

Tolkning av sedimentprøver fra Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen innsamlet 2004 - 2008

Ellen Johanne Eidem

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

18. desember 2008

FFI-rapport 2008/02041

1027

P: ISBN 978-82-464-1495-9

E: ISBN 978-82-464-1496-6

Emneord

Kjerneprøver

Bunnprøver

Kornstørrelse

Marine sedimenter

Lydhastighet

Godkjent av

Torgeir Svolsbru

Prosjektleder

Elling Tveit

Forskningssjef

John-Mikal Størdal

Avdelingssjef

Sammendrag

I forbindelse med oppmåling av havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i den nordlige Nordsjøen har Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) tatt 40 kjerneprøver og 37 grabbprøver i årene 2004 – 2008 for undersøkelser av havbunnens beskaffenhet [1]. Øvingsfeltet ligger mellom innløpet til Bømlafjorden (59°30'N) og innløpet til Sognefjorden (61°00'N), og strekker seg fra kysten ut mot Nordsjøplatået (2°30'E). FFI startet opp med havbunnskartleggingen av øvingsfeltet i 2003 og vil etter planen bli ferdig i løpet av 2009. Den sørlige delen av Nordsjøplatået gjenstår per i dag. Kjerneprøvene og fem av grabbprøvene vi har tatt er på oppdrag fra FFI analysert ved Universitetet i Bergen (kornfordeling, lyd hastighet, tetthet, magnetisk susceptibilitet og skjærstyrke), mens de resterende 32 grabbprøvene er analysert rudimentært av FFI.

Informasjon om havbunnen er svært viktig i militære operasjoner tilsjøs. Utbredelsen av lyd fra skip, eksplosive ladninger og sonarer er avhengig av både topografi og havbunnens geoakustiske egenskaper ved lave frekvenser eller i grunne farvann. Havbunnen består ofte av flere lag og geoakustiske egenskaper som blant annet lyd hastighet, tetthet og lagtykkelse har betydning for lydutbredelsen. Ved prediksjoner av rekkevidden til sonarer i for eksempel det akustiske modelleringsverktøyet LYBIN, vil det tilsvarende være en stor fordel å kjenne omgivelsene best mulig. På bakgrunn av kunnskaper om havbunnens geoakustiske egenskaper kan geografiske kart over områder med lave og høye lydutbredelsestap lages, og disse kan brukes taktisk i militære operasjoner. For bunning av ubåter eller minelegging er det viktig å vite bunntypen i aktuelle områder (leir, silt, sand, grus, steinbunn osv). Elektroniske kart over både bunntype, geoakustiske parametre og lydutbredelsestap kan legges inn i Forsvarets geografiske informasjonssystem MARIA.

I denne rapporten tolkes de eksperimentelle analysene av bunnprøvene. Andelen av leir, silt, sand og grus vises geografisk. I Norskerenna er det hovedsakelig silt. De største sandmengdene finnes på Nordsjøplatået i nordvest (66 – 98 %). Langsmed kysten er det også mye sand. Den største mengden leir er funnet i Korsfjorden, og langsmed nordre del av kysten. Det er minimalt med leir og silt på Nordsjøplatået. Bunnprøver tatt i Norskerenna rett nedenfor Nordsjøplatået klassifiseres som sandholdig silt. I sørøst og nordvest er det relativt sett høyere andel grus enn ellers. Bunnprøvene grupperes i fire klasser på bakgrunn av kornstørrelse og/eller kvalitativ beskrivelse og gir et bilde av havbunnens beskaffenhet i øvingsfeltet som stemmer med topografien. Lyd hastighetsmålingene er varierende, men jevnt over er hastigheten lav for sedimentene vi har målt (1450 – 1600 m/s ved midling over de øverste 50 cm). Tettheten ligger mellom 1.3 – 2.2 g/cm³, og ser ut til å øke med økende kornstørrelse i overflaten. Magnetisk susceptibilitet er opp mot 300·10⁻⁵ SI, med hovedvekten av prøvene lavere enn 40·10⁻⁵ SI. Skjærstyrken ligger i området 0 – 30 kPa, med hovedvekten av prøvene lavere enn 20 kPa.

Rapporten foreslår områder der ytterligere bunnprøver er nødvendig. Det anbefales også å vurdere om andre metoder er bedre egnet for måling av lyd hastighet og tetthet.

English summary

In connection with surveying the Navy's exercise area in northern North Sea, Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) have during the years 2004 – 2008 taken 40 gravity cores and 37 grab samples to provide sediment samples to characterize and classify the sea bed [1]. The exercise area lies between the inlet of Bømlafjorden (59°30'N) and the inlet of Sognefjorden (61°00'N), and is stretching from the coast to the North Sea Plateau (2°30'E). FFI began the surveillance of the area in 2003 and the plan is to finish in 2009. The southern part of North Sea Plateau remains when this report is written. The 40 core samples and five of the grab samples obtained are analysed by the University of Bergen, while the remaining 32 grab samples are analyzed by FFI.

Information about the seafloor is of importance in military operations at sea. The propagation of sound from for instance ships, explosive charges and sonars is dependent on both topography and the geoacoustic properties of the seabed at low frequencies or in shallow waters. The seabed consists often of several layers, and geoacoustic parameters such as sound velocity, density and layer thickness influences the sound propagation. In predictions of sonar performance with for instance the acoustic modelling tool LYBIN, information about the environment is correspondingly a benefit. Based on knowledge about the geoacoustical properties of the seabed, maps with areas of low and high transmission losses are made for tactical use in military operations. When laying a submarine on the seabed, it is essential to know the bottom type (clay, silt, sand, gravel, rock etc). Electronic charts of bottom types, geoacoustic parameters and transmission losses are possible to add to the Navy's geographical information system MARIA.

In this report the results from the analyses of the bottom samples are interpreted. The amount of clay, silt, sand and gravel is shown geographically. In the Norwegian trench it is mainly silt. The largest amounts of sand are found on the North Sea Plateau in northwest (66 – 98 %). Close to the coast it is also considerable amounts of sand. The largest amount of clay is found in Korsfjorden, and along the northern coast. Neither silt nor clay is found at the North Sea Plateau. Bottom samples obtained in the Norwegian trench beneath the North Sea Plateau are classified as sandy silt. In southeast and northwest it is relatively high amounts of gravel than elsewhere. The bottom samples are grouped into four classes based on grain size distribution and/or qualitative description of the samples and give a picture of the bottom conditions in coherence with the topography. The sound velocity measurements are varying, but overall low (1450 – 1600 m/s when averaging the upper 50 cm). The density is between 1.3 – 2.2 g/cm³, and seems to be increasing with increasing grain size at the seabed. The sound velocity and density are not possible to measure at the top of the cores due to the small core diameter and bad packing of the sediments. Magnetic susceptibility is up to about 300·10⁻⁵ SI. The majority of the cores have however susceptibility less than 40·10⁻⁵ SI. The shear strength is between 0 – 30 kPa, and the majority of the cores have less than 20 kPa.

The report suggests areas for further sampling. It is recommended to evaluate if other methods are more suitable for sound velocity and density measurements.

Innhold

	Forord	6
1	Innledning	7
2	Eksperimentelt	8
3	Kornfordeling	10
3.1	Klassifisering av bunnprøver basert på kornstørrelse	10
3.2	Kumulative kornfordelinger	15
3.3	Sammenligning av kornstørrelse og sedimentklasser	18
4	Klassifisering av grabbprøver og kjerneprøver	19
5	Lydhastighet, gammatetthet, magnetisk susceptibilitet, porøsitet og skjærstyrke	23
5.1	Lydhastighet og gammatetthet	23
5.1.1	Lydhastighet	23
5.1.2	Gammatetthet	25
5.1.3	Lydhastighet versus gammatetthet	27
5.2	Målinger av våttetthet, korntetthet og porøsitet	30
5.2.1	Våttetthet	30
5.2.2	Korntetthet	31
5.2.3	Porøsitet og fraksjonert porøsitet	32
5.3	Magnetisk susceptibilitet	33
5.4	Skjærstyrke	34
6	Oppsummering og videre arbeider	35
6.1	Forslag til videre arbeider	36
	Appendix A Kornstørrelse	37
	Appendix B Beskrivelse av grabbprøver	40
	Appendix C Beskrivelse av kjerneprøver	41
	Appendix D In-situ lydhastighet	43
	Referanser	45

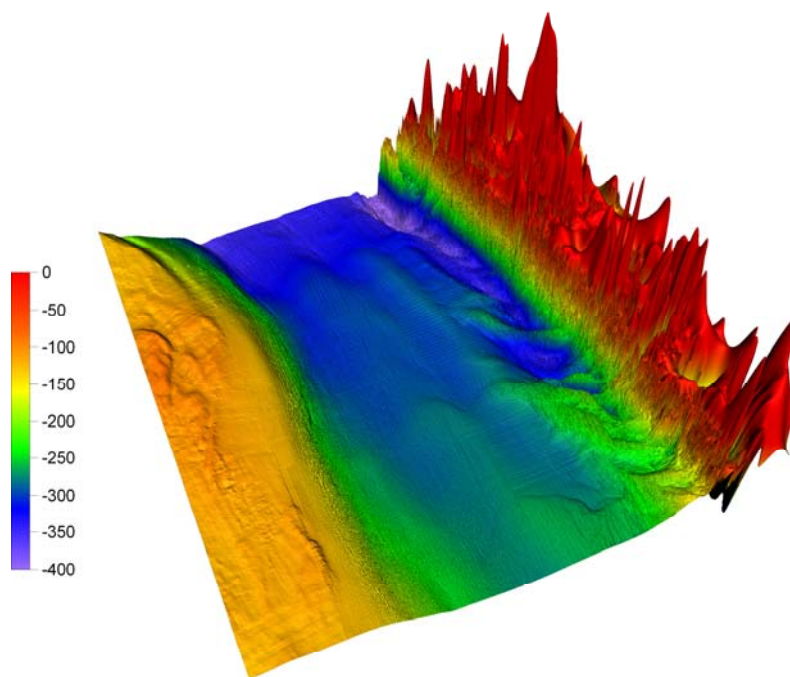
Forord

Arbeidet i denne rapporten er gjort under FFI-prosjektet Poseidon, som avsluttes desember 2008.

1 Innledning

I forbindelse med oppmåling av havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen har Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) tatt kjerneprøver og grabbprøver for undersøkelser av bunnens beskaffenhet. Øvingsfeltet er definert som området mellom innløpet av Bømlafjorden ($59^{\circ}30'N$) og innløpet av Sognefjorden ($61^{\circ}00'N$), fra kysten ut mot Nordsjøplatået ($002^{\circ}30'E$). Topografien er variert med Nordsjøplatået i vest, Norskerenna i midten og kysten i øst, se figur 1.1. FFI startet opp med havbunnskartleggingen av det aktuelle området i 2003 og vil etter planen bli ferdig i løpet av 2009. Per dags dato gjenstår deler av området i vest mellom $002^{\circ}30'E$ og $003^{\circ}00'E$. I denne rapporten tolkes de eksperimentelle analysene som er foretatt på kjerneprøvene og grabbprøvene. FFI har foretatt seismiske undersøkelser av øvingsområdet og tolkningen av disse er rapportert i [2]. Klassifisering av havbunnen i øvingsfeltet basert på tolkning av bunnprøvene, og prosessering og tolkning av data fra enkeltstråleekkolodd og seismiske undersøkelser er rapportert i [3].

Kapittel 2 gir en kort beskrivelse av bunnprøvene som er innsamlet. For nærmere informasjon henvises det til [4]. Kapittel 3 omhandler resultatene fra kornfordelingsanalyser. I kapittel 4 klassifiseres både grabbprøver og kjerneprøver basert på forskjellige metoder. Kapittel 5 beskriver andre analyser som er foretatt på kjerneprøvene. Dette innbefatter målinger av lydshastighet, gammatetthet, magnetisk susceptibilitet og skjærstyrke. Forholdet mellom lydshastighet og tetthet for FFIs kjerneprøver sammenlignes med resultater publisert i litteraturen. Kapittel 6 gir en oppsummering av rapporten.



Figur 1.1 Topografien i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen sett fra sydvest. I vest sees Nordsjø-platået, i midten Norskerenna og i øst kysten med landtopografien.

2 Eksperimentelt

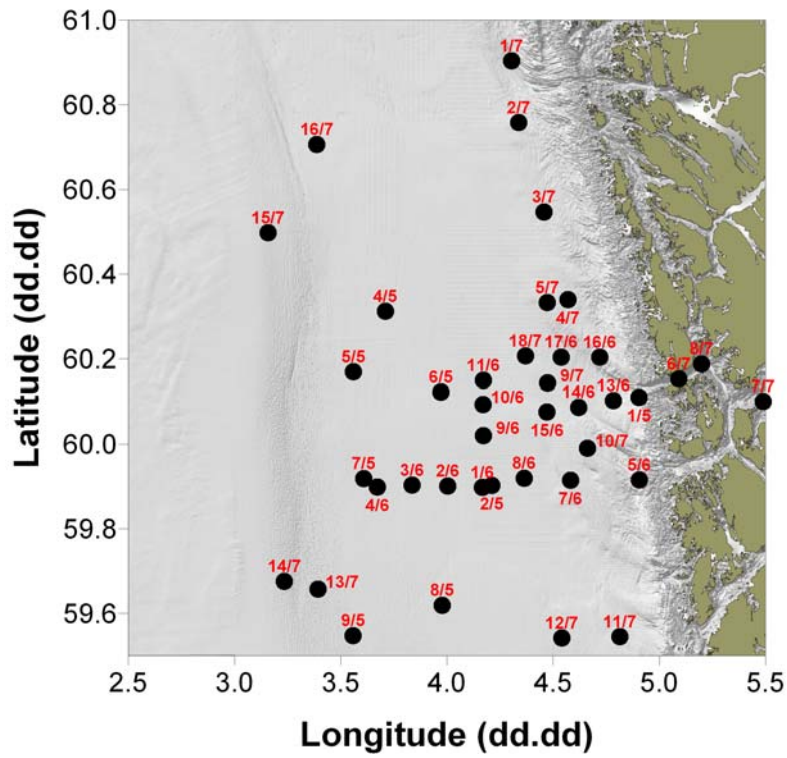
Totalt har FFI tatt 40 kjerneprøver og 37 grabbprøver fra havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen i årene 2004 – 2008. Tre av kjerneprøvene er tatt i Korsfjorden. Grabbprøvene og kjerneprøvene er nummerert fortløpende for hvert år som vist i tabell 2.1. Figur 2.1 og figur 2.2 viser hvor henholdsvis kjerneprøvene og grabbprøvene er tatt. Selve innsamlingen og de eksperimentelle analysene foretatt på prøvene er beskrevet nærmere i [4]. Kjerneprøvene ble sendt til analyse ved Universitetet i Bergen (UiB) og resultatene er rapportert i [5-7]. I 2006 ble kjerneprøvene splittet før analyse, og på bakgrunn av denne erfaringen splittet ikke UiB kjerneprøvene i 2007 og 2008. Følgende analyser er foretatt ved UiB:

- Kornfordeling
- Lydhastighet
- Gammatetthet
- Magnetisk susceptibilitet (kun prøver fra 2005 og 2006)
- Skjærstyrke

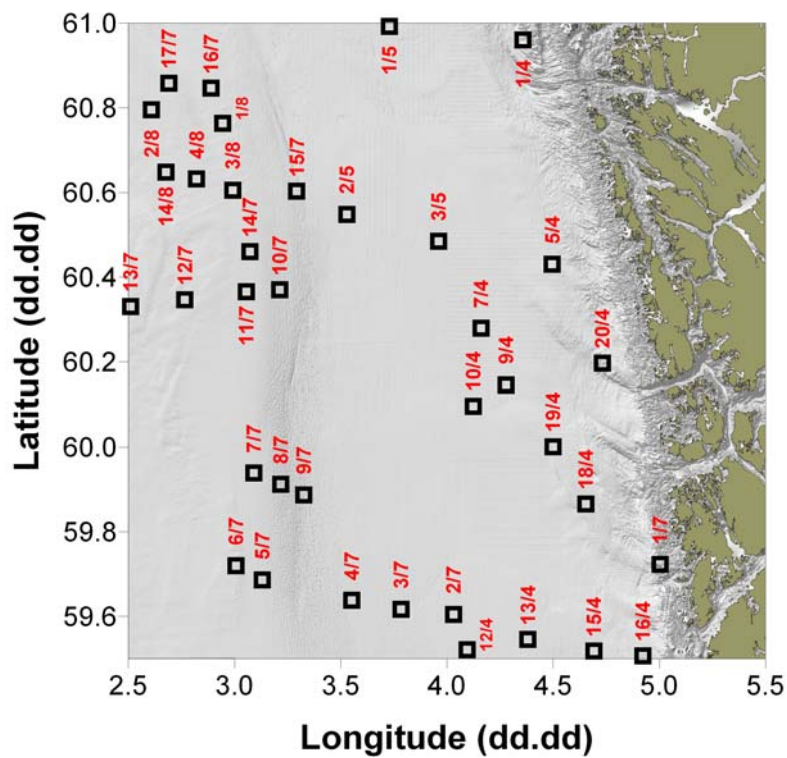
Til sammen 32 av grabbprøvene ble analysert rudimentært ombord i M/S H U Sverdrup II av FFI alene eller sammen med ekspertise fra Norges geologiske undersøkelse (NGU). De fem grabbprøvene tatt i 2008 ble sendt til UiB for analyse av kornfordeling for å kunne sammenlignes med kornfordelingen i kjerneprøvene. Det er ikke foretatt en rudimentær analyse på disse grabbprøvene.

