

GEORADARKORTLÆGNING AF HVIDBJERG KYSTKLITFELT

Karsten Pedersen

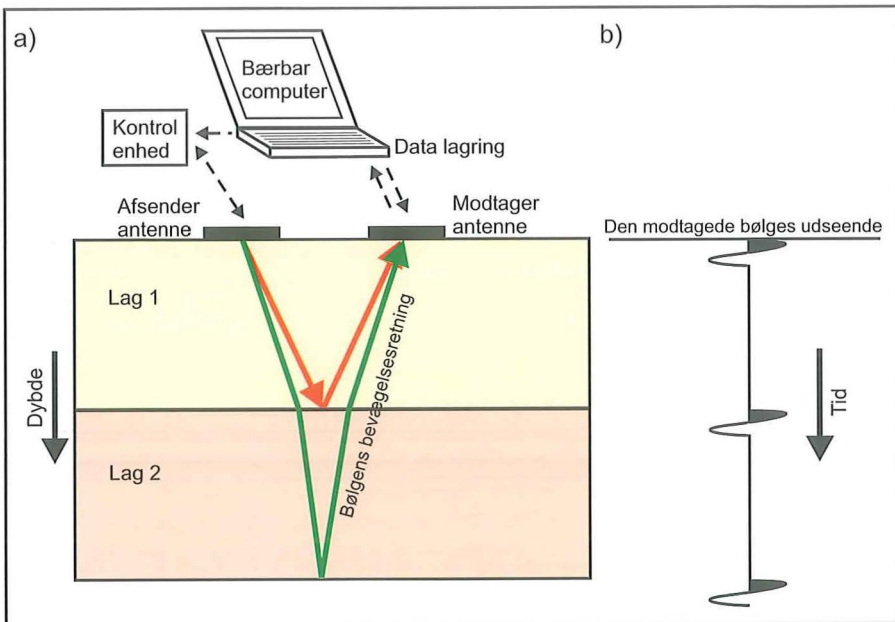
Nord for Lodbjerg Fyr i det vestligste Thy ligger Hvidbjerg kystklitfelt, der mod vest er afgrænset af en stejl kystklint (figur 1). Kystklinten har, sammen med kystklinten ved Lodbjerg der ligger umiddelbart syd for, i mange år været en klassisk lokalitet for nye geologistuderende og andre interesserede, på grund af de tydelige blotninger af både till og flyvesand (se VARV 1989,4). Flyvesandet er delt op i enheder, der er afgrænset af mere eller mindre markante jordbundshorisonter, som for de mest markantes vedkommende strækker sig flere kilometer langs kystklinten. Jordbundshorisonterne og flyvesandet er nu blevet kortlagt ind i land og korreleret til blotningerne i kystklinten ved hjælp af georadarmetoden. Kortlægningen har været med til at give et meget mere detaljeret billede af den geologiske opbygning af kystklitfeltet.



GEORADARMETODEN

Georadar er en geofysisk målemetode, der registrerer lagfølger og strukturer i de øverste jordlag ved hjælp af elektromagnetiske bølger. Georadaren består af en afsenderantenne, en modtagerantenne og en kontrolenhed (figur 2). Den virker ved, at kontrolenheden giver signal til afsenderantennen om at udsende en kugleformet, elektromagnetisk bølge med en bestemt frekvens. En del af denne bølge bevæger sig ned igennem jorden, hvor den, ved en ændring i de øvre jordlags elektromagnetiske egenskaber, vil blive re-

