

Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser

Geologisk model til brug for
miljø- og anlægstekniske analyser

Luna Holland Winther, Jørgen O. Leth & Lasse Tésik Prins

Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser

Geologisk model til brug for
miljø- og anlægstekniske analyser

Klient: Sund og Bælt A/S

Luna Holland Winther, Jørgen O. Leth & Lasse Tésik Prins

1.	Indledning	4
2.	Resumé	5
3.	Grundlag for den geologiske model	6
4.	Datatyper	7
4.1	Nye overfladenære geofysiske data.....	7
5.	Tolkning	9
5.1	Oparbejdning og tolkning af seismiske data.....	9
5.2	Kortlægning af horisonter og lagtykkelser.....	9
5.3	Stratigrafi og tolkede enheder.....	10
6.	Den geologiske model	13
6.1	Prækvarter Top-Kalk/Kridt U100.....	15
6.2	Prækvarter Lillebæltsler U80-U90.....	15
6.3	Glacial I U30.....	17
6.4	Senglacial U20.....	18
6.4.1	Ældre Senglacial U22.....	20
6.4.2	Yngre Senglacial U21.....	21
6.5	Postglacial U10.....	22
6.5.1	Postglaciale brakvandsaflejringer U13.....	22
6.5.2	Postglaciale marine aflejringer U12.....	23
7.	Vurdering af den geologiske model	28
7.1	Anbefalinger til supplerende undersøgelser.....	29
8.	Den arkæologiske model	31
8.1	Arkæologi.....	31
9.	Øvrige geologiske baggrundsdata	33
9.1	Multibeam sonar data.....	33
9.2	Sidescan sonar data.....	33
10.	Laboratorieanalyser	34
11.	Dataudveksling	35
12.	Referencer	36
	Bilag 1: Konturkort over lagtykkelser	37

1. Indledning

Som en del af forundersøgelserne for Als-Fyn Forbindelsen, har Sund & Bælt A/S bedt GEUS om at stå for udviklingen af en geologiske model for de mulige korridorer og nærområderne. Formålet med undersøgelserne og den geologiske model er at fastlægge de overordnede jordbundsforhold i undersøgelsesområdet, så de forskellige forbindelsestyper og deres funderingsmetoder, kan vurderes.

Sund & Bælt A/S ønsker yderligere, at den geologisk kortlægning kan anvendes i forbindelse med vurderingen af arkæologiske hotspots samt bidrage til miljøvurderingen.

Rambøll foretog i 2014 en havbundsundersøgelse for Faaborg-Midtfyn Kommune af to mulige tracéer for en kommende fast forbindelse mellem Als og Fyn (Ref. 5). Det anbefales her, at der udføres geofysiske målinger med, sparker eller boomer-seismik og et antal boringer, for at få en supplerende geologisk viden og give en indikation af dybden til funderingsegnede lag.

Som oplæg til en supplerende undersøgelse foretog GEUS i 2022 en gennemgang af eksisterende data for de mulige korridorområder og nærområderne med henblik på at give et overblik over det tilgængelige datagrundlag inden for forundersøgelsesområdet. Gennemgangen viste, at der i tidligere undersøgelser i nærområdet er fundet sedimenter med geoteknisk udfordrende karakterer så som fedt ler (Lillebæltsler) og gasholdig, postglacial gytje. På denne baggrund anbefalede GEUS Sund og Bælt A/S at der indsamles nye geofysiske data.

I forlængelse heraf indsamlede GEUS nye geofysiske data i marts 2023. Grundlaget for den geologiske model, der præsenteres i nærværende rapport, er primært baseret på data og tolkninger af de nye data fra 2023 suppleret med data og tolkninger dels fra en kabeltrace undersøgelse for Energinet udført af Geo (ref. 3.), der gennemskærer undersøgelsesområdet, dels fra en dyb boring ca. 2 km. sydøst for den planlagte linjeføring, udført i forbindelse med et Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 347 (ref. 6).

2. Resumé

I forbindelse med forundersøgelserne for en fast forbindelse mellem Als og Fyn har GEUS på baggrund af nye og eksisterende data og viden opstillet en geologisk model dækkende de mulige korridorer og nærområderne. Den geologiske model giver grundlag for anlægstekniske vurderinger for de potentielle løsninger.

Kortlægningen og afgrænsningen af de geologiske enheder baseres primært på tolkningen af det seismiske refleksionsmønster i de nye data, men er undervejs blevet sammenholdt med tolkningerne, foretaget langs en kabelkorridor, der skærer området. Sedimenternes sammensætning er dels korreleret til korte borer udført i forbindelse med kabelkorridoren, dels til en dyb boring ca. 2 km. syd for traceområdet udført i forbindelse med et IODP-projekt i 2013.

Den geologiske model viser, at de præ-kvartære lag i området består af palæogent Lillebæltsler (U80/U90), der nogle steder ses at overlæjre kalk/skrivekridt-fladen (U100). Den præ-kvartære enhed er i hele området dækket af en glacial enhed af moræneler (U30). Dybden til den glacial enhed varierer betydeligt mellem kote –7 og –170 m, lavest i de kystnære områder og dybest i den centrale del af området.

Den meget varierede glaciale topografi er udfyldt af sen-glaciale aflejringer (U20). I dele af området har det været muligt at udskille en sandet enhed i bunden af senglacialet (U22). Ellers består enheden overvejende af det Baltiske Issøler (U21) med op til 53 m tykkelse.

De yngste aflejringer i området henføres til postglacialperioden (U10). Der er kortlagt 3 forskellige enheder fra denne periode: nederst en enhed af lerede, lagdelte brakvandsaflejringer (U13), der dækker størstedelen af området; to marine aflejringer (U12) bestående dels af udbredte gytjeholdige sedimenter, dels få og meget lokale enheder af fint-groft sand. De to marine aflejringer betegnes i den geologiske model samlet som den postglaciale, marine enhed. Ud fra tidligere erfaringer var det forventet, at der ville forekomme gas, der hvor gytjelaget var tykkere end 6 m. Under kortlægningen af de nye data er der imidlertid set gas i områder, hvor gytjelaget kun er 3 m tykt. Hvor gas optræder i sedimentet, forstyrres det seismiske signal af de underliggende lag. Det har haft konsekvenser for den præcise afgrænsning af de underliggende lag i store dele af det kortlagte område.

Ældre kystlinjeniveauer og relevante palæogeografiske scenarier, er vurderet med henblik på at lokalisere tilstedeværelsen af mulige arkæologiske hotspots. En samlet vurdering af palæogeografien, havspejlskurven og de kortlagte enheders placering har indikeret, at den eneste relevante flade til analyse for hotspots er den kortlagte senglaciale enhed.

3. Grundlag for den geologiske model

Foranalysen foretaget af GEUS i 2022 (ref. 1) gav et overblik over eksisterende, tilgængelige data i de mulige korridorområder og nærområderne. Rapporten danner rammen for den geologiske model og stratigrafi, der præsenteres i denne rapport.

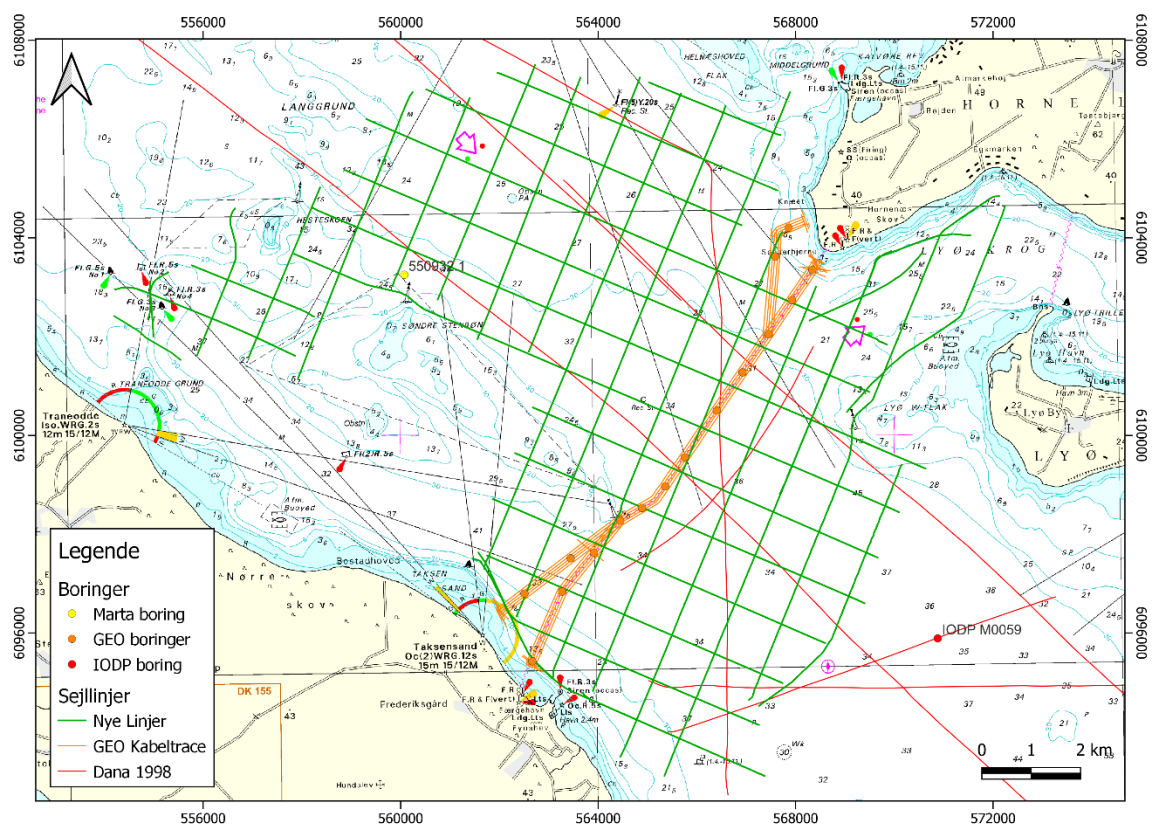
GEUS indsamlede nye geofysiske data i perioden 14-18/3 2023 fra opmålingsfartøjet, Aurora (ref. 2). Tolkningen af de nye seismiske data sammen med tilgængelige arkivdata har dannet baggrund for opstillingen af en geologisk model specifikt for korridorområder og nærområderne. Især data fra to tidligere surveys har været essentielle. Det drejer sig om dybseismiske surveys udført af Aarhus Universitet i 1998 (ref. 4) og et shallow-seismisk survey med vibrocore borer udført for Energinet af firmaet Geo i 2014 (ref. 3).

Der har været ganske få tilgængelige borer i området til at verificere de tolkede seismiske horisonter samt de beskrevne lithologier. En dyb boring, udført i forbindelse med Baltic IODP-Expedition-347 Baltic Sea i 2013 (borehole BSB-3), har været benyttet til korrelation for de ældste lag i den geologiske model, selvom boringen ligger udenfor korridorområdet. Der findes ikke anden boringsdokumentation i nærområdet for de dybere lag. En række vibrocore borer udført i forbindelse med forundersøgelser til et kabeltrace (ref. 3) har været benyttet til verifikation af de yngste lag i den geologiske model.

4. Datatyper

Til udarbejdelse af den overfladenære geologiske model, har de nyindsamlede multikanal seismiske data med en linjeafstand på 1 km. udgjort det primære datagrundlag. Disse data er suppleret med multikanals seismiske data indsamlet af Aarhus Universitet og enkeltkanals seismiske data indsamlet af GEO.

Figur 1 viser udbredelsen af de anvendte seismiske data (GEUS-data 2023, Ref. 2; GEO-data 2013, Ref. 3; Dana-data 2014, Ref. 4) samt prøvedata (IODP-boring (Ref. 6): GEO-boringer (Ref. 3) og Marta-boring (Den marine Råstofdatabase - Ref. 10) anvendt ved tolkningen af sedimenttyperne.



Figur 1 Undersøgelsesområdet med sejllinjerne for seismiske data anvendt i den geologiske model indtegnet. De nye data indsamlet af GEUS i marts 2023 er vist som grønne linjer. Baggrunds-kort Søkort 152.

4.1 Nye overfladenære geofysiske data

De nye geofysiske data indsamlet af GEUS i marts 2023 består af sub-bottom profiler data (SBP/Innomar), side scan sonar data (SSS), multibeam bathymetrisk data (MBES) og multikanal-ultra-high-resolution seismiske sparker data (MUHRS). MUHRS-data er indsamlet med en relativ højfrekvent kilde (sparker), med korte skudintervaller (1 m) og en høj sample

rate. Disse data giver derfor en høj vertikal opløsning i størrelsesordenen 0,30 m. Den geologiske model er primært baseret på tolkningen af disse MUHRS-data.

De bathymetriske data er ikke indsamlet med fuld fladedækning, men har dannet grundlag for udarbejdelsen af en fladedækkende bathymetrisk grid-fil. Denne gridding blev efter aftale med Sund og Bælt A/S foretaget af Rambøll.

GEUS godkendte den bathymetrisk grid-fil og overtog efter modtagelsen fra Rambøll ansvaret for dens anvendelse som referenceflade i den geologiske model.

Detaljerede informationer om survey setup og processering af data kan findes i surveyrapporten (ref.2).

5. Tolkning

5.1 Oparbejdning og tolkning af seismiske data

De nyindsamlede seismiske data er efter processering indlæst i det seismisk tolkningsprogram, IHS Kingdom i et samlet projekt sammen med de eksisterende digitale seismiske data indsamlet af Aarhus Universitet og GEO. De seismiske horisonter er kortlagt, hvor det har været muligt. Horisonterne er efterfølgende blevet tolket og relateret til den eksisterende generelle geologiske model (ref. 1) og de tilgængelige borer fra nærområdet.

5.2 Kortlægning af horisonter og lagtykkelser

De seismiske tolkninger er foretaget som dybden (z) i tid (tovejstider TWT i millisekunder) til lagfladerne. Inden de tolkede flader blev eksporteret til GIS som xyz-filer, er dybden i tid konverteret til dybder (z) i meter ved hjælp af IHS Kingdom. Til konverteringen benyttes de enkelte sedimenttypers specifikke hastigheder jf. Tabel 1.

Enheder	Hastigheder, m/s
Postglacial	1500
Senglacial	1600
Moræne	1800
Gasholdige sedimenter	1100

Tabel 1: Seismiske hastigheder for forskellige sedimenttyper.

I det kortlagte område er der udbredt set gasholdige sedimenter, der dæmper de seismiske refleksioner betragteligt. Da hastigheden for gasholdige sedimenter reduceres med ca. 30 % allerede ved lavt gasindhold (3-5 %) (Ref. 8), blev der som udgangspunkt anvendt en hastighed på 1100 m/s ved dybdekonverteringen i områder hvor gas var kortlagt. Konsekvensen blev dog, at der ikke var kontinuitet i den geologiske model. På overgangen fra de gasholdige til de ikke-gasholdige sedimenter skete der et spring på de kortlagte horisonter. For at undgå disse spring har Sund og Bælt A/S, Rambøll og GEUS aftalt, at GEUS undlader at bruge den reducerede hastighed ved dybdekonverteringen af de gasholdige sedimenter, men i stedet anvender hastigheden for ikke-gasholdige sedimenter for alle enheder i den endelige geologiske model. Usikkerheden på dybderne/tykkelserne stiger med tykkelsen af lagene (Tabel 2). Ved brug af en hastighed på 1500 m/s for gytjelaget, giver dybdekonverteringen en større tykkelse end ved brug af en lavere laghastighed. Det betyder, at der hvor laget er tykkest, kan det, når man bruger 1500 m/s, fremstå op til 4 m tykkere end det egentligt er.

