

Havvindmøller ved Frederikshavn

Seismisk kortlægning af undersøgelsesområde
for placering af vindmøller i Læsø Rende

Steen Lomholt & Jørn Bo Jensen



Havvindmøller ved Frederikshavn

Seismisk kortlægning af undersøgelsesområde for placering af vindmøller i Læsø Rende

Steen Lomholt & Jørn Bo Jensen

Frigivet 01.09.2012

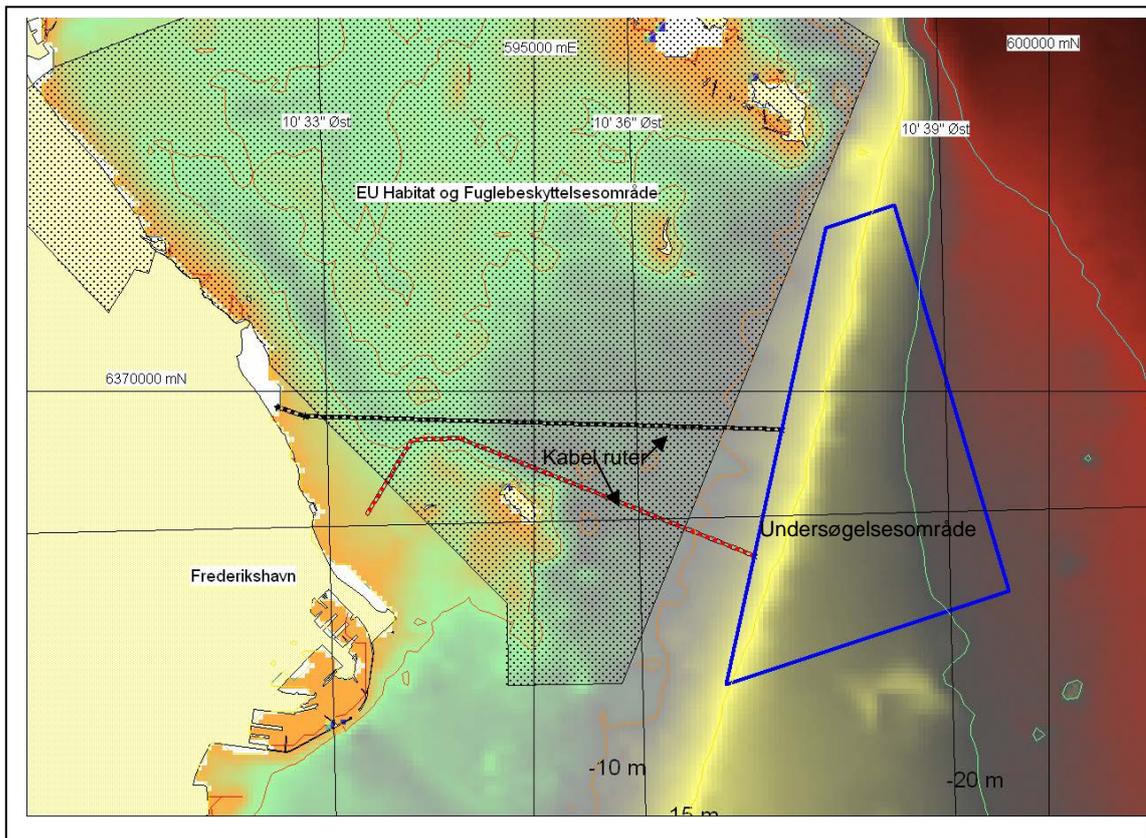
1.	Indledning.	3
2.	Undersøgelserne	4
3.	Topografi	6
4.	Geologi.	7
4.1.1	Weichsel Ældre Yoldialer.	8
4.1.2	Senglacialt Yngre Yoldialer	8
4.1.3	De postglaciale holocæne aflejringer.....	10
5.	Seismik	12
5.1	Tolkning af seismiske data	12
5.2	Området nord for vindmølleparken	13
5.3	Side scan sonar data	14
6.	Konklusion	15
7.	Referencer	16
Bilag 1	Tolkede seismiske profiler	16
Bilag 2		27
Bilag 3		32
Bilag 4		33
Bilag 5		57

1. Indledning.

Nærværende rapport er udarbejdet for NearshoreLAB, Frederikshavn A/S, som bidrag til en vurdering af placering af Vindmøller i Læsø rende ud for Frederikshavn.

Rapporten udgør en rapportering af de seismiske undersøgelser der er foretaget i området d. 4 juni 2007. Som baggrund for rapporten er der desuden foretaget en gennemgang og vurdering af øvrige seismik- og boringsdata i området. Herudover er der foretaget en gennemgang øvrige rapporter, artikler mv. fra området. De nye digitale seismiske data fra området er indlæst og tolket i programmet SonarWeb, mens de Ældre analoge seismiske data er tolket på papir. På baggrund heraf er der foretaget en vurdering af de geologiske forhold i området, med henblik på etablering af vindmøller.

Undersøgelsesområdet er vist i figur 1.



Figur 1. Undersøgelsesområde for havvindmøllepark ved Frederikshavn .

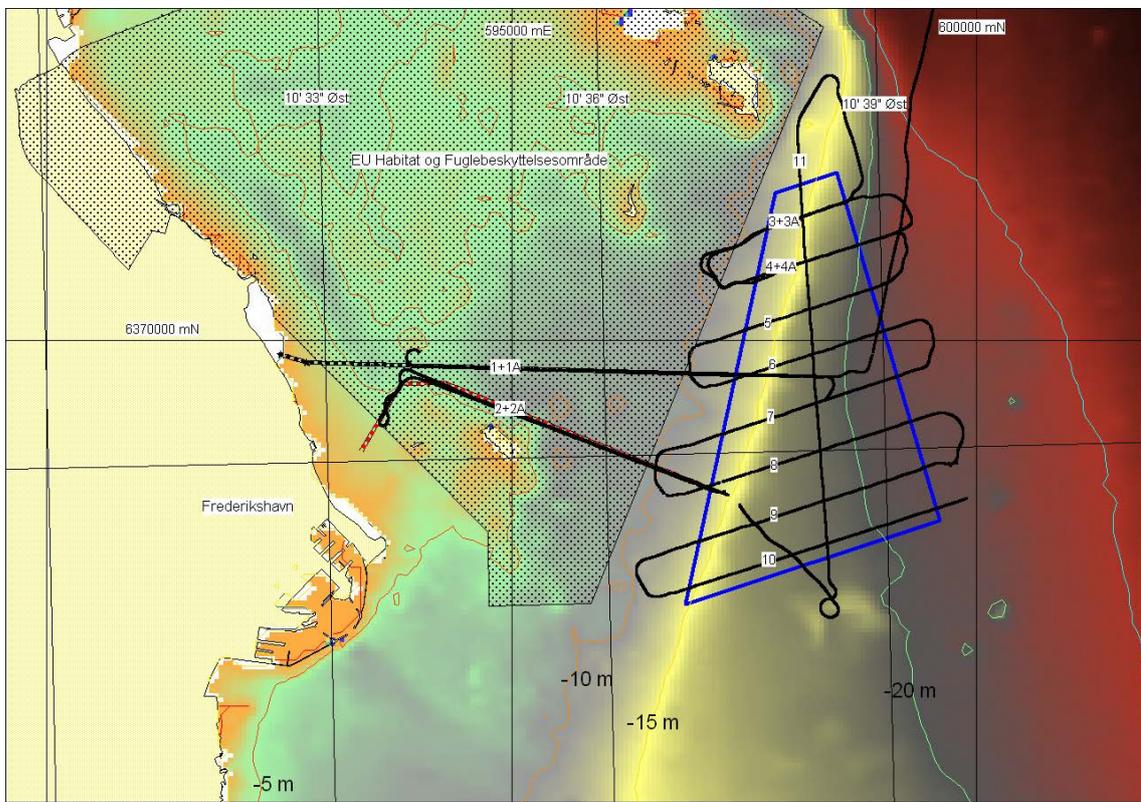
Udover de seismiske data, der er aftalt optaget inden for det afgrænsede område for mulig etablering af en vindmøllepark, er der indsamlet seismik i 2 mulige kabel ruter, som ligeledes er vist i figur 1.

2. Undersøgelserne

Der er indsamlet i alt 63,8 km seismiske data, hvoraf de 19,6 km er foretaget i de 2 mulige kabel rute linier.

De seismiske data omfatter såvel C-Boom data som Side scan sonar data. En nærmere beskrivelse af det seismiske udstyr er vist i bilag 1.

De nye seismiske data fremgår af figur 2. Der er sejlet 2 linier i hver af de 2 mulige kabel ruter: 2+2A og 1+1A. herudover er linierne 3 og 4 sejlet 2 gange, idet de seismiske data var påvirket af vind og strømforhold, og det blev derfor vurderet at kvaliteten kunne forbedres ved at sejle linierne om.



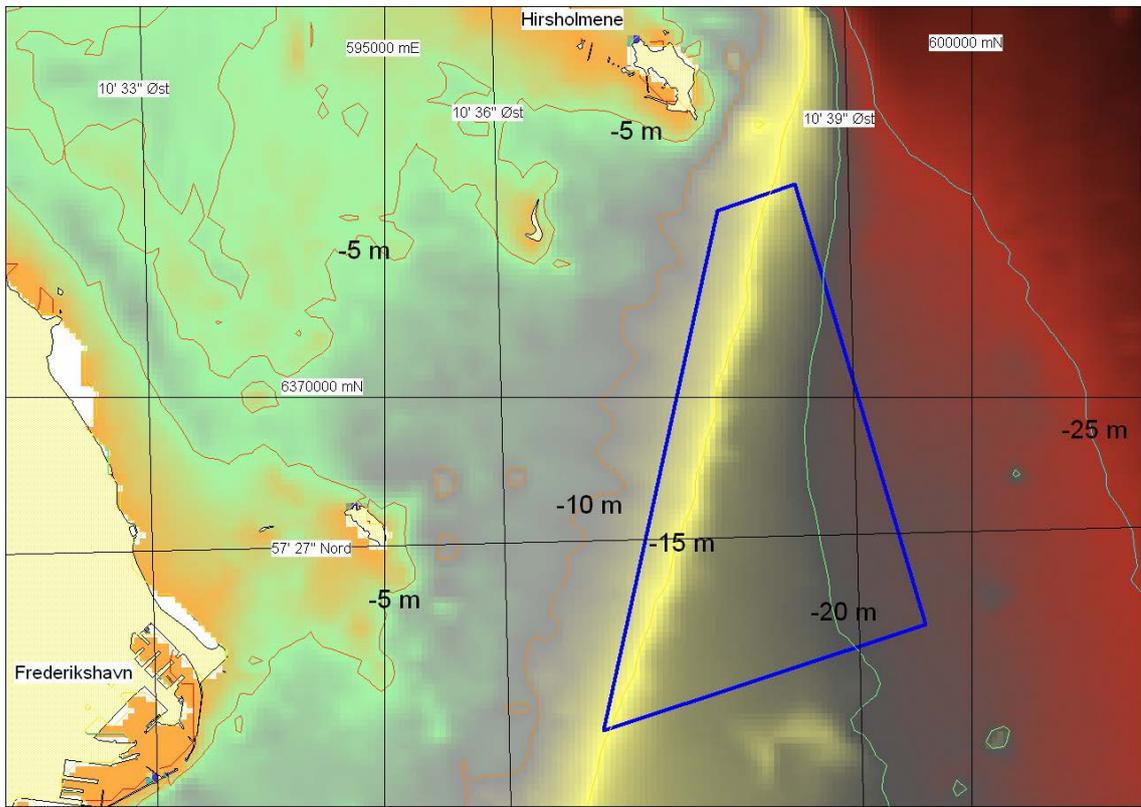
Figur 2. Seismik undersøgelser i havvindmøllepark ved Frederikshavn .

En kort beskrivelse af undersøgelsesernes forløb i arbejde og tid er vist i nedenstående tabel 1, mens der i Bilag 2 er vist en detaljeret log over de udførte arbejder.

Tid	FREDERIKSHAVN
07-08	klargøring og udlægning af sejllinier
08-09	forlægning + udstyr i vand og test
09-10	test af sss og seismik + testliner
10-11	sejlads linie Fred_1 ø-v + v-ø (cable route North)
11-12	sejlads linie Fred_2 ø-v(cable route South)
12-13	sejlads linie Fred_2 v-ø (cable route South) + Fred_11
13-14	Sejlads Fred_11 + 03 +04
14-15	Sejlads 04 + 03a + 04a+05
15-16	Sejlads 05+06+07+08
16-17	Sejlads 08+09+10
17-20	Forlægning til Læsø Østerby havn

Tabel 1 Tids- og arbejdsskema. 4 Juni 2007.

3. Topografi

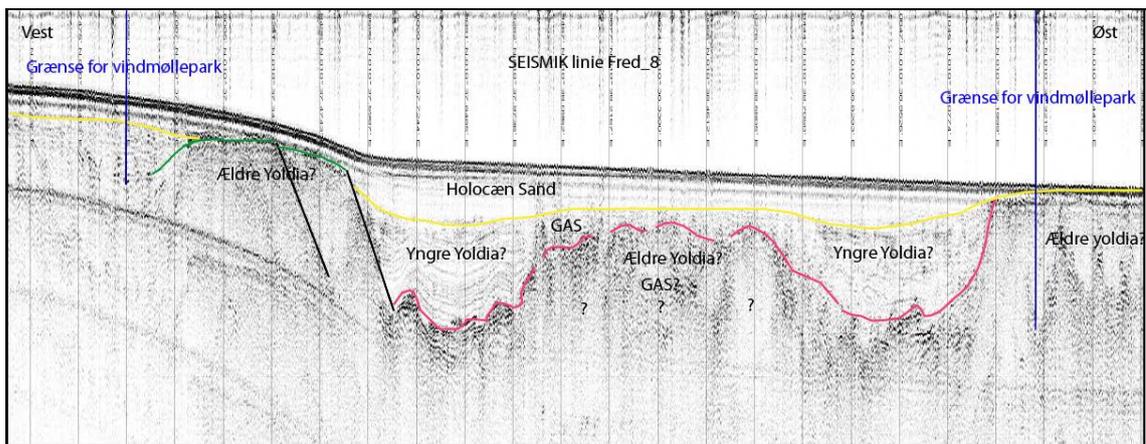


Figur 3.1. Bathymetrisk kort over undersøgelsesområdet.

Baseret på de dybde data der er tilgængelig for GEUS, er der udtegnet et bathymetrisk grid over undersøgelsesområdet, som det fremgår af figur 3.1. Dybderne i undersøgelsesområdet varierer således, at der langs den vestlige grænse for området er vanddybder imellem 11 og 14 m, mens der langs den østlige afgrænsning er dybder imellem 17 og 21 m. Vanddybder stiger i sydlig retning inden for området. Det bathymetriske kort viser at der et fladt lavvandet område imellem Frederikshavn og Hirsholmene, med vanddybder på ca. 5m. Vanddybderne øges langsomt ud mod Læsø Renden, hvor den største gradient ligger inden for den vestlige del af undersøgelsesområdet, hvor 15 m kurven forløber.

4. Geologi.

Området ved den kommende vindmøllepark umiddelbar øst for Frederikshavn er i stor grad udformet af isfremstød i slutningen af Weichel-istiden. I forbindelse hermed er der først dannet nogle nordvest-sydøstgående ispreszoner og i en senere fase af istiden nord-sydgående ispreszoner (Ref.3+4). De sidst nævnte kan erkendes inden for undersøgelsesområdet og i forbindelse hermed er der formodentlig presset Ældre Yoldialer op i en zone parallel med kysten, dvs. langs kanten af det undersøgte område som vist på nedenstående seismiske profil.



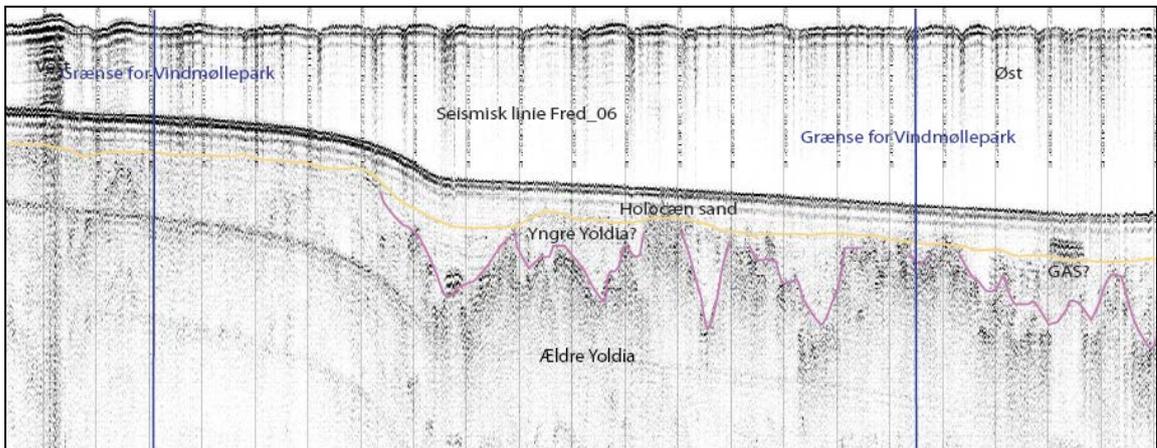
Figur 4.1 Seismisk profil linie Fred_8.

Istidsaflejringerne er af stor betydning for undersøgelsesområdet ud for Frederikshavn. Jordlagene i området indeholder kun aflejringer fra den seneste mellemistid (Eem interglacial tiden) i form af organisk rige marine aflejringer, lag fra den sidste istid - Weichsel istidens - marine- (Ældre Yoldialer), smeltevandslag og stedvis moræne-aflejringer samt senglaciale marine aflejringer (Yngre Yoldialer) og postglaciale Holocænt sandede aflejringer. Jordlagene er dels registreret i de seismiske undersøgelser, dels i borer. Isens kræfter som bulldozer kan observeres i de nyoptagne seismiske data, som viser at de glaciære aflejringer i mange tilfælde er skubbet op i flager, som danner kernen i en del af de nuværende lavvandede flakområder, som ses umiddelbar ud for Frederikshavn, imellem Frederikshavn og Hirsholmene, med meget beskedne vanddybder, generelt omkring og under 5m.

