

Georadarundersøgelser ved Bangsbostrand april 2003

Forsøg på kortlægning af ældre yoldialer i området
omkring gasudslip ved "Langvadsten" fundene

Troels Laier og Jørn Bo Jensen



Georadarundersøgelser ved Bangsbostrand april 2003

Forsøg på kortlægning af ældre yoldialer i området
omkring gasudslip ved "Langvadsten" fundene

Troels Laier og Jørn Bo Jensen

Resumé

Georadarundersøgelser er gennemført nær gasudslip syd for Bangsbostrand ca. 5 km syd for Frederikshavn. Formålet med undersøgelsen var at bestemme dybden til det ældre yoldialer, der anses for at være kilden til gassen. Gassen, som består af næsten ren methan, er mere end 40 000 år gammel ifølge tidligere kulstof-14 dateringer. Radargrammerne blev sammenlignet med prøvebeskrivelser fra en vandforsyningsboring og 5 geotekniske boringer, der var udført ca. 100 m fra de nærmeste georadarlinier, herved kunne overgangen til det ældre yoldialer bestemmes.

Ifølge georadarundersøgelserne, sammenlagt ca. 2800 m profil, i et 13 ha store område mellem hovedvejen og kysten hvor gasudslippet befinder sig, ligger det ældre yoldialer ca. 2-4 m under terræn. Leret ligger tættest på overfladen i den nordlige del af området. Det var ikke muligt at bestemme dybde til yoldialeret tæt på gasudslippene, der ligger i den sydligste del, på grund af saltpåvirkning. Saltvand absorberer det elektromagnetiske signal, hvilket medfører at reflektionerne dæmpes eller helt forsvinder.

Akustiske profiler ca. 2 km fra kysten fra, der stammer fra tidligere råstofundersøgelser i Læsø Rende blev inddraget i undersøgelsen, fordi georadarundersøgelserne ikke kunne give svar på hvorfor gasudslippet befandt sig hvor det gjorde. Pinger profilet viser relativ hyppig forekomst af gasplumes i det postglaciale sand, men gassen når i reglen ikke helt op til havbunden. Forekomsten af gasudslip på lokaliteten syd for Bangsbostrand, må derfor skyldes enten et særlig kraftigt udslip fra det ældre yoldialer, eller ringe mægtighed af de postglaciale lag over dette.

Da georadarundersøgelserne ikke kunne give oplysninger og dybden til det ældre yoldialer, må oplysninger herom skaffes ved prøvetagning af lagene.

Indhold

Resumé	0
Indledning	2
Geologi	5
Feltarbejde	9
Processering	14
Tolkning	14
Konklusion	18
Tak	18
Referencer	19
APPENDIKS 1. Beskrivelse af "Langvadstenen" N. Juul (1839)	20
APPENDIKS 2. Geotekniske boringer DGU nr. 11.1085.	21
APPENDIKS 3 Radargrammer	22
APPENDIKS 4. Pinger profil 2 km fra kysten mellem Sæby og gasudslip	25

Indledning

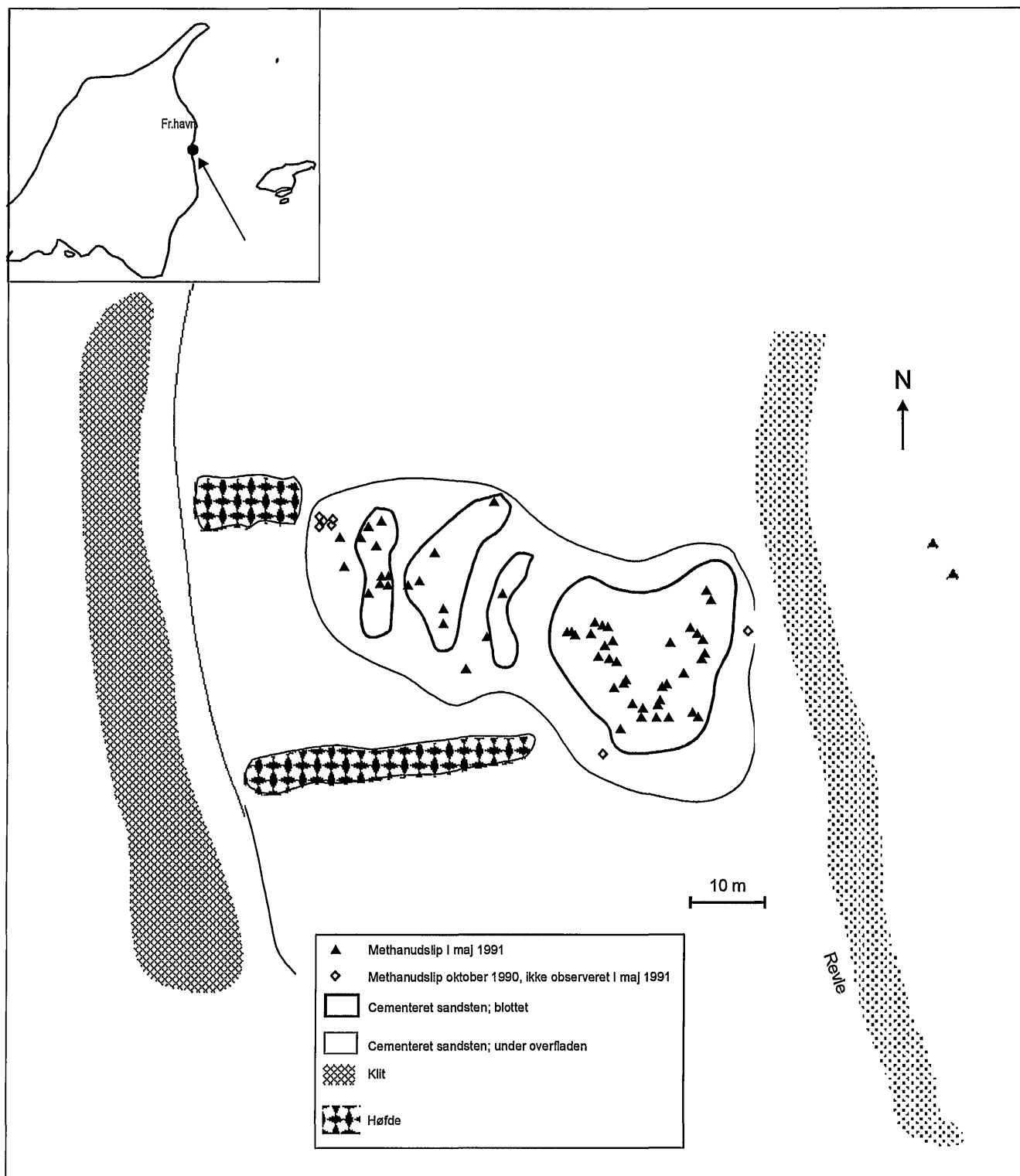
Undersøgelserne blev gennemført 3. og 5. april som led i EU METROL projektet, der skal kortlægge udslippet af drivhusgassen methan fra havområder. Georadarudstyret blev medbragt på Gunnar Thorson togtet 31. marts – 11. april og anvendt mens skibet lå i havn pga. dårligt vejr.

Gasudslippene (næsten ren methan) findes lige syd for Bangsbo ca. 5 km syd for Frederikshavn. Gasboblerne ses tydeligt ved lavvande og i roligt vejr. Dando *et al.* (1994a) har kortlagt gasområdet og målt gasmængden fra en række udslip, figur 1. Det samlede udslip ved Bangsbo strand er opgjort til over 100 liter per time. Det var imidlertid ikke muligt at iagttage gasudslip i forbindelse med nærværende undersøgelse pga. højvande og bølger. Kulstof-14 datering har vist, at gassen er mere end 40.000 år gammel (Dando *et al.*, 1994a) og dermed, at den sandsynligvis har samme oprindelse som gassen, der udnyttedes i Frederikshavnområdet i 30'erne og 40'erne (Laier *et al.*, 1992)

De lag som gassen trænger op gennem er ikke undersøgt på selve lokaliteten, men antages at være det kompakte (opsprækkede?) ældre yoldialer. Sandlaget over leret formodes at være af ringe mægtighed, da gassen næppe ellers ville trænge helt op til havbunden, fordi den relativ hurtigt opløses porevandet og nedbrydes bakterielt i "løse" aflejringer.

Den sandede havbund omkring gasudslippene er nogle steder sammenkittet af karbonatcement, der er dannet som følge af mikrobiel oxidation af en del af methangassen, figur 1. Sammenhængen mellem karbonatcement og methan er blevet påvist ved kulstof-13 isotopanalyser, der viser et meget lavere C-13 indhold ($\delta^{13}\text{C}$: $\pm 45\text{‰}$ til $\pm 55\text{‰}$) i cementen end i normale marine karbonater ($\delta^{13}\text{C} \sim 0\text{‰}$) (Jørgensen, 1989).

