

Rapportering af Miljøstyrelsens råstofkortlægning i Nordsøen i 2019-2020

Råstofundersøgelser i Jammerbugt

Niels Nørgaard-Pedersen, Luna Holland Winther,
Rasmus Ørneköll Stenshøj & Thomas Vangkilde-Pedersen

Rapportering af Miljøstyrelsens råstofkortlægning i Nordsøen i 2019-2020

Råstofundersøgelser i Jammerbugt

Miljøstyrelsens råstofundersøgelser i 2019-2020

Niels Nørgaard-Pedersen, Luna Holland Winther,
Rasmus Ørnevoll Stenshøj & Thomas Vangkilde-Pedersen

Indhold

1.	Indledning	4
2.	Formål	5
3.	Kortlægning og klassifikation af områder	6
3.1	Seismisk tolkning	6
3.2	Boringsbeskrivelser og analyser	6
3.3	Klassifikation	7
3.3.1	Ressourcetype	8
3.3.2	Geologisk dannelsstype	9
3.3.3	Ressourcesikkerhedsparametre	9
3.4	Beskrivelse og vurdering af ressourceområder	10
4.	Områdebeskrivelse	11
4.1	Geologisk ramme	12
4.2	Nye undersøgelser	13
5.	Resultater	15
5.1	Område 1	16
5.1.1	Ressource 562-047	18
5.1.2	Ressource 562-048	19
5.1.3	Ressource 562-049	20
5.1.4	Ressource 562-050	22
5.2	Område 2	23
5.2.1	Ressource 580-001	26
5.2.2	Ressource 580-005	27
5.2.3	Ressource 580-004	28
5.2.4	Ressource 580-009	30
5.3	Område 3	31
5.3.1	Ressource 580-006	34
5.3.2	Ressource 580-007	35
5.3.3	Ressource 580-008	37
5.3.4	Ressource 580-013	37
5.3.5	Ressource 580-014	38
5.4	Område 4	39
5.4.1	Ressource 580-002	39
5.4.2	Ressource 580-003	43
5.4.3	Ressource 580-010	45
5.4.4	Ressource 580-011	47
5.4.5	Ressource 580-012	48

6.	Ressourceopgørelse	50
7.	Referencer	52

Appendiks A: Boringskoordinater

Appendiks B: Sedimentologiske logs

Appendiks C: Fotos af borekerner

Appendiks D: Kornstørrelsesanalyser

Appendiks E: Petrografiske analyser

1. Indledning

Miljøstyrelsen varetager kortlægning af råstofressourcer til havs og foretager hvert år en kortlægningskampagne med henblik på at etablere kvalificeret viden om ressourcerne til løbende målrettet planlægning som skal sikre en bæredygtig forvaltning og sikker forsyning i fremtiden. Data og resultater fra råstofkortlægningerne bliver samlet i den offentlige nationale marine råstofdatabase Marta, som er udviklet i samarbejde med GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland).

Med henblik på at sikre forsyningen af grovkornede ressourcer til industrien og sand til kystbeskyttelse langs Jyllands vestkyst har Miljøstyrelsen således i 2019 og 2020 gennemført råstofkortlægning i fem fokusområder i Nordsøen: Jammerbugt, Vestkysten, Horns Rev Nordøst, Horns Rev Sydvest og Horns Rev vest. I 2019 blev der gennemført seismiske undersøgelser og i 2020 blev der udført vibrocore borer.

Kortlægningen er udført på baggrund af oplæg til henholdsvis seismisk dataindsamling og udførelse af borer, udarbejdet af GEUS for Miljøstyrelsen. Der er som supplement til eksisterende seismiske data gennemført både regional kortlægning med stor indbyrdes afstand mellem linjerne og mere lokal detaljeret kortlægning med mindre linjeafstande. Herudover er der udført borer, der skal bekræfte (eller afkræfte) tilstedeværelsen af råstofressourcer tolket på de seismiske data og sikre viden om sedimentsammensætning og kvalitet af ressourcerne.

På baggrund af kortlægningen har GEUS efterfølgende bearbejdet og tolket de indsamlede data baseret på eksisterende viden om råstofressourceindholdet i områderne og med udgangspunkt i forskningsbaseret viden om råstoffer i Nordsøen. Denne rapport udgør således en beskrivelse af de råstofgeologiske resultater i Jammerbugt området.

Arbejdet har desuden omfattet processering af de seismiske data samt beskrivelser og geologiske analyser af borekerner, med henblik på at udvide kendskabet til geologien samt etablere et grundlag for den videre kortlægning af råstofressourcerne. Efterfølgende er de enkelte råstofforekomster gennemgået systematisk med tolkning af nye og eksisterende seismiske data, korrelation med ny og eksisterende boringsinformation samt kortlægning, afgrænsning og beskrivelse af råstofressourcen.

2. Formål

Formålet med Miljøstyrelsens råstofkortlægning i 2019 og 2020 har været at øge kendskabet til råstofressourcerne gennem indsamling af seismiske data og råstofboringer inden for fem fokusområder fra Jammerbugt i nord til Horns Rev i syd med henblik på at sikre forsyningen af grovkornede ressourcer til industrien og sand til kystbeskyttelse langs Jyllands vestkyst. Denne rapport omhandler Jammerbugt området.

Gennem kortlægningen og den efterfølgende bearbejdning og tolkning af data og de resultater som præsenteres i nærværende rapport gøres den tilvejebragte viden tilgængelig for bæredygtig forvaltning og udnyttelse af havets råstofressourcer.

Formålet med det arbejde som afrapporteres her, har således været at gennemføre tolkning af de indsamlede seismiske data og beskrivelse af de udførte boringer med henblik på en samlet kortlægning af råstofressourcernes udbredelse og volumen og en klassifikation af forekomsterne i forhold til ressourcestype og sikkerhed i vurderingen.

De kortlagte nye ressourcer vil blive indlæst i den marine råstofdatabase Marta, ligesom eksisterende ressourcer i Marta vil blive opdateret, hvis der på baggrund af undersøgelserne er foretaget ændringer af tolkning og klassifikation af ressourcen som følge af nye data.

3. Kortlægning og klassifikation af områder

3.1 Seismisk tolkning

Det seismiske datagrundlag består dels af de nye seismiske digitale data fra sparker og Innomar udstyr, dels af seismiske arkivdata, hvor der hovedsageligt er benyttet nyere digitale data optaget med sparker, boomer, pinger og chirp udstyr som kan indlæses i seismiske tolkningsprogrammer.

Placeringen af de nye seismiske linjer og deres indbyrdes afstand er blevet fastlagt ud fra forventningen til råstofressourcerne og deres kompleksitet i området, samt mængden og placeringen af eksisterende data. Der er således ved udlægningen af sejllinjenettet taget højde for de geologiske forhold, vanddybde, infrastruktur, eksisterende data inklusive boringer, effektivitet m.v.

Forskellige områder med varierende geologiske forhold kan kræve en forskellig tilgang i forhold til udvælgelse af de datasæt, der i sidste ende benyttes til tolkning af råstofressourcerne arealmæssige udstrækning og volumen. Mere lavfrekvente sparker eller boomer data med mere energi er typisk i stand til at gennemtrænge grovere aflejringer, glaciale moræneaflejringer og eventuelle overfladenære prækvartære aflejringer, mens mere højfrekvente, men mindre energi-rige, pinger, chirp eller Innomar data har en ringere nedtrængning, men større opløselighed.

Grundet såkaldt "ringning" af havbundsreflektoren i sparker data, er det ikke muligt at erkende en eventuel lagdeling og formodet sedimenttype umiddelbart under havbunden. Derimod tillader de mere højfrekvente Innomar data typisk tolkning af den detaljerede refleksionskarakter/lagdeling i finkornede til sandede overfladenære aflejringer, men har som nævnt ovenfor ringe eller ingen penetration i grovere aflejringer og den glaciale og prækvartære lagserie.

I forbindelse med tolkningen af de seismiske data kombineres og udvælges de bedst egnede datasæt, så kortlægningen af top og bund af specifikke råstofressourcelegemer kan optimeres i det seismisk tolkningsprogram. Efterfølgende eksporteres de tolkede horisonter til et GIS program, hvor mægtigheden af ressourcen beregnes og der interpoleres et grid som kontureres og vises på et mægtighedskort for de enkelte nytolkede ressourceområder.

3.2 Boringsbeskrivelser og analyser

Placeringen af boringer udført i 2020 er blevet udpeget på baggrund af de seismiske data indsamlet i 2019 samt eksisterende data i forhold til at kunne give mest mulig værdi for den samlede tolkning. Antallet af udførte boringer i et ressourceområde afhænger dels af den arealmæssige udstrækning og kompleksitet af ressourcen og antallet af eventuelle

eksisterende boringer og dels af praktiske hensyn og prioritering i forbindelse med dataindsamlingen.

I forbindelse med udførelse af boringerne er de udtagne borekerner blevet opdelt i 1 m kernerstykker i PVC rør allerede ombord på boreskibet. Borekernerne er efterfølgende, som en del af nærværende opgave, blevet åbnet på langs, fotograferet og beskrevet, og for hver boring er der udarbejdet en litologisk log der viser hvilke typer sediment der fundet i boringen, sedimentære strukturer, laggrænser og makrofossilindhold. På dette grundlag er der foretaget en tolkning af sedimenternes aflejningsmiljø og deres geologiske alder. Der er desuden udtaget prøvemateriale til kornstørrelsesanalyser fra sand-, grus- og ralenheder med ressourcepotentiale. Herudover er der i et antal udvalgte prøver foretaget petrografiske analyser til belysning af indholdet af amorft flint. Til understøttelse af aldersbestemmelserne og konceptuelle geologiske modeller for ressourcernes dannelse foretages der nogle gange enkelte kulstof-14 dateringer af muslingeskaller og organisk materiale fra borekernerne, men der er ikke foretaget datering af materiale fra Jammerbugt.

De samlede analysedata er efterfølgende blevet integreret i den endelige boringsbeskrivelse og tolkningen af ressourcerne og præsenteres i en række appendiks til denne rapport:

Appendiks A: Boringskoordinater

Appendiks B: Sedimentologiske logs

Appendiks C: Fotos af borekerner

Appendiks D: Kornstørrelsesanalyser

Appendiks E: Petrografiske analyser

3.3 Klassifikation

Råstofforekomster til havs i Danmark klassificeres jf. Larsen (1994) og Jensen (1998) i forhold til følgende tre parametre:

- Ressourcetype (svarende til råstofftyper for indvindingslast og ekstra lavkvalitetstype)
- Geologisk dannelsesstype (overordnet geologisk aflejningsmiljø)
- Ressourcesikkerhedsparametre (sikkerhed for forekomst, datatæthed)

Klassifikationssystemet er relativt enkelt, men giver mulighed for i alt 45 mulige kombinationsklasser som gør det muligt at udarbejde et tabellarisk og/eller kortbaseret overblik over vurderingen af råstofforekomsterne i et område. Som udgangspunkt vil ressourcens arealmæssige udstrækning afspejle dens kortlagte udstrækning uden forbehold for vanddybde, overjord, og overlap med specifikke havplansområder. Kortlægningen afspejler dermed det naturgivne lag, som i forhold til udpegning og beregning af reelle ressourcereserver, kan modificeres/reduceres betydeligt, afhængigt af lovgivne rammer og praktiske indvindingsmæssige og miljømæssige forhold.

3.3.1 Ressourcetype

Klassifikation af kortlagte råstof ressource typer følger jf. Larsen (1994) generelt den traditionelle inddeling til indberetning af indvundne skibslaster (Sand 1, Grus 2, Ral 3, Fyldsand 4). Dog er der i kortlægningsøjemed tilføjet en lavkvalitetstype som betegnes som Sand 0. De enkelte råstofkvaliteter afspejler kornstørrelse og kornstørrelsesfordeling og ikke materialets petrografiske sammensætning, herunder indhold af reaktive, porøse og ustabile mineralkorn. De enkelte ressource typer og deres relation til aflejningsmiljø, kvalitative forhold og anvendelse er beskrevet i Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Oversigt over marine ressource typer.

Ressourcetype	Beskrivelse	Aflejringsmiljø	Kvalitet	Anvendelse
Sand 0	Finkornet sand blandet med silt, ler eller dynd	Oftest på dybere vand eller i beskyttet aflejningsmiljø med lavere/vekslende energiniveau	Lavkvalitet sand	Pt. uegnet som råstof
Sand 1 (0-4 mm)	Sand	Dynamiske aflejningsmiljøer med moderat højt energiniveau	Kvalitetssand	Beton, cement, mørtel, og andre højkvalitetsprodukter
Grus 2 (0-20 mm)	Sandede forekomster med mindst 10% grus (kornstørrelse > 2 mm)	Dannet som glaciære grusaflejringer eller kystaflejringer under højt energiniveau	Variierende: Kystaflejringer oftest af bedre kvalitet end glaciære aflejringer	Afhængig af kvalitet: tilslag til beton eller vej- og anlægsformål
Ral 3 (6-300 mm)	Grusede og sandede forekomster med mindst 15% ral (kornstørrelse > 20 mm)	Dannet som glaciære aflejringer eller fossile strandvoldsdannelser under meget højt energiniveau	Variierende: Kystaflejringer oftest af bedre kvalitet end glaciære aflejringer pga. et lavt indhold af porøs flint	Afhængig af kvalitet: Tilslag til beton eller vej- og anlægsformål
Fyldsand 4	Sand med stor spredning i kornstørrelsesfordelingen	Miljøer med vekslende dynamisk miljø. Kan både være marine dannelser og smeltevandsdannelser	Lavkvalitetsprodukt. Kan i nogle tilfælde opfylde definition på øvrige råstofftyper	Til kystsikring og opfyldning af inddæmmede områder

3.3.2 Geologisk dannelsesstype

De marine råstofforekomster inddeles i forenklede geologiske/genetiske hovedforekomsttyper efter Larsen (1994):

Glaciale og sen-glaciale smeltevandsaflejringer

Forekomsterne er dannet som flod- eller deltaaflejringer, subglaciale åsdannelser eller fossile kystdannelser hovedsagelig i forbindelse med den afsluttende gletscherafsmeltning. Det er karakteristisk for denne type forekomster, at der er stor variation i kornstørrelse fra prokximale moderat sortererede grus- og stenaflejringer til distale, velsorterede sand- og siltaflejringer. Til denne forekomsttype henregnes ligeledes lakustrine kystdannelser fra f.eks. den Baltiske Issø og Ancylussøen.

Marine fossile kystdannelser

Forekomsterne er dannet i forbindelse med postglaciale havniveauændringer. Ressourceområderne ses ofte langs randen af morænetoppe, hvor kysterosion har leveret materiale til transport og afsætning af sand og grus i strandvolde og oddesystemer. Den fortsatte transgression har dernæst druknet kystsystemerne, som gradvist er blevet inaktive og i nogle tilfælde helt eller delvist dækket af dyndaflejringer.

Marine dynamiske områder

Forekomsterne er dannet ved bølgeaktivitet eller strømbetinget omlejring og er under stadig omformning. Ofte er det tidligere fossile sandaflejringer, som under ekstreme strømningforhold modificeres med dannelse af dynamiske strukturer til følge (f.eks. sandbølger). I andre tilfælde resulterer erosion af f.eks. moræneoverflader i, at der på havbunden opkoncentreres et gruset stenet residuallag.

3.3.3 Ressourcesikkerhedsparametre

Sikkerheden for tilstedeværelse af den enkelte ressource afhænger af typen og tætheden af de bagvedliggende data (seismik og borer) og følgende tre ressourcesikkerhedsparametre benyttes:

Påviste ressourcer er karakteriseret ved, at datagrundlaget er tilstrækkeligt til at give en generel vurdering af volumen og kornstørrelse og i visse tilfælde ligeledes materialekvalitet. Der gives et kvalificeret bud på hvad, og hvor meget, der kan produceres og af hvilken kvalitet, med en usikkerhed på ca. 20%. Undersøgelsesniveauet svarer til en fase 1b undersøgelse, jf. råstoffebekendtgørelsens undersøgelseskrav.

Sandsynlige ressourcer er forekomster, hvor afgrænsning og volumen er rimeligt velkendt på basis af få seismiske linjer og prøvetagninger med tilhørende kornstørrelsesanalyser.

Spekulative ressourcer er forekomster, som hovedsagelig er dokumenteret ved seismiske data og hvis sammensætning i det væsentlige er formodet ud fra en konceptuel geologisk dannelsesmodel.

3.4 Beskrivelse og vurdering af ressourceområder

På baggrund af de nye seismiske tolkninger og resultaterne af borerne sammenholdt med eksisterende seismik og boringsdata er der som en del af arbejdet med nærværende rapport foretaget en tolkning og beskrivelse af de kortlagte ressourcer.

For hvert ressourceområde er der foretaget en kortlægning af forekomsten og en vurdering af kvaliteten samt klassifikation med henblik på oprettelse af nye ressourcer i Marta databasen, eller revurdering af eksisterende. I forhold til eksisterende ressourcer er det vurderet, om ressourceområdet skal bibeholdes (f.eks. i revideret form), om det eventuelt kan integreres med nærliggende ressourceområder, eller om det helt skal sløjfes grundet for ringe viden, mægtighed, udstrækning eller kvalitet. For alle kortlagte ressourcer, nye som eksisterende, er der foretaget en vurdering og opdateret klassifikation af råstofftype, aflejringstype og ressourcesikkerhed til opdatering af Marta databasen, se afsnit 3.3.

For ressourcer som i forbindelse med den nye kortlægning er blevet reviderede, er det som udgangspunkt valgt at bibeholde det eksisterende ressourcenummer i Marta databasen.

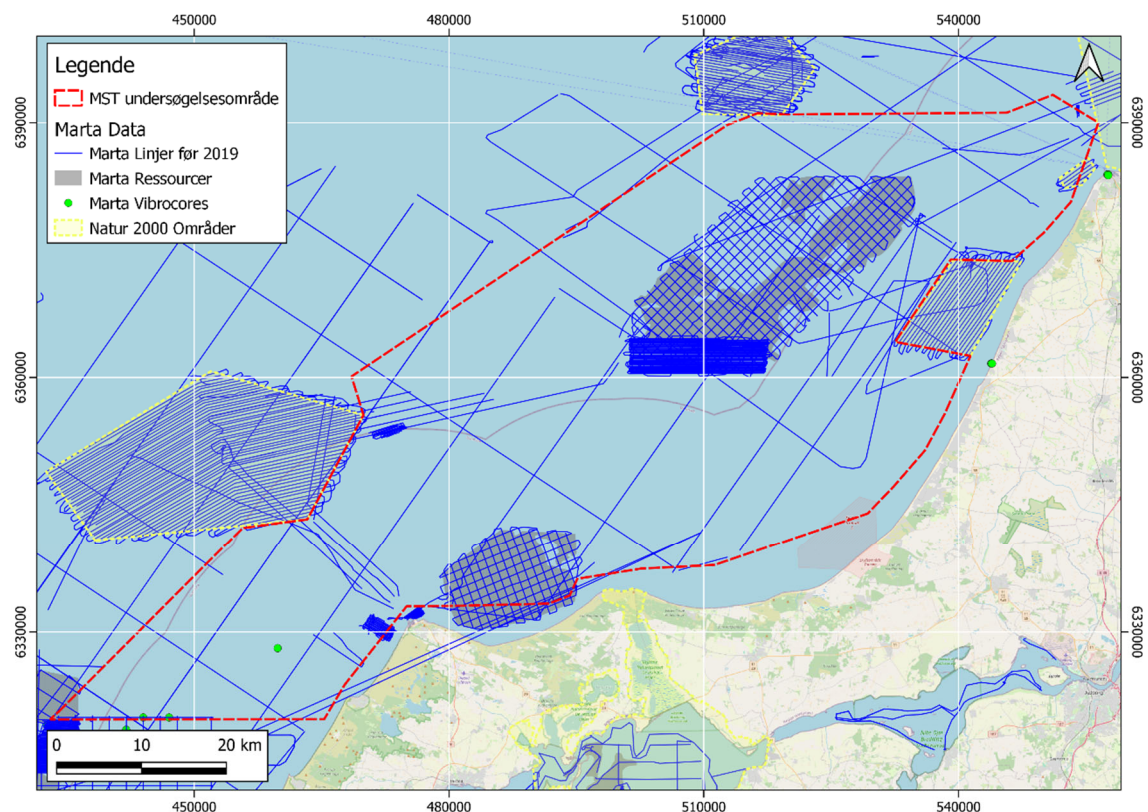
I andre tilfælde har ny-kortlagte ressourcer fået et nyt nummer, som ikke før er blevet anvendt inden for det pågældende farvandsområde.

I det følgende præsenteres kortlægningsresultaterne for det undersøgte område i Jammerbugt.