De organisk rige Eem aflejringer giver ophav til dannelsen af metangas fra disse jordlag, som trænger op til overfladen gennem sprækker i leret eller porøse lag og giver ophav til dannelsen af boblerev, som bl.a. er beskrevet ved Hirsholmene (Ref.9 +10).

4.1.1 Weichsel Ældre Yoldialer.

Inden for det undersøgte område er de ældste jordlag som kan ses på de seismiske data det Ældre Yoldialer. Under disse lag ligger de ovenfor nævnte aflejringer fra den seneste mellemistid (Eem interglacial tiden) i form af organisk rige marine aflejringer som betegnes Skærumhedeserien. De giver ophav til den gas som er til stede på hovedparten af de seismiske data. Disse gasudslip påvirker de seismiske data i væsentlig grad, idet det dels masker data, dels forhindrer det seismiske signal i at trænge ned i dybden, idet det reflekteres af gassen i sedimenterne. Dette kan være en medvirkende årsag til, at disse dybere lag ikke kan ses på seismikken. Det Ældre Yoldialer er aflejret i et ishav, som har været til stede i en mindre varmeperiode i den midterste del af Weichsel istiden. Ved isens mægtige fremstød for ca. 30 tusinde år siden er Yoldialer blevet overskredet af isen, hvis kræfter har været som bulldozer hvor den daværende havbund er skubbet og sammenpresset ind på lavere dybde. Dette kan observeres i de seismiske data, som viser at de glacial aflejringer i mange tilfælde er skubbet op i flager. (Figur 4.1 og 4.2).



Figur 4.2 Seismisk linie Fred_06.

Det Ældre Yoldialer består hovedsagligt af ler, men ind imellem er der mere sandede enheder som kan være rige på større sten. Generelt set er der et vist indhold af spredte sten i det Ældre Yoldialer som er tænkt tilført ved isbjerge, som under afsmeltning taber stenene ned i havet hvor leret afsættes. De betegnes som dropsten. Ved den efterfølgende erosion under fastlandstiden, er disse sten blevet opkoncetreret i lag som ligger umiddelbart på eller nær havbunden i området, specielt på de lavvandede områder hvor kabellinieføringerne er foreslået.

4.1.2 Senglacialt Yngre Yoldialer

I forbindelse med Weichsel-gletscherens tilbagesmeltning blev der i senlacial tid aflejret store mængder udvaskede lerpartikler, der dannede det Yngre Yoldialer i Kattégat. Lige-

som det er tilfældet med det Ældre Yoldialer, er der et indhold af grus og sten som vidnesbyrd om den "stenregn" (dropsten) fra de smeltende isbjerger, der drev rundt i Yoldiahavet. Det Yngre Yoldialer ligger ofte i hullerne imellem det forstyrrede Ældre Yoldialer, hvor det aflejres horisontalt eller svagt draperende over det underliggende sediment. Dette fremgår tydeligt af de seismiske data i undersøgelsesområdet, som vist i figur 4.2.

Det Yngre Yoldialer er udbredt over et stort område, som strækker sig over til den svenske kyst (figur 4.3). Da isen ikke på et senere trængter ind over området, forbliver det Yngre Yoldialer uforstyrret og er ikke belastet som det er tilfældet med det Ældre Yoldialer.

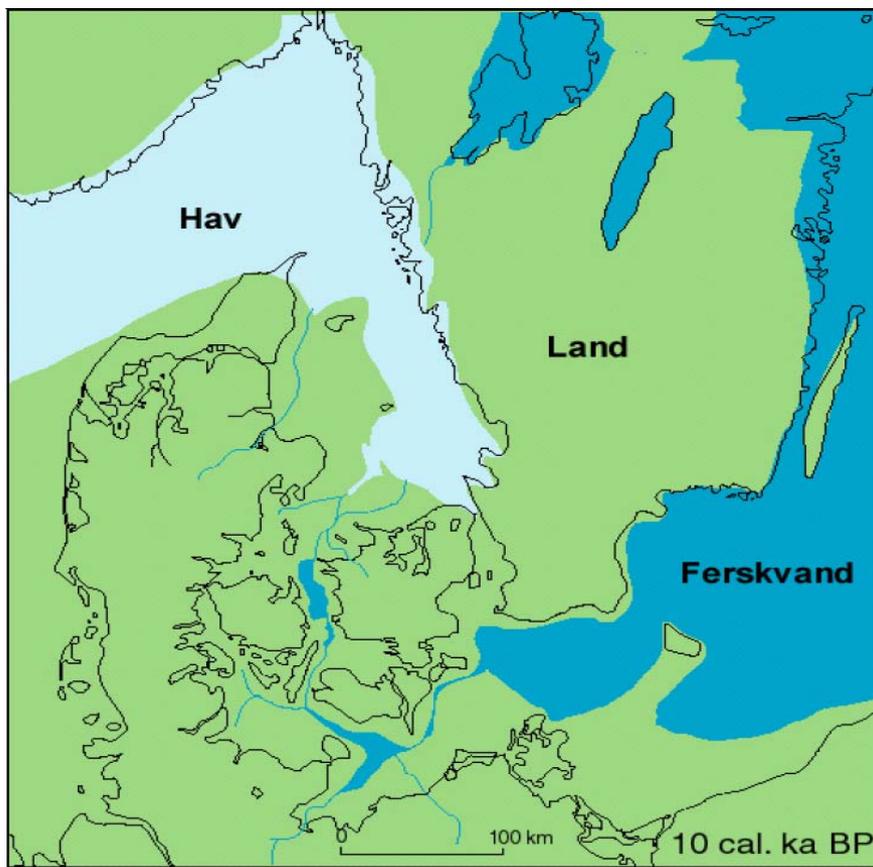


Figur 4.3. Udbredelsen af ishavet (Yngre Yoldialer) 16-15 Ka BP. (Efter Houmark 2003).

I den efterfølgende fastlandstid, blev dette område for en stor dels vedkommende, tørlagt (Figur 4.4). I forbindelse hermed er der ved erosion fjernet det finkornede ler, silt og sand og der er efterladt et tyndt residual dæklag, som har et stort indhold af sten og grus. Der er ikke ved tolkningen af de seismiske data fra området påvist disse lag inden for undersøgelsesområdet.

I de nærliggende områder, bl.a. på Læsø (Ref.1), er der ved boring påvist smeltevands-sand og grus umiddelbart over det Yngre Yoldialer. Disse lag er heller ikke lokaliseret på de seismiske data, hvilket dog ikke udelukker tilstedeværelsen heraf. Såfremt dette er væsent-

ligt for beslutningen om placering af vindmøllerne, må det anbefales at der indsamles boreprøver fra området.



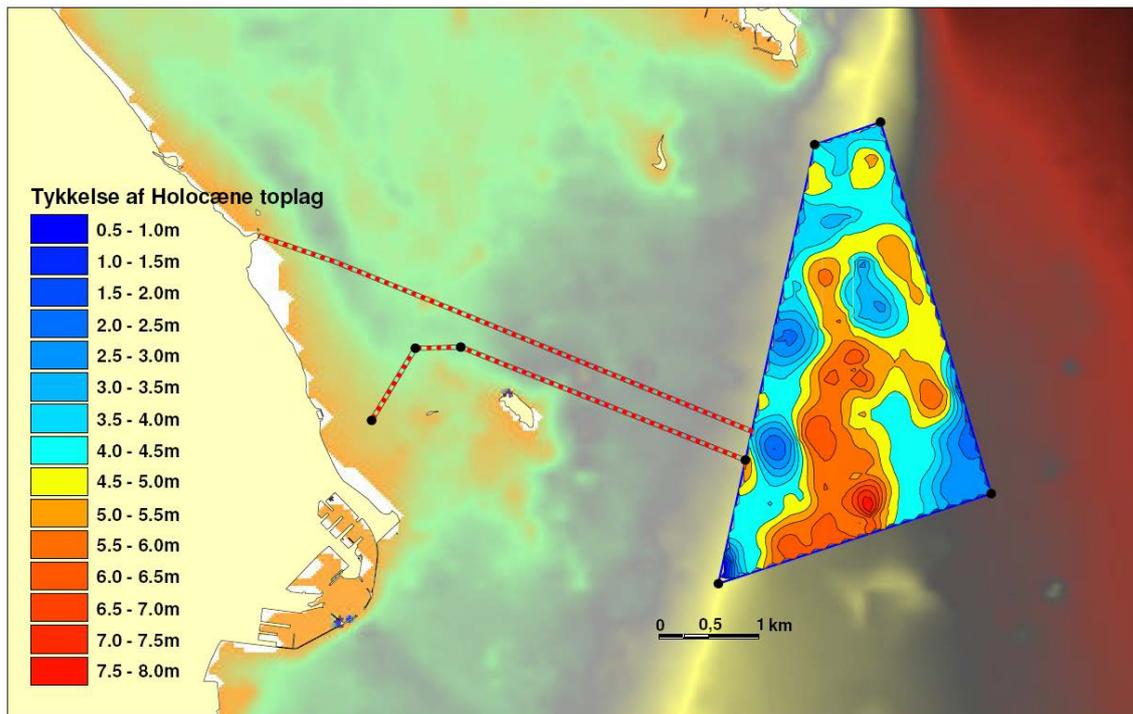
Figur 4.4. Fordelingen af land og hav i fastlandstiden fra omkring 10.000 år siden (ref.7).

4.1.3 De postglaciale holocæne aflejringer

Efterhånden som landhævningen begyndte at aftage og verdenshavets vandstandsstigning intensiveredes, begyndte Frederikshavn området gradvist igen at blive oversvømmet ved dannelsen af Stenalderhavet, hvorved de sandede holocæne aflejringer påbegyndes afsat. Disse marine aflejringer er fortsat frem til nutiden. Der er foretaget en kortlægning af tykkelsen af Holocænet i området, som vist i figur 4.5, der viser at hele undersøgelsesområdet er dækket med holocæne sandede sedimenter. Tykkelsen af lagene varierer imellem 2 og 8m. Fordelingen af Holocænet er meget påvirket af de ispres bevægelser som er nævnt i indledningen.

Sammensætningen af de holocæne sandede lag er ikke kendt, idet der ikke er borer i området. Umiddelbart uden for Frederikshavn Havn er der i forbindelse med etableringen af vindmøller udført 4 borer i 2002, som er gengivet i bilag 3. Desuden er der ca. 25km syd

for området i Læsø rende lavet en boring Fyrbåke i 1964 (bilag 5), som ligger på ca. 8 m's vand. Boringerne viser, at det holocæne sand generelt set er fint, med enkelte grovere lag. Sandet bliver mere finkornet med dybden, hvor det bliver mere siltet. Herudover er der registreret et stigende indhold af organisk materiale. Da de 4 boringer ved Frederikshavn ligger på vanddybder af 2-4 m og boringen ved Fyrbåke ligger for langt væk fra undersøgelsesområdet til at kunne repræsentere bundforholdene i undersøgelsesområdet, må det anbefales, at der indsamles boringsdata fra området for at dokumentere sammensætningen af det holocæne materiale.



Figur 4.5. Tykkelses kort over Holocænet i undersøgelsesområdet.

5. Seismik

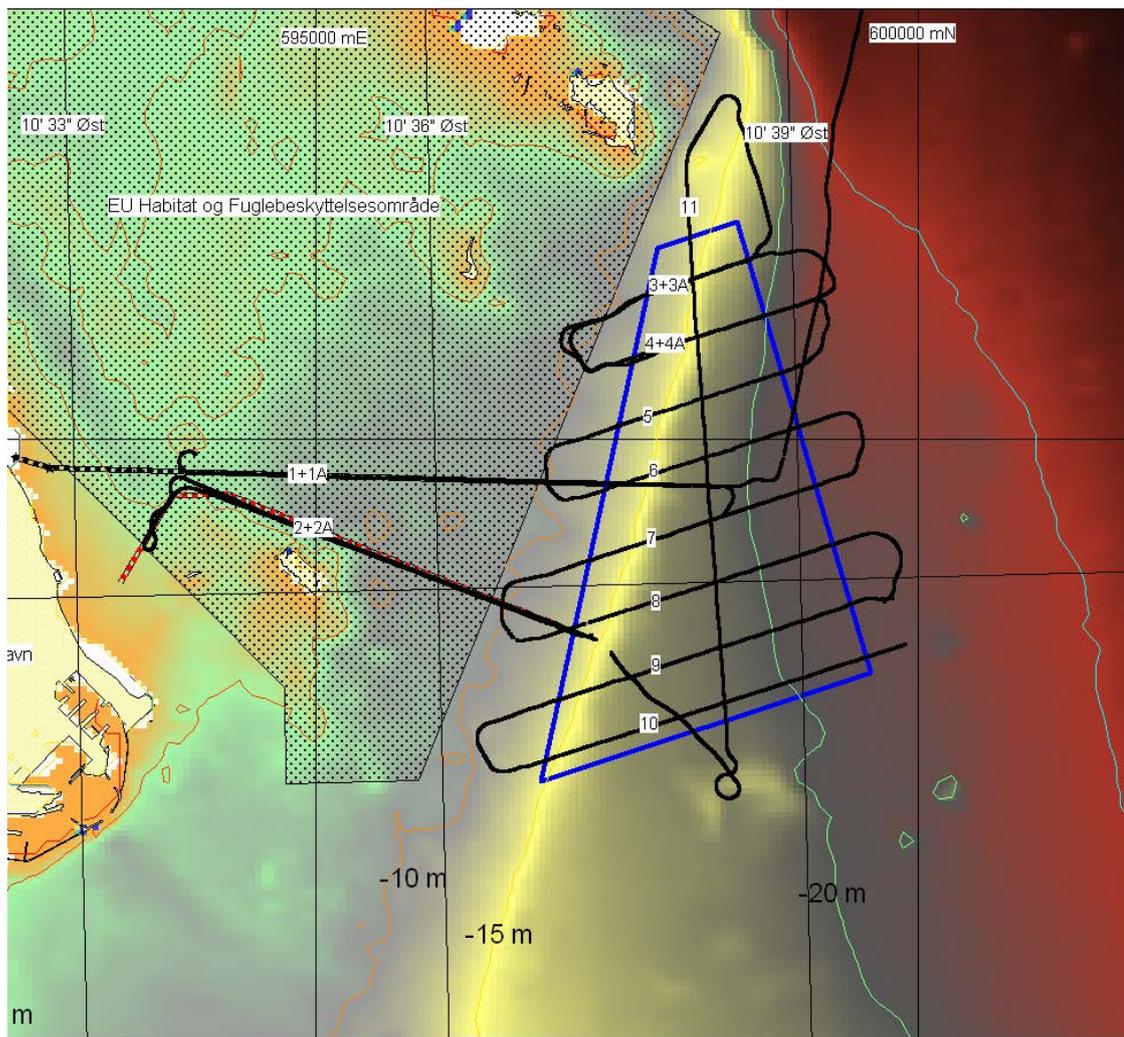
Der er indsamlet i alt 15 seismiske linier eller liniestykker med en samlet længde på ca 64 km. Længden af de seismiske linier eller liniestykker er vist i tabel 2. Udover linier i undersøgelsesområdet er der dels liniestykket, som dækker indsejlingen til området (en del af linie Fred_1), hvor indsejlingslinien nord for undersøgelsesområdet er tolket selvstændigt, samt linierne Fred_1,.1a,.2 og .2a, der dækker 2 mulige kabelkorridorer. De sidste liniestykker vil blive rapporteret selvstændigt.

Data File	File Size	Start Time	End Time	Line Length
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_10F.TRA</u>	23643 KB	Unavailable	Unavailable	4491.7
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_11FF.TRA</u>	39030 KB	Unavailable	Unavailable	6567.8
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_1F.TRA</u>	54138 KB	Unavailable	Unavailable	9932.8
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_1F.aF.TRA</u>	23959 KB	Unavailable	Unavailable	4375.0
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_2F.TRA</u>	15593 KB	Unavailable	Unavailable	2919.9
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_2FAF.TRA</u>	37159 KB	Unavailable	Unavailable	5673.1
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_2FF.TRA</u>	40808 KB	Unavailable	Unavailable	5192.7
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_3FF.TRA</u>	11455 KB	Unavailable	Unavailable	2281.5
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_4AF.TRA</u>	13151 KB	Unavailable	Unavailable	2360.9
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_4FF.TRA</u>	17974 KB	Unavailable	Unavailable	3009.5
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_5F.TRA</u>	14874 KB	Unavailable	Unavailable	2844.9
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_6F.TRA</u>	18060 KB	Unavailable	Unavailable	3305.0
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_7F.TRA</u>	16563 KB	Unavailable	Unavailable	3272.2
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_8F.TRA</u>	20017 KB	Unavailable	Unavailable	3743.1
<u>F:\NYfred\DATA\Fred_9F.TRA</u>	19866 KB	Unavailable	Unavailable	3893.0
<u>Total in m.</u>				63863.1

Tabel 2. Seismiske linier indsamlet i undersøgelsesområdet for forsøgsvindmøller i Læsø Rende.