Karbonatcementerede sedimenter, af lokale fiskere kaldet koraller, er afmærket på ca. 40 lokaliteter i det nordlige Kattegat. Gasudslip er påvist af dykkere ved en del af disse lokaliteter, og det er derfor rimeligt at antage, at der sker eller er sket gasudslip ved alle denne type lokaliteter. Dando *et al.* (1994a) har ud fra denne antagelse beregnet det gennemsnitlige gasudslip i Kattegat til 1,9 kg methan-kulstof per kvadratkilometer per år. De formoder at hver lokalitet, som de skønner, at der er ca. 100 af i hele Kattegat, frigiver samme mængde methan som Bangsbostrand lokaliteten. Dando *et al.* (1994a) gjorde sig imidlertid ingen overvejelser angående de geologiske forudsætninger for forekomsten af gasudslip. Udover måling af udstrømningshastighed ved de enkelte gasudslip til 3 forskellige tidspunkter, blev der kun foretaget porevandsanalyser 0-40 cm under havbunden med henblik på at bestemme koncentrationer og omsætningsrater i sedimentet (Dando *et al.*, 1994b). Ved en opgørelse af det samlede gasudslip af methan i Kattegat vil det imidlertid være ønskeligt at kende de geologiske forudsætninger for at gasudslip finder sted, og dermed kunne bedømme om fiskernes markeringer af koraller giver et nogenlunde repræsentativt billede af denne type geologi under havbunden af Kattegat.



Figur 1. Skitse over gasudslip ved Bangsbo strand, rentegnet efter Dando et al. (1994a).

Af historiske grunde bør det nævnes at de karbonatcementerede sedimenter først blev omtalt af N. Juel (1839) i forbindelse med general naturbeskrivelse af lokaliteten ved Bangsbostrand, se

appendiks 1. N. Juel kaldte forekomsten for Langvadstenen efter den nærliggende gård. Nordmann (1903) anvendte samme betegnelse om cementerede sedimenter på Læsø.

Gasudsivning langs kysten mellem Frederikshavn og Bangsbo er så vidt vides kun observeret ved Bangsbostrand lokaliteten, figur 1, selvom der er beskrevet fund af karbonatcementerende sedimenter på kysten nord for markeringen, bla. i forbindelse med udvidelse af havnen i Frederikshavn (Jørgensen, 1976). Formålet med nærværende undersøgelse har været at klarlægge årsagerne til at gasudslip foregår netop ved Bangsbostrand lokaliteten. Er det forhold i det ældre yoldialer, der betinger forskellen, eller er det mægtigheden (og typen) af lagene over leret? Endelig kan forskellige mikrobiologiske processer i de øverste lag af havbunden muligvis betyde, at gassen nogle steder ikke når op til overfladen før den er fuldstændig omsat. Et første skridt i denne undersøgelse har derfor været bestemmelse af mægtigheden af de sandede lag over det ældre yoldialer, og til den type undersøgelse ansås georadarmålinger for at være en passende metode (Skov- og Naturstyrelsen, 1987).



Figur 2. Georadar-måleudstyret betjent af 2 personer kan typisk udmåle 7 km linier per dag

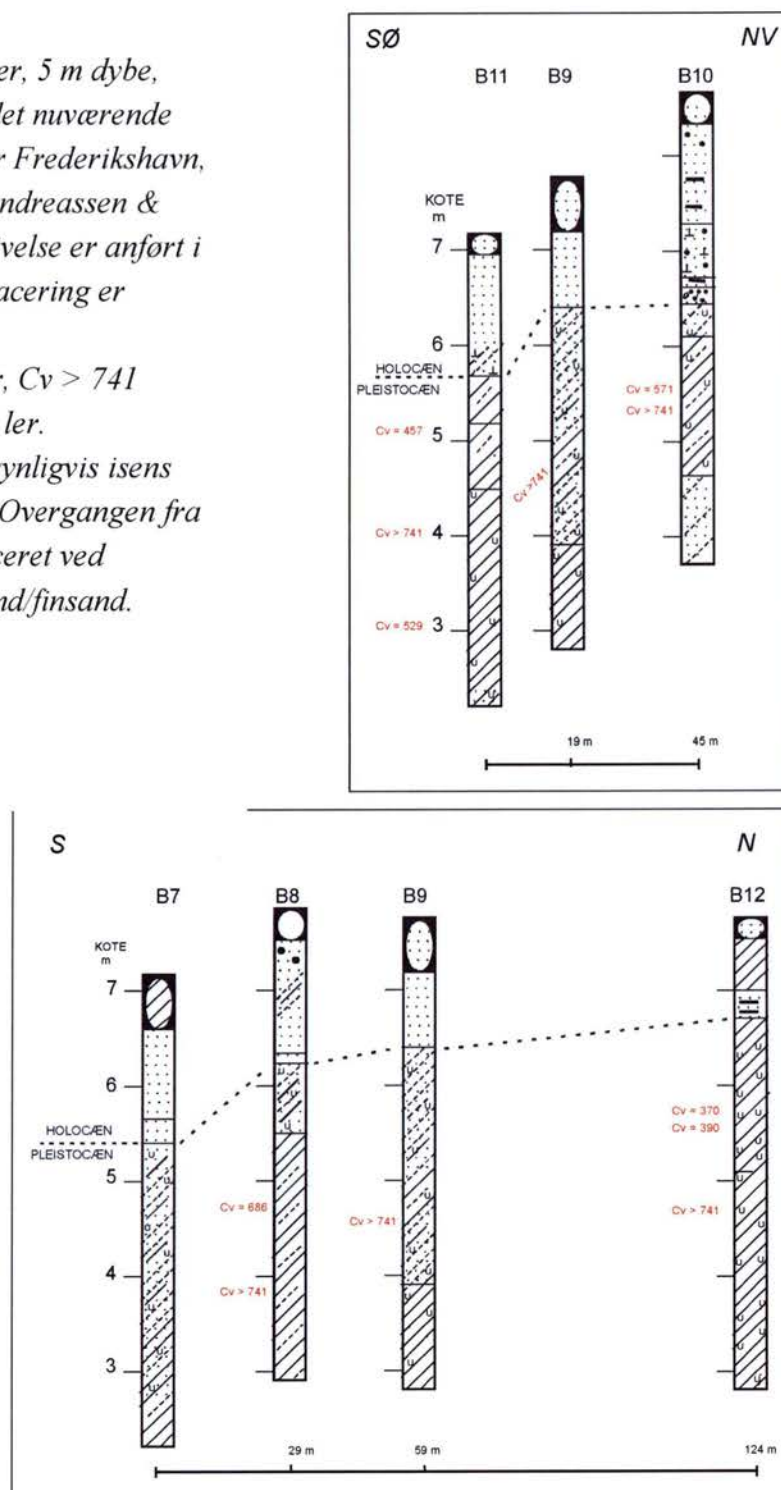
Geologi

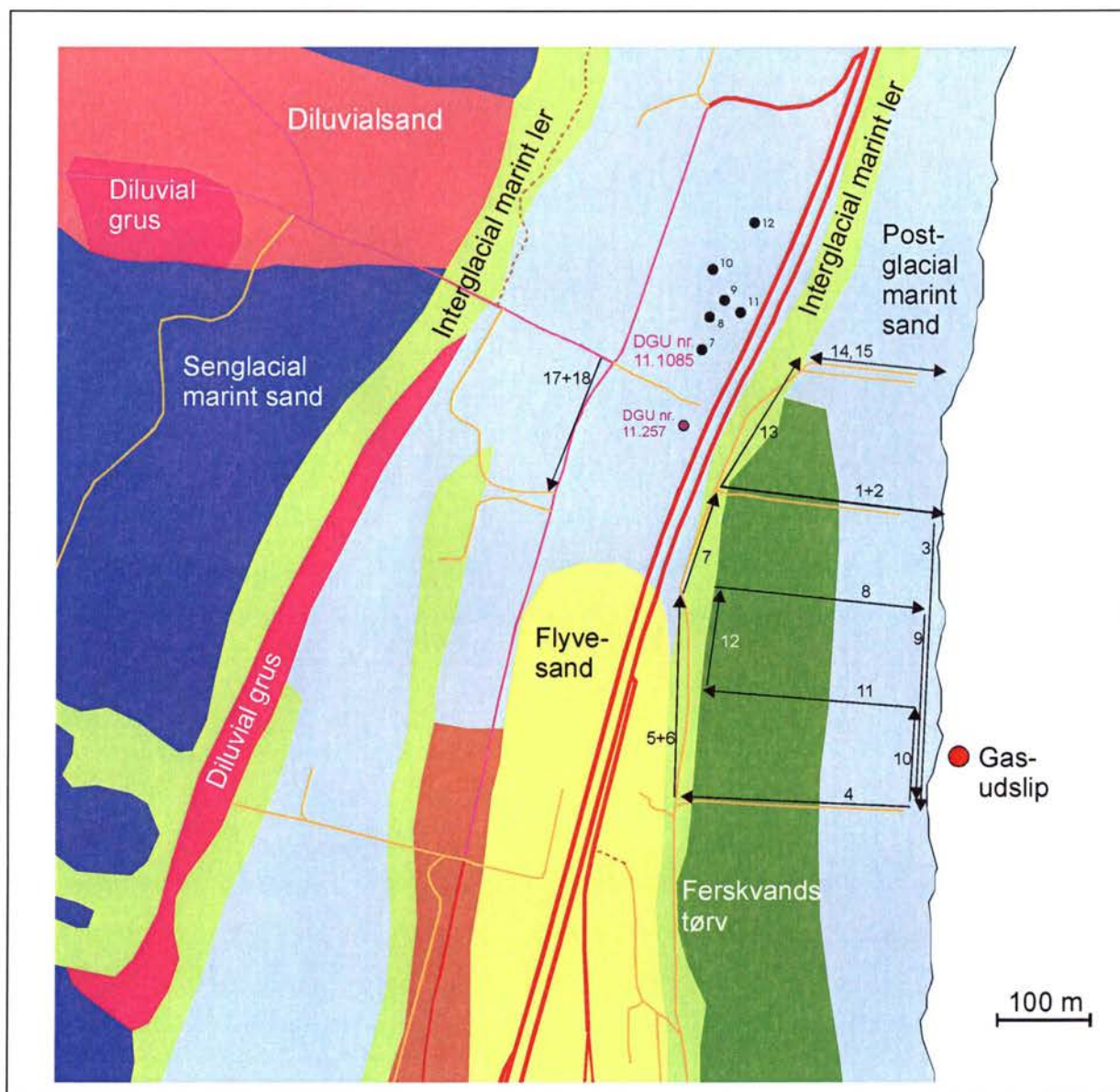
Geotekniske borer (DGU nr. 11.1085, ca 450 m NNV for gasudslippene) udført i forbindelse med bygning af et transportcenter (kote 7-8 m) stødte på ældre yoldialer i kote 3-6, dvs ca. 2-4 m under terræn, se figur 3.