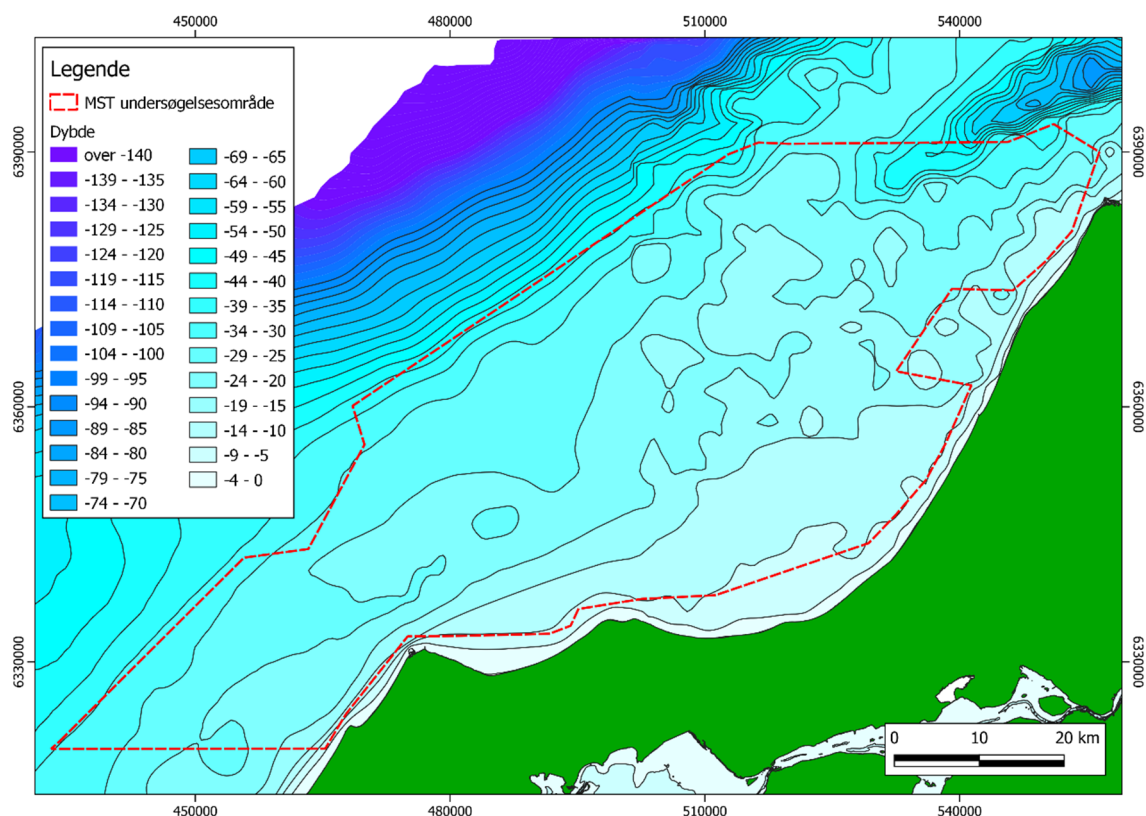
4. Områdebeskrivelse

Undersøgelingsområdet er på ca. 3800 km² og omfatter Jammerbugt inklusive et område ca. 15 km syd for Hanstholm (Figur 4.1). Området støder ned til den nordlige grænse for tidligere regional råstofkortlægning og Kystdirektoratets reservationsområde 1 langs den jyske vestkyst. Havdybden i området er maksimalt lidt over 40 m (Figur 4.2). I det efterfølgende er området opdelt i fire underområder, hvor det sydligste Område 1 ligger vest for Hansholm og Klitmøller. Herefter følger Område 2 i Vigsø Bugt og nord og vest herfor, Område 3 i indre og ydre Jammerbugt og Område 4 vest for Løkken og Hirtshals og ydre Jammerbugt.

Jammerbugt området var før MST kortlægningen i 2019-2020 kendetegnet ved en meget begrænset datakonfidens med linjeafstande mellem eksisterende seismiske linjer (både analoge og digitale) på 10 km eller mere og kun ganske få borer (Figur 4.1). Dog foreligger der i den centrale del af Jammerbugt samt i Vigsø Bugt ikke-frigivne seismiske linjer i 1x1 km grid og der eksisterer et aktivt fællesområde 580-AA i den centrale del af Jammerbugt, hvor der hovedsageligt indvindes fyldsand. Området støder op til flere Natura-2000 stenrevs-områder verificeret ved MST habitatundersøgelser i 2015 (Gule Rev, Store Rev, Lønstrup Rødgrund, Knudegrund) og 2017 (Tannis Bugt og området nordvest for Hirtshals-Skagen).



Figur 4.1 Jammerbugt undersøgelsesområdet, hvor eksisterende seismik før 2019 er vist med blå linjer, eksisterende vibrocores før 2020 med grøn og eksisterende ressourcer i Marta databasen med kortlagte ressourcer (grå områder).

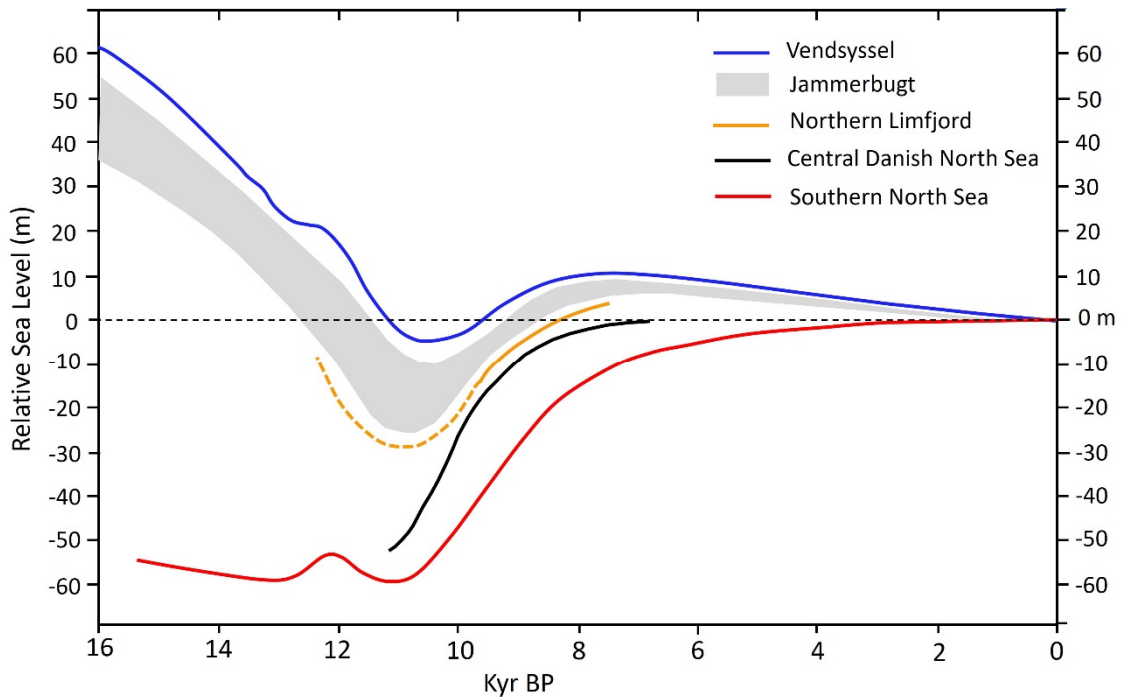


Figur 4.2 Jammerbugt undersøgelsesområdet med vanddybden i nuancer af blå.

4.1 Geologisk ramme

Nordjyllandsområdet er karakteriseret ved hævede marine senglaciale og holocæne aflejringer, samt glacial-tektoniske komplekser, der inkluderer defomerede interglaciale og glaciæle Skærumhedehav aflejringer (Larsen et al., 2009). Hele området var dækket af is under Weichselistidens kulmination for ca. 20.000 år siden. Prækvarterne aflejringer (Kridt og Danian) er tidligere observeret tæt under havbunden ved Hanstholm og Bulbjerg, og antages også at ligge relativt overfladenært over den centrale del af Jammerbugt (Nielsen et al., 2008).

For dannelsen af marine råstoffer er det afgørende at området har været ude for en markant isostatisk hævnning efter Weichsel-isens tilbagesmeltning siden knap 18.000 år BP, som efterlod et submarint glaciælt landskab (Figur 4.3). Det Yngre Yoldia-ishav dækkede området indtil ca. 15.000 år BP og aflejrede tykke konforme sekvenser af hovedsageligt finkornede aflejringer på relativt dybt vand. Herefter blev området i perioden 15.000-10.000 år BP gradvist tørlagt i takt med den glacio-eustatiske hævnning. Littorinahavet transgrederede området i de efterfølgende årtusinder, og kulminerede omkring 7.000 år BP, 5-10 m over nuværende havniveau. Med kulminationen af Littorina havniveauet blev Jyllandsstrømmen etableret, og en meget stor sedimenttransport blev initieret mod nord ind i Jammerbugt området og videre mod den senere dannede Skagensgren. Det relative fald i havniveau i de sidste årtusinder har ført til fornyet erosion af havbunden på lavere dybder og samtidig transport og re-sedimentation af store sandmængder med vandrende bundformer.

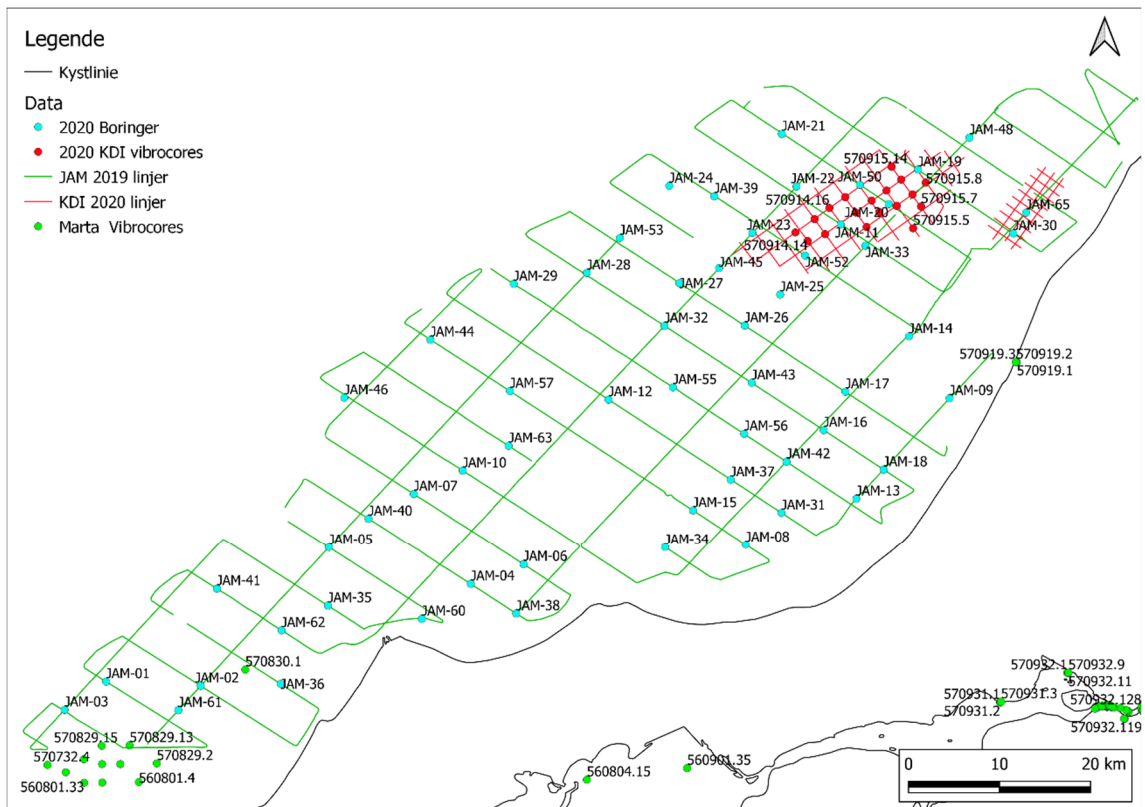


Figur 4.3 Relativt havniveau siden sen-Weichsel-istid for forskellige dele af den jyske vestkyst. Havniveau intervallet for Jammerbugt er tentativt. Øvrige kurver er baseret på Pässe & Anderson (2005), Bennike et al. (2019), og Astrup (2023).

4.2 Nye undersøgelser

I august 2019 blev der foretaget seismiske undersøgelser af GEUS for MST med Sparker, Innomar (subbottom profiler) og Sidescan sonar/Multibeam. Der blev i alt sejlet ca. 1250 linje-km i et groft seismisk grid på 5 x10 km, se Figur 4.4. Herudover er der til nærværende undersøgelse benyttet Sparker -og Innomardata fra Kystdirektorat fase IA undersøgelser i 2020 i to områder ud for Lønstrup (ca. 240 linje-km).

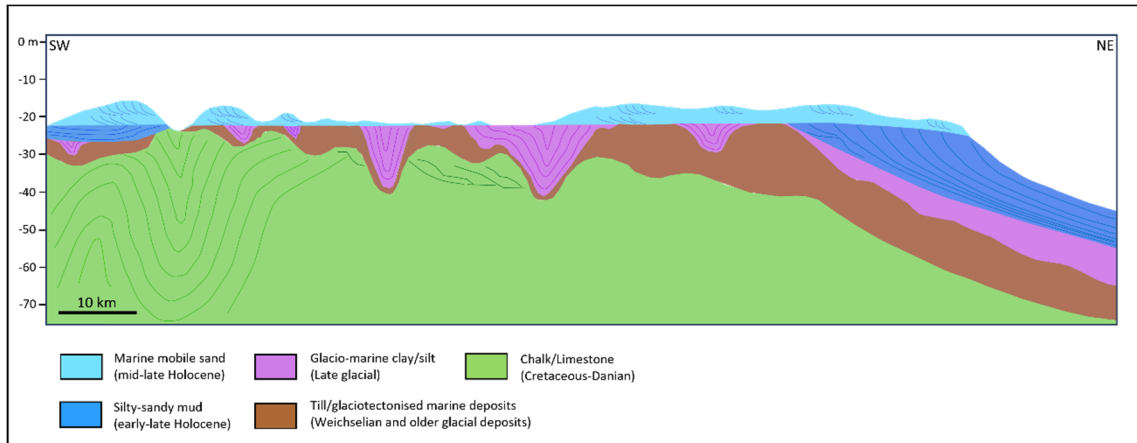
I juni 2020 blev der i Jammerbugt området foretaget 57 Vibrocore-boringer af GEUS for MST på positioner udvalgt på baggrund af de seismiske data indsamlet i 2019. Herudover blev der i september 2020 foretaget 20 Vibrocore-boringer af GEUS for Kystdirektoratet i området ud for Lønstrup. Boringerne er beskrevet og der er foretaget kornstørrelsesanalyser på de fleste af kernerne. Boringsdata er benyttet til verificering af seismiske tolkninger samt tolkning og klassificering af ressourceforekomster.



Figur 4.4 Nye seismiske data indsamlet i 2019 og nye boringer udført i 2020 i Jammerbugt.

5. Resultater

Der er foretaget en overordnet seismisk tolkning af området med henblik på at fastlægge den holocæne transgressionshorisont, den glaciale overflade (basis af senglaciale dannelser) og top af prækvartære dannelser. Den geologiske forståelse af området er illustreret i en konceptuel geologisk model i Figur 5.1 og beskrevet herunder.



Figur 5.1 Konceptuel geologisk model for Jammerbugt området som et eksemplificeret tværsnit fra sydvest mod nordøst.

Prækvartære dannelser er identificeret tæt under havbunden i området ud for Hanstholm, op til ca. 15 km fra kysten, men kan også stedvist observeres ca. 10-30 m under havbunden længere mod nord i Jammerbugt. Dette underbygges af enkelte ældre dybseismiske linjer på tværs af Jammerbugt (Nielsen et al., 2008). Prækvartæret er generelt dækket af glaciale-holocæne sedimenter, men enkelte steder har erosion blotlagt prækvartære dannelser lige under havbunden.

Den glaciale overflade kan observeres over store dele af området som en markant bølgende irregulær/usammenhængende reflektor. Overfladen er ofte dækket af lagdelte senglaciale og holocæne aflejringer, men stedvist findes glaciale aflejringer blottet på havbunden. Side-scan sonar data viser at de glaciale aflejringer er rige på stenforekomster. I den nordvestlige del af området dykker den glaciale overflade ned til større dybde, og en udbygning af senglaciale og holocæne aflejringer af større mængde kan observeres her.

Senglaciale aflejringer findes dels som fint lagdelte konforme udfyldninger af trug i den glaciale flade og dels som lateralt udbyggende enheder mod nord og vest. Side-scan sonar data indikerer at de senglaciale dannelser er stenførende, og det må antages at der er tale om istransporterede dropsten.

Bunden af de transgressive holocæne marine aflejringer er defineret ved en markant reflektor som skærer ældre glacial-senglaciale aflejringer erosivt. Transgressionshorisonten er bekræftet i flere borer, og består ofte af et få cm-dm tykt småstenførende lag.

Mægtigheden af de holocæne dannelser er generelt <10 m, men mod nordvest, hvor den glaciale overflade dykker, ses en kliniform udbygning med tiltagende mægtighed og dannelser på op til 35 m. I den tykkere holocæne lagpakke er reflektiviteten stedvist nedsat pga. gas, og det må antages at sedimenterne her er mere finkornede og med et større organisk indhold.

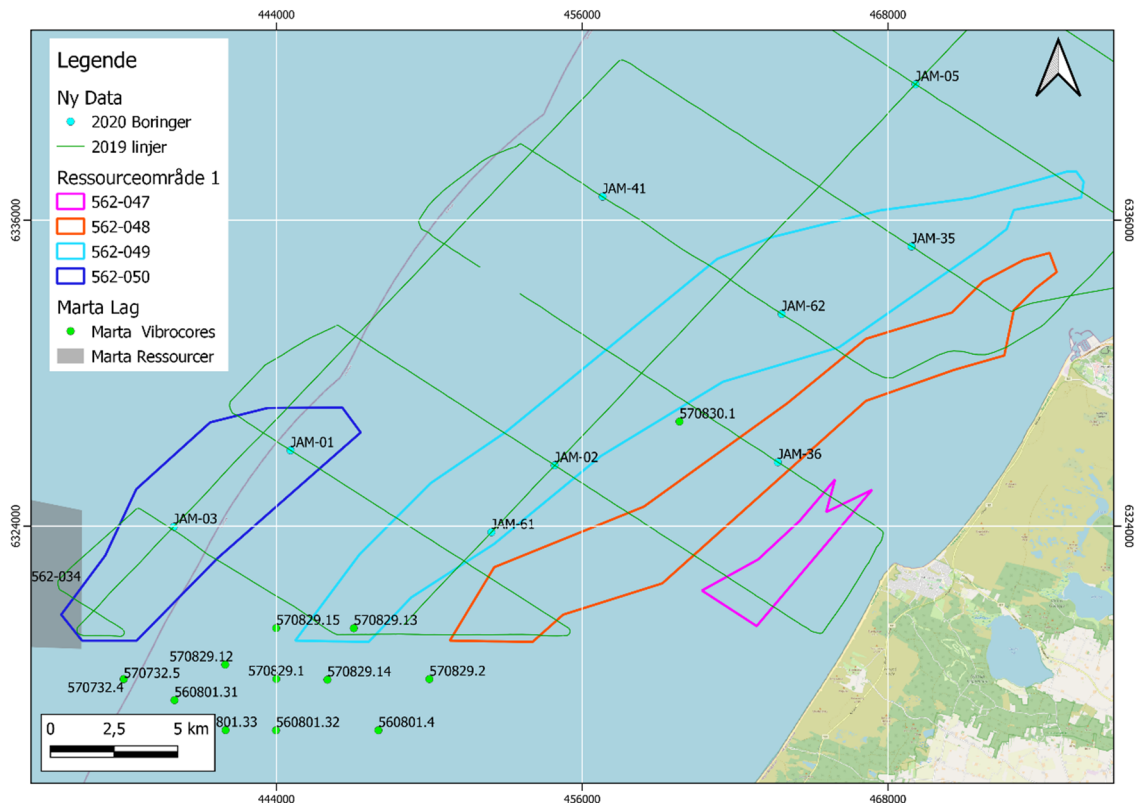
De holocæne dannelser er i dele af efterforskningsområdet todelte og består af en nedre meget finkornet og ofte siltet sandenhed overlejret erosivt af en øvre mere velsorteret mellemkornet sandenhed.

Store dynamiske bundformer dominerer sandressourceområderne. Km-store longitudinale sandrygge med pålejrede store sandbølger dominerer i den sydlige del af området. I den øvrige del af området præger store transverse sandbølger og megaribber ligeledes de store sandflader.

På enkelte seismiklinjer i den centrale del af Jammerbugt er der observeret grovere grusede småstensførende aflejringer. Dette område er generelt præget af stenførende glaciale-senglaciale aflejringer, som ligger helt op til, eller kun få meter under, havbunden.

