

NGU Rapport 99.036

Sedimentologiske, geotekniske og fysiske
egenskaper til bunnsedimenter i Norskerenna
mellom Langesund og Karmøy

| | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| Rapport nr.: 99.036 | | ISSN 0800-3416 | Gradering: Åpen |
| Tittel: Sedimentologiske, geotekniske og fysiske egenskaper til bunnsedimenter i Norskerenna mellom Langesund og Karmøy | | | |
| Forfatter: Reidulv Bøe & Leif Rise | | Oppdragsgiver: NGU | |
| Fylke: | | Kommune: | |
| Kartblad (M=1:250.000) | | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) | |
| Forekomstens navn og koordinater: | | Sidetall: 37 | Pris: 57,- |
| | | Kartbilag: 0 | |
| Feltarbeid utført: 1992-1996 | Rapportdato: 3. mai 1999 | Prosjektnr.: 2301.39 | Ansvarlig: <i>Opstein Nordgulen</i> |
| <p>Sammendrag:</p> <p>I perioden 1992-1996 utførte NGU, Havforskningsinstituttet og Universitetet i Bergen, i samarbeid med andre institusjoner, fem maringeologiske prøvetakingstokt med M/S Håkon Mosby og M/S Michael Sars i den norske delen av Skagerrak og Nordsjøen. Formålet med toktene var å ta kjerneprøver til miljøgeologiske, sedimentologiske og geotekniske/sedimentfysiske studier. Kjernene ble tatt i på forhånd utplukkede prøvepunkter, plassert i et systematisk nett, hovedsaklig i kryssningen mellom refleksjonsseismiske linjer.</p> <p>I starten av rapporten gis det først en oppsummering av prøvetakings- og målemetodikk av viktighet for bestemmelse av sedimentenes egenskaper. Deretter følger en oppsummering og kartpresentasjon over kornfordeling, geotekniske og fysiske egenskaper til de prøvetatte sedimentene i hele det undersøkte området av Skagerrak og Nordsjøen.</p> <p>I dypålen av Norskerenna består bunnsedimentene av sensitiv, bløt, siltig leire avsatt i holocen tid. Under disse ligger det eldre glasimarine avsetninger og morene, som stedvis er eksponert på havbunnen. Morene er hovedsakelig prøvetatt på grunnområdet vest for Jæren, i brattskråningen av Norskerenna sør for Egersund, og på Nordsjøplataet. Sandbunn dominerer i Skagerrak sør for Norskerenna og på store deler av Nordsjøplataet. Stein- og grusbunn opptrer først og fremst på Nordsjøplataet, der det for øvrig er hyppig veksling i bunnsedimenttype over korte avstander.</p> | | | |
| Emneord: Maringeologi | Overflatesediment | Sedimentologi | |
| Fysiske egenskaper | Geoteknikk | Kjerne | |
| Prøvetaking | Metoder | Fagrapport | |

INNHold

| | |
|---|----|
| 1. INNLEDNING..... | 5 |
| 2. PRØVETAKINGS- OG MÅLEMETODIKK..... | 5 |
| 2.1 Fysiske parametre | 5 |
| 2.1.1 Vanninnhold | 6 |
| 2.1.2 Våt romvekt (wet bulk density) | 7 |
| 2.1.3 Tørr romvekt (dry bulk density) | 7 |
| 2.1.4 Porøsitet | 8 |
| 2.1.5 Vannmetningsgrad | 8 |
| 2.2 Geotekniske egenskaper | 8 |
| 2.3 Kornfordelingsanalyse | 9 |
| 2.3.1 Stasjon 2-75 (1992-1993) | 9 |
| 2.3.2 Stasjon 76-133 (1994)..... | 9 |
| 2.3.3 Stasjon 76-286 (1995-1996) | 10 |
| 3. OPPSUMMERING AV RESULTATER | 10 |
| 3.1 Kornfordeling..... | 10 |
| 3.2 Geotekniske egenskaper | 11 |
| 3.3 Fysiske egenskaper | 12 |
| 3.3.1 Variasjoner p.g.a. forskjell i metodikk | 12 |
| 3.3.2 Våt romvekt | 12 |
| 3.3.3 Tørr romvekt | 13 |
| 3.3.4 Vanninnhold | 13 |
| 3.3.5 Porøsitet | 14 |
| 3.3.6 Vannmetningsgrad | 14 |
| 4. DISKUSJON OG KONKLUSJON | 14 |
| 5. REFERANSER..... | 16 |

FIGURER

Fig. 1. Geografisk plassering av prøvetakingsstasjoner.

Fig. 2. Innhold av mud ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 3. Innhold av mud ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 4. Uforstyrta skjærfasthet ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 5. Uforstyrta skjærfasthet ved 15 cm dyp i kjernene.

Fig. 6. Uforstyrta skjærfasthet ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 7. Omrørt skjærfasthet ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 8. Omrørt skjærfasthet ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 9. Sensitivitet ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 10. Sensitivitet ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 11. Våt romvekt ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 12. Våt romvekt ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 13. Tørr romvekt ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 14. Tørr romvekt ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 15. Vanninnhold ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 16. Vanninnhold ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 17. Porøsitet ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 18. Porøsitet ved 30 cm dyp i kjernene.

Fig. 19. Vannmetningsgrad ved 5 cm dyp i kjernene.

Fig. 20. Vannmetningsgrad ved 30 dyp i kjernene.

1. INNLEDNING

I perioden 1992-1996 utførte NGU, Havforskningsinstituttet og Universitetet i Bergen, i samarbeid med andre institusjoner, fem maringeologiske prøvetakingstokt med M/S Håkon Mosby og M/S Michael Sars i den norske delen av Skagerrak og Nordsjøen (Paetzel 1992, Ottesen & Paetzel 1995, Bjerkli 1997, Bjerkli & Moen 1997). Formålet med toktene var å ta kjerneprøver til miljøgeologiske, sedimentologiske og geotekniske/sedimentfysiske studier (Bøe 1993, 1994, 1995, Rise & Bøe 1995, Bøe & Rise 1997, Bøe et al. 1996, 1997, Longva & Thorsnes 1997).

Kjernene ble tatt i på forhånd utplukkede prøvepunkter, plassert i et systematisk nett (Fig. 1) i krysningen mellom refleksjonsseismiske linjer (Bøe et al. 1991, Thorsnes et al. 1992, Thorsnes et al. 1993, Bøe et al. 1993, Ottesen et al. 1994, Ottesen og Lien 1995).

Foreliggende rapport gir en oppsummering og presenterer kart over kornfordeling, geotekniske og fysiske egenskaper til de prøvetatte sedimentene i hele det undersøkte området av Skagerrak og Nordsjøen. Første del av rapporten gir en oppsummering av prøvetakings- og målemetodikk av viktighet for bestemmelse av sedimentenes egenskaper. For mer detaljert informasjon henvises det til Bøe (1995), Rise & Bøe (1995), Bøe & Rise (1997) og Bøe et al. (1997).

2. PRØVETAKINGS- OG MÅLEMETODIKK

2.1 Fysiske parametre

På toktene i 1992 og 1993 (Stasjon 2-75), i den østlige delen av Skagerrak ble kjerner tatt med Niemistöprøvetaker. I prøvetakeren var det plassert plastrør (lengde 76 cm, ytre diameter 63 mm, indre diameter 59 mm) der det var boret hull for hver 5 cm nedover (Paetzel 1992). Disse hullene var tapet før prøvetaking. Etter at prøven var tatt ble tapen fjernet. I de fleste tilfeller var der vann langs innsiden av plastrøret. Dette vannet fikk renne av før underprøver ble tatt. Så ble plastsprøyter med avkappet spiss ført forsiktig inn i hvert hull, og 10 ml vått sediment ble tatt ut. Underprøver ble så trykt ut av sprøytene opp i plastposer som var veid på forhånd, og lagret i kjøleskap inntil måling i laboratoriet. Ved ankomst på laboratoriet ca. to uker etter toktene ble plastposene med prøver veid, vekten av plastposene ble trukket fra, og vekten av 10 ml våt prøve ble notert. Vekten av tørr prøve ble funnet ved å ta en tom keramikkskål og veie denne, deretter overføre prøvematerialet til skålen før den ble veid på nytt, deretter tørke skålen med prøve i tørkeskap ved 70°C i 24 timer, og til slutt veie skål med prøve etter tørking.

På toktene i 1994-1996 (Stasjon 76-286) ble kjerner tatt ved hjelp av Multicorer. Dette er en type kjerneprøvetaker der en kan montere flere kjernerør på en gang, og dermed få opp flere prøver fra samme stasjon i en operasjon. Dette har den fordel at en får opp flere prøver til forskjellige analyser fra praktisk talt samme punkt, samt at kjernematerialet er mer eller mindre uforstyrret. Ulempen ved bruk av Multicorer med mange kjernerør er at kjernene blir relativt korte på grunn av stor motstand mot penetrasjon. I Multicoreren ble det plassert 5-7 plastrør med lengde 61 cm, ytre diameter 63 mm, og indre diameter 59 mm. Etter prøvetaking ble kjernene lukket i begge ender med gummihetter med slangeklemmer rundt for å hindre vann i kjernen og på toppen av kjernen i å renne ut eller fordampe. Så ble kjernene fraktet til laboratoriet.

Til å ta ut underprøver ble det benyttet metallringer (laget av tynnveggede rør, konet til en skarp egg i den ene enden) med kjent vekt og volum. Ringen (ca. 2 cm diameter) ble presset forsiktig inn i sedimentet (ved 5 cm og 30 cm dyp i kjernen, alternativt ved 5 cm og bunn av kjernen dersom den var kortere enn 30 cm) midt på en av de splittede halvdelene, til ringen var full, og deretter vippet forsiktig ut med en spatel. Endene ble avrettet med trådsag/spatel, og den overskytende leirskiven ble vippet vekk. Den våte prøven pluss ring ble veid straks, etter at leire på utsiden av metallringen var fjernet. Prøven ble så presset ut til en på forhånd veid porselensskål. Så ble vekten av skål pluss våt prøve målt, og vekten av våt prøve funnet. Prøven ble tørket i porselensskål i varmeskap ved 105°C i 24 timer, før prøve pluss skål ble veid på nytt og tørrvekten funnet.

2.1.1 Vanninnhold

$$\text{Vanninnhold } (w) = \text{Vekt porevann} / \text{Vekt mineralkorn} \quad (\text{NS 8013})$$

Vanninnholdet oppgis vanligvis i prosent. Definisjonen stemmer overens med internasjonal bruk og med de mest benyttede standarder (bl.a. Svensk Standard, British Standard, American Society for Testing and Materials). Vanninnholdet benyttes, sammen med konsistensgrensene, for klassifisering av jordarter og beskrivelse av geotekniske egenskaper. Videre inngår vanninnholdet i beregning av porøsitet og metningsgrad.

For vanlige prøver anbefales tørking ved 110±5°C i minst 12 timer (<30 g prøve). For jordarter som inneholder mineraler med løst bundet vann eller jordarter med betydelige mengder organisk materiale anbefales tørking ved 60°C eller under vakuum. I beregning av vanninnhold er det ikke vanlig å korrigere for vekten av salt i porevannet.

2.1.2 Våt romvekt (wet bulk density)

$$\text{Våt romvekt } (\rho) = \text{Vekt våt prøve} / \text{Volum våt prøve} \quad (\text{NS 8010/NS 8011})$$

Vi har valgt å beholde den innarbeidete betegnelsen våt romvekt, selv om Norsk Standard nå benytter termen Densitet. Våt romvekt inngår i praktisk talt alle geotekniske beregninger, og feil kan få betydelige konsekvenser ved f. eks. stabilitetsanalyse. Vurdering av av forskjellige feilkilder ved prøvetaking og laboratorieanalyser er derfor viktig. Produktet av våt romvekt og sedimentets lydshastighet (akustisk impedans) er en nøkkel-parameter ved korrelasjon av seismikk og sedimenter.

For jordarter som i felt kan antas å være fullt vannmettet, kan verdien for våt romvekt sammenholdes med verdien som fås av følgende formel:

$$\text{Våt romvekt} = (1+w)/(w+1/\rho_s) \quad \rho_s = \text{korntetthet eller mineralenes spesifikke vekt}$$

$w = \text{vanninnhold}$

2.1.3 Tørr romvekt (dry bulk density)

$$\text{Tørr romvekt } (\rho_d) = \text{Vekt tørr prøve} / \text{Volum våt prøve} \quad (\text{NS8010/NS8011})$$

Tørr romvekt er målt på to måter, direkte eller indirekte. Ved direkte måling har en vært omhyggelig med å presse ut og få med alt materialet i romvektsringen før tørking i tørkeskap. Indirekte har en regnet ut tørr romvekt med utgangspunkt i våt romvekt og vanninnhold (tørr romvekt = $\rho/(1+w/100)$).

Verdiene kommer ut som svært like, og en skulle tro det var unødvendig å være omhyggelig med å få alt materialet ut av romvektsringen. Det har imidlertid vist seg at sammenligning av romvektsverdiene er en ypperlig metode for kvalitetskontroll av datasettet, både når det gjelder laboratoriearbeid og punche-feil ved innlegging av data i regneark.

2.1.4 Porøsitet

$$\text{Porøsitet } (n) = \text{Porevolum} / \text{Totalt volum} \quad (\text{NS8010/NS8014})$$

$$= 1 - \text{Volum mineralkorn} / \text{Volum våt prøve}$$

Porøsitet oppgis i prosent. Vanligvis bestemmes ikke porøsitet direkte, men beregnes ut fra våt romvekt (densitet) ρ , spesifikk vekt (korndensitet) ρ_s og vanninnhold w ved følgende formel som kan avledes fra definisjonene:

$$\text{Porøsitet } n = 1 - \rho / \rho_s (1 + w) = 1 - \rho_d / \rho_s$$

Norsk Standard anbefaler ingen annen framgangsmåte ved rutinemessige undersøkelser av leir og silt. På prøvene fra Nordsjøen ble det benyttet en gjennomsnittlig korndensitet ρ_s på 2.75 g/cm^3 .

2.1.5 Vannmetningsgrad

$$\text{Vannmetningsgrad } (S_r) = \text{Porevannsvolum} / \text{Porevolum} \quad (\text{NS8010/NS8014})$$

Metningsgraden, som vanligvis oppgis som %, beregnes av følgende formel:

$$\text{Vannmetningsgrad } (S_r) = w \cdot \rho / (1 + w - \rho / \rho_s)$$

På prøvene fra Nordsjøen ble det benyttet en gjennomsnittlig korndensitet ρ_s på 2.75 g/cm^3 .