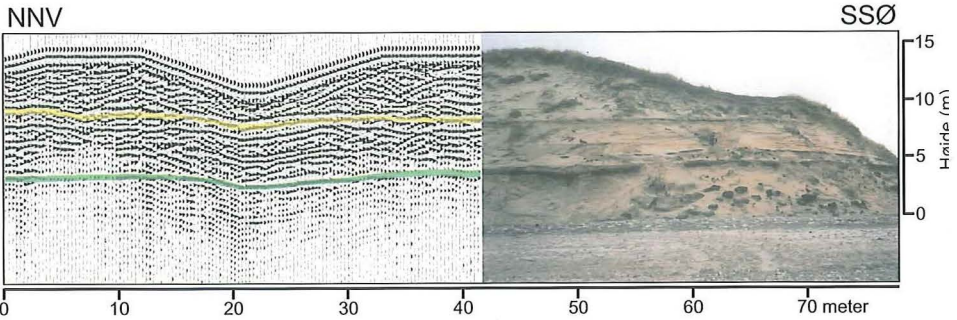
Figur 1. Oversigtskort over Hvidbjerg kystklitfeltet. På kortet er samtlige georadarlinier vist med gult, mens udsnitene præsenteret her er vist med rødt.



Figur 2. Principskitse af (a) en georadaroptagelse og (b) billedet af den registrerede elektromagnetiske bølge, hvor udsvinget på linien viser, at jordens elektromagnetiske egenskaber ændres ved grænsen mellem lag 1 og lag 2.

flekteret og igen registreret af modtagerantennen. Jo større ændringen er, jo kraftigere et signal vil modtagerantennen registrere. Modtagerantennens registreringer bliver lagret i en bærbar computer og vil umiddelbart kunne ses på skærmen som et todimensionalt profil af undergrunden. Sådant et profil kaldes et radargram, og refleksioner i form af kontinuerte linier kaldes reflektorer (figur 3). Antennerne er sat op på en vogn, der trækkes manuelt, mens kontrolenheden og den bærbare computer er monteret på et rygsækstativ (figur 4). Hele opsætningen gør, at to personer er i stand til at fremstille op til ca. 2 kilometer georadarprofil i timen, hvis terrænet og vejret tillader det. Opsætningen på trækvognen gør det også muligt at optage udenfor alment tilgængelige veje og stier.

Da det er forskelle i jordlagenes elektromagnetiske egenskaber georadaren optager, er det 'kun' et pseudo-profil af geologien i området man kan se. Grundvandsspejlet og mange ikke direkte geologiske objekter i undergrunden, såsom metal- og arkæologiske genstande, vil også kunne give ophav til refleksioner. Derudover vil også 'overjordiske objekter', f.eks. biler, træer og højspændingsledninger kunne blive optaget på radargrammet. Men da de elektromagnetiske egenskaber i jordens øverste lag generelt kan relateres til strukturelle og litologiske



Figur 3. Foto af Hvidbjerg kystklint, hvor klintestykket til venstre er blevet kortlagt af georadaren. De to mørke jordbundshorisonter, der ses på billedet, viser sig som kraftige reflektorer på radargrammet og er markeret med grønt og gult. De interne strukturer der består af krydslejret flyvesand er også meget tydelige og fremstår som skrånstillede reflektorer. Under den grønne jordbund er det modtagne signal for svagt til at kunne tolkes.

variationer imellem sedimenterne, får man tydeligt et indtryk af den geologiske opbygning af de overfladenære jordlag.

Da georadaren arbejder ved hjælp af elektromagnetiske bølger, vil jordtyper der er elektrisk ledende, dæmpe der reflekterede signal. Jo bedre elektrisk ledende jordtypen er, jo mindre del af den udsendte bølge vil trænge igennem dens overgrænse og underliggende jordlag vil være 'usynlige' for georadaren. Lerede og siltede sedimentter vil typisk være jordartstyper, som georadaren ikke kan



Figur 4. Opsætning af georadarudstyret, så det er klart til brug.

trænge igennem, mens sand- og grusforekomster ofte vil give meget fine profiler. Forskellige typer af forurening vil også kunne dæmpe det udsendte signal, hvilket også gør metoden til et effektivt værktøj ved forureningskortlægninger. Både dæmpning af signalet på grund af elektrisk ledende jordarter og den dæmpning der opstår på grund af signalsvækkelse, jo længere væk fra senderantennen bølgen