5.1 Område 1

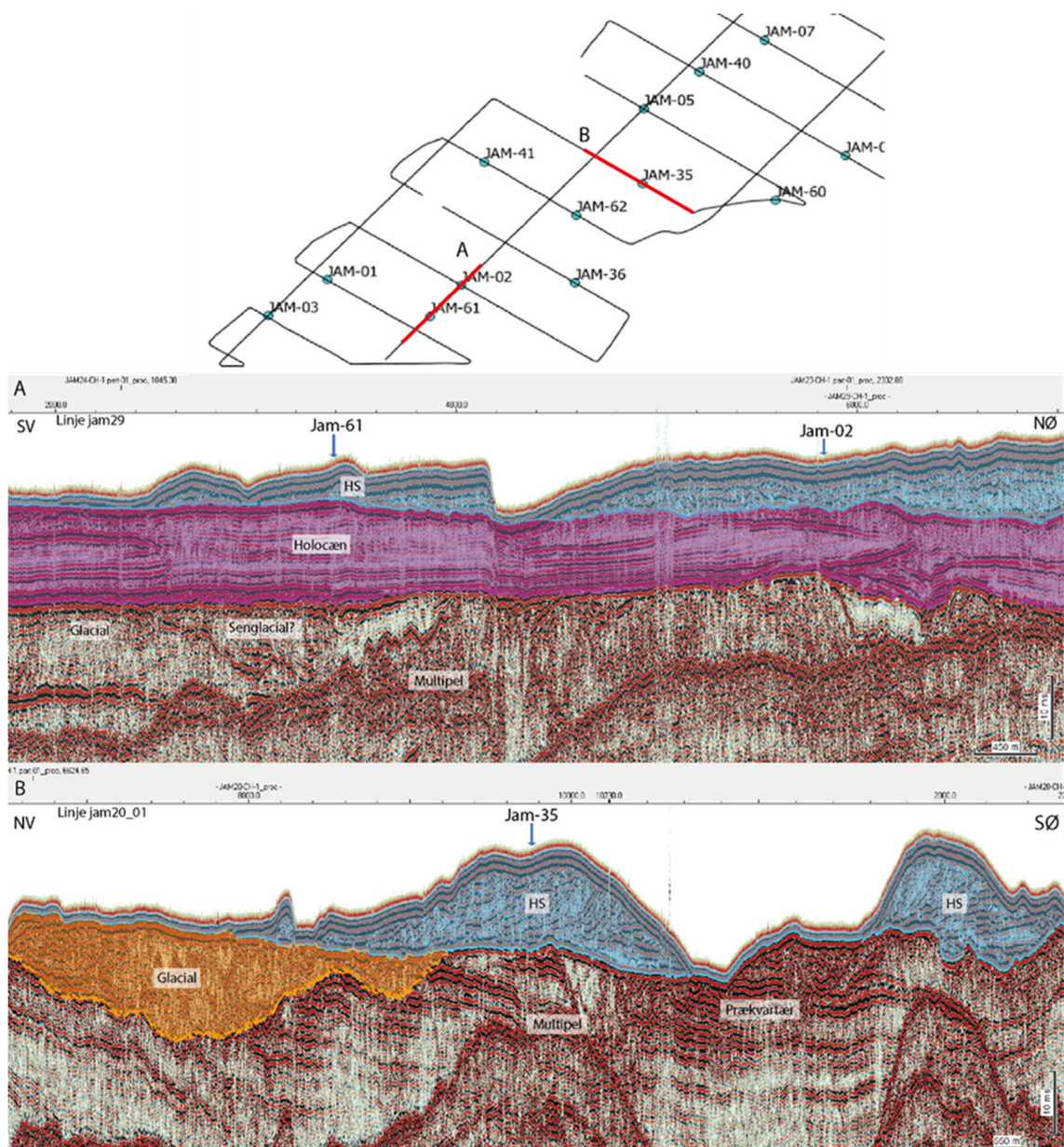
I Område 1 vest for Klitmøller-Hanstholm er der kortlagt en serie holocæne marine ressourceforekomster i form af longitudinale sandrygge med en længde på op til ca. 20 km og en bredde på 2-4 km (Ressource 562-047, 562-048, 562-049 og 562-050), se Figur 5.2. Barreformerne er dynamiske og opbygget af store, mod nordøst vandrende, sandbølger med en bølgelængde på op til flere km og en højde på op til ca. 5 m. Kornstørrelsen varierer fra finkornet sand i 562-047 tættest på kysten, til mellemkornet sand i 562-050 længere væk fra kysten. Ressourceforekomsterne har en maksimal tykkelse på 7-12 m, og vanddybden er 15-30 m. Datatætheden er meget lav og der er ikke tidligere kortlagt ressourcer i området.



Figur 5.2 Kortlagte ressourcer i Område 1 vest for Klitmøller-Hanstholm sammen med 2020 borer, 2019 seismiklinjer, eksisterende arkivboringer i Marta og tidligere kortlagte ressourcer.

En markant erosionsgrænse adskiller ressourceforekomsterne fra underliggende ældre holocæne markant stratificerede aflejringer (meget fint sand), glaciale-senglaciale aflejringer eller prækvartære Kridt aflejringer (sidstnævnte specielt i området ud for Hanstholm), se Figur 5.3. Interne strukturer i ressourceforekomsterne er præget af komplekse enheder med udbyggende skrålejringer. Tværsnit af sandryggene viser partier med skrålejringer, der fortrinsvis har bygget sideværts ud mod nordvest, samtidig med at sandbølger, der opbygger sandryggene, vandrer mod nordøst.

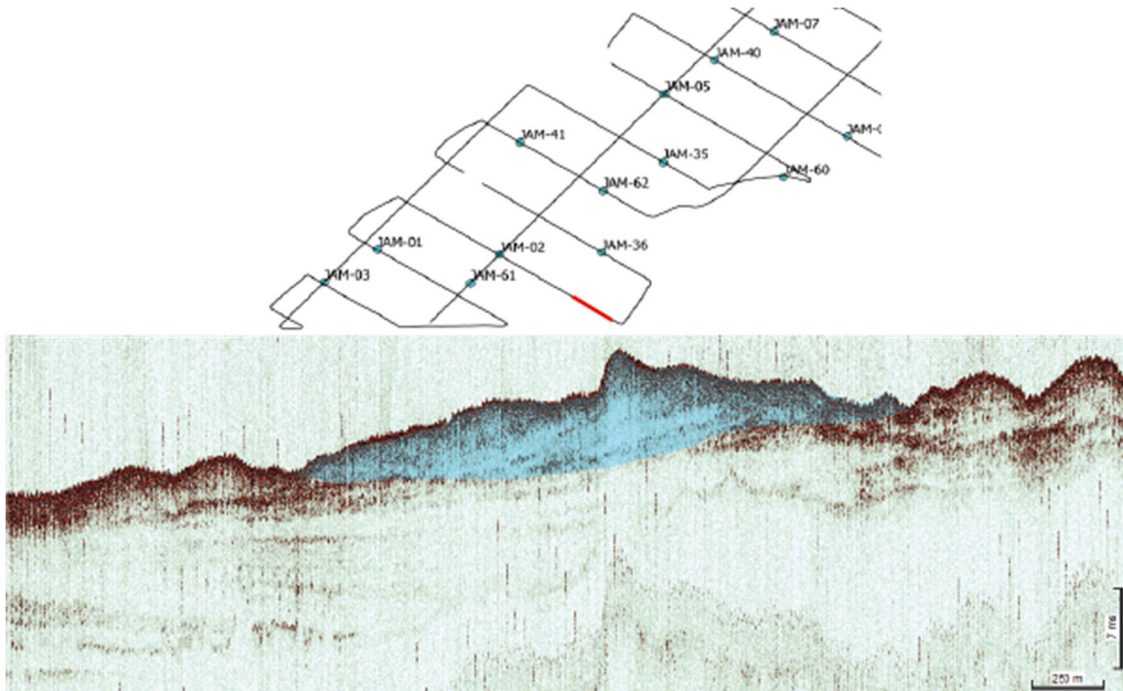
Ressourceforekomsterne klassificeres som dynamiske holocæne marine aflejringer. Sandkvaliteten vurderes til at være Sand 1 (fin-mellemkornet sand), med en tendens til at de mere kystnære forekomster er mere finkornede.



Figur 5.3 A: Sparkerprofil langs sandryg med pålejrede sandbølger der opbygger ressource 562-049. Position af borerne Jam-61 og Jam-02 er vist, se også Figur 5.6. B: Tværsnit af sandrygge gennem ressourceområdet 562-048 (th) og 562-049 (tv). Boring Jam-35 påviser mellemkornet sand, se også Figur 5.6. Højtliggende prækvartær (Kridt) præger området ud for Hanstholm. Holocæn sand er markeret med HS.

5.1.1 Ressource 562-047

Ressource 562-047 er den mest kystnære i Område 1 og har en længde på ca. 7 km og en bredde på ca. 2 km (Figur 5.2). Der er ikke foretaget borer i området, og der er således ingen kornstørrelsesanalyser, petrografi eller aldersdatering. To seismiske linjer krydser ressourcen, der er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 7 m på de nye seismiske profiler (Figur 5.4). Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 10,2 km², men grundet den ringe data-tæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

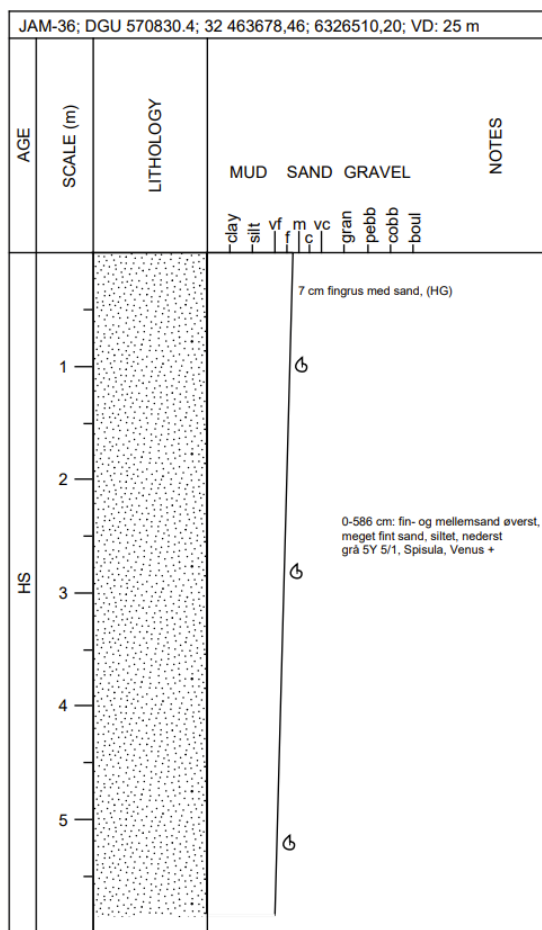


Figur 5.4 Innomarprofil som krydser Ressource 562-047. Linjen er NV-SØ gående, og sandryggen er SV-NØ gående.

5.1.2 Ressource 562-048

Ressource 562-048 er den næststørste ressource i Område 1 (Figur 5.2). Boring 570830.4 (JAM-36) udført i 2020 viser 7 cm fingrus og herefter fin-mellemkornet sand som gradvist bliver finere og mere siltet ned til ca. 5,9 m (Figur 5.5). På Figur 5.3 profil B ses ressourcen til højre sammen med den sandryg som udgør Ressource 562-049 (til venstre). Ressourcen udgør en distinkt sydvest-nordøst gående sandryg som kiler ud mod de prækvartære aflejringer mod nordvest og sydøst, og har omtrent samme højde som Ressource 562-049. Mindre dalstrukturer i prækvarteret kan ses i den østlige del, hvor ressourcen således har en større mægtighed.

Der er ikke foretaget kornstørrelsesanalyser i boringen og ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 12 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 63,3 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

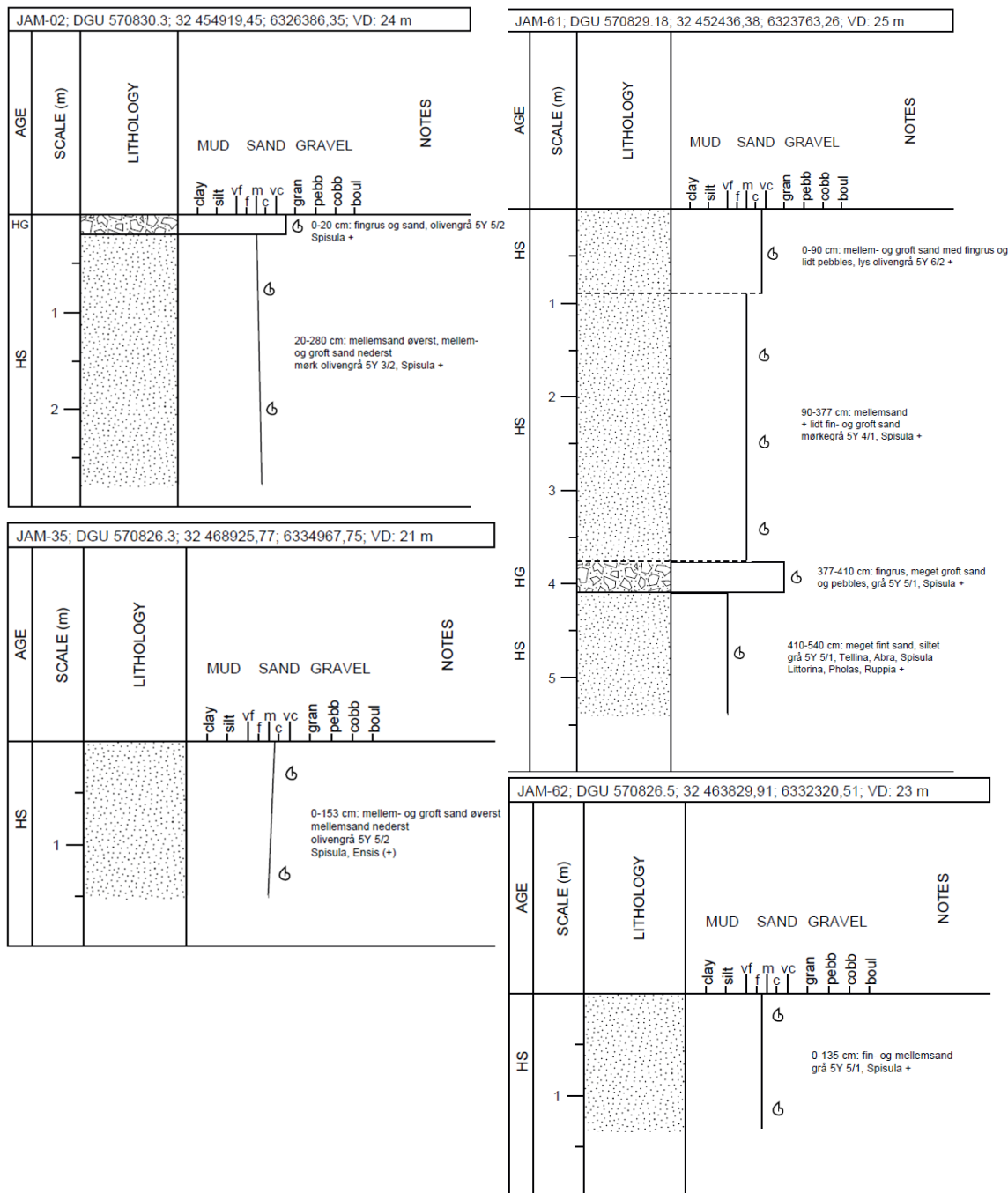


Figur 5.5 Litologisk log for boring 570830.4 (JAM-36).

5.1.3 Ressource 562-049

Ressource 562-049 er den største i Område 1 (Figur 5.2). De to seismiske profiler præsenteret på Figur 5.3 viser ressourcen der ligesom de øvrige ressourcer i området har en syd-vest-nordøstlig udstrækning. Som det fremgår af Figur 5.3 med et seismisk profil i længderetningen, øges tykkelsen af ressourcen gradvist mod nord, dog med en strømningsbetinget lavning i havbunden omtrent midt i ressourceområdet, hvor ressourcen tynder ud. Profil B går på tværs af længderetningen og viser bredden af både den sandryg som udgør Ressource 562-049 samt den som udgør Ressource 562-048 og det ses at den nordøstlige flanke er mere stejl end den nordvestlige. Ressourcen overlejrer en relativt tyk pakke af holocæne aflejringer over glaciale/senglaciale nedskårne og udfyldte data i prækvartæroverfladen.

Der er i 2020 udført fire borer i ressourcen, se Figur 5.6. I boring 570830.3 (JAM-02) optræder 20 cm fingrus og sand over 2,6 m mellemkornet og groft sand. I boring 570826.3 (JAM-35) optræder 1,5 m mellemkornet-groft sand (øverst) og mellemkornet sand (nederst). I boring 570829.18 (JAM-61) optræder 0,9 m mellemkornet-groft sand med fingrus over 2,7 m mellemkornet sand efterfulgt af 0,3 m fingrus og 1,3 m meget fint siltet sand. I boring 570826.5 (JAM-62) optræder 1,35 m fin-mellemkornet sand.



Figur 5.6 Litologisk log for borerne 570830.3 (JAM-02), 570826.3 (JAM-35), 570829.18 (JAM-61) og 570826.5 (JAM-62).

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i alle borerne og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.1 består materialet overvejende af sorteret mellemkornet sand.

Tabel 5.1 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 562-049.

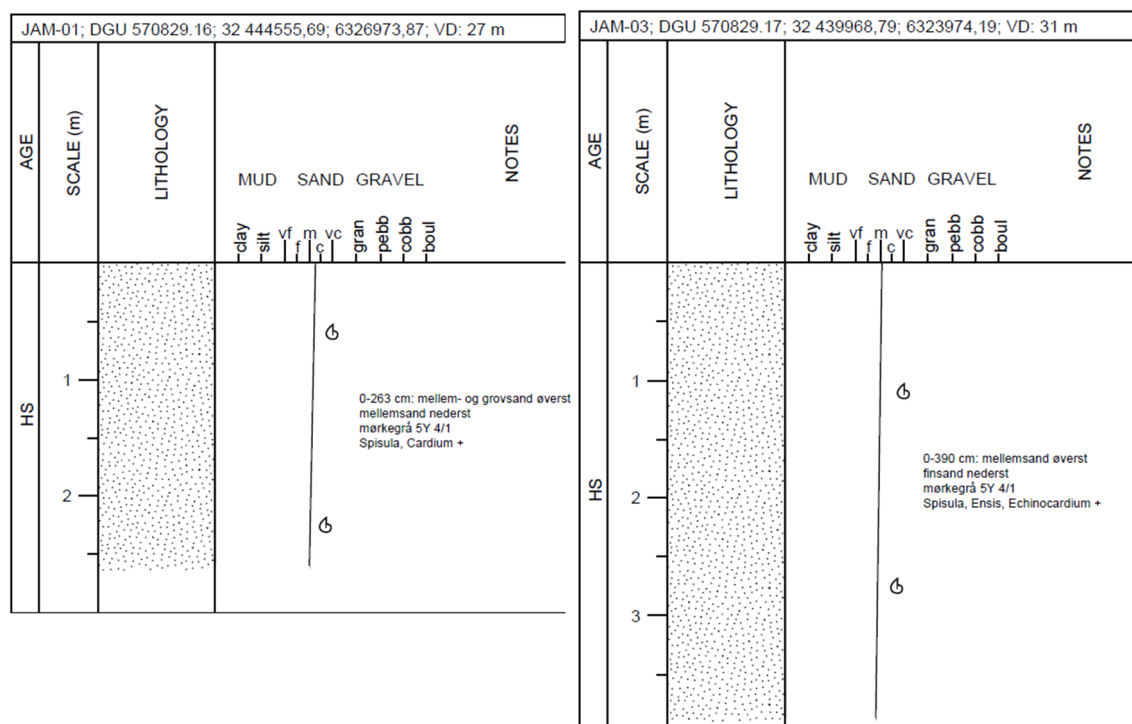
Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570830.3	20-280	1	18	65	12	4	0,31	2,14
570826.3	0-150	0	18	58	20	4	0,32	2,24
570829.18	0-90	0	6	60	17	17	0,34	2,10
	100-300	1	14	72	11	2	0,31	2,04
570826.5	0-130	1	52	46	1	0	0,18	2,01

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med baggrund i den ringe dækning med seismiske data og antallet af boringer og analyser i forhold til ressourcens areal. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 110,5 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort. Den maksimale tykkelse vurderes at være op til 10 m.

5.1.4 Ressource 562-050

Ressource 562-050 er den vestligste af de fire ressourcer i Område 1 og udgør ligesom de øvrige ressourcer i området en elongeret sandryg, orienteret i sydvestlig-nordøstlig retning, se Figur 5.2.

Der er i 2020 udført to nye boringer i ressourcen, se Figur 5.7. I boring 570829.16 optræder 2,6 m mellemkornet-groft sand (øverst) og mellemkornet sand (nederst). I boring 570829.17 optræder 3,9 m mellemkornet sand (øverst) og fint sand (nederst).



