenter

## PFAS

Oppsummering av nivåer av PFAS funnet i overflateprøvene fra Sunnhordland, er gitt i tabell 8 og på kart i figur 28. Kun et utvalg prøver ble analysert for PFAS, se tabell 2.

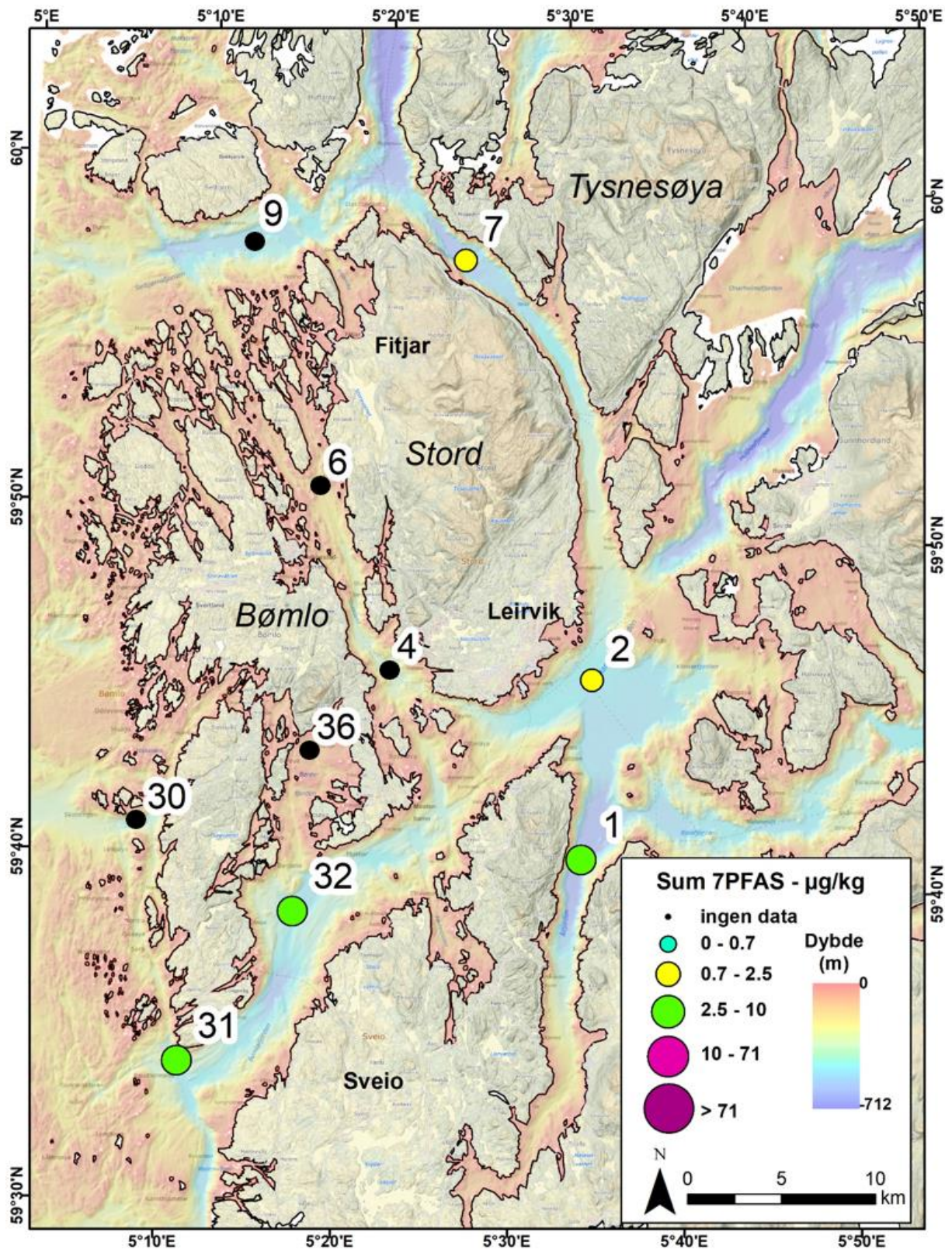
**Tabell 8. Gjennomsnitt-, minimums- og maksimumsnivåer av PFAS i overflatesedimenter (0-2 cm) fra fem lokaliteter i Sunnhordland. Miljødirektoratets tilstandsklasser er vist med farge i samsvar med tabell 5.**

Nivå, µg/kg tv.	PFOS	PFOA	Sum 7 PFAS
Min.	0,46	0,31	1,5
Gjennomsnitt	0,83	0,52	2,5
Maks.	1,2	0,84	3,7

Av de 22 PFAS som er analysert i prøvene, er det 12 som er funnet over LOQ i minst en prøve, og seks som er funnet over LOQ i samtlige prøver. De samme seks stoffene, i tillegg til tre andre, er tidligere funnet i marine sedimenter i fjordene rundt Stavanger, mens syv av disse ble funnet forskjellige steder i åpent hav av MAREANO (se for eksempel Boitsov og Klungøy (2018), Boitsov og Sanden (2020)). De ble da rapportert som 7 PFAS. Samme betegnelsen beholdes her for å kunne sammenligne resultatene. Nivåer av 7 PFAS funnet i Sunnhordland (se kart i figur 28) ligger ganske likt med det som er funnet tidligere i studiene nevnt ovenfor. Nivåene kan derfor vurderes som relativt lave, i tråd med tidligere studier.

Miljødirektoratet har kun etablert tilstandsklasser for to PFAS-enkelforbindelser, som vist i tabell 5. Av disse ligger PFOA i tilstandsklasse II, «God tilstand», i alle prøver, mens PFOS finnes i største mengde blant alle PFAS, i tilstandsklasse III, «Moderat forurensning», i samtlige prøver. Nivåene i tilstandsklasse III er likevel relativt lave, i gjennomsnitt på 0,83 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.

