



Jammerland Bay Nearshore A/S

GEOFYSISK TEKNISK NOTAT

Jammerland Bay Nearshore A/S

Jammerland Bay Nearshore A/S

GEOFYSISK TEKNISK NOTAT

Rekvirent	Jammerland Bay nearshore A/S Diplomvej 377 2800 Kgs. Lyngby Att. Ian Wallentin E-mail: iwa@europeanenergy.dk
Rådgiver	Orbicon A/S Ringstedvej 20 4000 Roskilde
Projektnummer	3621400114
Projektleder	Jan Nicolaisen
Udarbejdet af	Danni Junge Jensen, Jan Nicolaisen
Kort	Danni Junge Jensen
Kvalitetssikring	Lars Brammer Nejrup
Revisionsnr.	03
Godkendt af	Per Møller-Jensen
Udgivet	20-01-2017

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. BAGGRUND	6
2. UNDERSØGELSESONRÅDET JAMMERLAND.....	7
3. METODEVALG OG DESIGN	8
3.1. Geofysisk kortlægning med Sidescan-sonar og Pinger.....	8
3.2. Visuel verifikation	9
4. USTYR OG TOLKNINGSSOFTWARE.....	11
5. RESULTATER	13
5.1. Indledning	13
5.2. Sidescan mosaik.....	13
5.2.1 Substrattype 1: Sand samt <1 % grus og småsten	14
5.2.2 Substrattype 1: Sand samt <1 % grus og småsten	15
5.2.3 Substrattype 2: Sand, grus og småsten samt enkelte spredte større sten med op til maksimalt 10 % dækning.....	15
5.2.4 Substrattype 3: Sand, grus og småsten samt spredte større sten, 10-25 % dækning	16
5.2.5 Substrattype 4: Stenede områder, hvor større sten dækker mere end 25 %, desuden sand, grus og småsten	16
5.3. Substrattypekort.....	17
5.4. Bathymetri.....	18
5.5. Seismik	20
5.5.1 Seismiske profiler	21
5.5.2 Tykkelseskort over kvartære sedimenter	23
6. GEOLOGISK MODEL	25
6.1. Generelle geologiske forhold	25
6.1.1 Prækvartæret.....	25
6.1.2 Kvartære aflejringer	28
6.1.3 Boringer	30

6.1.4	Historiske data: Seismiske data	32
7.	KULTURARV I UNDERSØGELSESONRÅDET	35
8.	DISKUSSION AF DE GEOFYSISKE UNDERSØGELSER	36
8.1.	Sammenstilling af geofysiske data	37
8.2.	Potentiel placering af møller	38
9.	REFERENCER	40

BILAGSFORTEGNELSE

1. Boringer
2. ROV logbog
3. Rov verifikationer
4. Dybdemodel
5. Side Scan Mosaik
6. Substrattypekort
7. Sedimenttykkelseskort
8. Vragoversigt
9. Survey plan

1. BAGGRUND

Den 3. marts 2014 opnåede European Energy (EE) forundersøgelsestilladelse til et kystnært havvindmølleprojekt i Jammerland Bugt

Området til forundersøgelse er valgt på baggrund af en screening og er naturligt begrænset i forhold til Natura-2000, indvindingsområder, farvandsinteresser samt de visuelle aspekter i området.

Et opstillingsmønster i grid, hvor møllerne placeres med samme indbyrdes afstand vil få vindmølleparken til at fremstå som en enhed der ligger frit i forhold til de omkringliggende øer og kystlinjer, og vindmølleparken vil derved fremstå harmonisk og enkel.

Den installerede vindmøllekapacitet er afhængig af antallet af rækker, vindmølletype og deres indbyrdes placering, og naturligvis også andre forhold som vil blive belyst i selve forundersøgelsen. På nuværende tidspunkt vurderes det, at der kan opstilles ca. 40–80 møller, på 3-7 MW, svarende til en kapacitet på 120-240 MW.

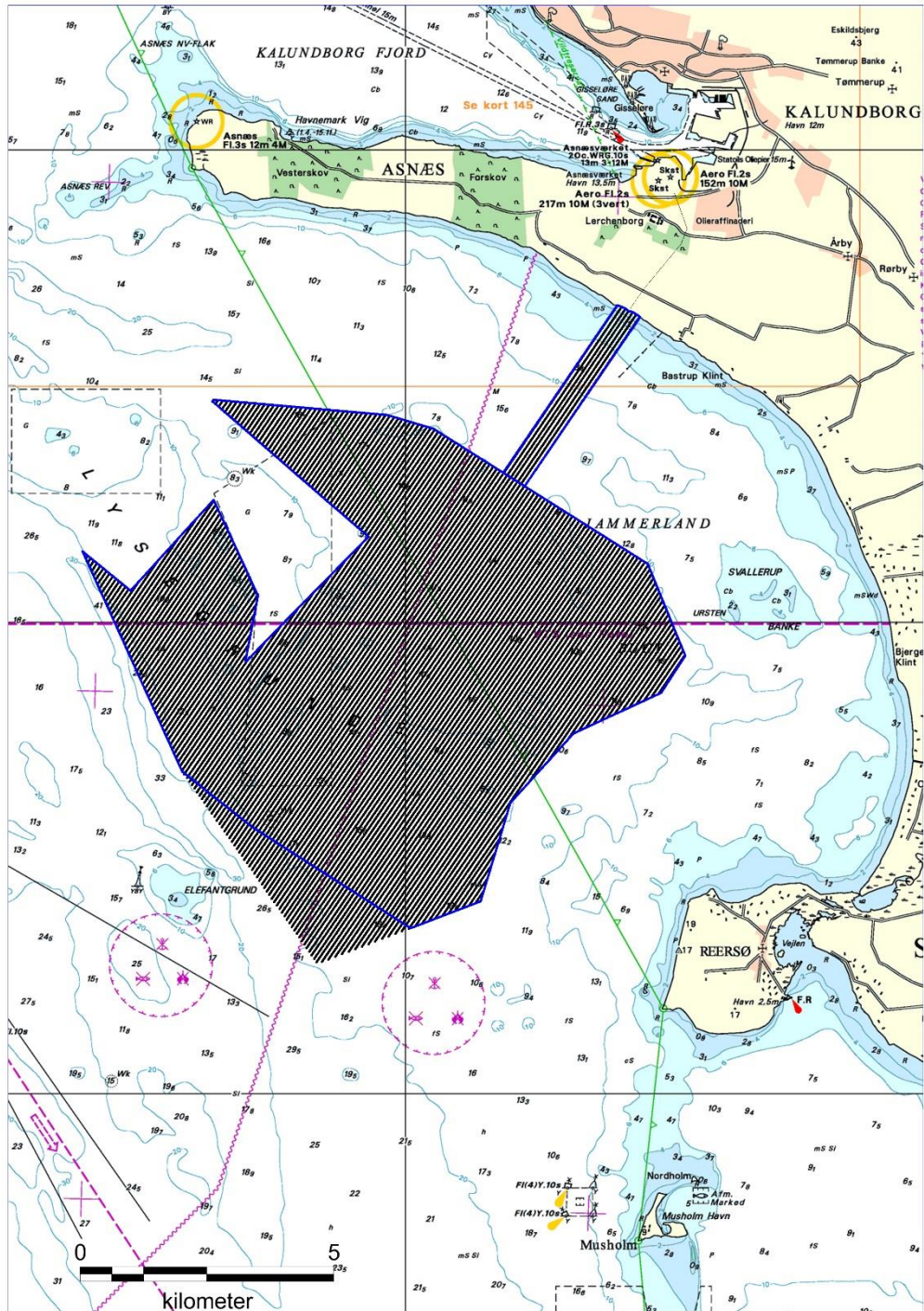
Nærværende tekniske notat opsummerer de resultater, der er tilvejebragt i forbindelse med den geofysiske kortlægning og efterfølgende visuelle verifikation for forundersøgelsesområdet Jammerland. Resultaterne skal benyttes som baseline for den efterfølgende VVM proces, samt benyttes som udkast til beslutningsgrundlag til mulig placering af møller i området

Forundersøgelsesområdet Jammerland er fastlagt og godkendt af Energistyrelsen efter en proces med beskæring og udvidelse af området af flere omgange (se fig. 2.1)

De geofysiske forundersøgelers omfang og udførelse er forhandlet på plads med Energistyrelsen, samt Naturstyrelsen, Kulturstyrelsen og Vikingeskibsmuseet i Roskilde. Undersøgelserne er gennemført på baggrund af en godkendt surveyplan – se bilag 8.

2. UNDERSØGelsesOMRÅDET JAMMERLAND

På Figur 2-1 ses undersøgelsesområdet og afgrænsningen for tilladelsesområdet.



Figur 2-1 Oversigtskort med surveyplan for sidescan- og pinger survey – 80 meters sejlinjeafstand i undersøgelsesområdet. Den blå ramme afgrænser tilladelsesområdet samt 500 meter bufferzone for kabelkorridoren.

3. METODEVALG OG DESIGN

Herunder beskrives de metoder, der er benyttet i forbindelse med nærværende geofysiske kortlægning.

Opgaven blev løst som følger:

- 100 % dækkende sidescan sonering (minus den "blinde vinkel" under sidescan fisken) i såvel forundersøgellesområdet som i kabelkorridoren (i det følgende benævnt undersøgellesområdet). Der sejles med 80 meters sejllinieafstand og med 2 x 50 m range på sidescan sonaren – hvorved der opnås et passende overlap mellem de enkelte sejllinier – i alt ca. 1000 km survey
- Shallow seismik med pinger – ligeledes med 80 meters sejllinieafstand. Herved gives der mulighed for at screene for potentielt druknede stenalderlandskaber. Desuden opnås kendskab til de overfladenære sedimenters lagtykkelser mm – i alt ca. 1000 km survey
- Tolkning af sidescan mosaik og 1. generations substrattypekort
- Udpegning af targets til visuel verifikation – i alt 44 verifikationspunkter fordelt i alle substrattyper og dybdeintervaller i undersøgellesområdet
- Udpegning af område / områder til gennemførelse af bundprøvetagningsprogram – i alt 40 "HAPS" bundfaunaprøver og 6 sedimentprøver
- Gennemførelse af den visuelle verifikation (ROV dyk med speakede videosekvenser som dokumentation samt logbog) – se nedenstående figur
- Gennemførelse af HAPS bundfaunaprogrammet (beskrives nærmere i det biologiske tekniske notat)
- Udarbejdelse af 2. generations substrattypekort efter gennemgang af den visuelle verifikation
- Alle relevante kort mm. udarbejdes i MapInfo og MapInfo tabeller
- Tolkning af relevante historiske boringsdata fra Jupiter databasen
- Tolkning af historiske seismiske data fra Marta databasen
- Udarbejdelse af geologisk model baseret på seismik, boringer og historisk data
- Levering af sidescan- og seismik data til Vikingskibsmuseet
- Indberetning af sidescan- og seismik data til GEUS

3.1. Geofysisk kortlægning med Sidescan-sonar og Pinger

Geofysisk kortlægning: Den geofysiske kortlægning blev gennemført fra Orbicons egen surveybåd med en sidescan sonar: Deep Vision – DE 680 SAR, med en sejllinieafstanden på 80 m (2x50 m range på sidescan sonaren) – se ovenstående figur 2.1, hvilket sikrer en 100 % dækning af området, med undtagelse af den blinde vinkel. Desuden sejles med pinger (overfladeseismik): Innomar SES-2000 Standard) – ligeledes med 80 meters sejllinieafstand.

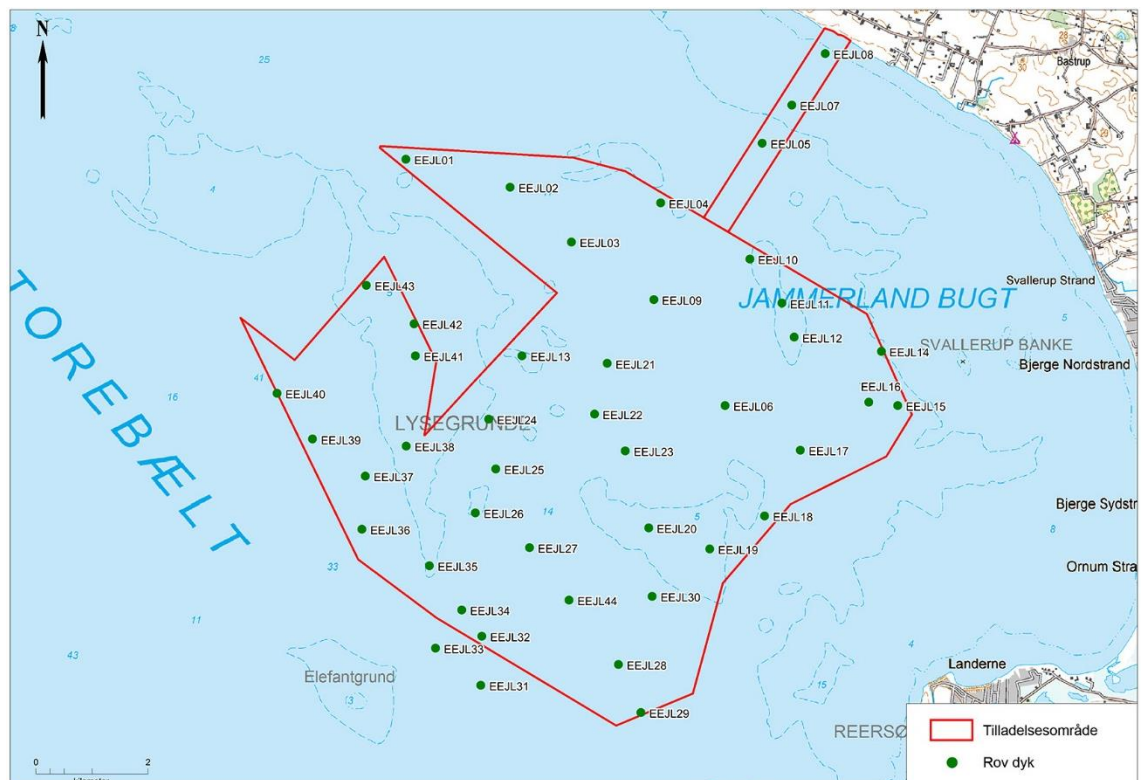
Sidescan-sonarkortlægningen blev gennemført i sensommeren 2014. Sidescan-sonaren er specielt anvendelig til beskrivelse af havbundens ruhed og dermed indirekte også bundens substratsammensætning. På sidescan-sonarbillederne er det således forskellen i ruhed på havbunden, som gør det muligt at identificere og adskille forskellige substrattyper med disses specielle karakteristika såsom sandbund og grusbund, eller større objekter som sten, boblerev, vrag m.m.