Metningsgraden viser i hvilken grad porevolumet er fylt med vann. Marine sedimenter er vanligvis fullt vannmettet (d.v.s. 100%), såfremt prøvene ikke inneholder gass eller har vært utsatt for uttørking. Metningsgraden regnes vanligvis ikke ut, men vi har valgt å gjøre det for å lettere kunne vurdere hvorvidt enkelte målinger kan være beheftet med større feilkilder.

2.2 Geotekniske egenskaper

I Skagerrak (Stasjon 2-133) ble kornfordelingsanalyser utført ved hjelp av Sedigraph, som er et utstyr som gir mye høyere leirinnhold (på bekostning av siltinnholdet) enn Coulter LS 200 (Norges Geotekniske Institutt 1986). Kohesive sedimenter ble i Skagerrak definert som sedimenter med et leirinnhold på mer enn 15% (Bøe 1995). For at resultatene innen det undersøkte området av Nordsjøen (Stasjon 134-286) skulle kunne sammenlignes med

resultatene fra Skagerrak, fant vi å måtte sette grensen for kohesive sedimenter analysert med Coulter LS 200 ved et leirinnhold på minimum 5%.

Uomrørt skjærfasthet ble målt direkte på snittflaten i kjernene ved hjelp av et konusapparat, etter at kjernene var delt på langs ved hjelp av trådsag. Den splittede kjernen ble lagt under konusapparatet, og skjærfastheten ble målt normalt på lengderetningen (parallelt med lagdeling/laminering i kjernen). Uomrørt skjærfasthet ble målt ved 5 cm, 15 cm og 30 cm dybde i kjernen.

Til måling av omrørt skjærfasthet ble det tatt ut prøver i intervallene 0-5 cm og 27.5-32.5 cm. I de tilfeller kjernene var kortere enn 32.5 cm og lengre enn 20 cm, ble det dypeste 5-cm intervallet tatt ut til måling av omrørt skjærfasthet. Ved uttak av prøvemateriale var en omhyggelig med ikke å få med sagspon fra plastrøret. Prøven ble så omrørt i en skål, sedimentoverflaten ble glattet ut, og konusforsøket ble foretatt i skålen.

Sensitiviteten viser forholdet mellom uomrørt og omrørt skjærfasthet.

2.3 Kornfordelingsanalyse

På stasjoner prøvetatt i 1992-1994 og 1996 ble underprøver fra måling av omrørt skjærfasthet benyttet til kornfordelingsanalyse. På stasjoner prøvetatt i 1995 ble underprøver til kornfordeling tatt ut fra et parallelt sett med multicoreerkjerner.

2.3.1 Stasjon 2-75 (1992-1993)

Prøvematerialet ble først våtsiktet, og de forskjellige fraksjonene grovere enn silt ble veid og notert. Residuet ble deretter sentrifugert og frysetørret. Så ble en passende prøvemengde innveid, og kornfordelingsanalysen på leir-/siltfraksjonen ble utført ved hjelp av Sedigraf.

2.3.2 Stasjon 76-133 (1994)

Prøvematerialet ble først våtsiktet, og de forskjellige fraksjonene grovere enn silt ble veid og notert. Det oppslemmede materialet i leir- og siltfraksjonen ble deretter tilsatt hydrogenperoksyd for oksydering av organisk materiale. Etter oksydering ble oppløsningen sentrifugert, og vannet (saltvannet) kastet. Residuet ble deretter frysetørret. Så ble en passende prøvemengde innveid, og kornfordelingsanalysen på leir-/siltfraksjonen ble utført ved hjelp av Sedigraf.

2.3.3 Stasjon 76-286 (1995-1996)

Prøvematerialet (0.15-6.0 g, avhengig av kornstørrelse) ble overført til et 800 ml beger og slemmet opp i vann til ca. 400 ml volum. Materialet ble så tilsatt 5 ml H₂O₂, og begeret fikk stå kaldt til prøven hadde reagert. Beget ble så satt på vannbad og varmet forsiktig under omrøring med glasstav, før det igjen ble tilsatt 5 ml H₂O₂. Dette ble gjentatt inntil alt organisk materiale var oksydert.

For avsalting ble begerglasset så fylt med vann under omrøring og deretter satt til sedimentering i flere dager, inntil alt materialet var utfelt. Den klare løsningen ble dekantert av og kastet, og residuet overført kvantitativt til egnet emballasje og frysetørret. Etter frysetørringen ble prøven siktet gjennom en 2 mm nylonsikt. Materialet større og mindre enn 2 mm ble veid, og prosent grus utregnet. En høvelig mengde av materialet mindre enn 2 mm ble så oppslemmet i vann, preparert med ultralyd, og kornfordelingsbestemmelse ble utført med Coulter LS 200.

I måleområdet 0,4-2000 µm er kornfordelingsanalysene basert på laserdiffraksjon. Laserlys brytes i bestemte vinkler avhengig av størrelsen på partiklene, som igjen registreres av en rekke detektorer. De registrerte vinklene korresponderer med gitte partikkelstørrelser. Antall partikler med gitt størrelse er igjen relatert til intensitet for korresponderende detektorer. Kornfordelingen bestemmes således på volumbasis, med antagelse om samme tetthet på materialet vil kumulativ volumprosent være identisk med kumulativ masseprosent. Metoden normaliserer alle data i måleområdet til 100% (kumulativ prosent). Måleområdet går kun til 0,4 µm, og dette settes som nullpunkt med hensyn til kumulativ prosent. Hvis materialet inneholde fraksjoner finere enn 0,4 µm, noe som vanligvis er tilfelle for leirholdige prøver, vil leirprosenten bli for lav. Det må presiseres at denne metoden å utføre kornfordelingsanalyser på gir betydelig lavere leirinnhold enn konvensjonelle kornfordelingsanalysemetoder (Norges Geotekniske Institutt 1986).

3. OPPSUMMERING AV RESULTATER

3.1 Kornfordeling

Forskjellene i analysemetode mellom prøver tatt i 1992/1993 og i 1994 ser ikke ut til å ha ført til vesentlige forskjeller i måledataene (Bøe 1995). Derimot gir kornfordelingsmetoden som er benyttet på prøver tatt i 1995/1996 altfor høyt siltinnhold i sedimentene på bekostning av leirinnholdet (Bøe et al. 1997). Fordelingen av sedimenter finere enn sand i Skagerrak kan

derfor ikke sammenlignes med tilsvarende sedimenter i Nordsjøen. Fordelingen av grus, sand og mud (mud = silt + leire) kan derimot presenteres som enhetlige kart over hele området.

I de dype delene av Norskerenna er overflatesedimentene både ved 5 cm og 30 cm dyp under havbunnen fullstendig dominert av leir og silt, med kun 1-2% i sandfraksjonen innen enkelte områder. På platåområdene sør for Norskerenna og vest for Jæren varierer bunntypene, men de holocene sedimentene er generelt dominert av sand og grus med et mud-innhold på mindre enn 10-20% (Fig. 2-3). For mer detaljerte beskrivelser av kornfordeling/overflatesedimentfordeling henvises det til Bøe (1995) og Bøe et al. (1996, 1997).

3.2 Geotekniske egenskaper

Uforstyrta skjærfasthet i overflatesedimentene (5 cm dyp i kjernene) varierer mellom 0.2 og 5 kPa (Fig. 4, Bøe 1995, Bøe et al. 1997). De laveste verdiene opptrer generelt i de dype områdene av Norskerenna. De høyeste verdiene er målt langs kysten, på grunnområdet vest for Jæren, og i de grunne områdene sørøst, sør og sørvest for Norskerenna.

Ved 15 cm dyp i kjernene (Fig. 5) varierer uforstyrta skjærfasthet fra 1 kPa til 13 kPa. Ved 30 cm dyp varierer skjærfastheten fra 1 kPa til 24 kPa, med de høyeste verdiene lokalt langs kysten, i sørøst-, sør- og sørvestskråningen av Norskerenna, og nordøst for terskelen vest av Jæren (Fig. 6). I de grunne områdene er få kjerner lange nok og har et høyt nok innhold av leir til at en kan måle uforstyrta skjærfasthet ved 30 cm dyp.

Omrørt skjærfasthet i overflateprøvene varierer mellom 0.1 kPa og 1 kPa, med de høyeste verdiene på grunnområdene vest for Jæren og sør-sørøst for Norskerenna (Fig. 7). I et område rett vest for Lista har en verdier på opptil 3.3 kPa. Ved 30 cm dyp i kjernene varierer verdiene for omrørt skjærfasthet mellom 0.5 kPa og 5.5 kPa (Fig. 8). De høyeste verdiene finnes i skråningene av Norskerenna og langs kysten. På grunn av for korte kjerner/for lite leirinnhold har en ingen verdier fra grunnområdet vest for Jæren og på Nordsjøplatået.

I overflaten varierer sensitiviteten mellom 0.2 og 6.8 (Fig. 9). En sone med ganske høye verdier strekker seg over Norskerenna i N-S retning sør for Lista/Mandal. En finner også høye verdier langs sør- og vestskråningen av grunnområdet vest for Jæren og lokalt langs sørvestskråningen av Norskerenna. På grunn av en del mulige feilkilder ved måling av skjærfasthet i toppen av kjernene på Stasjon 1-133 (blant annet forskjeller i uttørking under transport og lagring) er sensitivitetsverdiene i dette nivået i Skagerrak noe usikre. Sensitiviteten ved 20-30 cm dyp i kjernene varierer relativt usystematisk mellom 0.8 og 11.3 (Fig. 10). De høyeste verdiene finnes i en N-S sone over Norskerenna sør for Lista.

3.3 Fysiske egenskaper

3.3.1 Variasjoner p.g.a. forskjell i metodikk

Våt romvekt, vanninnhold, tørr romvekt og porøsitet er avhengig variable parametre i vannmettede sedimenter (Rise og Bøe 1995). Våt romvekt målt i 1992/1993 (Stasjon 2-75) er signifikant lavere enn målingene som ble utført i 1994-1996 (Stasjon 76-286), i området hvor sammenligning er mulig (vanninnhold 70 - 200%). Dette forklares i første rekke med forskjellen i metodikk, og med at prøvene tatt i 1992/93 har tørket noe ut mellom prøvetaking om bord og måling i laboratoriet på land. Vannmetningsgraden er i gjennomsnitt ca. 95%, mens prøvene fra 1994 har en gjennomsnittlig vannmetning på ca. 103% (Rise & Bøe 1995). Det at vannmetningen er over 100% indikerer at sedimentet ble deformert noe ved innpressing av romvektsringen, og at noe «fritt vann» utenfor kornskjelettet ble veid inn. Dette gjelder særlig for svært vannrike prøver (vanninnhold 150-220%). Romvekter i intervallet 150% og 220% burde være 0.05-0.10 g/cm³ lavere enn hva som ble målt i 1994, men høyere enn målt i 1992/93.

Hvis en ser bort fra eventuelle avvik p.g.a. prøveuttak med metallhylse og plastsprøyte, så burde ikke tørr romvekt innflueres av forskjellige prosedyrer. De tilsynelatende høyere verdiene for tørr romvekt i 1992/93 skyldes at prøvene har vært noe uttørket, at tørr romvekt er beregnet fra formel, og at den våte romvekten i gjennomsnitt skal være ca. 0.05 g/cm³ høyere. Av formelen for porøsitet ser en at heller ikke bestemmelse av porøsitet påvirkes av om prøvene tørker ut før måling av våt romvekt eller vanninnhold, under forutsetning av at tørr tetthet måles direkte.

Plotting av vannmetningsgrad mot vanninnhold av dataene fra 1992/93 og 1994 viser relativt stor spredning (fig. 6 i Rise og Bøe 1995). Trendlinjen for 1994-data øker fra 100% metning ved 50% vanninnhold til 105% metning ved 200% vanninnhold. Dataene fra 1992/93 viser ca. 95% vannmetning, og indikerer en viss uttørking av prøvene før målinger i laboratoriet ble foretatt. Dataspredningen omkring begge trendlinjene er relativ stor, og dette avspeiler sannsynligvis at mange av målingene er beheftet med feil. Både vanninnhold og våt romvekt inngår i formelen for vannmetningsgrad. Egentlig burde prøver med over 110% og under 90% metning blitt korrigert ut fra trendlinjene for de forskjellige parametre, eller unndratt fra datasettet.

3.3.2 Våt romvekt

Innen delene av det undersøkte området med størst vanddyb ligger verdiene av våt romvekt ved 5 cm dyp i kjernene på 1.2-1.5 g/cm³ (Fig. 11). Generelt kan en si at romvekten til holocen leire målt i overflaten ligger på 1.4 g/cm³. I de grunnere områdene sør og sørvest for Norskerenna og vest for Jærens Rev er sedimentene sandrike, og våt romvekt øker til i

overkant av 2.0 g/cm^3 . På enkelte stasjoner kan verdien være for lav på grunn av at vann har drenert ut av prøven før måling (se over).

Generelt er det en økning i våt romvekt på $0.1\text{-}0.2 \text{ g/cm}^3$ fra 5 cm til 30 cm dyp i kjernene fra de leirdominerte områdene (Fig. 12). Innen områdene med mer grovkornete bunnsedimenter er økningen i våt romvekt mindre systematisk, og i noen tilfeller er det målt lavere romvekt i den dypeste prøven. Dette kan i enkelte tilfeller skyldes unøyaktighet i målingene.

3.3.3 Tørr romvekt

Innen områdene av Norskerenna med størst vanddyb varierer verdiene for tørr romvekt ved 5 cm dyp fra $0.4\text{-}0.6 \text{ g/cm}^3$ (Fig. 13). I sør- og sørvestskråningen av Norskerenna samt på plataået vest for Jærens er der en økning til i overkant av 1.6 g/cm^3 . En sone med relativt lav tørr romvekt strekker seg over Norskerenna i N-S-retning sørvest for Lista. Fra 5 cm til 30 cm dyp i kjernene er det en økning i verdiene for tørr romvekt på $0.1\text{-}0.2 \text{ g/cm}^3$ (Fig. 14) innen områdene med størst vanddyb, og noe mindre i de sanddominerte områdene.

3.3.4 Vanninnhold

Vanninnholdet varierer mye i de undersøkte kjernene. I leirområdene på størst vanddyb er det flere steder målt vanninnhold over 180% ved 5 cm dyp i kjernene. Den høyeste verdien er på 227% (Fig. 15). Vanninnholdet i overflatesedimentene i Norskerenna er generelt 130-180%. En sone med relativt lavt vanninnhold strekker seg over Norskerenna i N-S-retning sørvest for Lista. I områdene med grovere bunn sørøst, sør og sørvest for Norskerenna, samt vest for Jærens Rev, avtar vanninnholdet gradvis til 20-30%.