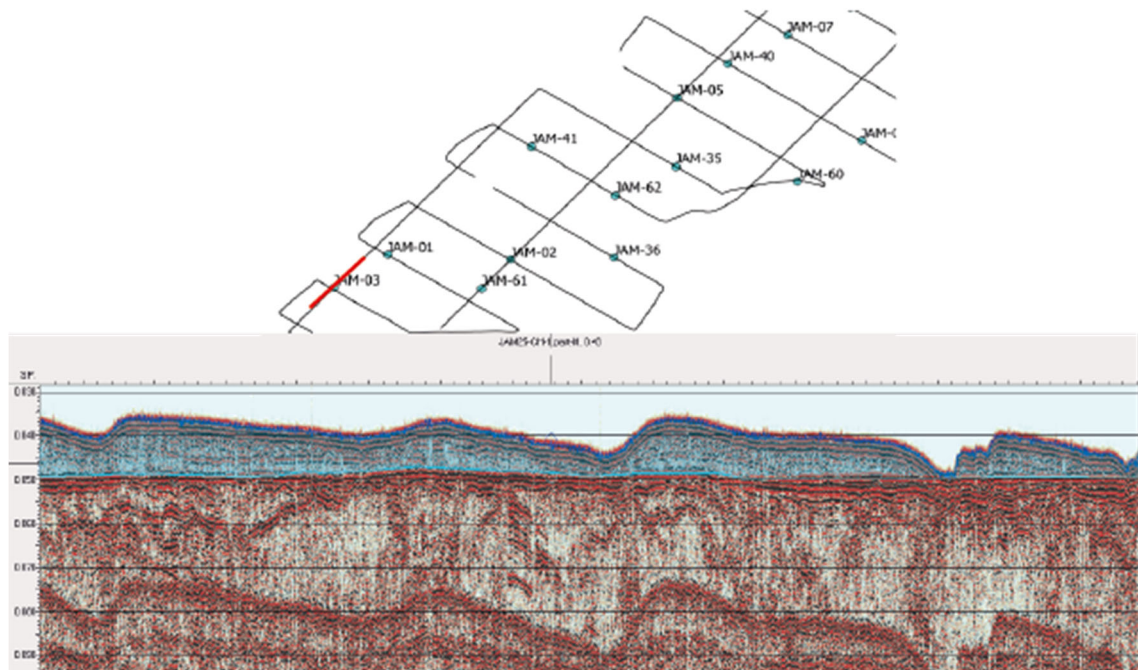
Figur 5.7 Litologisk log for boringerne 570829.16 (JAM-01) og 570829.17 (JAM-03).

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i begge boringerne og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.2 består materialet overvejende af sorteret mellemkornet sand.

Tabel 5.2 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 562-050.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570829.16	0-260	1	17	74	8	0	0,30	2,04
570829.17	0-390	1	33	60	6	0	0,28	2,17

På Figur 5.8 er vist et nordøstligt-sydvestligt seismisk profil centralt i ressourcen, langs sandryggenes længderetning. Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 8 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 45,6 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.8 Sparkerprofil gennem Ressource 562-050. Linjen er NØ-SV gående. Ressourcen er markeret med blå.

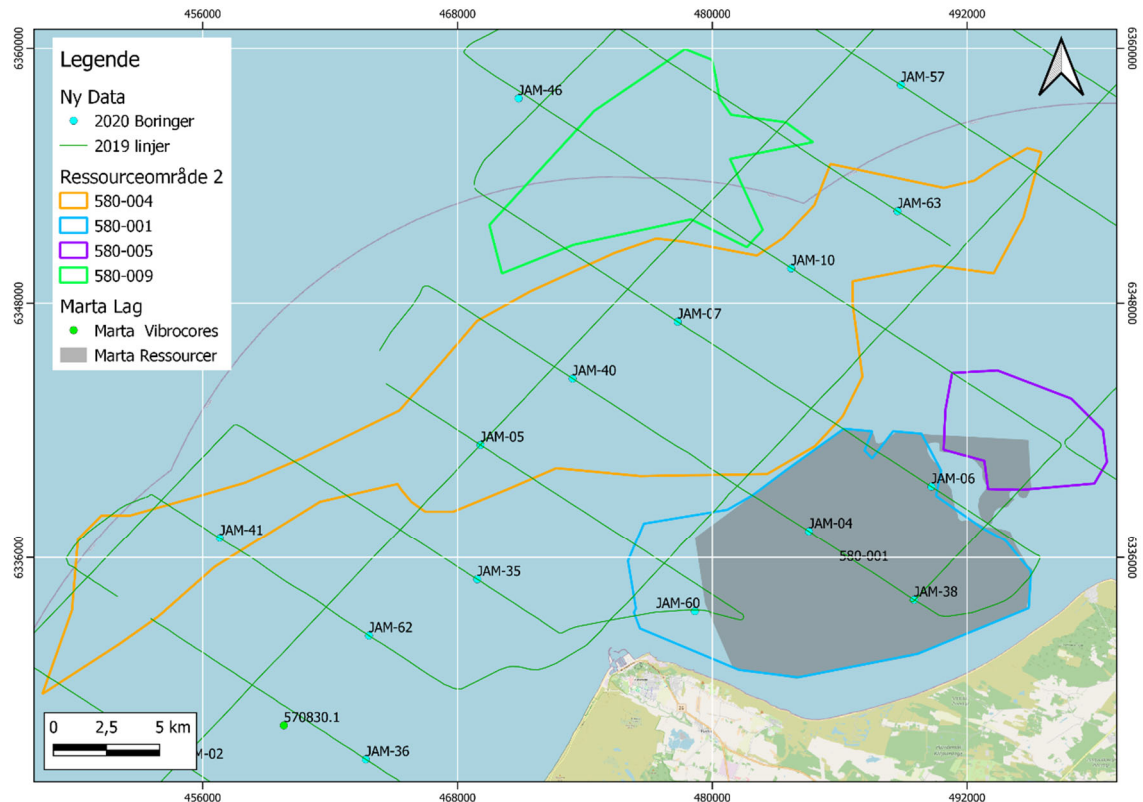
5.2 Område 2

Område 2 dækker et relativt stort areal i Vigsø Bugt og nord og vest herfor (Figur 5.9). Der er kortlagt fire ressourcer (Ressource 580-001, 580-005, 580-004 og 580-009) og datatætheden varierer meget i området. Der er tidligere kortlagt en ressource i Vigsø Bugt som er retolket på baggrund af de nye data.

Ud for Vigsø Bugt er der således kortlagt to holocæne marine ressourcer på den skrånende kystflade fra 7-22 m vanddybde (Ressource 580-001 og 580-005), se Figur 5.9, hvor

Ressource 580-001 er mere eller mindre sammenfaldende med den tidligere kortlagte ressource som også var benævnt 580-001, og kortlagt på basis af tidligere fase IA råstoftkortlægning.

Holocæne marine aflejringer overlejrer her højtliggende prækvartær (Kridt) og glaciæ-senglaciale aflejringer (Figur 5.10A). Den holocæne lagserie er todelt og består nederst af marint, fint-meget fint siltet sand, som overlejres erosivt af marint fint-mellemkornet sand. Den øvre sandede enhed har en mægtighed på op til ca. 7 m, og aftager i mægtighed på større vanddybde. Kun den øvre enhed antages at have ressourceværdi.



Figur 5.9 Kortlagte ressourcer i Område 2 nord og vest for Vigsø Bugt sammen med 2020 borer, 2019 seismiklinjer, eksisterende arkivboringer i Marta og tidligere kortlagte ressourcer.

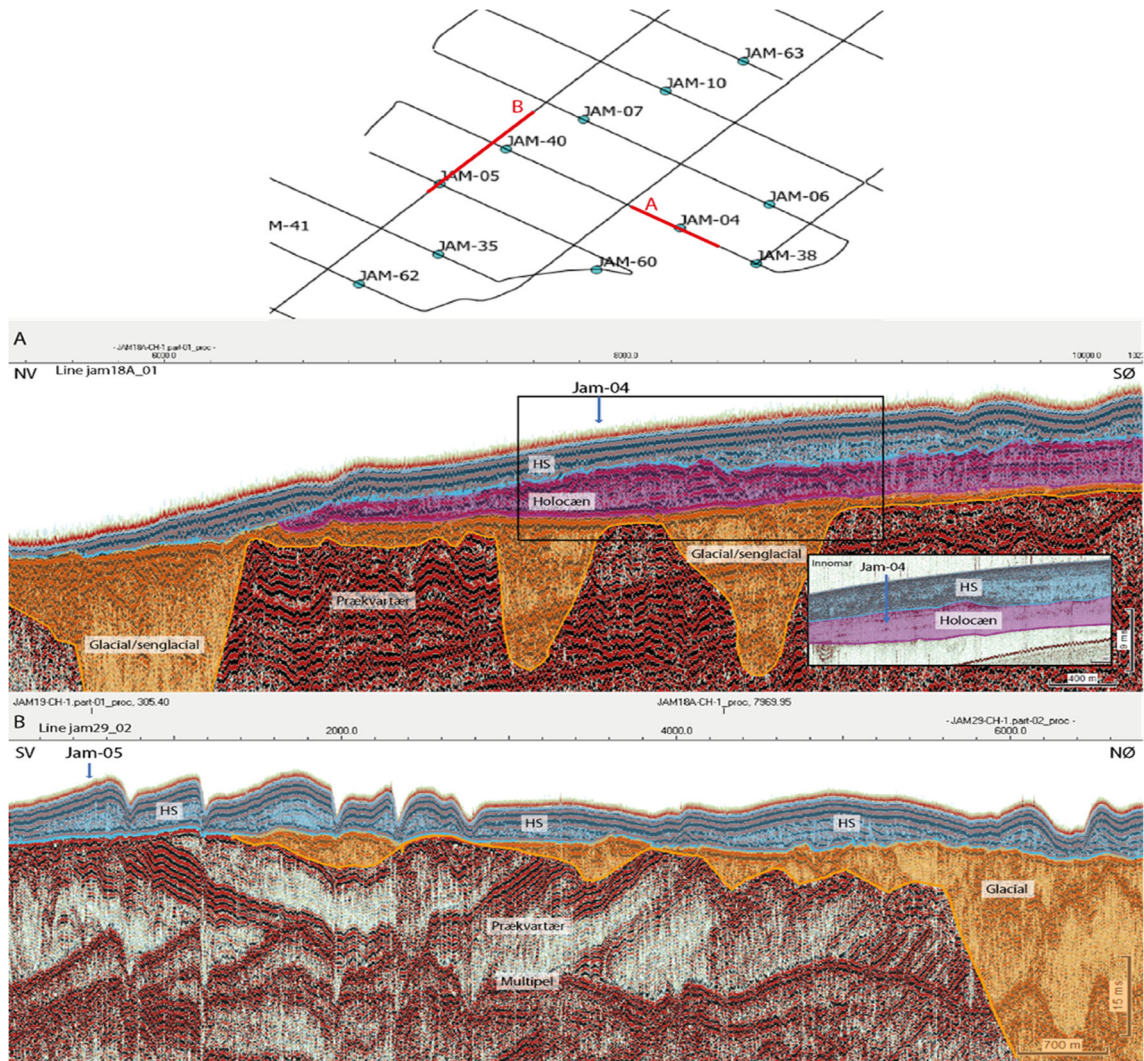
Ressourcerne klassificeres som holocæne marine dynamiske aflejringer. Sandkvaliteten vurderes til at være Sand1 (fin-mellemkornet sand). Sikkerheden af 580-001 vurderes til at være sandsynlig grundet tættere liggende seismiske linjer, mens 580-005 vurderes til at være spekulativ grundet få seismiske linjer og ingen boringsdata.

Længere mod nord, i området 10-25 km nord for Hanstholm er der kortlagt to meget store holocæne marine ressourceenheder, 580-004 og 580-009 på 15-30 m vanddybde. Den sydlige del af Ressource 580-005 har præg af en longitudinal barreform tilsvarende ressourcerne i Område 1. Barreformen er forbundet med et større sandressourceområde, der fortsætter mod nordøst til den centrale del af Jammerbugt.

Ressourceforekomsterne er præget af store dynamiske bundformer med bølgelængder op til 1 km og en højde på ca. 5 m. Forekomsterne overlejrer prækvartære aflejringer, som

hovedsageligt består af Danién bryozokalk, ud for Hanstholm, og længere mod nord overlejrer forekomsterne en glacial-senglacial lagserie, se Figur 5.10B.

Ressourceforekomsterne klassificeres som holocæne marine dynamiske aflejringer. Sandkvaliteten vurderes til at være Sand1 (mellemkornet sand). Sikkerheden vurderes til at være spekulativ grundet få seismiske linjer og få boringsdata.



Figur 5.10 A: Sparkerprofil og detail Innomarprofil gennem Ressource 580-001 mod øst i Vigsø Bugt. Tolket bund af ressource er markeret med lyseblå linje. Herunder findes Holocæn siltet finsand. B: Sparkerprofil mod vest gennem længderetningen af Ressource 580-004 som viser sandryggen med pålejrede sandbølger der udgør ressourcen. Basis af ressourceenheden er også her markeret med lyseblå linje. Højtliggende prækvartær med skråstillede lag er påvist i området og ses på profilet.

5.2.1 Ressource 580-001

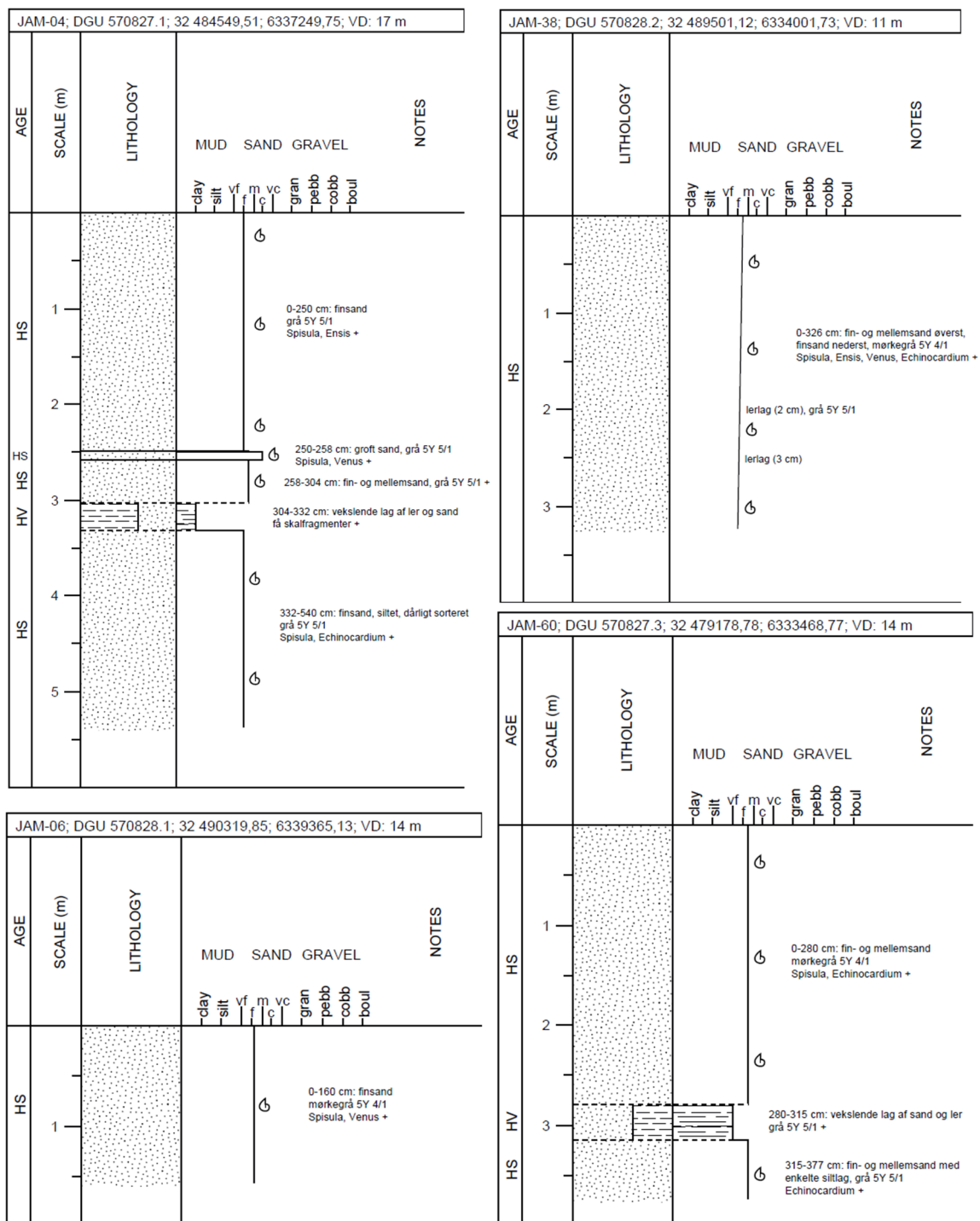
Ressource 580-001 er den mest kystnære af ressourcerne i Område 2. Den strækker sig fra Hanstholm i vest og langs Vigsø Bugt til Lild Strand i øst (Figur 5.9). Figur 5.10A viser en seismisk linje gennem ressourcen, som overlejrer Holocæn siltet finsand over tynde glaciale-senglaciale og prækvartære aflejringer, men hvor de glaciale-senglaciale sedimenter optræder i større mægtigheder i nedskårne dale i prækvartæroverfladen.

Der er i 2020 udført fire borer i ressourcen, se Figur 5.11. I boring 570827.1 (JAM-04) optræder 2,5 m fint sand over 0,1 m groft sand, 0,4 m fin- og mellemkornet sand, 0,3 m vekslende lag af ler og sand og 2,1 m siltet finsand.

I boring 570828.1 (JAM-06) optræder 1,6 m fint sand og i boring 570828.2 (JAM-38) optræder ca. 3,3 m fin- og mellemkornet sand (øverst) og finsand (nederst).

I boring 570827.3 (JAM-60) optræder 2,8 m fin- og mellemkornet sand over 0,35 m vekslende lag af ler og sand og 0,6 m fin- og mellemkornet sand med enkelte siltlag. Der er ikke udført kornstørrelsesanalyser af sandet i ressourcen.

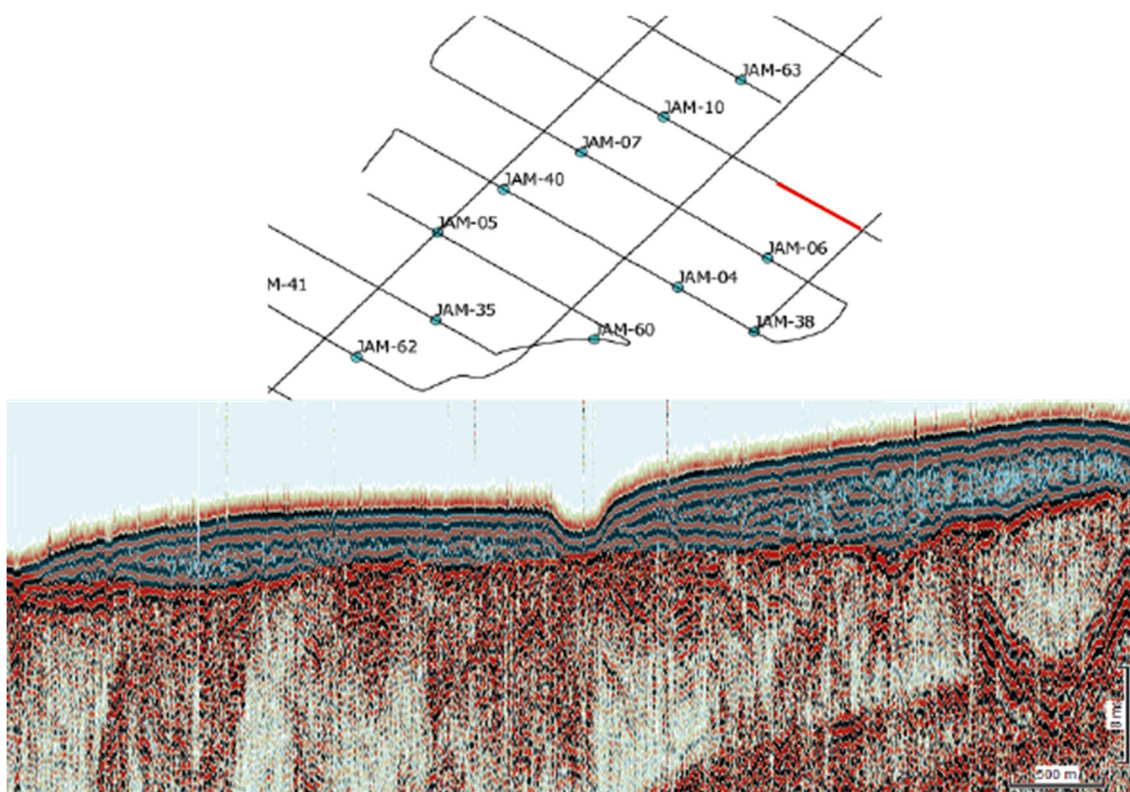
Ressourcen er klassificeret som en sandsynlig forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 7 m og et areal på ca. 144,3 km². Den eksisterende Ressource 580-001 i Marta databasen er blevet opdateret i forhold til den nye tolkning, men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.11. Litologisk log for borerne 570827.1 (JAM-04), 570828.1 (JAM-06), 570828.2 (JAM-38) og 570827.3 (JAM-60).