På baggrund af de gennemførte sidescan linier gennemføres en geopretning og der udarbejdes en samlet sidescan-mosaik. Ud fra denne sidescan-mosaik udarbejdes et 1. generations substrattypekort, som inddeler det undersøgte område i en række substrattyper. Ud fra visuelle verifikationer, i dette tilfælde gennemført som en række ROV dyk, udarbejdes et verificeret 2. generations substrattypekort, som danner grundlag for et efterfølgende naturtypekort for undersøgelsesområdet (beskrives nærmere i det biologiske tekniske notat for Jammerland).

3.2. Visuel verifikation

Den visuelle verifikation – udført i efteråret 2014, blev gennemført ved benyttelse af en ROV (Remotely Operated Vehicle) med video for Orbicons survey båd. ROV'en blev styret fra survey-skibet via en kontrolenhed, hvor også optaget video blev lagret. Til undersøgelserne blev der benyttet en Video Ray.

For hver af de 40 udpegede lokaliteter, blev ROV'en bragt til bunden, hvor nærområdet blev afsøgt. ROV-piloten udvalgte herefter et område, der substratmæssigt og biologisk set var repræsentativt for det afsøgte område, hvorefter videoen blev startet og en 2-5 minutters sekvens optaget. På hver videosekvens kommenterede en erfaren marinbiolog de observerede substratmæssige og biologiske elementer. Detaljer om biologiske samfund og bundsubstrat blev nedskrevet i en logbog, som kan ses på Bilag 2. Logbogen indeholder, ud over biologiske og sedimentmæssige elementer, informationer om dybdeforhold, strøm og sigt i vandet.



Figur 3-1 Fordelingen af ROV dyk i tilladelsesområdet udført i forbindelse med visuel verifikation.

Der blev gennemført 44 ROV-dyk med visuel verifikation i undersøgelsesområdet – 41 i selve mølleområdet og 3 i kabelkorridoren – se ovenstående figur.

Data kan ses i logbogen i bilag 2.

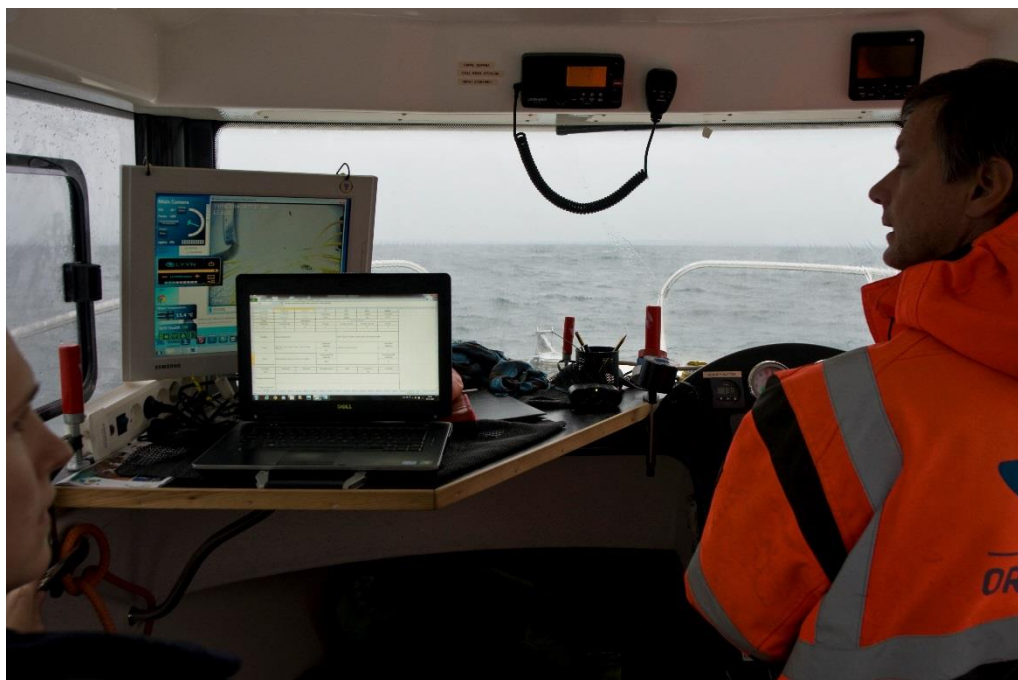
Verifikationsdata og undervandsvideo blev efterfølgende bearbejdet og benyttet til at fremstille udbredelseskort over substratmæssige og biologiske forhold, herunder substrat og naturtypekort. Klikbare kort med videosekvenser fra hver station vil blive en del af det biologiske tekniske notat, og gjort tilgængelige på DVD i en HTML-struktur.

4. Udstyr og tolkningssoftware

Fartøj: Kortlægning med sidescansonar og pinger blev gennemført fra Orbicons fartøj "Sephia" (Quicksilver Pilothouse 675, se nedenstående figur).



Figur 4-1: "Sephia" - Quicksilver Pilothouse 675.



Figur 4-2: Foto fra survey – Feltansvarlig – Mikkel Schmedes

Navigationspakke

Navigationen blev gennemført vha. surveyfartøjets navigationssystem af mærket Lawrence HDS Gen 2.

Dybdemåling

Til dybdemåling anvendes data fra pingeren suppleret med enkeltstråle ekkolod.

- Vertikal datum angives i forhold til DVR90
- Dybde data indsamlet ved surveyet vil blive vandstands- og tidevandskorrigeret, og inkludere tidspunkt for indsamling. Ved start og slut af survey kalibreres dybdemålingerne. Denne procedure er en del af kvalitetssikringen
- Fejldybder vil blive korrigeret. Der vil blive fremsendt både et korrigeret og et ukorrigeret dataset (XYZ data, ASCII-filer). Alle bathymetri-data fremsendes til Geodatastyrelsen
- Oplysninger om personale, der har foretaget opmålingen, samt anvendt software, opgives
- Alle positioner vil blive optaget og præsenteret i ETRS89/EUREF89.

Som backup for dybdemåling anvendes surveyfartøjets primære ekkolod.

Sidescan-sonar

Til indsamling af overfladesedimentdata blev der benyttet en DeepVision sidescan-sonar af typen DeepEye 340/680. Sidescan-sonaren har en opløsning på tværs af sejlretningen på 10 cm. Sidescan-sonaren opererer på både 340 og 680 kHz med en swath-bredde på op til 2x100 m – under dette survey 2x50 m.

Pinger

Seismikken blev gennemført med Innomar SES standard pinger, suppleret med DGPS og TSS motionensensor for kompensation for pitch and roll (bølgebevægelser mm)

Tolkningssoftware

Til processering af de indsamlede Sidescan Sonar data er benyttet DeepVision 3.1.0 samt SonarWiz 4, mens tolkningen af overfladesubstrattyperne er foretaget i MapInfo Professional 12.0.

Til tolkningen af pinger data er anvendt ISE Processing Software 2.95, samt Vertical Mapper til plotning af xyz-filer og fremstilling af visuelle præsentationer.

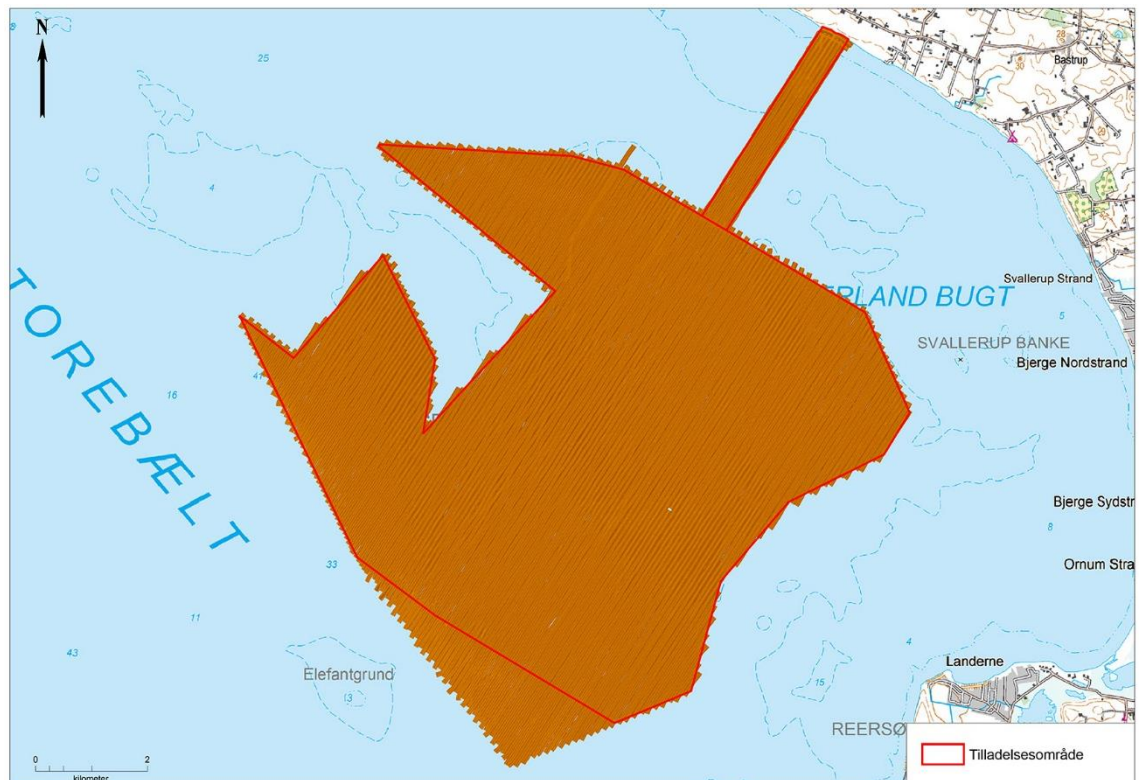
5. RESULTATER

5.1. Indledning

I nedenstående præsenteres kort og eksempler på den geofysiske kortlægning – henholdsvis sidescan soneringen og den shallow seismiske kortlægning med Pinger

5.2. Sidescan mosaik

I nedenstående figur kan ses den udarbejdede sidescan mosaik for mølleområdet og kabeltraceet.



Figur 5-1: Sidescanmosaik for undersøgelsesområdet. Rød ramme angiver tilladelsesområdet.

Substrattyper og substrattypeklassifikation

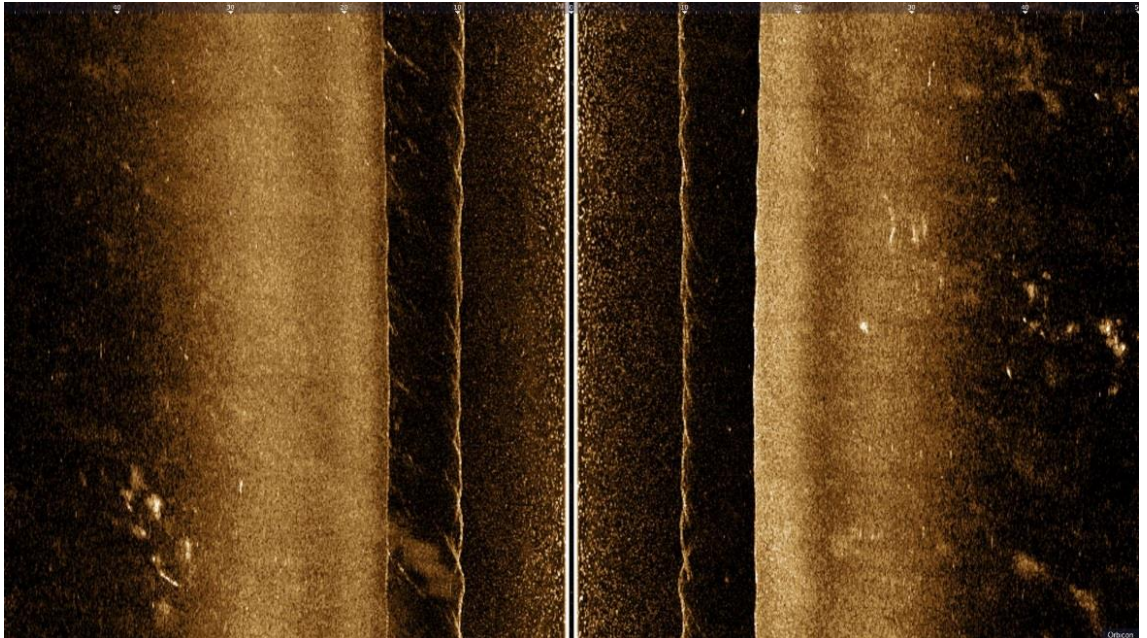
Substratet i undersøgelsesområdet kan, på baggrund af sidescan mosaikken og de efterfølgende verifikationsdata, inddeles i fire forskellige substrattyper:

- **Type 1 - Sand:** områder bestående af siltet sand til fast sandbund med varierende bundformer (ofte dynamisk). Underopdeles i type 1A (siltede bløde bunde), type 1B (faste sandbunde) og type 1C (lerede sandbunde).
- **Type 2 - Sand, grus, småsten og enkelte større sten:** områder domineret af sand men med varierende mængder af grus og småsten samt enkelte spredte store sten (<1-10 %). Denne substrattype består af en blanding af sand og grus med en kornstørrelse på ca. 2 – 20 mm og småsten med en størrelse på ca. 2 – 10 cm. Substrattypen indeholder også enkelte større sten fra ca. 10 cm og større, der dækker op til maksimalt 10 % af havbunden.

