

Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser. Marts 2023

Surveyrapport

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

Lasse Tésik Prins, Lars-Georg Rödel, Egon Nørmark,
Nicklas Christensen og Jørgen O. Leth

Indhold

1.	Indledning	2
1.1	Formål.....	3
2.	Surveybeskrivelse	4
3.	Personale	5
4.	Udstyrsbeskrivelser	6
4.1	Fartøj.....	6
4.2	Positioneringsudstyr.....	8
4.3	Norbit IWBMSH Multibeam echosounder.....	8
4.3.1	Multibeam Patch-test kalibrering.....	9
4.3.2	SVP.....	11
4.3.3	Multibeam post-processering.....	11
4.4	Multikanal ultrahøj-opløselig sparker seismik.....	13
4.5	Innomar Medium sub-bottom profiler.....	15
4.5.1	Processering af Innomar data.....	15
4.6	Side scan sonar.....	16
4.6.1	SSS test.....	16
4.6.2	Processering af Side scan sonar data.....	18
4.6.3	Navngivning af survey-linjer.....	19
5.	HSE	21
6.	Equipment verification test (EVT)	22
7.	Tak	24

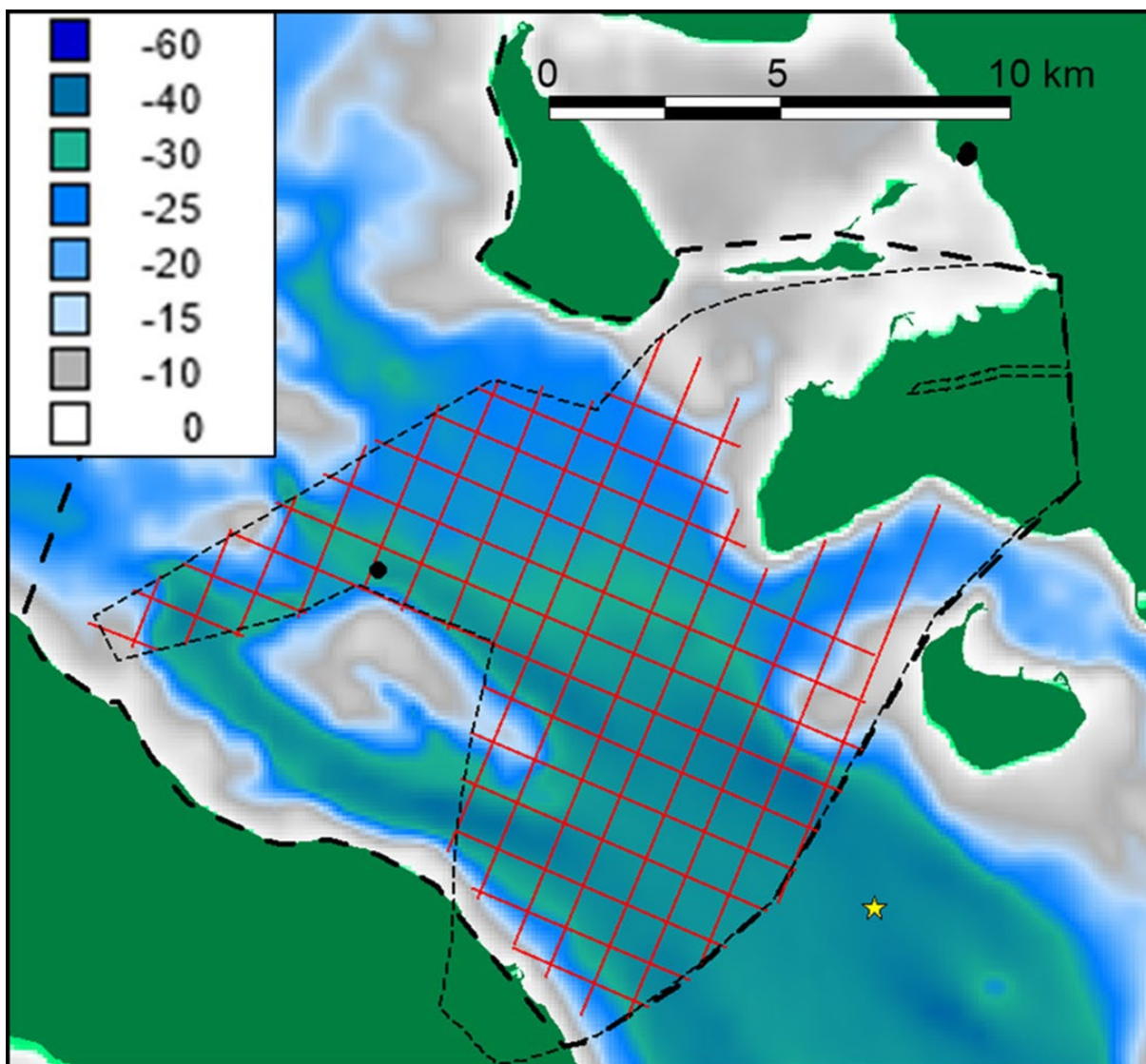
Appendices

Appendix A – Processing workflow for Sparker data

Appendix B – Survey log for Als-Fyn geofysisk forundersøgelse

1. Indledning

Denne surveyrapport er en dokumentation af det geofysiske survey, der blev gennemført af GEUS i perioden 14/3 til 18/3 2023 fra opmålingsfartøjet, Aurora. Rapporten beskriver det anvendte udstyr, de indsamlede data og den efterfølgende data-processering. Figur 1 viser en oversigt over surveyområdet og de planlagte sejllinjer.



Figur 1 Surveyområde med planlagte linjer indtegnet. Stjernen repræsenterer en IODP boring, der bruges i tolkningen af de seismiske data. Bathymetriens farvekode fremgår af legenden.

1.1 Formål

Formålet med surveyet var at indsamle geofysiske data, som kan understøtte beslutningen om funderingsdesign af en kommende Als-Fyn fast forbindelse. Målet var at forsøge at skyde med så høj energi fra sparker kilden, at det var muligt at "se" igennem de meget store gasmængder, der findes i de dybe dele af området. Data skal derudover bruges til at vurdere dybden til de lag, som skal bære fundamentet til den faste forbindelse.

Der blev indsamlet data med multikanal-sparker (MUHRS), subbottom profiler (SBP/Innomar), Multi-beam echosounder (MBES)- og side scan sonar-data (SSS) som kan anvendes i den opdaterede geologiske model, samt til marinarkæologiske undersøgelser og som input til miljøundersøgelser.

2. Surveybeskrivelse

Undersøgelserne blev udført fra skibet R/V Aurora. Tabel 1 giver en oversigt over surveyaktiviteterne. I starten af surveyperioden var der nogle problemer med navigationen. Dette blev dog løst, og efter patchtest og GAMS kalibrering kunne skibet sejle mod surveyområdet. Da udstyret blev testet i surveyområdet, viste det sig at sparkeren påvirkede MBES udstyret negativt. Dette var en fejl GEUS ikke har oplevet før, og efter forsøg med forskellige power supply's og forskellige jordforbindelses-konfigurationer startede survey uden MBES, da seismikken var det vigtigste data. Der blev fortsat arbejdet med en løsning, og det endte med, at problemet forsvandt, da MBES-udstyret blev koblet på skibets særlige "clean power" strømgruppe. Kort efter surveystart, gik power-supply i stykker, og kunne ikke længere levere strøm til sparker-systemet. Dette var højst overraskende, da den var renoveret og serviceeret af producenten to uger før survey. Resten af surveyet foregik med en mindre reserve power supply. Det betød at resten af survey blev afviklet med 1000 J med shooting interval på 1 sekund.

Survey fortsatte nu problemfrit i en længere periode, inden seismik, SBP og SSS måtte bjærges på grund af vejrlig. MBES kunne fortsat operere, og vejrligsperioden blev brugt på at sejle infill på hovedparten de linjer, der manglede MBES data.

Da udstyret blev sat i vandet igen, blev der indsamlet data på resten af surveyet uden afbrydelser.

Tabel 1. Kort oversigt over surveyaktiviteterne

Dato	Område	Noter
14/3-23	Aarhus	Mobilisering færdiggøres og der udføres test inden afgang mod surveyområdet
15/3-23	Lillebælt	Udstyrstest og surveystart
16/3-23	Lillebælt	Survey (vejrlig om aftenen)
17/3-23	Lillebælt	Vejrlig (MBES infill), Survey genoptages efter PAM monitorering kl. 03. Herefter survey
17/3-23	Lillebælt	Survey afsluttes ca. kl. 23.30. udstyr bjærget kl. 23:50. Herefter SVP og retur mod Aarhus
18/3-23	Aarhus	Ankomst til Aarhus havn omkring kl. 13. Debriefing ombord inden demob og survey blev afsluttet.

3. Personale

Marine Crew

Torben Vang - Kaptajn

Lars Renvald – 1. styrmand

Frank – Besætning

Morten – Besætning

Lars Elbæk - Hovmester

Scientific party

Lasse Tésik Prins – togtleder

Sigurd Bjerregaard Andersen – Tekniker/surveyor

Nicklas Christensen – Surveyor/PAM-vagt

Zia Møller Moltesen Przyswitt - Surveyor/MMO

Processering team

Egon Nørmark – MUHRS

Nicklas Christensen – MBES

Lasse Tésik Prins – SBP og SSS

Det videnskabelige hold afviklede survey i tre døgnlige vagtskifter af 8 timer. Der var hele tiden 2 videnskabelige personaler på vagt for at sikre datakvaliteten og korrekt SSS dybde.

4. Udstyrsbeskrivelser

4.1 Fartøj

Det seismiske survey foregik fra Aarhus Universitets forskningsfartøj, Aurora (figur 2)

Auroras dimensioner og kapacitet fremgår af tabel 2.

Tabel 2: Auroras tekniske detaljer

- 14 personer, inkl. besætning kan deltage på togt af op til 10 døgns varighed
- Cruise hastighed: ca. 8 knob
- Max hastighed: ca. 11 knob
- Længde i alt: 28 m
- Bredde: 8,5 m
- Dybgang: 2,75 m
- Areal af agterdæk: 75 m²
- Areal af vådlab: 24 m²
- Areal af tørلاب: 16 m²



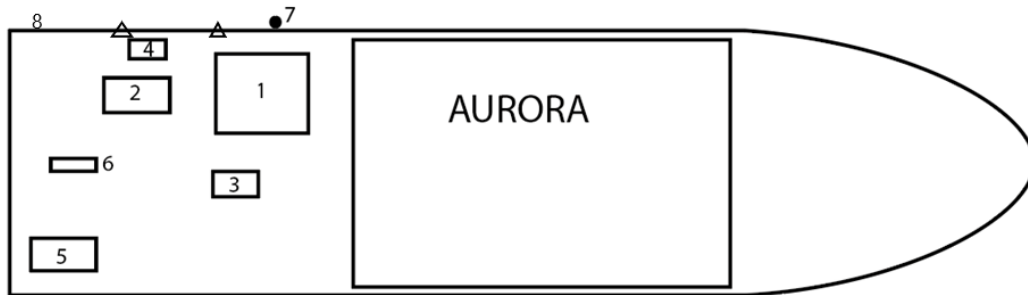
Figur 2. Surveyskibet Aurora med en agter A-ramme, hvorfra det seismiske udstyr blev betjent. (fotos: Aurora).