### 1.1 3.2 Sedimentkjerneprøver

Under feltarbeidet med F/F Geologen i mai-juni 2023 hentet NGU opp tre korte sedimentkjerner fra utvalgte lokaliteter (figur 1, tabell 9). Lokalitetene samsvarer med tre av stasjonene for overflateprøver beskrevet ovenfor. 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 vanddyp for 3 sedimentkjerner.**

Stasjon Kjerneprøver	Kort stasjons- nummer	Område	Geografiske koordinater (desimalgrader)		Vanddyp (m)
			Nord	Øst	
P2301002C	2	Halsnøyfjorden	59,76089	5,55302	355
P2301004A	4	Stokksund S	59,76259	5,36167	262
P2301009A	9	Selbjørnsfjorden	59,96563	5,21129	373

#### 3.2.1 Kronologi og sedimentasjons hastighet

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 i hvilket tidsrom sedimentene i kjerneprøven er blitt avsatt. Vi bruker  $^{210}\text{Pb}$ -aktiviteten (blydatering) i kjerneprøver for å aldersbestemme sedimentene. Når all tilgjengelig aldersinformasjon kombineres, kan vi rekonstruere sedimentasjons hastigheter (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  $^{210}\text{Pb}$ -aktiviteten i sedimentene. Isotopen  $^{210}\text{Pb}$  har en halveringstid på 22,3 år. Bakgrunnsverdien for  $^{210}\text{Pb}$  bestemmes ut fra mengden av  $^{210}\text{Pb}$ -bakgrunnsstråling (= "supported"  $^{210}\text{Pb}$ ), som er uavhengig av sedimentasjon. Bestemmelsen av  $^{210}\text{Pb}$ -bakgrunnsstråling skjer på bakgrunn av måling av  $^{226}\text{Ra}$  som vil være i likevekt med supported  $^{210}\text{Pb}$ . I tillegg til  $^{210}\text{Pb}$ -datering ble nivået av radioaktive cesiumisotoper ( $^{137}\text{Cs}$ ) 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  $^{137}\text{Cs}$  i marine sedimenter viser ikke bare begynnelsen av atomprøvesprengninger, men også radioaktive ulykker i Tsjernobyl (Ukraina) i 1986 og Fukushima (Japan) i 2011.

**Tabell 10. Alder versus dyp i kjerne 2 (venstre), 4 (høyre), og 9 (nederst) basert på <sup>210</sup>Pb- og <sup>137</sup>Cs-målinger. Akkumulasjonsrater for begge kjerner er angitt.**

Dyp i kjerne 2 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m <sup>2</sup> /år)
0	2023	
1	2020	1.95
2.5	2017	2.5
3.5	2015	3.68
4.5	2012	3.45
5.5	2010	3.5
7.5	2002	3.29
8.5	2000	3.12

Dyp i kjerne 4 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m <sup>2</sup> /år)
0	2023	
1	2022	2.04
2.5	2019	1.9
3.5	2017	1.63
4.5	2014	1.53
5.5	2012	1.64
6.5	2010	1.66
7.5	2007	1.49
8.5	2003	1.38
9.5	2000	1.42
10.5	1997	1.54
11.5	1994	1.59
12.5	1991	1.7

Dyp i kjerne 9 (cm)	Alder år (AD)	Akkumulasjon (kg/m <sup>2</sup> /år)
0	2023	
2.5	2021	3.23
4.5	2018	3.11
6.5	2016	3.11
8.5	2013	2.65
10.5	2008	2.08
12.5	2004	2.11
14.5	2001	2.63
16.5	1998	2.7
18.5	1994	2.72
22.5	1987	2.84

Basert på alder og dyp i sedimentene er den gjennomsnittlige sedimentasjonsraten ca. 3,6 millimeter pr. år i kjerne 2, 2,3 millimeter pr. år i kjerne 4, og 6 millimeter pr. år i kjerne 9 (tabell. 11).

Akkumulasjonsratene varierer mellom 2,0 og 4,0 kg/m<sup>2</sup>/år i kjerne 2 (Halsnøyfjorden) og kjerne 9 (Selbjørnsfjorden), men er betydelig lavere (0,6 og 2 kg/m<sup>2</sup>/år) i kjerne 4 (Stokksund Sør). Vi går ut ifra at toppen av hver kjerneprøve representerer status i 2023.