Bunnprøver analysert ved UiB	Rapportering
2005 Kjerneprøver: 01/05, 05/05, 06/05 2006 Kjerneprøver: 01/06, 02/06, 03/06, 04/06, 05/06, 07/06, 08/06, 09/06, 10/06, 11/06, 13/06, 14/06, 15/06, 16/06, 17/06, 18/06	Analyse ved UiB rapportert i 2006 [5] Målinger på splittede kjerneprøver
2005 Kjerneprøver: 02/05, 04/05, 07/05, 08/05, 09/05	Analyse ved UiB rapportert i 2007 [6] Målinger på hele kjerneprøver
2007 Kjerneprøver: 01/07, 02/07, 03/07, 04/07, 05/07, 06/07, 07/07, 08/07, 09/07, 10/07, 11/07, 12/07, 13/07, 14/07, 15/07, 16/07	Analyse ved UiB rapportert i 2008 [7] Målinger på hele kjerneprøver
2008 Grabbprøver: 01/08, 02/08, 03/08, 04/08, 14/08	Ikke rapportert, kun datafiler

Tabell 2.1 Nummerering og rapportering av kjerneprøver og grabbprøver tatt av FFI i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen.



Figur 2.1 Posisjoner til kjerneprøvene tatt i øvingsfeltet i perioden 2005 – 2007.



Figur 2.2 Posisjoner til grabbprøvene tatt i øvingsfeltet i perioden 2004 – 2008.

3 Kornfordeling

3.1 Klassifisering av bunnprøver basert på kornstørrelse

Kornfordelingen ble målt ved UiB for alle de 40 kjerneprøvene og fem av grabbprøvene. I analysen av kjerneprøvene i denne rapporten er det kun sett på den øverste delprøven fra hver kjerne (omtales som overflateprøven eller overflatelaget). Midlere kjernedyp for disse overflateprøvene er mellom 5.5 cm og 24.5 cm. For grabbprøvene er det naturlig nok bare gjort én analyse av kornfordeling for hver prøve, da disse er tatt i overflaten.

Definisjonen av hva som er silt, leir, sand og grus varierer i litteraturen. I [8] som det ofte henvises til er grensen mellom sand og grus 2 mm. UiB definerer korn større enn 1 mm som grus [5-7]. I denne rapporten defineres grus som større enn 2 mm i tråd med NGU [9], ellers benyttes grensene som gitt av UiB i tabell 3.1. I tabellen er $\phi = -\log_2(\delta)$, der δ er kornstørrelsen i millimeter. Grabbprøvene som ble sendt til analyse ved UiB ble siktet med maskevidde på blant annet 2 mm, men i de opprinnelige analysene av kjerneprøvene var største maskevidde 1 mm. For 30 av kjerneprøvene er massefraksjonen >1 mm ubetydelig (mindre enn 0.4 %). For disse kjerneprøvene antas det at alle korn over 1 mm er mindre enn 2 mm og derfor kan defineres som sand.

Sedimentkategori	Sedimentkategori	Kornstørrelse (mm)	ϕ
Leir	Leir	< 0.002	> 9
Silt	Veldig fin silt	$0.002 - 0.004$	$8 - 9$
	Fin silt	$0.004 - 0.008$	$7 - 8$
	Medium silt	$0.008 - 0.016$	$6 - 7$
	Grov silt	$0.016 - 0.031$	$5 - 6$
	Veldig grov silt	$0.031 - 0.063$	$4 - 5$
Sand	Sand	$0.063 - 2.0$	$-1 - 4$
Grus	Grus	> 2.0	< -1

Tabell 3.1 Sedimentkategorier som benyttes i denne rapporten er basert på UiBs opprinnelige analyser av kjerneprøvene med ett unntak [5-7]. UiB setter grensen mellom grus og sand på 1.0 mm, men i tråd med NGU benyttes 2.0 mm i denne rapporten. Kjerneprøver med mindre enn 0.4 % korn > 1 mm defineres som sand.

For de 10 kjerneprøvene er massefraksjonen >1 mm mellom 2.0 % og 30.3 %. Dette gjelder prøvene 01/05, 05/06, 07/06, 08/06, 16/06, 02/07, 05/07, 10/07, 11/07 og 12/07. Med ett unntak ble disse kjerneprøvene siktet på nytt ved UiB våren 2008 med maskevidde 2 mm for å kunne benytte samme definisjoner på sand og grus som NGU. Masseforholdet ($\% \text{korn} > 2 \text{ mm}$) / ($\% \text{korn} > 1 \text{ mm}$) varierer mellom 0.25 – 0.89 med et gjennomsnitt på 0.59. Kjerneprøve 08/06 (der 8.67 % er >1 mm) ble ikke gjenfunnet ved UiB og kunne således ikke resiktes. Dersom gjennomsnittet over benyttes på prøve 08/06, estimeres fraksjonen > 2 mm til å være 5.1 % av hele prøven. På den annen side har alle bunnprøvene med minst 2 % grus også minst 40 % sand, mens prøve 08/06 inneholder 78.1 % leir og silt og dermed kan ha maks 21.9 %

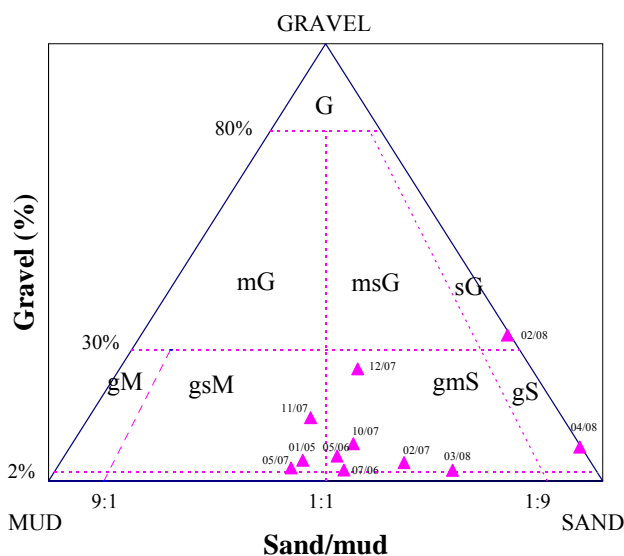
sand. Dette kan tyde på at grusmengden er mindre enn 2 % og prøven vil i så fall klassifiseres som sandholdig slam (sM). Siden det er usikkerhet omkring dette tallet, utelates denne kjerneprøven i store deler av analyseresultatene som presenteres i denne rapporten.

I tabell A.1 i appendiks er fordelingen av leir, silt, sand og grus listet for alle bunnprøvene. Ut i fra den prosentvise andelen av de forskjellige sedimentkategoriene klassifiseres kjerneprøvene og grabbprøvene etter en modifisert utgave av Folks klassifikasjonssystem som gjelder for sedimenter med andel grus større enn 2 % [9;10]. I tillegg har NGU innført en ny kategori (gsM) som deler opp kategorien grusholdig slam (gM). Klasseinndelingen er beskrevet i tabell 3.2.

De 11 bunnprøvene med minst 2 % grus klassifiseres som gsM (3 prøver), gmS (6 prøver), sG (1 prøve) og gS (1 prøve), se figur 3.1. Alle bortsett fra én prøve har mindre enn 30 % grus, hvorav åtte av prøvene har mellom 2.5 – 8.5 % grus. Den lave grusmengden må sees i sammenheng med at det i praksis er vanskelig å ta kjerneprøver der det er mye grus/skjellsand, og at kun fem av de 37 grabbprøvene (som er lettere å ta der det er grove sedimenter) er analysert med tanke på kornfordeling. Sandmengden er mellom 40 – 92 %.

Klasse	Definisjon		Forkortelse
Grus	>80 % grus		G
Sandholdig grus	30 – 80 % grus	Slam:sand < 1:9	sG
Slamholdig sandholdig grus	“	Slam:sand < 1:1	msG
Slamholdig grus	“	Slam:sand > 1:1	mG
Grusholdig sand	2 – 30 % grus	Slam:sand < 1:9	gS
Grusholdig slamholdig sand	“	Slam:sand < 1:1	gmS
Grusholdig sandholdig slam	“	Slam:sand > 1:1	gsM
Grusholdig slam	“	Slam:sand > 9:1	gM

Tabell 3.2 NGUs modifiserte versjon av Folks klassifikasjonssystem består av åtte klasser. En revidert versjon av [9] er benyttet da klassen gsM er innført. Det forutsettes minst 2 % grus i bunnprøvene.



Figur 3.1 Klassifisering av åtte kjerneprøver og tre grabbprøver med minst 2 % grus. Ingen av prøvene har mer enn 34 % grus, men dette må sees i sammenheng med at det er vanskelig å ta kjerneprøver der grusmengden er stor, og at flesteparten av grabbprøvene ikke ble analysert med hensyn på kornfordeling. Sandmengden er mellom 40 – 92 %.

For de 33 bunnprøvene med andel grus mindre enn 2 %, benyttes et annet av Folks system der det tas utgangspunkt i andelen sand, deretter fordelingen mellom leir og silt [9;10]. Klasseinndelingen er beskrevet i tabell 3.3. Dette systemet synes vesentlig enklere å forholde seg til enn Shepards [11]. Av de 33 bunnprøvene defineres 30 prøver å ha 0 % grus (det vil si maks 0.4 % på grunn av tidligere antakelse). For de tre resterende prøvene er grusmengden målt til å være lavere enn 0.5 %. I figur 3.2 vises klassifiseringen av bunnprøvene etter henholdsvis Shepards og Folks system. Hovedvekten av prøvene har mindre enn 10 % sand, mens to av prøvene har over 85 % sand.

En grafisk representasjon av klassifiseringsresultatet for alle 44 bunnprøvene der kornfordelingen er målt ved UiB vises i figur 3.3. I Norskerenna er det hovedsakelig silt (Z) og slam (M). Nærmere kysten er det innslag av sand og grus i bunnprøvene, tilsvarende er det på platået i nordvest. Grabbprøven klassifisert som ren sand (S) er tatt helt vest i øvingsfeltet. Tre bunnprøver tatt i Norskerenna rett nedenfor Nordsjøplatået viser sandholdig silt (sZ). Tre kjerneprøver er klassifisert som leir (C). En av disse er tatt like nord for den nordligste morenen. Dette området skiller seg ut ved prosesseringen av data fra enkeltstråleekkoloddet [12]. En av de andre er tatt i Korsfjorden, og like i nærheten er en kjerneprøve klassifisert som sandholdig leir (sC). Den tredje kjerneprøven klassifisert som leir, er tatt nordøst i øvingsfeltet der det er forholdsmessig dypt.

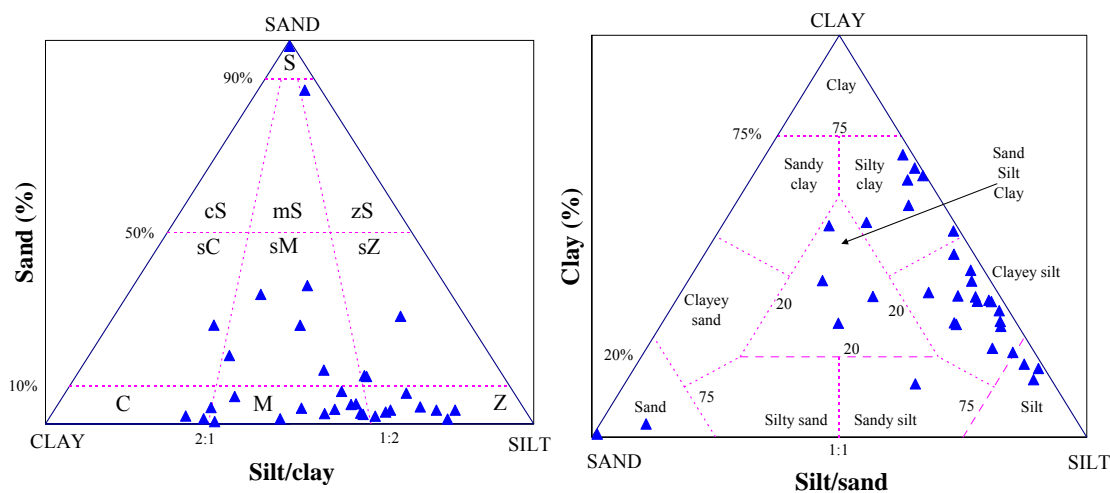
Figur 3.4 viser grusmengden i bunnprøvene med mer enn 2 % grus. Der kun symboler vises, er høyden skalert etter prosent. I sørøst og nordvest er det relativt sett høyere andel grus enn ellers. Figur 3.5 – 3.6 viser henholdsvis mengden sand, silt & leir og kun leir. De største sandmengdene finnes på Nordsjøplatået i nordvest (66 – 98 %). Langsmed kysten er det også mye sand.

Mengden ligger mellom 34 – 62 %, bortsett fra to prøver som er vesentlig lavere. Disse ser ut til å være tatt der havbunnen er flat. Ved å sammenligne figur 3.6 og figur 3.7 ser vi at Norskerenna består av store mengder silt. Ser vi bare på mengden leir, er denne størst i Korsfjorden og langs med nordre del av kysten. Det er minimalt med leir eller silt på Nordsjøplataet.