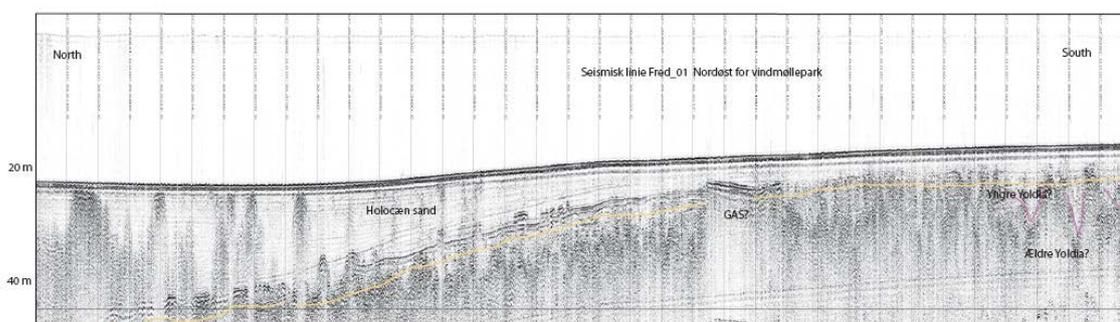
5.1 Tolkning af seismiske data

Hver enkelt af de seismiske data er blevet tolket med henblik på at lokalisere toppen af det Ældre Yoldialer, det Yngre Yoldialer samt det holocæne sand. Herudover er dataene gennemgået, med henblik på at finde andre geologiske informationer, men umiddelbart er der ikke andre lag, som det er muligt at tolke i området. Herudover er der på de seismiske data markeret, hvor der er gas i sedimenterne samt angivet grænser for undersøgelsesområdet. Nummereringen af de seismiske linier fremgår af figur 5.1. Det tolkede profiler er vist i bilag 1.



Figur 5.1. Seismik undersøgelser i havvindmøllepark ved Frederikshavn .

5.2 Området nord for vindmølleparken



Figur 5.2 Tolket seismisk profil nord for vindmølle området.

Der er foretaget en tolkning af den del af profil Fred_1 som er beliggende nord for området (figur 5.2). Beliggenheden af den seismiske linie er vist i figur 5.1. Det mest iøjnefaldende er at vandybderne er større end inden for undersøgelsesområdet. Vanddybderne stiger til over 20 m. Herudover stiger tykkelsen af det holocæne lag til over 20 m i de dybeste dele af området. Herudover ser det ud til, at der i den nederste del af den holocæne lagserie kan ses flere interne reflektorer som kunne tolkes som lag med en anden sammensætning. Der kan eventuel være tale om, at der i dette område kunne påtræffes smeltevandslag som der er beskrevet på Læsø. Dette er imidlertid kun en tese som skal testes ved boring, for at dokumentere sedimentsammensætning og aflejringsmiljø.

5.3 Side scan sonar data

Der er foretaget en systematisk gennemgang af side scan sonar data, med henblik på at lokalisere eventuelle vrage og andre genstande på havbunden. Herudover er der gennemgået med henblik på lokalisering af mulige kalksøjler – ”boblerev”. Der er ikke, ved denne gennemgang lokaliseret nogle af de ovennævnte objekter, og der er derfor ikke udarbejdet noget kort.

6. Konklusion

Det er kortlagt udbredelsen af de holocæne sedimenter i undersøgelsesområdet. Undersøgelserne viser, at tykkelse af det holocæne varierer en del og at tykkelserne varierer imellem 2 og 8m.

De holocæne aflejringer hviler på en erosionsflade som skærer Yngre og Ældre Yoldialer. Det Yngre Yoldialer udfylder det kuperede terræn som ispresset fra øst har dannet ved opskydning af det Ældre Yoldialer i en række rygge/flager.

Det Ældre Yoldialer er belastet af isen, mens det Yngre Yoldialer og de holocæne lag er ubelastede.

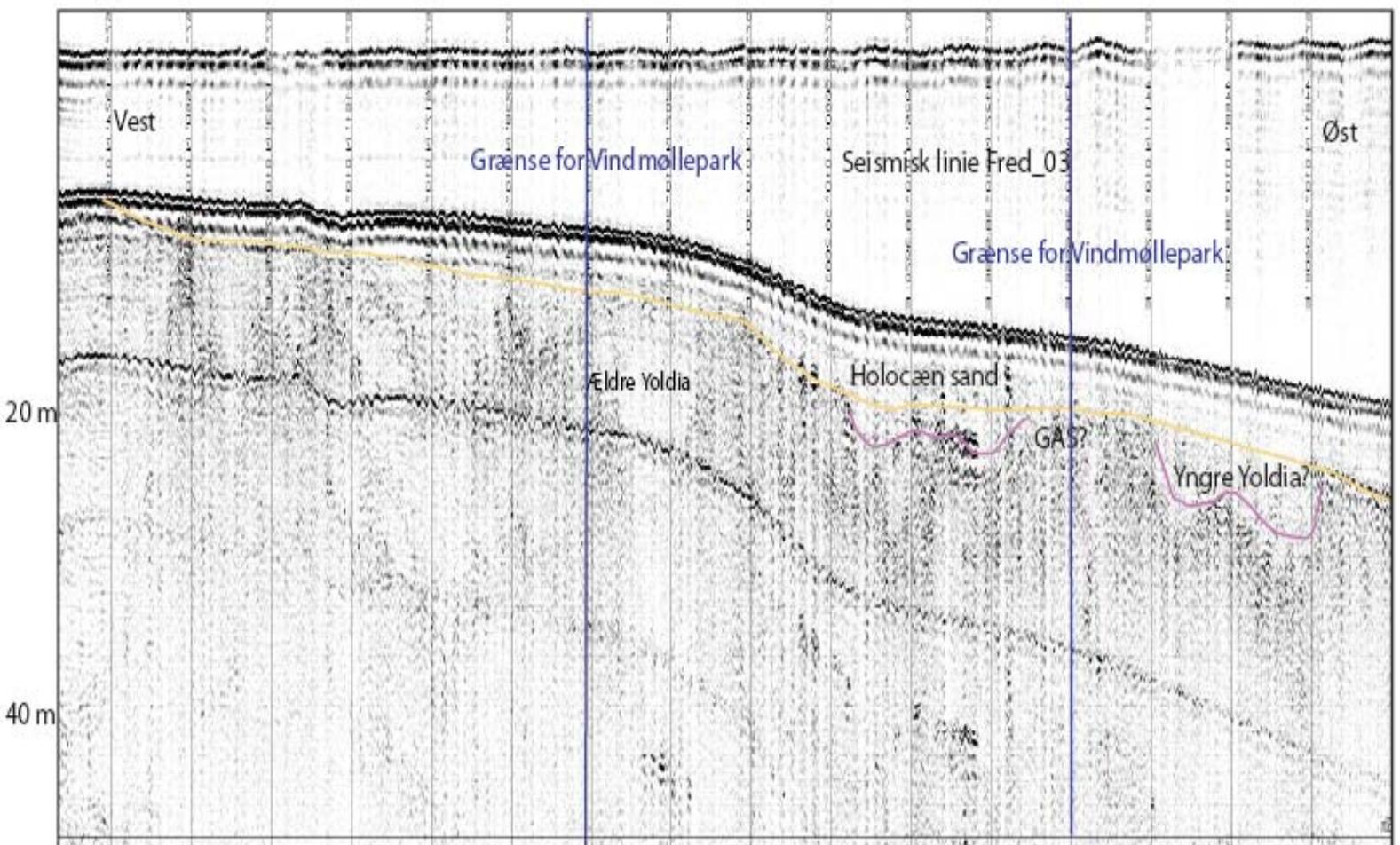
Der er påvist gasudslip fra de dybere lag i de seismiske data. Der er derimod ikke påvist boblerev, eller øvrige objekter på havbunden på side scan sonar data.

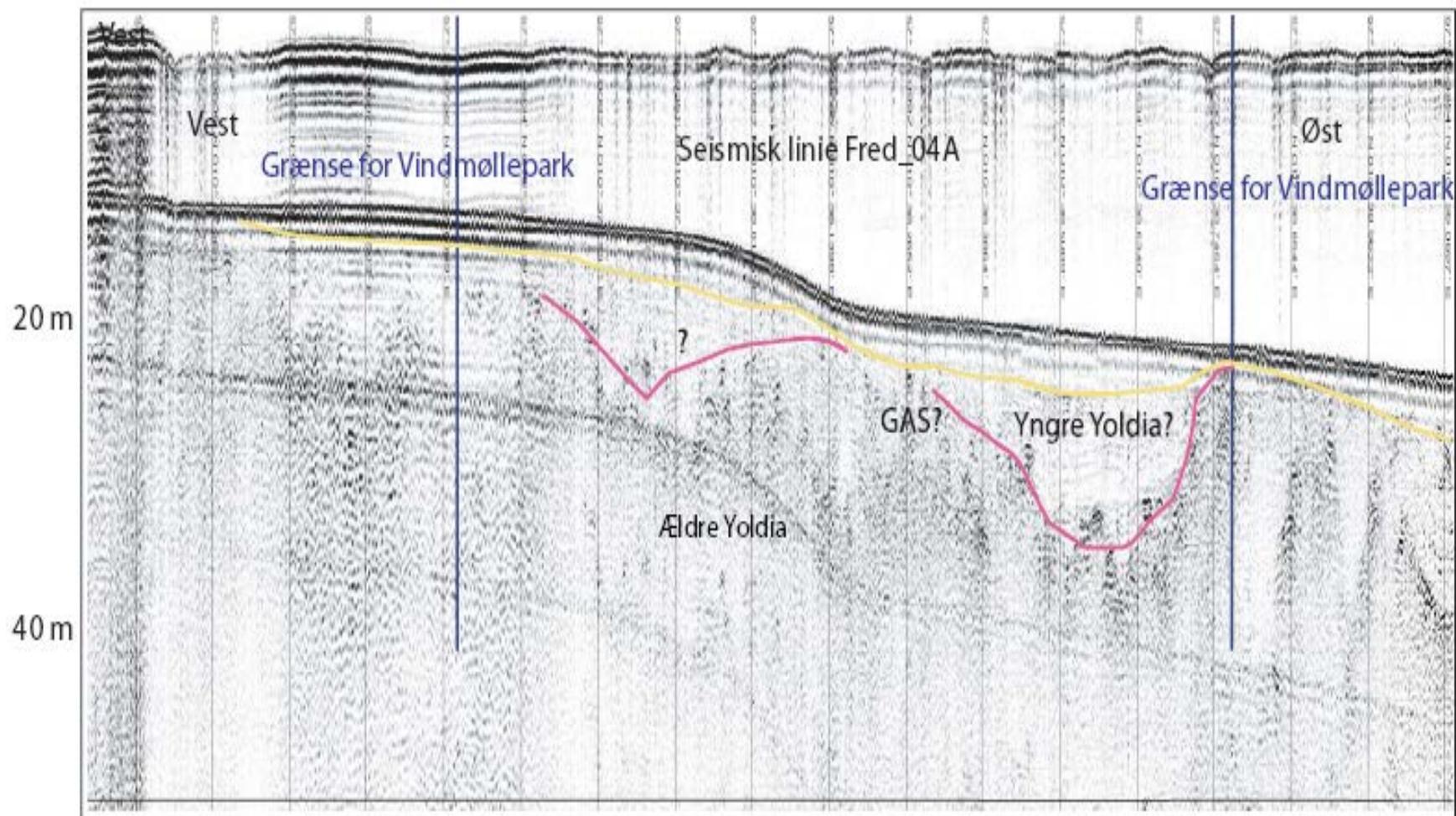
Det anbefales, at der gennemføres boringer til afklaring af sedimentsammensætning af de lokaliserede lag i området, idet der ikke er data, som direkte kan beskrive sedimenterne i området.