Figur 3. Geotekniske borer, 5 m dybe, udført forud for bygning af det nuværende transportcenter, 5 km syd for Frederikshavn, rentegnet efter rapport fra Andreassen & Hvidberg. Lithologisk beskrivelse er anført i appendiks 2. Boringernes placering er angivet på figur 4.

De høje vingestyrkemålinger, $C_v > 741$ kN/m², viser meget kompakt ler.

Kompaktionen skyldes sandsynligvis isens tryk under Weichsel istiden. Overgangen fra Pleistocæn/ Holocæn er placeret ved overgangen fra ler/silt til sand/finsand.

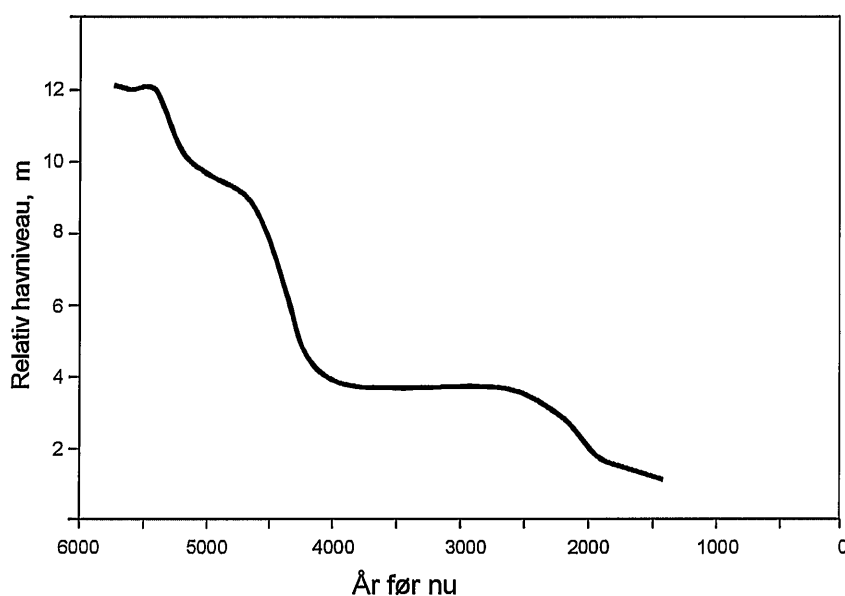




Figur 4. Georadar linier 5-4-2003 på jordartskort 1:25 000 for Bangsbostrand. L16 ikke vist. Sorte cirkler viser placeringen af geotekniske borer, figur 3.

GEUS' jordartskort (1:25.000) viser en smal stribe, ca. 50 m bred, ældre yoldialer (interglacialt marint ler) ca. 250 m fra kysten, figur 4. Det ældre yoldialer skulle derfor antageligt befinde sig mindre end en meter under terræn på det sted. Georadarmålingerne tydede imidlertid på, at leret lå en del dybere måske 3-5 m under terræn på dette sted. Derfor blev det digitaliserede jordartskort sammenlignet med optegnelserne på Jessens oprindelige målebordsblad fra 1897. Dette viser også en smal stribe ældre yoldialer langs kysten mellem Bangsbostrand og Sulbæk. På legenden til det oprindelige arbejds kort fra feltarbejdet er der imidlertid anført en signatur for ældre kystlinier, der tilfældigvis har samme farve som signaturen for det ældre yoldialer. Signaturen følger et par

tætliggende højdekurver på det gamle målebordsblad, hvor kurverne markerede 5 fods intervaller. I Stenstrups og Jessens dagbøger over feltarbejdet omtales også de gamle kystlinier og udmåling af disse flere gange. Der er derfor næppe tvivl om, at den smalle stribe angiver den formodede placering af en ældre kystlinie, der viser sig som et mindre højdespring i landskabet omkring 5 m kurven. Ca. 0,5 km fra kysten ses endnu en smal stribe ældre yoldialer, figur 4, der løber mellem 10,0 - 12,5 m højdekurverne, denne stribe markerer sandsynligvis en anden ældre kystlinie, der ifølge dagbøgerne skulle befinde sig omkring 35-40 fod over det nuværende havniveau. En af årsagerne til at gamle kystlinier kan erkendes i landskabet i dag kan være, at det relative fald i havniveauet siden den Atlantiske transgression ikke har været jævnt og at de markerede kystlinier på de gamle kort viser niveauer af længere varighed. Clemmensen et al. (2001) har beregnet ændringerne i de relative havniveau i de sidste 6000 år ved nøjagtig udmåling af basis af martørv i mellem strandvoldene ved Kannestederne, hvor P. Hauerbach har fået foretaget C-14 dateringer, figur 5. Basis af martørv skulle ikke være påvirket af erosion eller flyvesand og må derfor formodes at give et sikkert mål for hævnningen.



Figur 5. Fald i havniveau gennem de sidste 6000 år ved Kannestederne, Clemmensen et al. (2001).

Hvis det antages, at kurven i figur 5 også har gyldighed for området syd for Frederikshavn, kan det ses at havniveauet har været konstant gennem næsten 1500 år da havet stod ca. 4 m over det nuværende niveau. Det kan som nævnt være forklaringen på det "højdespring", der i dag kan iagttages omkring 5 m kurven.

Overgangen fra det kompakte ældre yoldialer til eventuelle senglaciale lag kan vanskeligt erkendes ud fra den lithologiske beskrivelse af de geotekniske borer, appendiks 2, Grovere materiale skalfrø?, muligvis smeltevandsgrys blev truffet over det ældre yoldialer i B10 boringen (appendiks 2) og i en ældre vandforsyningsboring DGU 11.257 ca. 100 m syd for de geotekniske borer figur

4. Muligvis er de senglaciale aflejringer, der er tilstede på højere niveauer ca. 1 km fra kysten (figur 4), helt bortroderede i forbindelse med Atlantiske transgression. I hvert fald synes lagene over det ældre yoldialer hovedsagelig at bestå af postglaciale marine sandede aflejringer. En ca. 100 m bred zone ca. 100 m fra kystlinien er overlejret af ferskvandstørv, figur 4.

Feltarbejde

De første målinger blev foretaget torsdag den 3. april. Samling af udstyret foregik på parkeringspladsen ved transportcenteret og forløb uden vanskeligheder, figur 6. Der var dog problemer med at få signalet opsamlet på DVL computer/dataloggeren. Flere genstart af computeren hjalp ikke. Genstart af konsollet mellem sender/modtager og computer løste problemet. Feltmålinger forløb herefter problemfrit og i løbet af 2-2½ time var knap 2000 m profil opmålt, linierne 1-12 på figur 4.



Figur 6. Georadar udstyret samles. Boring 11.1085 var placeret omtrent dér, hvor gavlen af cafeteriaet ses.

Georadar udstyrets indstillinger i forbindelse med opmålingerne fremgår af nedenstående udskrift af "header" filen der ledsager hver rådata fil.

NUMBER OF PTS/TRC	= 750
TIMEZERO AT POINT	= 110
TOTAL TIME WINDOW	= 600 ns
STEP SIZE USED	= 0.500
POSITION UNITS	= metres
NOMINAL FREQUENCY	= 100
ANTENNA SEPARATION	= 1 m
PULSER VOLTAGE (V)	= 400
NUMBER OF STACKS	= 16
SURVEY MODE	= Reflection

For processering af rådata overføres datafilerne fra DVL computer/dataloggeren til computer. Desværre blev datafilerne slettet i forsøget på dataoverførslen. Henvendelse til producenten i Canada viste at det var kun muligt at "un-delete" filerne ved at sende DVL'en til moderfirmaet. Det blev derfor besluttet at foretage nye målinger.