Ved 30 cm dyp i kjernene er vanninnholdet generelt 110-140% i områdene med størst vanddyb (Fig. 16). Sør og sørvest for Norskerenna, og ved plataået vest for Jærens Rev, avtar vanninnholdet gradvis til 20-30%.

Sammenligning av trendlinjer på 5 cm og 30 cm prøvedyp viser at kompaksjon av sedimentene har redusert gjennomsnittlig vanninnhold på 200 m vanddyb fra 55% til 40% og på 300 m vanddyb fra 150% til 100% (Bøe & Rise 1997). Forskjellen i kompaksjonsgrad skyldes hovedsakelig økningen i sandinnhold mot grunnere vann.

3.3.5 Porøsitet

I de dypeste delene av undersøkelsesområdet varierer porøsiteten ved 5 cm kjernedyp mellom 73% og 88%, men er i hovedsak rundt 80% (Fig. 17). En sone med noe lavere porøsitet krysser Norskerenna sørvest for Lista. Sør og sørvest for Norskerenna og vest for Jærens Rev, i områder med grovere sedimenter, avtar porøsiteten til ned mot 40%.

Ved 20-30 cm dyp i kjernene varierer porøsiteten i de dype områdene fra 66% til 84%, men de fleste verdiene ligger på 70-80% (Fig. 18). Porøsiteten avtar gradvis mot de grunnere områdene i sørvest samt vest for Jærens Rev.

3.3.6 Vannmetningsgrad

Vannmetningsgraden ved 5 cm dyp i kjernene varierer fra 75% til 128% (Fig. 19). Verdier under 100% opptrer på platået sør og sørvest for Norskerenna, samt på Stasjon 2-75, prøvetatt i 1992/1993. Ved 30 cm dyp i kjernene varierer vannmetningsgraden fra 83% til 116% (Fig. 20). Kjernene fra 1992/1993 har de fleste verdiene innenfor intervallet 93-98%, de fra 1994 er dominert av verdier på 98-106%, mens kjernene fra 1995/1996 har de fleste verdiene mellom 100 og 110%.

Forskjellen i vannmetningsgrad mellom prøvene fra 1992/1993 og 1994 gjenspeiler først og fremst at prøvene fra 1992/1993 ble oppbevart i plastposer, og at de dermed tørket ut før de ble veid. Vannmetningsgraden i kjerner fra 1995/1996 er i gjennomsnitt 3-5 prosentpoeng høyere enn hva som ble målt på prøvene innsamlet i 1994 (Rise og Bøe 1995). Noen sikker forklaring på dette har en ikke funnet, men det kan gjenspeile forskjellig prøvetakingsmetodikk.

4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Vi har klassifisert sedimentene på havbunnen (Bøe et al. 1996, Rise et al. 1996, Bøe et al. 1997, Longva & Thorsnes 1997, Ottesen et al. 1997) ved å benytte en kombinasjon av seismisk tolkning, fysiske parametre, kornfordeling, geotekniske data, kjernebeskrivelser og batymetriske data (Bøe 1995, Rise & Bøe 1995, Olsen 1996, Bøe et al. 1997, Bøe & Rise 1997, Ottesen et al. 1997).

I dypålen av Norskerenna består bunnsedimentene av sensitiv, bløt, siltig leire avsatt i holocen tid. I disse områdene er innholdet av sand og grus i sedimentene tilnærmet lik null. Lignende

sedimenter finnes i størstedelen av Norskerenna videre nordover langs vestlandskysten (Rise et al. 1984).

Under de siltige leirene ligger eldre, glasimarine avsetninger. I Skagerrak er disse eksponert på havbunnen i sørskråningen av Norskerenna og langs kysten. Vest for Kristiansand finnes de på havbunnen øst og vest for området dekket av holocene sedimenter, og er hovedsaklig prøvetatt rundt marginen av plataet vest for Jæren, ved Hidrafjella og Lista, samt i vestskråningen av Norskerenna. De glasimarine sedimentene består vanligvis av en blanding av leir, silt, sand og grus, og har oftest en noe høyere skjærfasthet og romvekt (Bøe & Rise 1997) enn de holocene sedimentene. Der de glasimarine sedimentene er grove tyder dette på at de er avsatt relativt nær iskanten under siste isavsmelting.

Morene er hovedsaklig prøvetatt på grunnområdet vest for Jæren, i brattskråningen av Norskerenna sør for Egersund og på Nordsjøplataet. Disse sedimentene er avsatt av isbreer, som har deformert og trykt sammen sedimentene. Morene er ofte dårlig sortert og har en relativt høy skjærfasthet og romvekt. På grunn av den korte prøvelengden kan det ofte være vanskelig å skille grove glasimarine sedimenter og morene.

I Skagerrak blir sedimentene mer sandige ettersom en går oppover sørskråningen av Norskerenna, og på det svakt hellende plataet inn mot dansk sokkel består sedimentene av 60-85% veldig fin og fin sand. Vest for ca. 7°30'Ø er sandbunn først og fremst kartlagt i den øvre del av sør- og sørvestskråningen av Norskerenna. Vi antar at sanden hovedsaklig er avsatt av havstrømmer, og at en god del er vasket ut fra morene og glasimarine sedimenter på Nordsjøplataet. Mye av sanden i Skagerrak stammer fra den sørlige del av Nordsjøen, der det er stor tilførsel fra elver. Avsetning av sand er sannsynligvis en prosess som har foregått gjennom hele holocen, og som ennå pågår. Sandbunn finnes også i enkelte isolerte områder langs kysten. I mange tilfeller ligger det kun et tynt lag (5-10 cm) med transportert/utvasket sand over andre sedimenter.

Stein- og grusbunn opptrer først og fremst på Nordsjøplataet. Disse sedimentene var vanskelig å prøveta, men vi har anslått hvor de finnes ut fra deformasjon av prøvetakingsutstyret der dette har truffet stein på bunnen. I enkelte tilfeller har vi fått opp enkelte grovkornete fragmenter med prøvetakeren. Stein- og grusbunn opptrer hovedsaklig der havstrømmer har vasket bort de finere kornstørrelsene fra morene og grove, glasimarine sedimenter, og etterlatt grovkornete avsetninger. På Nordsjøplataet er der hyppig veksling i bunnsedimenttype over relativt korte avstander.

5. REFERANSER

- Bjerkli, K. 1997: Prøvetakingstokt nr. 9506 i Skagerrak 1995. M/S Michael Sars. Toktrapport. *NGU Rapport 97.118*.
- Bjerkli, K. & Moen, P. 1997: Prøvetakingstokt nr. 9606 i Skagerrak/Nordsjøen 1996. M/S Håkon Mosby. Toktrapport. *NGU Rapport 97.119*.
- Bøe, R. 1993: Sedimentologi og geotekniske undersøkelser på Niemistökjerneprøver fra Skagerrak. *NGU Rapport 93.050*, 78 s.
- Bøe R. 1994: Sedimentologi og geotekniske undersøkelser på sedimentkjerner tatt under tokt 9307 i Skagerrak. *NGU Rapport 94.017*, 41 s.
- Bøe, R. 1995: Sedimentologi og geotekniske undersøkelser på sedimentkjerner tatt under tokt 9404 i Skagerrak, med oppsummering av resultater 1992-1995. *NGU Rapport 95.020*, 102 s.
- Bøe, R., Olsen, H.A., Thorsnes, T., Torsvik, T. & Øverby, L. 1991: Maringeologisk/geofysisk tokt nr. 9101 i Skagerrak 1991, toktrapport. *NGU Intern Rapport 91.014*, 32 s.
- Bøe, R., Thorsnes, T., Ottesen, D., Olsen, H.A. & Øverby, L. 1993. Maringeologisk tokt nr. 9301 i området Egersundbanken-Norskerenna 1993, toktrapport. *NGU Rapport 93.090*, 24 s.
- Bøe, R., Rise, L., Thorsnes, T., de Haas, H., Sæther, O.M. & Kunzendorf, H. 1996: Sea-bed sediments and sediment accumulation rates in the Norwegian part of the Skagerrak. *NGU Bulletin 430*, 75-84.
- Bøe, R. & Rise, L. 1997: Fysiske egenskaper til bunnsedimenter i Norskerenna og Nordsjøen mellom Kristiansand og Karmøy. *NGU Rapport 97.065*, 31 s.
- Bøe, R., Rise, L. & Olsen, H.A. 1997: Sedimentologiske og geotekniske undersøkelser på sedimentkjerner fra Norskerenna mellom Kristiansand og Karmøy (tokt 9506 og 9606). *NGU Rapport 97.088*, 178 s.
- Longva, O. & Thorsnes, T. (editors) 1997: Skagerrak in the past and at the present. *NGU Special Publication 8*, 98 s.
- Norges Geotekniske Institutt 1986: Kornfordelingsanalyser ved NGI. En vurdering av Sedigraph 5000 ET. *NGI Intern Rapport 51000-7*, 21 s.
- Olsen, H.A. 1996: Mektighet av holocene sedimenter i Norskerenna/Nordsjøen vest for Egersund-Stavanger. *NGU Rapport 96.102*, 12 s.
- Ottesen, D., Thorsnes, T., Olsen, H.A. & Rise, L. 1994: Lettseismisk tokt nr. 9401 i vestlige Skagerrak 1994, toktrapport. *NGU Rapport 94.031*, 37 s.
- Ottesen, D. & Lien, R. 1995: Regional seismikk i Norskerenna/Nordsjøen vest for Stavanger-Egersund. Lettseismisk tokt 9503 i 1995, toktrapport. *NGU Rapport 95.099*, 51 s.
- Ottesen, D. & Paetzl, M. 1995: Core sampling cruise 9307 in the Skagerrak, 1993. Cruise Report. *NGU Rapport 95.080*, 16 s.
- Ottesen, D., Bøe, R., Longva, O., Olsen, H.A., Rise, L., Skilbrei, J.R. & Thorsnes, T. 1997: Geologisk atlas – Skagerrak. Atlas over kvartære avsetninger, bunnsedimenter, berggrunn og bathymetri i norsk sektor av Skagerrak. Summary in english. *NGU Rapport 96.138*, 55 s.

- Paetzel, M. 1992: Prøvetakingstokt nr. 9205 i Skagerrak 1992. M/S "Håkon Mosby". Toktrapport. *NGU Rapport 92.282*, 129 s.
- Rise, L., Rokoengen, K., Skinner, A.C. & Long, D. 1984: Nordlige Nordsjø. Kwartærgeologisk kart mellom 60°30' og 62°N, og øst for 1°Ø. M 1:500 000. *Institutt for kontinentalsokkelundersøkelser*.
- Rise, L. & Bøe, R. 1995: Fysiske egenskaper til bunnsedimenter i den norske delen av Skagerrak. *NGU Rapport 95.054*, 31 s.
- Rise, L., Olsen, H.A., Bøe, R. & Ottesen, D. 1996: Thickness, distribution and depositional environment of Holocene sediments in the Norwegian part of the Skagerrak. *NGU Bulletin 430*, 5-16.
- Thorsnes, T., Bøe, R., Ottesen, D., Larsen, E., Moen, P.T., Olsen, H.A., Totland, O. & Øverby, L. 1992: Maringeologisk/geofysisk tokt nr. 9204 i Skagerrak 1992, toktrapport. *NGU Rapport 92.287*, 42 s.
- Thorsnes, T., Bøe, R., Grøsfjeld, K., Olsen, H.A., Ottesen, D. & Øverby, L. 1993: Maringeologisk tokt nr. 9306 i Skagerrak 1993, toktrapport. *NGU Rapport 93.133*, 40 s.