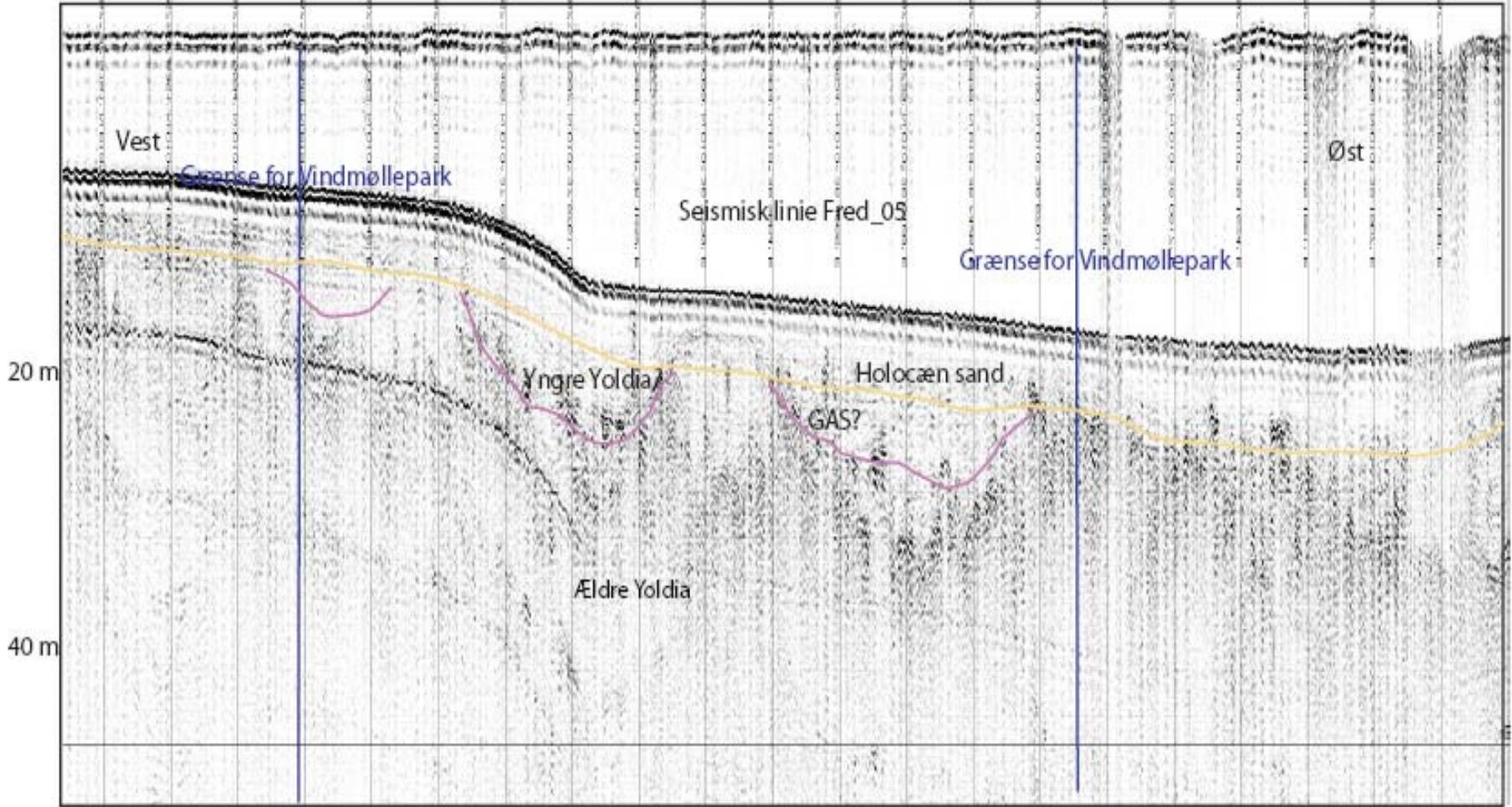
7. Referencer

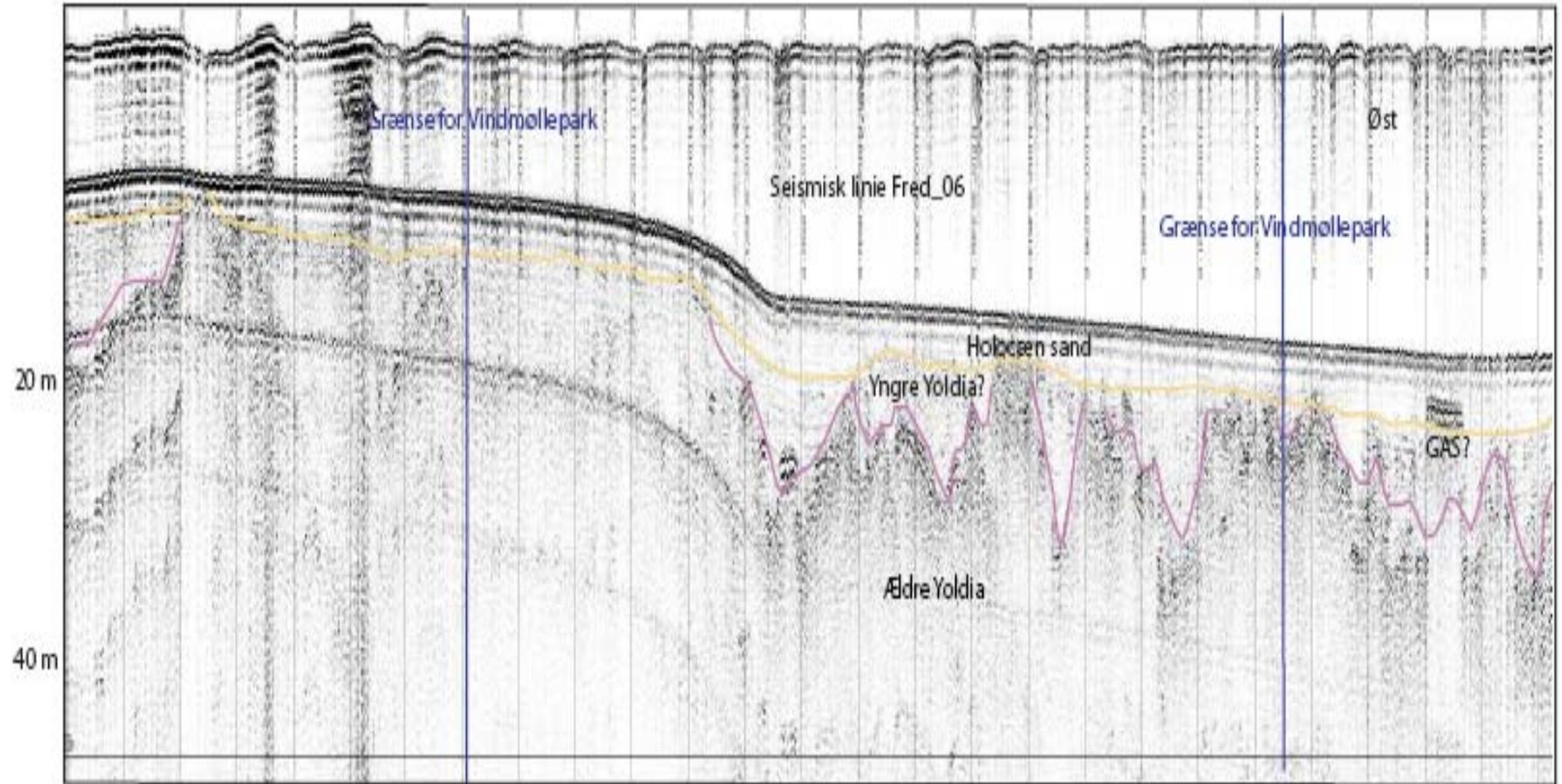
- (1) Bahnson, H., Knudsen, K.L. og Hansen, J.M. 1986. Læsø's Geologi. DGU serie D nr. 6.
- (2) Bahnson, H.Petersen, K.S., Konradi, P.B. and Knudsen, K.L. 1973. Stratigraphy of Quarternary deposits in the Skærumhede II boring: Lithology, molluscs and foraminifera. D.G.U. årbog.
- (3) Fredericia, J. 1988. Den hydrogeologiske kortlægning af Nordjyllands amtskommune. Geologisk rapport. DGU Intern rapport nr.22.
- (4) Fredericia, J. 1987. Geologisk kort over Danmark 1:50.000 Kortblad 1417 Læsø..DGU, Kortserie nr.3, København.
- (5) Frederikshavn. Havnen, Vindmøller. Geotekniske undersøgelser. GERO projekt nr. 21702. Rapport 1, 2002-02-15.
- (6) Geologisk set. Det nordlige Jylland. Geografforlaget, Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen 1992.
- (7) Jensen, J.B., Kuipers, A., Bennike, O. og Lemke, W. 2002. BALKAT. Østersøen uden grænser. Geologi. Nyt fra GEUS. Nr. 4, december 2002.
- (8) Knudsen, K.L. and Nordberg, K. 1987. DGF, Bulletin of the geol. Soc. Of Denmark, vol 36,.
- (9) Laier T., Kuijpers A., Dennegård B., and Heier-Nielsen S., 1996: Origin of shallow gas in Skagerrak and Kattegat - Evidence from stable isotopic analyses and radiocarbon dating. NGU Bulletin Vol. 430, p 119-125
- (10) Laier T., Jørgensen N.O., Buchardt B., Cederberg, T. and Kuijpers, A., 1992: Accumulation and seepages of biogenic gas in northern Denmark. Continental Shelf Research, Vol. 12, p 1173-1186
- (11) Larsen,G., Baumann,J. og Bjørn,O. 1986. Kvartærgeologiske forhold under havbunden i Læsø Rende. DGF, Årsskrift for 1985 p. 39-46.
- (12)Læsø Rende. Fyrbåke. Geoteknisk rapport. Geoteknisk rapport 1964.