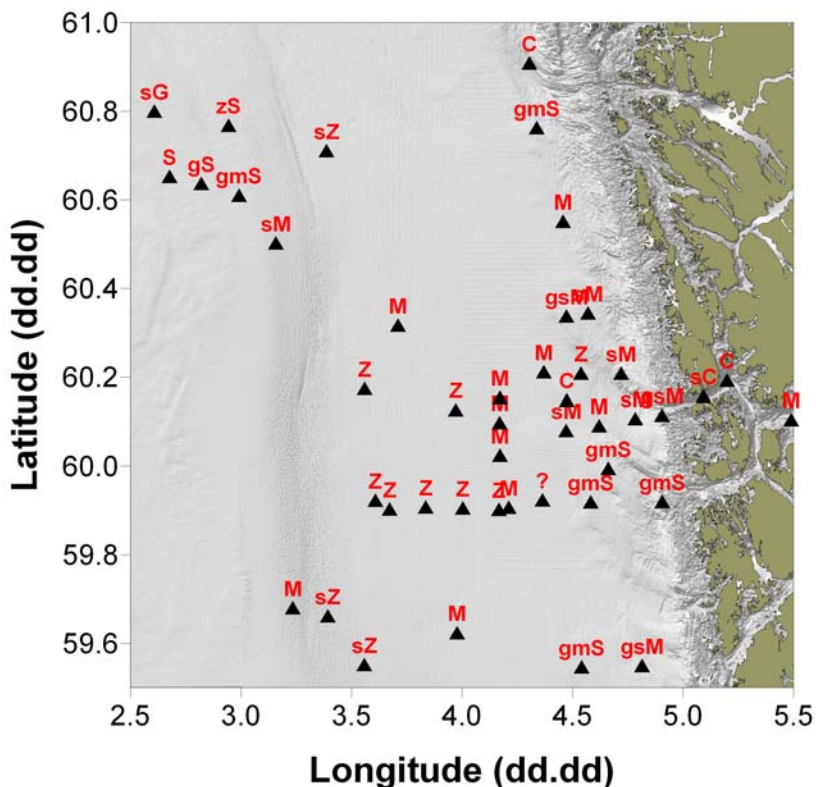
Som en kuriositet kan nevnes at de reneste bunnprøvene er 08/07 med 70 % leir, 03/06 og 04/06 begge med 82 % silt, grabbprøve 14/08 med 98 % sand og grabbprøve 02/08 med 33 % grus. Av kjerneprøvene er det 02/07 som har mest sand med 62 % og 12/07 som har mest grus med 26 %.

Klasse	Definisjon		Forkortelse
Leir	Sand < 10 %, grus < 2 %	Leir:silt > 2:1	C
Slam	“	Leir:silt fra 1:2 til 2:1	M
Silt	“	Leir:silt < 1:2	Z
Sandholdig leir	Sand < 50 %, grus < 2 %	Leir:silt > 2:1	sC
Sandholdig slam	“	Leir:silt fra 1:2 til 2:1	sM
Sandholdig silt	“	Leir:silt < 1:2	sZ
Leirholdig sand	Sand > 50 %, grus < 2 %	Leir:silt > 2:1	cS
Slamholdig sand	“	Leir:silt fra 1:2 til 2:1	mS
Silt holdig sand	“	Leir:silt < 1:2	zS
Sand	Sand > 90 %, grus < 2 %		S

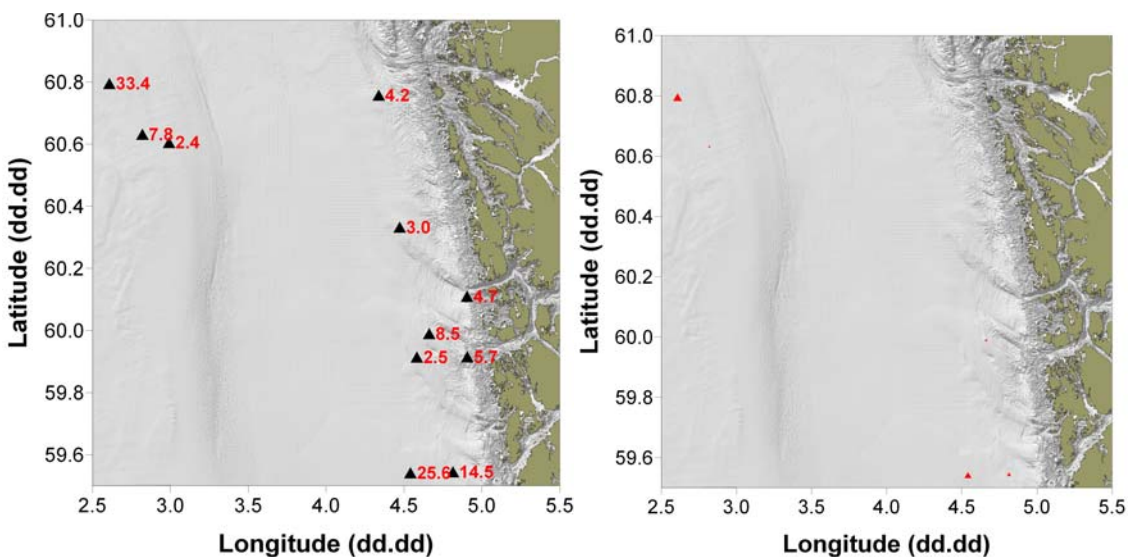
Tabell 3.3 Folks klassifisering av sedimenter med mindre enn 2 % grus.



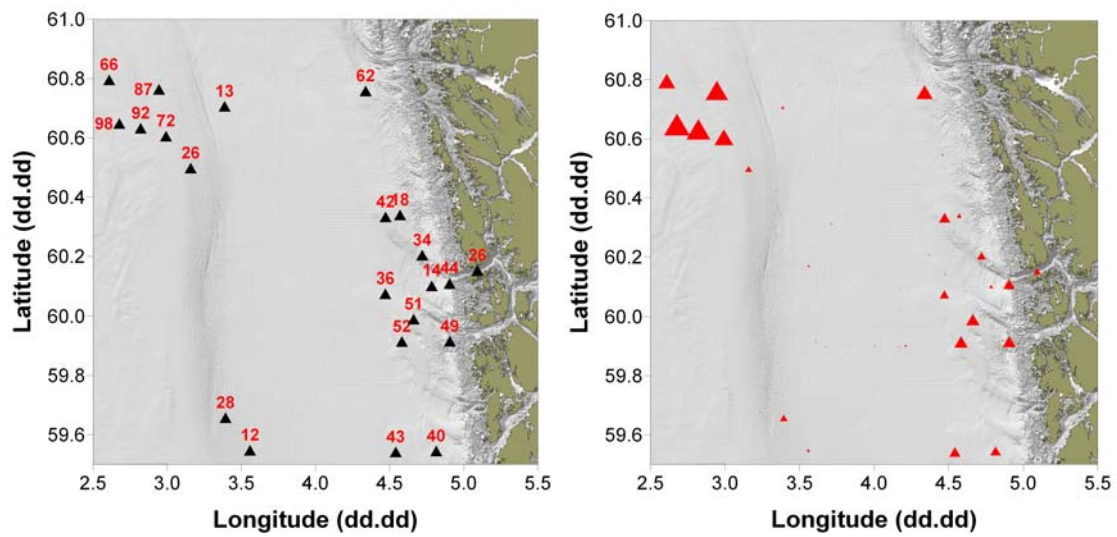
Figur 3.2 Klassifisering av 31 kjerneprøver og to grabbprøver med mindre enn 2 % grus basert på Folks klassifikasjonssystem [9;10] (venstre) og Shepards system [11] (høyre).



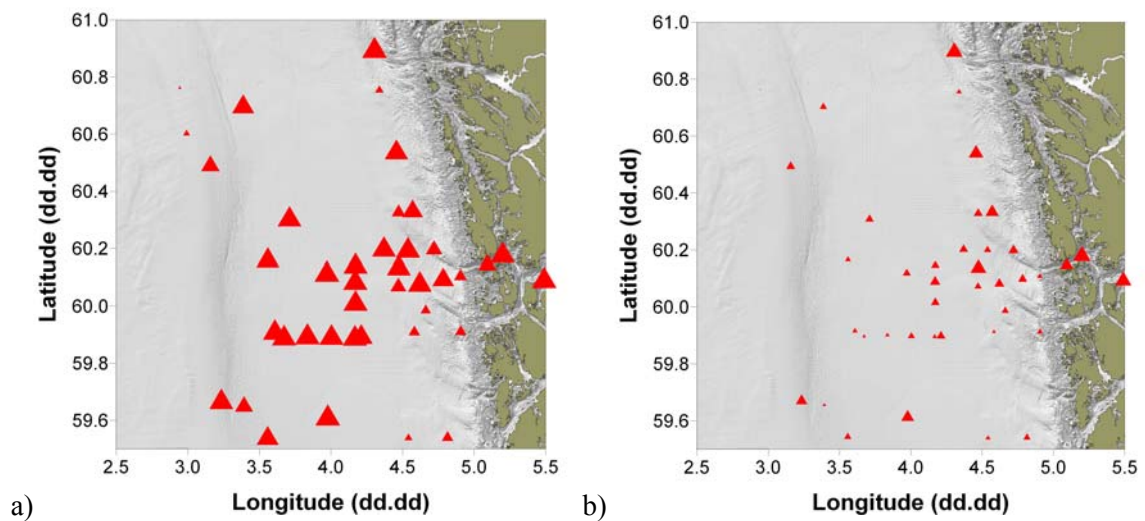
Figur 3.3 Grafisk representasjon av klassifiseringen av 39 kjerneprøver og fem grabbprøver etter kornstørrelse. For kjerneprøvene er kun overflatelaget betraktet. Kodene er etter SOSI-standarden [9] og gitt i tabellene i rapporten. I kanalen er det hovedsakelig silt (Z) og slam (M). Nærmere kysten er det innslag av sand og grus i bunnprøvene, tilsvarende er det på platået i nordvest. Spørsmålsteget gjelder prøve 08/06 som muligens kan klassifiseres som sandholdig slam (sM).



Figur 3.4 Grusmengden i bunnprøvene med minst 2 % grus. De resterende bunnprøvene har maks 0.5 % grus. Til høyre er symbolene (høyden) skalert etter prosent grusmengde.



Figur 3.5 Sandmengden i bunnprøvene. Til venstre er prøvene med mindre enn 10 % sand (og ingen grus) utelatt. Til høyre er symbolene (høyden) skalert etter prosent sandmengde. Her er alle prøvene tatt med. Maks 98.4 % sand.



Figur 3.6 Mengde av a) både leir og silt og b) leir i bunnprøvene. Symbolene (høyden) er skalert etter prosent. Maks 99.4 % leir og silt, maks 70.3 % leir. Merk at leirmengden i 03/08 ikke er tegnet inn da denne er ukjent (totalt 25.9 % leir og silt). De tre andre prøvene fra 2008 der leirmengden er ukjent, har mindre enn 2 % leir.

3.2 Kumulative kornfordelinger

Kumulative massefordelinger er vist i figur 3.7 for de fem grabbprøvene og i figur 3.8 for kjerneprøvene (det vil si overflateprøvene). Ut i fra kurvene er det mulig å bestemme median kornstørrelse ϕ_{50} , som er gitt ved at halvparten av prøven (vektmessig) består av korn større enn ϕ_{50} og halvparten av prøven består av korn mindre enn ϕ_{50} . Verdiene er funnet på lineære plott av de kumulative fordelingene og i de tilfeller der mer enn 50 % av prøven er mindre enn 1 -2 μm

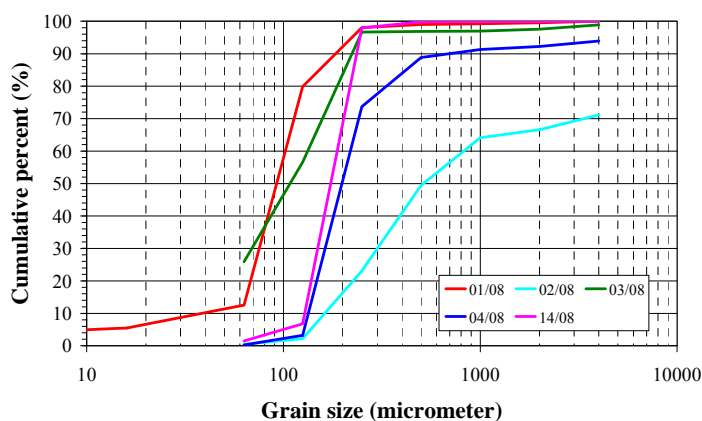
er det ekstrapolert lineært. Verdiene for median kornstørrelse for overflateprøvene er gitt i tabell A.2. Tabellen viser at median kornstørrelse varierer mellom 0.9ϕ og 11.0ϕ , der $\phi = -\log_2(\delta)$ og δ er kornstørrelsen i millimeter.

I litteraturen anbefales det sterkt å beregne gjennomsnittlig kornstørrelse i stedet for median kornstørrelse [13-15]. Det finnes forskjellige måter å beregne gjennomsnittlig kornstørrelse. Folk og Ward foreslår [13]

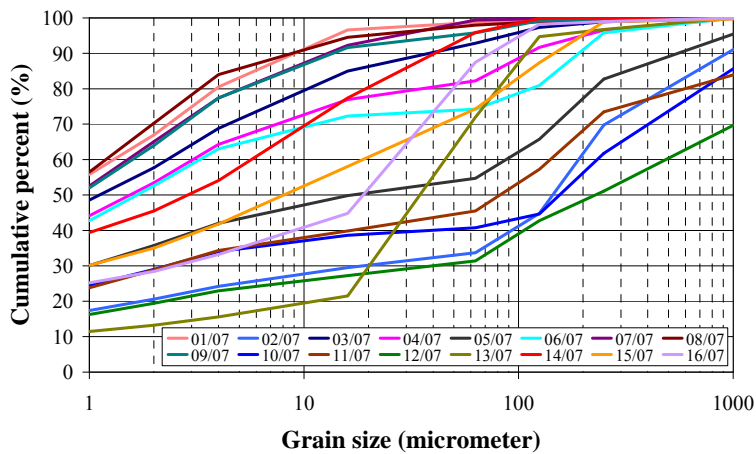
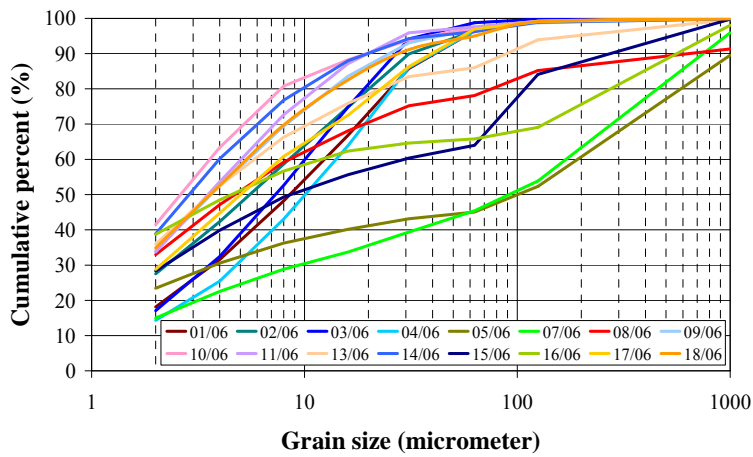
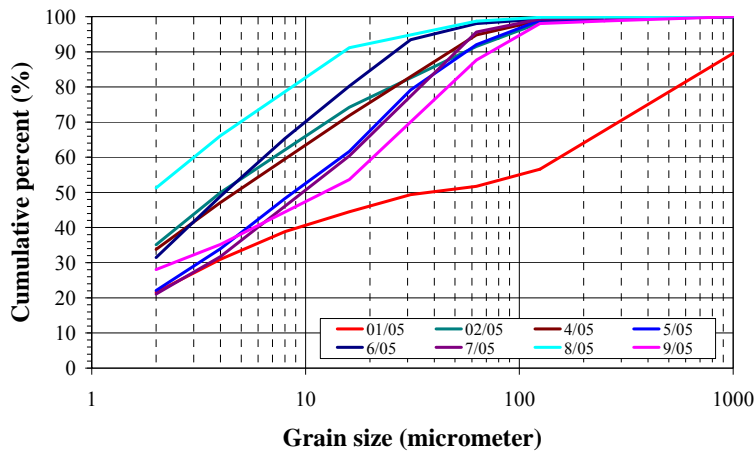
$$M_z = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3} \quad (3.1)$$

Dersom den kumulative fordelingen ikke er kjent for de fineste sedimentene, foreslås det å sette 0 % (eventuelt 100 %) ved 14ϕ [14]. Gjennomsnittlig kornstørrelse er ikke beregnet i denne rapporten, og heller ikke gitt som en del av analyseresultatene fra UiB. Siden de fleste av kjerneprøvene som ble tatt i Forsvarts øvingsfelt i nordlige Nordsjøen og sendt til UiB for analyse, består av store mengder leir, og UiB ikke har målt finere enn $1 - 2 \mu\text{m}$, vil ekstrapolasjonen foreslått ovenfor bli svært usikker.