- **Type 3 - Sand, grus og småsten samt stenbestrøning med større sten dækkende 10-25 %:** områder bestående af blandede substratformer med sand, grus og småsten som dominerende element. Her findes også en variabel mængde spredte større sten (stenbestrøning) med en samlet dækningsgrad på op til 25 % af den samlede bund
- **Type 4 – Stenede områder hvor større sten dækker fra 25 % og opefter,** herunder egentlige stenrev. Øvrige substrater kan være sand, grus og småsten

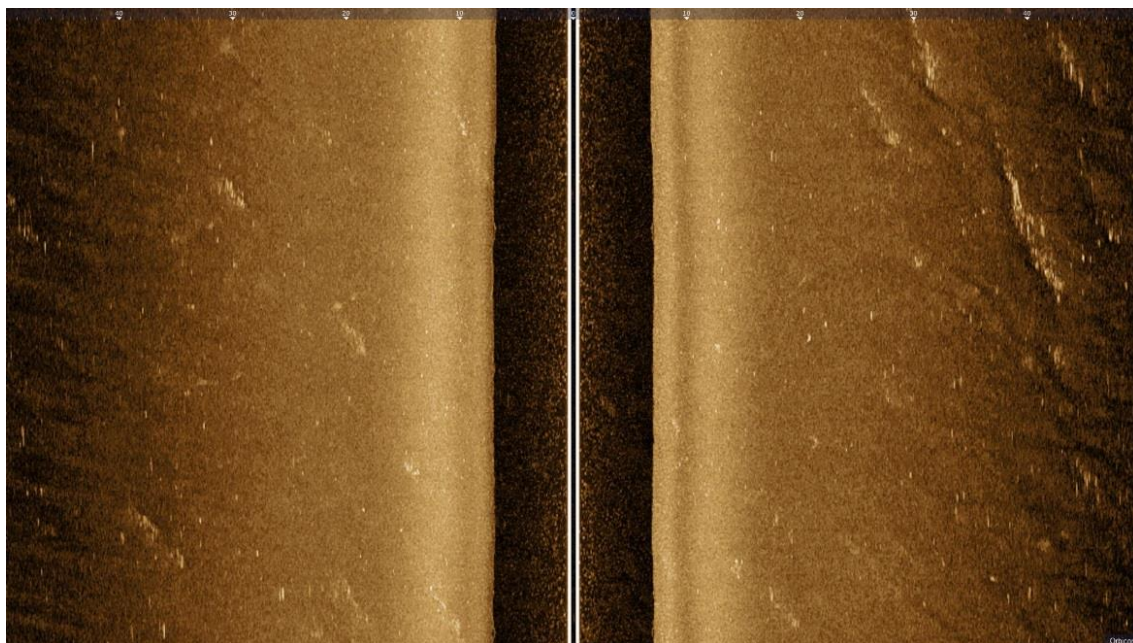
Herunder er der vist sidescan-eksempler fra hver substrattype.

5.2.1 Substrattype 1: Sand samt <1 % grus og småsten



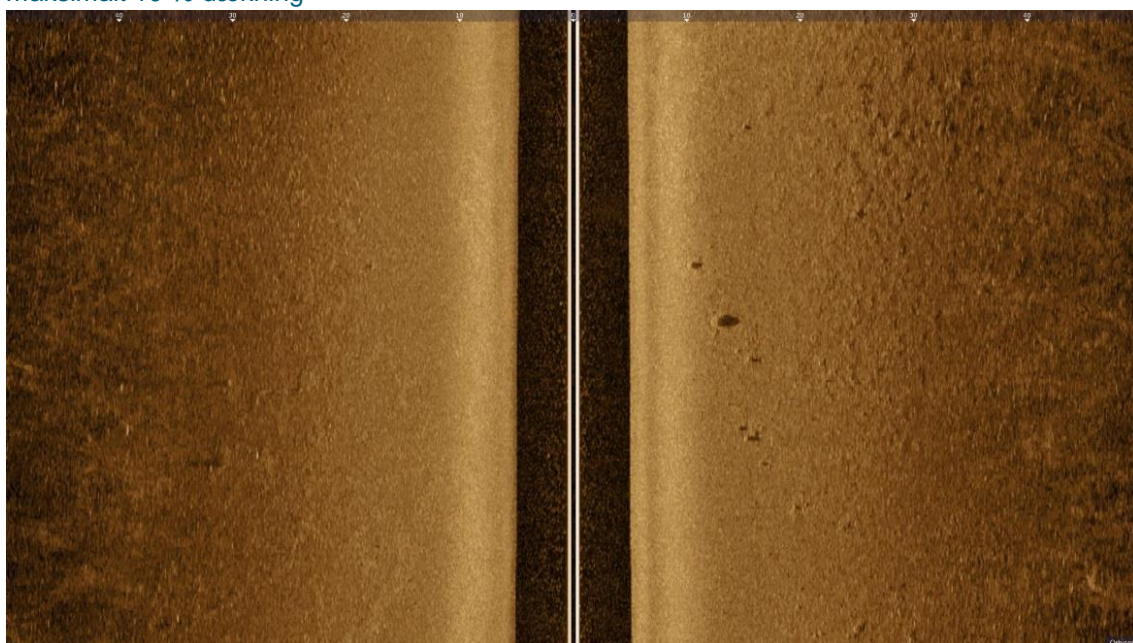
Figur 5-2: Sidsescan-billede substrattype 1 bund med blød siltet og dyndet bund fra den sydvestlige del af undersøgelsesområdet i Storebæltsrenden.

5.2.2 Substrattype 1: Sand samt <1 % grus og småsten



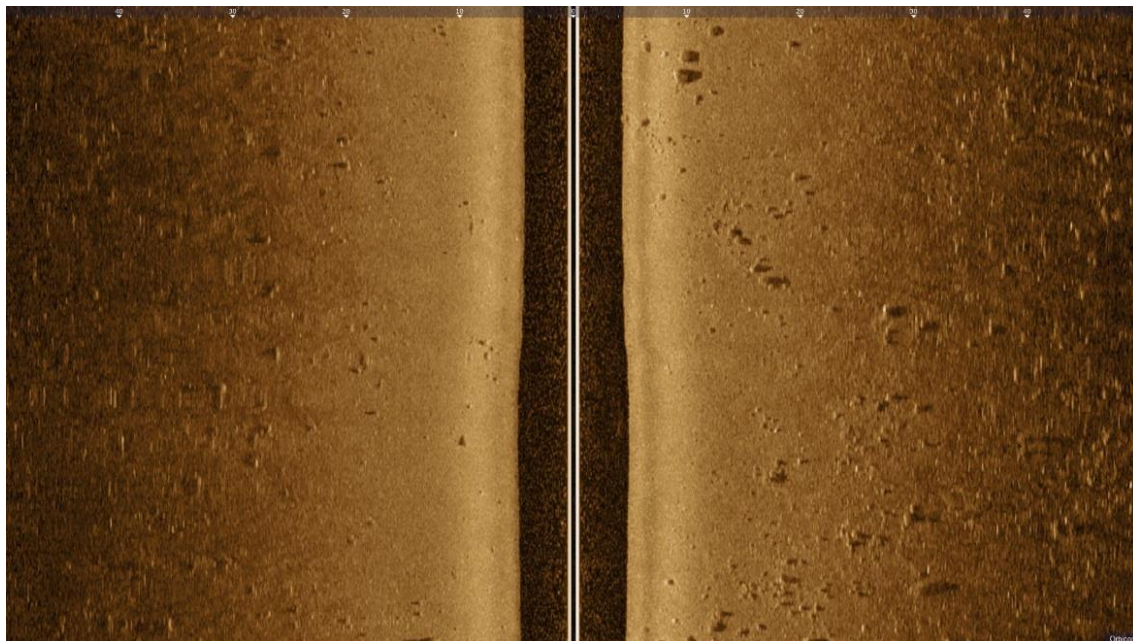
Figur 5-3: Sidescan-billede substrattype 1 bund med sandet og stedvist siltet bund med partier af skaller og muslinger. Eksemplet er fra den sydøstlige del af mølleområdet.

5.2.3 Substrattype 2: Sand, grus og småsten samt enkelte spredte større sten med op til maksimalt 10 % dækning



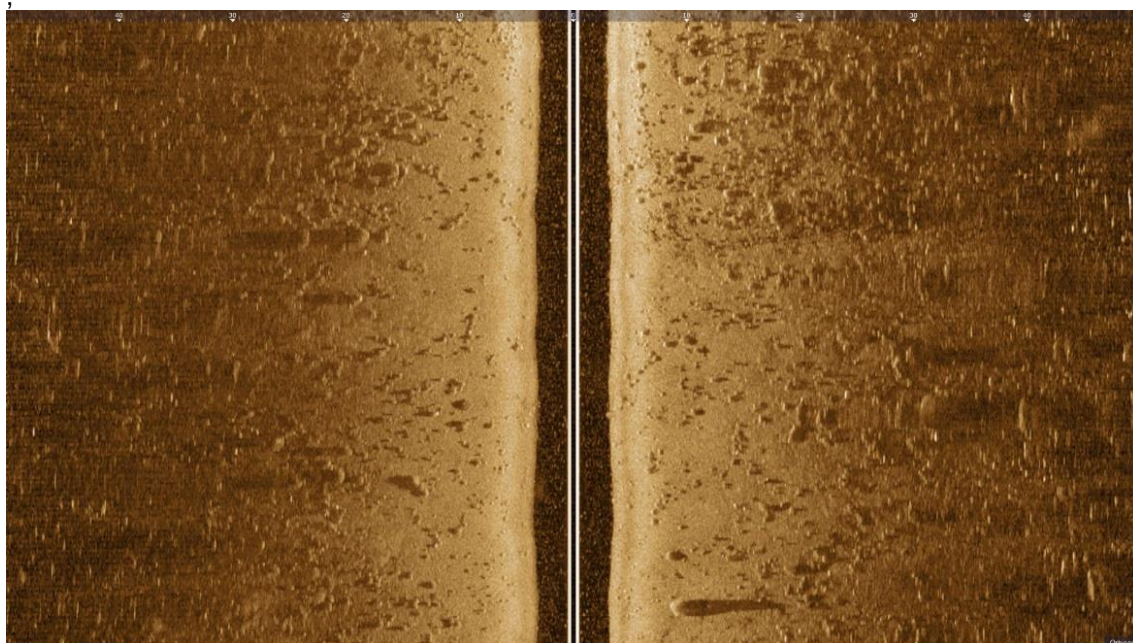
Figur 5-4: Sidescan-billede substrattype 2: Sandbund med spredte småsten og enkelte større sten. Eksemplet er fra den nordvestlige del af mølleområdet.

5.2.4 Substrattype 3: Sand, grus og småsten samt spredte større sten, 10-25 % dækning

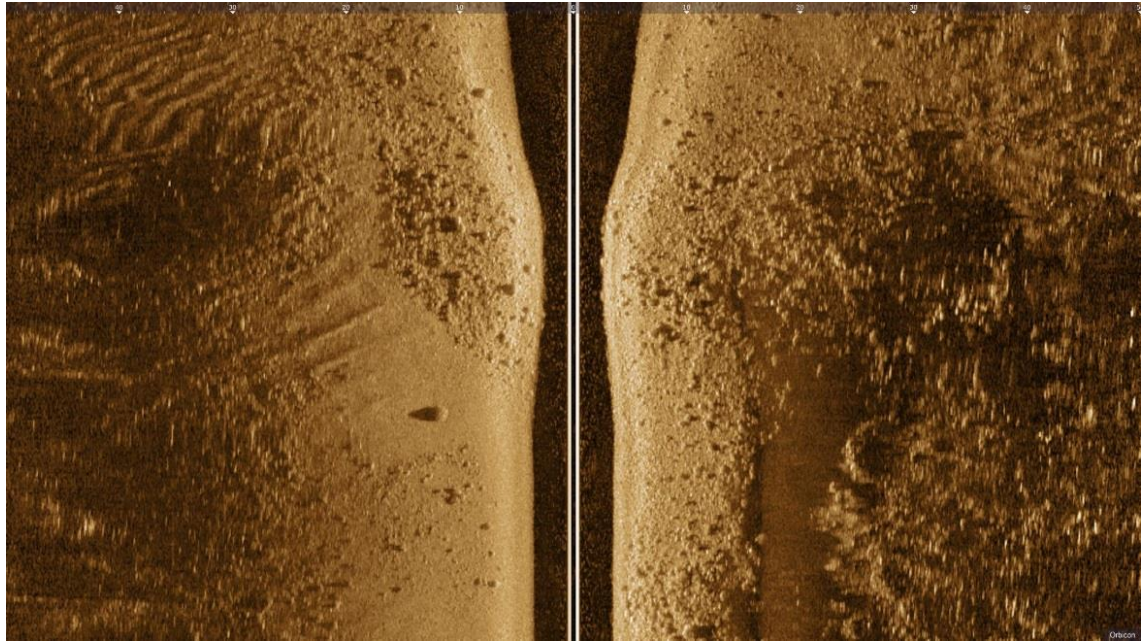


Figur 5-5: Sidescan-billede fra en substrattype 3 bund, hvor der ud over småsten og grus også ligger større sten med en dækningsgrad på 10-25 %. Bunden er, hvad man vil kalde en bestrøningsbund. Eksemplet er fra den nordøstlige del af mølleområdet.

5.2.5 Substrattype 4: Stenede områder, hvor større sten dækker mere end 25 %, desuden sand, grus og småsten.



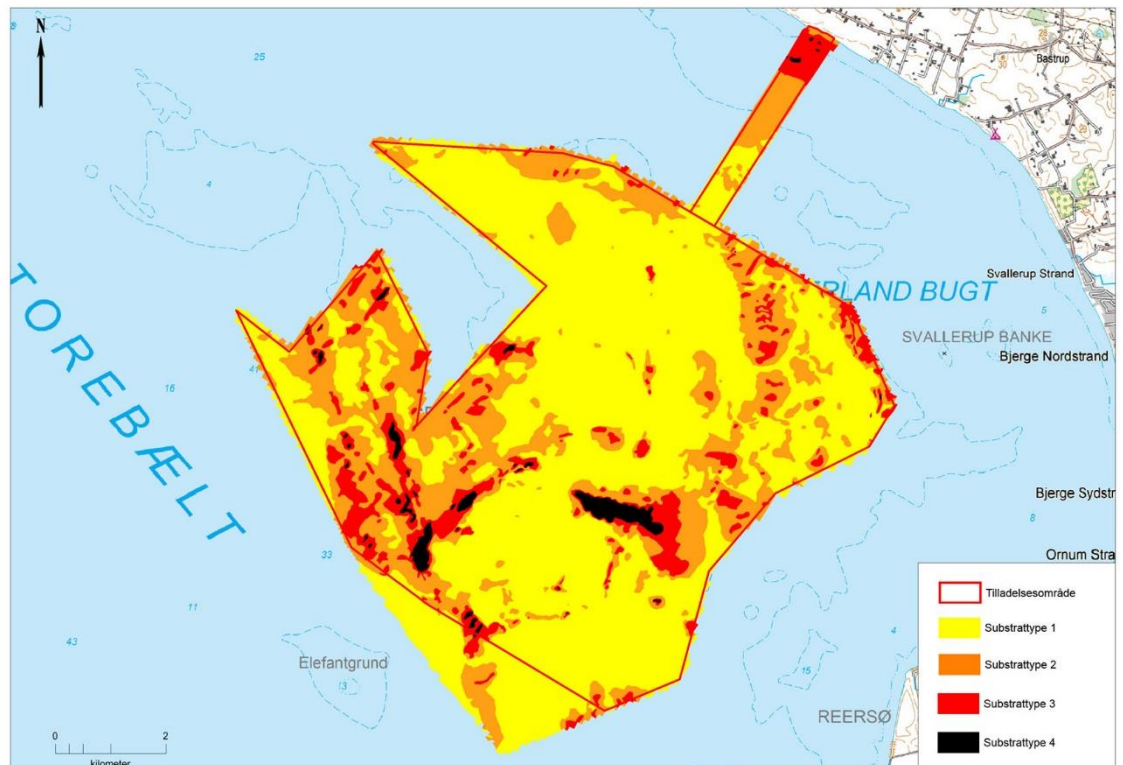
Figur 5-6: Sidescan-billede fra en substrattype 4 bund, med en dækningsgrad af de større sten på mere end 25 %. Bunden er en bestrøningsbund og et åbent stenrev, hvor stenene ligger mere eller mindre spredt. Eksemplet er fra den centrale del af undersøgelsesområdet.