5.2.2 Ressource 580-005

Ressource 580-005 er den mindste af de kortlagte ressourcer i Område 2 og har en placering ca. 7 km nordvest for Lild Strand. Der er ikke udført borer i ressourcen. Et nordvest-sydøst vendt seismisk profil gennem ressourcen er præsenteret på Figur 5.12 og viser det holocæne sand som overlejrer glaciale/senglaciale aflejringer i nedskårne dale.



Figur 5.12 Sparkerprofil gennem Ressource 580-005 som viser det holocæne sand over glaciale aflejringer.

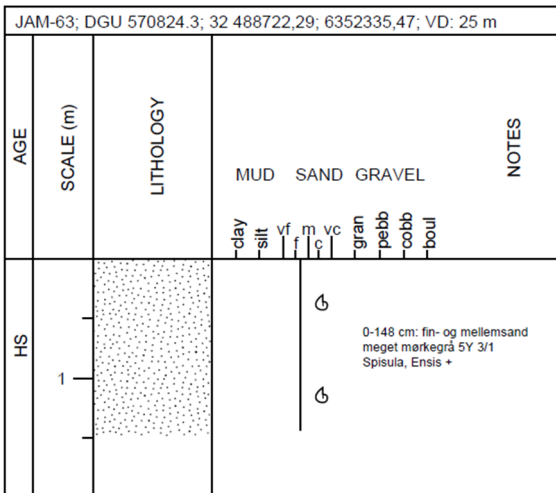
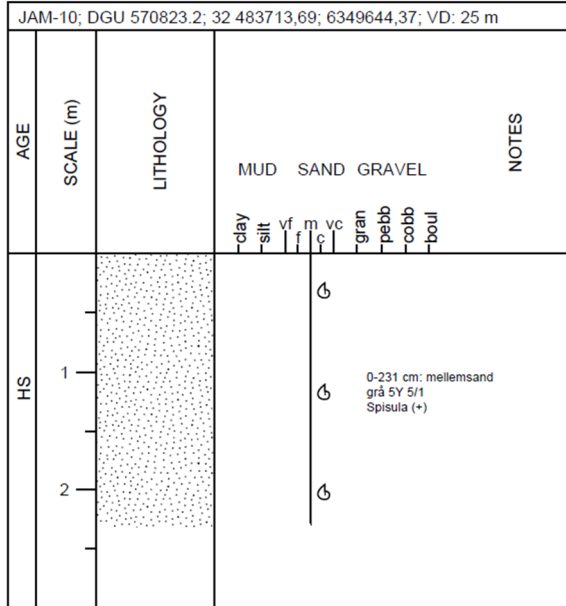
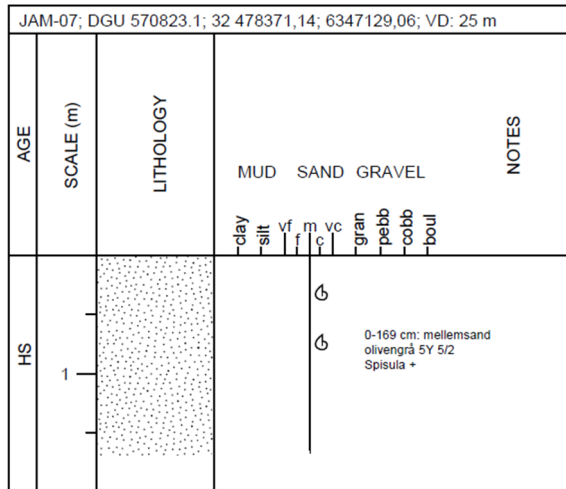
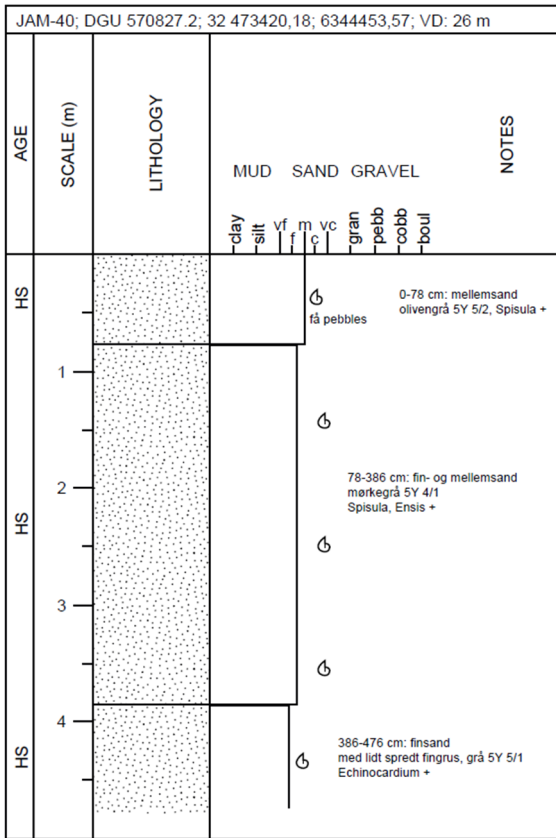
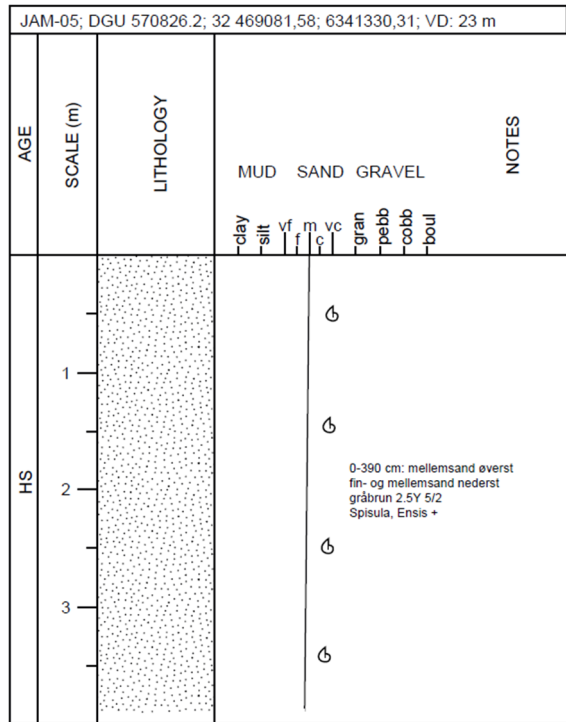
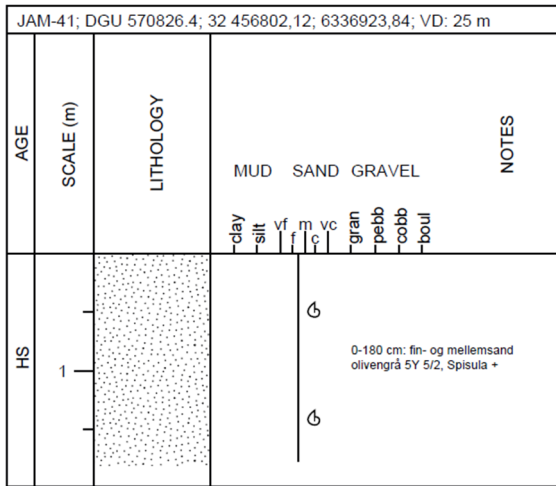
Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 6 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 32,11 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

5.2.3 Ressource 580-004

Ressource 580-004 er den arealmæssigt største ressource i Område 2 (Figur 5.9) med en beliggenhed ca. 10-25 km nord for Hanstholm på ca. 15-30 m vanddybde. Den sydlige del af ressourcen minder om barreformerne i Område 1 med longitudinale former, med en sydvestlig-nordøstlig orientering, mens ressourcen bliver bredere mod nord. Hele barreformen er forbundet med et større sandressourceområde, der fortsætter mod nordøst til den centrale del af Jammerbugt.

Ressourcen ses på et langsgående sparkerprofil på Figur 5.10B, der viser sandryggen med pålejrede sandbølger som udgør ressourcen. Det ses også hvordan det holocæne sand overligger skråstillede prækvartære aflejringer mod sydvest, formentlig Danien bryozokalk, og glaciale aflejringer i en nedskåret dal mod nordøst.

Der er i 2020 udført 6 nye borer i ressourcen (Figur 5.13).



Figur 5.13 Litologisk log for borerne 570826.4 (JAM-41), 570826.2 (JAM-05), 570827.2 (JAM-40), 570823.1 (JAM-07), 570824.3 (JAM-63) og 570823.2 (JAM-10).

Mod sydvest optræder i boring 570826.4 (JAM-41) 1,8 m fin- og mellemkornet sand og i boring 570826.2 (JAM-05) 3,9 m mellemkornet sand (øverst) og fin- og mellemkornet sand (nederst).

Mere centralt optræder i boring 570827.2 (JAM-40) 0,8 m mellemkornet sand over 3,1 m fin- og mellemkornet sand og 0,9 m finsand og i boring 570823.1 (JAM-07) 1,7 m mellemkornet sand.

Mod nordøst optræder i boring 570824.3 (JAM-10) 2,3 m mellemkornet sand og i boring 570823.2 (JAM-63) 1,5 m fin- og mellemkornet sand.

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i tre af borerne og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.3 består materialet overvejende af sorteret mellemkornet sand.

Tabel 5.3 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-004.

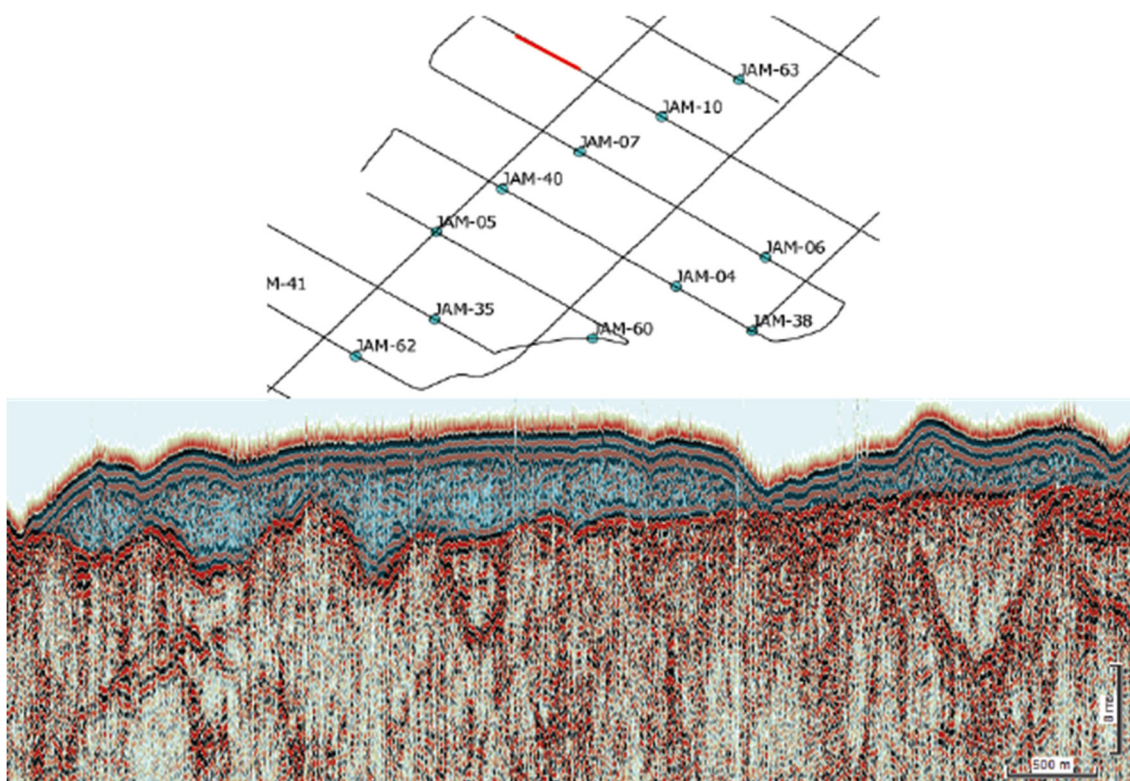
Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570826.2	0-390	1	15	69	9	6	0,31	2,05
570827.2	0-78	1	14	64	15	6	0,32	2,11
	100-300	1	34	56	8	0	0,28	2,19
570826.4	0-180	1	34	57	8	0	0,28	2,18

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med baggrund i den ringe dækning med seismiske data og antallet af borer og analyser i forhold til ressourcens areal. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 305,2 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort. Den maksimale tykkelse vurderes at være op til 8 m.

5.2.4 Ressource 580-009

Ressource 580-009 er den nordvestligste og fjerde ressource i Område 2 med en beliggenhed ca. 20-25 km fra Hanstholm på ca. 15-30 m vanddybde. Ligesom Ressource 580-004 er ressourcen præget af store dynamiske bundformer med bølgelængder op til 1 km og en højde på ca. 5 m. Ressourcen overlejrer prækvartære aflejringer og glaciale-senglaciale sedimenter i udfyldte nedskæringer i prækvartæroverfladen, se Figur 5.14. Der er ikke udført borer i ressourcen.

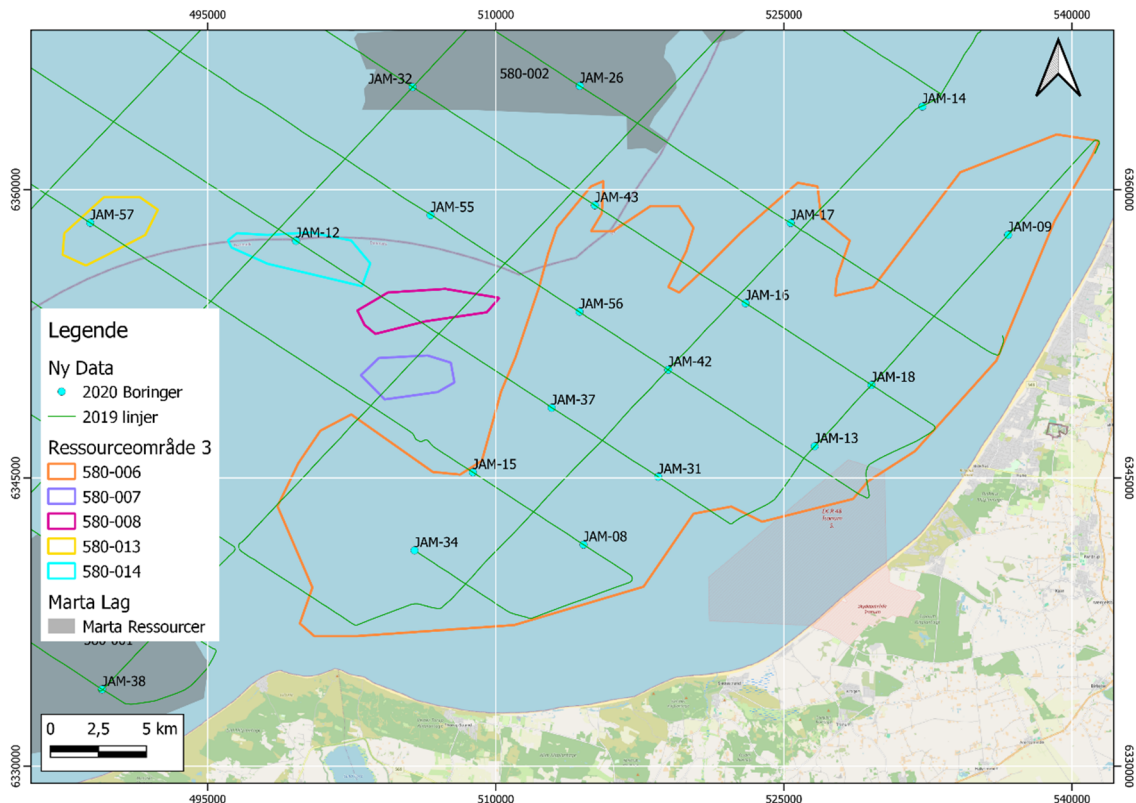
Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 6 m på de nye seismiske profiler. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 74,3 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.14 Nordvest-sydøst gående sparkerprofil gennem Ressource 580-009. ressourcen er markeret med blå

5.3 Område 3

Område 3 dækker et stort område i indre og ydre Jammerbugt nordøst for Område 2 (Figur 5.15). Der er kortlagt én meget stor og to mindre ressourcer i indre Jammerbugt (Ressource 580-006, 580-007 og 580-008) og to mindre ressourcer i ydre Jammerbugt (Ressource 580-013 og 580-014). Datatætheden er meget lav og der er ikke tidligere kortlagt ressourcer i området.

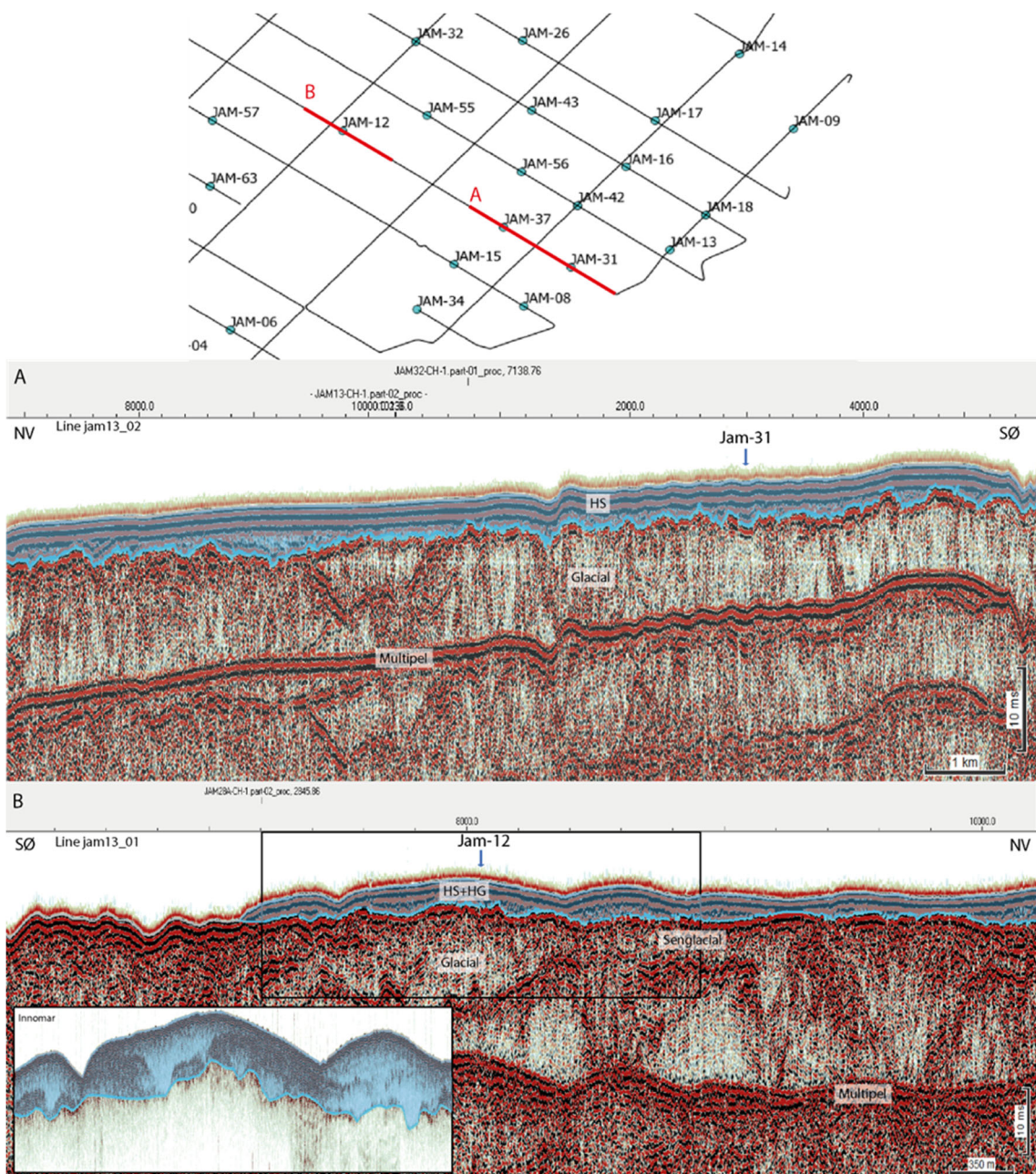


Figur 5.15 Kortlagte ressourcer i Område 3 i indre og ydre Jammerbugt sammen med 2020 boringer, 2019 seismiklinjer, eksisterende arkivboringer i Marta og tidligere kortlagte ressourcer.

Den store Ressource 580-006 er beliggende på 8-20 m vanddybde. De marine aflejringer består af en serie sammensatte kileformede underenheder domineret af finkornet sand. Stedvist ses enhederne at være opbygget af udbyggende skrålejringer. Mægtigheden af de marine aflejringer er 2-6 m. En markant erosionsgrænse adskiller de holocæne aflejringer fra underliggende glacial-senglaciale aflejringer (Figur 5.16). Mindre, dynamiske bundformer præger ressourceområdet. De nærliggende, men væsentlig mindre forekomster 580-007 og 580-008 er beliggende på ca. 20 m vanddybde og er af samme karakter, men er dog ikke bekræftet med boringsdata.