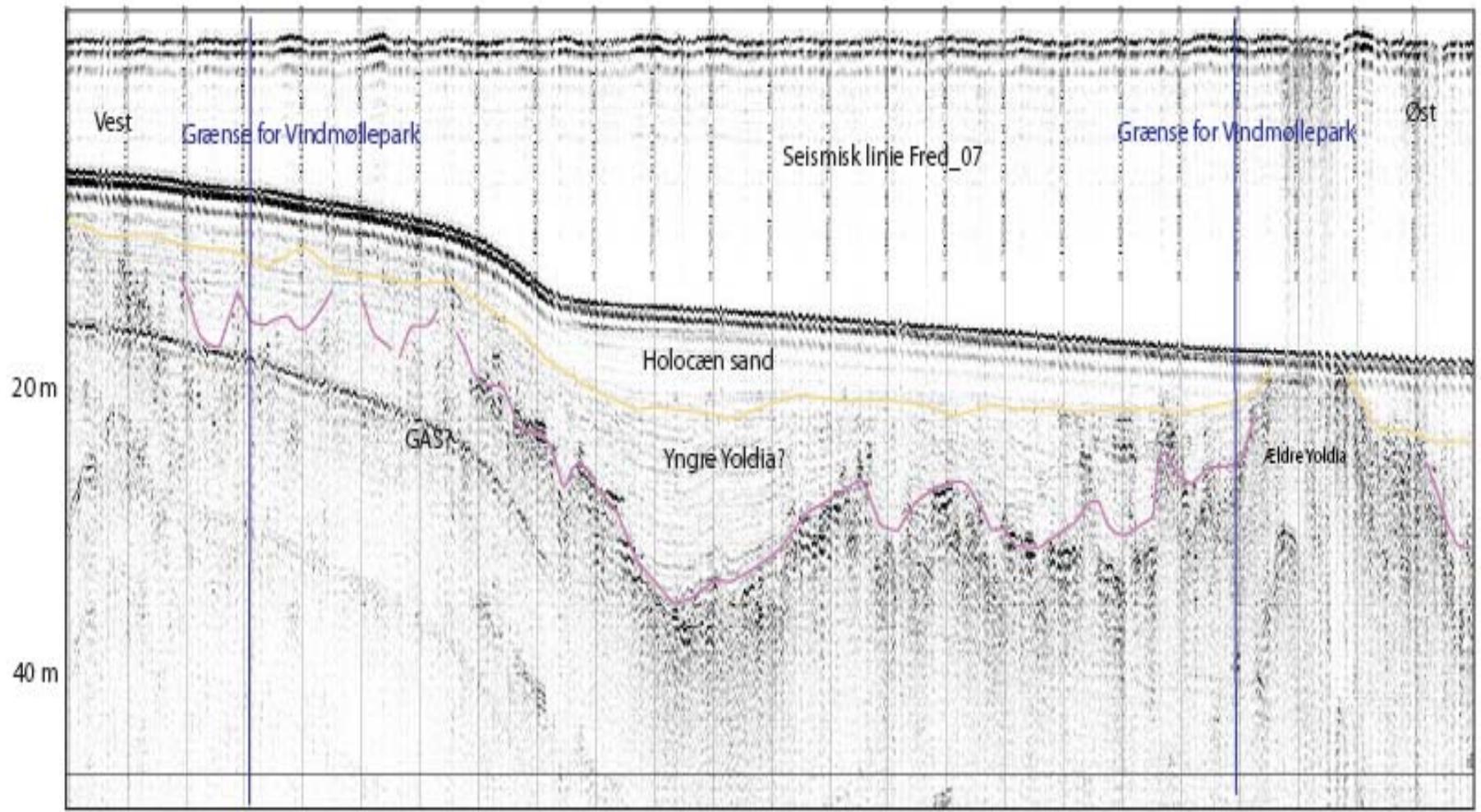
Bilag 1 Tolkede seismiske profiler

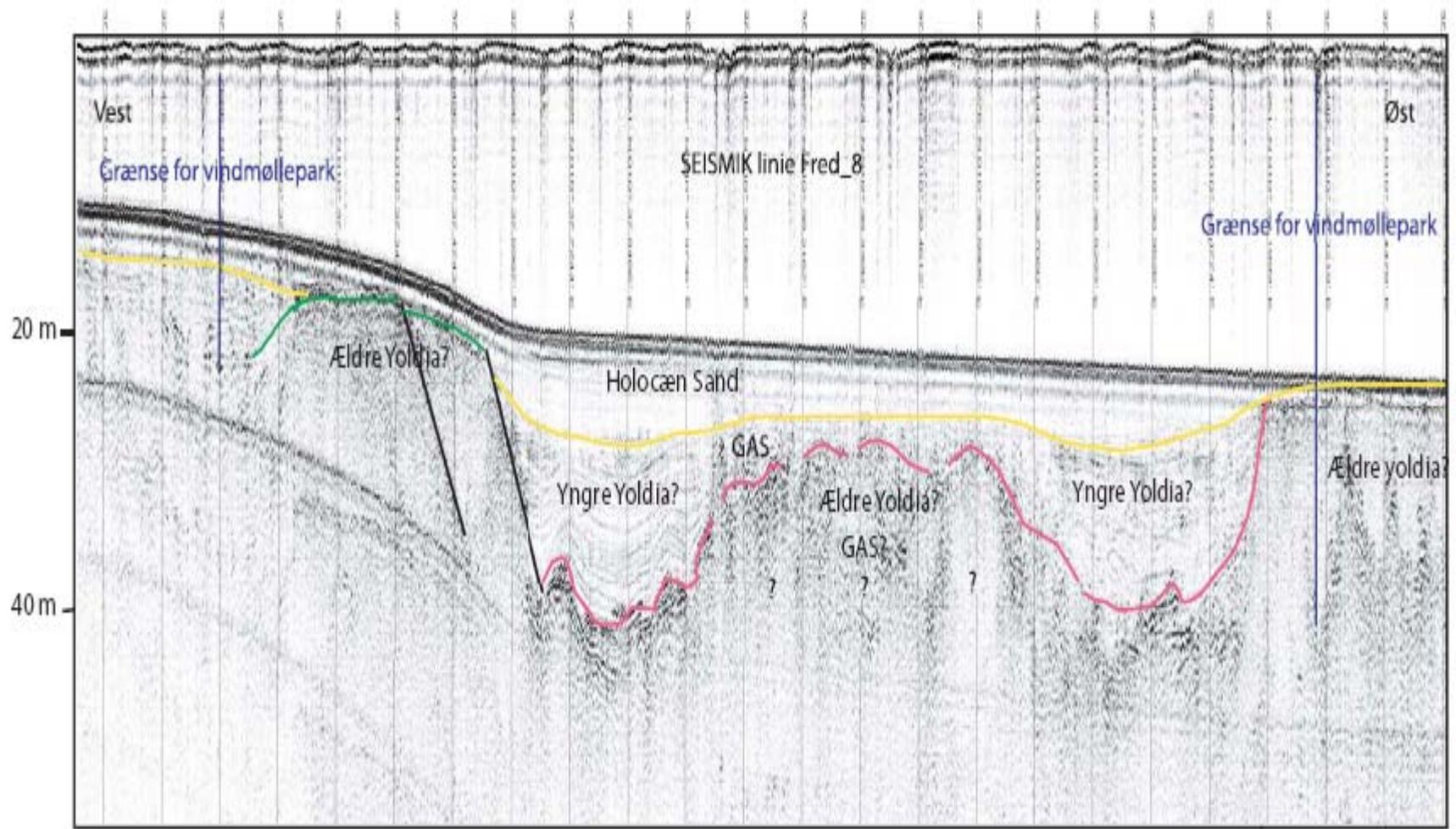


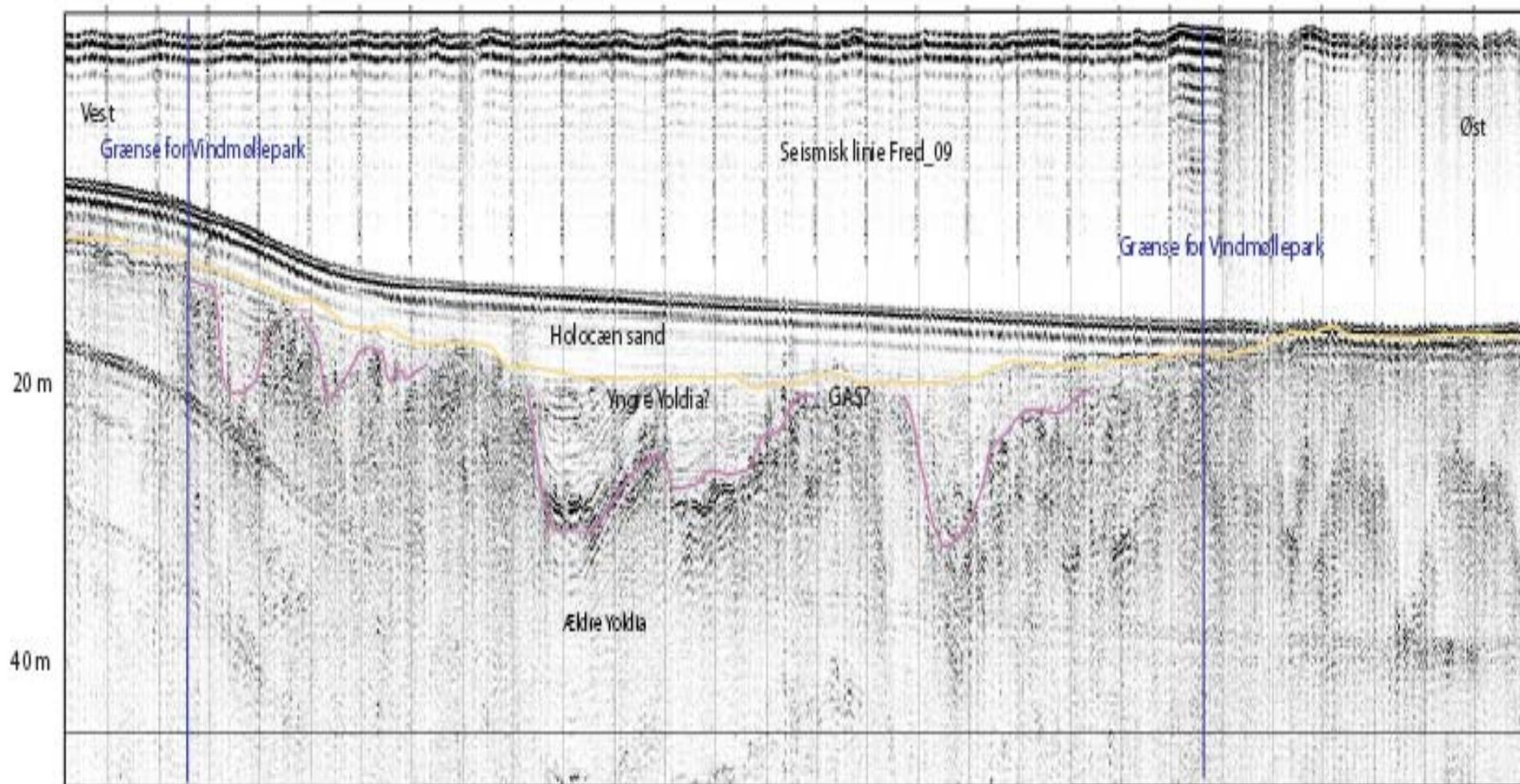


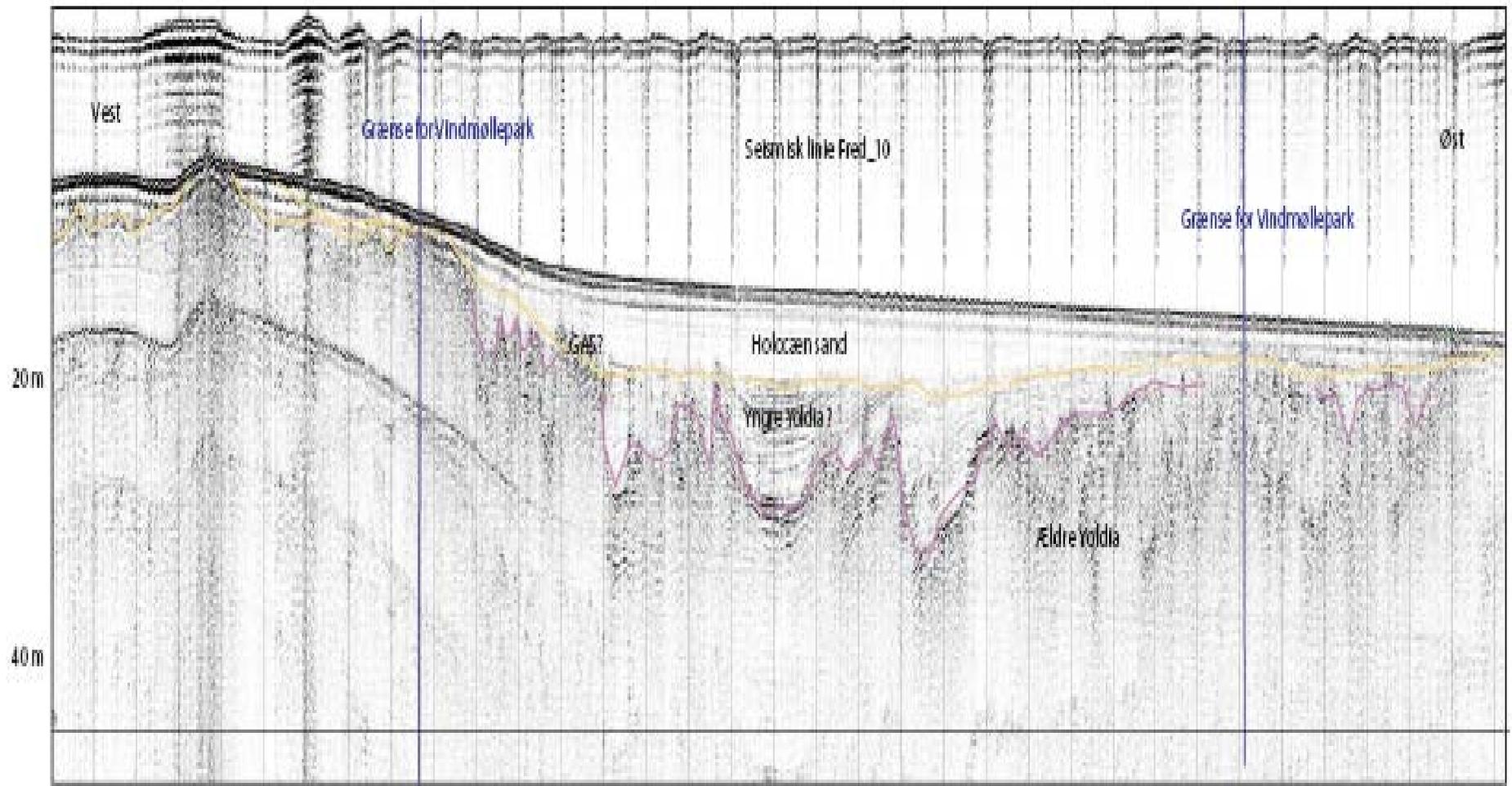


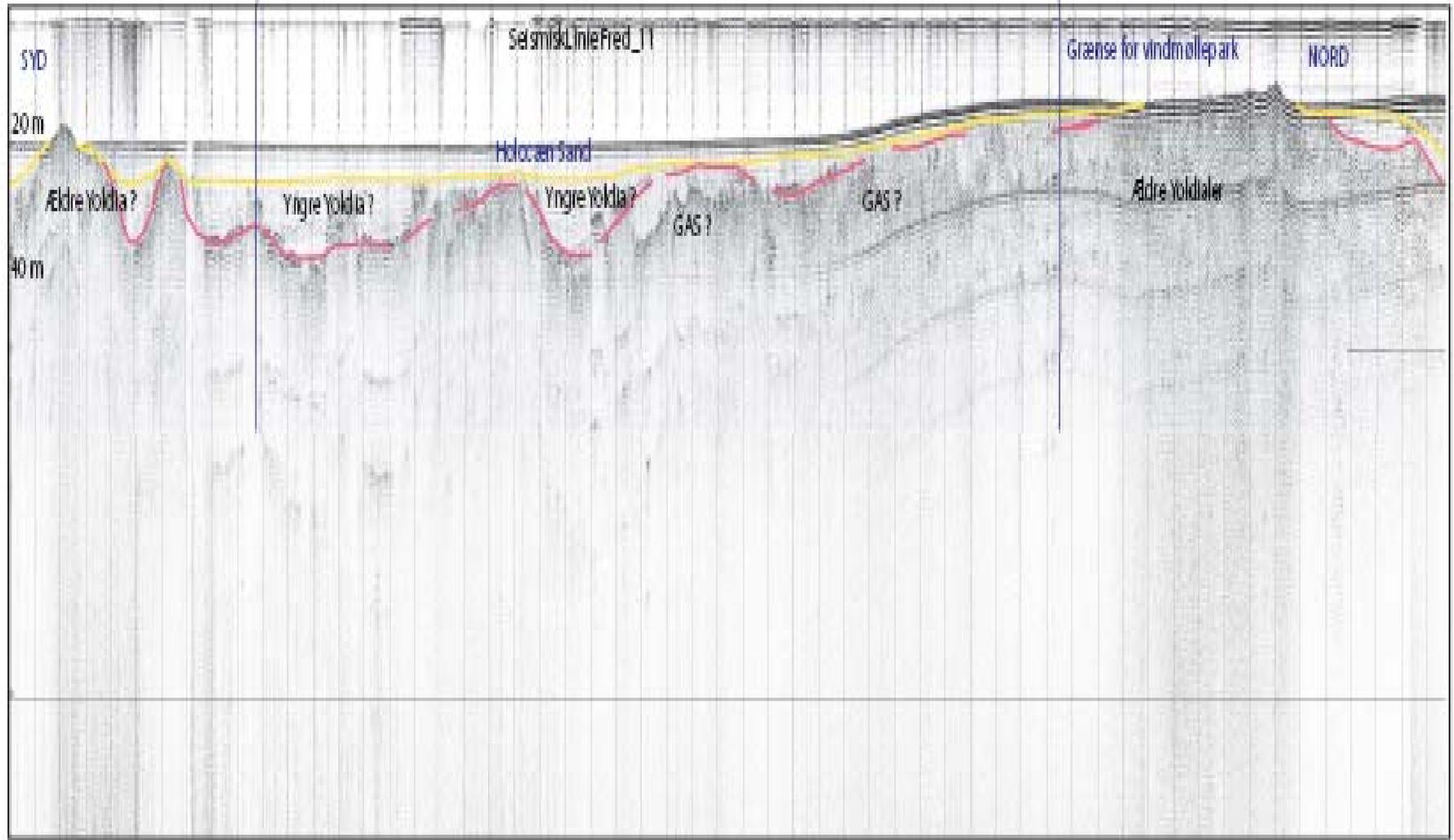


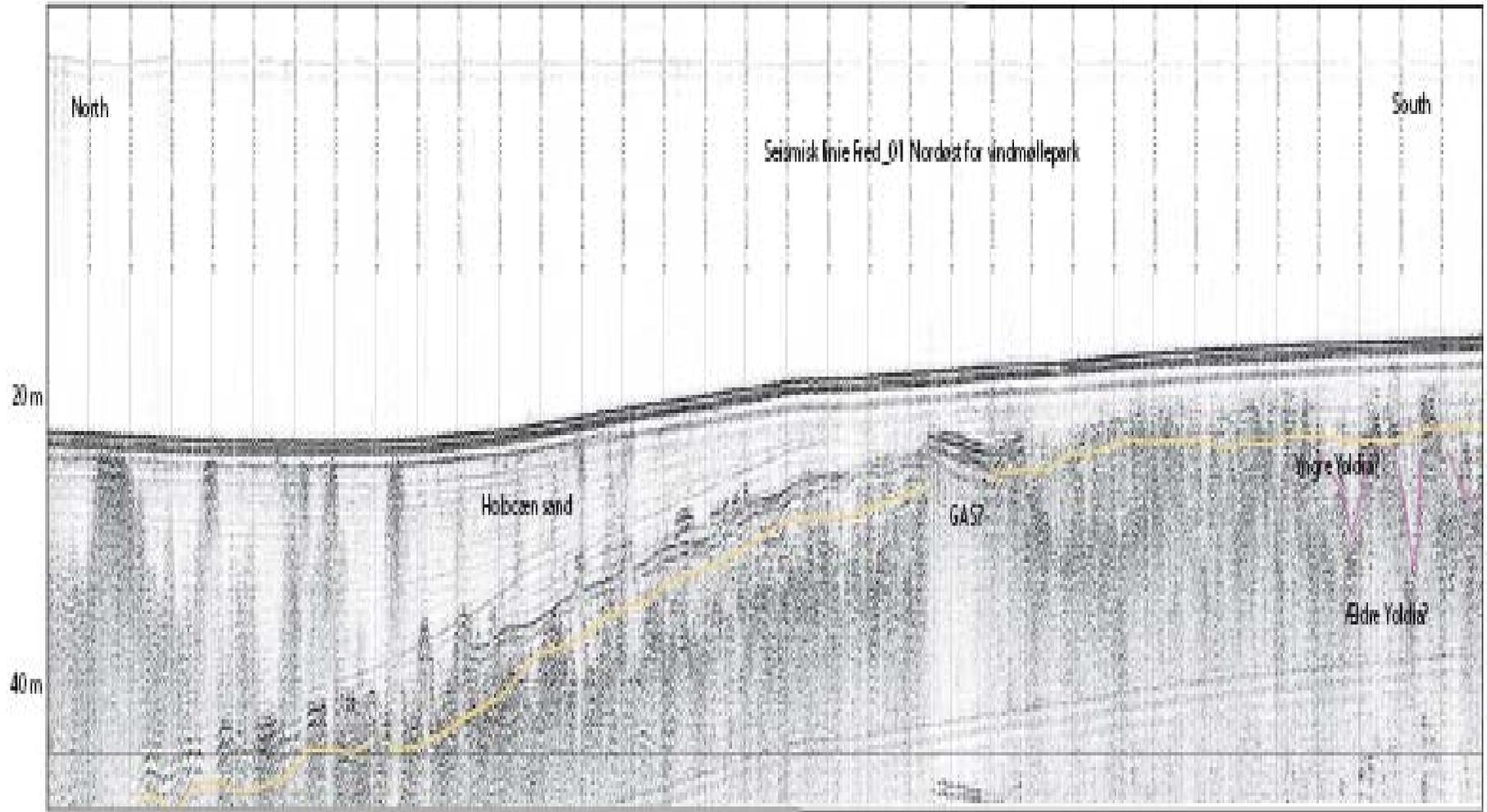












8. Bilag 2

8.1 C-Boom

The C-Boom LVB (Figure 4.4) is a compact, boomer system with a working voltage adjustable between 400 and 600 Volts DC. It is a high resolution seismic instrument, which can work at water depths from one metre to beyond one hundred metres with penetration of over 80 m. in soft sediments.

Technical Specifications:

Energy discharge per pulse: 100J

Acoustic output: (re 1uPa @ 1m) -200dB

Dominant frequency: 1760Hz

Resolution: better than 30 cm

Firing rate: 6 per second max

Working voltage: 400 – 600 Volts DC

Power Supply: 110 / 220 Volts ac, 50/60 Hz

Power consumption: 800W

Power source: 1.5 KVA generator



Figure 4.4 C-BOOM

8.2 Side Scan Sonar

The Benthos SIS-1600 Series Side Scan Sonar is a fully integrated system that uses both advanced Chirp and conventional continuous wave (CW) technologies—single frequency or dual frequency—and an advanced high-speed communications link to acquire high resolution side scan sonar images.

The Benthos SIS-1600 is a complete side scan sonar survey system that includes a topside acquisition system and software, a 100-meter tow cable, the CL-160 Communications Link, and one of two available tow vehicles: the TTV-196 Tow Vehicle, which acquires long range, high resolution Chirp side scan sonar images in a single frequency band; and the TTV-196D Tow Vehicle, which acquires long range, high resolution Chirp side scan sonar images in two frequency bands simultaneously.



Figure 3. Benthos Side Scan Sonar.

System Highlights

- ▲ CL-160 Communications Link
- ▲ 100 kHz, 100 meter range
- ▲ 400 kHz, 100 meter range
- ▲ Topside sonar processor

System Features

The TTV-196D Tow Vehicle includes the transceiver electronics, the processing and communications electronics, the port and starboard side scan transducer arrays, the pitch, roll and heading sensors, and the optional sensors. The optional sensors include a water temperature sensor, a pressure sensor, a magnetometer, and a responder. Hydro dynamically stable tow vehicle with operating depth up to 1,750 meters.

Features

- Dynamic range - high frequency data up to 150 meters
- Enhanced resolution
- Repeatable transmitted waveforms
- Constant temporal resolution
- The pulse characteristics are programmable
- Stainless steel construction

- Seaconnet shipwreck, 400 kHz, 75 meter range

SYSTEM SPECIFICATIONS

Software

Application: Third party data acquisition and display (i.e. TEI "Isis Lite", Chesapeake, "Sonarnap")

Operating System: Microsoft® Windows® XP Professional

Hardware

Processor CPU: Intel® Pentium® 4 processor

Memory: 512 DDR SDRAM

I/O Ports: Wireless keyboard/mouse

RS-232 serial

Parallel

Ethernet 10/100 BaseT

Graphics Processor: Integrated high resolution graphics

Data Storage: High capacity hard drive, CD/DVD-RW drive

CL-160 Communications Link

Physical Characteristics

Construction: 316 stainless steel

Dimensions: 11.4 cm (4.5 in.) outside diameter by 177.8 cm (70 in.) long

Weight in Air: 34 Kg (75 pounds)

Weight in Water: 25 Kg (55 pounds), approx.

Operating Depth: 1,750 meters

Towing Speed: 1 to 8 knots operational

Input Power: 144 VDC, 32 watts nominal

Side Scan Sonar

Acoustic Source Level: +225 dB re 1uPa @ 1 meter

Range: 25 to 500 meters each channel

Frequency Range

Chirp Frequency Range:

(TTV-196D): Simultaneously sweeps in the 110 kHz to 130 kHz and 370 kHz to 390 kHz bands

CW Frequency

(TTV-196D): Simultaneous 123 kHz and 383 kHz

Transducer Radiation

(TTV-196D): 0.5 degrees horizontal, 55 degrees vertical (110 kHz to 130 kHz band), 0.5 degrees horizontal, 35 degrees vertical (370 kHz to 390 kHz band).

Projekt:	Frederikshavn vindmøllepark
Skib:	Fønks Besætning: Jan og Nicolai
Deltagere:	Lars og Steen

Survey navn: Frederikshavn 2007
 Survey Aktivitet: Seismik
 Dato: 4-06-2007

Aktivitet	Tid (UTC)	Instrumenter	Linie navn	Data	Sejretning	SOL	EOL	Vejr	Kommentar
Om bord, Frederikshavn	05.00								
Fortægning /omrigning	05.00 - 06.00								
Kalibrering/leest	06.00-07.00								
Opstart af survey	07.00-07.40								
Dataopsamling/seismik	07.40	Navipac	Fred_01	070604GIC\S01	Ø-V	08.15	08.41	5 m/s god sigt	Lang indsejling
Dataopsamling/seismik	07.40	C-Boom	Fred_01	Fred_01.tra/par	Ø-V	08.15	08.41	-	og opstart,
Dataopsamling/seismik	07.40	Benthos	Fred_01	Fred_01.xtf	Ø-V	08.15	08.41	-	Nord-Kabel rute
Dataopsamling/seismik	08.40	Navipac	Fred_01a	870604GIC\S01	V-Ø	08.42	09.10	-	Nord-Kabel rute
Dataopsamling/seismik	08.40	C-Boom	Fred_01a	Fred_01a.tra/par	V-Ø	08.42	09.10	-	Retur
Dataopsamling/seismik	08.40	Benthos	Fred_01a	Fred_01a.xtf	V-Ø	08.43	09.10	-	
Dataopsamling/seismik	09.20	Navipac	Fred_02	070604GIC\S02	Ø-V	09.23	10.00	-	
Dataopsamling/seismik	09.20	C-Boom	Fred_02	Fred_02.tra/par	Ø-V	09.23	10.00	-	
Dataopsamling/seismik	09.20	Benthos	Fred_02	Fred_02.xtf	Ø-V	09.23	10.00	-	
Dataopsamling/seismik	10.00	Navipac	Fred_02a	070604GIC\S03+04	V-Ø	10.01	10.40	-	
Dataopsamling/seismik	10.00	C-Boom	Fred_02a	Fred_02a.tra/par	V-Ø	10.01	10.40	-	
Dataopsamling/seismik	10.00	Benthos	Fred_02a	Fred_02a.xtf	V-Ø	10.01	10.40	-	På grund 3 gange
Dataopsamling/seismik	10.45	Navipac	Fred_11	070604GIC\S05	S-N	10.47	11.20	5-7 m/s	
Dataopsamling/seismik	10.45	C-Boom	Fred_11	Fred_11.tra/par	S-N	10.45	11.20	Mere uroligt	
Dataopsamling/seismik	10.45	Benthos	Fred_11	Fred_11.xtf	S-N	10.45	11.20	overskyet	Ændre udlæg SSS
Dataopsamling/seismik	11.30	Navipac	Fred_03	070604GIC\S06	Ø-V	11.31	11.49	6-7 m/s	Længere p.gr.a. bølger
Dataopsamling/seismik	11.30	C-Boom	Fred_03	Fred_03.tra/par	Ø-V	11.31	11.49	Krab Bølger	
Dataopsamling/seismik	11.30	Benthos	Fred_03	Fred_03.xtf	Ø-V	11.31	11.49	-	
Dataopsamling/seismik	11.50	Navipac	Fred_04	070604GIC\S07	V-Ø	11.51	12.04	-	
Dataopsamling/seismik	11.50	C-Boom	Fred_04	Fred_04.tra/par	V-Ø	11.51	12.04	-	
Dataopsamling/seismik	11.50	Benthos	Fred_04	Fred_04.xtf	V-Ø	11.51	12.04	-	
Ændring i udlæg af instrumenter	12.05								Data Kval. lav kasseres
Dataopsamling/seismik	12.15	Navipac	Fred_03A	070604GIC\S08	Ø-V	12.15	12.27	-	Fred_03+=4 besluttes gensejles
Dataopsamling/seismik	12.15	C-Boom	Fred_03A	Fred_03A.tra/par	Ø-V	12.15	12.27	-	Gas i sediment
Dataopsamling/seismik	12.15	Benthos	Fred_03A	Fred_03A.xtf	Ø-V	12.15	12.27	-	
Dataopsamling/seismik	12.28	Navipac	Fred_04A	070604GIC\S09	V-Ø	12.28	12.47	-	
Dataopsamling/seismik	12.28	C-Boom	Fred_04A	Fred_04A.tra/par	V-Ø	12.28	12.47	-	Gas i sediment
Dataopsamling/seismik	12.28	Benthos	Fred_04A	Fred_04A.xtf	V-Ø	12.28	12.47	-	
Dataopsamling/seismik	12.48	Navipac	Fred_05	070604GIC\S10	Ø-V	12.48	12.59	-	
Dataopsamling/seismik	12.48	C-Boom	Fred_05	Fred_05.tra/par	Ø-V	12.48	12.59	-	
Dataopsamling/seismik	12.48	Benthos	Fred_05	Fred_05.xtf	Ø-V	12.48	12.59	-	
Dataopsamling/seismik	13.00	Navipac	Fred_06	070604GIC\S11	V-Ø	13.00	13.19	-	
Dataopsamling/seismik	13.00	C-Boom	Fred_06	Fred_06.tra/par	V-Ø	13.01	13.19	-	
Dataopsamling/seismik	13.00	Benthos	Fred_06	Fred_06.xtf	V-Ø	13.04	13.19	-	
Dataopsamling/seismik	13.20	Navipac	Fred_07	070604GIC\S12	Ø-V	13.21	13.42	-	
Dataopsamling/seismik	13.20	C-Boom	Fred_07	Fred_07.tra/par	Ø-V	13.21	13.42	-	
Dataopsamling/seismik	13.20	Benthos	Fred_07	Fred_07.xtf	Ø-V	13.21	13.42	-	
Dataopsamling/seismik	13.43	Navipac	Fred_08	070604GIC\S13	V-Ø	13.43	14.07	-	
Dataopsamling/seismik	13.43	C-Boom	Fred_08	Fred_08.tra/par	V-Ø	13.42	14.07	-	
Dataopsamling/seismik	13.43	Benthos	Fred_08	Fred_08.xtf	V-Ø	13.42	14.07	-	
Dataopsamling/seismik	14.08	Navipac	Fred_09	070604GIC\S14	Ø-V	14.08	14.30	-	
Dataopsamling/seismik	14.08	C-Boom	Fred_09	Fred_09.tra/par	Ø-V	14.08	14.30	-	
Dataopsamling/seismik	14.08	Benthos	Fred_09	Fred_09.xtf	Ø-V	14.08	14.30	-	
Dataopsamling/seismik	14.30	Navipac	Fred_10	070604GIC\S15	V-Ø	14.31	14.58	-	
Dataopsamling/seismik	14.30	C-Boom	Fred_10	Fred_10.tra/par	V-Ø	14.31	14.58	-	
Dataopsamling/seismik	14.30	Benthos	Fred_10	Fred_10.xtf	V-Ø	14.31	14.58	-	
Bjergning af udstyr	15.00								Bjergning og søsikring af grej.
Sejlads Østerbyen Havn Læse	15.15								Fortægning til ny basishavn.
Ankomst Østerbyen Havn Læse	17.45								

10. Bilag 4

Frederikshavn. Havnen
Vindmøller
Geoteknisk undersøgelse

GEO projekt nr. 21702
Rapport 1, 2002-02-15

Sammenfatning

Der skal opføres 4 vindmøller ved havnen i Frederikshavn. De tre sydligste møller placeres på havet, mens den nordligste placeres i et indspulingsbassin. Der er tale om relativt store forsøgsvindmøller, der påtænkes funderet på forskellig måde.