Figur 5-7: Sidescan-billede fra en substrattype 4 bund, med en dækningsgrad af de større sten på mere end 25 %. Der er tale om et stenrev med relief og stedvis huledannende. Eksemplet er fra den sydlige del af mølleområdet.

5.3. Substrattypekort

Ud fra den gennemførte sidescansonerings kunne nedenstående substrattypekort fremstilles.



Figur 5-8: Substrattypekort for undersøgelsesområdet og kabelkorridoren, der viser fordelingen af de kortlagte substrattyper på havbunden. Rød ramme angiver tilladelsesområdet.

Der er identificeret 4 substrattyper; substrattype 1-4. Som det fremgår af substrattypekortet, er de fire substrattyper heterogent fordelt henover området. Substrattype 1 består af sandede bunde, der varierer fra blød siltet og dyndet til fast sandbund. Type 1 er den hyppigt forekommende substrattype i projektområdet og forekommer generelt i områder, som er dybere end 10 meter i mølleområdet. Dette er dog med undtagelse af området langs skråningen ned imod Storebæltskanalen i den sydvestlige del af undersøgelsesområdet, hvor kraftige strømforhold påvirker substratsammensætningen ved borterrosion af de finere partikler.

Substarttype 2, som primært består af sand samt grus og småsten er mest udbredt fra 8 til 12 meters dybde i mølleområdet, men findes også helt ned til 26 meter på skråningen ned imod Storebæltskanalen.

Substarttype 3 som består af silt, sand, grus og småsten, samt større sten med en dækningsgrad på ca. 10-25 % findes primært fra 5-10 meter dybde i mølleområdet. Substrattype 3 findes dog helt ned til 20 meters dybde på skråningen ned imod Storebæltskanalen.

Substarttype 4 beskrives som stenede områder, hvor større sten dækker minimum 25% af bunden. Substarttype 4 er primært udbredt på dybder fra 5 til 8 meter svarende til de laveste områder på banken Lysegrunde i den sydøstlige og vestlige del af undersøgelsesområdet, men findes også lokalt i den nordøstlige del.

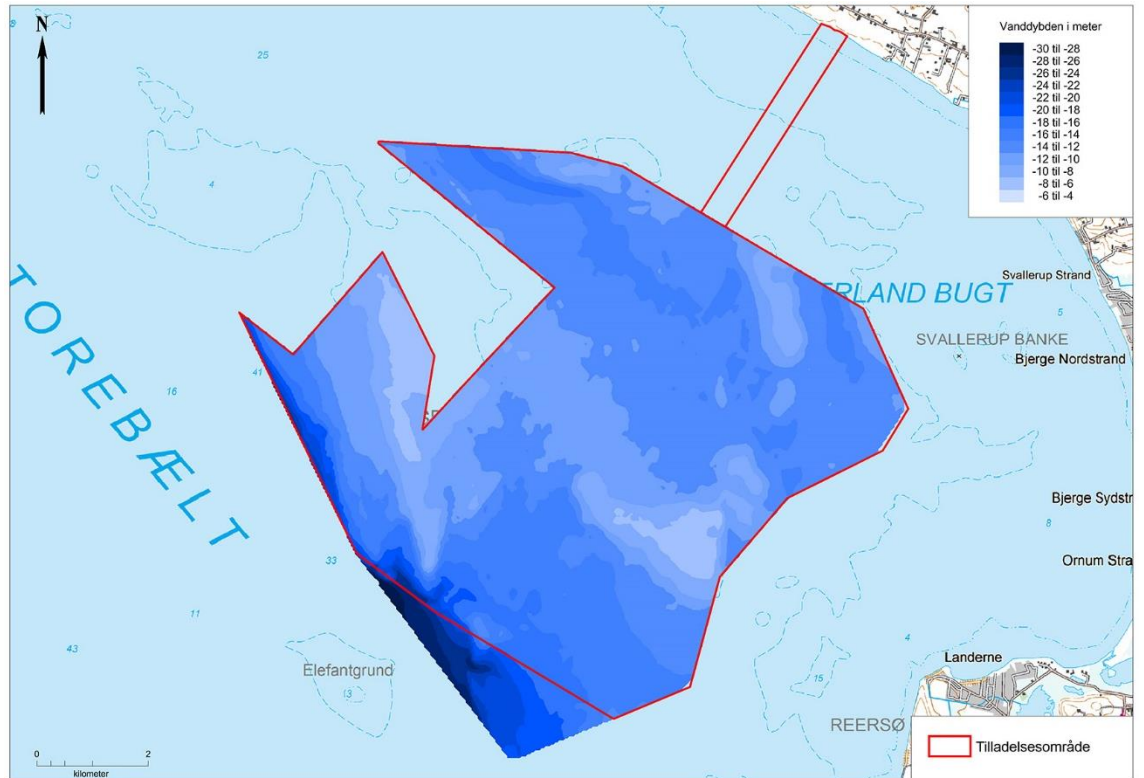
Substratforholdene i kabelkorridoren går fra at være domineret af substrattype 1 i de dybere dele tættest på mølleområdet ved dybder mellem 15 til 9 meter. I dybden mellem 9 til 5 meter er substrattype 1 og 2 heterogent fordelt mens havbunden på dybder lavere end 5 meter er domineret af en bestrøningsbund af substrattype 3 med lokal stenrevskarakter.

5.4. Bathymetri

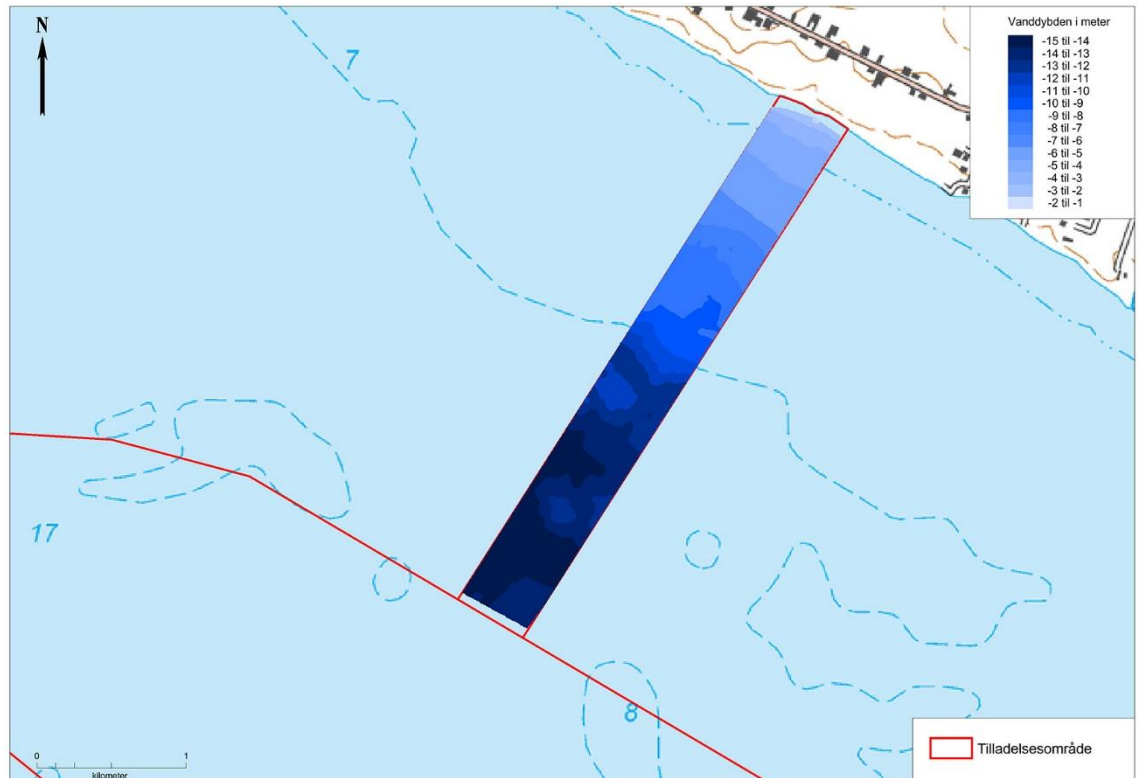
Dybdemodellen for mølleområdet ved Jammerland er udarbejdet på baggrund af ekkolods data og pinger data, indsamlet i forbindelse med den geofysiske kortlægning. Dybden er registreret med et single beam ekkolod med en indbyrdes sejllinjeafstand på 80 m. I forbindelse med ROV dykningerne blev dybden ligeledes registreret på hver verifikationslokalitet.

Vanddybderne varierer i mølleområdet mellem 5 og 30 meter. De laveste vanddybder forekommer på toppen af bankestrukturen Lysegrunde i den sydøstlige og vestlige del af undersøgelsesområdet samt på bankerne i den nordøstlig udkant af undersøgelsesområdet. I den sydvestlige del af undersøgelsesområdet skråner havbunden stejlt fra omkring 20 til 30 meter over en relativ kort afstand (100-500 m) ned i mod Storebæltskanalen. Mellem bankerne ligger vanddybden typisk jævnt omkring 10-15 meter. (Figur 5-9)

Dybdeforholdene langs kabelkorridoren er jævnt aftagende fra mølleområdet ind imod kysten fra ca. 15 til 1 meters dybde (Figur 5-10).



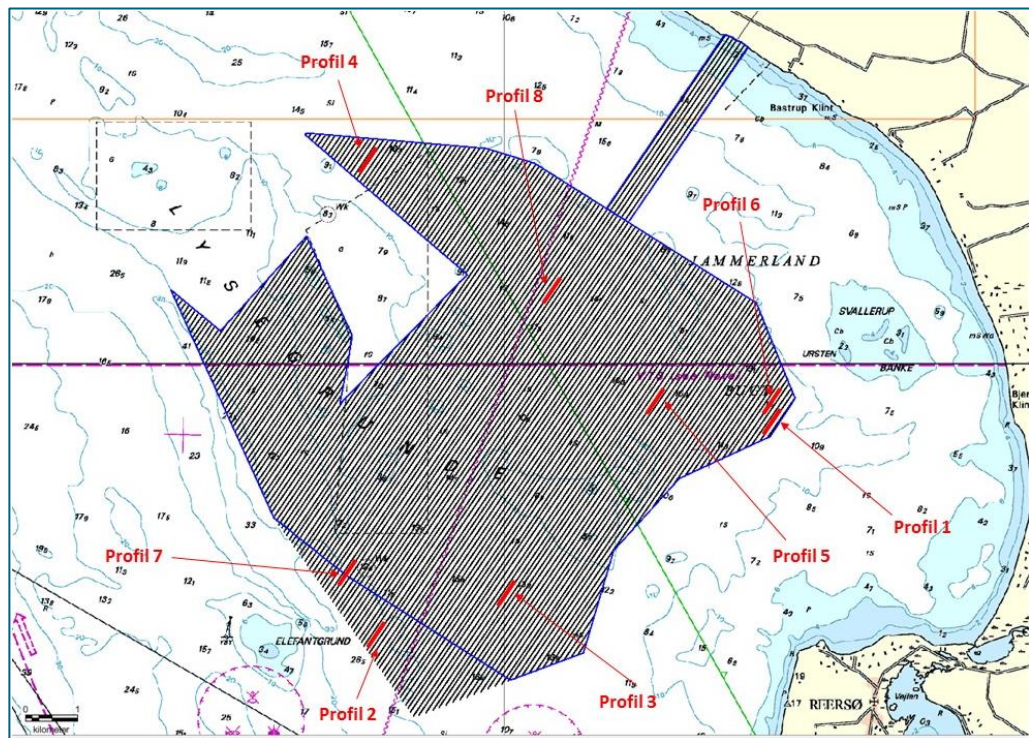
Figur 5-9: Bathymetrisk kort for Jammerland – undersøgelsesområdet og med rød ramme; tilladelsesområdet.



Figur 5-10: Bathymetrisk kort for Jammerland kabelkorridor. Rød ramme angiver tilladelsesområdet.

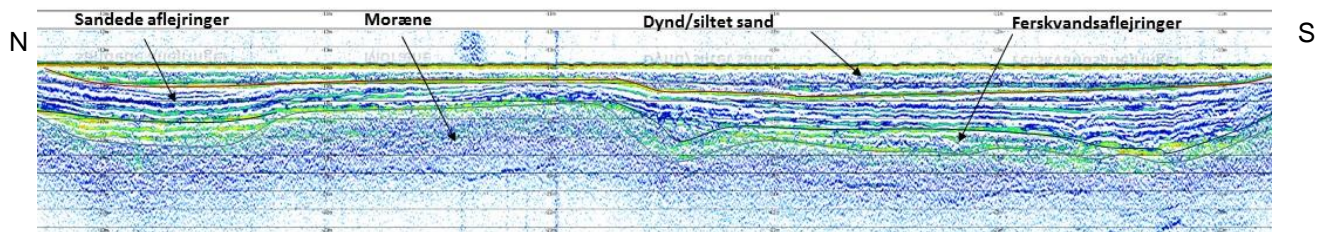
5.5. Seismik

I nedenstående er der præsenteret en række seismiske profiler for undersøgelsesområdet (Figur 5-12 til figur Figur 5-19), som præsenterer et bredt udsnit af de geologiske og morfologiske forhold på tværs af mølleområdet. På profilerne er angivet tolkninger af de enkelte seismiske enheder og strukturelle elementer. På baggrund af tolkningerne er der udarbejdet et sedimenttykkelseskort, og de seismiske tolkninger anvendes desuden til beskrivelsen af områdets dannelseshistorie (geologiske model). Placeringen af de enkelte seismiske profiler er angivet på nedenstående figur.