I ydre Jammerbugt på 20-25 m vanddybde er Ressource 580-013 kun identificeret på en enkel seismisk linje med udbyggende skrålejringer som indikerer større, formentlig subre-cente, vandrende bundformer der overlejrer glaciale-senglaciale aflejringer.

Ressource 580-14, også i ydre Jammerbugt, men længere mod øst, er identificeret på to seismiske linjer og kan ses på Figur 5.16.



Figur 5.16 A: Sparkerprofil mod sydøst gennem Ressourceområde 580-006 i Jammerbugten. Ressourcen er markeret med HS, bunden er markeret med lyseblå linje og herunder findes glaciale sedimenter. B: Sparkerprofil mod nordvest og detail Innomarprofil gennem Ressource 580-014 længere mod vest. Ressourcen er markeret med HS+HG, bunden er markeret med lyseblå linje og herunder findes glaciale og senglaciale aflejringer.

5.3.1 Ressource 580-006

Ressource 580-006 er den største i Område 3 og strækker sig 50 km fra Lild Strand til Løkken (Figur 5.15). Ressourcens sydøstlige afgrænsning følger kysten i en afstand af 2-6 km og ressourcen strækker sig op til 25 km mod nordvest ud i Jammerbugt.

Der er udført 13 nye borer i ressourcen i 2020 og borerne mod sydvest, sydøst og nordøst viser alle finsand. Det drejer sig om borerne 570925.2 (JAM-34), 570925.1 (JAM-08), 570921.1 (JAM-15), 570926.1 (JAM-31), 570921.2 (JAM-37), 570922.1 (JAM-13), 570922.4 (JAM-18) og 570923.1 (JAM-09) der alle fremgår af Appendix B.

I de centrale nordvestlige dele af ressourcen viser borerne fin-mellemkornet sand. Det drejer sig om borerne 570922.5 (JAM-42), 570921.4 (JAM-56), 570922.2 (JAM-16), 570918.4 (JAM-43) og 570922.3 (JAM-17) som også fremgår af Appendix B.

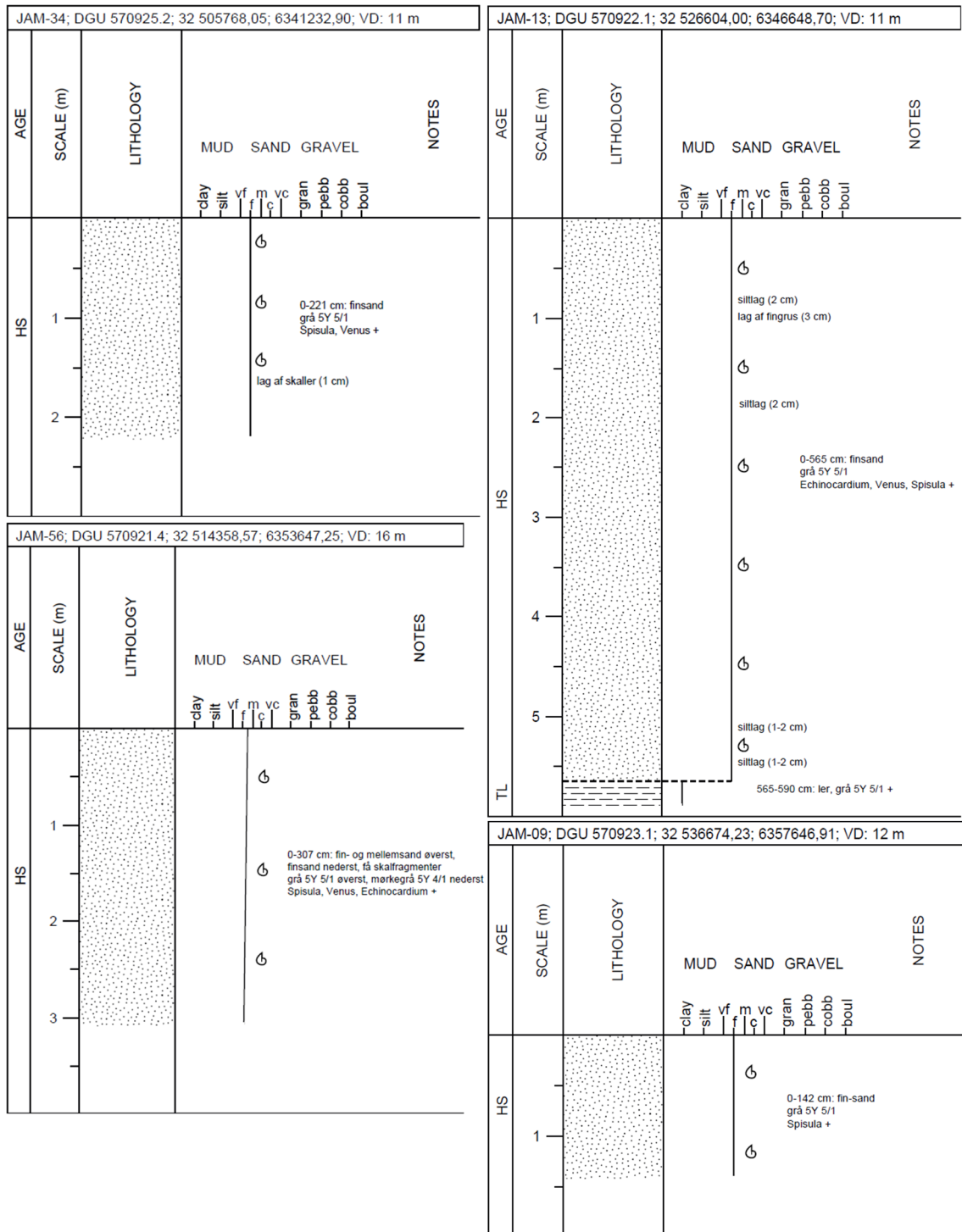
I Figur 5.17 er vist fire repræsentative borer. I boring 570925.2 (JAM-34) mod sydvest optræder 2,2 m finsand og i boring 570922.1 (JAM-13) mod sydøst optræder 5,65 m finsand med 2-3 cm silt og fingrus i toppen og 2-4 cm silt i bunden over 0,25 m ler. I boring 570921.4 (JAM-56) mod nordvest optræder 3 m fin-mellemkornet sand (øverst) og finsand (nederst), mens der i boring 570923.1 (JAM-09) mod nordøst optræder 1,4 m finsand.

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i to af borerne og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.4 består materialet overvejende af sorteret til velsorteret finsand.

Tabel 5.4 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-006.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570922.1	0-500	9	82	8	1	0	0,09	2,09
570921.4	0-300	3	96	1	0	0	0,09	1,16

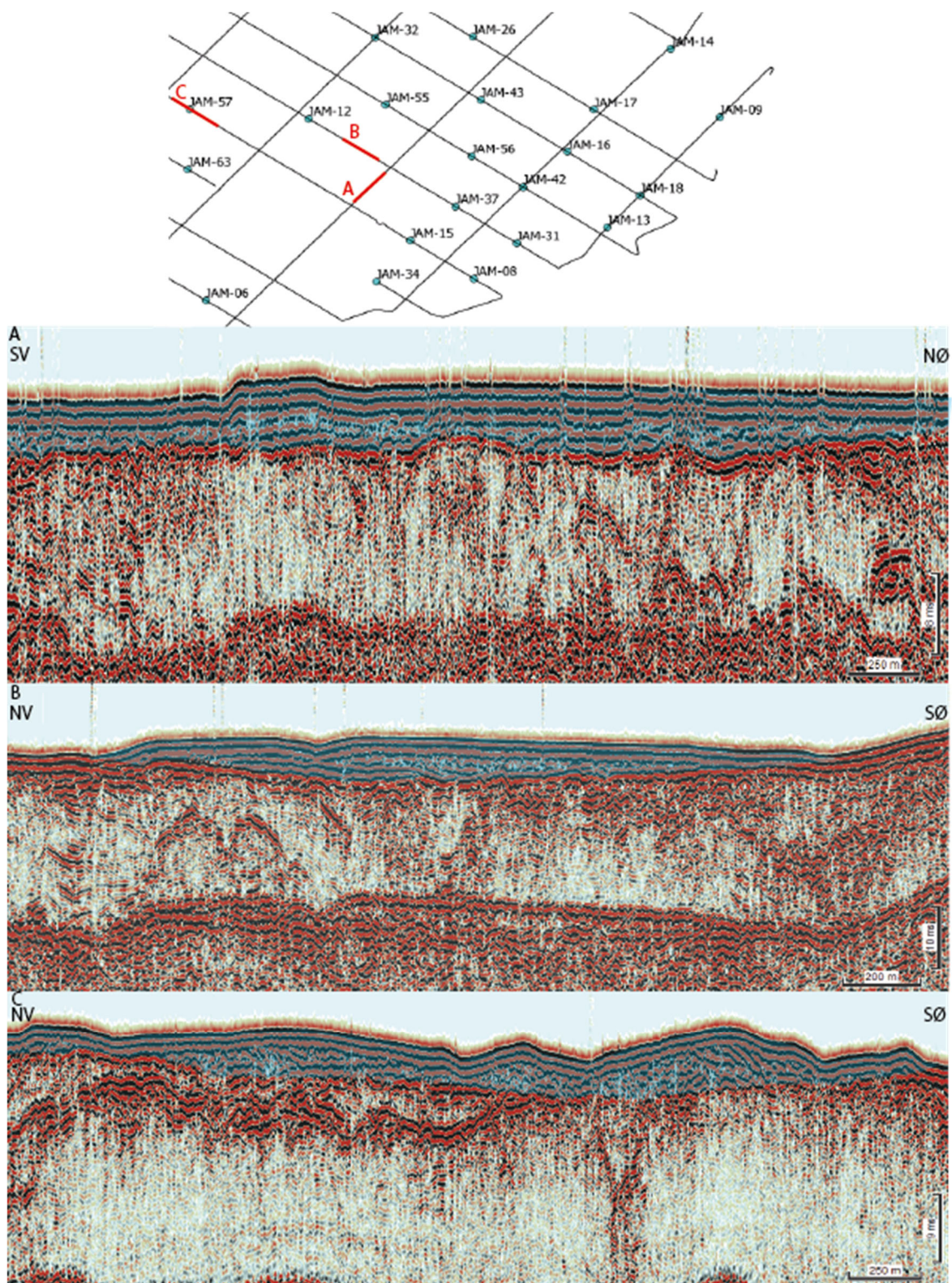
Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 7 m på de nye seismiske profiler. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 515,8 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.17 Litologiske logs for borerne 570925.2 (JAM-34), 570922.1 (JAM-13), 570921.4 (JAM-56 og 570923.1 (JAM-09).

5.3.2 Ressource 580-007

Ressource 580-007 er den mindste i Område 3 ca. 15 km nord for Lild Strand og er kun kortlagt på en enkelt seismisk linje (Figur 5.18). Der er ingen borer i ressourcen.



Figur 5.18 A: Sparkerprofil gennem Ressource 580-007. B: seismisk profil gennem 580-008. C: seismisk profil gennem 580-013. På alle profiler er ressourcerne markeret med blå.

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 4 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 8,1 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

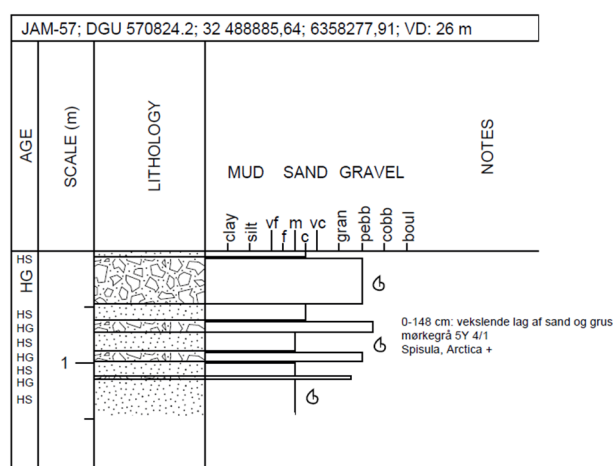
5.3.3 Ressource 580-008

Ressource 580-008 befinder sig ca. 20 km nord for Lild Strand og er kun kortlagt på to seismiske linjer (Figur 5.18). Der er ingen boringer i ressourcen.

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 3 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 10,2 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

5.3.4 Ressource 580-013

Ressource 580-013 ligger længst mod vest i Område 3 mere end 20 km nordvest for Lild Strand. Ressourcen er kortlagt på en enkelt seismisk linje og der er i 2020 udført en enkelt boring (Figur 5.19). Boring 570824.2 (JAM-57) viser 1,5 m vekslende decimetertykke grus- og sandlag. Det seismiske profil indikerer at der er tale om udbyggende skrålejninger, som afspejler større, formodet subrecente vandrende bundformer (Figur 5.18, profil C).



Figur 5.19 Litologisk log for boring 570824.2 (JAM-57).

Der er lavet kornstørrelsesanalyse i boringen og som det fremgår af resultatet i Tabel 5.5 består materialet overvejende af usorteret fingrus.

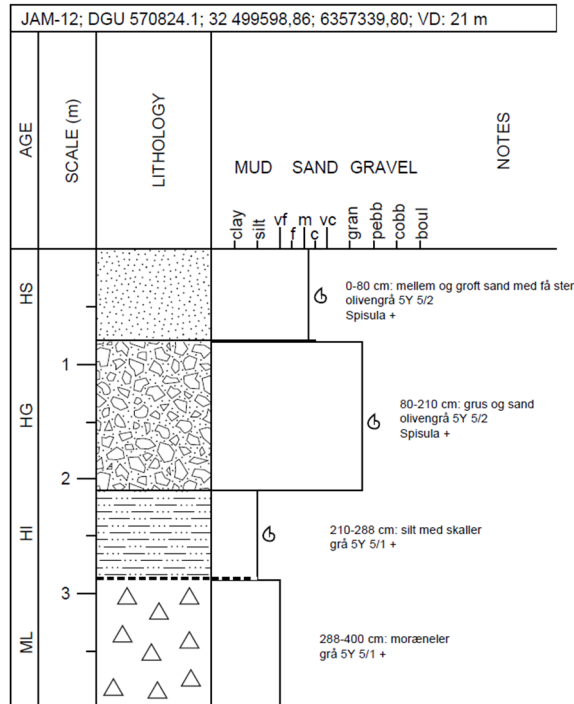
Tabel 5.5 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-013.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570824.2	0-100	0	25	16	6	53	2,72	64,94

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Grus 2 med en tykkelse på op til 3 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 10,9 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

5.3.5 Ressource 580-014

Ressource 580-014 ligger umiddelbart øst for Ressource 580-013, ca. 20 km nord for Lild Strand. Ressourcen er kortlagt på to seismiske linjer og der er i 2020 udført en enkelt boring (Figur 5.20). Boring 570824.1 (JAM-12) viser 0,8 m mellemkornet-groft sand med få sten over 1,3 m grus og sand, 0,8 m silt og 1,1 m moræneler.



Figur 5.20 Litologisk log for boring 570824.1 (JAM-12).

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i boringen og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.6 består materialet i grusenheden overvejende af ringe sorteret groft grus. En petrografisk analyse af materialet viser et indhold af porøs flint på 0,7%.

Tabel 5.6 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-014.

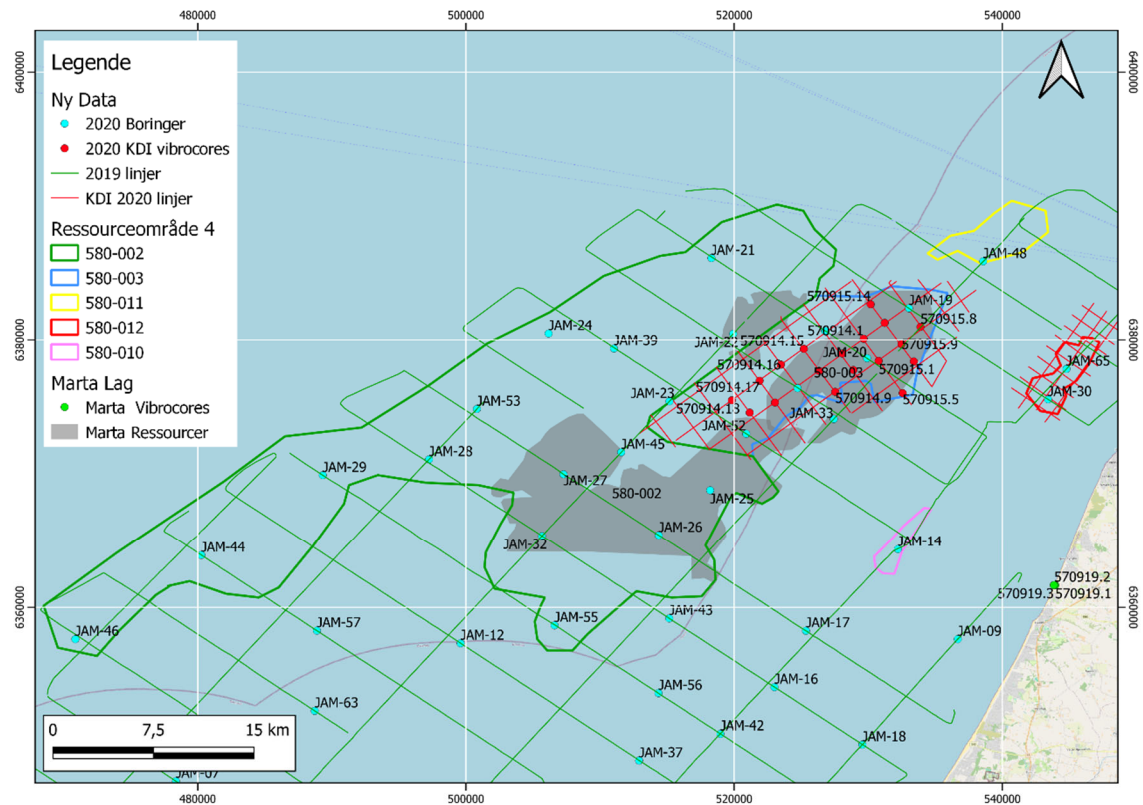
Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570824.1	0-80	1	6	66	23	4	0,33	1,38
	80-200	0	5	20	13	62	6,50	38,69

På Figur 5.16 viser profil B en seismisk linje gennem Ressource 580-014.

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Ral 3 der formentlig udgør en marin fossil kystdannelse. Den samlede tykkelse af ressourcen er op til 3 m, men den øverste del består af mellemkornet-groft holocæn marin dynamisk sand. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 12,3 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.

5.4 Område 4

Område 4 dækker et meget stort område vest for Løkken og Hirtshals og i ydre Jammerbugt nord for Område 3 (Figur 5.21). Der er kortlagt én meget stor ressource i ydre Jammerbugt (Ressource 580-002) og en noget mindre ressource umiddelbart øst for denne (Ressource 580-003) samt tre relativt små og mere kystnære ressourcer (Ressource 580-010, 580-011 og 580-012). Datatætheden er meget varierende i området og der er tidligere kortlagt to ressourcer som er retolket på baggrund af de nye data.



Figur 5.21 Kortlagte ressourcer i Område 4 vest for Løkken og Hirtshals og i ydre Jammerbugt sammen med 2020 borer, 2019 seismiklinjer, eksisterende arkivboringer i Marta og tidligere kortlagte ressourcer.

5.4.1 Ressource 580-002

I den ydre Jammerbugt, fra vest for Løkken og Hirtshals til nord for Hanstholm, er der kortlagt en stor Holocæn marin ressource på 17-40 m vanddybde. Ressourceenheden består af yngre Holocæn marint sand (fint-mellemkornet, og stedvist groft), som med tiltagende vanddybde mod nordvest og nordøst overlejrer en nordværts kliniform udbyggende lagserie af ældre holocænt fint til meget fint sand med et vist siltindhold. Store dynamiske, mod nordøst vandrende bundformer med en højde på op til 5 m dominerer overfladen. Kun den øvre holocæne sandenhed er klassificeret som en ressourceenhed.

Under den holocæne lagserie ses overfladen af glaciale-senglaciale aflejringer at dykke mod nordvest og nordøst, samtidigt med at den holocæne lagserie tiltager i mægtighed med flere meter (Figur 5.23. De yngre marine aflejringer (ressourceforekomsten) består af en serie

sammensatte kileformede underenheder, som stedvist ses at være opbygget af udbyggende skrålejringer.

Der er udført 16 nye borer i ressourcen i 2020 som overvejende viser fin-mellemkornet sand med enkelte indslag af grovere sand. Det drejer sig om boring 570823.3 (JAM-46), 570819.1 (JAM-44), 570820.2 (JAM-29), 570820.1 (JAM-28) og 570913.3 mod sydvest, boring 570913.1 (JAM-24), 570913.2 (JAM-39), 570914.4 (JAM-22) og 570914.3 (JAM-21) mod nordøst og boring 570917.14 (JAM-45), 570917.15 (JAM-27), 570918.3 (JAM-25), 570917.13 (JAM-32), 570917.12 (JAM-26) og 570921.3 (JAM-55) mod sydøst der alle fremgår af Appendix B.