**Tabell 11. Beregnede sedimentasjonshastigheter i tre daterte kjerneprøver.**

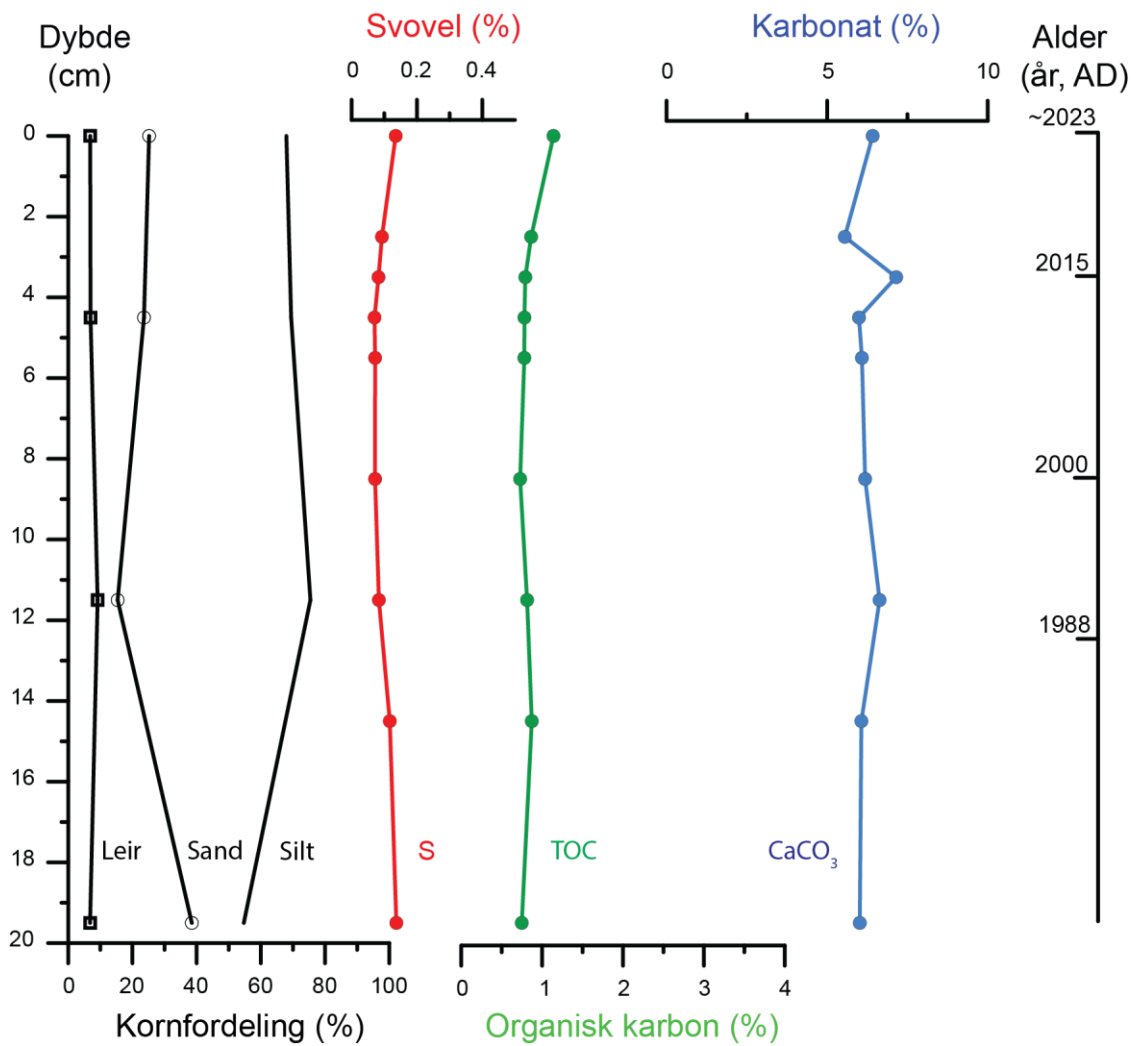
Stasjon	Område	Dybde til dypeste datering i kjerne (mm)	Alder (median kalenderår) i dypeste datering	Sedimentasjons-hastighet (mm/år)
2	Halsnøyfjorden	125	35 (år 1988)	3,6
4	Stokksund S	245	105 (år 1918)	2,3
9	Selbjørnsfjorden	305	49 (år 1972)	5,98

### 3.2.2 Kornfordeling, svovel, organisk karbon og kalsiumkarbonat

I Halsnøyfjorden (kjerne 2) viser sedimentprofiler lite variasjon i både svovel (<0,2%), organisk karbon (~1 %) og karbonat (5-7 %). Silt dominerer, men det er en betydelig økning i sandinnhold (40 %) i bunnen av kjernen (Figur 29). Sedimentprofilene til de to andre kjerneprøvene fra Selbjørnsfjorden (kjerne 9) og Stokksund Sør (kjerne 4) viser generelt veldig like avsetningsmiljø. Silt dominerer (~80 %) i alle kjerner (figur 30-31). I kjerneprøven fra Selbjørnsfjorden stiger leireinnhold betydelig mot overflaten (40%); noen som antyder en mer rolig avsetningsmiljø i fjorden enn tidligere. Innholdet av kalsiumkarbonat er høyt (~15 %) i begge kjerner. Også karboninnholdet i begge kjerner er høyt, med konstante verdier på rundt 2 %. Dette tyder på en høyere primærproduksjon i overflatevannet enn i Halsnøyfjorden (kjerne 2). Svovelinnholdet er konstant lavt (~0,2 %) i begge sedimentprofilene (figur 30-31).