Lørdag d. 5 april blev der opmålt 2800 m georadar profil i løbet af ca. 3 timer, linierne 1-18 på figur 4. Start og slut position for hver linie blev bestemt vha. GPS (Garmin, e-map). Positionerne blev angivet som UTM zone 32 N (ED50) koordinater, der anvendes i GEUS Jupiter boringsdatabase.

Tabel 1. Start og slutpositioner af georadarlinier GPS (UTM zone 32N, ED50)

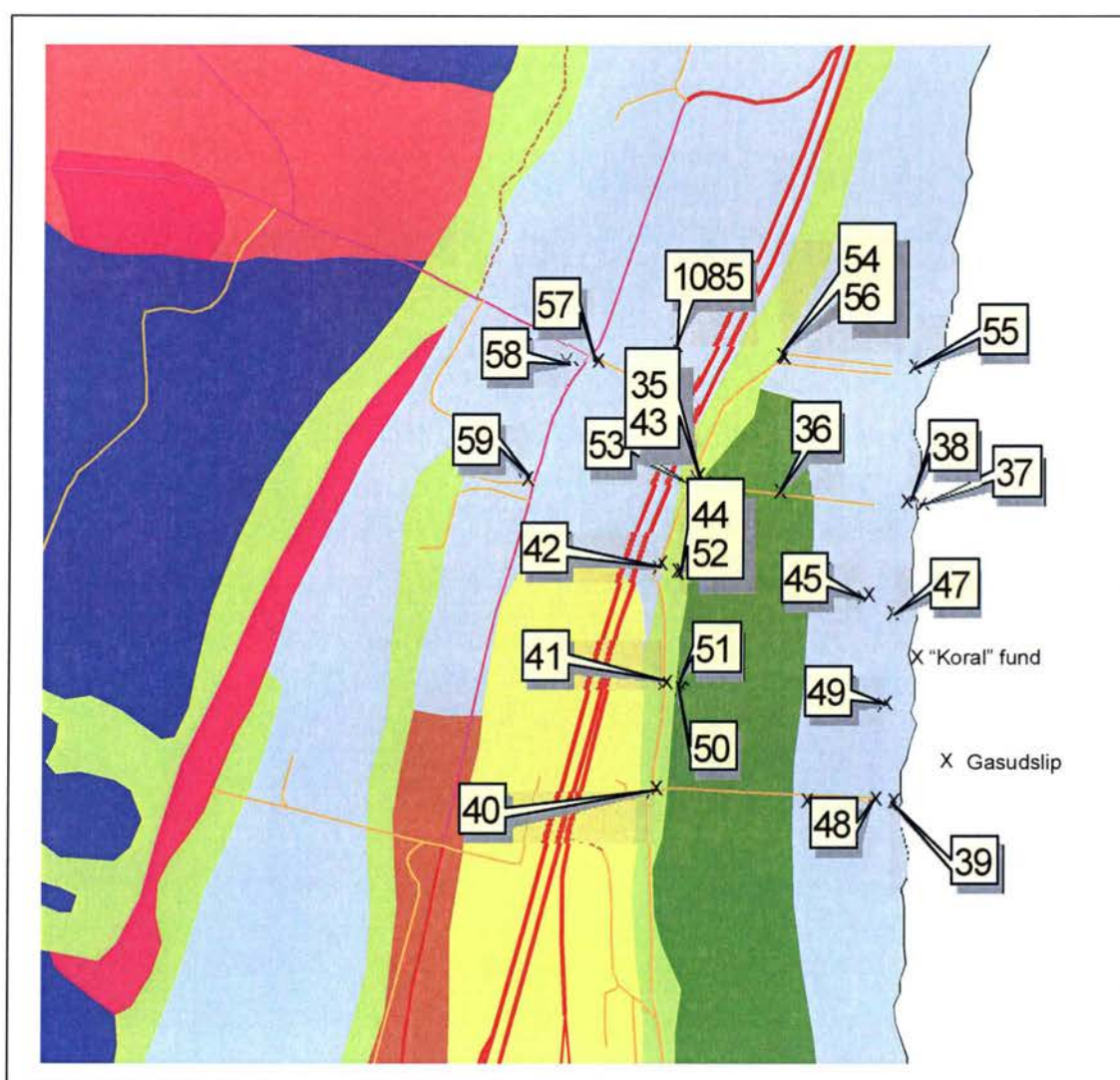
fixpunkt	start	slut	X-UTM	Y-UTM	kote (e-map)
35	1		590960	6361770	11.7
36	2	1	591041	6361763	1.6
37		2	591194	6361749	-2
38	3		591177	6361752	-1.3
39	4	3	591165	6361426	-1.3
40	5	4	590908	6361438	2.8
41	6	5	590919	6361554	1.8
42	7	6	590913	6361684	4.9
43		7	590953	6361779	2.8
44	8		590930	6361675	-2
45		8	591135	6361650	-2.3
46	fejl!		591071	6361426	
47	9		591162	6361629	-3
48	10	9	591145	6361429	-3
49	11	10	591156	6361532	-3.7
50		11	590935	6361547	0.1
51	12		590937	6361559	0.8
52		12	590934	6361676	-0.4
53	13		590948	6361773	0.1
54	14	13	591043	6361910	0.8
55	15	14	591186	6361897	-4.4
56	16	15	591044	6361908	-0.6
57		16	590844	6361904	3.7
58	17+18		590815	6361906	4
59		17+18	590768	6361774	5.4
11.1085 MAXim	Geotekn. Boringer Gulins koral fund		590928 591189	6361920 6361582	-12.1
SEEP	Dando92		591220	6361470	34

Ved start af linie 9 viste GPS'en en tydelig forkert position (fix nr. 46).

Garmins e-map GPS angiver også kote, men nøjagtigheden er ikke tilstrækkelig god

Liniepositionerne blev overført fra "e-map" til computer og anvendt i den "stedmodul" opsætning GEUS har konstrueret for Arcview brugere. GEUS' jordartskort 1:25:000 (også baseret på UTM zone 32N, ED50) blev lagt ind sammen med "veje" fra TOP10DK databasen se figur 7. På basis heraf blev linierne på kortet (figur 4) udtegnat, med undtagelse af linie 16 langs sti under motorvej.

Som nævnt var det ikke muligt, at iagttage gasudslip pga. bølger, men en del mindre stykker af karbonatcementeret sand ("koraller") blev fundet og indsamlet (ca. 1 kg) af Maxim Gulin ca. 100 m nord for gas-lokaliteten, figur 3. Maxim Gulin, METROL togtets ukrainske deltager ønskede at foretage sammenligning af Kattegat "koraller" med Sortehavs "koraller" indsamlet ud for Krim halvøen. Der forekommer også gasudslip af methan på relativ lav vanddybde



Figur 7. Georadar fixpunkter i Arcview opsætning af GEUS' jordartskort 1:25.000. Fund af "koraller" den 6. april nord for gasudslip er også markeret.

De små cementerede stykker, ca. 5-10 cm store, der blev fundet i strandkanten er næppe dannet eksakt på stedet, hvor de blev fundet. De stammer sandsynligvis fra området omkring gasudslippene nogle titals meter fra kysten, figur 1, og er sandsynligvis af bølgerne skyllet op på stranden. De cementerede områder omkring gasudslippene består af kvadratmeter store plader, der kan være nedbrudt af bølgeslaget. Der kan også være tale om rester efter samleres nedbrydning af de store plader. Paul Dando observerede betydelig aktivitet mht. indsamling af cementplader under sit feltarbejde i maj 1991. Indsamlingen var betydelig da transport af cementplader foregik med trailer (P. Dando, *pers. comm.*)

Under georadarmålingerne blev det forsøgt så vidt muligt at holde afstand til forskellige elektriske installationer, der kunne interferere med georadar signalet. Det var dog ikke muligt helt at undgå interferens problemer. Som det ses af radargram for linie 7, der begynder ved fixpunkt 42 er målingerne påvirket af motorvejens installationer, appendiks 3.



Fig. 8. Tæt på motorvejen efter fixpunkt 42

For at understøtte af tolkningen af radargrammerne er georadarlinierne indtegnet på luftfoto over området, figur 9. Fotoet blev taget i begyndelsen af 1990'erne før motorvejen og transportcenteret blev bygget. De senere ændringer har imidlertid kun direkte betydning for linie 16, der blev ført gennem tunnelen under motorvejen. Radargrammet for sidstnævnte linie er stærkt påvirket af de mange konstruktioner og installationer på dette stykke, som det ses i appendiks 3.



Figur 9. Georadarlinier indtegnet på luftfoto over det undersøgte område. Rødt kryds nord for gasudslip markerer fund af "koraller" den 6. april. Fotoet er taget før bygning af transportcenter og motorvej.

Processering

Georadar rådata blev processeret med brug af WinEkkoPro software fra Sensors & Software Ltd., Canada, og afbildet som radargrammer vha. Transform2D fra Fortner Software LLC, USA. Processeringen bestod af følgende trin: (1) Dewow, (2) Lowpass filter (time), (3) Migration og (4) SEC gain. Lowpass filter parameteren blev sat til 30%. Ved Migration blev hastigheden sat til 0,08 m per nanosekund, der er hastigheden for elektromagnetiske bølger i vandmættet sand, offset til "0" og scale til 0,2. Ved SEC gain blev dæmpningen (attenuation) sat til 0,7, "start value" til 1 og gain max til 100.