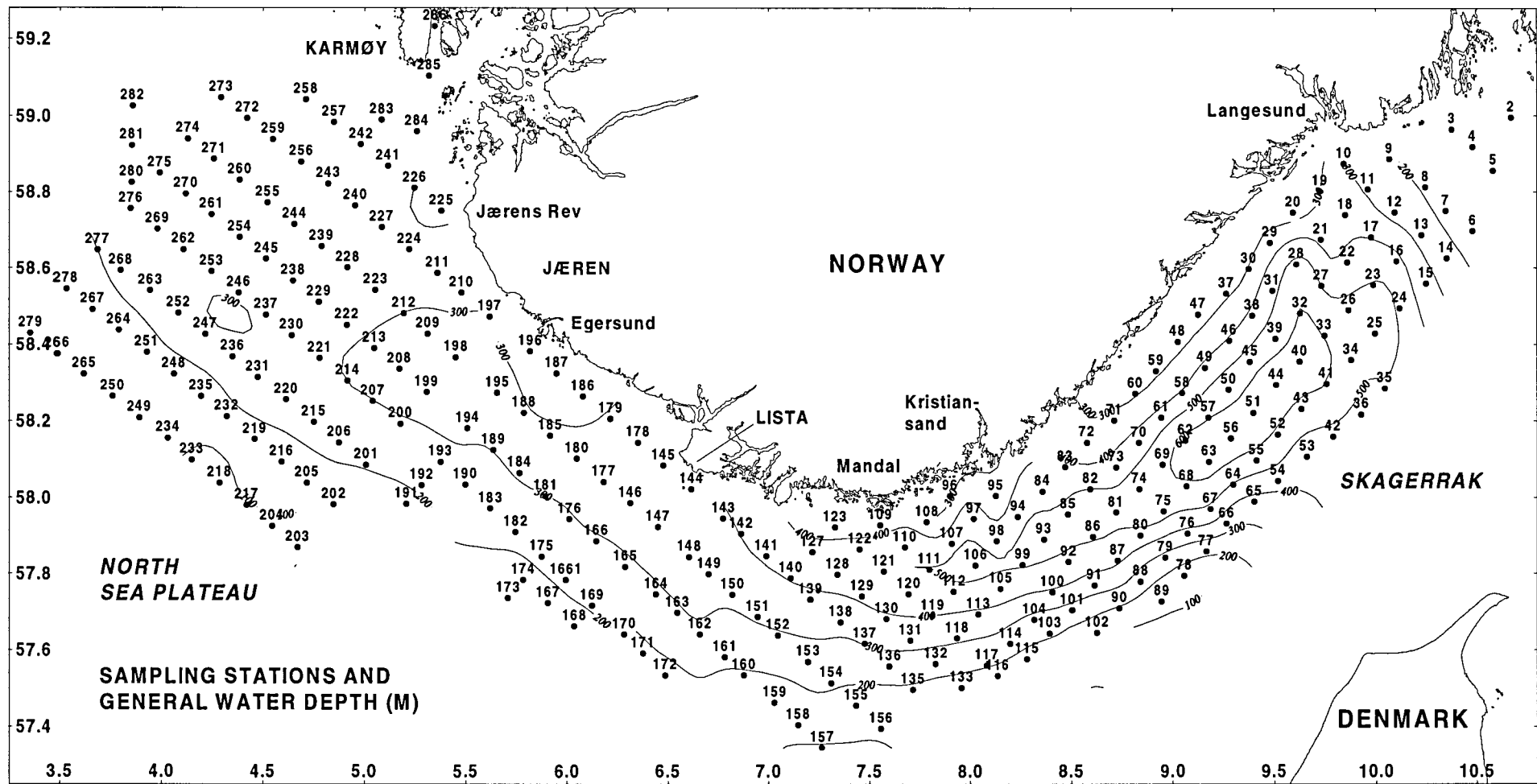


Figure 1

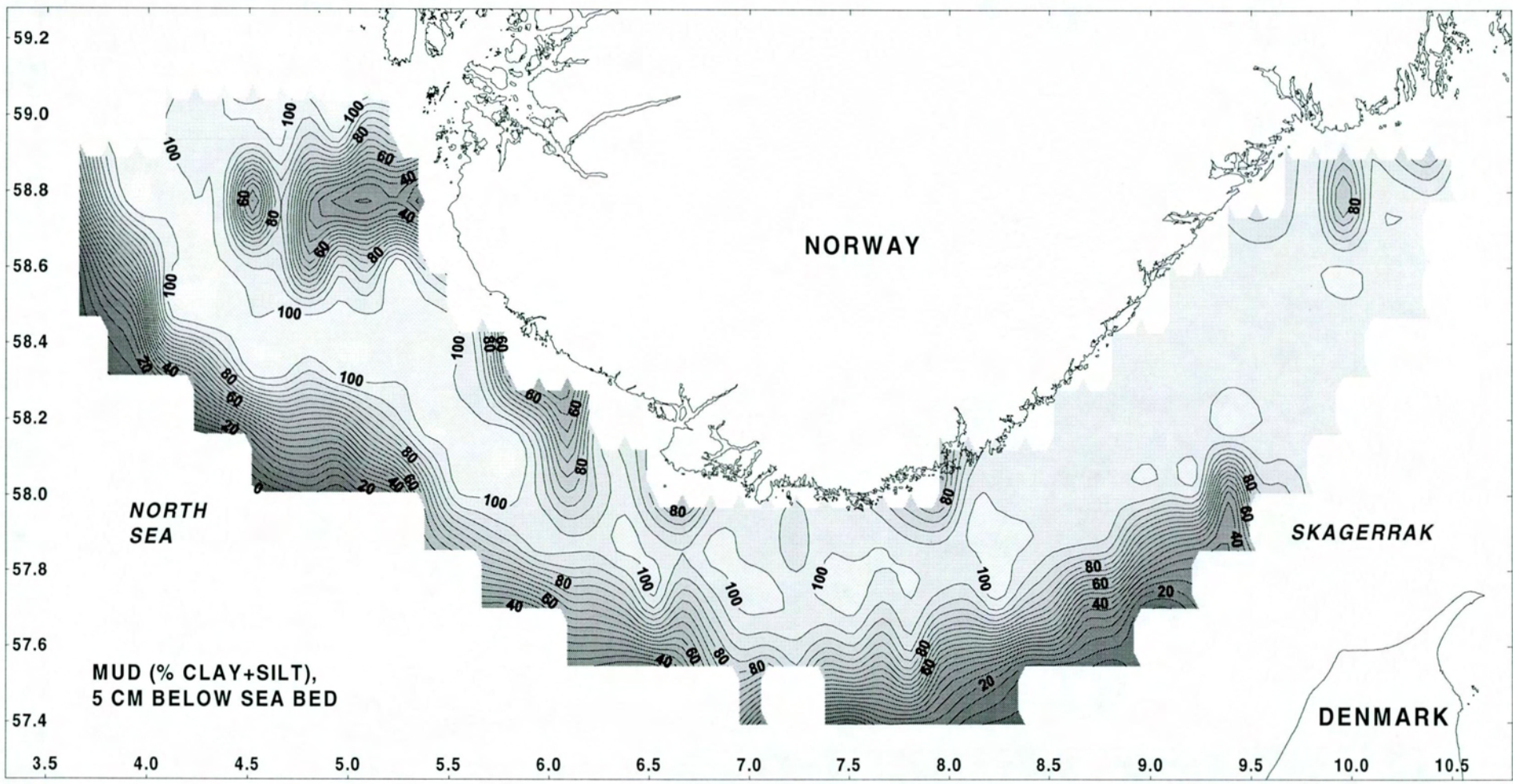
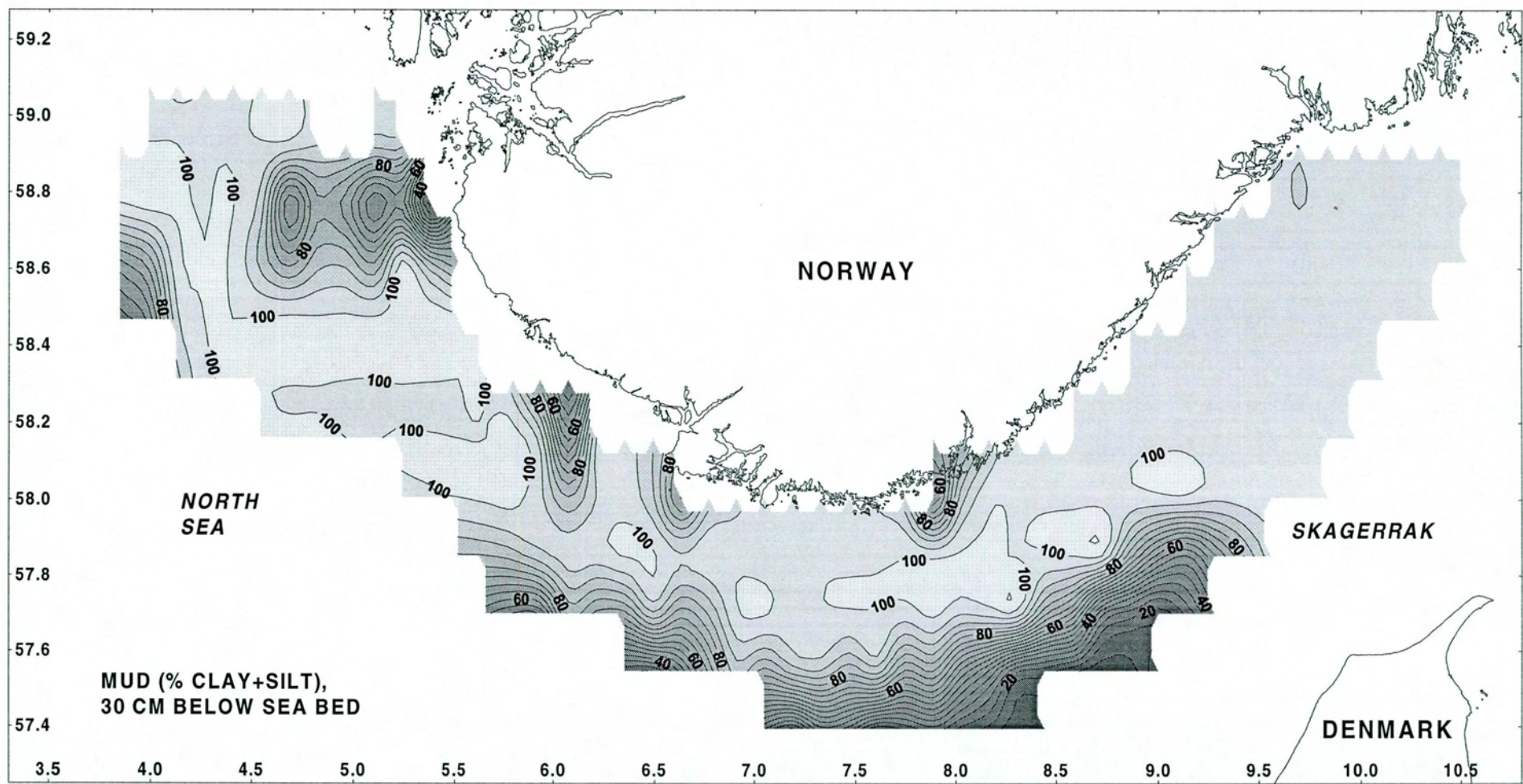
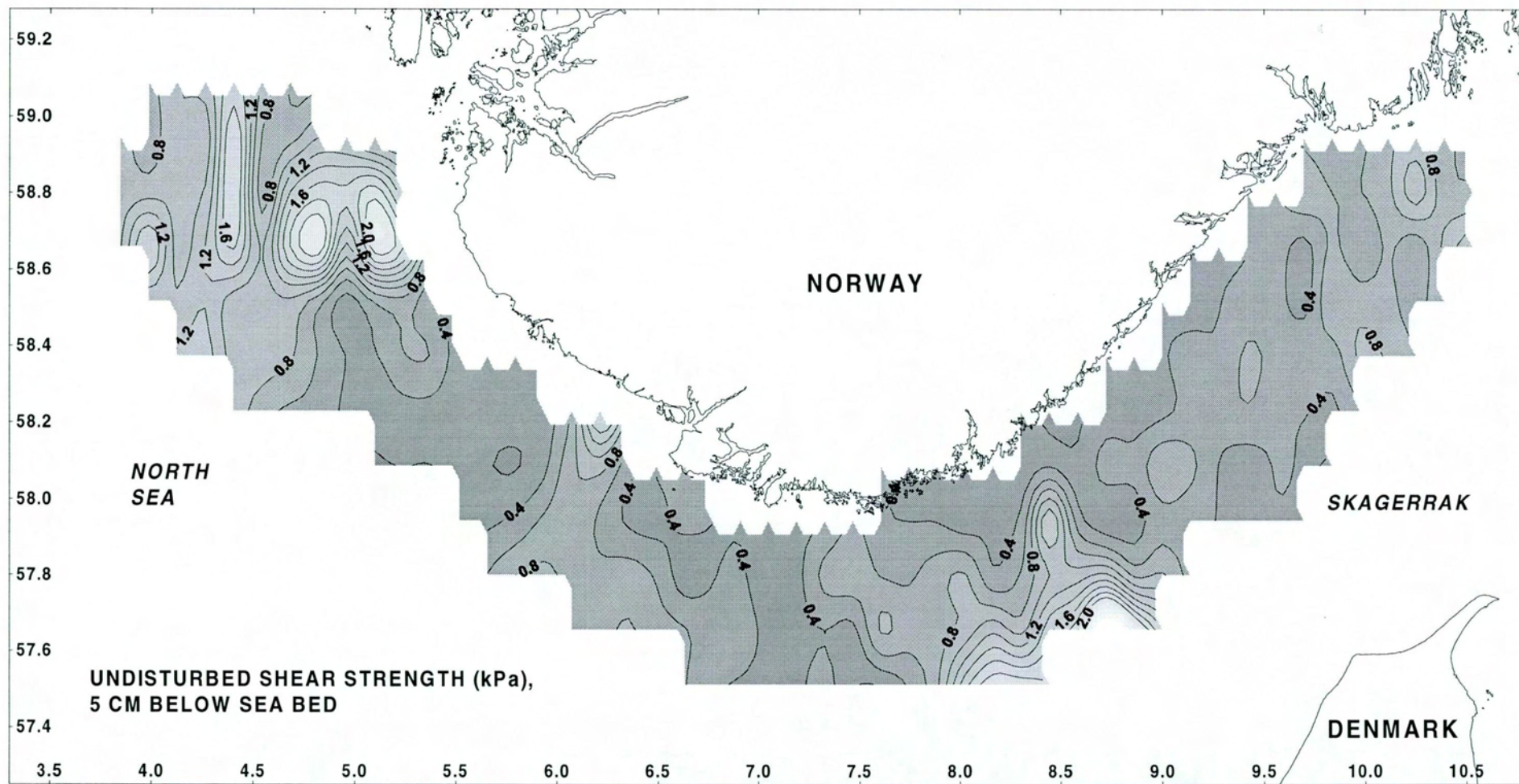