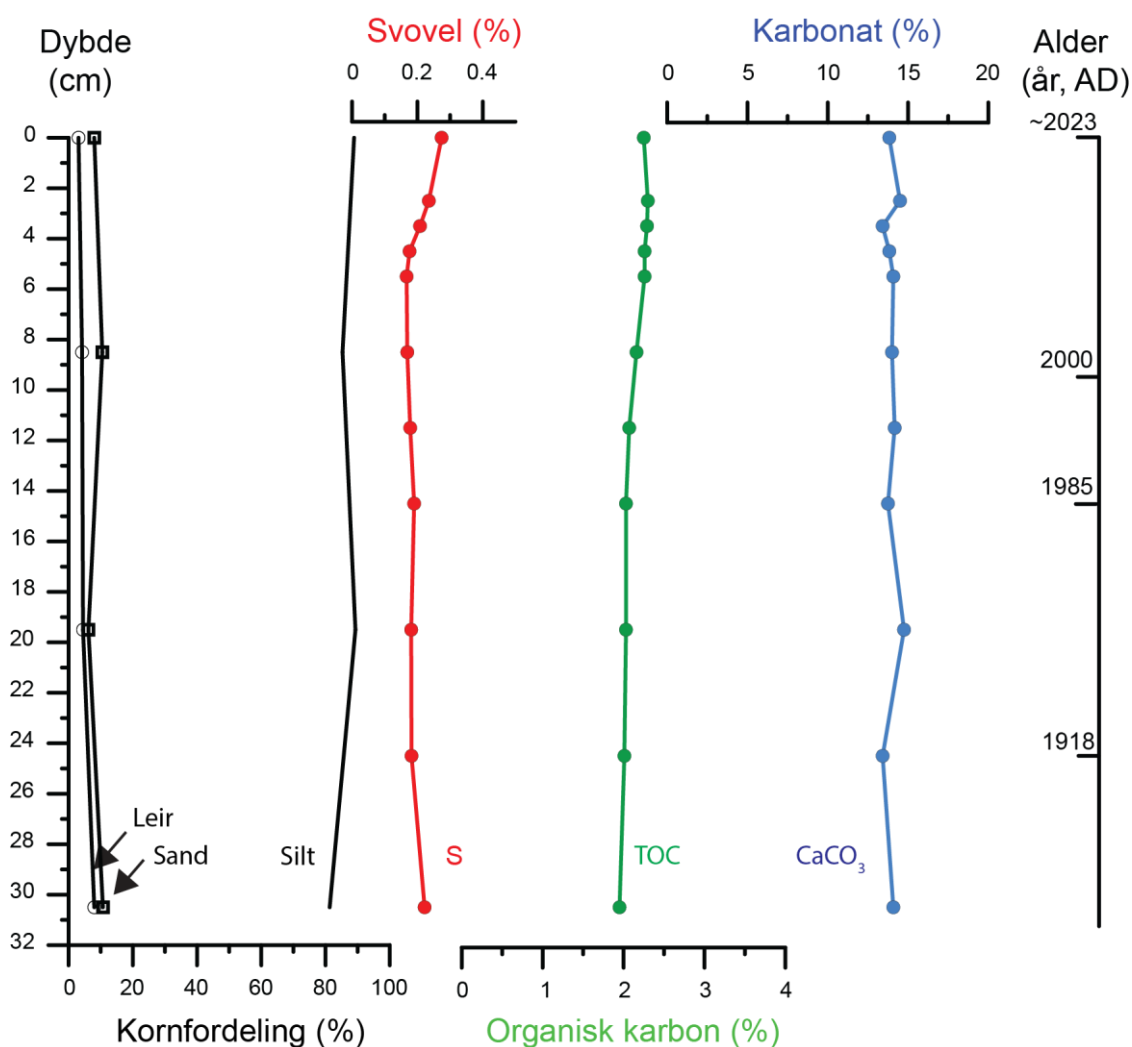


### Kjerneprøve 2C, Halsnøyfjorden



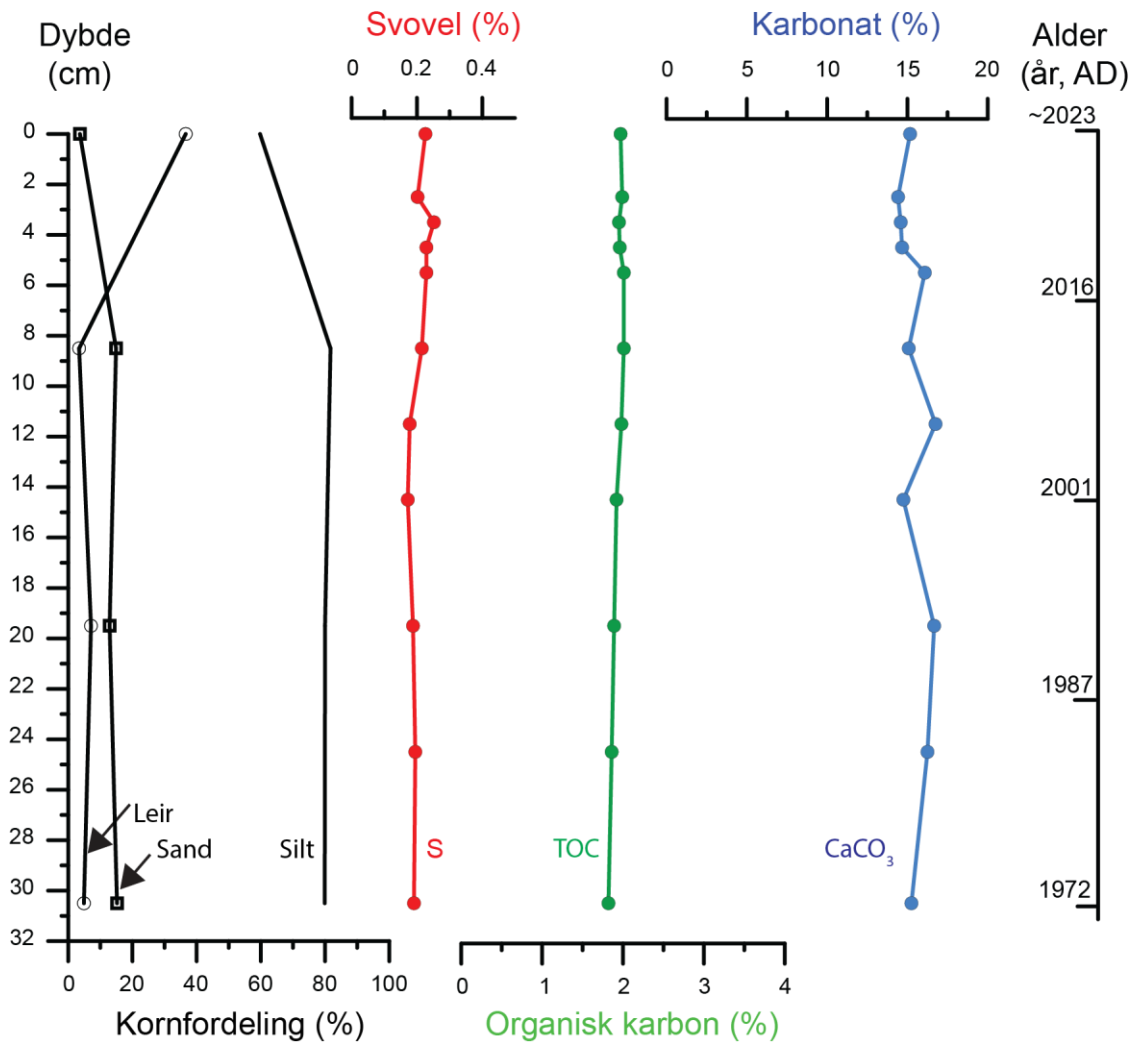
Figur 29. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 2 (Halsnøyfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre. Grafene viser relativ kornfordeling (leir, silt, og sand målt med laserdiffraksjon), innhold av svovel (S), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>).