Radargrammerne viste ingen refleksioner i tidsintervallet 250 til 500 nanosekunder, derfor blev tidsvinduet reduceret fra 600 til 300 ns (-50 til 250 ns). For at opnå et passende udskrift af radargrammet blev den horisontale skala i programmet sat lig 15 x liniens længde i m. Den vertikale skala blev sat til 300 ns x 0,08 m/ns x 15, hvilket svarer til en overhøjning på 2.

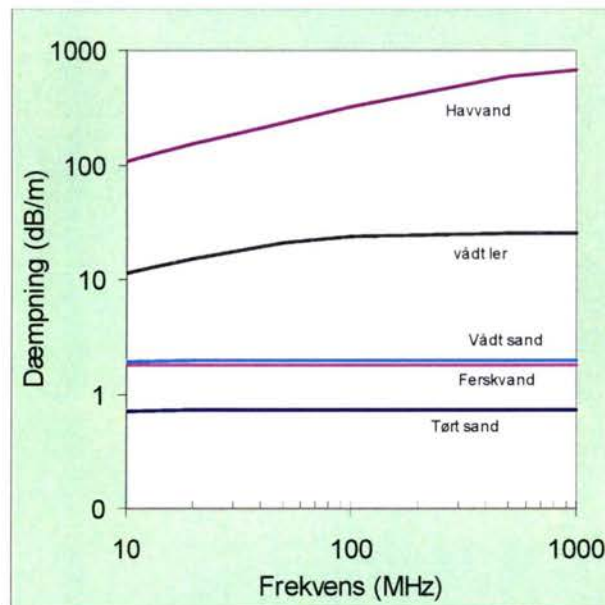
Tolkning

Radargrammerne for linierne 13 og 17+18 viser en kraftig reflektor ved knap 100 ns og ingen derunder, appendiks 3. Overgangen fra sand til ler (ældre yoldia) formodes derfor at befinde sig i en dybde svarende til knap 100 ns (~ 4 m under terræn), hvilket stemmer godt med oplysningerne fra vandforsyningsboring DGU nr. 11.257 som ligger 70 og 100 m fra henholdsvis L13 og L17+18, figurene 4 og 9. Boreprøver fra denne boring viste overgang fra finsand til grus (smeltevands?) 4,3 m u.t. og fra grus til ler 5 m u.t. I de geotekniske boringer 100 - 200 m nord derfor, mindskes dybden til leret fra syd til nord, ca. 3-4 m i boring nr. 7 til ca. 1,5 m i boring nr. 12, figur 3. I radargrammet for linie 13 mindskes dybden til den omtalte reflektor fra knap 100 ns (~4 m) i syd til ca 50 ns (~2 m) i nord. Radargrammerne 14 og 15, der løber fra slut af linie 13 i nord til strandbredden indikerer, at overgangen fra sand til ler kun ligger i dybde svarende til 50 ns (~2 m) i den nordligste del af det undersøgte område, figur 4.

På radargram 5-7 stiger dybden til den dybestliggende reflektor fra knap til 100 ns til ca. 150 ns fra nord til syd på det knap 350 m lange stykke, appendiks 3. Reflektoren er relativt tydelig på visse strækninger og på de sydligste 50 m mangler den helt. Da GEUS' jordartskort viser ældre yoldialer for hele strækningen (figur 4) kunne man forvente at finde leret i ca. 1 m dybde. Forklaringen på den tilsyneladende manglende overensstemmelse er sandsynligvis en forveksling af signaturerne for "ældre yoldialer" med "formodet tidligere kystlinie" ved rentegning af kortene, som omtalt i kapitlet om geologi.

Strækningen mellem vejen og kysten er kortlagt med 5 georadarlinier (figur 4), hvoraf den nordligste (14 & 15) allerede er omtalt. De øvrige fire er 1-2, 11, 8 og 4 nævnt i rækkefølge fra nord til syd. I radargrammet 1-2 varierer dybden til dybeste reflektor fra knap 100 ns i den vestlige del til

ca. 50 ns ca. 50 m længere østpå mod stranden og dykker derefter til ca. 100 ns (90 m til 220 m) tæt på stranden, appendiks 3. Reflektoren er relativt svag på det sidste stykke muligvis pga. stigende saltvandspåvirkning. Reflektionerne af georadarens elektromagnetiske signal forsvinder meget hurtigt med stigende dybde pga. saltvandets ledende egenskaber. Dæmpningen af signalet er mere end 100 gange kraftigere i havvand end i vandmættet sand som det fremgår grafen i figur 10. Dæmpningen er beregnet ved hjælp af formelen omtalt i Skov- og Naturstyrelsen publikation om geofysik og råstofkortlægning fra 1987.



Figur 10. Dæmpningen af det elektromagnetiske signal i forskellige lag som funktion af frekvensen

Radargram 8 (vest → øst) viser nogenlunde samme mønster som radargram 1-2 ca. 100 m nord derfor. Dog er dybdevariation for den dybestliggende reflektor ikke så stor som i det nordligere profil, og reflektoren bliver mindre tydelig på strækningen nærmest stranden sammenlignet med Radargram 1-2.

I radargram 11 (øst → vest) ses den dybeste reflektor på en kortere strækning af radargrammet sammenlignet med radargrammerne for linierne nord for, idet den helt forsvinder på de første 140 m fra stranden mod vejen. I radargram 4 (øst → vest) kan den reflektor, der antages at markere overgangen til lerlaget kun anes på kort stykke, mellem 210-230 m, nærmest vejen. Reflektoren ligger her omkring de 150 ns, samme dybde som i den sydligste del af "5-7" radargrammet, hvor den også knap nok kan anes, appendiks 3.

På radargram 3 (nord → syd) langs strandkanten ses en svag reflektor i en dybde omkring de 100 ns på de første 60 m, hvorefter den forsvinder helt. Reflektoren repræsenterer sandsynligvis overgangen fra sand til ler, der ikke kan ses på de 250 m sydlige del af radargrammet sandsynligvis

pga. saltvandspåvirkning. Dæmpningen synes at være mest udtalt på strækningen 190-230 m ud for stedet, hvor gasudslippene befinder sig. Den kraftigere saltpåvirkning kan muligvis skyldes at georadaren befandt sig tættere på vandkanten, som det ses på luftfotoet på figur 9. Radargram 9, der løber parallelt med "3'eren" ca. 20 m længere fra kysten er lidt mindre påvirket af saltvand i de øverste lag som det ses ved sammenligning af de to radargrammer. Ved 100 m og 210 m på radargram 3 er saltpåvirkningen af de øverste lag klart mindre på et kort stykke, hvilket sandsynligvis skyldes at et par dræn/grøfter havde deres udløb der.

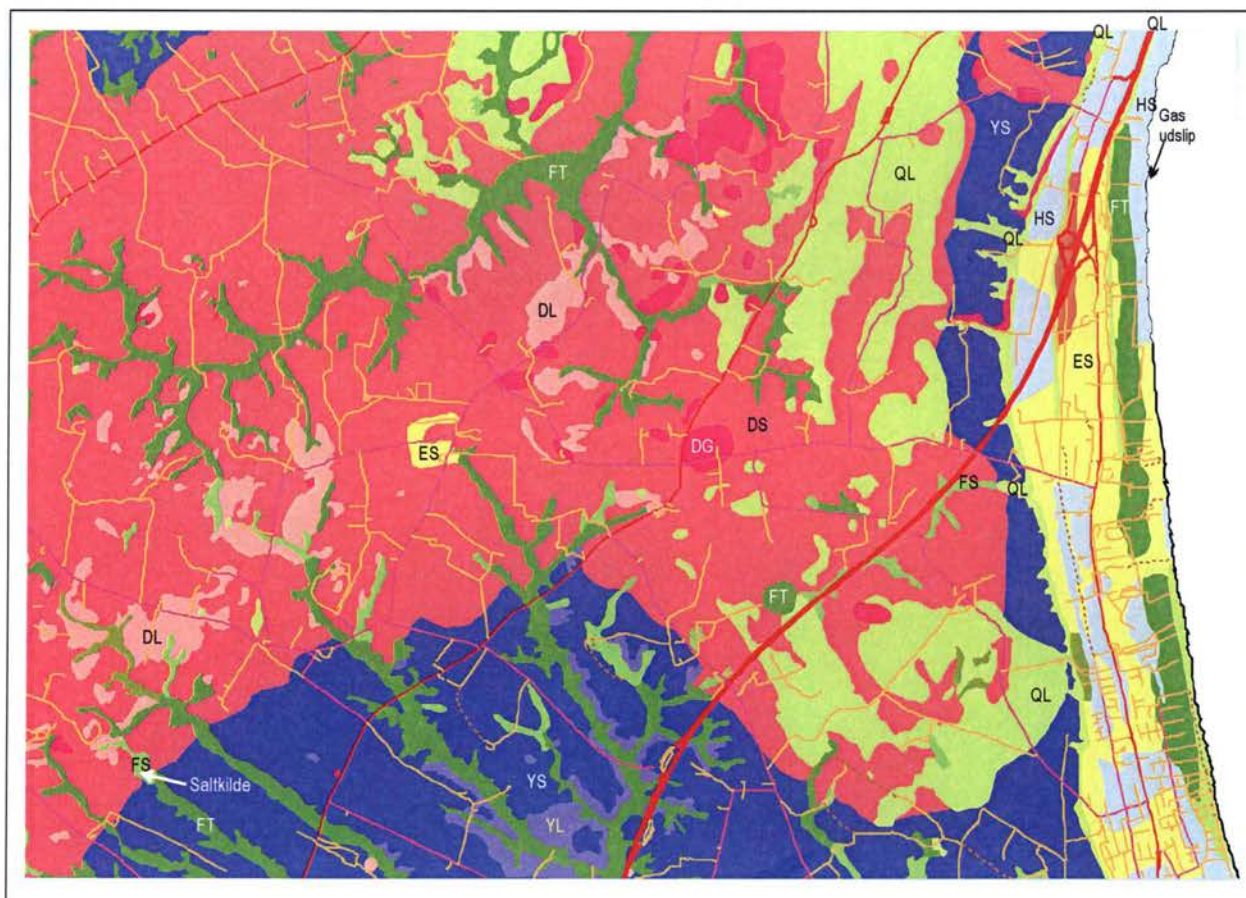
De næsten horisontale reflektorer, der ses i de øverste 25-50 ns på de fleste radargrammer fra området mellem hovedvejen og kysten, afspejler sandsynligvis vekslende tørvelag. Herunder ses en række svagere reflektorer af relative ringe udstrækning (tydeligst i radargram "5-7"), der kan stamme fra interne strukturer i de postglaciale sandede lag, som sandsynligvis befinder sig under tørvelagene. Reflektorerne i de formodede sandede lag under tørven er generelt svage og forsvinder i nogle områder helt, f.eks. på visse strækninger af linierne 4, 8 og 11. Det manglende eller meget svage signal for disse områder kan skyldes dæmpning enten fordi materialet i lagene er mere finkornet, siltet, eller fordi grundvandet har højere saltholdighed.