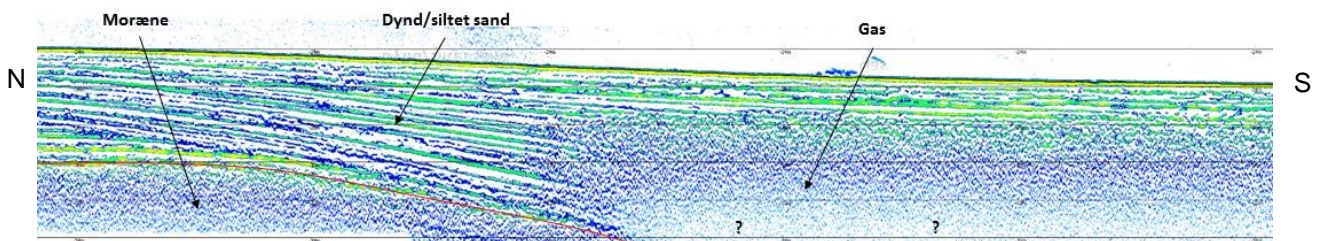


Figur 5-11: Oversigtskort over undersøgelsesområdet i Jammerland Bugt, der viser placeringen af de 8 udvalgte udsnit af seismiske profiler. Blå ramme angiver tilladelsesområdet.

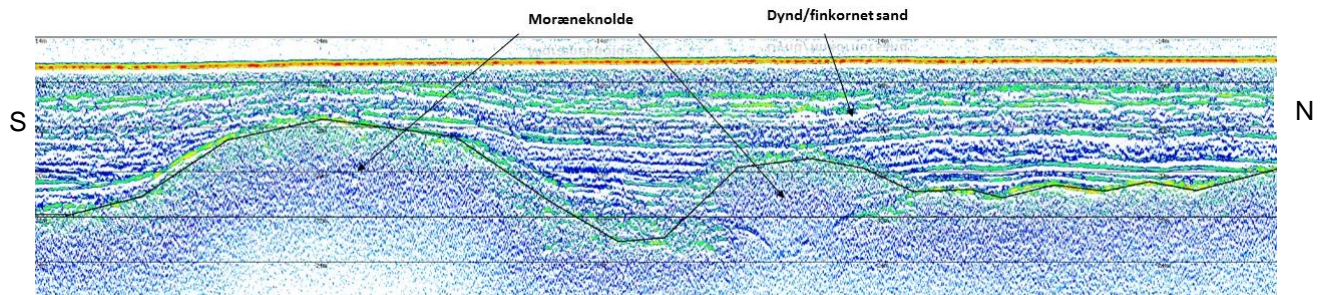
5.5.1 Seismiske profiler



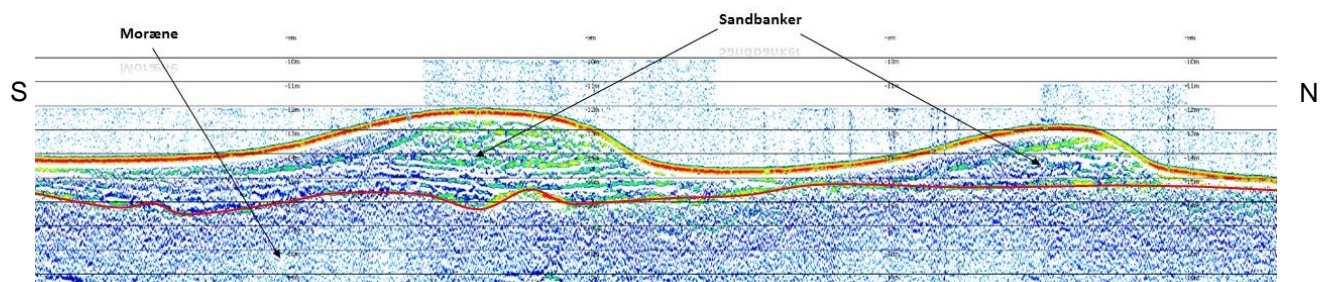
Figur 5-12: Profil 1: Op til 6 meter tykt sedimentdække oven på morænen. Sedimentdækket kan her inddrages i tre overordnede enheder. Nederst er der tolket en 1 meter tyk ferskvandsaflejringer stedvist med tørv, i midten et 2 meter tykt sandet lag og øverst 2 meter tyk dynd og silt. Det seismiske profil er fra den nordøstlige del af mølleområdet.



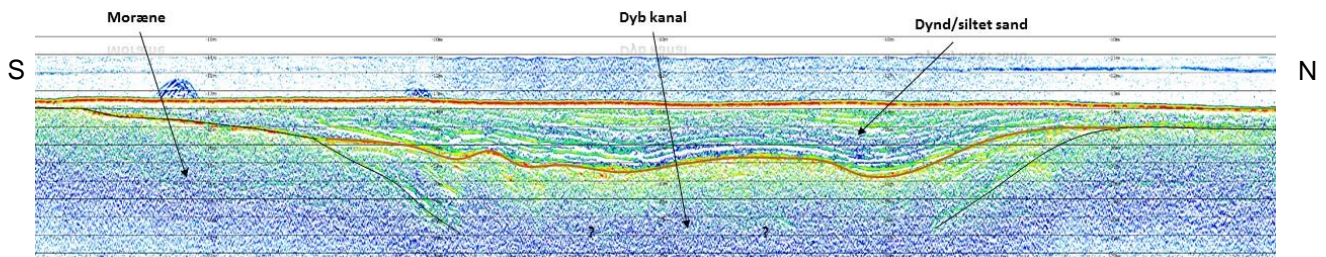
Figur 5-13: Profil 2: Op til 10 meter tyk sedimentakkumulation oven på morænen. Sedimentet består her hovedsageligt af finkornet sand og dynd. Der ses store mængder af gas i sedimentet. Eksemplet er fra den sydlige del ned mod Storebæltsrenden.



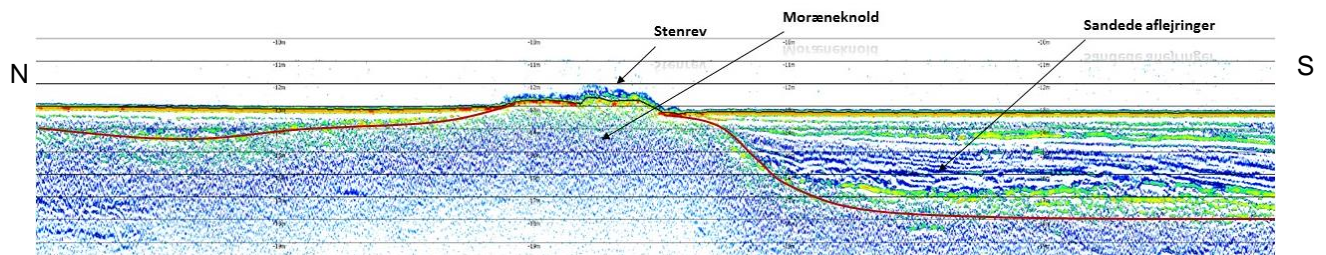
Figur 5-14: Profil 3: Eksemplet her fra den centrale del af undersøgelsesområdet viser et kuperet moræne relief med markante morænebanker dækket af et tykt lag dynd og finkornet sand.



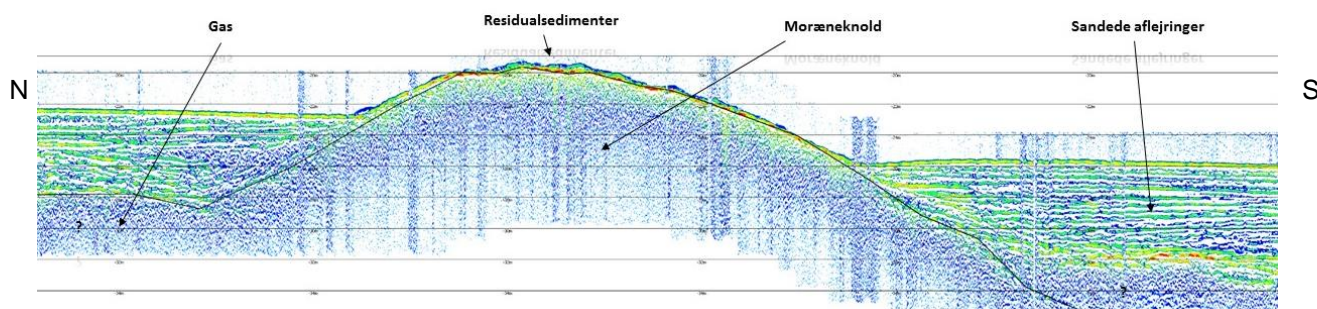
Figur 5-15: Profil 4: Oven på morænen forekommer der i den nordvestlige del af mølleområdet dynamiske sandbanker, som rager 2-3 meter op over den omkringliggende havbund.



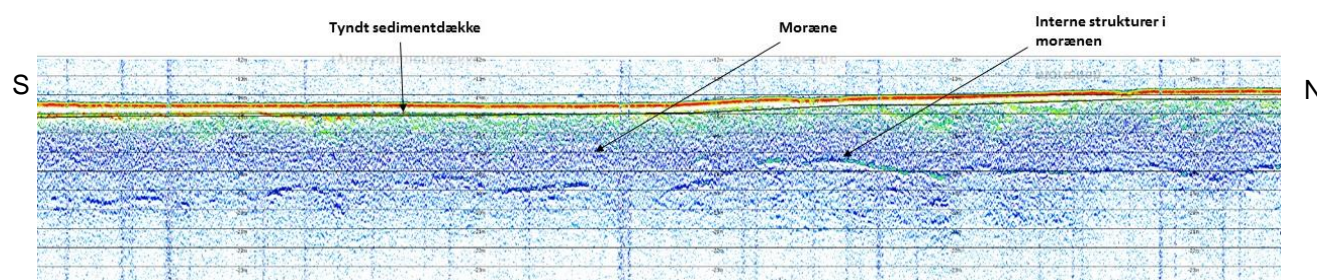
Figur 5-16: Profil 5: Flere steder ses dybde kanaler. Grundet pingerens ringe penetartionsdybde er de ikke muligt at kortlægge kanalens bund. Det er tydeligt hvorledes disse render er eroderet dybt ned i moræne landskabet. Kanalen består sandsynligvis af smeltevandssand og grus overlejret af dynd og finkornet sand. Dette eksempel er fra den syd del af mølleområdet.



Figur 5-17: Profil 6: En del steder rager moræneknoldene op over sedimentdækket, som her i den sydøstlige del af undersøgelsesområdet, hvor der ses tydelig tegn på sten på toppen af banken. Rundt omkring moræneknolden ses varierende sedimentdække.



Figur 5-18: Profil 7: Meget markant morænebanke som rager over 15 meter over det omkringliggende moræne relief. Der ses tynde residualesedimenter på toppen af banken bestående af sand, grus og sten. Rundt om moræneknolden forekommer tykke sedimentaflejringer, om end den reelle tykkelse er ukendt grundet tilstedeværelsen af gas. Eksemplet er fra den sydlige del af mølleområdet.



Figur 5-19: Profil 8: Enkelte steder ses interne strukturer i morænen. Det tyder på densitetsforskelle i morænen. Øverst ses et tyndt sedimentdække. Eksemplet er fra den nordlige del af undersøgelsesområdet.

5.5.2 Tykkelseskort over kvartære sedimenter

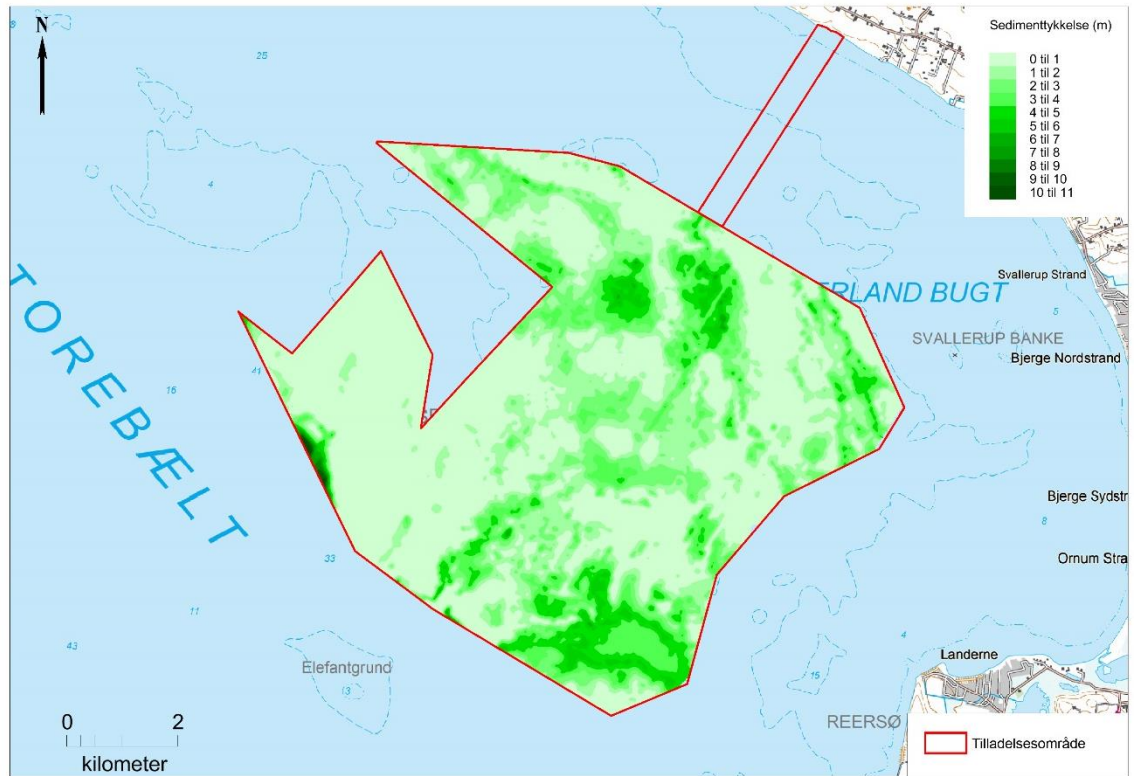
Tykkelsen af sedimenter i Jammerland mølleområde varierer mellem 0 - 11m (Figur 5-20 **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**).

De mindste tykkelser findes i områder, hvor morænen ligger højt. Det gælder i størstedelen af de sydvestlige områder, samt sporadisk i de centrale og nordøstlige dele af undersøgelsesområdet. Her er tykkelsen ofte <0,5 meter, hvilket kan tilskrives et residuallag bestående af sand, grus og småsten, der overlejrer morænen.

I store dele af Jammerland ligger sedimenttykkelsen typisk på 2-4 meter.

De største tykkelser forekommer i den allersydligste del af området ned mod Storebæltsrenden, hvor tykkelserne generelt når over 8-10 meter. I den sydøstlige og nordlige del forekommer der stedvist sedimenttykkelser på over 5 meter.

På grund af tilstedeværelsen af gas er sedimenttykkelsen primært i den sydlige del af projektområdet usikkert bestemt (). Desuden er bunden af de dybere kanaler enkelte steder svær at definere, hvilket tilskrives Pingerens lave penetration (Figur 5-16).