GEO har efter aftale udført 4 geotekniske boringer til kote -30. Undersøgelsen er suppleret med bl.a. CPT-forsøg, som Aalborg Universitet har udført.

I alle punkter er der truffet postglaciale aflejringer - overvejende af sand - der underlejres af faste og meget faste senglaciale og interglaciale aflejringer overvejende af silt og fedt ler.

Aflejringerne er bæredygtige direkte fra havbund, dog med risiko for sætninger lidt større end normalt ved den nordligste vindmølle 1 (organiskholdigt sand) og ved mølle 4 (bundnært skallag).

Rekvirentens ref.: —
GEO projekt nr. 21702 , Rapport 1, 2002-02-15 Frederikshavn. Havnen

Hobrovej 372
9200 Aalborg SV
Tlf.: 9818 9144
Fax: 9818 9604
E-mail: geo@geoteknisk.dk
Web: www.geoteknisk.dk
CVR-nr. 59781812

Udarbejdet for
Tech-wise A/S
Att.: Ole Bigum Nielsen
Kraftværksvej 53
7000 Fredericia

Udarbejdet af Jan Dannemand Andersen
tlf. 9879 9387, e-mail JDA@geoteknisk.dk

Kontrolleret af Jørgen Larsen

Indhold

1	Baggrund og formål	3
2	Undersøgelser	3
3	Resultater	4
4	Vurderinger	5
5	Anbefalinger	6

Bilag

- GEO-Standard: Signaturer og forkortelser
- 1 - 4 Boreprofiler, boring 1 - 4
- 5 Situationsplan

1 Baggrund og formål

Baggrund. Der skal rejses fire store forsøgsvindmøller ved Frederikshavn Havn. De tre sydligste møller kommer til at stå til havs, mens den nordligste placeres i et indspulingsbassin.

Vindmøllerne påtænkes funderet på forskellige måder:

- Tripod fundament
- Traditionelle pæle
- Bøttefundament
- Monopæl

Så vidt vi har fået oplyst, skal det være muligt at uddybe havbunden ved vindmøllerne til kote -6 á -8.

Aalborg Universitet (AAU) deltager i projektet og har allerede udført CPT-tryksonderinger og boring ved den nordligste vindmølle.

Formål. Formålet med den samlede undersøgelse er at fastlægge dimensioneringsparametre for vindmøllernes fundering.

2 Undersøgelser

Borearbejde. GEO har efter aftale udført geotekniske boringer til kote -30 for de fire vindmøller. Boringerne er udført fra opankret flåde (boring 1) og jack-up flåde (boring 2, 3 og 4) og placeret ud fra de oplyste koordinater for møllernes centrum (ED50, system 34 Jylland/Fyn):

Vindmølle/boring nr.	X-koordinat	Y-koordinat
1	199 179	335 600
2	198 983	335 394
3	198 786	335 187
4	198 590	334 981

Ved afsætningen af borestederne er der anvendt GPS-udstyr. Boringerne er koteret i DNN-koter med GPS-udstyret og ud fra vandspejlsoplysninger fra Frederikshavn Havn.

Under borearbejdet er der registreret laggrænser og udtaget jordprøver, dels som omrørte prøver dels som intakte prøver, heraf et antal Ø70 mm prøver, der er overleveret til AAU for nærmere laboratorieundersøgelse. Vi har desuden udført vinge-forsøg for bestemmelse af styrken i ler.

Fastheden af sandlag i boring 2, 3 og 4 er aftalt undersøgt af AAU ved CPT-tryksonderinger, idet vi har bistået ved den praktiske udførelse heraf.

Laboratoriearbejde. De optagne prøver er bedømt geologisk. På udvalgte prøver er vandindholdet og rumvægten bestemt.

Jordprøverne opbevares foreløbigt indtil 2002-03-01, hvorefter de overleveres til AAU eller bortskaffes, medmindre der forinden er aftalt andet.

Optegning. Samtlige observationer og resultater er optegnet på boreprofilerne, bilag 1 – 4. De benyttede signaturer og forkortelser er forklaret på vedlagte GEO-Standard.

3 Resultater

Der er målt havbund i kote -1,3 á -4,7, idet den højeste bund er ved de to nordligste møller (nr. 1 og 2) og den laveste bund ved den sydligste mølle (nr. 4).

I boring 1 er der truffet postglaciale marine aflejringer til kote ca. -15, dvs. relativt stor dybde. Ned til kote -11,4 er der truffet velsorteret → sorteret finsand, hvorunder der er usorterede aflejringer af sand og silt med varierende lille organisk indhold. Under kote ca. -15 er der truffet sand uden organisk indhold, som antagelig er en sen-glacial marin aflejring. Under kote -18,8 (til bund af boring) er der truffet fast og meget fast silt, som er vurderet at være en sen-glacial marin aflejring, men som ud fra fastheden at dømme muligvis er ældre.

I en boring foranlediget af AAU ved mølle 1 (boring 103 udført af Andreasen & Hvidberg K/S) er der set et grusholdigt gytjelag i 10 – 11 meters dybde (< 2% organisk indhold bestemt som glødetab, ifølge telefonisk oplysning fra AAU) samt siltholdigt ler i 12 – 14 meters dybde (bund af boring). Disse forhold er ikke set i boring 1.

I boring 2 er der truffet postglaciale aflejringer til kote -4,2, øverst som velsorteret finsand, nederst som ringe sorteret grus. Herunder er der truffet sen-glacial marin silt til kote -7,2. Silten er overvejende stærkt sandet. Under kote -7,2 (og til bund

af boring) er der truffet meget faste interglaciale aflejringer overvejende af fedt ler med sandpletter og sandstriber, dog med et egentligt sandlag mellem kote -9,0 og -9,8.

I boring 3 er der postglaciale marine aflejringer til kote -6,8 og muligvis lidt dybere. Lagene består øverst af sorteret → velsorteret fint og mellemkornet sand, der går over i grus. Under kote -6,8 er der relativt fast silt med svagt organiskholdige partier, der kan være en postglacial aflejring. Under kote ca. -9 (og til bund af boring) er der truffet meget faste interglaciale aflejringer af overvejende fedt og ret fedt ler med stedvise sandstriber.

I boring 4 er der truffet postglaciale marine aflejringer ned til kote -6,5. Laget består af sand og skaller. Under kote -6,5 (og til bund af boring) er der truffet meget faste interglaciale aflejringer overvejende af fedt ler med sandstriber og sandpletter og stærkt leret silt.

4 Vurderinger

Generelt. Som relevant dimensioneringsgrundlag kan nævnes Dansk Standards Norm for fundering, DS415, Norm for pælefunderede offshore stålkonstruktioner, DS449, og Det norske Veritas' Classifications Notes No. 30.4, Foundations, february 1992.

Funderingsunderlag. De trufne sen-glaciale og interglaciale aflejringer er generelt meget faste og vurderes at udgøre et bæredygtigt og i praksis sætningsfrit funderingsunderlag for vindmøllerne.

De overlejrrede postglaciale aflejringer vurderes ligeledes at være bæredygtige (måske med undtagelse af skallaget omkring kote -6 i boring 4) og stort set sætningsfrie. Der må dog påregnes at kunne ske sætninger lidt større end normalt i de dybtliggende organiskholdige sandlag, der er truffet i boring 1, jf. også den tidligere udførte boring ved møllen.

Parametre. Resultatet af AAU's CPT-tryksonderinger og øvrige laboratorieforsøg foreligger endnu ikke. Vi har derfor i det følgende angivet foreløbige, skønnede parametre for de enkelte jordtyper. Tryksonderingerne vil formentligt mere detaljeret vise variationer i jordbunden, ligesom de målte styrker kan afvige en del fra det af os skønnede. Specielt for sandaflejringerne kan resultatet af CPT-tryksonderingerne medføre en betydelig korrigerings.

Vi foreslår foreløbigt de enkelte jordtyper tillagt følgende karakteristiske parametre (nomenklatur svarende til DS415).

Aflejring	Rumvægt γ / γ' (kN/m ³)	Friktionsvinkel ϕ_k (°)	Udrænet forskydningsstyrke c_{uk} (kN/m ²)
Postglacialt			
- sand	17 / 7	34	-
- silt	17 / 7	30	-
Senglacialt			
- sand	18 / 8	36	-
- silt med sanddominans	20 / 10	32	-
- silt lerdominans	20 / 10	-	300 á 500 (~400 i snit)
Interglacialt			
- sand	20 / 10	38	-
- ler (og silt)	20 / 10	-	500 á >700 (>600 i snit)

Parametrene skal vurderes nærmere i relation til de valgte funderings- og beregningsmetoder.

Det skal nævnes, at der ved pælefundering efter DS415 maksimalt må anvendes en udrænet forskydningsstyrke på 500 kN/m² ved en regenerationsfaktor $r = 0,4$.

Ved en eventuel direkte fundering (f.eks. ved et tripod-fundament) kan bæreevnen i normal funderingsklasse være begrænset af DS415's krav til maksimale fundamentstryk, hvorfor funderingsprojektet formentligt med fordel kan søges placeret i skærpet funderingsklasse.

Hvor siltaflejringer har nogen udstrækning i jordprofilet, foreslår vi, at der gennemføres beregninger for både friktionstilfældet og kohæsjonstilfældet, idet de herved fundne største dimensioner skal vælges.

Hvad angår laggrænser henvises til boreprofilerne og afsnit 3.

5 anbefalinger

Udførelse. De trufne interglaciale aflejringer er meget faste. Der kan således være problemer med nedramning af pæle til den ønskede dybde, ligesom nedbringning af et bøttefundament i disse aflejringer ventes umulig i praksis.

Valget af funderingsløsning for hver vindmølle vurderes at være påvirket af, om terrænforholdene ændres eller skal kunne ændres.

Vi anbefaler umiddelbart, at der overvejes bøttefundering ved vindmølle 1 og/eller 2.

På grund af det højtliggende interglaciale ler ved mølle 3 og 4 vil alle øvrige funderingsløsninger kunne anvendes her, jf. dog problemer med nedbringning af pæle.

Vi deltager gerne ved nærmere vurderinger og detailprojektering af de forskellige funderingsløsninger.

GEO-Standard: Signaturer og forkortelser

Geotekniske og miljøtekniske boringer

Situationsplan		Prøver		Jordarter					
	Boring		Drejesonde-ring		Lille pose eller glas		Fyld		Sten
	Boring med Prøvetagning		Ramme-sondering		Stor pose		Muld		Grus
	Vingeforsøg		Tryksonde-ring (CPT)		Rørprøve		Tørv		Sand
	Boring m. prøvetagning/vingeforsøg		Belastningsforsøg		Udtag fra SPT sonde		Tørvedynd		Silt
	Gravning m. prøvetagning/vingeforsøg		Geoelektrisk punktprofil		Kerneprøve		Gytje (dynd)		Ler
	Filterboring		Liniemodstandsmåling				Organiskholdig		Kalk
							Skaller		Klippe/Beton
							Moræneler (sandet, gruset)		Morænesand (leret, gruset)

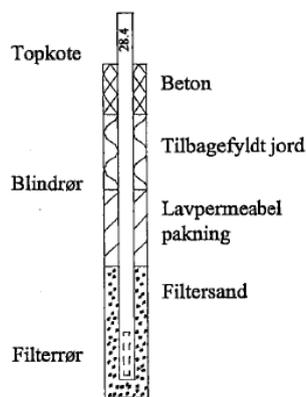
Note: I morænejordarter må der forventes varierende indhold af sten og blokke