Med hensyn til undersøgelsens oprindelige formål kan det konstateres, at resultaterne viser at det ikke var muligt ved hjælp af georadarmålinger at bestemme mægtigheden af de postglaciale sandlag tæt ved lokaliteten, hvor gasudslip er observeret. Derfor kan det heller ikke afgøres om udslippene dér skyldes ringe mægtighed af disse eller om de hænger sammen med særlige forhold i lagene under de postglaciale aflejringer. Generelt synes mægtigheden af de postglaciale lag at være mindst (ca. 2 m) i den nordlige del af det undersøgte område og noget større i den sydlige del (ca. 4-5 m).

Som nævnt er saltpåvirkningen af de øverste lag størst lige omkring gasudslippet, radargram 3, 200-220 m, muligvis pga. vandkantens nærhed. En anden forklaring kunne være optrængning af saltvand fra yoldialeret i dette område. Optrængen af saltvand, sandsynligvis mættet med methan, fra større dybde kan være muligvis være forklaringen på de observerede gasudslip. Under saltvandets optrængning falder det hydrostatiske tryk og en del af den opløste methan udskilles som gasfase. Methanholdigt saltvand kendes fra andre steder i Vendsyssel, bla. kilden ved Ørvad som er omtalt af Jessen *et al.* (1910). Kilden befinder sig i kote 40, lige over grænsen for de senglaciale aflejringer, ca. 8,5 km SV for gasudslippene ved Bangsbostrand., figur 11. Vandets saltholdighed svarer til godt en tredjedel af havvands, og gasbobler ses tydeligt i vandet (Jessen *et al.*, 1910). Det methanholdige saltvand må stamme fra det ældre yoldialer, men migrationsvejene fra dette frem til udspringet, samt de hydrologiske forhold på dette sted er så vidt vides ikke undersøgt nøjere.

De akustiske profiler fra råstofundersøgelserne i Læsø Rende kan give en idé om hyppigheden af gasudslip fra undergrunden i området (Geoteknisk Institut, 1983). Det nærmeste af profilerne viser en ca. 3,5 km lang strækning langs kysten og ca. 2 km fra denne. I profilet, der starter ca. 1,5 km nord for Sæby og ender omtrent ud for gasudslippene syd for Bangsbostrand, ses en række

gasplumes i det postglaciale sand som overlejrer de senglaciale lag, appendiks 4. Ingen af de plumes, der ses på profilet synes at nå helt op til havbunden, sandsynligvis fordi gassen opløses i porevandet. Samme forhold kan gøre sig gældende langs hele kysten mellem Sæby og Frederikshavn, om end mægtigheden af de senglaciale lag sandsynligvis er en anden. Gasudslip kan derfor kun observeres direkte, hvor de enten er kraftige eller hvor de postglaciale lag har ringe mægtighed. Mægtigheden af de senglaciale lag mellem det ældre yoldialer og de postglaciale aflejringer kendes ikke, men vurderet ud fra de akustiske undersøgelser øges den generelt fra kysten ud mod Læsø Rende. 40-50 m dybe borer ca. 5 km fra kysten viser mægtigheder af de senglaciale lag på over 25 m (Knudsen og Nordberg, 1987).



Figur 11. Geologisk kort 1:25 000 med angivelse af gasudslips lokaliteter ved henholdsvis Ørvar saltkilde og Bangsbostrand. Afstand mellem de to lokaliteter er 8,5 km.

Signaturer: QL=interglaciale marint ler; DL=smeltevandsler; DS=smeltevandssand; DG=smeltevandsgrus; YS=senglacialt sand; YL=senglacialt ler; HS=Postglacial marint sand; ES=flyvesand; FT=ferskvandstøv; FS=ferskvandssand.

Konklusion

Georadarundersøgelserne viste, at det ældre yoldialer ligger ca. 2 - 4 m under terræn i området mellem hovedvejen og kysten syd for Bangsbostrand. Leret ligger tættest på overfladen i den nordligste del af det undersøgte område.

Reflektoren, der markerer overgangen fra sand til ler er svag eller ses slet ikke i radagrammerne, der dækker den sydlige del af området. Årsagen kan være saltpåvirkning, der svækker eller fuldstændig eliminerer georadarsignalet, eller at mere finkornede lag optræder under det øverste tørvelag.

Omkring gasudslippet i strandkanten forsvinder reflektorerne også i de øverste lag, på grund af saltpåvirkning.

Akustiske profiler 2 km fra kysten viser relativ hyppig forekomst af gasplumes i det postglaciale sand. Gassen når i reglen ikke helt op til havbunden. Forekomsten af gasudslip på lokaliteten syd for Bangsbostrand, må derfor skyldes enten et særlig kraftigt udslip fra det ældre yoldialer, der anses for at være kilden til gassen, eller ringe mægtighed af de postglaciale lag over dette.

Da georadarundersøgelserne ikke kunne give oplysninger om dybden til det ældre yoldialer, må oplysninger herom skaffes ved prøvetagning af lagene.

Tak

Tak til Ingelise Møller, der hjalp med instruktion i brug af georadarudstyret, samt vedlejning med hensyn til processering af georadar rådata

Også tak til Peter Konradi, der hjalp med at finde frem til de oprindelige oplysninger vedrørende karteringen af Vendsyssel.