Aurora er fast udstyret med

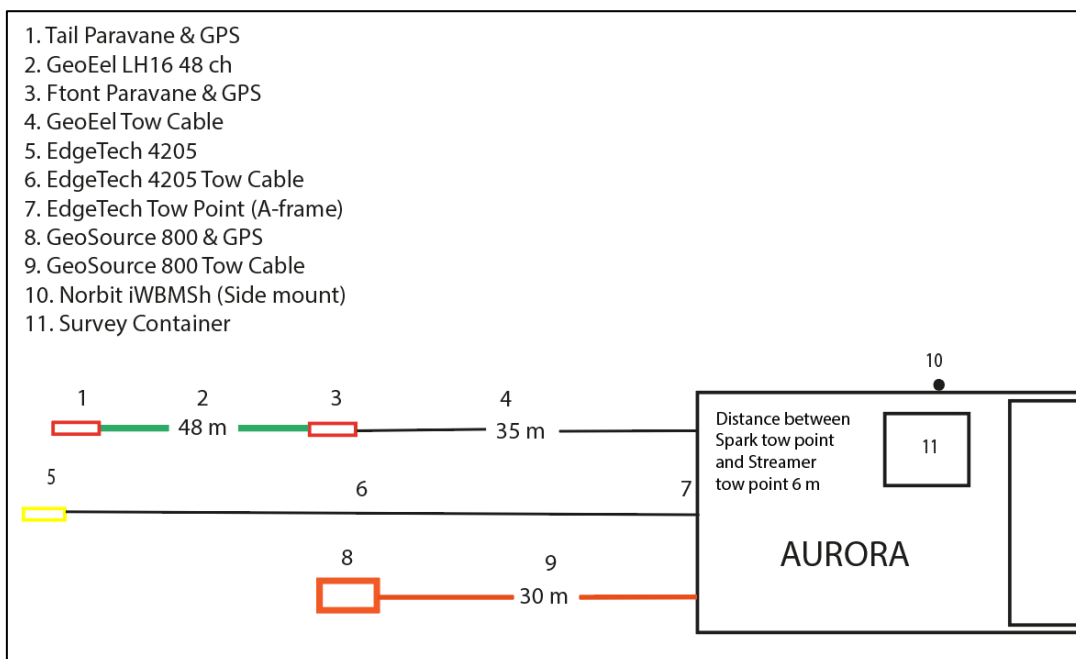
- Applanix POSMV320 survey navigationsløsning samt Navipac
- Reson SEABAT 7125 Højopløseligt multibeam ekkolod, dybde 0,5-500 m
- Reson SVP70 Sound velocity profiler
- Innomar SES2000 Sub-bottom profiler.
- RDI Workhorse Mariner ADCP
- SCANMAR trawl monitoringssystem

Placeringen af udstyr og konfigurationen af det geofysiske udstyr fremgår af figur 3 og 4.

1. Survey Container
2. Multichannel streamer Winch
3. Sparker cable Winch
4. PAM Winch
5. GeoSource 800
6. EdgeTech 4205
7. Side mount (Norbit iWBMSH) 8. GPS and. Norbit PosMV



Figur 3 Aurora dæksplan



Figur 4 Geofysisk udstyr og offsets ombord på Aurora.

4.2 Positioneringsudstyr

Positionering af Auroras indbyggede multibeam (Reson 7125), subbottomprofiler (Innomar SES2000 Standard) og surveysoftware (Eiva Navipac) forgår via en Applanix PosMV 5.

Til brug for 3. parts systemer, i dette tilfælde GEUS' Multikanal seismik(Geospark800/Geo-source1000/GeoEel Solidstate) samt towed sidescan (Edgetech 4205 100/400 motiontolerant), er der lavet en breakout boks, der omsætter PosMV ethernet output til en række serielle signaler. PPS, HDT, ZDA og GGA.

Output fra PosMV foregår i lat/long og lagres i header til sidescan (JSF), sbp (RAW) og seismik (SEGD) som WGS84/UTM32, EPSG (v.10038) ID 32632.

Ingen af positionerne fra Auroras PosMV indeholder Z-værdier, RTK og reduktion af geoideseperation foregår for Multibeam som leverer bathymetri og backscatter.

Positionen til sidescan kommer som GGA output fra PosMV/Breakout boks fra Aurora og forsynes manuelt med et layback aflæst fra Auroras kabeltæller og lagres i JSF filens header sammen med towpoint position på skibet. De to værdier merges under processing i SonarWiz.

Position til Innomar er permanent interfacet med skibets PosMV''

Position til seismik er baseret på et output fra PosMV/Breakout boks som GGA. Denne position bruges sammen med 3 remote GPS'er der er monteret henholdsvis på source(Geospark), front bouy og tail bouy. De 3 positioner sendes med radiosignal(XBEE) til modtager på skibet og samles i en bruger-defineret streng der skrives ud fra Navipac ved hver event.(GPSRadio moduleerne er designet og bygget på AU Geoscience)

Events genereres fra en Triggerboks, der splittes til Geometrics controller, sparker og Navipac hvert sekund. (Triggerboks er designet og bygget på AU Geoscience)

Position til Multibeam (Norbit IWBMSH) kommer fra Norbits interne PosMV Oceanmaster. IMU er indbygget i transmitter og GPS antenner er monteret på ræling.

Norbitpositionen er i RTK med NTRIP-korrektioner kommende fra Geoteam/Trimble. Data opsamles i EIVA KUDA, NaviEdit og NaviScan. Data logges som for de andres systemers vedkommende i EPSG ID. 32632. For multibeam data reduceres højderne til DVR90 ved hjælp af DKGRI03 i Navipac.

4.3 Norbit IWBMSH Multibeam echosounder

Da Auroras egen Reson 7125 var i stykker blev multibeam bathymetri indsamlet med en Norbit iWBMSH echosounder indlejet fra EIVA (Vist på figur 5). Dette er en højpræcisions multibeam, med integreret PosMV Applanix Ocean Master bevægelsessensor.



Figur 5 Billede af den anvendte Multibeam Echosounder

Alle data blev indsamlet i ETRS89 UTM-zone 32N. Udover problemer med støj fra sparkersystemet i starten af surveyet, var der ingen problemer med MBES-systemet, der kørte stabilt og pålideligt. Systemet skrev data ud som .SBD filer via NaviScan-software. Filformatet indeholder alle relevante navigations- og bevægelsesdata samt dybde- og bevægelsesdata. Indstillingerne for systemet fremgår af tabel 3.

Tabel 3: Multibeam echosounder settings.

Data type	Sensor data, snippets
Power	Full (226 dB)
Pulse længde	200 μ s
Gain	Automatic gain
Max rate (ping)	Adaptive p/s
Beam mode	Equi-angle
Pulse type	FM (frequency modulating); FM sweep 1 kHz
Frekvens	400 kHz

4.3.1 Multibeam Patch-test kalibrering

Inden Patchtest, blev der lavet en GAMS kalibrering.

En multibeam patchtest kalibrering tjener to formål:

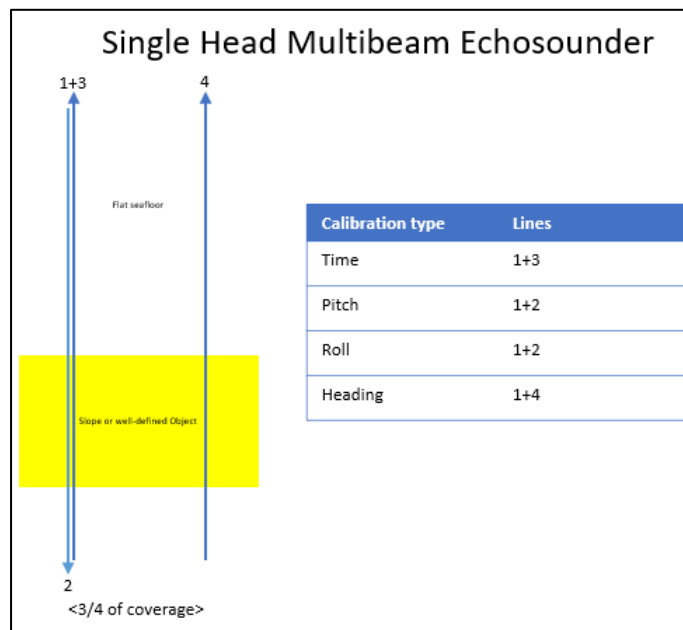
- Bestemmelse af monteringsvinklerne (roll, pitch og heading) for multibeam transduceren i forhold til fartøjets lokale koordinatsystem.
- Bekræftelse af forholdet mellem tidsmærkningen på multibeam dataene og positionsdataene.

For at gøre det muligt at isolere og kvantificere patchtest-kalibreringsværdierne, vil nogle foruddefinerede linjer blive indsamlet og derefter behandlet. Dette er illustreret på figur 6. Alle fire kalibreringstyper kræver to forskellige linjer.

- Tidskalibrering/validering: Dataene vil blive indsamlet på en foruddefineret opmålingslinje over en stejl skråning eller et veldefineret objekt. Linjerne bliver opmålt med opmålingshastighed og derefter gentaget i samme retning med to gange den oprindelige opmålingshastighed.

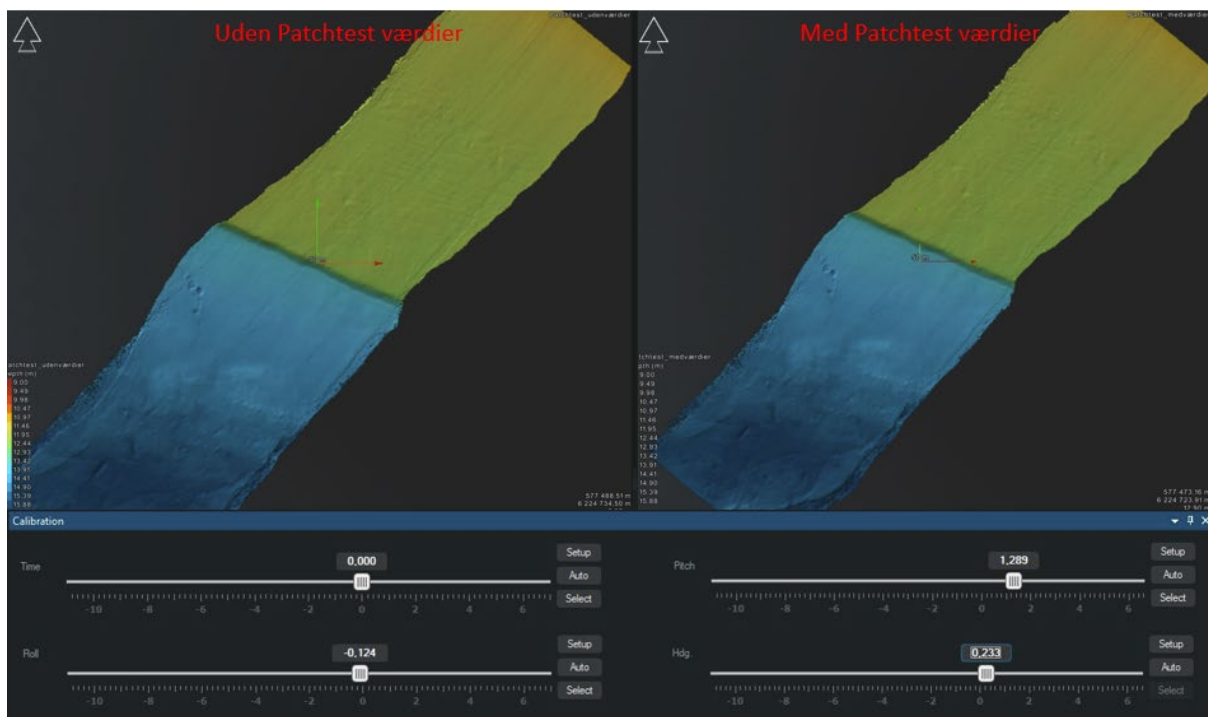
- Pitch-kalibrering: De indsamlede data for pitch bliver udført over en stejl skråning eller over et veldefineret objekt. Den samme linje bliver opmålt to gange med modsatrettet heading. Multibeam hovedet skal passere over nøjagtig den samme del af skråningen på hver linje.
- Roll-kalibrering: De indsamlede data til Roll kalibrering bliver udført over en flad havbund. Den samme linje bliver opmålt med modsatrettet heading og med samme opmålingshastighed.
- Heading-kalibrering: Til indsamling af heading data bliver to parallelle linjer opmålt med samme heading. Linjerne sejles på begge sider af en stejl skråning eller et veldefineret objekt. Linjerne er ca. $\frac{3}{4}$ af den fulde dækning adskilt for at give tilstrækkelig overlapning af skår.

Forkerte tid, pitch og heading værdier vil resultere i positionsfejl (primært), hvorimod en rullemonteringsfejl vil give dybdefejl.



Figur 6: De nødvendige sejllinjer for at udføre en patch test på et single head multibeam ekkolod.

Patchtesten blev udført i Aarhus havn i indsejlingen til bassin 12. Resultatet er illustreret i figur 7. Der er ikke nævneværdig forskel på de to dtm modeller, da kalibreringsværdierne generelt er lave. Den største værdi er under Pitch med 1,289 grader.