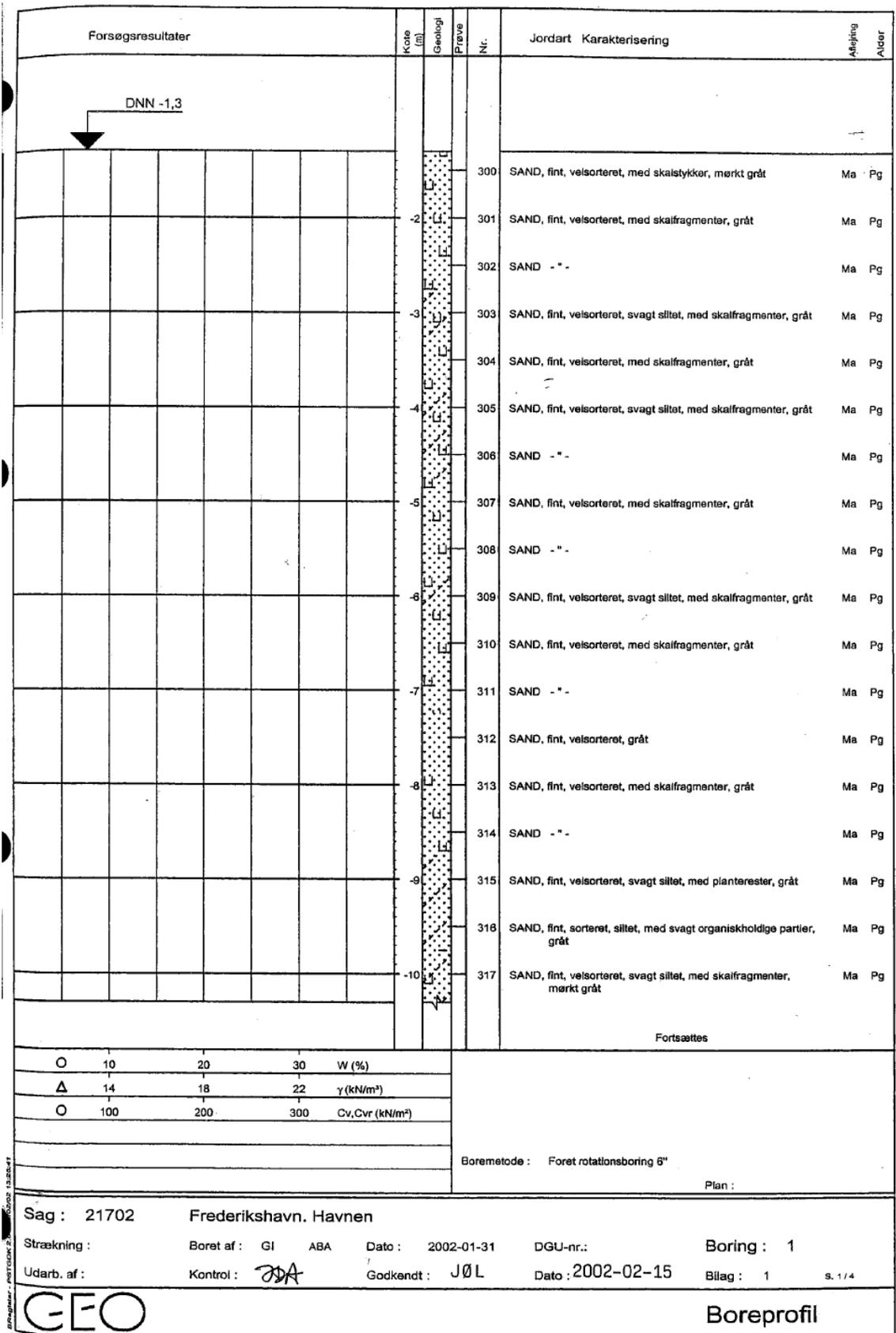
Forsøg

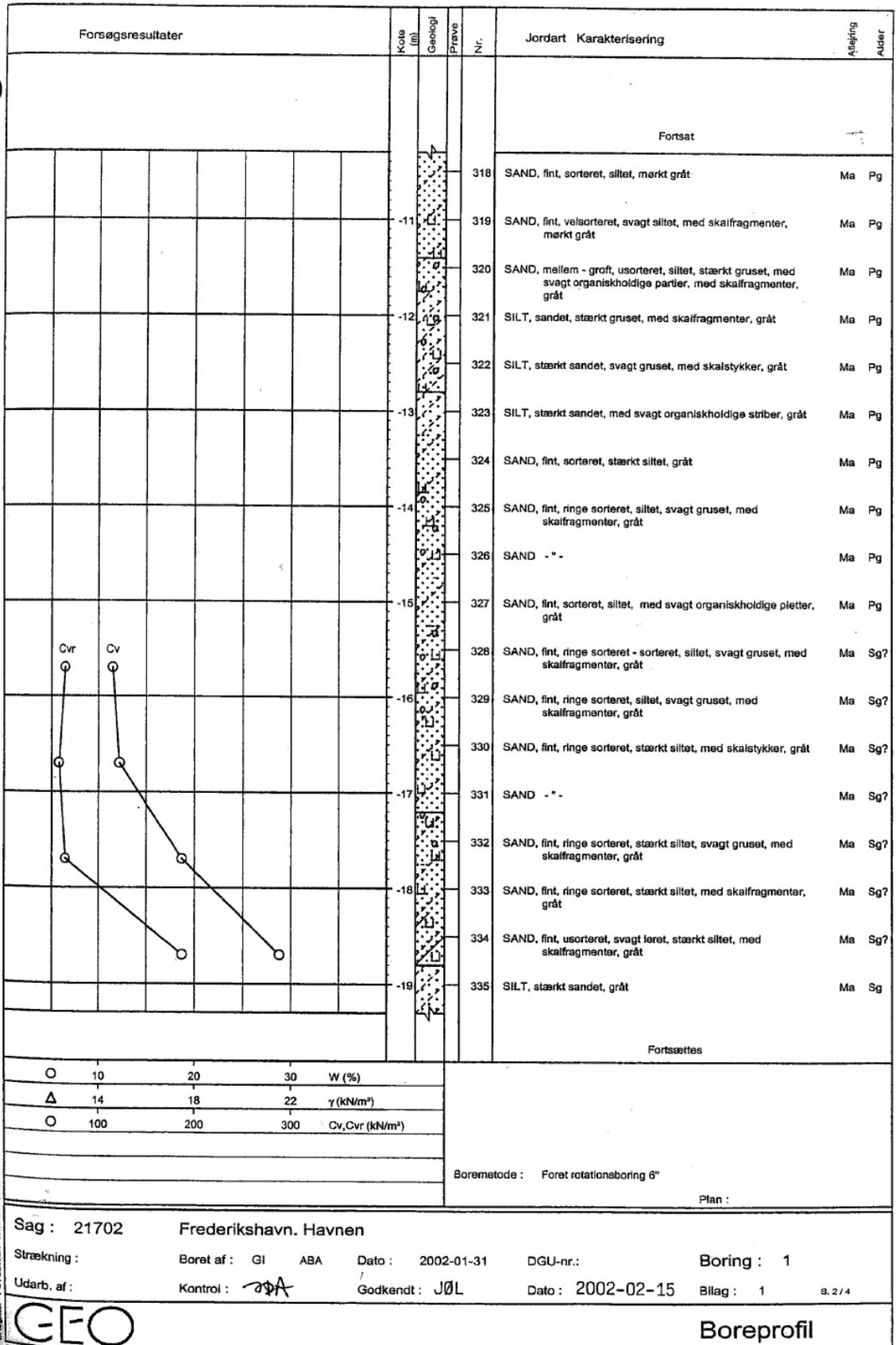
w	Vandindhold	c _v	Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg
w _L	Flydegrænse	c _{vr}	Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i omrørt jord
w _p	Plasticitetsgrænse	N	Standard penetrationsmodstand (SPT)
I _p	Plasticitetsindeks	R	Drejesonderingsmodstand (WST)
e	Poretal	S	Sigte- og slemmeanalyse #
e _{max}	Poretal i løseste standardlejring	K	Konsolideringsforsøg #
e _{min}	Poretal i fasteste standardlejring	T	Tryk- eller triaxialforsøg #
I _D	Tæthedsindeks (relativ lejringsstæthed)	SP	Standard Proctor forsøg #
γ	Rumvægt	MP	Modifieret Proctor forsøg #
d _s	Kornvægtfylde	A	Kemisk specialanalyse #
gl	Glødetab		#: Se resultat i rapport eller på separat bilag
ka	Kalkindhold		
PID	Photoionisations-detektormåling		

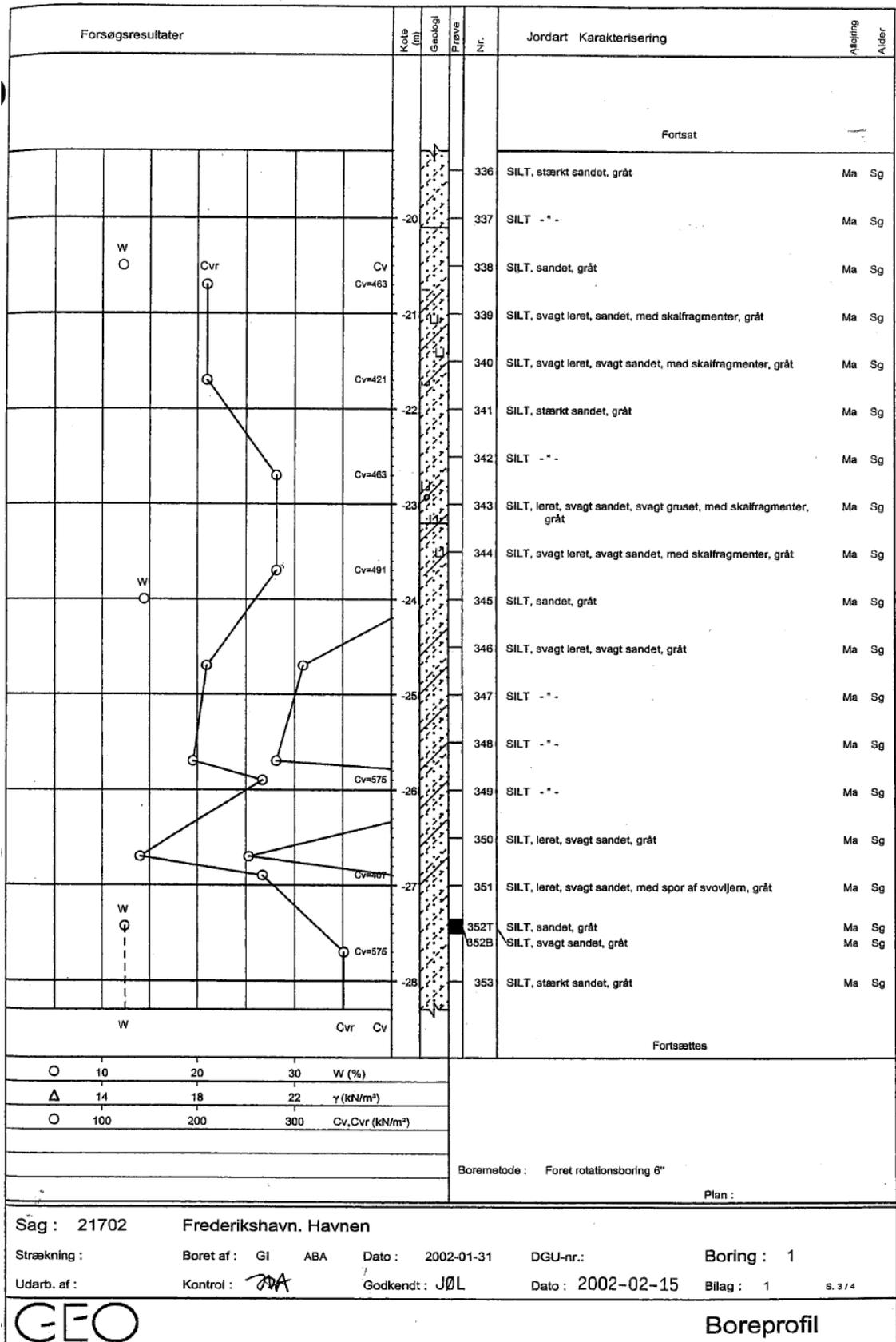
Vingeforsøg er udført og tolket i henhold til Dansk Geoteknisk Forenings referenceblad for vingeforsøg, revision 3, august 1999. Omsætningstabellerne er ved tolkningen tilnærmet med en ret linie gennem 0-punktet og punktet, der svarer til $\frac{2}{3} P_{max}$.