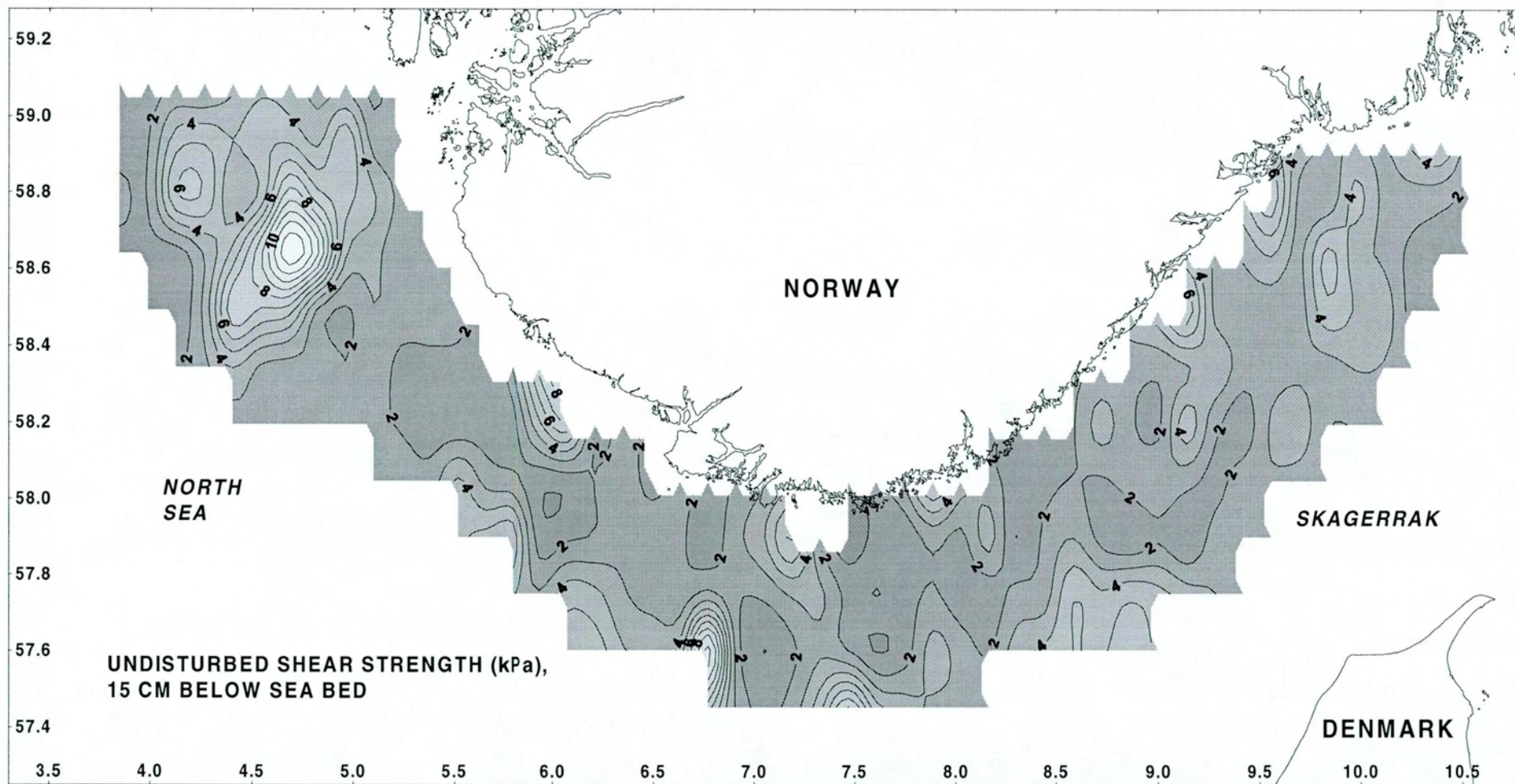
Figure 2



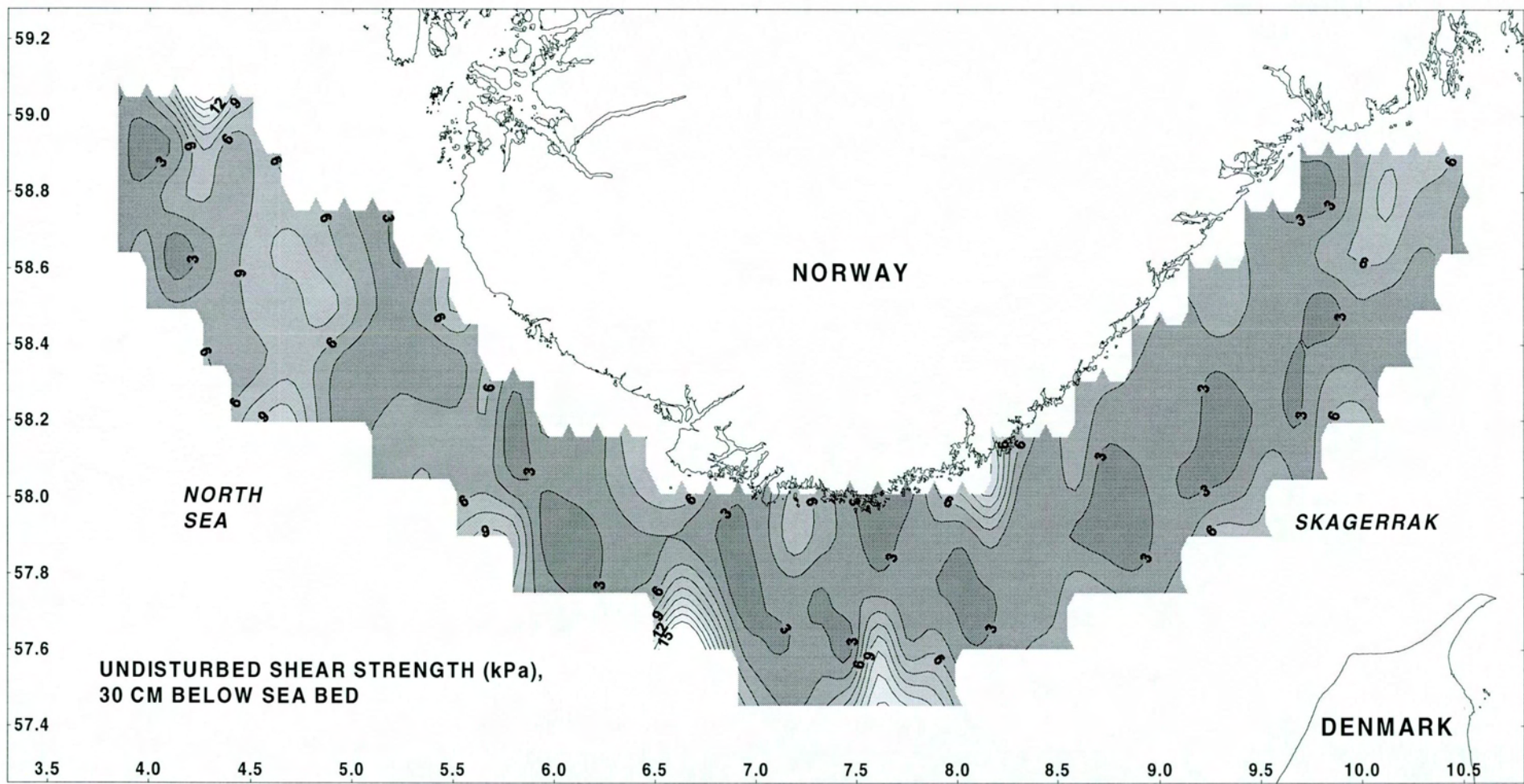
Figur 3



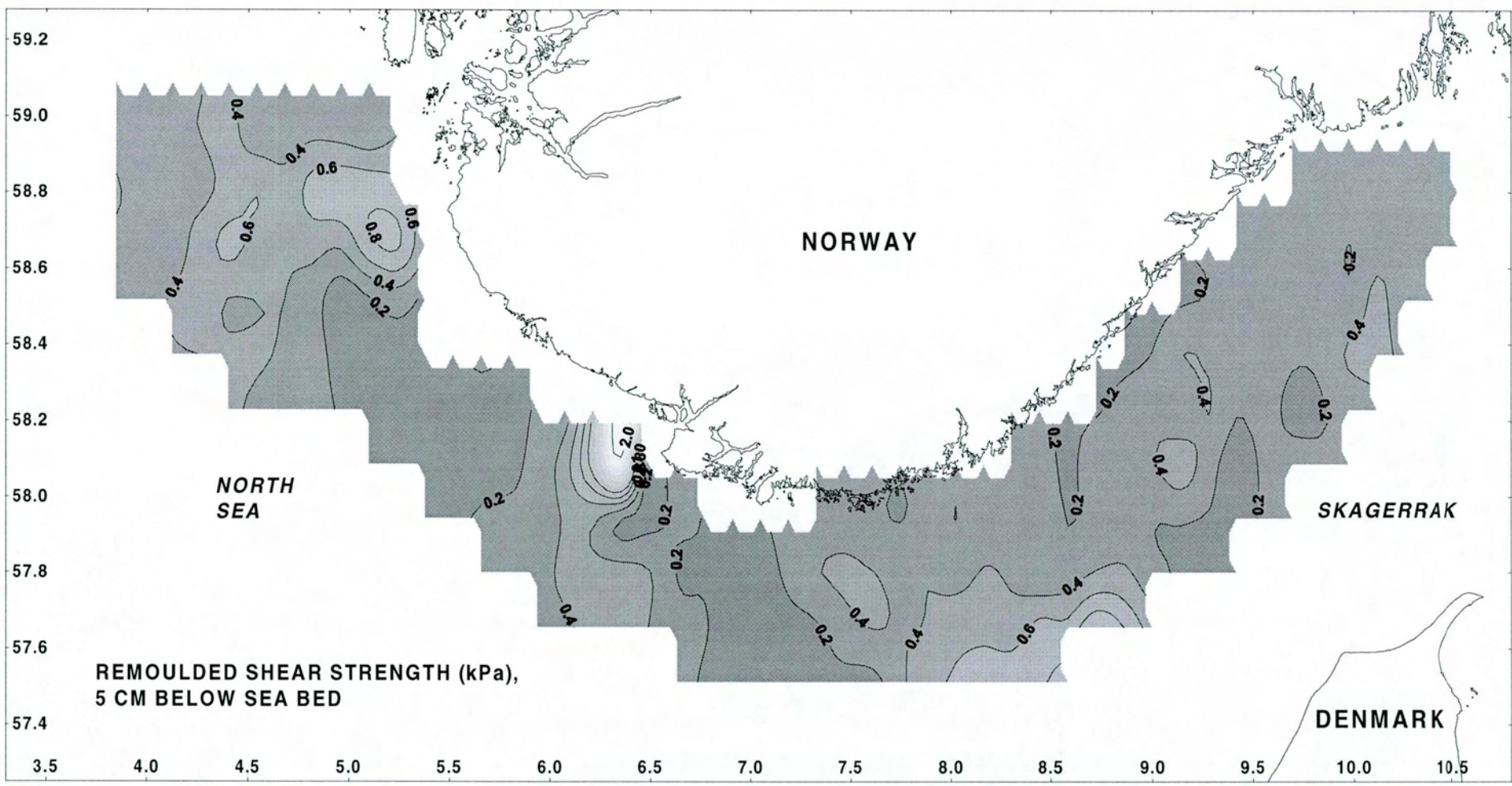
Figur 4



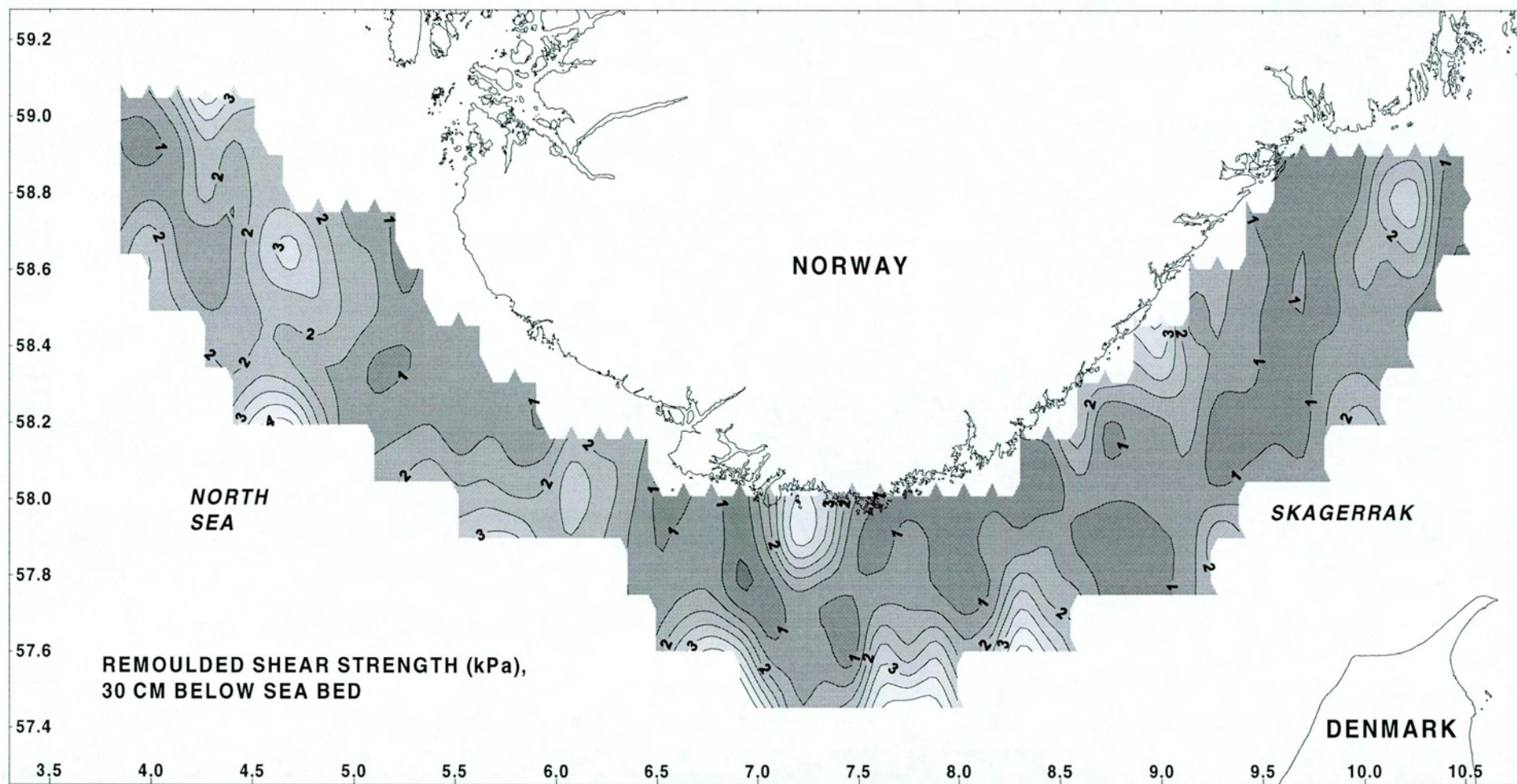
Figur 5