De seismiske horisonter er efter tolkningen blevet griddet i IHS Kingdom, hvorefter de er eksporteret som xyz-filer til GIS-software (QGIS). Gridningen er foretaget med algoritmen Flex Gridding, med Fit to the data værdi på 0, smoothness værdi 6 og cellestørrelse 10.

Resultatet præsenteres dels som konturkort af koten til toppen af de respektive enheder, dels som konturkort over lagtykkelser i meter beregnet for de lag, der er kortlagt med top og bund (Bilag 1).

Tykkelse ms	Hastigheder m/s			
	1100	1500	1600	1800
5	2,75	3,75	4	4,5
10	5,5	7,5	8	9
15	8,25	11,25	12	13,5
20	11	15	16	18
25	13,75	18,75	20	22,5
30	16,5	22,5	24	27

Tabel 2: Beregnings eksempel på tykkelsesforskel med forskellige hastigheder.

5.3 Stratigrafi og tolkede enheder

I den generelle geologiske model for nærområdet (ref. 1), blev der opstillet en matrix med forslag til en opdeling af de seismiske enheder og underenheder (Tabel 3). På baggrund af de tilgængelige data har det kun været muligt at tolke en del af disse enheder (gule markeringer i Tabel 3).

Hoved-enhed	Betegnelse	Under-enhed	Betegnelse
U10	Postglacial	U11	Sub recente / recente afl.
		U12	Postglacialt marin afl.
		U13	Postglacial brakvands afl.
		U14	Postglaciale sø afl.
U20	Senglacial	U21	Yngre senlacial (Baltiske Issø)
		U22	Ældre senlacial (lokale afsmeltnings afl)
U30	Glacial I	U31	Slap moræne/flydemoræne
		U32	Konsolideret moræne
		U33	Glacialtektonik
		U34	Smeltevandsenhed
U40	Glacial II	U41	Konsolideret moræne
		U42	Glacialtektonik
U50	Glacial III		
U60	Interglacial – Eem		
U70	Glacial - Saale/Elster		
U80	Deformeret Paleogen ler		
U90	Udeformeret Paleogen ler		
U100	Kalk		

Tabel 3: Skema som viser inddeling i seismiske hoved- og underenheder for nærområdet. Gul farve markerer de enheder, der har kunnet kortlægges i denne undersøgelse.

Afgrænsningen af de seismiske enheder baseres på tolkningen af det seismiske reflektionsmønster. Generelt er det tolkningen af toppen af de seismiske enheder, der ligger til grund for enhedernes afgrænsning. GEUS' tolkning er undervejs blevet sammenholdt med tolkningerne, GEO har foretaget langs kabelkorridoren, der skærer området (ref. 3). Det nye datagrundlag indsamlet i 2023 har dog en bedre opløsning og giver dybere refleksioner pga. sparker lydkilden, og er derfor prioriteret over GEO's data og tolkninger.

I Tabel 4 præsenteres en korrelation mellem GEUS' og GEO's tolkninger. GEUS' inddeling fremgår af tabellens 1 kolonne. Lithologien af enhederne tolket af GEUS, der er angivet i tabellens anden kolonne, bygger dels på informationer fra GEO's vibrocore borer og fra IODP-boringen ca. 2 km. sydøst for den planlagte linjeføring, dels ud fra vurderinger af den seismiske signatur. Det fremgår, at der kun er overensstemmelse mellem de to tolkninger for den glaciære moræne-enhed og delvist den postglaciære marine enhed.

De postglaciære, marine aflejringer (U12) i GEUS' inddeling inkluderer alle typer af aflejringer inklusiv de recente/subrecente gytjeaflejringer (U11 i tabel 3). Baggrunden herfor er, at der ikke findes aldersdateringer af enheden indenfor det kortlagte område, hvorfor det er umuligt at udskille recent/subrecente aflejringer fra de postglaciære aflejringer. GEO specificerer heller ikke det recente/subrecente i gytjeaflejringerne i deres borer, men kategoriserer aflejringeren som marin postglaciær (ref. 3). I IODP-boringen er gytjeaflejringerens alder bestemt til 0-1000 år BP baseret på C-14 dateringer (ref. 6).

GEUS-inddeling		Litologi	Begrundelse	GEO units	Litologi
Postglaciær Marine Aflejringer U12		Overvejende Gytje, med små lokale sandede kystudbygninger	Parallele reflektorer er dominerende for gytjelaget (unit 1). Små sandede enheder viser prograderende reflektorer (en del af unit 2). Udbredelsen af de sandede enheder er dog meget mindre end kortlagt af GEO, og langt tyndere.	Unit 1	Overvejende gytje med lidt sand
Postglaciær Brakvandsaflejringer U13		Ler, organisk-rige sedimenter	Set nord for området i borer. Kraftige parallelle reflektorer. Svarer delvist til den øverste del af GEO's Unit 2 på den nordlige side af gasområdet fra GEO's seismik eksempel.	Unit 2	Overvejende sand med varierende organisk indhold
Senglaciær U20	Yngre Senglaciær U21	Lerede sø aflejringer	Parallele reflektorer i den øverste største del af de senglaciære sedimenter indikerer ler. De lerede aflejringer er den nederste del af GEO's Unit 2 samt Unit 3.	Unit 3	Overvejende sand med varierende organisk indhold
	Ældre Senglaciær U22	Smeltevandssand	Kraftigere mere kaotiske reflektorer indikerer en sandet enhed. Svarer til GEO's Unit 4	Unit 4	Smeltevandssand
Glaciær U30		Moræne	Kaotisk reflektionsmønster. GEO's Unit 5	Unit 5	Moræneler
Prækvartær U80/U90		Lillebælt ler	Lamineret, glacio-tektonisk opskudt hvor kortlagt		
Kalk U100		Kalk	Kraftige parallelle reflektorer		

Tabel 4: Sammenligning af GEUS' og GEO's tolkninger og inddeling af enheder.

På Figur 2 ses et repræsentativt seismisk profil med de tolkede horisonter og enheder.

Der er fremstillet konturkort i meter over koten til følgende enheder/underenheder:

- *Havbund*
- *Postglacial enhed*
 - *U12: Postglacial marin enhed inkl. recente/subrecente aflejringer (U11)*
 - *U13: Postglacial brakvandsenhed*
- *U20: Senglacial enhed*
 - *U21: yngre enhed (Baltisk Issø),*
 - *U22: ældre enhed (lokale smeltevandsaflejringer)*
- *U30: Den glaciale flade/moræne*
- *U80/90: Prækvarter overfladen / palæogent ler/Lillebæltler*

Derudover er der beregnet tykkelser og udtegnet lagtykkelseskort/isopach-kort af følgende enheder:

Postglacial marin enhed

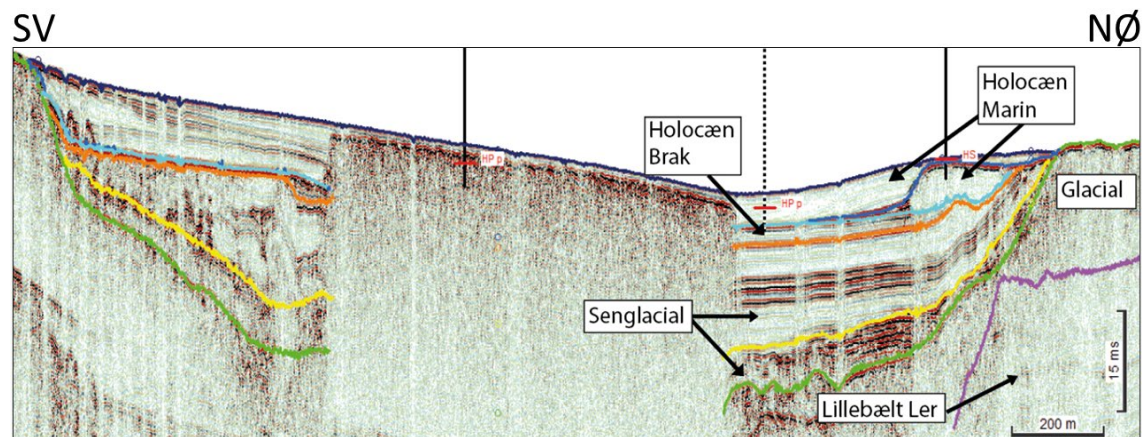
Postglacial brakvandsenhed

Senglacial enhed

Yngre senglacial enhed

Ældre senglacial enhed

For Prækvarteret og den glaciale enhed er der udelukkende fremstillet konturkort af overfladen, da bunden af disse enheder ikke har kunnet kortlægges regionalt.

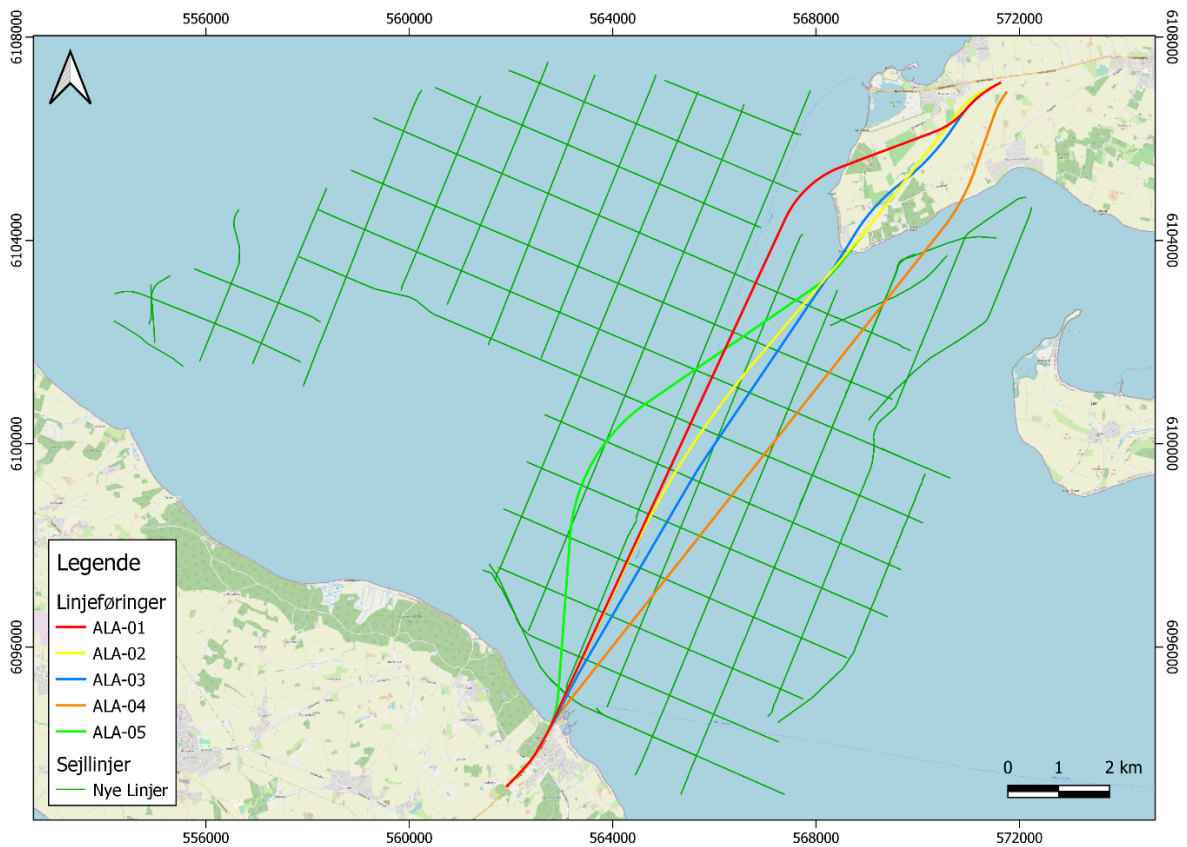


Figur 2: Seismisk typeprofil, der illustrerer tolkningen og navngivningen af de tolkede flader og enheder.

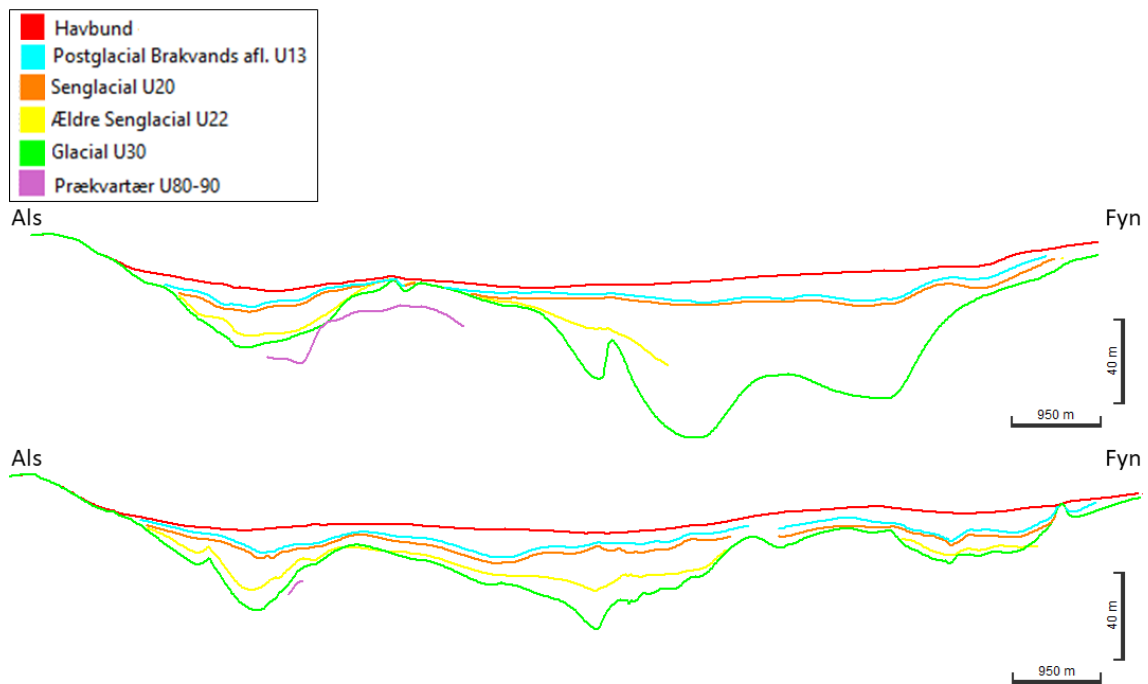
6. Den geologiske model

På baggrund af de tolkede enheder er der fremstillet en geologisk model for de mulige korridorer og nærområdet. De enkelte horisonter er tolket langs alle tilgængelige multikanal seismiske sparker data. I tolkningen er postglaciale, senglaciale, glaciale og prækvartære enheder identificeret i det omfang opløsningen af data og tilstedeværelsen af gas muliggør det. Da det ikke har været muligt at kortlægge alle horisonter i deres totale omfang, er der flere lag der stopper brat i den geologiske model, f.eks. Prækvartær U80/90 og Ældre Senglacial U22 på Figur 4.

Figur 3 viser de tentative linjeføringer for en fast forbindelse mellem Als og Fyn. Eksempler på den geologiske model med de tolkede enheder langs to af linjeføringerne, ALA-01 og ALA-04, er illustreret i Figur 4. For placeringen henvises til Figur 3.