I en tidligere undersøkelse ved FFI der 35 grabbprøver ble analysert, er gjennomsnittlig kornstørrelse beregnet som i likning 3.1 [16]. Forskjellen mellom median og gjennomsnittlig kornstørrelse er mellom $0.0 - 1.7\phi$. For de finere sedimentene (store ϕ -verdier) er $M_z < \phi 50$. For de grovere sedimentene (lave ϕ -verdier) er tendensen motsatt. Variasjonsbredden er med andre ord mindre for gjennomsnittlig kornstørrelse enn for median kornstørrelse i [16].



Figur 3.7 Kumulative massefordelinger for grabbprøvene tatt i 2008.

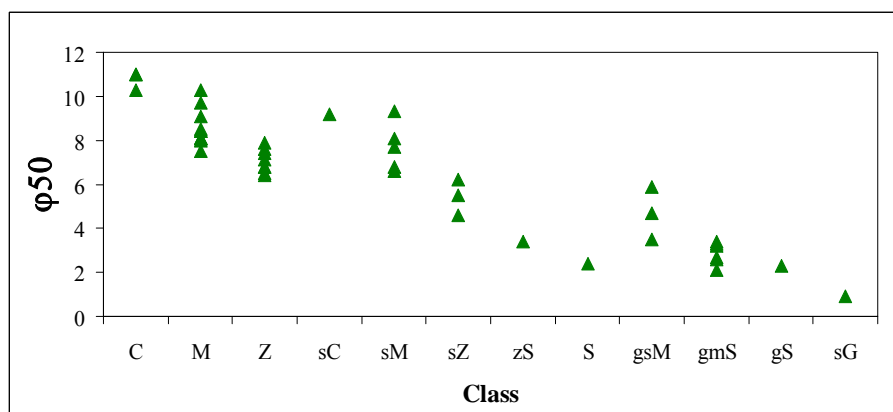


Figur 3.8 Kumulative massefordelinger for kjerneprøvene tatt i 2005, 2006 og 2007. Merk at skalaen på x-aksen er endret i forhold til figur 3.7. Kun overflateprøven er tatt med i figurene.

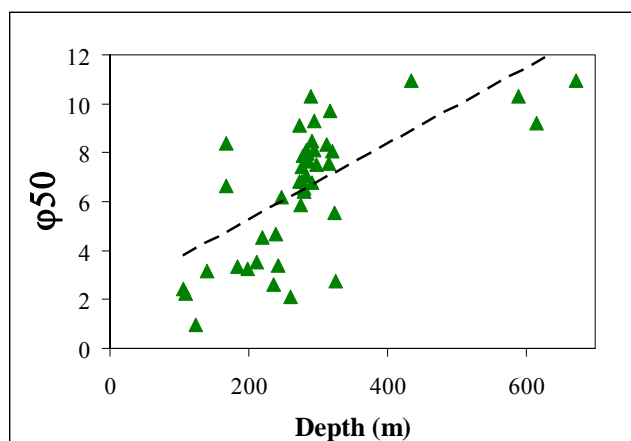
3.3 Sammenligning av kornstørrelse og sedimentklasser

Sammenligning av median kornstørrelse og sedimentklasser etter Folk/NGUs klassifikasjonssystem viser at innenfor hver kategori varierer median kornstørrelse noe, se figur 3.9. Som forventet øker kornstørrelsen i millimeter (minskende ϕ -verdi) ved økende mengde sand og grus i prøvene.

Median kornstørrelsen som funksjon av dyp viser som forventet at sedimentene på større dyp er finere enn i grunnere farvann, se figur 3.10. Det er i de dype områdene de fineste sedimentene legger seg.



Figur 3.9 Median kornstørrelse som funksjon av sedimentkategori etter Folk/NGUs klassifikasjonssystem for alle 44 bunnprøvene (08/06 er utelatt). Kun overflateprøvene er tatt med.



Figur 3.10 Median kornstørrelse som funksjon vanndybde for alle 45 bunnprøvene. En lineær trendlinje viser minkende kornstørrelse i mm (økende ϕ) med økende vanndybde. Kun overflateprøvene er tatt med.

4 Klassifisering av grabbprøver og kjerneprøver

I dette kapittelet klassifiseres grabbprøvene basert på en kvalitativ beskrivelse av disse, og kjerneprøvene grupperes basert på både en beskrivelse og på klassifiseringsresultatene omtalt i kapittel 3.

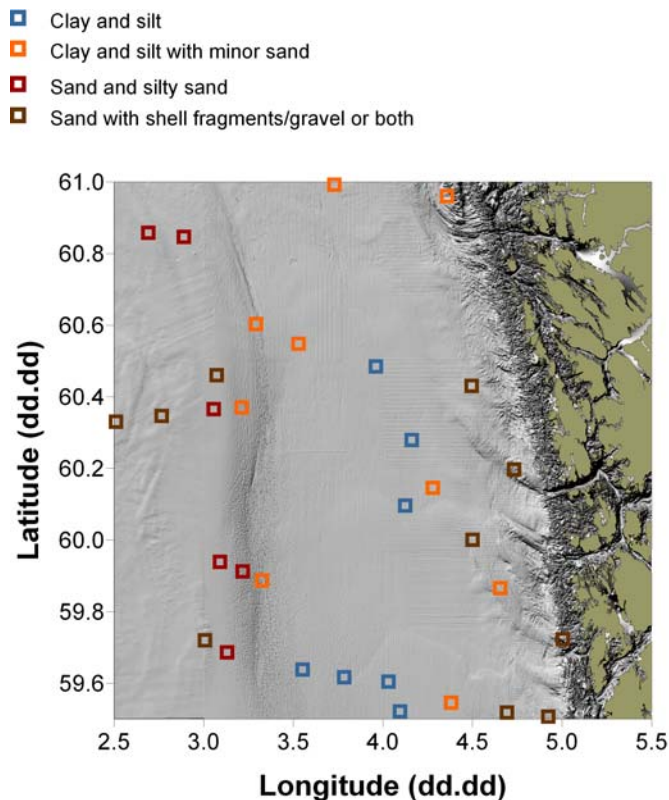
Totalt er det tatt 32 grabbprøver som er analysert rudimentært (se og føle, gni og klemme og eventuelt smake), se appendiks B [4]. Det er verdt å merke seg at prøvene er analysert både av FFI alene og i samarbeid med NGU. Her kan det være subjektive forskjeller i beskrivelsene som benyttes. Bortsett fra én prøve benyttes ikke beskrivelsen slam (*mud*), men kun leir og silt for de finere sedimentene.

Vi har gjort et forsøk på å dele grabbprøvene inn i følgende fire klasser basert på den kvalitative beskrivelsen av prøvene (i parentes beskrivelsene på engelsk):

1. **Leir og silt**
(*Clay, silty clay, silt*)
2. **Leir og silt med mindre mengder sand**
(*Silty clay with minor sand, silt - soft/sandy, sandy silt, sandy-clayey silt, clayey-sandy silt, clayey silt with minor sand*)
3. **Sand og siltholdig sand**
(*Silty sand, sand*)
4. **Sand med skjellfragmenter og/eller grus**
(*Sand with shell fragments, sand with gravel, sand & gravel with shells, mud with shell fragments & gravel*)

Figur 4.1 viser en grafisk representasjon av klassifikasjonsresultatet. Det vi ser er at grabbprøver med leir og silt uten innslag av grovere sedimenter finnes i Norskerenna (blå kvadrater). På Nordsjøplataet finnes grabbprøver med sand og skjellfragmenter, men uten grus (brune kvadrater), jmf figur 2.2 for prøvenummer og appendiks B for beskrivelser. I skråningen finnes grabbprøver med sand uten både grus og skjellfragmenter (røde kvadrater). I Norskerenna rett nedenfor Nordsjøplataet finnes grabbprøver med leir og mindre mengder sand (oransje kvadrater).

I øst, langs kysten finnes hovedsakelig grabbprøver med sand i blandet grus (brune kvadrater). Unntakene er prøve 19/04 som er beskrevet som sand med skjellfragmenter og prøve 01/04 som er beskrevet som siltholdig leir med mindre mengder sand. I overgangen mellom Norskerenna og kysten finnes grabbprøver med leir og mindre mengder sand (oransje kvadrater). Merk at det ikke finnes rene prøver med sand eller siltholdig sand (uten grus og skjellfragmenter) i øst. Blant grabbprøvene analysert rudimentært er ingen beskrevet å ha store mengder grus.



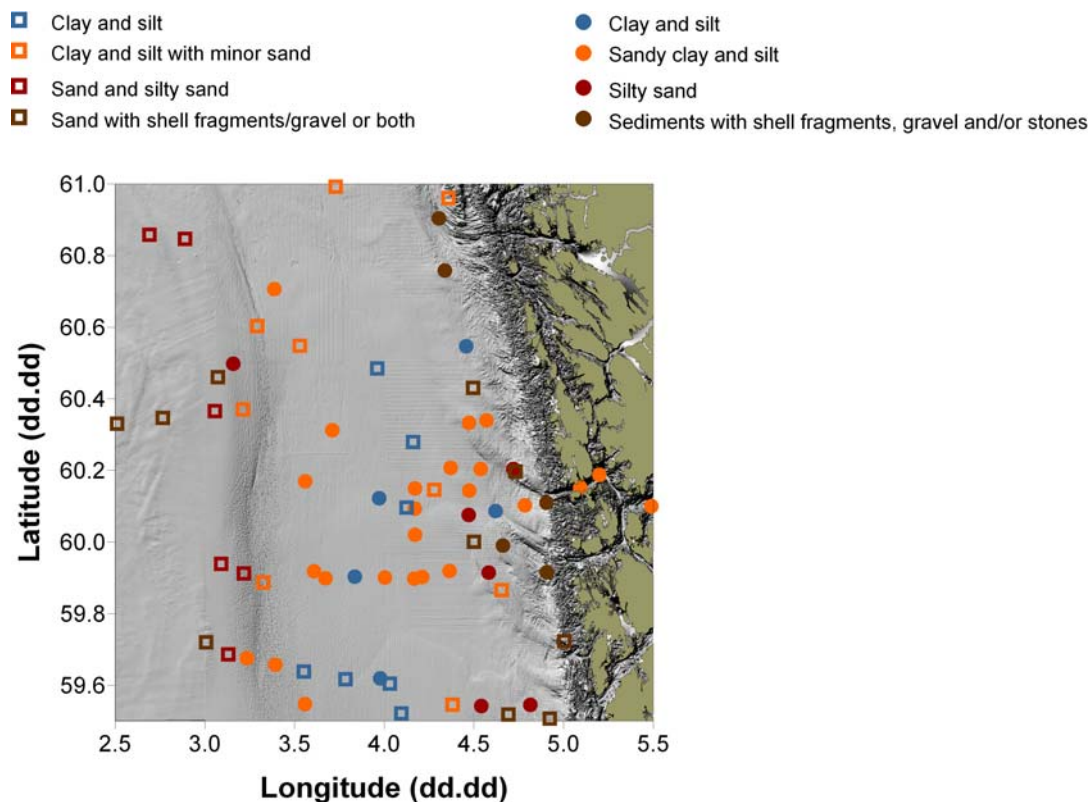
Figur 4.1 Grafisk representasjon av klassifiseringsresultatet for 32 grabbprøver basert på beskrivelse av prøvene etter en rudimentær analysemetode.

En tilsvarende klassifisering som over for grabbprøvene er også foretatt på kjerneprøvene. De forskjellige lagene i hver kjerneprøve er markert og beskrevet kvalitativt i rapportene fra UiB og tabulert i appendiks C. Beskrivelsene er ikke direkte koblet til kornfordeling, men subjektiv. Tykkelsen på de markerte lagene som er beskrevet, varierer fra 10 cm opptil 150 cm. Når det øverste beskrevne laget i hver av de 40 kjerneprøvene danner grunnlaget for en gruppering omtrent som for grabbprøvene, blir resultatet som vist i figur 4.2. Vi har delt kjerneprøvebeskrivelsene inn i følgende klasser (UiBs beskrivelser i parentes):

1. **Leir og silt**
(*Silty, clayey silt, silty clay*)
2. **Sandholdig leir og silt**
(*Sandy silt, clayey silt with sand, silty with sand, sandy-silty-clay, silty clay with sand*)
3. **Siltholdig sand**
(*Silty sand, silty sand with sand and clay*)
4. **Sedimenter med grus, skjellfragmenter og/eller steiner**

Den største forskjellen mellom figur 4.1 og figur 4.2 finnes i Norskerenna, der mange av kjerneprøvene klassifiseres i gruppe 2 – Sandholdig leir og silt, mens grabbprøvene hovedsakelig er i gruppe 1 – Leir og silt. Det kan se ut som den kvalitative beskrivelsen av kjerneprøvene foretatt av UiB skiller seg fra den rudimentære analysebeskrivelsen foretatt av FFI og NGU ved å

angi grovere sedimenter. Dette kan skyldes at beskrivelsene som regel dekker et større dybdeintervall enn grabbprøvene, at enkelte av beskrivelsene er fra nest øverste lag (siden det øverste laget ikke er beskrevet) eller at den kvalitative beskrivelsen er subjektiv for både grabbprøvene og kjerneprøvene.



Figur 4.2 Sammenligning av 32 klassifiserte grabbprøver (kvadrater) basert på en rudimentær analysemetode (beskrivelse av prøven) og 40 kjerneprøver (sirkler) basert på UiBs beskrivelser.

Vi har også lagt kornstørrelse til grunn for en klassifisering av kjerneprøvene. Kornfordelingsanalysene er som nevnt foretatt på dyp mellom 5.5 cm og 24.5 cm for kjerneprøvene. De 44 bunnprøvene der kornfordelingen er kjent deles inn i følgende fire klasser basert på SOSI-standarden:

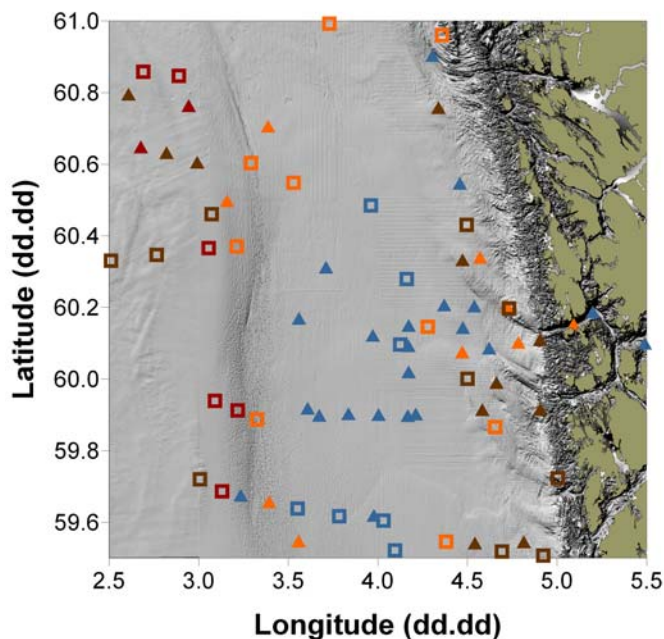
1. **Leir, slam og silt**
C, M, Z – maks 2 % grus, maks 10 % sand
2. **Sandholdig leir, slam og silt**
sC, sM, sZ – maks 2 % grus, 10 - 50 % sand
3. **Siltholdig sand og sand**
zS, S – maks 2 % grus, minst 50 % sand
4. **Sedimenter med minst 2 % grus**
gsM, gmS, gS, sG

Figur 4.3 viser at det er stort samsvar mellom grabbprøvene som er analysert rudimentært og de 44 bunnprøvenes kornfordeling. Både grabbprøver og kjerneprøver faller i samme gruppe der dette er naturlig av topografiske grunner. Det er likevel noen forskjeller. I Norskerenna er det hovedsakelig kjerneprøver klassifisert som slam og silt, mens grabbprøvene er beskrevet som leir og silt. Dette kan skyldes at slam med ett unntak ikke benyttes ved beskrivelse av grabbprøvene.