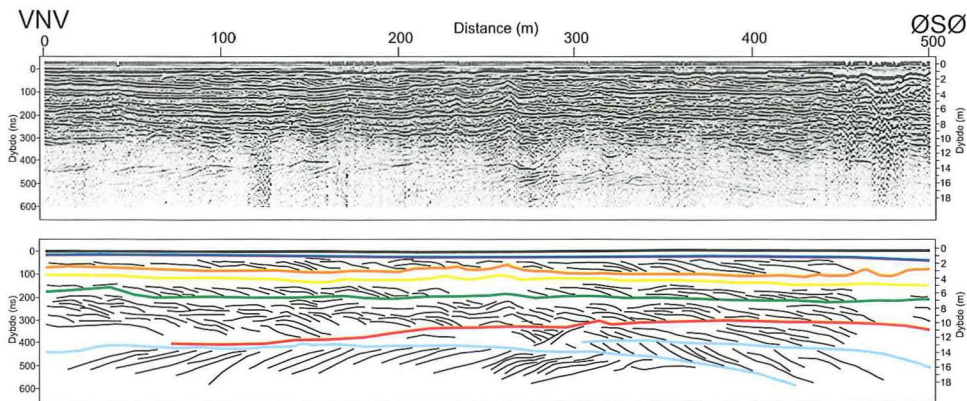
når, gør at den største dybde georadaren kan nå ned i på almindelig landjord er begrænset til ca. 50 meter under ideelle forhold. Oftest er indtrængningsdybden dog ikke mere end ca. 20 meter. I is kan indtrængningsdybden i modsætning hertil være flere hundrede meter.

Den tid, der går fra den elektromagnetiske bølge bliver udsendt til den bliver optaget igen, måles i nanosekunder (ns), hvilket svarer til milliardtedele af et sekund. Dette betyder, at den første dybdeskala man får, er i tid, som senere skal omregnes til meter for at give større mening. Den hastighed, hvormed den elektromagnetiske bølge bevæger sig, ændrer sig afhængigt af det materiale, den bevæger sig igennem. I luft bevæger bølgen sig med lysets hastighed, hvilket er 0,3 m/ns (meter pr. nanosekund), mens den i jord er væsentlig langsommere. I tørt sand og grus er hastigheden ca. 0,13 – 0,17 m/ns, mens den i vandmættet sand og grus er ca. 0,05 – 0,07 m/ns. Dette betyder, at såvel litologien som dybden til grundvandet er af stor betydning for omregningen af dybdeskalaen fra tid til meter.

Når man har optaget et radargram og skal til at tolke resultatet, er det vigtigt at have en ide om de overfladenære jordlag i det undersøgte område, da radargrammet ikke direkte fortæller noget om litologien, men kun noget om strukturerne i undergrunden. Sådan en viden kan man få fra borer i nærheden eller fra blottede profiler f.eks. ved kystklinter eller i grusgrave. Dette gør det meget nemmere at korrelere bestemte geologiske laggrænser med markante reflektorer på radargrammet og dermed udarbejde en dannelseshistorie for området (figur 3).

GEORADARKORTLÆGNING AF HVIDBJERG KYSTKLITFELT

Hvidbjerg kystklitfelt dækker et område på ca. 35 kvadratkilometer og består af en ca. 15 meter tyk lagfølge af flyvesandsenheder, der er afgrænset af jordbundshorisonter. Hele lagfølgen er aflejret i Holocæn, dvs. perioden fra den sidste istid og til i dag. Under denne lagfølge ligger i den sydlige del en till (VARV 1989,4), der er aflejret i forbindelse med den sidste istids fremstød til hovedstilstandslinien, der ligger ca. 30 kilometer syd for Hvidbjerg kystklitfelt. Sedimenterne umiddelbart under flyvesandet i den nordlige del består af marint sand aflejret i små bugte, der blev dannet som følge af isafsmeltningen i Skandinavien og på det nordamerikanske kontinent ved afslutningen af sidste istid. I den sydlige del af Hvidbjerg kystklitfelt er der indsamlet ca. 16 kilometer radargrammer i forbindelse med et geologisk kortlægningsprojekt af området. Tolkningen af radargrammerne har dannet baggrund for fremstillingen af topografiske kort over de mest markante jordbundshorisonter. To eksempler på radargrammer fra undersøgelsen er vist på figur 5 og figur 6. Figur 5 er fra den midterste del af Hvidbjerg kystklitfelt, mens figur 6 er fra den sydlige del, der