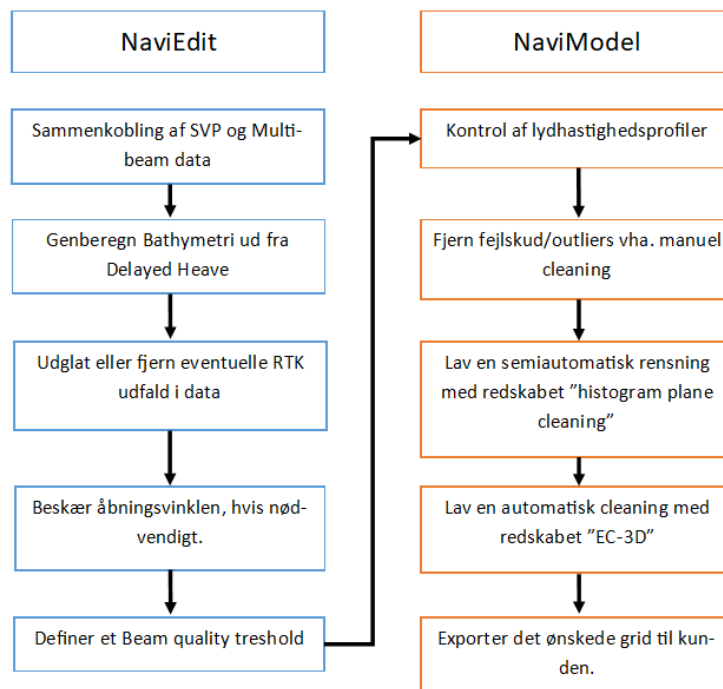
Figur 7: Øverst til venstre vises en DTM af patchtest området uden kalibrerings værdier. Øverst til højre vises samme DTM, men med kalibreringsværdier. Nederst vises de beregnede kalibreringsværdier.

4.3.2 SVP

Der blev benyttet en Swift SVP af mærket Valeport.

4.3.3 Multibeam post-processering

Til processering af de indsamlede multibeam data er der brugt Eiva's software løsninger NaviEdit og NaviModel (figur 8). I NaviEdit er de rå sensor og geodætiske informationer blevet editet. Der er for eksempel blevet fjernet RTK udfald fra dataene, og sammenkoblet lydastighedsprofiler med multibeam dataene. De forskellige processeringsskridt, der er taget i NaviEdit, er illustreret med flowdiagrammet nedenfor. I dette datasæt er åbningsvinklen beskåret til 140 grader og beam quality threshold er sat til 2.



Figur 8: Flow diagram der illustrerer de forskellige processeringskridt der er foretaget i NaviEdit og NaviModel.

Derefter er der lavet en DTM i Navimodel for at kontrollere de valg, der er foretaget i NaviEdit og for at lave den endelige rensning af data. I dette datasæt er der både lavet en semiautomatisk cleaning og automatisk cleaning. Afslutningsvis er der eksporteret grid med middel- og minimumsværdier af cellestørrelse på 0,25 m og 1 m samt et U-grid af de rensede data.

4.4 Multikanal ultrahøj-opløselig sparker seismik

På grund af nedbrud på Geo-Spark 2000 overgik vi til reserve-strømforsyningen Geospark 1000, som er beskrevet i tabel 4.

Sparkersystemet kørte meget stabilt og blev kun slukket på grund af vejrlig, hvor bølgehøjden lå mellem 1 og 1,5 m med mange skumtoppe og mange luftbobler i vandet med uacceptable støjniveauer til følge.

Som modtagere er der anvendt en multikanalstreamer med 48 kanaler. Gruppeafstanden var 1.00 m. Den samlede længde for streameren er dermed ca. 48 m. Skudafstanden var under optagelserne ca. 2.0 m, men varierer en smule alt efter farten på skibet.

Tabel 4. Hardware settings for Sparker systemet

Power Supply	Geo-Spark 1000
Power output	800-1000 J
Tow frame	Geo-Source 800
Streamer	32 ch GeoEel LH16 (2stk) plus 16 ch oliefyldt streamer (bygget inhouse). I alt 48 channels.
Firing interval	1 sekund skudinterval
Layback	30 m for kilde, 35 m til 1. hydrofon

Positionerne for sparker, frontbøje og tailbøje er registreret for hvert skud. Desuden er position for survey skib registreret. Positionerne er registreret med Real Time Kinematic (RTK), hvilket har givet meget præcise positioner.

Positionerne er blevet under optagelserne håndteret ved hjælp af Navipac . De rå navigationsdata er logget i Navipac format. Desuden har positioneringssystemet videresendt relevante positioner til Geometrics systemet (det seismiske optagesystem). Herfra er Ascii filer med filnumre og positioner udskrevet. Desuden burde positionerne være udskrevet til Seg-D filerne i den "extendende" header, i form af en Ascii karakter streng. Sidstnævnte gav dog anledning til problemer og endte med ikke at blive gennemført.

Positionerne er registreret i UTM zone 32 med WGS84 som datum.

Det har ikke været nødvendigt at foretage nogen korrektion af positionerne for at rette op på eventuelle fejlpositioneringer.

Et eksempel på hvordan skudpositionerne fordeler sig er vist i Fig 9. Figuren viser skudpunktspositioner for skæringen mellem linje 12 og 22.

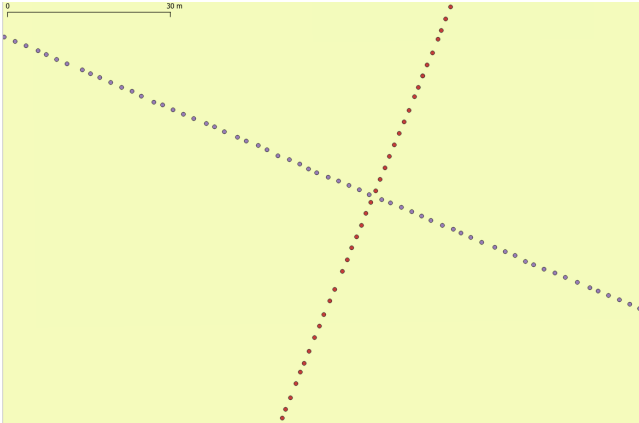


Fig. 9 Eksempel på skudpositionernes fordeling.

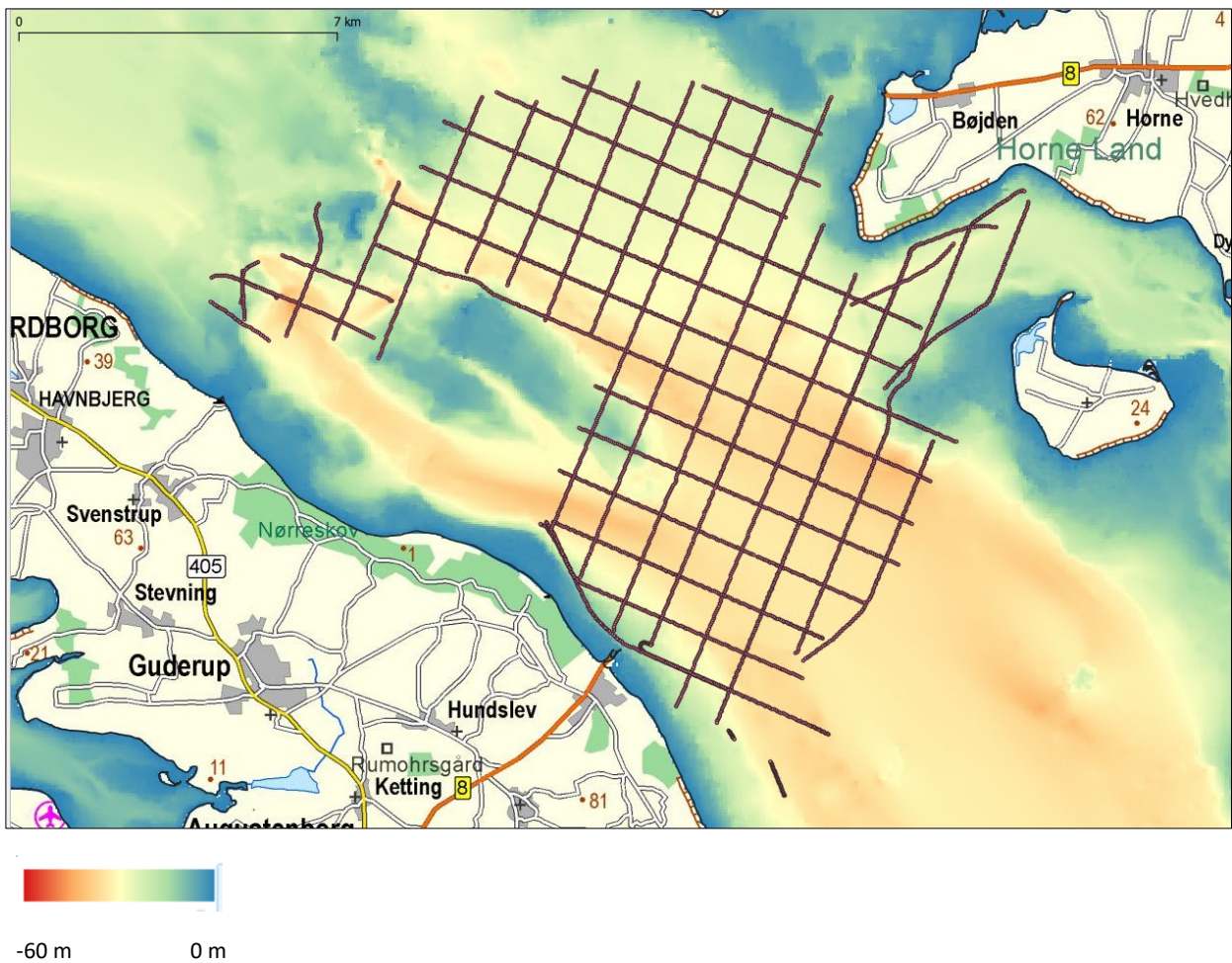


Fig. 10 Positioner for de indsamlede sparkerlinjer med bathymetrien som baggrundskort.

Beskrivelse af processering af multikanal-sparker seismikken kan ses i bilag A.

4.5 Innomar Medium sub-bottom profiler

Der blev anvendt en Innomar Medium sub-bottom profiler. Indstillingerne for Innomar-systemet fremgår af tabel 5.

Tabel 5. Settings for Innomar systemet

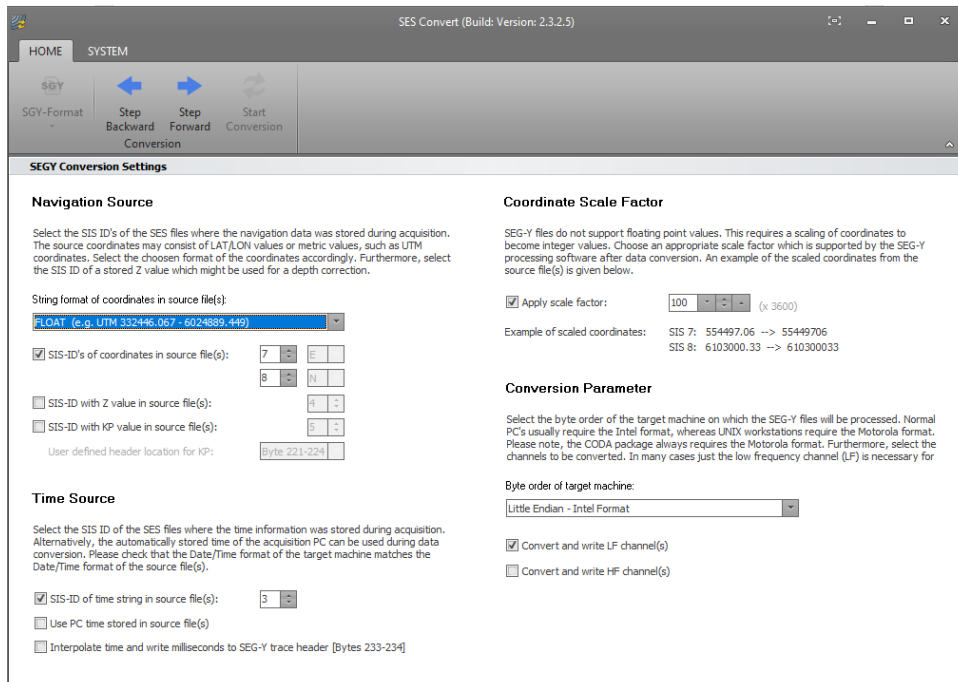
Primary frequency	10 kHz
Recording range	20 m (auto range)
Trigger high time (ms)	1 (internal trigger)
Transducer depth	289 cm