På Nordsjøplataet i vest finnes tre grabbprøver analysert ved UiB med henholdsvis 33 %, 2 % og 8 % grus (prøve 02/08, 03/08 og 04/08). Ingen av grabbprøvene analysert rudimentært i dette området beskrives å inneholde grus, kun sand og skjellfragmenter. Det kan skyldes at eventuelt noen få prosent grus i grabbprøvene analysert rudimentært, er såpass lite at en kvalitativ, subjektiv analyse ikke fanger dette opp.

I øst finnes kjerneprøver med 3 – 26 % grus og 40 – 62 % sand, men ingen kjerneprøver klassifisert som sand eller leirholdig/slamholdig/siltholdig sand. Det stemmer overens med grabbprøvene analysert rudimentært.

- | | |
|--|--------------------|
| ■ Clay and silt | ▲ C, M, Z |
| ■ Clay and silt with minor sand | ▲ sC, sM, sZ |
| ■ Sand and silty sand | ▲ zS, S |
| ■ Sand with shell fragments/gravel or both | ▲ gsM, gmS, gS, sG |



Figur 4.3 Sammenligning av 32 klassifiserte grabbprøver (kvadrater) basert på en rudimentær analysemetode (beskrivelse av prøven) og 44 bunnprøver (trekanter) analysert med hensyn på kornfordeling.

5 Lydhastighet, gammatetthet, magnetisk susceptibilitet, porøsitet og skjærstyrke

Under analysene ved UiB ble kjerneprøvene sendt gjennom GEOTEK Multi Sensor Core Logger (MSCL) for detaljerte målinger av tetthet, lydhastighet og magnetisk susceptibilitet. I tillegg ble skjærstyrke målt. I dette kapittelet oppsummeres og diskuteres de forskjellige måleresultatene.

I forbindelse med de seismiske undersøkelsene i øvingsfeltet ble det foretatt 30 – 40 sonobøye-målinger for å kunne estimere lydhastigheten i de forskjellige lagene i havbunnen [17]. Analyser av disse målingene viser at det ikke er mulig å gi pålitelige estimater for lydhastigheten i det øverste laget i Norskerenna. Sannsynligvis skyldes dette lav kontrast mellom lydhastigheten i sjøvannet og den slamholdige havbunnen [17].

5.1 Lydhastighet og gammatetthet

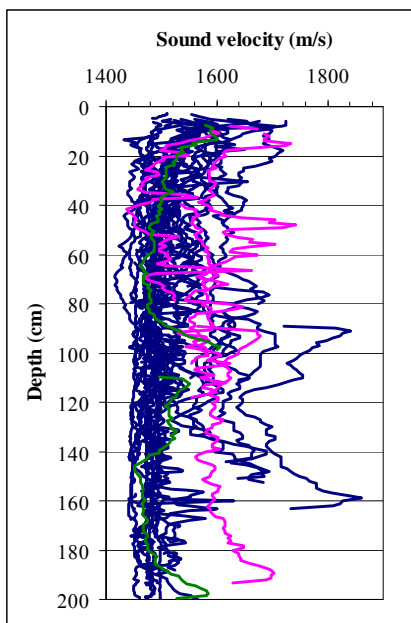
5.1.1 Lydhastighet

Lydhastigheten måles ved hjelp av 250-500 kHz piezoelektriske transdusere. Hastigheten ble målt i bestemte intervaller som gitt i tabell 5.1. Maksimal signalamplitude var 100 % i 2006 og 77 % i 2007 og 2008. Grunnen til redusert maksimal signalamplitude de to siste årene er uklart. På grunn av usikkerheten rundt måleresultatene kalibrerte UiB utstyret i november 2008 og foretok en ny måling av gammatetthet og lydhastighet på en av kjerneprøvene. Måleresultatene bekrefter de opprinnelige målingene. Kvaliteten på både gammatetthets- og lydhastighetsverdiene avhenger av nøyaktig måling av sedimenttykkelse, graden av sedimentmetning og nærvær av luft mellom sediment og sylindere [5-7]. Spesielt lydhastigheten er følsom for korrekt sedimenttykkelse. Lydhastighetsmålingene beskrevet i denne rapporten er foretatt ved romtemperatur (18.6 – 18.9°C). Det er ikke korrigert til *in-situ* verdier, men dette kan enkelt gjøres som vist i appendiks B.

Parameter	Rapport fra 2006 [5]	Rapport fra 2007 [6]	Rapport fra 2008 [7]
Kjerneprøver innsamlet år	2006 + 01/05, 05/05 og 06/05	02/05, 04/05, 07/05, 08/05, 09/05	2007
Måleintervall ved MSCL	1.0 cm	0.2 cm	0.5 cm
Laveste signalamplitude akseptert av UiB	80 %	76 %	76 %
Maksimum signalamplitude	100 %	77 %	77 %

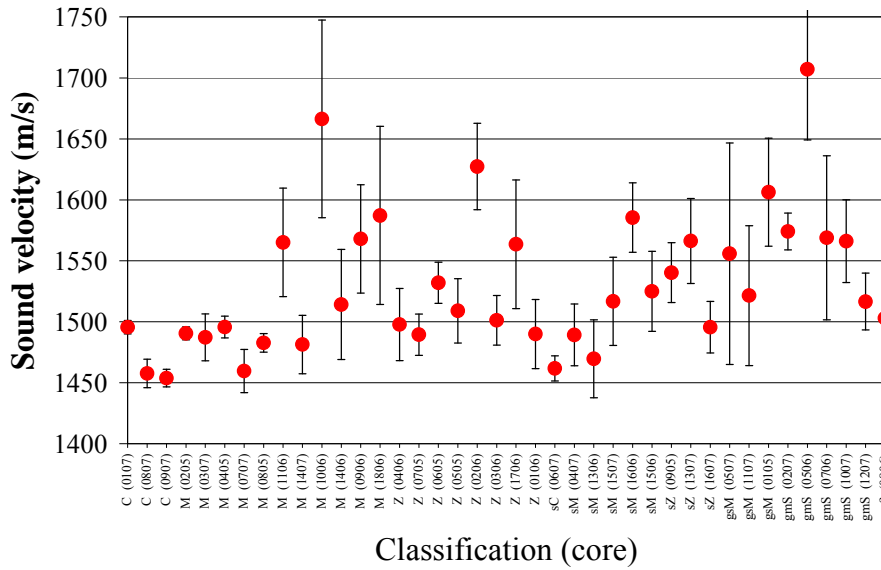
Tabell 5.1 Måleintervall og signalverdier for kjerneprøvene analysert ved UiB og rapportert i 2006 – 2008. Signalamplituden angir kvaliteten på lydhastighetsmålingene.

Lydhastighetsmålingene har svært varierende kvalitet. Vi har forkastet avlesninger med signalamplitude mindre enn en viss prosent. Også andre verdier ble forkastet der disse helt tydelig var feilaktige. For fem av de åtte kjerneprøvene med mer enn 2 % grus i det øverste laget, er lydhastighetsmålingene ikke brukbare. Hva dette skyldes vet vi ikke. Figur 5.1 viser lydhastigheten for de resterende prøvene som funksjon av dyp. Hovedvekten av prøvene har lydhastighet mellom 1450 m/s og 1650 m/s. Lydhastigheten for kjerneprøver med mer enn 2 % grus i overflatelaget er plottet i rosa (gjelder tre prøver) og skiller seg ikke vesentlig ut. Heller ikke prøve 08/06 der grusmengden ikke er kjent, men kanskje over 2 %, skiller seg ut fra kjerneprøvene med grus mindre enn 2 %.

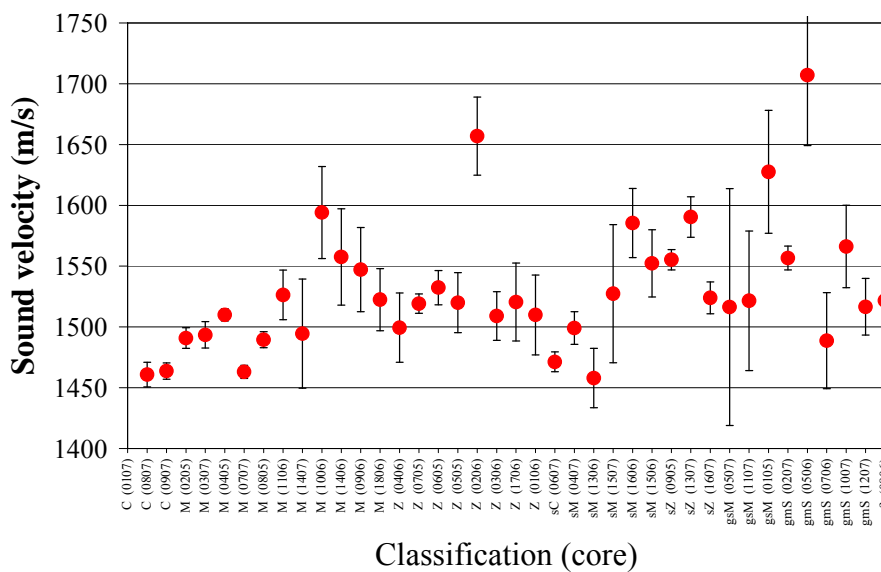


Figur 5.1 Lydhastighet for bunnprøver med mer enn 2 % grus (rosa) og mindre enn 2 % grus (blå) som funksjon av dyp. Fem av kjerneprøvene er ikke vist pga dårlige data. Dette gjelder alle prøver med mer enn 2 % grus (05/06, 05/07, 10/07, 11/07 og 12/07). Den grønne linjen viser lydhastigheten til 08/06 der grusmengden ikke er kjent.

På grunn av liten diameter på sylindrene og pga dårlig fylling øverst, har det vært vanskelig å måle lydhastigheten i de øverste 10 – 20 cm. Dette gjør at sammenligning med median kornstørrelse og kornfordeling kan diskuteres siden det er nettopp sedimenter på kjernedybde mellom 5.5 – 24.5 cm som er benyttet til beregninger av disse. Likefullt gjør vi denne sammenligningen. Midlere lydhastighet beregnet over de øverste 200 cm av kjerneprøvene vises i figur 5.2 for hver kjerneprøve. Vi ser at det er stor variasjon for prøver som er klassifisert som like tidligere i rapporten. Dersom vi midler over de øverste 50 cm, er det heller ingen tydelige sammenfall mellom klassifikasjonsresultat og lydhastighet, se figur 5.3. Lydhastigheten ligger i gjennomsnitt mellom 1450 – 1600 m/s, med noen få unntak.



Figur 5.2 Midlere lydshastighet beregnet over de øverste 200 cm av kjerneprøvene med \pm ett standardavvik. Innenfor samme klassifikasjonsresultat er det stor variasjon i midlere lydshastighet.



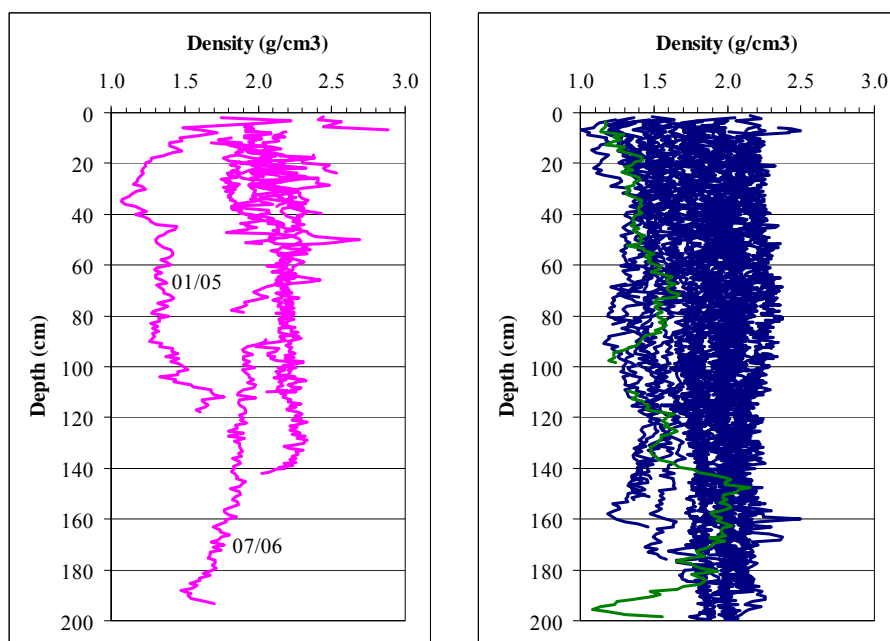
Figur 5.3 Midlere lydshastighet beregnet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene med \pm ett standardavvik. Merk at 01/07 ikke har måledata i dette intervallet.

5.1.2 Gammatetthet

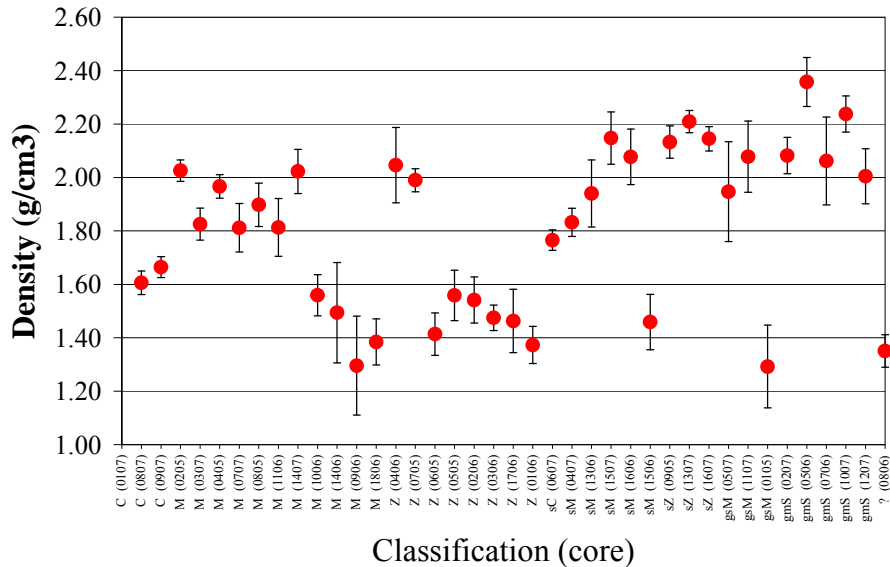
UiB måler gammatettheten ved å sammenligne dempningen av gammastråler gjennom kjernen med dempningen av gammastråler gjennom aluminium [5-7;18]. Metoden er ikke-destruktiv og benyttes for å estimere våttettheten (sedimenttettheten). I [19] er gammatetthet og våttetthet sammenlignet for to kjerneprøver, og disse spiker med mindre enn $\pm 5\%$.

Gammatettheten ble målt i bestemte intervaller gitt i tabell 5.1. Vi forkastet tydelig avvikende verdier i tråd med rapportene fra UiB. Avvikende verdier finnes i dybdepartier der også lydastighetsmålingene er av dårlig kvalitet (lav eller ingen signalamplitude). Verdier øverst og nederst i kjerneprøvene ble også forkastet da disse helt tydelig skyldes randeffekter.

Figur 5.4 viser tettheten for prøver med mer enn 2 % grus og prøver med mindre enn 2 % grus i overflatelaget. Bortsett fra prøve 01/05 ligger tettheten for prøvene med mer enn 2 % grus rundt 2.1 g/cm^3 . For prøvene med mindre enn 2 % grus varierer tettheten mellom $1.2 - 2.3 \text{ g/cm}^3$. Midlere tetthet over de øverste 50 cm er vist i figur 5.5 for hver prøve. Som for midlere lydastighet er det stor variasjon innenfor bunnprøver med samme klassifikasjonsresultat.