Figur 3: De tentative alternative linjeføringer af en fast forbindelse mellem Als og Fyn. Baggrundskortet viser de nye seismiske linjer indsamlet af GEUS i 2023.



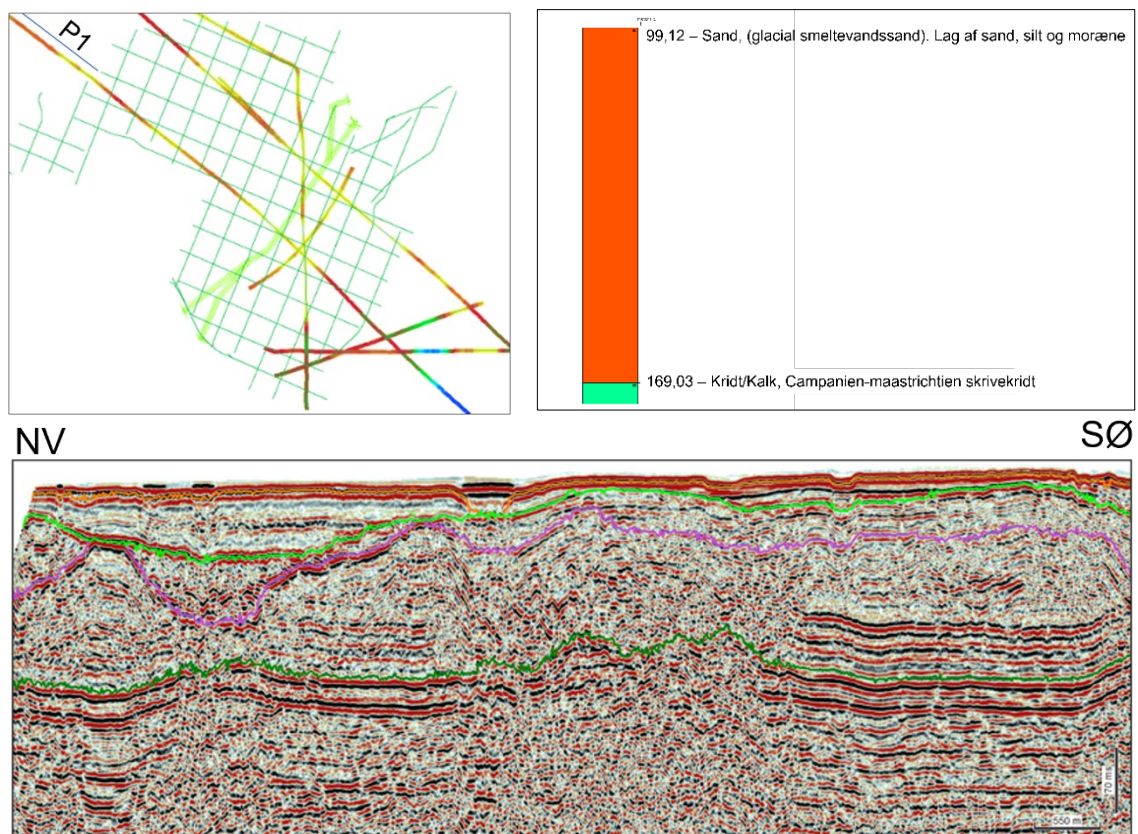
Figur 4: To eksempler på den geologiske model illustreret langs to af de tentative linjeføringer ALA-01 og ALA-04. Legenden henviser til enhedsnavnene beskrevet ovenfor.

Der er kortlagt 2 postglaciale enheder og 2 senlaciale enheder. For at bestemme enhedernes lithologi, bruges overvejende den seismiske akustiske signatur og IODP-boring M0059, der ligger ca. 2 km sydøst for den planlagte linjeføring. Derudover bruges også informationer fra vibrocore borerne udført af GEO i 2014 i forbindelse med kabellægning på strækningen mellem Als og Fyn (ref. 3).

Nedenfor præsenteres detaljerede beskrivelser af de tolkede enheders seismiske arkitektur, morfologi og lithologi. Rækkefølgen er fra den ældste til den yngste.

6.1 Prækvarter Top-Kalk/Kridt U100

Den dybeste seismiske horisont, der er erkendt i området, er Top-Kalk/Kridt. Horisonten er kun erkendt sporadisk i området og kun på de ældre seismiske airgun-data indsamlet af Aarhus Universitet i 1998. Horisonten er dog kortlagt udenfor området i sydlige Lillebælt på basis af disse data jf. Ref. 7. På grund af de relativt få datapunkter, der har været tilgængelige til nærværende undersøgelse, er horisonten ikke blevet griddet i denne sammenhæng. Top-Kalk enheden er dokumenteret i IODP-boringen (Figur 5). Figur 5 giver desuden en oversigt over de seismiske airgun-linjer, hvor enheden er kortlagt, samt et seismisk profil med Top-Kalk reflektoren indtegnet.



Figur 5: Øverst: Oversigtskort over de seismiske linjer, hvor Top-Kalk fladen U100 kan erkendes. Nederst: Seismisk profil (P1) med den tolkede Top-Kalk reflektor indtegnet (mørkegrøn).

6.2 Prækvarter Lillebæltssler U80-U90

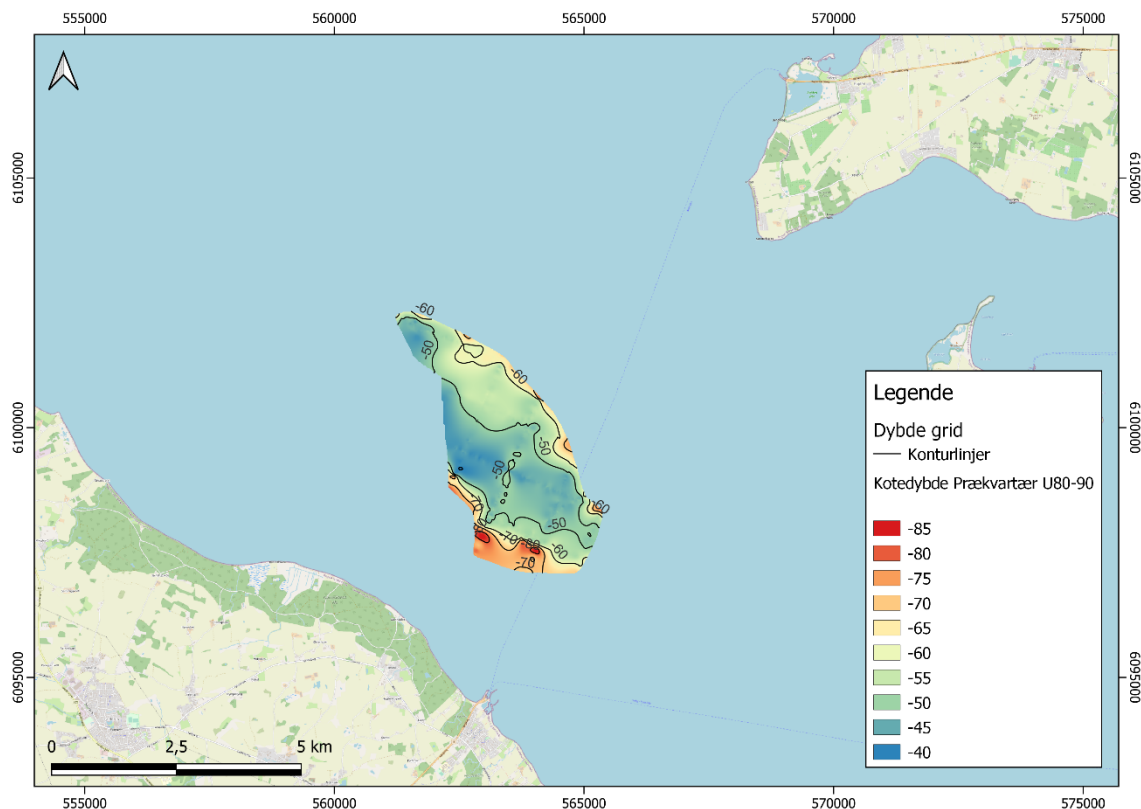
Den præ-kvarterære enhed U80-90 er på baggrund af den geologiske model (ref. 1) og ref. 7 tolket som palæogent Lillebæltssler.

Enheden er kortlagt på basis af de seismiske linjer fra 2023 (Figur 7). Enhedens seismiske udtryk med kraftige parallelle reflektorer er karakteristisk for Lillebæltssler (Figur 7). Det har kun været muligt at kortlægge toppen af enheden i et mindre område i den sydlige del af undersøgelsesområdet, hvor den ligger mellem kote -39 og -86 m. I den resterende del af området ligger bunden af enheden dybere end det seismiske vindue, og/eller den kan ikke

skelnes fra multipler. Der kan derfor ikke gives et estimat på tykkelsen af Lillebæltseret i området. Figur 6 viser et konturkort af toppen af det kortlagte Lillebæltseret U80/90. Det ses af Figur 6 at toppen af Lillebæltseret dykker skarpt i den sydlige del i retning af Als, inden den forsvinder ud af det seismiske profil. De interne reflektorer viser samtidig tegn på deformation (Figur 7), hvilket indikerer at enheden i dette område kan være glacio-tektonisk opskudt.

En alternativ forklaring på enhedens forsvinden mod syd på det seismiske profil i figur 7, kan være erosion. Dette understøttes af resultatet i undersøgelsen af sydlige Lillebælt (ref. 7), hvor en begravet kvartær dal er kortlagt nord og øst for Als. Denne dalstruktur ses på det seismiske profil i figur 7. Dalen gennemskærer såvel Lillebæltseret som hele den glaciale og postglaciale lagserie. Indenfor dalstrukturen er Lillebæltseret eroderet bort. Det dybeste niveau af dalen i traceområdet er kote -200 m (ref. 7).

Ifølge den seismiske kortlægning af det sydlige Lillebælt (ref. 7) kan Tertiæret være op til 250 ms tykt i svarende til ca. 190 m. Tertiære aflejringer kan i dette område bestå af såvel glimmerer og Lillebæltseret. Lillebæltseret er ikke truffet i IODP boringen, så tykkelsen på denne position er ukendt. Lillebæltseret er truffet i to borer på Als' nordkyst jf. GEUS' Jupiter-database (ref. 9). Toppen af Lillebæltseret ligger i disse to borer (Dgunr. 162.211 og 162.212 – ref. 9) hhv. 49 m og 39 m under terræn. Lillebæltseret er ikke gennemboret. Boringerne ligger på land ca. 10 km vest for traceområdet.



Figur 6: Konturkort over koten i meter til toppen af den prækvartære enhed U80/90 - Lillebæltseret.

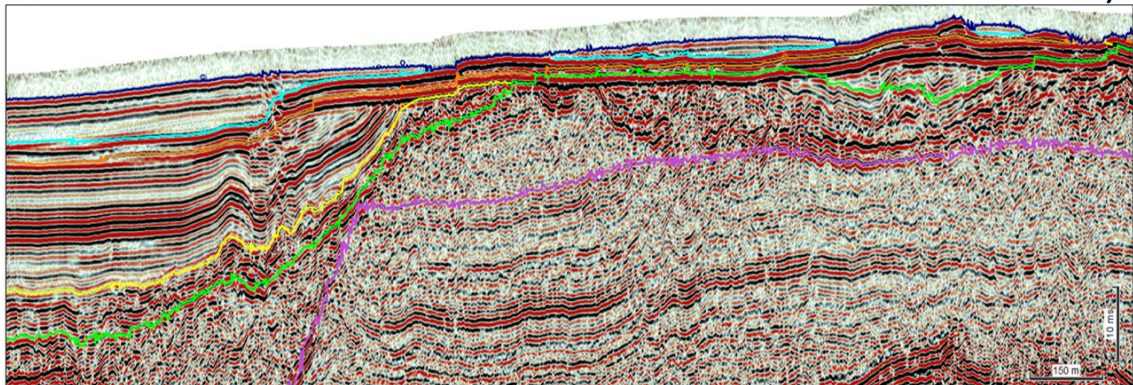
6.3 Glacial I U30

I farvandet mellem Als og Fyn skiller den kvartære sekvens sig ud ved en nedre, fremtrædende erosiv diskordans. I den centrale del af farvandet kommer den kvartære sekvens tydelig udtrykt ved en kilometerbred begravet dal, der nogle gange når dybder i størrelsesordenen 200 m under havbunden (ref. 7). Den begravede kvartære dal er kortlagt i en undersøgelse af sydlige Lillebælt baseret på reflektionsseismiske airgun-data (ref. 7).

Toppen af den glacial flade er blevet kortlagt i hele området. Enheden er karakteriseret ved et kaotisk seismisk reflektionsmønster (Figur 7). Enheden tolkes som moræneaflejringer.

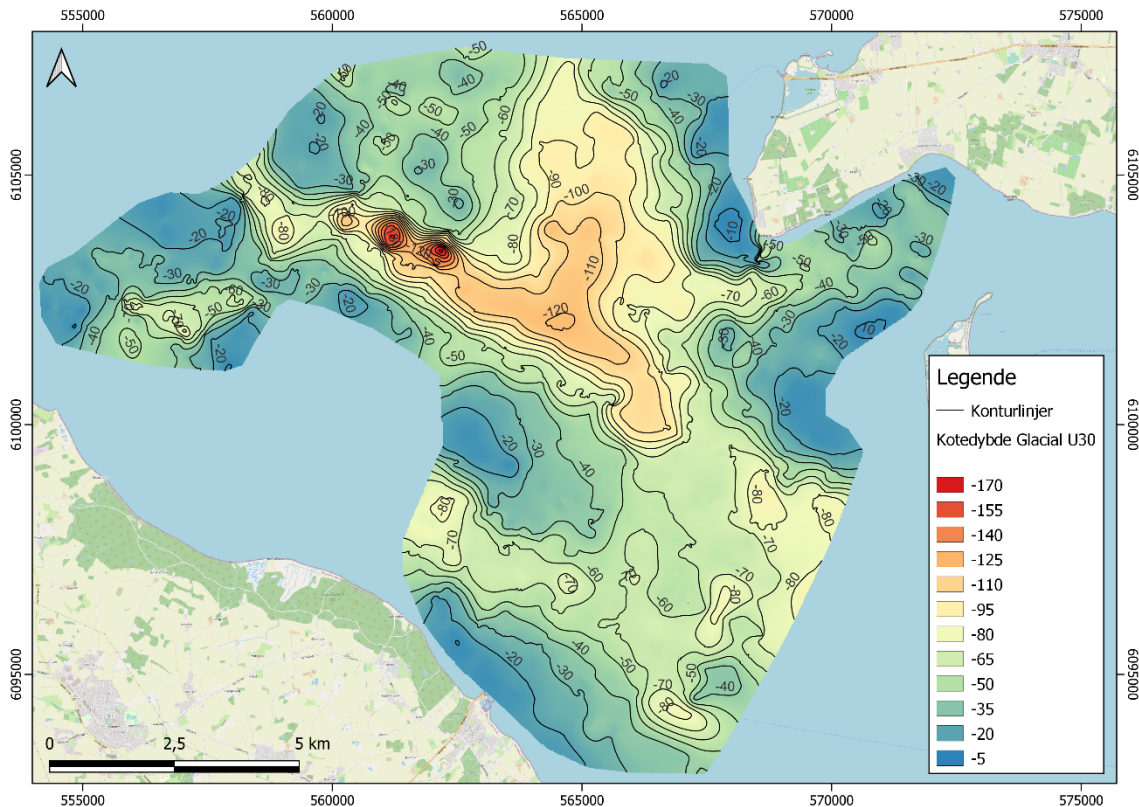
SV

NØ



Figur 7: Seismisk profil med den tolkede Top-Glacial U30 / moræneenhed indtegnet (lysegrøn) og Top-Prækvartær fladen U80/90 med lilla.