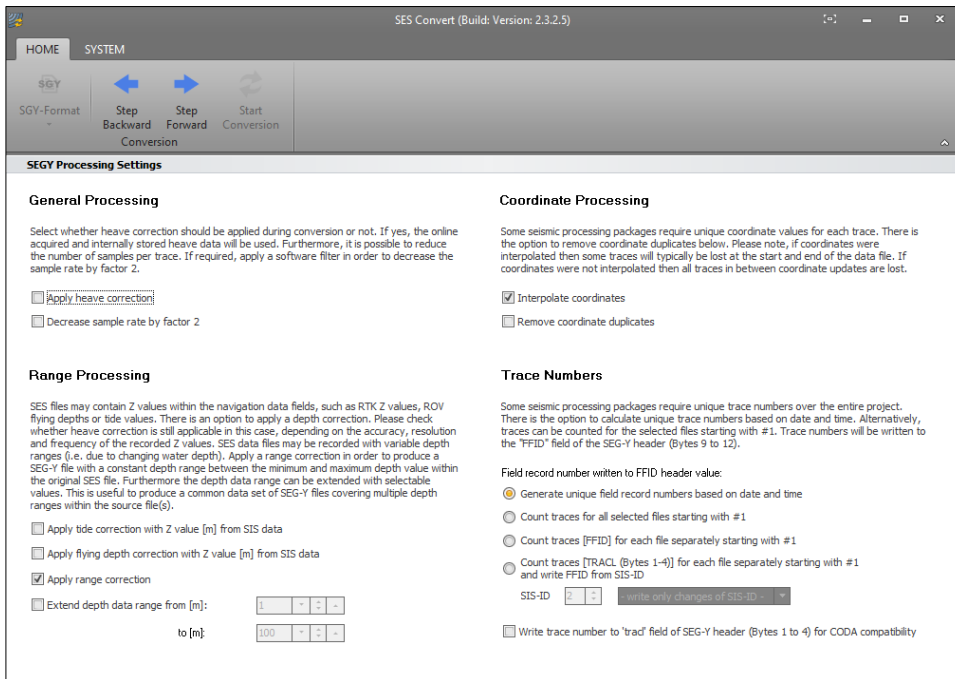
Innomarsystemet fungerede upåklageligt under hele surveyet, men måtte afbrydes under vejrlig. Der kunne i områder med blød bund og ingen gas opnås en penetration på omkring 20-25 m under havbunden.

Sparkerskud kan ses på Innomardata, men det har dog ingen negative påvirkning på tolkning af data.

4.5.1 Processering af Innomar data

Rawfiler er loadet i softwarepakken ISE2. Her bliver der påført et "optimized filter" og "heave correction". De processerede filer blev herefter konverteret til SEG-Y filer ved brug af programmet SES-Convert (figur 11).





Figur 11. Screenshots af SES-Convert programmet, hvor RAW-formatet konverteres til SEG-Y format.

Da navigationsinputtet til Innomaren er påført RTK, er positioneringen meget præcis.

Der er leveret Innomarfiler i både RAW format (Innomar-format, som data default optages i) og i SEG-Y-format, som kan loades i et vilkårligt seismisk tolkningsprogram. Der er desuden leveret SEG-Y filer, som ikke er påført optimized filter.

4.6 Side scan sonar

Side scan sonar anvendt på projektet er GEUS' egen Edgetech 4205 (100/400khz motiontolerant). Den blev trukket i Auroras spil (McCormac 3) uden USBL transponder med manuel indtastning af lay-back i Discovery softwarepakken. Da hovedformålet med surveyet var at indsamle sparker seismik, blev disse data opprioriteret, og SSS blev derfor så vidt mulig trukket i en højde på omkring 10-15 m over havbunden. For at undgå at spillet som styrede SSS forårsagede at kablet filtrede, foregik forøgelsen af layback relativt langsom, hvilket har resulteret i at der i nogle områder har været større højder på SSS end 10-15 m.

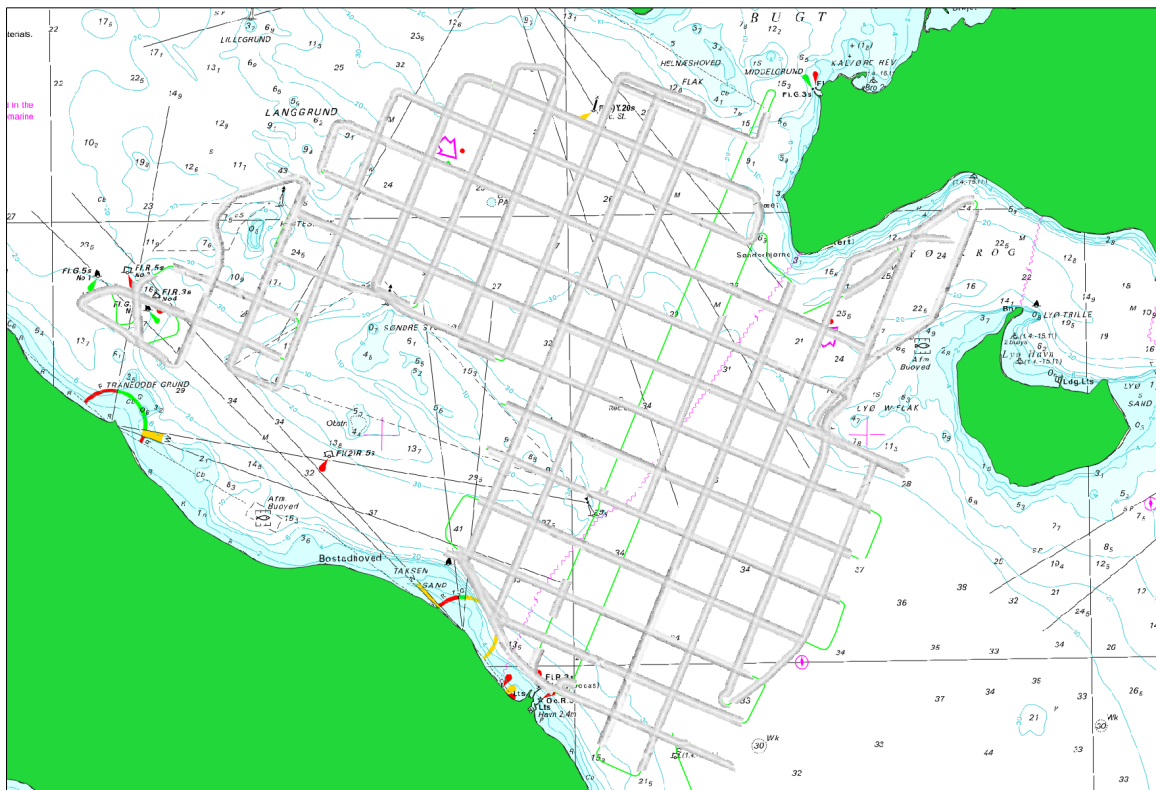
4.6.1 SSS test

Som tidligere nævnt er der udført tests hen over en skrånning mhp. at kunne sammenligne MBES, MUHRS og SBP. Det blev af togtlederen besluttet at SSS ikke inkluderes i test, da det vurderes ikke at give mening at teste den på den måde, da SSS blev trukket i varierende vanddybde efter skibet med

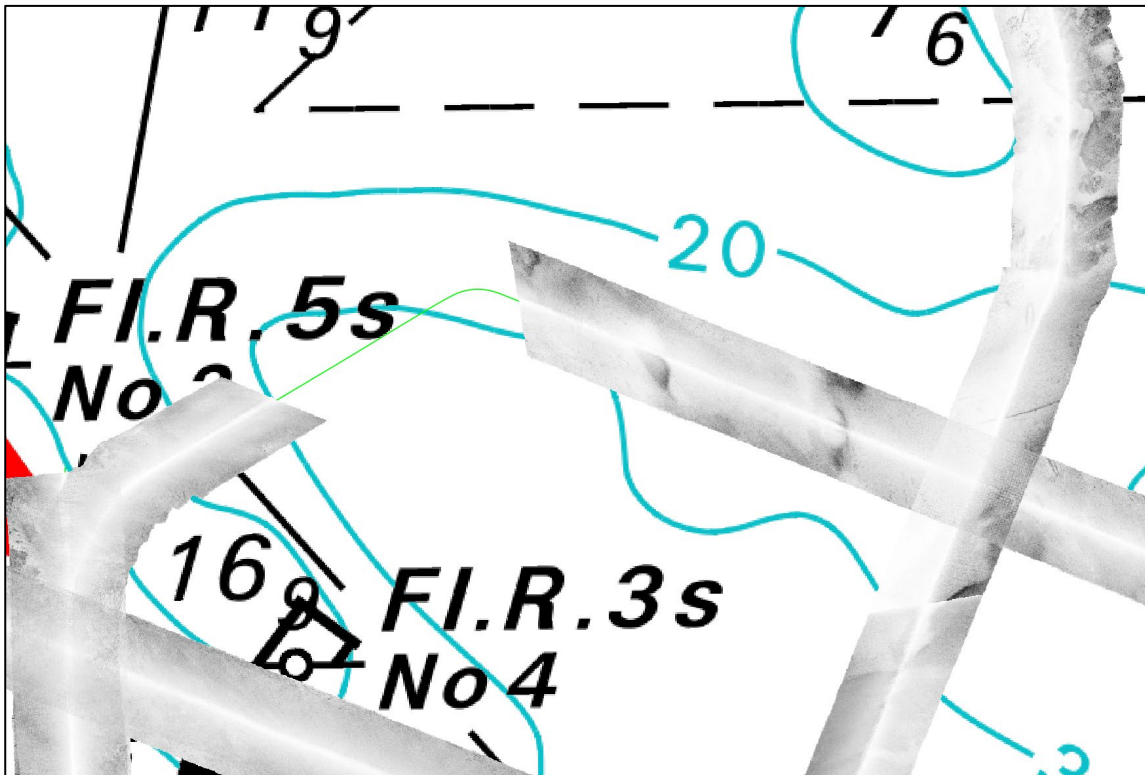
et varierende layback. Der vil således være variation i fejlen på datapositionen afhængig af vanddybden i surveyområdet og størrelsen af layback. Til brug for den aktuelle sammenhæng blev det vurderet, at SSS i høj grad kan anvendes i sin nuværende form, uden bekymring for væsentlig usikkerhed.

Der var enkelte udfald på sensoren undervejs, og derfor er der store huller i data på linjerne LB17 og LB18. For ikke at risikere at miste seismiske linjer på grund af eventuelt tidspres, blev det ikke prioriteret at sejle sidescan infill på disse linjer.

En mosaik for sidescan data i hele survey området kan ses i figur 12. Et eksempel på sidescan mosaik i detalje ses af figur 13.