Figur 5.4 Gammatetthet for prøver med mer enn 2 % grus (t.v) og mindre enn 2 % grus (t.h) som funksjon av dyp. Målinger av tetthet de første 5 – 15 cm viser tydelig avvik og vi har forkastet disse verdiene. Bortsett fra prøve 01/05 ligger tettheten for prøvene med mer enn 2 % grus rundt 2.1 g/cm^3 . For prøvene med mindre enn 2 % grus varierer tettheten mellom $1.2 - 2.3 \text{ g/cm}^3$. Tettheten for 08/06 vises i grønt.



Figur 5.5 Midlere tetthet beregnet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene med \pm ett standardavvik. Innenfor samme klassifikasjonsresultat er det stor variasjon i midlere tetthet. Merk at 01/07 ikke har måledata i dette intervallet.

5.1.3 Lydhastighet versus gammatetthet

Ifølge litteraturen er det er en tydelig sammenheng mellom lydhastighet og tetthet [15;20]. Lydhastigheten øker med økende tetthet. Figur 5.6 viser lydhastighet versus gammatetthet for våre bunnprøver, der det er midlet over de øverste 50 cm. Overraskende fordeler målepunktene seg i to områder. Målingene som er rapportert i [6;7] på hele kjerner, der prøvene fra overflatelaget er klassifisert fra leir (C) til grusholdig, sandholdig slam (gsM), viser alle tetthet høyere enn 1.6 g/cm^3 . Målingene på de splittede kjernene viser at disse med unntak av seks prøver har lavere tetthet enn 1.6 g/cm^3 [5]. Tettheten er så lav som 1.3 g/cm^3 for enkelte kjerneprøver. Overflateprøven til de splittede kjernene er klassifisert fra slam (M) til grusholdig, sandholdig slam (gsM), dog er flesteparten av prøvene tatt i Norskerenna og klassifisert som slam (M) eller silt (Z). De seks målingene som avviker (klassifisert som M, Z, sM og gmS), passer overens med målingene på de hele kjernene. Selv om det er en større andel finere sedimenter i de splittede kjernene, er det ikke grunnlag for at måleverdiene skal fordele seg på to områder.

Grovt sett kan det sies at prøvene med lav tetthet har relativt sett høy lydhastighet, mens prøvene med høy tetthet har relativt sett lav lydhastighet. Målingene foretatt på splittede kjerner antas mest usikre, da disse avhenger av antatt tykkelse på kjernen og denne er unøyaktig for splittede kjerner.

I [20;21] er en regresjonslinje beregnet for forholdet mellom tetthet og lydhastighet på kontinentalsokkelen og kontinentalskråningen basert på målte data. Denne linjen er plottet i figur 5.6 ved 18.75°C (23°C i [21]). Vi ser at målingene av lydhastigheten på hele kjerner er vesentlig lavere enn forventet ut i fra [20;21].

Delvis på grunn av figur 5.6 kalibrerte UiB utstyret i november 2008 og foretok en ny måling av gammatetthet og lyd hastighet på en av kjerneprøvene, som bekrefter de opprinnelige måleresultatene. Det antas derfor at måleresultatene er korrekte for de hele kjernene, selv om lyd hastigheten er vesentlig lavere enn forventet.

Figur 5.7 – 5.8 viser henholdsvis tettheten og lyd hastigheten som funksjon av klassifikasjonsresultat. Det er midlet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene. Innenfor hver klasse er dataene sortert etter økende mengde sand (mindre enn 2 % grus) og grus (mer enn 2 % grus). Prøver med tetthet lavere enn 1.6 g/cm^3 er plottet for seg til høyre i figurene. Både tettheten og lyd hastigheten viser til en viss grad å øke med økende grovhet i overflateprøven, men variasjonen er stor fra prøve til prøve.

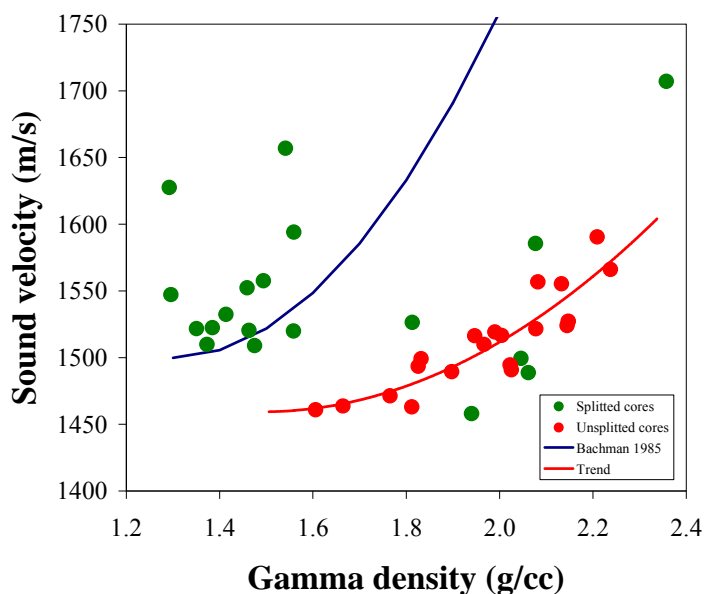
I [22] er typiske verdier for lyd hastighet og tetthet gitt for forskjellige marine sedimenter. Disse er gjengitt i tabell 5.2. Det er usikkert hvilken temperatur verdiene gjelder ved, men det antas 23°C som er i nærheten av temperaturen for våre målinger. I tabell 5.3 er gjennomsnittlige verdier for kjerneprøvene med størst andel av leir, silt, sand og grus listet for sammenligningsgrunnlag. Et usikkerhetsmoment er at grenseverdiene for bunntypene i [22] ikke er kjent. Likevel, for alle bunntypene er våre lyd hastigheter lavere enn de typiske verdiene, mens tettheten er i størrelsesorden de typiske verdiene gitt i tabell 5.2. Det store spørsmålet er hvorfor vi får så lave lyd hastigheter. Kjerneprøver tatt av FFI i Barentshavet viser også lave lyd hastigheter.

Bunntype	Lyd hastighet (m/s)	Tetthet (g/cm^3)
Leir	1500	1.5
Silt	1575	1.7
Sand	1650	1.9
Grus	1800	2.0

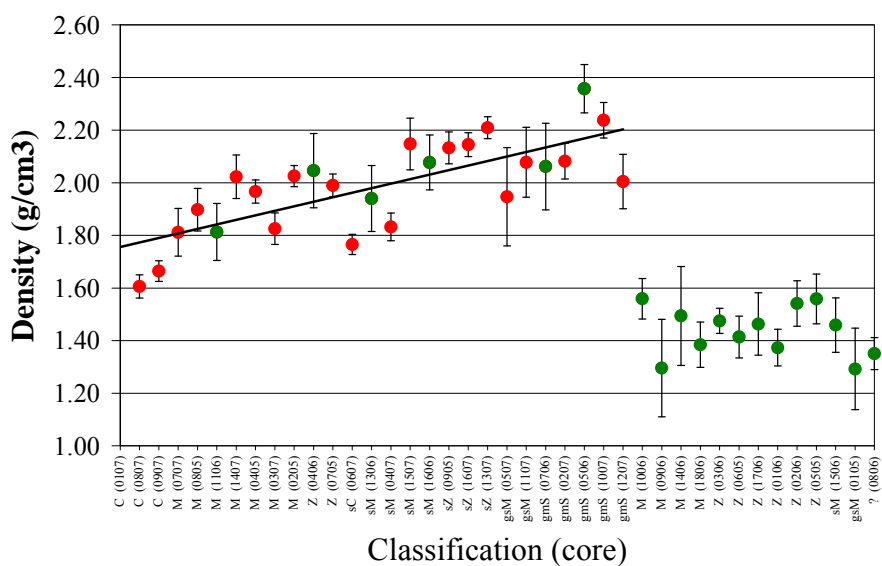
Tabell 5.2 Typiske verdier for lyd hastighet og tetthet [22].

Kjerneprøve	Lyd hastighet (m/s)	Tetthet (g/cm^3)
70 % leir, 28 % silt – prøve 08/07	1460	1.6
82 % silt – prøve 03/06	1510	1.5
82 % silt – prøve 04/06	1500	2.0
62 % sand, 4 % grus – prøve 02/07	1560	2.1
26 % grus, 43 % sand – prøve 12/07	1520	2.0

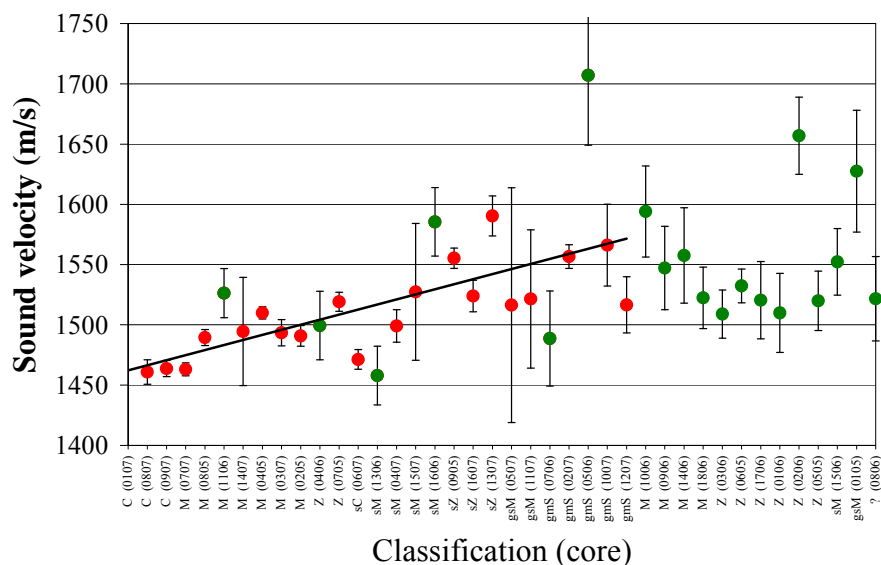
Tabell 5.3 Gjennomsnittlig lyd hastighet og tetthet over de øverste 50 cm for kjerneprøvene med størst andel av leir, silt, sand og grus.



Figur 5.6 Midlere lyd hastighet versus midlere tetthet beregnet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene. Bachmans regresjonslinje konvertert til 18.75 °C er plottet blå.



Figur 5.7 Midlere tetthet beregnet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene versus klassifikasjonsresultat. Merk at 01/07 ikke har måledata i dette intervallet. De grønne punktene representerer splittede kjerner. En svart lineær trendlinje vises for kjernene med tetthet høyere enn 1.6 g/cm³.



Figur 5.8 Midlere lyd hastighet beregnet over de øverste 50 cm av kjerneprøvene med \pm ett standardavvik. Merk at 01/07 ikke har måledata i dette intervallet. De grønne punktene er splittede kjerner. En svart lineær trendlinje vises for kjernene med tetthet høyere enn 1.6 g/cm^3 .

5.2 Målinger av våttetthet, korntetthet og porøsitet

5.2.1 Våttetthet

Våttettheten kan også måles direkte dersom volumet av prøven er kjent. Dette er tilfelle for utvalgte delprøver fra kjerneprøvene tatt i 2007 (og rapportert i 2008). UiB tok 39 sprøyteprøver med volum 5, 6, 7, 8 og 9 ml. For de største volumene ble to sprøyteprøver summert. Våttettheten (*bulk density*) ρ_B er gitt som vekten av våt prøve (sedimentet) m_S (g), dividert med totalt volum V_T (ml)

$$\rho_B = \frac{m_S}{V_T} \quad (5.1)$$

Direkte målinger av våttetthet viser at disse ligger vesentlig lavere enn gammatettheten. I gjennomsnitt for 39 sprøyteprøver er våttettheten 0.3 g/cm^3 lavere enn gammatettheten. For å finne gammatettheten har vi midlet over samme dybdeintervall som sprøyteprøvene er tatt fra. Den direkte målte våttettheten ligger mellom $1.3 - 2.1 \text{ g/cm}^3$, mens gammatettheten i de samme dybdeintervallene ligger mellom $1.6 - 2.3 \text{ g/cm}^3$. Det er her sett bort fra to delprøver fra 14/07 da disse gir avvikende resultater.

Den vesentlig lavere direkte målte våttettheten sammenlignet med gammatettheten kan skyldes at det er forskjell mellom tettheten på aluminium som benyttes under kalibreringen av måleutstyret og tettheten på sedimentene i kjerneprøvene. Men mest sannsynlig er forklaringen at det er vanskelig å måle volumet på sprøyteprøvene eksakt med dagens metode.

Direktemålt våttetthet for to delprøver fra 14/07 er lik 2.4 g/cm^3 og 2.5 g/cm^3 . Verdiene skiller seg ut ved å være vesentlig høyere enn de andre direktemålte våttetthetene (og to av disse er fra 13/07 som ligger like i nærheten av 14/07). Gammatettheten for 14/07 er omtrent som for de andre delprøvene (2.2 g/cm^3 og 2.0 g/cm^3). En feil i angivelsen av volum på sprøyteprøvene til 14/07 kan forklare dette avvikende resultatet.

5.2.2 Korntetthet

Korntettheten ρ_G (*bulk grain density*) er definert som vekten av kornene i prøven m_G , dividert med volumet kornene utgjør, V_G , som er lik differansen mellom totalt volum V_T og volumet av fluidet/vannet V_{FL}

$$\rho_G = \frac{m_G}{V_G} = \frac{m_G}{V_T - V_{FL}} \quad (5.2)$$

Volumet av fluidet er lik massen av fluidet dividert med tettheten ($V_{FL} = m_{FL} / \rho_{FL}$). Volumet av fluidet/vannet er også gitt som forskjellen i masse mellom våt prøve m_S (våtvekten av sedimentet) og tørr prøve m_{DRY} , kompensert for saltet i den tørre prøve (gitt ved saltholdigheten s , $m_{SALT} = s \cdot m_{FL}$), og dividert med tettheten på vann ρ_{FL}

$$V_{FL} = \frac{m_S - m_{DRY}}{(1-s)\rho_{FL}} \quad (5.3)$$

Dermed kan korntettheten måles ved at

$$\rho_G = \frac{m_{DRY} - sm_S}{(1-s)V_T - (m_S - m_{DRY}) / \rho_{FL}} \quad (5.4)$$

Dersom det ses bort fra saltet ($s \equiv 0.000$) blir korntettheten

$$\rho_G \cong \frac{m_{DRY}}{V_T - (m_S - m_{DRY}) / \rho_{FL}} \quad (5.5)$$

Korntettheten omtales av og til som tørrtetthet i litteraturen [23].

Marine sedimenter består ofte av kvarts (2.65 g/cm^3) og kalsitt (2.71 g/cm^3) og korntettheten antas å være rundt 2.7 g/cm^3 [18]. I [23] der områder klassifisert fra leir til leirholdig grus på kontinentalsokkelen utenfor Texas - Louisiana er undersøkt, varierer gjennomsnittlig korntetthet fra 2.63 g/cm^3 (leir) til 2.69 g/cm^3 (sand). Minste og største verdi for alle 212 delprøvene (fra 23 kjerneprøver) er henholdsvis 2.56 g/cm^3 og 2.74 g/cm^3 . I [20] er gjennomsnittlig korntetthet for 340 overflateprøver (tatt på flere forskjellige vis fra de øverste 30 cm av havbunnen) fra

kontinentalsokkelen inkludert prøver fra Norskehavet lik 2.678 g/cm^3 . Gjennomsnittlig kornstørrelse ligger mellom $0.9 - 8.8\phi$ og prøvene er klassifisert fra grov sand til siltholdig leir. Siden det er tatt sprøyteprøver av utvalgte kjerneprøver har vi estimert korntettheten etter likning (5.5). I gjennomsnitt for de 39 sprøyteprøvene er estimert korntetthet lik 2.4 g/cm^3 . Minste og største verdi er henholdsvis 2.0 g/cm^3 og 3.2 g/cm^3 . Verdiene skiller seg klart fra forventet verdi på rundt 2.7 g/cm^3 . Siden volumet kun er angitt i antall hele milliliter mellom 5 ml og 9 ml, er en sannsynlig årsak til den vesentlige lavere korntettheten enn forventet unøyaktig måling av sprøytevolumet.