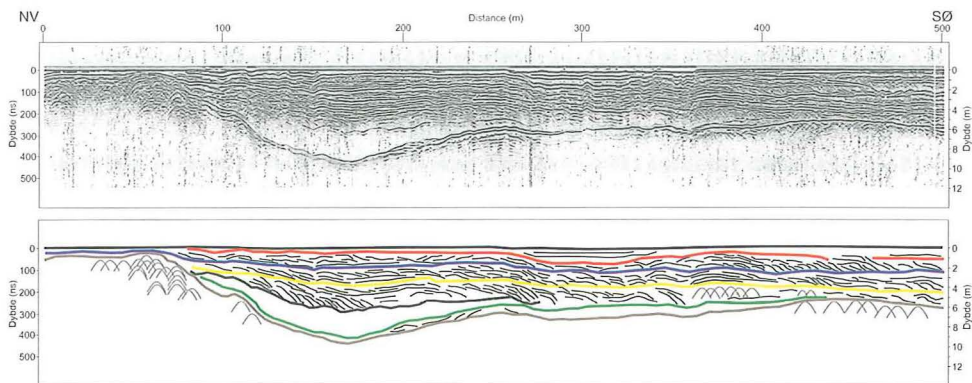


Figur 5. Radargram optaget vinkelret på den moderne kystlinje. Markante jordbundshorisonter er markeret med rød, grøn, gul og orange farve, mens grænsen mellem flyvesandet og de marine sedimenter er markeret med lyseblå. De interne strukturer ses tydeligt på det meste af profilet. Grundvandsspejlet ligger lige under overfladen og indtrængningsdybden for georadaren er her ca. 18 meter.

grænser op til Lodbjerg kystklitfelt. Litologien, markante horisonter og interne strukturer er korreleret og tolket ud fra observationer i kystklinten, hvor man tydeligt kan se jordbundshorisonterne, og fra boreriger udført umiddelbart ved siden af de viste radargrammer.

I den nordlige del af undersøgelsesområdet, i et strøg der går fra kystklinten og vinkelret ind i land (figur 1), kan man på radargrammet (figur 5) se fem markante og næsten horisontale reflektorer, der imellem sig har mindre, mere stejlt hældende reflektorer. De fire øverste, markante reflektorer, vist med rød, grøn, gul og orange, repræsenterer jordbundshorisonter der på dannelsesstidspunktet har stabiliseret flyvesandet og dermed forhindret videre sandflugt. De små reflektorer der ses indimellem, hælder alle mod øst og viser interne strukturer fra de bevarede vandreklitter, der i perioderne mellem stabiliseringerne bevægede sig mod øst, ind i land. Nederst på radargrammet ses både vest- og østhældende reflektorer. Disse reflektorer repræsenterer de interne strukturer i en strandvoldsopbygning, der gik forud for sandflugten. Strandvoldene er tidsbestemt til at være ca. 7.000 år gamle og dannet i forbindelse med den første Littorinatrangression. Grænsen mellem de marine sedimenter og flyvesandet er markeret med en lyseblå linie. Grundvandsniveauet lige her ligger ca. 0,5 meter under overfladen og er illustreret med en mørkeblå linie.