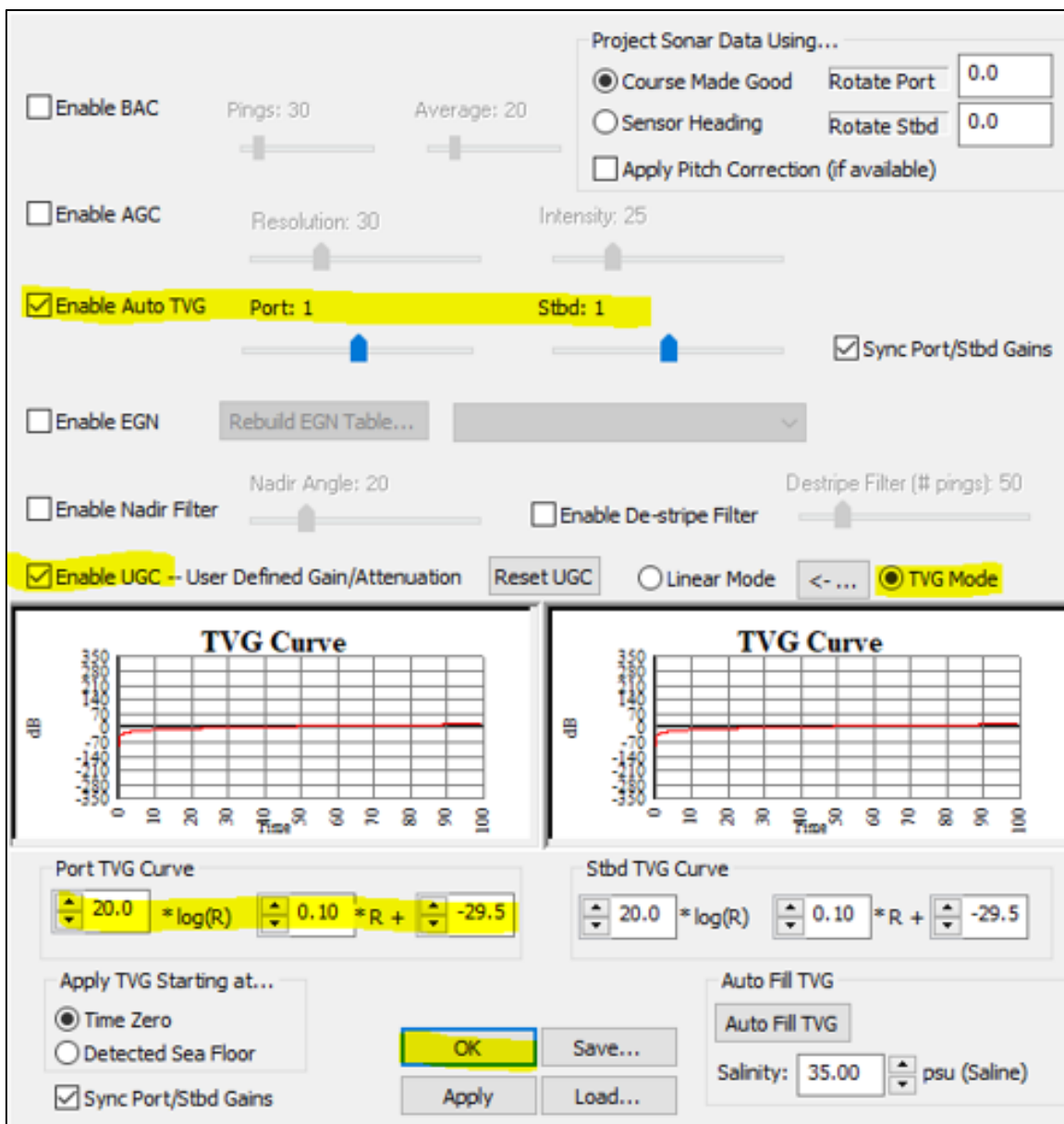
Figur 12 Side scan sonar mosaik. Grønne linjer viser, hvor der har været udfald på sss.



Figur 13. Zoom af sss mosaikken, der viser eksempel på amplitudevariationer på havbunden i større detalje end i figur 12.

4.6.2 Processering af Side scan sonar data

Processeringen er foretaget i Sonarwiz 6. Her er der lavet bottomtracking og data er påført efterfølgende time variable gain (TVG). Parametre for gain kan ses i figur 14. Data er efterfølgende eksportet som en mosaik i georefereret tiff format, og projektet er gemt i Sonarwiz-projektet, der leveres som del af datapakken sammen med mosaikfilen.



Figur 14 TVG settings anvendt ved sidescan sonar data processeringen.

4.6.3 Navngivning af survey-linjer

Linjenavngivningen og dermed navngivningen af datafiler er forskellig for de anvendte instrumenter:

Sparkerdata er navngivet i formatet LB"nn".

Innomardata er navngivet i formatet LB23_LB"nn"_ddmmyyy_ttmss, hvor tidsstemplingen er default.

SSS data er navngivet i formatet LB"nn"N"nnn", hvor N er prefix for fortløbende filnumre.

5. HSE

Der var ingen HSE hændelser eller near-misses i løbet af surveyet.

6. Equipment verification test (EVT)

EVT blev udført i den nordvestligste del af området hen over en lokal forhøjning på havbunden.

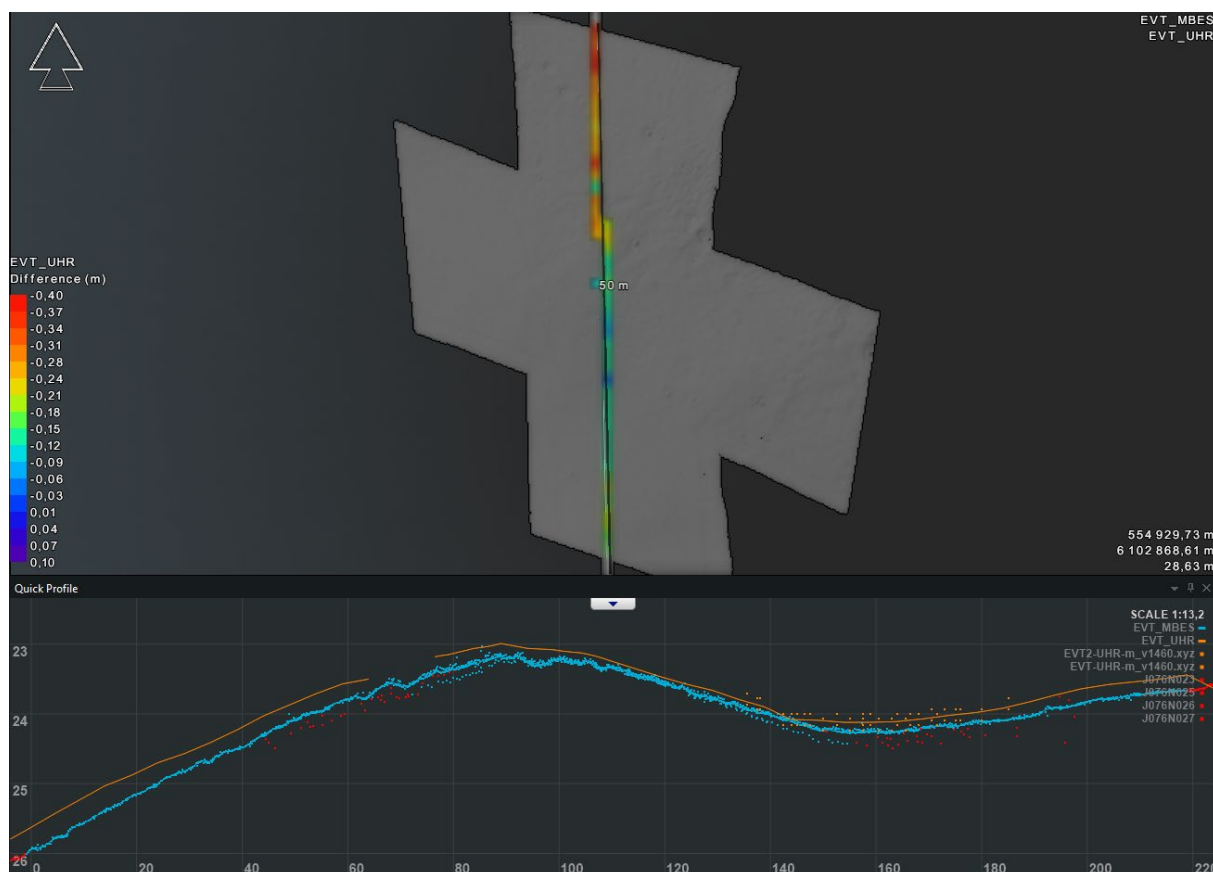
For seismikken og MBES er der registreret 10 - 30 cm forskel (fig. 16.)

For Innomar data og MBES er der registreret 1 - 20 cm forskel hen over profilet (fig. 17).

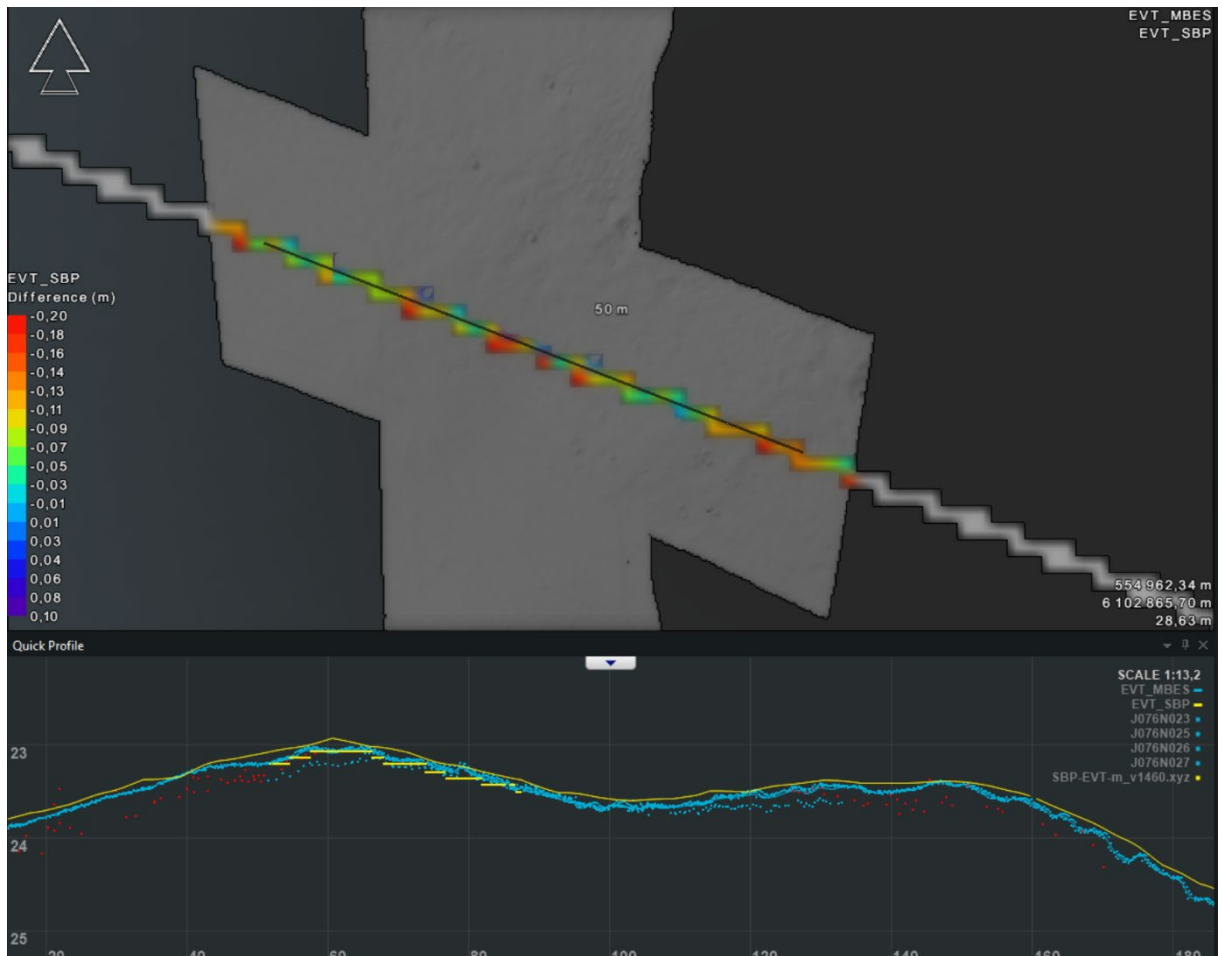
Sammenligning af MBES, Innomar og sparker seismik vil umiddelbart altid vise en afvigelse sensorerne imellem. Dette skyldes måleusikkerhed på de enkelte sensorer. En anden påvirkende faktor er deres format, hvor MBES registrerer dybden hen over et swath i 3D, hvor Innomar og seismik registrerer en 2D linje.

Tages måleusikkerheder sensorerne imellem i betragtning vurderer vi, at der er en acceptabel afvigelse imellem dem.

Vi har ikke inddraget Sidescan sonar data i EVT, da den registrerer en anden datatype, og det er ikke på samme måde muligt at udpege et lokalt højdepunkt på den.



Figur 16. Sammenligning af sparker seismik og MBES. Øverst vises en differens imellem DTM for MBES samt sparker seismik i begge retninger. Nederst vises de to data typer i begge retninger. De orange farver repræsenterer dybden beregnet ud fra sparker seismikken, og de blå farver repræsenterer dybder fra MBES.