Kortlægningen af glacialoverfladen i denne undersøgelse viser en meget varieret topografi (Figur 8). Den er relativt højtliggende ind mod kysterne ved Als og Fyn med de laveste dybder tæt ved Lyø i den nordøstligste del af området. Centralt i det kortlagte område er glacialfladen kendetegnet ved en markant nordvest-sydøst forløbende dyb dal med dybder ned til kote -170 m. Dalen er generelt udfyldt af senglaciale sedimenter (se senere). Dalen kan relateres direkte til dalen kortlagt i ref. 7.



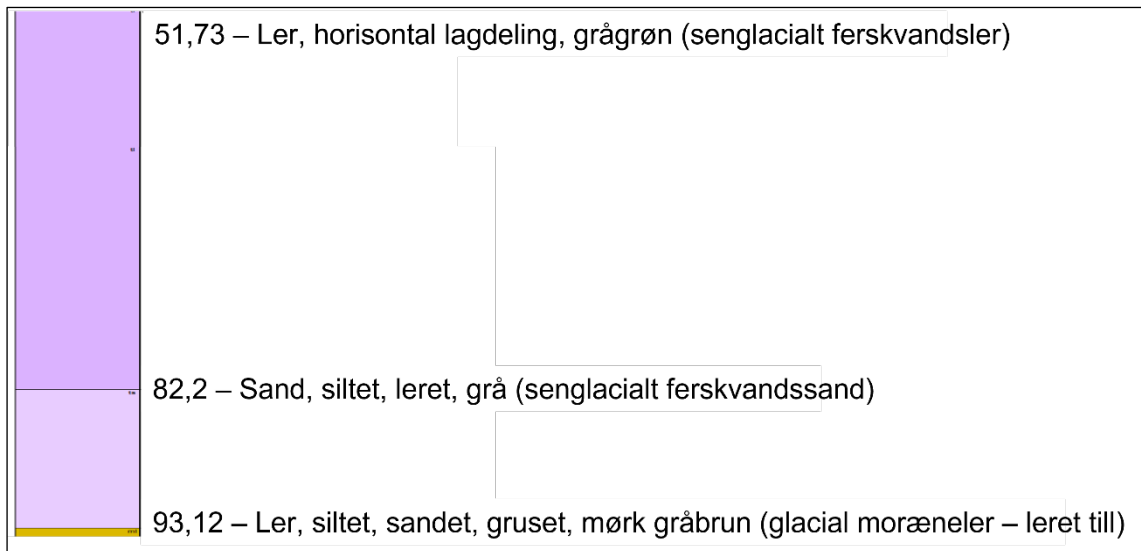
Figur 8: Konturkort over koten til Top-Glacial U30/morænefladen.

6.4 Senglacial U20

Top og basis af de senglaciale sedimenter er kortlagt i området over moræne-enheden (Figur 11). De senglaciale aflejringer består af to enheder af ferskvandsaflejringer, en ældre sandet enhed (U22) og yngre leret enhed (U21). Det har ikke været muligt at kortlægge grænsen mellem de senglaciale enheder ud i hele området, enten fordi de overliggende gasholdige Postglaciale gytjeaflejringer slører de seismiske refleksioner, eller fordi grænsen ofte er sammenfaldende med havbunds multiplen. Grænsen mellem de to enheder er ofte ikke skarp, men en gradvis lithologisk overgang, hvilket gør grænsedragningen usikker eller umulig.

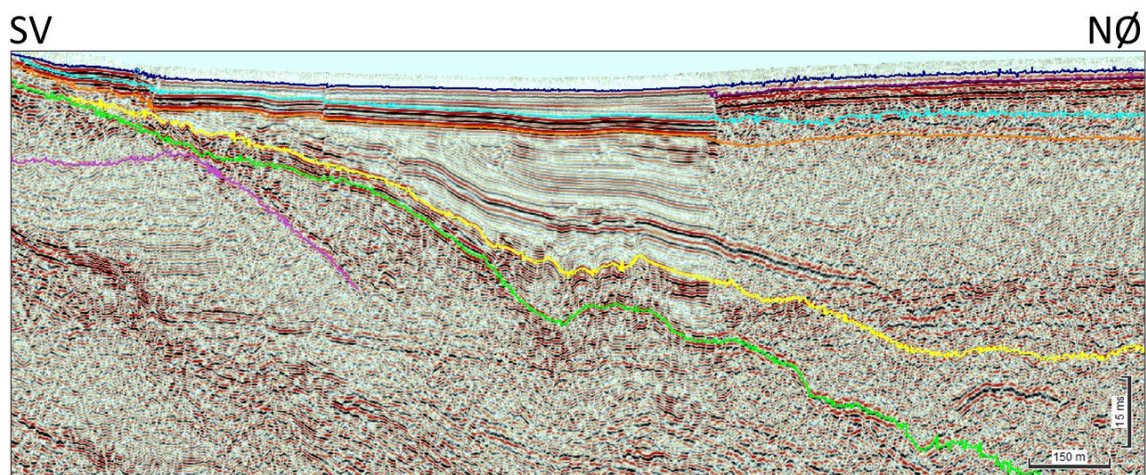
Den senglaciale enhed har den største mægtighed i kanaler eller lavninger i områder mellem højtliggende moræne. Den største mægtig i den dybeste lavning er op til 108 m tyk, mens den i områder med højereliggende moræne generelt er mellem 4 og 11 m tyk (Bilag 1, Figur 26).

Begge senglaciale enheder er gennemboret i IODP-boringen (Figur 9), mens GEO boring JFK_AF_VIB05 har gennemboret en mindre senglacial enhed på toppen af højtliggende moræneknolde og ikke den typiske senglaciale sekvens. Geo boringen beskriver 3 senglaciale enheder, to 'wash down' enheder, den ene ler og den anden sand, samt en enhed af fin til mellemkornet smeltevandssand. Enheden af smeltevandssand kan relateres til den ældre senglaciale enhed, mens 'wash down' enhederne repræsenterer den øvre lerede enhed.

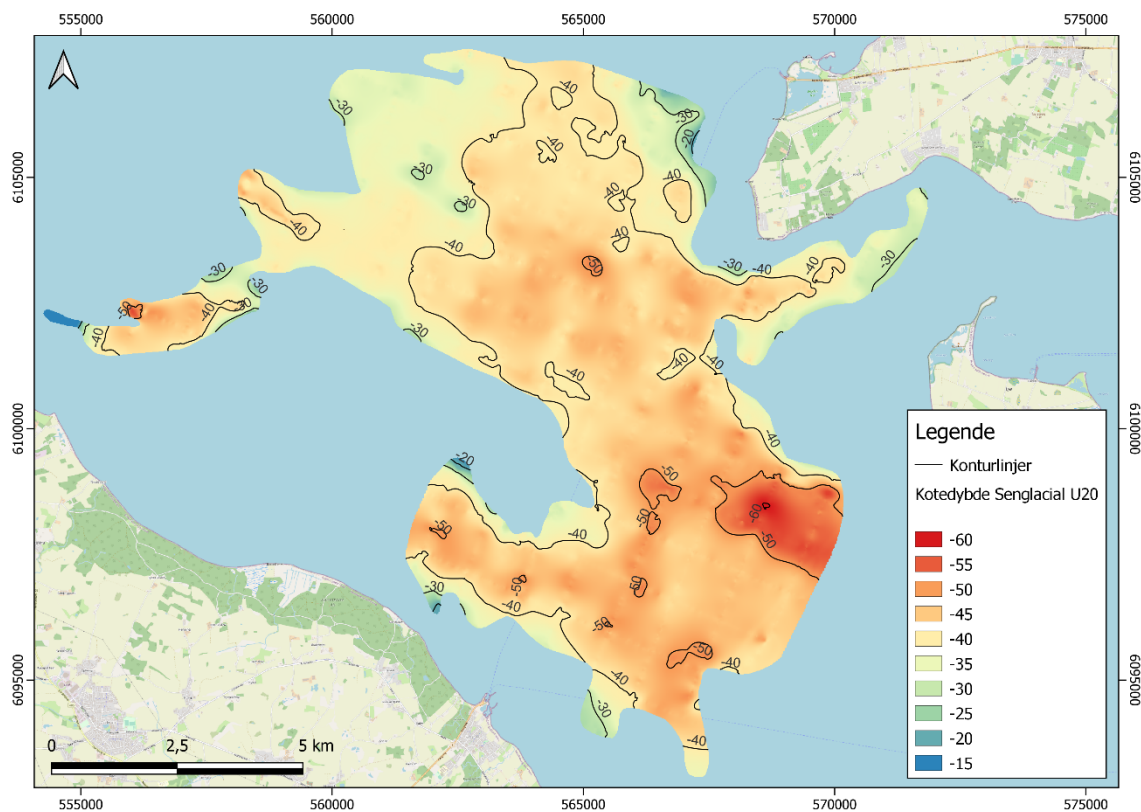


Figur 9: Udsnit af IODP-boringen, der viser de sen-glaciale underenheder, øverst Det Baltiske ferskvands-/issøler, nederst den sandede smeltevandsenhed. Senglacialet overlejrer den glaciale enhed.

Den øverste sen-glaciale enhed kan korreleres til den Baltiske Issø (ref. 1), mens den nedre sandede enhed tolkes aflejret som sen-glaciale smeltevandsaflejringer.



Figur 10: Seismisk profil der viser 2 delingen af de sen-glaciale aflejringer. Gul er toppen af den nedre, sandede enhed U22; orange angiver toppen af den øvre, lerede enhed U21. Gasholdige sedimenter til højre i profilet.

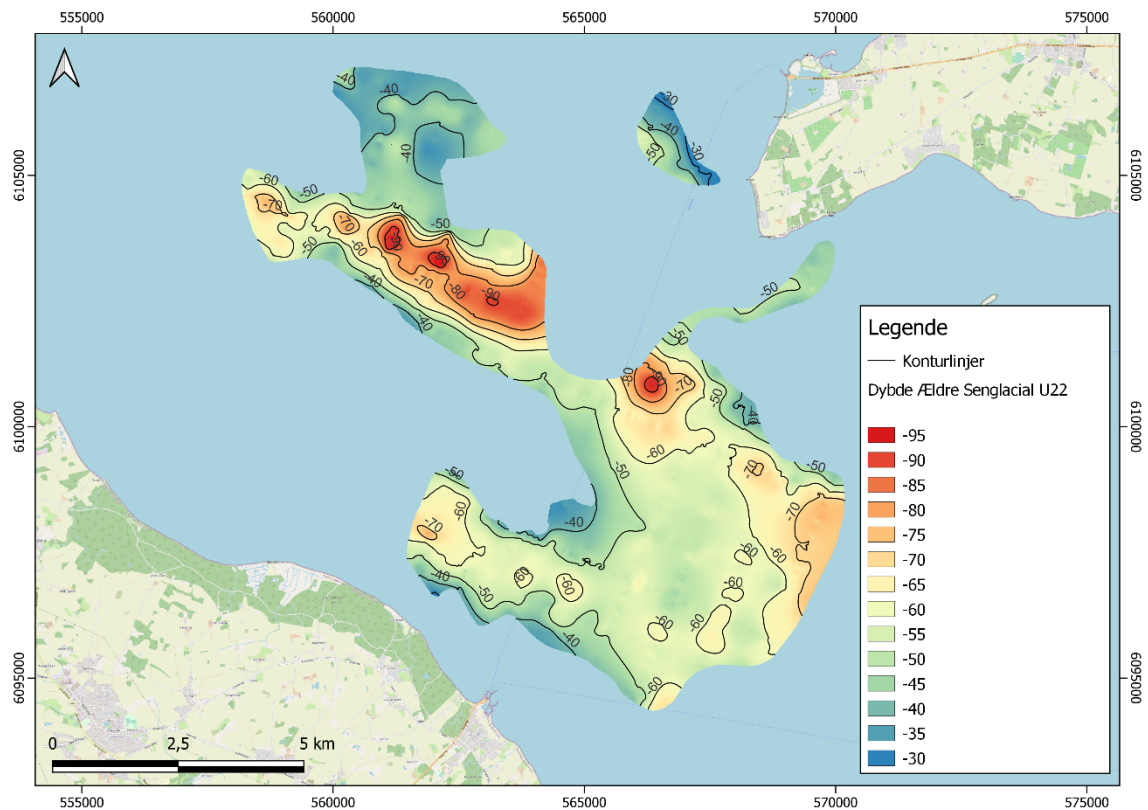


Figur 11: Konturkort over koten til Top-Senglacial fladen U20.

6.4.1 Ældre Senglacial U22

Koten til den ældre senglaciale flade, hvor den kunne kortlægges, er vist på Figur 12. De ældre senglaciale aflejringer udgør en mindre del af den senglaciale enhed U20. Den er tykkeste op til 55 m i kanalerne/lavningerne imellem de højtliggende moræneområder (Bilag 1, Figur 28). I områder, hvor den underliggende moræne ligger højt, tynder enheden ud til nogle få meters tykkelse. De ældre senglaciale sedimenter er fremhævet med gul på Figur 13.

De ældre senglaciale sedimenters akustiske signatur er mere højreflektiv og kaotisk end de yngre senglaciale sedimenter (Figur 13). Refleksionsmønstret indikerer at sedimenterne er grovere end de yngre senglaciale aflejringer. Dette er dokumenteret i IODP-boringen, hvor der er boret gennem 10,1 m senglaciale siltet og leret ferskvandssand (Figur 9). Der kan dog forventes en høj grad af kornstørrelsesmæssige variationer såvel horisontalt som vertikalt indenfor enheden pga. skiftende aflejringsforhold i den tidlige senglaciale periode.

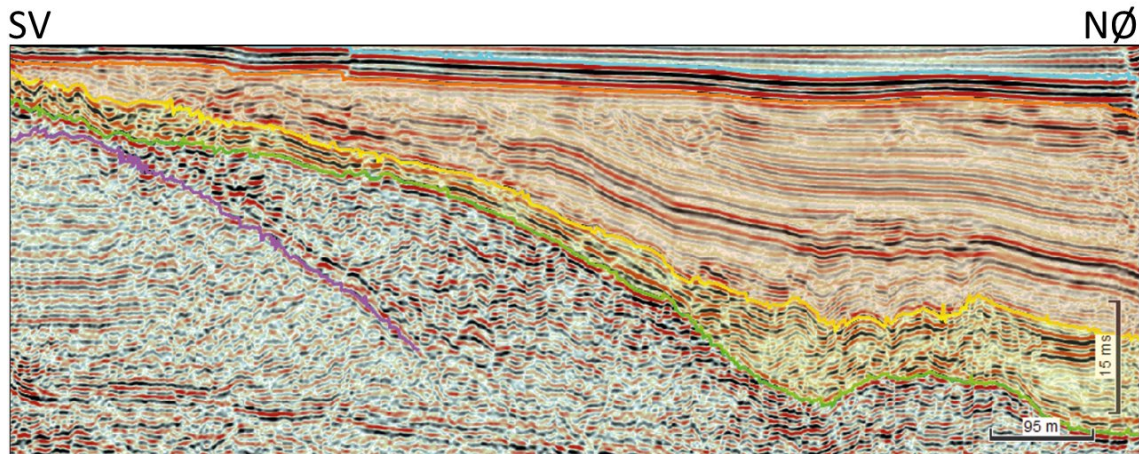


Figur 12: Konturkort over koten til toppen af den Ældre Senglaciale enhed U22.