Figur 5-20: Sedimenttykkelser i tilladelsesområdet.

6. GEOLOGISK MODEL

6.1. Generelle geologiske forhold

6.1.1 Prækvartæret

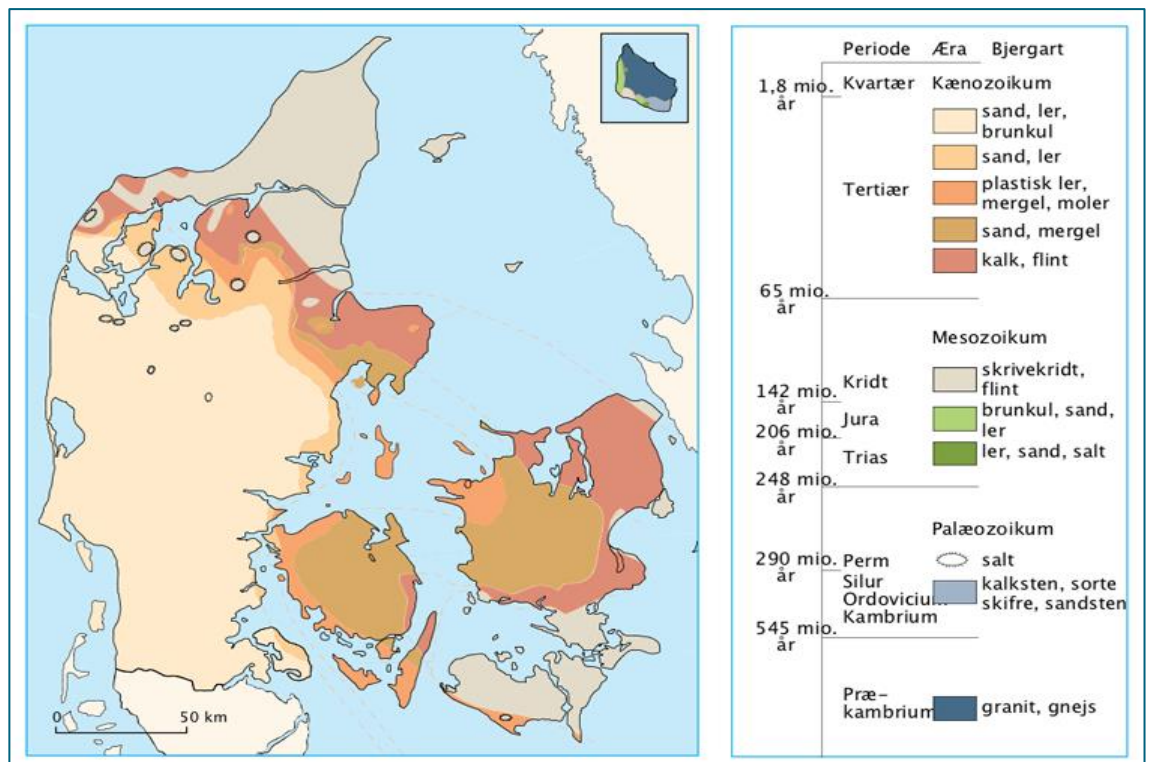
Jammerland Bugt ligger på den nordøstlige flanke af den strukturelle højderyg; Ringkøbing-Fyn Højderyggen og ligger derfor delvist i det Danske Bassin, som er et stort sænkingsområde, hvor der gennem geologisk tid er aflejret store mængder sedimenter med stærkt varierende sammensætning (Figur 6-1). Grundet forkastninger og langstrakte trug varierer dybden til prækvartæroverfladen, dvs. overfladen af de aflejringer, der er ældre end de kvartære lag, væsentligt henover Storebæltsregionen. I området omkring Jammerland Bugt ligger kalken typisk i kote -150 til -300 meter (Figur 6-3), som her udelukkende består af Danien Kalk (65,5 – 61,7 mio. år). Prækvartærets relief er stærkt kuperet og tilskrives dels tektonisk aktivitet i form af dybtliggende forkastningszoner og ikke mindst glacial erosion. Undersøgelser på land viser, at underlaget for de glaciære sedimenter i Jammerland Bugt består af aflejringer fra Paleocæn (65,5 – 55 mio. år) og Eocæn (55 – 34 mio. år) (Figur 6-2).

Gennem Sen Kridt og Danien blev der aflejret rene kalksedimenter, som varede over næsten 40 mio. år. Kalkregimet ophørte efter Danien, hvor aflejringer blev domineret af ler. Oven på kalken er aflejret mergel, som er en blanding af silt, ler og kalk. Store mængder af hævet skrivekridt blev eroderet og aflejret i det Danske Bassin som tykke mergellag, det såkaldte Kerteminde Mergel. Kerteminde merglen (Selandien: 61,7 – 58,7 mio. år) er af Midt Paleocæn oprindelse og findes typisk 30-40 meter under havbunden omend dybden kan variere grundet glacialtektoniske forstyrrelser.

Det plastiske ler er en betegnelse for en række meget fede og finkornede lerlag i Danmark og inkluderer Holmehusformationen, Røsnæsler, Lillebæltsler og Søvindmergel. Leret kendes fra undergrunden under det meste af Jylland syd for Limfjorden, Vest- og Sydfyn, Nordvestsjælland og Sydlolland. Tykkelsen af det plastiske ler varierer betragteligt henover landet. De største tykkelser er på over 300 meter i Midtjylland. De plastiske lerlag er af Sen Paleocæn til Eocæn oprindelse og overlejrer således mergelaflejringerne. Akkumuleringen af det plastiske ler skyldes, at Danmark på det tidspunkt var dækket af 600-1000 meter vand og der var ingen tilførsel af landmateriale. Det medførte langsom bundfældning af ekstrem finkornet dybvandssedimenter, det såkaldt plastiske ler.



Figur 6-1: Oversigtskort, der viser hovedstrukturer i Danmarks undergrund. Jammerland Bugt er beliggende nord for oven på Ringkøbing-Fyn Højderyggen i det Norsk-Danske Bassin, hvor dybden til kalken er stor. Efter John Fowlie/efter J.M. Hansen, 1984.



Figur 6-2: Kort over lag ældre end kvartær. I Jammerland Bugten underlejres de kvartære aflejringer af delvist plastisk ler (Eocæn) i den nordlige del og mergel (Paleocæn) i den sydlige del. Af John Fowlie



Figur 6-3: Dybden til kalkoverfladen i Storebæltområdet. Udsnit af kort over kalkoverfladens struktur. Skov og Naturstyrelsen 1988. Den røde cirkel markerer Jammerland Bugt.

6.1.2 Kvartære aflejringer

De vekslende bundtypografiske forhold i Storebælt er stærkt relateret til den glaciologiske udvikling i området samt afsmeltningen af gletsjere, der over flere omgange har dækket projektområdet. De overordnede glacialmorfologiske forhold i området er hovedsageligt påvirket af Weischel nedisningens hovedfremstød fra NØ. Men også det Ungbaltiske isfremstød fra Ø og SØ har påvirket morfologien i området.

Isfremstødene og smeltevand har dannet et glacialt landskab vekslende mellem opskudte morænebakker og dybt nedskårne kanaler. Smeltevandet har ført til akkumulation af tykke smeltevandsaflejringer i form af sand, grus og sten foran isranden og i de dybe render mellem bakkerne. Der findes således markante opskudte randmoræner på tværs af Storebælt (Figur 6-4), som har betydning for morfologien i Jammerland Bugt.

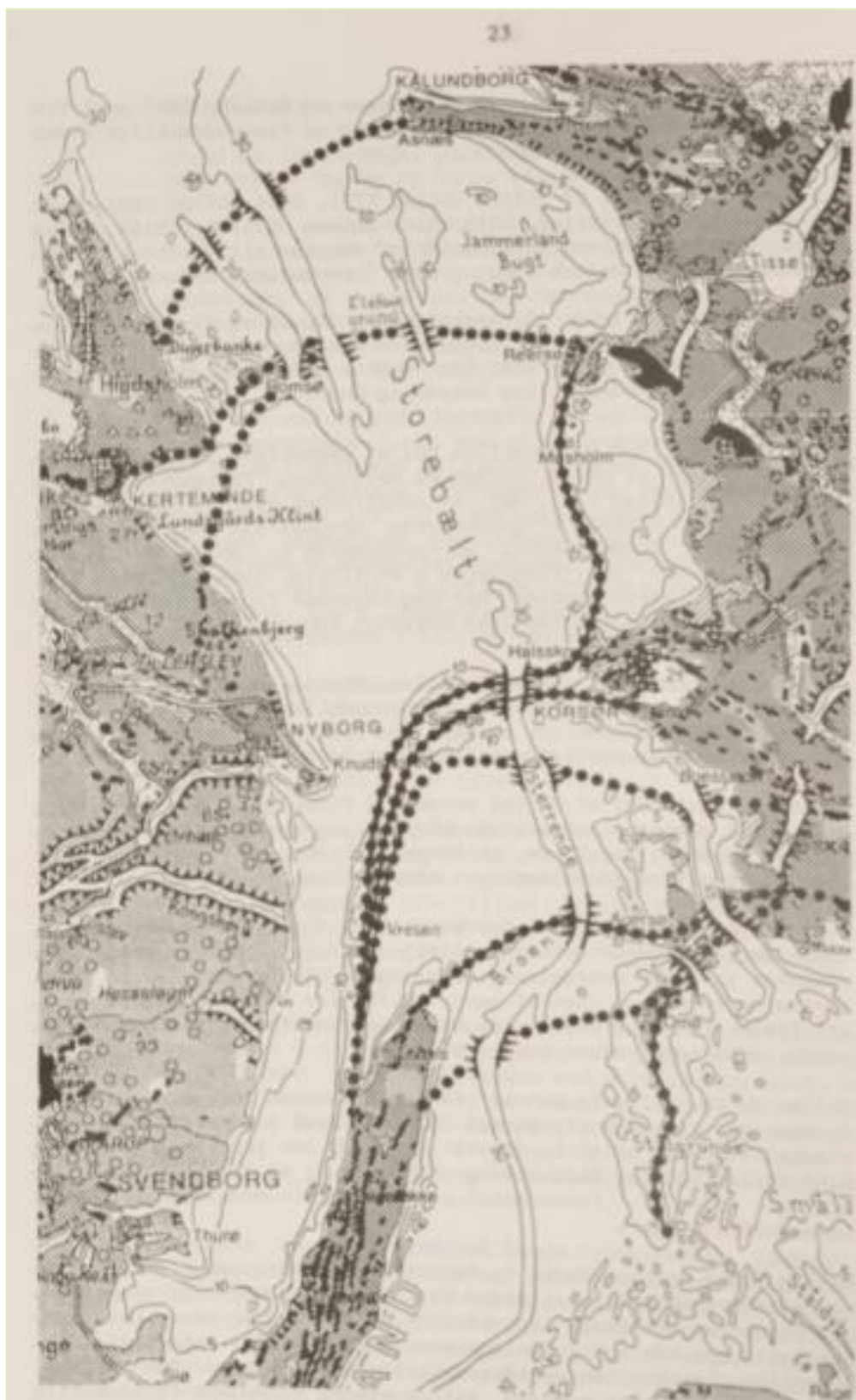
Jammerland Bugt har fungeret som en slette foran isranden, hvor der er aflejret store mængder flodsletteaflejringer i form af senglacialt smeltevandssand og grus. Dette flodslette system kan anes på sedimenttykkelseskortet, som fremviser et irregulært system af sedimentfyldte kanaler (Figur 5-20). De dybde render midt i Storebælt forløber vinkelret på de formodede israndslinier og må derfor skønnes at være tunneldale eller afstrømningskanaler, der har ført smeltevand og sediment bort fra isranden.

Efter tilbagesmeltningen tørlagdes store dele af Storebæltregionen og efterlod et landskab domineret af morænebakker, sandsletter og talrige afløbslavninger. Under Fastlandstiden blev der aflejret tørv oven på de glacielle og senglacielle aflejringer.

Med et stigende havniveau ændres sedimentationsmønsteret sig fra at være præget af moseaflejringer med højt organisk indhold til søaflejringer med tiltagende indhold af ler og sand. I de nederste dele af kanalsystemerne kan der således forekomme ferskvandsaflejringer under de postglacielle marine sand-, silt- og dyndaflejringer (Figur 5-12).

De Holocæne (11.700 år - nu) dyndaflejringer findes i sedimentationsområderne, idet akkumulationen af dynd kræver meget rolige strømforhold. Jo kraftigere strøm, desto større dybde sedimentationsdybde for dynd.

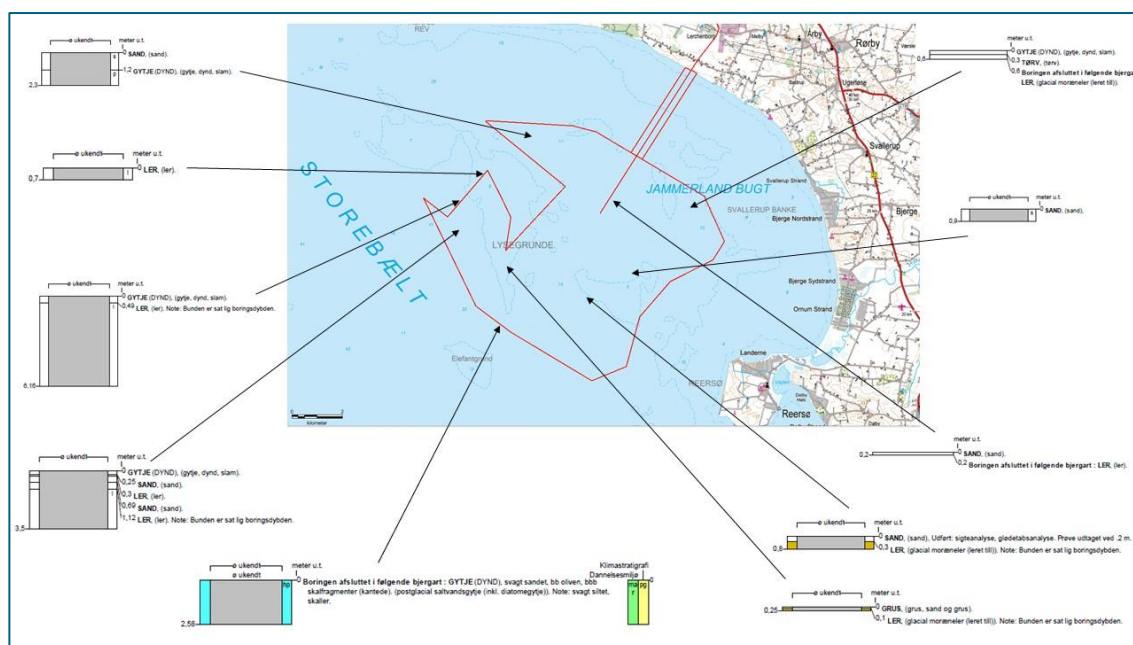
De stenede bundforhold, som præger store dele af Jammerland Bugt, er relateret til erosionsområder, hvor der ofte er kraftig strømning og eller bølgebevægelse med blotlægning af morænen til følge. Dog forekommer der øverst som følge af erosion typisk et tyndt sandet og stenet residuallag.