Figur 17 Sammenligning af Innomar og MBES-data. Øverst vises en differens imellem DTM for MBES samt Innomar data i begge retninger. Nederst vises de to datatyper i begge retninger. De gule farver viser de beregnede dybde fra Innomar data og de blå farver viser målte dybde fra MBES.

7. Tak

Tak til besætningen på Aurora for en eksemplarisk arbejdsmoral og velvillighed til at få det bedste ud af undersøgelserne.

Appendix A – Processing workflow for Sparker data

Processeringen er udført mellem 17/3 og 5/4 2023 af Egon Nørmark, Geoscience, Aarhus Universitet.

Læsning af de seismiske rå-data

De seismiske rådata i form af Seg-D filer er blevet indlæst i processeringssystemet. Et eksempel på et seismisk skudgather er vist i Fig. 18.

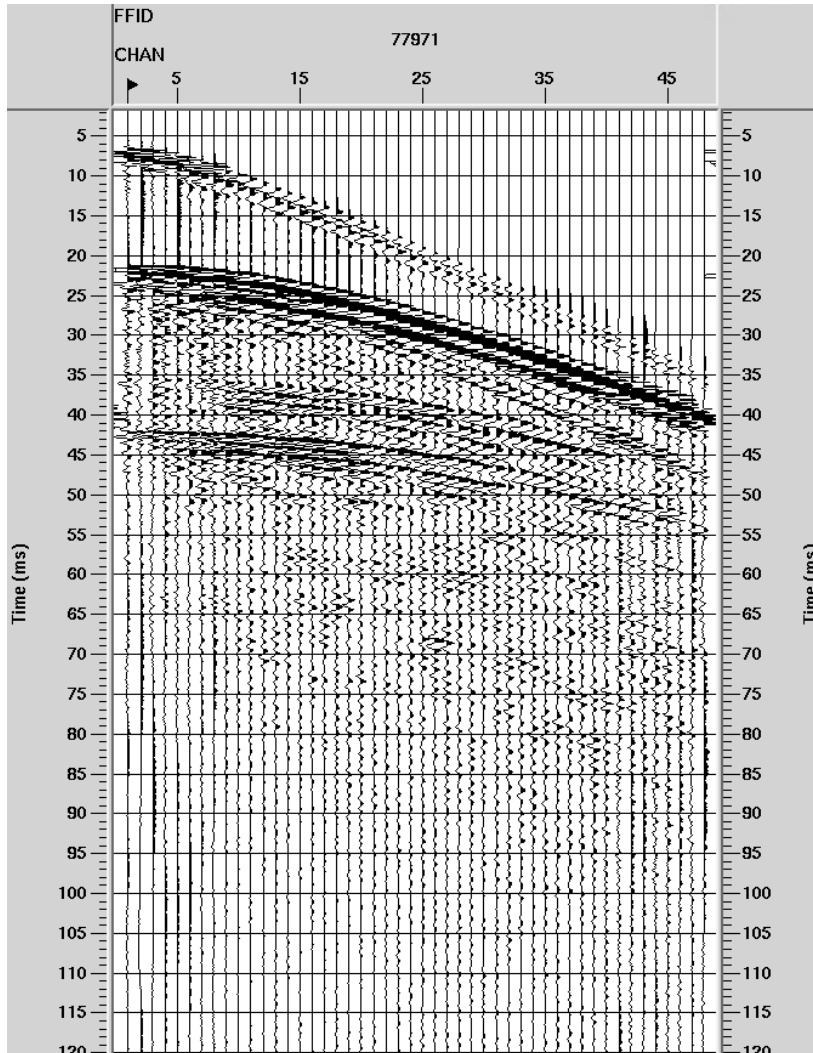


Fig. 18. Et eksempel på skudgather fra surveyet (linje 17)

Streamer sektioner

Den første og sidste del af streameren (kanal 1-8 og kanal 41-48) består af oliefyldte sektioner, i modsætning til de øvrige sektioner, som er solid state streamer sektioner. Responset fra disse sektioner har været en smule anderledes i forhold til solid state sektionerne. For at kompensere for dette, er der foretaget polaritetsskift, amplitude reduktion (70 %) samt en mindre statistisk korrektion på +0.3 ms. Disse korrektioner påført data vist i Fig. 18. Dette har fjernet de mest synlige effekter, men resultatet er stadig en smule anderledes i forhold til de øvrige sektioner.

Definition af geometri

I forbindelse med definition af geometrien er positionerne fra Geometrics logfilerne indlæst. Dvs. kilde positionerne og filnumre er indlæst i processeringssystemet. Positionen af streameren er defineret som et fast offset ud fra kildepositionerne. Der er i den forbindelse anvendt en inline offset på 1.5 m og et offline offset på 10.0 m. Under definition af geometrien er der anvendt en CDP bin size på 0.5 m. Dvs. senere i processeringen vil afstanden mellem de stackede spor blive 0.5 m, hvilket resulterer en stack fold på 12, under forudsætning af ovenævnte skudafstand.

Timing i data

For at checke om timingen i data er korrekt er den forventede ankomsttid for den direkte bølge sammenlignet med den faktiske observation af den direkte bølge. Se Fig. 19. Den forventede ankomst for den direkte bølge har form som en hyperbel, som følge af det forholdsvis store offline offset. Det bemærkes at der er god overensstemmelse mellem de forventede og de aktuelle ankomsttider.

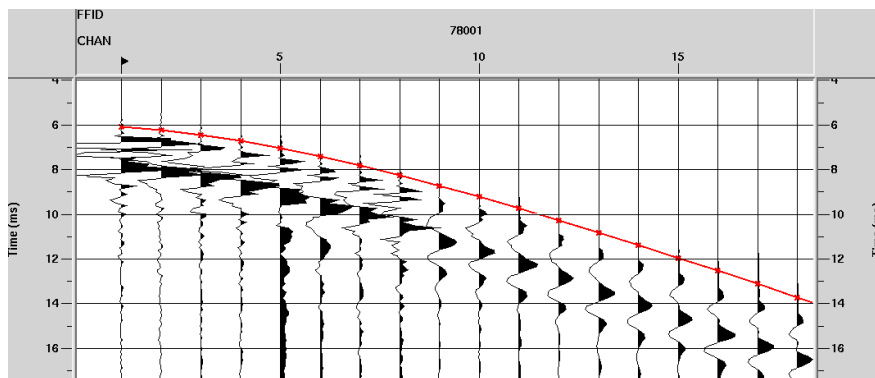


Fig 19 Den forventede ankomst af den direkte bølge (rød linje) sammenlignet med den observerede ankomst for den direkte bølge.

Amplitude korrektion

Under amplitude korrektioner er der foretaget kompensation for sfærisk divergens med hastigheder på 1480 m/s i 0 ms og på 2000 m/s i 500 ms. Interpolation af hastigheder er foretaget imellem disse fikspunkter. Desuden er der foretaget absorptionskorrektion med 6 db/sek.

Noise burst edit

Enkelte steder er der identificeret noise burst i data. Problemet er dog ikke særlig udtalt, men for at afbøde eventuelle negative effekter fra noise burst, er der foretaget en automatisk noise burst editering, hvor korte intervaller med markant afvigende amplituder er blevet editeret bort og interpoleret fra de omkring liggende spor. Processen er kun anvendt på data under ca. 80 ms twt (two-way traveltime). Hvis der ikke detekteres nogen noise burst, vil data passere uændret igennem processen.

Spektral analyse

En spektral analyse af data er vist i Fig. 20. Signalet er repræsenteret i intervallet fra ca. 200 Hz til 1400 Hz. Udenfor dette interval er både lav og højfrekvent støj til stede. Støjniveauet er dog på ingen måde kraftigere end forventet.

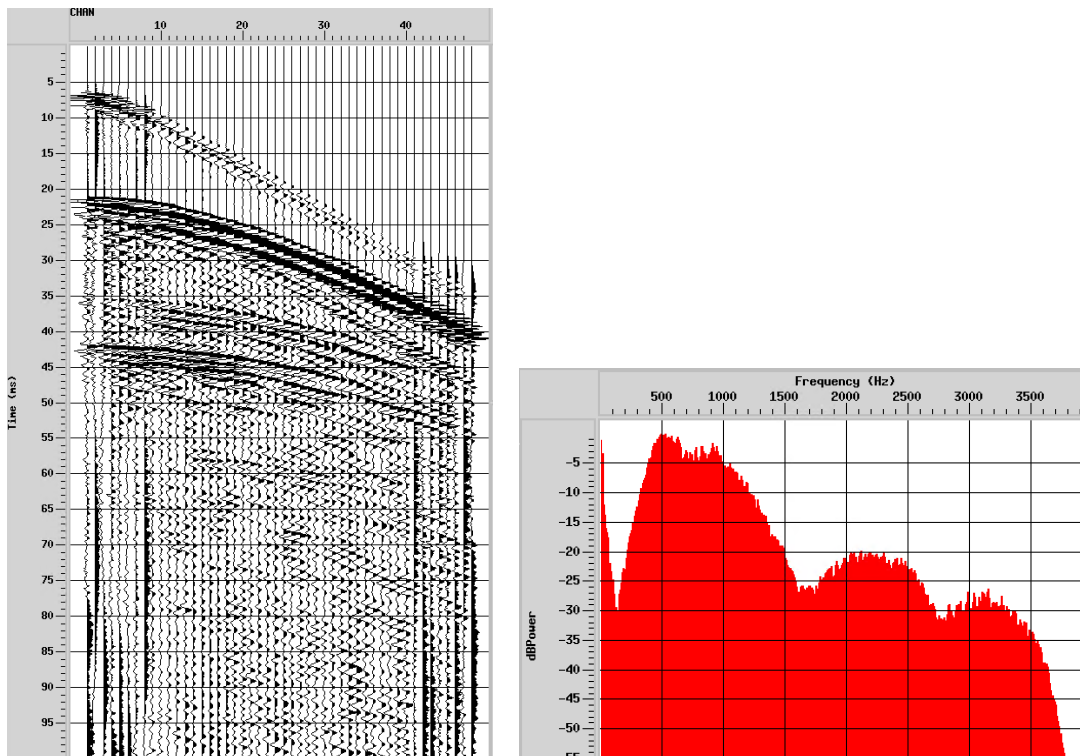


Fig. 20 Spektral analyse af skudgather vist til venstre.

Båndpass filter

Som for alle andre marin seismiske data, kan den lavfrekvente støj fra bølgerne være til stede. Det fremgår også af eksemplet i Fig. 20. Denne er undertrykt ved med et indledende low-cut filter (ormsby filter) på 120-160 Hz. Se Fig. 21

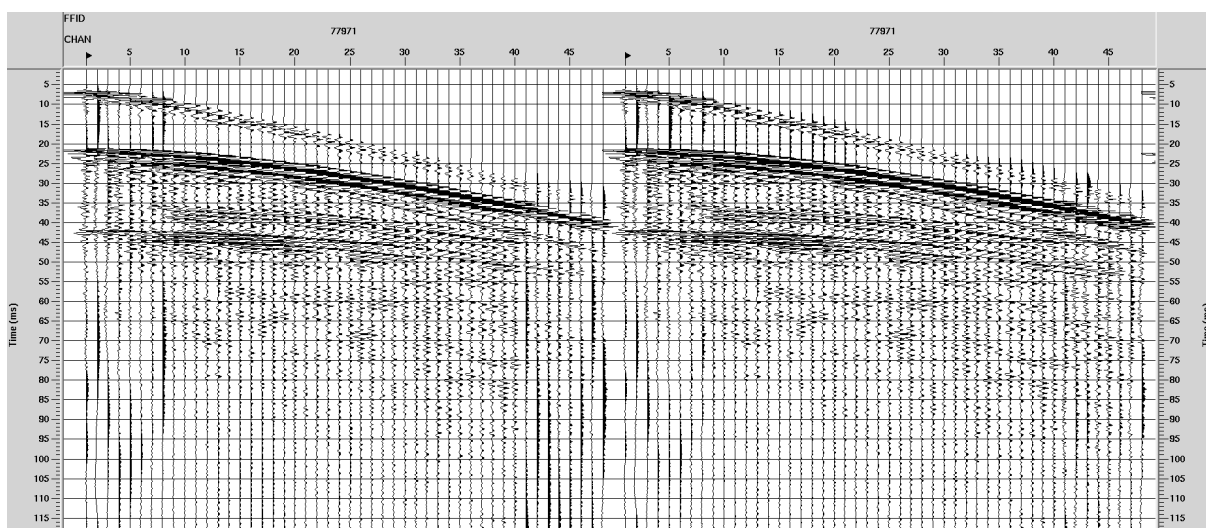


Fig. 21 Low-cut filter 120-160 Hz (Ormsby filter). Til venstre reference. Til højre med low-cut filter.