6.4.2 Yngre Senglacial U21

De yngre senglaciale aflejringer udgør størstedelen af de senglaciale sedimenter, og er fremhævet med orange på Figur 10 og Figur 13. Hvor det har været muligt at kortlægge grænsen mellem de yngre og de ældre senglaciale sedimenter, er den yngre senglaciale enhed maksimalt 53 m tyk (Bilag 1, Figur 27).

De yngre senglaciale sedimenters akustiske signatur er præget af parallelle laminerede reflektorer, der udfylder bassinet (Figur 13). Refleksionsmønstret indikerer de yngre senglaciale sedimenter består af ler, som dokumenteret i IODP-boringen, der ligger ca. 2 km. sydøst for den planlagte linjeføring (Figur 1). Her er der boret gennem 30,5 m senglacialt horisontalt lagdelt ferskvandsler (Figur 9).



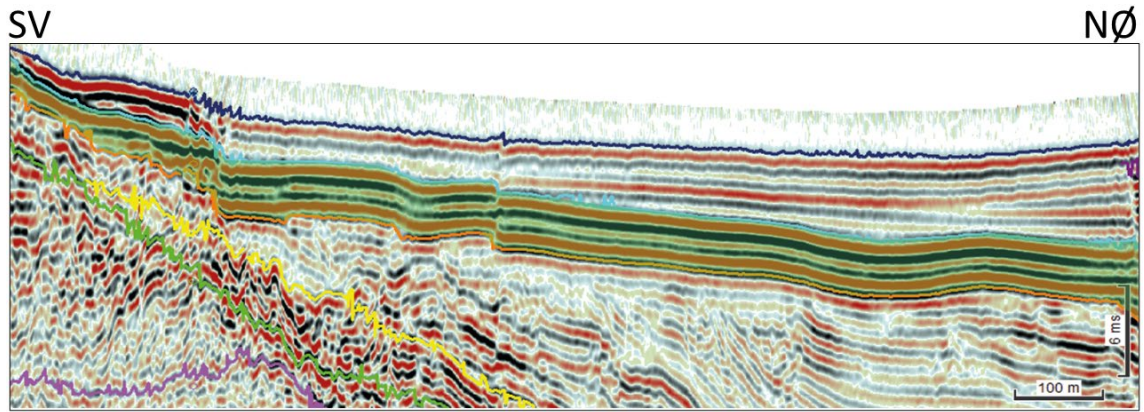
Figur 13: Den øvre enhed af laminerede reflektorer fremhævet med orange udgør den yngre senglaciale enhed, mens enheden med kaotiske, højreflektive reflektorer fremhævet med gul udgør de ældre senglaciale, sandede sedimenter.

6.5 Postglacial U10

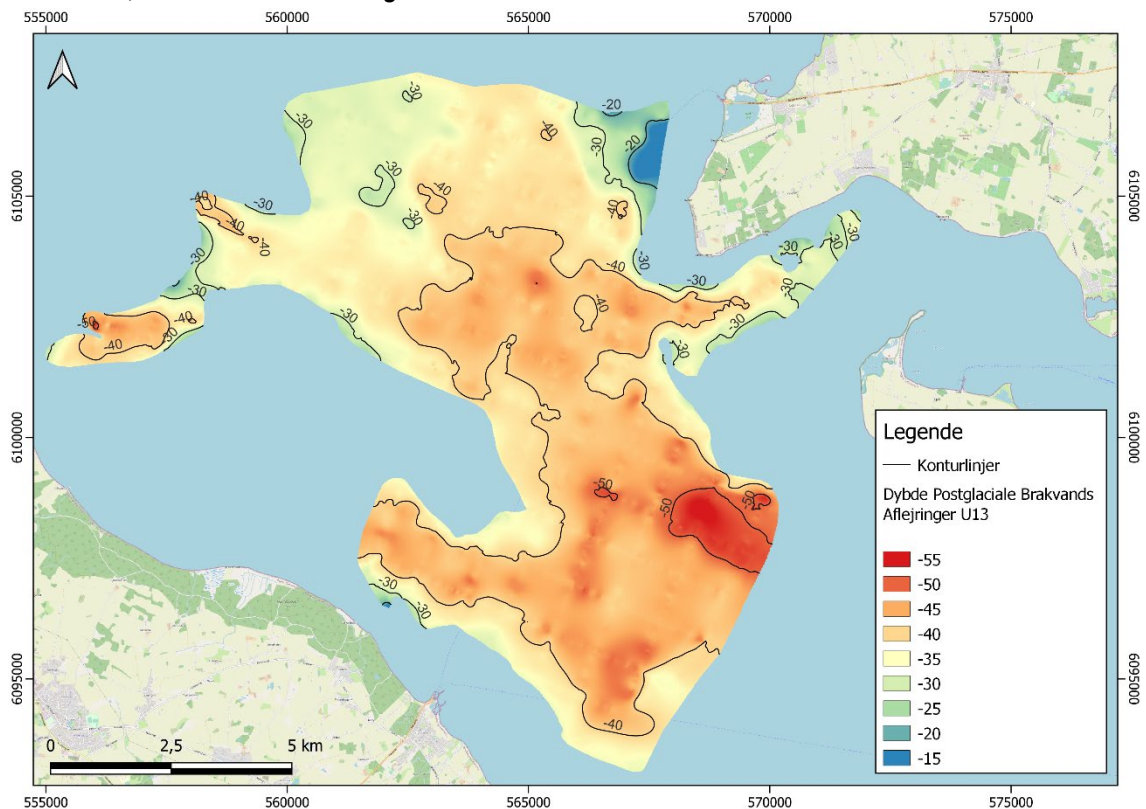
6.5.1 Postglaciale brakvandsaflejringer U13

Der er kortlagt en enhed af postglaciale brakvandssedimenter, der ligger under de postglaciale marine aflejringer i størstedelen af området (Figur 15). Brakvandssedimenterne er fremhævet med grøn på Figur 14. Refleksionsmønstret af brakvandssedimenterne er et sæt af høj-reflektive, parallelle reflektorer (Figur 14). Refleksionsmønstret indikerer, at brakvandssedimenterne består af organiskholdigt, lamineret ler. Enheden af brakvandssedimenter er lokalt op til 5 m tyk, men er i det meste af området ca. 2 m tyk (Bilag 1, Figur 25).

Enheden af brakvandssedimenter er ikke gennemboret i GEO borerne (ref. 3), da enheden i kabel traceen ligger dybere end den maksimale boringsdybde på 3 meter. I IODP-boringen er enheden beskrevet som et 4,6 m tykt ferskvandsinterval af overvejende horisontalt lagdelt ler. Der er tidligere kortlagt brakvandsedimenter i Lillebæltsområdet, beskrevet som sorte organisk rige laminerede sedimenter (Ref. 1).



Figur 14: Eksempel på den seismiske signatur af brakvandsedimenterne: parallelle, højreflektive reflektorer, her fremhævet med grøn farve.



Figur 15: Konturkort over koten til top postglaciale brakvands aflejringer U13.

6.5.2 Postglaciale marine aflejringer U12

De postglaciale, marine aflejringer (U12) i GEUS' inddeling inkluderer alle typer af aflejringer inklusiv de recente/subrecente gytjeaflejringer (U11 i tabel 3).

De postglaciale marine aflejringer består dels af store mængder gytje, dels af små lokale sandede enheder (markeret med lyserød på Figur 16). Sammenlagt er de postglaciale marine aflejringer op til 18 m tykke (Bilag 1, Figur 23). De recente-subrecente aflejringer indgår her som en del af de postglaciale aflejringer i enhed U12.

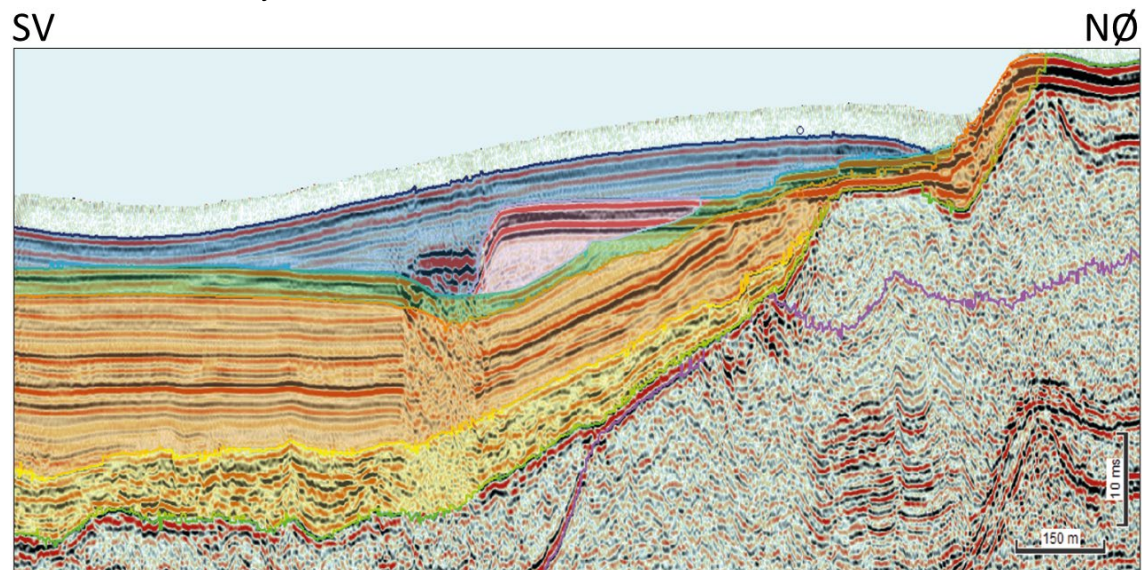
De postglaciale marine aflejringer er domineret af gytje (Figur 19), der ligger som udfyldninger i lavninger mellem områder med højtliggende moræne. Den postglaciale gytje er fremhævet med blå på Figur 16. De gytjeholdige aflejringer er karakteriseret ved en lagdelt, transparent akustisk signatur (Figur 17).

Ud fra tidligere erfaringer var det forventet, at der ville forekomme gas, der hvor gytjelaget var tykkere end 6 m. Under kortlægningen af de nye data er der imidlertid set gas i områder, hvor gytjelaget kun er 3 m tykt. Hvor gas optræder i sedimentet, forstyrres det seismiske signal af de underliggende lag. Det har haft konsekvenser for den præcise afgrænsning af de underliggende lag i store dele af det kortlagte område.

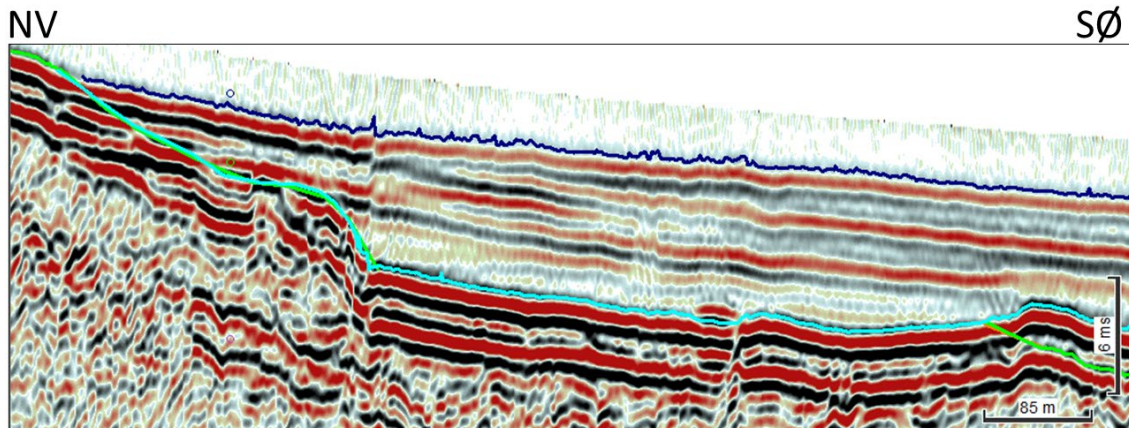
Et mindre område med gas i gytjelaget ses midt i det seismiske profil på Figur 16. Gytjelaget er op til 18 m tykt.

I IODP-boringen, der ligger 2 km sydøst for den planlagte linjeføring, er det postglaciale gytjelag 47,1 meter tykt, og beskrevet som postglacial saltvandsgytje med utydelig horisontal lagdeling. Ti af GEO boringerne fra 2014 er boret i gytjelaget, og beskrevet som postglacialt, marin gytje med høj plasticitet. Marta-boring 550932.1 viser gytje fra havbunden til 2,5 m dybde (ref. 10).

Et op til 12 m tykt gasholdigt gytjelag er kortlagt seismisk nord for Als (ref.11). Udbredelsen kan relateres til en sydvest-nordøst forløbende bassin struktur.



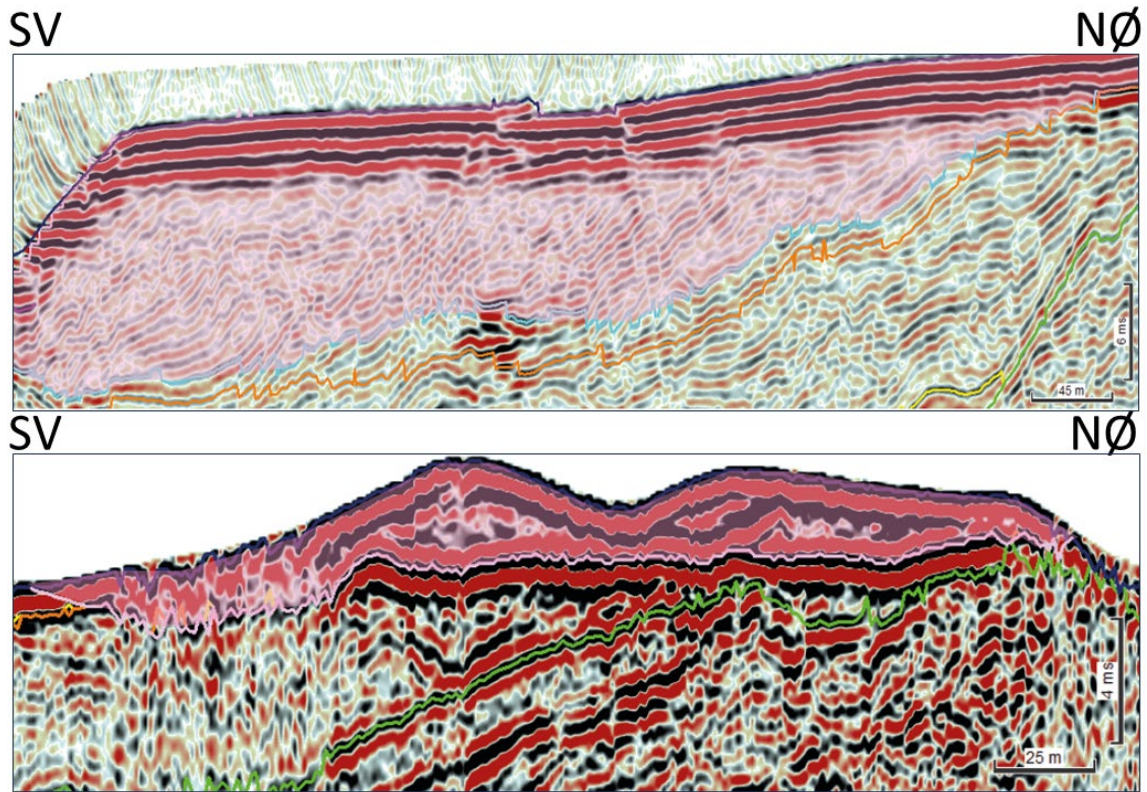
Figur 16: Seismik eksempel af de Postglaciale og senglaciale aflejringer. Det postglaciale gytjelag er fremhævet med blå, det postglaciale marine sand med lyserød, de postglaciale brakvandsaflejringer med grøn, yngre senglaciale lerede aflejringer med orange og ældre senglaciale sandede aflejringer med gul.