I den sydlige del af kystklitfeltet, mellem kystklinten og Lodbjerg Fyr (figur 1), ca. 2,5 kilometer syd for det sted hvor radargrammet på figur 5 er optaget, kan der på radargrammet (figur 6) ses en kraftig reflektor i bunden af billedet, markeret med en brun linie, der mod nordvest ligger tæt ved overfladen. Denne reflektor korrelerer med overfladen af tillen, der ses i kystklinten. Tillen er gene-



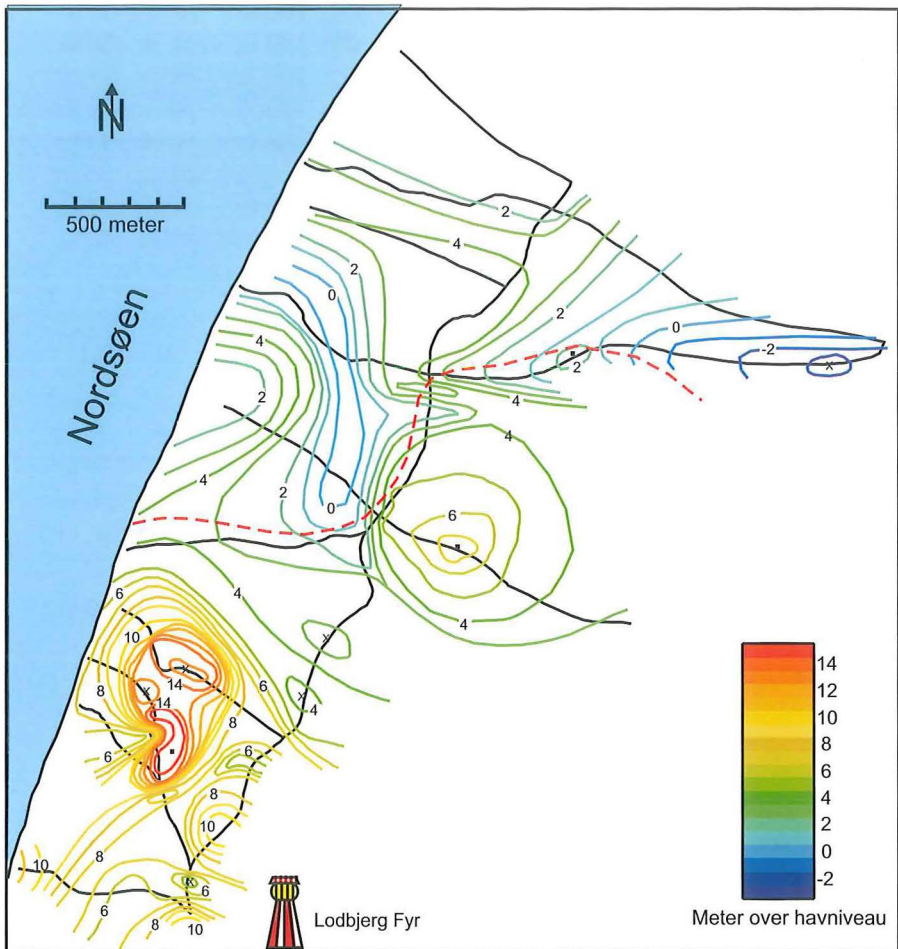
Figur 6. Radargram optaget i den sydlige del af Hvidbjerg kystklitfelt. Nederst ses till overlejret af flyvesand, der for den nederste, centrale dels vedkommende er aflejret i en sø. De to nederste jordbundshorisonter dækker hele klitfeltet, mens den øverste kun har lokal udbredelse. Grundvandsspejlet ligger her ca. 3 meter under overfladen.