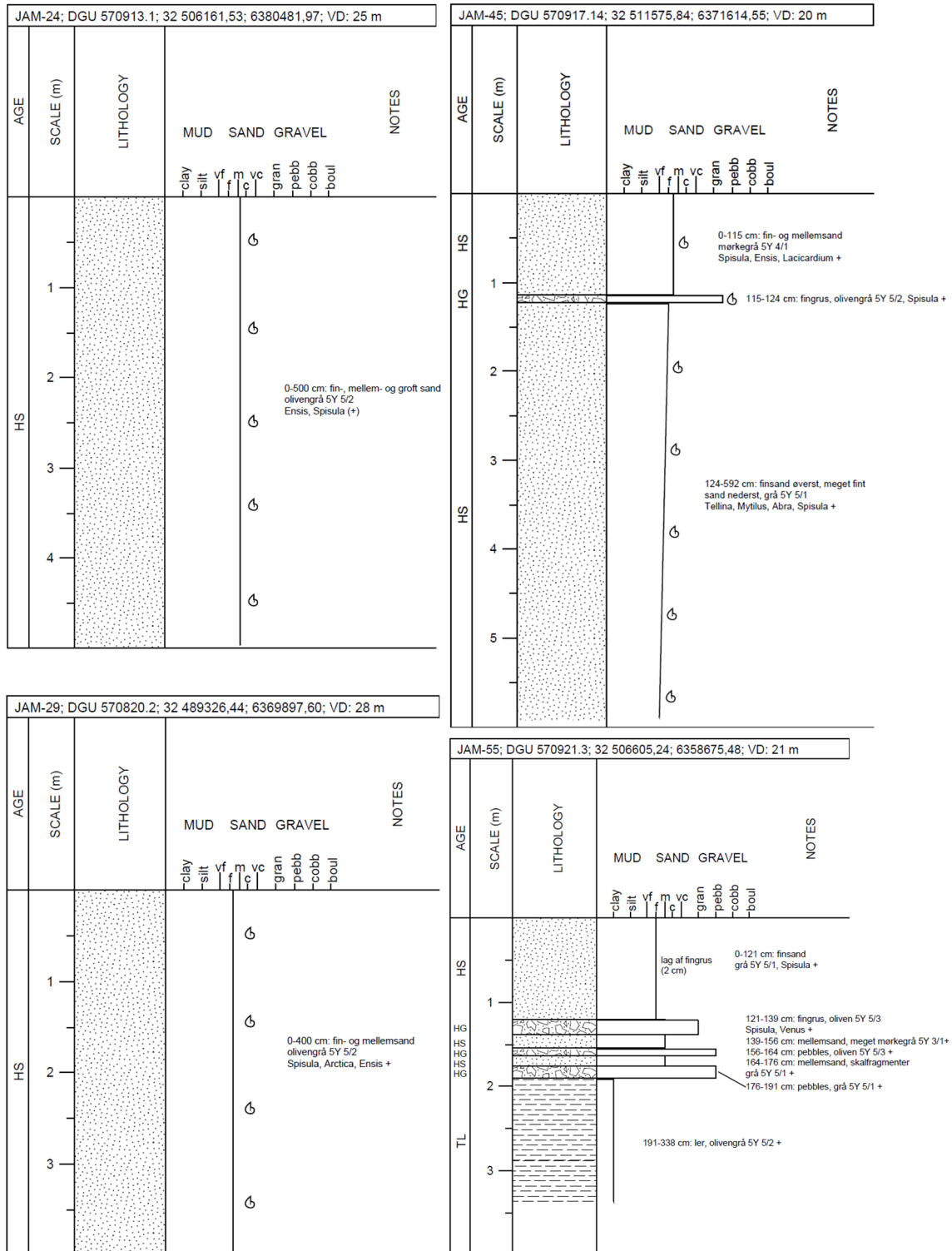
I Figur 5.22 er vist fire udvalgte borer i Ressource 580-002. I boring 570913.1 (JAM-24) mod nord optræder 5 m fin-mellemkornet og groft sand og i boring 570820.2 (JAM-29) mod sydvest optræder 4 m fin-mellemkornet sand. I boring 570917.14 (JAM-45) centralt i ressourcen optræder 1,15 m fin-mellemkornet sand over 0,1 m fingrus og 4,7 m fint og meget fint sand og i boring 570921.3 mod syd optræder 1,2 m fint sand over 0,7 m vekslende lag af sand og grus og 1,5 m ler.

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i 11 af borerne og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.7 består materialet overvejende af sorteret til velsorteret fin-mellemkornet sand og et indhold af groft sand i nogle af borerne.

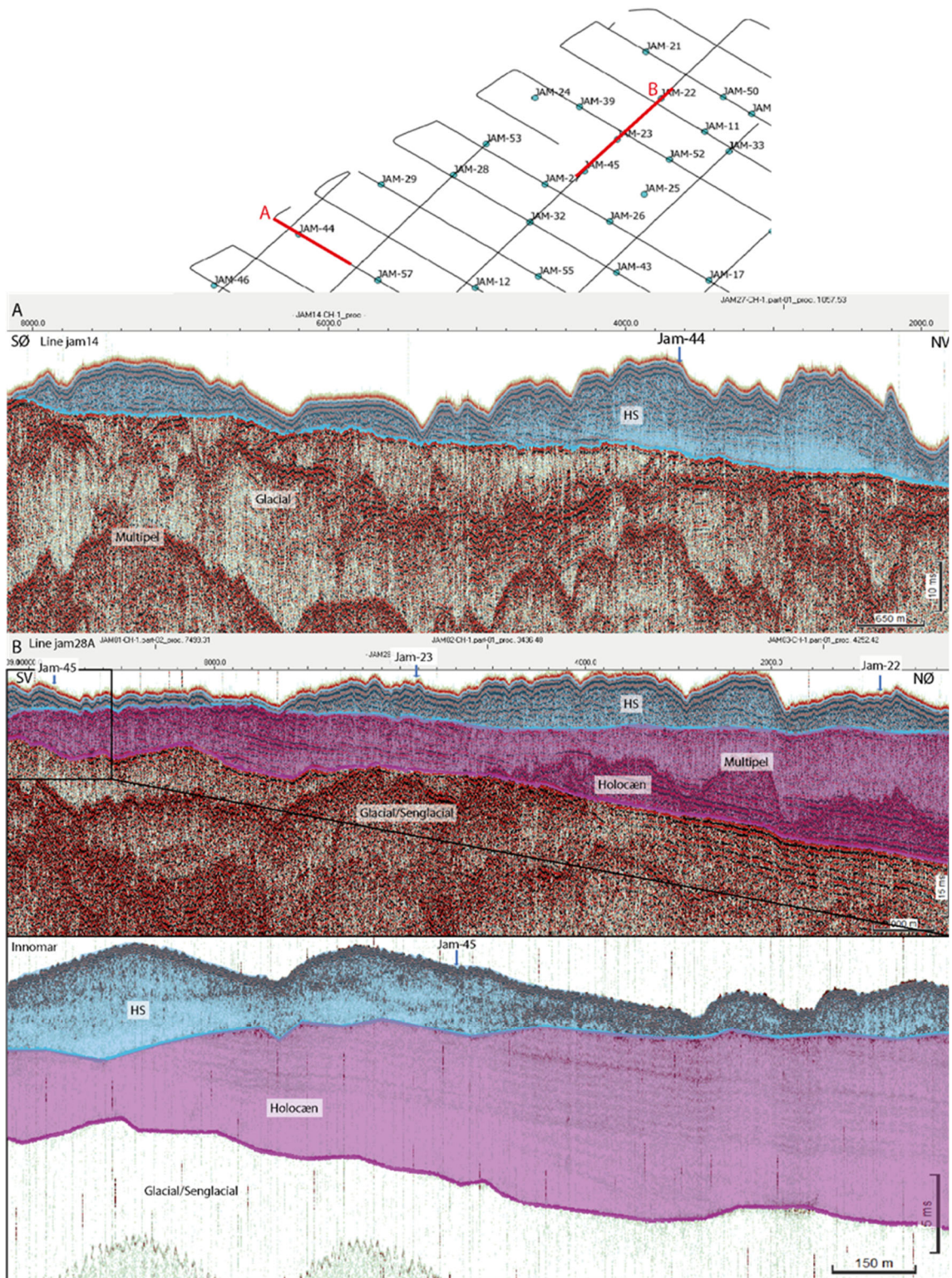
Tabel 5.7 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-002.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570823.3	0-200	1	50	45	3	1	0,18	2,03
570819.1	0-100	1	57	41	1	0	0,17	1,93
570820.2	0-400	2	67	30	1	0	0,16	1,35
570820.1	0-200	1	34	56	8	1	0,28	2,21
570913.1	0-500	1	12	68	17	2	0,32	2,05
570914.3	0-200	1	66	30	3	0	0,16	1,98
570921.3	0-120	4	91	4	1	0	0,14	1,89
570917.13	0-100	1	13	71	10	5	0,31	1,98
570914.5	0-150	1	47	46	6	0	0,26	2,14
570914.4	0-70	1	40	55	4	0	0,27	2,17
570913.2	0-425	1	5	76	15	3	0,32	1,31

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 12 m og et areal på ca. 696,9 km². Den eksisterende Ressource 580-002 i Marta databasen er blevet opdateret, og væsentligt udvidet på baggrund af den nye tolkning, men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.22 3 Litologiske logs for boring 570913.1 (JAM-24), 570820.2 (JAM-29), 570917.14 (JAM-45) og 570921.3 (JAM-55).



Figur 5.23 A: Sparkerprofil gennem den sydlige del af Ressource 580-002 i Jammerbugten. Ressourcen er markeret med HS, bunden er markeret med lyseblå linje og herunder findes glaciale sedimenter. Sandbølger giver ophav til skrålejninger i den øvre del af enheden ved boring Jam-44. B: Sparkerprofil, og herunder detailprofil af Innomar data, gennem ressourcen mod nord på grænsen til Ressource 580-003. Basis af ressourcen er markeret med lyseblå linje og ressourcen overligger her finkornede holoceæne sedimenter.

5.4.2 Ressource 580-003

Ressource 580-003 støder direkte op til Ressource 580-002 øst for denne og har også de samme karakteristika. Datatætheden er større for denne ressource da et seismisk datasæt indsamlet for Kystdirektoratet i 2020 dækker ressourcen udover de nye data Miljøstyrelsen har indsamlet i 2019. Der er også i 2020 udført 18 vibrocore borer for Kystdirektorat udover fem nye borer Miljøstyrelsen har udført i 2020.

Der er som nævnt udført fem borer i 2020 (Figur 5.24). I boring 570914.1 (JAM-11) optræder 2,25 m fin-mellemkornet sand og i boring 570915.1 (JAM-19) optræder 1,2 m finsand. I boring 570914.2 (JAM-20) optræder 3 m finsand med lidt mellemkornet sand og 0,2 m groft sand i en dybde af ca. 1,5 m. I boring 570914.7 (JAM-50) optræder 0,7 m fint, mellemkornet og groft sand og i boring 570918.5 (JAM-52) optræder 0,35 m fin-mellemkornet sand over 0,9 m finsand og 0,6 m fin-mellemkornet sand.

De fem borer underbygger sammen med borerne udført for Kystdirektoratet at den øvre holocæne sandenhed ofte er todelt og består af en øvre mellemkornet sandenhed på 0.5-2 m, der overlejrer siltet finkornet sand. Store sandbølger ses på overfladen.

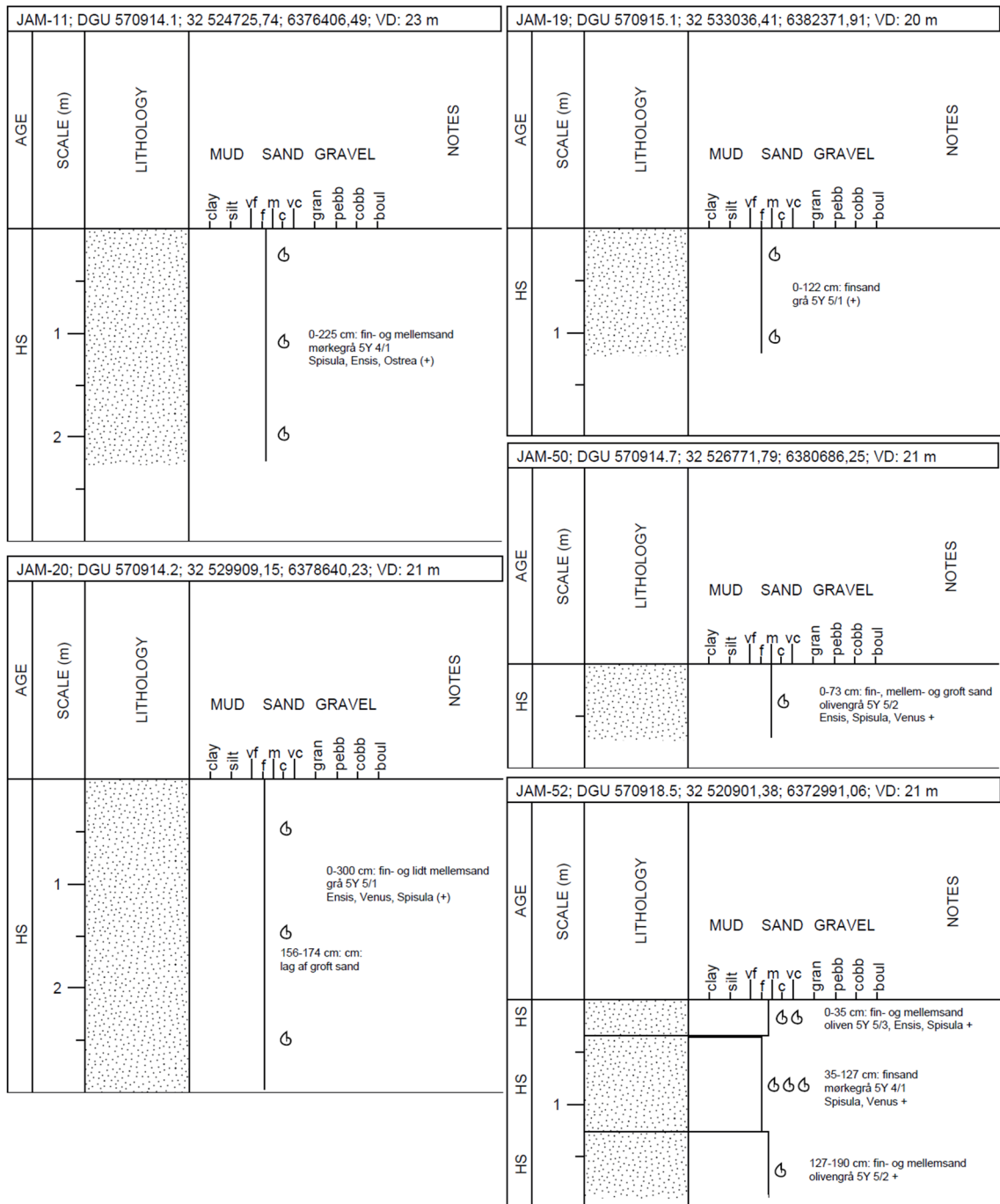
Der er lavet kornstørrelsesanalyser i boringen og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.8 består materialet overvejende af sorteret til velsorteret fin-mellemkornet sand.

En petrografisk analyse af materialet i boring 570914.7 (JAM-50) viser et indhold af porøs flint på 0,3%.

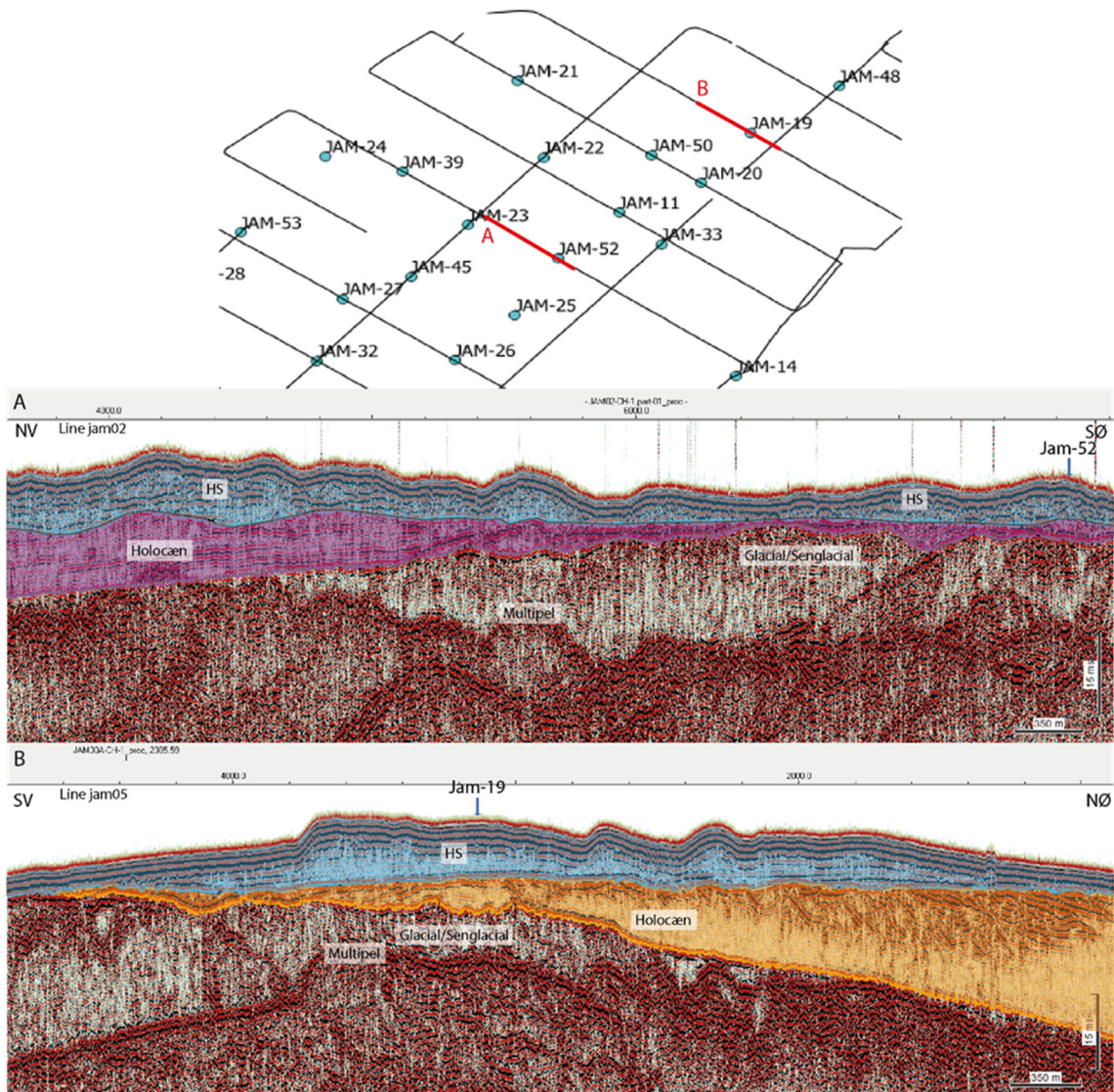
Tabel 5.8 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-003.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570914.1	0-200	1	78	20	1	0	0,16	1,31
570915.1	0-122	1	91	8	0	0	0,15	1,26
570914.2	0-300	3	79	15	2	1	0,15	1,94
570914.7	0-70	0	16	63	15	6	0,31	2,14
570918.5	0-35	1	34	60	3	2	0,28	2,18

Ressourcen er klassificeret som en sandsynlig forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 10 m og et areal på ca. 137,6 km². Den eksisterende Ressource 580-003 i Marta databasen er blevet opdateret og udvidet i forhold til den nye tolkning, men grundet den relativt ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



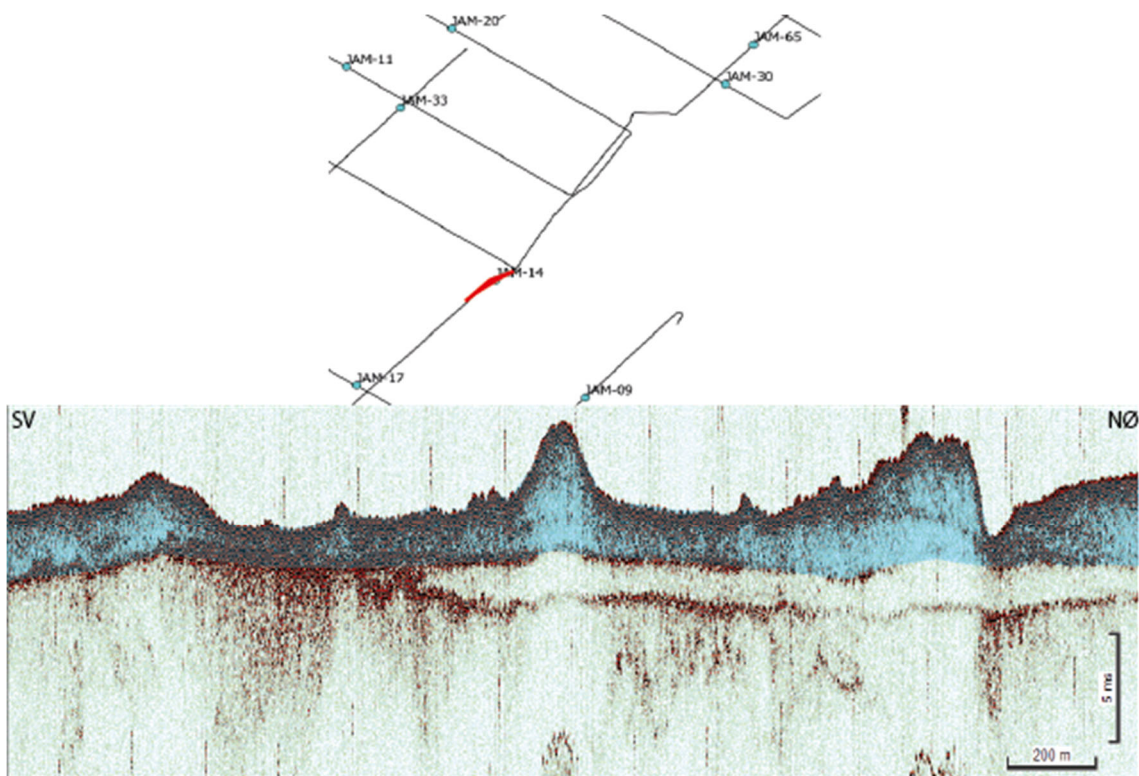
Figur 5.24 Litologiske logs for boring 570914.1 (JAM-11), 570915.1 (JAM-19), 570914.2 (JAM-20), 570914.7 (JAM-50) og 570918.5 (JAM-52).