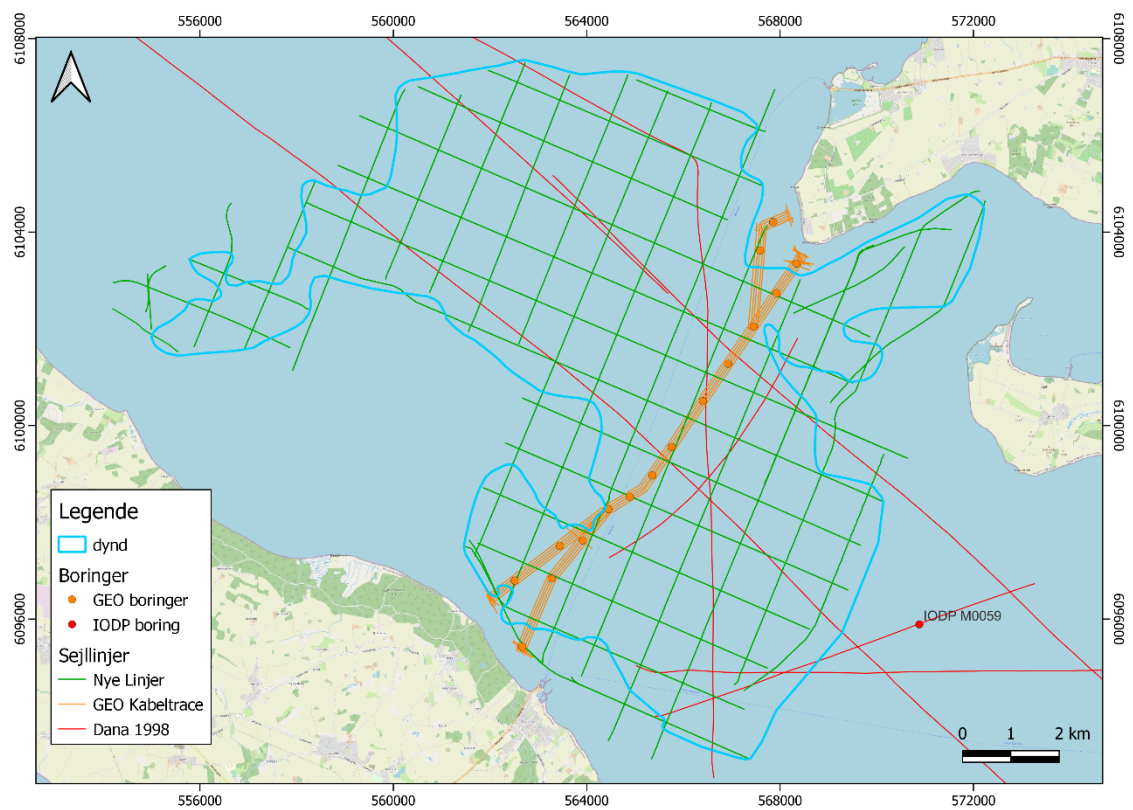
Figur 17: Den transparente lagdelte seismiske signatur af gyttjelaget.

Der er kortlagt 3 sandede enheder med en seismisk udbygningssignatur (øverst på Figur 18) og 4 tyndere postglaciale sandlag, der ligger som et dække over områder, hvor morænen ligger højt (nederst på Figur 18). Der er ikke set marint sand i IODP-boringen. Målestokken på Figur 18 viser den lille udstrækning af de sandede intervaller. Eksemplet der viser udbygning, er fra den største af de 3 enheder med denne struktur, og måler 2,5 km i længden, 1 km i bredden og er op til 12 m tyk. GEO boringer fra to forskellige udbygningintervaller består af fin til mellem- og grovkornet velsorteret sand (JFK_AF_VIB04 og _VIB15).

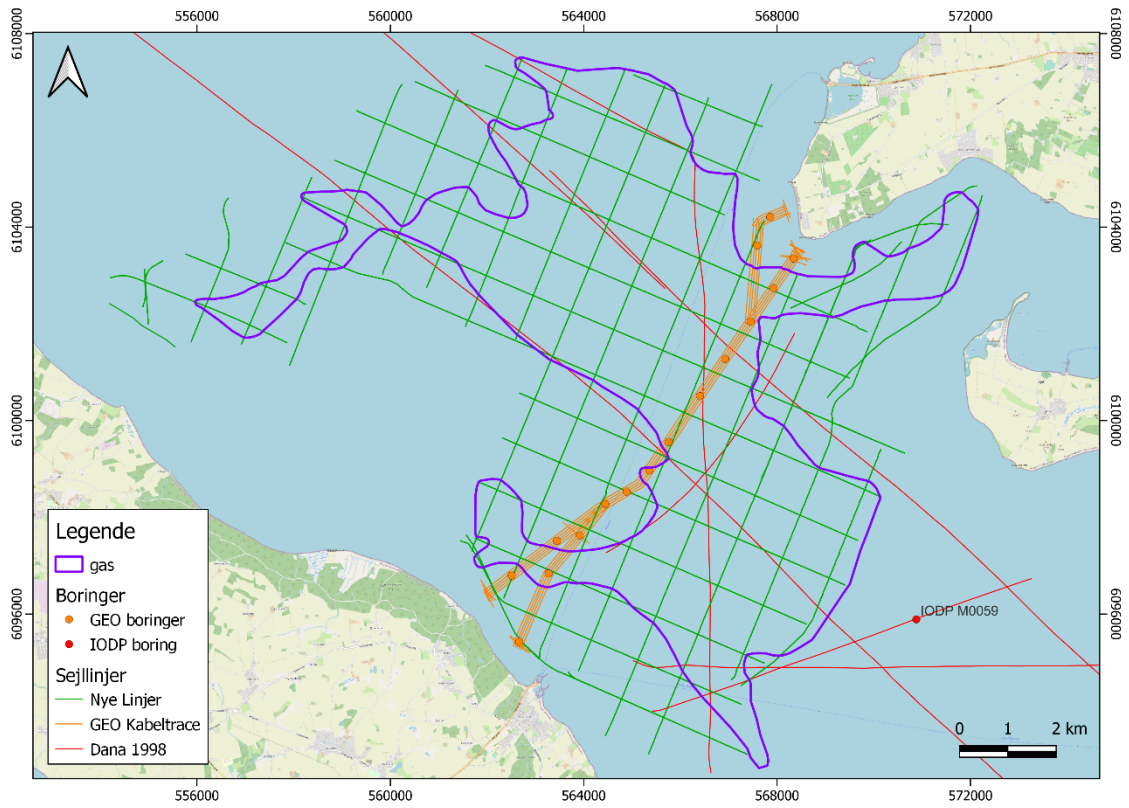
Den anden type af sandaflejringer er betydeligt mindre og tyndere end dem der viser udbygning. Den største er 1 km lang, 250 m bred og 4 m tyk. Der er en GEO boring fra hver af enhederne. En består af dårligt sorteret grus og groft sand (JFK_AF_VIB05), en er fining-upward sekvens fra groft sand til siltet finsand (JFK_AF_VIB14), en er et mellem til grovkornet sorteret sandlag (JFK_AF_VIB16) og den sidste består af velsorteret finsand (JFK_AF_VIB17a) (ref. 3).



Figur 18: seismiske eksempler af de postglaciale, sandede enheder, øverst med udbygningssignatur og nederst som et tyndt dække over morænen (grøn).



Figur 19. Kort der viser udbredelsen af den gyttjeholdige enhed og de bagvedliggende seismiske linjer.



Figur 20. Kort, der viser udbredelsen af de gasholdige lag og de bagvedliggende seismiske linjer.

7. Vurdering af den geologiske model

Den geologiske model giver et veldokumenteret billede af den geologiske opbygning af havbunden indenfor de mulige korridorer og nærområderne, så de forskellige forbindelsestyper og deres funderingsmetoder, kan vurderes.

Den geologiske model bygger primært på seismiske data indsamlet i marts 2023 suppleret med data indsamlet af Aarhus Universitet i 2014. De seismiske enheders lithologi er verificeret dels ved brug af informationerne fra vibrocore borer udført af GEO i forbindelse med et kabeltrace, dels fra en dyb IODP-boring ca. 6 km fra trace-området.

De tolkede seismiske enheders udbredelse vurderes at have en høj nøjagtighed, da de seismiske data var af høj kvalitet og dækkende for nærområdet til de planlagte linjeføringer. Tolkningen af enhedernes stratigrafi og alder vurderes ligeledes at være præcis og i overensstemmelse med den generelle viden om områdets geologiske udviklingshistorie.

Der findes dog udbredte områder med gasholdige sedimenter, hvor gassen enten forhindrer det seismiske signal i at reflektere de underliggende lag eller reducerer den seismiske hastighed, så lagfladerne i gasholdige seismiske enheder ikke matcher lagfladerne i de gasfrie enheder. Det har haft konsekvenser for den præcise afgrænsning især af de sen- og post-glaciale enheder i dele af det kortlagte område. For at få en homogen geologisk model er der benyttet seismiske hastigheder for gasfrie sedimenter for alle seismiske enheder uanset gasindholdet. Usikkerheden ved denne antagelse resulterer i at gasholdige lag muligvis vises med relative større tykkelser, op til 20%, end i virkeligheden. F.eks. kan det for gytjelagets vedkommende betyde, at den maksimale lagtykkelse på 18 m i virkeligheden kun er 14 m.

Sedimenternes kornstørrelser og fysiske egenskaber er dels vurderet ud fra de seismiske refleksionsmønstre, dels ekstrapoleret fra IODP-boringen ud i det kortlagte område og dels fra de korte vibrocore borer i den kortlagte kabeltrace.

For de prækvartære lag (U100 og U80/90) vurderes usikkerheden at være lille, da det seismiske udtryk er veldokumenteret og forbindelsen til IODP-boringen entydig. Den glaciale (U30) enhed er tolket som moræneaflejringer. Sedimentsammensætningen kan ikke præciseres, men GEO's borer i kabeltraceen indikerer, at enheden varierer fra moræneler til morænesand.

For de ældre senglaciale (U22) sedimenters vedkommende er vurderingen af kornstørrelser og fysiske egenskaber forbundet med en grad af usikkerhed pga. et omskifteligt aflejningsmiljø. Aflejringerne vurderes ud fra det seismiske udtryk og IODP-boringen at bestå af veksellende lag af overvejende sandede sedimenter med siltede/lerede indslag men med forbehold for laterale variationer.

De yngre senglaciale aflejringer kan med stor sikkerhed relateres til Den baltiske Issø. Sedimentet, der er veldokumenteret i bl.a. IODP-boringen, består af lagdelt ferskvandsler.

De postglaciale brakvandsaflejringer er ikke dokumenteret fra boreri i området, men kan dog med reference til andre områder af Lillebælt med stor sikkerhed antages at bestå af organiskholdigt, lamineret ler.

De postglaciale, marine aflejringer er generelt veldokumenterede fra boreri. Således er laget fra boreri i kabeltraceen beskrevet som gytje med høj plasticitet. Laget kan være gasholdigt. De sandede enheder er ligeledes veldokumenterede fra kabeltraceen, hvor der ses en variation fra siltet finsand til groft, gruset sand.

7.1 Anbefalinger til supplerende undersøgelser

Som nævnt giver den geologiske model et veldokumenteret billede af den generelle opbygning af havbunden indenfor de mulige korridorer og nærområderne. Modellens detaljeringsgrad er dog begrænset af det forhåndenværende datagrundlag.

Tykkelsen af Lillebæltsleret (U80/90) har ikke kunnet estimeres, da bunden i hovedparten af området af enheden ligger udenfor det seismiske vindue i det anvendte setup. Det anbefales, at der gennemføres supplerende geofysiske undersøgelser med sejllinjer langs den valgte linjeføringskorridor med en mere lavfrekvent seismisk lydkilde, som kan penetrere enheden. Detaljeringsgraden af de overliggende lag bliver med et sådan setup dog til gengæld væsentlig reduceret og må kortlægges med andre metoder.

Modellen kan ikke med sikkerhed afgøre om moræneenhed U30 består af moræneler eller morænesand. Kabeltrace-undersøgelsen (Ref. 3) beskriver ud fra de 6 gennemførte vibrocore boreri at den glaciale enhed består af moræneler. Det kan umiddelbart ikke ekstrapoleres ud i resten af modellens område. Da varierende indhold af ler giver varierende styrkeegenskaber anbefales det at gennemføre et antal boreri gennem moræneenheden langs den valgte linjeføringskorridor.

I store dele af området er grænsen mellem de to senglaciale enheder (U21/U22) usikker eller umulig at fastlægge seismisk, dels fordi grænsen ofte er uskarp pga. en gradvis lithologisk overgang, dels de overliggende gasholdige sedimenter absorberer det seismiske signal. Det forventes derfor ikke, at supplerende seismiske data vil kunne præcisere grænsen yderligere. Det anbefales at gennemføres et antal dybe boreri, der penetrerer enheden, så grænsen mellem de to enheder kan fastlægges med større præcision og sedimentsammensætningen bestemmes med større sikkerhed.

Enheden af brakvandssedimenter (U13) er ikke gennemboret i kabeltraceen (ref. 3), da enheden ligger dybere end den maksimale boringsdybde. Da informationerne om enheden er hentet relativt langt væk fra Lillebælt og IODP-boreri anbefales det, at der udføres boreri gennem enheden langs den valgte linjeføringskorridor, så enheden også i dette område består af ler eller evt. også indeholder tørvlag.

Det geotekniske datagrundlag til fastlæggelse af de faktiske styrke- og deformationsegenskaber for modellens enheder er begrænset til resultaterne fra kabeltraceen (Ref.3) Her blev der udført 16 vibrocore boreri kombineret med CPT-forsøg langs den endelig valgte

linjeføringskorridor. For at belyse de faktiske fysiske egenskaber af de kortlagte enheder anbefales det derfor, at der gennemføres 4-6 strategisk placerede, dybe borer til en dybde, så det sikres, at Lillebæltseret (U80/90) kan analyseres.