5.2.3 Porøsitet og fraksjonert porøsitet

Porøsiteten er definert som volumet av vannet/fluidet dividert med volumet av prøven [24]:

$$n = \frac{V_{FL}}{V_T} = \frac{m_{FL} / \rho_{FL}}{m_{FL} / \rho_{FL} + (m_{DRY} - s \cdot m_{FL}) / \rho_G} \quad (5.6)$$

Volumet til fluidet kan finnes for alle delprøvene siden både våt og tørr prøve er veid svært nøyaktig. For utvalgte kjerneprøver ble det som nevnt tidligere tatt sprøyteprøver der volumet av våt prøve er kjent. Dessverre vil tallene være usikre av samme grunn som for korntettheten. Direktemålt porøsitet er derfor ikke estimert.

Fraksjonert porøsitet n_F gir et estimat på porøsiteten basert på målinger av gammatettheten ρ_B (estimert våttetthet). Siden $m_S = m_{FL} + m_G = \rho_{FL} V_{FL} + \rho_G V_G = \rho_B V_T$ fås at porøsiteten n er lik:

$$n = \frac{\rho_G - \rho_B}{\rho_G - \rho_{FL}} \quad (5.7)$$

I rapportene fra UiB er fraksjonert porøsitet plottet [5-7]. Ut ifra tallene i rapportene og medfølgende datafiler har vi funnet at den fraksjonerte porøsiteten er beregnet som

$$n_F = \frac{2.75 - \rho_B}{2.75 - 1.026} = (2.75 - \rho_B) \cdot 0.58 \quad (5.8)$$

De vil si at det antas en korntetthet på 2.75 g/cm^3 og en tetthet for vann på 1.026 g/cm^3 . Den fraksjonerte porøsiteten i rapportene fra UiB er derfor direkte avledet av gammatettheten, og gir ingen ny informasjon.

I [25] er porøsitet for forskjellige sedimenttyper tabulert. For leir (9ϕ) ligger porøsiteten rundt 80 %, for grov sand (1ϕ) rundt 40 %.

Når porøsiteten er kjent kan våttettheten ρ_B estimeres på bakgrunn av tettheten av fluidet (sjøvannet) og korntettheten som

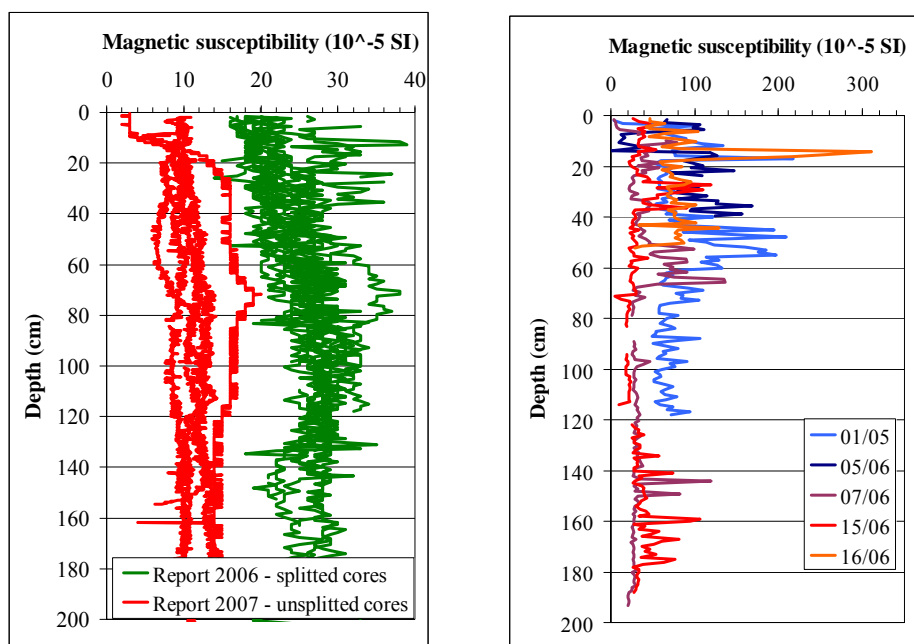
$$\rho_B = n\rho_{FL} + (1-n)\rho_G \quad (5.9)$$

5.3 Magnetisk susceptibilitet

Magnetisk susceptibilitet ble målt på kjerneprøver tatt i 2005 og 2006 ved hjelp av alternerende magnetfelt. Ved målinger på splittede kjerneprøver ble MSCLs punktsensor benyttet, og ved målinger på hele kjerneprøver ble MSCLs loopsensor benyttet. Magnetisk susceptibilitet er en relativ, dimensjonsløs størrelse og UiB oppgir susceptibiliteten i SI-enheter. Susceptibiliteten forteller i hvilken grad et materiale lar seg magnetisere av et ytre magnetisk felt, og kan være en indikator på hvor uniforme kjerneprøvene er med tanke på kornstørrelse og sedimentopphav [5-7].

Susceptibilitet som funksjon av dyp vises i figur 5.9. Vi har forkastet høye enkeltverdier da disse antas å være falske. Verdier øverst og nederst i kjerneprøvene er også forkastet da disse helt tydelig skyldes randeffekter. Kjerneprøvene fordeler seg som vist i to grupper: 1) Kjerner med susceptibilitet under $40 \cdot 10^{-5}$ SI i hele dypet (ser bort fra de øverste 10 cm), 2) Kjerner med susceptibilitet $> 40 \cdot 10^{-5}$ SI i visse lag. I sistnevnte gruppe har alle prøvene minst 34 % sand/grus i overflateprøven, mens det i første gruppe er prøver med maksimalt 22 % sand/grus i overflateprøven. Det er her et samsvar mellom andelen sand/grus og magnetisk susceptibilitet.

Det er verdt å merke seg at alle kjerneprøvene rapportert i 2007 har verdier under $20 \cdot 10^{-5}$ SI (gjelder følgende prøver tatt i 2005: 02/05, 04/05, 07/05, 08/05 og 09/05), mens ingen av kjerneprøvene rapportert i 2006 ligger i dette området av skalaen (gjelder alle prøvene tatt i 2006 + 05/05 og 06/05 tatt i 2005). Her synes det å være en systematisk skjevhet. Dette kan skyldes at kjerneprøvene fra 2005 som ble rapportert i 2007, tørket for mye ut på grunn av den lange lagringstiden ved FFI før de ble sendt til analyse. Det kan også skyldes forskjellig målemetode i og med at kjerneprøvene rapportert i 2006 ble splittet før målingene, mens kjerneprøvene rapportert i 2007 ikke ble splittet.

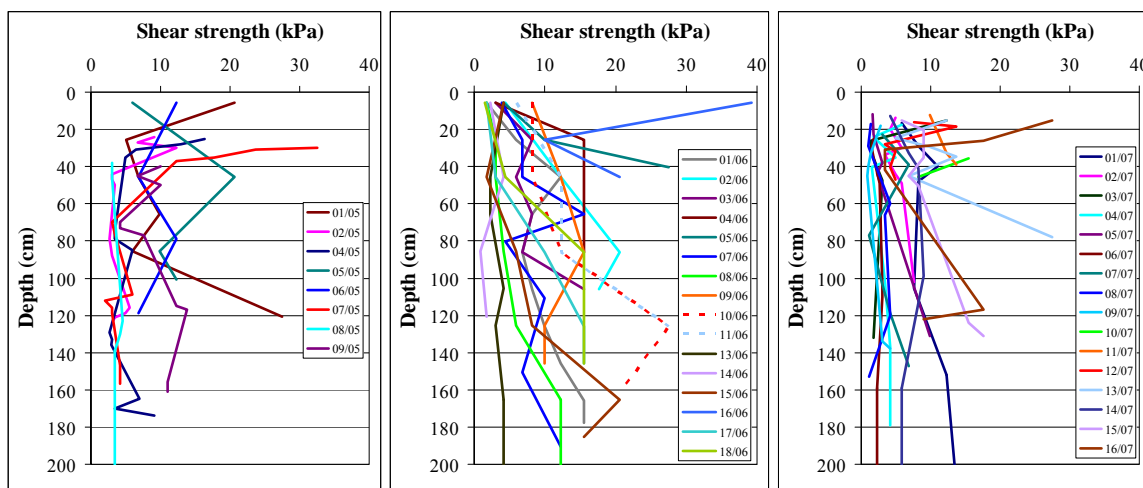


Figur 5.9 Magnetisk susceptibilitet som funksjon av dyp for kjerneprøvene tatt i 2005 og 2006. Til høyre vises kjerner med susceptibilitet høyere enn $40 \cdot 10^{-5}$ SI. Disse har minst 34 % sand/grus i overflateprøven. Til venstre vises kjerner med susceptibilitet lavere enn $40 \cdot 10^{-5}$ SI. Det sees at hele kjerneprøver har lavere susceptibilitet enn splittede kjerneprøver.

5.4 Skjærstyrke

UiB måler skjærstyrken ved å la en kjegle falle med sin egen vekt ned i sedimentet, måle penetrasjonsdybden og konvertere fra penetrasjonsdybde til skjærstyrke [5;7]. Metoden er beskrevet i [26], og tabeller for konverteringen fra dybde til skjærstyrke finnes der. I den første analysen ved UiB ble skjærstyrken målt i de samme intervallene som ved analyse av kornfordeling [5]. I den tredje rapporten ble skjærstyrken målt minst 3-5 cm fra der delprøvene for kornfordeling ble tatt ut [7]. For hver måling ble det foretatt flere avlesninger som ble midlet. Skjærstyrken er invers proporsjonal til kvadratet av kjeglepenetrasjonen.

For alle prøvene tatt i 2006 og 2007 og for tre av prøvene tatt i 2005 ble skjærstyrken målt samtidig med de andre analysene som ble foretatt på kjerneprøvene. For fem av prøvene tatt i 2005 ble skjærstyrken målt i ettertid. Dette gjelder prøvene som er rapportert i 2007 [6]. I figur 5.10 har vi plottet skjærstyrken som funksjon av dyp for alle prøvene tatt i øvingsfeltet. Skjærstyrken ligger i området 0 – 30 kPa, med hovedvekten av kjerneprøvene lavere enn 20 kPa.



Figur 5.10 Målinger av skjærstyrke for samtlige kjerneprøver fra øvingsfeltet i nordlige Nordsjøen. Prøvene tatt i 2005, 2006 og 2007 er vist hver for seg.

6 Oppsummering og videre arbeider

Omfattende undersøkelser av havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen er foretatt. Per august 2008 er det tatt 37 grabbprøver og 40 kjerneprøver. Kjerneprøvene er analysert ved Universitetet i Bergen med tanke på kornfordeling, lydastighet, gammatetthet, magnetisk susceptibilitet og skjærstyrke. For fem av grabbprøvene er kornfordelingen analysert.

I Norskerenna er det hovedsakelig silt. De største sandmengdene finnes på Nordsjøplataet i nordvest (66 – 98 %). Langsmed kysten er det også mye sand. Største mengde leir er funnet i Korsfjorden, og langs med nordre del av kysten. Det er minimalt med silt og leir på Nordsjøplataet. Bunnprøver tatt i Norskerenna rett nedenfor Nordsjøplataet klassifiseres som sandholdig silt (sZ). I sørøst og nordvest er det relativt sett høyere andel grus enn ellers.

Inndeling av grabbprøver og kjerneprøver i fire grupper basert på henholdsvis en rudimentær analyse og kornfordeling gir et bilde av havbunnens beskaffenhet som stemmer med topografien.

Lydastighetsmålingene er varierende, men jevnt over er lydastigheten lav for sedimentene vi har målt (1450 – 1600 m/s ved midling over de øverste 50 cm). Gammatettheten (estimert våttetthet) ligger mellom 1.3 – 2.2 g/cm³, og ser ut til å øke med økende mengde grovkornige sedimenter. Lydastighet og tetthet er ikke målbart helt øverst i kjerneprøvene på grunn av liten diameter på sylindrene og dårlig pakking av sedimentene. Målinger av korntetthet, våttetthet og porøsitet har ikke vært vellykket. Fraksjonert porøsitet er en avledet størrelse fra gammatettheten.

Magnetisk susceptibilitet de øverste 200 cm av sedimentlaget er vesentlig høyere for kjerneprøver med grove sedimenter i overflaten enn for kjerneprøver med fine sedimenter i overflaten. Det er således samsvar mellom kornfordeling i overflaten og magnetisk susceptibilitet nedover i havbunnen.

Skjærstyrken ligger mellom 0 – 30 kPa, med hovedvekten av prøvene lavere enn 20 kPa.

6.1 Forslag til videre arbeider

På bakgrunn av arbeidet i denne rapporten foreslår vi å ta flere grabbprøver i områder der det forventes grovere sedimenter og leir. Områder av interesse er nærmere omtalt i [3]. Alle grabbprøver bør analyseres for kornfordeling for en objektiv vurdering av sedimenttype.

Vi anbefaler sterkt at målingene av lydshastighet og tetthet i kjerneprøvene studeres videre. Dette er viktige parametere i akustiske modeller og ved prediksjoner av sonarytelser. Dessverre tillater ikke tiden å fortsette dette arbeidet innenfor nåværende FFI-prosjekt. Det bør i denne sammenheng også diskuteres om dagens målemetode er den beste for vårt behov.

Kornfordelingen nedover i kjerneprøvene er ikke studert i denne rapporten, og kan med fordel vies oppmerksomhet i et videre arbeide.

Appendix A Kornstørrelse

Fordelingen av leir, silt, sand og grus i de forskjellige overflateprøvene (kjerneprøvene) og fem av grabbprøvene er listet i tabell A.1. Klassifikasjon av prøvene er også foretatt basert på en revidert versjon av SOSI-standarden [9]. Median kornstørrelse er gitt i tabell A.2.

Kjerne/ grabb #	Leir (%) < 2 μm	Silt (%) 2 μm – 63 μm	Sand (%) 63 μm – 2 mm	Gravel (%) > 2 mm	Klassifikasjon
01/05	21.56	30.20	43.51	4.74	gsM
02/05	35.12	56.43	8.46	0.00	M
04/05	33.80	61.00	5.20	0.00	M
05/05	22.08	69.91	8.01	0.00	Z
06/05	31.47	66.57	1.96	0.00	Z
07/05	21.06	74.56	4.38	0.00	Z
08/05	51.27	47.44	1.29	0.00	M
09/05	28.04	59.63	12.33	0.00	sZ
01/06	18.12	78.31	3.56	0.00	Z
02/06	27.54	68.87	3.59	0.00	Z
03/06	17.05	81.73	1.23	0.00	Z
04/06	14.31	82.10	3.59	0.00	Z
05/06	23.41	21.67	49.23	5.69	gmS
07/06	15.00	30.44	52.03	2.53	gmS
08/06	32.96	45.14	13.24 % 63 μm –1 mm 8.67 % > 1 mm		Ikke klassifisert
09/06	34.05	63.18	2.77	0.00	M
10/06	41.49	55.82	2.68	0.00	M
11/06	33.72	63.86	2.42	0.00	M
13/06	35.97	50.05	13.98	0.00	sM
14/06	38.85	57.34	3.81	0.00	M
15/06	28.34	35.65	36.02	0.00	sM
16/06	38.74	27.02	33.76	0.49	sM
17/06	28.79	68.15	3.06	0.00	Z
18/06	34.88	60.10	5.02	0.00	M
01/07	66.94	31.77	1.29	0.00	C
02/07	20.59	13.14	62.04	4.22	gmS
03/07	57.68	35.19	7.13	0.00	M
04/07	53.44	28.78	17.78	0.00	sM
05/07	35.74	19.02	42.28	2.97	gsM
06/07	52.60	21.66	25.74	0.00	sC

07/07	65.06	34.37	0.56	0.00	M
08/07	70.26	27.70	2.03	0.00	C
09/07	63.98	31.82	4.20	0.00	C
10/07	29.02	11.71	50.73	8.54	gmS
11/07	28.88	16.60	40.04	14.47	gsM
12/07	19.44	11.96	42.97	25.63	gmS
13/07	13.25	58.73	28.02	0.00	sZ
14/07	45.51	50.40	4.08	0.00	M
15/07	35.00	39.31	25.68	0.00	sM
16/07	28.41	59.04	12.55	0.00	sZ
01/08	3.26	9.28	86.98	0.48	zS
02/08	0.51		66.12	33.38	sG
03/08	25.89		71.66	2.45	gmS
04/08	0.25		91.97	7.77	gS
14/08	1.47		98.46	0.06	S

Tabell A.1 Kornfordeling og klassifisering av kjerneprøvene og fem av grabbprøvene. Relativ masseandelen av leir, silt, sand og grus er gitt. Kolonne 6 klassifiserer kjernene etter NGUs klassifikasjonssystem gitt i SOSI-standard [9].