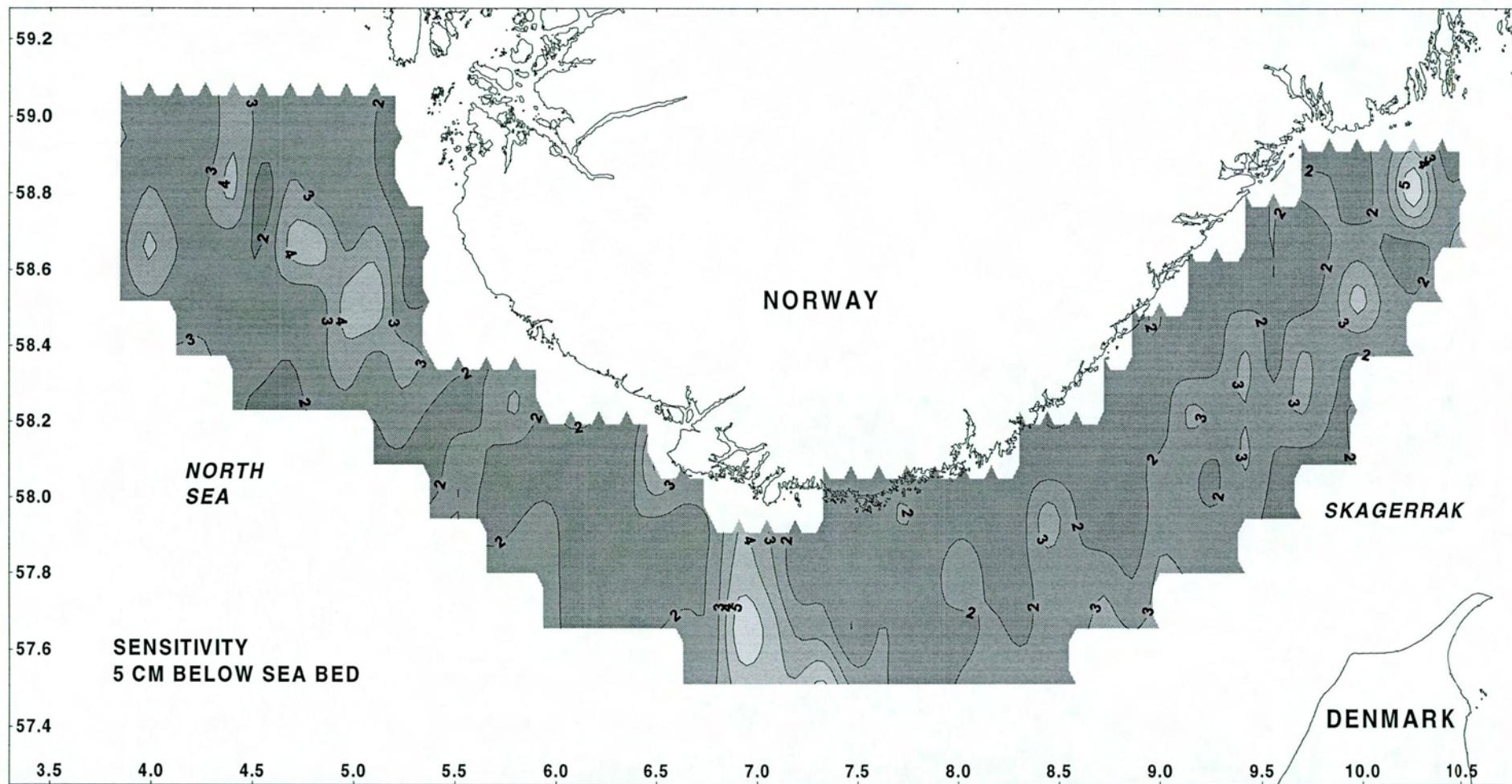
Figur 6



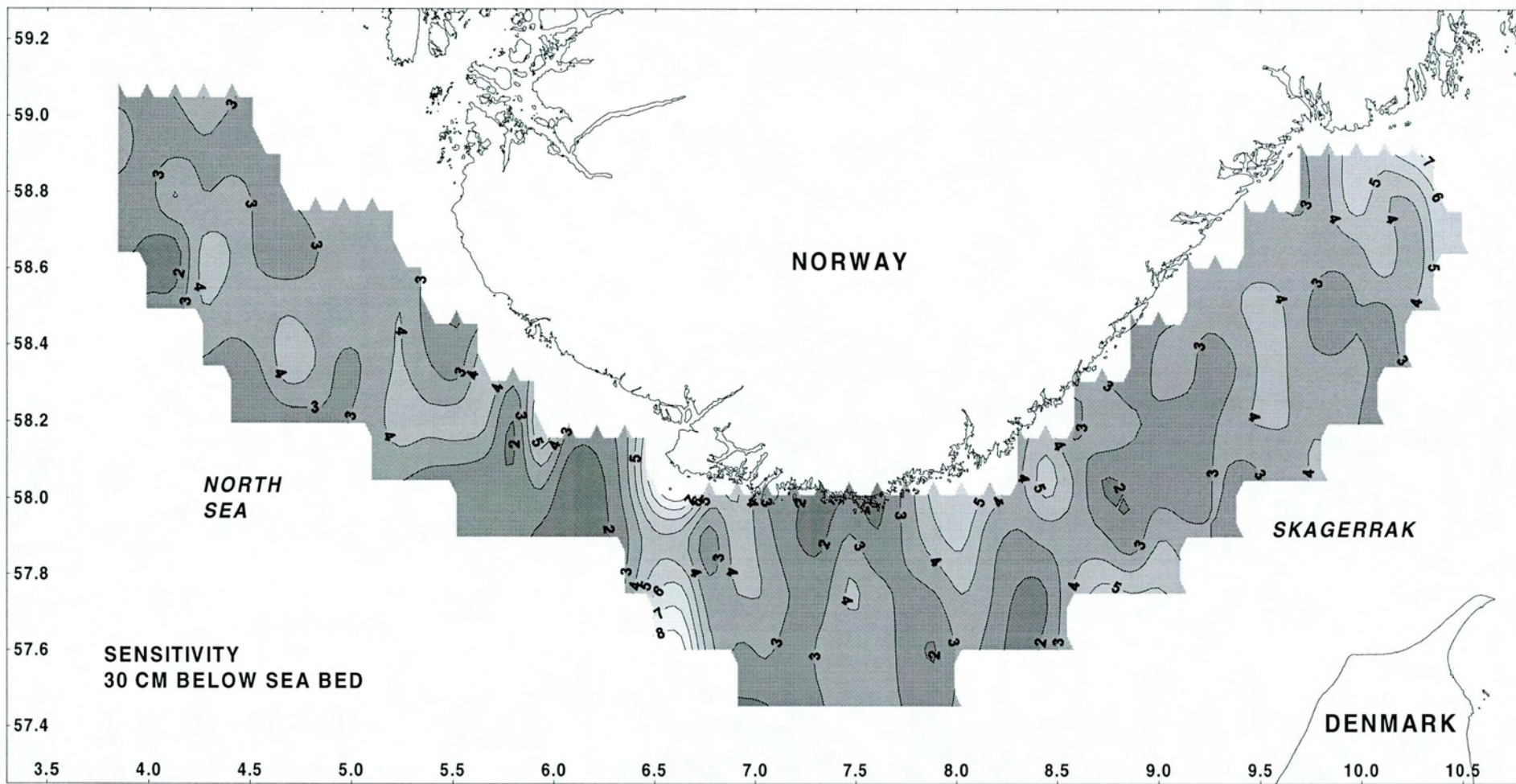
Figur 7



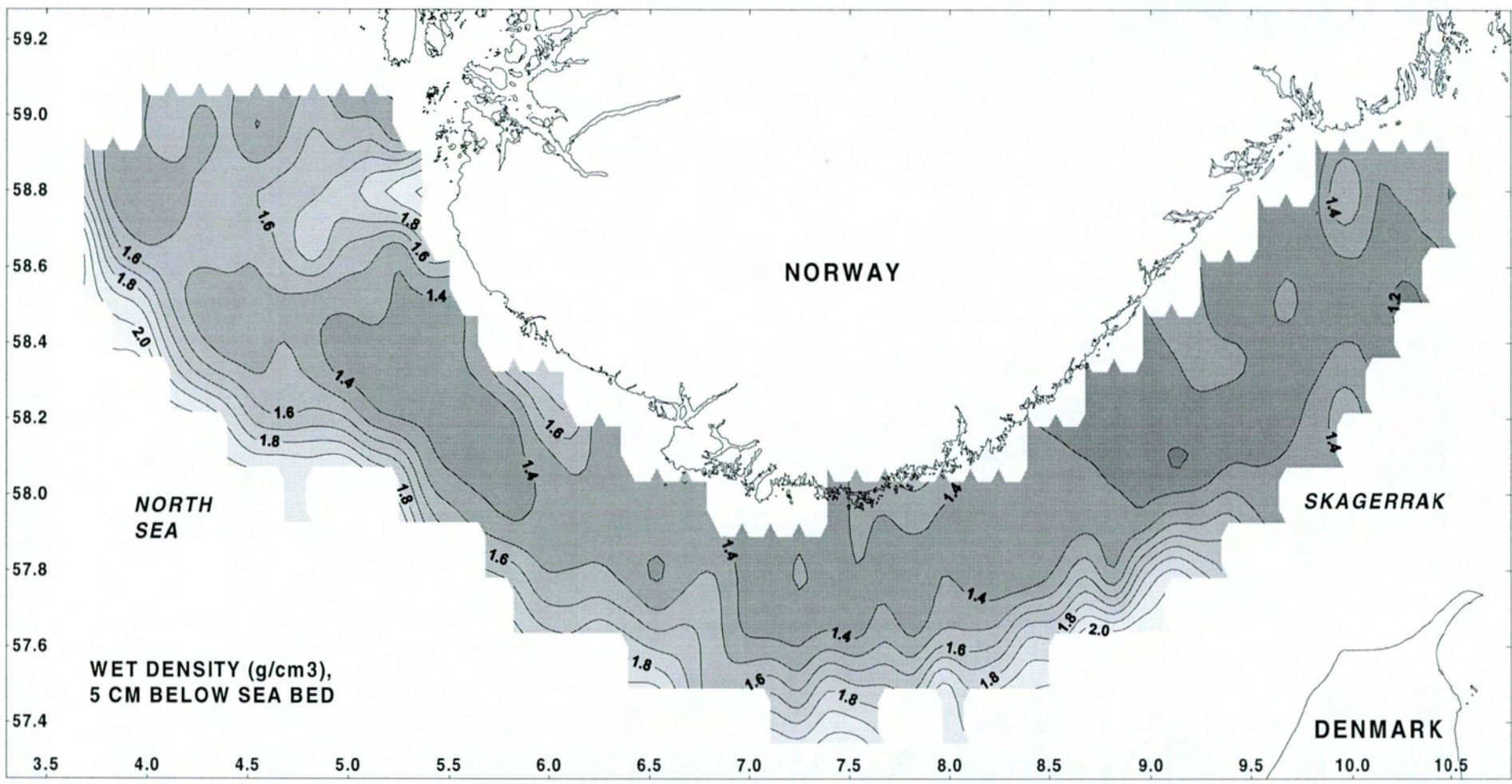
Figur 8



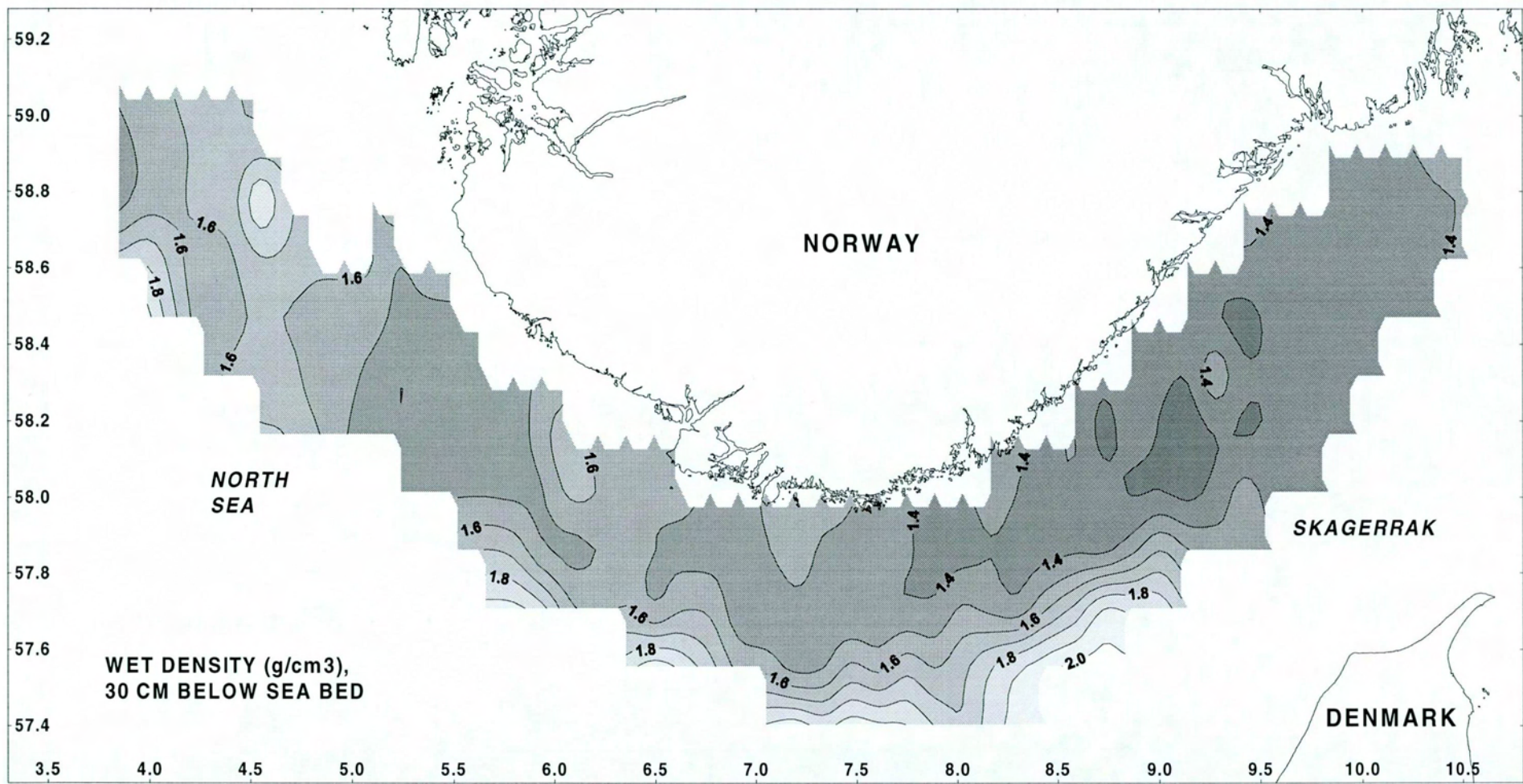
Figur 9