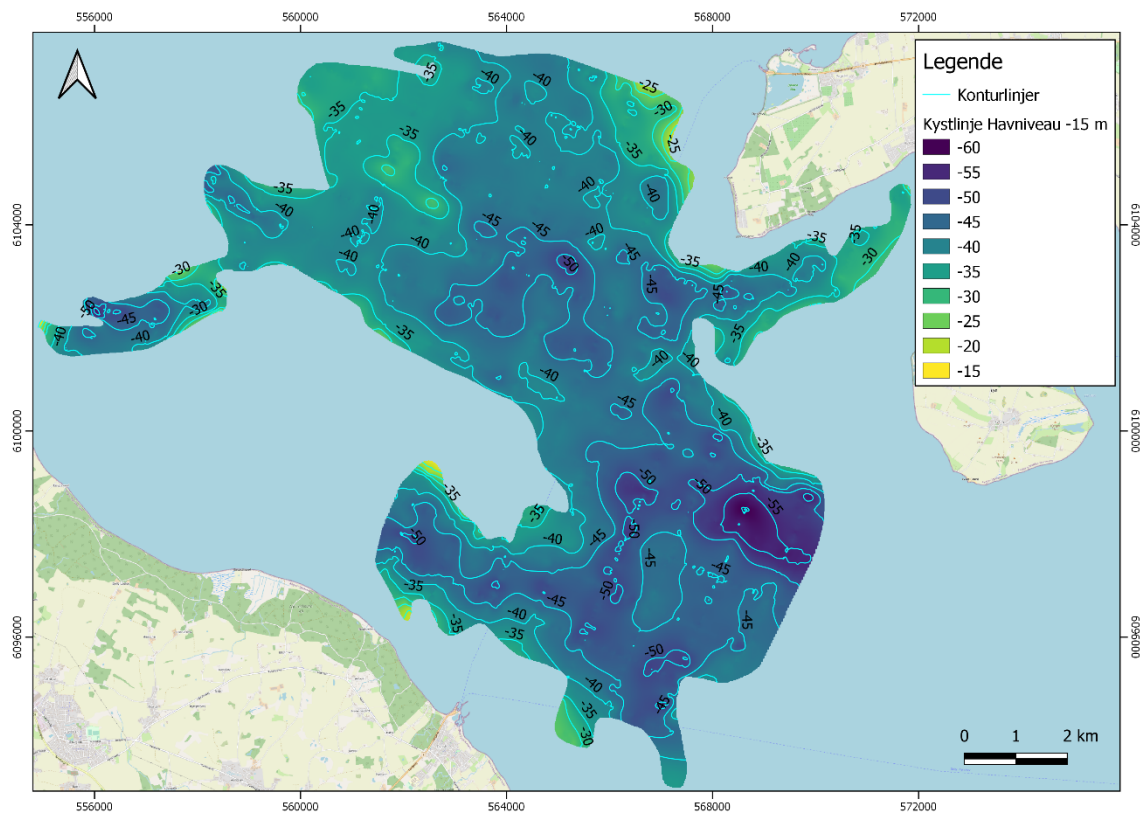
Når den valgte linjeføringskorridor ligger fast, bør der, for at kunne skabe den stærkest mulige basis, gennemføres supplerende geofysiske undersøgelser af den valgte linjeføringskorridor, samt en kombination af et antal geotekniske borer og CPT-målinger, der kan verificere de geofysiske resultater. Det skal kunne afklare usikkerheder i relation til de gasholdige sedimentter, eventuelle tørvelag samt indholdet af vand og organisk stof i sedimentet.

8. Den arkæologiske model

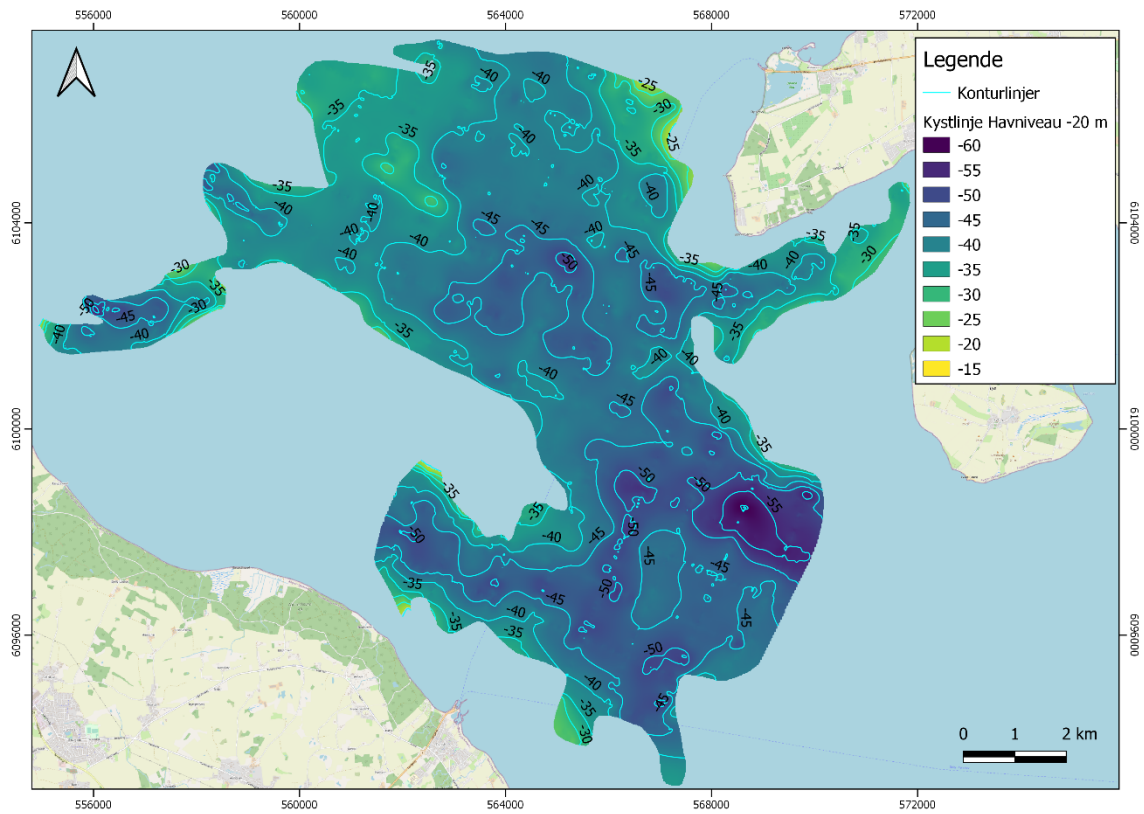
De kortlagte enheder er blevet vurderet i forhold til ældre kystlinjeniveauer og relevante palæogeografiske scenarier, med henblik på at lokalisere tilstedeværelsen af mulige arkæologiske hotspots. En samlet vurdering af palæogeografien, havspejlskurven og de kortlagte enheders placering foretaget af GEUS og Langelands Museum har indikeret, at den eneste relevante flade til analyse for hotspots er den kortlagte sen-glaciale U20 flade. Resultat af denne analyse præsenteret nedenfor. Resultaterne er præsenteret i GIS-format, som er leveret til Langelands Museum i august 2023.

8.1 Arkæologi

Koten af sen-glacial fladen U20 er i næsten hele det kortlagte område større end 20 m, eneste undtagelse herfra er et lille område i den vestligste del, hvor den meget lokalt er mindre end 15 meter. I områder hvor sen-glaciale aflejringer mangler er der højtliggende moræne, stedvist dækket af et tyndt post-glacialt lag. Dybden til sen-glacial fladen skåret efter henholdsvis 15 m konturlinjer (Figur 21) og 20 m konturlinjer (Figur 22), som repræsenterer palækystlinjen ved henholdsvis 6800 f.Kr. og 9400 f.Kr.



Figur 21: Kystlinje efter -15 m konturen svarende til 6800 f.Kr.



Figur 22: Kystlinje efter -20 m konturen svarende til 9400 f.Kr.

9. Øvrige geologiske baggrundsdata

Ud over de seismiske data anvendt i den geologiske model og til de arkæologiske vurderinger indsamlede GEUS multibeam data og sidescan data på togtet i marts 2023. Workflow for processeringen er beskrevet i surveyrapporten (ref. 2).

9.1 Multibeam sonar data

Multibeam data blev indsamlet langs de seismiske sejllinjer og er dermed ikke fladedækkende. For at kunne referere de tolkede flader i den geologiske model til DVR90 blev de indsamlede multibeam data griddet til en fladedækkende bathymetri med reference til DVR90. Gridding blev efter aftale med Sund og Bælt A/S udført af Rambøll.

GEUS godkendte den bathymetrisk grid-fil og overtog efter modtagelsen fra Rambøll ansvaret for dens anvendelse som referenceflade i den geologiske model.

De indsamlede og rensede multibeamdata filer er leveret til Sund og Bælt A/S via den aftale dataportal.

9.2 Sidescan sonar data

Sidescan sonar data blev indsamlet jsf-format langs de seismiske linjer. Data er blevet processeret mhp. at kunne præsentere data som en sidescan mosaik. Mosaikfilerne er via det anvendte software SonarWiz7 eksporteret som georefererede geotif-filer.

Geotif-filerne er sammen de processerede jsf-filer leveret til Sund og Bælt A/S via den aftale dataportal.

10. Laboratorieanalyser

De kortlagte sedimentpakker er så vidt mulig korreleret med eksisterende boringsdata dels fra GEO's kabeltrace-undersøgelser i 2014 for Energinet (ref. 3), dels IODP-boringen fra 2013 (ref. 6). Der er ikke udført nye boringer i forbindelse med denne opgave og derfor heller ikke udført supplerende laboratorieanalyser af prøvemateriale. For kornstørrelsesanalyser og analyser af organisk indhold henvises til GEO's vibrocoreboringer (ref. 3).

11. Dataudveksling

Data fra projektet er jf. aftale med Sund og Bælt A/S overført til den udvekslingsportal, der er stillet til rådighed af Sund og Bælt A/S. Der gælder for de rå og de processerede data indsamlet i forbindelse med GEUS tog i marts 2023, samt for tolkede seismiske enheder eksporteret fra IHS Kingdom tolkningssoftware. Desuden er de griddede og tolkede flader og tykkelser eksporteret og uploadet fra QGIS.

Surveyrapporten og nærværende rapport er udvekslet via e-mail.

Nedenstående Tabel 4: Digitale leverancer – oversigt. giver en oversigt over de digitale leverancer.

Item	Group	Data Product	Folder
1	Data	Bathymetri - U-griddet (X,Y,Z) værdier i ASCII format	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - Ugridded
2	Data	Bathymetri - 0.25 m grid (middelværdier) Tiff format	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - MidVærdier
3	Data	Bathymetri - 1 m grid (middelværdier) Tiff format	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - MidVærdier
4	Data	Bathymetri - 0.25 m grid (middelværdier) X,Y,Z	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - MidVærdier
5	Data	Bathymetri - 1 m grid (middelværdier) X,Y,Z	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - MidVærdier
6	Data	Bathymetri - 0.25 m grid (minimumværdier) Tiff format	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - minVærdier
7	Data	Bathymetri - 1 m grid (minimumværdier) Tiff format	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - minVærdier
8	Data	Bathymetri - 0.25 m grid (minimumværdier) X,Y,Z	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - minVærdier
9	Data	Bathymetri - konturkurver med 50 cm intervaller, SHP format.	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - minVærdier
10	Data	Bathymetri - 1 m grid (minimumværdier) X,Y,Z	\Als-Fyn - MBES\Als-Fyn -MBES - minVærdier
11	Data	Subbottom profiler LF data - bevægelseskorrigeret - Raw format	\Als-Fyn - SBP\Als-Fyn - SBP-Raw
12	Data	Subbottom profiler LF data - uprocesseret, Bevægelseskorrigeret- Segy format	\Als-Fyn - SBP\Als-Fyn - SBP -SEGY\NoProc
13	Data	Subbottom profiler LF data - Processeret, Bevægelseskorrigeret- Segy format	\Als-Fyn - SBP\Als-Fyn - SBP -SEGY
14	Meta data	Subbottom profiler aquisition settings windows	\Als-Fyn - SBP\Als-Fyn - SBP - Settings
15	Data	MUHRS - migreret - segy format	\Als-Fyn - MUHRS\Als-Fyn - MUHRS - Mig
16	Data	MUHRS - umigreret - segy format	\Als-Fyn - MUHRS\Als-Fyn - MUHRS-UnMig
17	Data	MUHRS - processerede navigationsdata i txt format	\Als-Fyn - MUHRS\Als-Fyn - MUHRS processeret Navigation
18	Data	Sidescan sonar - rådata, JSF format	\Als-Fyn - SSS\Als-Fyn - SSS - JSF
19	Data	Sidescan sonar - mosaik - Tiff	\Als-Fyn - SSS\Als-Fyn - SSS - Sonarwiz 6\LilleBaelt-Sonarwiz\GeoTiff
20	Data	Sidescan sonar - Sonarwiz 6 projekt	\Als-Fyn - SSS\Als-Fyn - SSS - Sonarwiz 6
21	Data	IHS Kingdom filer for de tolkede seismiske enheder i meter	\Als-Fyn-Geologisk model\Als-Fyn
22	Data	QGIS-filer for de griddede tolkede flader	\Als-Fyn-Geologisk model\Grids version 2
23	Data	QGIS-filer for de beregnede og griddede lagtykkelser	\Als-Fyn-Geologisk model\Grids version 2
24	Data	QGIS filer for konturkort for relevante arkæologiske flader	\Als-Fyn-Geologisk model\ArkæologiGIS
25	Rapport	Als-Fyn geofysiske forundersøgelser - surveyrapport inkl. processeringsrapport MUHRS	sendt pr. email
26	Rapport	Als-Fyn geofysiske forundersøgelser - Geologisk model til brug for miljø- og anlægstekniske analyser	sendt pr. email

Tabel 5: Digitale leverancer – oversigt.

12. Referencer

Ref. 1. Jørn Bo Jensen: Als-Fyn kyst-kyst anlægstekniske forundersøgelser. Geologisk model til brug for miljø- og anlægstekniske analyser – scope og formater. GEUS Rapport XX, september 2022.

Ref. 2. Lasse Tésik Prins, Lars-Georg Rödel, Egon Nørmark, Nicklas Christensen og Jørgen O. Leth: Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser. Marts 2023. Surveyrapport. Klient: Sund og Bælt A/S. GEUS Rapport 2023/21.

Ref. 3. GEO rapport 2014. Jylland-Fyn Cable Routes Geophysical and Geotechnical Investigations. Geo Project No.: 37725. Energinet.dk Project No.: 14/18501.

Ref. 4. Lykke Andersen H, 2001: 2D scientific surveys DANA 1998, DANA 1999 and DANA 2000. The BALTSEIS-PROJECT. GEUS Report file no. 27571.

Ref. 5. Fast forbindelse Als-Fyn. Havbundsundersøgelser. Afrapportering af resultater fra havbundsundersøgelser mellem Als og Fyn. Rambøll rapport til Faaborg-Midtfyn Kommune, 2014.

Ref. 6. Andrén, T., Jørgensen, B.B., Cotterill, C., Green, S., and the Expedition 347 Scientists 2014: Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, Volume 347 Site M0059.

Ref. 7. Eiríksson, J., Kristensen, P. H., Lykke-Andersen, H., Brooks, K., Murray, A., Knudsen, K. L. & Glaister, C. 2006: A sedimentary record from a deep Quaternary valley in the southern Lillebælt area, Denmark: Eemian and Early Weichselian lithology and chronology at Mommark. Boreas, Vol. 35, pp. 320-331. Oslo. ISSN 0300-9483.