### Kjerneprøve 4A, Stokksund Sør



Figur 30. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 4 (Stokksund Sør) 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 (S), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>).

### Kjerneprøve 9A, Selbjørnsfjorden



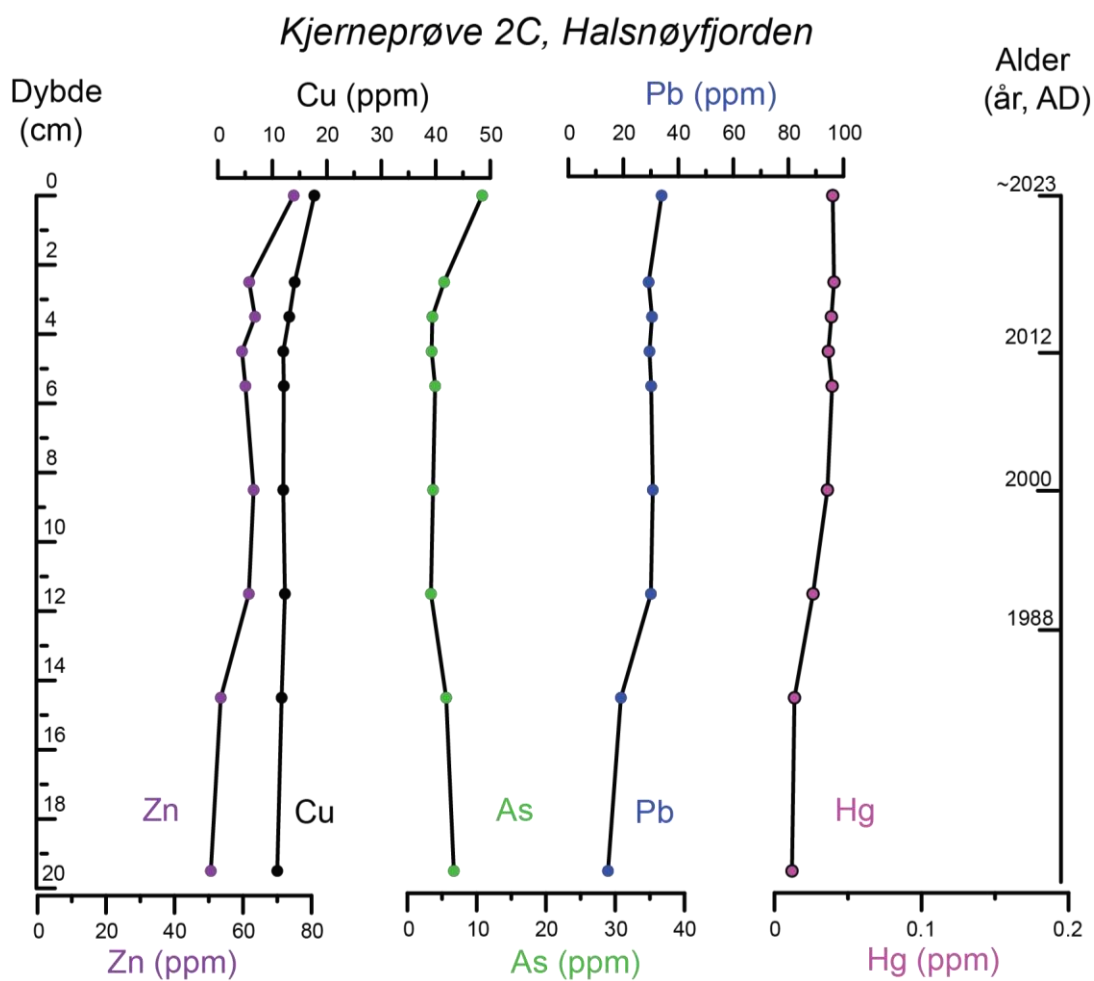
Figur 31. Sedimentegenskaper i kjerneprøve 9 (Selbjørnsfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre. Grafene viser relativ kornfordeling (leir, silt, og sand målt med laserdiffraksjon), innhold av svovel (S), innhold av organisk karbon (TOC) og innhold av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>).