relt meget leret, så derfor er det ikke muligt at se interne strukturer i denne enhed. Man kan se, at tiloverfladen er meget bølget med et højdepunkt mod nordvest, en central fordybning og et jævnt, fladt stykke mod sydøst. I den centrale fordybning over den grønne reflektor ses en ca. 3 meter tyk enhed, hvori der ikke er optaget nogen reflektorer. Denne enhed er tolket til at være flyvesand aflejret i en sø, der har været i fordybningen i tiloverfladen. Over søaflejringen ses en lagfølge af flyvesandsenheder, der er afgrænset af jordbundshorisonter. Den grønne og den gule reflektor kan korreleres til den grønne og den gule reflektor på figur 5 og repræsenterer jordbundshorisonter der dækker hele området, mens den røde reflektor illustrerer en jordbundshorizont, der kun har begrænset lateral udbredelse på nogle få hundrede meter. Grundvandsniveauet ligger i denne del af klitfeltet i ca. 3 meters dybde, hvilket betyder at det falder med ca. 2,5 meter over en strækning på 2,5 kilometer.

Ud fra tolkningen af de 16 kilometer georadarprofiler er det blevet muligt at visualisere de øverste ca. 20 meter af den geologiske lagfølge ved Hvidbjerg kystklitfelt og fremstille topografiske kort over de mest markante horisonter nær den moderne overflade. Hvis man fjernede hele flyvesandsenheden ville man kunne se, hvordan området så ud for ca. 7.000 år siden (figur 7). Overfladen ville bestå af en meget bakket tiloverflade i den sydlige del i form af store, isolerede tillknolde med dale imellem. Den daværende kystlinie ville gå i en mere nordøst-sydvestlig retning og være meget mere ujævn end den nuværende. Udfør kysten ville der være en opbygning af oddekomplekser, der i nogle tilfælde ville ligge over havoverfladen og danne mindre sandbanker. Udfra det topografiske undergrundskort kan man også fornemme, at der muligvis har lø-

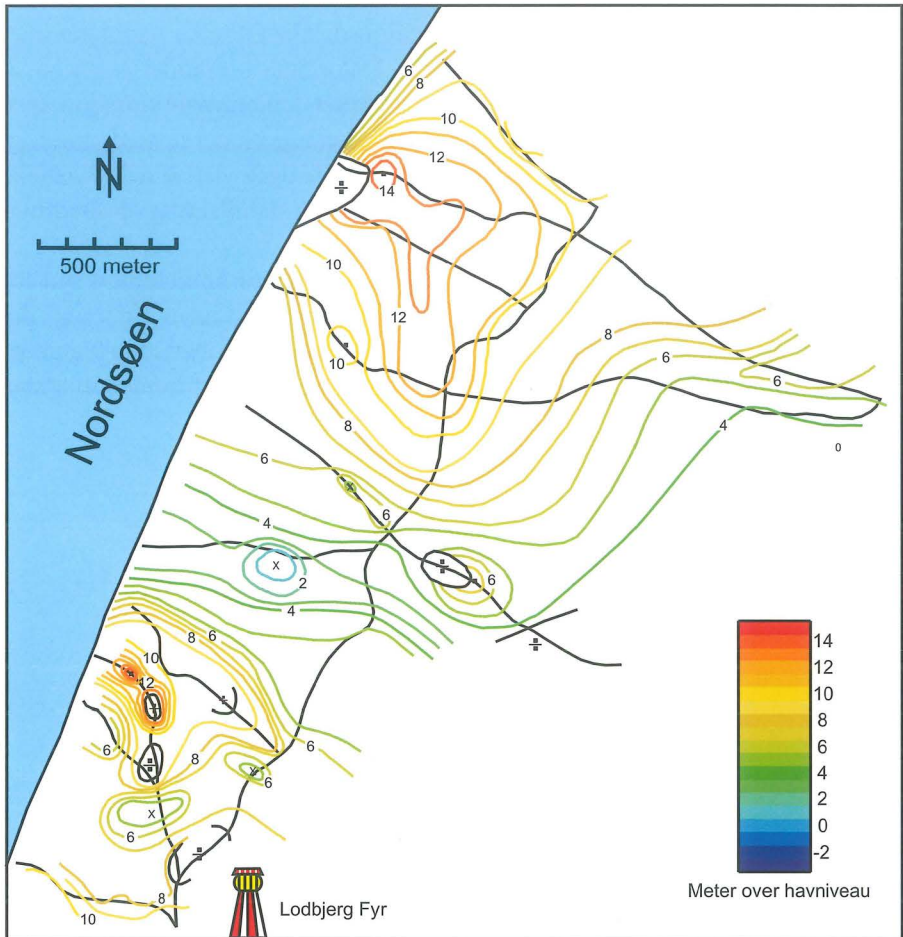
bet en ca. 100 meter bred flod i en nordlig retning op igennem de to markante tillknoled og ud imellem sandbankerne. Inden denne flod forsvandt, efterlod den en lang erosionskanal, der nu kan ses på kortet.