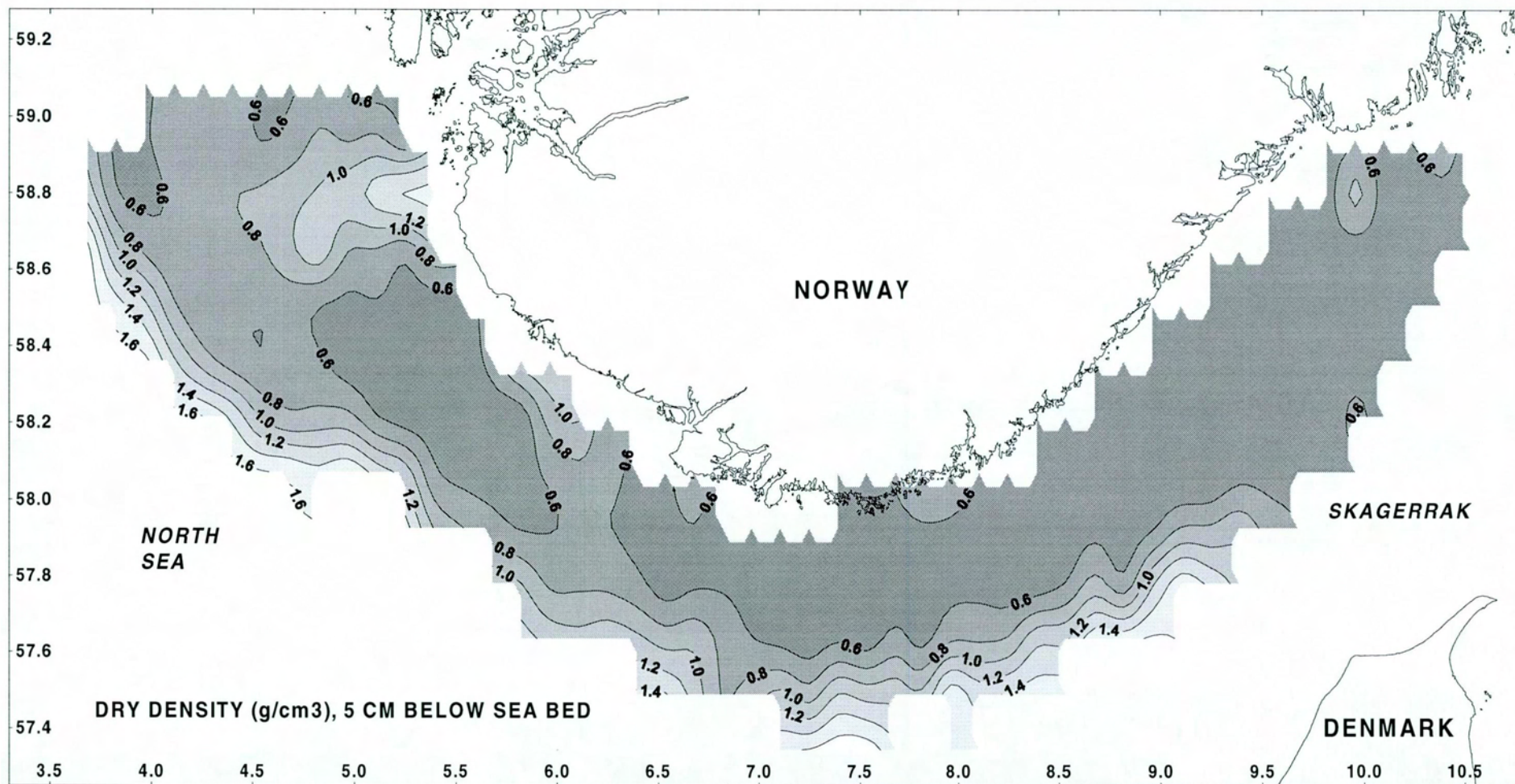
Figur 10



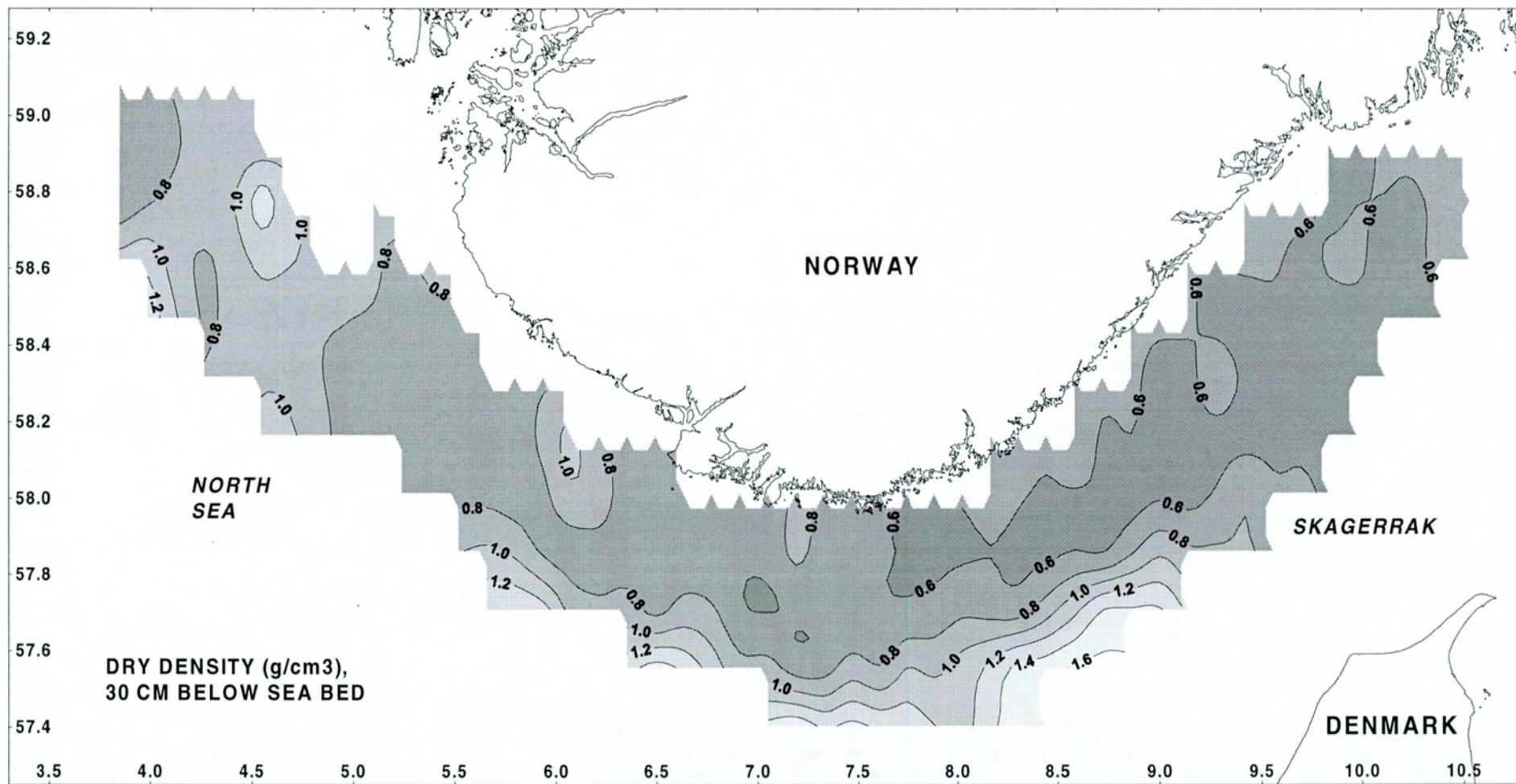
Figur 11



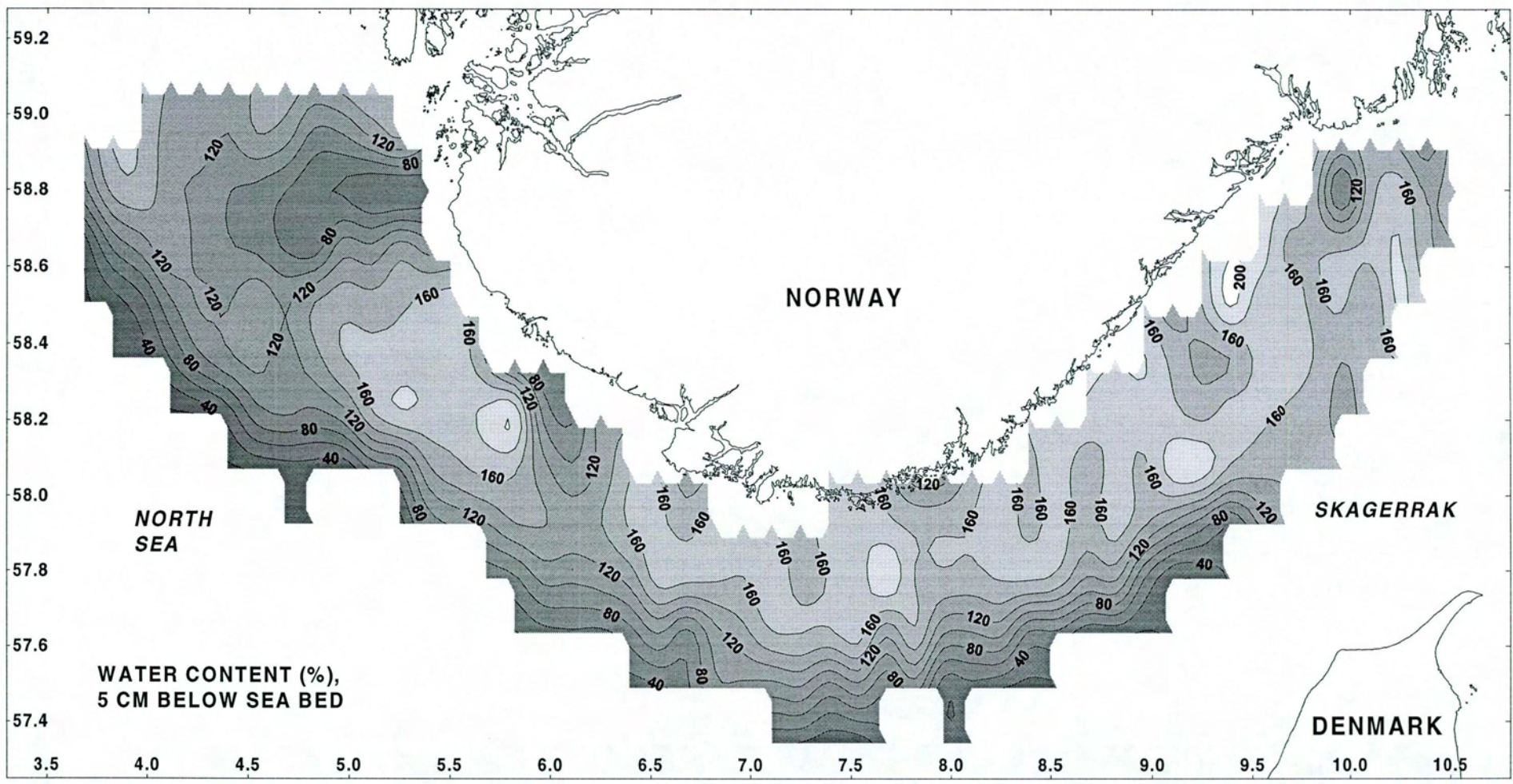
Figur 12



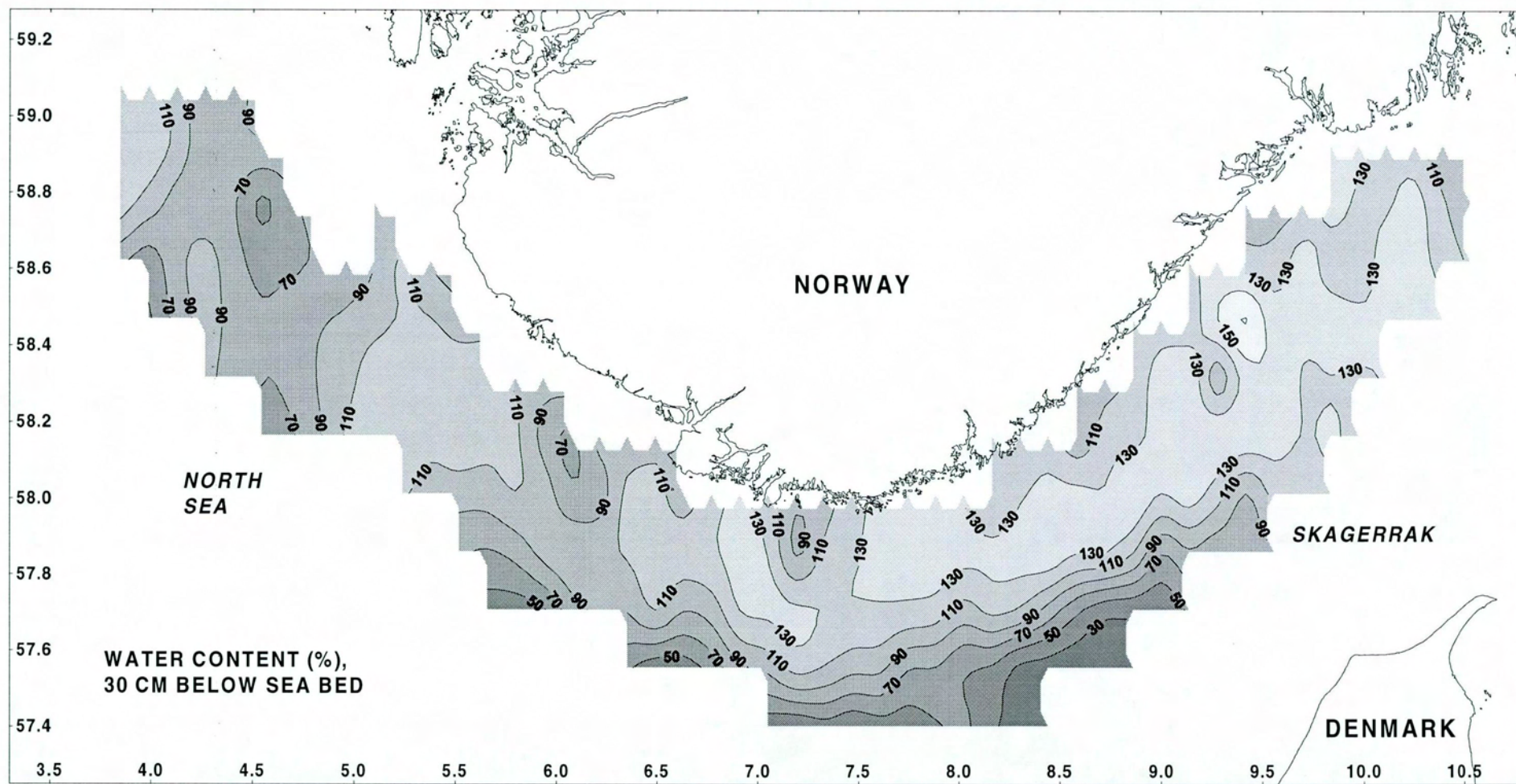
Figur 13



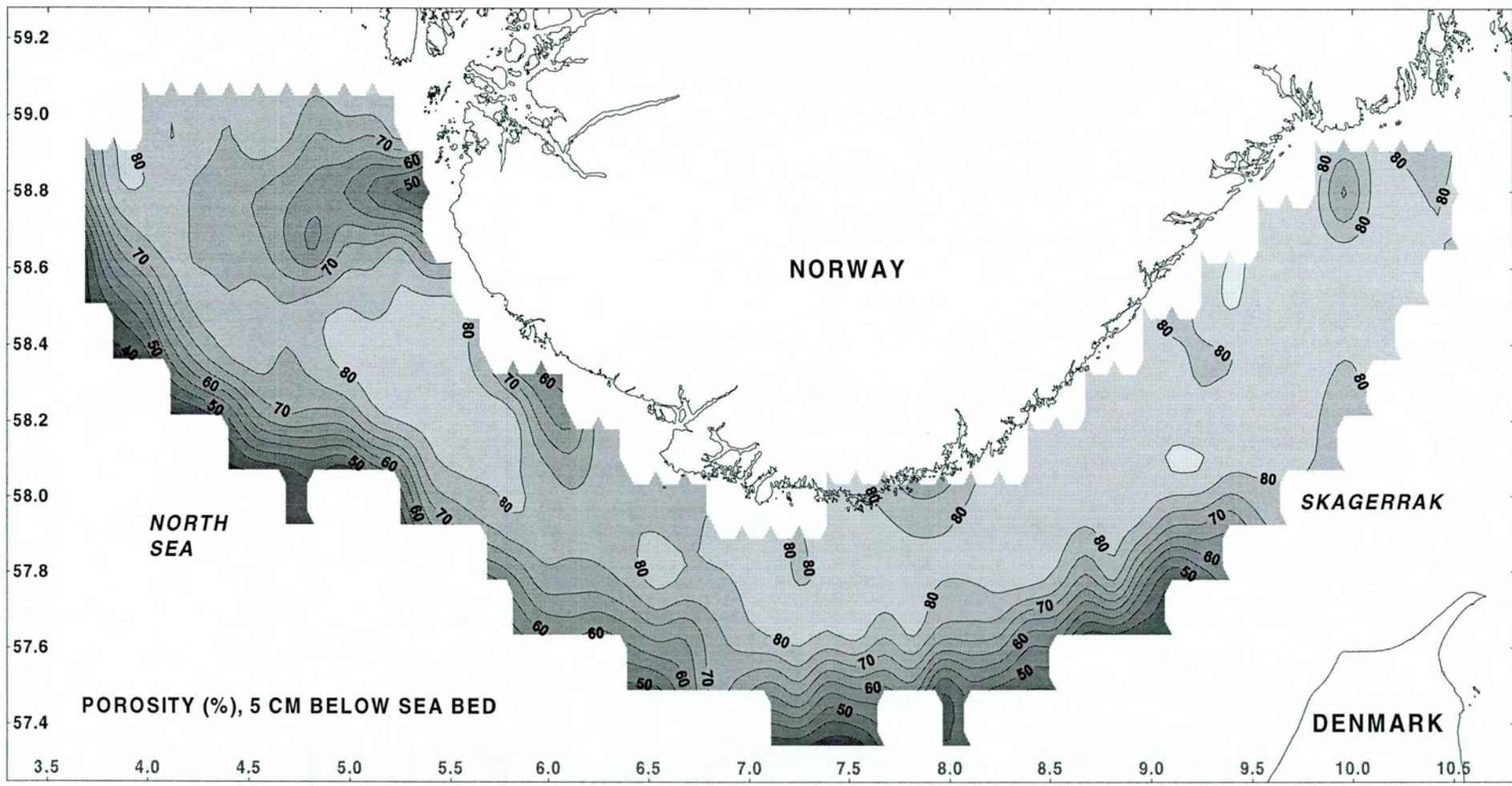