Figur 5.25 A: Sparkerprofil gennem den sydvestlige del Ressource 580-003 i Jammerbugten. Ressourcen er markeret med HS, bunden er markeret med lyseblå linje og herunder findes ældre holocæne aflejringer over glaciale/senglaciale sedimenter. Der ses store sandbølger i toppen af ressourcen. B: Sparkerprofil gennem den nordøstlige del, hvor ældre holocæne skråtstillede og formodet finkornede aflejringer ses under ressourcen som udbygning over den glaciale-senglaciale overflade.

5.4.3 Ressource 580-010

Ressource 580-010 ligger relativt kystnært, lidt mere end 10 km nordvest for Løkken og er kortlagt som en enhed af holocænt marint finkornet sand i et område i den nordlige del af Jammerbugt som ellers er domineret af erosionsbund. Overfladen af ressourcen er således præget af store vandrende bundformer og der ses subenheder med interne klinformer i de seismiske profiler (Figur 5.26).



Figur 5.26: Innomar profil gennem ressource 580-010, der viser de vandrende bundformer. Ressourcen er markeret med lyseblå.

Der er i 2020 udført en ny boring i området (Figur 5.27). I boring 570919.4 (JAM-14) optræder 1,1 m fin-mellemkornet sand.

JAM-14; DGU 570919.4; 32 532210,87; 6364322,77; VD: 17 m						
AGE	SCALE (m)	LITHOLOGY	MUD SAND GRAVEL			NOTES
			clay silt	vf f m c	vc gran pebb cobb bout	
HS	1	•••••			G	0-110 cm: fin- og mellemsand grå 5Y 5/1 Venus, Spisula +

Figur 5.27: Litologisk log for boring 570919.4 (JAM-14).

Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 3 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 6,6 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelses-kort.

5.4.4 Ressource 580-011

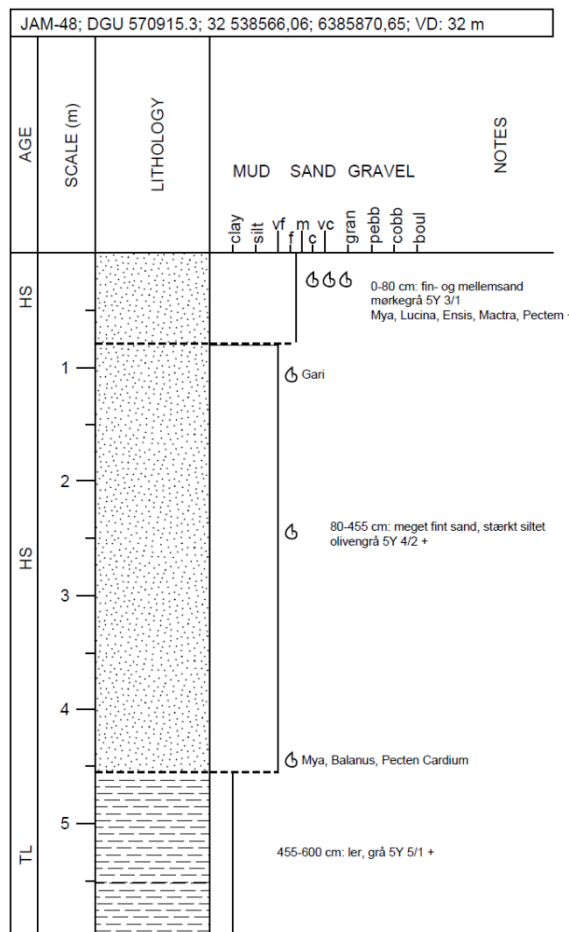
Ressource 580-011 er den nordligste i Område 4 med en beliggenhed ca. 20 km vest for Hirtshals. Ressourcen ligger på en skråning på 30-40 m vanddybde og består af yngre holocæne marine aflejringer. Herunder ses en kile af ældre holocænt, siltet meget finkornet sand, som overlejrer sen-glaciale og glaciæle aflejringer, se Figur 5.30. Overfladen af ressourcen er præget af større nordøstværts vandrende sandbølger med pålejrede sandribber.

Der er i 2020 udført en ny boring i området (Figur 5.28). I boring 570915.3 (JAM-48) optræder 0,8 m fin-mellemkornet sand over 3,75 m meget fint siltet sand som igen overlejrer 1,45 m ler.

Der er lavet kornstørrelsesanalyse i boringen og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.9 består materialet overvejende af ringe sorteret mellemkornet sand.

Tabel 5.9 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-011.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570915.3	0-80	3	37	48	10	2	0,27	3,73



Figur 5.28: Litologisk log for boring 570915.3 (JAM-48).

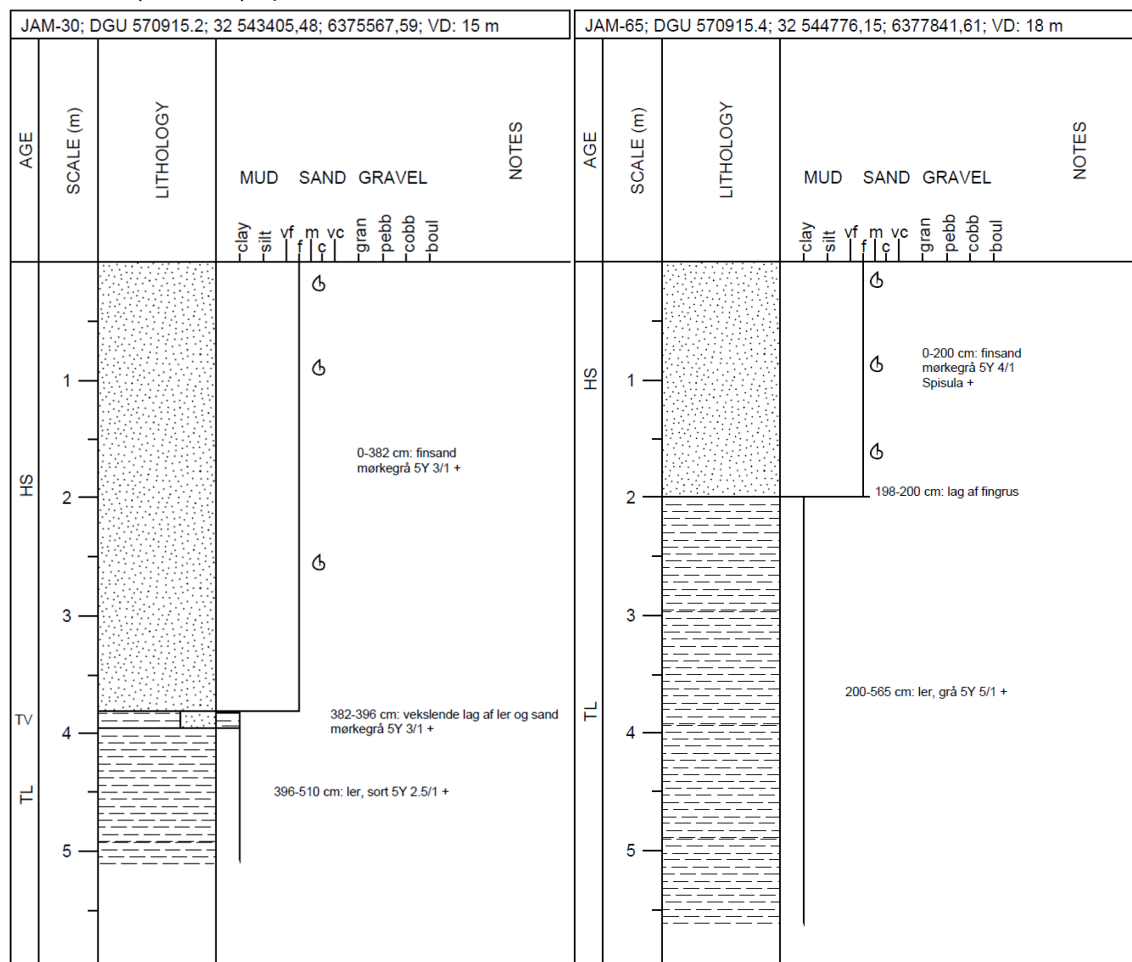
Ressourcen er klassificeret som en spekulativ forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 7 m. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 21,5 km², men grundet den ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelses-kort.

5.4.5 Ressource 580-012

Ressource 580-012 har en mere kystnær beliggenhed lidt mere end 5 km nordvest for Lønstrup og består af holocænt marint finkornet sand. Datatætheden er større for denne ressource da et seismisk datasæt indsamlet for Kystdirektoratet i 2020 dækker ressourcen udover de nye data Miljøstyrelsen har indsamlet i 2019.

I Figur 5.30 er vist et Innomarprofil gennem Ressource 580-012, hvor der ses interne klinoforme strukturer i flere underenheder.

Der er i 2020 udført to nye borer i ressourcen (Figur 5.29). I boring 570915.2 (JAM-30) optræder 3,8 m finsand over 0,1 m vekslede lag af ler og sand og 1,1 m ler. I boring 570915.4 (JAM-65) optræder 2 m finsand over 3,6 m ler.



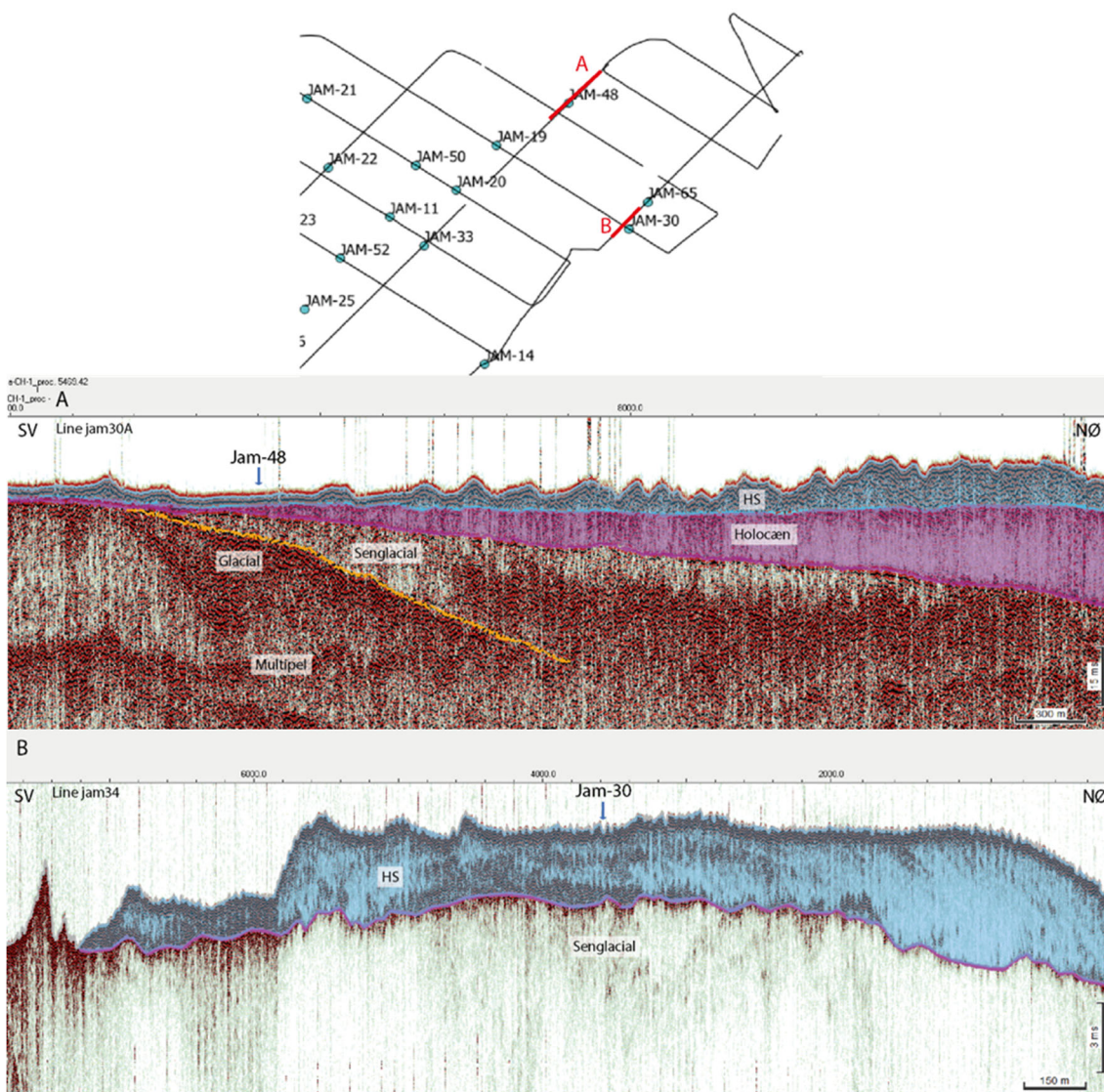
Figur 5.29 Litologisk log for boring 570915.2 (JAM30) og 570915.4 (JAM-65).

Der er lavet kornstørrelsesanalyser i begge borer og som det fremgår af resultaterne i Tabel 5.10 består materialet overvejende af velsorteret finkornet sand.

Tabel 5.10 Kornstørrelsesanalyser i Ressource 580-012.

Boring	Interval (cm)	Silt og ler (%)	Finsand (%)	Mellem-sand (%)	Grov-sand (%)	Grus (%)	D ₅₀ (mm)	U (D ₆₀ /D ₁₀)
570915.2	0-350	4	92	3	1	0	0,09	1,68
570915.4	0-200	6	93	1	0	0	0,08	1,14

Ressourcen er klassificeret som en sandsynlig forekomst af Holocæn marin dynamisk Sand 1 med en tykkelse på op til 4. Der er oprettet en ny ressource i Marta databasen med et areal på ca. 13,3 km², men grundet den relativt ringe datatæthed er der ikke fremstillet et tykkelseskort.



Figur 5.30 A: Sparker profil gennem Ressource 580-011 som er markeret med HS. Under ressourcen ses en kile af ældre holocæne finkornede aflejringer som overlejrer senglaciale og glaciale sedimenter. B: Innomarprofil gennem Ressource 580-012 som er angivet med HS og som overlejrer senglaciale sedimenter. Internt i ressourcen ses skrålejringer i flere underenheder.

6. Ressourceopgørelse

I forbindelse med Miljøstyrelsens råstofkortlægning i Nordsøen i 2019 og 2020 har tolkning af seismik og boringsdata klarlagt at potentielle sandede råstoffer af Holocæn alder kan findes over store dele af Jammerbugt undersøgelsesområdet. Dog findes i den centrale del af Jammerbugt og i et større område ud for Løkken og Lønstrup hovedsageligt erosionsbund, præget af blottede glaciale-senglaciale stenførende aflejringer.

Der er kortlagt i alt 18 ressourcer, hvoraf 15 er nye og er blevet tilføjet ressourcelaget i Marta databasen, mens tre eksisterende ressourcer i Marta databasen (580-001, 580-002 og 580-003) er blevet opdateret på baggrund af modifikationer af tolkningen af udbredelse og klassifikation baseret på de nye data og den nye kortlægning.

De kortlagte ressourcer er domineret af fin-mellemkornet sand, men der ses flere steder en tendens til, at de øvre 1-2 m af sandforekomsterne er mere grovkornede.

Enkelte grus- og ralforekomster er påvist i boringer i den centrale del af Jammerbugt, hvor glaciale-senglaciale stenførende aflejringer uden ressourceværdi ellers dominerer.

De fleste af de kortlagte ressourcer må betegnes som spekulative forekomster grundet den generelt ringe dækning med seismiske data. Der er således kortlagt 15 spekulative og tre sandsynlige (580-001, 580-003 og 580-012) ressourcer. Der er ikke udarbejdet tykkelseskort og beregnet volumen for ressourcerne på grund af den relativt tynde datadækning. Af de kortlagte ressourcer er 16 tolket til at bestå af råstoftype Sand 1, mens en er tolket som Grus 2 og en som Ral 3.

De kortlagte ressourcer er opstillet i Tabel 6.1 herunder med Marta nummer, råstofkvalitet, sedimenttype, aflejringsmiljø, ressource sikkerhed, areal og tykkelse.

Tabel 6.1 Oversigt over de kortlagte ressourcer og deres areal, tykkelse, og klassifikation m.m.

Jammerbugt								
Marta res.nr.	Råstof type	Litologi alder	Aflejringsmiljø	Sikkerhed	Vanddybde m	Areal km ²	Tykkelse m	Overjord m
562-047	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	16-22	10.2	7	0
562-048	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	16-27	63.3	12	0
562-049	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	23-28	110.5	10	0
562-050	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	29-36	45.6	8	0
580-004	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	23-33	305.2	9	0
580-001	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Sandsynlig	6-24	144.3	7	0
580-005	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	13-22	32.11	6	0
580-006	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	7-21	515.8	7	0
580-007	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	16-21	8.1	4	0
580-008	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	17-22	10.2	3	0
580-009	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	24-29	74.3	6	0
580-002	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	17-45	696.9	12	0
580-010	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	15-21	6.6	3	0
580-011	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Spekulativ	21-49	21.5	7	0
580-003	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Sandsynlig	18-29	137.6	10	0
580-012	Sand 1	HS	Marin dynamisk	Sandsynlig	14-22	13.3	4	0
580-013	Grus 2	HG	Marin dynamisk	Spekulativ	26-28	10.9	3	0
580-014	Ral 3	HG	Marin dynamisk/ fossil kystdannelse?	Spekulativ	20-24	12.3	3	0

7. Referencer

Astrup, P.M. 2023. North Sea OWF Zone Maritime archaeology Geo-archaeological analysis, report for Energistyrelsen. Nordjyllands Kystmuseum, Moesgaard Museum og De kulturhistoriske Museer, Holstebro Kommune, 2023.

Bennike, O., Nørgaard-Pedersen, N., Jensen, J.B., Andresen, K.J. & Seidenkrantz, M.-S. 2019. Development of the western Limfjord, Denmark, after the last deglaciation: a review with new data. Bulletin of the Geological Society of Denmark, Vol. 67, pp. 53–73, ISSN 2245-7070. (www.2dgf.dk/publikationer/bulletin).

Jensen, J.B. 1998. Evaluering af sand, grus og stenressourcer på det danske havområde. Del IV sammenfattende rapport. 1–71. GEUS rapport nr. 1998/129.

Larsen, B. 1994. Materiale sammensætningen i submarine råstofforekomster – Et metodestudium. DGU kunderapport nr. 91, 1994.

Larsen, N. K., Knudsen, K. L., Krohn, C. F., Kronborg, C., Murray, A. S. & Nielsen, O. B. 2009. Late Quaternary ice sheet, lake and sea history of southwest Scandinavia– a synthesis. Boreas, Vol. 38, pp. 732–761. 10.1111/j.1502-3885.2009.00101.x. ISSN 0300-9483.

Nielsen, T., Mathiesen, A., Bryde-Auken, M. 2008. Base Quaternary in the Danish parts of the North Sea and Skagerak. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 15. DOI:[10.34194/GEUSB.V15.5038](https://doi.org/10.34194/GEUSB.V15.5038)

Påsse, T. & Andersson, L., 2005. Shore-level displacement in Fennoscandia calculated from empirical data. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 127, 253–268.