På et tidspunkt, for ca. 5.000 - 6.000 år siden, skete der en klimatisk ændring, der blandt andet resulterede i kraftigere vinde fra vest. Denne klimatiske forværring satte den første sandflugt i området i gang og store parabelklitter, mager til Råbjerg Mile på Skagen, byggede sig op, bevægede sig mod øst og dækkede hele området med flyvesand i løbet af få hundrede år. Klimaet ændrede sig



Figur 7. Topografisk kort over landskabet under flyvesandet, hvor konturlinierne tydeligt viser niveauforskelle i overfladen. I den sydlige del ses en bølget tillovsflade, mens den nordlige del består af marint sand. Den røde stiplede linie illustrerer den daværende kystlinie.

senere igen, hvilket betød, at vindhastigheden igen faldt, og at hele klitfeltet for ca. 4.500 år siden for første gang blev stabiliseret af indvandrende pionervegetation. Floraen blev med tiden mere varieret, og der dannedes en massiv jordbundshorisont. Denne jordbund svarer til den grønne reflektor på radargrammerne, og topografien af hele overfladen i området kan ses på figur 8. På kortet kan man se en bølgende overflade, der generelt hælder ind mod land i den nordlige del. Der ses to højdedrag, et mod syd og et mod nord. Sammenholder man dette kort med kortet over tillen og de marine sedimenter, kan man udlede,



Figur 8. Topografisk kort over den første stabiliseringsflade i klitfeltet. Det ses, at fladen generelt hælder ind mod land, og at den består af to højdedrag med et lavtliggende område imellem. Topografien i den sydlige del er styret af den underliggende till, mens flyvesandsaflejringer er styrende i den nordlige del.

at den største mængde flyvesand er blevet aflejret i den nordlige del, mens der i den sydlige del kun findes omkring et par meter.

Op igennem hele lagserien til den moderne overflade veksler litologien af flyvesandsenheder afgrænset af jordbundshorisonter. Denne vekslen i litologi fortæller en historie om primært klimaudvikling og opbygning af klitfeltet gennem de seneste ca. 7.000 år. Optagelserne med georadaren har gjort, at de mest markante jordbundshorisonter nu med stor præcision kan korreleres ud over hele klitfeltet. De har dermed været med til at skabe et mere fuldstændigt billede af den geologiske udvikling af Hvidbjerg kystklitfelt, der viser at hele klitfeltet enten har været stabiliseret af et tykt vegetationsdække eller har været påvirket af markant sandflugt og vandreklitdannelse. Dateringer i området peger på, at perioderne med et stabilt vegetationsdække har været den normale situation, dvs. den situation der i tid har været mest almindelig, mens perioderne med sandflugt har være ekstreme eller unormale. Derudover har de også vist, at de klimatiske ændringer der er foregået forud for skiftende mellem stabilisering og sandflugt er sket relativt hurtigt, dvs. indenfor få hundrede år.

Man kan læse om kystklinten ved Lodbjerg, der ligger umiddelbart syd for Hvidbjerg kystklitfelt i VARV 1989,4, samt i artiklen 'Mens havet æder ind i det nordjyske hedelandskab' af David Liversage og David E. Robertson i Naturens Verden, nr. 7, 1988, før man selv tager derop og ser på et af landets flotteste områder.