Figur 14



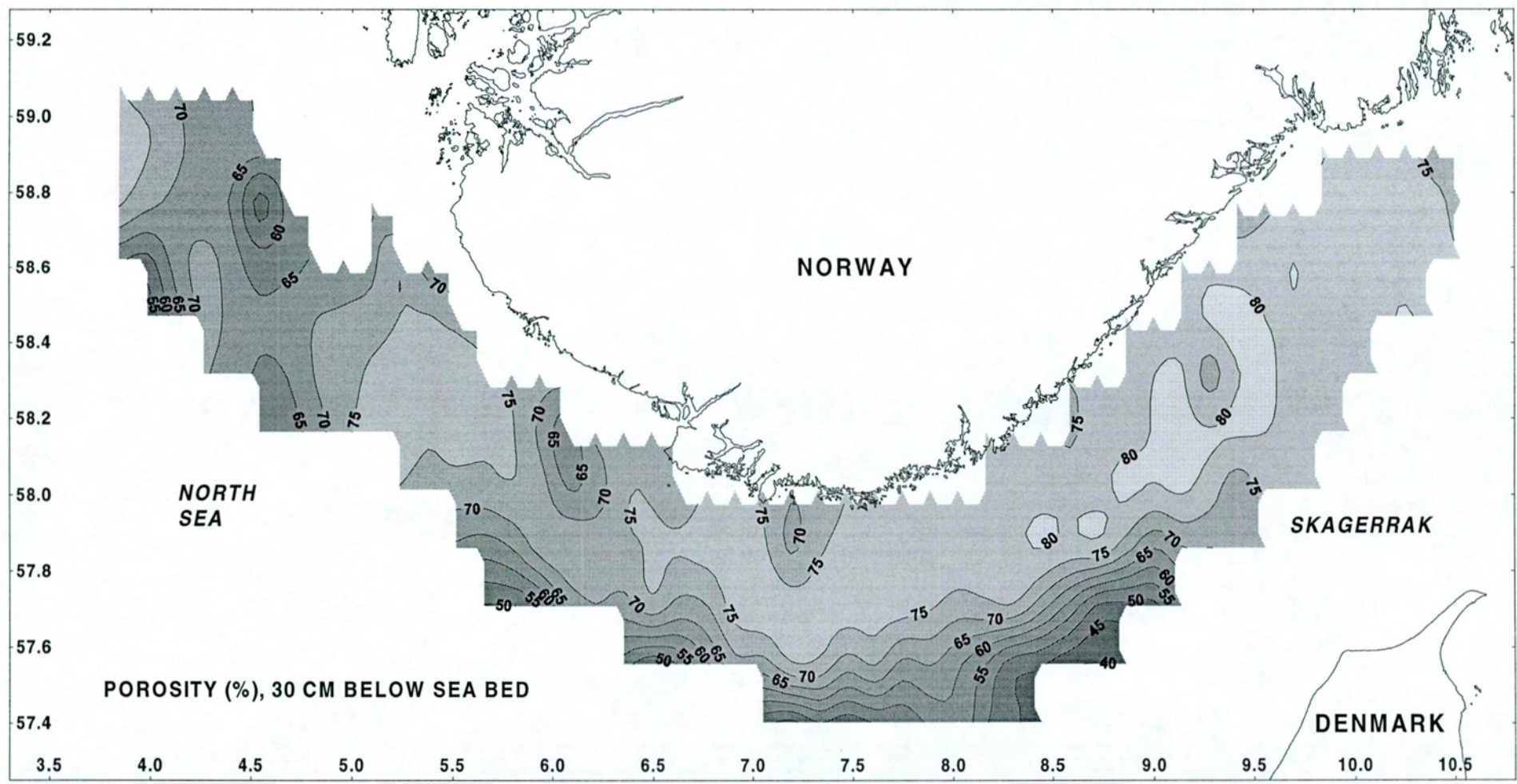
Figur 15



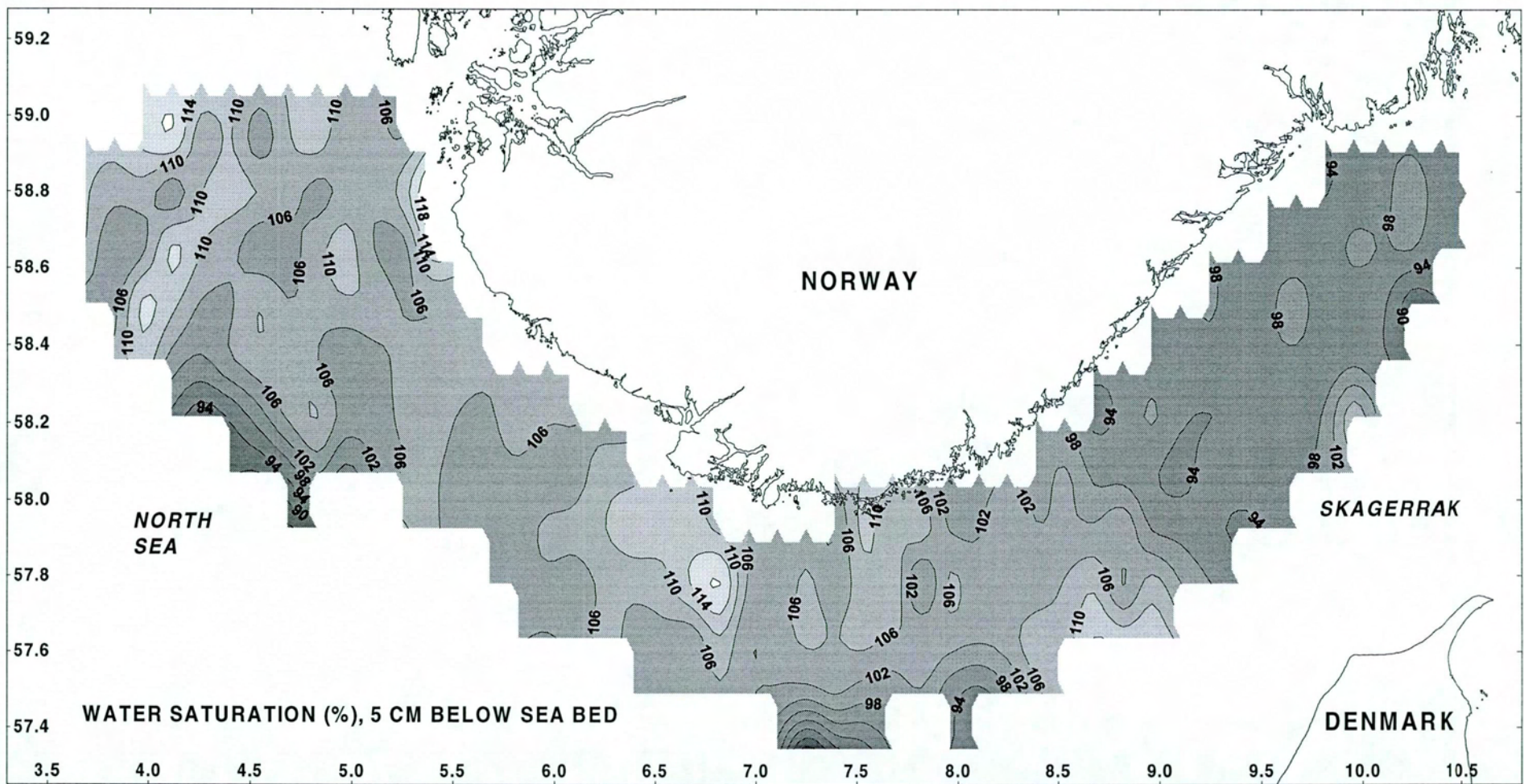
Figur 16



Figur 17



Figur 18



Figur 19

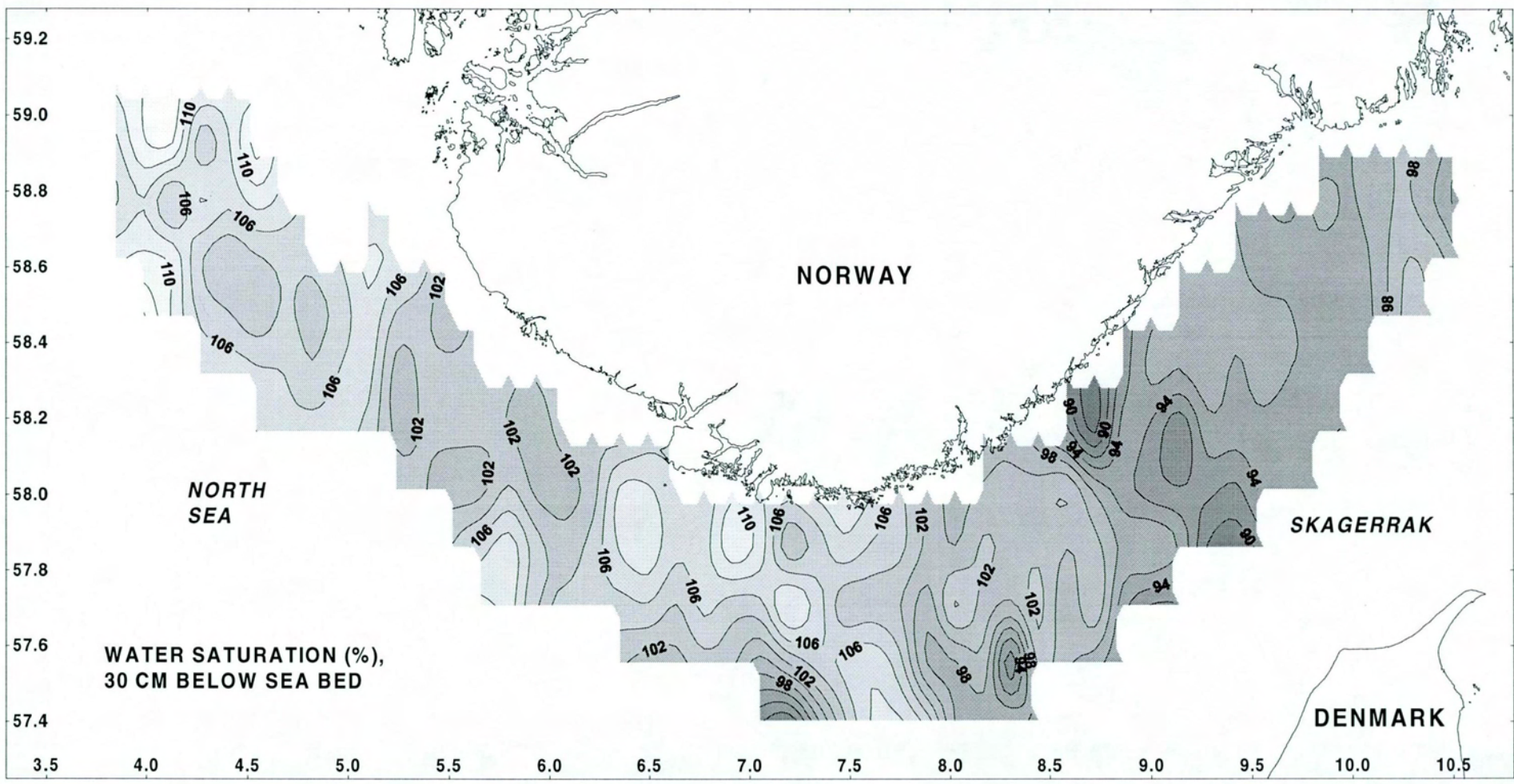


Figure 20