### 3.2.3 Tungmetaller og arsen i kjerneprøver

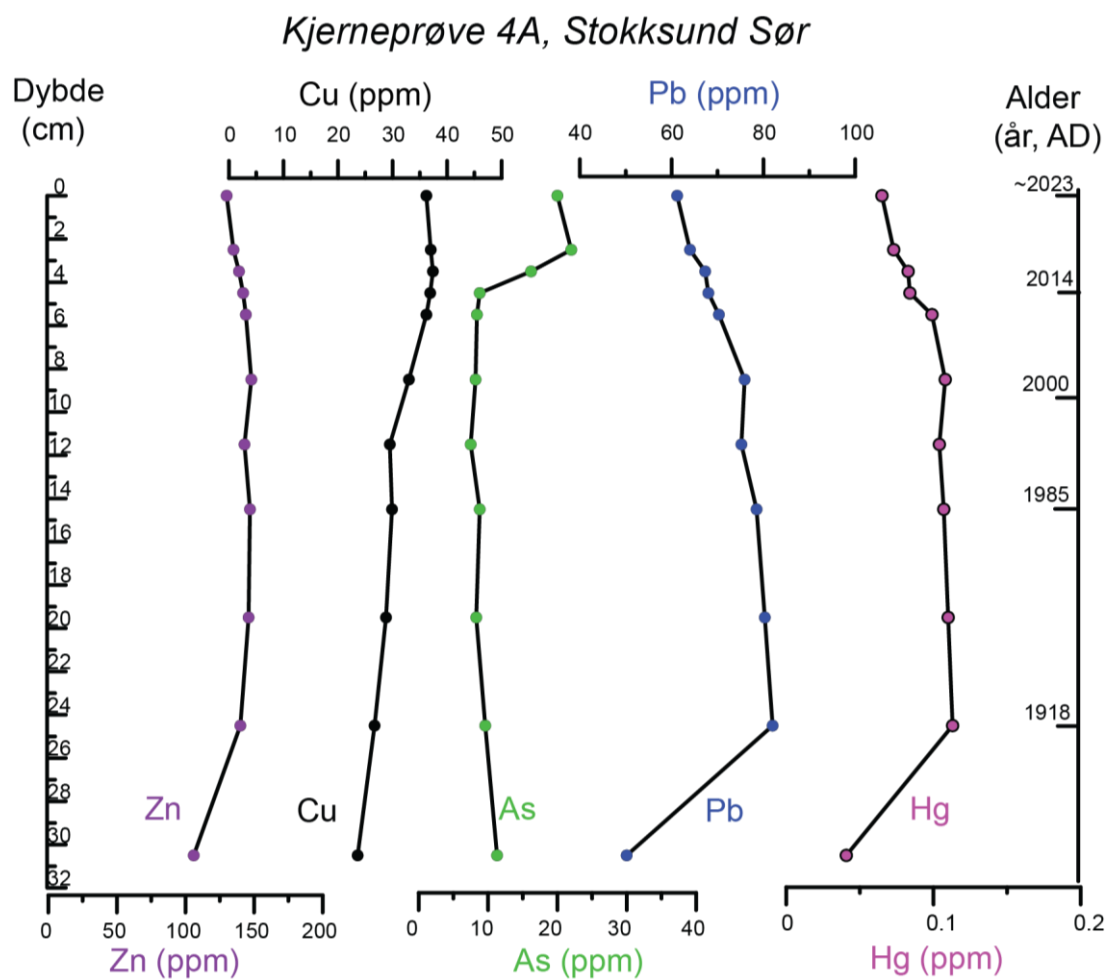
Geokjemiske analyser av overflatesedimenter i studieområdet har gitt oss god oversikt over dagens nivå av tungmetaller på havbunnen i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland (figur 8-15). For å kunne si om de verdiene vi observerer skyldes forurensning eller om de er 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  $^{210}\text{Pb}$ - og  $^{137}\text{Cs}$ -dateringer fra: Prøve 2 fra Halsnøyfjorden, prøve 4 fra Stokksund Sør, og prøve 9 fra Selbjørnsfjorden (figur 32, 33 og 34).

Felles for alle kjerneprøvene er at konsentrasjonsprofilene for Zn, Cu, As, Pb, og Hg er i tilstandsklasse I (bakgrunnsnivå) eller II (god) (tilstandsklasse I). Det er derimot ulik sedimentasjonshastighet gjennom kjernene, slik at konsentrasjonen av ulike elementer varierer over tid. For kjerneprøve 2 (Halsnøyfjorden) viser Zn, Cu, Pb, og Hg en mer eller mindre gradvis økning i verdiene fra bunnen til toppen (figur 32). Bunnen av kjernen kunne ikke dateres, men ut fra sedimentasjonsrater kan vi anta en bunnalder rundt 1970. Derimot faller As-konsentrasjon fra bunnen av kjernen (ca. 1970) til ca. år 2012, men den stiger igjen mot overflaten (år 2023).

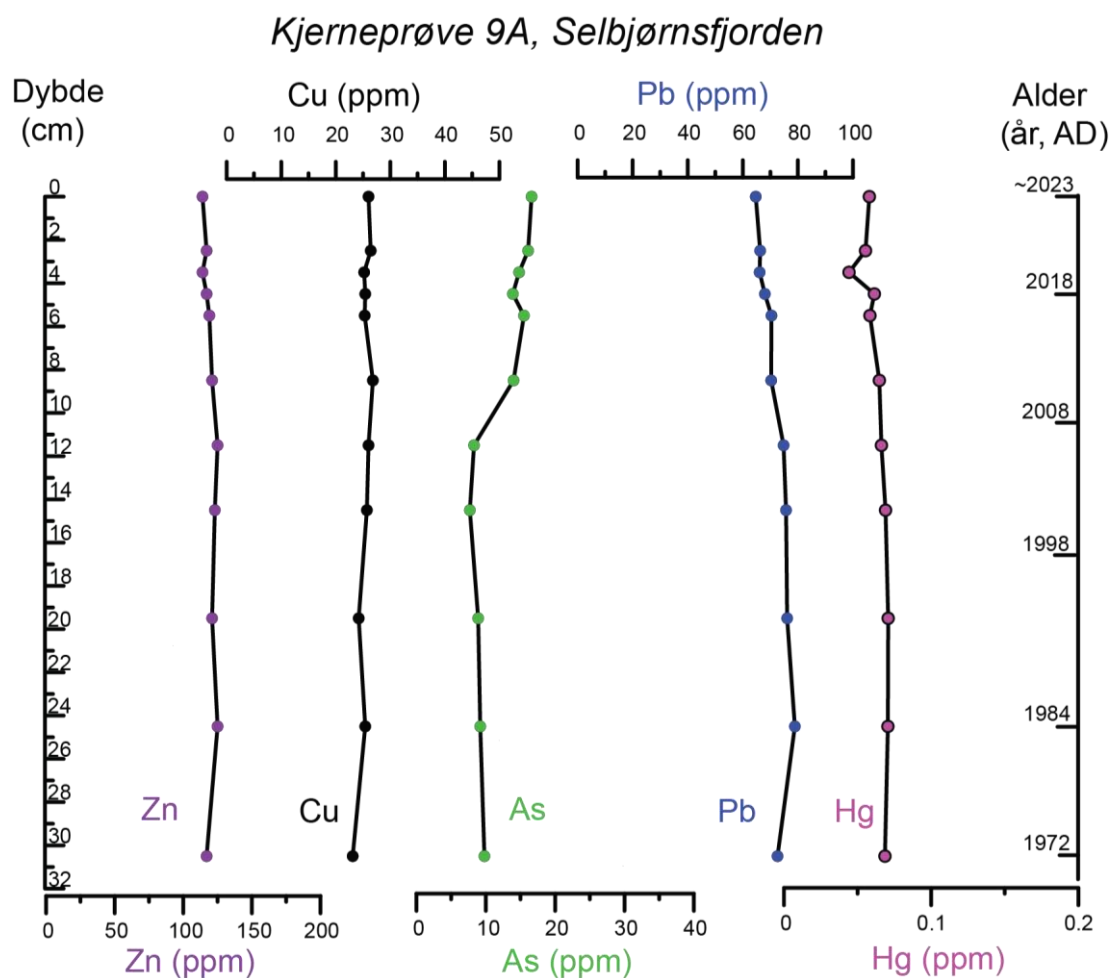


Figur 32. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 2 (Halsnøyfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.