Figur 6-4: Istidsranden i Storebælt. Efter Per Smed, 1982.

6.1.3 Boringer

Der er gennemgået diverse tilgængelige databaser i relation til eksisterende boringsdata i området. I Jupiter databasen findes der en række boringer fra selve projektområdet, som dog kun har en boringsdybde på 0-6 meter (Figur 6-5). Samtidig findes en del overfladeboringer, som ikke er medtaget i dette notat. Der findes ikke nogen dybe marine boringer i nærheden af mølleområdet. Dog findes på land en række dybe vandforsyningsboringer med en boringsdybde på 40-60 meter. Disse dybe boringer er med til at belyse den overordnede regionale geologi i området, herunder tykkelsen af morænerne samt dybden til evt. underliggende lag. Boringerne inden for projektområdet med en væsentlig lavere boringsdybde kan være med til at belyse tykkelsen af overfladesedimenter samt dybden til morænen. Alt i alt kan samtlige boringer benyttes som støtte til forståelsen af den geologiske model for Jammerland Bugt området. På nedenstående figur er vist en række relevante boringer fra området.



Figur 6-5: En række eksisterende boringer bekræfter, at området er domineret af stærkt kuperet moræne relief med overlægning af et varierende dække af dynd, sand og grus.

De overfladenære boringer viser, at området er domineret af et stærkt kuperet morænerelief. En enkelt boring viser, at morænen er blottet på havbunden, mens en serie boringer viser, at morænen er overlægret af et tyndt lag dynd, sand eller grus. Desuden viser en enkelt boring tilstedeværelsen af tørv og ferskvandsaflejringer oven på morænen. Enkelte boringer penetrerer kun overfladesedimenter og når ikke morænen. Tolkningerne fra pinger data er derfor i god overensstemmelse med eksisterende boringsdata og sammenstillingen danner derfor fundamentet for den geologiske model i de øverste meter af undergrunden.

I det følgende vil et par af de dybe boringer fra Jupiter databasen blive præsenteret som sammen med de historiske dyb seismiske data danne grundlaget for den

geologiske model af de dybere lag. På det nedenstående kort er placeringen af de tre udvalgte dybe borer angivet. De enkelte borekerne beskrivelse kan ses i bilag 1.



Figur 6-6: Som grundlag for den geologiske model er anvendt nærliggende dybe borer på land, som er tilgængelige via JUPITER databasen. Boringerne har en boringsdybde på ca. 40-60 meter og er jævnt fordelt henover nærområdet.

Boring 138.23, som er beliggende på Romsø, har en boringsdybde på 47,3 meter, hvoraf 36,3 meter er under terræn. Morænen når ned til kote -33,8 meter. I kote -33,8 meter findes plastisk ler af Eocæn oprindelse (Lillebælt ler) med en tykkelse på ca. 2 meter. Fra kote -36,8 meter findes siltede palæocene lerlag (Kerteminde Mergel).

Boring 203.480 er beliggende ved Svallerup Strand og borer ned til kote – 38,5 meter og gennemborer moræne og smeltevand. Mellem kote -13,5 til -26,5 meter findes interstadiale og interglaciale saltvandsaflejringer både i form af sand og ler, som er aflejet i kortere eller længere varmeperioder. I kote -34 meter optræder paleocænt præget sediment, som er stærkt kalkholdig.

Nordvest for Slagelse ligger boring 209.12B, som gennemborer moræne ned til kote -13 meter. Herefter optræder paleocænt ler i form af Kerteminde Mergel, som fortæster ned til boringsdybden i kote -40 meter.

Boring 203.539 syd for Kalundborg gennemborer 53 meter moræne og smeltevands-sand indtil kote -48.5 meter, hvor der optræder Eocænt fedt, plastisk ler (Lillebælt ler) med en tykkelse på mindst 5 meter.

Overordnet viser de historiske dybe borer, at de glaciale aflejringer dominerer langt størstedelen af de øverste 30 meter af undergrunden. Enkelte steder ses glaciale aflejringer ned til kote -50 meter. De glaciale aflejringer består hovedsageligt af moræner og smeltevandsaflejringer, primært sand og grus. Boring 203.480 viser desuden aflejring af saltvandsler og sand, som kan være aflejret i mellemistid eller kortvarig mild periode.

Boring 138.23 og 203.539 viser endvidere, at de glaciale aflejringer underlejres af Eocæne lerlag, hvor toppen optræder i intervallet mellem kote -34 til 48 meter. Samtidig viser førstnævnte boring, at Lillebælt leret underlejres af Kerteminde Mergel. Boring 209.12B viser derimod, at de glaciale lag direkte underlejres af Kerteminde Mergel i området syd for Jammerland Bugt, hvor tykkelsen af morænen desuden er væsentlig mindre.

6.1.4 Historiske data: Seismiske data

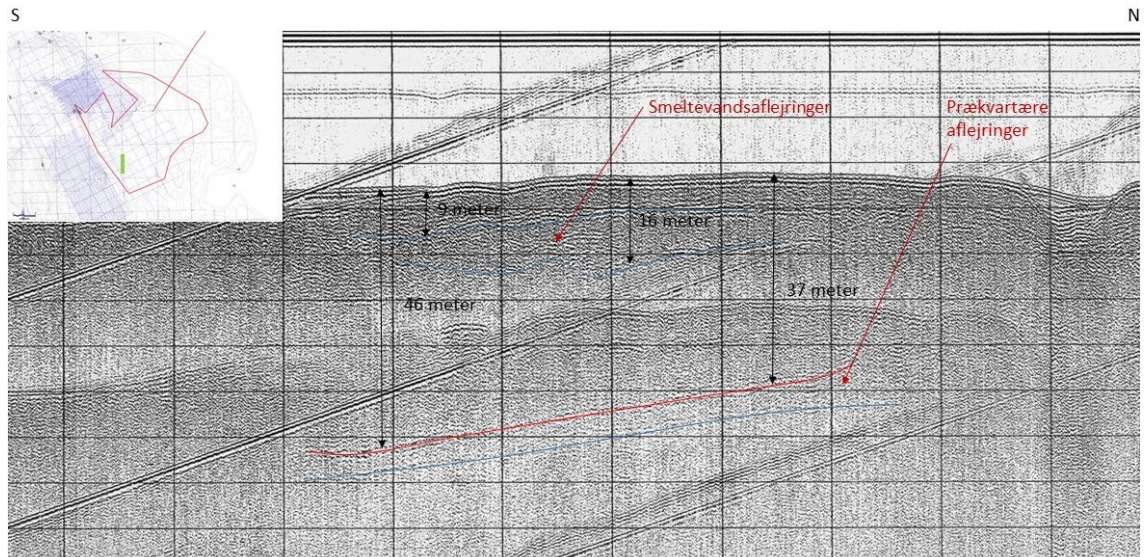
Til den geologiske model er der desuden anvendt historiske data i form af dybe seismiske data fra Jammerland Bugt området indsamlet i 1979 af DGU. Det anvendte survey er "nr. 544 Storebælt" og placeringen af de enkelte seismiske linjer kan ses i Marta databasen. En sammenstilling af borerne og de seismiske data styrker den geologiske model for Jammerland Bugt området. De seismiske data er boomer og sparker data, som sammen med de dybe borer, belyser morænenes udbredelse og evt. dybden til underliggende lag, samt interne strukturer i morænen. De seismiske linjer i området ligger V-Ø og N-S orienteret i et ca. 3x3 km grid.

På sparker- og boomer data er det muligt at tolke ned 30-40 meter under havbunden. Til sammenligning penetrerer pinger data maksimalt 10-15 meter, om end opløsningen i pingeren er markant bedre.

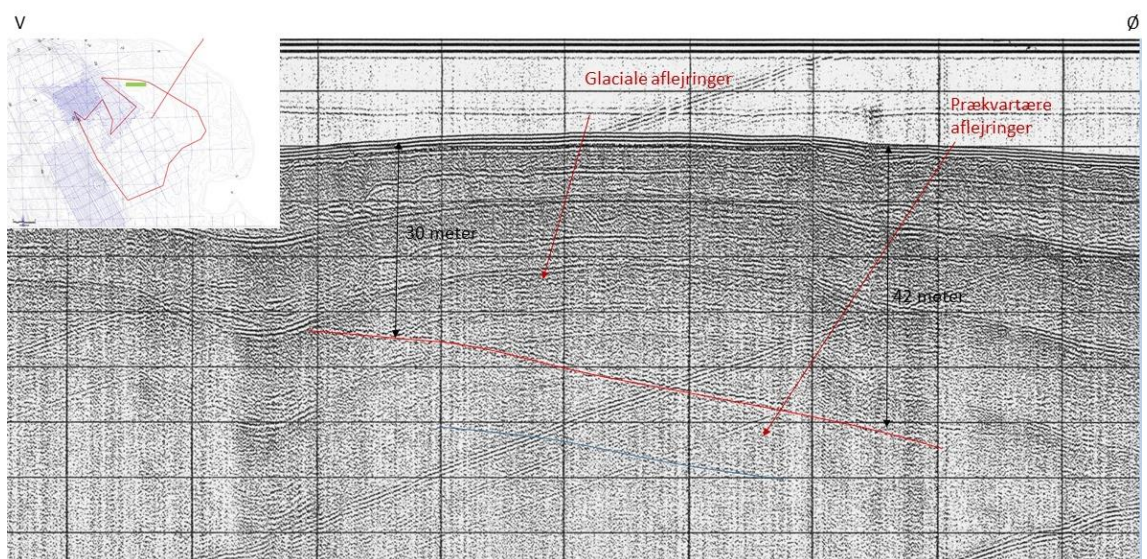
På nedenstående figurer (Figur 6-7 til Figur 6-9), som er et udsnit af tre forskellige seismiske profiler, viser data generelt tykke kvartære aflejringer. Der er identificeret markante reflektorer inden i de glaciale aflejringer, som formodes relateret til interne strukturer i morænerne eller tilstedeværelsen af smeltevandsaflejringer.

På alle de seismiske profiler er der identificeret en tydelig hældende reflektor, som typisk ligger mellem 30-50 meter under havbunden. Enkelte steder er reflektoren dog tolket til at ligge mellem 25-30 meter under havbunden. Denne reflektor er tolket til at være toppen af prækvartæret og dermed bunden af den glaciale lagserie. Tykkelserne af de glaciale aflejringer vurderes derfor til at være på 30-45 meter. Tendensen er, at den tolkede reflektor hælder mod syd og øst således, at dybden til prækvartæret vurderes større mod syd og øst.

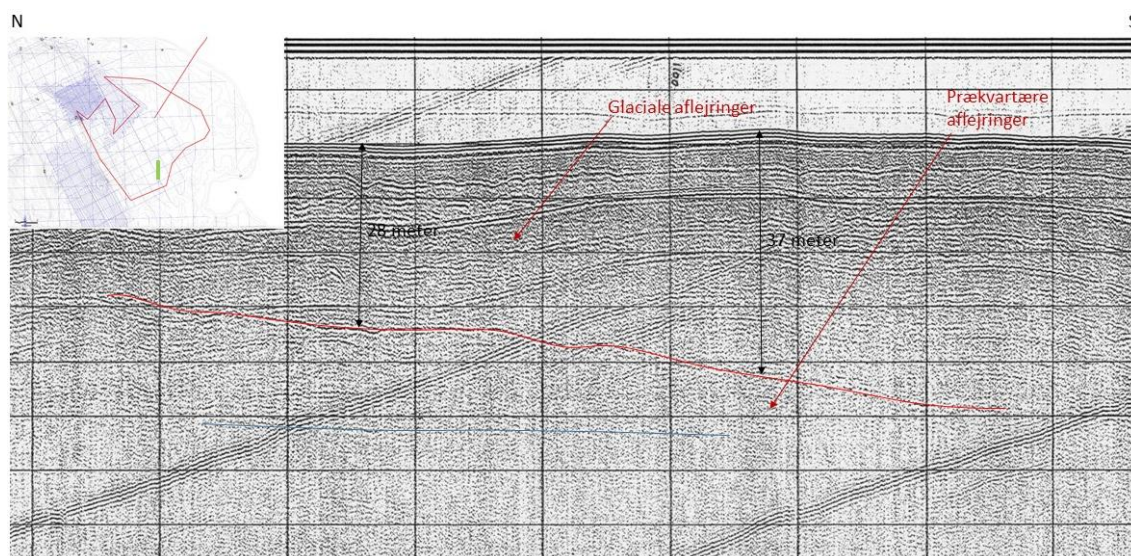
Under den tolkede prækvartæroverflade anes et horisontalt refleksionsmønster. I modsætning hertil er refleksionsmønsteret for de glaciale lag karakteriseret ved mere kaotiske og irregulære forhold. Desuden er tolket markante reflektorer dybere nede, som formodentlig er relateret til ældre prækvartære aflejringer.



Figur 6-7: Udsnit af seismisk profil 797 fra survey 544 Storebælt beliggende i den sydlige del af mølleområdet. På profilet er identificeret tykke glaciale aflejringer inklusiv smeltevandsaflejringer oven på prækvartære aflejringer.