Referencer

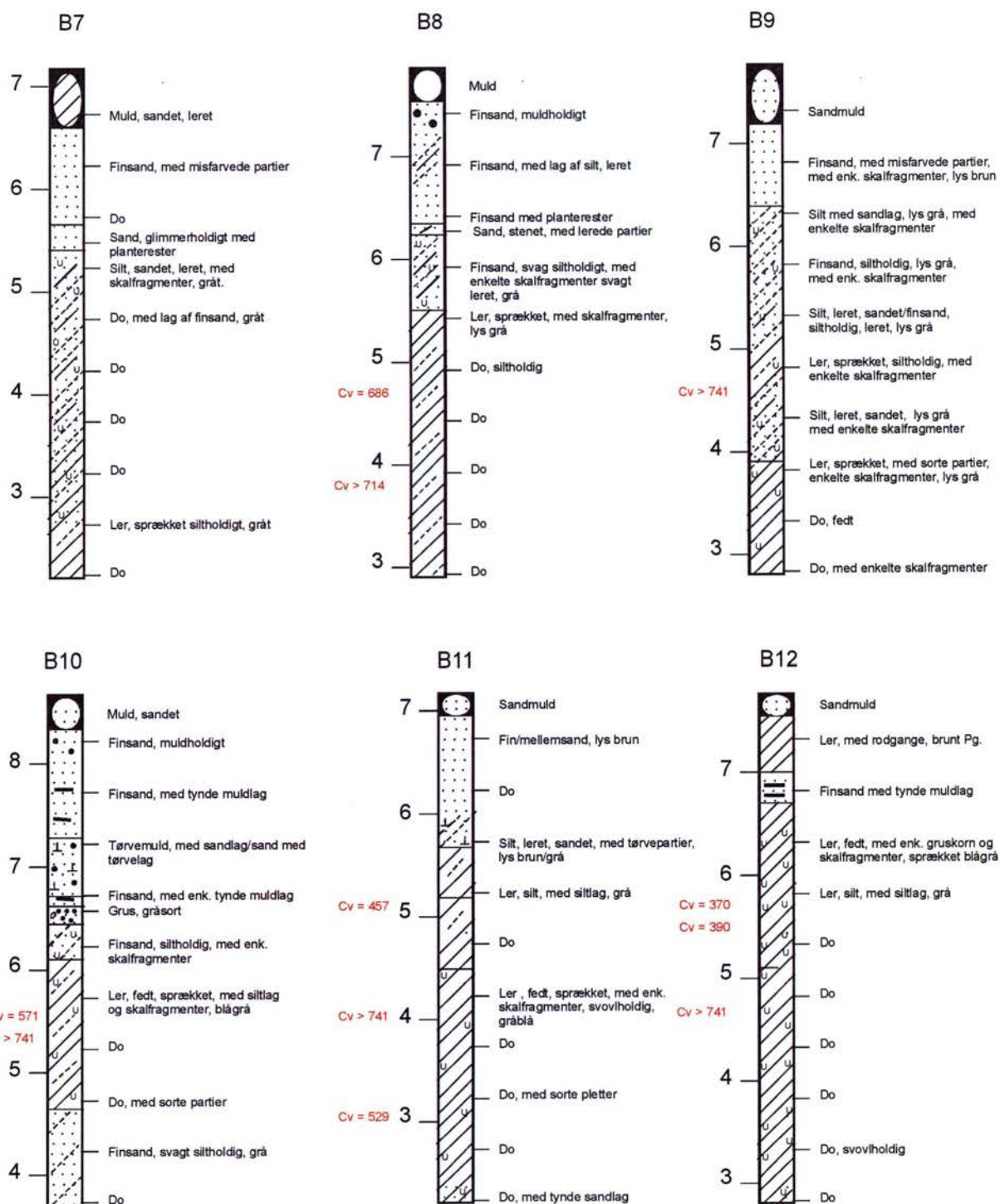
- Clemmensen, L.B., Richardt, N. And Andersen, C. (2001) Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. Holocene **11**, 323-331.
- Dando, P.R., O'Hara, S.C.M., Schuster, U., Taylor, L.J., Clayton, C.J., Baylis, S. and Laier, T. 1994a: Gas seepage from a carbonate-cemented sandstone reef on the Kattegat coast of Denmark. Marine and Petroleum Geology **11**, 182-189.
- Dando, P.R., Jensen, P., O'Hara, S.C.M., Niven, S.J., Schmaljohan, R., Schuster, U. and Taylor, L.J. 1994b: Gas seepage from a carbonate-cemented sandstone reef on the Kattegat coast of Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark **41**, 65-79.
- Jessen, A., Milthers, V., Nordmann, V., Hartz, N. and Hesselbo, A. 1910: En boring gennem de kvartære lag ved Skærumhede. Geol. Survey. Denmark., Series II **25**, pp. 175
- Juel, N. 1839: Fortsatte bidrag til naturbemærkninger over Jyllands nordligste odde. Naturhistorisk Tidsskrift II, 223-233.
- Jørgensen, N.O. 1976: Recent high magnesian calcite/aragonite cementation of beach and submarine sediments from Denmark. J. Sediment. Petrol. **46**, 940-952.
- Jørgensen, N.O. 1992: Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from Kattegat, Denmark: Geochemical and geological evidence. Marine Geology **103**, 1-13.
- Knudsen, K.L. and Nordberg, K. 1987: Late Weichselian and Holocene biostratigraphy in boring southeast of Frederikshavn, Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark **36**, 289-303.
- 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 **12**, 1173-1186.
- Larsen, G., Baumann, J. and Bjørn, O. 1986: *Submarine Quaternary deposits of Læsø Rende*. Danish Geological Society Yearbook of 1985. (In Danish with English abstract and figure legends).
- Nordmann, V. 1903, En klump sammenkittede molluskskaller fra havbunden ved Læsø. Medd. Dansk Geol. Foren. **9**, 37-44.
- Skov- Og Naturstyrelsen (1987) Geofysik og råstofkortlægning - Råstofkontorets korlægningsserie nr. 5. 207 pp.

APPENDIKS 1. Beskrivelse af "Langvadstenen" N. Juul (1839)

De Iagttagelser af disse Egnes Naturgenstande, hvorefter jeg ellers, i de trede sidste Aar, har haft Leilighed til, udenfor dette Tidsskrift, at meddele nogen omstændeligere Beretning, have væsentligst indskrænket sig til: Opdagelsen af en mærkværdig Tilvirkning af Havslam; — det ved Opmudringen af Frederikshavns store Havneanlæg fremkomne Muslingeconglomerat; — Iagttagelsen af en fin og haard Sandsteen, som afsættes i Skjolde af 6—8 Fods Diameter og 3—4 Tommers Mægtighed, mellem Rullestenene, under Havets Overflade, paa Kysten mellem Frederikshavn og Sæbye, og om hvilken jeg her blot vil bemærke: at den henhører til de yngste Dannelser; at dens Bindemiddel er Kalk, som maa fremkomme af de ved Bølgeslagene mod Stenene knusede Strandkaller, og forbinde sig med de udvaskede, finere Dele af Sandet; at den formeentligen derfor maa kunne reproduceres; og at jeg, efter Localforholdet, indtil videre har givet den Navn af "Langvadstenen"; samt at jeg paa Havbunden mellem Rønnerne ved Læsøe har fundet den samme Dannelse, men af en anden ydre Form, hvilket jeg tror at kunne tilskrive Lejestederenes Beskaffenhed og den Grad af Rolighed og Værn ved Rullestenene afgive. — Og endeligen har en af mine

De iagttagelser af disse egnes naturgenstande, hvorover jeg i øvrigt, i de trede sidste år, har haft lejlighed til, udenfor dette tidsskrift, at meddele nogen omstændeligere beretning, have væsentligst indskrænket sig til: Opdagelsen af en mærkværdig tilvirkning af havslam; - det ved opmudringen af Frederikshavns store havneanlæg fremkomne muslikekonglomerat; - iagttagelsen af en fin og hård sandsteen, som afsættes i skjolde af 6-8 fods diameter og 3-4 tommers mægtighed, mellem rullestenene, under under havets overflade, på kysten mellem Frederikshavn og Sæbye, og om hvilken jeg her blot vil bemærke: at den henhører til de yngste dannelser; at dens bindemiddel er kalk, som må fremkomme af de ved bølgeslagene knuste strandskaller, og forbinde sig med de udvaskede finere dele af sandet; at den formeentligen derfor må kunne reproduceres; og at jeg, efter lokalforholdet, indtil videre har givet den navn af "Langvadstenen"; samt at jeg på havbunden mellem Rønnerne ved Læsøe har fundet den samme dannelse, men af en anden ydre form, hvilket jeg tror at kunne tilskrive lejestederenes beskaffenhed og den grad af rolighed og værn ved rullestene afgive.

APPENDIKS 2. Geotekniske boringer DGU nr. 11.1085.