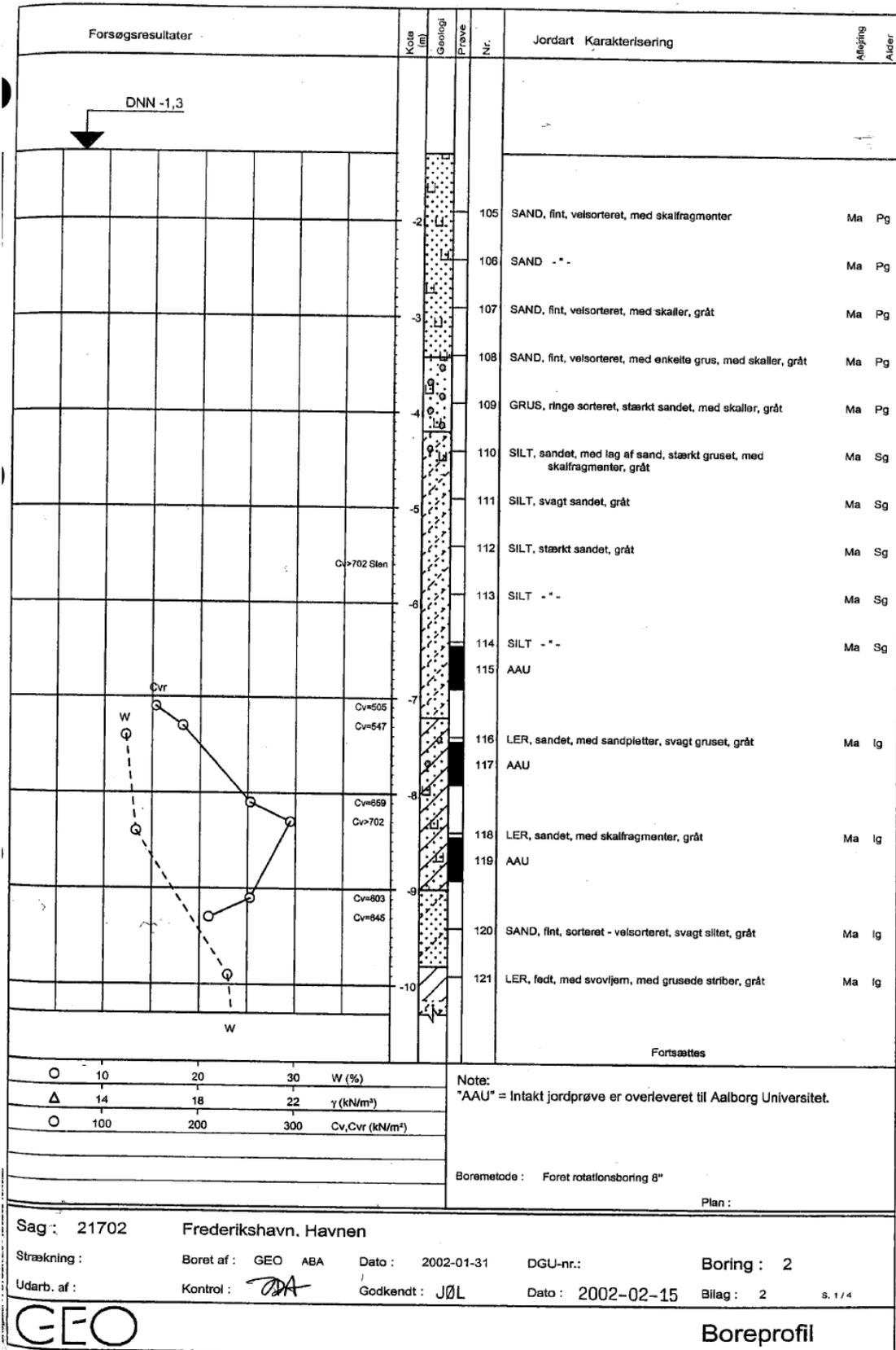
Filtersætning

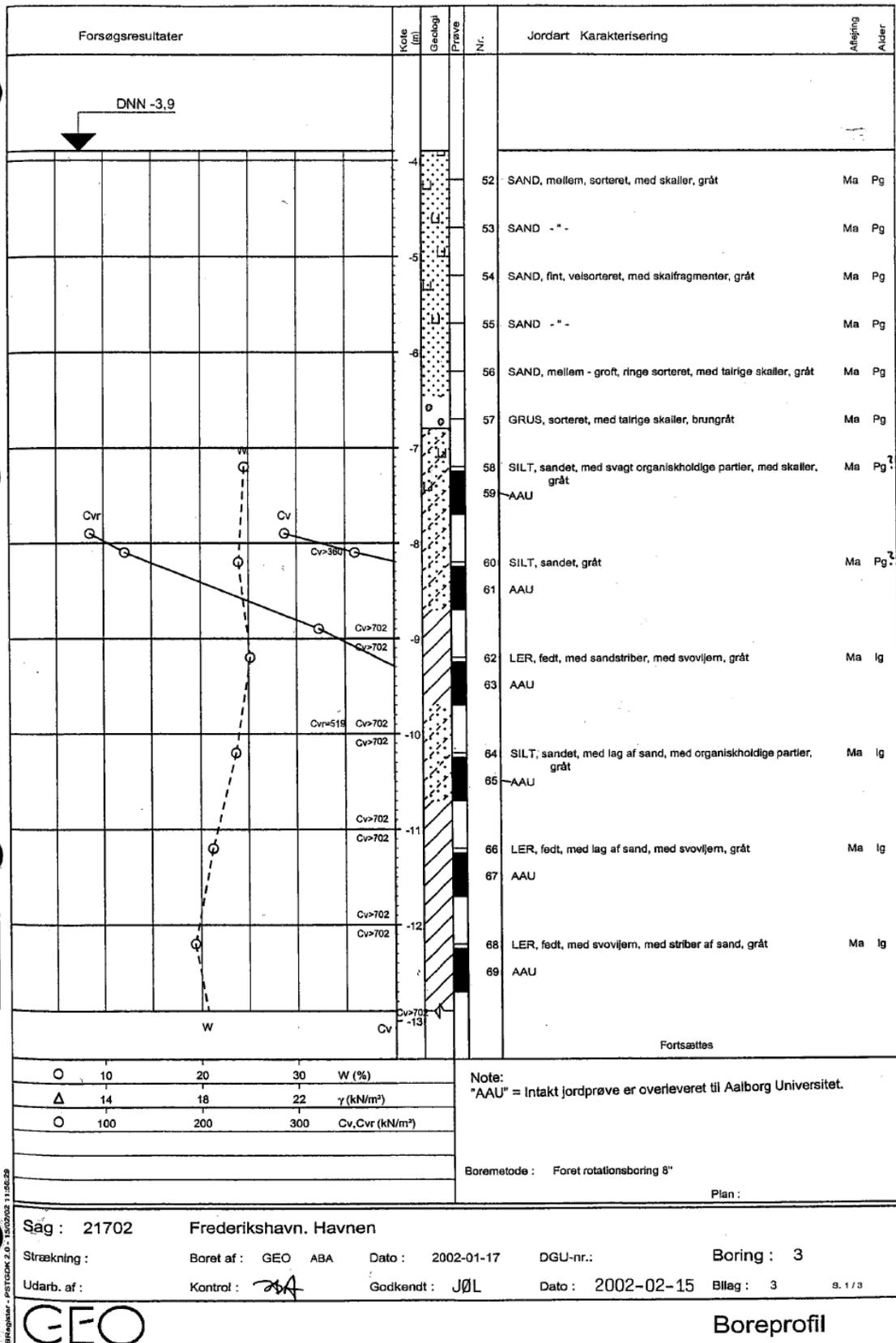


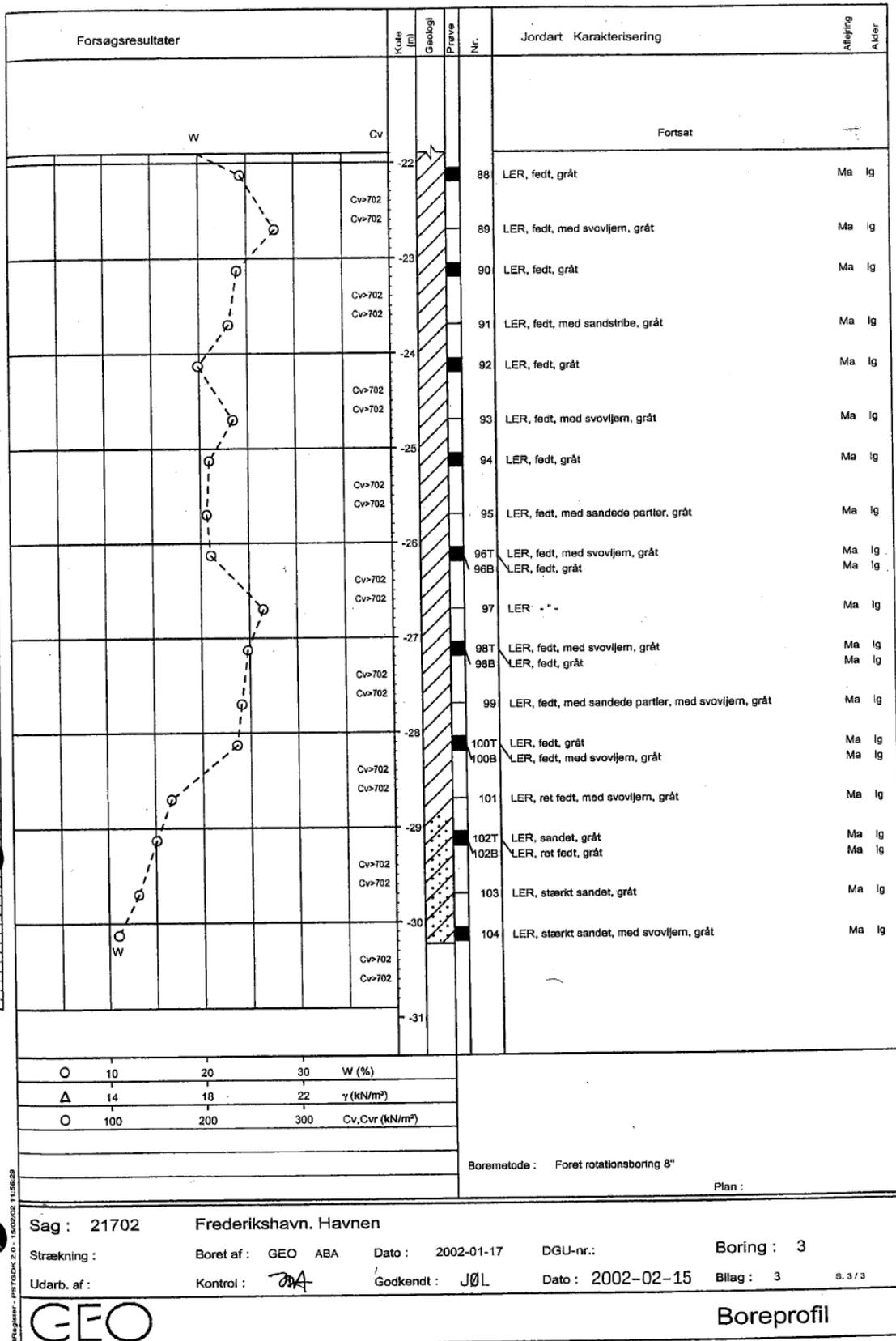


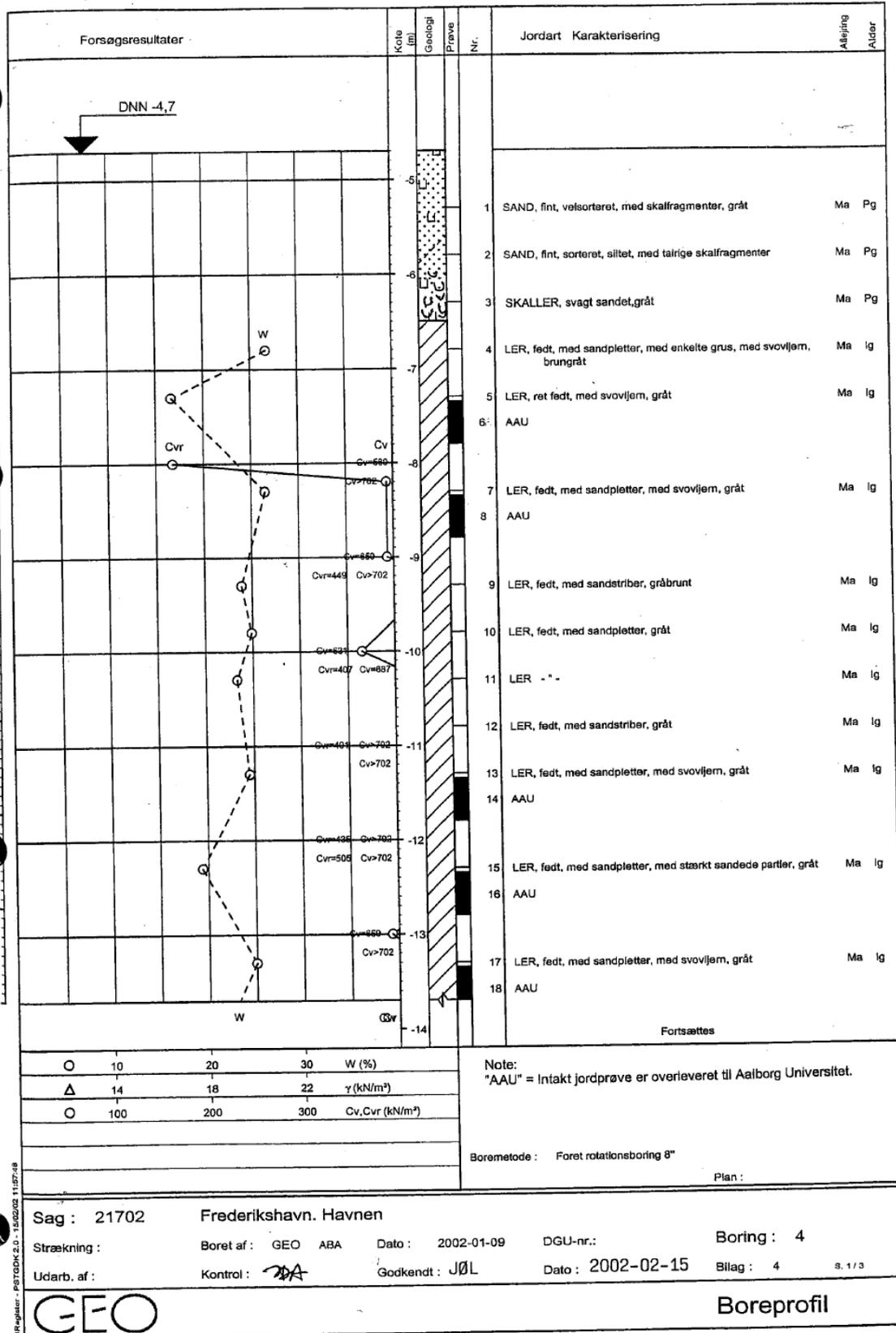












Sag : 21702

Frederikshavn. Havnen

Strækning :

Boret af : GEO ABA Dato : 2002-01-09

DGU-nr.:

Boring : 4

Udarb. af :

Kontrol : *DA*

Godkendt : JØL

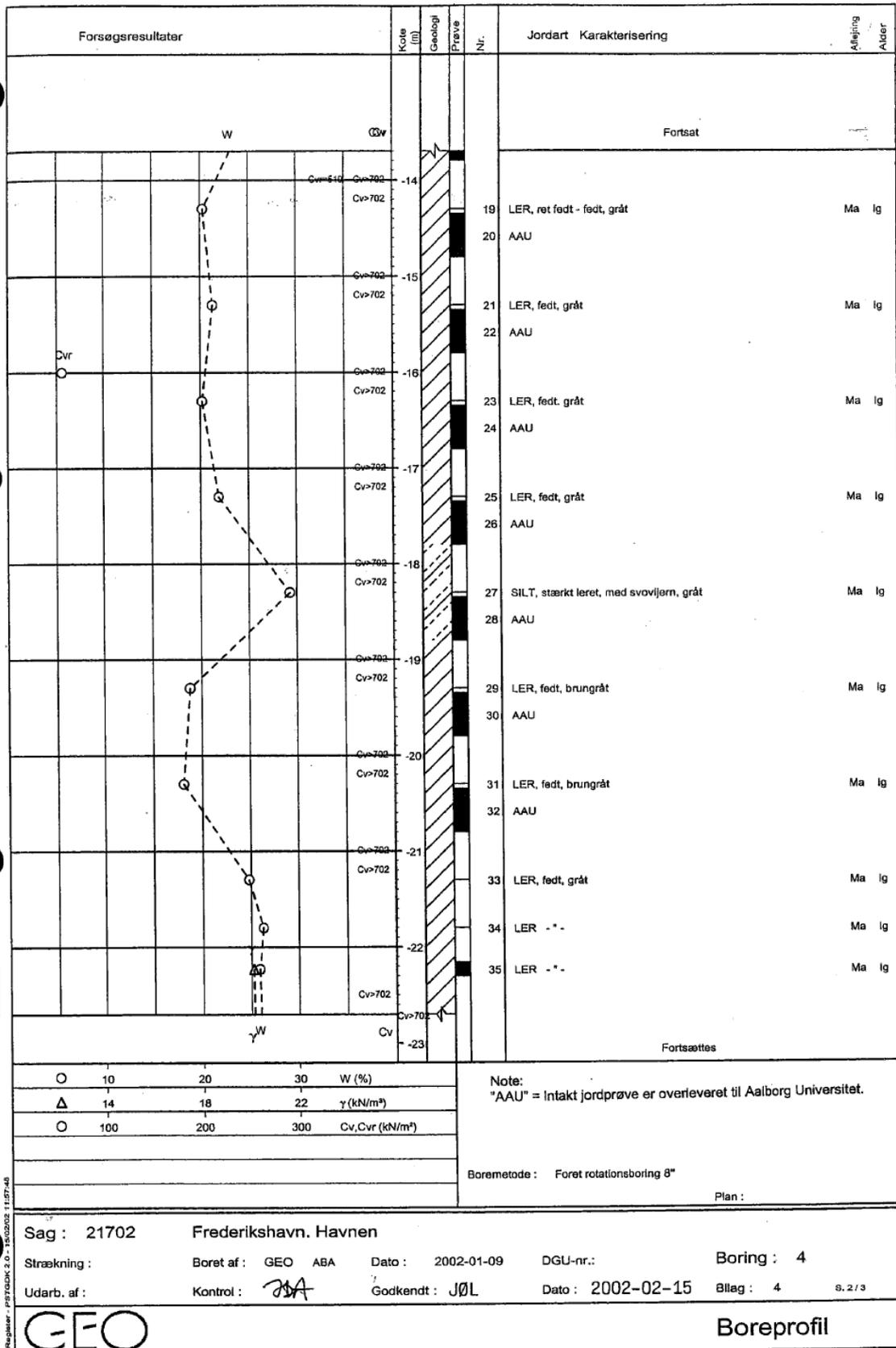
Dato : 2002-02-15

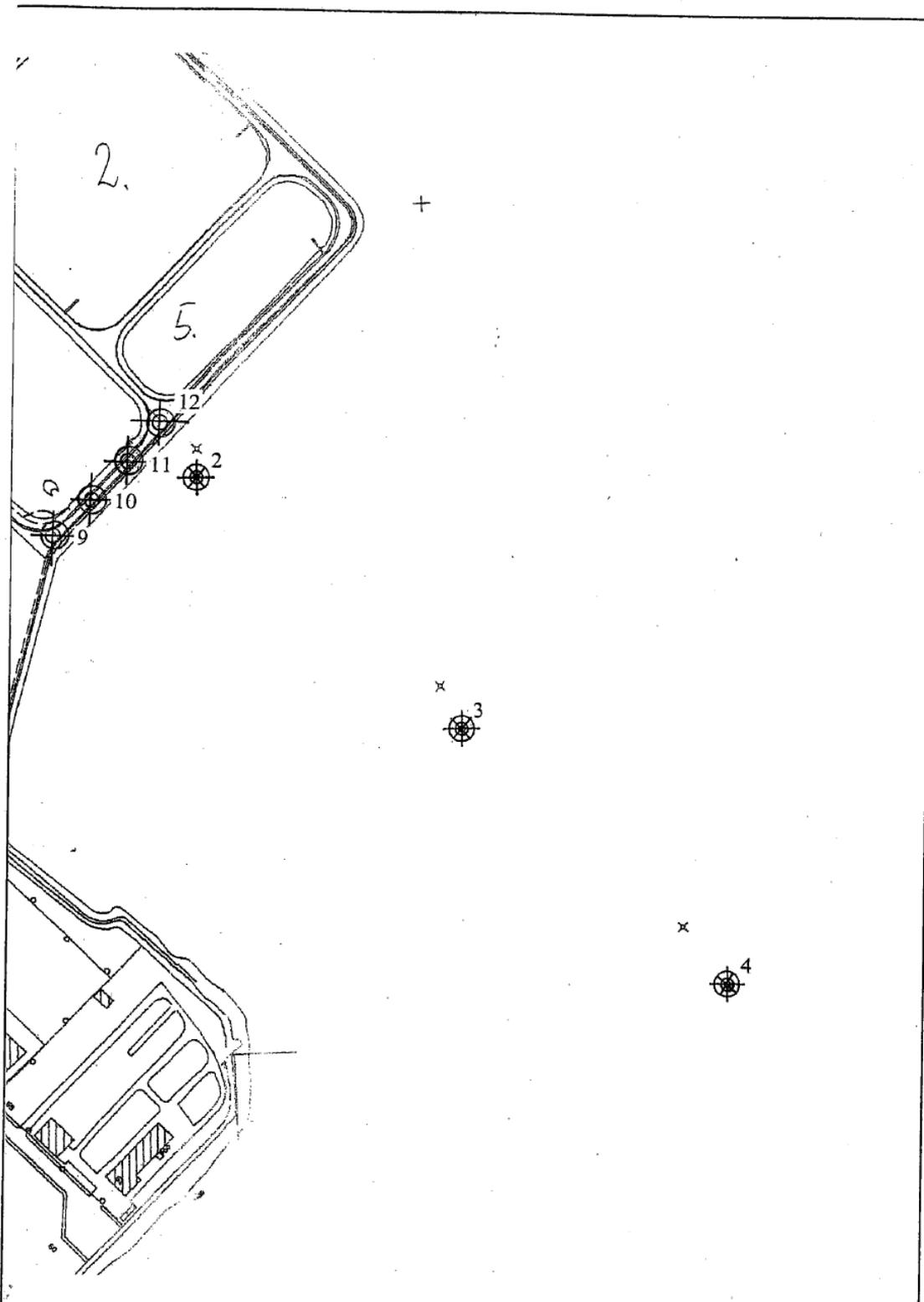
Bilag : 4

S. 1/3



Boreprofil





CEO		Projekt: 21702 Frederikshavn. Havnen	
Udført	: ANC	Dato: 2002-03-08	Emne: Situationsplan 1:4000
Kontrolleret	: <i>PA</i>	Dato: <i>2002-03-08</i>	Side 1 / 1
Godkendt	: <i>JØL</i>	Dato: <i>20020313</i>	Rapport 2 Bilag 14 Rev.

11. Bilag 5

57° 13 10° 35' N 10° 40' 24.7" E

GEOTEKNISK INSTITUT

Fyrdirektoratet,
Overgaden oven Vandet 62B,
Kbh.K.

Att.:Hr.skibsinpektør O.J.Olesen.

ØSTER VOLDGADE 10, KØBENHAVN K.
Tlf. Minerva (01-54) *9030 15 20 16
Tlg.adrs. Dansoilmech.

ROSENVANGS ALLÉ 17, ÅRHUS
Tlf. (061) 4 51 11

Postkonto 31064 (fælles)

København, d. 11-12-1964.
KH/AW.

Vort ref.no.: 64183

Læsø Rende. Fyrbåke. (30 350 25-001524)
Geoteknisk rapport med bilag no. 1-20.

FYRDIREKTORATET

Jr. 2404/1964
nr. _____

Hermed fremsendes resultaterne af de udførte geotekniske undersøgelser i forbindelse med ovennævnte sag.

1. Markarbejde.

Der er i punkterne 1-5 (se situationsplanen, bilag 1) udført drejeseundersøgelser med belastet spidsbor til 17,6 à 23,4 m under havbund. Resultaterne herfra fremgår af bilag 3. Endvidere er der i punkt 1 b udført en undersøgelsesboring til 21,6 m under havbund. Boringen i første forsøg (1 a) måtte afbrydes 7 m under havbund, idet det viste sig nødvendigt at anvende mere kompliceret grej end antaget på forhånd (bl.a. måtte borehullet slamstabiliseres).

Under borearbejdet er der optaget intakte og omrørte prøver, laggrænser er noteret, og der er udført vingeforsøg til bestemmelse af jordens udrænedede forskydningsstyrke in situ (da forholdene ikke tillod måling af den omrørte styrke, er kun den intakte bestemt). Samtlige geologiske data fremgår af boreprofilerne, bilag 4-7, mens signaturforklaring m.v. fremgår af bilag 2. Undersøgelsespunkternes indbyrdes placering fremgår af bilag 1. Stedbestemmelse iøvrigt er foretaget og kendt af Dem.

2. Geologiske forhold.

På grundlag af det foreliggende prøvemateriale har vor geologiske medarbejder afgivet følgende udtalelse vedrørende de geologiske forhold på stedet:

Efter prøvematerialet at dømme er der ved de udførte boringer (mrk. 1 a og 1 b) udelukkende truffet ganske unge (postglaciale) marine aflejt-

ringer.

I boring 1 a har man således kun mødt relativt fint strandsand, der er let dyndpræget, men som ved kote ca. -13 indeholder en tynd dyndstrib.

I boring 1 b indledes ligeledes med fint strandsand, også her afbrudt af enkelte, tynde dyndstriber; men omkring kote ca. -13,5 tiltager sandets dyndindhold, samtidig med at sandet bliver siltholdigt, for omkring kote ca. -17 at afløses af dyndet, skalholdig silt.

Finhedsgraden af sedimenterne er imidlertid gradvis tiltagende, idet man omkring kote ca. -23 må betegne silten som leret, og ved kote ca. -24 afløses silten af en leraflejrings, der foroven er siltholdig, men som nedefter i hvert fald i enkelte lag må betegnes som ret fedt ler.

Hvad angår den marine series dyndindhold, da er der - bortset fra de nævnte fine dyndstriber - kun truffet aflejringer med et beskedent dyndindhold; men regelløst forekommende, aneligere dyndlag må dog altid forventes i disse unge, marine aflejringer.

Gennem begge profiler møder man skaller i vekslende mængder.

3. Laboratorieforsøg.

Med omtrent samtlige intakte prøver, samt med en stor del af de omrørte prøver er der foretaget bestemmelse af det naturlige vandindhold, w . Endvidere er der med prøverne lab. no. 15, 17-20 og 22 foretaget bestemmelse af rumvægten, γ , det naturlige poretal, e , samt poretallet ved løseste og fasteste lejring (e_{\max} og e_{\min}) til bestemmelse af den relative lejringstæthed, D_r .

Resultaterne af samtlige ovennævnte forsøg fremgår af boreprofilerne, bilag 4-7, definitioner m.v. af bilag 2.

Til vurdering af det postglaciale sands styrkeegenskaber er der med to prøver - lab. no. 15 og 18 - udført dels sigtninger, dels drænedet triaksiale trykforsøg (CD) samt med lab. no. 23 et flertrintriaksialforsøg udført som tre konsoliderede udrænedet delforsøg med forskellige, alsidige tryk som udgangsværdi (MCU). Forsøgsresultaterne fremgår af bilag 8 henholdsvis bilag 9-1.

Endelig er der udført 2 konsolideringsforsøg - med lab. no. 30 og 44 - til bestemmelse af det postglaciale lers deformationsegenskaber. Resultaterne fra konsolideringsforsøgene fremgår af bilag 16 og 17.