Figur 33. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 4 (Stokksund Sør) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.

For kjerneprøve 4 (Stokksund Sør) viser tungmetallene ulik variasjon over tid. Mest tydelig er en brå økning i Pb og Hg fra bunnen av kjernen (udatert) til ca. år 1918. Etter en konstant fase mellom år 1918 og 2014, synker konsentrasjonene igjen mot overflaten (år 2023). As-konsentrasjonsprofilen er derimot omvendt. Her vises en brå økning fra ca. år 2014 mot toppen av kjernen (år 2023). En mer gradvis økning av Cu-konsentrasjon vises fra bunnen til toppen av kjernen, mens Zn-profilen likner mer Pb- og Hg-profilene (figur 33).

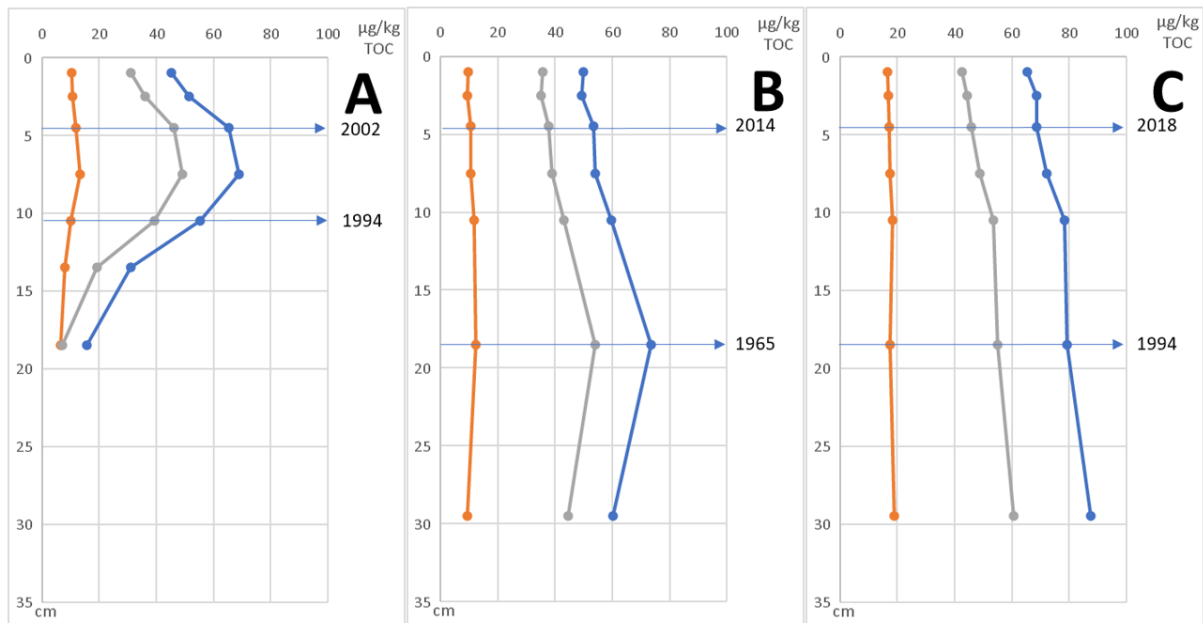


Figur 34. Tungmetallprofiler (Zn, Cu, Pb, Hg) og As-profil fra kjerneprøve 9 (Selbjørnsfjorden) plottet mot dybde i centimeter til venstre og alder til høyre.

For kjerneprøve 9 (Selbjørnsfjorden) viser Zn, Pb, og Hg en konstant eller gradvis nedgang i verdiene fra bunnen til toppen, mens Cu-profilen er konstant (figur 34). As-konsentrasjon viser samme trend som kjerne 4, men en tydelig stigning fra 2008-2010.

### 3.2.4 PAH i kjerneprøver

For å kunne si noe om tidstrender og mulige kilder for PAH i sedimenter, må nivåene i dypere lag i sedimentkjernene studeres. Dybdeprofiler for PAH16, NPD og summerte nivåer av 49 PAH (Sum PAH) korrigeret for TOC-innhold er vist i figur 35 for de tre kjernene fra Sunnhordland.



Figur 35. Dybdeprofiler av Sum PAH (blå linje), NPD (oransje linje) og PAH16 (grå linje) i sedimentkjerner fra Sunnhordland, korrigeret for TOC-innhold. Dateringen er vist for utvalgte kjernesnitt. A: stasjon 2 (Halsnøyfjorden); B: stasjon 4 (Stokksund S); C: stasjon 9 (Selbjørnsfjorden).

De summerte PAH-nivåene vist med blå farge i figur 35 gjenspeiler bidrag fra forskjellige kilder. Ser man derimot på profilene til kilde-spesifikke PAH-indikatorer som PAH16 (grå farge i figur 35) eller NPD (oransje farge), kan man ofte forklare trender i dybdeprofilene. I den ene kjernen fra stasjon 2 i Halsnøyfjorden er det observert en tydelig økning i PAH-nivåer i den øverste delen av sedimentkjernen. Økningen skjer uavhengig av mengde organisk materiale tilført sedimentene, siden den er til stede til tross for at dybdeprofilene er korrigeret for TOC. Økningen skyldes først og fremst økning i nivåer av PAH16, mens NPD-nivåer ligger lavt gjennom hele kjernen. Dette tyder på et vesentlig bidrag fra pyrogene PAH, gjenspeilet av PAH16, mens petrogene PAH, uttrykt her som NPD, viser stort sett bakgrunnsnivåer.