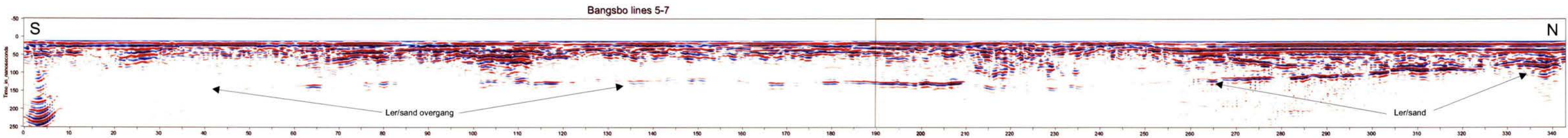
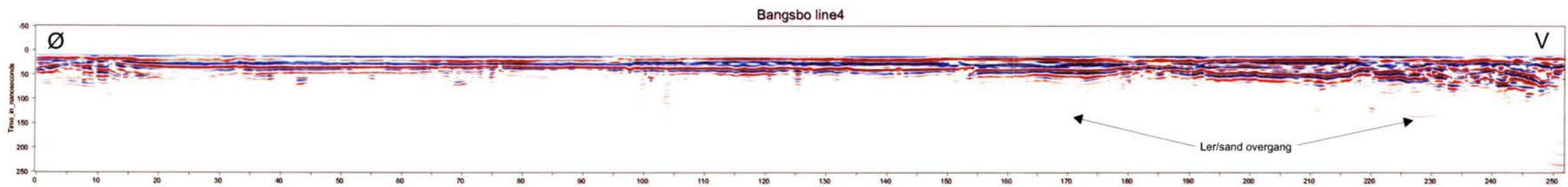
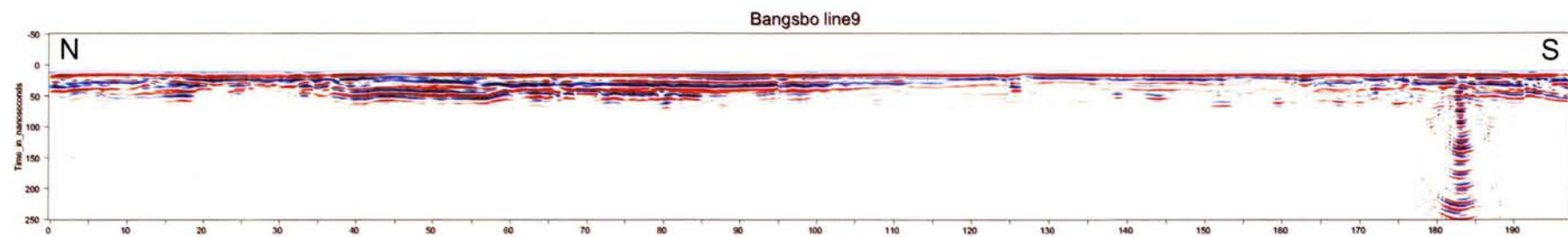
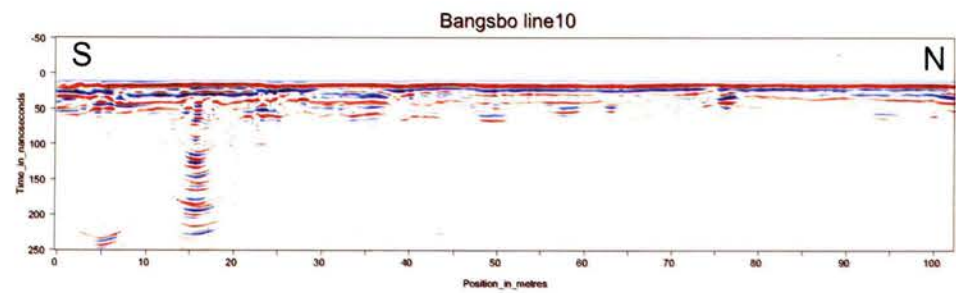
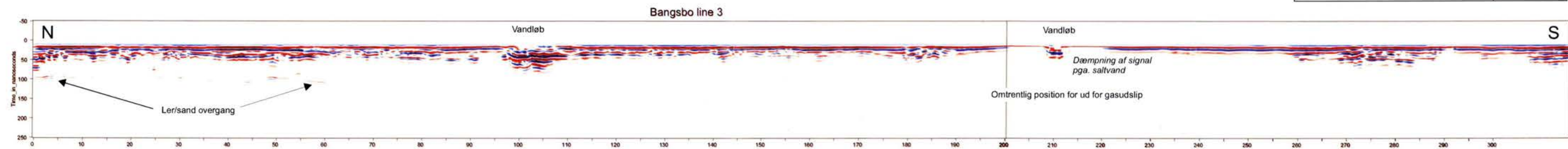
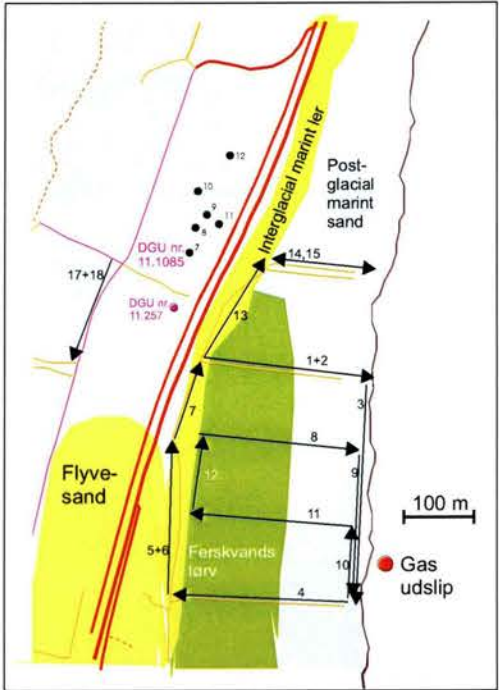
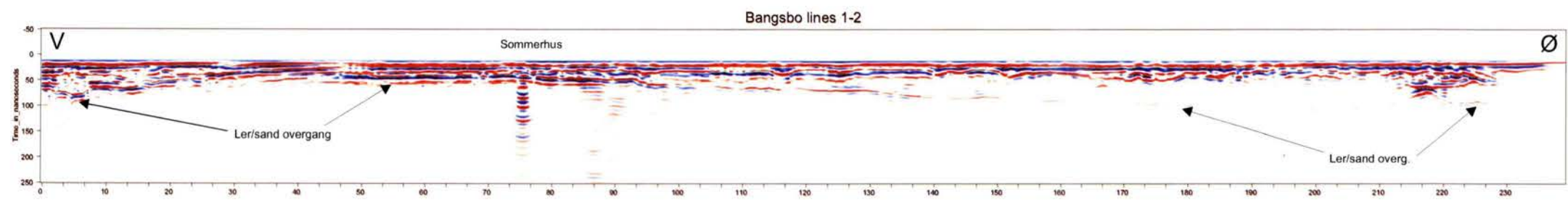


Geotekniske boringer "Transportcenter Nord", ca 5 km syd for Frederikshavn.
Boringerne blev udført 1996

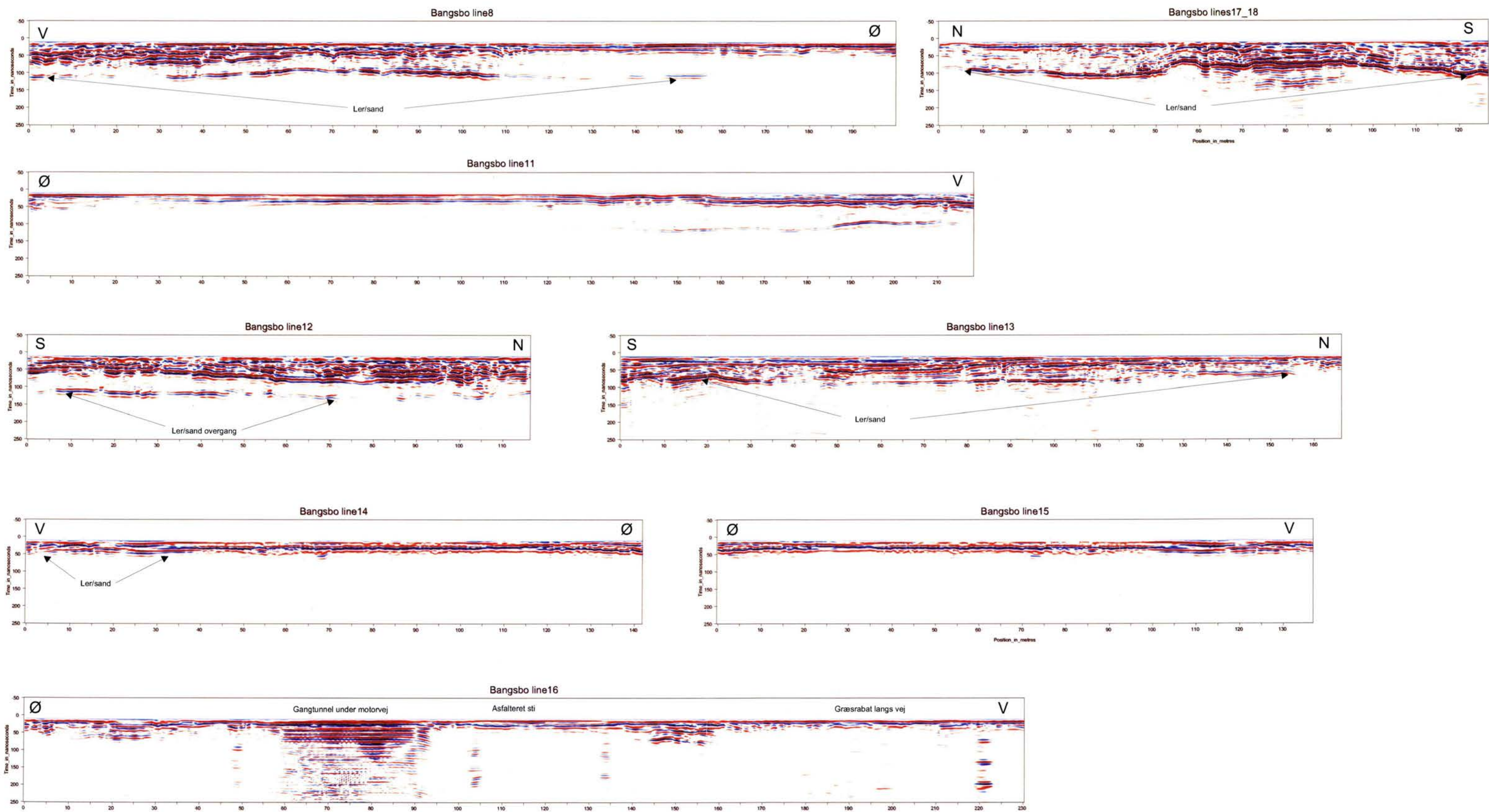
APPENDIKS 3 Radargrammer

Lokalitets kort med georadarlinier er vist i figur 4.

Georadar profiler,
Bangsbostrand apr. 2003



Georadar profiler, Bangsbostrand apr. 2003



APPENDIKS 4. Pinger profil 2 km fra kysten mellem Sæby og gasudslip

Profilen dækker en 3,5 km strækning fra 1,5 km nord for Sæby til gasudslip syd for Bangsbostrand
PG = postglacial; SG = senglacial og P = gasplume