FK-filtrering

Som det fremgår af de viste data, er der kun meget lidt skruestøj fra skibet. For tovejstider mindre end 100 ms observeres der stort set ingen skruestøj. Under dette niveau er der dog nogen skruestøj som er synlig, i form af lineær støj, der løber ud langs streameren.

Den skruestøj er forsøgt fjernet med et relativ blidt FK-filter. Se Fig. 22a og zoom ind i Fig. 22b. Til venstre uden FK-filter og til højre med FK-filter. FK filteret er kun påført under ca. 60 ms.

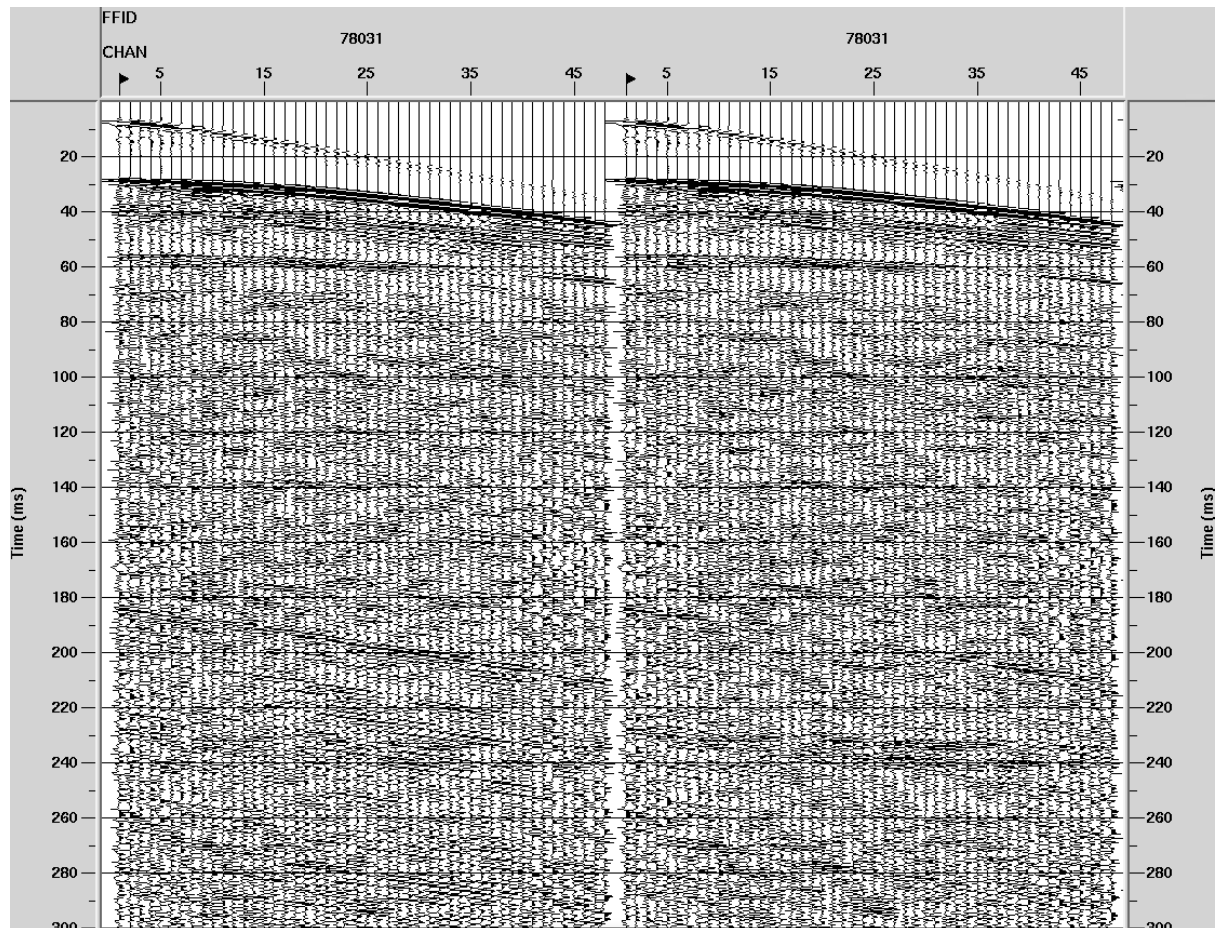


Fig. 22a. Effekten af FK-filtrering. Til venstre uden FK-filter og til højre med FK-filter. Se også zoom in i Fig. 22b

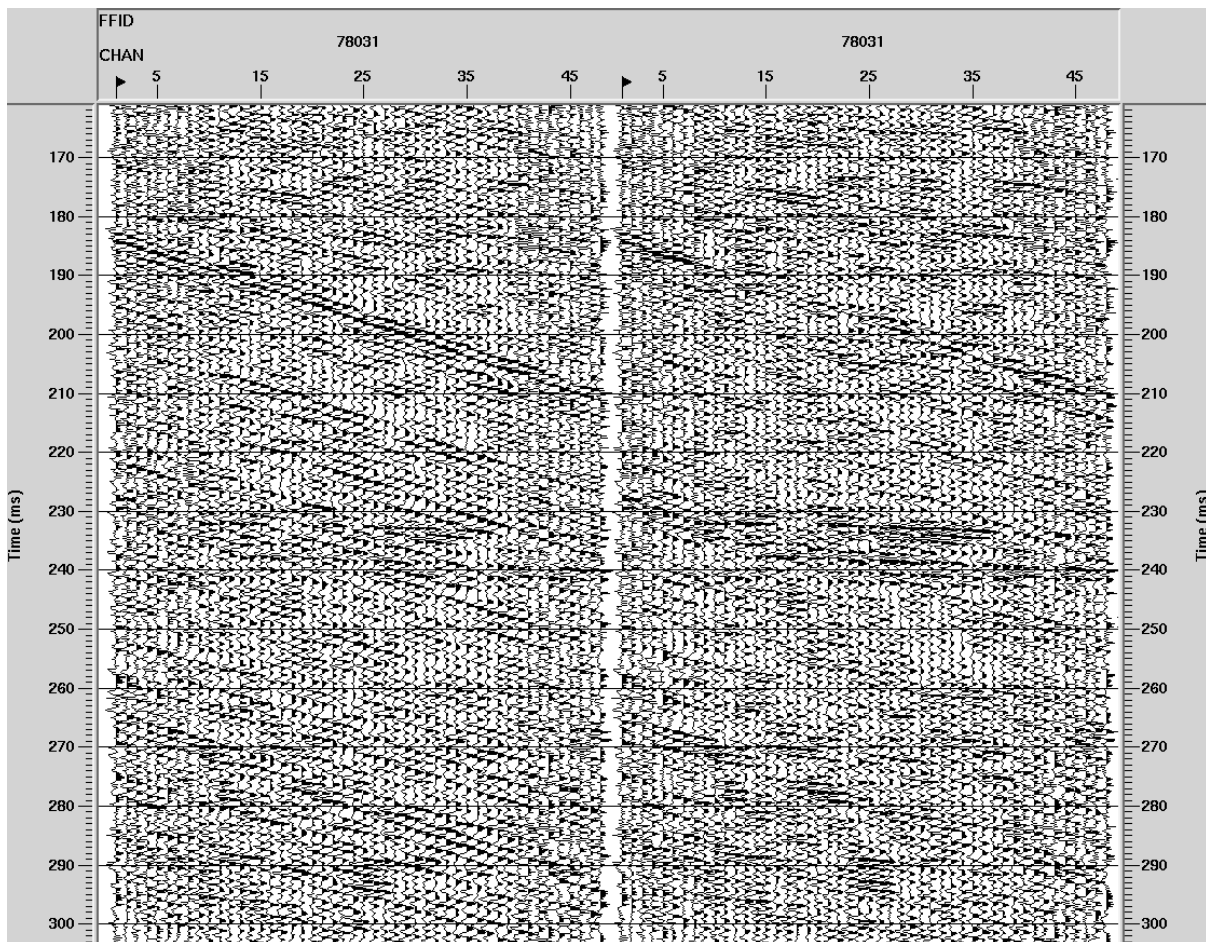


Fig. 22b. Effekten af FK-filter. Zoom in fra Fig. 22a. Til venstre før FK-filtrering og til højre efter FK-filtrering.

Hastighedsanalyse

Efter processing af skudgatterne er der udført hastighedsanalyse. Hastighedsanalyserne er foretaget for hver 400. CDP, hvilket svarer til en afstand mellem hastighedsanalyserne på 200 m. Et eksempel på en hastighedsanalyse er vist i Fig. 23.

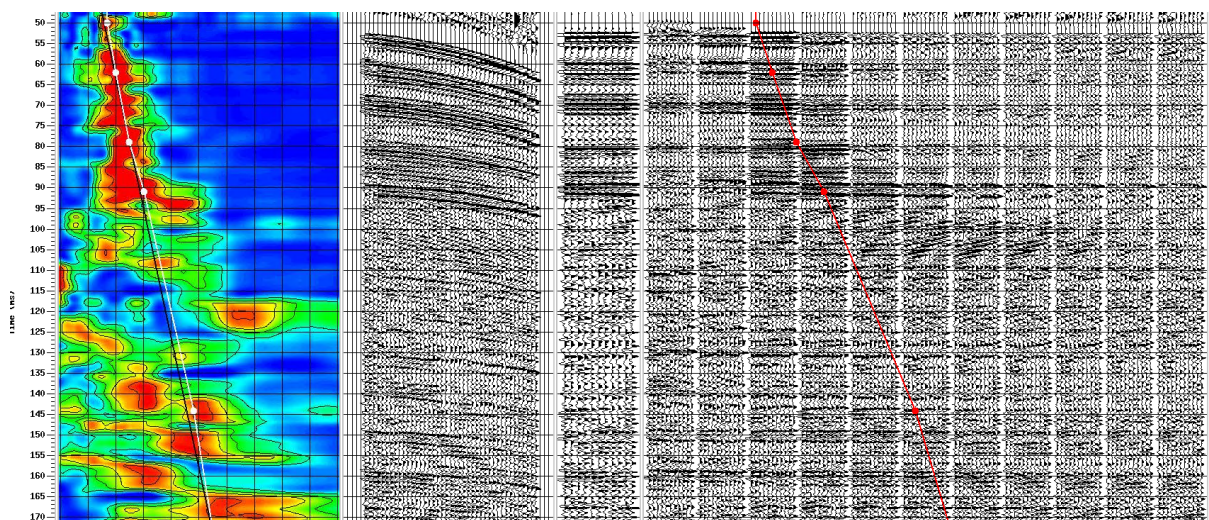


Fig. 23 Eksempel på en hastighedsanalyse.

Normal Move Out korrektion

Efterfølgende er der foretaget Normal Move Out korrektion med hastigheder, der er bestemt i hastighedsanalysen.

Prædiktiv dekonvolution

Med henblik på at undertrykke multipler er der udført prædiktiv dekonvolution. Indledningsvist er havbunden picket på samtlige linjer, hvilket har dannet grundlag for at definere prædiktionsafstanden. Prædiktionsafstande er sat til lidt mindre end den tidslige afstand til havbunden. I dekonvolutionen er der anvendt en operator længde på 7 ms.

CDP trim statics

For at kompensere for bølgegang og små variationer i ankomsttiderne, er der foretaget CDP trim statics. CDP trim statics har normalt en gavnlig effekt specielt ved optagelser i hårdt vejr. CDP trim statics er udført på alle linjer med en maksimal tidskorrektion på 0.3 ms.

CDP stack

Endelige er der udført CDP stacking af data.