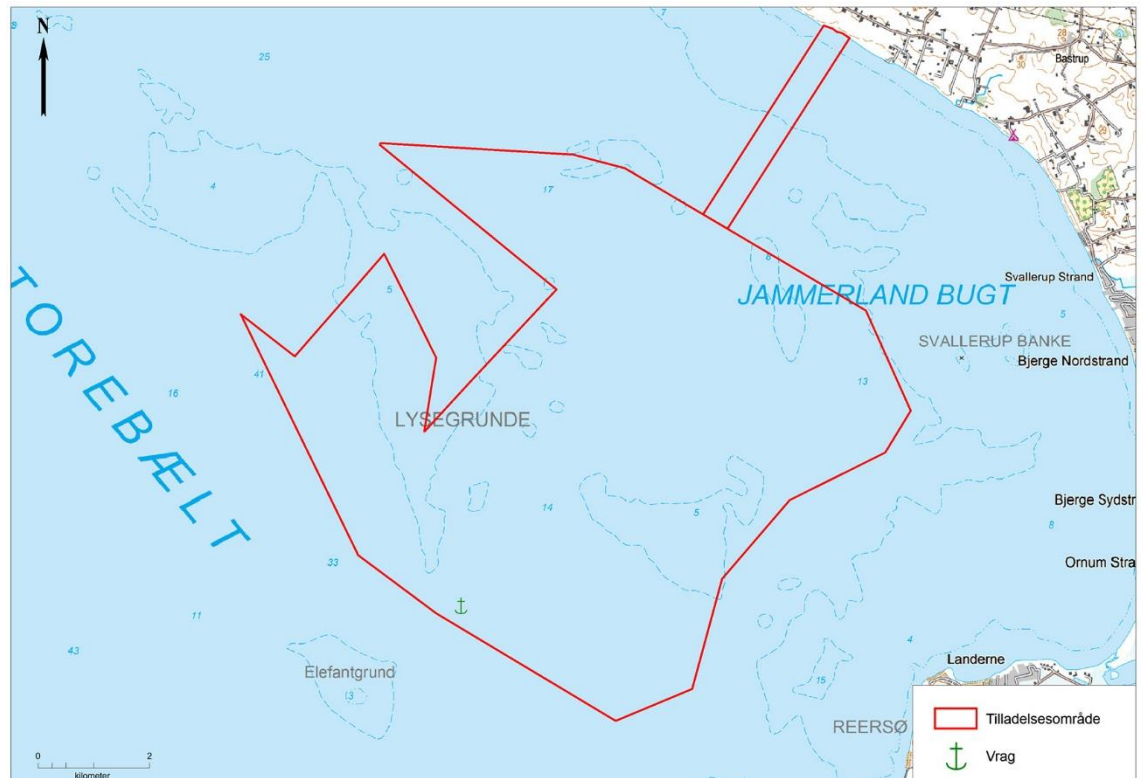
Figur 6-8: Udsnit af seismisk profil 730 fra survey 544 Storebælt beliggende i den nordlige del af mølleområdet. På profilet er identificeret tykke moræneaflejringer oven på prækvartære aflejringer. Det tolkede prækvartære relief ses som en markant hældende reflektor.



Figur 6-9: Udsnit af seismisk profil 798 fra survey 544 Storebælt beliggende i den sydlige del af mølleområdet. På profilet er identificeret tykke moræneaflejringer oven på prækvaltære aflejringer. Det tolkede prækvaltære relief ses som en markant hældende reflektor.

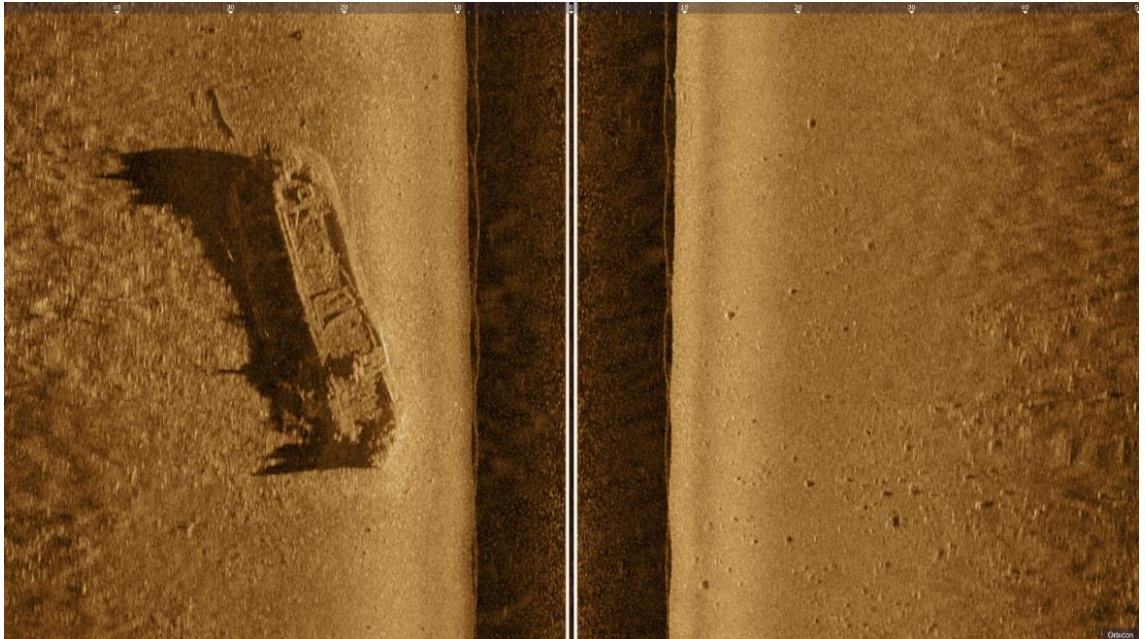
7. KULTURARV I UNDERSØGELSESMRÅDET

Ved det gennemførte geofysiske survey og efterfølgende visuelle verifikation, er der i undersøgelsesområdet registreret et enkelt vrage, som er lokaliseret i den sydlige del af mølleområdet. Ifølge Kulturstyrelsens database "Fund og Fortidsminder" er det et kendt vrage.



Figur 7-1: Markeringer af, hvor der er registreret vrage ved sidescaneringen. Rød ramme angiver tilladelsesområdet.

Ifølge Kulturarvsstyrelsens database er vrageet dateret til 1920-1929. Den endelige datering af vrageet er dog en del af den efterfølgende marinarkæologiske forundersøgelse.



Figur 7-2: Sidescan billede af det vrage, der blev identificeret under det geofysiske survey. Vraget er det eneste vrage, der er identificeret i undersøgelsesområdet. Vraget har en længde på ca. 30 meter.

8. DISKUSSION AF DE GEOFYSISKE UNDERSØGELSER

Det geofysiske survey blev gennemført i løbet af sommeren 2014 – helt generelt under meget gode vejrforhold, hvorfor sidescan – og seismik data er i virkelig god kvalitet.

Løbende – og efter hver endt surveyperiode, typisk 1-3 dages survey - blev data gennemgået og hvis der blev konstateret udfald på udstyret, eller en linie var sejlet lidt ukoncentreret, blev linien eller dele af linien sejlet om. Der er således fulddækkende sidescan data fra hele området og kabelkorridoren og der er seismiske data fra samtlige sejllinier.

Sidescan

Efter endt survey blev sidescan data geoprettet og samlet til en sidescan mosaik og det egentlige tolkningsarbejde påbegyndt. Til processering af de indsamlede Sidescan Sonar data er benyttet DeepVision 3.1.0 samt SonarWiz 4, hvori data behandles og sammenstilles til en mosaik. Herfra eksporteres Side-scan mosaikken som et GeoTiff format, som kan tolkes i MapInfo Professional 12.0. Baseret på udbredelsen af de enkelte substrattyper konstrueres polygoner, som farvelægges og kombineres til en samlet tab-fil. De viste Side-scan sonar eksempler er fra Deep-Vision.

Seismik

Den seismiske tolkning blev gennemført efter sidescan tolkningen, men de to dataset understøtter hinanden – således øges sikkerheden i overfladesubstrattypetolkningen ved at sammenstille de seismiske data.

Efter geopretning gennemgås og tolkes alle seismiske profiler i ISE Processing Software 2.95, hvori de enkelte seismiske refleksioner er blevet kortlagt. De enkelte tolkede horisonter er eksporteret som en samlet ASCII-fil og er efterfølgende blevet plottet i MapInfo Professional 12.0. Endelig er der produceret en række grids i form af tykkelseskort og dybdekort, som er udarbejdet i Vertical Mapper. De seismiske eksempler er fra ISE programmet.

8.1. Sammenstilling af geofysiske data

Den geologiske model for Jammerland Bugt er baseret på seismiske data, herunder Pinger og Sidescan sonar, samt historiske data i form af eksisterende borer og dybere seismiske boomer- og sparker data. Sammenstilling af de nævnte geofysiske metoder giver en god overordnet vurdering af de geologiske forhold i undersøgelsesområdet.

Pinger data giver sammen med Sidescan data og eksisterende overfladeprøver detaljeret information om havbunden og de stratigrafiske forhold i de øverste meter af undergrunden, mens de historiske seismiske data samt de dybe borer giver en indikation af de geologiske forhold dybere nede i undergrunden. Der er generelt yderst god overensstemmelse mellem de indsamlede geofysiske data og den eksisterende geologiske model.

Tolkningen af indsamlede Pinger og Sidescan sonar data og sammenstillingen med eksisterende marine borer bekræfter, at morænerelieffet er stærkt kuperet, hvilket afspejles i heterogen havbundsmorfologi præget af stenede bundforhold i de laveliggende områder samt dyndede og sandede bundforhold i de dybere områder. Oven på de højtliggende morænebanker forekommer der udbredte områder med bestrøningsbund og lokale stenrev. Derudover er de højtliggende morænebanker ofte dækket af et tyndt lag af residuersedimenter ofte <0,5 meter, hvilket er relateret til grove erosionsmaterialer oven på moræneoverfladen. Der er ikke identificeret ålegræs oven på flakkene. Morænen overlejres af et varierende dække af sandede og dyndede aflejringer i de dybere dele, hvor der øverst til stadighed forekommer akkumulation af dynd og sand. Under de marine aflejringer bekræfter enkelte borer (Figur 6-5) samt seismiske data (Figur 5-12), at der forekommer tørve- og ferskvandsaflejringer i Jammerland Bugt området, som primært er identificeret i den nordøstlige del og sydlige del af mølleområdet. Disse senglaciale aflejringer vurderes at have en stor lateral udbredelse men en begrænset tykkelse typisk mindre end 1 meter.

Tolkningen af udvalgte dybere seismiske data fra mølleområdet og sammenstillingen med de dybe onshore vandforsyningsboringer tæt på undersøgelsesområdet bekræfter, at de marine postglaciale aflejringer underlejres af tykke glaciale aflejringer i form af moræneler og smeltevandssand. På de seismiske data er identificeret markante reflektorer i den glaciale lagserie, som er tolket til at være vekslen mellem moræner og smeltevandsaflejringer (Figur 6-7). Disse smeltevandsaflejringer er ligeledes beskrevet i de dybe borer f.eks. boring 203.539. De identificerede reflektorer i den glaciale

lagpakke kan også relateres til interglaciale aflejringer, som er belyst ved boring 203.480 (se bilag 1).

På de seismiske data er der identificeret en markant hældende reflektor typisk beliggende i dybdeintervallet mellem 30 – 45 meter. Boringsdata belyser ligeledes en markant overgang i dette dybdeinterval fra glacielle aflejringer til Eocænt plastisk ler (se bilag 1). Det vurderes dermed at der er tale om den samme stratigrafiske overgang. Det vil sige, at baseret på boringsdata og de seismiske data, vurderes det, at prækvartæroverfladen ligger 30 – 45 meter under havbunden. Seismikken antyder dog, at dybden ned til prækvartæret lokalt kan være mindre. Det belyser samtidig, at tykkelsen af den glacielle lagserie henover mølleområdet skønnes at varierer mellem 30 – 45 meter.

De seismiske data indikerer et parallelt refleksionsmønster i de prækvartære aflejringer. Dette stemmer overens med akkumulationen af Eocæne dybvandssedimenter (jf. afsnit 6.1.1.). Inden i det parallelle refleksionsmønster ses enkelte mere markante reflektorer. Dette kan relateres til mergelaflejringerne, som ses i boringen på Romsø (se bilag 1). På Romsø er toppen af det Eocæne lerlag lokaliseret i kote -33,8 meter, mens det syd for Kalundborg er lokaliseret i kote -48,5 meter. Det vurderes, at tykkelsen kan variere betydeligt henover mølleområdet og der kan være tale om lokale højdestrukturer i kalken, som reducerer dybden til de palæogene lag. Det formodes, at Romsø er et eksempel på en strukturel høj, hvor niveauet ligger lavere. Boringen ved Slagelse viser, at den glacielle lagpakke direkte underlejres af Kerteminde Mergel. Dette stemmer overens med undergrundskortet (Figur 6-2), der viser, at prækvartæroverfladen syd for Jammerland Bugt er domineret af sand og mergel.

Det tyder derfor på, at prækvartæroverfladen består af Eocæne plastiske lertyper (Lillebælt ler) i den nordlige del af undersøgelsesområdet, mens den sydlige del er domineret af mergel og kun lokalt begrænsede Eocæne lerlag. Dette skyldes formodentlig borerosion af de Eocæne aflejringer. Baseret på boringsdata og de seismiske data har det ikke været muligt at foretage yderligere kortlægning af det Eocæne ler og det Paleocæne mergel, og vurderinger af tykkelser og mere detaljeret udbredelse har derfor ikke været mulig.

8.2. Potentiel placering af møller

I forbindelse med placeringen af havvindmøller i Jammerland Bugt, der er en række geologiske problemstillinger, der skal vurderes:

- Størrelse og koncentration af store sten på havbunden og på overfladen af morænen.
- Styrken og hårdheden af morænen
- Dybden til det Eocæne plastiske ler
- Tykkelsen af det Eocæne ler

Grundet det plastiske lers evne til at optage store mængder vand har leret en tilbøjelighed til at være ustabil. Dog er det muligt at opføre store konstruktioner på plastisk

ler ved korrekt fundering. Begge Lillebæltsbroer hviler således direkte i det plastiske ler.

De stor-skala geologiske forhold tolkes til at være relativt homogene inden for de øverste 0-40 meter, hvor der tages udgangspunkt i en tre-lags model: Nederst er de Eocæne og Paleocæne aflejringer i form af plastisk ler og mergelaflejringer, midterst morænerne og smeltevandsaflejringerne og øverst de kvartære ferskvandsaflejringer og marine aflejringer.

På baggrund af de seismiske data og boringsdata vurderes tykkelsen af den glacielle lagserie i mølleområdet at være 25-45 meter, som overlejres af 0-11 meter postglacielle sedimente. Dybden til den prækvartære overflade skønnes at ligge mellem 25-45 meter under havbunden. Det vurderes, at prækvartære overfladen i den sydlige del domineres af tykke Paleocæne mergelaflejringer, mens den nordlige del domineres af tykke lerlag af Eocæn oprindelse, som underlejres af merglen.

9. REFERENCER

Skov- og Naturstyrelsen, 1989. Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser – Storebælt. Oversigt. GEUS rapport nr. 29834.

Fredningsstyrelsen, Almengeologisk Afdeling. Sammenstilling og tolkning af geologiske data for den sydlige del af Store Bælt og Smålandsfarvandet, GEUS rapport nr. 29900.

Geoviden. Geologi og geografi nr. 3. Danmarks geologiske udvikling fra 65 til 2,6 mio. år før nu. Geocenter Danmark.