En økning i pyrogene PAH i sedimenter fra de siste ca. 100-150 år har vært funnet tidligere i sedimentkjerner fra de fleste havområder, og knyttes til menneskelig påvirkning gjennom kullfyring, trafikk, industri m.m. (for mer detaljert diskusjon knyttet til tidligere MAREANO-undersøkelser i Norskehavet og Barentshavet, se Boitsov mfl. 2020). En utflating og videre nedgang i PAH-nivåene ved overflaten tilskrives mindre bruk av kull de siste tiårene. Radiodatering av denne kjernen ble dessverre kun mulig ned til 12-13 cm dyp, og de dypeste sedimentlagene hvor man ser ut til å oppnå tilnærmet bakgrunnsnivå for PAH er ikke datert.

Ved stasjon 4 i Stokksund S er det funnet et lignende mønster i PAH-dybdeprofiler, med PAH16 som dominerer PAH-sammensetningen og NPD som ligger lavt gjennom kjernen, men toppen i PAH16-nivå som var tydelig i kjernen fra Halsnøyfjorden er mindre uttrykt her. Man oppnår heller ikke PAH-bakgrunnsnivå i de dypeste sedimentlagene (30 cm i



sedimentkjernen), slik man gjorde i kjernen fra Halsnøyfjorden. Ifølge radiodatering ligger de høyeste nivåene (funnet i denne kjernen ved 18-19 cm dyp) i sedimenter avsatt rundt år 1965.

I kjernen fra stasjon 9 i Selbjørnsfjorden er det enda mindre tegn på en topp i dybdeprofilene, og PAH16 ligger nesten stabilt gjennom hele den 30-cm lange kjernen, med en svak antydning til økning mot dypere lag. Denne kjernen har den høyeste sedimentasjonsraten av de tre kjernene, og de dypeste sedimentlagene som ble datert (30-31 cm dyp) kommer kun tilbake til 1972. Det er derfor mulig å anta at PAH-dybdeprofilen funnet i denne kjernen kun representerer en nedadgående trend fra de høyeste nivåene oppnådd noe tidligere.

#### 4. OPPSUMMERING

Totalt 10 overflateprøver og 3 sedimentkjerner fra sjøområder i kommunene Sveio, Bømlo, Stord, Fitjar, Tysnes og Austevoll i Sunnhordland 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 sedimentsammensetning, tungmetaller, og organiske miljøgifter 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 (>3 %) i Børøyfjorden (prøve 36) og Langenuen (prøve 7). Her registrerer vi også de høyeste konsentrasjonene av svovel, og delvis karbonatinnhold (Børøyfjorden). Nesten alle målingene av tungmetaller viser konsentrasjoner i tilstandsklasse I (bakgrunn) og II (god) i henhold til Miljødirektoratets klassifisering. Bare arsen skiller seg ut med høye konsentrasjoner (tilstandsklasse III, moderat) i Geitungssosen (prøve 30) og Stokksund sør (prøve 4). En mulig årsak kan være arsenrike bergarter nord for Hardanger forkastningssone, som eroderes og fører til anrikning av arsen i marine sedimenter. I prøve 7 (Langenuen) er Zn-konsentrasjonen i tilstandsklasse III (moderat).

Vi har undersøkt om tilførselen av tungmetaller har økt med menneskelig påvirkning over tid i tre sedimentbasseng; i prøve 2 fra Halsnøyfjorden, prøve 4 fra Stokksund Sør, og prøve 9 fra Selbjørnsfjorden. Sedimentasjonshastigheten varierer fra 2,3 (prøve 4) til 6,0 (prøve 9) millimeter per år. Mest interessant er en gradvis økning av arsen i prøve 4 (Stokksund sør) og prøve 9 (Selbjørnsfjorden) siden ca. 2008-2014 mot dagens nivå (tilstandsklasse III). Interessant er også at tungmetall-/arsen-konsentrasjoner stort sett ikke følger karboninnhold i sedimenter. En kombinasjon av høyt slaminnhold sammen med generelt høyt karboninnhold (>1 %) antas til å binde tungmetaller i sedimentene.

Analyser av organiske miljøgifter viser relativt lave nivåer eller noe forhøyet nivå av totale hydrokarboner (THC), typisk for kystnære områder, og noe forhøyet nivå av hydrokarboner (PAH). Dette bekreftes av studier av sedimentkjerner, som viser en økning i nivåene for forbrenningsrelaterte PAH knyttet til menneskelig aktivitet i nyere tid. Nivåene tilsvarer tilstandsklasse II for PAH16 og benzo[a]pyren.

Menneskeskapte organiske miljøgifter ligger relativt lavt for PCB, med nivåer i tilstandsklasse III på en stasjon og i tilstandsklasse II på resten av stasjonene, og ellers lavt eller meget lavt for klorerte pesticider (alle i tilstandsklasse II). Det er påvist noe forurensning for ett av stoffene i gruppen bromerte flammehemmere (PBDE), nemlig BDE-209. Forurensningen er på nivå med tidligere funn enkelte steder langs norskekysten. 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. 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>

Boitsov, S., Klungsøyr, J., Jensen, H.K.B. 2020. Background concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in deep core sediments from the Norwegian Sea and the Barents Sea: A proposed update of the OSPAR Commission background values for these sea areas. *Chemosphere* 251, 126344.

Knies, J., Boitsov, S., Baeten, N.J., Elvenes, S., Bøe, R. 2021. Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i kommunene Ålesund og Giske. NGU rapport 2021.018, 67 s. Tilgjengelig på <https://www.ngu.no/publikasjon/sedimentasjonsmiljo-og-historisk-utvikling-i-forurensningsstatus-i-sjoomradene-i-0>

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



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](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)