Post stack processing

High-cut filtering

Relativt sent i databehandlingen blev det bemærket, at man fordel kunne anvende et high-cut filter på de stackede data. Normalt er den højfrekvente støj begrænset på marin seismiske data, men i områder, hvor det var problematisk at opnå den fornødne indtrængningsdybde, har det haft en gavnlig effekt at påføre et high-cut filter. Dette har været med til at synliggøre de få og lav frekvente refleksioner, der kan observeres. En stor del af linjerne har fået påført et high-cut filter på 400 – 500 Hz (Ormsby filter). Hvis ikke denne proces er påført under processeringen er et tilsvarende high-cut filter påført under tolkningen af data.

Umigreret output

To versioner af de stackede data foreligger. En med og en uden migration. Data uden migration er gainet på samme som data, hvor der udført migrationen. Se nedenunder.

Stolt FK migration

Som migrationsproces er der anvendt Stolt FK migration. Hastighederne bestemt under hastighedsanalysen er anvendt i migrationen.

Et eksempel på stackede og migrerede data ses i figur 24.

Automatic Gain Control

Før dannelse af Seg-y stack data er der påført Automatic Gain Control (AGC) først med en vindueslængde på 50 ms. Dette output er blandet med en AGC version, hvor der er anvendt en vindueslængde på 5 ms

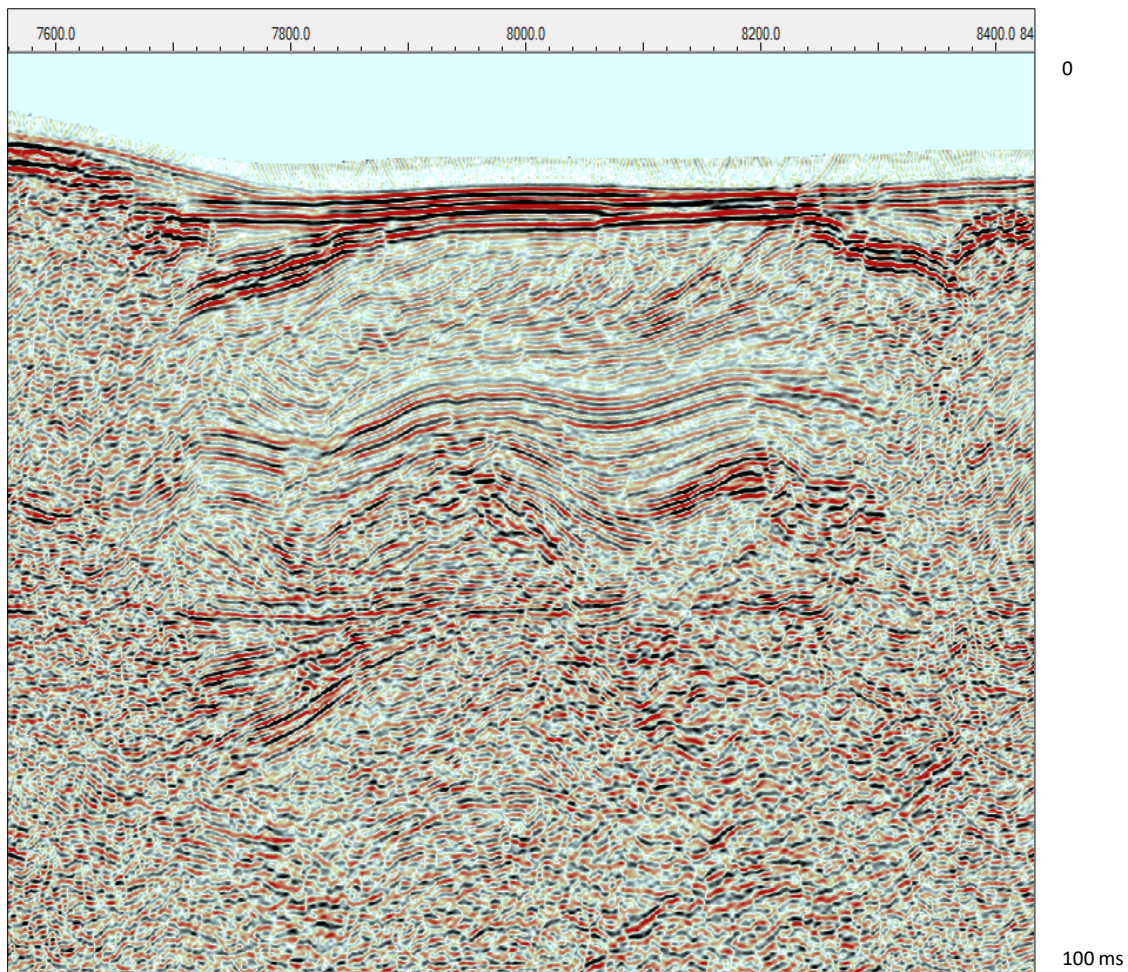
Seg-Y output

CDP koordinaterne er udskrevet til Seg-Y trace header med cdp_x i byte: 73-76, cdp_y i byte: 77-80. For alle koordinaterne er der påført en skallering (byte 71-72).

Under indlæsning af data i tolkningsprogrammer anbefales det at bruge CDP nummer (byte 21-24) som skudpunktsnummer (SP nummer), som denne værdi ofte benævnes i tolkningsprogrammerne.

Filnavne

Output filerne er benævnt: LB23_line_xx_v2.sgy. De migrerede sektioner har fået tilføjet "mig" til filnavnet.



Figur 24. Eksempel på stackede og migrerede data. Dette eksempel stammer fra linje 31.

Appendix B – Survey log

GEUS				Project name: Sund og Bælt - lillebælt survey			Survey crew: Zia Przewitt (ZP), Sigurd Andersen (SBA), Nicklas Christensen (NCH), Lasse Tésik Prins (LTP)			Fartøj: R/V Aurora		
Initials	Date	Start time: UTC	End time: UTC	Line name:	Side Scan Sonar	Innomar	MBES/SBD	Seismic	Comments			
LTP	14-03-2023			Patchtest 1			J073N003		heading SW			
LTP	14-03-2023								Problemer med skibets helmsmann. Vi afbryder afbryder patchtest og forsøger igen			
LTP	14-03-2023								Andet forsøg			
LTP	14-03-2023			Patchtest 1			J073N004		heading SW - første reelle linje			
LTP	14-03-2023			Patchtest 2			J073N005		heading NE. Problemer i venderområdet med plads. Denne linje ignoreres i patchtest			
				Patchtest3			J073N006		SW heading			
				patchtest 4			J073N007		NE heading			
				patchtest 5			J073N008		SW heading - 8 knots			
				patchtest 6			J073N009		NE heading			
				patchtest 7			J073N010		SW heading			
									svp ved endt linje			
		06:50							start evt test site identificering			
LTP		09:20							MMO initieres og PAM deploys			
		10:00							toolbox efterfulgtaf total udstyr deployment			
		10:40							3			
SBA				LB_14	LB_014	LB_014						
			18:55	LB_15	LB_15				LB_15 over supply med 800 joule med 1 gang i sekundet. Linjen tages om			
				LB_14a	LB_14a				LB_14			
SBA		20:20	21:22	LB_14b	LB_14b	LB_14b			LB_14b Cable counter virker ikke. SSS er 2 meter agter for skibet langs land			
			21:32	LB_16	LB_16	LB_16			LB_16			
ZP		22:34	23:38	LB_15	LB_15	LB_15/LB_17			Innomar kaldet LB_17 i svinget fra LB_16 til linje LB_15			
ZP	15-03-2023	23:40	00:38	LB_07	LB_07	LB_07			LB_07 linje 07 er i virkeligheden 06			
LTP/ZP	16-03-2023	00:53	03:50	LB_04	LB_04	LB_04			LB_04			
LTP/ZP		03:53	04:01	LB_03	LB_03	LB_03			LB_03a batteriskift i remote til SSS winch			
LTP/ZP		04:03	05:55	LB_26	LB_26	LB_26			LB26 kvastigste ende af linjen afbøjes der lidt, for at gå uden om en bøje			
LTP/ZP/SBA		06:00	07:50	LB_11	LB_11	LB11			LB11			
LTP/SBA		08:10	09:40	LB_12	LB_12	LB12			LB12			
		09:50	10:25	LB_02	LB_02	LB02	J075N000		LB02			
		10:25	10:55	LB_08N	LB_08N	LB_08N	J075N001		LB_08N			
SBA		10:58	12:41	LB_01	LB_01	LB_01	J075N002		gen. 11:55 Sparker/MC stoppet skibet skulle dreje, ny MC fil LB01b			
SBA		12:41	13:55	LB_08S	LB_08S	LB08S	J075N003		LB_08S			
ZP		15:22		LB_09	LB_09	LB_09	J075N004		LB_09 fuglerede på winchen. Derfor Stoppes survey for at rette kablet ud.			
ZP			16:10						sparker skyder med 1000Joule			
									linje 09 stoppes, for høj bølgegang			
		17:40							SVP måling			
		17:50							Vejrlig for SSS og seismisk. Dette bliver bjerget på dækket.			
ZP		17:50					J075N005		multibeam startet i sving			
ZP		18:23	19:25	MB_14			J075N006					
ZP		19:33	20:11	MB_06			J075N007					
ZP		20:22	21:15	MB_04			J075N008					
ZP		21:22	23:01	MB_03			J075N009					
ZP		22:01	22:58	MB_15			J075N010		23:45 multibeam NTRIP disconnected, reconnected			
ZP		23:25	00:47	MB_26			J075N011					
ZP	17-03-2023	00:52	02:02				J076N000					
ZP		02:25		LB_12			J076N001					
ZP		02:39	03:18				J076N001		SVP måling, linje fortsat 02:47			
ZP							J076N002		ny måling mens udstyr sættes, u vending			
ZP									samme linje			
ZP		02:50	03:10						Pam Sættes ud og der udføres Pam observation efterfølgende			
ZP		03:20	03:40						Sparker sættes ud og der udføres softstart			
NCH		03:40	04:10						vi sejler imod næste linje med full power på sparkeren (1000 Joule 1 sek interval)			
NCH		04:10										
NCH		04:20	04:49	T_LB_09a	T_LB_09a	T_LB09a	J076N003		T_LB_09a Transit linje. Start af udstyr			
NCH		04:49	06:22	LB_09a	LB_09a	LB09a	J076N004		LB09a			
NCH		06:29	07:41	LB_07a	LB_07a	LB07a	J076N005		der var allerede en LB07 i seismiske, derfor hedder de LB07a			
NCH		07:51	10:05	LB_18	LB_18	LB18	J076N006		udfald på SSS - mister forbindelse til fisken			
NCH		10:10	10:40	LB_14	LB_17	LB17	J076N007		udfald på SSS - mister forbindelse til fisken			
NCH					LB_17a							
NCH					LB_17b				udfald på sss -----			
ltp		10:45	11:13	LB_05	LB_05	LB05	J076N008		LB05 sss TILBAGE ONLINE			
ltp		11:20	12:45	LB_24	LB24	LB24	J076N009		LB24			
ltp		12:50	14:15									
ltp				LB_23	LB_23	LB_23	J076N010		LB_23			
ltp							J076N011					
LTP/ZP		14:20	15:05	LB_22	LB_22	LB_22	J076N012		LB_22			
LTP/ZP		15:15	15:55	LB_21	LB_21	LB_21	J076N013		LB_21			
LTP/ZP		16:00	16:38	LB_20	LB_20	LB_20	J076N014		enkelte udfald på rtk MBES			
LTP/ZP		16:45	17:18	LB_19	LB_19	LB_19	J076N015		LB_19			
ZP	17-03-2023	17:19	18:04	LB_16a	LB_16a	LB_16a	J076N016		LB_16a			
SBA/LTP		18:04	19:05	LB_10	LB_10	LB10	J076N017		LB10			
SBA/LTP		19:05	19:51	LB_25	LB_25	LB25	J076N018		LB25			
		19:55	20:27	LB31	LB31	LB31	J076N019		LB31			
		20:32	21:00	LB30	LB30	LB30	J076N020		LB30			
		21:11	21:23	LB27	LB27	LB27	J076N021		LB27			
		21:23	21:58	LB28	LB28	LB28	J076N022+N023		LB28			
		22:05	22:22	LB29	LB29	LB29	J076N024		LB29			
		22:28		LB32	LB32	LB32	J076N025		LB32 sidste survey linje og første EVTlinje			
				EVT	EVT	EVT	J076N026		E-W			
			23:30	EVT2	EVT2	EVT2	J076N027		Survey slut			
									Bjergning af udstyr afsluttet kl 23:50			