Kjerne/grabb #	Midlere kjernedybde (cm)	Median kornstørrelse ϕ_{50}	Vanndybde (m)
01/05	5.50	4.7	240
02/05	12.50	8.0	285
04/05	19.50	7.5	298
05/05	5.50	6.8	292
06/05	5.75	7.9	279
07/05	24.50	6.4	280
08/05	12.50	9.1	274
09/05	24.50	6.2	247
01/06	5.75	6.8	277
02/06	5.75	7.4	277
03/06	5.75	7.1	283
04/06	5.75	6.5	280
05/06	5.50	3.3	199
07/06	5.50	3.4	243
08/06	5.50	7.7	283
09/06	5.75	8.1	283

10/06	5.75	8.5	291
11/06	5.75	8.1	294
13/06	5.50	8.1	321
14/06	5.50	8.4	312
15/06	5.50	6.8	274
16/06	5.50	7.7	285
17/06	5.75	7.6	315
18/06	5.75	8.1	284
01/07	10	11.0	434
02/07	10	2.7	326
03/07	9	9.7	317
04/07	12	9.3	295
05/07	7.5	5.9	275
06/07	12.5	9.2	615
07/07	14	10.3	590
08/07	12	11.0	672
09/07	7	10.3	289
10/07	13	2.6	236
11/07	8	3.5	211
12/07	12	2.1	260
13/07	10	4.6	220
14/07	8	8.4	168
15/07	10	6.6	168
16/07	10	5.5	324
01/08	Grabb	3.4	184
02/08	”	0.9	124
03/08	”	3.2	139
04/08	”	2.3	109
14/08	”	2.4	106

Tabell A.2 Median kornstørrelse i ϕ -enheter er gitt for alle kjerneprøvene (overflateprøven) og fem av grabbprøvene. Midlere kjernedybde er målt fra toppen av kjernen (inkludert eventuell tom sylinder). Hver kjerneprøve er 1 – 1.5 cm tykk.

Appendix B Beskrivelse av grabbprøver

Grab #	Classification (description)
01/04	Silty clay with minor sand
05/04	Silty-clayey sand with gravel ≤ 1 cm (Mud with sand and gravel and tiny shell fragments)
07/04	Silty clay (Clay with tiny shell fragments)
09/04	Silty clay with minor sand (Clay with silt and sand, some shell fragments)
10/04	Silty clay
12/04	Silty clay
13/04	Clayey silt with minor sand (Clay and silt with sand and some gravel ≤ 1 cm)
15/04	Sandy mud (clay + silt) with shell fragments and gravel (≤ 4 cm).
16/04	Silty-clayey sand with gravel (≤ 2 cm).
18/04	Sandy-clayey silt (Sandy mud with shell fragments)
19/04	Sandy-clayey sand (Mud and coarser material, lots of shell fragments)
20/04	Silty-clayey sand with gravel (≤ 4 cm).
01/05	Silty clay with minor sand
02/05	Clayey-sandy silt
03/05	Silty clay
01/07	Silty sand and gravel with many pebbles and boulders, a few small shells
02/07	Very soft, fine clay, no sand
03/07	Very soft silty clay, no sand, almost a (viscous) "fluid"
04/07	Silt, sticky, dense sample
05/07	Fine, silty sand w/one small chunk of silty clay, some biological material
06/07	Medium-fine sand, no silt or clay, a few shells and a nice sea porcupine
07/07	Fine, silty sand
08/07	Fine, silty sand
09/07	Sandy silt
10/07	Silty clay on the surface, sandy silt and silty, fine sand in the interior w/some biological material => Sandy silt
11/07	Very fine sand, a few small organisms
12/07	Very fine sand, mixed with tiny shell fragments, some animals.
13/07	Medium-fine sand, tiny shell fragments and two large, live clamshells
14/07	Fine sand, small shell fragments
15/07	Silt- partly soft, partly sandy
16/07	Very fine, silty sand
17/07	Medium sand, no silt or clay

Tabell C.1 Beskrivelse av grabbprøvene tatt i øvingsfeltet i nordlige Nordsjøen 2004 – 2008.

Appendix C Beskrivelse av kjerneprøver

Core #	Layer 1	Layer 2
01/05	Silty sand w/gravel	Clayey silt
02/05	Clayey silt w/sand	Clayey silt
04/05	Clayey silt w/sand	Clayey silt
05/05	Sandy silt	Silty
06/05	Not described	Silty
07/05	Silty w/sand	Clayey silt
08/05	Clayey silt	Silty clay
09/05	Silty w/sand	Clayey silt w/sporadic sand
01/06	Silty w/sand	Silty
02/06	Silty w/sand	Silty w/sand and clay
03/06	Not described	Silty
04/06	Sandy silt	Clayey silt
05/06	Not described	Silty sand w/gravel
07/06	Silty sand w/sand and clay	Sandy
08/06	Sandy silt	Clayey silt w/sand
09/06	Clayey silt w/sand	Clayey silt
10/06	Clayey silt w/sand	Clayey silt
11/06	Clayey silt w/sand	Clayey silt
13/06	Not described	Sandy silt
14/06	Clayey silt	Clayey silt w/sand
15/06	Silty sand	Silty clay w/sand
16/06	Silty sand	Not described
17/06	Clayey silt w/sand	Clayey silt
18/06	Clayey silt w/sand	Clayey silt
01/07	Silty clay w/sporadic sand, stones	Clayey silt
02/07	Sandy w/silt and clay, stone and shell fragments	Sandy silt
03/07	Silty clay	Sandy silt
04/07	Sandy silty clay	Silty clay
05/07	Sandy silt	Silty clay
06/07	Sand silty clay	Silty clay
07/07	Silty clay w/sporadic sand	Silty clay
08/07	Silty clay w/sand	Empty barrel
09/07	Silty clay w/sand	Clayey silt w/sand
10/07	Silty sand, stone	Sandy silt w/clay
11/07	Silty sand	Sandy silty-clay

12/07	Silty sand	Silty clay w/sand
13/07	Sandy silt	Silty w/sand and clay
14/07	Sandy silt	Silty clay
15/07	Silty sand	Clayey silt
16/07	Sandy silt	Silty clay

Tabell A.3 Beskrivelse av de to øverste lagene i kjerneprøvene tatt i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen i 2003 – 2007. Informasjonen er tatt fra [5-7].

Appendix D In-situ lyd hastighet

Lyd hastighetsmålingene beskrevet i denne rapporten er foretatt ved romtemperatur (18.6 – 18.9°C) og gjelder således ved denne temperaturen. Det er nødvendig å korrigere verdiene for trykk og temperaturen på havbunnen (*in-situ*) [27]. Det antas samme forhold mellom lyd hastighet i kjerneprøven og lyd hastighet i sjøvann ved romtemperatur som ved sjøtemperatur (gitt samme saltholdighet i vannet). Det betyr at

$$c_{\text{SED}}(T_0) = \frac{c_{\text{FL}}(T_0)}{c_{\text{FL}}(T_1)} c_{\text{SED}}(T_1) \quad (\text{B.1})$$

der c_{SED} og c_{FL} er lyd hastigheten i henholdsvis sedimentet og sjøvann ved temperatur T_0 og T_1 . Det forutsettes samme saltholdighet.

I figur D.1 er lyd hastigheten for vann med saltholdighet 35‰ plottet for 0 m dyp og 300 m dyp. Temperaturen varierer fra 0°C til 23°C. Lyd hastigheten i m/s ved gitt saltholdighet S i promille er gitt som [25;28]

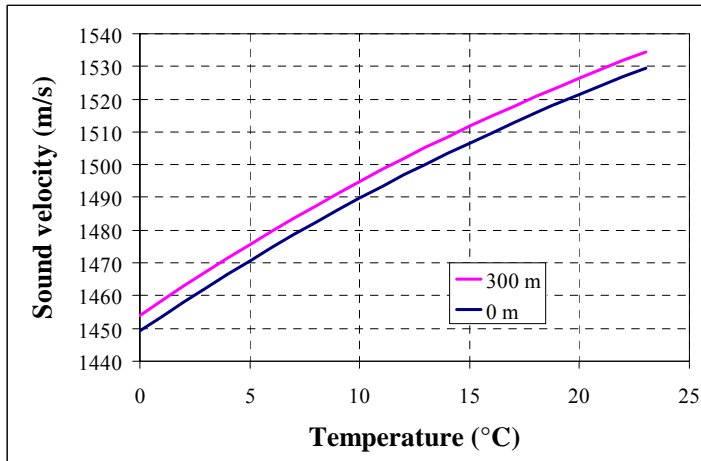
$$c = c_0 + c_1 P + c_2 P^2 + c_3 P^3 + AS + BS^{3/2} + CS^2 \quad (\text{B.2})$$

der parametrene c_0 , c_1 , c_2 , c_3 , A, B og C er funksjoner av temperaturen T og det hydrostatiske trykket P gitt i bar. Det henvises til referansene for detaljer om parametrene. For dybden z gitt i meter er trykket lik [25;29]

$$P(z) = 0.1005240(1 + 5.28 \cdot 10^{-3} \sin^2 \phi)z + 2.36 \cdot 10^{-7} z^2 \quad (\text{B.3})$$

ϕ er breddegraden (i °).

Ved 18.75°C er sjøvannslyd hastigheten på land 1518 m/s, mens ved 7°C er sjøvannslyd hastigheten 1479 m/s på land og 1484 m/s på 300 m dyp. Dersom sedimentlyd hastigheten $c_{\text{SED}}(18.75^\circ \text{C}) = 1500$ m/s ved romtemperatur blir sedimentlyd hastigheten $c_{\text{SED}}(7^\circ \text{C}) = 1466$ m/s på 300 m dyp, det vil si en reduksjon på 34 m/s. I denne rapporten oppgis lyd hastighetene som målt.



Figur D.1 Lydhastigheten i sjøvann (saltholdighet 35‰) ved 65 N på dybde 0 m og 300 m. Ved 18.75 °C er lydhastigheten på land 1518 m/s, mens ved 7 °C er hastigheten på 300 m dyp 1484 m/s.

Referanser

- [1] E. J. Eidem and K. Landmark, "Innsamling og beskrivelse av kjerneprøver og grabbprøver fra havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen 2004 - 2008," FFI-rapport 2008/02035, 2008.
- [2] K. Landmark, "Seafloor sediment, bedrock geology and seismic velocity - some results from two surveys in the northern North Sea," FFI report 2008/02110 (exempt from public disclosure), 2008.
- [3] E. J. Eidem and K. Landmark, "Seabed classification of the Navy's exercise area in the northern North Sea," FFI-rapport 2008/02135, 2008.
- [4] E. J. Eidem and K. Landmark, "Innsamling av kjerneprøver og grabbprøver fra havbunnen i Forsvarets øvingsfelt i nordlige Nordsjøen 2004 - 2008," FFI-rapport 2008/02035, 2008.
- [5] H. Hafliðason, J. A. Vikebø, and M. Andersson, "Multi Sensor Core Logging and Geotechnical Analysis of Marine Cores from the Norwegian-Barents Seas. Report to Forsvarets forskningsinstitutt," University of Bergen, Department of Earth Science, Report No. 100-02/06, 2006.
- [6] H. Hafliðason, J. A. Vikebø, and V. Hope, "Multi Sensor Core Logging and Grainsize Analysis of Cores from the Norwegian Channel & the Barents Sea. Report to Forsvarets forskningsinstitutt," University of Bergen, Department of Earth Science, Report No. 100-03/07, 2007.
- [7] H. Hafliðason, H. Kjennbakken, M. Andersson, J. A. Vikebø, and V. C. Hope, "Multi Sensor Core Logging and Geotechnical Analysis of Marine Cores from the Norwegian Channel," University of Bergen, Department of Earth Science, Report No. 100-02/08, 2008.
- [8] C. K. Wentworth, "A scale of grade and class terms for clastic sediments," *Journal of geology*, vol. 30, pp. 377-392, 1922.
- [9] "SOSI-standard versjon 4.0 Fagområde: Løsmassegeologi," Statens kartverk (www.statkart.no/SOSI/), 2006.
- [10] R. L. Folk, "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature," *Journal of geology*, vol. 62, no. 4, pp. 344-359, 1954.
- [11] F. P. Shepard, "Nomenclature based on sand-silt-clay ratios," *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 24, no. 3, pp. 151-158, 1954.
- [12] E. J. Eidem and K. Landmark, "Seafloor characterization of the area limited by 5930'N, 6100'N, 00230'E and the coast," FFI-rapport 2008/00000, 2008.
- [13] R. L. Folk and W. C. Ward, "Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters," *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 27, no. 1, pp. 3-26, 1957.
- [14] R. L. Folk, "A review of grain-size parameters," *Sedimentology*, vol. 6, pp. 73-93, 1966.

- [15] D. R. Horn, B. M. Horn, and M. N. Delach, "Correlation between Acoustical and Other Physical Properties of Deep-Sea Cores," *Journal of Geophysical Research*, vol. 73, no. 6, pp. 1939-1957, 1968.
- [16] T. Jenserud and D. Ottesen, "Analysis of bottom samples collected from the Norwegian Trench during RUMBLE second sea trial.," FFI Rapport FFI-rapport 2003/01104, 2003.
- [17] K. Landmark, "Seafloor sediments, bedrock geology and seismic velocity - some results from two surveys in the northern North Sea," FFI report 2008/02110 (exempt from public disclosure), 2008.
- [18] A. I. Best and D. E. Gunn, "Calibration of marine sediment core loggers for quantitative acoustic impedance studies," *Marine Geology*, vol. 160, pp. 137-146, 1999.
- [19] *Marine geochemistry*, 2nd ed. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2006.
- [20] E. L. Hamilton and R. T. Bachman, "Sound velocity and related properties of marine sediments," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 72, no. 6, pp. 1891-1904, 1982.
- [21] R. T. Bachman, "Acoustic and physical property relationships in marine sediment," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 78, no. 2, pp. 616-621, 1985.
- [22] F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, *Computational ocean acoustics*. New York: Springer-Verlag, 2000.
- [23] T. L. Stokes and D. A. Dunn, "Acoustic and Physical Property Correlation of Marine Sediments from the Texas-Louisiana Continental Shelf," 4 ed 2001, pp. 2624-2633.
- [24] D. J. Burdige, *Geochemistry of marine sediments*. New Jersey: Princeton University Press, 2006, pp. 1-609.
- [25] X. Lurton, *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications* Springer-Praxis, 2002.
- [26] S. Hansbo, "A new approach to the determinations of the shear strength of clay by the fall-cone test," *Royal Swedish Geotechnical Institute Proceedings*, vol. 14, pp. 7-47, 1957.
- [27] E. L. Hamilton, "Prediction of in-situ acoustic and elastic properties of marine sediments," *Geophysics*, vol. 36, no. 2, pp. 266-284, 1971.
- [28] C.-T. Chen and F. J. Millero, "Speed of sound in seawater at high pressures," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 62, no. 5, pp. 1129-1135, 1977.
- [29] C. C. Leroy and F. Parthiot, "Depth-pressure relationships in the oceans and seas," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 103, no. 3, pp. 1346-1352, 1998.