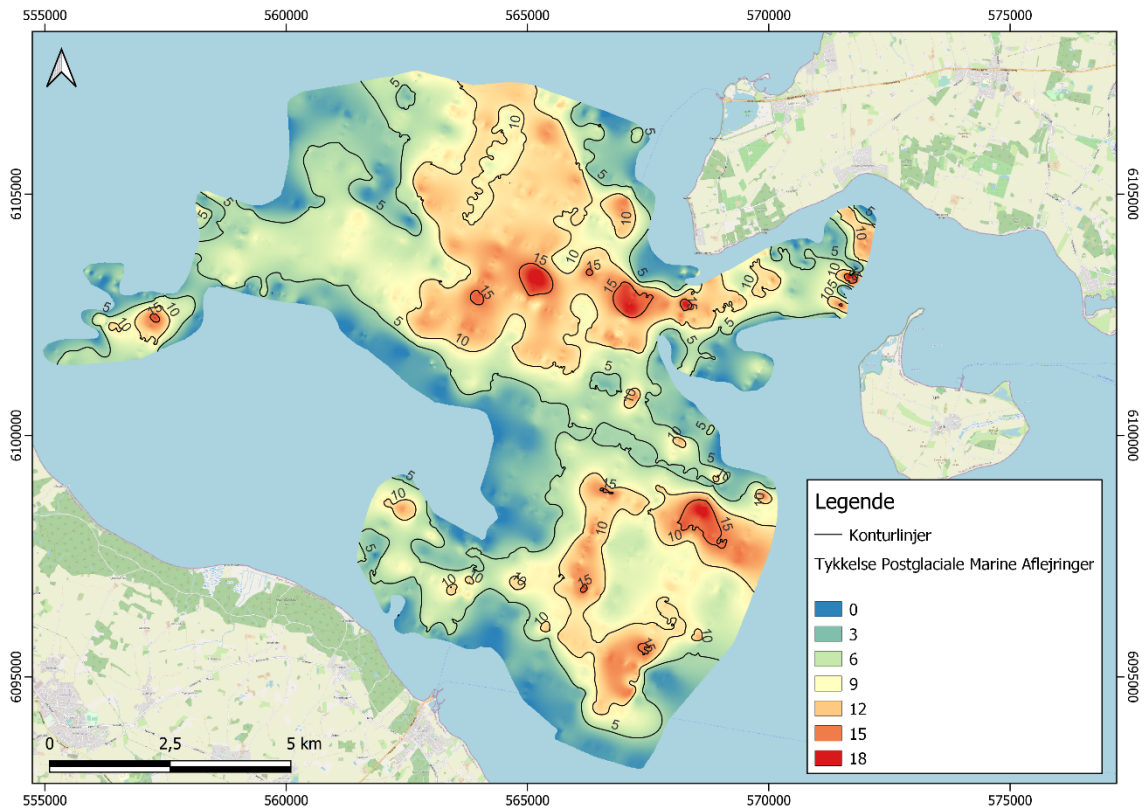
Ref. 8. Lykke-Andersen, H., 2003: Noter til seismik 1A. Anvendt reflektionsseismik. Geologisk Institut Aarhus Universitet.

Ref. 9. Jupiter-databasen. <https://data.geus.dk/geusmap/?mapname=jupiter>

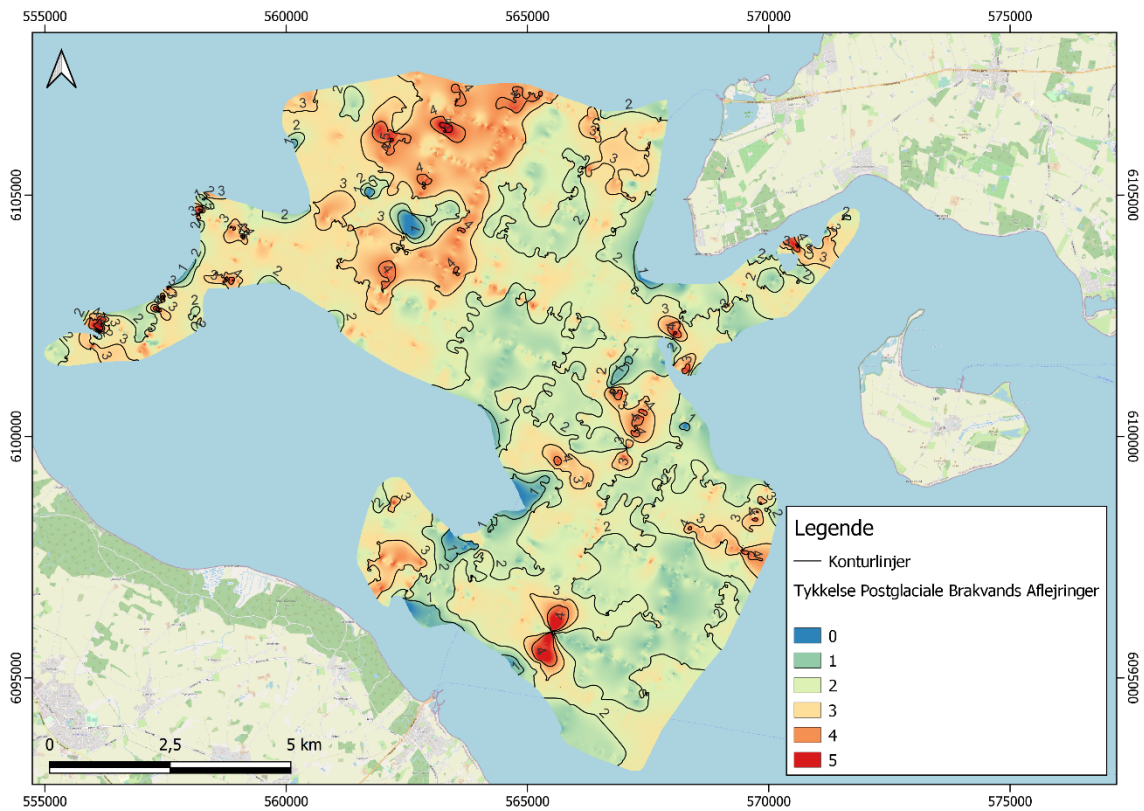
Ref. 10. Marta-databasen. <https://data.geus.dk/geusmap/?mapname=marta>

Ref. 11. Leth, J. O. & Lomholt, S., 2014: Kortlægning af området Lillebælt Syd. Bathymetrisk og geologisk kortlægning af et område til opstilling af vindmøller. Udført for Sønderborg Forsyning. GEUS Rapport 2016/29. Fortrolig rapport.

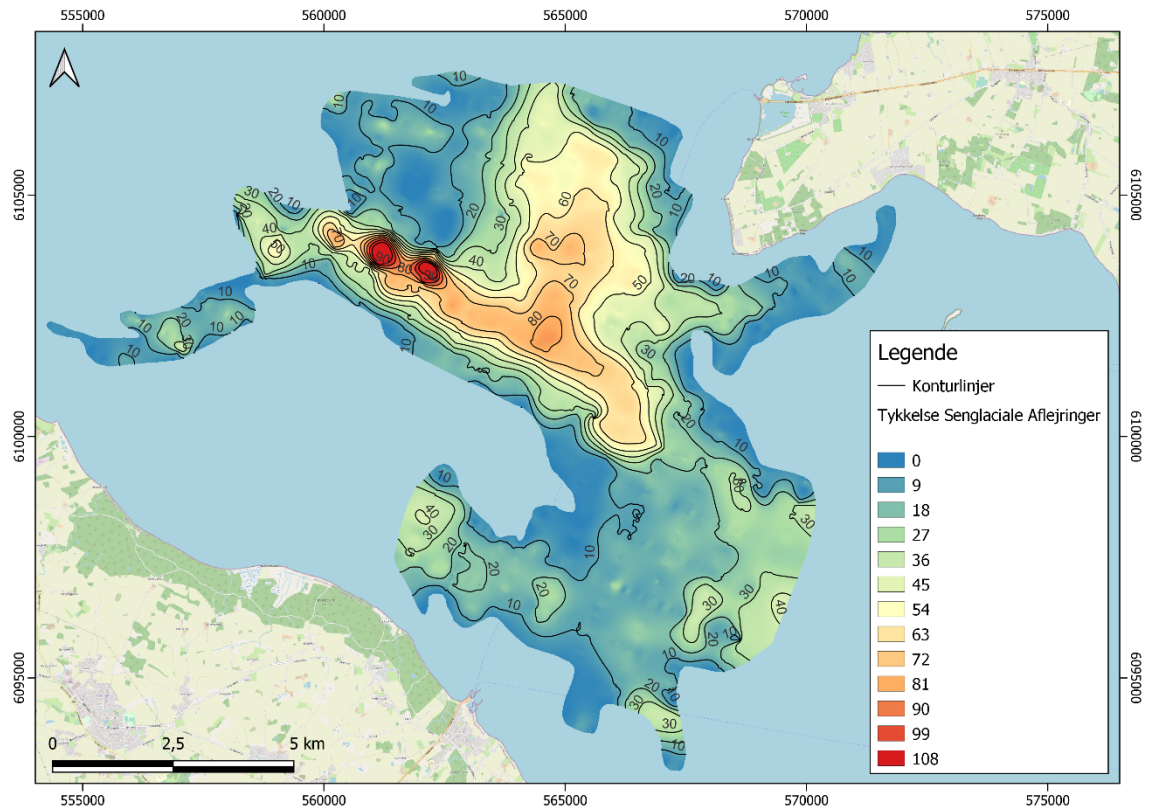
Bilag 1: Konturkort over lagtykkelser



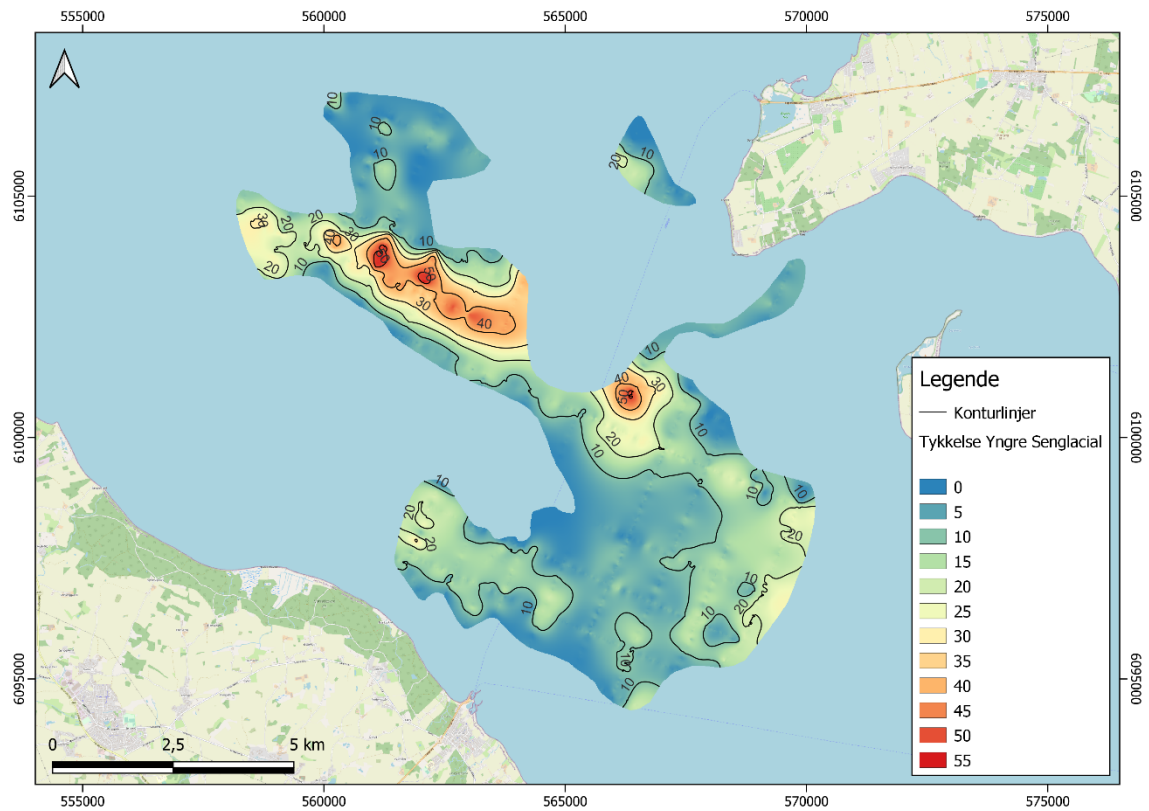
Figur 23: Kontureret tykkelseskort for de postglaciale marine aflejringer.



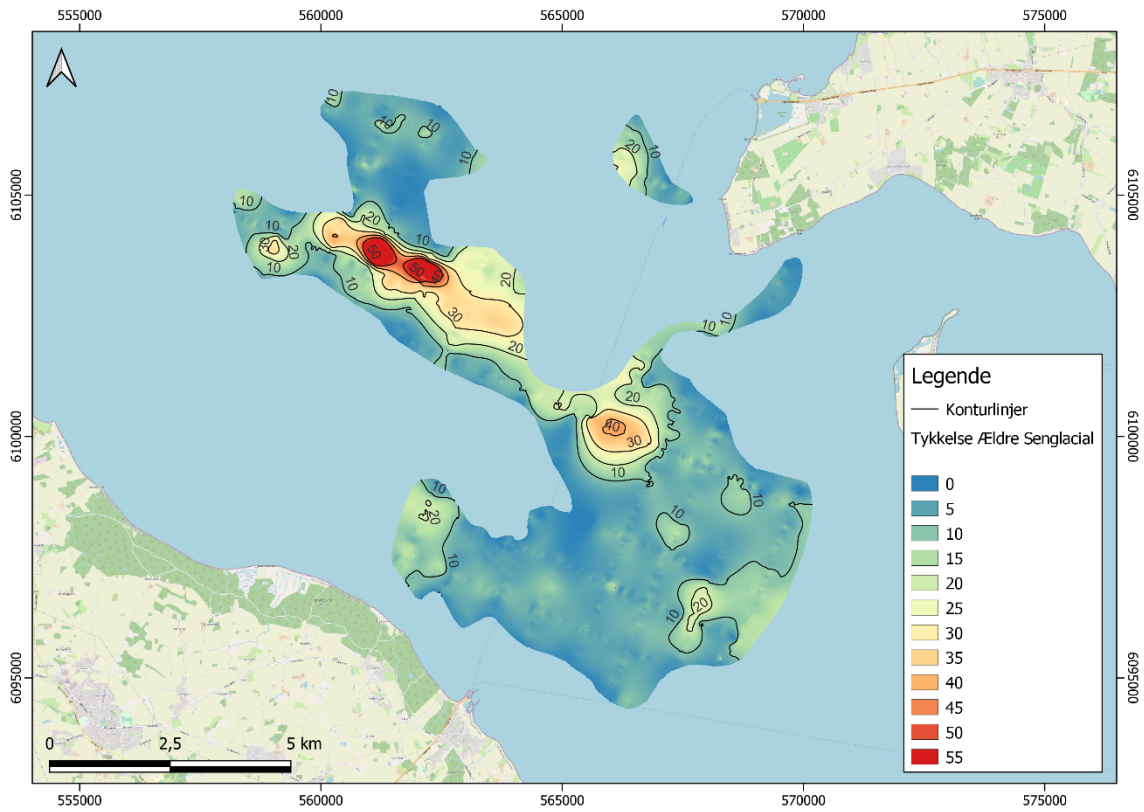
Figur 24: Kontureret tykkelseskort for de postglaciale brakvandsaflejringer.



Figur 25: Kontureret tykkelseskort for de senglaciale aflejringer.



Figur 26: Kontureret tykkelseskort for de yngre senglaciale aflejringer.



Figur 27: Kontureret tykkelseskort for de ældre senglaciale aflejringer.